

Introduction à l'analyse vectorielle

Chapitre 3, les condensateurs

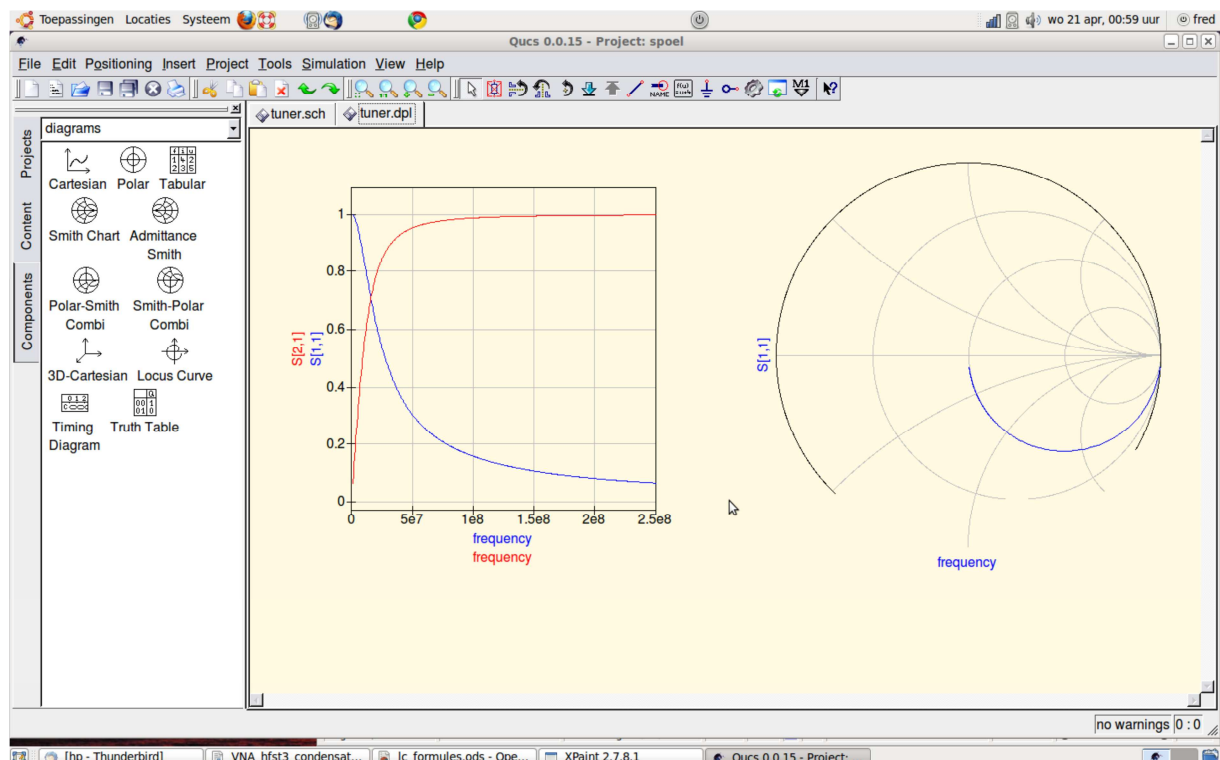
Dans le domaine de la radioélectricité sévit un couple de jumeaux aussi célèbres que diaboliques, qui se ressemblent autant qu'ils s'opposent. Et chaque fois que l'on voit l'un, l'autre n'est pas loin. Nous connaissons déjà l'un d'eux, l'inductance. Nous allons nous intéresser à son frère, de bien meilleure compagnie... mais qui possède lui aussi certains coté obscurs.

Il y a tout un tas de paramètres intéressants à mesurer dans un condensateur. A commencer pas sa réactance, la « résistance » aux courants alternatifs. C'est là que notre VNA va jouer les juges de paix. Ensuite, il y a l'ESR, ou « Résistance série équivalente ». C'est un paramètre surtout important dans les alimentations de puissance. Il nous informe à propos de la résistance interne du composant qui fait qu'un condensateur ne se décharge pas d'un coup et qui crée un délai lorsque le courant aux bornes du condensateur passe de positif à négatif. Notre VNA ne peut pas mesurer de telles choses, mais notre générateur de signal carré et un oscilloscope peut très bien s'en charger.

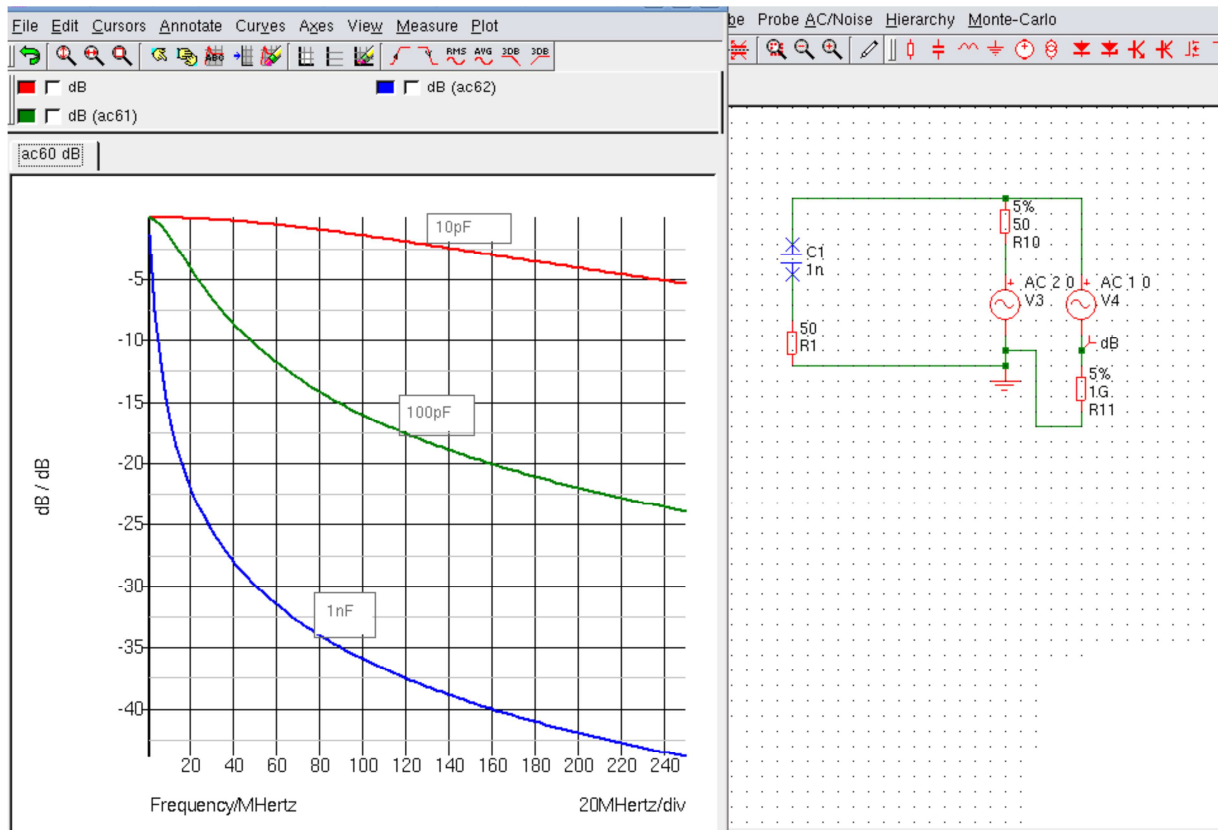
Ajoutons aussi le courant de fuite, que l'on rencontre surtout dans les condensateurs chimiques. Quelle quantité de courant fuit au travers du condensateur et quelle est sa tension de service... Là encore, ce n'est pas un boulot pour notre VNA mais une alimentation et un simple ampèremètre pourra le déterminer. Reste enfin un dernier paramètre qui n'est pas tellement connu, c'est l'ESL, ou Inductance série équivalente (*Equivalent Serie Inductance*). Et si on n'en parle pas tant que ça, c'est précisément parce qu'il faut un VNA pour la voir. Les fils de raccordement d'un condensateur et souvent une partie de sa structure interne forment souvent une inductance, et seul le VNA est capable de la mesurer. C'est principalement en raison de la présence de cette ESL que certains condensateurs ne font pas preuve d'un comportement idéal à haute fréquence.

Mise en œuvre

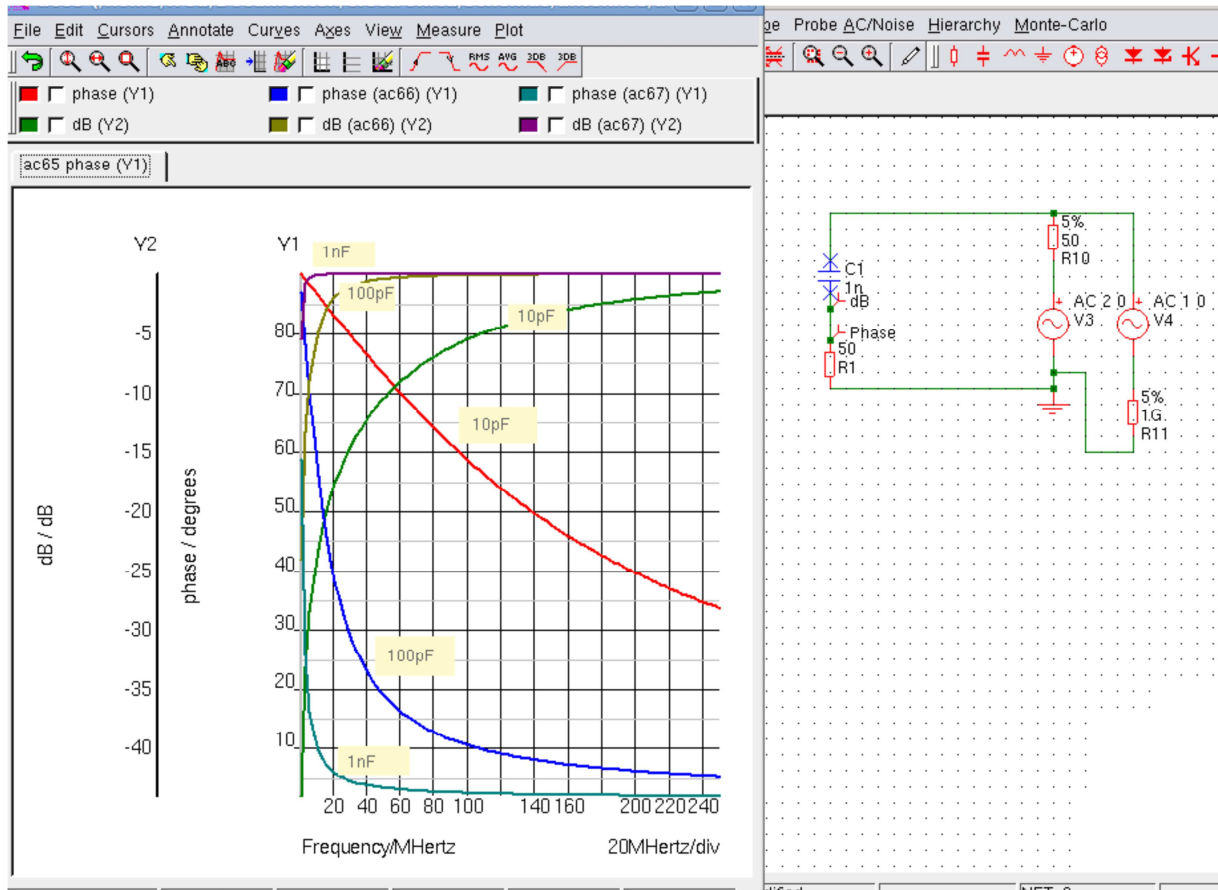
Avant d'étalonner notre support de DUT comme nous l'avons fait au cours des chapitres précédents, nous allons partir à la pêche aux condensateurs dans nos fonds de tiroirs. Il en existe de plusieurs sortes, offrant des valeurs multiples. L'idéal serait de trouver des valeurs à partir desquelles nous pourrions tirer quelques enseignements, mais tous les types de condensateurs n'offrent pas les mêmes plages de valeur... pour nous aider dans notre choix, nous allons recourir à un outil très puissant : un logiciel de simulation. J'utilise généralement Simetrix et Qucs.



La capture d'écran ci-dessus est celle de Qucs. Elle montre les courbes caractéristiques d'une capa de 100pf. A gauche, les courbes S11 et S21 et à droite une Smith de S11. Le tracé bleu de la Smith, situé dans le secteur résistif, est la mesure S21. Il y a là une résistance de 50 Ohms, dont la présence est nécessaire à la simulation.



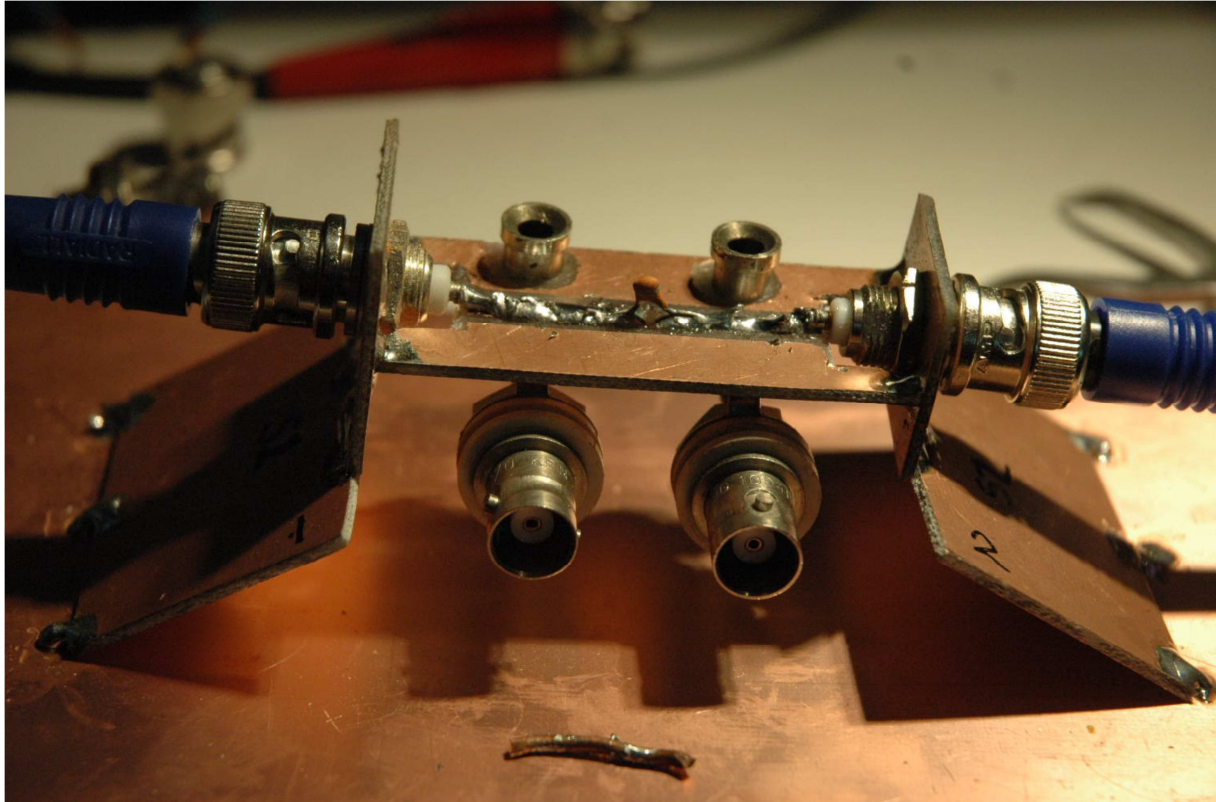
On peut obtenir la même chose avec Simetrix. L'écran ci-dessus simule le fonctionnement d'un VNA. Le graphique montre une mesure S11 en dB. La capture d'écran suivante nous montre une mesure S21. Dans les deux cas, ces courbes sont celles d'un condensateur idéal.... Mais nous ne vivons pas dans un monde idéal.



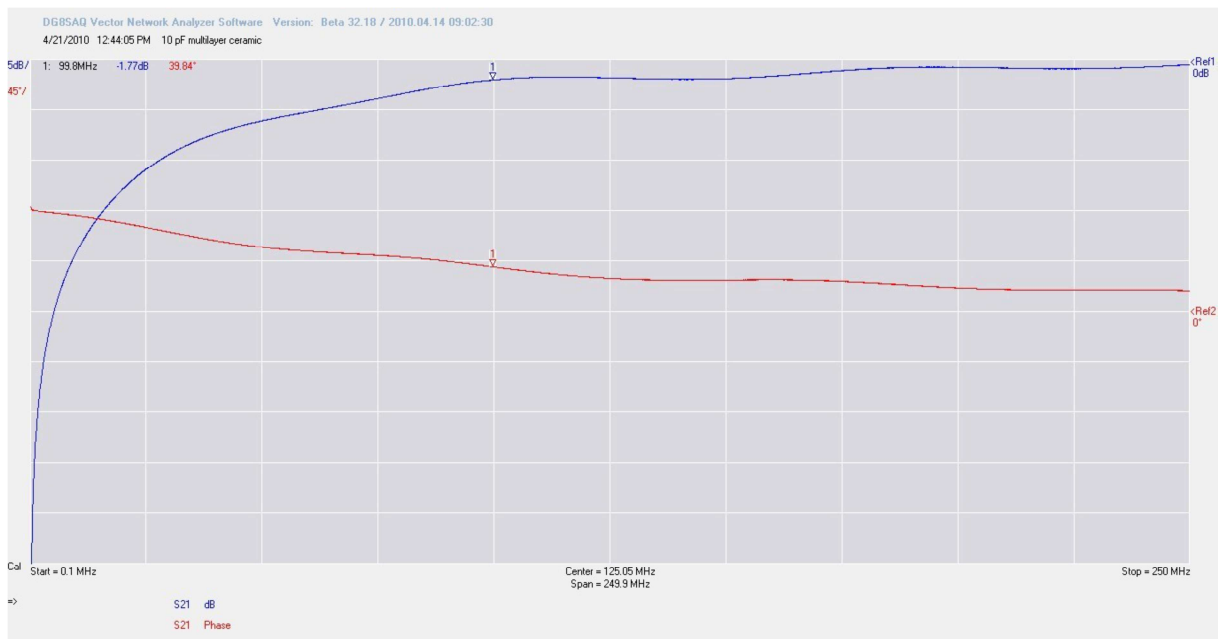
Condensateur Céramique

Le premier condensateur testé est un céramique de 15 pf (un modèle « disque »). Le composant est soudé sur le support de DUT, et l'étalonnage utilisé n'est autre que celui sauvegardé au cours du second chapitre. Tout est prêt pour entamer une mesure S21. Comme l'on peut s'y attendre grâce aux simulations, l'on devrait pouvoir observer une très forte atténuation aux fréquences basses. Une 15 pf présente une impédance élevée à 1 MHz. L'atténuation devrait être moindre à 250 MHz. La ligne verte (marquée 10pf sur l'écran Simetrix) nous donne une idée de ce à quoi nous devons nous attendre.

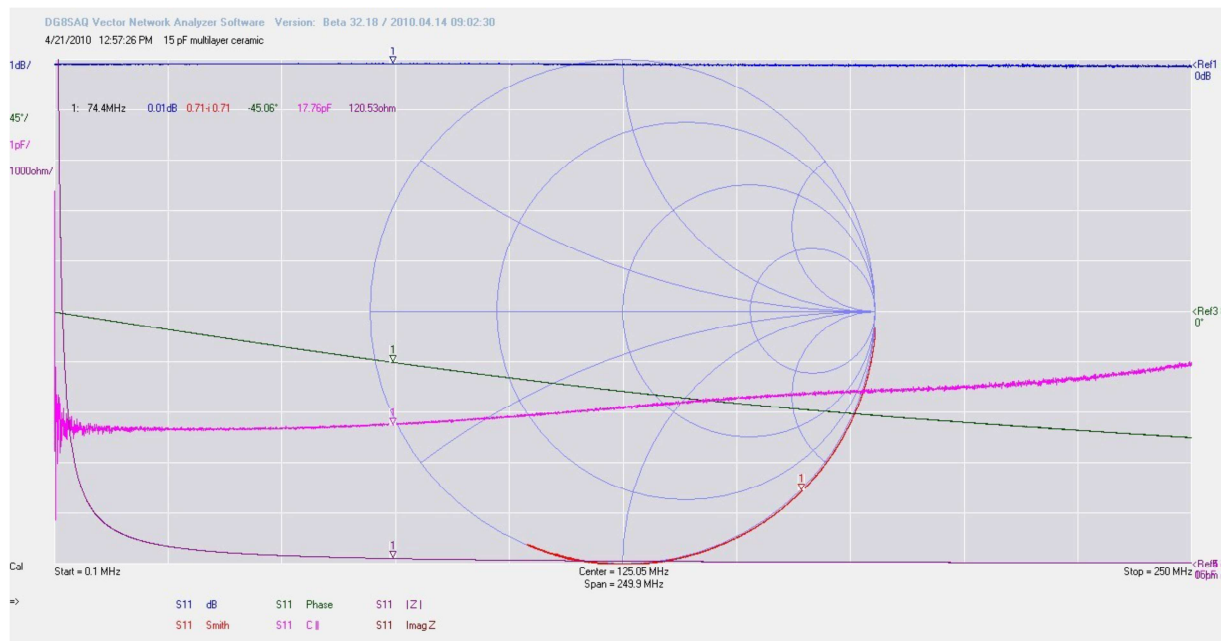
Il est toujours prudent de tout d'abord court-circuiter le support de DUT avec un morceau de fil conducteur, ceci pour être certain qu'il n'y ait pas d'atténuation (ou si l'on en constate une, pour avoir une idée de l'importance de cette atténuation), mais également pour voir si une réactance, ou pire, une résonance propre au DUT ne viendrait pas perturber nos mesures. De tels phénomènes provoqueraient des « creux » dans la trace S21. Le fil que j'ai utilisé peut être vu au premier plan de la photo ci-dessous.



Comme on peut le voir, ce fil est assez long comparé au condensateur lui-même. Mais son influence sur le montage est quasi inexistante comme on peut le constater avec la mesure ci-dessous



La trace rouge indique la phase, et s'inscrit au-dessus de la limite médiane du 0 degrés. L'atténuation est pratiquement la même que celle montrée par la simulation. Mais ce bel affichage cache bien des choses.



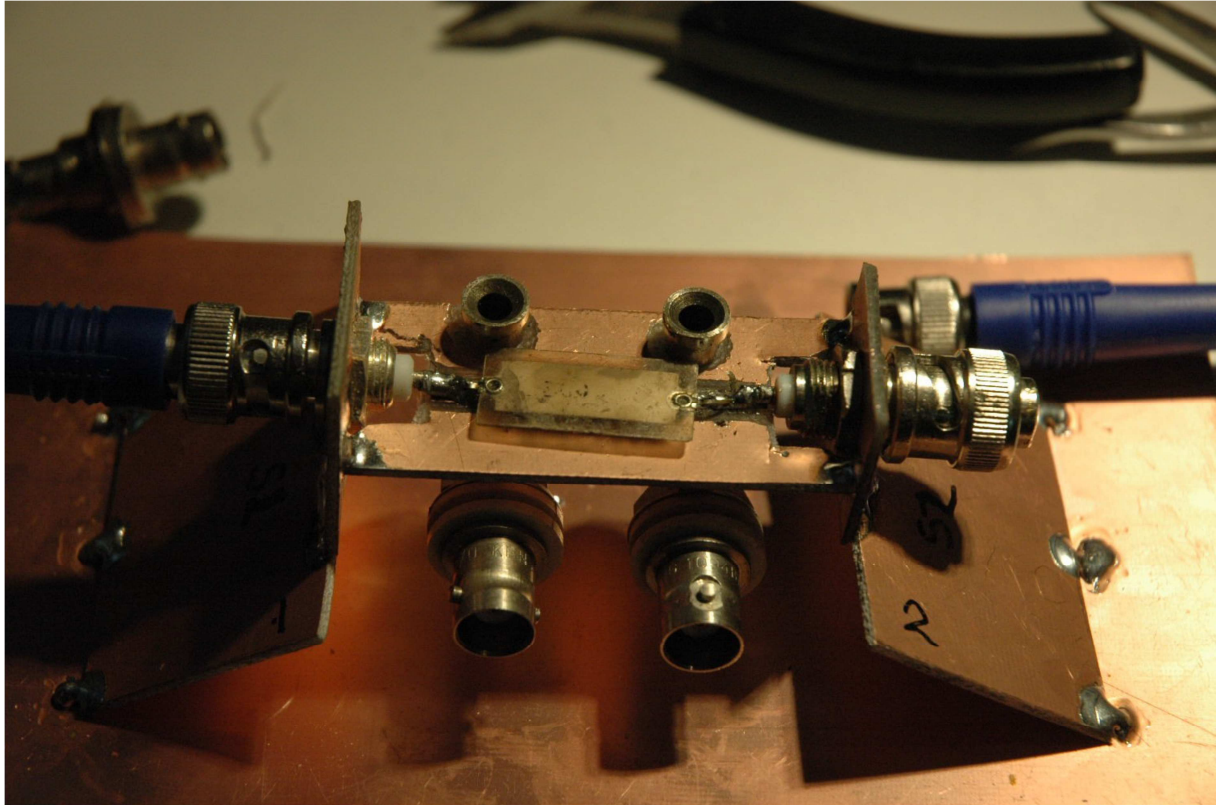
Pour les découvrir, nous devons lancer une mesure S11. J'ai ajouté quelques courbes en plus. L'une des plus importante est la verte, qui indique la phase. N'oubliez pas, pour cette mesure, de débrancher le câble RX et de connecter le connecteur « Short » en extrémité de support de DUT

A nouveau, nous allons choisir un point aux environs de 45 degrés pour mesurer la capacité. Elle est de 17,76 pF. La trace rose est une mesure de cette même capacité. Elle montre que la valeur du condensateur ne varie pas de plus de 1pf sur toute l'étendue de la plage de mesure. La trace rouge de l'abaque de Smith suit précisément le cercle extérieur, indiquant par là une absence totale de perte. Mais ces mesures sont-elles réellement aussi « bonnes » ?

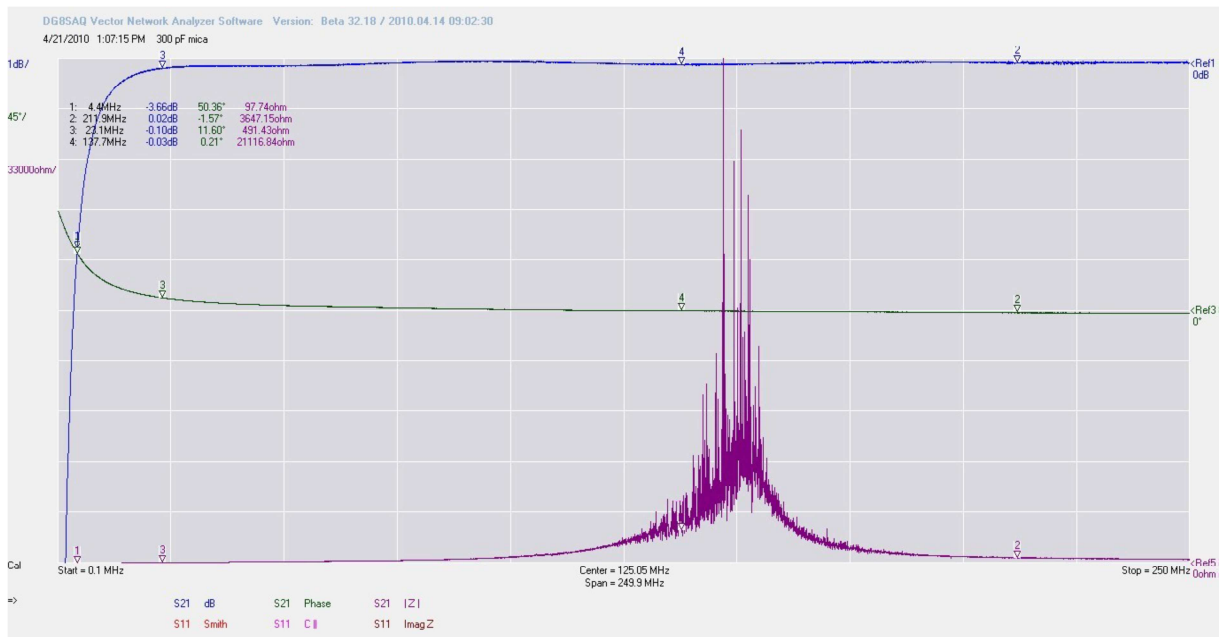
N'y comptez pas trop.

Condensateur au Mica Argenté

Capacité de 300pF à diélectrique mica.

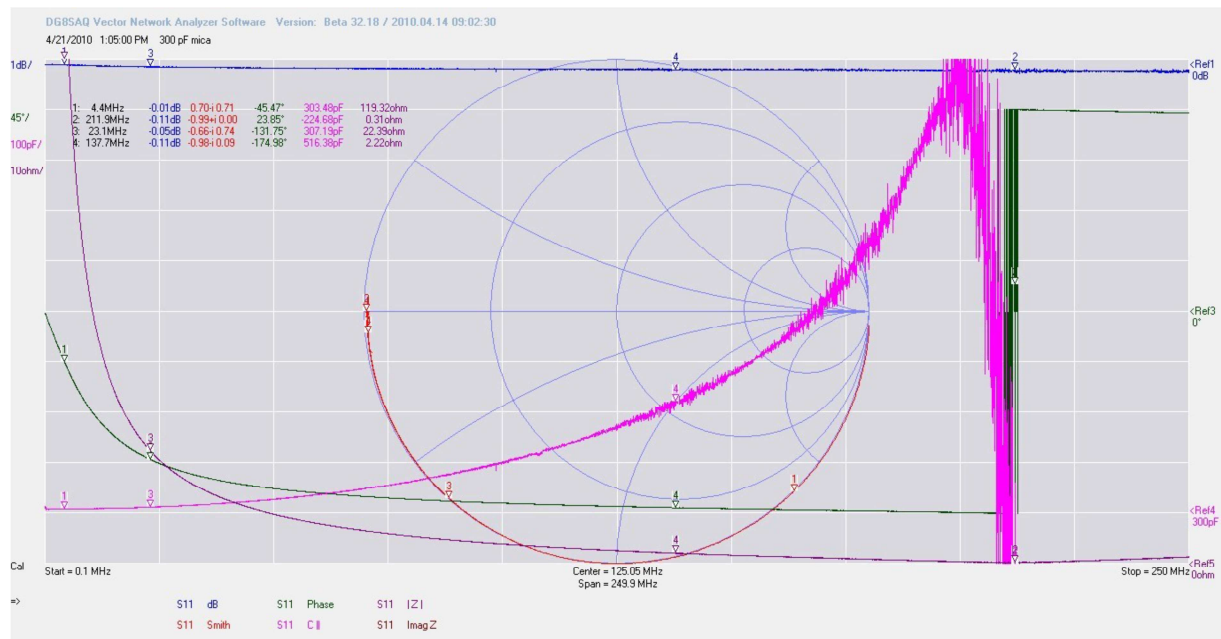


Avant la seconde guerre mondiale, le type de condensateur le plus utilisé dans les montages HF était ceux en mica argenté. Mais ces condensateurs étaient fabriqués aux USA. C'est pourquoi les Allemands ont développé une solution alternative, le condensateur céramique. Et c'est Rhodes & Schwartz qui s'en est chargé. Ainsi donc, après nous être intéressé aux condensateurs céramiques, nous allons nous pencher sur son ancêtre. Le principal problème des micas est leur taille imposante. Celui que j'ai utilisé au cours de ce test possède des pattes de sortie en fil plat, destiné à réduire l'inductance. Les fils de liaison ont été coupés pratiquement aussi courts que pour la mesure précédente avec le condensateur céramique. Mais il faut compter avec la longueur des connexions internes.



La trace S21 paraît bonne. La mesure de phase (trace verte) nous dit qu'il pourrait y avoir des problèmes au-dessus de 130 MHz.

J'ai ajouté une trace $|Z|$. Elle nous confirme le fait que nous devons nous attendre à de vilains trucs. Voyons ce que cela donne avec une mesure S11

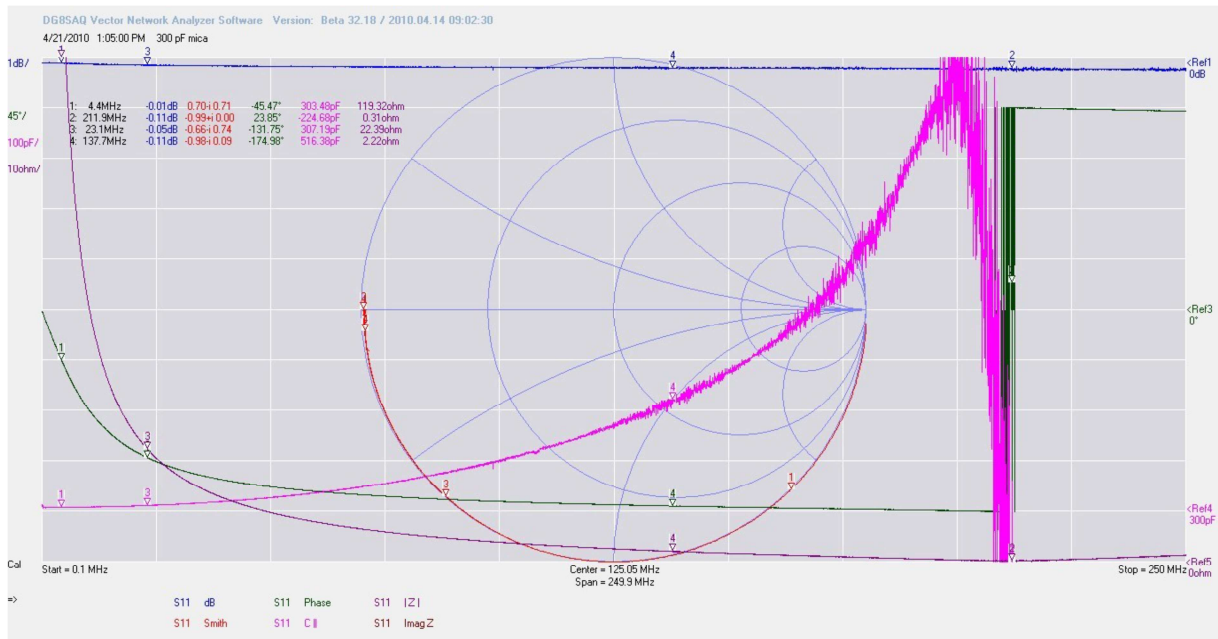


A la lecture de cette capture d'écran, on ne se pose plus de question. Mais l'on découvre d'autres choses intéressantes. Nous avons mesuré la capacité à 45 degrés (phase S21). 303 pf dans notre cas. Mais si nous regardons la phase 90 degrés plus loin, nous mesurons 307 pf. Entre les marqueurs 1 et 3, la capacité ne change presque pas. Sur l'abaque de Smith, l'écart situé entre ces deux marqueurs et très important... il représente près d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz. Ça se dégrade aux alentours d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz. Ça se dégrade aux alentours d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz. Ca se dégrade aux alentours d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz. Ca se dégrade aux alentours d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz. Ca se dégrade aux alentours d'un quart de la circonférence de l'abaque... mais une plage de seulement 20 MHz.

De telles mesures peuvent rendre parano. Mais ce sont là souvent la cause de certains comportements étranges dans un montage. Prenons l'exemple du PA d'un ancien transceiver à tube, comme le Yaesu FT200 ou le FT101. Ouvrez-en un et regardez la longueur des fils utilisés. On y trouve également des capa au mica avec des fils de liaison aussi longs... à tel point qu'on n'aurait presque pas besoin d'inductance. On raconte des histoires fantastiques à propos des chokes parasites. Qu'elles doivent être faites sur des matériaux exotiques pour abaisser le Q –oui, certains osent parler de Q d'une self bobinée sur une résistance-, que le fil doit être en argent massif pour diminuer les pertes et autres facteurs secondaires. Que les résistances doivent être placées au milieu des chokes ou juste à côté, ou encore que la choke doit être bobinée selon une forme ésotérique qui lui permettra de fonctionner sur tous les P.A. possibles... bienvenu dans le monde merveilleux des mythes du radioamateurisme. Mais considérez cette filasse en sortie des chokes, les fils de liaisons vers les commutateurs, et posez-vous la question : tout ça dans quel but, et quelles sont les forces du côté obscur qui sont à l'œuvre. Tirez-en ensuite une conclusion qui fonctionne dans *votre* cas, et qui est la conséquence de mesures effectuées proprement et d'interprétations judicieuses des résultats

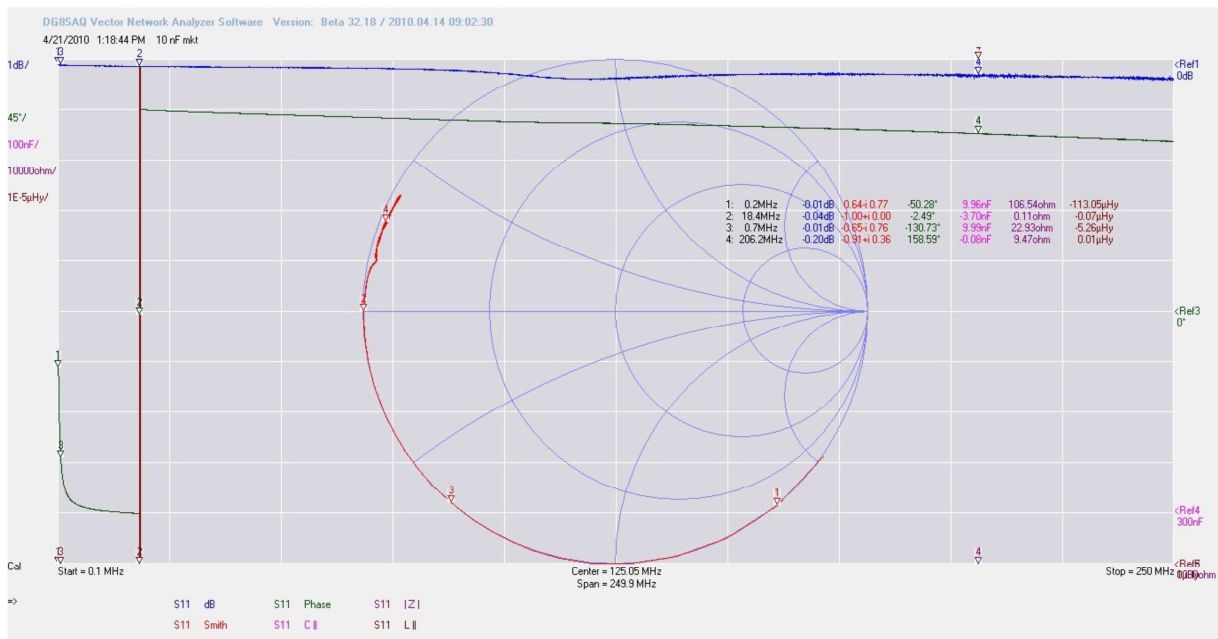
Condensateur MKT

Le suivant de la série est un 10nF MKT. Ce sont des condensateurs en film polyester métallisé, dit parfois "à film plastique", qui se présentent sous forme de petits cubes de plastique colorés. Ils sont très populaires parmi les utilisateurs de signaux aux environs des 500 kHz.



Les traces S21 que j'ai l'habitude d'ajouter systématiquement sont généralement utilisées pour se faire une première idée. Mais elles ne sont pas toujours aussi intéressantes. Si vous voulez utiliser un condensateur comme coupeur de composante continue (DC-Block) ou une bobine de blocage HF, on peut en tirer des infos intéressantes. La seule chose importante dans l'exemple d'utilisation mentionné, c'est que la capa bloque le courant continu sans trop atténuer le signal, en fonction de sa réactance. Supposons que nous utilisions ce condensateur sur un P.A. travaillant sur 20 mètres. Le courant continu serait bloqué, cela ne fait aucun doute. Mais tout courant alternatif verrait un $|Z|$ aux environs de 44 kOhms. Aille... On ne peut rien sortir d'un tel montage. Mais... une perte aussi importante ne devrait-elle pas être visible sur la mesure S21 ?

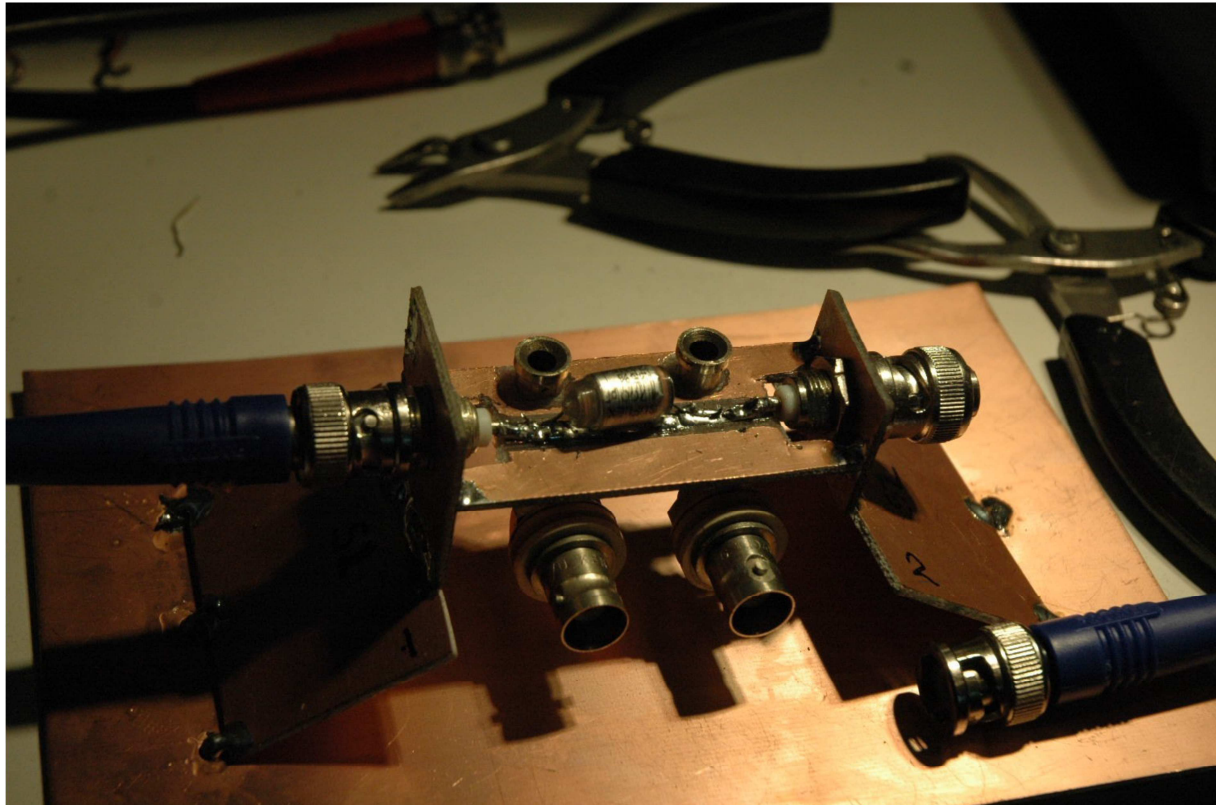
Enfer et damnation, il va falloir plonger dans la théorie. L'atténuation n'est que de 0,02 dB sur la courbe (bleue). Mais jetons un coup d'œil sur la phase. Elle passe par zéro degrés, donc il y a résonance. Dans le cas présent, un condensateur en série avec une self. Examinons tout ça avec une mesure S11.



Regardons tout d'abord la Smith. Les marqueurs 1 et 3 nous montrent une capacité de 10 nano presque parfaite, à 50 degrés. Aucune perte, une inscription qui s'effectue exactement sur la ligne périphérique de l'abaque/ Mais à 18 MHz, c'est fini. On constate une forte résonance et notre condensateur se transforme en mauvaise self présentant une perte importante. Pour le fun, regardons le marqueur 4. Son $|Z|$ atteint 9,47 Ohms à 206MHz.

Dans le cas d'un condensateur parfait, son X_c aurait dû être de $0,08 \text{ Ohms}$. Il indique une inductance de $0,01 \mu\text{H}$. A cette fréquence, cela donne un X_L de 13 Ohms . Le tracé de la Smith se déplaçant vers l'intérieur de l'abaque confirme le fait qu'il y en a plus des pertes résistives. Au total, elles atteignent $9,57 \text{ Ohms}$. Je vous conseille d'utiliser les fonctions associées au marqueur : double-cliquez sur la courbe S11 bleue pour ouvrir la boîte de dialogue servant à ajouter d'autres tracés, et affichez Z réel et Z imaginaire pour déterminer la valeur de R et dans quelle proportion xj est impacté

Condensateur Styroflex :



Pour clore ce chapitre, j'ai ajouté le balayage S11 d'une 4,7 nano styroflex. On peut voir sur la capture ci-dessus de multiples résonances, dont deux l'une à côté de l'autre. Mais regardez le marqueur 2 à 88 MHz : nous

n'avons qu'une résistance pure, une résistance dépourvue de tout effet selfique, d'une valeur de 28,27 Ohms. Mais en HF, c'est un condensateur tout à fait acceptable.

Bon, maintenant, vous savez (presque) tout sur les résistances, les inductances et les condensateurs. Il est temps de s'intéresser à leur combinaison. Nous pénétrons dans le monde merveilleux des réseaux résonnants. Nous allons avoir un meilleur aperçu des mystères de Q, des courants de Foucault et d'autres effets magiques

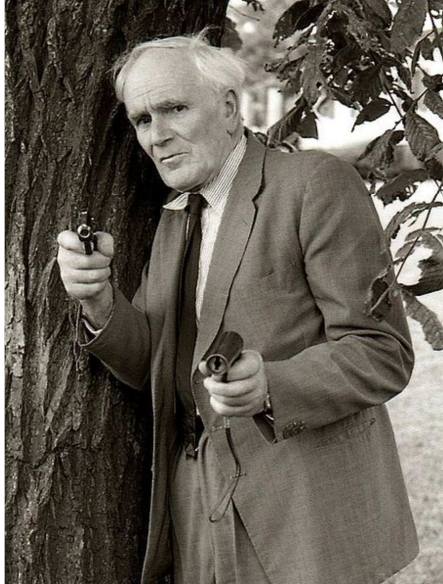


Image tirée du wiki

A suivre...

Fred PA4TIM

L'original de ce texte est disponible à l'adresse

http://www.pa4tim.nl/wp-content/uploads/2010/11/VNA_hfst3_capacitor.pdf

L'intégralité du didacticiel est accessible à l'adresse

<http://www.pa4tim.nl/?p=1594>

Le contenu de ce texte ne peut être modifié sans l'autorisation de son auteur. Traduction f6itu sous Creative Commons