

SEANCE TECHNIQUE N°4

- **Notion d'impédance**
- **Filtres analogiques**

1/Notion d'impédance

Jusqu'à présent, le comportement des composants a été étudié dans le cas particulier du courant continu. Malheureusement, ou heureusement, ces composants ont un comportement assez différents en présence d'un courant alternatif. Aussi, toutes les lois, y compris la loi d'ohm, doivent être *réadaptées* au cas particulier du courant alternatif.

Ici, la notion de courant alternatif englobe toutes les formes de courant sinusoïdale : du secteur 50Hz aux SHF en passant par les VHF. Il existe, cependant, des méthodes d'analyse plus appropriées aux hyperfréquences (notion de paramètres S, ...) qui sortent largement du domaine de ce cours.

1.1/Rappels

1.1.1/Tension efficace

La **valeur maximale** (U_{\max} ou I_{\max}) est la valeur la plus grande, appelée aussi valeur crête.

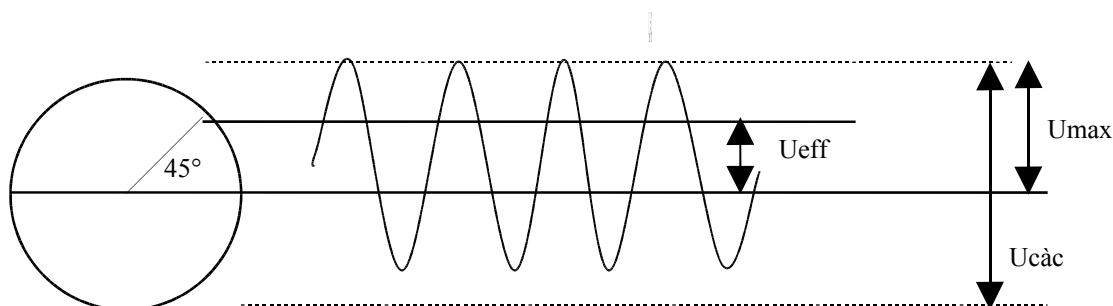
La **valeur efficace** (U_{eff} ou I_{eff}) est la valeur pour laquelle les lois d'Ohm et de Joule peuvent être appliquées si et seulement si le signal est sinusoïdal. On rappelle que le sinus de 45° est égal à $1/\sqrt{2}$, soit 0,707. Si le signal est alternatif mais pas sinusoïdal, la valeur maximale reste la même mais la valeur efficace sera calculée différemment.

$$U_{\max} = U_{\text{eff}} \times \sqrt{2}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

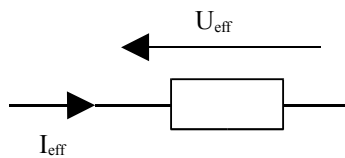
La **valeur moyenne** (lue par le galvanomètre) est la moyenne algébrique du courant ou de la tension. La valeur moyenne d'un courant sinusoïdal dont la longueur est égale à un nombre entier de période est nulle car la surface des alternances positives est égale à celle des alternances négatives.

La valeur **crête à crête** ($U_{\text{càc}}$ ou $I_{\text{càc}}$) est la valeur entre 2 extrêmes, soit 2 fois la valeur maximale pour un courant sinusoïdal.



En traitement numérique du signal, on parle de « moyenne » et « d'écart type ».

1.1.2/Résistance en régime alternatif



$$U_{eff} = R \times I_{eff}$$

$$P = RI_{eff}^2 = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

U_{eff} : tension efficace aux bornes de la résistance (en V)
 I_{eff} : courant efficace transversant la résistance (en A)
 P_{eff} : Puissance efficace dissipée par la résistance

1.2/Régime alternatif

Tout composant, soumis au régime alternatif, dissipe, en toute rigueur, 2 types de puissances : une puissance dite active, et une puissance dite réactive.

Le calcul d'une puissance efficace revient à calculer une puissance active. Cela signifie qu'une résistance ne dissipe que de la puissance active. La puissance active est celle qui se représente physiquement par un échauffement du composant (appelé effet Joule).

A l'inverse, un condensateur ou une bobine, n'est pas capable de dissiper une puissance active s'ils sont considérés comme des composants parfaits (sans aucune pertes résistives). Ces composants ne dissipent qu'une puissance réactive.

Une puissance efficace, ou une puissance active, n'a de sens que sur les résistances. Pour une bobine ou un condensateur, on parle de puissance réactive.

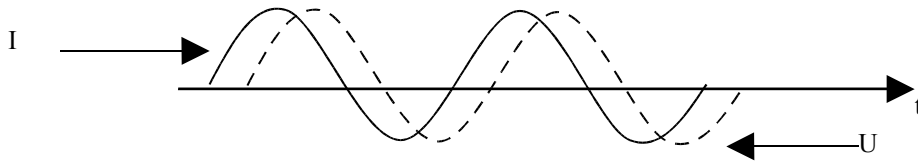
Une puissance active n'a de sens que sur une résistance. On parle de puissance efficace. Une puissance réactive n'a de sens que sur les condensateurs ou les bobines.

1.2.1/Déphasage

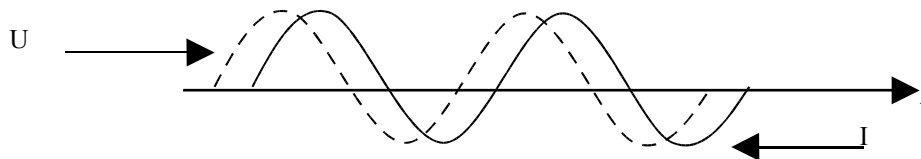
En présence de courants alternatifs, le condensateur et la bobine introduisent des **déphasages** entre les tensions et les intensités des courants qui les traversent. C'est ce déphasage qui est à l'origine de la puissance réactive.

Le **déphasage introduit par le condensateur** entre la tension à ses bornes et l'intensité le traversant s'explique ainsi : lorsque le condensateur est « rempli », la tension à ses bornes est maximum et aucune intensité est constatée puisqu'il est plein. Dès que le condensateur se vide, une intensité sort du condensateur tandis que la tension diminue. Lorsque le condensateur est vide (tension nulle), l'intensité est à son maximum. Puis la tension à ses bornes s'inverse tandis que le courant diminue jusqu'à devenir nulle lorsque le condensateur est rempli. A ce moment, la tension est maximum et inversée par rapport au début. Puis le cycle continue (en sens inverse) lorsque le condensateur se vide à nouveau. Ainsi, **la tension est en**

retard par rapport à l'intensité ou l'intensité est en avance par rapport à la tension.

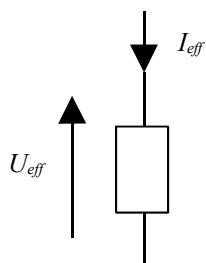


Le **déphasage introduit par la bobine** entre la tension à ses bornes et l'intensité la traversant s'explique ainsi : lorsqu'un courant continu parcourt la bobine, un champ magnétique est créé par la bobine. En l'absence de variation du courant, aucune tension n'apparaît aux bornes de la bobine. Si le courant parcourant la bobine diminue, le champ de la bobine restitue l'énergie dépensé lors de sa création en générant une tension contrecarrant la baisse de l'intensité. La tension sera maximum lorsque le courant sera nul car c'est à ce moment que la variation du courant est la plus importante. Lorsque le courant s'inverse, la tension demeure. Lorsque l'intensité est maximum et n'augmente plus, la tension est nulle. Puis le cycle continue (en sens inverse) lorsque le courant traversant la bobine diminue de nouveau. Dans ce cas, **la tension est en avance par rapport à l'intensité** ou l'intensité est en retard par rapport à la tension.



1.2.2/Loi d'ohm en régime alternatif

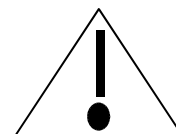
Les condensateurs et les bobines, lorsqu'ils sont traversés par des courants alternatifs, réagissent comme des résistances : ils s'opposent plus ou moins au passage du courant. Bien que le phénomène se mesure en ohms, on ne peut plus parler de résistances car il y a un déphasage entre tension et intensité. On parlera d'**impédance** pour caractériser la tension et l'intensité du composant.



$$U_{eff} = Z \times I_{eff}$$

U_{eff} : tension efficace aux bornes de l'impédance (en V)
I_{eff} : courant efficace traversant l'impédance
Z : impédance du composant en ohms (Ω)

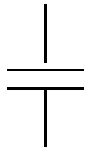
Cette loi n'est valable qu'avec les grandeurs efficaces.



L'impédance d'une résistance est donc la résistance elle même.

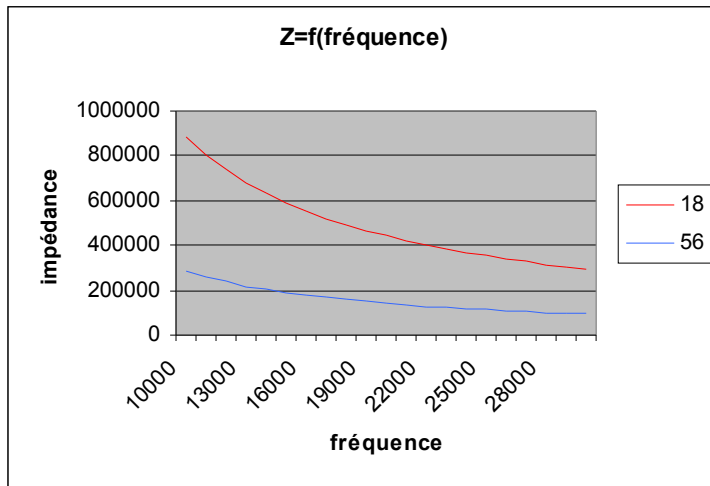
1.3/Calcul d'impédance

1.3.1/Condensateur



$$Z = \frac{1}{C\omega}$$

10pF présentent une impédance de 100ohms à 160MHz

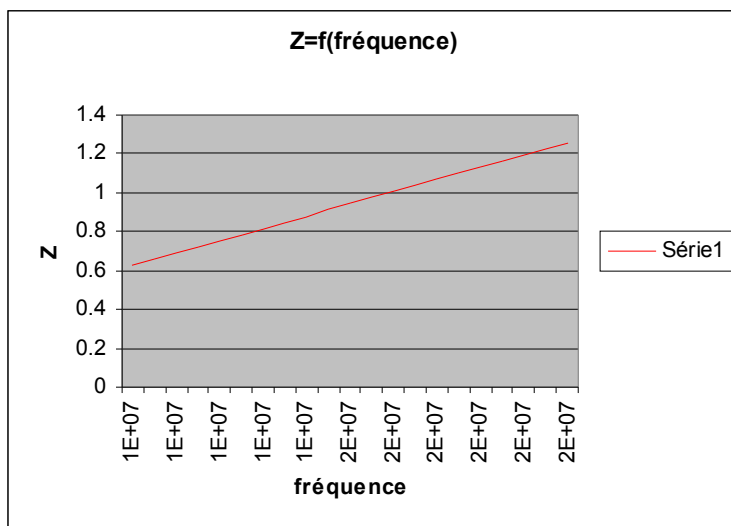


1.3.2/Bobine



$$Z = L\omega$$

10nH présentent une impédance de 100ohms à 160MHz



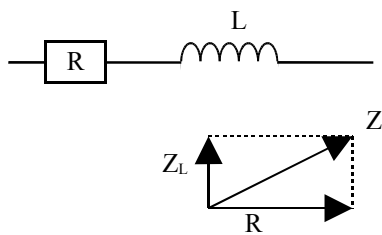
En basse fréquence, un condensateur présente une forte impédance, la bobine présente une faible impédance.
 En haute fréquence, un condensateur présente une faible impédance, la bobine présente une haute impédance.

1.3./Condensateur et bobine non parfait

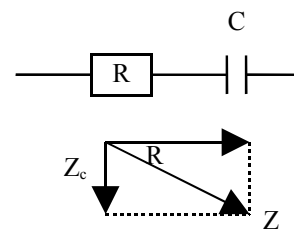
Les bobines et les condensateurs ne sont jamais parfaits : ils ont toujours une partie résistive que nous appelons résistance pure. Rappelons que, du fait de l'effet de peau, le courant ne se déplace qu'en surface des fils, ce qui rend le fil moins conducteur qu'à la simple lecture d'un ohm-mètre et ceci d'autant moins que la fréquence du courant est élevée.

L'impédance (rapport U/I) de la bobine ou du condensateur ne peut pas s'additionner avec la résistance du fil à cause du déphasage de la tension par rapport à l'intensité. Le **déphasage** de tension par rapport à l'intensité produit par le bobinage est de +90° (la tension est en avance de 90° par rapport à l'intensité). Celui produit par le condensateur est de -90° (la tension est en retard par rapport à l'intensité). La partie résistive (résistance pure du fil) ne s'ajoute pas arithmétiquement à l'impédance (déphasage de 90°) comme dans le cas des résistances en série, mais géométriquement (somme vectorielle).

L'impédance équivalente des groupements en série de résistances et de bobine ou de condensateur se calcule de la manière suivante (en utilisant le théorème de Pythagore) :



$$Z = \sqrt{R^2 + Z_L^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



$$Z = \sqrt{R^2 + Z_C^2} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

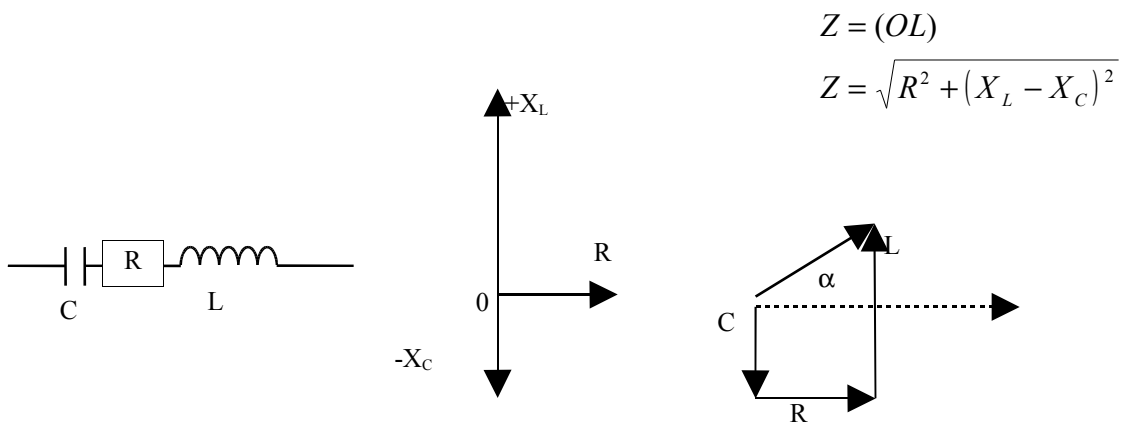
Le facteur Q est le *coefficient de qualité* des bobines et des condensateurs. Ce nombre sans unités est le rapport de l'impédance de la bobine (ou du condensateur) par rapport à sa résistance pure considérée comme une résistance en série, c'est-à-dire le rapport **entre l'énergie emmagasinée dans le composant et l'énergie dissipée en chaleur**.

$$Q = \frac{Z}{R} = \frac{2\pi FL}{R} = \frac{1}{2\pi FCR}$$

Le facteur Q dépend donc de la fréquence. Plus la résistance pure est petite, plus le coefficient de qualité est important et meilleur est le composant. Pour améliorer le facteur Q des bobines, la valeur relative de l'inductance est augmenté en utilisant des noyaux.

De plus, une capacité a toujours une composante réactive (bobine) à cause de la forme de ses armatures (formant un coude, par exemple). Une bobine a une composante capacitive liée à l'espacement entre ses spires. Une représentation graphique des

trois vecteurs (R , L et C) est proposée ci-dessous : en partant de 0 et en gardant la même échelle de longueur en Ω , le vecteur d'impédance de la bobine (L) va vers le haut ($+90^\circ$), celui du condensateur (C) vers le bas (-90°), le vecteur de la résistance (R) va vers la droite (0° , pas de déphasage). On remarquera la similitude avec le cercle trigonométrique. La résultante (somme vectorielle) donne la valeur de l'impédance et l'angle de déphasage de l'intensité par rapport à la tension. L'impédance (notée Z) est formée d'une résistance (notée R) et d'une réactance positive (appelée aussi réactance inductive, notée $+X_L$) ou négative (appelée réactance capacitive ou encore capacitance et notée $-X_C$) qui lui sont perpendiculaires. L'impédance est égale à la moyenne géométrique de la résistance et de la réactance. Le rapport réactance/résistance détermine la tangente de l'angle de déphasage. Si l'angle de déphasage est positif, la réactance sera positive et l'intensité sera en avance par rapport à la tension du courant. Dans le cas contraire, la réactance est négative et l'intensité du courant sera en retard par rapport à sa tension .



α = déphasage entre R et X

$$\alpha = \arctan\left(\frac{X}{R}\right) = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{X}{Z}\right) = \arcsin\left(\frac{X_L - X_C}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}\right)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R}{Z}\right) = \arccos\left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}\right)$$

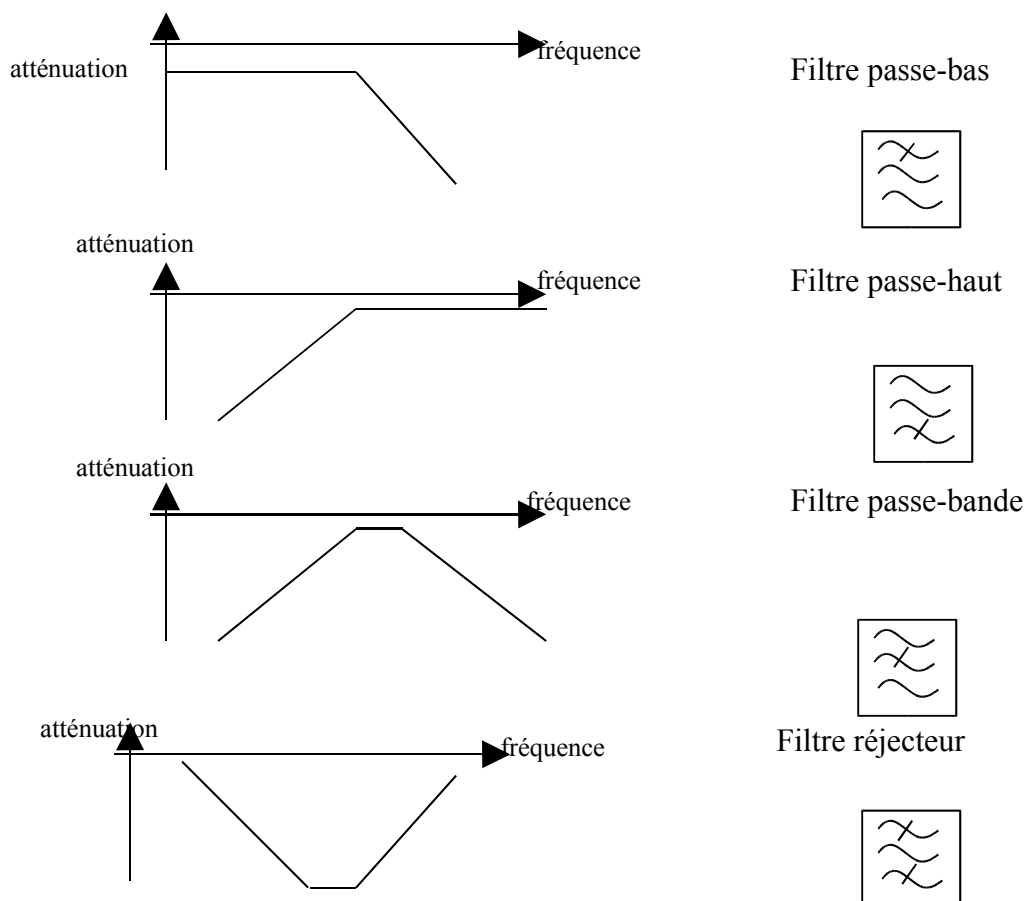
De même, les résistances, du fait de leur mode de fabrication, ont des composantes réactives (spirale creusée dans le matériau pour ajuster la valeur) et capacitives (les embouts des résistances), voir § 1-5. Il a été constaté que, quel que soit le type de résistance (CMS ou à fils) et sa puissance, exceptées les résistances bobinées, les résistances de faible valeur (jusqu'à 100 Ω) ont un comportement réactif (bobine). En revanche, les résistances de valeur supérieure à 300 Ω ont un comportement capacitif. Aux alentours de 150-200 Ω , les résistances ont un bon comportement

en haute fréquence (jusqu'à quelques GHz). Ces résistances sont utilisées en les montant en série ou en dérivation pour obtenir la valeur désirée.

2/Les filtres

Dans le chapitre précédent, nous avons étudiés les effets qu'engendraient les résistances, les condensateurs, et les bobines sur le courant alternatifs. Ils sont capables de modifié la tension, le courant et même la phase des courants alternatifs. On peut alors en déduire que les circuits les contenant peuvent provoquer des effets relativement compliqués sur le courant alternatif : les atténuer, les déphaser (souvent les 2 en réalités). Les composants passifs ne peuvent en aucun cas, les amplifier si un composant actif n'est ajouté (transistors, ...). Un circuit comprenant des composants passifs soumis à un régime alternatif est appelé *filtre*.

Il s'agit sûrement de l'un des circuits d'études les plus essentiels. Le but d'un filtre est d'atténuer le niveau d'un signal sur une relativement large bande de fréquence. Le moyen le plus simple de représenter les effets d'un filtre n'est plus de se placer dans le domaine temporel, mais dans le domaine fréquentiel. Nous étudierons donc des circuits contenant des condensateurs, des bobines, des résistances en fonction de la fréquence qui leur est présentées en entrée.



La courbe de filtre s'appelle la courbe de réponse, et représente l'atténuation entre le niveau de sortie et le niveau d'entrée du filtre en fonction de la fréquence.

Cette grandeur est généralement exprimé en dB, mais il arrive que l'on ait besoin de la grandeur sans unité.

2.1/ Le décibel

Le décibel (noté dB) est une unité permettant d'exprimer un **rapport** entre deux unités de même nature. Dans le domaine de la radioélectricité, cette unité est souvent la puissance (le watt) mais d'autres unités peuvent être utilisées.

$$(R)_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_S}{P_E} \right)$$

P_S : puissance de sortie
en watts (W)

P_E : puissance d'entrée
en watts (W)

$$(R)_{dB} = 20 \log \left(\frac{U_S}{U_E} \right)$$

U_S : tension de sortie en
volts (V)

U_E : tension d'entrée en
volts (V)

Les grandeurs ci-dessus sont sous entendues être des grandeurs efficaces.

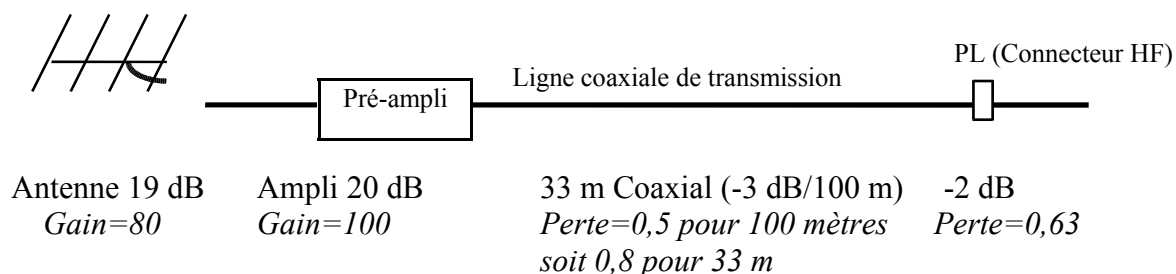
Table de conversion : soit un rapport arithmétique de 400 à convertir en décibels, on pose $400 = 10^2 \times 4$. A la lecture du tableau ci-dessous, on voit que le nombre des dizaines de dB est 2 (soit la puissance de 10) et que le nombre d'unités de dB est 6, d'où un nombre de dB de 26. Inversement, soit 26 dB à convertir en rapport arithmétique. A la lecture du tableau ci-dessous, on voit que le nombre correspondant à 2 dizaines de dB est 100 (soit 10^2) et que le nombre correspondant à 6 unités de dB est 4, d'où un rapport arithmétique de : $100 \times 4 = 400$. **Seules les unités de dB indiquées en gras sont à connaître (0, 3, 6 et 9)** correspondant à un rapport arithmétique de 1, 2, 4 et 8). Le nombre des dizaines de dB correspond à l'exposant de la puissance de 10 du rapport (ou au nombre de 0 suivant le rapport arithmétique des unités de dB).

	0dB	1dB	2dB	3dB	4dB	5dB	6dB	7dB	8dB	9dB
Ps/Pe	1	1,25	1,58	2	2,5	3,16	4	5	6,3	8
Us/Us	1	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2	2,24	2,51	2,82
	10dB	20dB	30dB	40dB	50dB	60dB	70dB	80dB	90dB	
Ps/Pe	10	100	1000	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	
Us/Us	3,16	10	31,62	100	316,2 3	1000	3162,2 8	1000 0	3162 2	

Un **nombre de dB négatif** inverse le rapport arithmétique et indique une **atténuation** et non un gain (Exemple : $-16 \text{ dB} = 1/(10 \times 4) = 1/40$). Les décibels se calculent avec des

logarithmes et possèdent donc leurs caractéristiques : ils transforment les gains successifs (multiplication) en addition, les pertes (division) en soustraction, les puissances en multiplication et les racines en division.

Exemple : Quel est le gain (en dB) de l'ensemble représenté ci-dessous ?



Réponse :

Perte du câble coaxial au mètre : $3 \text{ dB}/100 = 0,03 \text{ dB}$ donc perte du câble coaxial : $0,03 \text{ dB/m} \times 33 \text{ m} = 1 \text{ dB}$

Gain de l'ensemble : $19 \text{ dB} + 20 \text{ dB} - (3 \text{ dB} / 100 \times 33) - 2 \text{ dB} = 36 \text{ dB}$ (*gain arithmétique = 4000*)

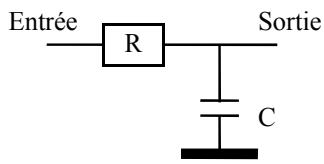
Calcul à partir du rapport arithmétique : perte arithmétique pour 100 mètres = 0,5 donc pour 1/3 de longueur de câble, perte arithmétique = $\sqrt[3]{0,5}$ = « racine cubique de 0,5 » $\approx 0,8$ soit 20% pour 33 mètres.

Par tâtonnements, on trouve que $0,8 \times 0,8 \times 0,8 \approx 0,5$; donc si $0,8^3 \approx 0,5$, alors $\sqrt[3]{0,5} \approx 0,8$. On prend la racine cubique car la longueur du coaxial (33 m) est de 1/3 de la longueur de référence (100 m). Si le câble utilisé était long de 200 m, la perte arithmétique serait de $0,5^2 = 0,25$ (=1/4 = -6 dB, soit 0,03 dB x 200). On voit aisément la simplification en calculant avec les décibels car l'affaiblissement suit lui-même une courbe logarithmique Les calculs seraient difficilement réalisables si le rapport des longueurs n'étaient pas des rapports simples (1/3 et x2 dans nos exemples).

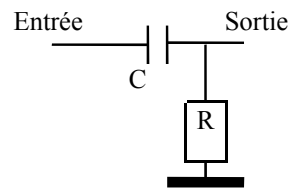
Calcul du rapport arithmétique de l'ensemble : $80 \times 100 \times 0,8 \times 0,63 = 4032 \approx 4000$ (écart dû aux arrondis)

La perte du câble est appelée **l'affaiblissement linéique** car elle est fonction de la longueur du câble. Cette perte est exprimée en dB/m (à ne pas confondre avec le dBm qui est une unité de puissance).

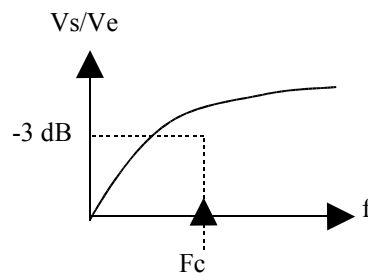
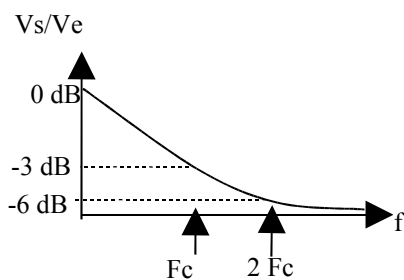
2.2/Le circuit RC



Filtre RC passe-bas



Filtre RC passe-haut



Un circuit RC a une fréquence de fréquence de coupure, notée F_c . Les filtres RC sont essentiellement dédiés à la Basse Fréquence (fréquences audibles, jusqu'à 20 kHz) que l'on nommera BF. A la **fréquence de coupure**, on a $Z_C = R$, d'où :

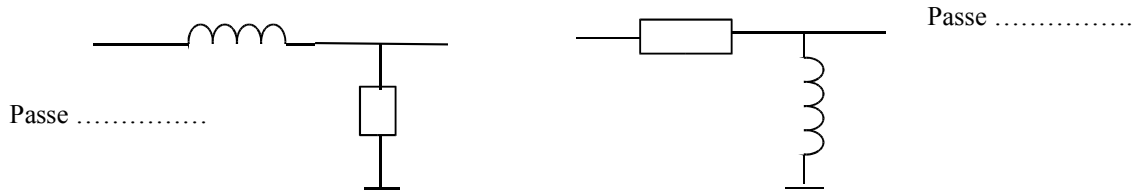
$$F_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

L'**octave supérieur** (par référence à la musique) est l'harmonique 2 d'une fréquence (2 fois la fréquence). La deuxième octave est l'harmonique 4 (4 fois la fréquence). La troisième octave est l'harmonique 8. La **décade supérieure** est l'harmonique 10 d'une fréquence. L'octave inférieure est la fréquence divisée par 2 (et par 10 pour la décade inférieure).

L'**atténuation** de ces deux filtres est de **3 dB à la fréquence de coupure et de 6 dB par octave à partir de la fréquence de coupure** (par octave supérieur pour un filtre passe bas et par octave inférieure pour un filtre passe haut).

Il existe aussi des circuits RL fonctionnant de la même manière que les circuits RC. La

fréquence de coupure de ces filtres est : $F_c = \frac{R}{2\pi L}$



2.3/Circuits LC

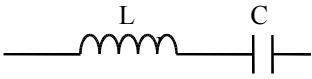
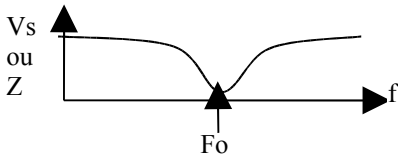
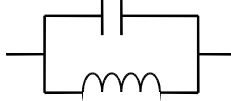
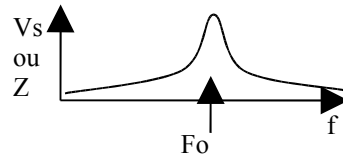
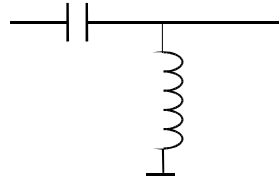
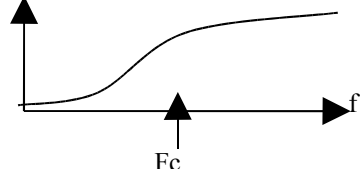
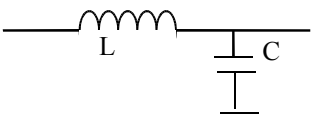
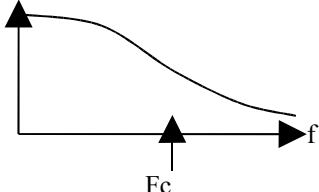
Ils ont une fréquence de résonance (Fo) ou de coupure (Fc). Les filtres LC sont utilisés dans le domaine de la Haute Fréquence, que l'on nommera HF. La HF comprend toutes les fréquences au delà de 20 kHz. Seuls les circuits LC ont un effet résonance lorsqu'ils sont montés en série ou en parallèle. A la résonance comme à la coupure, on a $Z_c=Z_L$ (**loi de Thomson**), d'où :

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Le tableau ci-après récapitule les quatre montages de base des filtres LC. Comme pour les filtres RC, l'expression mnémotechnique citée plus haut sera employée pour reconnaître les filtres passe-haut ou passe-bas (« dans un filtre passe-haut, le condensateur est en haut et dans un filtre passe-bas, le condensateur est en bas »).

Les graphiques expriment les valeurs de **tensions et d'impédances** constatées aux bornes du circuit en fonction de la fréquence.

Tableau comparatif des 4 montages de base des circuits LC

<p>Schéma</p>  <p>Impédance</p> <p>Nulle à la Fréquence F_0</p> <p>Réponse en Fréquence</p> 	<p>Schéma</p>  <p>Impédance</p> <p>Infinie pour F_0</p> <p>Réponse en Fréquence</p> 
<p>Schéma</p>  <p>Réponse en Fréquence</p> 	<p>Schéma</p>  <p>Réponse en Fréquence</p> 

Le filtre bouchon est un filtre utilisé pour bloquer les signaux Hautes Fréquences désirés. L'impédance très élevée à la fréquence de résonance, F_0 , empêche le courant H.F. de sortir de ce filtre lorsqu'il est branché en série.

La fréquence que donne la loi de Thomson est appelée **fréquence de résonance** dans le cas des circuits bouchon ou série et **fréquence de coupure** dans le cas des circuits passe bas et passe haut.

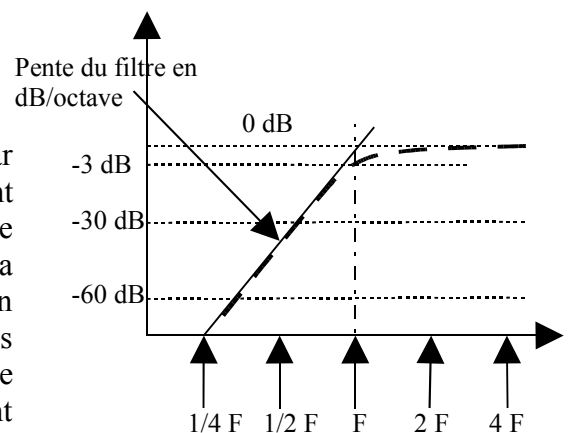
Pour baisser la fréquence de résonance (ou de coupure) d'un circuit LC, il faut soit augmenter la valeur du condensateur, soit augmenter la valeur du bobinage (en particulier en introduisant un noyau magnétique à l'intérieur de l'enroulement). Inversement, pour augmenter la fréquence, il faut réduire la valeur du condensateur et/ou du bobinage. Pour doubler la fréquence de résonance, il suffit de diviser par 4 la valeur du condensateur ou du bobinage (effet de la racine carrée). Inversement, il faut multiplier par 4 la valeur du bobinage ou du condensateur pour diviser par 2 la fréquence de résonance du circuit.

L'atténuation d'un circuit passe bas ou passe haut est de **3 dB à la fréquence de coupure** et, à partir de cette fréquence, l'atténuation est, pour les octaves supérieures dans les cas des filtres passe bas (et pour les octaves inférieures dans le cas des filtres passe

haut), **de 6 dB par éléments actifs et par octave** ou **20 dB par décade et par éléments actifs**. Dans un filtre RC, seul le condensateur est un élément actif. Un circuit passe bas LC constitué d'une seule cellule (donc deux éléments actifs) aura, à partir de la fréquence de coupure une atténuation de 12 dB (2 x 6) par octave ou encore de 40 dB (2 x 20) par décade. Ce filtre est appelé filtre du deuxième ordre car c'est le carré de la fréquence qui intervient dans sa fonction de transfert (rapport entre grandeur d'entrée et grandeur de sortie).

Un filtre passe bas composé de deux cellules LC identiques (2 circuits comportant chacun une bobine et un condensateur, soit 4 éléments) aura, à la troisième octave (harmonique 8), une atténuation 72 dB (6 dB x 4 éléments x 3 octaves) et, à la première décade, une atténuation de 80 dB (20 dB x 4 éléments).

Les courbes de réponse des filtres sont souvent illustrées par des graphiques dont les échelles sont logarithmiques : l'échelle des abscisses donne les fréquences : chaque doublement de la fréquence prend la même place. L'atténuation du filtre (en dB) est donnée sur l'échelle des ordonnées. La particularité d'un tel graphique est que le point d'origine (où se rencontrent l'abscisse et l'ordonnée) n'a sur aucun des axes pour valeur 0. La courbe de réponse des filtres sur de tels graphiques ressemble plus à une droite brisée. Ce sont des diagrammes asymptotiques.



Dans ce graphique, que la pente a son origine à la fréquence de coupure. La courbe d'atténuation (en trait gras sur le graphique) est asymptotique à cette pente puis, au delà de la fréquence de coupure, la courbe devient asymptotique à l'axe indiquant 0 dB d'atténuation : la courbe d'atténuation longe ces droites sans jamais les dépasser ni même les atteindre. Le graphique ci-dessus représente un filtre passe haut. Pour un filtre passe bas, la courbe est inversée (la pente est négative) mais les caractéristiques sont les mêmes.

Dans le graphique ci-dessus, pour la fréquence $\frac{1}{2} F$, la courbe d'atténuation (réelle) suit de très près la pente (théorique) du filtre. Ce filtre, dont la pente est d'environ 40 dB/octave, pourrait être un circuit à 7 éléments actifs (6 dB x 7 éléments = 42 dB), composé, par exemple, de 4 condensateurs et 3 bobines. Ce filtre serait donc un filtre du 7^{ème} ordre. Si ce filtre était passe bas, à l'harmonique 3, l'atténuation serait égale à $42 \text{ dB} \times \sqrt{2} = 59,4 \text{ dB}$ (correspondant dans notre exemple à l'atténuation à $\frac{1}{3} F$).

Calcul du facteur Q d'un circuit bouchon : $Q = \frac{Z}{R} = \frac{L}{RC} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{CR^2}$

Dans notre exemple de circuit bouchon ci-dessus, on aura : $Q = Z/R = 6250 / 40 = 156,25$
 ou $Q = 25 \cdot 10^{-6} / (100 \cdot 10^{-12} \times 40^2) = 25 \cdot 10^6 / (100 \times 1600) = 25\ 000\ 000 / 160\ 000 = 156,25$

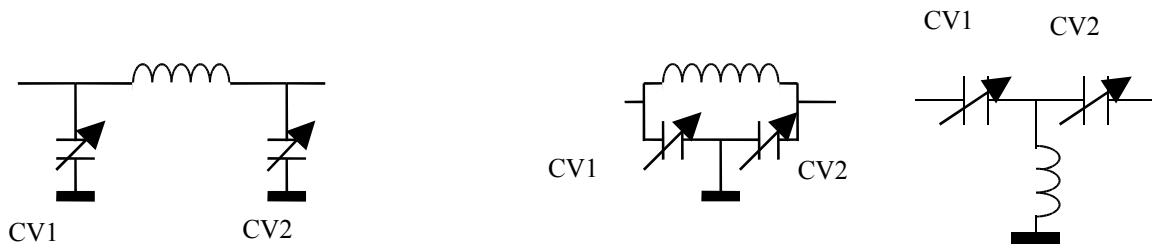
Calcul de la bande passante à -3 dB (B) d'un circuit bouchon à sa fréquence de résonance (Fo) : $B = F_0 / Q$

Dans notre exemple ci dessus, on aura : $B = 3,18\ \text{MHz} / 156 = 20,38\ \text{kHz}$

La tension aux bornes d'un circuit bouchon à la fréquence de résonance sera fonction de la puissance du signal à l'entrée du circuit. En effet, $P=U^2/R$ donc $U=\sqrt{PxR}$. Dans notre exemple de circuit bouchon, avec une puissance de 50 pW, correspondant à un signal S9 (voir §11-4), la tension aux bornes du circuit bouchon sera de : $\sqrt{PxZ} = \sqrt{(50 \cdot 10^{-12} \times 6,25 \cdot 10^3)} = \sqrt{(312 \cdot 10^{-12+3})} = 5,59 \cdot 10^{-4} = 559\ \mu\text{V}$ (alors que le signal pro-venant de l'antenne est de 50 μV). Avec 100 W, la tension serait de : $\sqrt{PxZ} = \sqrt{(100 \times 6,25 \cdot 10^3)} = 791\ \text{V}$. La tension aux bornes du circuit bouchon est directement fonction du facteur Q, c'est pourquoi celui-ci est aussi nommé coefficient de surtension.

2.4/Le filtre en Pi

Le filtre en Pi (appelé ainsi à cause de sa forme : en Π, lettre grecque pi majuscule) est un filtre passe-bas anti-harmonique qui a une impédance d'entrée différente de celle de sortie grâce aux deux condensateurs variables indépendants CV1 et CV2. Ainsi l'impédance de l'ensemble câble + antenne peut être adaptée à l'impédance de sortie de l'émetteur. L'atténuation de ce filtre (en négligeant les éléments résistifs et donc les pertes) est de 12 dB par octave (6 dB x 2 éléments). Le filtre en Π est un filtre du deuxième ordre (2 éléments actifs) car les deux CV montés en série se comportent comme un seul CV de valeur CT. **Le filtre en T** est un circuit passe haut nommé ainsi à cause de sa forme (en T) constitué d'une bobine et de deux condensateurs. C'est aussi un filtre du second ordre permettant d'adapter des impédances.



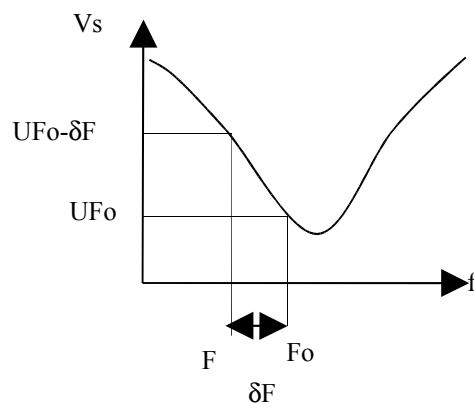
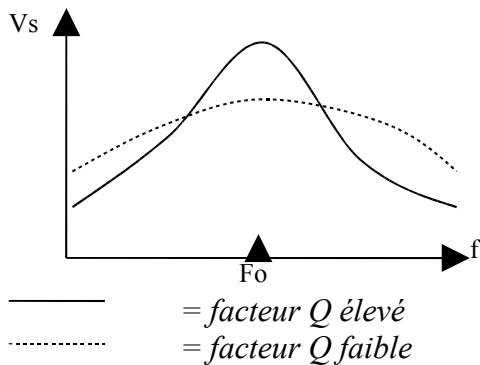
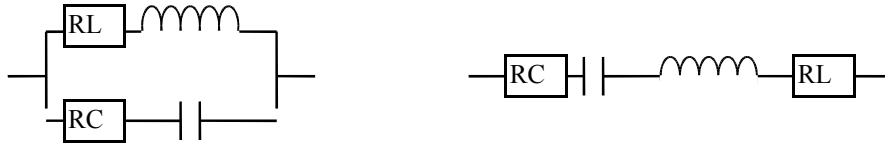
Filtre en Π

Filtres en T

2.5/Facteur de qualité

Plus le facteur de qualité Q est important, plus le filtre est sélectif et pointu, plus ses flancs sont raides, plus les canaux adjacents seront rejetés. Le facteur Q est un nombre

sans unité qui caractérise la plus ou moins grande capacité du circuit (ou du composant) à effectuer un travail. La valeur de Q est comprise, pour une bonne qualité, entre 60 et 200.



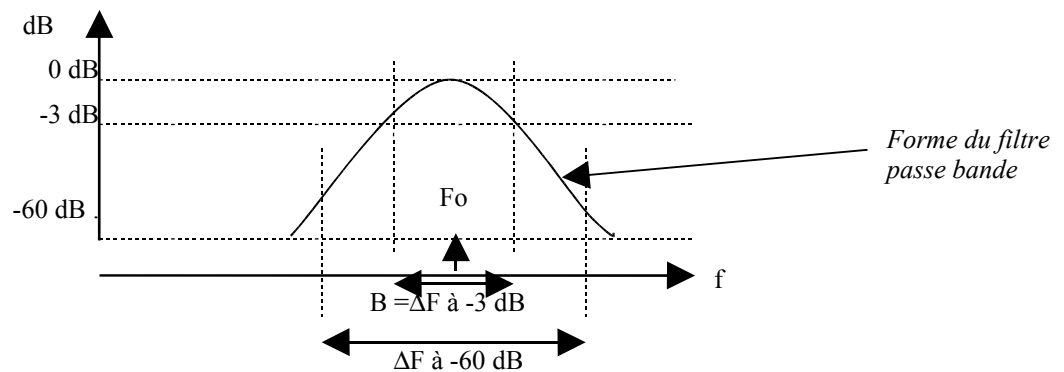
Le facteur Q détermine la "pente" de la courbe de réponse en fréquence.

Attention : la bande passante du circuit (B) est le double de δF : $B = 2\delta F$

La relation qui unit bande passante d'un circuit oscillant à -3 dB (B), fréquence de résonance (F_0) de ce circuit et facteur de qualité (Q) de celui ci est la suivante : $F_0 = B \times Q$ ou encore $B = F_0/Q$

Lorsque l'atténuation à la fréquence f est de 10 dB par rapport à la fréquence de résonance, on a $Q = F_0/(3,52.B)$

Le taux de sélectivité d'un filtre passe bande se mesure comme le rapport (en %) de la bande passante à -3 dB (B) sur la bande passante à -60 dB. Le facteur de forme est l'inverse. Plus le coefficient de surtension est élevé, plus les flancs sont raides, plus le taux de sélectivité se rapproche de 100%, plus le facteur de forme est petit et se rapproche de 1 (sans jamais l'atteindre).



$$\text{Taux de sélectivité (en \%)} = \frac{\Delta F \text{ à } -3 \text{ dB}}{\Delta F \text{ à } -60 \text{ dB}} \times 100$$

$$\text{Facteur de forme} = 100 / \text{Taux de Sélectivité}$$

Un ondemètre à absorption (grip-dip) est un appareil de mesure de fréquence que l'on place à la sortie de l'émetteur car il demande de la puissance pour fonctionner : dans cet appareil, la tension est mesurée aux bornes d'un circuit LC dont le condensateur est relié à une échelle de lecture indiquant la fréquence de résonance du circuit. Lorsque la bobine de l'ondemètre est couplée avec le signal dont on veut connaître la fréquence et lorsqu'on fait varier la valeur du condensateur, la tension aux bornes du circuit LC marque un pic très net (le « dip ») indiquant que le circuit est accordé : il n'y a plus qu'à lire la fréquence sur le vernier du condensateur. Si le pic n'est pas franc, il peut s'agir d'une harmonique.

Le facteur de qualité possède de nombreuses définitions étroitement liées les unes aux autres. Il caractérise l'échange d'énergie réactive et active. Plus ce facteur est grand, plus l'énergie réactive est importante devant l'énergie active. Plus les effets fréquentiels recherchés sont efficaces.

On retrouve alors la notion de sélective, qui s'accroît avec le facteur de qualité. On retrouve également la notion de pertes résistives qui diminuent alors que le facteur de qualité s'accroît. Tous circuits, dans sa conception théorique et pratique doit aller dans le sens de l'augmentation du facteur de qualité. Malheureusement, dans la pratique, le facteur de qualité s'obtient au détriment d'autres paramètres (comme la bande passante par exemple), et il s'agit, bien souvent, de trouver un bon compromis...

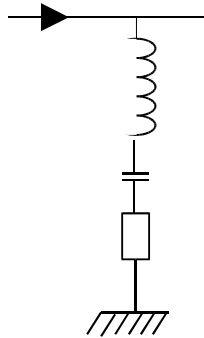
Les applications sont excessivement nombreuses : bruit de phase d'un oscillateur, sélectivité d'un récepteur, accord d'une antenne à une fréquence.

2.6/Circuits résonnants

Dans le domaine de la radio, les résonateurs sont constitués à partir de circuit RLC en série ou en parallèle. Le quartz constitue également un résonateur. On cherche ainsi à réaliser un dispositif qui, pour une fréquence donnée, se comporte comme une impédance particulière et qui s'en éloigne rapidement lorsqu'on s'écarte de cette fréquence. Les impédance particulières sont des courts-circuits (faible impédance) ou des circuits ouverts (haute impédance).

2.6.1-Théorie

- Circuit série



La résonance est un phénomène tout d'abord fréquentiel. Le circuit ci-dessous se comporte de manière très particulière à une fréquence donnée. Cette fréquence est appelée *fréquence de résonance*.

Dans le cas particulier du circuit ci-dessus, *l'impédance à la résonance est précisément la valeur de la résistance* présente dans le circuit. La fréquence de résonance se calcule par la

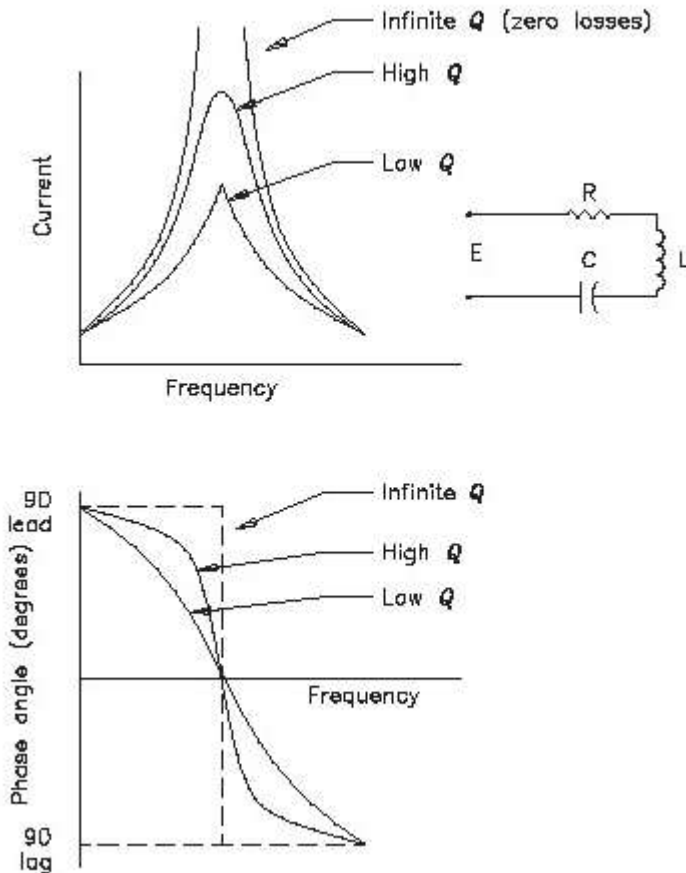
formule de Thomson $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. A la résonance, $Z = R$.

Il reste 2 grandeurs à introduire : le coefficient de qualité et le coefficient de couplage. La première, encore appelée coefficient de surtension propre est directement liée à la bande passante. Plus ce coefficient sera élevé, plus la bande passante sera faible, et plus le phénomène de résonance sera prononcé.

Ce premier coefficient, noté Q dans les ouvrages, s'exprime de la manière suivante :

$$Q_0 = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{RC\omega_0}$$

Ce coefficient est également proportionnel au rapports d'énergie stockée par le circuit et l'énergie dissipée par le circuit. Il s'agit du rapport de l'impédance présentée à la résonance par rapport à la valeur de la résistance (ces définitions ne sont valable que pour le circuit série).



La plupart des pertes présentes dans un circuit résonnant viennent de la résistance. Les pertes du condensateur sont en générales négligeables. Les effets de différents circuits pour un Q différent est présenté sur la figure ci-contre. Lorsque l'on s'éloigne de la résonance, le courant consommé par le circuit est peu dépendant du coefficient de qualité et est proche de celui qui serait obtenu par un circuit résonnant qui aurait des pertes rigoureusement nulle. Par contre, le courant à la résonance est fortement dépendant de la valeur de la résistance. Si l'on augmente la résistance série, on aplatit la courbe de résonance et le « pic » de courant est plus faible. Cet élargissement donne alors une valeur de courant plus uniforme sur une plus large bande de fréquence. Cet étalement provoque, cependant, une réduction de la sélectivité du circuit.

Il faut remarquer que plus la résistance est élevée plus le coefficient de qualité est faible. C'est sûrement la raison pour laquelle il a été appelée également coefficient de qualité : la qualité du circuit dépend de ses pertes, donc de sa partie résistive provoquant des pertes par effet Joule.

Il y a également le coefficient de couplage. Il sera le témoin d'un bon et mauvais couplage avec le générateur. Le meilleur couplage qui soit serait celui où l'impédance du générateur est exactement égale à l'impédance du résonateur à sa résonance. C'est à dire la résistance série comprise dans le circuit. Dans ce cas, le coefficient de couplage vaut 1. Sinon, et s'il est plus grand que 1, l'impédance à la résonance est plus faible que celle du générateur. On pourra dire que la charge est faible impédance à la résonance. Le coefficient de couplage β s'écrit :

$$\beta = \frac{Z_0}{R}$$

Il est à relier directement au ROS, également témoin du bon ou mauvais couplage de l'antenne sur l'émetteur !

L'amortissement du résonateur est dû non seulement à la résistance R mais aussi à l'impédance interne du générateur Z_0 . On définit également le coefficient de qualité du générateur. Par extension au coefficient de surtension propre, pour lequel il s'agit du résonateur, le coefficient de surtension externe, lié à l'impédance interne du générateur

$$s'écrit : Q_E = \frac{L\omega_0}{Z_0} = \frac{1}{Z_0 C\omega_0} = \frac{Q_0}{\beta}$$

On définit, pour terminer, le coefficient de surtension complet :

$$\frac{1}{Q_T} = \frac{1}{Q_E} + \frac{1}{Q_0} \Rightarrow Q_T = \frac{Q_0}{\beta + 1}$$

Le coefficient de qualité propre Q_0 est spécifique au circuit. Dans les exemples ci-dessous, la valeur du coefficient de qualité se reporte à cette variable. On parle de coefficient de qualité totale dès lors que l'on souhaite caractériser un circuit complet. Ce coefficient de qualité tient compte du coefficient de qualité propre et du couplage entre le générateur et la charge. Si le coefficient de qualité total est faible, le couplage ou le coefficient de qualité propre ne sont dimensionnés correctement (améliorer le couplage ou diminuer les pertes du circuit)

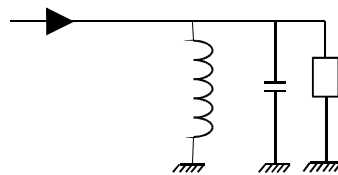
Finalement, notre premier résonateur est défini par 3 grandeurs fondamentales :

- la fréquence de résonance,
- le coefficient de surtension propre (des 3 coefficients de surtension, il est le plus utilisé)
- et le coefficient de couplage.

A la résonance, ce circuit se comporte comme une résistance pure égale à la résistance série composant le circuit.

• Circuit parallèle

Le résonateur se présente, dans un premier temps de manière simplifiée, de la manière suivante :



La formule de Thomson, donnant la fréquence de résonance reste valable. A la résonance, l'impédance présentée par ce circuit est égale à la résistance parallèle. Le coefficient de couplage vaut : $\beta = \frac{R}{Z_0}$, le coefficient de surtension propre : $Q_0 = RC\omega_0 = \frac{R}{L\omega_0}$.

Ce circuit a également 3 grandeurs fondamentales : la fréquence de résonance, le coefficient de surtension propre et le coefficient de couplage. A la résonance, ce circuit se comporte comme une résistance pure égale à la résistance parallèle composant le circuit.

Le coefficient de surtension externe est défini par : $Q_E = \frac{Q_0}{\beta}$. Le coefficient de surtension

complet apparaît alors sous la forme : $\frac{1}{Q_T} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_E}$.

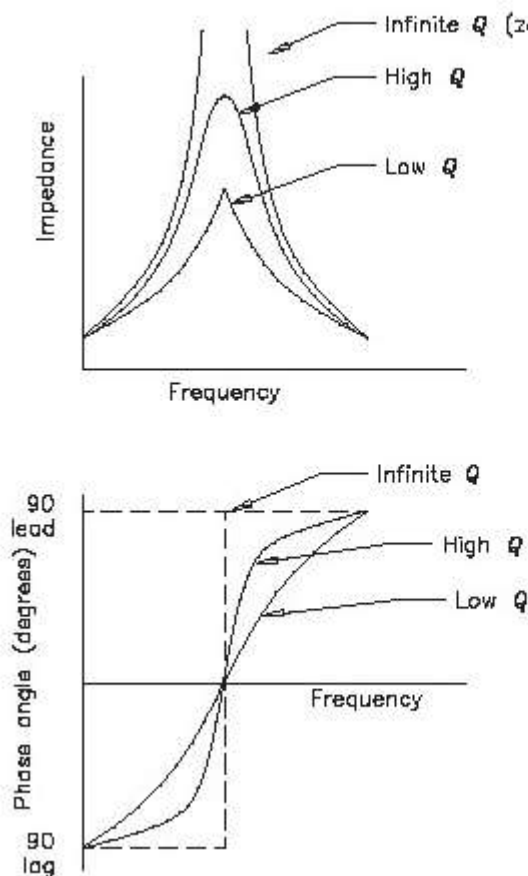
La définition du coefficient de surtension propre reste la même. Du point de vue pratique, il est commode de considérer :

- le coefficient de surtension propre en ne prenant en compte que les pertes internes (R)

- le coefficient de surtension externe en ne prenant en compte que l'impédance interne du générateur
- le coefficient de couplage comme étant le rapport du coefficient de surtension propre au coefficient de surtension externe
- le coefficient de surtension complet comme la composition des coefficients de surtension propre et externe.

Ce circuit, tel qu'il est décrit ci-dessus, est une représentation simplifiée. Elle tient compte des éléments parasite de la bobine (effet de peau en HF) et de la résistance que présente la capacité. La résistance globale est recalculée pour être finalement présentée en parallèle sur le circuit.

La représentation physique, bien qu'en totale concordance avec la précédente description, ne révèle pas toutes les subtilités du comportement d'un circuit parallèle en HF. Souvent, l'amateur préfère la représentation schématique ci-dessous, plus complexe à priori, mais plus proche du comportement réel.



Aux basses fréquences, c'est la maille contenant la bobine qui supporte le plus de courant alors que la maille capacitive en consomme peu. En dehors de sa résonance, le circuit présente une faible impédance.

Aux hautes fréquences, c'est la maille contenant le condensateur qui supporte le plus de courant alors que la maille selfique en consomme peu. En dehors de sa résonance, le circuit présente une faible impédance.

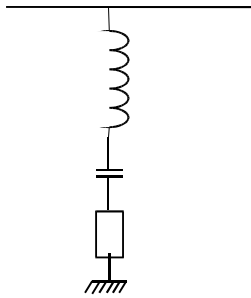
A la fréquence de résonance, les courants s'égalisent, mais sont déphasés de 180°

En conséquence, l'impédance à la résonance est élevée.

Les effets des résistances parasites sont tout à fait similaire à ceux observés dans le circuit série : augmenter la résistance aplatit la courbe.

Le calcul de ce schéma est relativement compliqué. En outre, la résistance que présente le condensateur est finalement négligeable par rapport aux effets des autres composants. La comparaison qui est faite ci-dessous néglige cette résistance.

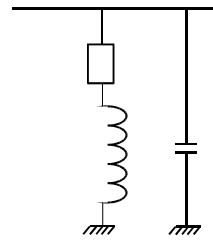
• Comparaison circuit série-circuit parallèle



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Z = R$$

$$Q = \frac{L\omega_0}{R}$$



$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$Z = \frac{L}{RC}$$

$$Q = \frac{L}{R^2C}$$

Toutes choses égales par ailleurs, un circuit parallèle présente un coefficient de surtension plus élevé qu'un circuit série.

2.6.2-Filtres

• Définitions

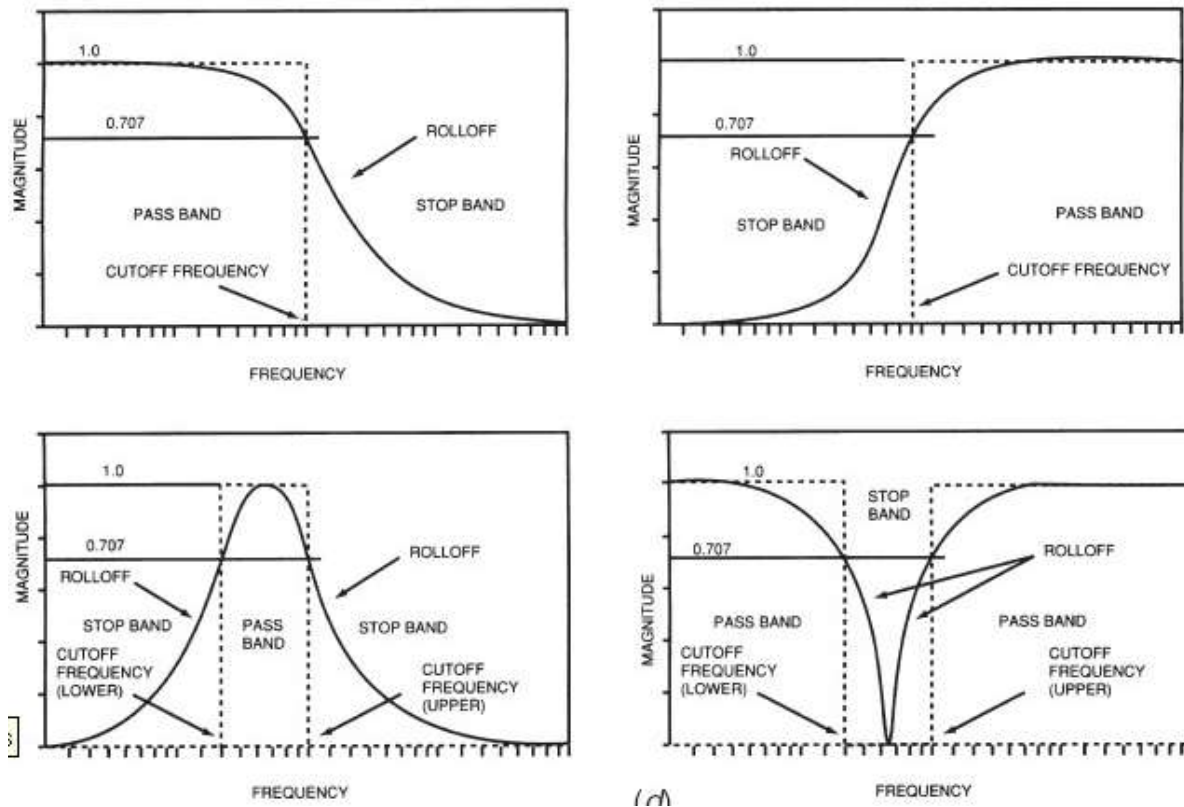
Un filtre est un dispositif avec au moins 1 entrée et 1 sortie. Sa fonction est de générer un signal sur une ou plusieurs sorties et dont le comportement différera en fonction de la fréquence du signal d'entrée.

Les filtres sont conçus essentiellement avec des composants passifs, et sont généralement caractérisés par :

- Leur type
- La classe
- L'ordre

Parmi les types de filtres, on distingue :

- Les filtres passe-bas
- Les filtres passe-haut
- Les filtres passe bande
- Les filtres réjecteurs



La fréquence de coupure (cutoff frequency) est la fréquence qui sépare la bande passante de la bande rejetée du filtre. Par convention, cette frontière est fixée à 3dB (on parle de la fréquence de coupure à 3dB). Dans les passe-bandes et les réjecteurs, il y a 2 fréquences de coupure (l'inférieure et la supérieure).

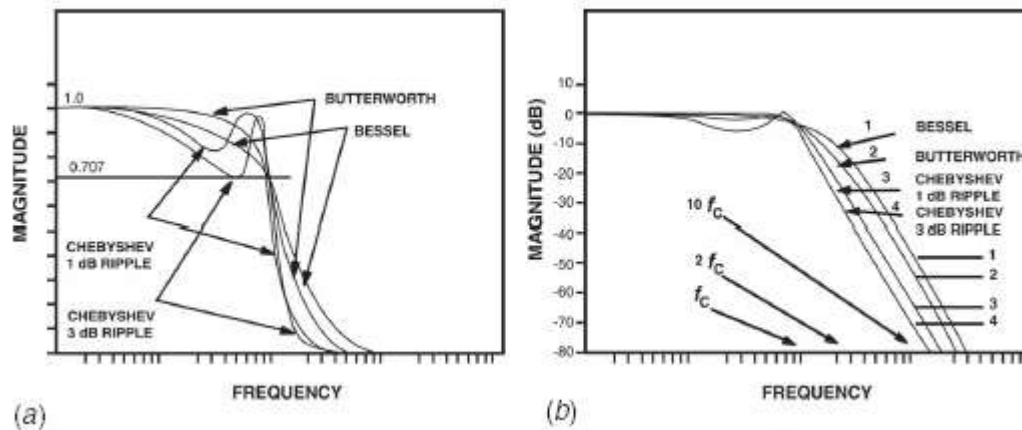
La fréquence de coupure est également appelé la fréquence à « mi-puissance », car elle correspond à la fréquence pour laquelle le niveau du signal de sortie est divisé par 2 par rapport à un même signal de sortie mais dont la fréquence serait dans la bande passante. Pour les passe-bandes et les réjecteurs, la fréquence centrale correspond à la fréquence donnant un minimum ou un maximum sur la réponse en fréquence.

La bande passante (en Hz) est la différence entre la fréquence de coupure supérieure et la fréquence de coupure inférieure. Le coefficient de *Roll-Off* est la pente, en dB/decade, ou dB/octave, de la courbe de réponse dans la bande de fréquence rejetée.

• Temps de propagation de groupe

La classe d'un filtre correspond à la forme typique de la réponse en fréquence :

- Butterworth
- Chebyshev
- Bessel
- Chebyshev inverses
- Elliptique (ou Cauer)

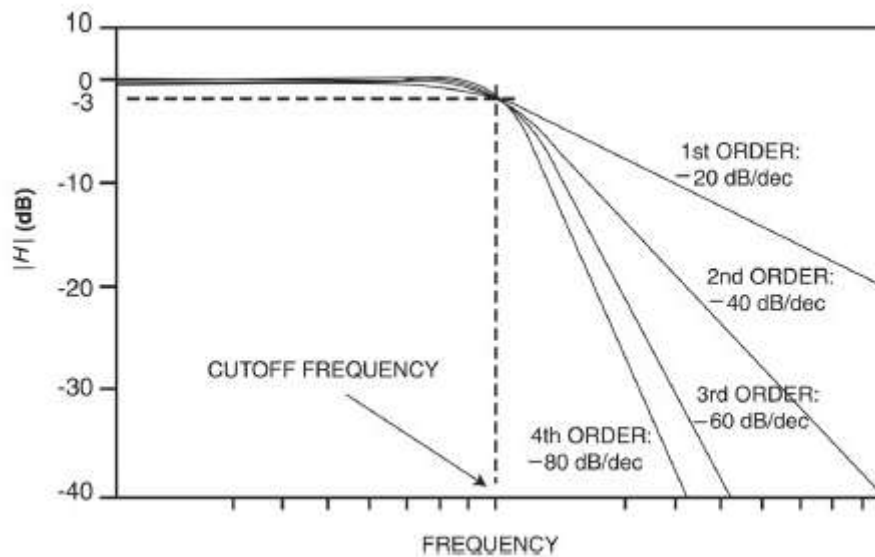


Chaque classe a ses avantages et ses inconvénients. Les classes Butterworth, Chebyshev ou Bessel sont appelés filtres « sans-zéros ». De tels filtres n’ont pas de fréquence à réjection infinie.

Classe	Bande passante	Bande de réjection	Remarques
Butterworth	Monotone	Monotone	Sans zéro – maximally flat
Chebyshev	Ripple	Monotone	Sans-zéro
Bessel	Monotone	Monotone	Sans-zéro; phase constante
Chebyshev inverse	Monotone	Ripple	
Elliptique	Ripple	Ripple	

L’ordre du filtre est égal au nombre de pôle du filtres. Pour un filtre sans pertes, avec self et condensateur et charge purement résistive, le nombre d’éléments réactifs nécessaire pour réaliser un filtre passe-bas ou passe-haut est égal à l’ordre du filtre. Pour réaliser un filtre passe-bande ou réjecteur, il faut multiplier ce nombre par 2.

L’ordre du filtre fixe également le coefficient de *roll-off* (plus l’ordre est gain, plus raide est la pente).



Aux fréquences doubles de la fréquence de coupure, pour les filtres « sans-zéro », le coefficient de *roll-off*, vaut (soit environ n), où n est l'ordre du filtre. Pour les fréquences proches de la fréquence de coupure, le coefficient de *roll-off* est à la fois déterminé par l'ordre et la classe du filtre.

• Exemples de filtres couramment employés

Les applications sur les filtres sont très nombreuses :

- Filtre d'harmonique : le but étant d'atténuer (50dB selon la norme) les harmoniques du TRX sans altérer (le moins possible en tout cas) la puissance de sortie du transeiver
- Circuit résonnant dans un oscillateur : il doit avoir le moins de pertes possibles (tout simplement...) et il doit être centrée sur la fréquence de l'oscillateur
- Circuit d'adaptation d'antenne (appelée également boîte de couplage)
- Couplage entre 2 circuits donné (par exemple, un OL et un mélangeur)

Les technologies de conception de résonateur sont très nombreuses. Les principales reposent sur l'emploi de bobine-condensateur (résonateur LC), résonateurs mécaniques, résonateurs à quartz, filtre à quartz monolithique et les résonateurs céramiques. L'approche de conception consiste à employer en cascade des filtres à simple ou double résonateur séparés par des amplificateurs. L'inconvénient de cette méthode est l'apparition d'intermodulation (mélange de fréquence indésirable) et la compression qui en résulte sur les étages amplificateurs provenant des signaux hors-bande.

Bien souvent, sans que cela soit une réelle faute de langage, les termes « filtres » et « résonateurs » recouvrent la même signification.

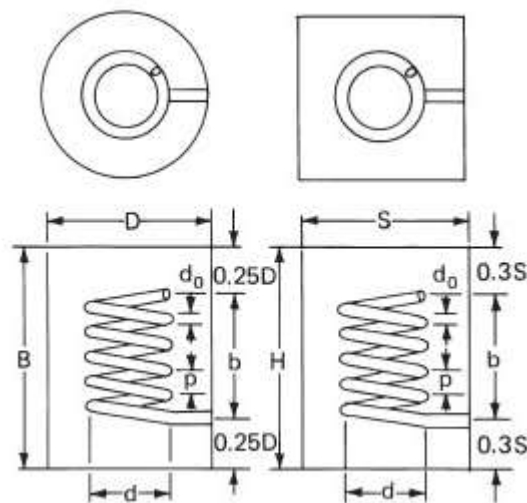
1. Résonateurs LC

Les résonateurs LC possèdent des coefficients de surtension assez limités, et dépassent rarement quelques centaines pour des dimensions géométriques relativement raisonnables. Dans la plupart des cas, l'amateur doit même s'accommoder avec des valeurs plus faibles. La taille de la structure dépend fortement de la fréquence centrale, qui peut varier des bandes BF (audio)

jusqu'à quelques centaines de MHz. Une bande passante plus petite que 1% est difficilement réalisable. Cependant, des bandes passantes plus larges s'obtiennent très facilement, et plus facilement qu'avec d'autres structures. La sélectivité dépend du nombre de résonateur utilisé, une réjection de près de 100dB peut être obtenue si l'on prend de bonnes précautions. Les pertes du filtre dépendent de la bande passante requise et du coefficient de surtension, et l'on obtient des valeurs proches de 1dB pour les bandes passantes pour les plus étroites. Ce genre de filtre ne pose généralement pas de problème vis à vis des non-linéarités, à moins que la fréquence soit si basse que l'emploi de ferrites à haute perméabilité soit requise. La reproductibilité en fréquence est limitée par les composants eux-mêmes, et il ne faut pas s'attendre à obtenir mieux que 0,1% de la fréquence centrale, dans les conditions extrêmes de température et de temps.

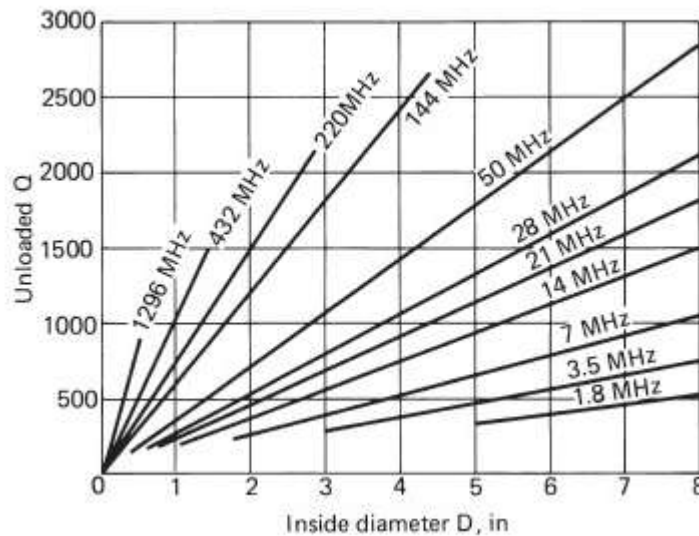
2. Résonateurs électriques

A mesure que la fréquence augmente, pour atteindre les VHF, la fabrication des bobines dans les résonateurs LC devient de plus en plus difficile. Les résonateurs hélicoïdaux sont une alternative efficace pour les VHF et le début de la bande UHF.



Ce résonateur ressemble à une bobine blindée. Mais, elle réagit exactement comme une ligne de transmission résonnante (ligne quart d'onde).

De grandes valeurs de Q peuvent être obtenues dans un dimensionnement raisonnable

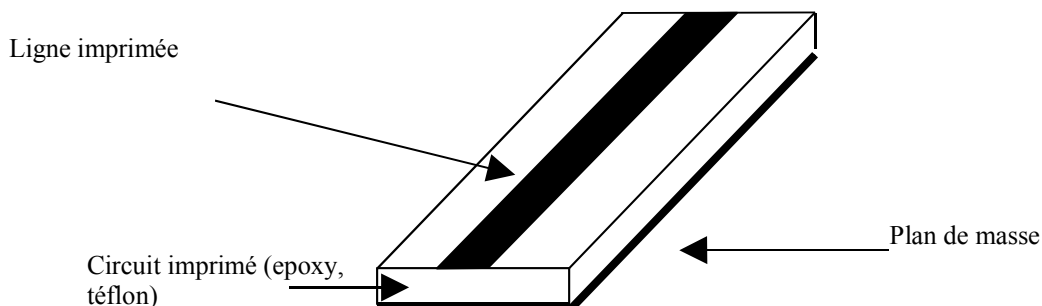


La longueur de la bobine est légèrement plus courte qu’une ligne quart d’onde à cause des effets capacitifs avec le blindage. Un noyau peut être insérée sur la face ouverte de la bobine pour le réglage. En couplant plusieurs de ce genre de résonateur en cascade (2 ou 3), on obtient des filtres. Le couplage est obtenu en ouvrant le blindage commun de 2 résonateurs.

3. La technologie stripline

Les striplines (lignes imprimées directement sur l’epoxy) utilise en général des circuits imprimés double-face (epoxy, téflon). Le typon doit présenter un plan de masse permettant de réaliser une masse pour tout le circuit. Cette masse est la seule et unique masse à laquelle l’amateur doit faire référence.

La forme et la longueur de chacune des lignes imprimées fixent l’impédance et la réactance de la ligne. L’impédance est fonction de la largeur de la ligne, sa hauteur par rapport au plan de masse, et de la constante diélectrique du circuit imprimé. Plus large est la ligne imprimée, plus faible est l’impédance caractéristique de la ligne.



Tous les circuits imprimés (epoxy, téflon...) ont une constante diélectrique plus grande que celle de l’air, Aussi, les ondes traversant le circuit imprimé sont ralenties et la propagation ne se fait plus à la vitesse de la lumière (on parle de temps de propagation de groupe). Aussi on

introduit une longueur d'onde dans le circuit imprimé qui dépend de la constante diélectrique du circuit imprimé. Un circuit imprimé dont la constante diélectrique serait de 5 à 10 (valeur typique assez proche de l'époxy), la longueur d'onde dans ce circuit imprimé est plus courte de près de 33% par rapport à la longueur d'onde dans l'air.

4. Filtres électromécaniques

La plupart des autres résonateurs utilisés dans les récepteurs sont électromécanique, où c'est le phénomène physique de résonance des ondes acoustiques qui est utilisé (SAW : Surface Acoustic Waves, filtre à ondes de surface). A l'époque où les résonateurs à quartz étaient en quantité limitée, les filtres électromécaniques étaient construits à partir de métal. En forme de plaque ou à la forme cylindrique, ils constituaient l'élément résonnant et les fils d'accès constituaient les éléments de couplage.

Ces filtres sont réalisés à partir d'une barre cylindrique au bon diamètre. Ce type de filtre sont limités par leur dimensions physique qui les font résonner sur des fréquences de l'ordre de 60 à 600kHz. L'abaissement de la bande passante peut varier de quelque dixième de pour cent, jusqu'à 10% de la fréquence centrale.

L'inconvénient majeur de ces filtres est la perte dans la bande passante (6dB voir plus). En outre, des remontées sur la courbes de réponses peuvent se produire sur des fréquences harmoniques, ce qui limite l'atténuation hors-bande. La taille et la hauteur sont généralement comparable au filtres LC. La stabilité en température et en temps est environ 10 fois meilleur que celle d'un filtre LC. A cause de sa bande passante limitée, les filtres électromécaniques ont largement été surpassés par les filtres à quartz qui ont une bien meilleure stabilité comparativement à leur coût.

5. Résonateur à Quartz

Tandis que les matériaux piezoelectrique ont été utilisés pour résonateurs, les quartz ont montré plus de satisfaction. Ces filtres sont disponibles de 5kHz à 100MHz, les bandes passantes font moins de 0,01% jusqu'à 1%. La réjection peut atteindre près de 100dB. Les impédances d'entrée et de sorties sont déterminées par les composants d'adaptation, et s'étendent de 10 à 100ohms. Les pertes dans la bande passante varient de 1 à 10dB en fonction de la bande passante du filtre et de sa complexité. Alors que les résonateurs à quartz, utilisés individuellement, peuvent présenter des remontées hors-bande. Mais elles tendent à ne pas se recouvrir entre elles, lorsque plusieurs filtres à quartz sont placés en cascade. Des non linéarités peuvent apparaître dans les filtres à quartz, à de forts niveaux d'entrée.

6. Filtre à quartz monolithique

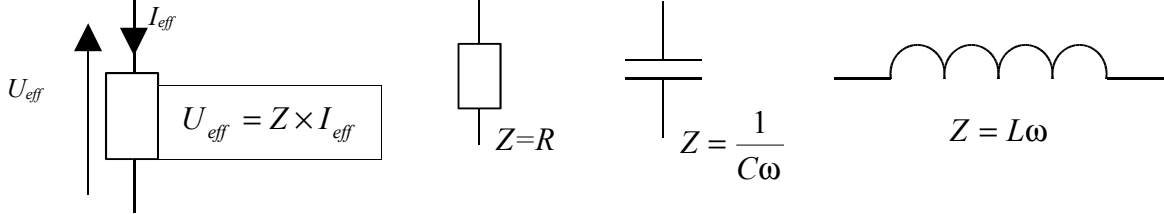
Dans les filtres à quartz monolithique, plusieurs résonateurs sont fabriqués sur un seul substrat de quartz. En général, ces filtres sont constitués de 4 résonateurs, mais ces filtres peuvent être cascades en utilisant un couplage électrique pour augmenter l'ordre du filtre. Ces filtres sont disponibles de 3 à 100MHz, avec des caractéristiques similaires aux filtres précédents, hormis la bande passante qui est limitée à quelques dizaines de %. Les dimensions sont cependant plus faibles.

7. Filtres céramiques

On peut également utiliser des céramiques piezoelectrique pour concevoir des résonateurs, avant tout pour une question de coût par rapport au quartz. De tels filtres sont comparable en terme de dimension au filtres à quartz monolithic, mais ne sont disponibles que sur une plage de fréquence limitée (100 à 700kHz). La pente, la stabilité et l'exactitude ne sont pas aussi bonnes que pour les quartz, mais s'adapte à de nombreuses applications. La bande passante varie de 1 à 10%. Des résonateurs simples et doubles sont fabriqués, et les résonateurs multiples utilisent un couplage électrique entre les différentes sections.

CE QUI EST IMPORTANT

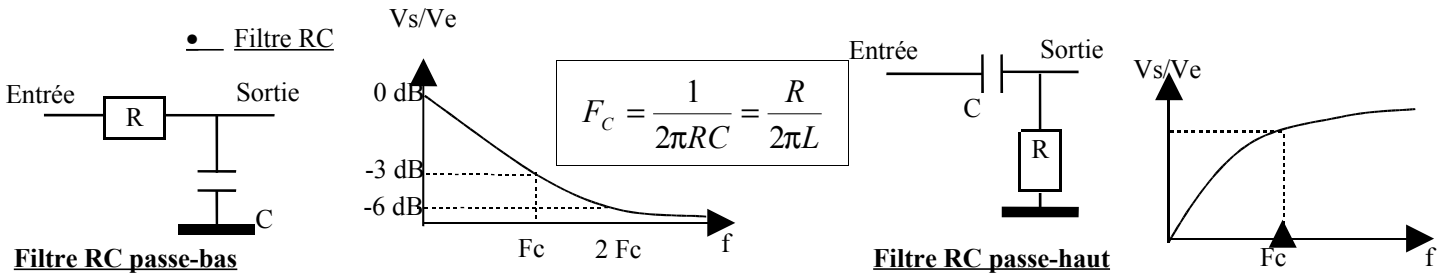
• Notion d'impédance



• Le décibel

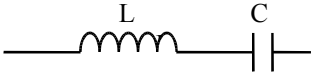
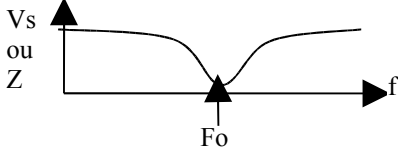
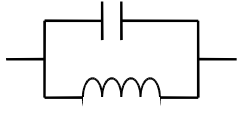
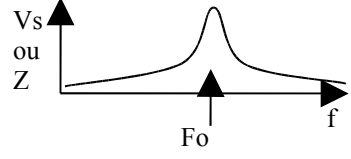
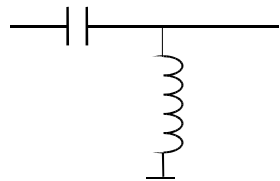
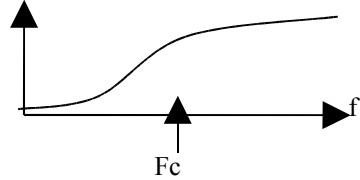
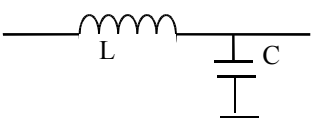
	0dB	1dB	2dB	3dB	4dB	5dB	6dB	7dB	8dB	9dB
Ps/Pe	1	1,25	1,58	2	2,5	3,16	4	5	6,3	8
Us/Us	1	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2	2,24	2,51	2,82
	10dB	20dB	30dB	40dB	50dB	60dB	70dB	80dB	90dB	
Ps/Pe	10	100	1000	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
Us/Us	3,16	10	31,62	100	316,23	1000	3162,28	10000	31622	

• Filtre RC



• Filtres LC

Tableau comparatif des 4 montages de base des circuits LC

<p>Filtre <u>Série</u> (Passe bande)</p> <p>Schéma</p>  <p>Impédance</p> <p>Nulle à la Fréquence F_0</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ </div> <p>Réponse en Fréquence</p> 	<p>Filtre <u>Parallèle</u> (Bouchon ou coupe bande)</p> <p>Schéma</p>  <p>Impédance</p> <p>Infinie pour F_0</p> <p>Réponse en Fréquence</p> 
<p>Filtre <u>Passe Haut</u></p> <p>Schéma</p>  <p>Réponse en Fréquence</p> 	<p>Filtre <u>Passe Bas</u></p> <p>Schéma</p>  <p>Réponse en Fréquence</p> 