



Université Ibn Tofail
Faculté des Sciences
Département de Physique
Kenitra

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

MÉMOIRE DE PROJET DE FIN D'ÉTUDE
Filière : SMP

Titre du rapport

Élaboré par :

ALAE AMARI
FATIMA EZAHRA DRIOUCHE
BOUCHRA ABRICHA

Encadré par :

Pr. Hanane El-Faylali

Soutenu le 13 Juin 2015 devant le Jury :

Prenom et Nom Président

Prenom et Nom Encadrant

Prenom et Nom Examineur

Année Universitaire : 2014/2015

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements au **membre de jury**. Veuillez accepter dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Nous tenons également à remercier infiniment **Pr. Hanane El Faylali** pour nous avoir offert les conditions nécessaires et nous avoir guidés dans l'élaboration de ce travail et contribuer largement à sa réalisation avec la patience et le dynamisme qui le caractérise et aussi son soutien tout au long de notre projet.

UNIVERSITÉ IBN TOFAIL
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

TITRE DE RAPPORT

Résumé :

Mots-clés :

Abstract :

Keywords :

Introduction :

De nos jours, le circuit RLC est l'un des systèmes électriques les plus répandus dans la vie quotidienne. Il est utilisé très largement dans les récepteurs de radio et de télévision. Dans la plupart de nos appareils électroménagers et même dans les dispositifs antivols des magasins et des banques, ce projet de physique contient deux études de circuit RLC, l'une théorique dont elle occupe une place prépondérante, tel que le comportement de ce circuit est généralement décrit par une équation différentielle que nous allons résoudre par la suite, néanmoins, le circuit RLC fait des réponses selon la tension en entrée qui lui est appliquée et il a des modes de fonctionnement radicalement distincts. Par exemple, le circuit RLC peut être assimilé à un oscillateur électrique, lors de l'étude du circuit soumis à un échelon de tension, par contre, on s'intéresse dans cette étude par leur réponse à une excitation sinusoïdale en entrée, on étudiera plus particulièrement la réponse du circuit en régime permanent, on va mettre en évidence un phénomène de résonance et étudiera leurs propriétés par utilisation de la notation complexe qu'elle permet de ramener la résolution d'une équation différentielle à second membre variable compliquée à la résolution d'une équation algébrique complexe simple. En outre, le circuit RLC est bon filtre de fréquence alors on définit leurs différents types et en exposant des exemples d'application de filtre second ordre. Par ailleurs, on va étudier le transformateur avec leurs caractéristiques et propriétés physiques.

Enfin, ce travail est aussi l'occasion d'introduire un nouveau logiciel pour la première fois Matlab. Il fait des calculs numériques et permet de visualisation graphique, donc on va l'utiliser afin de réécrire tous les applications et des courbes se forme des programmes bien déterminés dans Matlab, en suite, on fait une séance de travaux pratiques afin de réaliser le montage RLC et étudier la résonance par utilisation d'oscilloscope dont il représente les signaux de sortie (courant I) et l'entrée (tension excitée au circuit). On refait même travail dans un logiciel de simulation des circuits électroniques s'appelle 'Electronics workbench' (EWB) qui permet de tester et d'analyser des circuits sans utiliser des dispositifs réels, et aussi en passant à la partie pratique de transformateur.

Table des matières

I	Rappelle mathématique Et Notions Electrocinétique	8
1	1-Rappelle mathématique Et Notions Electrocinétique	9
1.1	Grandeur et régime sinusoïdal	9
1.1.1	Expression temporelle	9
1.1.2	Valeur moyenne :	10
1.1.3	Valeur efficace :	10
1.2	Représentation de Fresnel :	10
1.3	Notation complexe des grandeurs électriques	11
1.3.1	Rappels mathématiques	11
1.4	Electrocinétique	11
1.4.1	Définition :	11
1.4.2	Approximation des régimes quasi stationnaires :	12
1.5	Courant et Tension Electrique :	12
1.5.1	Le Courant Electrique :	12
1.5.2	La Tension Electrique :	12
1.6	Circuit Electrique :	12
1.6.1	Définition :	12
1.6.2	Nœud, Branche et Maille :	13
1.7	Convention de fléchage :	13
1.7.1	Convention récepteur (a) :	13
1.7.2	Convention générateur (b) :	13
1.8	Lois de Kirchhoff	14
1.8.1	Loi des nœuds :	14
1.8.2	Loi des Mailles :	14
1.9	Impédance :	14
1.9.1	Impédance complexe Z :	14
1.9.2	Admittance Complexe Y :	14
1.9.3	Les Lois d'association :	14
1.10	Composantes électronique : R – C – L	15
1.10.1	Résistance R :	15
1.10.2	Condensateur C	16
1.10.3	Bobine L :	19
1.11	Les Regimes	21
II	Circuit RLC Série excité en tension à régime permanent	23
2	Circuit RLC Série excité en tension à régime permanent	24
2.1	Résolution d'équation différentielle de circuit RLC :	24
2.2	impédance de circuit :	25
2.3	représentation Fresnel de circuit :	25

2.4	Etude la résonance :	26
2.4.1	phénomène de résonance :	26
2.4.2	Résonance d'un circuit RLC :	27
2.4.3	Propriétés de circuit à la résonance :	27
2.4.4	La représentation de Fresnel au cas de résonance : $U_L = U_C$:	27
2.4.5	Facteur de surtension :	28
2.4.6	Bande passante-facteur de qualité :	28
2.5	Application pratique de circuit RLC série :	29
2.5.1	Etude du circuit RLC série par réalisation du montage excité par GBF :	29
2.6	Etude du circuit Rlc série par Matlab :	33
2.6.1	Présentation de logiciel :	33
2.6.2	Initiation :	33
2.6.3	Manipulation :	35
2.7	Etude du circuit RLC série par logiciel Electronics Workbench :	36
2.7.1	Présentation de logiciel :	36
2.7.2	Interface et outils de base d' EWB :	37
2.7.3	Manipulation :	37

III Les Filtrés de Second Ordre : **40**

3	Les Filtrés de Second Ordre :	41
3.1	Introduction :	41
3.2	Un Circuit du second ordre :	41
3.3	Fonction de transfert :	41
3.4	Filtrage :	42
3.4.1	Notion de filtrage :	42
3.4.2	Classification des filtres :	42
3.5	Diagramme de Bode :	43
3.6	Circuit RLC réponse harmonique du système du deuxième ordre :	43
3.6.1	Circuit RLC :	43
3.6.2	Filtre passe-bas :	44
3.6.3	Filtre passe-haut :	45
3.6.4	Filtre passe-bande :	46
3.6.5	Filtre Coupe Bande :	47
3.7	Tracage de diagramme de Bode (G) à l'aide de Matlab :	48
3.7.1	Filtre passe-bas :	49
3.7.2	Filtre passe-haut :	49
3.7.3	Filtre passe-bande :	50
3.7.4	Filtre coupe bande :	50
3.8	Tracage de diagramme de Bode a l'aide de Programme Electronics Workbench :	50
3.8.1	Filtre passe-bas :	51
3.8.2	Filtre passe-haut :	52
3.8.3	Filtre passe-bande :	53
3.8.4	Filtre coupe-Bande :	54
3.9	Application Sur les Filtrés :	55
3.9.1	Filtre passe-bas – la démodulation d'un signal :	55
3.9.2	Filtre passe-bande – la modulation d'un signal :	58
3.10	Application Sur Les Filtrés :	60
3.10.1	I-la modulation et démodulation d'un signal à l'aide d'un filtre passe bas et filtre passe haut :	60
3.10.2	II-Principes de l'émission-réception radio AM :	66

IV LES TRANSFORMATEURS	69
4 LES TRANSFORMATEURS	70
4.1 Le transformateur :	70
4.1.1 Présentation :	70
4.1.2 Constitution :	70
4.1.3 Symbole et convention :	71
4.2 Transformateur parfait en sinusoïdal :	71
4.2.1 Définition :	71
4.2.2 relation entre les tensions :	71
4.2.3 formule de Boucherot :	71
4.2.4 les intensités :	72
4.2.5 les puissances :	72
4.3 Transformateur réel :	72
4.3.1 Types de perte pour un transformateur :	72
4.3.2 Éssai a vide :	73
4.3.3 Essai en charge :	73
4.3.4 Rendement d'un transformateur :	74
4.4 Application pratique du transformateur à vide puis en charge :	74
4.4.1 But :	74
4.4.2 Etude expérimentale :	74
4.4.3 Rendement du transformateur :	76

Première partie

Rappelle mathématique Et Notions
Electrocinétique

Chapitre 1

1-Rappelle mathématique Et Notions Electrocinétique

1.1 Grandeur et régime sinusoïdal

Dans beaucoup des domaines physiques, la représentation dans le temps d'une grandeur donne une courbe sinusoïdale. Des grandeurs sinusoïdales sont rencontrées, par exemple, dans les domaines suivants : Electrotechnique, Mécanique, Acoustique, Electronique. Alors L'étude du régime sinusoïdal est donc incontournable dans beaucoup de domaines et en particulier en électronique et l'importance des signaux sinusoïdaux est encore accrue par le fait que toute grandeur périodique peut se décomposer en somme de termes sinusoïdaux à l'aide de la décomposition en séries de Fourier.

1.1.1 Expression temporelle

Une grandeur sinusoïdale $s(t)$ est représenté par l'expression :

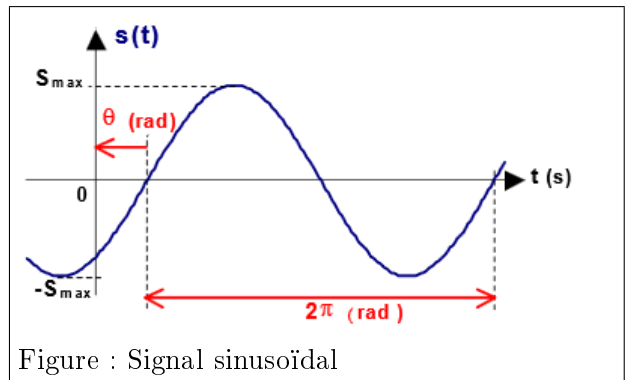
$$s(t) = S_{max} \sin(\omega t + \theta)$$

S_{max} : amplitude de la grandeur sinusoïdal.

ω : pulsation de la grandeur en rad/s.

$\omega t + \theta$: phase instantanée en radians.

θ : phase à l'origine en radian.



- Amplitude : L'amplitude S_{max} est la valeur maximale du signal qui va donc varier de $+S_{max}$ à $-S_{max}$.
- Pulsation : La pulsation représente l'angle ω parcouru par la sinusoïde durant une seconde. Avec :

$$\omega = 2\pi f \text{ ou bien } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

- f : La fréquence représente le nombre de périodes effectuées durant une seconde.
- Phase à l'origine : La phase à l'origine (du temps) représente le décalage angulaire qu'il faut effectuer pour que la sinusoïde soit du type " $\sin(\omega t)$ ".

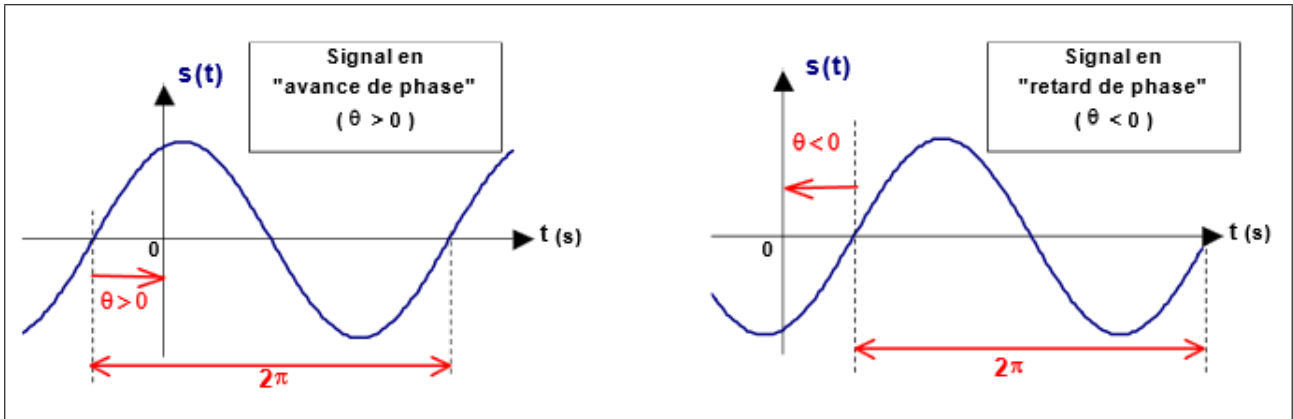


Figure : L'angle de Déphasage d'un signale sinusoïdale

1.1.2 Valeur moyenne :

Dans la majorité des cas, les grandeurs sinusoïdales seront alternatives, c'est-à-dire à valeur moyenne nulle. L'expression $s(t) = S_{max} \sin(\omega t + \theta)$ utilisée pour un signal sinusoïdal implique que la valeur moyenne notée $\langle \text{signal} \rangle$ soit nulle.

1.1.3 Valeur efficace :

La valeur efficace est la « racine carrée de la valeur moyenne du carré ». La valeur efficace est s'exprimer :

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s^2(t) dt} = \sqrt{\frac{s_{max}^2}{2}} = \frac{s_{max}}{\sqrt{2}}$$

1.2 Représentation de Fresnel :

La construction de Fresnel permet de représenter une grandeur sinusoïdale par un vecteur tournant. A chaque instant la grandeur sera égale à la projection du vecteur qui la représente sur l'axe de référence.

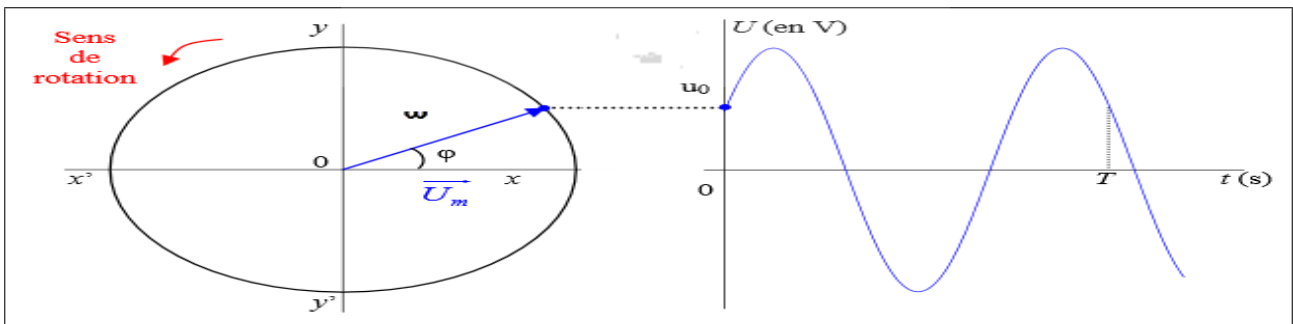


Figure : Représentation de Fresnel d'une grandeur sinusoïdale

Une tension $u(t) = U_m \cos(\omega t + \theta)$ sera représentée par un vecteur :

- de longueur proportionnelle à U_m .
- tournant à la vitesse angulaire ω .
- faisant à l'instant $t = 0$ un angle θ avec l'axe choisi comme origine des phases.

Exemple :

On représente les vecteurs à l'instant $t = 0$:

$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i)$: Vecteur I de module I_m et déphasé de φ_i .

$v(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi_v)$: Vecteur V de module V_m et déphasé de φ_v .

L'écart angulaire $\varphi = \varphi_v - \varphi_i$ traduit le déphasage de i par rapport à v .

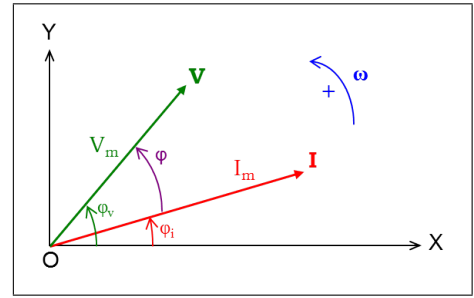


Figure : Intensité et tension en représentation de Fresnel

Pourquoi on utilisant la représentation de Fresnel : C'est juste pour faciliter les calculs par exemple la somme des tensions sinusoïdales remplacée par somme de vecteurs.

1.3 Notation complexe des grandeurs électriques

1.3.1 Rappels mathématiques

Un nombre complexe écrit dans sa forme cartésienne a pour expression :

$$z = a + jb$$

- Avec a la partie réelle et b la partie imaginaire, et j le nombre complexe vérifiant $j^2 = -1$.
- Le module de z noté $|z|$ a pour expression : $|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$.
- Son argument θ est défini par : $\cos(\theta) = \frac{a}{|z|}$ ou bien $\sin(\theta) = \frac{b}{|z|}$.

Par analogie, si l'on repère le point M dans le plan complexe $[\Re, \Im]$ il est possible d'associer à la grandeur sinusoïdale $u(t)$ un nombre complexe noté U tel que : $U = [U; \varphi]$.

Exemple : On peut représenter les grandeurs $i(t)$ et $v(t)$ dans le plan complexe :

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_i) = \text{Re}(I_m e^{j(\omega t + \varphi_i)})$$

$$I = I_m \cos(\varphi_i) + j I_m \sin(\varphi_i)$$

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \varphi_v) = \text{Re}(V_m e^{j(\omega t + \varphi_v)})$$

$$V = V_m \cos(\varphi_v) + j V_m \sin(\varphi_v)$$

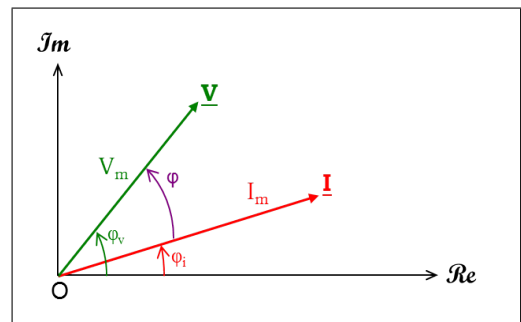


Figure : Intensité et tension sur le plan complexe

1.4 Electrocinétique

1.4.1 Définition :

L'électrocinétique est l'étude de circuits électriques C'est l'électricité en déplacement dans les milieux matériels, par opposition à l'électrostatique qui étudie l'électricité immobile.

L'électrocinétique est une partie de l'électricité qui étudie les circuits électriques dans le cadre de l'approximation des régimes quasi stationnaires.

1.4.2 Approximation des régimes quasi stationnaires :

L'approximation des régimes quasi stationnaires consiste à considérer l'électricité comme un fluide parfait et incompressible. La conséquence en est que l'intensité du courant qui entre à l'extrémité d'un conducteur est exactement identique à celle qui sort à l'autre extrémité.

1.5 Courant et Tension Electrique :

1.5.1 Le Courant Electrique :

Un courant électrique est une circulation de porteurs de charges électriques. L'intensité du courant électrique représente la quantité d'électrons qui ont traversé le circuit (générateur, conducteur et charge), ce dernier se mesure en Ampère (A), symbolisé par la lettre I .

Le mouvement intense des charges engendre un courant électrique donné par :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

Si la variation du temps ne change pas le courant on aura : $I = Q/t$ Pour mesurer cette intensité, on utilise un ampère qui se monte en série sur le circuit.

1.5.2 La Tension Electrique :

La Tension électrique ou bien différence de potentielle c'est une variable d'effort. Pour obtenir une circulation de courant dans un circuit, il faut qu'au moins deux points de ce circuit soient à un instant donné à des potentiels différents , L'unité de la (ddp) est le VOLT (V), symbolisé par la lettre U .

Par convention on représente la tension (d.d.p.) par :

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

Pour mesurer cette ddp, on utilise un voltmètre qui se monte en parallèle sur le circuit.

1.6 Circuit Electrique :

1.6.1 Définition :

C'est un circuit électrique qui comporte au moins un générateur, un récepteur, un interrupteur et des fils électriques de liaison comme ce circuit-là :

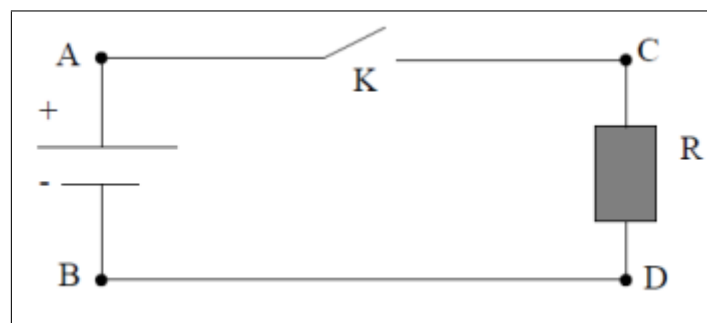


Figure : Exemple d'un Simple circuit électrique

Le générateur, le récepteur et l'interrupteur ont chacun bornes (AB,CD et AC) sont des dipôle chaque type de dipôle possède son propre symbole de représentation.

1.6.2 Nœud, Branche et Maille :

Soit le circuit suivant :

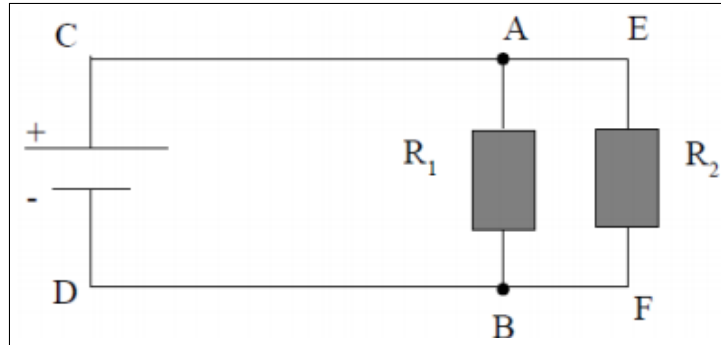


Figure : Simple circuit électrique contient des nœuds, Branches, Mailles

Nœud : Point du réseau où arrivent au moins trois éléments (relié à au moins trois dipôles) A et B par exemple.

Branche : Ensemble de dipôles connectés en série et situés entre deux nœuds consécutifs. AB , AEFB et ACDB sont les branches de ce circuit.

Maille : C'est un chemin fermé dans un circuit électrique. Dans ce même circuit, ABDCA et ABFEA et CAEFBDC sont des mailles.

1.7 Convention de fléchage :

1.7.1 Convention récepteur (a) :

Le courant et la tension sont fléchés en sens inverse. Cela permet d'obtenir deux grandeurs positives pour des dipôles s'opposant à la circulation du courant.

1.7.2 Convention générateur (b) :

Le courant et la tension sont fléchés dans le même sens. Cela permet d'obtenir deux grandeurs positives pour des dipôles favorisant la circulation du courant.

Figure : Convention récepteur

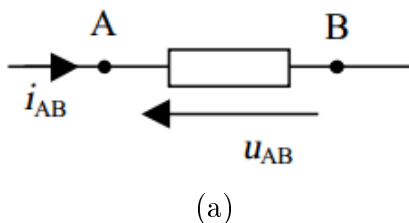
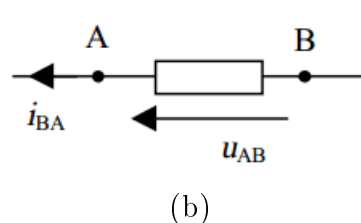


Figure : Convention générateur



1.8 Lois de Kirchhoff

1.8.1 Loi des nœuds :

En tout nœud d'un circuit, et à tout instant, la somme des courants qui arrivent est égale à la somme des courants qui sortent.

$$\sum i_{arrivent} = \sum i_{partent}$$

1.8.2 Loi des Mailles :

Dans une maille quelconque, Le long de toute maille d'un réseau électrique, à tout instant, la somme algébrique des tensions est nulle.

$$(V_A - V_B) + (V_B - V_C) + \dots + (V_n - V_A) = 0$$

Figure : Loi des nœuds

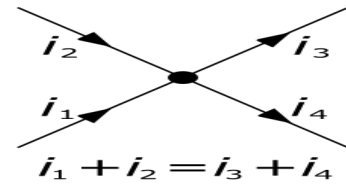
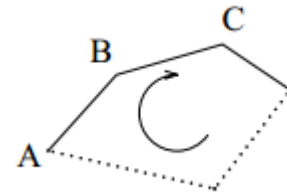


Figure : Loi des Mailles



1.9 Impédance :

L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant alternatif sinusoïdal.

l'expression générale de l'impédance constitue la somme de :

- Résistance (R) : Opposition au courant
- Réactance (X) : Opposition d'un élément au changement de courant.
alors

$$Z = R + jX$$

Exemple : Résistance idéal : $Z = R + j0$

Condensateur idéal : $Z = 0 + jX_C$

1.9.1 Impédance complexe Z :

C'est la Quotient des valeurs complexes :

$$Z = \frac{U}{I}$$

1.9.2 Admittance Complexe Y :

C'est l'inverse de l'impédance Complexe :

$$Y = \frac{I}{U}$$

1.9.3 Les Lois d'association :

Association en Série

$$Z_{eq} = \sum Z_{eq}$$

Association en Parallèle

$$Y_{eq} = \sum Y_{eq}$$

1.10 Composantes électronique : R – C – L

1.10.1 Résistance R :

• **Définition :**

une résistance est un dipôle non polarisé de forme cylindrique dont les deux bornes sont identiques.

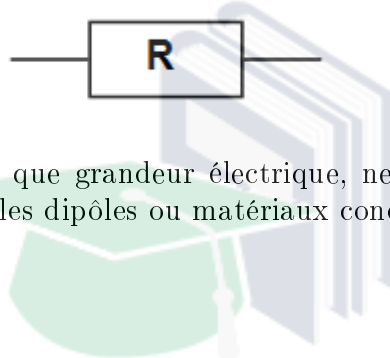
Le mot «résistance» peut désigner deux choses différentes :

- un dipôle.
- une grandeur électrique qui caractérise ce dipôle.

donc la résistance électrique est une nouvelle grandeur physique, elle caractérise la façon dont un dipôle électrique résiste au passage du courant.

• **Symbole et Unité :**

La résistance électrique est notée : R et l'unité utilisée pour mesurer résistance électrique est ohm (Ω).



Remarque : La résistance, en tant que grandeur électrique, ne caractérise pas seulement les dipôles résistances mais aussi tous les dipôles ou matériaux conducteurs.

• **La loi d'Ohm :**

Soit le circuit suivant :

Si On mesure les tensions et l'intensité aux bornes de la résistance et de la lampe, dans ce circuit électrique :

On remarque que :

I et U est proportionnelle aux bornes de la résistance.

I et U n'est pas proportionnelle aux borne de la lampe.

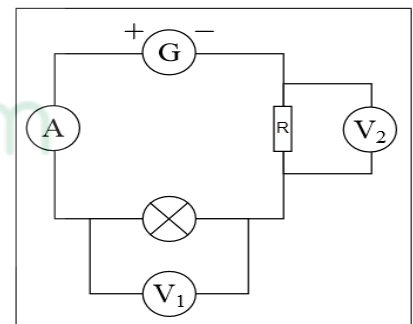


Figure :Circuit Électrique Contient : Resistance, Lampe, Voltmètre, Ampèremètre

»Donc Aux bornes d'une résistance, on constate que :

$$\frac{U}{I} = Cte$$

Georg Ohm a vérifié que cette constante est égale à la résistance électrique du dipôle, ce qui nous permet d'écrire :

$$U = R \times I \Leftrightarrow R = \frac{U}{I} \Leftrightarrow I = \frac{U}{R}$$

● **Puissance d'une résistance :**

Une résistance qui est traversée par un courant doit être supportée une certaine puissance. En effet, la relation : $P = U \cdot I$ entraîne un échauffement thermique du résistor. Il doit donc être capable de dissiper la chaleur.

Par exemple, un résistor alimenté sous une tension de 30V et un courant de 0,05A : il dissipe une puissance de $P = U \cdot I = 30 \times 0.05 = 1.5$ Watt .

● **Impédance d'une Résistance :**

L'impédance d'une résistance est égale à la résistance R du conducteur ohmique on peut le démontrer Donc pour une Résistance on trouve :

$$v(t) = R.i(t) \Rightarrow V = R.I \Rightarrow Z = R$$

- **Domaine du temps :** $v(t) = R \cdot i(t)$
- **Domaine du phaseur :** $\underline{V} = R \underline{I}$
- **Domaine de Fresnel :** les vecteurs **I** et **V** sont **en phase**.

● **Comportement d'une résistance dans les BF et Les HF :**

Pour une résistance on trouve que L'impédance d'une résistance est indépendante de la fréquence du courant alternatif qui le traverse, alors le comportement d'une résistance dans les BF et les Hf est les mêmes.

Comportement BF $f \longrightarrow 0$	Comportement HF $f \longrightarrow \infty$
$Z_R = R$	$Z_R = R$

Figure : Comportement fréquentielle d'une résistance

1.10.2 Condensateur C

● **Définition :**

Le condensateur est un composant électronique, c'est un dipôle qui emmagasine une charge électrique q opposées sur ses armatures cette charge est proportionnelle à la tension qui lui traverse.

● **Symbole du condensateur :**



● **Constitution :**

Un condensateur simple est constitué de deux armatures métalliques séparées par un isolant d'épaisseur constante. L'isolant qui sépare les deux armatures est appelé le 'diélectrique'. L'épaisseur du diélectrique est toujours très petite.

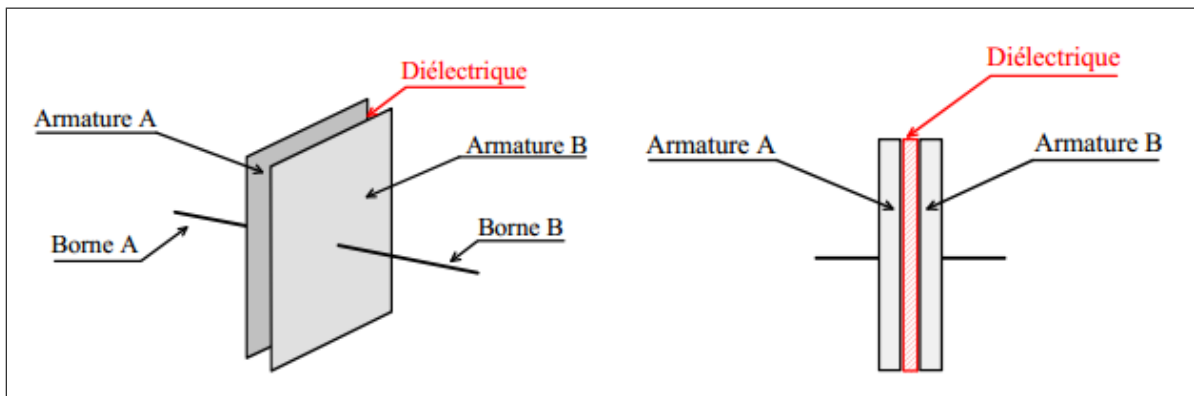


Figure : Les différents constitution d'un condensateur

Le diélectrique peut être :

- gazeux (air, etc...)
- liquide (huile, électrolyte, etc...)
- solide (papier, mica, etc...)

● **Capacité d'un condensateur :**

Lorsque le condensateur se charge, il emmagasine une quantité d'électricité notée Q exprimée en Coulomb (C).

La tension U_c mesurée entre ses deux armatures est proportionnelle à la quantité d'électricité emmagasinée. Ce coefficient de proportionnalité noté C est appelé « capacité du condensateur » et est exprimé en Farad (F). On a :

$$Q = C.U_c$$

Q : quantité d'électricité emmagasinée par le condensateur exprimée en Coulomb.

C : la capacité du condensateur exprimée en Farad .

U_c : la tension aux bornes du condensateur exprimée en Volt .

● **Énergie emmagasinée dans un condensateur :**

Un condensateur chargé a emmagasiné de l'énergie électrique. Cette énergie, exprimée en Joules, est fonction de la tension appliquée aux bornes du condensateur et de sa capacité. Elle vaut :

$$W = \frac{1}{2}CU_c$$

W : Énergie électrique emmagasinée par le condensateur exprimée en Joules.

C : Capacité du condensateur exprimée en Farad.

U_c : Tension aux bornes du condensateur exprimée en Volt.

• **Comportement d'un condensateur dans les BF et Les HF**

Pour un condensateur Lorsque la fréquence tend vers zéro, l'amplitude du courant est pratiquement nul et la capacité se comporte comme un circuit ouvert. A l'inverse, lorsque la fréquence est élevée, c'est l'amplitude de la tension qui tend vers zéro et la capacité se comporte comme un court-circuit.

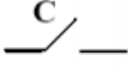
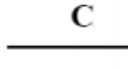
Comportement BF $f \longrightarrow 0$	Comportement HF $f \longrightarrow \infty$
$Z_C \longrightarrow \infty$	$Z_C \longrightarrow 0$
	

Figure : Comportement fréquentielle d'un Condensateur

• **Réactance – impédance d'un condensateur :**

Le comportement du condensateur en fonction de la fréquence amène une grande variation du rapport tension-courant c'est pour cela on trouve une nouvelle propriété qui s'appelle la réactance on peut le définir comme Opposition d'un élément au Changement de courant :

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

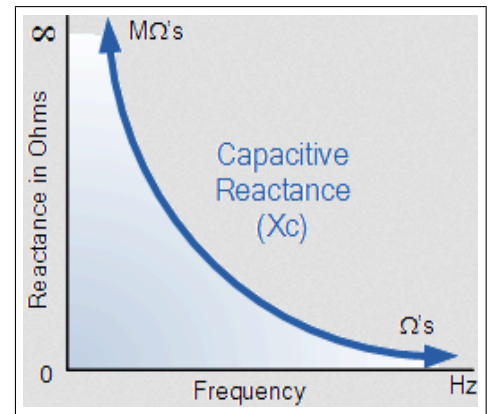


Figure : Variation de réactance X_c en fonction de fréquence

Cette propriété va permettre de réaliser des circuits électroniques qui sauront trier des fréquences ou empêcher une plage de fréquence de passer, comme dans le cas des filtres passe-haut par exemple, pour un Condensateur on trouve :

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt \Rightarrow V = -\left(\frac{j}{C\omega}\right)I \Rightarrow Z_c = -\frac{j}{C\omega}$$

- **Domaine du temps :** $v(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt$
- **Domaine du phaseur :** $\underline{V} = -(j/C\omega) \underline{I}$
- **Domaine de Fresnel :**

1.10.3 Bobine L :

● **Définition :**

Une **bobine** est une composante électronique constituée d'un fil conducteur isolé bobiné sur un support isolant, Les physiciens l'appellent souvent par « inductance », ce terme là décrit la propriété essentiel de la bobine. Les « inductances » sont généralement des bobines.

● **Caractéristiques d'une bobine :**

Du point de vue électrique, une bobine est caractérisée :

» par une grandeur appelée inductance, notée L, exprimée en henry (H), l'inductance dépend des caractéristiques physiques de la bobine (nombre de spires par unité de Longueur, présence ou non d'un noyau...).

» par sa résistance r exprimée en ohm (Ω) qui représente son défaut.

Sa représentation symbolique est :



● **La tension aux bornes d'une bobine est :**

Lorsque la bobine est à une tension on obtient :

$$U_{AB} = r.i + L \frac{di}{dt} \quad (\text{convention rcepteur})$$

» Le terme $r.i$ correspond à la tension que l'on aurait aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance r .

» Le terme $L \frac{di}{dt}$ est lié aux variations de l'intensité du courant dans la bobine :

- En particulier, si $i > 0$ et tend à augmenter (lors de la fermeture du circuit) alors $L \frac{di}{dt} > 0$ donc La bobine se comporte bien en récepteur qui s'oppose au passage du courant, elle modère l'augmentation de i .

- Inversement, si $i > 0$ et tend à diminuer (lors de l'ouverture du circuit), alors $L \frac{di}{dt} < 0$. La bobine se comporte en générateur qui tend à maintenir un courant dans le circuit. Remarque : en régime permanent et en courant continu ($i = Cte$), on a $U_{AB} = r.i$, la bobine se comporte alors comme un simple conducteur ohmique.

Remarque : en régime permanent et en courant continu ($i = Cte$), on a $U_{AB} = r.i$, la bobine se comporte alors comme un simple conducteur ohmique.

• **Énergie dans une bobine :**

La puissance électrique reçue par un dipôle (AB) est égale à $P_e = U_{AB}.i$

Pour une bobine : $P_e = r.i^2 + L \frac{di}{dt} / dt$

» Cette puissance se décompose en deux termes :

- la puissance dissipée par effet Joule : $P_j = r.i^2$

- la puissance (magnétique) emmagasinée par la bobine : $P_m = L \frac{di}{dt}$

Cette expression peut s'écrire sous forme : $P_m = \frac{d}{dt}(\frac{1}{2}.L.i^2)$ avec $E_m = (\frac{1}{2}.L.i^2)$ Donc on déduit l'énergie emmagasinée par une bobine :

$$E_m = \frac{1}{2} Li^2, \text{ avec } \begin{cases} E_m : \text{énergie en joules (J)} \\ L : \text{inductance en Henry (H).} \\ i : \text{intensité en ampères (A)} \end{cases}$$

• **Comportement d'une bobine pour les BF et HF :**

Lorsque la fréquence tend vers zéro, l'amplitude du courant est très grande et la bobine se comporte comme un court-circuit. A l'inverse, lorsque la fréquence est élevée, l'amplitude du courant tend vers zéro et la bobine se comporte comme un circuit ouvert.


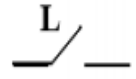
Comportement BF	Comportement HF
$f \longrightarrow 0$	$f \longrightarrow \infty$
$Z_L \longrightarrow 0$	$Z_L \longrightarrow \infty$
	

Figure : Comportement fréquentielle d'une bobine

• **Réactance – impédance d'une bobine :**

Le comportement d'une bobine en fonction de la fréquence amène aussi une grande variation du rapport tension-courant. Alors nous parlons ici de réactance inductive exprimée en ohm [Ω] avec :

$$v(t) = L \frac{di}{dt} \rightarrow V = jL.\omega \rightarrow Z_L = X_L = jL.\omega$$

Cette propriété va permettre de réaliser des circuits électroniques qui sauront trier des fréquences ou empêcher une plage de fréquence, comme dans le cas des filtres passe-haut.

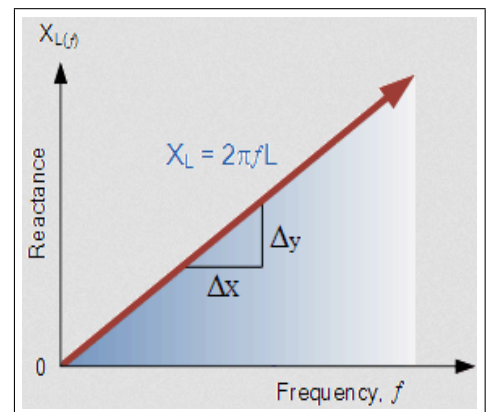
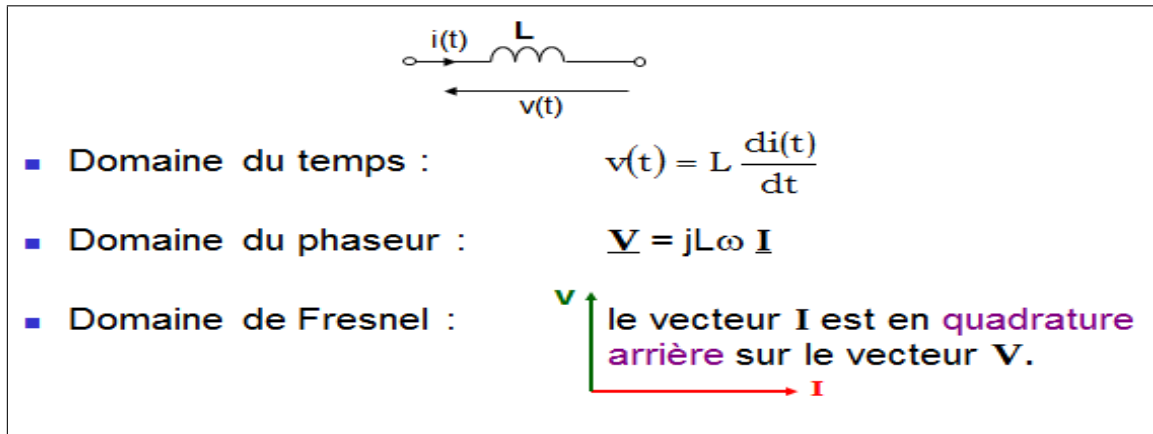


Figure : Variation de réactance X_L en fonction de fréquence



1.11 Les Regimes

● **Entre le régime variable et continu :**

» On parle de régime continu lorsque les grandeurs électriques, notamment l'intensité et la tension ne dépendent pas du temps.

» On parle de régime variable si ces grandeurs varient dans le temps, ce qui peut avoir plusieurs causes : cas du régime transitoire de la charge ou décharge d'un condensateur, cas d'un régime forcé imposé par un GBF.

● **Entre le régime libre et régime forcé :**

» Le régime libre est le régime observé quand toutes les sources sont éteintes. Des composants passifs et linéaires forment un circuit dans lequel se trouve initialement de l'énergie sous forme de tension (dans un condensateur) ou de courant (dans une bobine).

» Le régime forcé est le régime observé quand le circuit linéaire est soumis à une excitation. Par exemple lorsqu'on allume un générateur de courant et/ou de tension aux bornes du circuit.

● **Entre le régime transitoire et permanent :**

» Le régime transitoire est un régime qui précède l'établissement de régime permanent. Il apparaît par exemple à l'ouverture ou à la fermeture d'un interrupteur. Il décrit l'état intermédiaire d'un circuit électrique évoluant entre deux états permanents stables,

» l'étude de comportement en régime transitoire s'effectue en appliquant au circuit une excitation très brève de type impulsion Dirac ou échelon ...

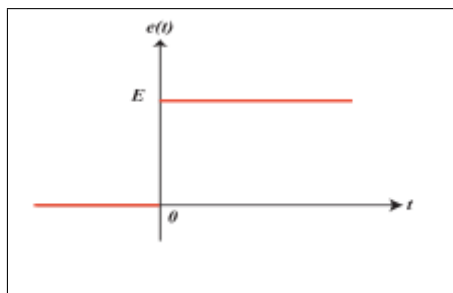


Figure : Fonction échelon

» Le régime permanent est un régime dans lequel ces grandeurs peuvent dépendre du temps, les variations étant permanentes au cours du temps ; exemple : régime permanent sinusoïdal.

Il apparait quand il s'est écoulé suffisamment de temps depuis l'enclenchement du système (fermeture d'un interrupteur par exemple).

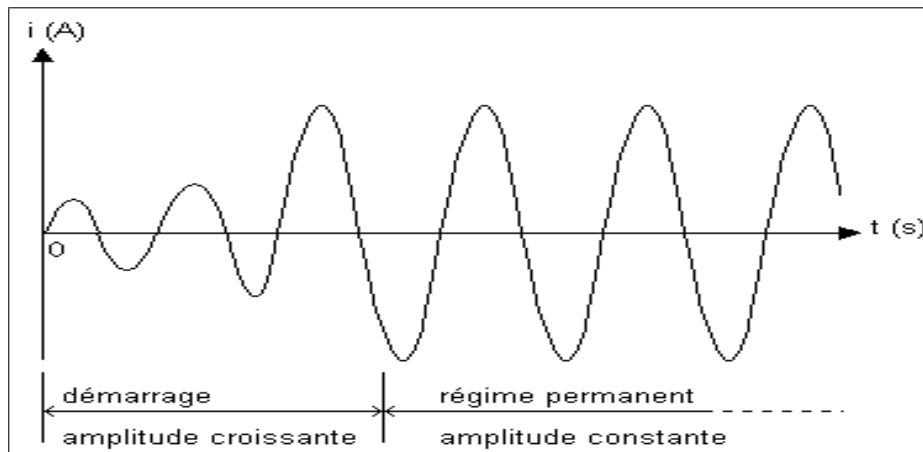


Figure : Régime permanent et régime transitoire et leurs caractéristique

On étudie dans la partie suivante la réponse d'un circuit RLC série soumis à une excitation sinusoïdale en entrée. On étudiera plus particulièrement la réponse du circuit en régime permanent. On parle aussi de régime sinusoïdal forcé.

» le circuit RLC peut être assimilé à un oscillateur électrique. Lors de l'étude du circuit soumis à un échelon de tension, on a vu que les grandeurs électriques (tensions et courant) du circuit peuvent osciller si l'amortissement est suffisamment faible.

» Dans la présente étude du régime sinusoïdal forcé, on va mettre en évidence un phénomène de résonance. On montrera, comme vous le savez intuitivement, que si l'on excite l'oscillateur avec une fréquence proche de « sa fréquence propre » alors l'amplitude des oscillations peut devenir très grande.

Deuxième partie

Circuit RLC Série excité en tension à régime permanent

Chapitre 2

Circuit RLC Série excité en tension à régime permanent

2.1 Résolution d'équation différentielle de circuit RLC :

On alimente un circuit RLC par un générateur de base fréquence $U(t) = U_0 \cos(\omega t)$ et le courant I qui sort de générateur est en régime permanent de la forme : $I(t) = I_0 \cos(\omega t - \phi)$

D'après la loi de mailles :

$$U_R + U_L + U_C = U(t)$$

Alors on trouve cette équation différentielle suivante :

$$R.i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt = U(t)$$

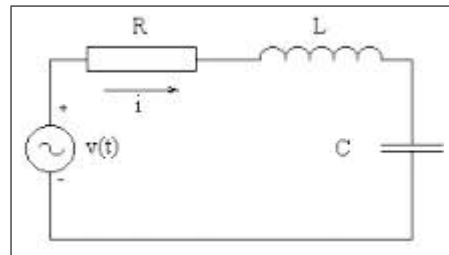


Figure : Circuit RLC Série

» La solution générale d'une telle équation différentielle est la somme d'une solution générale sans second membre : correspondant au **régime transitoire** qui s'atténue rapidement au cours de temps et d'une solution particulière avec second membre qui correspond au **régime permanent**.

C'est au régime permanent que nous nous intéressons dans cette partie.

La solution particulière de l'équation avec second membre correspondant au régime permanent est de la forme : $i(t) = I \cos(\omega t - \phi)$

Pour déterminer l'amplitude I et la phase ϕ , on reporte cette expression dans l'équation différentielle et en écrivant qu'elle est vérifiée quelque soit t , on obtient :

$$R.I \cos(\omega t - \phi) - I.L.\omega \sin(\omega t - \phi) + \frac{I}{C.\omega} \sin(\omega t - \phi) = U_0 \cos(\omega t)$$

$$\Leftrightarrow R.I[\cos(\omega t)\cos(\phi) + \sin(\omega t)\sin(\phi)] - L.I.\omega[\sin(\omega t)\cos(\phi) - \cos(\omega t)\sin(\phi)] + \frac{I}{C.\omega}(\sin(\omega t)\cos(\phi) - \cos(\omega t)\sin(\phi)) = U_0 \cos(\omega t)$$

• Après le développement et identification des termes en sinus on obtient :

$$R.I \sin(\phi) + I\left(\frac{1}{C.\omega} - L.\omega\right)\cos(\phi) = 0 \Leftrightarrow R.\sin(\phi) + \left(\frac{1}{C.\omega} - L.\omega\right)\cos(\phi) = 0$$

$$\rightarrow \tan(\phi) = \frac{[L.\omega - \frac{1}{C.\omega}]}{R}$$

- Par identification de termes en cosinus on trouve :

$$R.I \cos(\phi) + I(L.\omega - \frac{1}{C.\omega}) \sin(\phi) = U \Rightarrow I = \frac{1}{R \cos(\phi) + (L.\omega - \frac{1}{C.\omega}) \sin(\phi)} \quad (2.1)$$

Sachant que : $\cos^2(\phi) = \frac{1}{\tan^2(\phi)}$ puis $\sin^2(\phi) = 1 - \cos^2(\phi)$

Il vient :

$$\cos(\phi) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (L.\omega - \frac{1}{C.\omega})^2}} \text{ et } \sin(\phi) = \frac{(L.\omega - \frac{1}{C.\omega})}{\sqrt{R^2 + (L.\omega - \frac{1}{C.\omega})^2}}$$

En remplaçant dans l'équation (2.1) et après développement :

- l'amplitude de courant :

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L.\omega - \frac{1}{C.\omega})^2}}$$

Donc le courant correspondant au régime permanent est : $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (L.\omega - \frac{1}{C.\omega})^2}} \cos(\omega t - \phi)$

- le déphasage ϕ entre le courant et la tension excitée au circuit :

$$\tan(\phi) = \frac{[L.\omega - \frac{1}{C.\omega}]}{R} > 0$$

2.2 impédance de circuit :

D'après la loi de maille en notation complexe :

$$\sum U = 0 \text{ ou } U_L + U_r + U_c = U(t)$$

L'équation différentielle devient : $(R + jL.\omega + \frac{1}{jC.\omega})I = U \Leftrightarrow [R + j(L.\omega + \frac{1}{C.\omega})]I = U$

En notation complexe d'ohm : $U = Z . I$ avec Z l'impédance complexe du circuit :

$$Z = \frac{U}{I} = R + j(L.\omega + \frac{1}{C.\omega}) = R + j.X$$

- Module $Z = \sqrt{R^2 + (L.\omega + \frac{1}{C.\omega})^2}$
- Argument $\varphi = \arctan(\frac{L.\omega + \frac{1}{C.\omega}}{R}) = \frac{X}{R}$

Avec $X = L.\omega + \frac{1}{C.\omega}$: la réactance du circuit, elle s'exprime en ohm.

2.3 représentation Fresnel de circuit :

- 1^{ère} cas : $U_L < U_C$

$$L.\omega.I < \frac{I}{C.\omega} \Rightarrow \omega^2 < \frac{1}{L.C} = \omega_0^2 \Rightarrow f < f_0$$

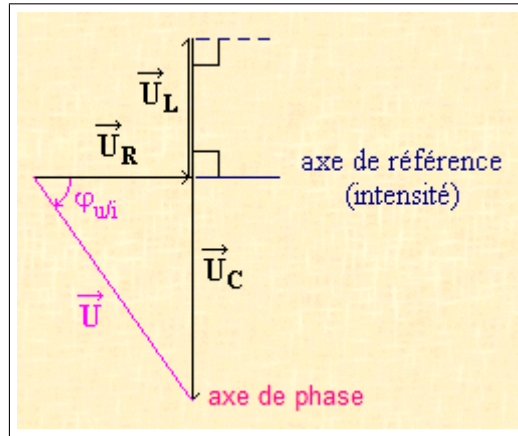


Figure : Représentation de Fresnel a base fréquence

1. Alors $Z_c = 1/j.C.\omega$ tend vers ∞ (circuit ouvert) et $Z_L = j.L.\omega$ tend vers 0 (court circuit)
2. A bas fréquence, l'effet capacitif l'emporte sur l'effet inductif : circuit capacitif
3. $\varphi_u < \varphi_i$: l'intensité i en avance sur la tension u .

- 2ème cas : $U_L > U_C$

$$L.\omega.I > \frac{I}{C.\omega} \Rightarrow \omega^2 > \frac{1}{L.C} = \omega_0 \Rightarrow f > f_0$$

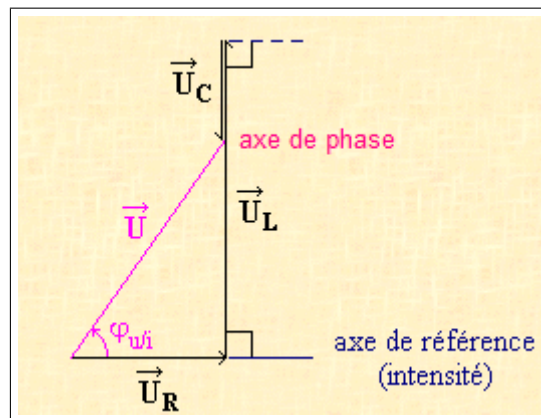


Figure : Représentation Fresnel Haut fréquence

1. Alors $Z_L = j.L.\omega$ tend vers ∞ (circuit ouvert) et $Z_c = 1/j.C.\omega$ tend vers 0 (court circuit)
2. A haut fréquence, l'effet inductif l'emporte sur l'effet capacitif : circuit inductif
3. $\varphi_u > \varphi_i$: l'intensité i en retard sur la tension u .

2.4 Etude la résonance :

2.4.1 phénomène de résonance :

le phénomène de résonance intervient dans plusieurs situations, lorsqu'une action répétée pendant un certain temps .par exemple pour des systèmes oscillant autour d'un état d'équilibre : masse fixée à un ressort dans un milieu visqueux, une balançoire ,circuit RLC série, pont suspendu, la voix humaine... etc ,tout simplement un tel système est en mouvement peut être relié à un excitateur , cet excitateur impose ses oscillations au circuit oscillant qui joue ainsi le rôle de résonateur .d'ailleurs, la résonance apparait lorsque la fréquence de l'excitateur égale à la fréquence propre de circuit oscillant, l'amplitude des oscillations devient maximale puis l'acuité

de ce maximum est défini par l'effet d'amortissement, il est assez plus aigue si l'amortissement est faible. On rencontre exactement le même phénomène en électricité : le résonateur est le circuit RLC et le rôle de l'excitateur est joué par un générateur basse fréquence et à la fréquence de résonance l'amplitude de l'intensité du courant traversant le circuit est maximale. En outre, Le phénomène de résonance électrique sert dans un grand nombre de circuits, par exemple, dans les appareils de radio et de télévision, il permet de syntoniser une station. de nombreuses fréquences atteignent le circuit récepteur. Mais un courant ne circule que pour celles qui coïncident ou presque avec sa fréquence de résonance. comme il est possible de varier soit L soit C, l'appareil peut capter des stations différentes.

2.4.2 Résonance d'un circuit RLC :

En série, on parle à la résonance d'intensité.

La valeur complexe du courant s'exprime par la relation : $I = \frac{U}{R+j(L.\omega-\frac{1}{C.\omega})}$
 Sa valeur efficace (module de I) : $I = \frac{U}{\sqrt{R^2+(L.\omega-\frac{1}{C.\omega})^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}}$

Le montage étant alimenté sous la tension efficace U constante, l'intensité efficace I varie donc avec la fréquence f . elle passe par un maximum I_0 lorsque l'impédance Z est minimale, c'est-à-dire la réactance est nulle, la circuit est alors en résonance.

Condition de résonance :

$$X = L\omega - 1/C.\omega = 0 \quad \text{ou} \quad L.C.\omega^2 = 1$$

2.4.3 Propriétés de circuit à la résonance :

1. La fréquence de l'excitation $u(t)$ égale la fréquence propre de circuit f_0 . Alors la fréquence de résonance est : $f_r = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$
2. $Z_0 = R$
3. Intensité efficace $I_0 = U/R$

Le circuit est donc résistif, le courant i et la tension u est en phase. les tensions U_L et U_C sont en opposition de phase et leurs valeur efficaces sont égales : $L.\omega.I_0 = (1/C\omega).I_0$

2.4.4 La représentation de Fresnel au cas de résonance : $U_L = U_C$

l'impédance du circuit est minimale tel que $Z = R$ les effets capacitif et inductif se compensent et s'annulent, l'effet seul est résistif : circuit résistif le déphasage entre la tension et le courant est nul.

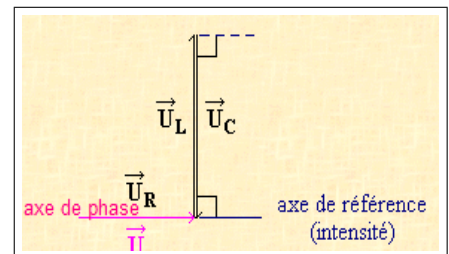


Figure : Représentation de Fresnel au cas de résonance

2.4.5 Facteur de surtension

La tension maximale du condensateur à la résonance est $U_c = \frac{I_0}{C\omega_0}$ or $I_0 = \frac{U}{R}$

$$\Rightarrow U_c = \frac{U}{RC\omega_0} \Rightarrow \boxed{U_c = QU}$$

La tension maximale aux bornes de la bobine à la résonance est: $U_b = L\omega_0 I_0 = L \frac{U}{R} \omega_0$

$$\Rightarrow U_b = \frac{U}{RC\omega_0} \Rightarrow \boxed{U_b = QU}$$

On observe un phénomène de surtension aux bornes du condensateur et de la bobine à la résonance. L'amplitude U_c de la tension aux bornes du condensateur est très supérieure à celle délivrée par le générateur.

Par conséquent, il faut avoir présent à l'esprit que :

- Lorsqu'on fait varier la fréquence d'alimentation d'un circuit RLC, la tension aux bornes du condensateur et la bobine peuvent devenir très supérieure à la tension que peuvent supporter soit le condensateur soit la bobine, lorsque f devient voisine de la fréquence de résonance.
- Avant de réalisation du montage, il doit d'abord régler la tension d'alimentation du circuit de façon que la tension au bornes de ces éléments ne passe pas leur valeur maximal, à supporter et afin d'éviter la destruction des éléments de circuit .

2.4.6 Bande passante-facteur de qualité :

Par définition On appelle bande passante du circuit le domaine $[\omega_1; \omega_2]$ à $-3db$, et la bande de fréquence sur lequel :

$$I(\omega) \geq I_0/\sqrt{2} = \frac{I.R}{\sqrt{2}}$$

$$N.B : G = 20 \log(I/I_0) = -3db \text{ lorsque } I = I_0/\sqrt{2}$$

Les pulsations limites ω_1 et ω_2 de cette bande passante sont telles que :

$$I(\omega_1) = I(\omega_2) = I_0/\sqrt{2} = \frac{I.R}{\sqrt{2}}$$

» Recherchons ω_1 et ω_2 telles que $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ (fréquences de coupure à -3db)

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}} \rightarrow I_0 = \frac{U}{R}$$

$$I = I_0/\sqrt{2} = \frac{U}{R\sqrt{2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}} \rightarrow X^2 = R^2$$

$$X^2 = R^2 \rightarrow (L.\omega - \frac{1}{C.\omega})^2 = R^2$$

$$L.C.\omega^2 - 1 = \pm R.C.\omega$$

$$\rightarrow L.C.\omega^2 \pm R.C.\omega - 1 = 0$$

2 équation de seconde ordre dans

les 2 cas on a :

$$\Delta = R^2.C^2 + 4.L.C > 0$$

1ère équation :

$$L.C.\omega^2 + R.C.\omega - 1 = 0$$

Il ya 2 racines :

$$\boxed{\omega_1 = \frac{-R.C - \sqrt{\Delta}}{2.L.C} \text{ et } \omega_2 = \frac{-R.C + \sqrt{\Delta}}{2.L.C}}$$

2ème équation :

$$L.C.\omega^2 - R.C.\omega - 1 = 0$$

Avec 2 racines :

$$\boxed{\omega_1 = \frac{R.C - \sqrt{\Delta}}{2.L.C} \text{ et } \omega_2 = \frac{R.C + \sqrt{\Delta}}{2.L.C}}$$

Seules les racines positives sont physiquement valables car la pulsation est un nombre positif
Alors les solutions :

$$\omega_2 = \frac{R.C + \sqrt{\Delta}}{2.L.C} \text{ et } \omega_1 = \frac{-R.C + \sqrt{\Delta}}{2.L.C}$$

La largeur de bande passante est : $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{R}{L}$

Bande passante relative : $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{R}{L.\omega_0} = \frac{1}{Q}$

On définit le facteur de qualité Q :

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

- a) Ce facteur est une mesure inverse des pertes dans ce circuit, or des pertes se forme puissance dissipée dans une résistance vaut : $R.I^2$
- b) On voit bien ici que plus R est faible, plus Q est élevé (Q est inversement proportionnel à R). Voici autre formule de Q d'un circuit série :

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$$

- c) C'est à dire que la bande passante est d'autant plus étroite que Q est grand. On dit alors la résonance est aigue et que le circuit est très sélectif. Le facteur de qualité est égal au facteur de surtension.

2.5 Application pratique de circuit RLC série :

2.5.1 Etude du circuit RLC série par réalisation du montage excité par GBF :

Dans une séance de TP est organisée dans la salle de travaux pratique au département de physique de notre faculté de science Ibn Tofail .on réalise un circuit RLC série alimenté par un générateur à basse fréquence (GBF).

En effet, le but de ce TP est de mettre en évidence un phénomène de résonance c'est le premier résultat obtenu par le circuit RLC série.

MANIPULATION :

Dans les manipulations qui vont suivre, les mesures seront effectuées en courant alternatif. Alors le circuit est monté comme ce dessous :

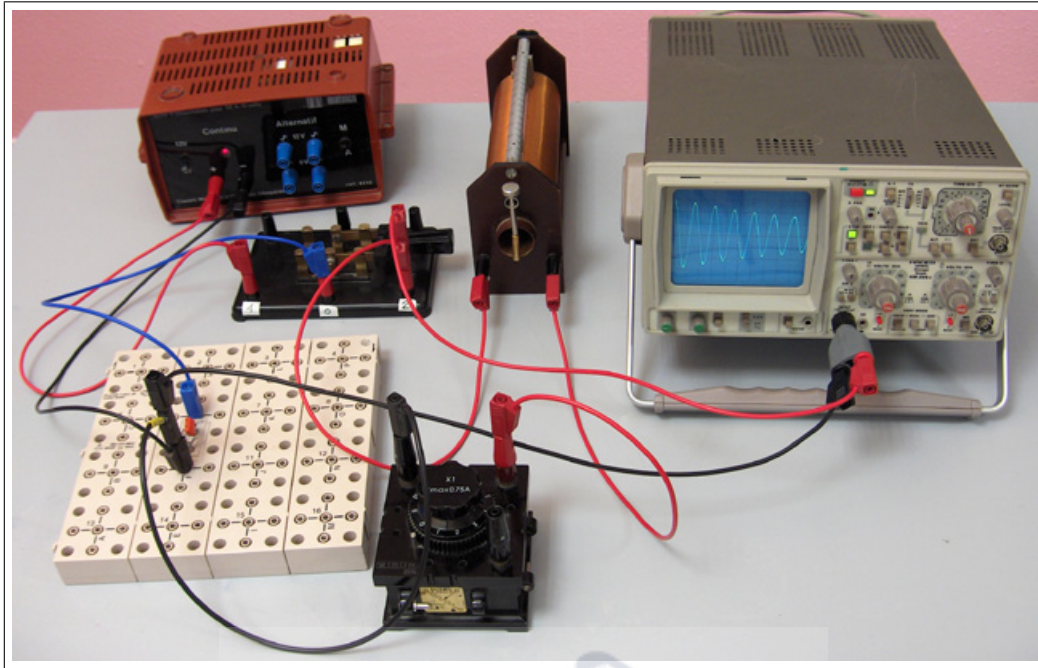


Figure : : Montage de circuit RLC série

Accessoires :

- Un générateur de basse fréquence GBF .
- Un oscilloscope double trace pour visualiser la courbe de tension excité et le courant traversé le circuit
- Un Voltmètre afin de fixer la valeur de E :
 - » Le voltmètre est l'appareil qui sert à mesurer la différence de potentiel dans un circuit électrique.
 - » Un voltmètre se branche toujours en parallèle avec l'appareil dont on souhaite mesurer la différence de potentiel.

$$VALEUR_{Mes} = \frac{Glue}{Gmax} .cal$$

Avec :

Glue : Graduation lue, Gmax : Graduation maximale, Cal : Calibre utilisé



Figure : Voltmètre analogique

» Pour éviter la destruction de cet appareil, il doit choisir un calibre supérieur à la tension du générateur.

- Ampèremètre mesure le courant qui circule dans le circuit
 - » L'ampèremètre est l'appareil qui sert à mesurer l'intensité du courant qui circule dans une portion d'un circuit électrique.
 - » Un ampèremètre se branche toujours en série avec l'appareil dont on souhaite mesurer l'intensité du courant.

$$INTENSITE_{Mes} = \frac{Glue}{Gmax} \cdot cal$$

Avec :

Glue : Graduation lue, Gmax : Graduation maximale, Cal : Calibre utilisé



Figure : Ampèremètre analogique

» **Pour ne pas briser l'appareil, il est recommandé de toujours commencer à prendre une lecture à l'aide de la plus grande échelle (l'échelle qui peut donner la plus grande valeur de courant électrique). On peut diminuer d'échelle par la suite pour prendre la lecture la plus précise de notre courant électrique.**

- Un Condensateur de $C = 0.1 \mu F$
- Une Résistance de $R = 124 \Omega$
- Une Bobine de $L = 0.1 H$

Au début , on branche le voltmètre aux bornes du GBF afin de régler et préciser la valeur de E puis lire bien les propriétés de chaque composante électronique, alors la tension d'entrée $E_0 = 2,5V$ et constante tout au long de la manipulation après, on fait varier la fréquence f du générateur par le pas de $40Hz$ et noter les valeurs de I obtenue. On précise la position maximum de I en faisant varier la fréquence par pas de $10Hz$ au voisinage du maximum .en calculant aussi impédance Z total de circuit par la relation suivante : $Z = \frac{U}{I}$

On note que : $R = 124 \Omega ; L = 0,1 H ; C = 0,1 \mu F$.

On obtient alors ce tableau-là :

$f(Khz)$	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750
$I(mA)$	8	11	14	15	14	11	8
$Z(\Omega)$	312.5	227.2	178.5	166.66	178.5	227.2	312.5

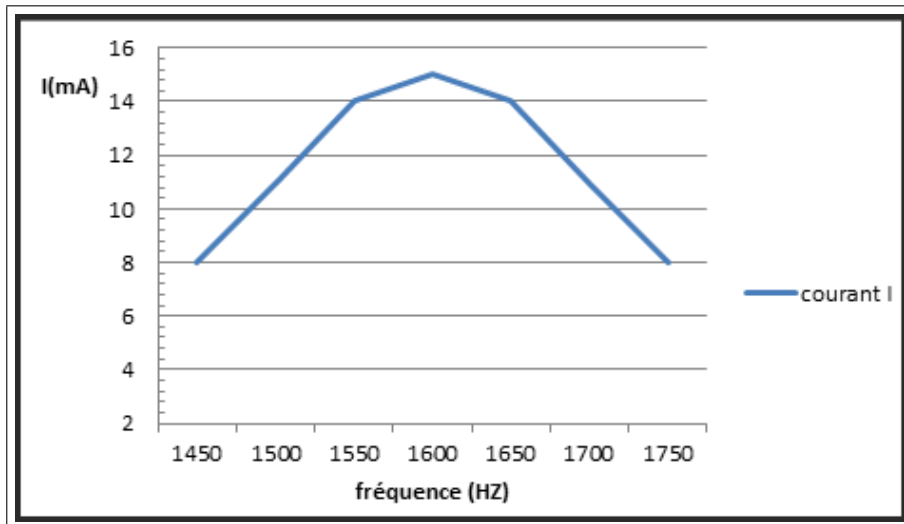


Figure : Variation de courant I (mA) en fonction de fréquence(HZ)

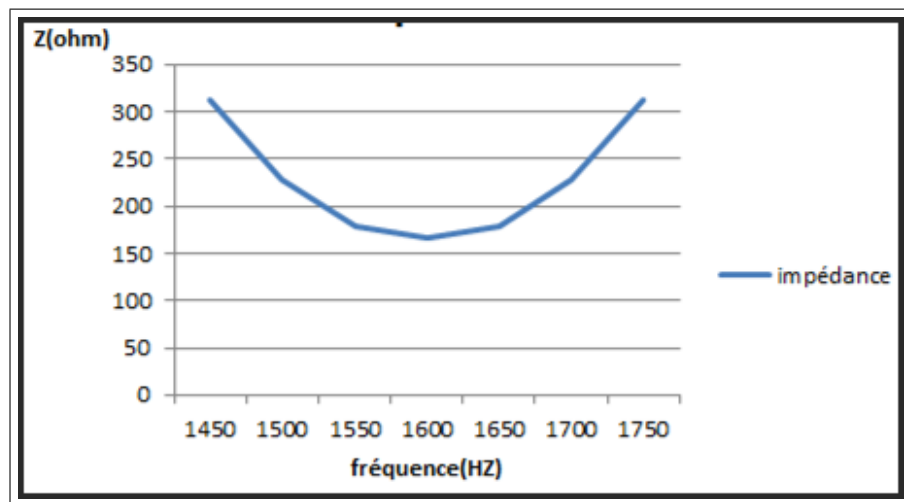


Figure : Variation impédance Z en fonction de fréquence (HZ)

» alors d'après la courbe de $I = f(f)$ on peut déterminer la fréquence de résonance c'est la valeur de f lorsque I est maximum.

Alors depuis $I = f(f)$ on obtient :

$$f_0(exp)) = 1.6KHz \text{ Alors } \omega_0(exp)) = 2\pi f_0 = 2\pi f_0(exp)) = 2\pi \cdot 1.6 \cdot 10^3 = 10048 \text{ rad/s}$$

D'autre façon theorique on trouve que la fréquence de résonance égale a :

$$f_0(theo) = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.1 \times 0.1 \times 10^{-6}}} = 1.59KHz$$

» On peut déduire que La fréquence de résonance calculée en théorique par les valeurs qui nous ont été données est presque identique à celle trouvée en étude pratique.

On déduit la valeur de L à partir de la valeur ω_0 : $\Omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L.C}}$ on trouve $L = 0.099 \text{ H}$

A partir de la graphe on détermine la bande passante et le facteur de qualité Q a partir de la largeur de la courbe $I = f(f)$:

La bande passante du circuit c'est le domaine $[\omega_1; \omega_2]$ graphiquement on a :

$$I_{max} = 15mA \text{ alors la valeur efficace : } \frac{I_{max}(\omega_0)}{\sqrt{2}} = I(\omega_1) = I(\omega_2) = 10.6mA$$

D'après la courbe de variation de courant en fonction de f on a :

$$f_1 = 1.505kHz \rightarrow \omega_1 = 9451.4rad/s$$

$$f_2 = 1.705kHz \rightarrow \omega_2 = 10707.4rad/s$$

Donc la plage de la bande passante est entre [9451.4;10707.4]

On peut calculer le facteur de qualité par cette formule :

$$Q(exp) = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = 8 \text{ Avec une incertitude } \delta Q = \pm 3.02$$

En déduire la valeur de R à partir de facteur de qualité Q tel que : $Q = \frac{L\omega_0}{R} \Rightarrow R = \frac{L\omega_0}{Q}$
 A.N : R=124,34 Ω

A l'instant de résonance on mesure U_c et $U_b \Rightarrow U_c = 10V$ et $U_b = 12V$

» On calcule alors le facteur de surtension :

$$Q'_c = \frac{U_c}{U_0} = \frac{10}{2.5} = 4 \text{ et } Q'_b = \frac{U_b}{U_0} = \frac{12}{2.5} = 4.8 \text{ Alors } Q'_c = Q'_b = Q(exp)$$

Conclusion :

» On constate qu'à l'instant de résonance, le circuit RLC atteint un autre phénomène c'est la surtension tel que la tension au borne de la bobine et le condensateur devient plus grand que la tension excité.

» A $f = f_0$ l'impédance de circuit égale à R faible, et I grand alors le facteur de qualité sera grand aussi ce qui signifie pas de perte. Le circuit se comporte comme un circuit libre (LC), on dit alors que le facteur de qualité est égal à facteur de tension.

2.6 Etude du circuit Rlc série par Matlab

Objectif : le but de ce travail est de mettre en pratique l'analyse de système analogique c'est circuit RLC série en Matlab.

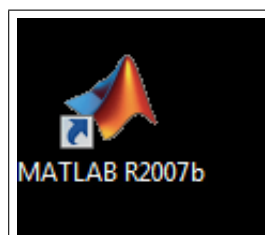
2.6.1 Présentation de logiciel :

Matlab est un logiciel de calcul et de programmation et de visualisation graphique destiné aux ingénieurs et scientifiques produit par MathWorks. Il possède un langage de programmation à la fois puissant et simple d'utilisation. MATLAB est un langage interprété : chaque ligne d'un programme MATLAB est lue, interprétée puis exécutée, Dans MATLAB, l'élément de base est la matrice.

2.6.2 Initiation :

Programmation sous MATLAB

Si on veut développer un programme, on doit suivre les étapes suivantes : - Lancer MATALAB en cliquant deux fois sur son icône sous Windows trois fenêtre sont alors affichées :



- » **Command Window** : exécuter des commandes unitaires, voir les résultats, lister Les messages d'erreur
- » **Workspace** : Lister les variables ;
- » **Command History** : visualiser l'historique des commandes ;

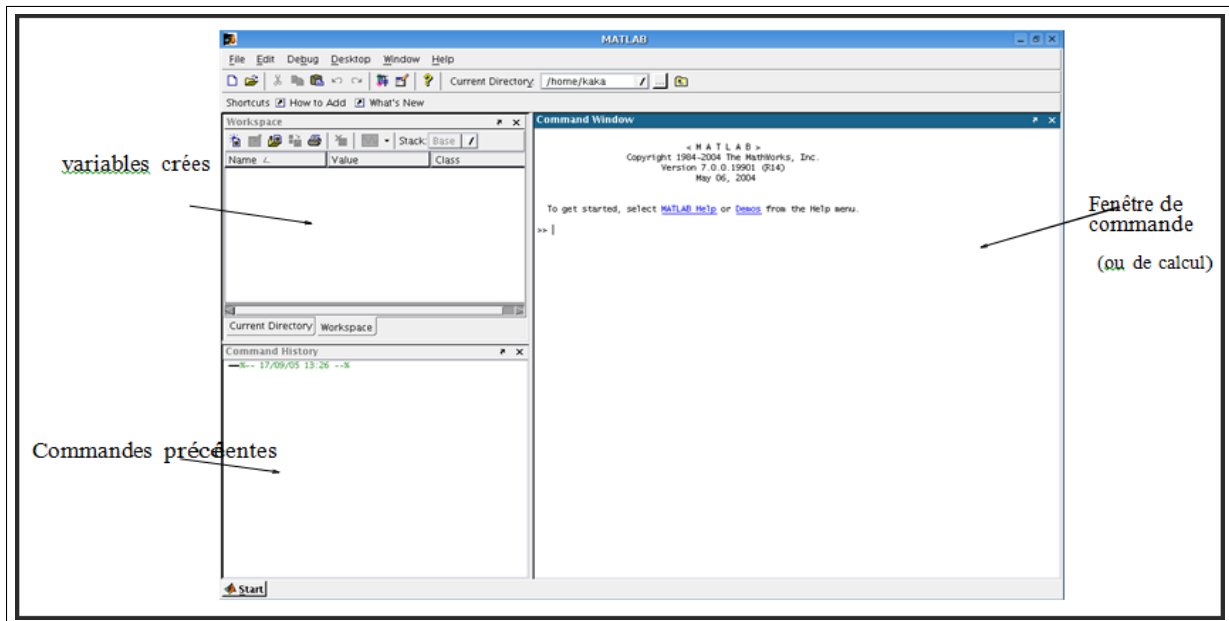


Figure : Fenêtres principales de Matlab

- » Cliquer sur « File » et choisir « New » « Mfile »

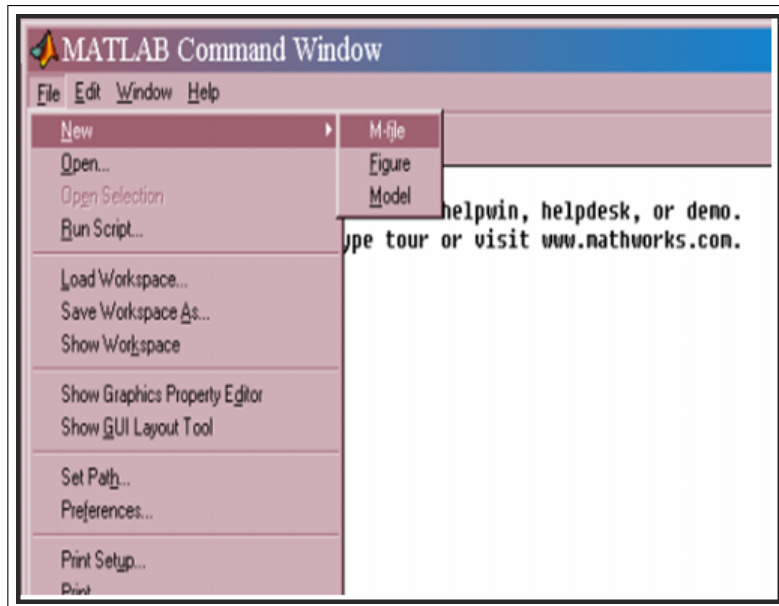


Figure :

- » Une nouvelle fenêtre est ouverte dans la quelle on peut écrire notre programme

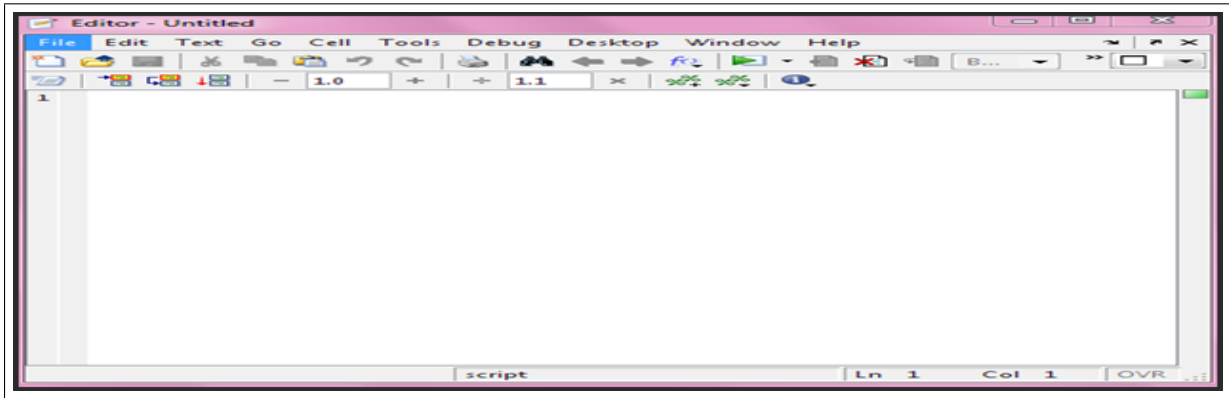


Figure : Fenêtre d'éditeur de Matlab

» Donner un nom au programme qu'on enregistrera » Pour l'exécution du programme taper son nom dans la fenêtre « MATLAB command Windows »

2.6.3 Manipulation :

ACCESSOIRES :

- 1) Micro ordinateur.
- 2) Logiciel MATLAB.

» On désire d'étudier la variation d'impédance totale de circuit :

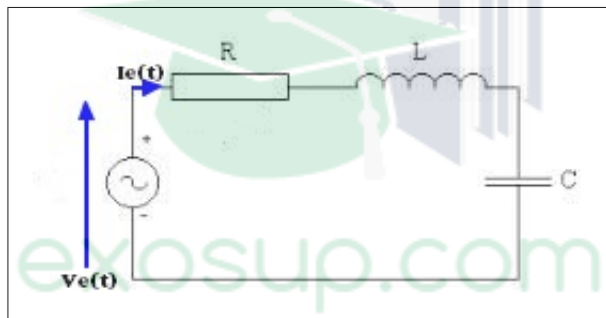


Figure : Circuit RLC en Série

Appliquons loi des mailles :

$$V_e(t) = V_R + V_L + V_C = R \cdot I_e(t) + L \frac{dI_e(t)}{dt} + \frac{1}{C} \int I_e(t) dt$$

En utilisant la notation complexe pour simplifier le calcul

$$V_e = I_e \left[R + J.L.\omega + \frac{1}{J.C.\omega} \right]$$

$$Z_e = \frac{V_e}{I_e} = \left[R + J.L.\omega + \frac{1}{J.C.\omega} \right] = \frac{R.C.J.\omega + L.C.(J\omega)^2 + 1}{J.C.\omega} = \frac{R.C.S + L.C(S)^2 + 1}{C.S}$$

Avec $S = J\omega$

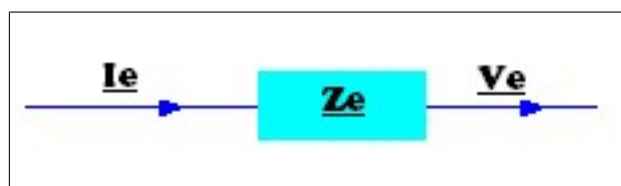


Figure : L'impédance d'entrer Z_e du circuit RLC série

D'après la loi des mailles on obtient une fonction de transfert qui permet nous d'écrire la comportement de Z_e au cours de la variation de fréquence et a l'aide de Matlab on va représenter le diagramme de bode de cette fonction de transfert Z_e :

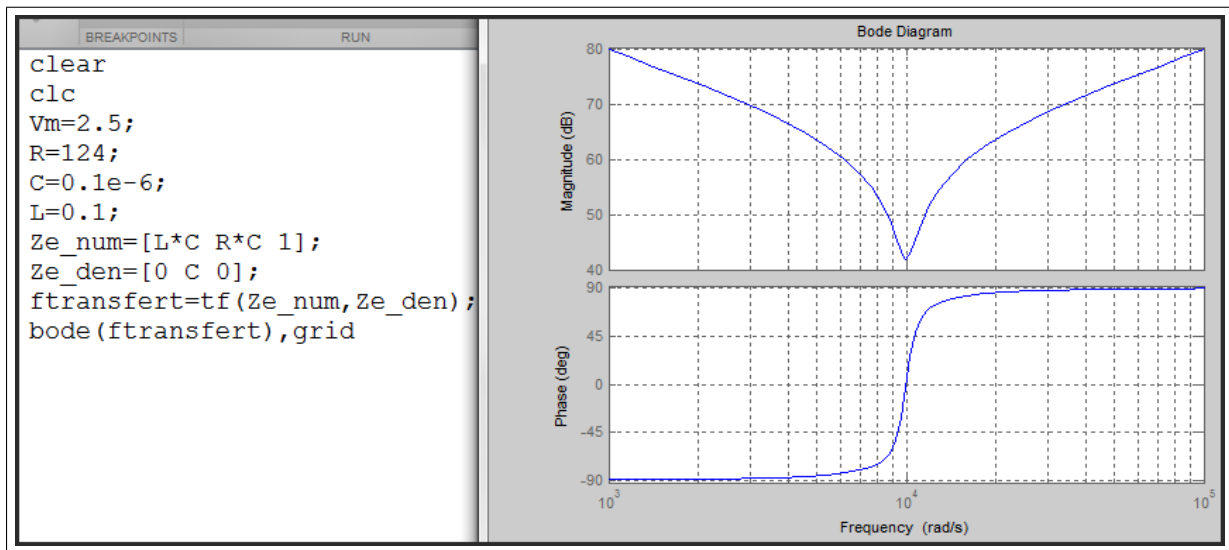


Figure : Exécution de programme de variation d'impédance en fonction de fréquence

Maintenant on va varier la résistance de circuit RLC pour regarder les changements sur le diagramme de bode :

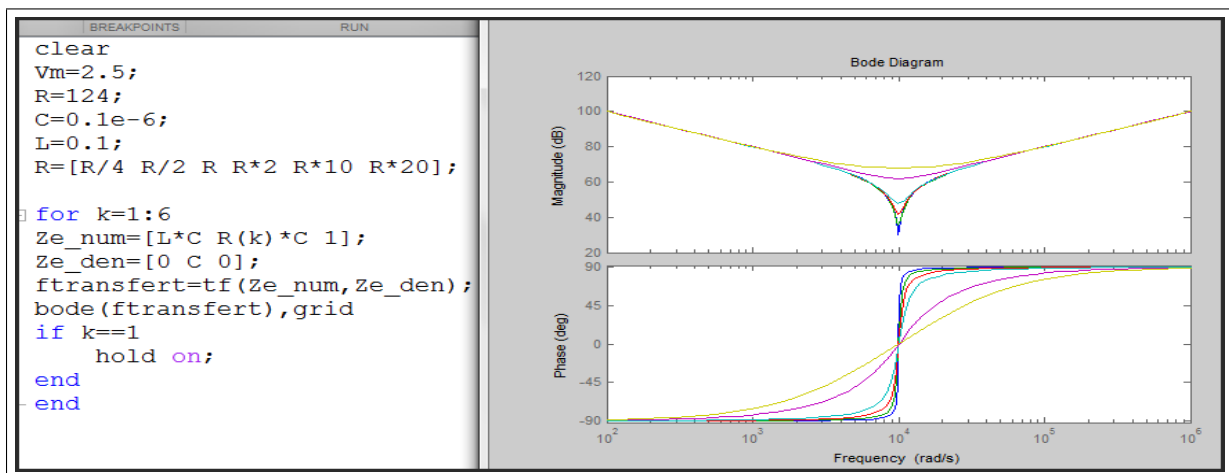


Figure : Effet de résistance sur la variation d'impédance

2.7 Etude du circuit RLC série par logiciel Electronics Workbench :

Objectif : le but de ce TP d'analyser le circuit électrique RLC en série et le test de leurs fonctionnalités en utilisant les dispositifs de mesure simulés. À l'aide de logiciel électronique s'appelle « *Electronics Workbench* » .

2.7.1 Présentation de logiciel :

Electronics WorkBench (EWB) est un logiciel de simulation des circuits électroniques qui permet de tester et d'analyser des circuits sans utiliser des dispositifs ou des composants réels. Les outils ainsi que l'interface d'utilisation permettent une édition rapide, facile et flexible pour la mesure et le traitement de circuits électroniques.

L'utilisateur a la possibilité de changer les paramètres et les valeurs des composants sur une grande plage de variations. EWB offre aussi la possibilité d'analyser un circuit soit en régime statique ou dynamique avant de passer à la réalisation.

2.7.2 Interface et outils de base d' EWB :

L'interface comporte un espace de travail dans lequel l'utilisateur peut simuler le circuit électronique et une barre d'outils principale comportant :

- » **File** : pour la gestion des fichiers (création d'un nouveau fichier, sauvegarde, importation de fichiers, impression.....)
- » **Edit** : édition des fichiers (suppression des éléments, copier ou couper des composants,..)
- » **Circuit** : pour le changement de la topologie du circuit (agrandissement des composants, rotation, pivotement horizontal et vertical.....)
- » **Analyses** : permet de lancer l'analyse du circuit afin de mesurer toutes les grandeurs mises en jeu, notamment les tensions et les courants, de stopper l'exécution de la simulation, de fixer les tolérances (erreurs) de mesures et de faire une analyse spectrale par transformée de Fourier de tous les signaux dans toutes les branches du circuit, etc.....
- » **Windows** : pour mettre une description du circuit simulé, arranger le circuit, etc...
- » **Help** : pour accéder au guide d'utilisation de n'importe quel composant.

⇒ Le logiciel dispose également d'une deuxième barre d'outils comportant une large Gamme de composants et d'outils nécessaire pour la simulation des circuits est représentée dans cette figure suivante :

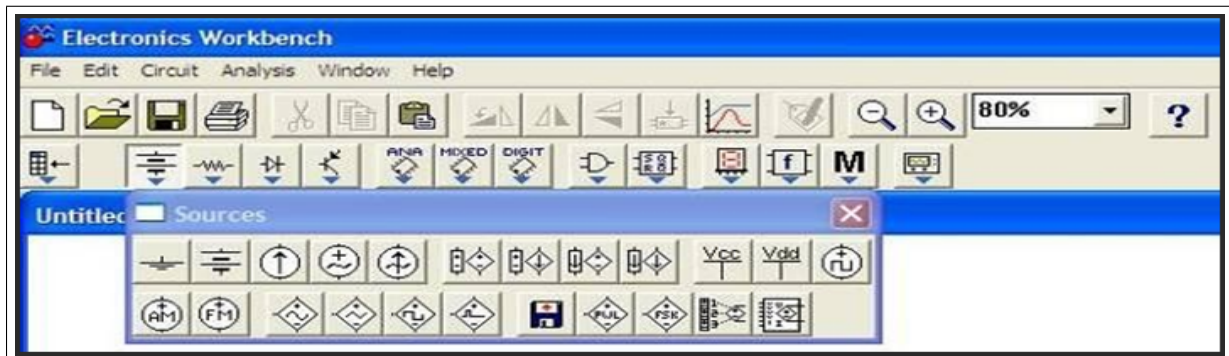


Figure : Barre d'outils des composantes

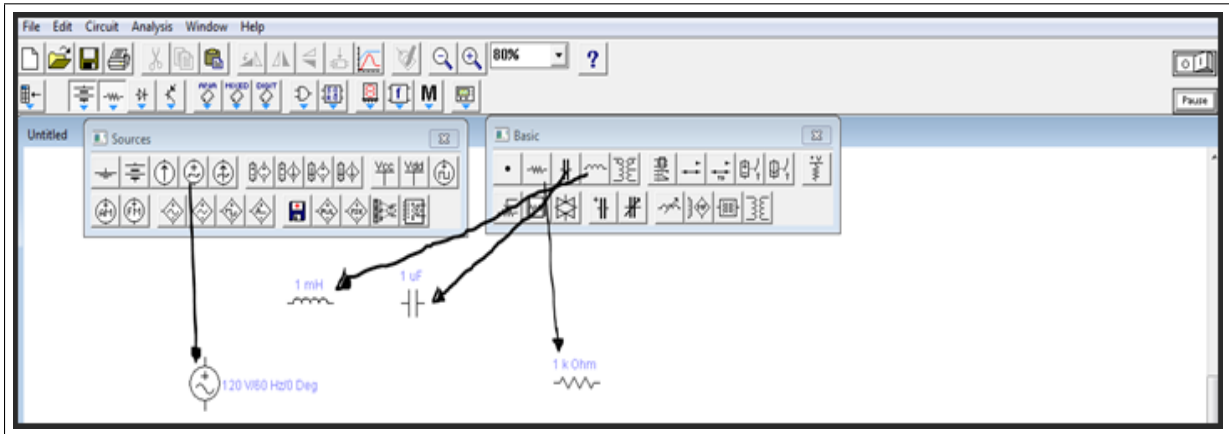
2.7.3 Manipulation :

ACCESSOIRES :

- Micro ordinateur.
- Logiciel Electronics Workbench

» On fait d'abord la simulation de circuit RLC en série sous EWB comme suivante :

Étape 1 : Dans l'espace de travail en glissant les trois éléments du circuit (générateur de source alternatif sinusoïdale et une résistance, une bobine et un condensateur) à partir de la barre d'outils.



Étape 2 : Faire l'interconnexions entre les bornes de chaque élément et à partir d'un double clique sur chaque composant (exemple sur la résistance, figure (*)) il apparaît un menu (resistor properties) qui permet le changement de sa valeur (value).

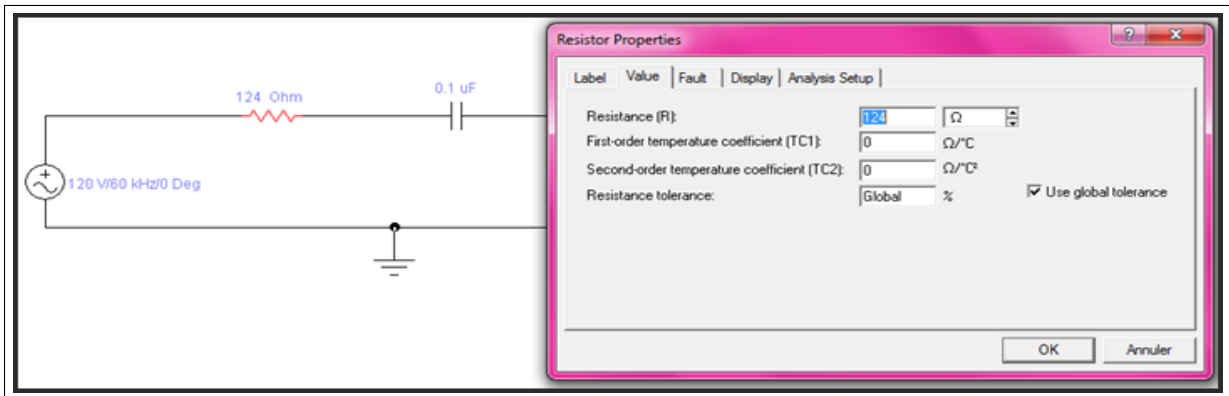


Figure (*)

Étape 3 : dans ce TP on désire de comparer les résultats qu'on a déjà trouvé dans la séance de TP à $f=f_0$ (fréquence de résonance), c'est pourquoi, il doit régler la fréquence de générateur de signal sinusoïdale à fréquence de résonance. (Figure (**))

Sachant que la fréquence de résonance est calculée par la relation suivante :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

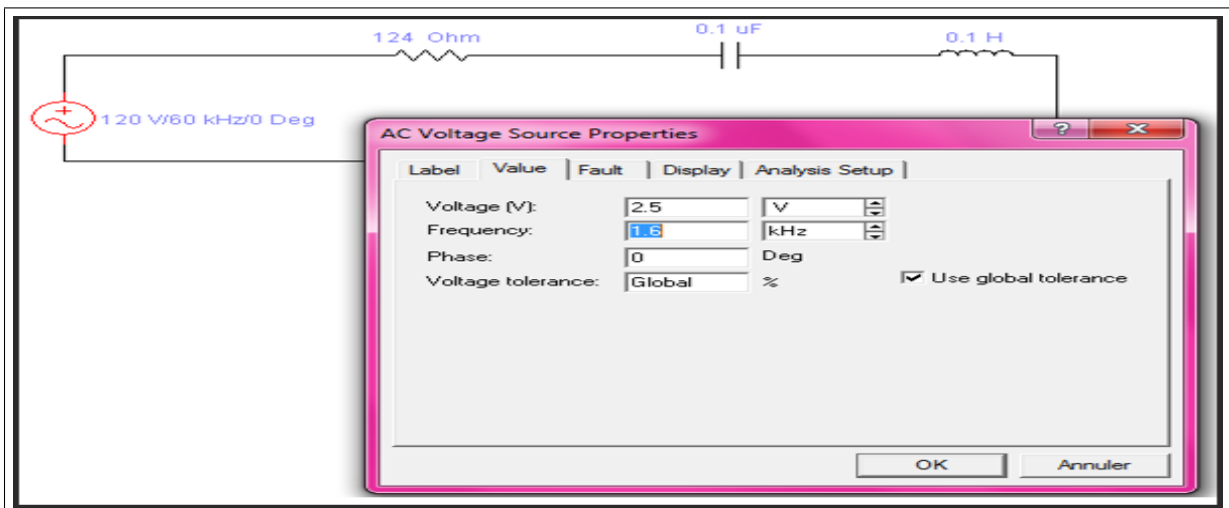
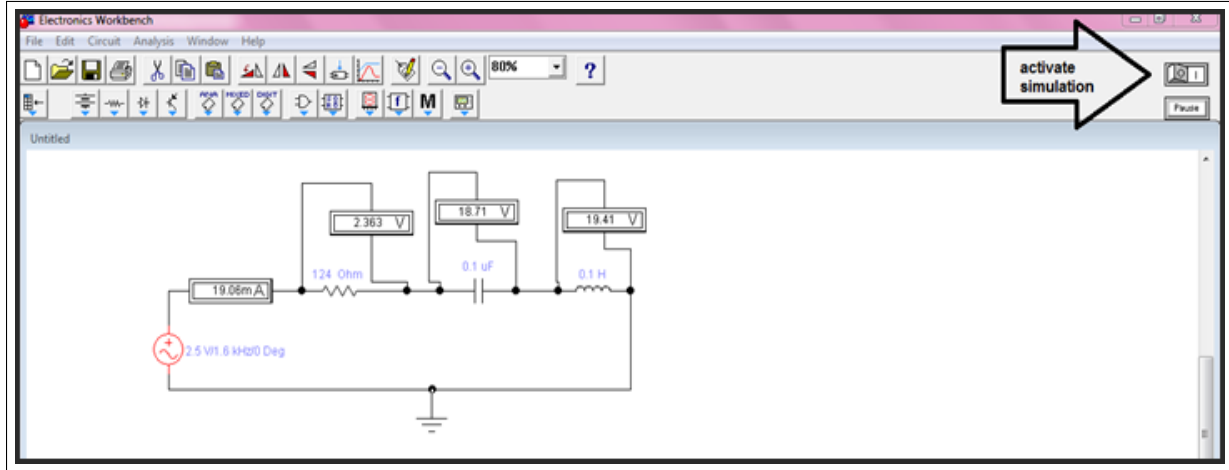


Figure (**)

Afin de mesurer la valeur de tension au borne de capacité , la bobine et la résistance. même le courant circulant dans le circuit on nécessite d'un ampèremètre et un voltmètre qu'il situe dans la fenêtre 'indicators'(Figure(***)),en plus en mettant tous les les apareils en mode AC et en convenable avec la source de tension . Pour lancer l'analyse, en cliquant sur le bouton (activate simulation).



Figure(***)

D'après cette simulation on constate les résultats suivants :

⇒ A fréquence de résonance on a :

» La tension au borne de la bobine est : $V_L = 19V$

» La tension au borne de la capacité est : $V_C = 18.71V$

» La tension au borne de la résistance : $V_R = 2.363V$ alors c'est la tension maximale est presque égale la valeur de tension excité au circuit. si on calcule $\frac{V_R}{R} = 19.06mA$ alors c'est la même valeur affichée par logiciel Donc le courant I maximale circulant dans le circuit égale 19.06 mA .

» On remarque bien que : $V_C = V_L$; car théoriquement on a : $V_C = 1/C\omega I$ et $V_L = L\omega I$, et on a le même courant I qui les traversent (branchement en série), aussi à la résonance : $1/C\omega = L\omega$ ainsi il est claire que : $V_C = V_L$.

» En plus, on observe qu'il ya la surtension au borne de la tension et la bobine tel que $V_C = V_L$ presque égale 19 V. Elles peuvent être beaucoup plus grandes que celle délivrée par le générateur $V_0 = 2.5V$.

» Ainsi on trouve que V_R est maximale car on sait que pour $f = f_o$: le circuit est globalement résistif.

» On conclut que ces résultats sont presque identiques à ce qu'on a déjà trouvé dans la séance de TP.

Troisième partie

Les Filtres de Second Ordre :



exosup.com

Chapitre 3

Les Filtres de Second Ordre :

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va appliquer les outils introduits précédemment pour étudier les filtres. Intuitivement, un filtre permet de sélectionner une partie d'un signal délivré en entrée pour n'en restituer qu'une partie en sortie.

Les filtres électroniques sont abondamment utilisés en pratique :

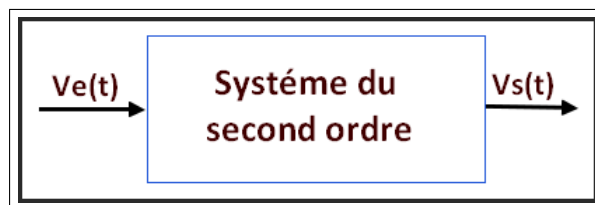
- Sélection d'une station radio parmi toutes les stations disponibles
- Sélectionner les bonnes gammes de fréquence pour alimenter les différents haut-parleurs d'une chaîne
- Télécommunications en général : on transporte de nombreux signaux simultanément dans une même ligne (téléphone, email) et l'on souhaite n'en délivrer qu'un seul en sortie à un utilisateur donné.

3.2 Un Circuit du second ordre :

Un circuit du second ordre est un circuit dont la réponse $V_s(t)$ et l'excitation $V_e(t)$ sont reliées par une équation différentielle du deuxième ordre.

$$a_2 \frac{d^2 V_s(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dV_s(t)}{dt} + a_0 V_s(t) = b_2 \frac{d^2 V_e(t)}{dt^2} + b_1 \frac{dV_e(t)}{dt} + b_0 V_e(t)$$

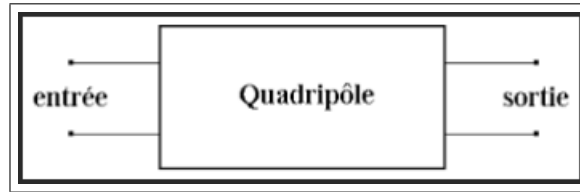
Où les coefficients $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ sont des constantes.



3.3 Fonction de transfert :

Si on étudie le comportement d'un quadripôle en régime sinusoïdal, on appelle fonction de transfert $T(j\omega)$ ou $H(j\omega)$ du quadripôle le rapport :

$$T(j\omega) = \frac{\text{La grandeur complexe de sortie}}{\text{La grandeur complexe de l'entre}} = \frac{V_s(t)}{V_e(t)} = \frac{\text{tension}}{\text{tension}} = \frac{\text{courant}}{\text{courant}} (\text{sans unite})$$



Cette fonction de transfert dépend forcément des composants qui constituent le quadripôle (résistances, capacités, inductances, transistors, ampli-op, etc...).

Dans le cadre de ce cours on utilisera essentiellement le gain complexe en tension.

3.4 Filtrage

3.4.1 Notion de filtrage :

Un filtre est un quadripôle qui modifie (ou filtre) certaines parties d'un signal d'entrée dans le domaine temps et dans le domaine fréquence .

D'après la théorie de Fourier , tout signal réel peut être considéré comme composé d'une somme de signaux sinusoïdaux (en nombre infini si nécessaire) à des fréquences différentes ; le rôle du filtre est de modifier la phase et l'amplitude de ces composantes. Un filtre est caractérisé par sa fonction de transfert .

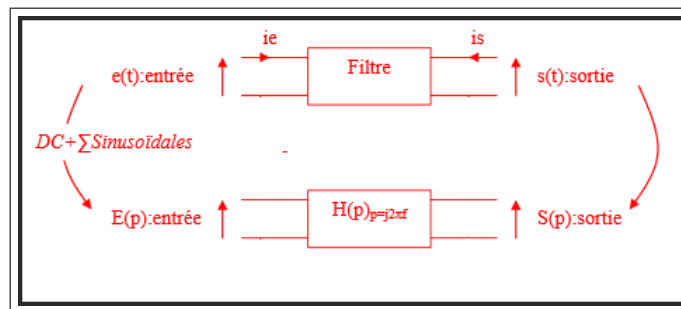


Figure : Représentation d'un filtre dans l'espace des fréquences

3.4.2 Classification des filtres :

On peut classer les filtres à partir de la représentation de leur gain en fonction de la fréquence. Les filtres les plus courants sont de l'un des cinq types suivants : passe-bas, passe haut, passe-bande, réjecteur de bande.

Un filtre passe-bas laisse passer toutes les fréquences entre la fréquence nulle et la fréquence de coupure f_c et atténue toutes les fréquences supérieures à celle-ci.

Un filtre passe-haut atténue toutes les fréquences entre la fréquence nulle et la fréquence de coupure f_c et laisse passer toutes les fréquences supérieures à celle-ci.

Un filtre passe-bande laisse passer les fréquences comprises entre la fréquence de coupure inférieure f_{c1} et la fréquence de coupure supérieure f_{c2} .

Un filtre réjecteur de bande , cloche ou coupe-bande, laisse passer les fréquences entre la fréquence nulle et la fréquence de coupure inférieure f_{c1} ainsi que les fréquences entre la fréquence de coupure supérieure f_{c2} et la fréquence infinie.

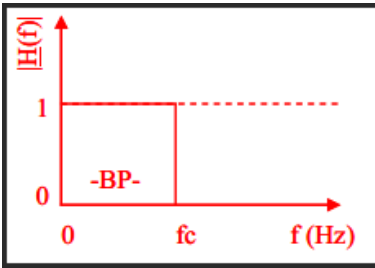


Figure : Filtre passe bas

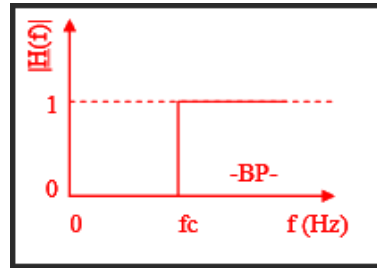


Figure : Filtre passe haut

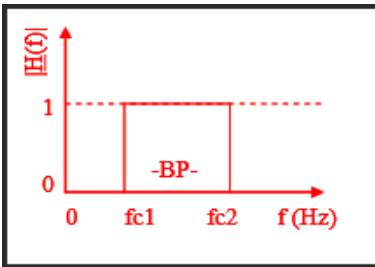


Figure : Filtre passe bande

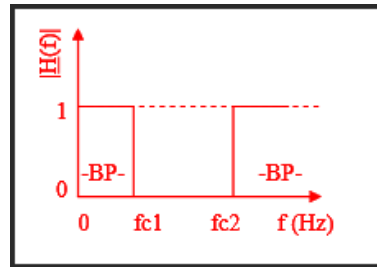


Figure : Filtre Coupe bande

» Comment reconnaître la nature d'un filtre d'ordre 2 ?

Il faut écrire la fonction de transfert sous la forme :

$$H(j\omega) = \frac{N(j\omega)}{a + b.j\omega + c.(j\omega)^2}$$

si $N(j\omega) = \alpha$	Filtre passe bas
si $N(j\omega) = \beta.j\omega$	Filtre passe bande
si $N(j\omega) = \gamma.(j\omega)^2$	Filtre passe haut
si $N(j\omega) = \alpha + \gamma.(j\omega)^2$	Filtre Coupe bande

3.5 Diagramme de Bode :

Le diagramme de Bode est une représentation graphique d'une fonction complexe ce dernier est utile à l'étude des filtres. Cette représentation comprend deux grandeurs tracées en fonction de la pulsation (ou fréquence) :

- 1) Le gain $|H|$ en db, donné par la formule : $H_{db} = 20 \log(|H(j\omega)|)$
- 2) La phase φ en degré, donnée par la formule : $\varphi = \text{Arg}(H(j\omega))$;

dans certains cas, le diagramme de Bode pourra être représenté en fonction d'une variable réduite $x = \frac{\omega}{\omega_0}$ ou ω_0 est défini à partir des éléments du circuit.

3.6 Circuit RLC réponse harmonique du système du deuxième ordre

3.6.1 Circuit RLC :

En électrocinétique, un circuit RLC est un circuit linéaire contenant une résistance électrique, une bobine (inductance) et un condensateur, Le comportement d'un circuit RLC est généralement décrit par une équation différentielle du second ordre et selon l'interconnexion des trois types de composants on remarque que le circuit RLC agit d'une manière différente pour chaque interconnexion suivant les figure ce dessous :

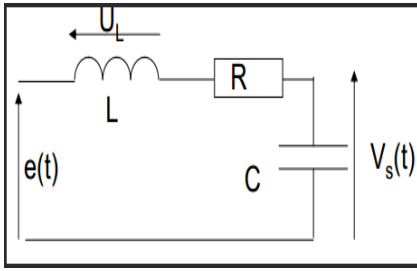


Figure : Filtre passe bas

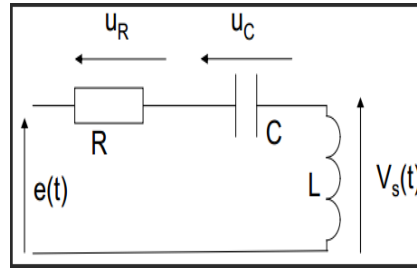


Figure : Filtre passe haut

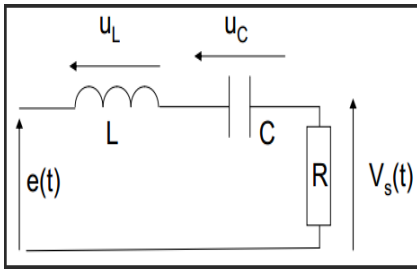


Figure : Filtre passe bande

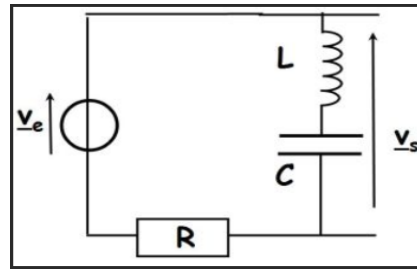


Figure : Filtre Coupe bande

Remarque : la fonction de transfert de chaque filtre est obtenue juste par un simple diviseur de tension appliqué sur le circuit RLC après en utilisant la notation complexe sur l'équation différentielle.

en générale pour faciliter le calcul on pose :

$$(\omega_0)^2 = 1/LC \rightarrow \text{pulsation propre du circuit}$$

$$Q = L\omega_0/R \rightarrow \text{Facteur de qualité}$$

$m = 1/2Q \rightarrow$ Facteur d'amortissement \rightarrow Un grand facteur d'amortissement s'obtient à partir de circuits à très faible impédance interne.

$$x = \omega/(\omega_0)$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

3.6.2 Filtre passe-bas :

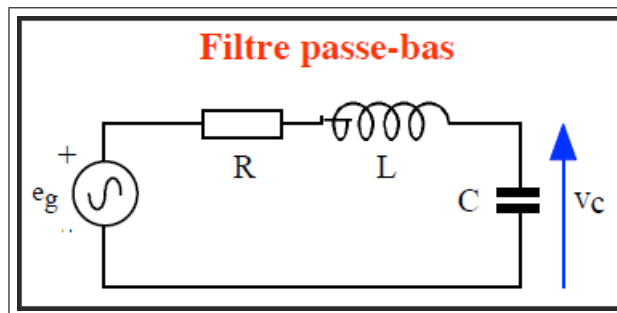


Figure : Filtre RLC de type passe-bas

\rightarrow Le concept de filtre passe-bas est d'atténuer les fréquences supérieures à sa fréquence de coupure f_c , dans le but de conserver uniquement les basses fréquences. La fréquence de coupure du filtre est la fréquence séparant les deux modes de fonctionnement idéaux du filtre : passant ou bloquant.

:

$$T(j\omega) = \frac{1}{1 - (\omega/\omega_0)^2 + 2jm(\omega/\omega_0)} = \frac{1}{1 - (x)^2 + 2jmx}$$

$$\text{Module} \rightarrow |T(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{[1 - (x)^2]^2 + (2mx)^2}}$$

Diagramme de Bode

» **Diagramme asymptotique du gain**

$$T_{db}(\omega \rightarrow 0) = 20 \log(1) = 0 \text{ db}$$

$$T_{db}(\omega \rightarrow \omega_0) = 20 \log\left(\frac{1}{2m}\right)$$

$$T_{db}(\omega \rightarrow \infty) = 40 \log(\omega_0) - 40 \log(\omega) \text{ Une droite de pente } -40 \text{ db/décade}$$

» **Diagramme asymptotique de phase**

$$\varphi(\omega \rightarrow 0) = \arg(1) = 0^0$$

$$\varphi(\omega = \omega_0) = \arg\left(\frac{1}{2m \cdot j}\right) = -90^0$$

$$\varphi(\omega \rightarrow \infty) = \arg\left(\frac{1}{-[\frac{\omega}{\omega_0}]^2}\right) = -180^0$$

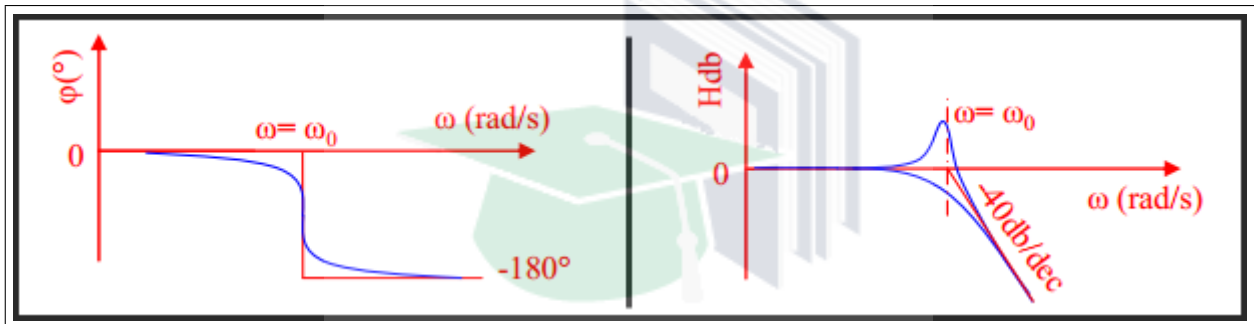


Figure : Filtre RLC de type passe-bas

3.6.3 Filtre passe-haut :

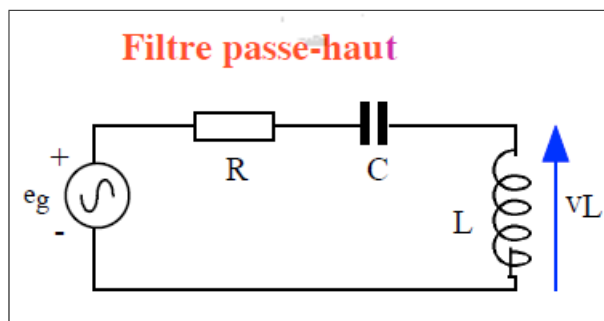


Figure : Filtre RLC de type passe-haut

Le concept de filtre passe-haut est d'atténuer les fréquences inférieure à sa fréquence de coupure f_c , dans le but de conserver uniquement les hautes fréquences. La fréquence de coupure du filtre est la fréquence séparant les deux modes de fonctionnement idéaux du filtre : bloquant ou passant.

En utilisant le diviseur de tension Pour obtient notre fonction de transfert :

$$T(j\omega) = \frac{(j\frac{\omega}{\omega_0})^2}{1 + (j\frac{\omega}{\omega_0})^2 + 2jm(\frac{\omega}{\omega_0})} = \frac{-(x)^2}{1 - (x)^2 + 2jmx}$$

$$\text{Module} \rightarrow |T(j\omega)| = \frac{x^2}{\sqrt{[1-(x)^2]^2 + (2mx)^2}}$$

» Diagramme asymptotique du gain

$T_{db}(\omega \rightarrow 0) = 40 \log(\omega) - 40 \log(\omega_0)$ Une droite de pente 40db/décade

$$T_{db}(\omega \rightarrow \omega_0) = 20 \log\left(\frac{1}{2m}\right)$$

$$T_{db}(\omega \rightarrow \infty) = 20 \log(1) = 0db$$

» Diagramme asymptotique de phase

$$\varphi(\omega \rightarrow 0) = \arg\left(-\left[\frac{\omega}{\omega_0}\right]^2\right) = 180^\circ$$

$$\varphi(\omega = \omega_0) = \arg\left(-\frac{1}{2m \cdot j}\right) = 90^\circ$$

$$\varphi(\omega \rightarrow \infty) = \arg(1) = 0^\circ$$

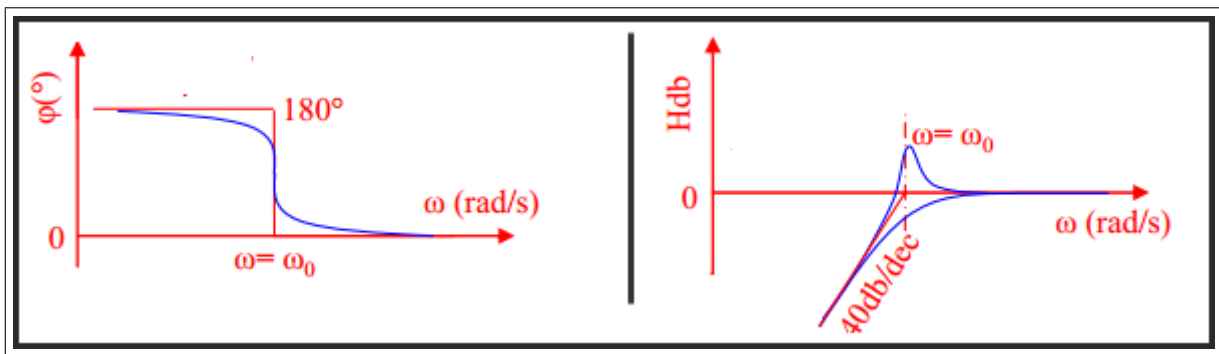


Figure : Diagramme du gain et de phase d'un filtre passe-haut

3.6.4 Filtre passe-bande :

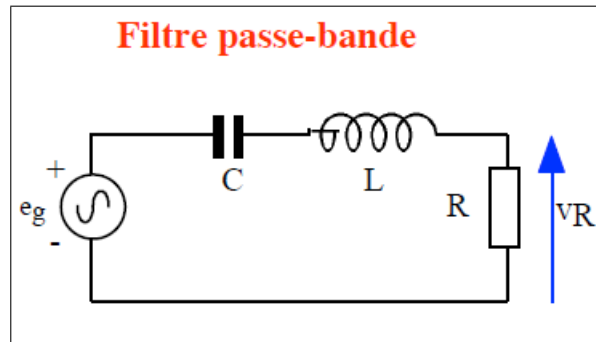


Figure : Filtre RLC de type passe-bande

⇒ Un filtre passe-bande est un filtre ne laissant passer qu'un intervalle de fréquences, celui-ci étant limité par la fréquence de coupure basse et la fréquence de coupure haute du filtre. Les applications en électronique sont multiples. Un circuit passe-bande peut servir à éliminer le bruit du signal, si l'on sait que le signal a des fréquences comprises dans une gamme de fréquences déterminée. C'est aussi un circuit passe-bande qui permet, en radiocommunication, de sélectionner la fréquence radio écoutée.

Diagramme de Bode :

$$T(j\omega) = \frac{v_s(t)}{V_e(t)} = \frac{R}{R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega} = \frac{JC\omega R}{1 + jRC\omega - (LC\omega)^2} = \frac{2jmx}{1 + 2jmx - (x)^2} = \frac{1}{1 + jQ(x - \frac{1}{x})}$$

» **Diagramme asymptotique du gain**

$x \rightarrow 0^+ \Rightarrow T_{db}(x \rightarrow 0^+) \rightarrow -\infty$ avec $T_{db}(x \rightarrow 0^+) = -20 \log(Q) + 20 \log(x)$ l'équation de l'asymptote (pente 20 dB par décade).

$x \rightarrow \infty \Rightarrow T_{db}(x \rightarrow \infty) \rightarrow -\infty$ avec $T_{db}(x \rightarrow \infty) = -20 \log(Q) - 20 \log(x)$ l'équation de l'asymptote (pente -20 dB par décade).

$x = 1 \Rightarrow T_{db}(x \rightarrow 1) = 20 \log(1) = 0dB$

» **Diagramme asymptotique de phase**

$$\varphi = \arg(T(j\omega)) = -\arctan(Q(x - \frac{1}{x}))$$

$$\begin{aligned} \varphi(x \rightarrow 0^+) &\Rightarrow \frac{\pi}{2} \\ \varphi(x \rightarrow \infty) &\Rightarrow -\frac{\pi}{2} \\ \varphi(x = 1) &\Rightarrow 0 \end{aligned}$$

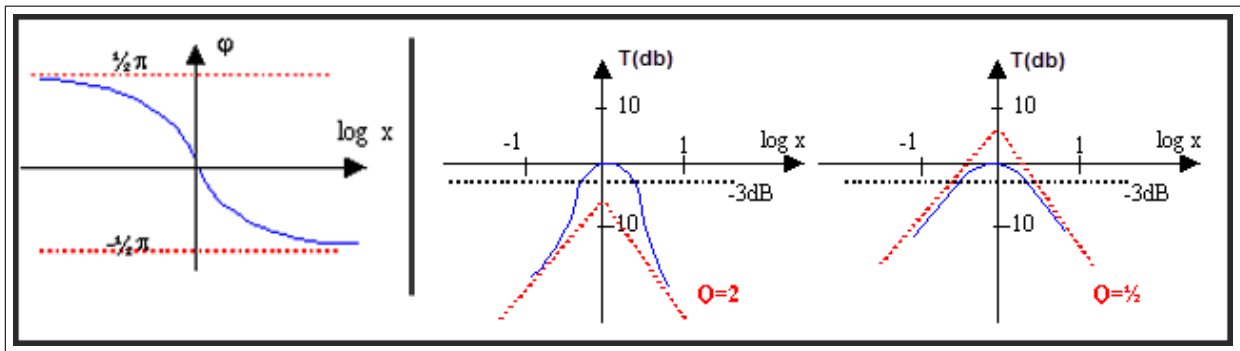


Figure : Diagramme de bode de phase et du gain d'un passe bande

3.6.5 Filtre Coupe Bande

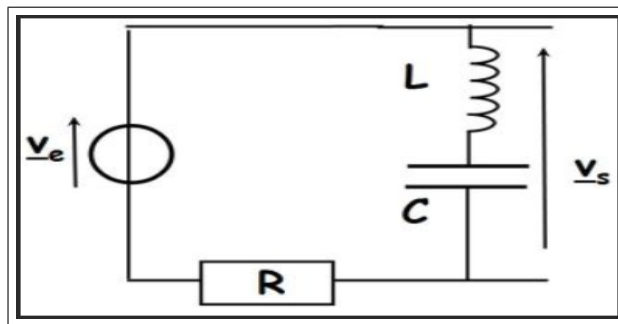


Figure : Filtre RLC de type Coupe-bande

Un filtre coupe-bande aussi appelé filtre réjecteur de bande ou filtre cloche est un filtre empêchant le passage d'un intervalle de fréquences. Il est composé d'un filtre passe-haut et d'un filtre passe-bas dont les fréquences de coupure sont souvent proches mais différentes, la fréquence de coupure du filtre passe-bas est systématiquement inférieure à la fréquence de coupure du filtre passe-haut. Les récepteurs radio utilisés par les radioamateurs sont souvent munis d'un filtre réjecteur réglable, il permet d'éliminer les sifflements et certaines perturbations du signal audio.

$$T(j\omega) = \frac{1 + j(\frac{\omega}{\omega_0})^2}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2 - 2jm(\frac{\omega}{\omega_0})}$$

Que l'on peut écrire aussi simplement sous forme :

$$T(j\omega) = \frac{1 + j(x)^2}{1 - (x)^2 + 2jmx}$$

→ de Module :

$$T(j\omega) = \frac{\sqrt{1^2 + (x)^4}}{\sqrt{(1 - x^2)^2 + (2mx)^2}}$$

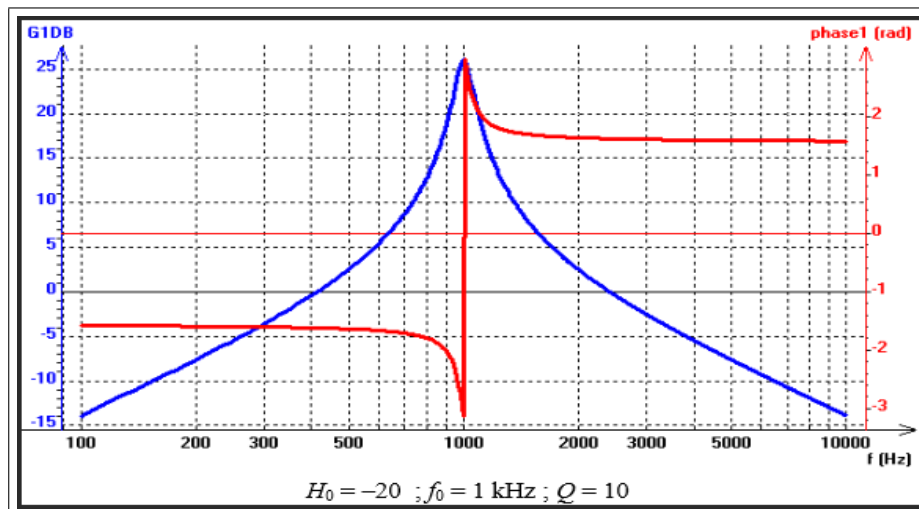


Figure : diagramme de bode d'un filtre coupe bande

» Voila un Tableau résumant la Forme générale des filtres du second ordre :

Type	Forme canonique
Passe bas du 2 nd ordre m: coefficient d'amortissement	$\frac{A}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$
Passe haut du 2 nd ordre	$\frac{A \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$
Passe bande Facteur de qualité $Q = \frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}}$	$A \frac{j \frac{\omega}{\omega_0}}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$
Coupe bande (réjecteur) Facteur de qualité $Q = \frac{\omega_0}{\omega_{c2} - \omega_{c1}}$	$A \frac{1 + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{1 + 2mj \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$

3.7 Tracage de diagramme de Bode (G) à l'aide de Matlab

Maintenant on va utiliser la langage de programmation matlab pour représenter notre diagramme de bode à l'aide de la fonction `bode()` et `tf()`.

Remarque : Dans toute la suite des calculs par le logiciel Matlab on vas prendre $R = 124\Omega$, $L = 0.1H$, $C = 0,1 \times 10^{-6}F$ avec $s = j\omega$

3.7.1 Filtre passe-bas :

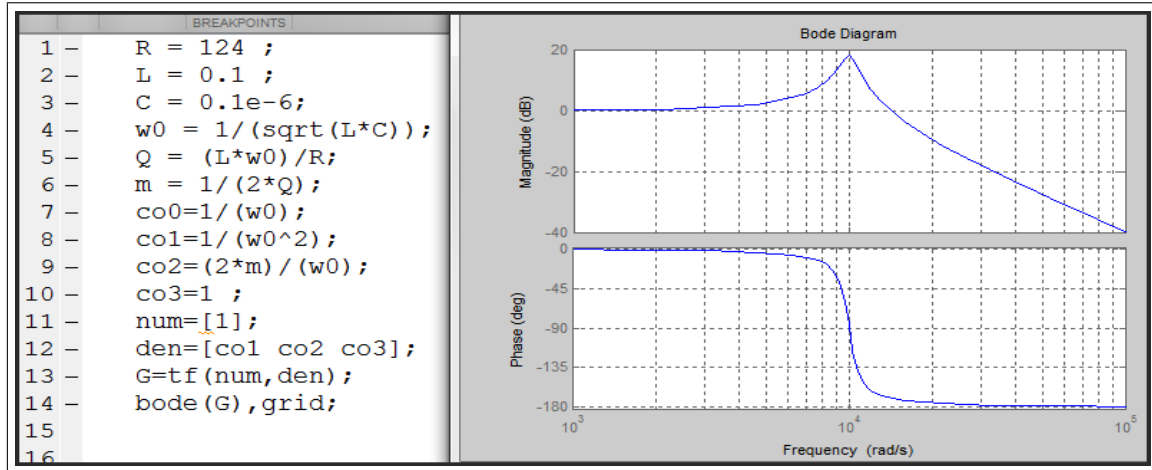


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-bas à l'aide de Matlab

3.7.2 Filtre passe-haut :

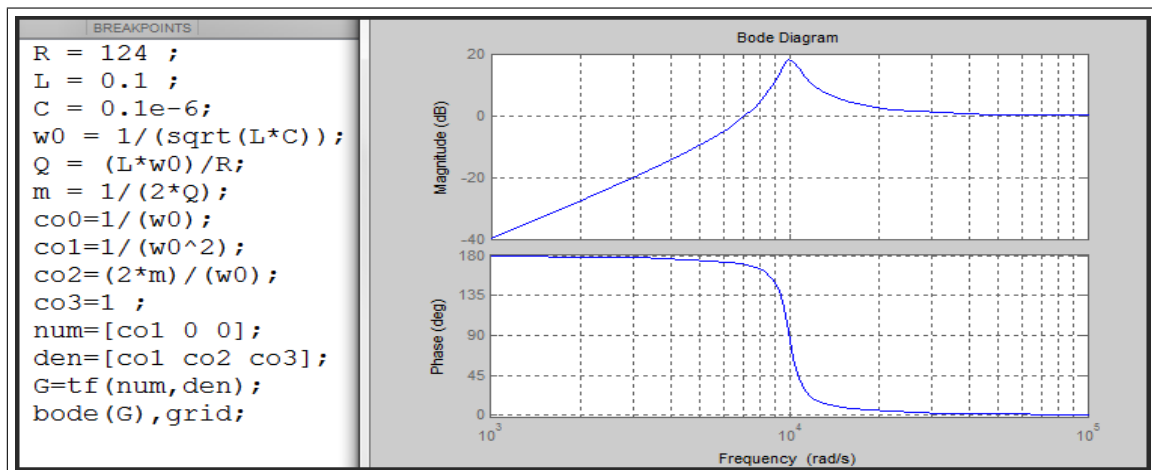


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-haut à l'aide de Matlab

3.7.3 Filtre passe-bande :

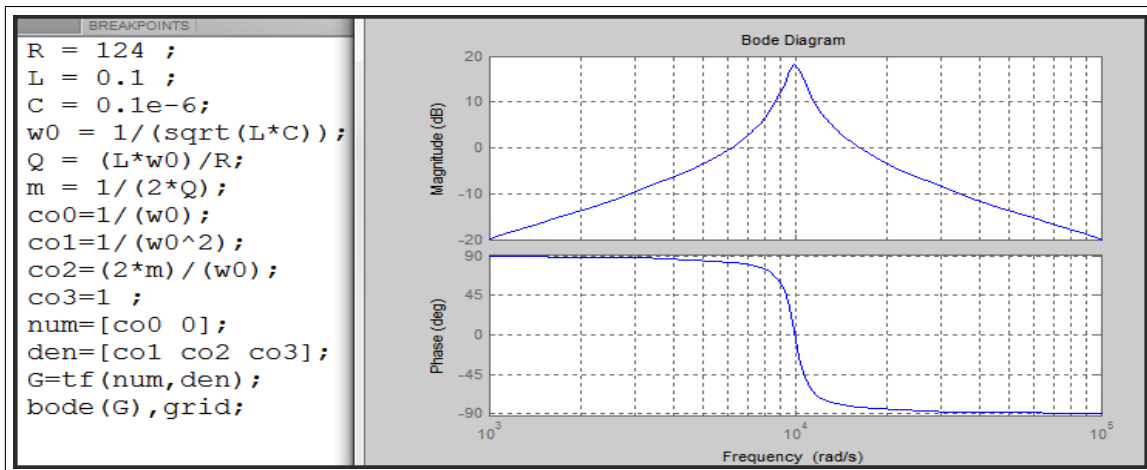


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-Bande à l'aide de Matlab

3.7.4 Filtre coupe bande :

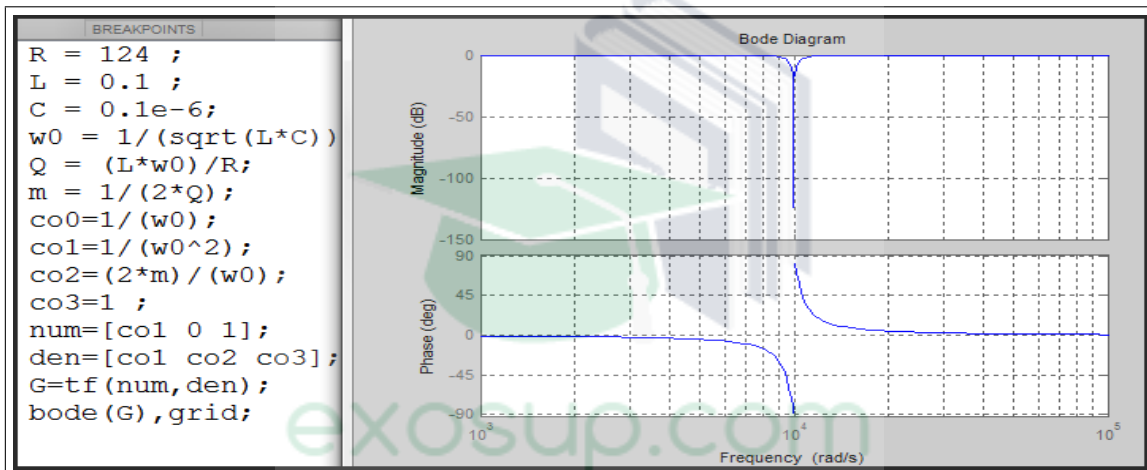


Figure : diagramme de bode d'un filtre coupe-bande à l'aide de Matlab

Remarque : pour plus d'information sur les fonctions `tf()` et `bode()` tu peux écrire sur la fenêtre des commandes `help tf` ou bien `help bode`.

3.8 Tracage de diagramme de Bode a l'aide de Programme Electronics Workbench

» dans cette partie on va utiliser le programme EWB pour tester et d'analyser le circuit RLC selon différent interconnexion pour représenter notre diagramme de Bode .

Dans toute la suite des calculs par le logiciel Matlab on vas prendre $R = 124\Omega, L = 0.1H, C = 0,1 \times 10^{-6}F$

3.8.1 Filtre passe-bas :

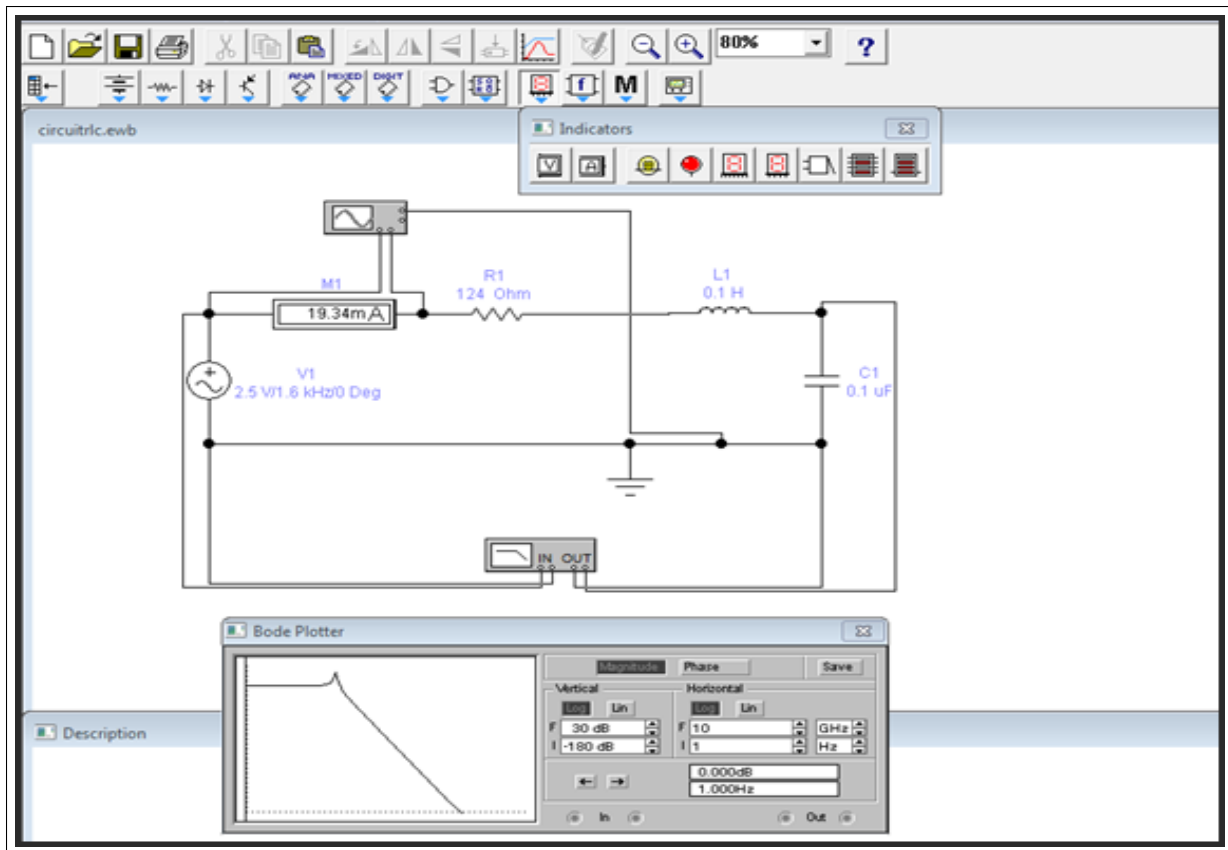


Figure : Circuit RLC série Filtre passe-bas

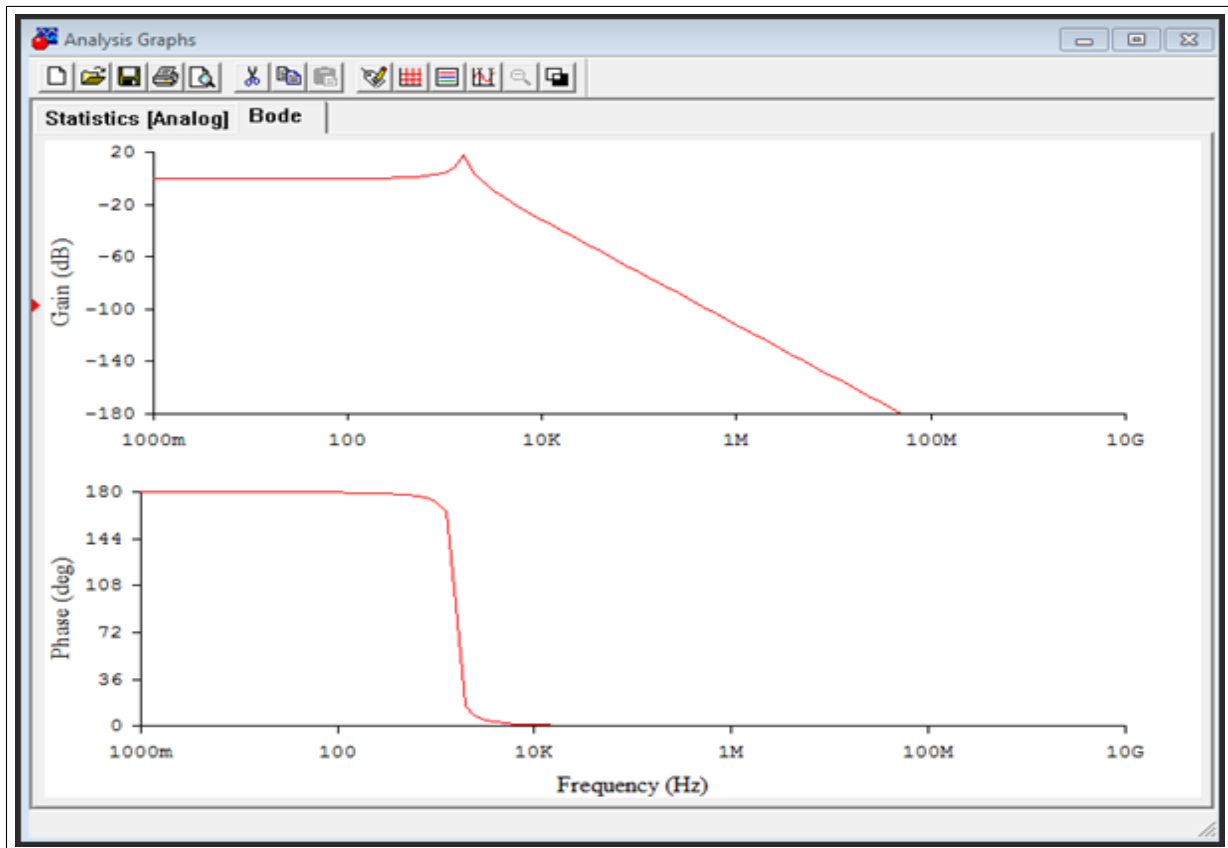


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-bas à l'aide de EWB

3.8.2 Filtre passe-haut :

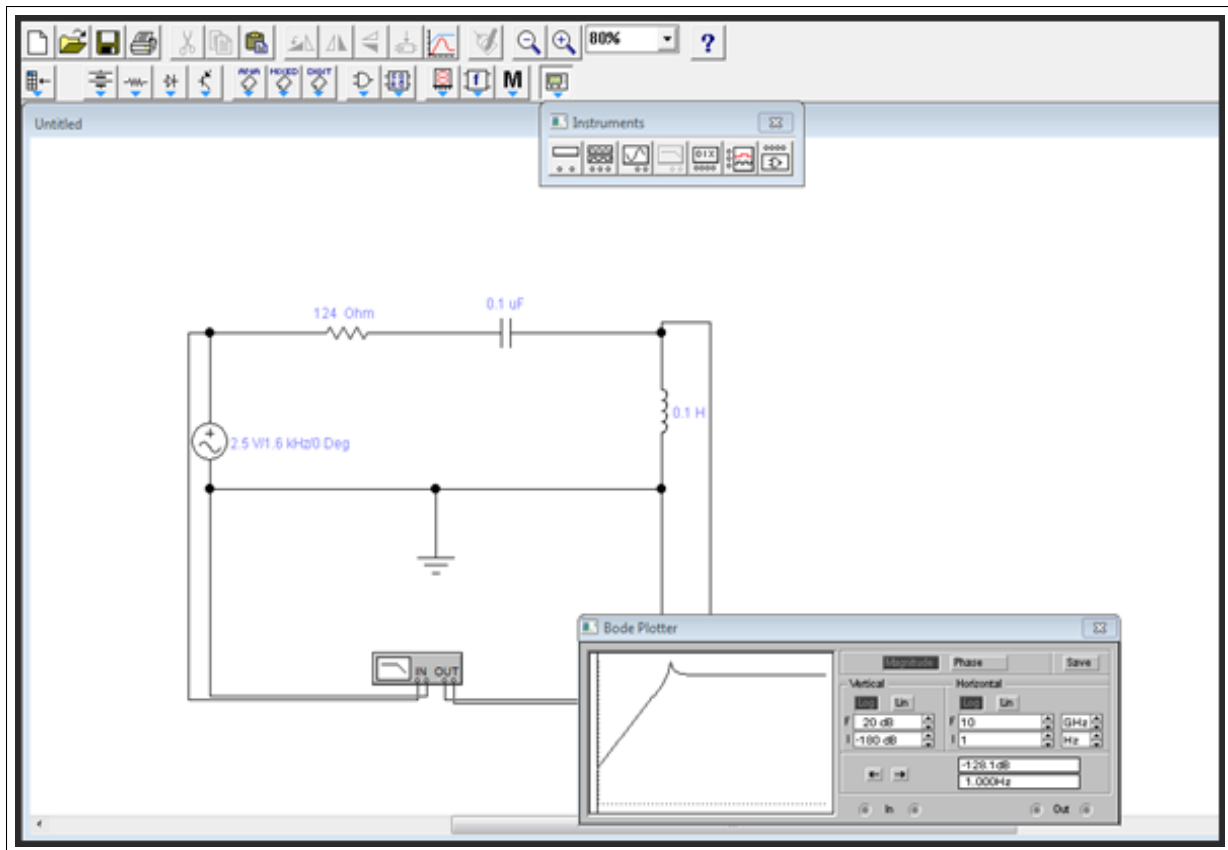


Figure : Circuit RLC série Filtre passe-haut

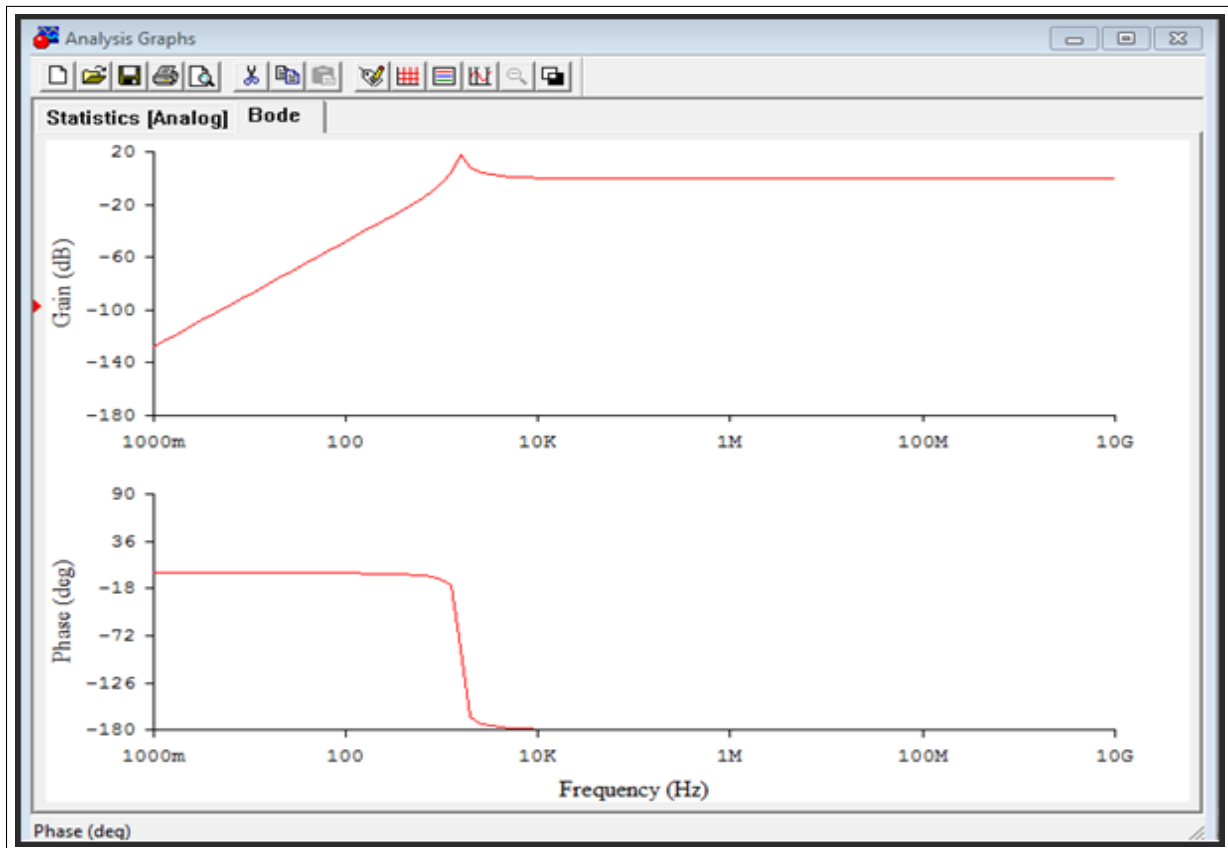


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-haut à l'aide de EWB

3.8.3 Filtre passe-bande :

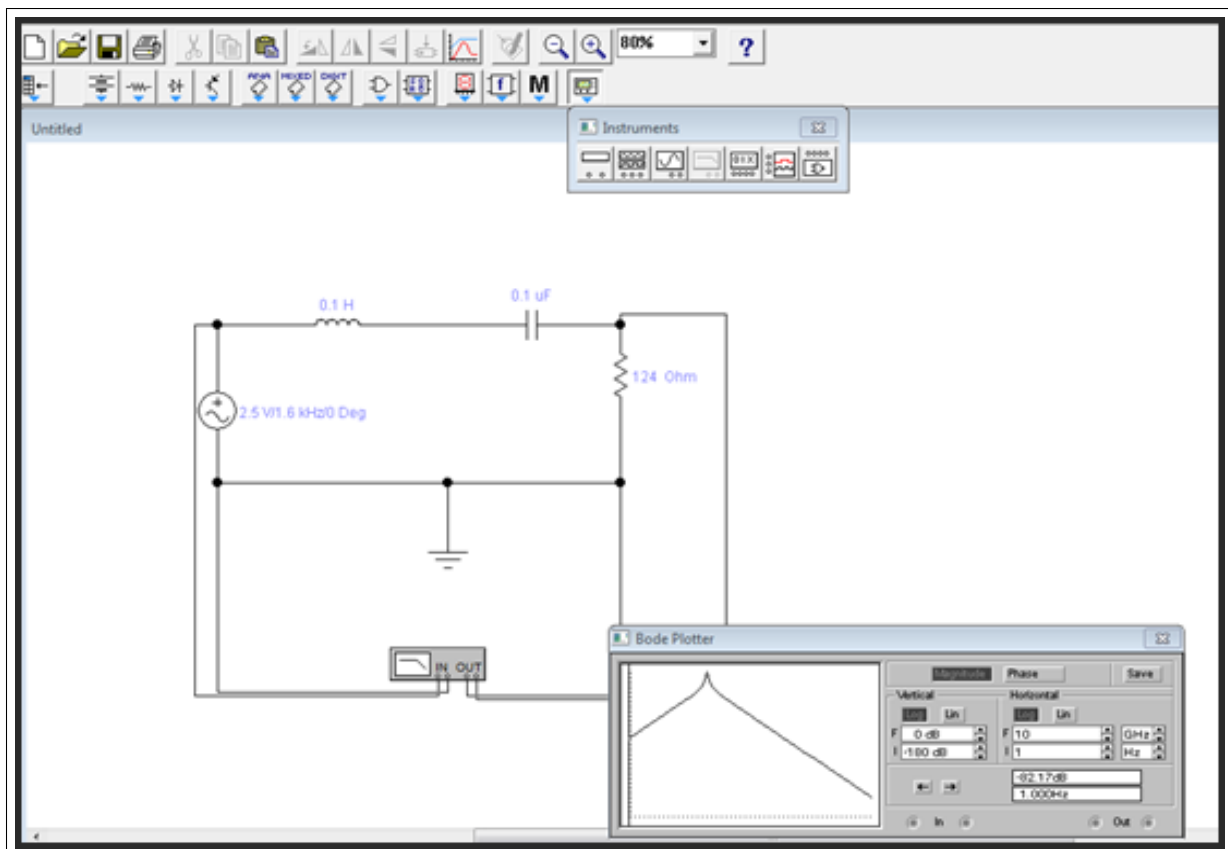


Figure : Circuit RLC série Filtre passe-Bande

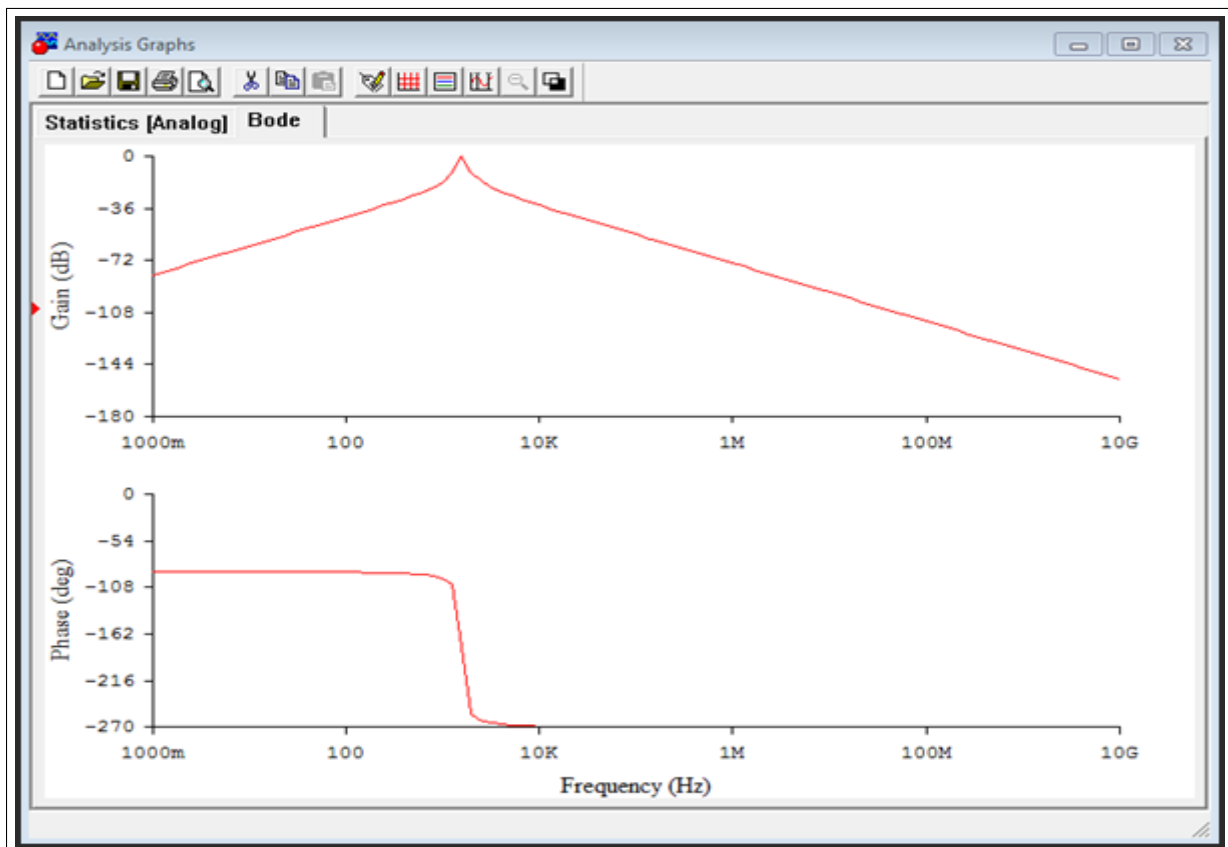


Figure : diagramme de bode d'un filtre passe-bande à l'aide de EWB

3.8.4 Filtre coupe-Bande :

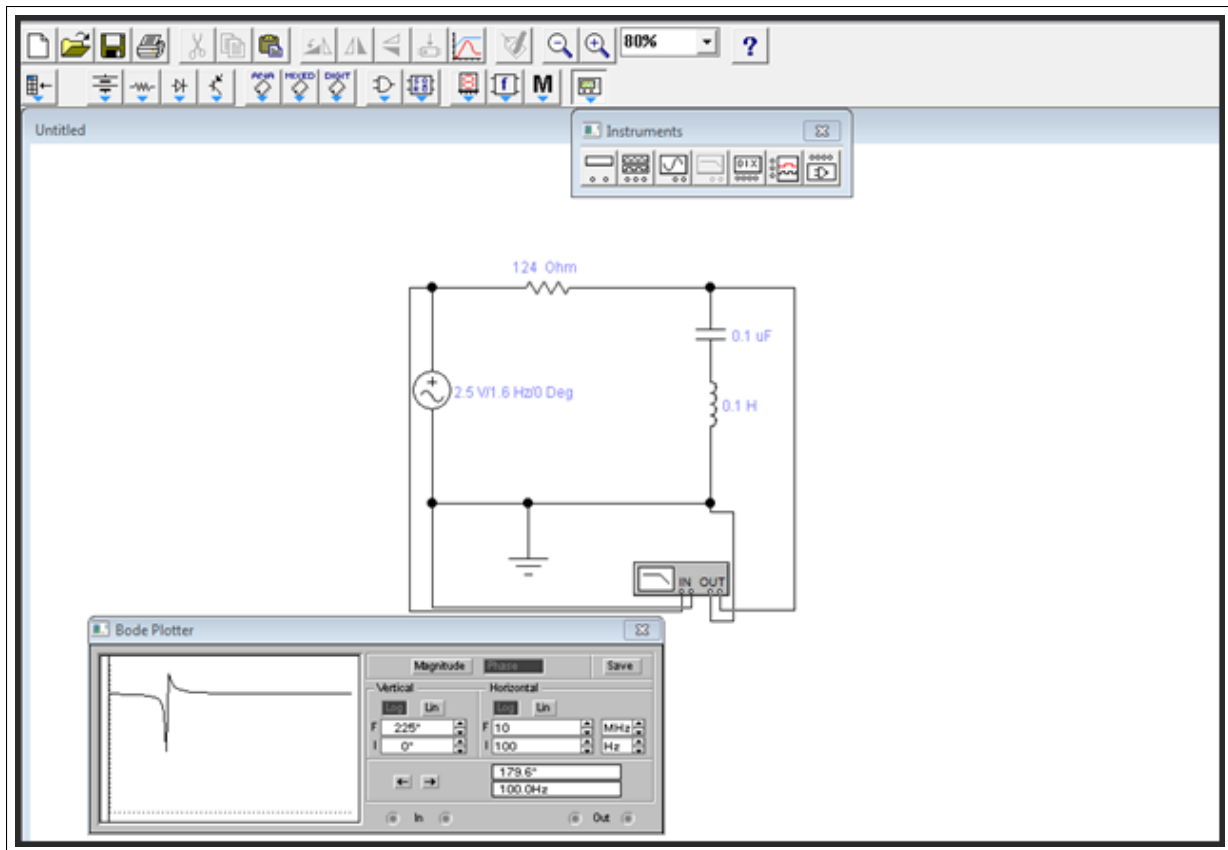


Figure : Circuit RLC série Filtre coupe-Bande

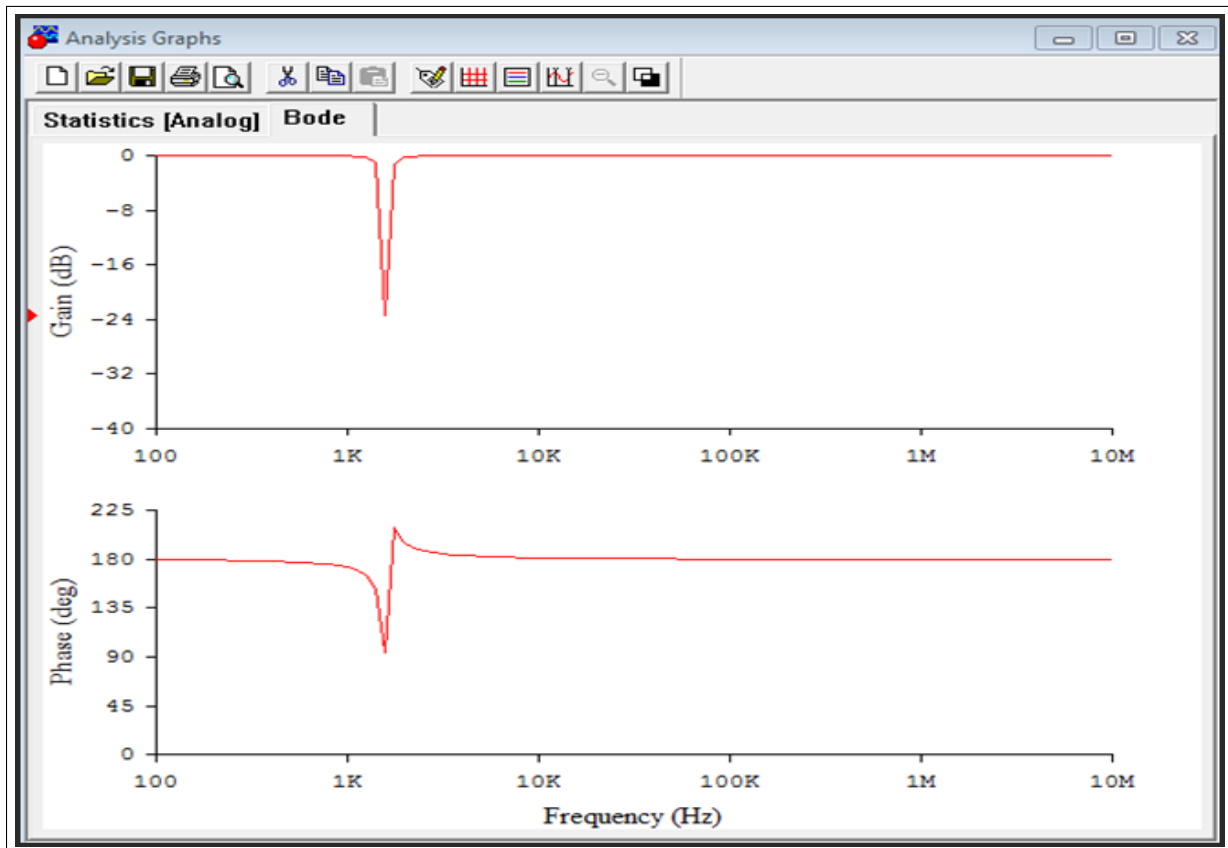


Figure : diagramme de bode d'un filtre coupe-Bande à l'aide de EWB

3.9 Application Sur les Filtres :

3.9.1 Filtre passe-bas – la démodulation d’un signal :

Parmi les applications les plus simple pour les filtres pass bas on trouve la modulation et démodulation alors La méthode la plus simple de transposition est la modulation d’amplitude noté AM c’est la méthode utilisé le pour les premières transmissions radio dans les années 1920.

Il y a 3 types essentiels de modulation d’amplitude :

- 1) AM Double Bande Sans Porteuse
- 2) AM Double Bande Avec Porteuse
- 3) AM Bande Latérale Unique

Notre but de cette simulation avec Matlab c’est de faire la démodulation a l’aide d’un filtre passe-bas

» Alors soit un signale sinusoïdal haute fréquence $p(t) = \cos(2\pi f_0 t)$, appelée porteuse. Et un message $m(t) = A.\cos(2\pi f_m t)$, appelé sigal modulant donc le signal Double bande sans porteuse s’écrit :

$$s(t) = p(t).m(t) = \cos(2\pi f_0 t).A\cos(2\pi f_m t) \text{ avec } f_0 \gg f_m$$

Dans cette simulation on prend : $m(t) = A\cos(2\pi f_m t)$ $A = 0.8$ et $f_m = 100Hz$
 Et $p(t) = \cos(2\pi f_0 t)$ $f_0 = 1000Hz$ on obtient :

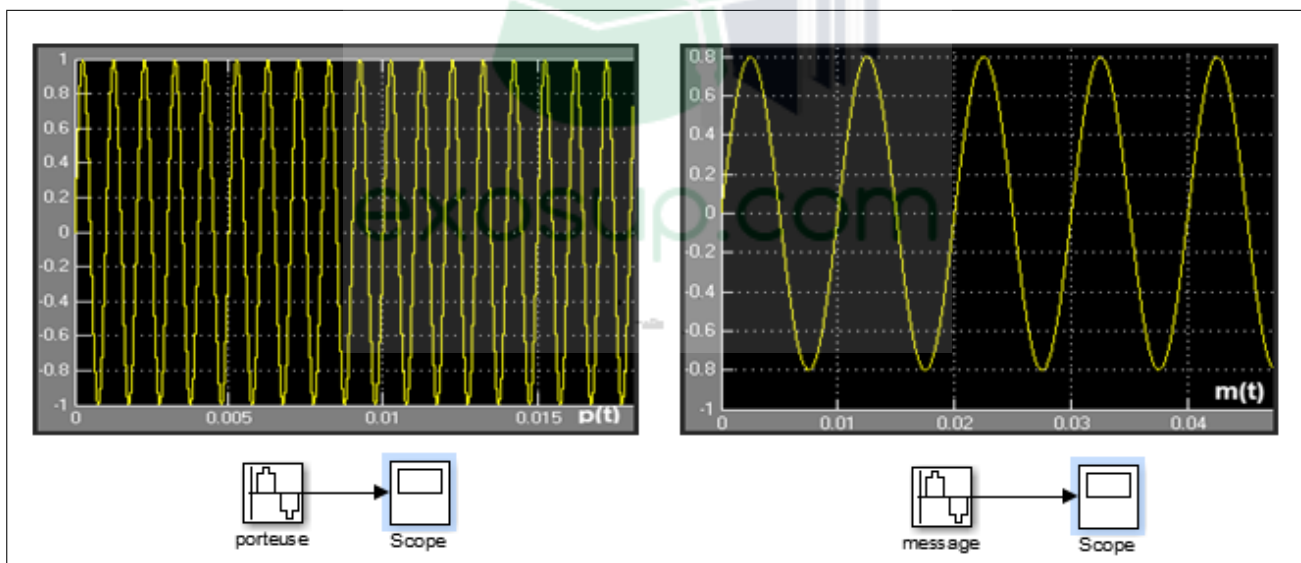


Figure : la porteuse et le message l’outil scope

Ici le signale modulé $s(t)$ que l’on peut envoyer par une chaine de transmission :

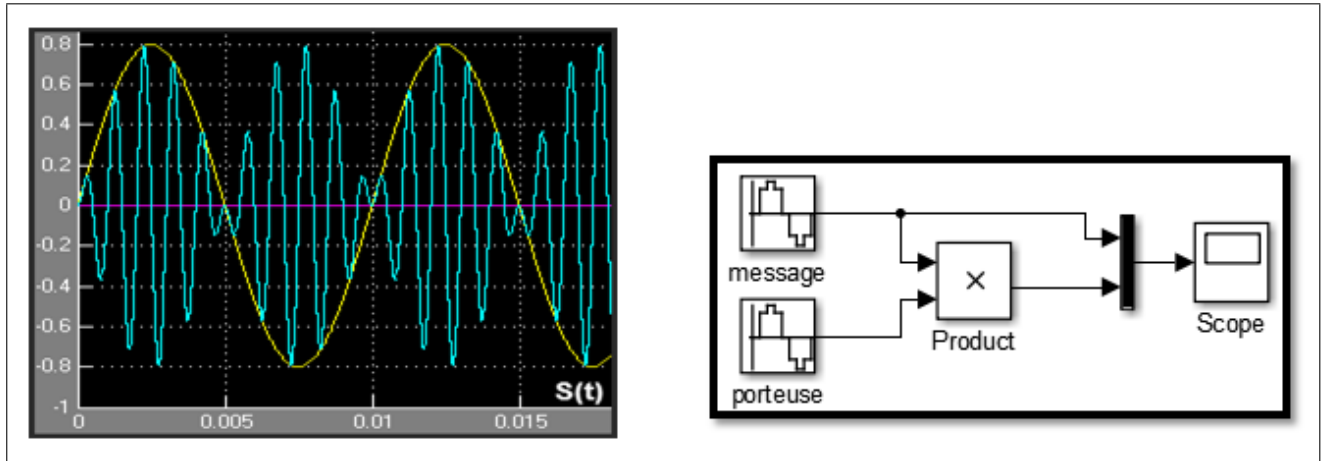


Figure : Signale $s(t)$ et leur Shemas equivalent en matlab

Si on veut Le spectre en amplitude on peut le fournir par l'outil "Power Spectral Density" :

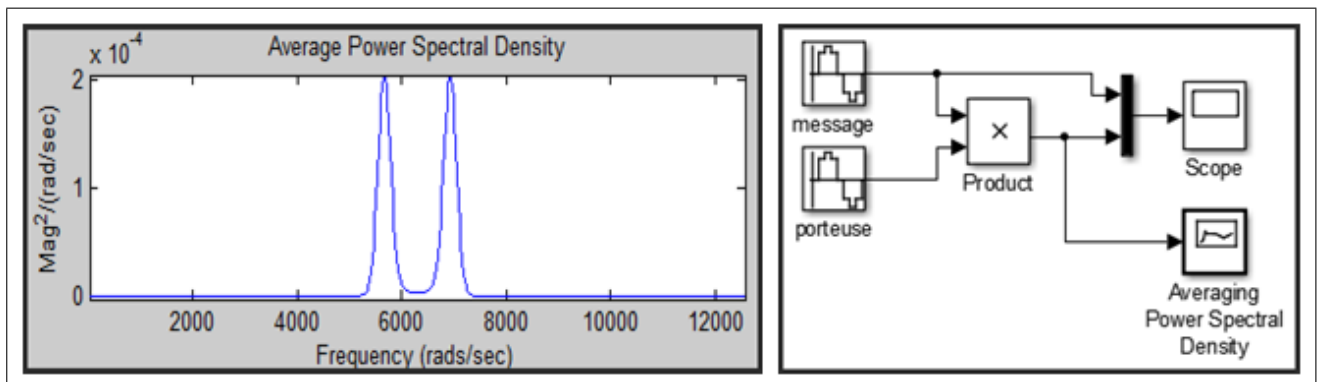


Figure : Spectre d'amplitude et leur shemas équivalent en Matlab

Afin de déterminer $s(t)$, il faut le décomposer en une somme des signaux sinusoïdaux pour déterminé les raies de spectre :

$$s(t) = p(t).m(t) = \cos(2\pi f_0 t) \cdot A \cos(2\pi f_m t) = A/2 \cos[2\pi(f_0 + f_m)t] + A/2 \cos[2\pi(f_0 - f_m)t]$$

» Donc le spectre d'amplitude de $s(t)$ se compose alors de deux raies symétriques par rapport a $f_0 = 1000Hz$, situées en $(f_0 + f_m)$ et $(f_0 - f_m)$,il n'y a pas de raie de fréquence f_0 d'ou l'appellation Double Bande Sans Porteuse.

Maintenant on va faire la demodulation par detection synchrone à l'aide d'un deuxième multiplieur suivi d'un filtre pass bas.

» Le filtre passe bas sera un filtre du deuxieme ordre de type RLC : la fonction de transfert complexe d'un filtre passe bas s'écrit sous la forme :

$$T(j\omega) = \frac{1}{(j\frac{\omega}{\omega_0})^2 + 2j\frac{\omega}{\omega_0} + 1} = \frac{1}{(\frac{\omega}{\omega_0})^2 + (\frac{2m}{\omega_0})\frac{\omega}{\omega_0} + 1} \text{ avec } s = j\omega$$

On va prendre la fréquence de coupure de filtre $\omega_0 = 2\omega_B F = 2 \times 2\pi f_m = 1256 \text{ rad/s}$ avec $f_m = 100 \text{ Hz}$ pour obtenir juste notre signale originale a la fin de simulation.

Alors pour représenter cette fonction de transfert sur matlab il faut déterminer les coefficients dans le numérateur et le dénominateur donc depuis la fonction de transfert et notre fréquence de coupure on obtient :

$$COE1 = \left(\frac{1}{w_0^2}\right) = 6.339 \cdot 10^{-7} \text{ et } COE2 = \left(\frac{2m}{w_0}\right) = 7.165 \cdot 10^{-4} \text{ et } COE1 = 1 \text{ avec } m = \frac{1}{2Q} \text{ et } Q = \frac{L \cdot W_0}{R}$$

On prend un filtre RLC de facteur de qualité égale à 0.45 $m=0.45$ on peut tracer maintenant notre diagramme de bode pour ce filtre à l'aide de ses coefficients et les fonction bode(tf) et tf(num,den).

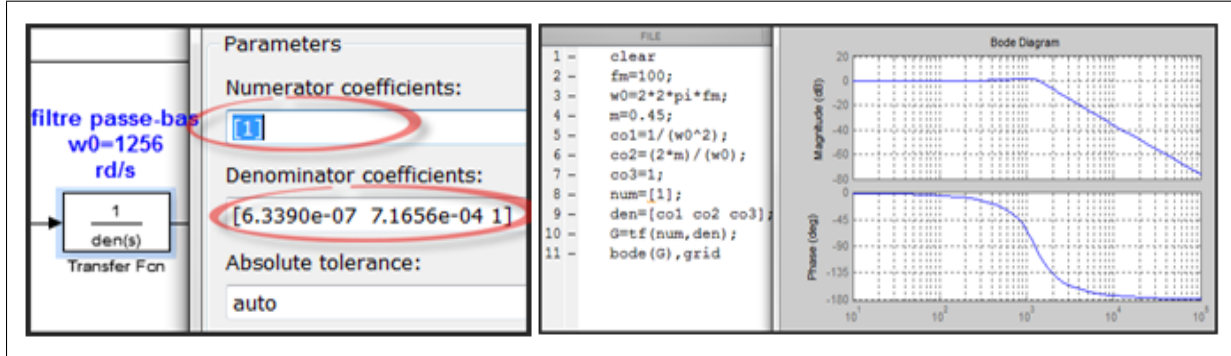


Figure : Construction d'une fonction de transfert et représentation le diagramme de bode en Matlab

notre shemas de demodulation sur matlab est comme ça :

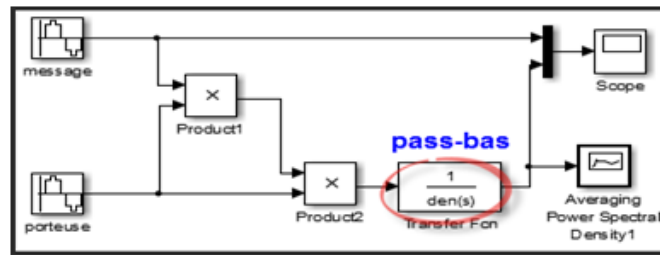


Figure : Shemas de démodulation du signale s(t)

Le principe de demodulation de signale s(t) est de multiplier de deux fois a la porteuse et puis faire un filtrage de base frequence pour supprimé les HF puit on obtien notre signale originale

$$v(t) = s(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) = m(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$v(t) = m(t) \cdot [1/2](1 + \cos(4\pi f_0 t)) = [1/2] \cdot m(t) + [1/2] \cdot m(t) \cos(4\pi f_0 t)$$

Après le filtrage passe bas de v(t), on obtient le signal démodulé :

$$m'(t) = \frac{1}{2} m(t)$$

Les signaux modulant et démodulés relevé à partir du scope :

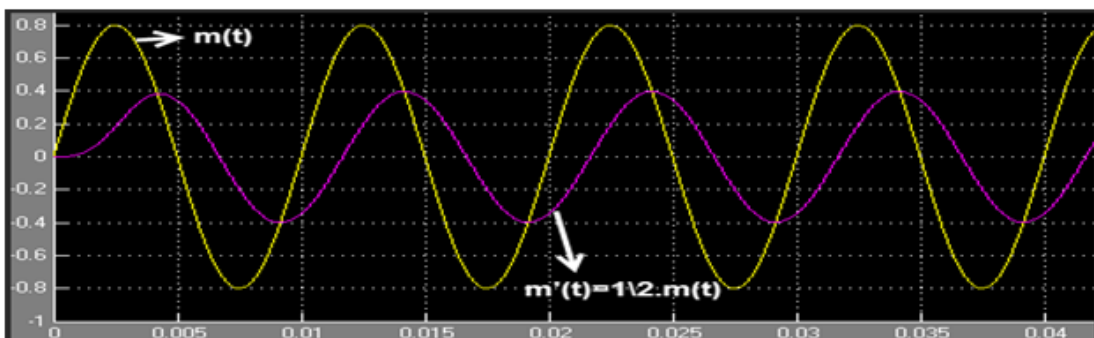


Figure : Signale démodule et signal modulant a partir du scope

On peut multiplier $m'(t)$ fois 2 pour avoir la meme amplitude de message originale $m(t)$:

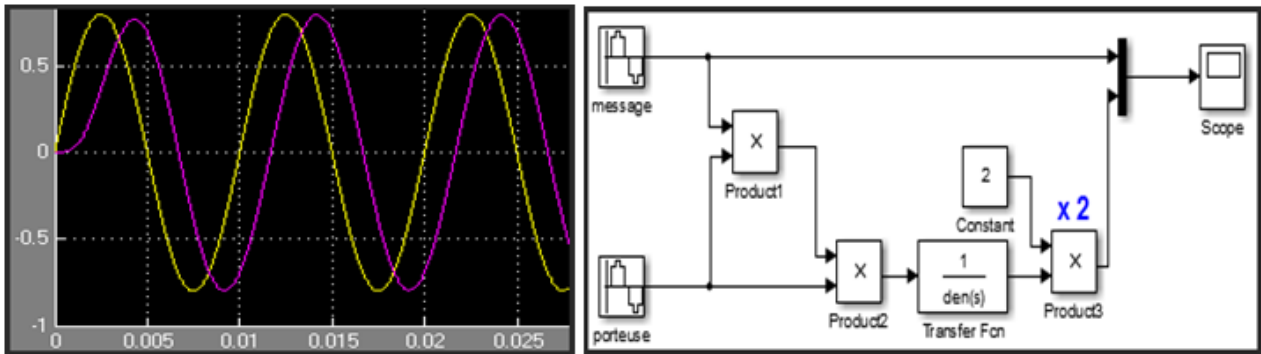


Figure : Amplification du signal modulant $m'(t)$

3.9.2 Filtre passe-bande – la modulation d’un signal :

En modulation AM double bande, avec ou sans porteuse, le spectre du signal modulé présente deux Bandes latérales symétriques autour de la fréquence de la porteuse. Ces deux bandes latérales se Déduisent l’une de l’autre, donc elles contiennent chacune la même information. Il y a donc un gaspillage de la Puissance de l’émetteur et de la bande passante du canal de transmission.

La Principe de la modulation AM a bande latérale unique (BLU) : supprimer l’une des deux bandes Latérales du signal transmis pour une meilleure exploitation de la puissance et de la bande passante.

Donc pour la génération du signal BLU en utilise cette shema la a l’aide d’un filtre passe-bande :

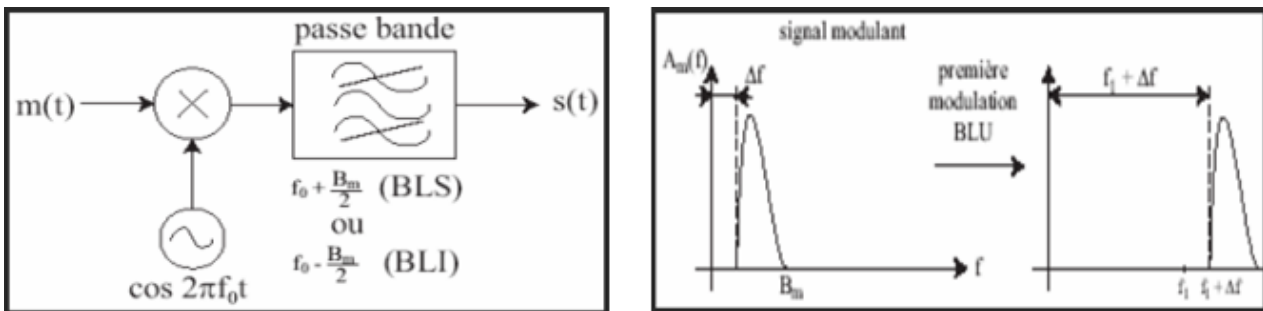


Figure :

Problème posé par cette méthode : réalisation d’un filtre passe-bande avec une coupure nette en f_0 .

En pratique, on supprime les fréquences du signal modulant comprises dans un intervalle $[0 - \Delta f]$ a l’aide d’un filtre passe bande avant d’effectuer la modulation.

Alors Notre but de cette simulation avec Matlab c’est de faire la génération d’un signale BLU a l’aide d’un filtre passe-bande.

soit un signale sinusoïdal HF $p(t) = \cos(2\pi f_0 t)$ Et un message $m(t) = \cos(2\pi B_m t)$ avec $S(t)$ avant le filtrage égale a : $s(t) = A/2 \cos[2\pi(f_0 + B_m)t] + (A/2) \cos[2\pi(f_0 - B_m)t]$
Avec $f_0 = 1000Hz - B_m = 200Hz - \Delta f = 100 Hz$ on obtient la résultat sur le scope :

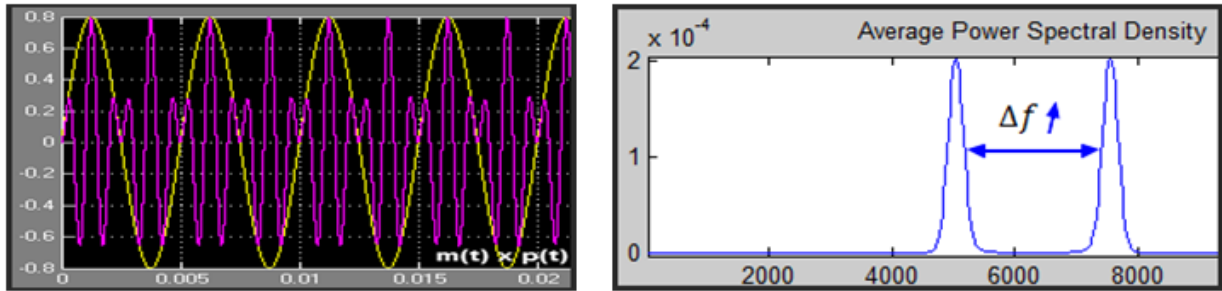


Figure : Bla Bla

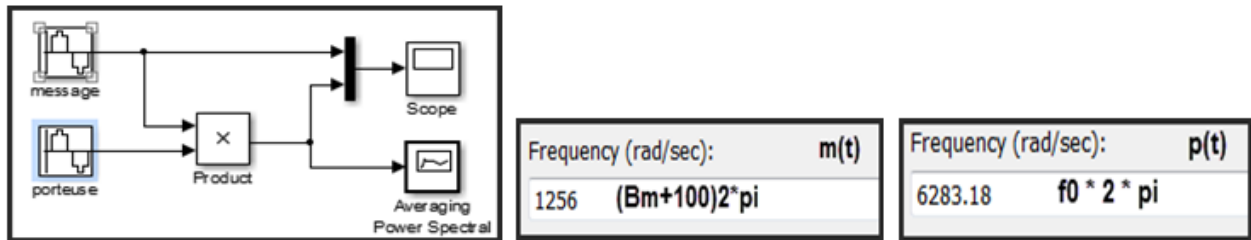


Figure :

Après on va faire un filtrage passe bande à la base latérale supérieure pour obtenir notre signal BLU :

$$s(t) = (A/2)\cos[2\pi(f_0 + B_m)t]$$

Le filtre passe bande sera un filtre du deuxième ordre de type RLC : la fonction de transfert complexe d'un filtre passe bande s'écrit sous la forme :

$$T(j\omega) = \frac{j\omega R}{j\omega R + (jL\omega)^2 + 1} = \frac{cR.S}{(L.c)^2 S^2 + (c.R) S + 1} \text{ avec } s = j\omega$$

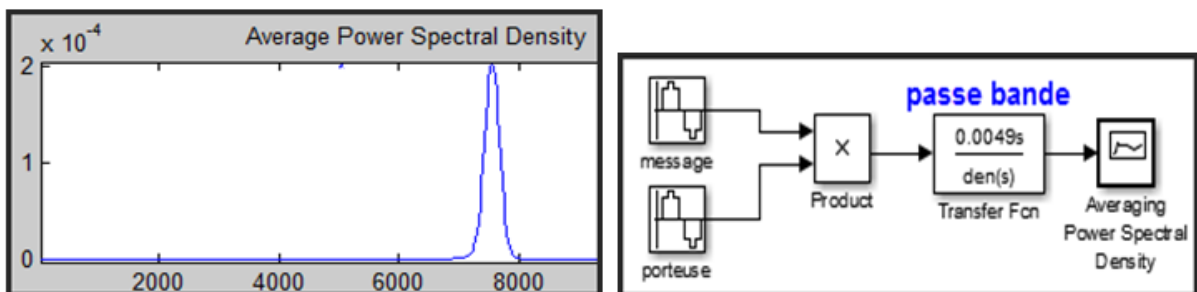


Figure :

La démodulation d'un signal BLU se fait par démodulation cohérente :

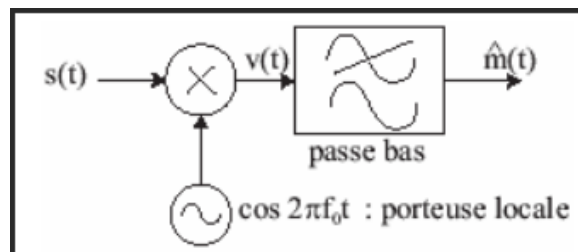


Figure :

Pour un signal BLU $s(t) = A \cos(2\pi(f_0 + B_m)t)$, on a :

$$v(t) = s(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$v(t) = A_m \cos(2\pi(f_0 + B_m)t) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$v(t) = \frac{A_m}{2} [\cos(2\pi(2f_0 + B_m)t) + \cos(2\pi(B_m)t)]$$

Après filtrage passe-bas, on obtient le signal démodulé :

$$m'(t) = \frac{A_m}{2} \cos(2\pi B_m t) = \frac{1}{2} m(t)$$

3.10 Application Sur Les Filtres

3.10.1 I-la modulation et démodulation d'un signal à l'aide d'un filtre passe bas et filtre passe haut :

Parmi les applications les plus simple pour les filtres passe bas et passe haut on trouve la modulation et démodulation alors La méthode la plus simple de transposition est la modulation d'amplitude noté AM c'est la méthode utilisé pour les premières transmissions radio dans les années 1920.

Il y a 3 types essentiels de modulation d'amplitude :

1. AM Double Bande Sans Porteuse
2. AM Double Bande Avec Porteuse
3. AM Bande Latérale Unique

Notre but de cette simulation avec Matlab c'est de faire un modulation AM DBAP après faire la démodulation à l'aide d'un filtre passe-bas et passe haut .

LA Modulation AM DBAP :

Principe :

soit un signale sinusoïdal haute fréquence $p(t) = A \cdot \cos(2\pi f_0 t)$, appelée porteuse. Et un message sinusoïdale $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$, le signal AM DBAP s'écrit sous la forme :

$$s(t) = (A + m(t)) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$s(t) = (A + A_m \cos(2\pi f_m t)) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$s(t) = A(1 + k \cdot \cos(2\pi f_m t)) \cdot \cos(2\pi f_0 t)$$

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_0 t) + \frac{k \cdot A}{2} \cdot \cos(2\pi(f_0 - f_m)t) + \frac{k \cdot A}{2} \cdot \cos(2\pi(f_0 + f_m)t)$$

D'après l'équation $s(t)$ on peut constater que le spectre du signal AM DBAP possède donc une raie d'amplitude AP à la fréquence f_0 de la porteuse et deux raies latérales d'amplitude $kAP/2$ aux fréquences $f_0 - f_m$ et $f_0 + f_m$

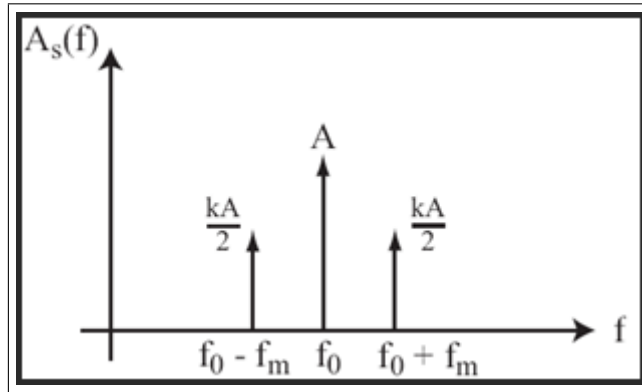


Figure : Spectre de signale AM DBAP

» **La génération d'un signal AM DBAP :**

Il ya deux méthode pour générer un signal AM DBAP il y a la méthode direct et l'utilisation de non linéarité nous avon s'intéresse ici juste par la méthode direct donc voila notre schéma pour générer notre signale .

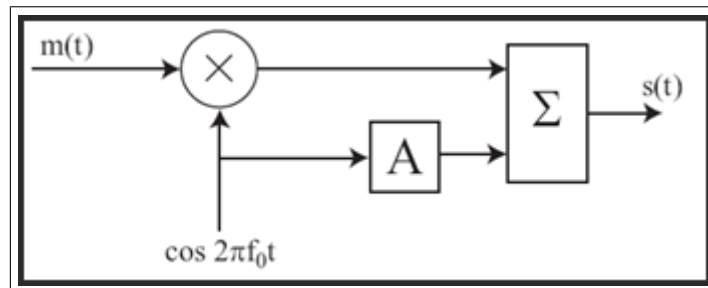


Figure : Méthode de génération du signale AM DBAP

Maintenant on va la simuler sous Matlab :

on prend $p(t) = A \cdot \cos(2\pi f_0 t)$ et $m(t) = A_m \cdot \cos(2\pi f_m t)$ avec $A = 2$ et $A_m = 0.8$ et $f_0 = 1400 Hz$

Ici le signale modulé $s(t)$ AM DBAP que l'on peut envoyer par une chaine de transmission a un destinataire :

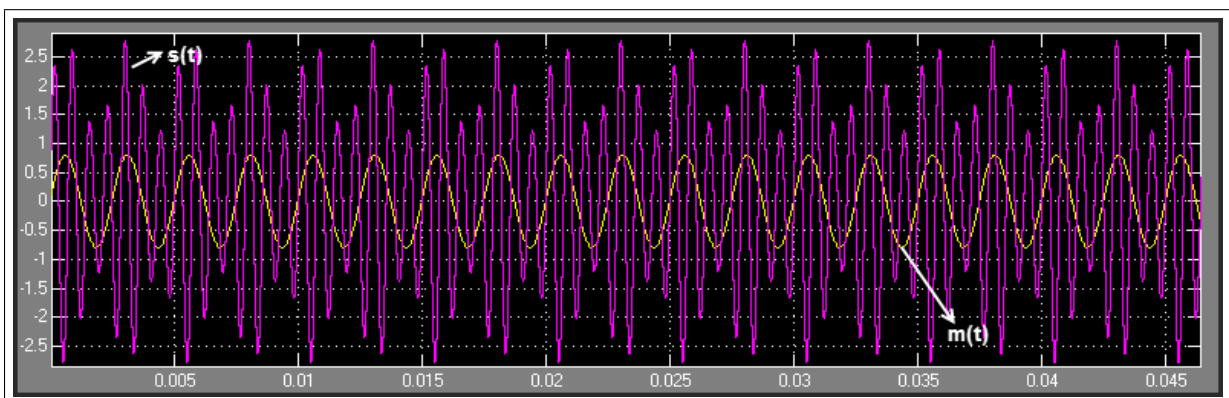


Figure : résultat fournis par le scope

Si on veut Le spectre en amplitude on peut le fournir par l'outil "Power Spectral Density" :

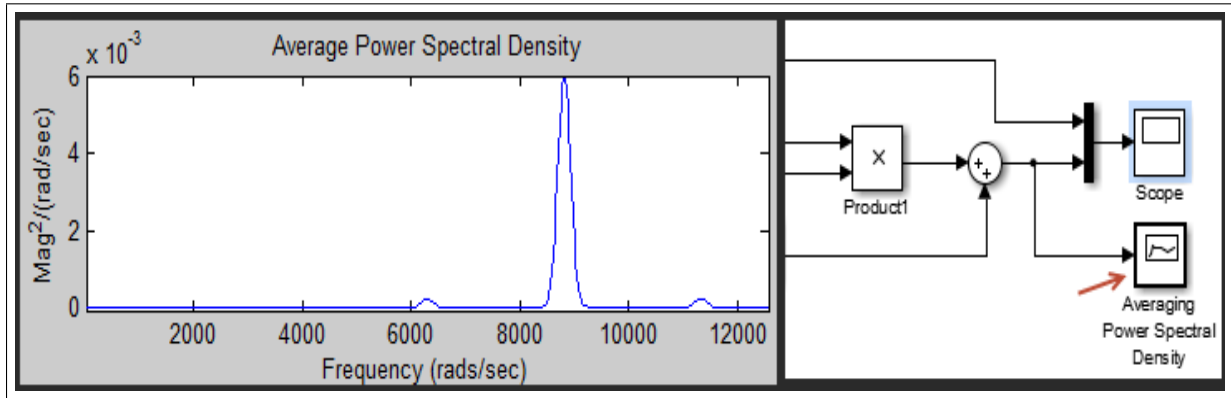


Figure : « Outil Averaging Power Spectral Density »

la démodulation par détection synchrone :

Les étapes de démodulation de notre signal AM DBAP :

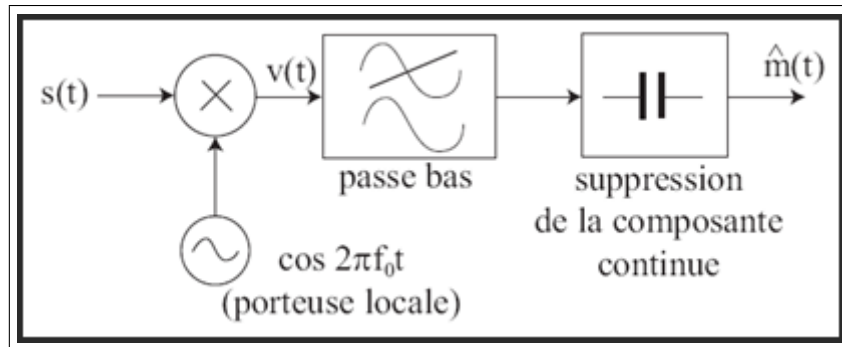


Figure : Schéma de démodulation par détection synchrone

1) 1ère étape on va multiplier notre signal AM DBAP par la porteuse locale :

$$\begin{aligned}
 v(t) &= s(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) \\
 v(t) &= A(1 + k \cos(2\pi f_m t)) \cos^2(2\pi f_0 t) \\
 v(t) &= \frac{A}{2} (1 + k \cos(2\pi f_m t))(1 + \cos(4\pi f_0 t)) \\
 v(t) &= \left(\frac{A}{2} + \frac{m(t)}{2}\right)(1 + \cos(4\pi f_0 t)) \\
 v(t) &= \frac{A}{2} + \frac{A}{2} \cos(4\pi f_0 t) + \frac{m(t)}{2} + \frac{m(t)}{2} \cos(4\pi f_0 t)
 \end{aligned}$$

2) 2ème étape filtrage passe-bas :

$$m'(t) = \frac{m(t)}{2} + \frac{A}{2}$$

3) 3ème étape la suppression de la composante continue $A/2$ par un filtre passe haut pour obtenir finalement notre signal divisé sur deux.

$$m''(t) = \frac{m(t)}{2}$$

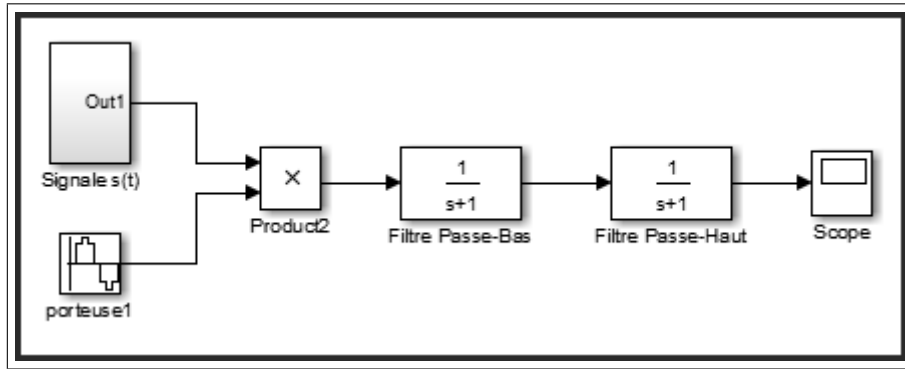


Figure : Schéma synoptique sur les étape de démodulation

Le filtre passe bas sera un filtre du deuxième ordre La fonction de transfert complexe d'un filtre passe bas s'écrit sous la forme :

$$T(j\omega) = \frac{1}{(j\frac{\omega}{\omega_0})^2 + 2jm(\frac{\omega}{\omega_0}) + 1} = \frac{1}{(\frac{1}{\omega_0^2})S^2 + (\frac{2m}{\omega_0})S + 1} \text{ Avec } S = j\omega$$

On va prendre la fréquence de coupure de filtre $\omega_0 = 2\omega_{BF} = 1.4 * 2\pi f_m = 3518 \text{ rad/s}$ avec $f_m = 400 \text{ Hz}$ pour obtenir juste notre signal originale a la fin de simulation.

La représentation de cette fonction de transfert sur matlab il faut que je détermine les coefficients dans le numérateur et le dénominateur donc depuis la fonction de transfert et notre fréquence de coupure on obtient :

$$\text{COE1} = \left(\frac{1}{\omega_0^2}\right) = 8.0799.E - 08 \text{ et } \text{COE2} = \left(\frac{2m}{\omega_0}\right) = 3.4110.E - 04 \text{ et } \text{COE3} = 1 \text{ avec } m = \frac{1}{2Q} \text{ et } Q = \frac{L\omega_0}{R}$$

On prend un filtre RLC de facteur de qualité égale à 0.6 $\rightarrow m=0.6$

on peut tracer maintenant notre diagramme de bode pour ce filtre à l'aide de ses coefficients et les fonction `bode(tf)` et `tf(num,den)`.

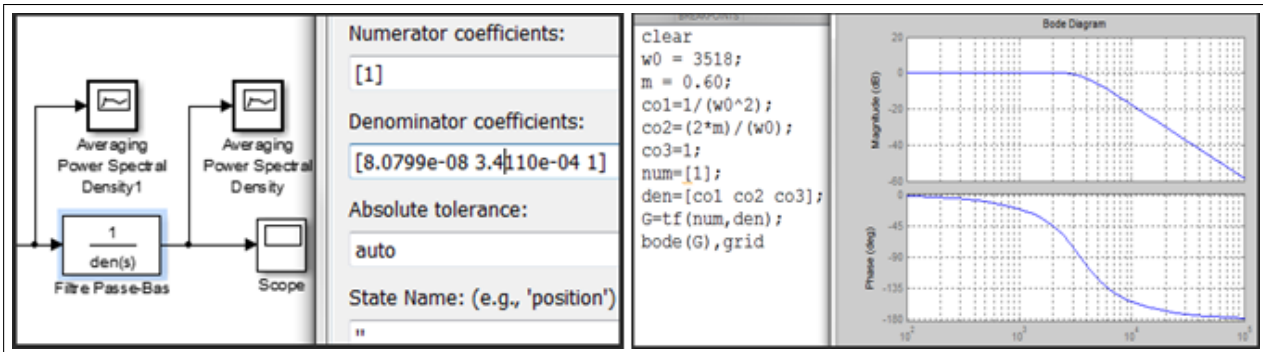


Figure : Diagramme de Bode sur Matlab - Filtre passe bas

Le spectre de signal avant et après le filtrage passe bas :

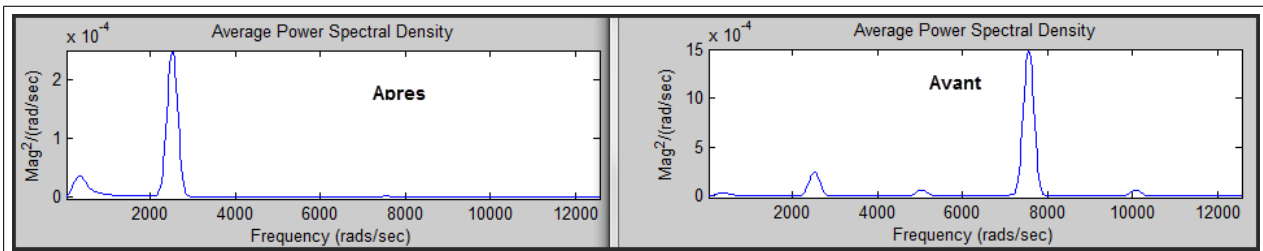


Figure :spectre de signal avant et après le filtrage passe - bas

On remarque que tous les raies supérieure de notre fréquence de coupure a été disparu Nous avons obtenu seulement la composante continue et le raie de $m(t)/2$, notre signale après le filtrage passe bas :

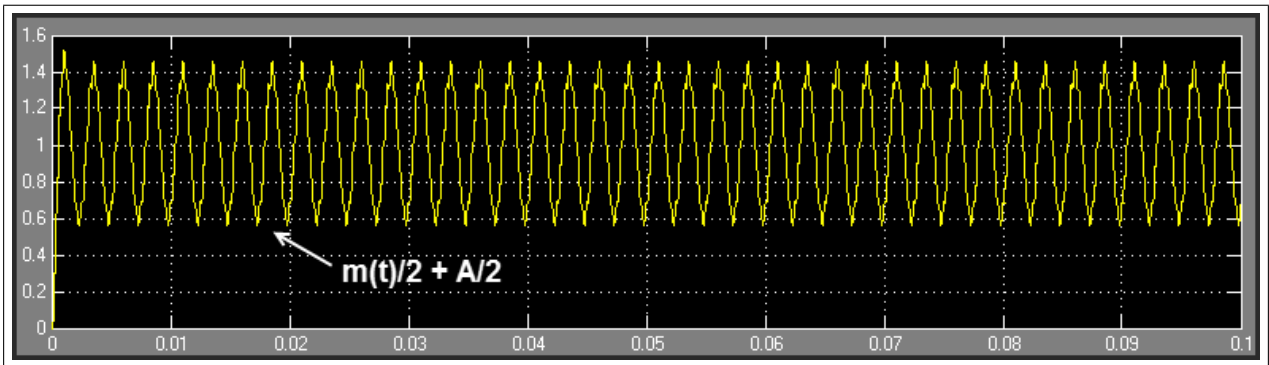


Figure : résultat fournis par le scope

L'étape suivante c'est de supprimer la composante continu $A/2$ a l'aide d'un filtre passe haut :

Le filtre passe haut sera un filtre du deuxième ordre la fonction de transfert complexe d'un filtre passe haut s'écrit sous la forme :

$$T(j\omega) = \frac{(j \frac{\omega}{\omega_0})^2}{(j \frac{\omega}{\omega_0})^2 + 2jm(\frac{\omega}{\omega_0}) + 1} = \frac{(\frac{1}{\omega_0^2})S^2}{(\frac{1}{\omega_0^2})S^2 + (\frac{2m}{\omega_0})S + 1} \text{ Avec } S = j\omega$$

On va prendre la fréquence de coupure de filtre $\omega_0 = 0.5\omega_{BF} = 0.5 * 2\pi f_m = 1256 \text{ rad/s}$ avec $f_m = 400 \text{ Hz}$ pour obtenir juste notre signale originale a la fin de simulation.

les coefficients dans le numérateur et le dénominateur de fonction de transfert sont :

$$\text{COE1} = \left(\frac{1}{\omega_0^2}\right) = 6.3390E - 07 \mid \text{COE2} = \left(\frac{1}{\omega_0^2}\right) = 6.3390E - 07 \mid \text{COE3} = \left(\frac{2m}{\omega_0}\right) = 9.5541E - 04 \mid \text{COE4} = 1$$

On prend un filtre RLC de facteur d'amortissement égale à $m = 0.6$.

» Traçage de diagramme de bode pour ce filtre passe haut à l'aide de ses coefficients et les fonction `bode(tf)` et `tf(num,den)` sous matlab.

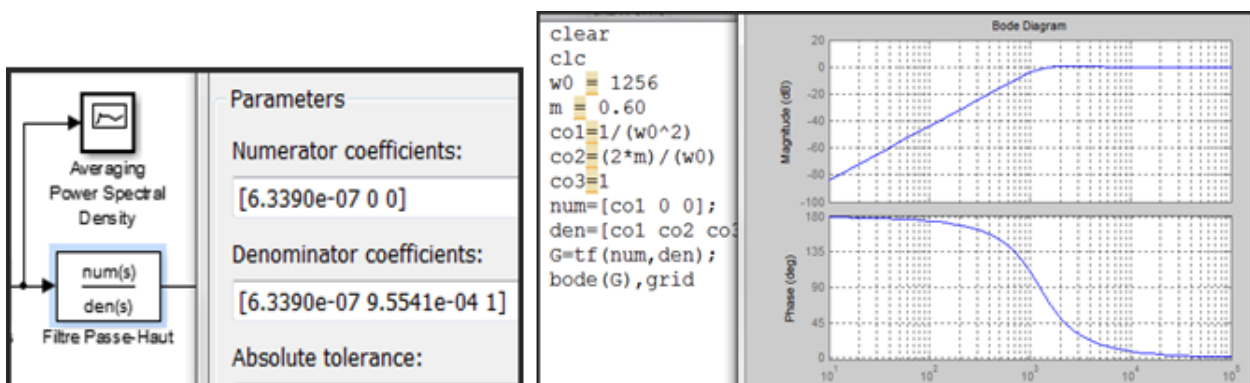


Figure : Diagramme de Bode sur Matlab - Filtre passe Haut

» Le spectre de signale avant et après le filtrage passe - haut :

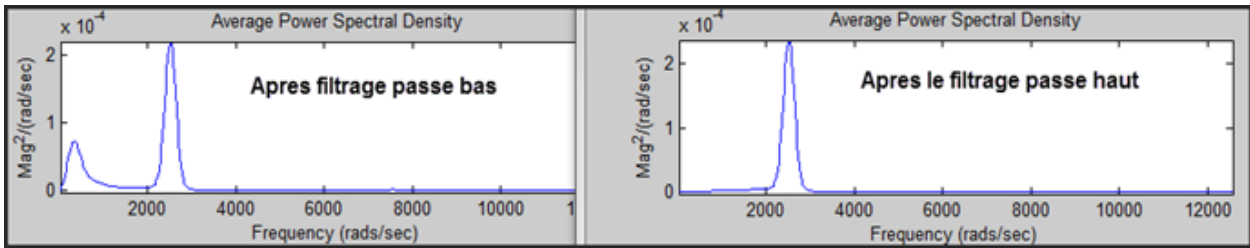


Figure : spectre de signal avant et après le filtrage passe - haut

On remarque que la composante continue est disparu dans le spectre après le filtrage passe haut.

Notre signale sur l'outil scope :

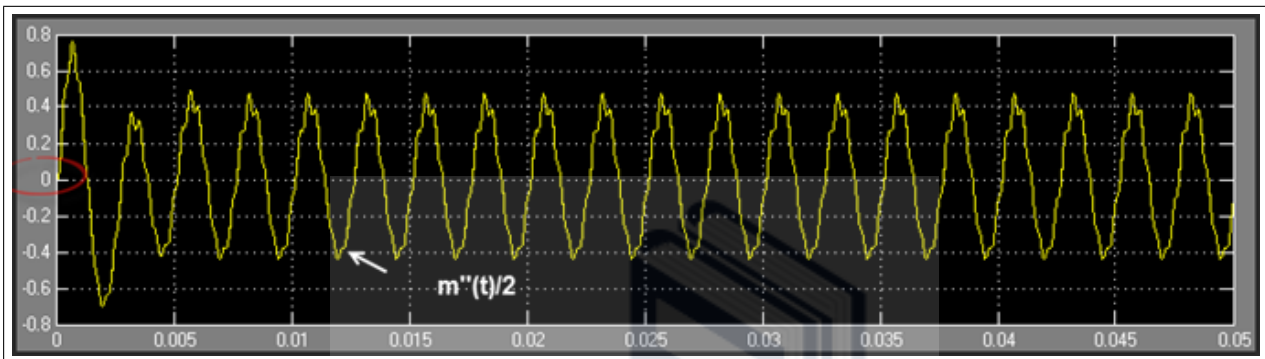


Figure : résultat fournis par le scope de $m''(t)$

» Après le filtrage on constate que notre signale est un petit peu déformable que l'original cela ce traduit qu'il ya des raie indésirable dans les hautes fréquences a des amplitude très faible qui déforme notre signale c'est pour cela il faut faire une deuxième filtrage passe bas pour lisser notre signale .

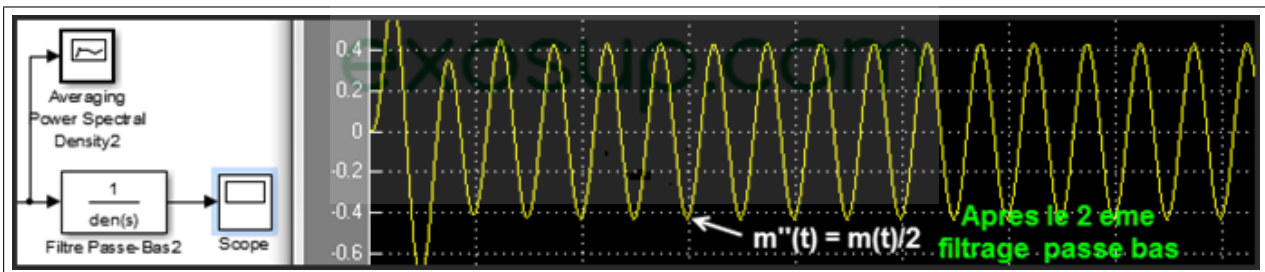


Figure : résultat fournis par le scope de $m''(t)$ après le filtrage

» Comme conclusion notre schéma finale sur Matlab il est comme cela :

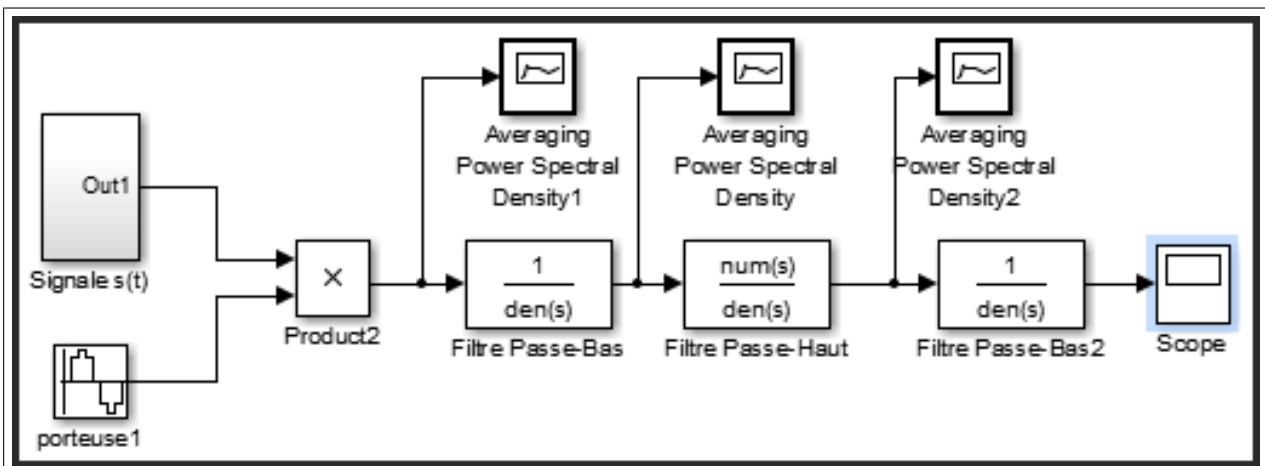


Figure : Schéma Finale sur Matlab

» Notre signale est divisé sur deux on va multiplier fois deux pour retourner a notre signale originale $m(t)$:

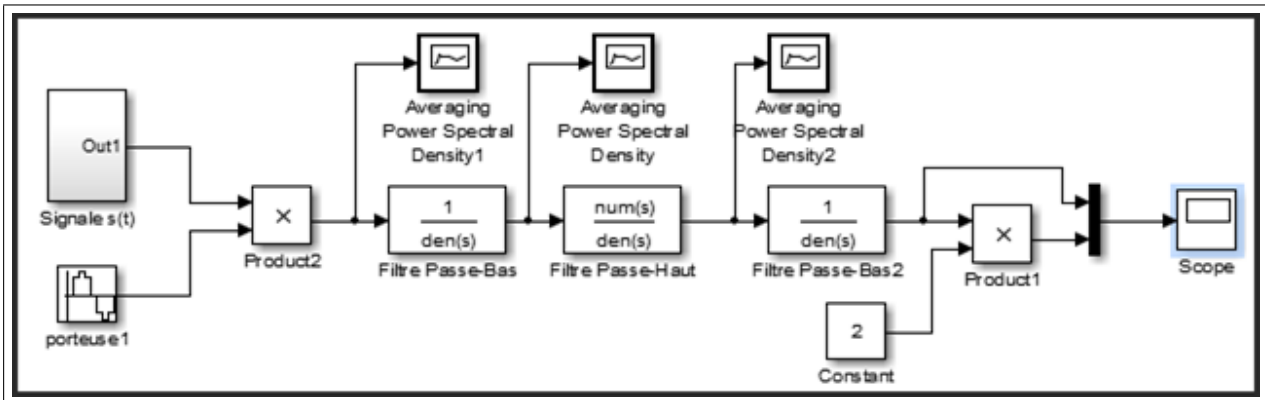


Figure : Schéma Finale sur Matlab après l'amplification fois 2

Resultat Finale fournit par le scope :

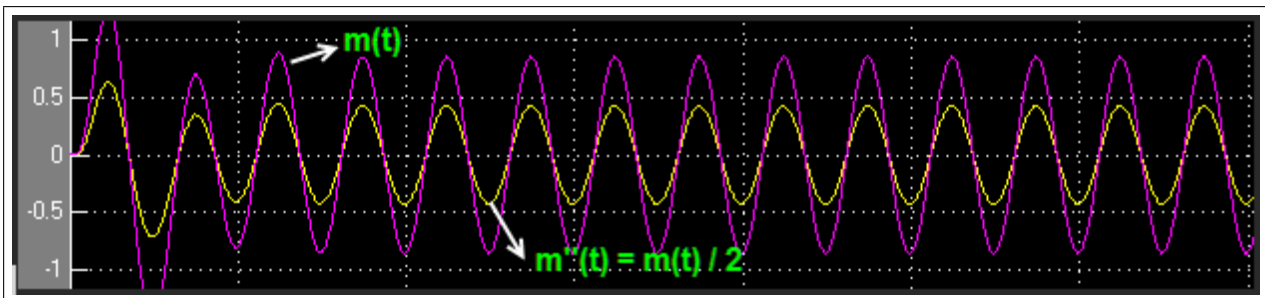


Figure : résultat fournis par le scope

3.10.2 II-Principes de l'émission-réception radio AM :

» Un signal audio-fréquence peut être transmis par modulation d'amplitude AM ou modulation de fréquence. La modulation est appliquée à un signal de haute fréquence qu'on appelle porteuse.
 » A la réception, le signal haute-fréquence est démodulé : la porteuse est éliminée, seul le signal audio est gardé et amplifié.

Alors On constate que il faut séparer le fonctionnement des radios AM en 2 parties : l'émetteur et le récepteur.

L'émetteur :

» L'émetteur est composée de 3 parties principales :

1. Le signal à transmettre de basse fréquence $[F_1; F_2]$ (20Hz à 25kHz fréquences des sons audible par l'homme)
2. Le multiplicateur ou modulateur : ce composant multiplie le signal modulant par la porteuse (un signal de haute fréquence f_0) pour avoir un signal de haute fréquence qui contient l'information.
3. L'antenne qui convertit le signal modulé en ondes électromagnétiques.

Le fonctionnement :

Le signal a transmettre (un son) est ajoute a une composante continue (pour éviter la sur-modulation), on obtient alors le signal modulant. Ensuite on multiplie ce signal avec la porteuse pour obtenir un signal module Le modulateur fait varier l'amplitude de la porteuse en fonction du signal de modulant La frequence de la porteuse est fixe pour chaque radio et elle est générée par un circuit RLC .

Signal de modulant, il est de la forme :

$$m(t) = A + A_m \cos(2.\pi.f_0.t) \text{ avec } f_0 = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$$

Le signal modulé, il est de la forme :

$$s(t) = m(t).p(t)$$

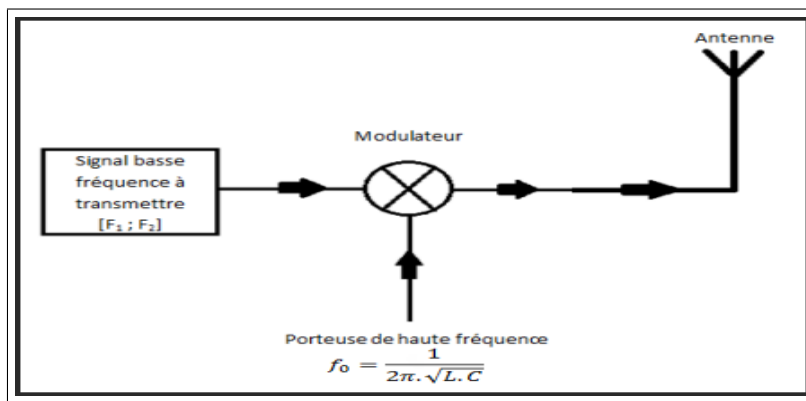


Figure : Shéma synoptique d'un Emeteur

Récepteur :

Le recepteur est compose de 5 parties ses partie sont de blocs fonctionnels connectés en cascade alors il faut réaliser un montage récepteur, démodulateur et amplificateur de signaux radio en AM.

Ces blocs fonctionnels sont :

1. Antenne
2. Un filtre passe bande en entrée, un bloc de réception et de sélection de fréquences constitué d'une circuit sélectif qui permet de sélectionnée une plage précise de fréquences.
3. Un amplificateur est nécessaire pour rendre le signal (porteuse + signale modulant) a son état originale.
4. Un demodulation permet de lire l'information contenu dans le signal modulé .

Le fonctionnement :

L'antenne recoit et convertit les ondes de l'atmosphere en signal électrique on a Chaque station de radio émet sur une fréquence de porteuse bien déterminée. le filtre passe bande permet de choisir la porteuse qu'on desire demoduler Le filtre doit donc posséder une certaine forme de sélectivité parmi les circuits sélectifs on trouve le circuit RLC L'impédance de ce circuit est très faible a une petite plage centrée sur une valeur particulière qui s'appelle la fréquence de résonance du circuit RLC caractérisé par cette formule :

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

Nous avons dit que la puissance du signal subit une décroissance exponentielle selon la distance traversée par l'onde électromagnétique alors ce dernier a besoin d'une amplification après cette étape on trouve la démodulation pour obtenir une copie du signal audio original.

D'autre façon parmi les choses importantes et la sélectivité d'un filtre ou bien d'un circuit sélectif dans un récepteur AM on parle directement de son facteur de qualité ce dernier dans un circuit RLC est égal à :

$$Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{\omega_0}{\omega_2 - \omega_1}$$

donc Plus le facteur de qualité est élevé, plus la bande passante est petite, et plus la résonance est "piquée" donc Le facteur de qualité permet de quantifier la "qualité d'un filtre" plus Q est élevé, plus le filtre est sélectif donc Le facteur de qualité a un rôle assez très important dans la réception AM comme exemple une station radio A module à 600KHz et station B à 610KHz. Est-ce que notre circuit serait capable d'amplifier seulement 600KHz est-ce que son Q est assez élevé ?

Remarque : un circuit sélectif est équivalent d'un filtre passe bande permet de sélectionner une plage de fréquences par exemple : circuit LC , circuit RLC ...

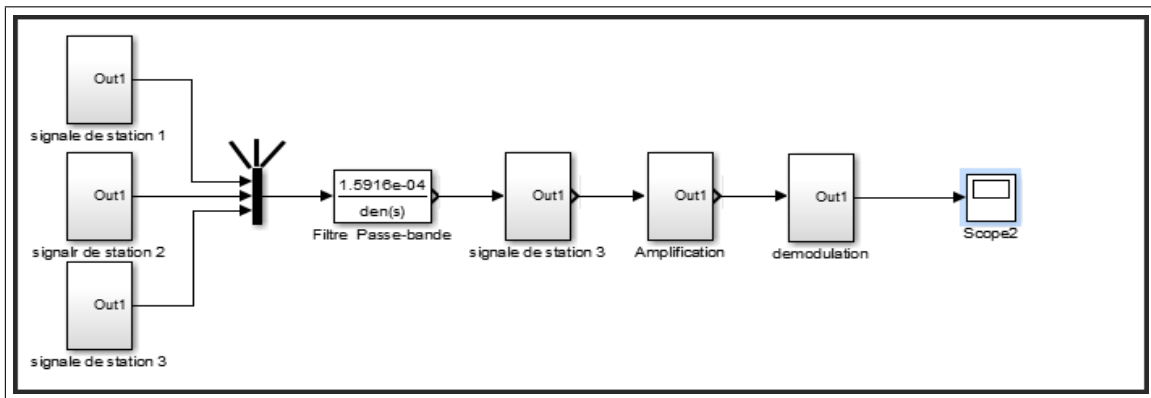


Figure : Schéma synoptique d'un récepteur

Quatrième partie

LES TRANSFORMATEURS

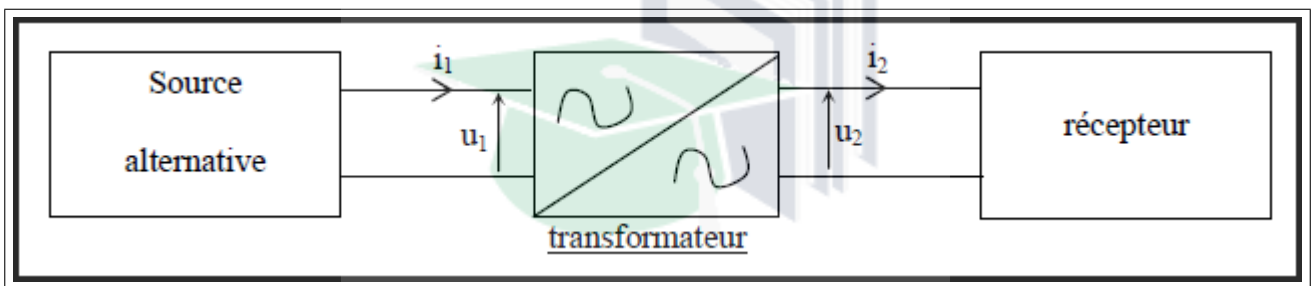
Chapitre 4

LES TRANSFORMATEURS

4.1 Le transformateur :

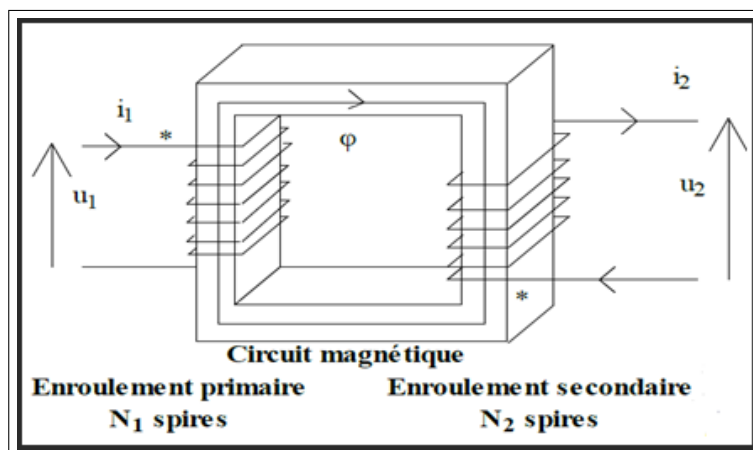
4.1.1 Présentation :

Le transformateur est une machine électrique statique qui permet de modifier, en alternatif, l'amplitude de certaines grandeurs (tension et courant) sans changer leur fréquence. Il assure la transmission de puissance avec un excellent rendement.



4.1.2 Constitution :

Il est constitué de deux enroulements de fil de cuivre indépendants comportant N_1 spires au primaire et N_2 au secondaire (récepteur). les deux enroulements sont isolés électriquement, mais magnétiquement couplés par le flux φ . En résumé, le transformateur est un appareil statique qui permet de disposer au secondaire d'une tension alternative sinusoïdale de même fréquence mais de valeur efficace différente.

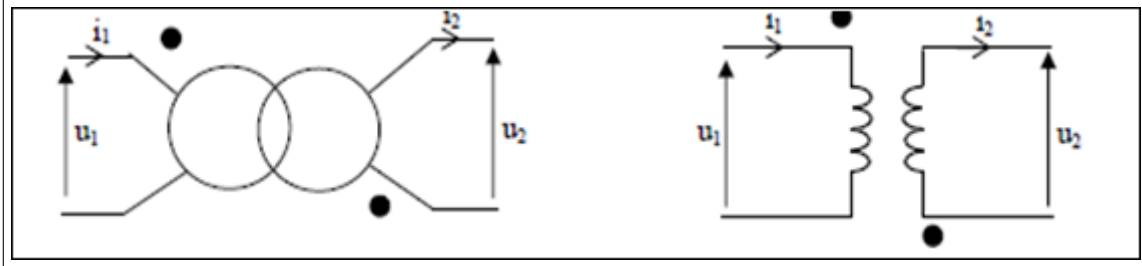


$U_2 > U_1$: le transformateur est dit « Elévateur » , ou survolteur.

$U_2 < U_1$: le transformateur est dit « Abaisseur » , ou dévolteur .

$U_2 < U_1$: le transformateur est dit « Isolateur ».

4.1.3 Symbole et convention :



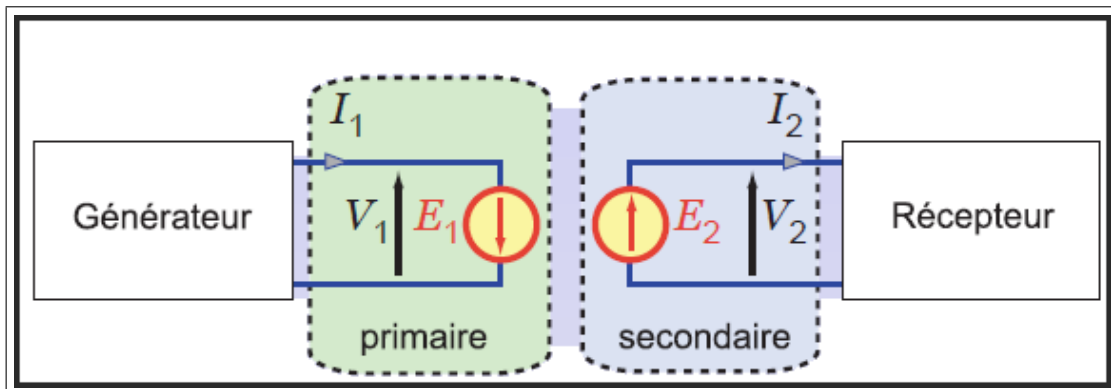
Les bornes sont homologues, repérées par des points sur le schéma, si i_1 entrant par l'une et i_2 entrant par l'autre créent dans le circuit magnétique des champs magnétiques de même sens.

4.2 Transformateur parfait en sinusoïdal :

4.2.1 Définition :

Un transformateur parfait, ou idéal, est un transformateur dans lequel il n'y a aucune perte.

4.2.2 relation entre les tensions :



$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{e_2}{e_1} = -\frac{N_2}{N_1} = -m \text{ ou } m \text{ rapport de transformation}$$

En Complexe $\frac{U_2}{U_1} = -m$

En valeur efficace $\frac{U_2}{U_1} = m$

4.2.3 formule de Boucherot :

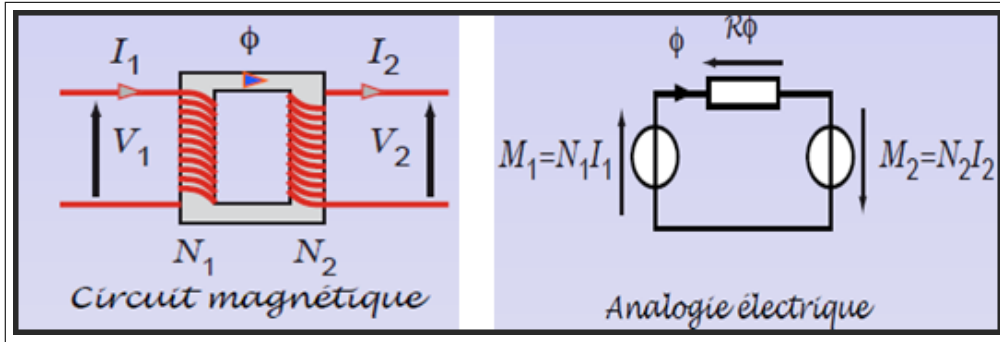
$$E_1 = 4,44N_1B_{max}Sf$$

E_1 : valeur efficace de la fem e1 (V) f : fréquence d'alimentation (Hz)

N_1 : nombre de spire au primaire S : section du circuit magnétique (m^2)

B_{max} : valeur max du champ magnétique dans le circuit (Tesla T)

4.2.4 les intensités :



Électricité	Magnétisme
Force électromotrice E $E = -N \frac{d\phi}{dt}$	Force magnétomotrice M $M = NI$
Courant I conservatif	Flux magnétique ϕ conservatif
Résistance R	Réductance \mathcal{R}
Loi d'Ohm $V = RI$	Loi d'Hopkinson $M = \mathcal{R}\phi$

Les lois des “noeuds” et des “mailles” s’appliquent :

$$N_1 \cdot I_1 - R \cdot \phi + N_2 \cdot I_2 = 0$$

Pas de pertes magnétiques : $R = 0 \Rightarrow R \cdot \phi = 0 \Rightarrow N_1 \cdot I_1 = -N_2 \cdot I_2$

En valeurs efficaces : $\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{m}$

4.2.5 les puissances :

Puissances apparentes : $S_1 = U_1 \cdot I_1 = \frac{U_2}{m} \times m \times I_2 = U_2 \times I_2$ donc $S_1 = S_2$

Puissances actives : d’après la définition du transformateur parfait $P_1 = P_2$

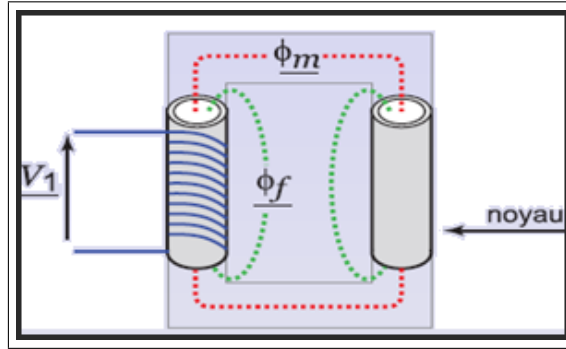
$$\Rightarrow P_1 = S_1 \times \cos(\varphi_1) = S_2 \times \cos(\varphi_2)$$

Puissances réactives : $Q_1 = S_1 \times \sin(\varphi_1) = S_2 \times \sin(\varphi_2)$

4.3 Transformateur réel :

4.3.1 Types de perte pour un transformateur :

- Circuits électriques : elles se produisent dans les résistances R_1 et R_2 des enroulements traversés par les courants i_1 et i_2 : $P_{Joule} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$
- Circuit magnétique : Réductance R du noyau (résistance au flux magnétique)
- Pertes fer (actives) P_{fer} : échauffement à la magnétisation par hystérésis (retard à la magnétisation)
- courants de Foucault
- Pertes de flux (réactives)



Remarque :

- on note tous grandeurs liés à vide par l'indice 0
- Les pertes magnétiques dépendent de V_{10} et f .
- ces pertes se produisent dans le circuit magnétique, dès que le primaire est alimenté.
- Ces pertes se traduisent par une consommation supplémentaire de puissance réactive (comme une inductance pure : l_m) et de puissance active (comme une résistance R_f)

4.3.2 Éssai a vide :

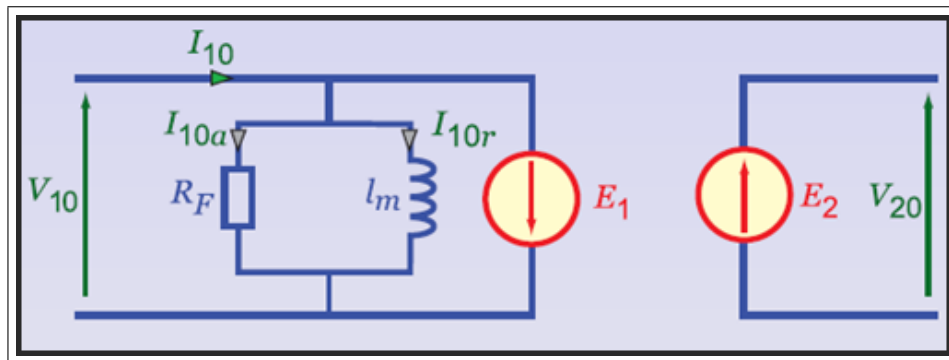


Figure : Éssai a vide

Loi des nœuds : $I_{10} = I_{10a} + I_{10r}$

Loi d'Ohm : $V_{10} = R_f I_{10a} = j l_m \omega I_{10r} \Rightarrow$ alors les grandeurs électrique à vide sont $V_{20}/V_{10} = m$

Les pertes fer sont des puissances actives proportionnelles à V_1

$P_{fer} = P_{10} = V_{10} \cdot I_{10a}$

Les pertes Joule des puissances actives sont proportionnelles à I_2

$P_J = P_{J1} + P_{J2} = 0$

4.3.3 Essai en charge :

Retour à l'analogie électrique magnétique

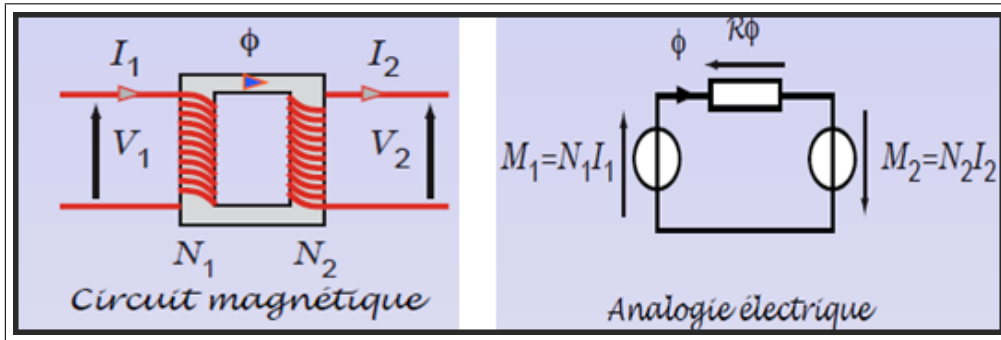


Figure : Essai en charge

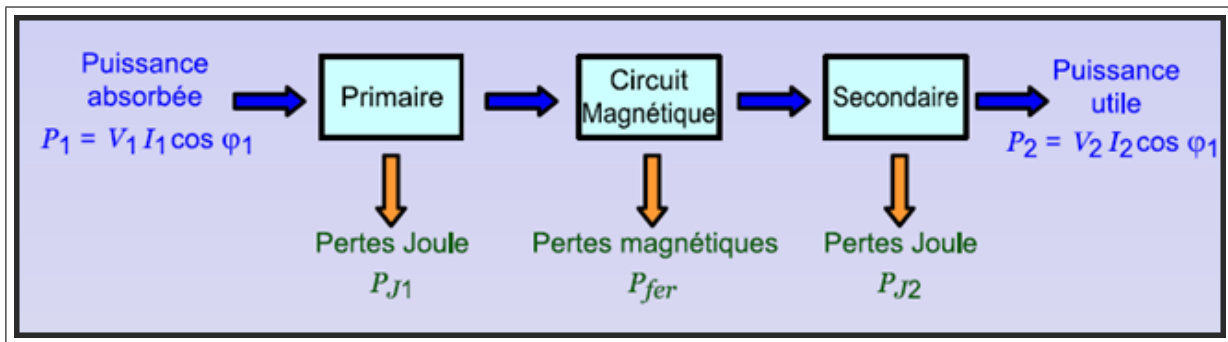
Responsables des pertes : Point de vue magnétique : $R \cdot \phi = N_1 \cdot I_{10}$
 Point de vue électrique : $N_1 \cdot I_1 + N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_{10} \Rightarrow N_2 \cdot I_2 = -N_1 (I_1 - I_{10})$

Concrètement : I_{10}

limite le courant participant au fonctionnement (limite donc I_2)

dégrade l'induction : tend à limiter V_2

4.3.4 Rendement d'un transformateur :



Deux façons existent pour mesurer le rendement d'un transformateur :

Mesure direct $\eta = \frac{P_2}{P_1}$

Mesure des pertes $\eta = \frac{P_1 - P_{fer} - P_{j1} - P_{j2}}{P_1}$

4.4 Application pratique du transformateur à vide puis en charge :

4.4.1 But :

- » Étudier le fonctionnement d'un transformateur à vide puis à charge et le rendement du transformateur en fonction de la charge
- » Pour cette expérience on utilise : Un transformateur démontable (une bobine primaire de 120 spires et une bobine secondaire de 500 spires)
- » Deux voltmètres et deux ampèremètres
- » Un rhéostat

4.4.2 Etude expérimentale :

• Première partie transformateur à vide :

- » On mesure les tensions aux bornes du primaire et du Secondaire à l'aide des deux voltmètres
- » On fera varier la tension appliquée au primaire de 2 à 10 volts par un pas de 2 volts.

On réalise le montage Essai a vide :
 On modifiera la f.e.m. E du générateur B.F.

Dans le cas général, il faudrait explorer toute la gamme des tensions d'entrée jusqu'à la tension nominale du transformateur étudié.
 Ici, on est limité par le générateur B.F.

Pour chaque réglage, on effectuera les mesures suivantes :

- Mettons le secondaire à vide alors et observons :
- On touche le transformateur : il s'échauffe
- Si on mesure : courant primaire I_{10} faible mais non nul
- Le courant I_{10} : existe car la magnétisation n'est pas parfaite : réductance $R \neq 0$ provient uniquement des pertes actives et réactives dans le circuit magnétique est le courant de magnétisation.

$U_1(V)$	2	4	6	8	10
$U_{2lue}(V)$	8,3/10	16,5/30	26,3/30	35/100	44/100
$\Delta U_{2lue}(V)$	0,25	0,75	0,75	2,5	2,5
$U_{2calculé}$	8,33	16,46	24,96	33,28	41,6

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_2 \text{ calculée} = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

$$\Delta U = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$$

Classe de voltmètre = 2,5

La variation de U_2 lue (expérimentale) en fonction de U_1

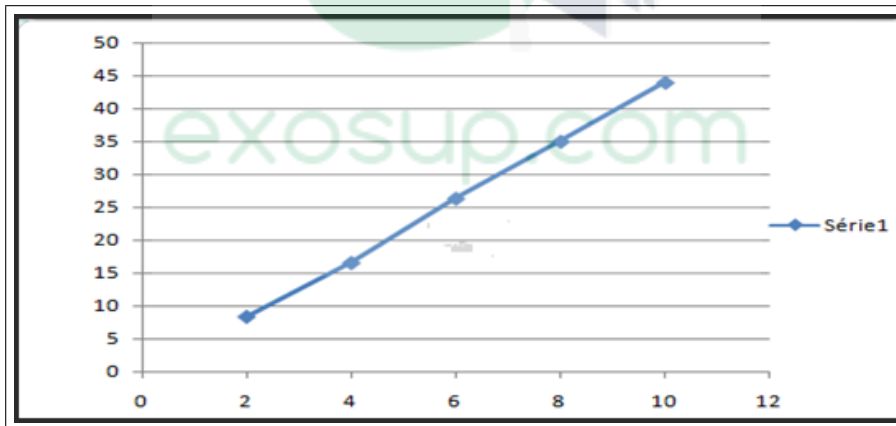


Figure : La variation de U_2 lue (expérimentale) en fonction de U_1

• **Deuxième partie : Transformateur en charge**

On réalise le montage de Essai a charge :

I_2 (mA)	100	150	200	250	300
I_{1lue} (mA)	400/5	500/5	600/5	700/5	750/5
ΔI_1 (mA)	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075
U_2 (V)	26,3/30	26,4/30	28/30	26/30	24/30
ΔU_2 (V)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
U_1 (V)	6,8/10	6,8/10	6,8/10	6,8/10	6,8/10
ΔU_1 (V)	0,25	6,0,25	0,25	0,25	0,25
$I_{1calculé}$ (mA)	416,66	625	833,33	1041,66	1250

variation de i_1 en fonction de i_2 mesurée et calculé :

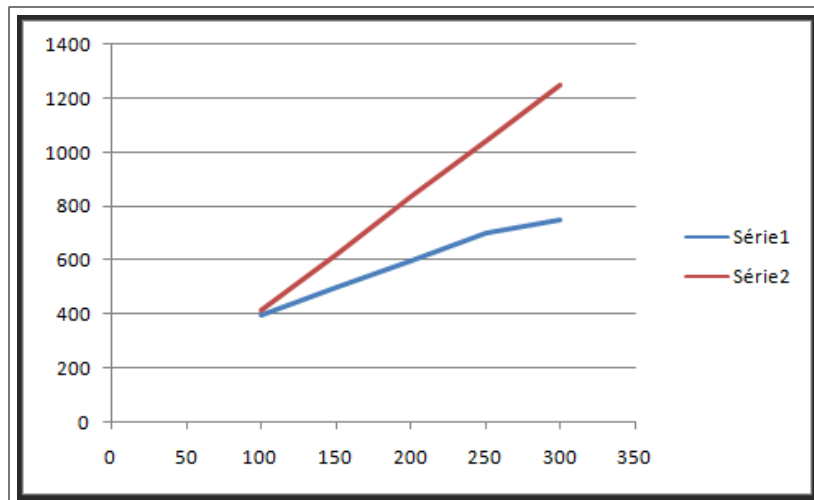
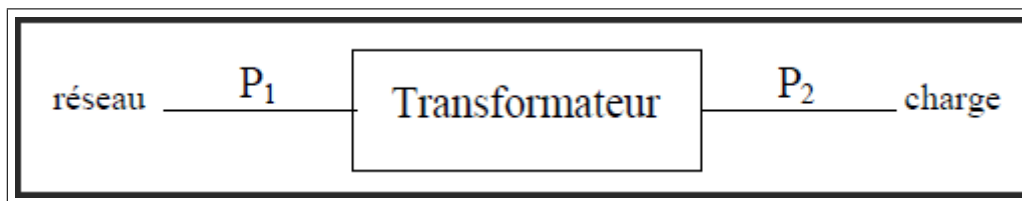


Figure : La variation de i_1 en fonction de i_2 mesurée et calculé

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \quad i_1 \text{ calculé} = \frac{N_2}{N_1} \cdot i_2 \quad \text{et} \quad \Delta I = \frac{\text{classe} \times \text{calibre}}{100}$$

classe d'ampèremètre = 1,5

4.4.3 Rendement du transformateur :



I_2 (mA)	100	150	200	250	300
P_2 (watt)	2630	3960	5600	6500	7200
P_1 (watt)	2833,2	4250	5666	7083	8500
η	0,92	0,93	0,98	0,91	0,84

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad P_2 = I_2 \times U_2; \quad P_1 = U_1 \times I_1$$

variation du rendement en fonction de I_2 :

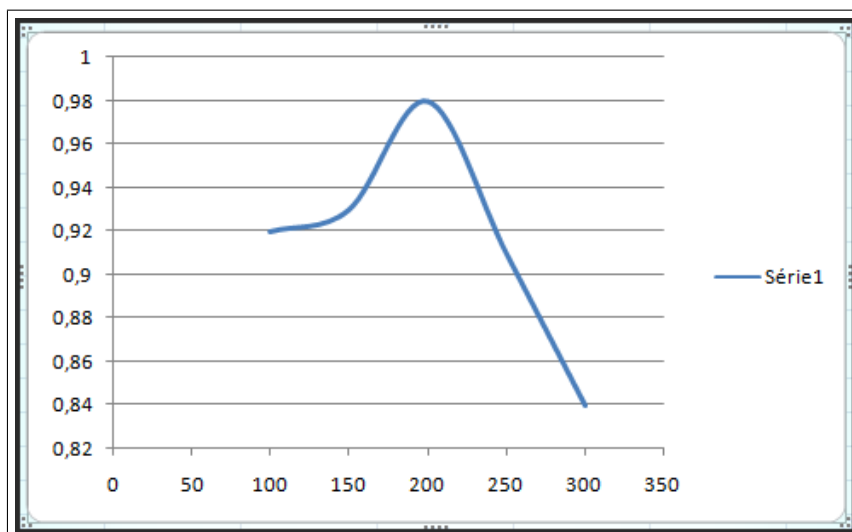


Figure : La variation de i_1 en fonction de i_2 mesurée et calculé

$\eta(I_2)$ passe par un maximum :

$$\frac{d\eta}{dI_2} = 0 \Rightarrow (rt_2)^2 = P_{fer}$$
$$I_e = \sqrt{\frac{P_{fer}}{r \cdot t_2}} \text{ (charge économique)}$$

La charge économique (où le rendement est maximum) se situe autour des $\frac{3}{4}$ de la charge nominale du transformateur.

Pour les transformateurs de distribution, I_2 varie dans une large gamme (généralement entre 60% à 90% de la valeur nominale). Donc en moyenne, on reste autour du fonctionnement optimum.

Bibliographie

- 1) Electricité 1 - Pr. M.B. SEDRA – Faculté des Sciences ibn Tofail
- 2) Electronique (Physique Appliquée) - Christian BISSIERES - professeur au lycée Picasso de Perpignan
- 3) Électricité de Base - Prof. Mourad ZEGRARI
- 4) <http://uel.unisciel.fr> - l'Université des Sciences en Ligne
- 5) ÉLECTRONIQUE DE BASE - Sylvain TISSERANT
- 6) Cours Condensateur – Eric Samama
- 7) INTRODUCTION A L'ELECTROTECHNIQUE - DE COULON et M.JUFER
- 8) <http://www.medianesup.com> - Médiane Sup est un établissement privé de CPGE
- 9) <http://openclassrooms.com/courses> - moodle.insa-toulouse.fr
- 10) Electronique 1 - Cours Magistraux - olivier.gallot-lavallee université joseph Fourier
- 11) TRAVAUX PRATIQUE DE PHYSIQUE SMP (S3) – Faculté ibn tofail
- 12) www.imaginascience.com - Guillaume Fabre
- 13) Cours Électricité 2 SMP S3 - Faculté ibn tofail - Pr Messoussi
- 14) cours IMRT 2010-2011 régimes sinusoïdaux permanents étude de circuit RLC série-lycée gustave flaubert rouen
- 15) Le Circuit RLC - École Préparatoire en Sciences et Techniques de Tlemcen
- 16) Cours Électronique de base - Pr R.TOUAHNI - Faculté des sciences Université Ibn Tofail
- 17) Résumés sur les diagrammes de Bode - JN Beury
- 18) Cours filtrage passif - Lycée P. Mendès France Epinal
- 19) Récepteur radio PO-GO - Projet d'électronique
- 20) Cours Radio AM - université du québec à chicoutimi
- 21) Électronique et Système - Pr B.Hajji - ECOLE NATIONALE DES SCIENCES APPLIQUÉES
- 22) Traitement de Signale - Pr M.LHARCH - Faculté ibn tofail
- 23) Le transformateur - M. Dedieu - Lycée J.Perrin
- 24) Le transformateur monophasé - Christophe Palermo - Université Montpellier