

Les condensateurs au tantale

Les condensateurs au tantale sont les condensateurs électrolytiques les plus stables que l'on connaisse. Le tantale pur, un des éléments les plus rares de l'écorce terrestre, est un métal gris-argenté. Il fût découvert en 1802 par le chimiste Suédois Anders Gustav Ekeberg qui lui donna son nom générique, inspiré de celui de ce personnage de la mythologie grecque, célèbre par le supplice auquel il fut condamné par les dieux qu'il avait offensés : une faim et une soif dévorantes, impossibles à satisfaire.

Une situation qui devait, par analogie, suggérer à Ekeberg le nom de ce métal rare, dont la principale propriété est d'échapper précisément à la plupart des sollicitations du milieu ambiant.

Un métal quasi-inattaquable

Le tantale présente de nombreuses propriétés intéressantes. C'est ainsi qu'il ne se laisse pas altérer par la plupart des acides et résiste de façon exceptionnelle à un grand nombre d'agents chimiques au-dessous de 175°C. A cause de ces propriétés le tantale est très recherché en électronique moderne, pour la fabrication des équipements aérospatiaux, les implants chirurgicaux, les équipements de traitements chimiques résistants aux acides, etc...

Un film mince d'oxyde de tantale est extrêmement stable et possède d'excellentes propriétés diélectriques. En conséquence le tantale est idéal pour l'utilisation dans les condensateurs électrolytiques. Le condensateur électrolytique au tantale est devenu le type le plus apprécié pour les applications requérant impérativement une haute fiabilité et une longue utilisation.

Le tantale, naturellement, ne se trouve pas à l'état pur, mais est incorporé dans un certain nombre d'oxydes minéraux.

Le minerai de tantale se trouve fréquemment combiné au minerai de columbium sous forme de « tantalite », nom donné à ce minerai s'il contient au moins la moitié de tantale. A noter que columbium est le nom donné à ce métal-frère dans les alliages d'acier

haute température mais il est connu dans l'industrie chimique sous le nom de niobium.

Après extraction, le minerai est soumis à un procédé de traitement complexe et l'oxyde est réduit, à température élevée, à l'état de poudre de tantale. Des techniques métallurgiques spéciales transforment cette poudre en plaques, feuilles et fils pour la fabrication d'équipements aérospatiaux, de pièces pour réacteurs nucléaires et d'éléments de tubes à électrons.

Sprague utilise pour ses condensateurs le fil et la feuille de tantale, tous deux fabriqués à partir de la poudre, ainsi que des lingots de cette poudre pressée et agglomérée.

Caractéristiques des condensateurs au tantale

La plupart des métaux forment des oxydes cristallins qui ne sont pas protecteurs (la rouille sur le fer, l'oxyde de cuivre sur le cuivre et ses alliages). Quelques métaux forment des oxydes denses, stables, très adhérents et isolants. Ce sont les métaux appelés métaux redresseurs comme le titane, le zirconium, le niobium, le tantale, l'hafnium et l'aluminium. Seuls quelques-uns d'entre eux permettent un contrôle précis de l'épaisseur d'oxyde par des moyens électrochimiques ; les plus importants sont le tantale et l'aluminium.

Un condensateur électrolytique au tantale consiste en 2 surfaces conductrices, ou plaques, séparées par un matériau isolant. Cet isolant, ou diélectrique, est le pentoxyde de tantale que l'on retrouve dans tous les condensateurs électrolytiques au tantale. (Dans le condensateur feuille un séparateur en papier poreux est placé entre les feuilles qui forment les plaques mais il ne sert qu'à retenir la solution d'électrolyte et à empêcher les feuilles de se toucher).

Le pentoxyde de tantale est un composé à haut pouvoir diélectrique et constante diélectrique élevée. Un film de ce composé est formé sur les électrodes du condensateur au tantale par un procédé électrolytique. Ce film est transparent mais il prend des couleurs variées par réfraction de la lumière dans les couches de pentoxyde de tantale d'épaisseurs différentes qui se forment par suite des différentes tensions appliquées dans le procédé électrolytique d'anodisation. Cette coloration se produit sur les électrodes en tantale des 3 types de condensateurs tantale.

Les condensateurs tantale-« feuille » sont approximativement 1/3 de la taille des condensateurs électrolytiques aluminium. Le tableau I, qui donne la valeur de la constante diélectrique de quelques matériaux utilisés, permet d'en déduire la taille très approximative de divers types de condensateurs. A noter que le pentoxyde de tantale a une constante diélectrique de 26, à peu près 3 fois plus élevée que celle de l'oxyde d'aluminium ! Ceci, plus le fait que des films extrêmement minces peuvent être déposés par le procédé électrolytique mentionné ci-dessus, font que le nombre de microfarads

Tableau 1 : Comparaison des constantes des diélectriques de condensateurs.

DIELECTRIQUE	K (DIELECTRIQUE CONSTANTE)
Air ou vide	1.0
Papier	2.0 - 6.0
Plastique	2.1 - 6.0
Huile minérale	2.2 - 2.3
Huile siliconée	2.7 - 2.8
Quartz	3.8 - 4.4
Verre	4.8 - 8.0
Porcelaine	5.1 - 5.9
Mica	5.4 - 8.7
Huile Askarel (synthétique, non inflammable)	5.6 - 5.9
Oxyde d'aluminium	8.4
Pentoxyde de tantale	26
Céramique	12 - 400.000

d'un condensateur au tantale par rapport à son volume est très élevé.

La tension de service d'un condensateur au tantale est déterminée par l'épaisseur du diélectrique pentoxyde de tantale. La capacité est fonction de la surface et de l'épaisseur de ce diélectrique.

La capacité d'un condensateur est déterminée par la surface des 2 plaques conductrices, la distance entre les plaques et la constante diélectrique du matériau isolant entre les plaques. Dans les condensateurs électrolytiques au tantale, la distance entre les plaques est très faible puisque c'est l'épaisseur du film de pentoxyde de tantale. Comme nous l'avons déjà vu, la constante diélectrique du pentoxyde de tantale est élevée. Ainsi, en utilisant la formule suivante, on constate que la capacité d'un condensateur au tantale est élevée si la surface des plaques est grande :

$$C = \frac{\epsilon A}{t}$$

avec :
 C = capacité,
 ϵ = constante diélectrique,
 A = surface,
 t = épaisseur.

Dans les condensateurs tantale-« gélifié » à anode poreuse ou tantale-« feuille », l'électrolyte peut être une solution d'acide sulfurique ou de chlorure de lithium. L'électrolyte forme la plaque cathode (négative) du condensateur.

Dans les condensateurs au tantale à électrolyte solide, l'électrolyte est un matériau sec, le bioxyde de manganèse. Ce matériau solide conducteur constitue la cathode.

Le fil de sortie anode est formé de 2 parties : un fil de tantale encastré ou soudé dans le corps du condensateur et soudé de l'autre côté à un fil de nickel. Dans les types de condensateurs scellés hermétiquement, le fil de nickel passe par une rondelle de sortie ; à l'extérieur, le fil de nickel, ou nickel étamé, est soudé à cette rondelle. Dans les modèles encapsulés ou enrobés de plastique, le fil de nickel, qui est soudé au fil de tantale, passe à travers la couche externe de résine époxy ou à travers la masse d'époxy qui remplit la coque extérieure plastique. Les dessins ci-après montrent clairement les détails de structure des différents types de condensateurs au tantale les plus fréquemment utilisés.

Structure d'un condensateur au tantale

Les condensateurs tantale-« feuille » sont fabriqués en enroulant en spirale 2 feuilles étroites et minces sur elles-mêmes, séparées par un papier saturé d'électrolyte. La feuille de tantale qui sera l'anode est gravée chimiquement pour augmenter sa surface effective afin que la capacité soit plus grande pour un volume donné. Cette opération

est suivie d'une anodisation dans une solution chimique sous tension continue, qui formera le film diélectrique de pentoxyde de tantale sur la surface de la feuille.

Les condensateurs tantale-« feuille » peuvent être fabriqués pour des tensions de service, en courant continu, allant jusqu'à 300 volts et plus. Cependant, des 3 types de condensateurs électrolytiques au tantale, le tantale-« feuille » est celui qui a la plus faible

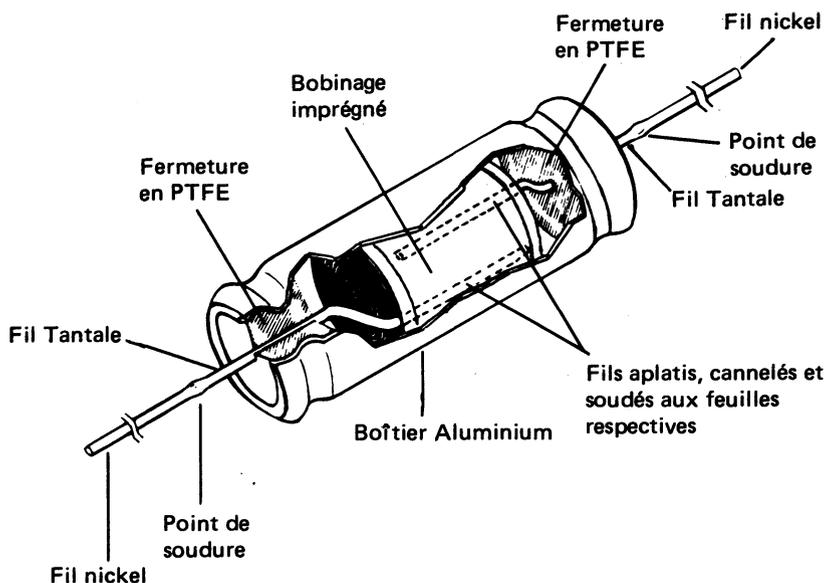


Fig. 1 : condensateur tantale « Feuille » type 110D 85°C. Tension de service : 3 à 150VCC. Capacité : 0.5 μ F à 1.300 μ F. Taille : Diamètre : 0.203" à 0.546". Longueur : 0.812" à 2.875". Principales Applications : équipements industriels et militaires nécessitant une petite taille, des caractéristiques électriques stables et une longue utilisation.

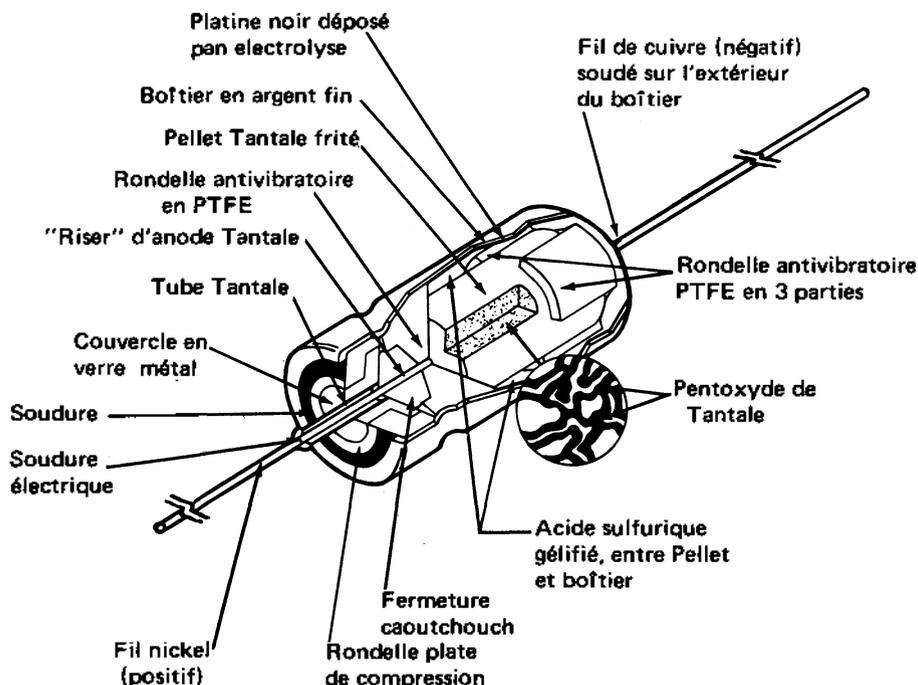


Fig. 2 : Condensateur à anode frittée et scellement hermétique. Type CT9, 138D et CLR 65 (norme Mil-C-39006). Tension de service : 6 à 125 VCC. Capacité : 1.7 μ F à 1.200 μ F. Dimensions : Diamètre : 188" à 375". Longueur : 453" à 1.062". Principales Applications : équipements industriels et militaires nécessitant une haute fiabilité et de grandes performances liées à un faible courant de fuite en courant continu, un grand appel de courant et un rendement volumétrique élevé.

capacité par rapport au volume; c'est aussi celui que l'on rencontre le moins souvent car il est mieux adapté aux hautes tensions que l'on trouve principalement dans les types d'équipements anciens et il nécessite plus d'opérations de fabrication que les 2 autres types de condensateurs au tantale. En conséquence, il est plus cher et n'est utilisé que dans les cas où ni un condensateur tantale-« solide », ni un condensateur tantale-« gélifié » ne peuvent être employés.

Les condensateurs tantale-« feuille » sont généralement conçus pour utilisation dans une gamme de température de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$. On les trouve principalement dans les équipements d'électronique militaires et industriels.

Les condensateurs tantale à anode frittée et électrolyte gélifié et les condensateurs tantale à anode frittée et électrolyte solide ont en commun un « pellet » en poudre de tantale frittée auquel est fixé un fil de sortie. Cette anode a

une vaste zone superficielle pour sa taille par suite de son mode de fabrication.

De la poudre de tantale d'une finesse appropriée, quelquefois mélangée à des agents liants, est pressée à la machine sous forme de « pellets ». L'étape suivante consiste en une opération de frittage dans laquelle liants, impuretés et agents de contamination sont vaporisés; les particules de tantale se trouvent agglomérées (soudées) en une masse poreuse présentant une vaste zone superficielle interne. Après le frittage et avant la formation du film diélectrique sur le « pellet », un fil de sortie en tantale est soudé au « pellet ». (Dans certains cas le fil est scellé pendant le pressage du « pellet », avant frittage).

Un film de pentoxyde de tantale est formé par électrochimie sur toute la surface des particules de tantale fondu. Avec suffisamment de temps et de courant, le film d'oxyde atteindra l'épaisseur déterminée par la tension appliquée. Le « pellet » est ensuite introduit dans un boîtier en tantale ou en argent contenant une solution d'électrolyte. La plupart des électrolytes liquides sont gélifiés pour éviter leur mouvement à l'intérieur du boîtier et les maintenir en contact étroit avec la cathode. Un scellement adéquat des extrémités empêchera toute perte d'électrolyte.

Les condensateurs tantale-gélifié sont fabriqués dans une gamme de valeurs allant jusqu'à 150 VCC.

Les condensateurs à anode frittée et électrolyte solide, sous leur forme originale à scellement hermétique, diffèrent du type précédent par leur électrolyte. Ici, l'électrolyte est du bioxyde de manganèse qui est formé sur la couche diélectrique du pentoxyde de tantale par imprégnation du « pellet » dans une solution de nitrate de manganèse. Puis le « pellet » est chauffé dans un four où le nitrate de manganèse est transformé en bioxyde de manganèse.

Le « pellet » est ensuite recouvert d'une couche de graphite puis d'une couche d'argent qui assure une surface soudable entre le « pellet » et le boîtier dans lequel il sera enfermé.

Le « pellet », après fixation du fil et de la rondelle de sortie, est inséré dans le boîtier où il est maintenu en place par soudure. Le couvercle du boîtier est également fixé par soudure.

Après assemblage, les condensateurs sont soumis à des tests et examens

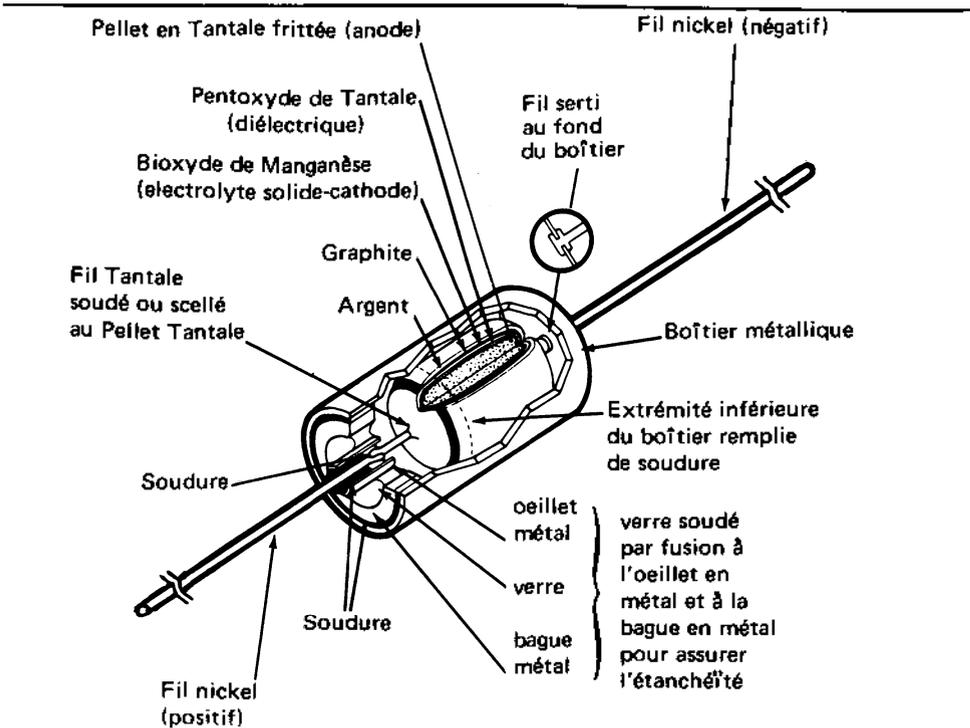


Fig. 3: Condensateur à électrolyte solide et scellement hermétique type CTS 13, 150D et CRS 13 (norme Mil-C-39003). Tension de service: 6 à 125Vcc. Capacité: 0.0047 μF à 1.000 μF . Dimensions: Diamètre: 125'' à 341''. Longueur: 250'' à 750''. Principales Applications: équipements industriels et militaires requérant fiabilité, faible courant de fuite, faible facteur de dissipation et stabilité dans le temps et en température.

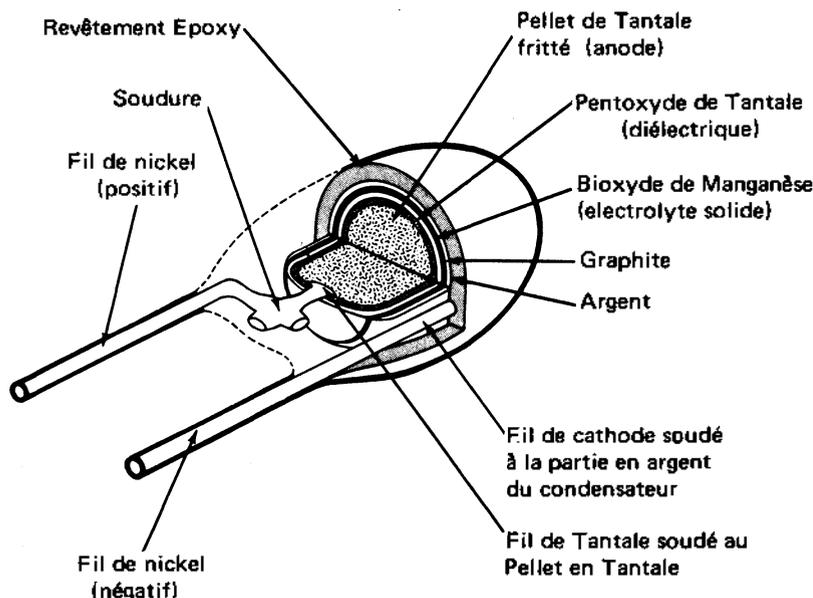


Fig. 4: Condensateur tantale à électrolyte solide en boîtier epoxy « trempés » type SD et 196D. Tension de service: 4 à 50 VCC. Capacité: 0.10 μF à 330 μF . Dimensions: Diamètre: 175'' à 400''. Longueur: 375'' à 750''. Principales Applications: cartes de circuits imprimés pour équipements grand public, commerciaux et industriels, ayant pour impératifs: bas prix, petite taille, grande stabilité, faible courant de fuite et faible facteur de dissipation.

Les condensateurs au tantale Sprague

Les condensateurs sont fabriqués à partir d'un métal réfractaire purifié à haute température (3 000°C) qui forme un oxyde dense, stable, très adhérent et isolant dont on peut contrôler précisément l'épaisseur par des moyens électrochimiques. La couche diélectrique obtenue durant l'opération de formation croît de 17 angstroms/Volt.

Sprague produit à Tours les deux types de condensateurs au tantale les plus répandus :
— à anode frittée et électrolyte gélifié,
— à anode frittée et électrolyte solide.

Il existe un autre type, les condensateurs tantale-«feuille» non fabriqués à l'usine de Tours et qui sont de moins en moins utilisés car surtout conçus pour les hautes tensions (jusqu'à 300v), donc moins adaptés à l'évolution de l'électronique.

L'anode frittée est comparable à une «éponge» de tantale. Il est possible de réaliser à partir de poudre de tantale un corps poreux dont la surface apparente peut être très grande pour un volume faible (1m²/cm³).

Pour une même capacité, un condensateur aluminium est, par exemple, 2 fois plus gros qu'un condensateur tantale à électrolyte solide et 4 fois plus gros qu'un tantale gélifié. Ce rapport est encore plus favorable si on le compare aux condensateurs monolithiques, céramique et à film plastique : respectivement de 5 à 70.

Les capacités des condensateurs tantale à électrolyte solide se situent dans la gamme 0,005 et 1000 mF.

Pour le tantale gélifié, la gamme se situe entre 1,5 et 2200 mF.

La tension de service d'un condensateur au tantale est déterminée par l'épaisseur du diélectrique (pentoxyde de tantale). Elle va de 0 à 125 V C.C. pour un tantale «solide», jusqu'à 150 V pour un tantale gélifié. Le bon fonctionnement sur une large gamme de température est une caractéristique très importante des condensateurs au tantale. Ainsi un tantale à électrolyte gélifié peut supporter des températures allant de -60°C à +200°C. Pour ces deux valeurs extrêmes, sa capacité varie de -30% à +20%. Un condensateur tantale solide supporte avec des variations de capacité de -8% à +12% des températures de -80°C à +125°C.

Cette grande stabilité du condensateur tantale en fonction de la température le rend indispensable dans les équipements industriels et militaires nécessitant une haute fiabilité et de grandes performances liées à un faible courant de fuite et à un rendement volumétrique élevé.

— Condensateurs « tantale à électrolyte solide »

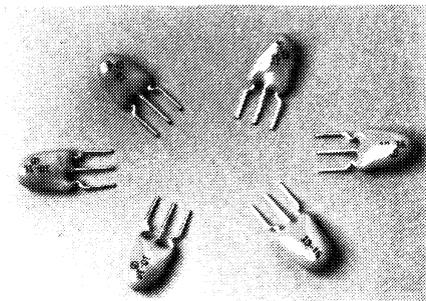
Ils sont constitués d'une anode poreuse frittée et oxydée (point positif). L'électrolyte est un bioxyde de manganèse obtenu par pyrolyse, la face externe de l'anode est imprégnée de carbone et couverte d'une couche d'époxy argent permettant le contact cathode (point négatif).

Ces condensateurs sont disponibles :

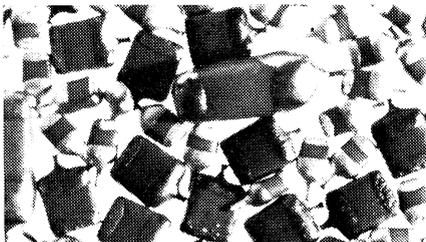
- en boîtiers métalliques,
- en boîtiers moulés par transfert,
- en boîtiers enrobés époxy,
- en chipsets



Condensateur tout tantale (anode et boîtier)
CT 79 pour applications spatiales et militaire.



Condensateur enrobé epoxy 299 D.



Condensateur «Chipse» CTC 2 pour utilisation sur circuits hybrides ou circuits imprimés.

Ces condensateurs sont surtout recherchés pour leur forte capacité par unité de volume, la grande stabilité de leurs caractéristiques en température et plus spécialement vers les basses températures. Ils supportent des tensions inverses jusqu'à 15% de leur tension nominale et peuvent être utilisés sans résistance série.

— Condensateurs « tantale à électrolyte gélifié »

Ils sont aussi constitués d'une anode poreuse frittée et oxydée, par contre l'électrolyte est une solution à base d'acide sulfurique, gélifié à l'aide de silice colloïdale.

Ces condensateurs sont fabriqués :

- en boîtiers argent
- en boîtiers tantale

Les condensateurs en boîtiers argent ne tolèrent aucune tension inverse. Aussi pour les applications militaires ou aérospatiales, les boîtiers argent sont remplacés par des boîtiers tantale : ces condensateurs peuvent alors supporter des tensions inverses jusqu'à 3V.

Les condensateurs à électrolyte gélifié fonctionnent sous des courants ondulés et des températures plus élevées que les condensateurs à électrolyte solide.

Le champion est, sans nul doute, le condensateur tout tantale pouvant être utilisé jusqu'à 200°C.

Ces condensateurs conviennent parfaitement pour les applications où une extrême fiabilité est nécessaire et offrent le meilleur rapport capacité/volume.

pour assurer leur fiabilité et leur longue durée d'utilisation.

Une autre variante du condensateur tantale à électrolyte solide prévoit un enrobage du corps du condensateur dans des résines plastiques telles que les matériaux époxy.

Ce modèle présente une excellente fiabilité et une grande stabilité en électronique grand public et commerciale ; de plus son prix est faible.

Certains types de condensateurs tantale-«solide», comme on les appelle communément, utilisent un film ou un manchon plastique comme boîtier ; d'autres utilisent une coque de métal remplie de résine époxy. Et, bien sûr, il existe aussi des petits boîtiers en plastique moulé tubulaires et rectangulaires.

Dans son choix entre les 3 types de base de condensateurs au tantale, le concepteur de circuits utilise généralement les condensateurs tantale-feuille uniquement dans le cas où des hautes tensions sont requises ou bien lorsque d'importantes tensions inverses sont appliquées au cours du fonctionnement du circuit.

Les condensateurs tantale à « anode frittée » et électrolyte gélifié, ou condensateurs tantale « gélifié » comme on les appelle parfois, sont utilisés lorsque le courant de fuite doit être le plus faible possible. Le type conventionnel en boîtier argent ne tolère aucune tension inverse. Aussi, pour les applications militaires ou aérospatiales, les boîtiers argent sont remplacés par des boîtiers tantale dans les cas où l'on recherche une extrême fiabilité.

Les condensateurs tantale « gélifié » en boîtier tantale peuvent supporter des tensions inverses jusqu'à 3 volts ; ils fonctionnent sous des courants ondulés plus élevés et peuvent être utilisés à des températures allant jusqu'à 175°C.

Les condensateurs tantale-«solide» sont les moins chers à valeur égale ; ils sont utilisés dans de nombreuses applications où leur très petite taille pour une capacité donnée est très appréciée. Ils peuvent supporter, en tension inverse, jusqu'à 15% de la tension de service en courant continu. Leurs bonnes performances à basse température et le fait qu'ils ne comportent pas d'électrolyte corrosif sont aussi des qualités importantes.

Sprague Electric a breveté les premiers condensateurs tantale à électrolyte solide. Elle fût la première à les commercialiser en 1956.