

1 Le passé, et le but recherché

Avant, il y avait Le Bermascope, LA Référence Française en matière de matériel de test d'allumage dans les ateliers de réparation de l'hexagone. Ma modestie m'en empêchant, je serais seulement tenté de dire Aujourd'hui, il y a le **Sparkmètre**. Il doit pourtant y en avoir d'autres, merci de me les signaler.



Cet appareil permettait de vérifier bobines et condensateurs, et le seul instrument de mesure, trônant au milieu, était un « œil magique » (tube à vide faisant fonction de galvanomètre rudimentaire) les « mesures » étaient données par la position du bouton d'un potentiomètre et un moteur électrique entraînait un rupteur pour donner l'étincelle dans l'éclateur.

Aujourd'hui, il n'en existe plus guère en état de marche (surtout l'œil magique), et le marché se réduisant, on ne produit plus d'appareils de ce type, ni de remplacement.

A la demande générale, pressante et amicale, de restaurateurs et compétiteurs en anciennes, Bernique et IGM, (l'Institut Gériatrique des Motos), j'ai entrepris un appareil capable de mesurer les organes d'allumage.

- allumage complet rupteur ou électronique : générateur d'impulsions et de dwell, gamme de tension de fonctionnement (la « qualité bobine » du bermascope n'est qu'un réglage de la tension d'allumage)
- condensateur : capacité, résistance série (ESR) et fuites, à l'ambiante et à chaud
- bobines : résistance, inductance, rapport de transformation
- rupteur : point d'arrachement (préciphone), dwell (ou rapport cyclique dans les volants)

Les mesures sont affichées sur plusieurs galvanomètres à aiguilles, solution préférée aux LED ou LCD, plus claire, de compréhension immédiate, et, last but not least, d'un aspect plus vintage.

Le capacimètre est un des modules de mesures du **SPARKMETRE** (successeur facilement amélioré du Bermascope)

Chaque module est indépendant et peut être construit ou utilisé seul. Dans le Sparkmètre, il est simplement mis en route par l'application de la tension principale (bloc alimentation de PC 19V, les alims de PC ne sont pas adaptées, car ne permettent pas des essais complets de bobines, qui doivent fonctionner jusqu'à 15V).

Les fonction sont sélectionnées par un bouton-poussoir, chaque appui change le mode (capacimètre, résistance série ESR, ou résistance de fuite). Le mode sélectionné est indiqué par une LED dont la couleur rappelle la ligne de l'échelle concernée dans le galvanomètre d'affichage :

- LED blanche = capacimètre ligne noire (désolé, j'ai pas trouvé de LED noire)
- LED bleue = ESR, ligne bleue
- LED rouge = fuite, ligne rouge

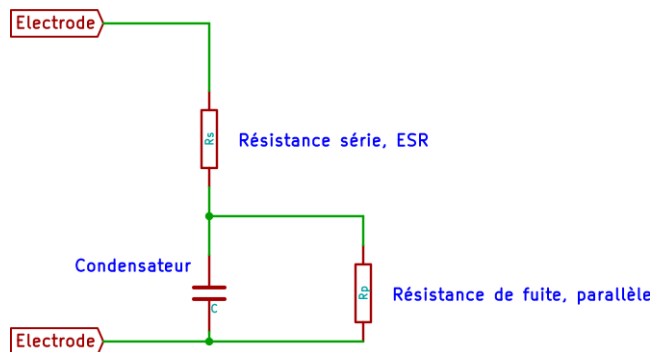
Un bouton séparé met en route le chauffe-capacitance vers 50-60°C qui ne seront pas régulés mais simplement thermostatés, la charge thermique attendue étant très variable.

2 Le condensateur

Le condensateur est un organe électrique qui stocke et restitue de l'énergie et 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 construit depuis 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, voire 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 peut être dégradée, et le condensateur devenir sensible à la traction/pression et à la température comme à l'humidité.

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 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 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.

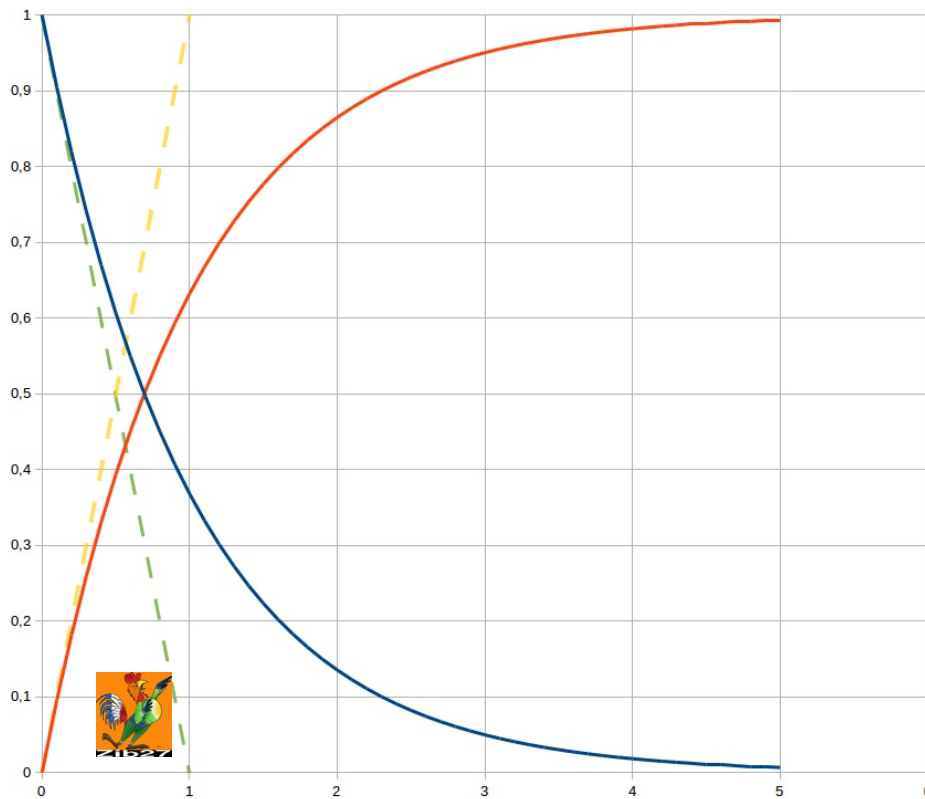
3 Le capacimètre

Il mesure la capacité du condensateur, fouchtra !

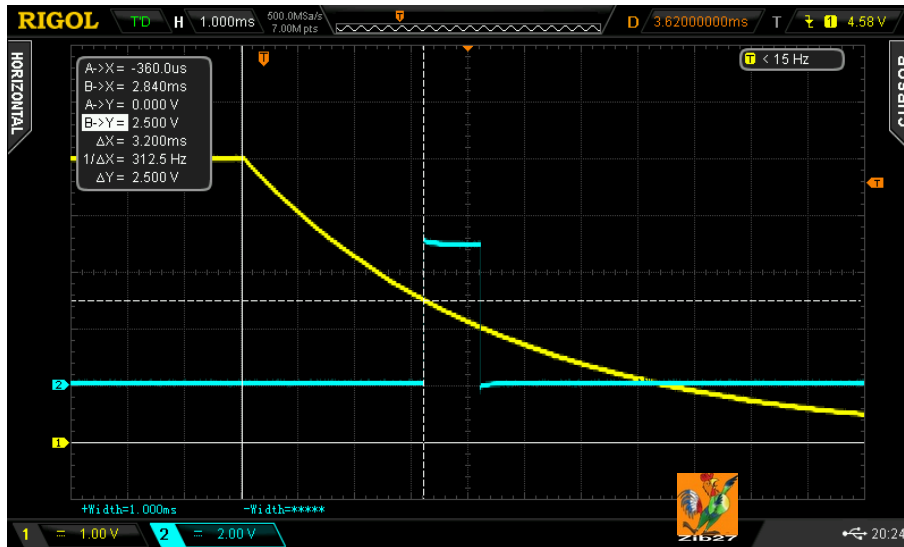
La capacimétrie est assurée par une entrée d'arduino nano pro (équipé d'un microcontrôleur μC mega328p ça coûte 1,3\$) mais je n'utilise pas le « langage » arduino, seulement du c pour AVR (avr-gcc) pour pouvoir utiliser sans restriction toutes les ressources du μC et contrôler sa vitesse.

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. Pourquoi cette position inhabituelle de la capa ? Simplement parce que la tension de charge de la capa passera de 5V pour la mesure de la capacité–courant de fuite à la mesure de fuite en haute tension (300 à 400V) où la capa ne sera pas plus à la masse.

L'exponentielle du courant de charge de la capa est donc de la forme suivante (courbe en bleu, la tension est en rouge) :

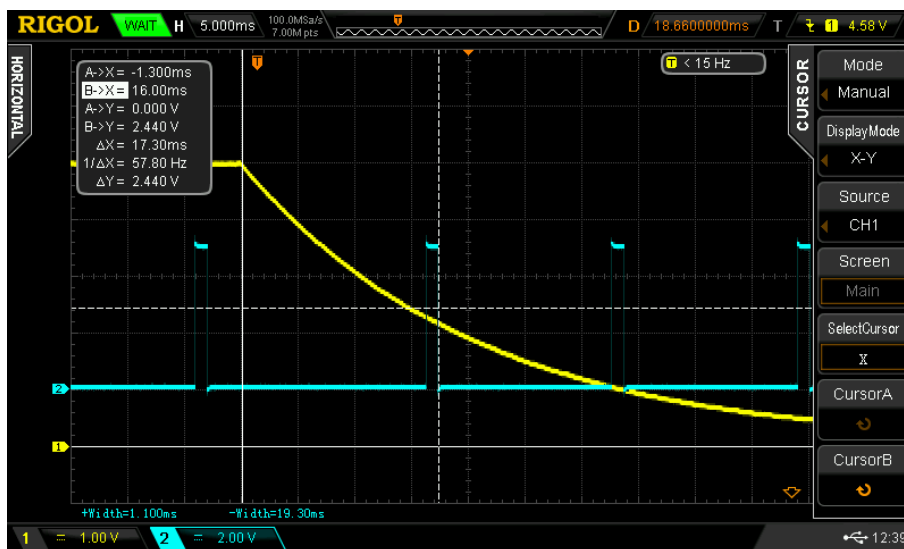


Le μC fonctionne en comparateur analogique, la tension de référence est de $V_{cc}/2$, nous sommes en montage ratiométrique, et la valeur absolue de V_{cc} (5V) importe peu. Contrairement au classique circuit à « 555 », qui comprend deux comparateurs et trois résistances dont le rapport joue sur la précision, 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, 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. La référence est assurée par deux résistances de précision identiques (ici $20\text{ k}\Omega$ 1%), seul le rapport entre les deux compte, et leurs dérives éventuelles sont mutuellement compensées si les résistances sont de mêmes technologie et modèle. 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. Il suffit alors de considérer le temps exprimé en τ (lettre grecque tau). τ étant égal à RC , la capa est alors $C = R / \tau$. À $V_{cc}/2$, on est à $0,6065$ de τ , la mesure à $V_{cc}/2$ donne $t=3,2$ ms, donc $\tau = 5,27$ ms. Avec la résistance de charge à $20\text{ k}\Omega$, la capa est alors égale à $C = 0,005276 / 20000 = 0,26\text{ }\mu\text{F}$ pour $0,224\text{ }\mu\text{F}$ au multimètre de table de précision. On va affiner le fonctionnement pour augmenter la précision une fois réalisée la boucle totale.



Capa ceramique 0,22 μ F. En bleu, l'interruption de comparaison

Un condensateur de 1,033 μ F demande un temps de 14,2ms, le timer2 avec un prédiviseur de 1024, boucle en 17,3 ms, on peut donc mesurer un peu plus de 1 μ F la capa standard de 0,22 μ F sera mesurée à 47 pas du convertisseur A/D (sur 256) = pas de débordement du compteur jusqu'à plus d'un μ F. Le compteur est démarré au lancement de la charge de la capa.

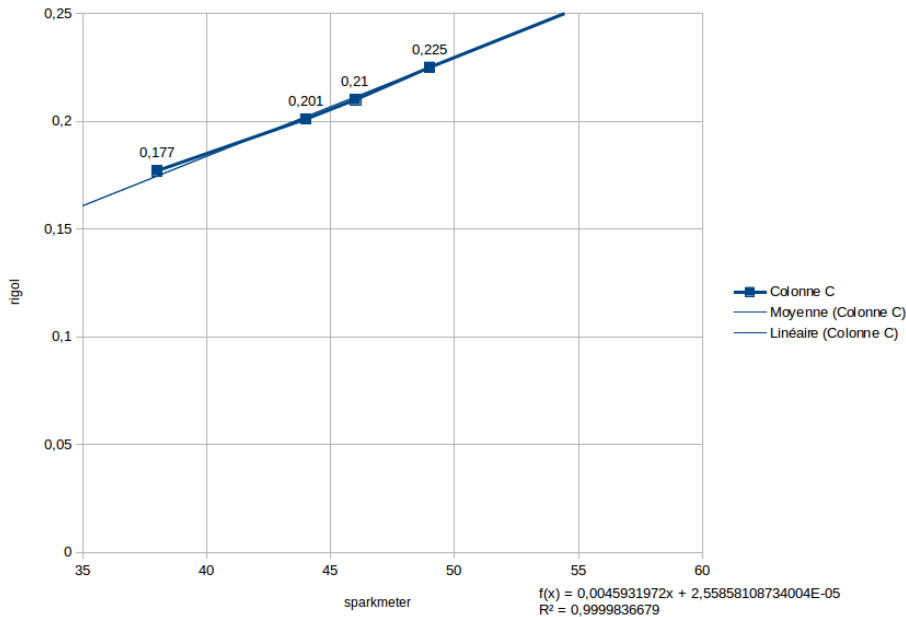


Débordement du timer2 et capa 1 μ F, au-dessous des 2,5V, centrage correct jusqu'à plus de 1 μ F

Puisque j'ai décidé de limiter l'affichage à 0,5 μ F (le bermascope limite à 0,4 μ F), permettant la mesure de quasiment tous les condensateurs d'allumage, avec l'échelle la plus dilatée possible, il a fallu mettre un dispositif anti-repliement de spectre (si la valeur dépasse l'affichage, elle repart à zéro mais on ne le sait pas forcément) avec une LED de surcharge (OVF). Cet affichage au max permet d'ailleurs un réglage facile de la résistance du galvanomètre.

3.1 étalonnage du capacimètre

La linéarité de la mesure de capacité est très bonne et très peu affectée par les délais introduits par les interruptions. On n'a pas besoin de condensateur étalon et on en reste à la physique de base, j'ai mesuré un condo de 200nF 1 % que je lis à 0,2024 µF, alors que sa tolérance donne 0,198 à 202, résultat largement dans les 3 % prévus.



Il suffit d'appliquer un coefficient multiplicateur de 0,0046, et d'ignorer le terme à 20 ppm, donc sans décalage à l'origine. La précision est en fait limitée par les incréments du convertisseur A/D soit 3 % dans la gamme des 0,2µF. C'est largement suffisant ici.

3.2 Schéma du capacimètre

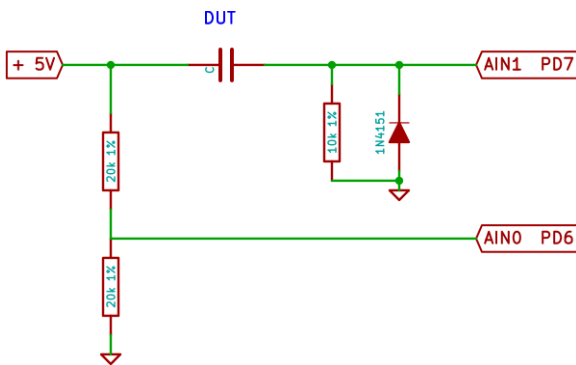


Schéma . La diode empêche l'entrée du µC de devenir négative lors du front descendant (clamping), situation interdite pour le µC. La tension 5V doit être stable pendant la mesure (10ms max). Les résistances sont de précision 1 %, ou mieux.

DUT = élément à tester (Device Under Test)

4 Mesure de la résistance série : ESR

C'est la mesure qui donne un des facteurs de qualité de la capa, c'est de plus un paramètre qui est sensible à la qualité de fabrication et au vieillissement (la pression entre les métaux plus ou moins oxydés quand il n'y a ni ressort interne ni soudure interne, et les effets des variations de température).

L'ESR s'ajoute à la réactance de la capa, ou augmente la résistance série de la source pour charger la capa.

Wikipedia anglais donne une méthode et comme on peut s'y attendre, la plupart la suivent et s'entre-copient : avec une source de fréquence, de puissance suffisante, telle que la réactance de la capa devienne quasiment nulle (par rapport à la résistance à mesurer) l'impédance série devient la grandeur prépondérante. Or même à 100 kHz, la réactance est encore de 7Ω , soit de l'ordre de grandeur de l'ESR à mesurer (il lui faudrait être 20 à 100 fois plus faible !). C'est pourquoi la plupart des ESR-mètres s'arrêtent à $1 \mu\text{F}$ en disant ne s'occuper que des capas chimiques. J'utilise donc un autre principe. Au tout début de la charge de capa par un créneau, la tension de la capa elle-même est encore de zéro, le courant n'est donc limité que par l'ESR. C'est cette crête de courant que je mesure.

Pour obtenir un créneau dont le début soit musclé, j'utilise un buffer à PMOS de puissance, résistance de pull-down de 82Ω , et un redressement crête à diode Schottky et filtrage par un RC $1 \mu\text{F} / 3,9\text{M}\Omega$ en parallèle sur l'entrée ADC, il y a une erreur par décalage de $0,3\text{V}$ environ. Il faut aussi une alimentation du circuit à basse impédance, assurée par un condensateur à très faible ESR et de valeur très supérieure à la capa à mesurer, la perte par transfert d'énergie est alors négligeable, ici un $470 \mu\text{F} / 16\text{V}$, et la perte de tension à la crête de courant devient effectivement négligeable.

La tension crête du courant de charge est détectée par une résistance de 9Ω ($8,935 \Omega$) on lit donc $8,935 \text{ V}$ par A.

La tension crête qui attaque la capa est de $3,8 \text{ V}$, la crête de charge est redressée (avec perte de $0,3\text{V}$) et ressort à $3,8\text{V}$ lors de l'intégration sur une capa de $1 \mu\text{F}$ céramique surtout pas électrolytique ni tantale. Cela laisse quelques ms au convertisseur ADC pour lire la valeur. La constante de temps de décharge est de 3 s , le temps de conversion est de $15 \mu\text{s}$. Cela permet d'arrêter la génération du signal de mesure pour la conversion et diminue les bruits parasites de lecture (ces parasites me brouillent l'écoute, ctp*).

Le courant initial de charge de la capa est donc limité par l'impédance de source, ce qui est annulé par la mesure au scope de la tension crête réelle.

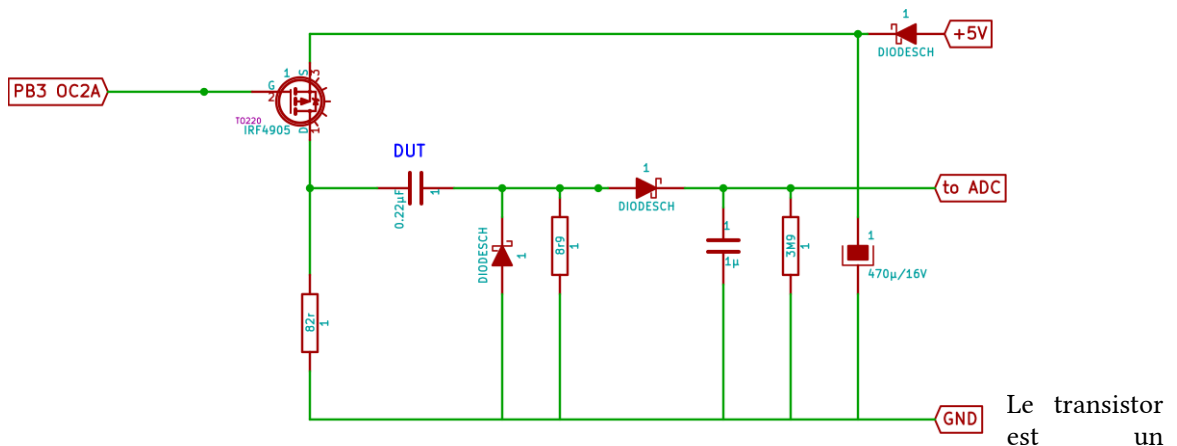
La valeur ADC de $3,8\text{V}$ correspond à un centrage correct, valeur attendue 194 (sur 256).

C'est une mesure de contrôle, pas de la métrologie (mais se classe largement au-dessus du bermascope), et ne s'applique qu'aux valeurs rencontrées en allumage ($0,1$ à $0,5 \mu\text{F}$), les chutes de tension des diodes, notamment varient avec la température.

Essais avec quelques condensateurs fournis par Bernique (pas forcément de Solex) et un céramique + un en film polypropylène MKP.

Le condensateur Bernique N°1 est d'ailleurs très sensible, il suffit de tirer un peu ($<50\text{g}$) sur l'électrode et la résistance série augmente : clairement HS par contact interne non fiable Le N°5 est également sensible, quoiqu'en tirant un peu plus fort.

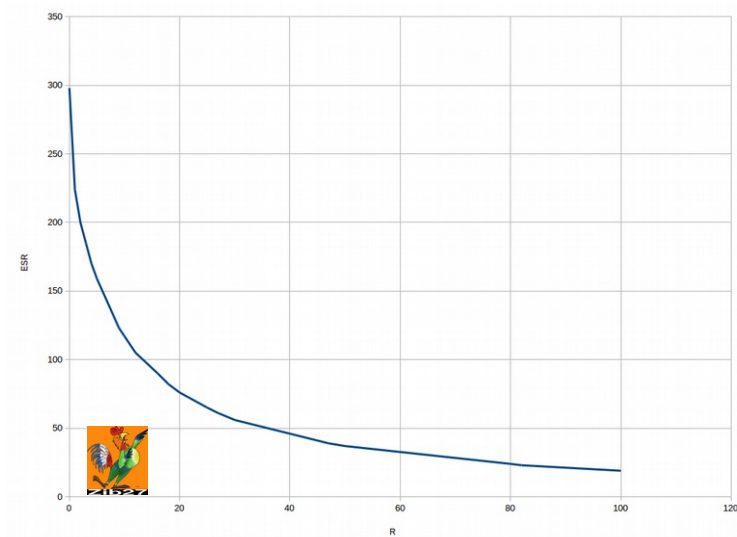
4.1 Schéma de mesure de l'ESR



modèle de puissance : IRF4905. Le retour à la masse est assuré par une résistance de faible valeur (9 Ω). Un détecteur de valeur crête est fait par une Schottky et un réseau RC à forte constante de temps et charge élevée (1μF / 3,9MΩ), pour donner le temps au convertisseur AD d'assurer la conversion numérique et de diminuer la tension de déchet de la diode (0,3V). Si l'alimentation est faite par un 7805 musclé, assisté d'une grosse capa à faible ESR, depuis une tension suffisante (au lieu de la petite puce implantée d'origine à la pin RAW de l'arduino), la diode Schottky au +5V peut être éliminée.

Ce schéma s'éloigne carrément de ceux qui s'entre-copient sur le Web.

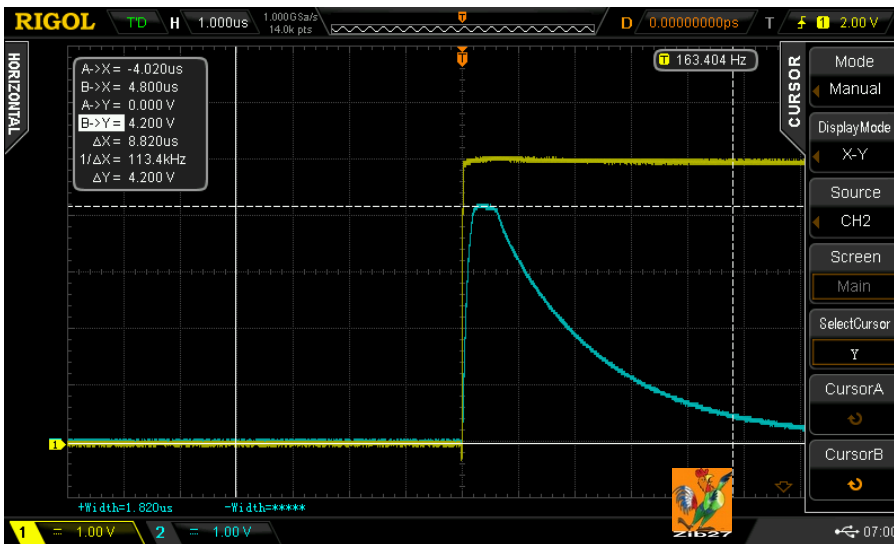
L'ESR n'a pas besoin d'être connu très précisément, c'est un indicateur technologique, ce montage est donc suffisant. La résistance interne ESR est $\Delta V / (V_{out}/8,9)$



ESR à la sortie du convertisseur A/D

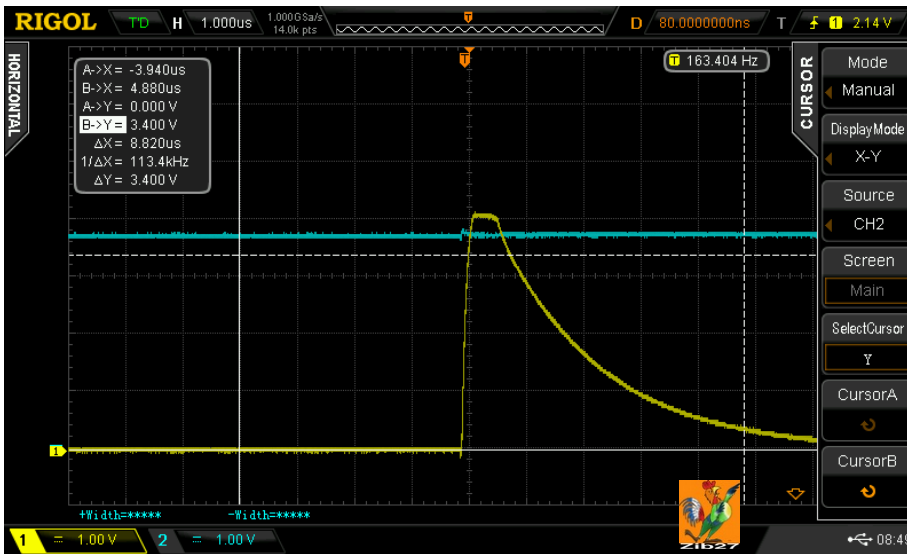
On va donc avoir un afficheur non linéaire, comme dans les ohmmètres à aiguille.

Exemples de graphes sur capa 0,22 céramique



On reconnaît bien, en bleu, la charge d'un condensateur, mais ici on en mesure la crête.
 En jaune: tension source, impulsion au moment de la crête.
 La chute de tension aux bornes du condensateur est proche de 1V.
 Le courant est mesuré par la tension aux bornes de la résistance de mesure = $4,2/8,9\Omega = 470\text{mA}$
 L'ESR est ici de $(V_c - ddp)/0,47 = 2\Omega$

capa 0,22 céramique, crête de charge



jaune = courant de charge de la
capa : 0112 A/V
bleu = détection sur 1 μF

la chute de tension de la Schottky
est de 0,3V. C'est cette détection
imparfaite qui ne permet pas de
qualifier le montage d'instrument
de mesure (on sait faire bien mieux,
avec un simple ampli op, mais je
n'en ressens pas le besoin pour ce
cas)

Le courant relativement important de l'impulsion de mesure ESR nécessite un radiateur sur le 7805 et de ne pas trop monter le taux de mesures par seconde sous peine de voir des décrochages du 5V donc de la référence de mesure. Sous 19V d'entrée, la puissance moyenne dissipée par le 7805 peut atteindre le W.

Remarques métrologiques pour sodomiseurs de diptères et tétratrictomistes¹ :

En réalité on mesure ici la résistance série qui n'est pas tout à fait l'ESR (qui est, elle une résistance équivalente globalisant les effets, et utilisée en alternatif avec partie active et réelle) mais le terme ESR a gagné en matière de popularité ! Ce sont les effets des dégradations, visibles par la résistance série, qui nous intéressent au premier chef dans l'allumage moteur. On peut aussi parler de tangente delta pour évaluer cette résistance, mais dans un domaine plus métrologique et surtout dans une utilisation en courant alternatif.

Rapport entre les deux : $\tan \delta = 1/Q = R_s * 2\pi * f * C$, ce qui donne avec des grandeurs habituelles d'allumage $R_s = 10\Omega$ $C = 0,22\mu F$ et $f = 4kHz$, une tangente delta de 0,055 (ou un facteur de qualité de 18, pas terrible !). De plus l'inductance interne est négligée ici, tout comme dans l'allumage, ses effets se faisant ressentir à des fréquences très beaucoup² supérieures.

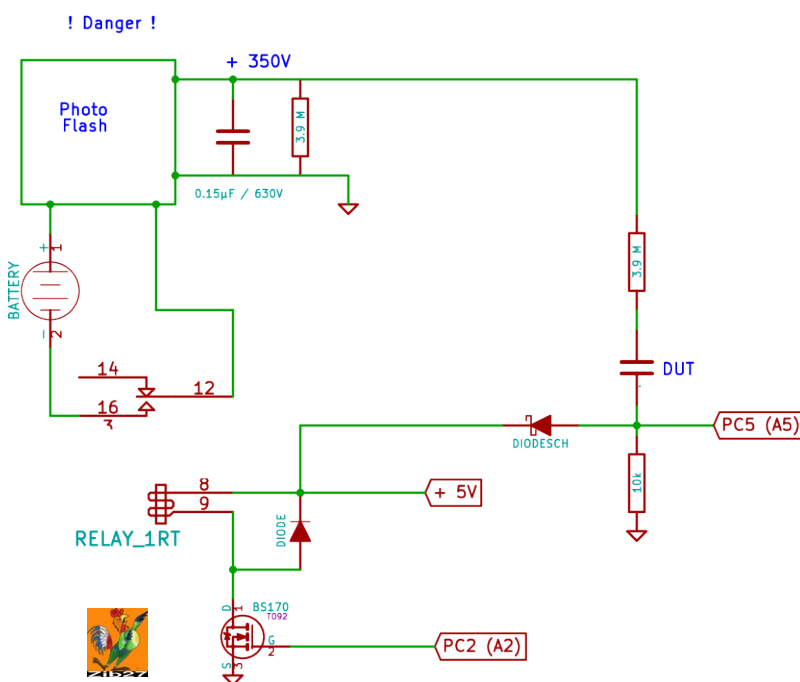
1 J'oserais pas les barbarismes comme tétracapillotomistes ou autres variantes (crédit Débel)

2 J'ai bien le droit d'aimer l'infantilisme de cette expression, et même de l'utiliser. M'enfin !

5 Mesure du Courant de fuite

Il est mesuré sur une résistance de mesure de $10\text{ k}\Omega$ avec une résistance de limitation de $3,9\text{ M}\Omega$ et un clamping à 5 V par Schottky pour limiter la tension à une valeur tolérable par le μC en cas de fuite importante. Ce clamping impose que la consommation des circuits soit largement supérieure à $80\mu\text{A}$, facile avec le μC , le galva, le relais et les LEDs.

En basse tension (5 V), les résultats sont peu significatifs, il faut donc passer à des essais en **haute tension (350 V)**. Le rapport de tension avec l'alimentation primaire de 19 V (rapport 18) est trop élevé pour un simple circuit buck, difficile à partir de 7, m'a fait choisir un circuit de flash électronique d'appareil photo jetable, en enlevant bien sûr le gros condensateur de $80\ \mu\text{F}/350\text{ V}$, remplacé par un $0,15\ \mu\text{F}/630\text{ V}$ pour limiter les risques. La tension est comparable à la tension du secteur redressé, mais infiniment moins dangereuse, l'énergie est inférieure au Joule (à comparer aux 400 joules des défibrillateurs) mais ça secoue les nouilles (ctp*)!³ Les personnes sensibles, surtout sans savoir l'être, peuvent avoir un choc.



Attention : présence de tension potentiellement dangereuse, à manipuler par personne qualifiée

Un relais est nécessaire pour lancer le flash dont le branchement pile / masse est inconnu à l'achat, et fonctionne dans tous les cas. Le contact travail du relais est mis aux bornes de l'interrupteur de mise en route du flash. Une résistance de saignée de $3,9\text{ M}\Omega$ assure une décharge de sécurité en moins de cinq secondes

Les modules buck ou THT, que j'ai trouvé, ont des condensateurs de sortie trop forts et sont noyés dans de la résine, rendant difficile le remplacement de la capa de sortie, c'est pourquoi j'ai préféré le flash photo, et limité l'énergie de sortie par remplacement de la capa.

Il faut laisser le temps de bien décharger la capa en fin de mesure (5 s mini), c'est pourquoi je préfère avoir des bornes dédiées pour la capa en test haute tension et ne pas commuter violemment sur un autre test. Les mesures de capacité et d'ESR peuvent, elles, passer par les mêmes bornes via un relais.

3 Ce contrepois ferreux m'a échappé

6 Résultats d'essais avec indication de la cause de rejet

nom	facial	rigol	spark_ADC	voltcraft	sol voltcraft	fuite 380V	spark_capa	ESR	Fuite 350 V
23n	0,00232	0,002335	5				0,02		
,15u	0,15	0,177	38				0,17		
,2u	0,2	0,201	44				0,20		
MKP	0,22	0,21	46	0,217	inf	1µA	0,21	7	0,01
ceram	0,22	0,225	49	0,227	inf	1µA	0,23	8	0,01
1u film	1	1,029	224	1,056	inf		1,03	4	
1		0,219	47	0,2267	30M inst	20µA	0,22	8 instable	0,2
2		1,416	331	1,526	2,5M	>400µA	1,52	7	4
3		0,401	51	0,359	10M	>400µA	0,23	7	4
4		0,688	90	0,606	6M	100µA	0,41	5	1
5		0,233	51	0,238 instab	40M inst	1 µA	0,23	10 instable	0,01
							OK	douteux	NOK

Les couleurs de la colonne fuite 350V correspondent aux couleurs de graduations du galva

Les condensateurs 1 à 5 sont des condensateurs de la boîte à RIP de Bernique, des Râpeurs de pneus (RIP = Requiescat In Pace, ou Rest In Peace, selon qu'on est de culture latine ou britiche⁴ dans ses cimetières). Ils sont refusés, soit pour leur valeur hors specs, soit pour leur ESR instable, soit encore pour leur fuite trop importante (critères NOK). Le condensateur 4 est un condensateur de cyclo de 0,22 µF d'origine. Je confirme donc que Bernique les a tous écartés (RIPpés) à bon escient.

Rigol est un multimètre de table de précision, 200 000 points, Voltcraft est un multimètre 6000 points, mais le comportement en présence de résistances parasites, fuites et série, est différent.

On constate :

- un condensateur de 1,4µF ! Vendu il y a 70 ans pour 0,19µF. Valeur étonnante, confirmée par 2 multimètres et la mesure par le capacimètre. On va essayer d'y intéresser un labo pour analyse
- l'ESR est peu important pour l'allumage, mais détecte assez facilement les instabilités internes de la capa
- l'instabilité (à la traction) a causé le rejet du condensateur 5, malgré une bonne fuite à 350V
- le condensateur 3 est bon en fuite BT (comme en fuite multimètre) et devient mauvais à 350V. La fuite 5V est pratiquement sans signification, cette mesure est donc supprimée
- L'augmentation spontanée de la capacité avec le temps est le signe d'une dégradation interne = rejet
- l'instabilité à la traction/pression est un critère de rejet absolu

Un ESR acceptable doit être inférieur à 8 Ω pour 0,22 µF et 4Ω pour 0,4 µF.

Les condensateurs défectueux voient leur ESR changer à chaud, on devrait à peine noter un changement de la position de l'aiguille.

L'ESR est donc un outil puissant de détection de défauts de condensateurs !

7 Réchauffeur de capa (en développement)

Pour réchauffer la capa vers 60°C, se rapprochant des conditions de fonctionnement, et pas trop dangereuse (les chauffe-eau sont limités à 65°C).

⁴ Je sais ! Mais je préfère comme ça

8 Valeurs attendues 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

on peut relever aussi les valeurs classiques

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.

9 Un peu de technologie des condensateurs

9.1 Le condensateur au papier

Dans la génération des 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 atteint 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, soit 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 et certaines conditions de pression, 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 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. Les électrodes internes heureusement ne sont pas en étain. Peu de métaux créent des whiskers dont étain, et cadmium, 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 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 papier / étain anciens à vendre sur le Net (18\$ + 18\$ de port)

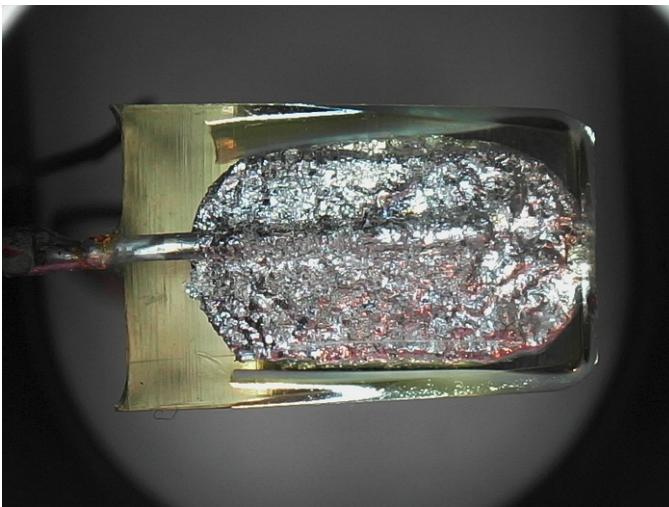


Fender Pure Vintage Red .05uF 600V Waxed Kraft Paper Tin Foil Amp Capacitor
= Condensateur NOS

(le cirage du papier ne le rend pas plus résistant aux whiskers)

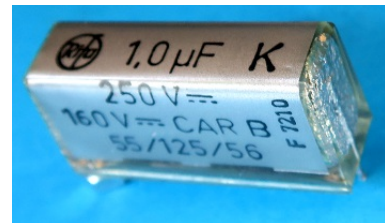
Audio Note, autre fournisseur de capas papier : étain, justifie « scientifiquement » l'étain : « Since those days have gone and Audio Note make their own capacitors they chose tin over aluminium as it provides a slightly more fluid and detailed sound ». Condensateur neuf, old technology

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/ElectricFR.php>)



schoopage non poli 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.



9.2 Condensateurs testés ici et précautions à prendre



En haut les condensateurs de la boîte à RIP de Bernique (condensateurs Solex & cyclo), en bas un condensateur céramique (tout petit pour la même capacité/tension) $0,22\mu\text{F}$ / 630V et un MKA (film polypropylène) $0,22\mu\text{F}$ / 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 trop compter sur les propriétés d'autocicatrisation, elles existent bien, mais sont parfois limitées.

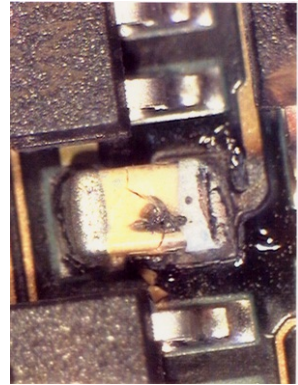
On voit parfois des condensateurs entrés au chausse-pied dans le boîtier métallique d'un ancien condensateur papier, pas de problème tant que ça rentre et que le condensateur le supporte. « Pour bien faire », le boîtier est rempli par de l'époxy ou du polyester. De nos jours, certains mettent des condensateurs 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 fait, et ne semble 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 durcissent plus tard. Quelques croisements plus tard (quelques années en fait) la résine finit par très bien durcir. Le coefficient de dilatation de la résine est de l'ordre de : $\text{CTE} = 200 \text{ ppm}$ (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 ont 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 certainement 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.



conséquences ultimes de fissures sur capas céramiques



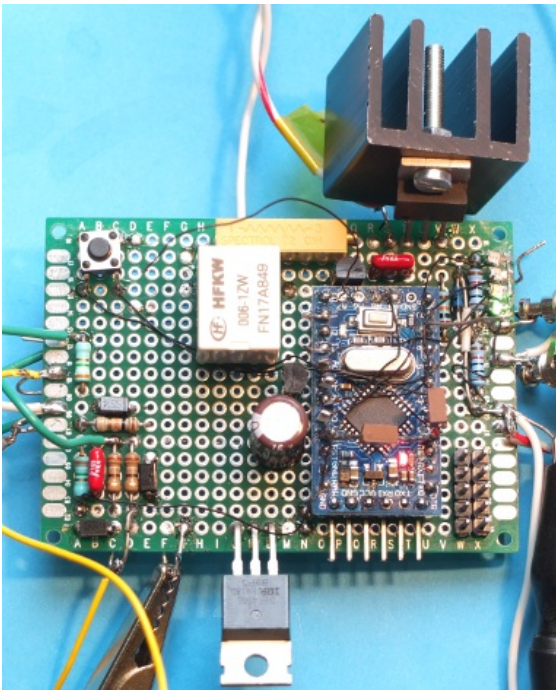
10 Graduations du galvanomètre



approx taille réelle

échelle supérieure = valeur du condensateur
échelle bleue = valeur résistance série (ESR)
échelle de couleurs = résistance de fuite (parallèle)

11 Le proto du capacimètre



le proto, câblé à la main, avec l'arduino en piggyback (circuit imprimé bleu)

la source HT 350V, avant élimination des éléments inutiles

