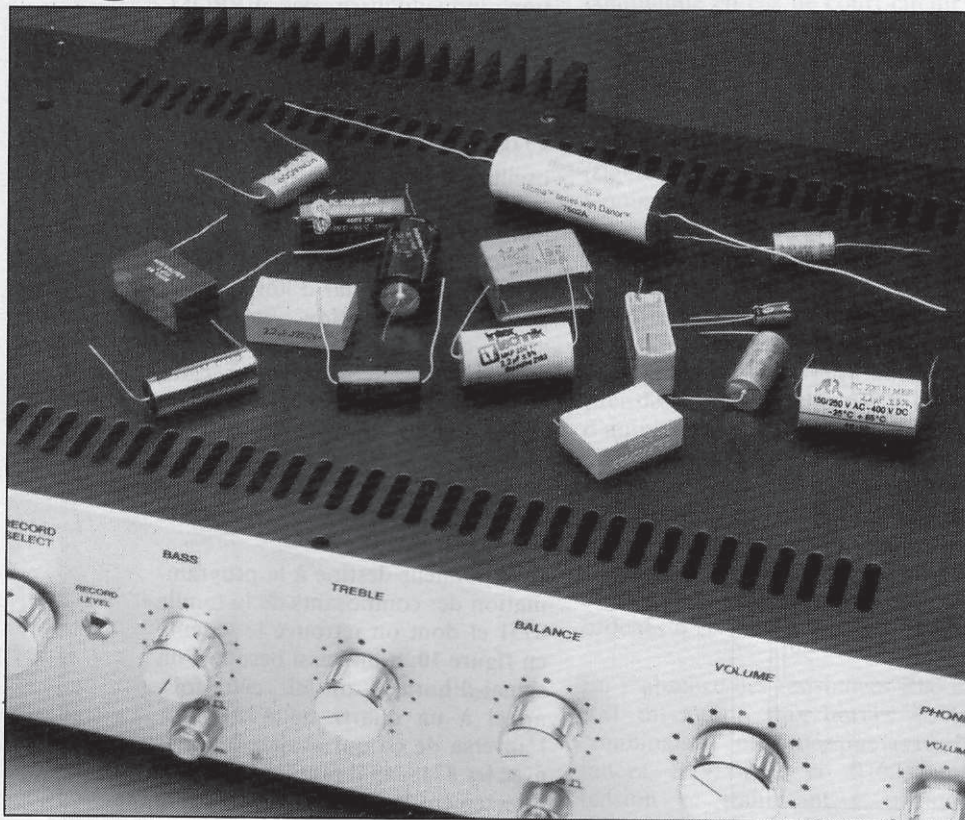


l'audio & les condensateurs

choisir le bon type de condensateur pour ses réalisations audio



AUDIO, VIDÉO

Si vous êtes un amateur averti de réalisations personnelles dans le domaine de l'audio, vous n'êtes sans doute pas sans savoir que la qualité sonore des composantes d'un système audio ne tient pas uniquement au concept du circuit et aux caractéristiques des circuits intégrés utilisés, mais également pour une bonne part à celles des condensateurs pris dans le trajet du signal.

Et pourtant, toute information concernant le type de condensateur à utiliser et la marque à choisir pour telle ou telle application tenait, jusqu'à présent, plus des opinions personnelles que de la très dure réalité.

Après plusieurs lustres d'expérience dans ce domaine, nous avons choisi de mettre nos constatations sur papier: résultats de mesure + trucs et astuces pour la pratique, voici très exactement ce que se targue de vous proposer cet article.

Dans l'éventail des caractéristiques qui intéressent l'acheteur d'un amplificateur c'est sans doute son empreinte sonore qui est l'élément prédominant. Et c'est aussi à raison. L'important est en effet le son produit par cet appareil en non pas son apparence ou toute autre des ses caractéristiques physiques.

Si alors on réalise soi-même son amplificateur, ce qui importe le

plus est de savoir comment arriver à un bon résultat. Un amplificateur comporte en effet un bon nombre de composants qui ont tous leur part dans son empreinte sonore. Outre les aspects évoqués plus haut, à savoir le concept du circuit et les caractéristiques des semi-conducteurs, l'alimentation, le câblage et les connecteurs, sans surtout oublier les condensateurs placés sur le trajet du signal, ont

chacun leur part dans le son obtenu. Et c'est bien à ce dernier aspect, les condensateurs, que l'on ne porte pas suffisamment attention, d'autant plus qu'on retrouve ce type de composant dans tous les appareils ayant affaire à la reproduction du son -du lecteur de disques audio numériques (DAN) à l'enceinte, en passant par le préampli et autre ampli.

Cette problématique est ressentie très différemment d'un concepteur ou fabricant d'appareils haut de gamme à l'autre. Certains d'entre eux ne jurent que par un type de condensateur donné, sans pouvoir justifier objectivement -par des résultats de mesure convaincants- leur choix, d'autres ont opté pour une solution plus radicale: éliminer les condensateurs de tous les trajets du signal. Non seulement, cette stratégie (technique CC) présente certains inconvénients spécifiques mais elle est en outre purement et simplement impraticable, de par son principe, pour certaines applications telles que les filtres et autres dispositifs d'aiguillage des signaux.

Il nous faudra donc apprendre à vivre avec les condensateurs et nous résoudre à trouver le type de composant adéquat correspondant à l'application concernée.

Dès lors que l'on sait comment s'y prendre, ce SAVOIR permet non seulement de réaliser de très bons amplificateurs mais encore d'optimiser le son produit par des appareils industriels.

Le grand hic est que, jusqu'à présent, ce SAVOIR était plutôt réservé aux alcôves. Il n'existe malheureusement, en effet, que très peu d'enquêtes scientifiques ayant donné des résultats tangibles par série de mesures, et de ce fait d'autant plus de règles empiriques et d'opinions subjectives.

Le matériau "condensateurs" est matière à réflexion et sujet très discuté, même dans les laboratoires d'Elektor. Ceci explique que nous ayons choisi, une fois pour toutes, d'établir expérimentalement un certain nombre de choses en effectuant une longue série de mesures élaborées.

C'est ainsi que, lors de la publication du projet "The Preamp" en 1987 nous donnions déjà des

conseils sur le type de condensateurs à utiliser. À partir des informations recueillies nous nous sommes lancés dans de nouvelles mesures concernant les caractéristiques des condensateurs utilisés en audio. Vous trouverez ci-après les résultats les plus récents concernant le thème "l'audio & les condensateurs" en provenance directe des laboratoires d'Elektor.

Le condensateur tel qu'il existe dans la réalité

Nous n'allons pas vous faire l'injure de nous lancer dans une description détaillée du principe physique étant à la base de la fabrication du condensateur: mise en regard de 2 surfaces conductrices séparées par un isolant. La capacité qu'elles représentent dépend, d'une part de l'aspect mécanique de ces surfaces (leur superficie et l'épaisseur de la couche d'isolation –le diélectrique–) et de l'autre du matériau servant d'isolant (constante diélectrique):

$$C = \epsilon_r \cdot A / d \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ [F]}.$$

(C = capacité en Farad, ϵ_r = constante diélectrique relative, A = surface des plaques [m²], d = distance entre les plaques [m]). Le matériau d'isolation a donc un effet direct sur la capacité. La ϵ_r du polyester est en effet de 3 environ, alors que celle de l'oxyde de tantale atteint près de 11.

L'épaisseur et les caractéristiques du diélectrique déterminent elles la tension de service du condensateur. Ceci explique, que pour une capacité identique, un condensateur devant travailler à une tension de service plus élevée ait des dimensions plus importantes que la version utilisée à une tension de service plus faible.

Ce qui fait du condensateur un composant intéressant est que la valeur de son impédance varie en fonction de la fréquence. La résistance capacitive est inversement proportionnelle à la fréquence et répond à la formule suivante:

$$X_c = 1/2\pi fC.$$

L'évolution de l'impédance d'un condensateur par rapport à la fréquence prend la forme, dans le cas d'une échelle logarithmique (tant en X qu'en Y), d'une ligne descendante quasi-rectiligne.

Théoriquement, cette ligne droite devrait descendre jusqu'à 0, en pratique on se trouve confronté, aux fréquences élevées, à une certaine impédance (si faible serait-elle). C'est dans la plage de fréquences dans laquelle le condensateur voit son impédance devenir faible –quelques ohms– que commence l'existence propre d'un condensateur. Un vrai condensateur étant constitué de matière réelle, il présente un reste de résistance ohmique qui agit inévitablement sur les caractéristiques de conduction électrique, les sections des connexions et les dimensions de plaques. Quel que soit le cas de figure, l'impédance ne saurait en aucun cas tomber en-deçà de la valeur de cette résistance ohmique. Le matériau d'isolation réel est en outre sujet à un certain nombre de phénomènes gênants.

Le premier est un courant de fuite faible qui se manifeste avant tout aux tensions les plus élevées et plus particulièrement dans le cas des condensateurs électrochimiques. À cela s'ajoute un élément non négligeable, une self-induction, née de la technique de fixation et de l'inductance des connexions.

La **figure 1** propose ce que l'on appelle le circuit équivalent destiné à représenter les caractéristiques non idéales d'un condensateur.

R_s représente la résistance ohmique évoquée plus haut, facteur introduit par les connexions et les plaques. La "communauté des électroniciens" se l'imagine prise en série avec la

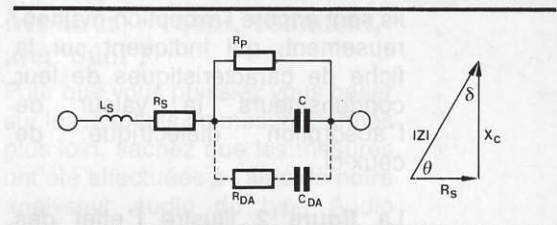


Figure 1. Schéma de substitution d'un condensateur «réel». On trouve en-dessous le diagramme vectoriel correspondant.

capacité proprement dite, C. R_p , qui représente le courant de fuite de l'isolant, est elle prise en parallèle sur la capacité C. L_s représente l'inductance réelle présentée par le condensateur, facteur résultant de l'addition de l'inductance des connexions; il est en outre influencé par l'art et la technique de fixation des connexions aux plaquettes, la forme et la disposition de ces dernières (souvent enroulées). Pour ne pas trop se compliquer la vie on pourra s'imaginer que cette inductance est prise en série avec C et R_s .

Il nous reste les composants représentés en pointillés, R_{DA} et C_{DA} pris en parallèle sur C. Ces éléments correspondent à un inconvénient important bien que peu connu des condensateurs, à savoir l'effet de l'absorption diélectrique (DA = *Dielectric Absorption*). On se trouve ici en fait en présence d'effets dus au déplacement de porteurs de charge dans le diélectrique. Ces facteurs ont, sur les processus de charge et de décharge normaux du condensateur, un effet retardateur –ce qui explique qu'ils aient également une répercussion sur le son produit par un système donné. Il existe aujourd'hui des fabricants,

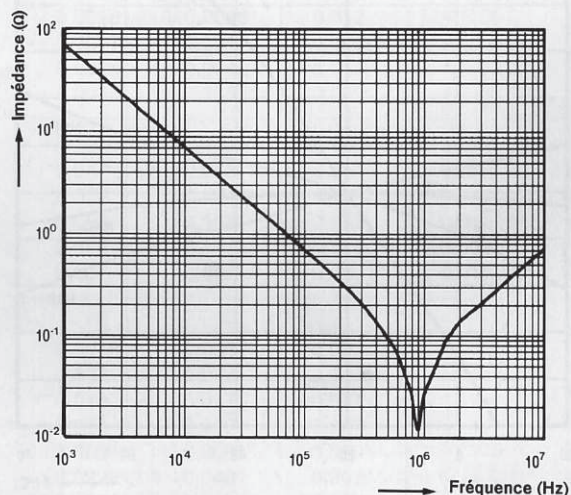


Figure 2. Évolution de l'impédance d'un condensateur MKP de 2µF2 de bonne qualité. Sa courbe est proche de l'idéal jusqu'à plusieurs centaines de kilohertz.

ils sont encore l'exception malheureusement, qui indiquent sur la fiche de caractéristiques de leur condensateurs la valeur de l'absorption diélectrique de ceux-ci.

La **figure 2** illustre l'effet des caractéristiques non idéales des condensateurs en prenant comme exemple l'évolution de l'impédance d'un vrai condensateur de $2\mu\text{F}$. Jusqu'à quelque 200 kHz, l'impédance diminue progressivement et de manière presque idéale. Cette courbe atteint son minimum à 900 kHz environ. Ce comportement ne peut s'expliquer que par la résonance du circuit-série résonant constitué par L_s et C . En ce point, l'impédance correspond à la résistance ohmique R_s . Au-delà de 2 MHz, le condensateur se comporte sans restriction comme une inductance (L_s).

Données concernant un condensateur

Dans la pratique, ce qu'il faut savoir lors de l'examen d'une fiche de caractéristiques, est quelles y sont les données importantes et comment les interpréter. Voici la liste des informations intéressantes:

- Le facteur $\text{tg } \delta$ ou facteur de pertes D représente les pertes introduites par R_s . Il doit être le plus faible possible. Plus on trouve de zéro après la virgule, mieux c'est. C'est dans le cas de condensateurs utilisés pour la réalisation de filtres passifs que ce point est à prendre en considération en raison des impédances faibles présen-

tées par les haut-parleurs. Ce facteur perd de son importance lorsqu'il s'agit de filtres électroniques où le condensateur est associé à des résistances d'un ou plusieurs kilohms.

On notera d'autre part que ce facteur évolue en fonction de la fréquence ($\text{tg } \delta = D = 1/Q = 2\pi fCR_s$). Pour les condensateurs de capacité importante on trouve bien souvent une valeur distincte pour R_s .

- À de très rares occasions, le fabricant donne en plus la valeur de DA . À nouveau, on recherchera la valeur la plus faible. Si tant est qu'elle soit indiquée, l'absorption diélectrique l'est pour des condensateurs à film.

- La résistance d'isolation R_p est, en règle générale, très élevée (de l'ordre du millier de mégohms = $G\Omega$). Ce facteur joue un rôle mineur dans les applications audio.

- Le facteur de puissance ($PF = \text{Power Factor}$) présente une certaine relation avec R_s ($PF = \sin \delta = R_s/Z$).

- Le comportement thermique est en règle générale indiqué pour un type de diélectrique donné. Les courbes de la **figure 3** représentent l'évolution de la dérive en température d'un certain nombre de matériaux couramment utilisés pour la fabrication des condensateurs.

- Les valeurs de capacité indiquées le sont, dans le cas de condensateurs HF, pour une

fréquence de référence de 1 kHz. La tolérance de la valeur de la capacité prend une certaine importance pour les filtres (de séparation) et autres oscillateurs mais l'est beaucoup moins dès lors qu'il s'agit de découplage.

- Ce que l'on peut dire en ce qui concerne la tension de service c'est que cette valeur devrait être indiquée tant pour l'alternatif que pour le continu. Il va sans dire que la tension nominale du condensateur doit être supérieure à la valeur maximale de tension à laquelle peut être soumis le condensateur en question.

Les types de condensateurs

Notre domaine de prédilection étant les applications audio, les types de condensateurs de faible capacité pour la HF sont moins intéressants, les condensateurs céramique et au mica sortent ainsi du cadre de cet article. Il nous reste donc:

- Les condensateurs au papier
- Les condensateurs électrolytiques ou électrochimiques
- Les condensateurs à film plastique.

Les condensateurs au papier n'ont plus, en fait, qu'un intérêt historique. Il est sans doute possible d'en trouver quelques-uns dans certaines enceintes en provenance de Russie ou d'Ukraine — l'URSS n'existant plus en tant que telle, il faut être plus spécifique. Il est devenu de plus en plus difficile, à l'Ouest, de mettre la main sur de tels composants. Il n'empêche que la qualité des condensateurs au papier peut être fort bonne.

Les condensateurs électrolytiques, c'est-à-dire ces gros condensateurs dont certains possèdent un boîtier en aluminium, sont, en ce qui concerne l'audio, plutôt à considérer comme étant un «second choix». Ils présentent, relativement, une tolérance monumentale, mais ont l'avantage d'un rapport quantité/prix (moult $\mu\text{F}/\text{FF}$) intéressant, raison pour laquelle on les retrouve souvent dans les filtres passifs pour enceintes, sachant que c'est là l'une des applications nécessitant de fortes capacités. Les alimentations d'appareils audio elles non plus ne peuvent se passer de ce type de condensateurs.

On peut les classer en 3 catégories de fabrication:

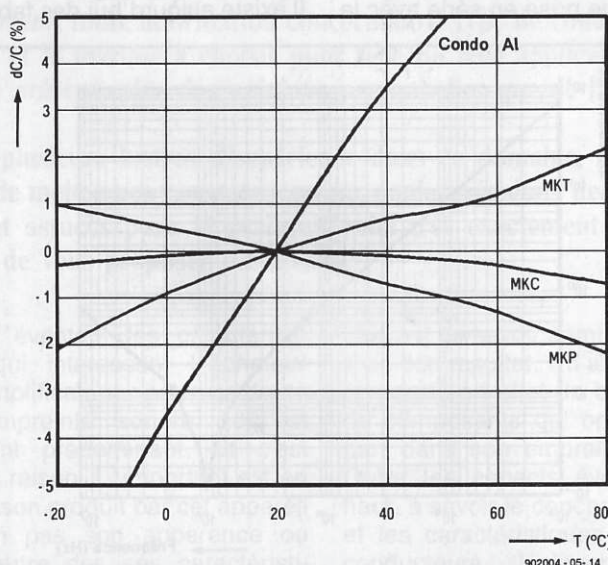


Figure 3. Évolution de la capacité de différents types de condensateurs en fonction de la température.

rugueux, lisses et «au tantale». La caractéristique de rugosité ou de douceur de la structure ne joue pas nécessairement un rôle. En règle générale les condensateurs électrolytiques lisses présentent des tolérances plus serrées mais ont également des capacités plus faibles. De par l'existence de certains phénomènes semi-conducteurs les caractérisant, il est préférable de ne pas placer de condensateurs au tantale sur le trajet de signaux audio.

Il nous reste les condensateurs à film que l'on peut, en fonction du diélectrique -film plastique métallisé d'une extrême finesse- utilisé, classer en 4 catégories:

■ Les condensateurs au polyester (film mylar) tels que les MKT au polyéthylènetéréphthalate sont sans doute les condensateurs à film les plus usités. De prix abordable et de caractéristiques équilibrées, ils

ont des dimensions très raisonnables.

■ Les condensateurs au polycarbonate (MKC) sont moins courants. Ils présentent des caractéristiques légèrement meilleures que celles des condensateurs au polyester, dans le domaine de thermo-sensibilité en particulier.

■ Les condensateurs au polypropylène (MKP) sont à leur tour meilleurs que les condensateurs au polycarbonate; ils ont cependant des dimensions sensiblement plus importantes que celles des condensateurs à film évoqués auparavant.

■ Les condensateurs au polystyrol (Styroflex, MKS) sont les condensateurs ayant les meilleures caractéristiques audio. Ils ont cependant des dimensions relativement importantes et une capacité maximale actuelle de l'ordre de 470 nF.

Mesurer — quoi, comment, avec quoi ?

Pour que vous puissiez vous baser sur les résultats de mesure donnés plus loin, sachez que les mesures ont été effectuées à l'aide de notre analyseur audio du type Audio Precision System One et d'un LCR-mètre précis du type HP 4248A (appareil que nous a aimablement prêté Hewlett Packard à cette intention particulière). On peut affirmer sans gros risque de se tromper qu'il s'agit là des 2 meilleurs appareils disponibles sur le marché pour ce type d'opérations.

Le tableau 1 vous propose les résultats les plus importants. Nous avons essayé, pour autant que cela a été possible, d'effectuer les mesures sur des condensateurs de capacité identique à savoir 2 μ F2. Pour éviter toute surprise, nous avons effectué nos mesures

Tableau 1. Les condensateurs mis à l'épreuve du feu.

Marque et Type (capacité 2 μ F2, sauf contre-indication)	Valeur mesurée [μ F]	tan δ			THD (%) (250 Hz, 3 V _{eff})	DA (%)
		100 Hz	1 kHz	10 kHz		
MKP :						
Celm, CRS, 160 V	2,24	0,0004	0,0002	0,0026	<0,001	0,01
Chateaux Roux, PC220St, 150/250 V	2,19	0,0002	0,0003	0,0017	<0,001	0,01
Eton Cap, 100/160 V	2,21	0,0002	0,0002	0,0015	<0,001	<0,01
Intertechnik, 2163, 250 V	2,19	0,0002	0,0002	0,0014	<0,001	0,01
Rifa, PHE 420, 160 V =	2,20	0,0001	0,0002	0,0017	<0,001	<0,01
Ropel Block, PCP, 160 V	2,19	0,0001	0,0003	0,0016	<0,001	<0,01
Ropel rond, PSR, 250 V	2,30	0,0002	0,0003	0,0023	<0,001	<0,01
Solen, MKP-FC, 250 V \approx	2,22	0,0002	0,0002	0,0015	<0,001	<0,01
Diélectriques divers :						
Wonder Cap 2 μ F, 7502A, 425 V	2,14	0,0002	0,0007	0,0065	<0,001	<0,01
Ero Polykarb., MKC1862, 100 V =	2,19	0,0006	0,0010	0,0031	<0,001	0,03
MKT :						
Ero, 1822, 250 V =	2,26	0,0017	0,0046	0,011	<0,001	0,05
Intertechnik, 2210, 100 V	2,20	0,0017	0,0041	0,0099	<0,001	0,11
Matsushita, 400 V	2,14	0,0019	0,0049	0,011	<0,001	0,05
Monacor, 250 V	2,17	0,0017	0,0044	0,010	<0,001	0,09
Philips, 344, 100 V	2,12	0,0018	0,0046	0,012	<0,001	0,09
Siemens, B32523 (bleu), 100 V	2,03	0,0017	0,004	0,0096	<0,001	0,06
Siemens, B32563 (nu), 100 V	2,28	0,0018	0,0046	0,011	<0,001	0,11
Visaton, 250 V	2,07	0,0015	0,0037	0,009	<0,001	0,08
Condensateurs électrolytiques :						
Philips (standard), 63 V	2,37	0,047	0,058	0,35	0,025	1,6
Roe (standard), 63 V	2,62	0,022	0,054	0,24	0,015	2,1
Visaton bipolaire, lisse, 35 V \approx	2,21	0,069	0,053	0,052	0,012	3,3
Visaton bipolaire, rugueux, 100 V	2,32	0,024	0,08	0,117	0,003	0,63
Wego bipolaire, lisse, 35 V \approx	2,15	0,052	0,042	0,036	0,011	2,5
Condensateurs divers :						
Efko MKT 22 μ F, 100 V =	22,1	0,0018	0,0057	0,022	----	0,16
Elcap bipolaire, 30 μ F, 50 V	31,5	0,027	0,074	0,5	----	5,7
Intertech. bipolaire, lisse 47 μ F, 40 V \approx	47,2	0,013	0,017	0,081	----	7,8
Roe bipolaire, lisse, 3 μ F3, 40 V \approx	3,28	0,021	0,017	0,037	----	2,9
Siemens Styroflex KS 47 nF, 63 V	46,8 n	0,0001	0,0001	0,0001	----	<<0,01
Visaton bipolaire, lisse, 100 μ F, 35 V \approx	103,4	0,0228	0,046	0,307	----	12,1
Wima MKP4 4 μ F7, 160 V =	4,50	0,0002	0,0004	0,0028	----	0,02

Tableau 1. Résultats les plus significatifs de mesures effectuées sur une série de condensateurs de marques diverses.

sur plusieurs exemplaires à chaque fois. Les résultats indiqués sont à chaque fois ceux obtenus avec le meilleur exemplaire. Nous avons opté pour un classement dans l'ordre alphabétique des condensateurs. De la gauche vers la droite sont indiquées:

- la capacité réelle C à 1 kHz,
- le facteur de perte $\tan \delta$ à 100 Hz, 1 et 10 kHz,
- la distorsion harmonique (THD = *Total Harmonic Distorsion*) à 250 Hz du composant pris dans un filtre passe-haut doté d'une résistance terminale de 100 Ω ,
- l'absorption diélectrique mesurée de la manière suivante : le condensateur a été chargé pendant 5 minutes à une tension de 1,5 V, puis court-circuité pendant 3 secondes avant que ne soit mesurée la tension résiduelle à l'aide d'un voltmètre ($R_i = 50 \text{ M}\Omega$). Ce processus de mesure

diffère bien de la technique de mesure officielle mais, à notre humble avis, restitue mieux le rapport de R_{DA} sur C_{DA} .

Les résultats nous apprennent que les différences entre des condensateurs de même type (diélectrique) mais de sources différentes restent minimes. On peut de se fait se poser la question de savoir si un condensateur plus coûteux est vraiment meilleur qu'un exemplaire meilleur marché de la même catégorie. Notons en outre qu'un certain nombre de composants se ressemblent tellement, tant du point de vue de l'aspect physique que de celui des résultats de mesure que l'on peut à juste titre se poser la question s'il existe vraiment autant de fabricants que le donnerait à penser le nombre de versions proposées. Il n'est pas improbable que certaines sociétés

fassent fabriquer les condensateurs vendus sous leur nom chez un fabricant «en gros».

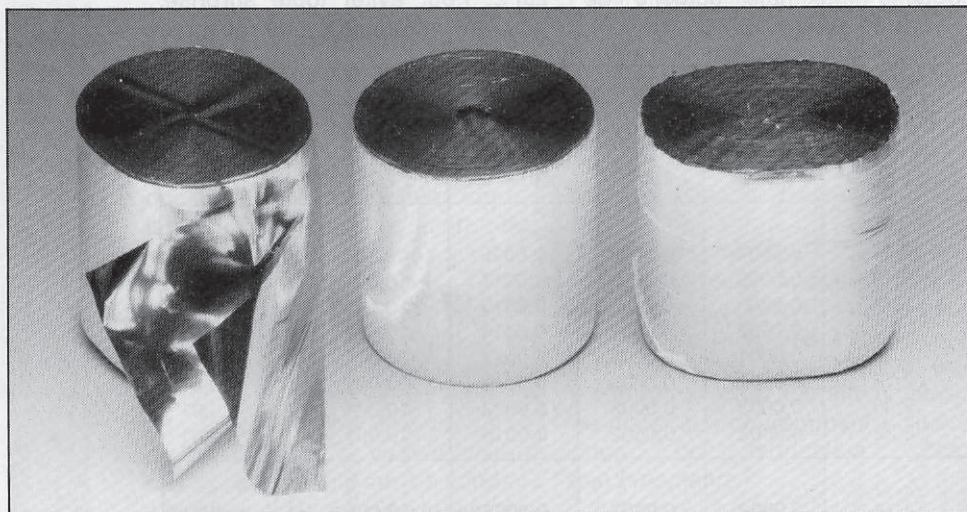
Autre résultat remarquable: quelle que soit la catégorie de prix concernée, nous avons rencontré des marques où certains des composants présentaient des résultats sensiblement plus mauvais. Si l'on ne dispose pas soi-même de l'appareillage de mesure requis (voir le paragraphe précédent) il est impossible de vérifier aussi précisément les caractéristiques techniques de ce type de composant de sorte qu'il ne reste plus qu'à espérer que l'on a bien en main un bon exemplaire.

En ce qui concerne l'absorption diélectrique, ce sont surtout les condensateurs électrolytiques (de par leur principe) qui attirent l'attention, dans le sens négatif malheureusement. C'est sans doute aussi à cela qu'est due leur sonorité moins bonne. Les résultats de la mesure de distorsion harmonique sont eux moins parlants à ce sujet. Les facteurs DA et THD ne présentent pas de rapport indiscutable entre eux. L'examen du tableau 1 vous donnera peut-être à penser: les valeurs de capacité importantes proviennent de firmes quelque peu «exotiques» que l'on retrouve principalement dans le domaine de la réalisation d'enceintes (en kit le cas échéant).

Les grands fabricants de condensateurs n'ont que très exceptionnellement de telles valeurs dans leur catalogue, bien que, dans certains cas, ils les fabriquent à la demande expresse de petites firmes qui les marquent de leur propre logo. Il n'en est pas moins vrai qu'il existe certaines petites sociétés qui fabriquent elles-mêmes ces condensateurs. Si donc vous voulez remplacer le condensateur électrochimique (!) à la sortie de votre lecteur de DAN par un condensateur à film de 10 μF , c'est là qu'il vous faudra tenter votre chance.

L'inductance des condensateurs testés est en général négligeable (<50 nH pour les condensateurs du type 2 $\mu\text{F}2$, sachant que la majeure partie de cette inductance est due aux fils de connexion), raison pour laquelle elle n'apparaît pas dans le tableau.

Les diverses mesures effectuées permettent d'établir un classement



Les différentes étapes de la fabrication d'un condensateur MKT à film de bonne taille. On enroule 2 couches de plastique métallisé mises dos à dos. Le rouleau ainsi constitué est doté sur ses tranches de films d'isolation destinés à éviter que les couches intérieures ne puissent se relâcher. On supprime ensuite une partie de cette couche d'isolation pour faire réapparaître le métal, endroits auxquels on soude une couche conductrice de sorte que l'ensemble d'un côté soit conducteur (diminution de l'inductivité). Il ne reste plus ensuite qu'à souder les fils de connexion et à isoler le condensateur en le mettant dans du plastique.

qualitatif : la première place est prise par les condensateurs du type MKP (polypropylène); il n'existe que des différences insignifiantes entre les différentes marques. Les condensateurs du type MKT (polyéthylènetéréphthalate) peuvent prétendre à la seconde place. Eux aussi font un beau tir groupé. On peut intercaler entre ces 2 catégories les MKC (meilleurs que les MKT, mais en pratique presque impossibles à trouver) et le Wondercap (mérite en fait d'être disqualifié non pas en raison de ses qualités mais de son prix très élevé, supérieur à 100 FF pour le composant testé, il est vrai que l'or n'est pas donné, mais il a déjà été plus cher). De par sa tension de service élevée, le Wondercap pourrait, à la rigueur, être intéressant pour des amplificateurs à tubes (réalisations où l'on ne se formalise pas pour quelques dizaines de francs de plus ou de moins).

Comme il fallait s'y attendre, la dernière place revient aux condensateurs électrochimiques. Leur qualité dépend pour une très grande part et de la marque et du type. La version «lisse» n'est pas nécessairement meilleure que la version «rugueuse», bien qu'elle soit certainement plus chère.

À vrai dire, nous pourrions mettre ici un point final à cette étude, qu'en pensez-vous ?

Bien évidemment que non, ce n'est pas tout d'avoir un condensateur de bonne qualité en main, il faut encore savoir où et quand l'utiliser intelligemment. D'où le paragraphe suivant:

Du bon «usage»

des condensateurs

Si l'on veut atteindre les niveaux de qualité les plus «éthérés» il est une règle générale: supprimer du trajet du signal tous les composants qui ne sont pas indispensables. Il n'est pas mauvais cependant, avant de respecter aveuglément cette règle, d'y regarder par 2 fois. Les composants pris dans la ligne de contre-réaction d'un amplificateur ou d'un amplificateur opérationnel jouent également un rôle sur la qualité du signal, même s'ils ne se trouvent pas directement sur le trajet de celui-ci.

Dans le cas des alimentations, d'autres facteurs jouent un rôle, mais il reste sensé de ponter les

condensateurs électrochimiques à l'aide d'un condensateur à film d'une capacité comprise entre 470 nF et 1 μ F, en vue d'améliorer leur comportement aux Hautes Fréquences. Opter pour une valeur plus faible (100 nF comme on le voit souvent) n'a en fait que peu d'intérêt, l'effet d'une telle capacité étant trop limité.

Nous avons représenté, en **figure 4**, le schéma d'un filtre passe-haut à fréquence de coupure de 400 Hz de manière à illustrer les autres irrégularités que l'on risque de rencontrer lors de la mise en oeuvre de condensateurs. La charge s'est vu attribuer à dessein une valeur relativement faible de 150 Ω , ceci en vue de mieux illustrer les défauts des condensateurs (la distorsion étant moindre dans le cas d'un circuit à impédance plus élevée). Le domaine le plus intéressant dans le cas présent se situe en deçà de la fréquence de coupure sachant que c'est là que l'impédance du condensateur et partant la tension à ses bornes, devient importante. Et naturellement c'est aussi là que l'on constate les distorsions les plus importantes.

Le graphique de la **figure 5** représente les courbes de distorsion harmonique de 3 types de condensateurs: MKT, condo Ec (condensateur électrochimique) et condensateur au tantale. Ce dernier type de condensateur produit une très forte distorsion jusqu'à bien au-delà de la fréquence de coupure,

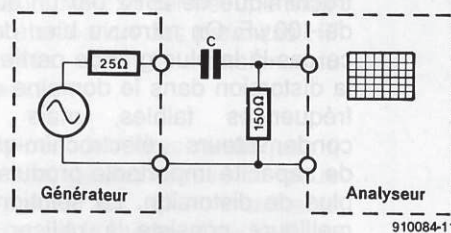


Figure 4. Synoptique du principe de mesure adopté pour établir la distorsion harmonique en fonction de la fréquence.

de sorte qu'il est pratiquement inutilisable. L'électrochimique au contraire se comporte fort civilement, le MKT ne présentant pratiquement pas la moindre distorsion. Ne vous laissez pas impressionner par les résidus de distorsion caractérisant le MKT, dûs en partie à la technique de mesure utilisée, d'autant plus qu'ils se situent en deçà de la fréquence de coupure. L'enseignement à tirer de ce graphique est le suivant: lors de l'examen des caractéristiques d'un condensateur de couplage (pris par exemple à l'entrée d'un amplificateur) il est préférable d'opter pour une fréquence de coupure de 1 Hz plutôt que les 10 Hz classiques (théoriquement plus que suffisants). Le domaine des éventuelles distorsions se situe en tout cas en-dehors du domaine audio.

Il n'en faudra pas moins tenir compte du fait qu'il n'est pas nécessairement judicieux de

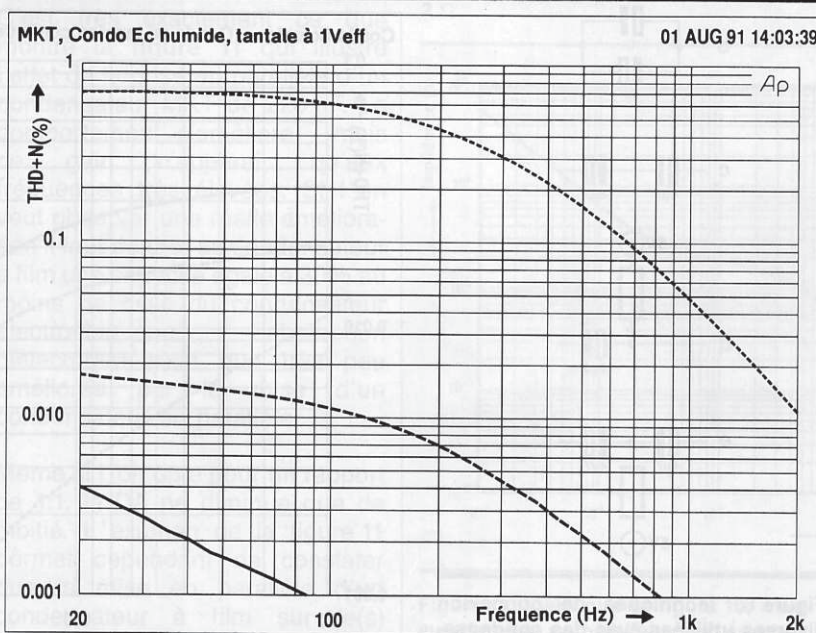


Figure 5. Les distorsions harmoniques en fonction de la fréquence sur différents types de condensateurs. De haut en bas: condensateurs au tantale, condensateur électrochimique standard et condensateur MKT.

remplacer un condensateur électrochimique de $2\mu\text{F}2$ par un autre de $100\ \mu\text{F}$. On retrouve bien dans ce cas-là la plus grande partie de la distorsion dans le domaine des fréquences faibles, mais les condensateurs électrochimiques de capacité importante produisent plus de distorsion. La solution la meilleure consiste à utiliser un condensateur à film de $2\mu\text{F}2$. Cependant comme l'espace est bien souvent compté, il existe quelques techniques de branchement des condensateurs (figure 6) qui se traduisent par une distorsion moindre.

Les courbes des figures 7 et 8 montrent le résultat de cette substitution. La tension d'entrée a été, lors de cette mesure, augmentée jusqu'à $2V_{\text{eff}}$, ceci de façon à mieux visualiser les différences. La figure 7 vous propose, pour commencer, la courbe de distorsion d'un unique condensateur électrolytique (comme en figure 4).

Un montage tête-bêche (anti-parallèle) du type de celui illustré en figure 6b se traduit par une distorsion moindre, mais a l'inconvénient de ne fonctionner qu'avec des tensions alternatives de quelques volts seulement et de ne pratiquement pas supporter l'application d'une tension continue. En résumé, une alternative peu intéressante.

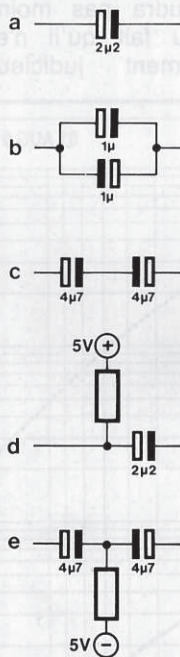


Figure 6. Techniques de connexion diverses utilisées avec des condensateurs électrochimiques. Les résultats de ces différentes approches sont visualisés par les graphiques des figures 7 et 8.

La variante de la figure 6c propose elle aussi un montage tête-bêche, mais en série cette fois. Le résultat est très proche de celui obtenu avec l'utilisation d'un condensateur bipolaire, à ceci près que les distorsions des condensateurs électrochimiques bipolaires présentent des différences plus grandes.

Sur la plupart des montages pratiques on constate la présence d'une tension continue aux bornes du condensateur de couplage, tension ayant un effet bénéfique sur le comportement du condensa-

teur électrochimique. La présence d'une tension continue de 5 V sur l'une des bornes du condensateur comme le représente la figure 6d entraîne une réduction sensible de la distorsion (figure 8). La même astuce appliquée au montage tête-bêche série (figure 6e) apporte elle aussi une (légère) amélioration par rapport à un montage série standard.

Celle se matérialise encore plus en cas de mise en place d'une résistance de $100\ \text{k}\Omega$ par exemple dont l'autre extrémité est reliée à une tension négative, qu'il s'agisse

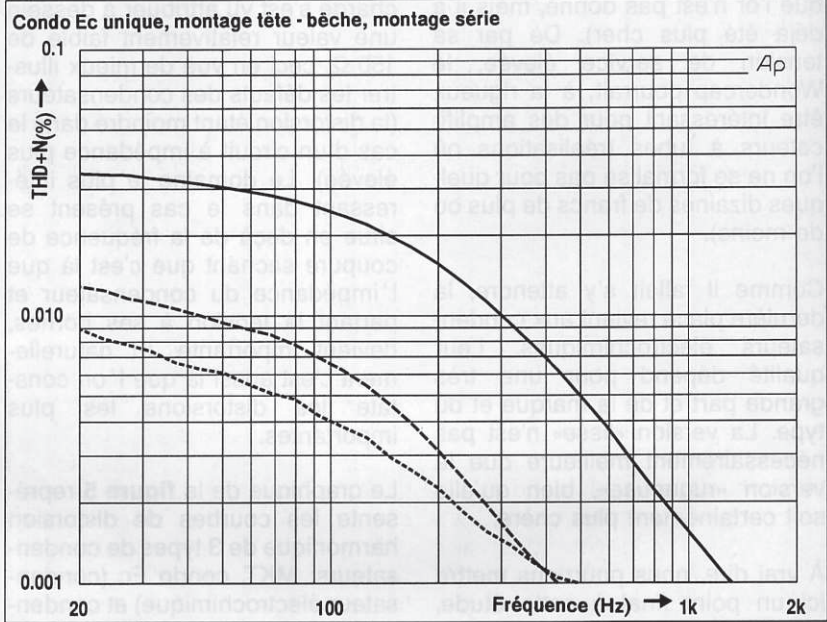


Figure 7. Les distorsions harmoniques pour chacune des variations de la figure 6. De haut en bas, condensateur électrochimique unique (6a), montage tête-bêche parallèle (6b) et montage tête-bêche série (6c).

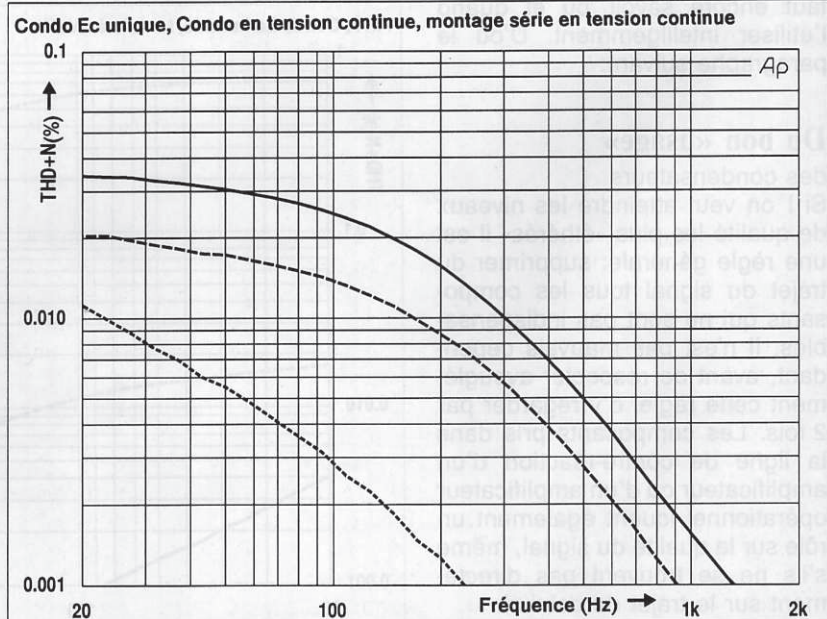


Figure 8. Suite de la figure 7. De haut en bas: condensateur électrochimique unique (6a), condensateur électrochimique avec tension continue (6d) et montage tête-bêche série avec tension continue (6e).

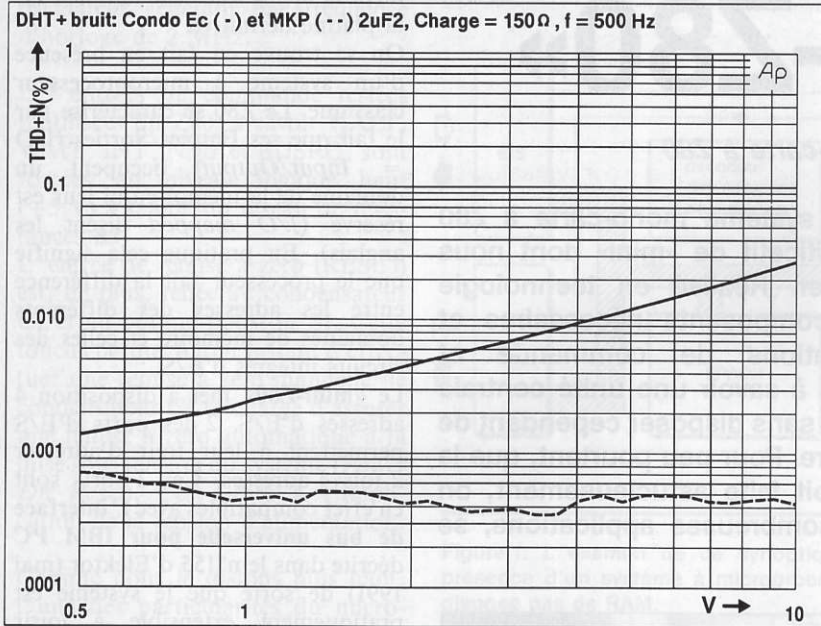


Figure 9. Les caractéristiques de distorsion d'un condensateur électrochimique et d'un condensateur MKP à une fréquence de 500 Hz en fonction de la taille de la tension alternative.

d'une tension d'alimentation ou d'une tension auxiliaire peu importe.

Le graphique de la **figure 9** montre l'évolution de la distorsion en fonction de la tension (alternative). On a comparé ici un condensateur électrochimique et un condensateur MKP, à une fréquence de 500 Hz et une tension d'entrée comprise entre 0,5 et 10 V. On voit nettement qu'avec un condensateur électrochimique la distorsion augmente en fonction de la taille de la tension du signal. Cette caractéristique prend toute son importance dans le cas des amplificateurs à tubes lorsque l'on sait quelle est l'importance des tensions alternatives mises en jeu sur ce type d'amplis, d'où l'importance de la qualité du condensateur de couplage utilisé.

Lors de ces mesures, seules ont été prises en compte les distorsions harmoniques, sachant que d'une part ce sont là les distorsions les plus importantes rencontrées avec les condensateurs électrochimiques et que de l'autre ce sont celles auxquelles l'oreille humaine est la plus sensible. Il existe, d'autres types de distorsions que les distorsions harmoniques, par exemple les effets de l'absorption diélectrique (DA). Ceux-ci produisent des modifications du comportement dynamique et se traduisent par une image sonore plus «trouble» (il est difficile d'être plus explicite à ce sujet nous semble-t-il).

Finissons par quelques sucreries: la **figure 10** montre l'évolution de l'impédance d'un condensateur électrochimique standard de $2\mu\text{F}2$. Une courbe qui est loin d'être idéale n'est-ce pas. Au-delà de 20 kHz l'impédance se maintient à $2\ \Omega$ environ. Cette caractéristique ne joue pas de rôle dans le cas de circuit d'amplification présentant une impédance élevée, mais prend d'autant plus d'importance dans le cas de filtres ayant une impédance faible. Il serait sensé, dans ce cas-là, de monter un condensateur à film en parallèle.

C'est très exactement ce que montre la **figure 11** qui illustre l'effet de la prise en parallèle d'un condensateur MKT de 220 nF. Le comportement s'améliore – mais ce gain n'apparaît qu'aux fréquences très élevées. Si l'on veut observer une réelle amélioration il faut donner au condensateur à film une capacité égale à 30% au moins de celle du condensateur électrochimique. L'absorption diélectrique n'est que très peu améliorée par la mise d'un condensateur en parallèle.

Même si l'on opte pour un rapport de 1:1, la DA ne diminue que de moitié. L'examen de la figure 11 permet cependant de constater que la mise en parallèle d'un condensateur à film sur le(s) condensateur(s) de filtrage d'une alimentation peut avoir un effet bénéfique. Le condensateur à film découple très sensiblement

jusqu'à des fréquences de plusieurs MHz et permet une meilleure élimination des parasites HF véhiculés par la tension du secteur.

Après ces dernières remarques il nous semble avoir passé en revue les points les plus importants concernant le thème «l'audio & les condensateurs». Quoi qu'il en soit, il n'en reste pas moins vrai que «le meilleur condensateur en audio est un condensateur absent». Il n'est malheureusement pas possible partout de mettre cette maxime en application. ◀

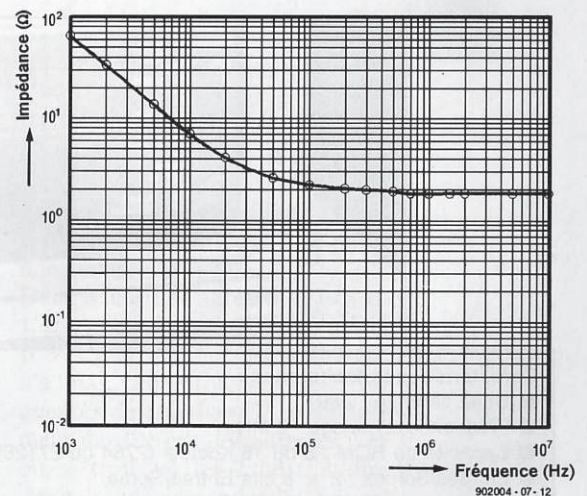


Figure 10. Évolution de l'impédance d'un condensateur électrochimique de $2\mu\text{F}2$ standard. Au-delà de 20 kHz, il se comporte comme une résistance de $2\ \Omega$.

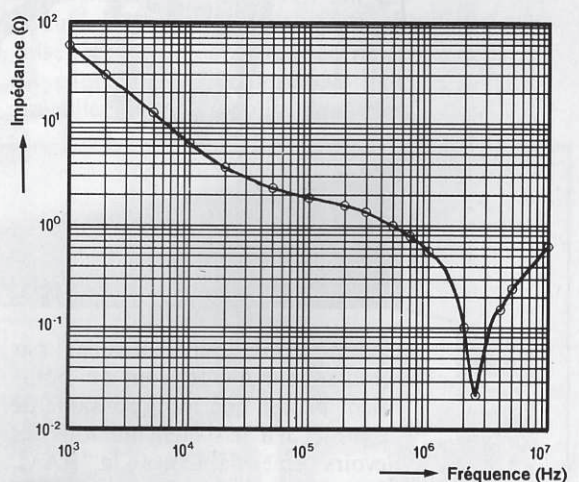


Figure 11. Idem que la figure 10, mais avec la mise en parallèle d'un condensateur MKT de 220 nF. Au-delà de quelques centaines de kilohertz l'amélioration est visible, mais la courbe est encore loin d'être idéale.