

## Emploi des condensateurs et technologie. Terminologie employée.

*Quelques trucs parmi d'autres qu'un bon électronicien doit savoir.*

*J'invite le lecteur à consulter le livre\* (tome 1) et le site\*\* (tome2) pour des informations complémentaires signalées par [Réf i].*

\* Comprendre l'électronique par la simulation  
Serge Dusaury, Vuibert,  
402 pages, n° ISBN 2 7117 8952 7

\*\* Site Internet personnel,  
<http://membres.lycos.fr/cepls>

### 1) Quelques ordres de grandeurs de module de réactance selon la fréquence et le condensateur.

Valeur de C	Fréquence					
	0	20 Hz	1 kHz	20 kHz	1 MHz	20 MHz
10 pF = 0,01 nF	$\infty$	800 M $\Omega$	16 M $\Omega$	800 k $\Omega$	16 k $\Omega$	800 $\Omega$
1 nF	$\infty$	8 M $\Omega$	160 k $\Omega$	8 k $\Omega$	160 $\Omega$	8 $\Omega$
0,1 $\mu$ F = 100 nF	$\infty$	80 k $\Omega$	1,6 k $\Omega$	80 $\Omega$	1,6 $\Omega$	80 m $\Omega$
10 $\mu$ F	$\infty$	800 $\Omega$	16 $\Omega$	0,8 $\Omega$	16 m $\Omega$	0,8 m $\Omega$

*Ce tableau est simplement obtenu par application de la loi  $X = 1/C\omega$ , avec  $\omega = 2\pi f$ .*

On remarque qu'au-delà de quelques kHz, un condensateur parfait de quelques  $\mu$ F, voire moins, peut être considéré comme un court-circuit devant des branches présentant des k $\Omega$  d'impédance.

### 2) Aspect technologique et utilisation

Le choix d'un condensateur discret (hors CMS) est guidé par des paramètres technologiques.

a) dans la gamme de valeurs supérieures au  $\mu$ F : condensateurs **électrolytiques** polarisés :

L'électrolyte peut être liquide, gélifiée, ou solide.

Les armatures sont en aluminium ou tantale :



- Le type aluminium supporte des hautes tensions (500 V), mais est réservé en basse fréquence. La valeur est peu précise (tolérance  $\pm 20\%$ ), et change avec le vieillissement. Ce condensateur étant polarisé, son emploi classique est donc le filtrage d'une alimentation. Ne pas le câbler à l'envers, ni l'exploiter en alternatif !



- Le type tantale est une amélioration : plus faible encombrement, tolérance rigoureuse, mais une tension de service inférieure (150 V). Cela reste un composant basse fréquence. Néanmoins, certains types peuvent être exploités jusqu'à quelques centaines de kHz. En très basse tension (5 V), il existe des condensateurs de 1 F ! Le très faible courant de fuite fait que ces produits peuvent être exploités pour l'effet mémoire résultant.

Vu le prix élevé des tantales, leur emploi doit être justifié.

Attention : la résistance série étant très faible (ce qui est une qualité), il est dangereux de placer ce type de condensateur en filtrage de certaines alimentations, sous peine de détérioration lors d'une mise sous tension (appel de courant entraînant un claquage -et une explosion !-).

Remarque : certains peuvent être **NON polarisés**.

b) dans la gamme [nF ;  $\mu$ F] : condensateurs à film plastique métallisé :



polyester



polycarbonate,  
stable dans le temps



polypropylène  
résistance série faible,  
grande dynamique [1 pF ; 1  $\mu$ F]

La tenue en fréquence est moyenne : jusqu'à quelques MHz.

C'est le composant courant de l'électronicien moyenne fréquence.

c) dans la gamme [pF ; nF] : condensateurs céramiques.

Le diélectrique est un dérivé de la céramique. Il est recouvert d'un dépôt d'argent.



Certains types de céramique de faible valeur sont précis et stables dans le temps. En général, ils sont prévus pour fonctionner à des fréquences max de quelques dizaines de MHz. Certains types de faibles valeurs et de petites tailles sont exploitables à quelques centaines de MHz.

D'autres types, pouvant atteindre des centaines de nF sont très peu précis. Ces derniers sont utilisés systématiquement en découplage.

#### d) Conclusion

Il existe d'autres technologies (**mica, verre, papier, polysulfone**), non traitées dans ces pages.

Citons les supercondensateurs double couche électrochimique dont la capacité peut atteindre 5000 F !

Mais dans tous les cas, les critères peuvent être : précision, facteur de qualité, courant de pointe, courant de fuite, gamme de température, tenue en température, fiabilité, tenue dans le temps, tenue mécanique, encombrement, seconde source, prix...

Pour une valeur donnée, le concepteur doit trouver un compromis parmi ces critères et la technologie.

### 3) Terminologie

#### a) Condensateurs de "filtrage"

C'est classiquement le condensateur placé après un redresseur à diodes d'une alimentation. Il a pour but de lisser la tension afin que celle-ci soit continue. (Très généralement, un régulateur fournit ensuite une tension stable indépendante du courant débité).

Ces condensateurs de filtrage ont une valeur élevée car ils doivent conserver une tension durant près de 10 ms (redressement double alternance du 50 Hz). Des valeurs de plusieurs dizaines de  $\mu$ F sont couramment utilisées, selon le courant débité (en première approximation  $C = I \Delta T / \Delta U$ , où  $I$  = courant débité,  $\Delta T = 10$  ms et  $\Delta U$  = résiduelle de tension tolérée). [Réf. 1]

Ce sont des condensateurs polarisés électrolytiques, (couramment appelés chimiques).

#### b) Condensateurs utilisés en "découplage"

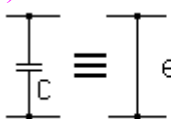


schéma équivalent

On exploite le fait d'avoir une réactance faible aux fréquences élevées. Quand un condensateur est mis entre un nœud et la masse, on dit couramment que ce potentiel est à une masse dynamique : le condensateur présente une réactance négligeable aux fréquences de travail.

C'est ainsi qu'une résistance de polarisation peut être vue en court-circuit lors de l'analyse en petits signaux, grâce à l'apport en parallèle d'un condensateur de découplage. L'exemple scolaire typique est un « découplage d'émetteur » sur un transistor bipolaire –en émetteur commun-. [Réf. 2]

Mais ce qu'on néglige d'enseigner est le rôle des condensateurs de découplage sur les alimentations de tension continue. En effet, un condensateur placé en parallèle sur une alimentation de tension DC est, *en théorie*, inutile : le schéma équivalent en petits signaux est déjà un court-circuit.

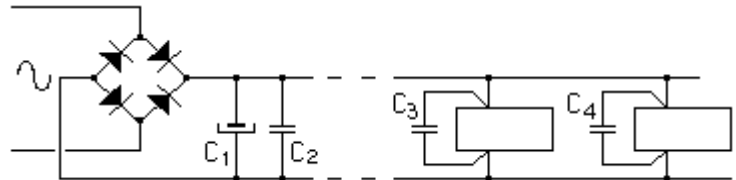
Seulement *en pratique*,

- les alimentations ne sont pas parfaites (impédance interne),
- la liaison entre l'alimentation et le circuit peut présenter une impédance interne non négligeable (résistance des fils, pistes, contacts, impédances des fils de liaison...)

Il faut donc ramener une masse dynamique, ou dit autrement, assurer une tension parfaitement constante, sur les alimentations continues. Est donné ci-dessous ce qu'il faut savoir en découplage des alimentations:

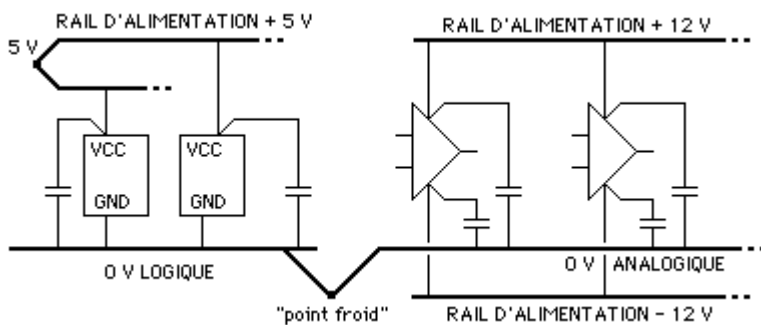
Il est nécessaire de placer, au plus près des éléments sensibles, des condensateurs en parallèle sur les alimentations.

On en place un par boîtier (schéma ci-contre), ou 2 si les boîtiers utilisent une alimentation double (schéma ci-dessous).



$C_1$  : « filtrage »,  $C_2, C_3, C_4$  : « découplage »

**Certains montages insuffisamment découplés peuvent ne pas fonctionner (et présenter des oscillations).**



Condensateurs de découplage

dans le cas d'alimentation multiple (ici + 5 V et  $\pm 12$  V)

Ces condensateurs de découplage ne doivent pas présenter, de par leur fabrication, une inductance parasite série. C'est pourquoi on n'utilise pas des chimiques (dont les armatures sont enroulées), mais des céramiques, afin de présenter, le mieux possible, une masse dynamique.

Les valeurs couramment utilisées vont de 10 nF à 100 nF. Vu le nombre, attention au coût.

**Circuits logiques** : sans précaution particulière, un appel de courant suite à une commutation peut provoquer une chute de tension transitoire aux bornes de l'alimentation. Cette faiblesse de tension peut perturber le fonctionnement d'un autre circuit intégré desservi par cette alimentation. Il est donc conseillé de placer un condensateur de découplage sur chaque circuit logique. On parle parfois de « capa réservoir ». De plus, le concepteur du circuit imprimé peut réduire le risque en distribuant les alimentations par des pistes dissociées, notamment pour séparer les circuits « du cœur » des circuits « d'entrée/sortie ». Ces derniers sont « bruyants » quand ils commutent sur une faible impédance.

**Circuits analogiques** : la chute de tension sur l'alimentation forme une boucle de contre-réaction. Certains circuits peuvent en être sensibles, et présenter notamment des oscillations, soit permanentes, soit déclenchées aléatoirement. Un découplage d'alimentation réduit ce risque.

**Coexistence de circuits logiques et analogiques** : dans le jargon courant, on dit que les parasites « logiques » ne doivent pas polluer les alimentations analogiques. C'est pourquoi les rails d'alimentation doivent être dissociés, (même si on dispose d'une tension d'alimentation unique). [Réf. 3]

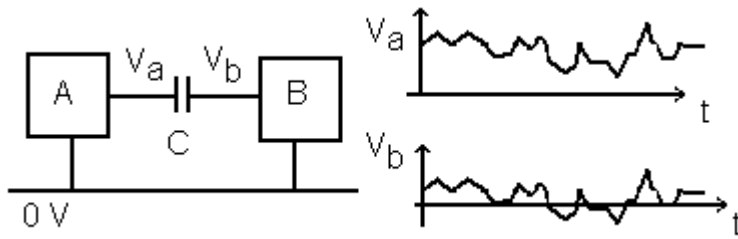
La masse (0 V) est obligatoirement commune. On peut connecter comme sur ce schéma, ou tout fusionner en un plan de masse du circuit imprimé.

Le « point froid » est une borne qui forme le 0 V de référence (pour une mesure précise et reproductible).

**Conclusion** : malheureusement, ces techniques ne forment pas une science exacte... Parfois un prototype fonctionne et un montage de production présente des oscillations incontrôlées (ou l'inverse...).

**Attention** : il est inutile de placer des condensateurs électrochimiques un peu partout sur les pistes d'une alimentation : d'une part l'action du découplage H.F. ne se fait pas, et d'autre part, si l'alimentation est réalisée par un régulateur, ou un système qui asservit la tension, l'ajout de ces condensateurs peut rendre instable l'asservissement, et c'est l'alimentation qui oscille ! [Réf. 4]

### c) Condensateurs de liaison dit de "blocage de composante continue"



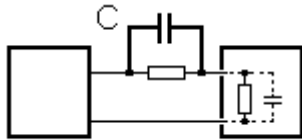
*Le condensateur C coupe la composante continue : le signal variable en  $V_a$  est portée par une tension constante qui est modifiée (ou annulée) en  $V_b$ .*

Un signal est très souvent porté par une composante continue (variation dynamique autour d'un potentiel statique). L'électronique traitant ce signal peut ne pas être compatible en niveau statique d'entrée.

Un remède est d'utiliser un condensateur comme liaison série : l'impédance présentée est infinie en continu et quasi-nulle en signaux rapides.

La valeur n'est pas critique mais dépend des autres éléments environnants : associés à la résistance d'entrée, le circuit CR forme un filtre passe haut. Il faut vérifier l'action de ce filtre sur les fréquences de travail. (Les types électrolytique, ou plastique font l'affaire.)

### d) condensateurs "d'accélération"



*C : condensateur d'accélération (Ce schéma est celui du modèle de la sonde d'oscilloscope : C peut être réglé de façon pertinente [Réf. 5, 6]).*

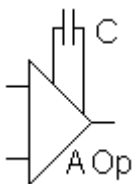
Utilisés dans le cas où un signal attaque un montage par l'intermédiaire d'une résistance d'accès. Le montage peut présenter en entrée un condensateur ce qui intègre le signal. Un front raide de tension suit alors une loi en  $[1 - \exp(-t/\tau)]$ .

Une solution est de placer un condensateur en parallèle avec la résistance d'accès ce qui permet de fabriquer un dérivateur qui compense l'intégration d'entrée.

Ces condensateurs d'accélération ont des valeurs à ajuster selon l'environnement.

Un type "plastique métallisé" peut être utilisé.

### e) condensateurs de "compensation"



*C : compensation*

Certains amplificateurs opérationnels nécessitent un réglage de leur réponse en fréquence pour optimiser leurs performances vis à vis du montage. Ces condensateurs sont de très faibles valeurs : quelques pF à quelques dizaines de pF. [Réf. 7]. Lors de la conception du typon, il faut penser à réduire la longueur des connexions : une piste trop longue formerait une inductance. (Cette contrainte est à appliquer aussi au découplage, et à la branche de contre réaction).

Un type "céramique" est parfaitement adapté : faible valeur, précis et bonne réponse en fréquence.

### f) condensateurs de jonction

Les jonctions des semi-conducteurs présentent 2 phénomènes : le phénomène de diffusion, qui peut se modéliser par un condensateur, et le phénomène de transition, qui a pour origine une zone vide entre 2 plans de part et d'autre de la zone de charge d'espace au sein de la jonction et qui représente un condensateur. Ces condensateurs limitent la bande passante des amplificateurs. Les valeurs sont très variables selon la polarisation et la taille des composants :

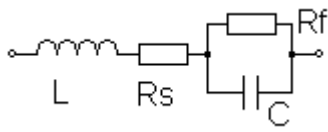
- en composants discrets, dans l'intervalle [1pF ; 50 pF] en basse puissance, mais pouvant atteindre plusieurs nF pour des composants de puissance (dimensionné pour commuter des centaines d'Ampères),
- en circuits intégrés, dans l'intervalle [10 fF ; 10 pF]

Ces chiffres sont bien entendu très dépendants de la technologie, du semi-conducteur employé ...

### g) capacité "Miller"

Par abus de langage, on appelle "capa Miller" le condensateur ramené à l'entrée d'un amplificateur de tension par application du théorème de Miller. [Réf. 8]. Ce n'est donc pas un composant réel, mais un condensateur équivalent.

#### 4) Modèle H.F d'un condensateur



Modèle d'un condensateur réel

• L est l'inductance que présente les broches de connexion, ou, dans le cas d'un type électrochimique, les armatures enroulées. Dans ce dernier cas, un ordre de grandeur est  $L = 1 \mu\text{H}$  pour  $C = 100 \mu\text{F}$ . En clair, en négligeant les autres phénomènes, cela signifie qu'à partir de 16 kHz, (quand  $L\omega > 1/C\omega$ ) ce condensateur se comporte comme une self !

•  $R_s$  représente les pertes ohmiques dans les connexions et électrodes. À cause de l'effet de peau, cette résistance augmente avec la fréquence. Certains condensateurs peuvent présenter quelques  $0,1 \Omega$ , ce qui est un critère à prendre en compte surtout en électronique de puissance [Réf. 9].

• Le diélectrique n'est pas un isolant parfait, mais dispose d'une certaine résistivité. Associée à la géométrie du condensateur, cela forme une résistance de fuite. De plus, ce diélectrique a ses propriétés modifiées avec la fréquence, la température, la tension. Un modèle simple pour représenter ces phénomènes est de placer une résistance  $R_f$  en parallèle avec C, condensateur parfait.

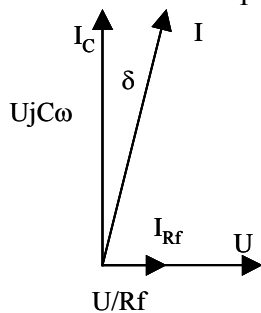


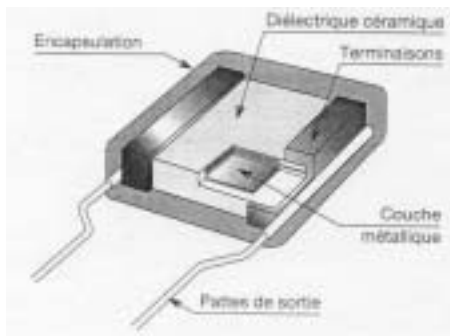
Diagramme des courants

En alternatif, en négligeant les éléments L et  $R_s$  des connexions, le diagramme de Fresnel des courants montre un vecteur  $I_C$  en quadrature avance avec la tension U, et un vecteur  $I_{Rf}$  en phase avec la tension. Le courant total est bien sûr la somme vectorielle.

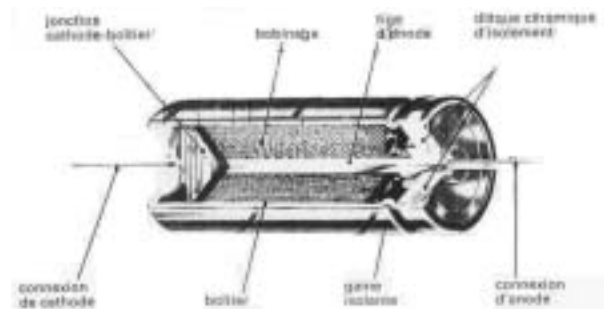
On pose  $\tan \delta = I_{Rf} / I_C = 1 / R_f C \omega$ .

$\delta$  est appelé **angle de perte**.

Un condensateur parfait a un angle de perte nul. Un ordre de grandeur pour un condensateur est  $\tan \delta = 10^{-4}$ .



condensateur céramique



condensateur électrochimique :  
les armatures présentent un bobinage.

Les références font appel au livre « **Comprendre l'électronique par la simulation** » :

[Réf. 1].	page 75
[Réf. 2].	page 121
[Réf. 3].	Tome 2 : <a href="http://membres.lycos.fr/cepls/complement/art18/art18.html">http://membres.lycos.fr/cepls/complement/art18/art18.html</a>
[Réf. 4].	page 274
[Réf. 5].	page 63
[Réf. 6].	Tome 2 : <a href="http://membres.lycos.fr/cepls/complement/art09/art09.html">http://membres.lycos.fr/cepls/complement/art09/art09.html</a>
[Réf. 7].	page 319
[Réf. 8].	page 105
[Réf. 9].	page 151