



THEORIE

COURS DE BASE
ELECTRONIQUE

1 - PROPRIETES DES CIRCUITS RESONNANTS

Dans la leçon précédente, nous avons vu les circuits résonnants. Toutefois, ceux-ci étant très utilisés en radio, nous devons étudier de façon plus approfondie leur fonctionnement et leur propriété. Nous étudierons ensuite les amplificateurs HF.

1 - 1 - PERTES D'ENERGIE DANS LES CIRCUITS RESONNANTS

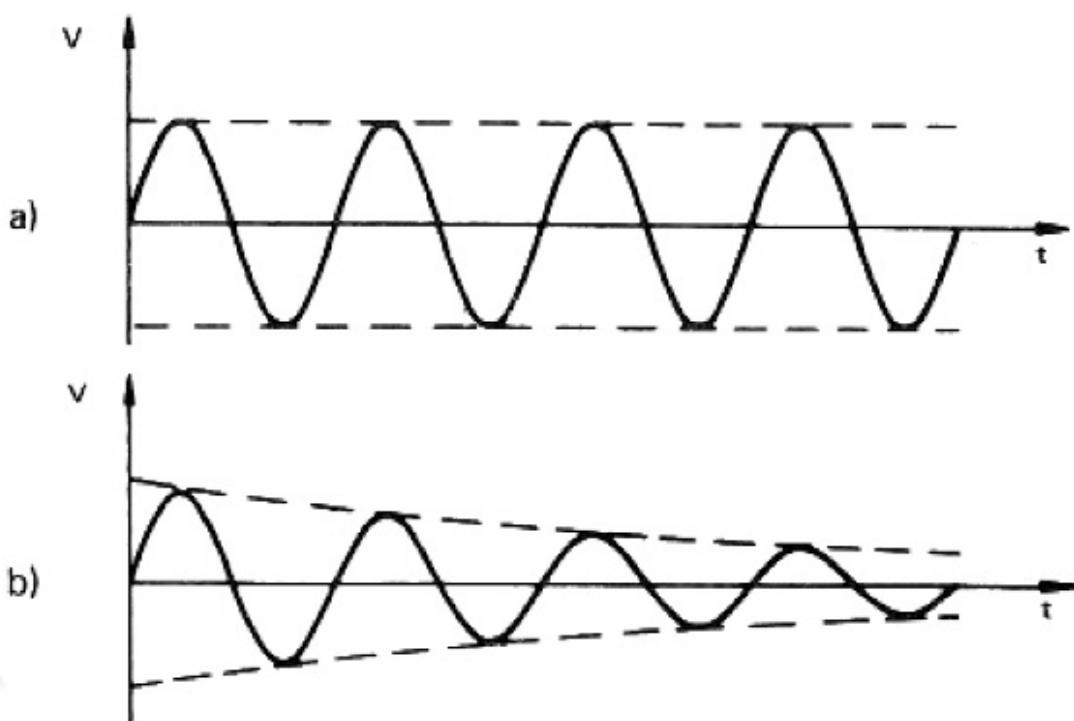
Nous savons que dans un circuit résonnant, il se produit continuellement un échange d'énergie entre le condensateur et la bobine. Ce transfert d'énergie produit des oscillations qui provoquent une variation sinusoïdale de la tension aux extrémités du condensateur, et du courant qui circule dans le montage.

S'il n'existait aucune perte d'énergie dans le circuit, les oscillations continueraient indéfiniment et conserveraient la même amplitude, comme on peut le voir *figure 1 - a*. Dans ce cas, il s'agirait d'oscillations *PERMANENTES* (on dit aussi oscillations *ENTRETENUES*).

En réalité, il existe des pertes dans le circuit résonnant, qui proviennent soit du condensateur, soit de la bobine.

En effet, l'isolement entre les armatures du condensateur n'est jamais parfait. Ainsi, une petite quantité des charges électriques peut passer d'une armature à l'autre, constituant un faible courant qui traverse le diélectrique. Ce courant provoque évidemment une dissipation d'énergie.

D'autre part, le conducteur utilisé pour la réalisation des spires de la bobine, présente une résistance, qui provoque elle aussi une dissipation d'énergie.



OSCILLATIONS PERMANENTES ET AMORTIES

Figure 1

En raison de ces pertes, l'énergie échangée entre le condensateur et la bobine, diminue graduellement et disparaît complètement après un certain temps. Pour les mêmes raisons, l'amplitude des oscillations diminue également, et devient nulle lorsqu'il n'y a plus d'énergie disponible dans le circuit.

En effet, étant donné que l'énergie diminue progressivement chaque fois que le condensateur se recharge, celui-ci n'emmagesine qu'une énergie de plus en plus faible. La tension entre ses armatures diminue de la même façon.

Ainsi, la tension aux extrémités du condensateur prend la forme indiquée sur la *figure 1 - b*. Sur celle-ci, on voit clairement que la valeur de la tension pour un cycle donné est inférieure à celle du cycle précédent.

Le même phénomène se produit pour le courant, car chaque fois que la bobine crée un champ magnétique, elle emmagasine une énergie de plus en plus faible.

Le courant a alors une forme identique à celle représentée sur la *figure 1 - b.*

En conclusion, les oscillations qui se produisent dans le circuit résonnant sont appelées oscillations *AMORTIES*, leur amplitude diminuant progressivement jusqu'à zéro.

Pour les circuits résonnantes, on utilise généralement des condensateurs à air qui ont des pertes si réduites qu'elles sont négligeables. On peut donc dire que les pertes dans un circuit résonnant ne sont dues qu'à la résistance du conducteur qui constitue la bobine.

Ainsi, on peut considérer qu'un circuit résonnant est constitué par un condensateur sans pertes et par une bobine avec résistance. On représente donc cette bobine avec une résistance en série, de valeur égale à la résistance ohmique du conducteur constituant l'enroulement.

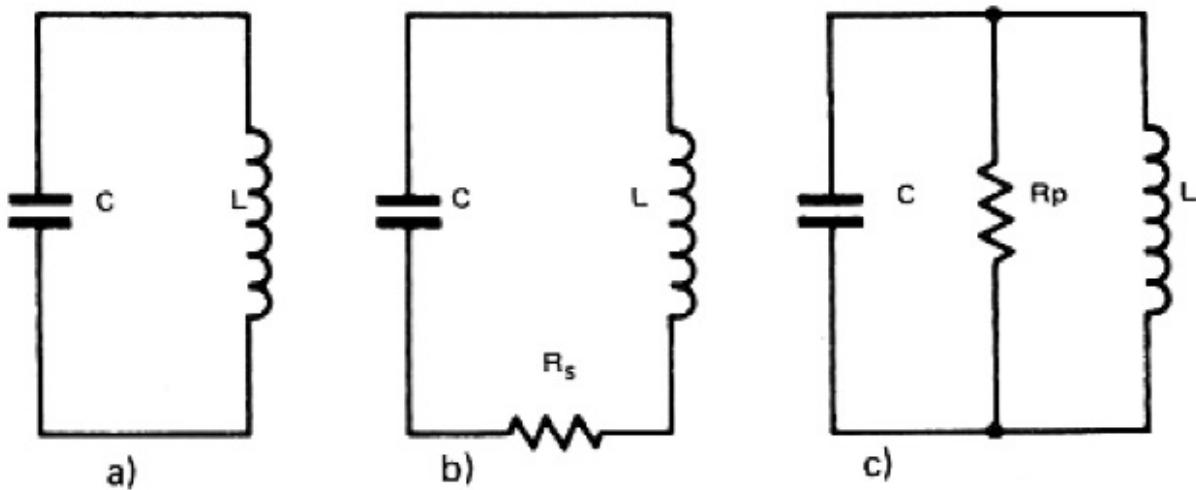
Pour tenir compte des pertes d'énergie qui se produisent dans un circuit résonnant, on représente le montage en dessinant non seulement le condensateur et la bobine comme sur la *figure 2 - a*, mais en ajoutant une résistance R_s en série avec la bobine, comme sur la *figure 2 - b.*

Il est alors plus évident, que le courant dû aux charges et décharges successives du condensateur, doit traverser la résistance R_s , qui dissipe l'énergie.

On peut facilement comprendre que les pertes qui se produisent dans le circuit résonnant, sont d'autant plus importantes que la valeur de la résistance R_s est plus élevée.

Remarquons également que la même énergie serait dissipée si, au lieu d'avoir la résistance R_s en série avec le bobinage, celle-ci se trouvait en parallèle sur le condensateur et la bobine (*figure 2 - c.*)

Dans ce cas, la totalité du courant de charge et de décharge du condensateur ne traverserait pas la bobine, et une partie de celui-ci circuleraît à travers la résistance R_p , déterminant dans cet élément une dissipation d'énergie.



**CIRCUIT RESONNANT ET REPRESENTATION DES PERTES
D'ENERGIE**

Figure 2

Etant donné que le courant qui parcourt la résistance R_p est d'autant plus important que la valeur de la résistance est faible, on comprend sans difficulté, que les pertes sont d'autant plus grandes que la valeur de la résistance est petite.

En conclusion, les pertes totales d'énergie dans le circuit oscillant peuvent être représentées par une résistance R_s en série avec la bobine, ou par une résistance R_p en parallèle sur le condensateur et le bobinage.

Evidemment, pour maintenir des oscillations d'amplitude constante, il faut fournir au circuit résonnant l'énergie nécessaire à la compensation des pertes.

Imaginons pour le moment, que cette énergie est fournie par un générateur. Celui-ci peut être relié au circuit résonnant de deux façons différentes indiquées sur la figure 3.

D'une part, sur la figure 3-a, le générateur est branché en série, avec le circuit, et les pertes qui se produisent dans celui-ci sont représentées par la résistance R_s . Tous les éléments du circuit sont en série, et sont parcourus par le même courant.

On dit que ce circuit résonnant est du type SERIE.

D'autre part, sur la figure 3-b au contraire, le générateur est branché en parallèle sur le circuit, et les pertes qui se produisent dans celui-ci sont représentées par la résistance R_p . Tous les éléments du circuit sont en parallèle, et la même tension leur est appliquée.

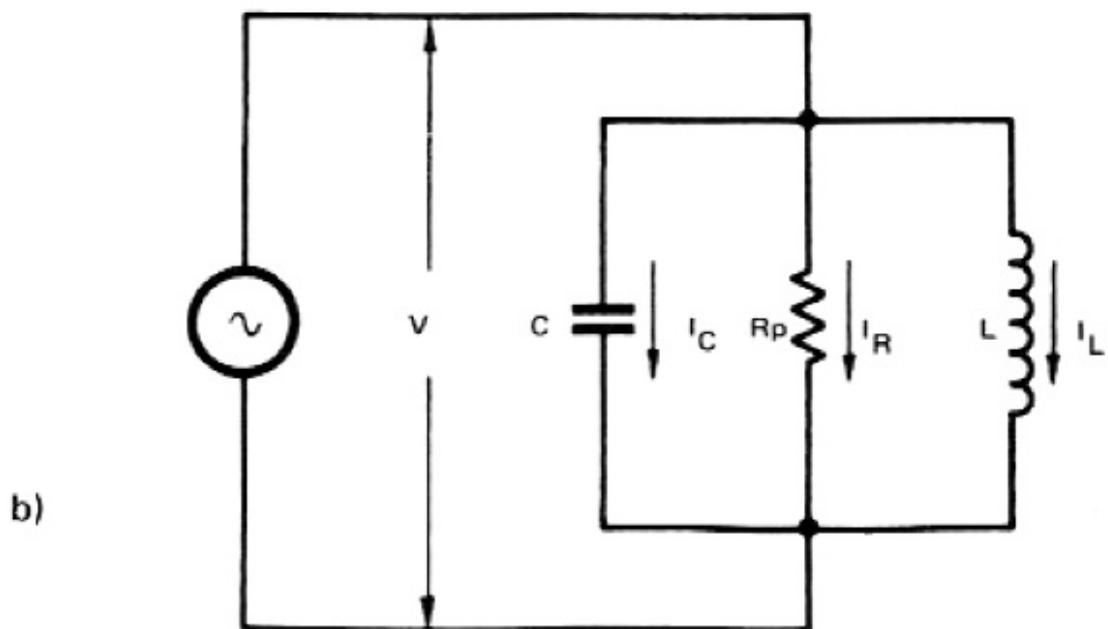
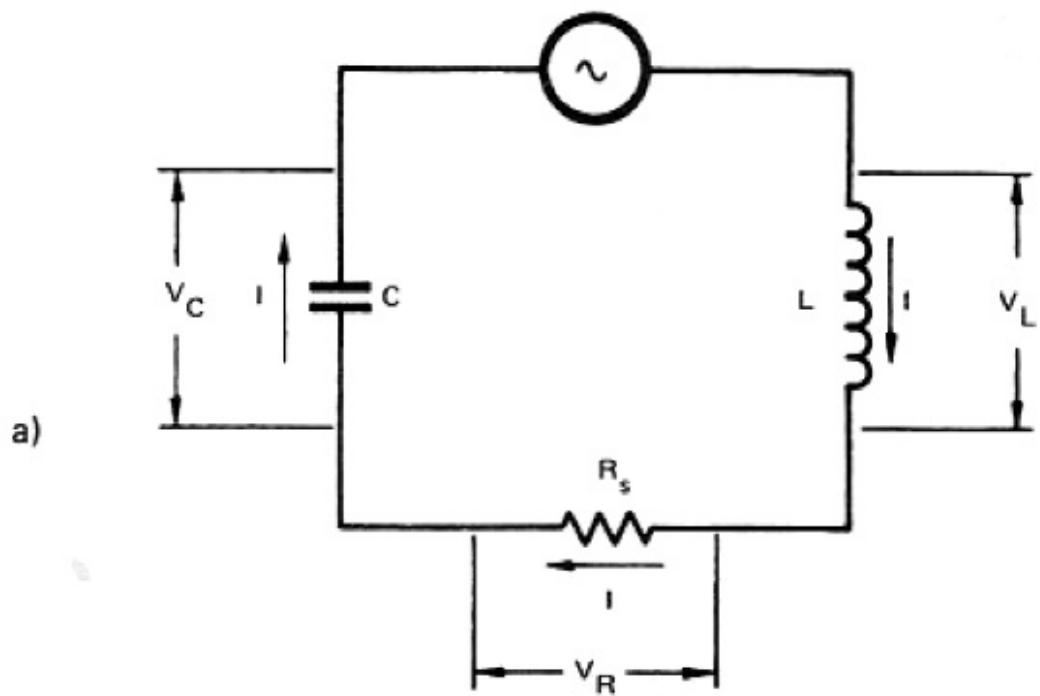
On dit que ce circuit résonnant est du type PARALLELE.

Il est nécessaire de faire une distinction entre ces deux types de montage, car en pratique, on utilise les circuits résonnantes SERIE et les circuits résonnantes PARALLELE.

En l'absence d'un générateur, la fréquence des oscillations d'un circuit résonnant dépend de la capacité du condensateur et de l'inductance de la bobine.

Notons que la résistance ohmique de la bobine n'a pas d'influence sur la fréquence des oscillations et qu'elle détermine seulement l'amortissement de celles-ci, c'est-à-dire la réduction de leur amplitude.

Les oscillations obtenues dans ces conditions, sont dites LIBRES et leur fréquence est appelée FREQUENCE PROPRE, car elle ne dépend que de la capacité et de l'inductance du circuit.



CIRCUITS RESONNANTS SERIE ET PARALLELE

Figure 3

En présence d'un générateur, les oscillations obtenues sont dites **FORCEES**. Dans ce cas en effet, les oscillations qui se produisent ont une fréquence identique à celle du générateur. Ainsi, cette fréquence ne dépend plus de la capacité et de l'inductance, mais de la fréquence propre du générateur.

A l'aide d'un générateur, on peut donc obtenir des oscillations de fréquence très différentes de celle du circuit résonnant.

TOUTEFOIS, SI LA FREQUENCE DU GENERATEUR EST EGALE A LA FREQUENCE PROPRE DU CIRCUIT, LES OSCILLATIONS PRENNENT UNE AMPLITUDE BEAUCOUP PLUS GRANDE.

Cette propriété (grande amplitude des oscillations lorsque la fréquence du générateur est égale à celle du circuit) constitue le phénomène de la résonance.

La fréquence qui détermine le phénomène de la résonance est appelée **FREQUENCE DE RESONANCE** du circuit.

Bien entendu, la fréquence de résonance d'un circuit accordé dépend de la capacité du condensateur et de l'inductance de la bobine, et on la calcule selon le procédé indiqué dans la leçon précédente.

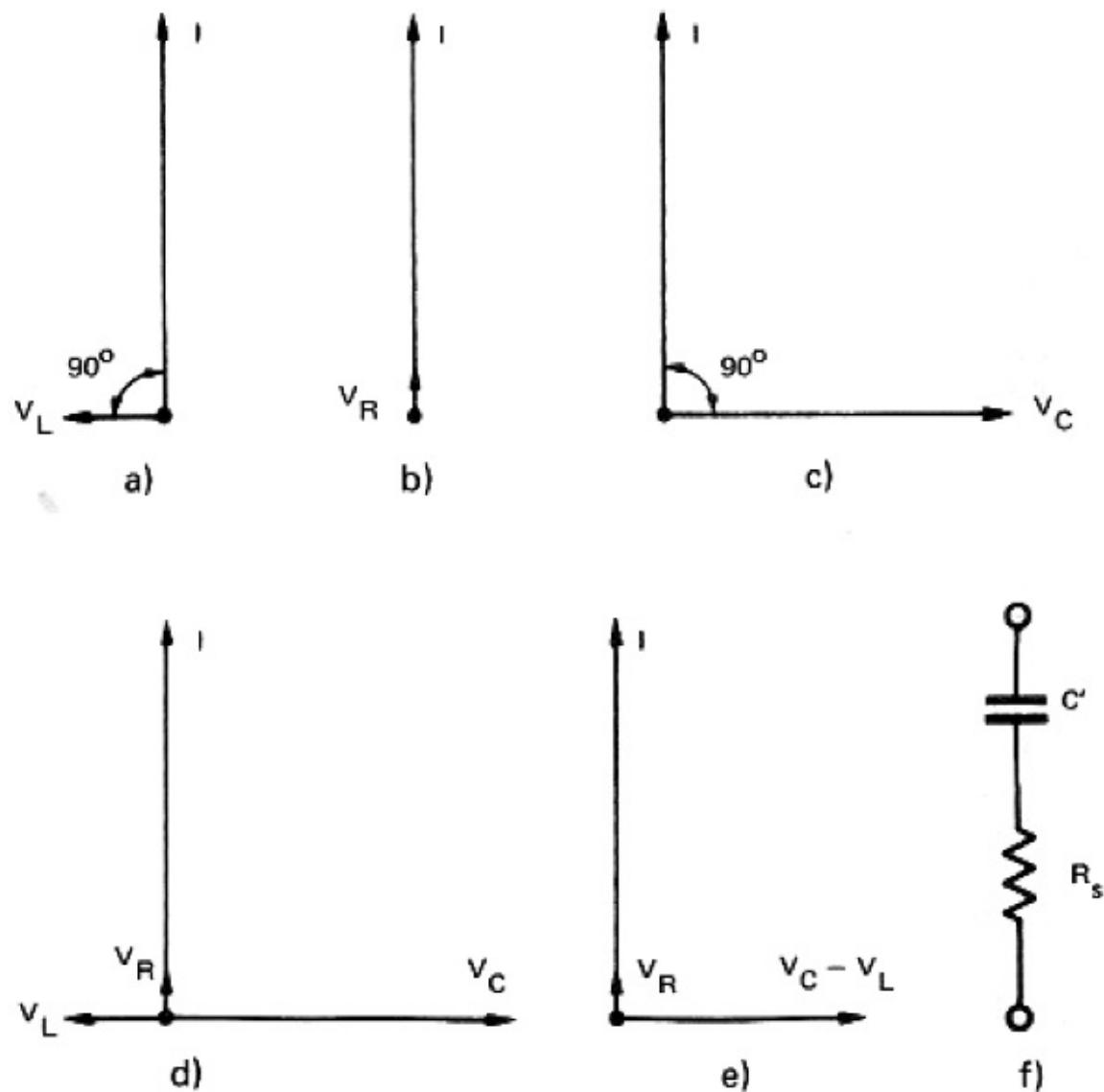
Pour bien comprendre le phénomène de la résonance, il faut étudier les modifications des conditions de fonctionnement du circuit lorsque le générateur délivre une fréquence inférieure et supérieure à la fréquence de résonance.

Il faut d'autre part, étudier séparément le cas du circuit résonnant série et le cas du circuit résonnant parallèle.

1 - 2 - CIRCUIT RESONNANT SERIE

Sur la figure 3, nous voyons que le courant I fourni par le générateur traverse successivement la bobine L , la résistance R_s et le condensateur C . Ce courant produit ainsi aux extrémités de chacun de ces éléments, une chute de tension.

La tension V_L aux extrémités de la bobine est déphasée en avance d'un quart de période par rapport au courant I qui parcourt le circuit. On peut représenter ces deux grandeurs au moyen de deux vecteurs formant



COMPORTEMENT D'UN CIRCUIT RESONNANT SERIE POUR UNE FREQUENCE INFÉRIEURE A CELLE DE LA RESONNANCE

Figure 4

entre eux un angle de 90° , comme indiqué *figure 4 - a*.

La tension V_R aux extrémités de la résistance est en phase avec le courant I , et ces deux valeurs sont représentées par deux vecteurs superposés (*figure 4 - b*).

Quant à la tension aux bornes du condensateur, elle est déphasée en retard d'un quart de période par rapport au courant I . Ces deux grandeurs sont représentées par deux vecteurs formant entre eux un angle de 90° , comme indiqué *figure 4 - c*.

Sur la *figure 4*, la fréquence du courant I est bien inférieure à la fréquence de résonance du circuit. La tension V_L aux extrémités de la bobine, est dans ce cas inférieure à la tension V_C aux bornes du condensateur. Sur la figure, le vecteur V_L est donc plus petit que le vecteur V_C .

Rappelons à ce sujet, que la bobine ne présente qu'une réactance inductive faible pour les basses fréquences, et le courant qui circule dans le bobinage ne provoque qu'une petite chute de tension (Loi d'Ohm). Inversement, le condensateur présente une réactance capacitive élevée pour les basses fréquences, et le courant qui circule provoque une chute de tension élevée, conformément là-aussi, à la loi d'Ohm.

Il convient de remarquer que le même et unique courant circule dans les trois éléments. Ainsi, les représentations vectorielles de la *figure 4 - a*, *4 - b* et *4 - c* peuvent se superposer, et conserver en commun le vecteur représentant le courant I (*figure 4 - d*).

Les deux vecteurs V_L et V_C sont donc orientés sur une même ligne, mais dirigés en sens contraire. Cela signifie que les deux tensions représentées par ces vecteurs sont en opposition de phase, et que la valeur résultante est égale à leur différence.

On peut donc représenter cette tension résultante, au moyen d'un vecteur ayant une longueur égale à la différence entre les longueurs V_C et V_L , et dirigé dans le sens du vecteur le plus long.

Ce vecteur que nous désignons $V_C - V_L$, est représenté sur la *figure 4 - e*. Il est dirigé vers la droite comme le vecteur V_C , qui a effectivement la plus grande longueur.

Observons que la représentation vectorielle de la *figure 4 - e*, peut être considérée comme relative à un circuit constitué par un condensateur en série avec une résistance R_s .

Nous voyons que le même courant I est en phase avec la tension V_R aux extrémités de la résistance R_s , et qu'il est en avance d'un quart de période sur la tension $V_C - V_L$, comme c'est le cas pour un condensateur.

On peut donc représenter le schéma de ce circuit comme sur la *figure 4 - f.*

En conclusion, POUR LES FREQUENCES INFÉRIEURES A LA FREQUENCE DE RESONANCE, UN CIRCUIT RESONNANT SERIE SE COMPORE COMME S'IL ETAIT CONSTITUE PAR UN CONDENSATEUR EN SERIE AVEC UNE RESISTANCE.

Nous allons voir maintenant le comportement de ce même circuit quand la fréquence du courant I est supérieure à la fréquence de résonance.

Ce cas est traité sur la *figure 5* où l'on voit que les déphasages entre le courant et les tensions sont encore les mêmes que précédemment. Pourtant cette fois, le vecteur V_L est plus long que le vecteur V_C . On peut en déduire que la tension V_L est supérieure à la tension V_C (voir *figure 5-a, 5-b et 5-c*).

En effet, la bobine présente une réactance inductive élevée pour les hautes fréquences, et le courant qui circule provoque à ses extrémités, une chute de tension élevée. Inversement, le condensateur présente une faible réactance capacitive pour les hautes fréquences, et le courant ne provoque qu'une petite chute de tension.

En superposant cette fois encore, les trois représentations vectorielles, on obtient la *figure 5 - d*. Le courant I est en phase avec la tension V_R aux extrémités de R_s , et il est en retard d'un quart de période sur la tension $V_L - V_C$, comme c'est le cas pour un bobinage.

Observons que la représentation vectorielle de la *figure 5 - e* peut être considérée comme relative à un circuit constitué par un bobinage en série avec une résistance.

On peut donc représenter le schéma du circuit comme sur la *figure 5 - f.*

En conclusion, POUR LES FREQUENCES SUPERIEURES A LA FREQUENCE DE RESONANCE, UN CIRCUIT RESONNANT SERIE SE COMPORE COMME S'IL ETAIT CONSTITUE PAR UNE BOBINAGE EN SERIE AVEC UNE RESISTANCE.

En comparant la *figure 4* à la *figure 5*, on voit que lorsque la fréquence augmente, la tension V_L augmente aussi, tandis que la tension V_C diminue. Il devient alors évident qu'il doit exister une fréquence pour laquelle les deux tensions sont égales, et s'annulent donc, étant en opposition de phase.

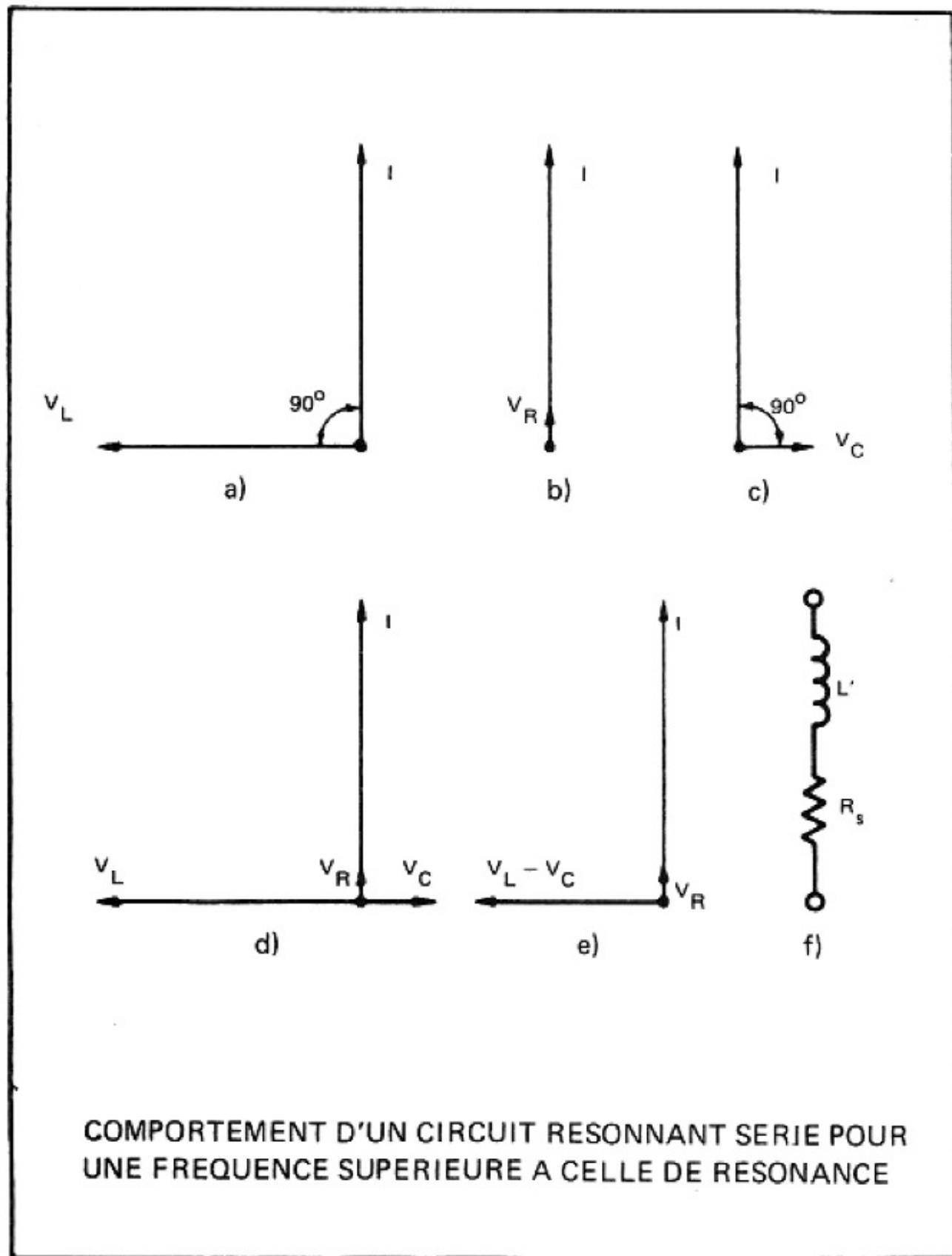


Figure 5

CETTE FREQUENCE EST PRECISEMENT LA FREQUENCE DE RESONANCE DU CIRCUIT.

Etant donné que pour la fréquence de résonance, les tensions V_L et V_C s'annulent, la seule tension encore présente dans le circuit est la tension V_R , aux extrémités de la résistance.

Conclusion : A LA FREQUENCE DE RESONANCE, UN CIRCUIT RESONNANT SERIE SE COMPORTE COMME UN CIRCUIT PUREMENT RESISTIF.

Il en résulte que pour la fréquence de résonance, le circuit n'oppose que la résistance R_s .

→ Cette résistance ayant généralement une valeur très basse, il est facile de comprendre que le courant peut atteindre une valeur élevée.

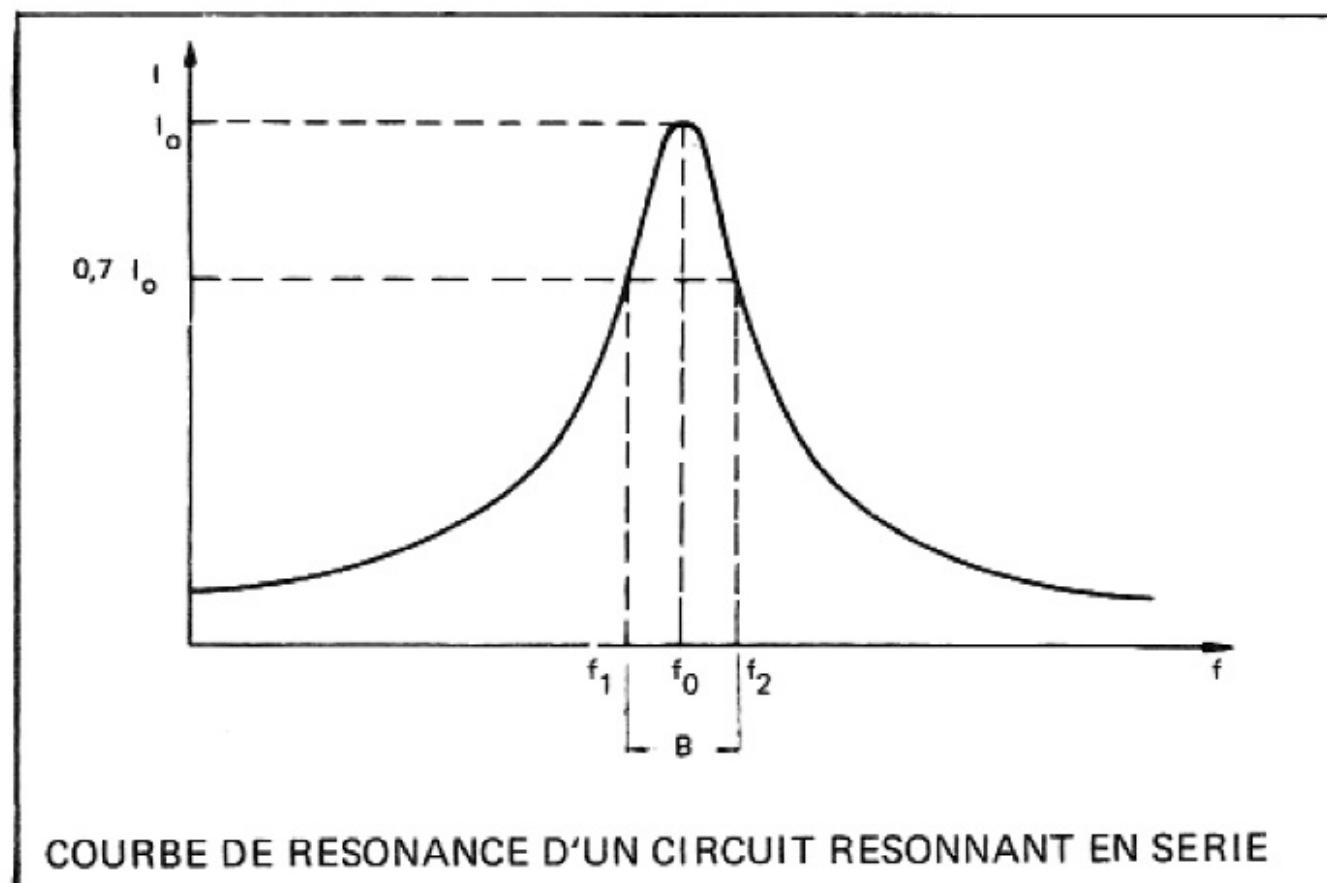
D'autre part, la plus grande partie du courant qui circule dans le montage provoque aux extrémités de la bobine et du condensateur une très grande chute de tension, appelée *SURTENSION*.

Cette surtension provient précisément des oscillations qui prennent une amplitude importante à la fréquence de résonance.

En alimentant le circuit résonnant par un générateur à fréquence variable, on peut mesurer l'intensité du courant et relever ses variations pour les fréquences inférieures et supérieures à celle de la résonance.

En reportant sur un diagramme le résultat de ces mesures, on obtient la *COURBE DE RESONANCE* du circuit, qui montre les variations du courant, en fonction de la fréquence.

Ainsi, sur la *figure 6*, on peut voir que le courant augmente progressivement à mesure que l'on s'approche de la fréquence de résonance f_0 .



COURBE DE RESONNANCE D'UN CIRCUIT RESONNANT EN SERIE

Figure 6

Les circuits résonnantes étant employés dans les amplificateurs HF, il est intéressant de connaître (pour des motifs que nous verrons plus tard) leur bande passante. Celle-ci se définit de la même façon que pour un amplificateur BF.

Sur la *figure 6*, on voit également comment on détermine la bande passante B du circuit résonnant.

On considère la fréquence de coupure inférieure f_1 , et la fréquence de coupure supérieure f_2 , où le courant à une valeur égale à 70 % de la valeur maximum du *COURANT DE RESONNANCE* I_0 .

Etant donné que pour déterminer la valeur qui équivaut à 70 % du courant I_0 , il suffit de multiplier ce courant par 0,7, cette valeur est indiquée sur la *figure 6* par $0,7 I_0$.

On calcule cette valeur pour les deux fréquences de coupure de façon à pouvoir déterminer la largeur de la bande passante.

Une donnée très importante est le *FACTEUR DE QUALITE*, appelé aussi *COEFFICIENT DE SURTENSION*, que l'on désigne par la lettre *Q* et parfois par la lettre grecque *ε* (epsilon)

Le facteur de qualité s'obtient en divisant la valeur de la réactance inductive ($L\omega$) à la fréquence de résonance par la valeur de la résistance qui représente les pertes de la bobine ($Q = L\omega/R$).

Pour bien comprendre l'importance du facteur de qualité, il suffit d'examiner la *figure 7*.

Sur celle-ci, on a reporté la courbe de résonance de la *figure 6* qui a un facteur de qualité $Q = 100$.

On a ensuite ajouté une courbe de résonance relative à un circuit ayant un facteur de qualité $Q = 50$, et une seconde courbe relative à un circuit ayant un facteur de qualité $Q = 25$.

On peut noter que la fréquence de résonance f_o ne dépend pas du facteur de qualité, car ces trois courbes présentent la valeur maximum du courant pour la même fréquence f_o .

On peut remarquer d'autre part que la valeur du courant I de résonance est d'autant plus basse que le facteur de qualité est plus petit.

En effet, pour le circuit résonnant qui a un facteur de qualité $Q = 50$, le courant de résonance I_o est égal à la moitié du courant de résonance I_o du circuit qui a un facteur de qualité $Q = 100$.

Nous voyons ainsi que lorsqu'on réduit de moitié le facteur de qualité, on réduit aussi de moitié la valeur du courant de résonance.

De la même façon, si l'on réduit à un quart le facteur de qualité, on réduit aussi à un quart la valeur du courant de résonance.

Il convient également de remarquer que, plus le facteur de qualité est petit, plus la courbe de résonance est aplatie. On en déduit que le facteur de qualité influe aussi sur la largeur de la bande passante.

Quand on considère la bande passante B relative à la courbe $Q = 50$, on voit qu'elle est deux fois plus large que la bande passante B relative à la courbe $Q = 100$. Ainsi, en réduisant de moitié le facteur de qualité, on double la largeur de la bande passante.

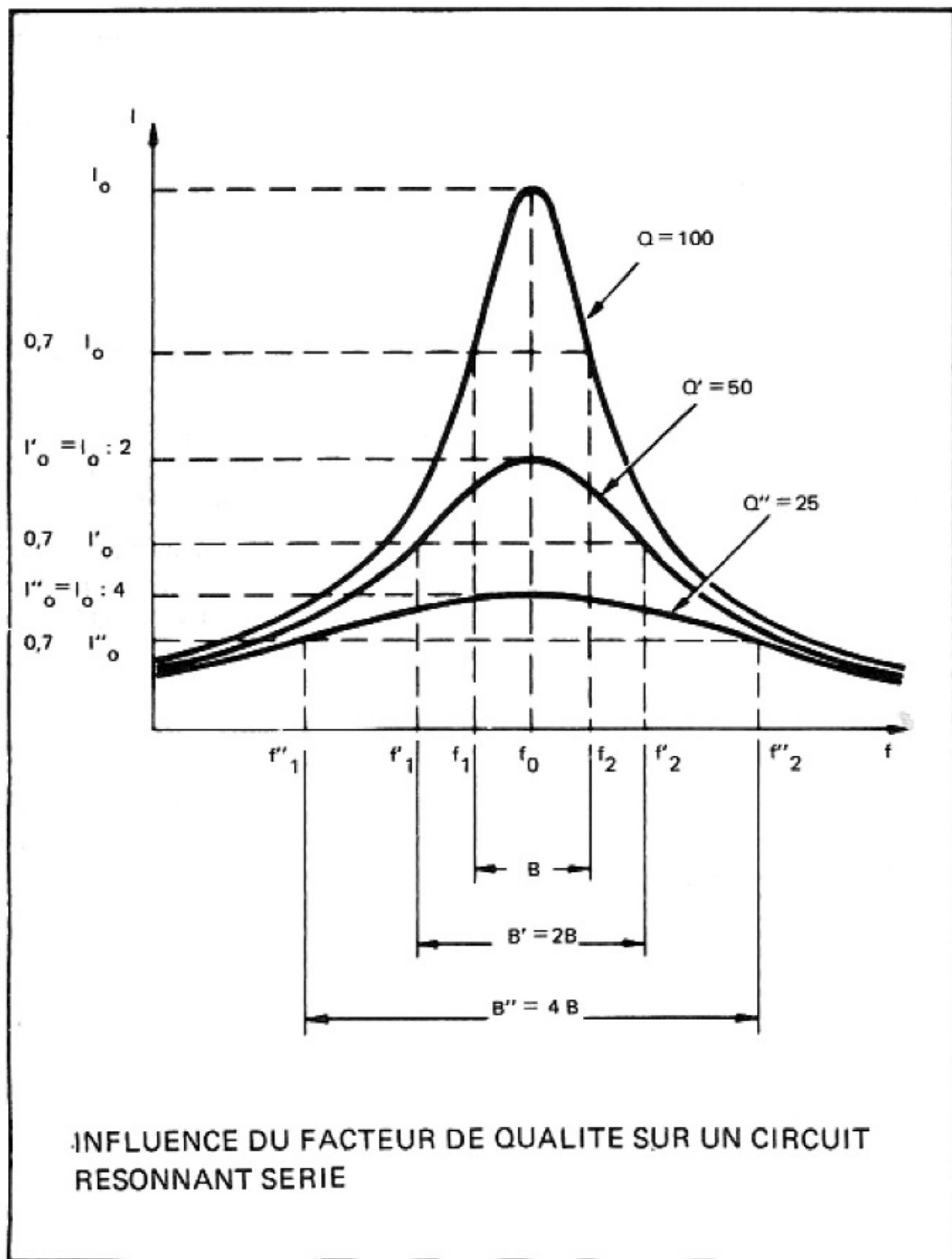


Figure 7

De la même façon, quand on réduit à un quart le facteur de qualité, la bande passante est quatre fois plus large.

Pour ces trois circuits, nous voyons donc qu'en réduisant le facteur de qualité, on augmente la bande passante dans les mêmes proportions.

Conclusion : Le produit du facteur de qualité par la bande passante, est le même pour les trois circuits. Dans le cas d'un circuit résonnant série, le produit est égal à la fréquence de résonance.

Cette relation peut être utilisée pour déterminer la bande passante d'un circuit lorsqu'on connaît la fréquence de résonance et le facteur de qualité.

Rappelons enfin que le facteur de qualité est aussi appelé *COEFFICIENT DE SURTENSION*, car il indique la surtension obtenue aux extrémités de la bobine par rapport à la tension fournie par le générateur.

Par exemple, un circuit résonnant alimenté par un générateur fournissant 10 V, et ayant un facteur de qualité $Q = 100$, produira aux extrémités de la bobine et du condensateur une surtension de $10 \times 100 = 1.000$ V.

1 - 3 - CIRCUIT RESONNANT PARALLELE

Le circuit résonnant parallèle présente de nombreuses analogies avec le circuit résonnant série. Dans l'étude qui suit, nous utiliserons donc les données précédentes, en les adaptant comme il convient aux circuits résonnats parallèles.

Une première différence importante, provient du fait que la tension fournie par le générateur, est appliquée simultanément au condensateur C à la résistance R_p et à la bobine L, ces trois éléments étant en parallèle entre eux (voir *figure 3 - b*).

Dans ce cas, la grandeur commune aux trois éléments est la tension, et non plus le courant. Chaque composant est donc parcouru par un courant différent selon l'obstacle qu'il présente à celui-ci.

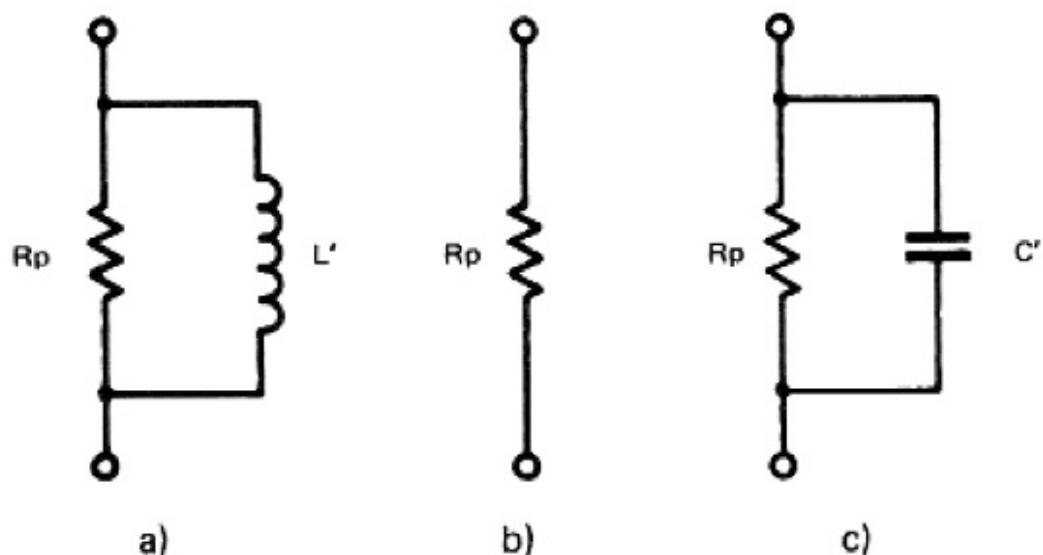
Pour le condensateur et la bobine, cet obstacle est la réactance capacitive et inductive qui dépend de la fréquence.

Pour les fréquences inférieures à celle de la résonance, la bobine est parcourue par un courant supérieur à celui qui traverse le condensateur. En effet, pour les fréquences basses, la bobine présente une réactance plus petite que celle présentée par le condensateur.

Dans ces conditions, c'est surtout la bobine qui fait sentir son influence dans le circuit.

Au moyen de la représentation vectorielle, on trouverait que pour les fréquences inférieures à celle de la résonance, un circuit résonnant parallèle se comporte comme s'il était constitué par une bobine comportant une résistance en parallèle. On peut donc représenter ce circuit comme sur la figure 8 - a.

Pour les fréquences supérieures à celle de la résonance, le condensateur est parcouru par un courant supérieur à celui qui traverse la bobine. En effet, pour les fréquences élevées, le condensateur présente une réactance plus petite que celle présentée par la bobine.



COMPORTEMENT D'UN CIRCUIT RESONNANT PARALLELE QUAND LA FREQUENCE AUGMENTE

Figure 8

Dans ces conditions, c'est surtout le condensateur qui fait sentir son influence dans le circuit.

Au moyen de représentation vectorielle, on trouverait que pour les fréquences supérieures à celle de la résonance, UN CIRCUIT RESONNANT PARALLELE SE COMPORTE COMME S'IL ETAIT CONSTITUE PAR UN CONDENSATEUR COMPORTANT UNE RESISTANCE EN PARALLELE.

On peut donc représenter ce circuit comme sur la *figure 8 - c.*

Pour le circuit résonnant parallèle, il existe aussi une fréquence pour laquelle ce circuit se comporte comme une simple résistance.

On peut donc représenter ce circuit comme sur la *figure 8 - b.*

Comme précédemment pour le circuit résonnant série, cette fréquence s'appelle fréquence de résonance du circuit, et celui-ci se comporte comme un circuit purement résistif.

Pour bien comprendre ce phénomène, il faut rappeler que le courant I_C qui parcourt le condensateur est déphasé en avance d'un quart de période sur la tension V , et que le courant I_L qui parcourt la bobine est déphasé en retard d'un quart de période sur la tension V . Cela signifie que les deux courants sont en opposition de phase.

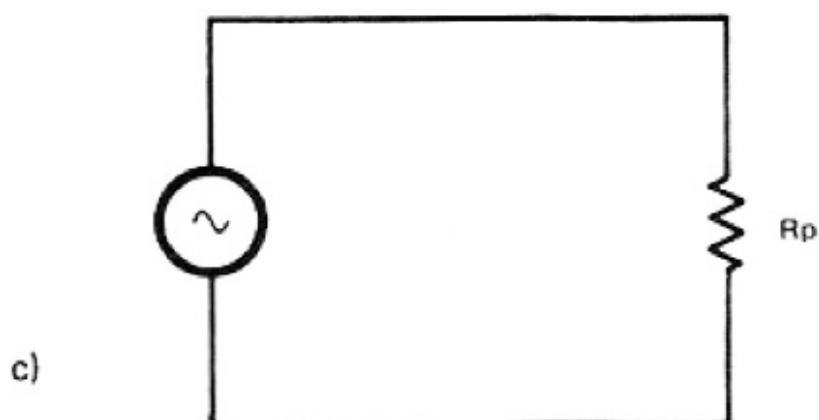
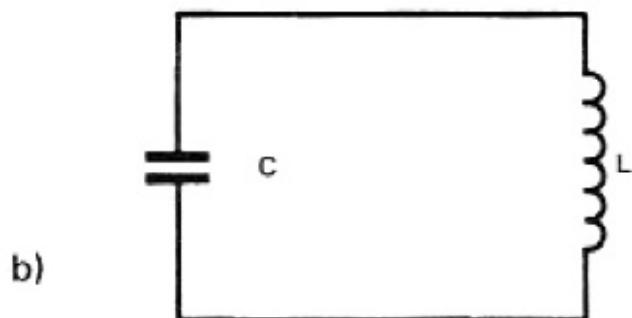
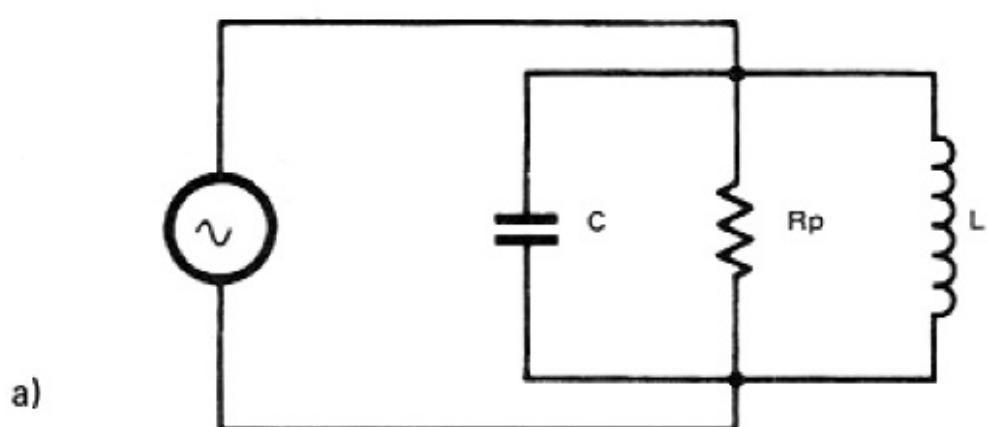
Or, pour la fréquence de résonance, les courants I_C et I_L ont la même valeur (c'était le cas pour les tensions avec le circuit résonnant série). Etant égaux, mais en opposition de phase, les deux courants s'annulent.

Conclusion : le courant fourni par le générateur traverse uniquement la résistance R_p .

Cependant, on ne doit pas penser qu'à la fréquence de résonance, il ne circule aucun courant dans le condensateur et la bobine. En réalité, les deux courants I_C et I_L constituent un courant qui ne circule que du condensateur à la bobine, et vice versa, sans traverser la résistance R_p ;

On peut donc imaginer que pour la fréquence de résonance, un circuit résonnant parallèle, comme celui de la *figure 9 - a*, se comporte comme s'il était constitué par deux circuits distincts.

a) un premier circuit (*figure 9 - b*) formé simplement du condensateur C et de la bobine L , que l'on peut considérer comme un circuit résonnant sans pertes. Dans celle-ci, on a des oscillations permanentes sans apport d'énergie extérieure.



CIRCUIT RESONNANT PARALLELE ET SA DECOMPOSITION

Figure 9

b) Un second circuit (*figure 9 - c*) formé par un générateur relié à une résistance R_p , dans laquelle circule le courant nécessaire pour compenser les pertes d'énergie qui se produisent en réalité dans le circuit résonnant.

Ainsi, bien qu'il circule un courant dans le condensateur et la bobine, nous pouvons dire qu'à la fréquence de résonance, le circuit se comporte comme une résistance par rapport au générateur. En effet, celui-ci ne doit fournir du courant qu'à la seule résistance R_p .

Remarquons maintenant que pour les fréquences différentes de celle de la résonance, le courant fourni par le générateur, peut passer non seulement à travers la résistance R_p , mais aussi dans la bobine L' (*figure 8 - a*) ou le condensateur C' (*figure 8 - c*) selon la fréquence de fonctionnement.

Dans ces conditions, le courant fourni par le générateur a toujours deux voies, tandis que pour la fréquence de résonance, il n'y a qu'une voie possible : la résistance R_p (*figure 8 - b*).

Ainsi, à la fréquence de résonance, pour faire passer le même courant dans cette seule voie, il faut une tension supérieure à celle qui est nécessaire pour les autres fréquences.

On en déduit qu'**A LA FREQUENCE DE RESONANCE, ON A UNE TENSION ELEVEE AUX EXTREMITES DU CIRCUIT.**

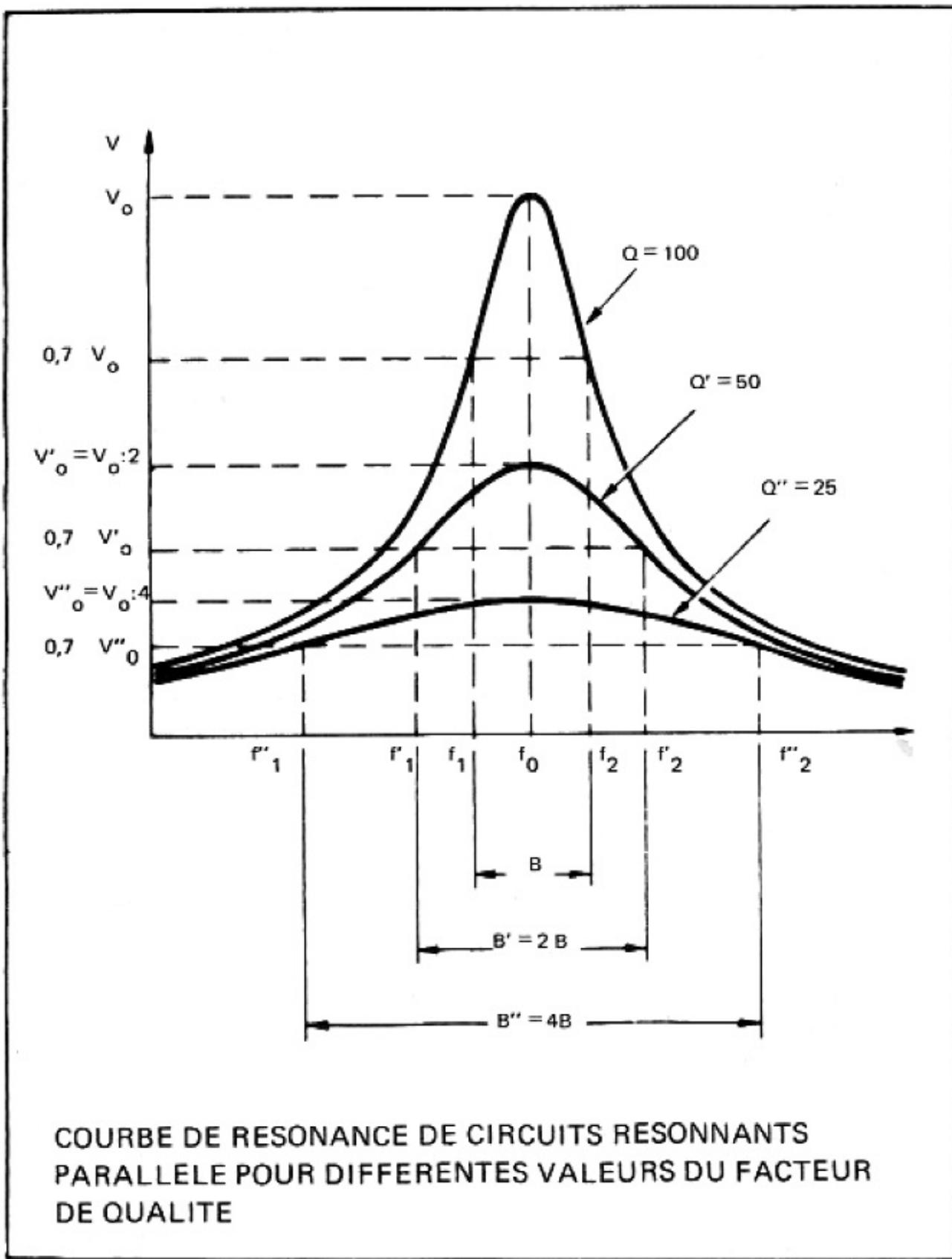
D'autre part, le courant qui circule exclusivement du condensateur à la bobine et vice versa, prend aussi une valeur élevée, donnant lieu à un **SURCOURANT**.

Pour voir la variation de tension quand la fréquence passe d'une valeur inférieure à une valeur supérieure à celle de la résonance, on peut tracer la courbe de résonance pour le circuit parallèle. On alimente le circuit avec un générateur à fréquence variable et on mesure la tension pour différentes fréquences.

En reportant les résultats obtenus sur un diagramme (*figure 10*), on obtient la courbe du circuit parallèle.

Pour la fréquence de résonance f_o , on a maintenant la tension maximum V_o appelée **TENSION DE RESONANCE**.

On peut voir également sur la *figure 10*, que le facteur de qualité Q du circuit influe, soit sur la valeur de la tension de résonance, soit sur la bande passante, de la même façon que pour le circuit résonnant série.



COURBE DE RESONANCE DE CIRCUITS RESONNANTS
PARALLELE POUR DIFFERENTES VALEURS DU FACTEUR
DE QUALITE

Figure 10

Toutes les remarques au sujet de la figure 7 restent valables dans ce cas. En particulier, LE PRODUIT DU FACTEUR DE QUALITE PAR LA BANDE PASSANTE D'UN CIRCUIT RESONNANT PARALLELE EST EGAL A LA FREQUENCE DE RESONANCE DU CIRCUIT.

Le facteur de qualité d'un circuit résonnant parallèle est aussi appelé *COEFFICIENT DE SURINTENSITE*, car il indique de combien de fois le courant que l'on a dans la bobine et le condensateur est supérieur au courant que le générateur fournit à la résistance R_p .

Il faut cependant tenir compte du fait que *le facteur de qualité d'un circuit résonnant parallèle s'obtient en divisant la valeur de la résistance, qui représente les pertes de la bobine, par la valeur prise par la réactance de la bobine à la fréquence de résonance.*

Cette différence par rapport au facteur de qualité du circuit résonnant série est due au fait que, dans le cas du circuit résonnant parallèle, les pertes de la bobine proviennent surtout de la résistance R_p en parallèle sur le circuit.

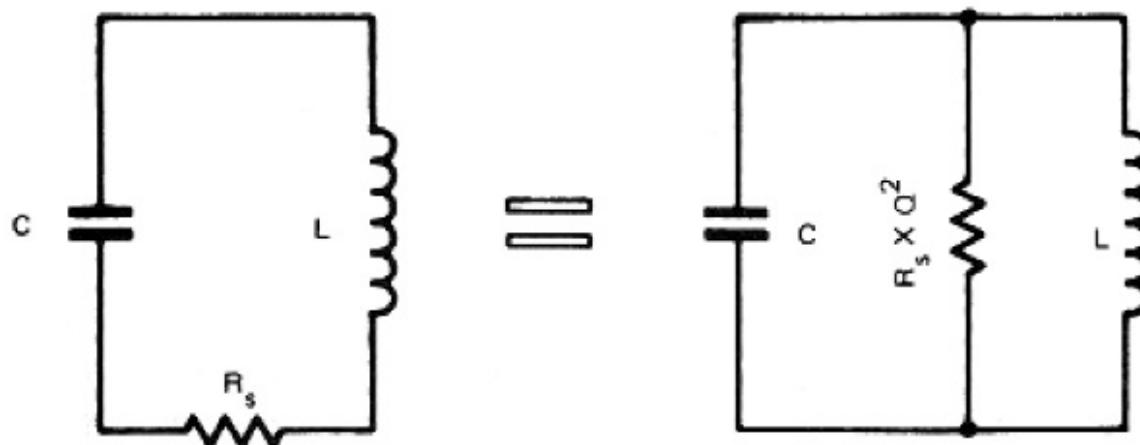
Ainsi, un circuit résonnant série a un facteur de qualité d'autant plus élevé que la valeur de la résistance R_s est plus petite par rapport à la réactance présentée par la bobine à la fréquence de résonance.

Inversement, un circuit résonnant parallèle a un facteur de qualité d'autant plus élevé que la valeur de la résistance R_p est plus grande par rapport à la réactance présentée par la bobine, à la fréquence de résonance.

Précédemment, on a dit qu'il existait une relation entre les valeurs des résistances R_s et R_p . On peut établir cette relation au moyen du facteur de qualité, étant donné que ce sont ces éléments qui caractérisent les performances des circuits résonnantes.

Evidemment, pour un circuit résonnant donné, le facteur de qualité doit toujours être le même, que les pertes soient représentées par la résistance R_s ou la résistance R_p .

On peut alors déterminer la relation qui existe entre R_s et R_p , et dont dépend précisément le facteur de qualité.



EGALITE ENTRE LES CIRCUITS RESONNANTS SERIE ET PARALLELE

Figure 11

Par des calculs complexes qui sortent du cadre de ce cours, on trouve que la valeur de la résistance R_p du circuit résonnant parallèle, est égale au produit de la valeur de la résistance R_s du circuit résonnant série, par le carré du facteur de qualité.

Ainsi, pour que le circuit résonnant parallèle puisse être considéré comme égal au circuit résonnant série comme indiqué *figure 11*, il faut qu'entre les résistances R_p et R_s des deux circuits, existe la relation citée

Nous pouvons maintenant aborder l'étude des amplificateurs HF de tension, où les circuits résonnents trouvent une application pratique.

2 - AMPLIFICATEURS HF DE TENSION

Le schéma type d'un amplificateur HF de tension est donné figure 12.

Ce circuit est équipé d'une pentode, car comme nous le savons, ce type de tube est plus adapté que la triode à l'amplification HF, étant donné la faible valeur des capacités interélectrodes qu'il présente.

Nous pouvons voir également que dans le circuit, nous retrouvons quelques éléments déjà vus lors de l'étude des amplificateurs BF.

En effet, la polarisation du tube est là-aussi, obtenue par l'intermédiaire d'une résistance reliée entre la cathode et la masse.

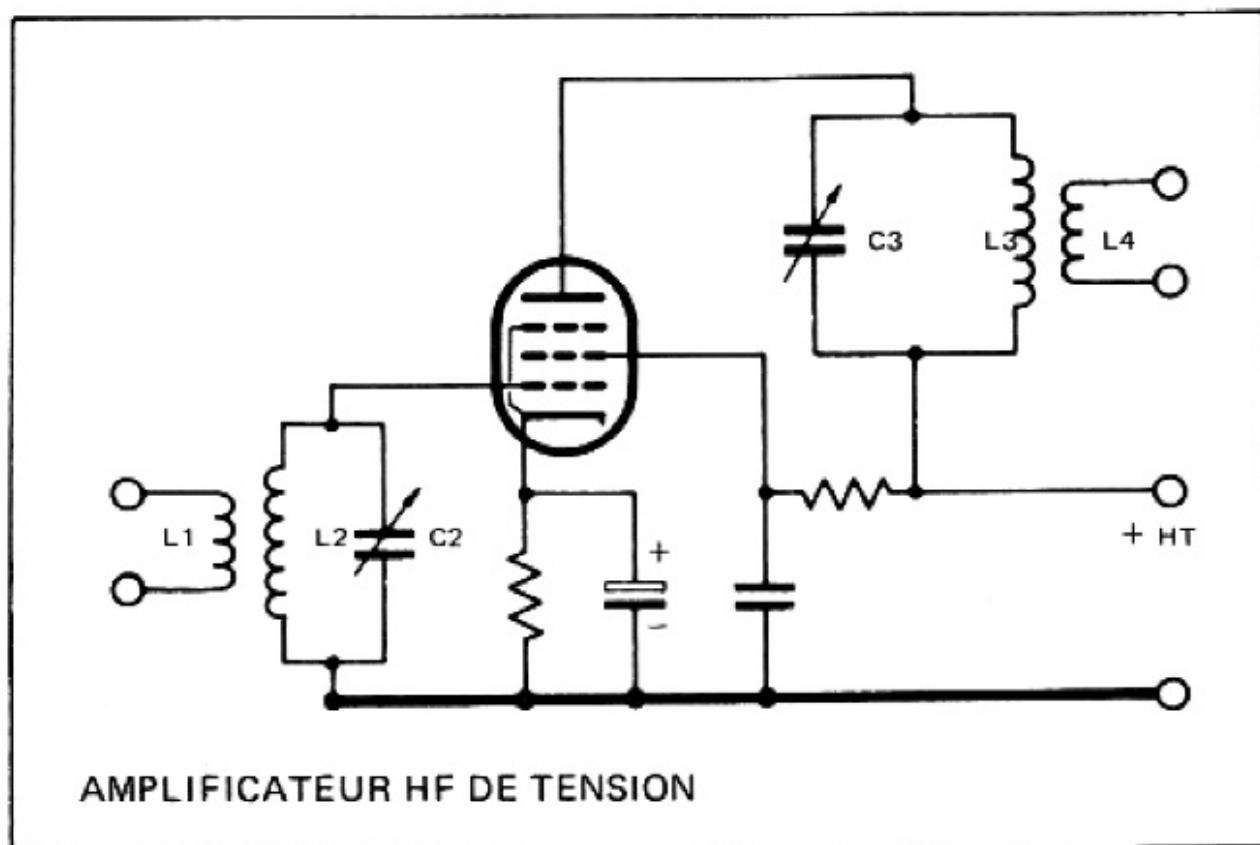


Figure 12

L'alimentation de la grille écran est classique. On trouve une résistance entre cette électrode et le +HT, et un condensateur de découplage dont le rôle est de maintenir la tension à une valeur constante.

Les différences par rapport aux amplificateurs BF se trouvent dans les circuits de grille et d'anode.

Sur le circuit de la grille de commande, il y a un circuit résonnant parallèle (on dit aussi un circuit accordé) constitué par la bobine L2 et le condensateur C2.

Sur le circuit anodique, on retrouve également un circuit accordé constitué par la bobine L3 et le condensateur C3.

Il convient de noter que lorsqu'on présente les circuits accordés sur les schémas radioélectriques, on ne fait pas figurer les résistances qui représentent les pertes.

Sur quelques schémas, on peut voir cependant une résistance branchée en parallèle sur le circuit résonnant. Il s'agit alors d'une résistance d'amortissement, dont le rôle est de réduire le facteur de qualité et d'augmenter, en conséquence, la bande passante.

Le circuit L2 C2 de la *figure 12*, reçoit l'énergie par l'intermédiaire de l'enroulement L1. Le circuit L3 C3 reçoit l'énergie directement du tube électronique dont le courant circule précisément dans l'enroulement L3.

On comprend l'utilité des circuits résonnantes en se rappelant que les amplificateurs HF de tension sont employés le plus souvent dans les récepteurs radio et télévision pour amplifier les signaux émis par les différents émetteurs.

Etant donné que chaque émetteur travaille sur une fréquence caractéristique, il est évident que l'amplificateur HF doit être en mesure de sélectionner la fréquence de l'émetteur à recevoir. C'est précisément le rôle des circuits résonnantes.

Pour cette raison, les amplificateurs HF sont appelés *SELECTIFS* (alors que les amplificateurs BF sont *APERIODIQUES*) et ils sont équipés de circuits résonnantes réglables sur une fréquence déterminée (c'est pourquoi on dit plus couramment "circuits accordés").

Les signaux HF captés par l'antenne du récepteur sont appliqués à l'enroulement L1, qui agit comme le primaire d'un transformateur d'entrée.

L'enroulement L1 induit dans L2 des tensions de fréquence égale à celles des signaux HF captés. La tension qui provoque la plus grande amplitude dans le circuit est celle dont la fréquence est égale à la fréquence de résonance du circuit L2 C2.

A la grille de commande de tube est donc appliquée une tension d'une amplitude bien supérieure à l'amplitude des tensions des autres fréquences. C'est cette tension qui sera donc amplifiée le plus énergiquement.

D'autre part, le courant anodique du tube produit des oscillations dans le circuit résonnant anodique L3 C3, aux extrémités duquel on aura encore une plus grande tension à la fréquence de résonance.

Ainsi, dans l'enroulement L4 sera induite par L3 une tension qui aura la fréquence du signal émis par la station que l'on désire recevoir. Les autres signaux de fréquence différente seront peu ou pas du tout amplifiés.

Naturellement, il faut que le circuit résonnant de grille, et le circuit résonnant anodique, aient la même fréquence de résonance. On peut obtenir cela, par l'emploi de *CONDENSATEURS VARIABLES*.

Ces condensateurs sont désignés sur le schéma de la *figure 12* par le symbole graphique habituel des condensateurs variables (condensateurs ordinaires traversés par une petite flèche).

Ainsi en faisant varier la valeur capacitive de C2 et C3, on peut obtenir le même accord pour les deux circuits.

On peut également, en agissant sur C2/C3, faire varier la fréquence de résonance des deux circuits, c'est-à-dire amplifier les signaux émis par un autre émetteur. On dit que les condensateurs variables servent à *ACCORDER* l'amplificateur sur les différents émetteurs.

Pour connaître le gain de l'amplificateur HF, il faut multiplier la pente du tube par la résistance dynamique (résistance offerte par le circuit anodique à la composante alternative du courant anodique).

Dans le cas de l'amplificateur HF que nous sommes en train d'étudier, la composante alternative du courant anodique a une fréquence égale à celle de résonance du circuit L3 C3. Ce circuit se comporte pour cette composante comme une résistance R_p .

Par conséquent, on obtiendra maintenant le gain en multipliant la pente de la pentode par la valeur de la résistance R_p , qui constitue la résistance dynamique.

Dans les amplificateurs HF de tension, les circuits résonnantes série ne sont pas employés. Cependant, ce qui a été dit précédemment sur ces circuits, est utile pour comprendre le fonctionnement de certains montages utilisés en radio et en télévision (circuits réjecteurs - circuits de couplage etc...)

Dans la prochaine leçon nous verrons un type particulier de circuits, assez proches des oscillateurs : les MULTIVIBRATEURS ; nous reprendrons cependant l'étude des amplificateurs HF dans la leçon théorique 24 consacrée aux circuits HF de puissance.

NOTIONS A RETENIR

- Dans un circuit résonnant, les oscillations qui se produisent sont appelées **OSCILLATIONS AMORTIES**, leur amplitude diminuant progressivement jusqu'à zéro, en raison des pertes.
- Ces pertes proviennent en grande partie de la résistance de la bobine (on peut pratiquement négliger les pertes introduites par le condensateur).
Ainsi un circuit résonnant réel peut être représenté par un condensateur et par une bobine avec une résistance en série.

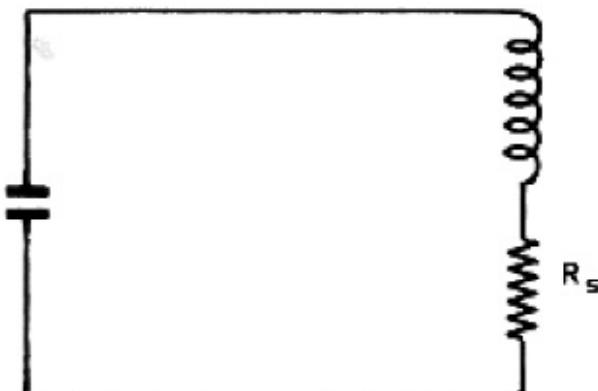


Figure A

- Sans rien changer au fonctionnement du circuit on peut représenter le circuit, avec la résistance en **PARALLELE** sur le condensateur. En effet le courant de charge et de décharge du condensateur en circulant non seulement dans la bobine mais aussi dans cette résistance, détermine bien une perte d'énergie.

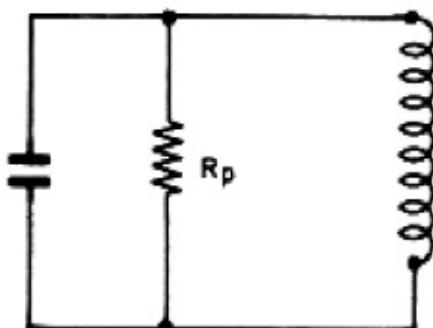
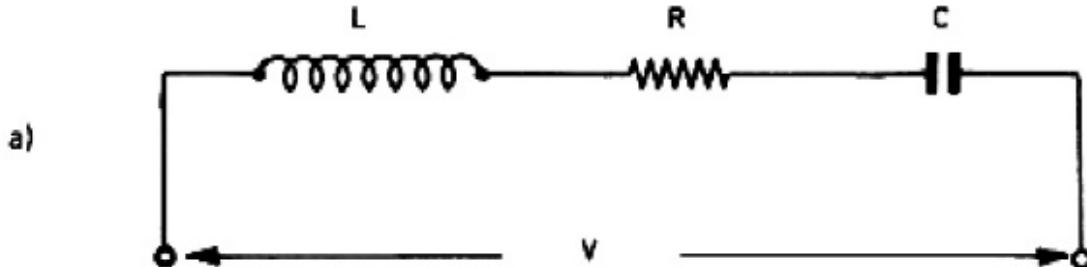


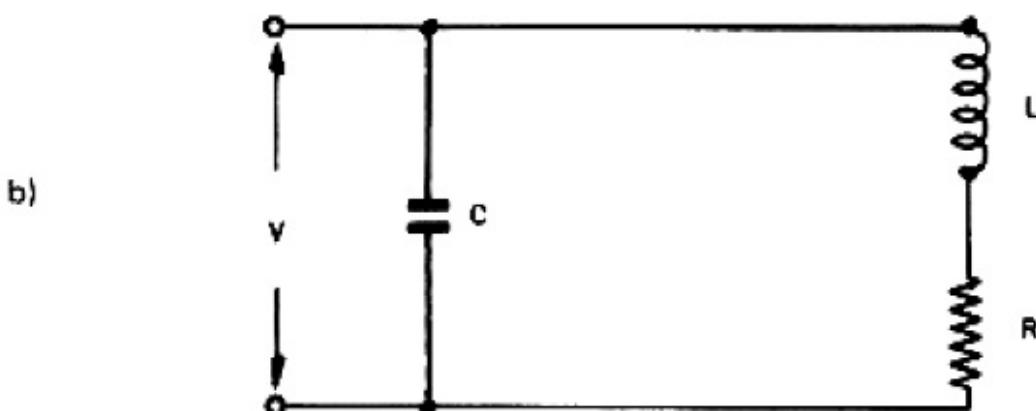
Figure B

- Il faut noter cependant que les pertes dans le cas de la figure A, sont d'autant plus importantes que la valeur de R_s est élevée, alors que dans le cas de la figure B, les pertes sont d'autant plus élevées que la valeur de R_p est faible.
- Il existe deux types de circuits résonnats :

 - a) le circuit résonnant SERIE
 - b) le circuit résonnant PARALLELE



Série



Parallèle

- Dans un circuit résonnant RLC SERIE, à la résonance nous avons :

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$
 avec $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$,
 donc une IMPEDANCE MINIMUM.

- Dans un circuit résonnant PARALLELE, à la résonance nous avons :

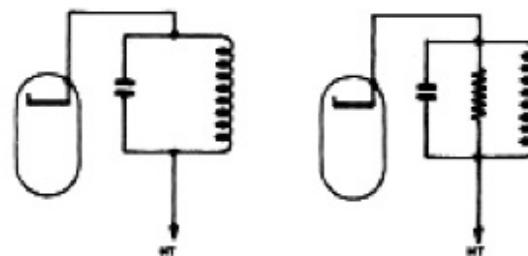
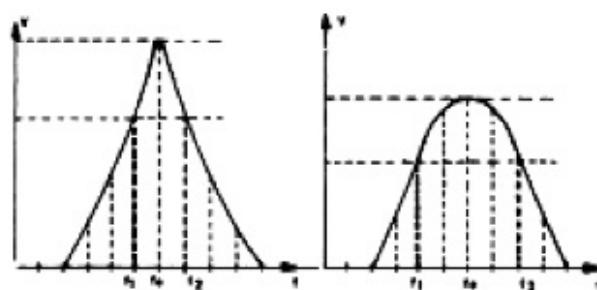
$$Z = \sqrt{\frac{R^2 + L^2 \omega^2}{R^2 C^2 \omega^2 + L\omega - \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2}} \quad \text{avec } L\omega = \frac{1}{C\omega}, \text{ donc}$$

$$Z = \sqrt{\frac{R^2 + L^2 \omega^2}{RC\omega}},$$

le dénominateur étant minimum, l'IMPEDANCE est MAXIMUM.
R étant toujours très faible devant $L\omega$, on peut écrire :

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

- Le produit du FACTEUR DE QUALITE par la BANDE PASSANTE d'un circuit résonnant (série ou parallèle) est égal à la FREQUENCE DE RESONANCE du circuit.
- On peut AMORTIR le circuit résonnant d'un amplificateur HF, en branchant en parallèle sur ce circuit, une résistance. Celle-ci réduit alors le facteur de qualité mais AUGMENTE la BANDE PASSANTE. (voir figure ci-dessous)



Sans amortissement

Avec amortissement

EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 22"

- 1 - Quelle différence y-a-t-il entre les oscillations entretenues et les oscillations amorties ?
- 2 - Comment peut-on représenter les pertes des circuits résonnantes ?
- 3 - Quels sont les différents types de circuits résonnantes ?
- 4 - En quoi consiste le phénomène de la résonance ?
- 5 - Comment se comporte un circuit résonnant série pour les fréquences supérieures à celle de résonance ?
- 6 - Quelle relation y-a-t-il entre le facteur de qualité et la bande passante d'un circuit résonnant ?
- 7 - Comment calcule-t-on le facteur de qualité d'un circuit résonnant série ?
- 8 - Quelle relation y-a-t-il entre les résistances R_p et R_s par lesquelles on représente les pertes des circuits résonnantes parallèle et série ?
- 9 - Comment calcule-t-on le gain de tension d'un amplificateur HF ?



REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR LA "THEORIE 21"

- 1 - Les générateurs BF ont pour rôle de fournir une tension alternative dont la fréquence peut varier entre quelques hertz et quelques centaines de kilohertz.
- 2 - Entre un amplificateur et un oscillateur, il y a la différence suivante : l'amplificateur fonctionne avec un signal extérieur, tandis que l'oscillateur fonctionne avec un signal provenant de sa propre sortie.
- 3 - Les oscillateurs BF communément utilisés sont l'oscillateur à déphasage, l'oscillateur à pont de Wien et l'oscillateur à transformateur.
- 4 - Le circuit de réaction d'un oscillateur à déphasage est constitué par trois groupes RC, c'est-à-dire par trois groupes formés d'un condensateur et d'une résistance.
- 5 - Pour réaliser un oscillateur à pont de Wien, il faut deux tubes.
- 6 - Pour obtenir le fonctionnement d'un oscillateur à pont de Wien, on a recours soit à la réaction positive soit à la réaction négative.
- 7 - La fréquence de fonctionnement de l'oscillateur à transformateur est déterminée par le circuit résonnant constitué par le primaire du transformateur et par le condensateur relié à ses extrémités.
- 8 - On calcule la période des oscillations, d'un circuit résonnant à l'aide de la formule :

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

