

Un nuage de fumée dans le laboratoire de mesure, cela ne décourage pas un radioamateur ; dépannage d'un oscilloscope TEK 2465BCT

Introduction :

Il arrive parfois, au cours la mise au point d'un montage électronique, de voir partir en fumée un composant d'une carte électronique. Cela fait parfois partie du procédé d'expérimentation sur une électronique : essais et erreurs. Mais lorsqu'un OM se retrouve en situation de pleine concentration sur une électronique, qu'il constate la présence d'un nuage de fumée dans le laboratoire et que cette fumée ne provient pas du montage qu'il expérimente, cela peut devenir une situation stressante pour déterminer sans délai l'origine du départ de fumée. Cette situation demande à l'OM une réaction rapide et adaptée : couper immédiatement l'alimentation principale de l'appareil d'où provient la fumée.

Vécu et partage d'expérience :

C'est au cours de mesures effectuées sur une carte d'alimentation d'un générateur de signaux radiofréquence (HP 8662A), et après avoir mis hors tension cet appareil que l'oscilloscope (TEK 2465BCT) ayant servi aux mesures est parti en fumée quelques secondes plus tard après l'extinction de l'alimentation du générateur HP (!!!).

Le réflexe a été de retirer immédiatement le cordon secteur directement à la face arrière de l'oscilloscope sans vouloir chercher à manœuvrer l'interrupteur principal d'alimentation de celui-ci.

Pourquoi de la fumée ? « J'ai été attentif et je n'ai fait aucune fausse manœuvre » !

En effet, des signaux ont été correctement affichés par l'oscilloscope ; l'étage d'entrée de l'amplificateur vertical n'était pas saturé ; les connexions de masse des sondes étaient bien raccordées au châssis de l'appareil sous test ; les sondes n'étaient pas raccordées à une ligne de potentiel du primaire de l'alimentation (et donc non pas sur une ligne du secteur de distribution d'énergie électrique) ; l'appareil sous test venait d'être mis hors tension et les sondes de l'oscilloscope avaient été déconnectées.

C'est le dégagement subit de fumée seulement quelques secondes après la dernière mesure effectuée sur l'oscilloscope qui nous a semblé déconcertant : y aurait-il une relation de cause à effet ?

Restons « ZEN » :

N'ayons aucune crainte de rentrer dans l'électronique d'un appareil de mesure qui a été conçu et mis sur le marché il y a 30 ans d'ici : il s'agit encore à cette époque de « belles électroniques » (selon le langage populaire) qui sont constituées de composants traditionnels (et non pas à montage de surface) ; il s'agit donc d'appareils que les OM's peuvent encore dépanner sans ordinateur ni logiciel qui serait la propriété exclusive du constructeur. Il suffit de disposer d'un fer à souder (à braser) et d'une bonne station de dessoudage automatisée avec une pompe à vide.

À cette époque (dans les années '80), les constructeurs mettaient encore à la disposition des utilisateurs non seulement un manuel opérateur mais aussi un manuel de service reprenant tous les schémas de l'appareil de mesure, une liste des pièces de remplacement et une littérature abondante reprenant un guide de dépannage, des valeurs de tension à contrôler, des oscillogrammes de signaux à vérifier, et enfin toute une procédure d'alignement de l'appareil de mesure après dépannage ou en cours de maintenance ou encore dans le but d'un calibrage.

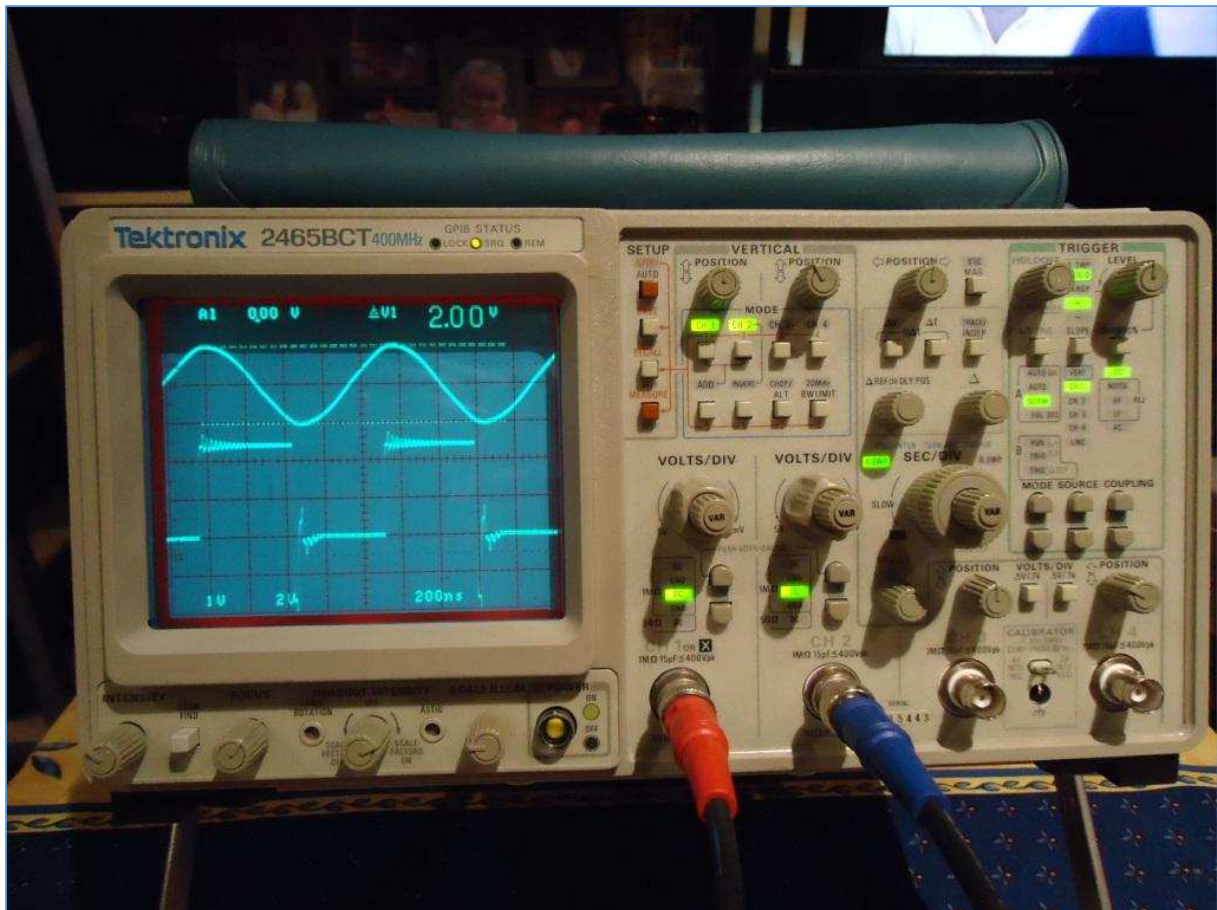


Fig. 1 : Oscilloscope analogique avec fonctions d'affichage numérique, modèle Tektronix TEK 2465BCT (quatre traces, bande passante 400 MHz). Date de fabrication : 13 Mars 1989. Oscilloscope ayant très peu servi (appareil « Low Hour »). Cet appareil a subitement dégagé un nuage de fumée ; l'origine de la panne est explicitée dans cet article. Photo : ON4IJ.

Plus de peur que de mal :

Après démontage des éléments constitutifs de l'oscilloscope TEK 2465BCT et dépose des cartes électroniques, nous avons procédé à une inspection visuelle des composants. Au long de cette inspection, notre nez a été un organe sensoriel précieux pour détecter la localisation d'un composant à l'odeur de brûlé. Après peu de temps, nous avons réussi à localiser un composant décoloré et déformé par l'amorce d'un arc électrique. Il s'agit d'un condensateur du type film dans le circuit du filtre de ligne secteur sur le primaire de l'alimentation à découpage de l'oscilloscope.



Fig. 2 : Carte électronique A2A1 (*Regulator Board*) d'un oscilloscope TEK 2465BCT. En bas à gauche de la carte (entouré en rouge), un condensateur film étant défectueux et ayant dégagé un nuage de fumée. Photo : ON4IJ.



Fig. 3 : Condensateur défectueux du type film. On peut observer des macro-fissures sur le revêtement en époxy transparent du composant. La face latérale à l'avant du condensateur est complètement déformée par l'amorce d'un arc électrique entre électrodes. Des vapeurs d'agents chimiques et plastiques se sont condensés à la surface du circuit imprimé. Photo : ON4IJ.



Fig. 4 : Condensateur défectueux du type film. On peut observer sur cette figure les dégâts provoqués par l'amorce du court-circuit entre les électrodes ; l'isolant est complètement carbonisé. Photo : ON4IJ.

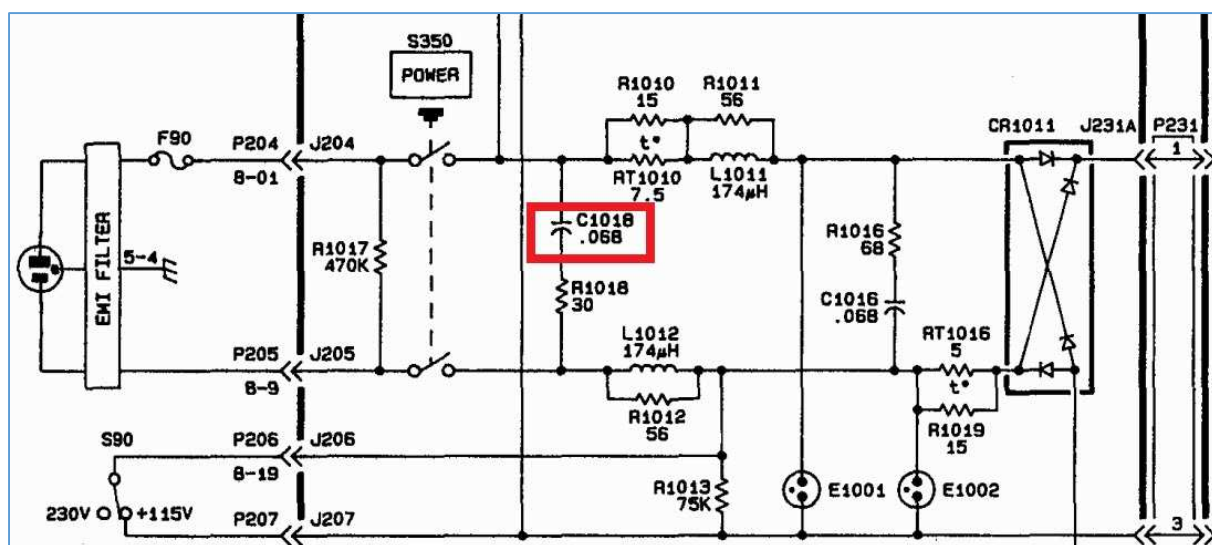


Fig. 5 : Condensateur film défectueux dans le circuit de filtrage du primaire de l'alimentation d'un oscilloscope TEK 2465BCT. Ce condensateur est de Classe X (entre les deux phases du réseau électrique 50 Hz). Source : manuel de service 070-6863-00 Rev. OCT 1988 Tektronix 2465B.

Dommages collatéraux ?

Après analyse du schéma, on constate que le condensateur défectueux est placé en série avec une résistance de 30 Ω . Celle-ci a pu avoir l'effet d'exercer une limitation du courant de court-circuit et a pu éventuellement servir d'élément fusible. Il est à noter que le fusible principal (F90) n'est pas défectueux : le courant de court-circuit n'a donc pas dû excéder la valeur du calibre de ce fusible. Un contrôle de la résistance de 30 Ω a été effectué et la valeur mesurée de celle-ci est de 31 Ω , ce qui est acceptable. Toutefois, cette résistance a dû subir un certain stress et sera donc remplacée préventivement.

L'opportunité d'effectuer la rénovation d'un appareil de mesure lors d'un dépannage (refurbishing ou revamping) :

Dans ce partage d'expérience, nous allons non seulement décrire une maintenance curative mais aussi une maintenance prédictive de l'appareil de mesure.

Pour information, cet oscilloscope TEK 2465BCT a été fabriqué le 13 Mars 1989 (estampille par cachet dateur sur une tôle en aluminium à l'intérieur du châssis). Cet oscilloscope a été acheté en seconde main en 2011 auprès d'une société réputée pour son sérieux légendaire aux USA. L'oscilloscope a été très peu utilisé (*Low Hour*) ; pour s'en convaincre, il suffit d'activer la fonction d'affichage du nombre d'heures d'utilisation sur cet oscilloscope (voir le manuel pour les détails). C'est entre autres ce qui a motivé notre choix d'achat de cet appareil : le tube cathodique de l'oscilloscope est donc de toute première fraîcheur et ne risque pas d'être en manque de luminosité ni d'accuser une potentielle altération de la netteté d'affichage des traces (focus).

Après observation de toutes les cartes électroniques constituant l'appareil de mesure, notre expérience nous guide à repérer tous les condensateurs similaires à celui qui est défectueux et aussi à identifier tous les condensateurs du type électrolytique sur les cartes électroniques constituant l'alimentation. Tous ces condensateurs potentiellement vieillis seront préventivement remplacés. En effet, lorsque l'appareil de mesure est désassemblé, les cartes électroniques déposées sont à disposition sur le banc de travail (paillasse) pour être manipulées librement. En d'autres mots, une fois qu'un appareil est démonté, avant d'effectuer les opérations de remontage, c'est l'occasion d'intervenir sur les cartes électroniques.

Remarque :

Vous pouvez estimer remplacer d'autres composants qui puissent être potentiellement vieillis. Parfois, il semble être judicieux de remplacer certains condensateurs au tantale du type goutte ou d'autres composants passifs. Cela reste à votre discrétion et à votre propre expérience. S'il s'agit d'un appareil de mesure précieux pour vous et que vous devez pouvoir l'utiliser en tout temps sans faille pendant des années, il est libre à vous d'estimer les facteurs de risque de défectuosité potentielle de certains composants critiques et donc d'agir en connaissance de cause. Cela reste une question de choix. Toutefois, le risque nul fait peu partie de ce monde mais il vous sera loisible d'établir un plan de maintenance de votre appareil de mesure pour le long terme en ayant analysé les types de risque que vous aurez pu identifier.



Fig. 6 : Carte électronique A2A3 « Inverter » d'un oscilloscope TEK 2465BCT. Quelques condensateurs du type film à revêtement époxy transparent ont été repérés. Cette carte électronique est équipée de plusieurs condensateurs électrolytique pouvant être potentiellement vieillis. Photo : ON4IJ.

Un grand classique ; des condensateurs vieillis :

Après 30 ans, il faut s'attendre à ce que des composants sensibles au vieillissement deviennent potentiellement défectueux tôt ou tard. On peut penser de prime abord aux condensateurs électrolytiques de filtrage des alimentations, condensateurs dont l'électrolyte s'est évaporé avec l'outrage du temps (condensateurs devenus « secs »), mais il ne faut pas négliger certains condensateurs du type film qui sont issus des technologies de fabrication de cette époque.

Il y a entre autres des condensateurs placés dans le circuit de filtrage secteur ou d'autres circuits de l'électronique qui sont du type film et qui sont enrobés d'une résine époxy transparente qui se révèle elle-même instable dans le temps à long terme. Cette résine vient à se craqueler avec des macro-fissures, ce qui a pour effet d'exercer des contraintes mécaniques sur les électrodes du condensateur. En outre, les fissures laissent passer l'oxygène de l'air ambiant, ce qui a pour conséquence à terme d'oxyder les électrodes du condensateur. Les cristaux d'oxyde ainsi formés contribuent aussi à une déformation géométrique des abords des électrodes, ce qui a pour effet de déformer et de percer le mince film diélectrique du condensateur. Tôt ou tard, c'est le court-circuit assuré par amorçage d'un arc électrique. Autant savoir.

Nous avons de la chance à notre époque de disposer de composants électroniques dont la qualité s'est considérablement améliorée sur quelques décennies d'expériences des fabricants. Ces composants ont une meilleure longévité et les constructeurs ont pu retirer bien des enseignements sur la durabilité et la robustesse de certains types de composants.

Remplacement des condensateurs du type film pour filtre secteur :

Les condensateurs du type « Classe X » et « Classe Y », qu'est-ce que c'est ?

Il s'agit de condensateurs qui sont situés dans un circuit directement raccordé aux lignes du secteur de distribution d'énergie électrique par lequel votre appareil électronique est alimenté. C'est à cet endroit que se situent les risques majeurs au point de vue de la sécurité électrique, non seulement pour l'appareil électronique en lui-même (risques de départ de feu), mais aussi pour votre propre sécurité en ce qui concerne les chocs électriques (risques d'être électrisé ou d'être électrocuté).

Les condensateurs du type X sont placés directement entre les deux phases du réseau électrique ou bien entre la phase et le neutre de ce réseau selon la configuration de celui-ci.

Les condensateurs du type Y sont placés entre une des phases (ou neutre) du réseau électrique et le conducteur de protection électrique (PE ou « terre ») de l'appareil électronique.

Pour mieux comprendre tout l'enjeu des aspects de la sécurité d'un réseau de distribution d'énergie électrique, il s'agit en premier lieu de bien identifier le type de réseau électrique qui alimente votre laboratoire et d'en déduire les dispositifs de protection électrique y afférent.

Il existe plusieurs types de réseaux électriques ; ceux-ci sont décrits dans le cahier technique Schneider Electric n° 172 (il existe une version en anglais et une en français) reprenant les différents schémas des SLT (Schémas de Liaison à la Terre). Parmi ces schémas de liaison à la terre, le type TT est à examiner de plus près car il s'agit de celui qui alimente votre laboratoire, si toutefois celui-ci est situé en Europe. (Aux USA, il s'agit probablement, selon l'état ou le comté dans lequel vous vous situez, d'un réseau TN avec la possibilité des variantes TN-C, TN-S ou TN-CS).

Pourquoi des condensateurs « Classe X » ou « Classe Y » ?

Ces types de condensateurs ont fait l'objet de nombreuses recherches scientifiques auprès des organismes de sécurité, des fabricants de composants électroniques, des constructeurs d'appareils électroniques et auprès des organismes ayant rédigé le RGIE (Règlement Général des Installations Électriques) ou les normes de sécurité électrique.

En pratique, X ou Y ou « rien » ?

Les condensateurs de classe X ou Y peuvent présenter un courant de défaut lorsque ceux-ci sont soumis à des surtensions sur le réseau de distribution d'énergie électrique. Celles-ci peuvent survenir en cas d'à-coups de charge sur le réseau de distribution électrique ou bien en cas d'orages.

C'est le type comportement électrique d'un condensateur en cas de défectuosité de celui-ci qui détermine sa classe X ou Y.

Un condensateur de classe X se comporte comme un court-circuit en cas de défectuosité et doit donc agir sur un dispositif de protection contre les courts-circuits (DPCC) de l'appareil électronique : fusible situé en amont du primaire de l'alimentation. La survenance du claquage d'un fusible limite dans le temps l'établissement d'un courant de court-circuit et limite donc l'énergie dissipée dans le composant devenant défectueux et pouvant ainsi présenter le risque d'un départ de feu.

Un condensateur de classe Y se comporte comme un circuit ouvert en cas de défectuosité et évite ainsi de porter le potentiel de la masse de l'appareil électronique (châssis) à un potentiel dangereux par rapport à la terre (en cas d'absence ou de rupture du conducteur de protection électrique ou bien en cas de valeur excessive de la résistance de la prise de terre du laboratoire). Cela évite ainsi à l'utilisateur le risque de choc électrique.

Quel type de condensateur film faut-il choisir en cas de dépannage ?

Il existe plusieurs types de condensateurs film. Sans être exhaustif, on peut retenir les types suivants : polyester ou polyéthylène téréphtalate (PET) Mylar, téflon (PTFE), polystyrène (Stirolflex), polypropylène, polycarbonate, MKP, MKT, MKS, etc. Chaque type de condensateur film est caractérisé par une liste d'avantages et d'inconvénients. On ne peut pas obtenir tous les avantages en même temps.

Les condensateurs film font l'objet d'une science à part entière et nous invitons le lecteur à se documenter sur ce vaste sujet.

Dans le cas de notre application sur les cartes électroniques d'alimentation d'un oscilloscope, nous avons retenu, par choix, des condensateurs film du type polypropylène. Ces condensateurs n'offrent pas une tolérance serrée au point de vue de leur valeur de capacité (ce qui n'est pas nécessaire pour des condensateurs de découplage), en revanche, ceux-ci sont très robustes au point de vue des pointes de courant et sont très efficaces dans des applications de découplage. Enfin, ces condensateurs se révèlent être particulièrement fiables et sont donc réputés pour leur longévité. Parmi ces condensateurs, vous pourrez plus facilement trouver (composants disponibles chez vos fournisseurs favoris) des modèles dont l'espacement entre les fils (*Pin Pitch*) correspond à celui des condensateurs d'origine ; parfois, cela peut aider dans les arguments de choix. Dans une application radioamateur, on peut parfois se permettre de s'écarter des normes en vigueur pour des condensateurs de sécurité (X ou Y). Il s'agit d'une question de choix et celui-ci n'est pas imposé de notre part. C'est à vous d'agir en connaissance de cause.

Quel type de condensateur électrolytique faut-il choisir en cas de dépannage ?

ATTENTION ! Tous les condensateurs électrolytiques ne se ressemblent pas et il y a lieu d'effectuer un choix judicieux en cas de dépannage d'un appareil électronique.

Si vous devez remplacer des condensateurs électrolytiques pour le circuit de filtrage d'une alimentation traditionnelle avec transformateur 50 Hz, alors vous pouvez choisir n'importe quel condensateur à usage général (*General Purpose Capacitor*).

Si vous devez intervenir sur une carte électronique d'une alimentation à découpage, alors il y a lieu de sélectionner des condensateurs spécifiques qui sont prévus pour ce type d'application (c'est incontournable !). Vous devrez donc opter pour le choix de condensateurs « *Low ESR* » (faible résistance série équivalente), ou « *Low Z* » (faible impédance). Ces condensateurs sont parfois répertoriés sous l'appellation « *Low Impedance for Switching Power Supplies* ».

Pour faire simple, un condensateur de filtrage, pour une alimentation à découpage, doit emmagasiner une certaine quantité d'énergie lors de la charge de celui-ci et la restituer lors de sa décharge, tout cela avec des pics en courant de valeurs relativement élevées (*Ripple Current*). La cadence élevée de la répétition des pics de courant dans une alimentation à découpage contribuent à dissiper une grande quantité d'énergie par unité de temps, autrement dit une grande puissance de dissipation en fonction des pertes intrinsèques du condensateur (angle de perte, tangente Delta, ESR, impédance, etc.). C'est la raison pour laquelle les constructeurs fabriquent ce type de condensateurs spécifiques pour les alimentations à découpage. Certes, le prix de tels composants est plus élevé, mais cela se justifie par leurs performances exceptionnelles pour des applications de filtrage à des fréquences nettement supérieures à 50 Hz (parfois de l'ordre de plusieurs centaines de kHz).

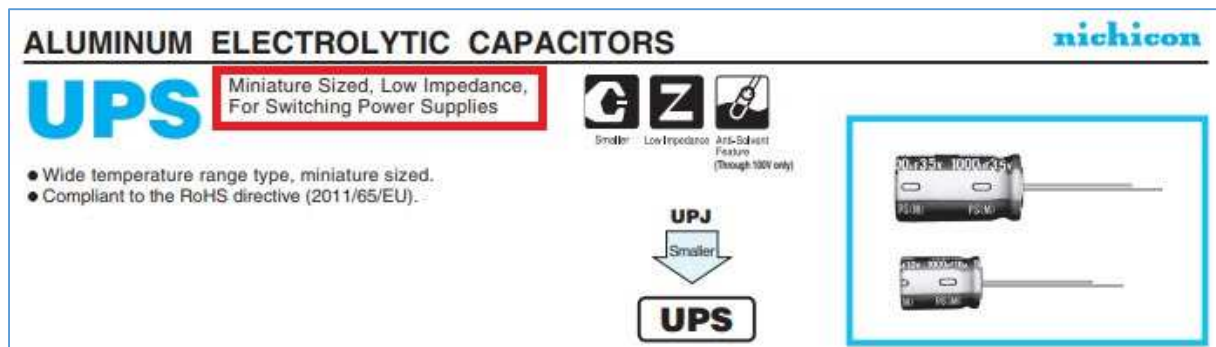


Fig. 7 : Exemple d'appellation de condensateurs électrolytiques pour applications spécifiques prévues pour des alimentations à découpage. Source : Nichicon Corporation, Japon.

L'exemple illustré ci-dessus figure parmi la même lignée du type de condensateurs « *Low ESR* » ou « *Low Impedance* ». Il s'agit d'un exemple parmi d'autres (UPW, UPM, etc) d'un fabricant (Nichicon). Il existe d'autres fabricants qui proposent dans leurs gammes de produits des composants équivalents (Panasonic, Epcos TDK, Cornell Dubilier, Kemet, etc.).

Dans le cadre de découplages ou filtrages d'une alimentation, si vous ne trouvez pas les composants d'une certaine valeur capacité, optez pour la valeur standard immédiatement supérieure (par ex. 270 μF à la place de 250 μF) ; il en est de même pour la tension maximale de service (par ex. 160 V à la place de 100 V).

Cas particulier des condensateurs électrolytiques non polarisés :

Sur la carte A2A1 de régulation de l'oscilloscope, on y trouve trois condensateurs électrolytiques non polarisés de 1 μF 50 V. Ceux-ci ont été remplacés par des condensateurs du type film Wima MKS 02 au polyester (PET). Ces condensateurs sont moins sujet au vieillissement et ont des meilleures performances au point de vue angle de perte ($\text{tg } \delta$).

Quelques conseils :

Lorsque vous serez occupé à déterminer les composants électroniques pour une maintenance ou rénovation de votre appareil de mesure, veiller à sélectionner judicieusement les critères de choix des composants, entre autres l'espacement des fils (*pitch*), l'encombrement du composant (diamètre, largeur, hauteur, longueur, etc.).

Après de votre fournisseur favori de composants électroniques, consultez la disponibilité des composants proposés selon vos critères de choix ; privilégiez les modèles disponibles de stock et livrables immédiatement. Il vaut mieux parfois se contenter d'un composant de qualité acceptable à la place d'un composant « de rêve » dont la disponibilité est indéterminée ou reléguée à plusieurs semaines ou mois de délais. Enfin, faites l'effort de regrouper vos commandes afin de bénéficier d'un transport gratuit (cette possibilité existe à partir d'un certain montant de commande auprès de grands fournisseurs réputés).

Avant- Après :

Voici ci-dessous quelques illustrations des composants remplacés et des cartes électroniques après dépannage ; vous pouvez comparer les illustrations suivantes par rapport aux figures précédentes 2 et 6.



Fig. 8 : Approvisionnement des composants électroniques neufs (Mouser Electronics). Photo : ON4IJ.



Fig. 9 : Composants électroniques vieillis ayant été remplacés. En bas à droite, le condensateur défectueux. Photo : ON4IJ.



Fig. 10 : Carte électronique A2A1 après remplacement des composants (comparer avec figure 2).
Photo : ON4IJ.



Fig. 11 : Carte électronique A2A3 après remplacement des composants (comparer avec figure 6).
Photo : ON4IJ.

Nettoyage des cartes électroniques avant remontage dans l'appareil de mesure :

Après avoir remplacé les composants sur les cartes électroniques, il y a lieu de procéder à un nettoyage de celles-ci, en particulier si vous utilisez un métal d'apport de soudure (brasure) avec un flux du type résineux (colophane). Le solvant idéal pour le nettoyage des traces d'un flux résineux est l'alcool isopropylique [isopropanol ou propan-2-ol $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{-CH}_3$]. Ce solvant n'altère pas les composés plastiques ni le revêtement des composants électroniques. Si toutefois, vous utilisez un métal d'apport avec flux aqueux (flux « *No Clean* »), alors vous pouvez soit être dispensé d'un nettoyage soit d'utiliser de l'eau (H_2O) comme solvant pour le nettoyage des cartes électroniques. Dans ce cas, il est recommandé de faire suivre le nettoyage par un deuxième bain avec de l'alcool isopropylique car celle-ci a des propriétés hygroscopiques (résorbe les traces d'eau).

Enfin, il est conseillé de sécher les cartes électroniques au moyen d'un jet d'air. Un groupe d'air comprimé et une « soufflette » manuelle peut vous être utile pour cette tâche, toutefois, veillez à écarter le bec de la soufflette d'un ou deux décimètres de la surface de la carte électronique afin d'éviter la rupture du revêtement de surface ou la destruction de certains composants électroniques à cause d'une pression excessive du jet d'air.

Une électronique doit rester propre, en particulier pour des circuits radiofréquence. En outre, des traces de flux résineux sur les soudures d'une carte électronique peuvent contenir des résidus chlorés qui peuvent devenir agressifs à long terme sur les joints de soudure entre les composants électroniques et leurs plages d'accueil sur les pistes du circuit imprimé.

Le nettoyage s'effectue par immersion complète de la carte électronique dans le solvant contenu dans un bac en plastique de récupération. Il est conseillé d'utiliser un pinceau que l'on promène de long en large sur les deux surfaces de la carte électronique (côté soudures et côté composants). Vous obtiendrez ainsi une carte électronique propre, exempte de résidus de flux de soudure et totalement libérée de toutes poussières.

Si la carte électronique est équipée d'un interrupteur qui n'est pas du modèle hermétique, il vaut mieux dessouder celui-ci avant le nettoyage de la carte. L'interrupteur est soudé à nouveau sur la carte après nettoyage par immersion. Les soudures de l'interrupteur sont nettoyées avec le coin d'un chiffon imbibé de solvant.

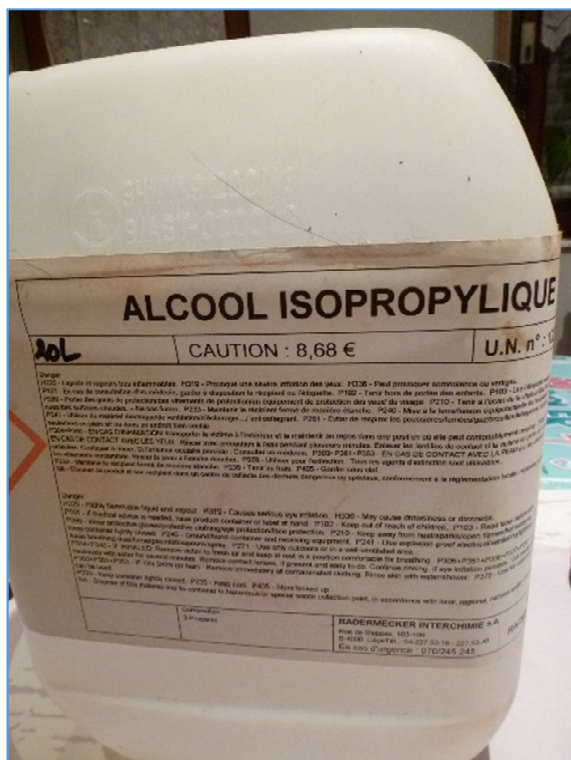


Fig. 12 : Conteneur d'alcool isopropylique, solvant pouvant servir au nettoyage des cartes électroniques après soudures avec un flux résineux. Photo : ON4IJ.

Remontage de l'appareil :



Fig. 13 : Assemblage des deux cartes électroniques du bloc d'alimentation (vu côté A2A1). Photo : ON4IJ.

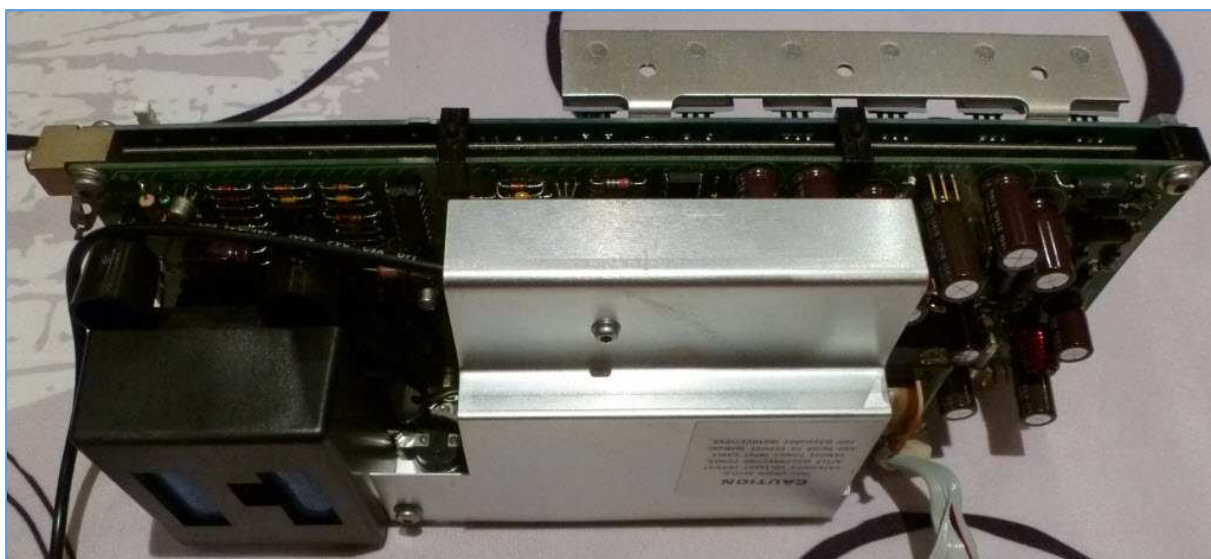


Fig. 14 : Idem figure précédente (vu côté A2A3). Photo : ON4IJ.

Attention lors du réassemblage des deux cartes : des peignes de pins de connexions doivent bien être enfichés à fond. Il y a lieu de vérifier que le dos des peignes soient au raz des alvéoles de connexion. En effet, les peignes ont tendance à ressortir lors de l'enfichage. Il suffit de repousser le peigne à fond en poussant délicatement sur le dos de celui-ci.

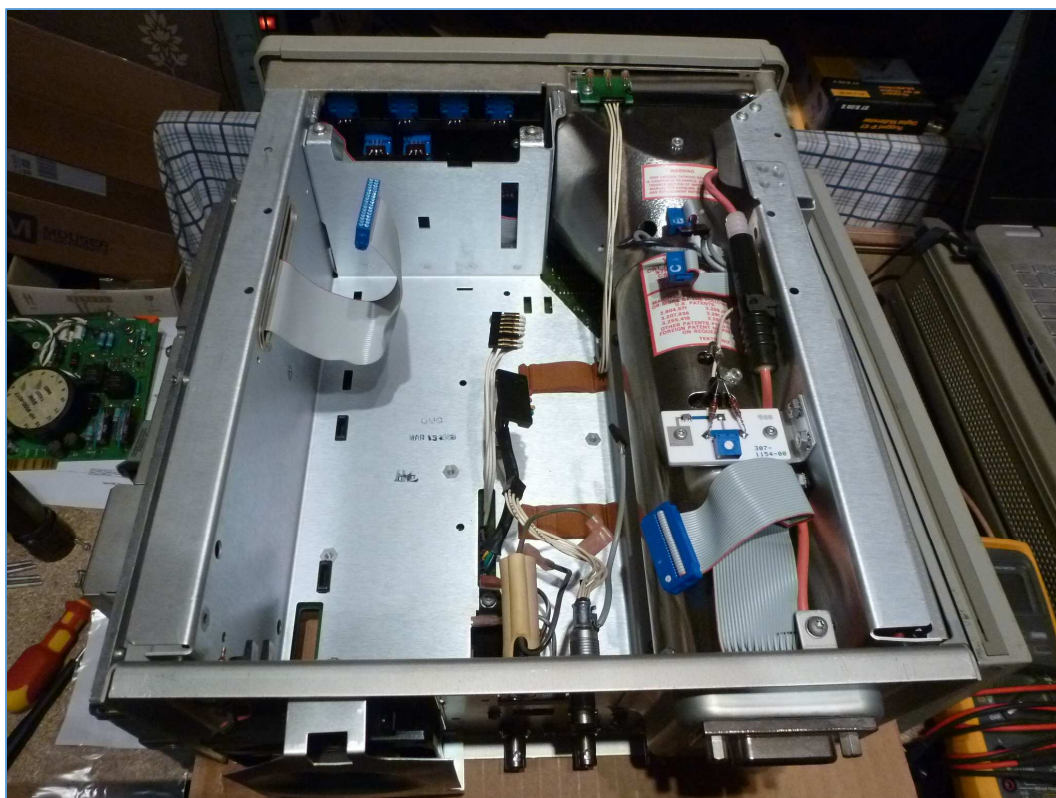


Fig. 15 : Partie supérieure de l'oscilloscope TEK 2465BCT prête à accueillir le bloc d'alimentation et les autres cartes électroniques qui ont été déposées lors du démontage pour le dépannage. Photo : ON4IJ.

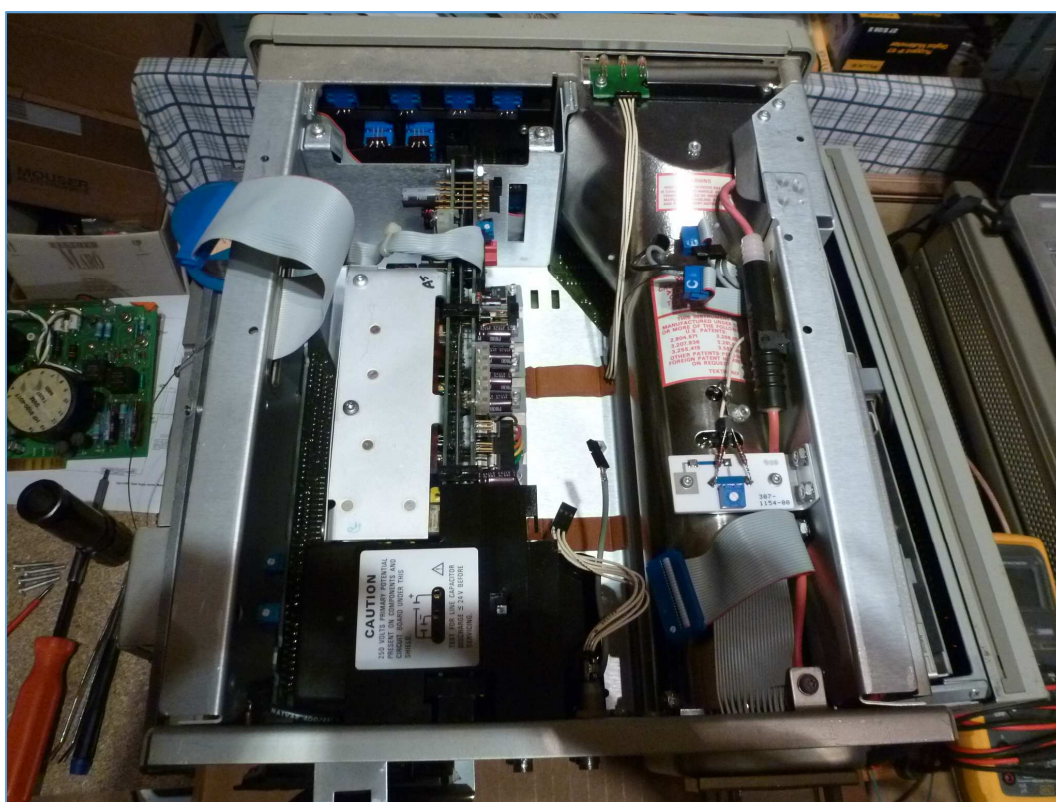


Fig. 16 : Bloc d'alimentation remplacé dans la partie supérieure de l'oscilloscope. De nombreuses nappes de connexions (câbles plats) devront être reconnectées à la partie de l'électronique du châssis supérieur qui vient s'enclaver dans la partie supérieure de l'oscilloscope. Photo : ON4IJ.

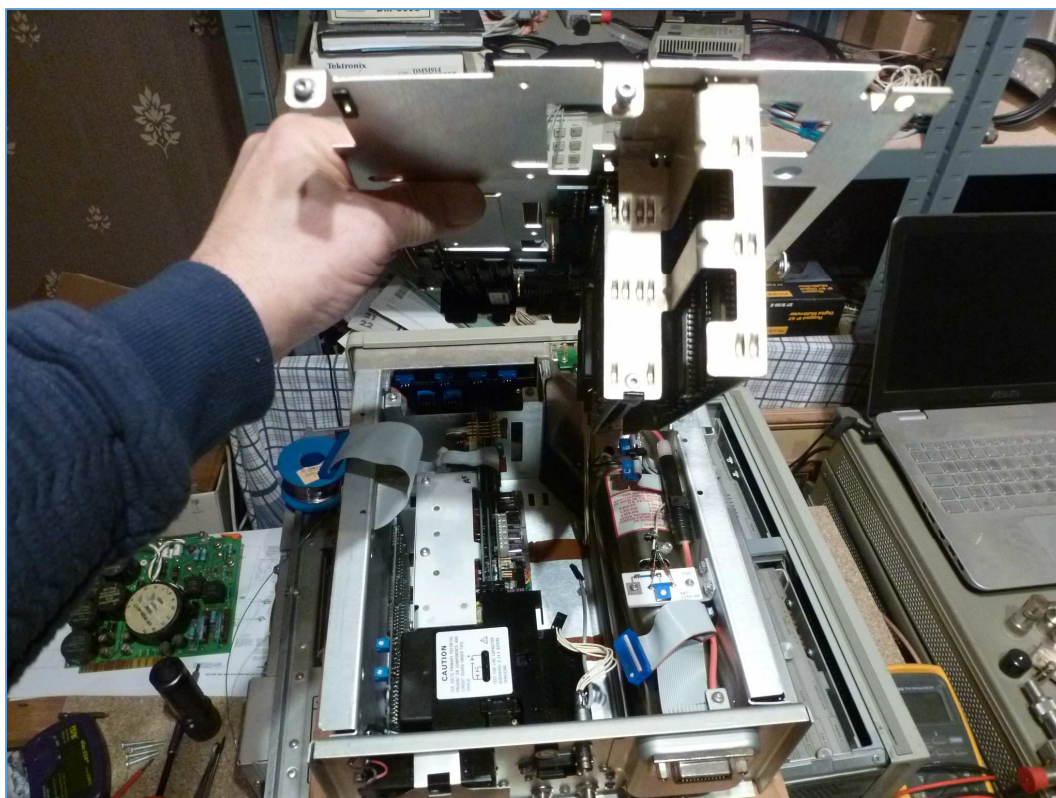


Fig. 17 : Châssis électronique supérieur prêt à être enclavé dans la partie supérieure de l'oscilloscope. Toutes les nappes de câble doivent être reconnectées avant de repositionner le châssis électronique. Cela demande de la patience et une certaine dose de dextérité. Photo : ON4IJ.



Fig. 18 : Châssis électronique supérieur repositionné dans la partie supérieure de l'oscilloscope. Des peignes de connexions viennent s'enficher sur le bloc d'alimentation. L'opération de repositionnement est particulièrement délicate à effectuer ; patience et dextérité sont de mise. Photo : ON4IJ.



Fig. 19 : Oscilloscope TEK 2465BCT remis en service après dépannage. Le signal mesuré comporte une composante HF superposé au signal carré ; ne venez pas croire que la trace est floue sur le tube de l'oscilloscope. La mesure est effectuée sur une alimentation à découpage d'un générateur radiofréquence HP 8662A. Photo : ON4IJ.

Conclusions :

Ah, enfin, nous pouvons poursuivre le dépannage de l'alimentation à découpage de notre générateur radiofréquence HP 8662A car à présent, nous disposons d'un oscilloscope en parfait état de fonctionnement.

Le démontage et remontage de cet oscilloscope compact est délicat, mais cet appareil est léger et a des performances appréciables. Cela valait donc la peine de le dépanner avec le plus grand soin.

Le dépannage d'un appareil offre l'opportunité de le rénover et de remplacer des composants critiques qui sont vieillis et qui peuvent provoquer d'autres pannes à plus ou moins brève échéance.

Enfin, un radioamateur ne se décourage pas lorsqu'un de ses appareils de mesure part en fumée. Hi 3x.

Grâce à ce que nous avons appris au cours de nos expérimentations de radioamateur, nous pouvons relever le défi de dépanner un appareil de mesure.