

Résistances – Bobines – Condensateurs

Comportement en régime sinusoïdal

Étude expérimentale

1°) Rappel en courant continu

Soumise à une tension continue, le comportement d'une résistance est connu, on applique la loi d'ohm : $U = RI$

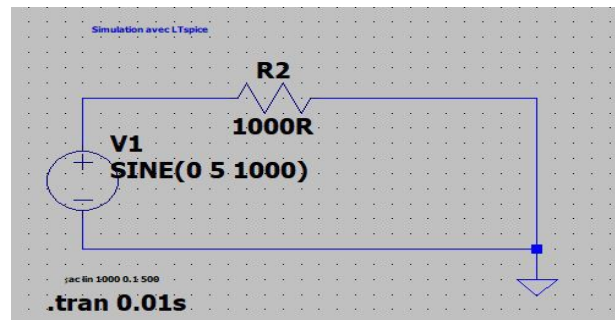
Pour une bobine (enroulement de fil conducteur), elle va provoquer un court circuit si on la place aux bornes d'un générateur de tension continue.

Quand à un condensateur, il va se charger puis se comporter comme un isolant.

Pour étudier leur comportement en alternatif, j'ai utilisé le logiciel de simulation Ltspice. Je dessine un circuit, je lui indique les valeurs des composants, je l'alimente avec un générateur dont je connais les caractéristiques, continu ou alternatif (tension max – fréquence – carré – sinusoïdal – dent de scie ..) et je définis la durée de l'expérience. Je lance la simulation et j'obtiens un oscillogramme que je peux étudier.

2°) Comportement d'une résistance en alternatif

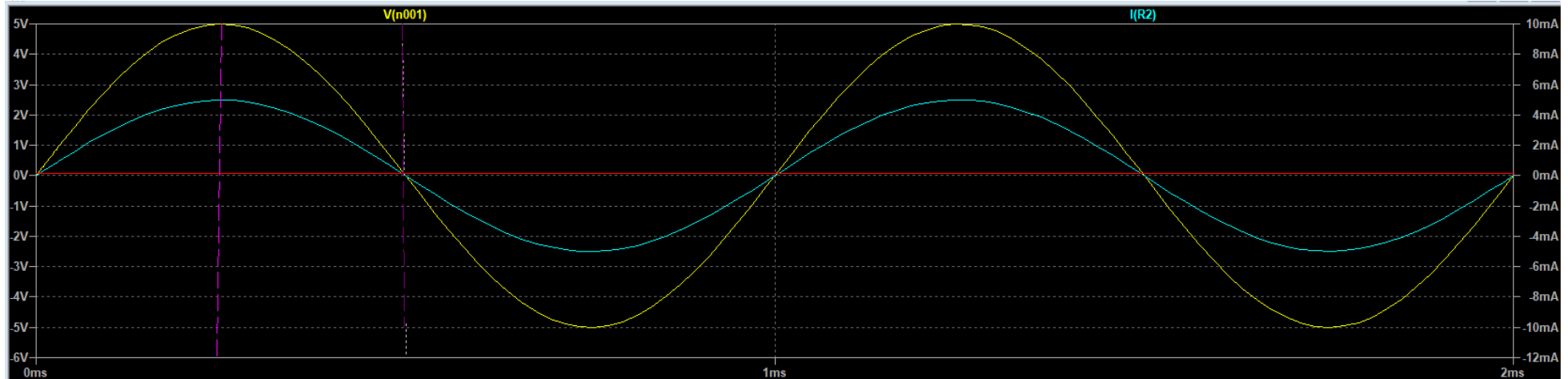
a) Voici le schéma



Ce circuit comporte :

un générateur de tension alternative (ne pas se fier aux + et -) sinusoïdale, de 0 à $U_{max} = 5V$ de fréquence 1000Hz ; une résistance R2 de 1000 Ω ; l'analyse va se faire sur une durée de 0,01s (1/100s)

b) Voici l'oscillogramme obtenu.



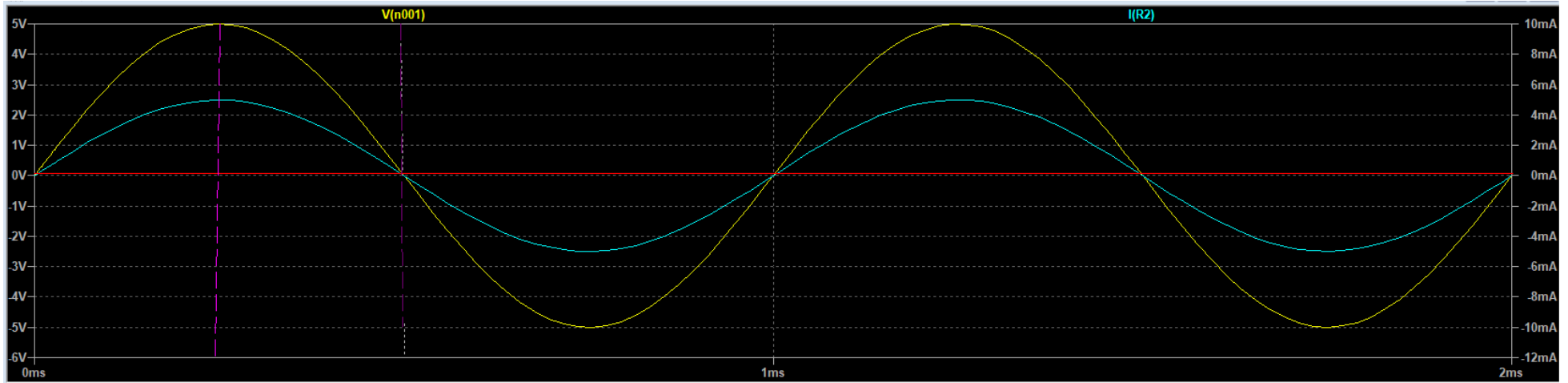
J'ai réglé l'affichage sur une durée de 2ms (sur les 10 ms que dure la simulation) – échelle horizontale

En jaune, on peut lire la tension V(n001)aux bornes de la résistance (on lit les valeurs sur l'échelle de gauche)

- elle est alternative – continue ?
- la tension maximum est
- la tension efficace est :.....
- la tension crête à crête est :
- la période est :
- la fréquence est
- la pulsation est :

Les réponses : alternative – $U_{max} = 5 V$ – $U_{eff} = 5/1,4 = 3,6V$ -

U crête à crête : 10V – période $T = 1ms$ – fréquence : $f = 1/T = 1 / 10 \times 10^{-3} = 1000Hz$ (on retrouve la fréquence du générateur)



En bleu, on peut lire l'intensité qui traverse la résistance (on lit les valeurs sur l'échelle de droite)

- elle est alternative – continue ?
- l'intensité maximum est
- l'intensité efficace est :
- la période est :
- la fréquence est

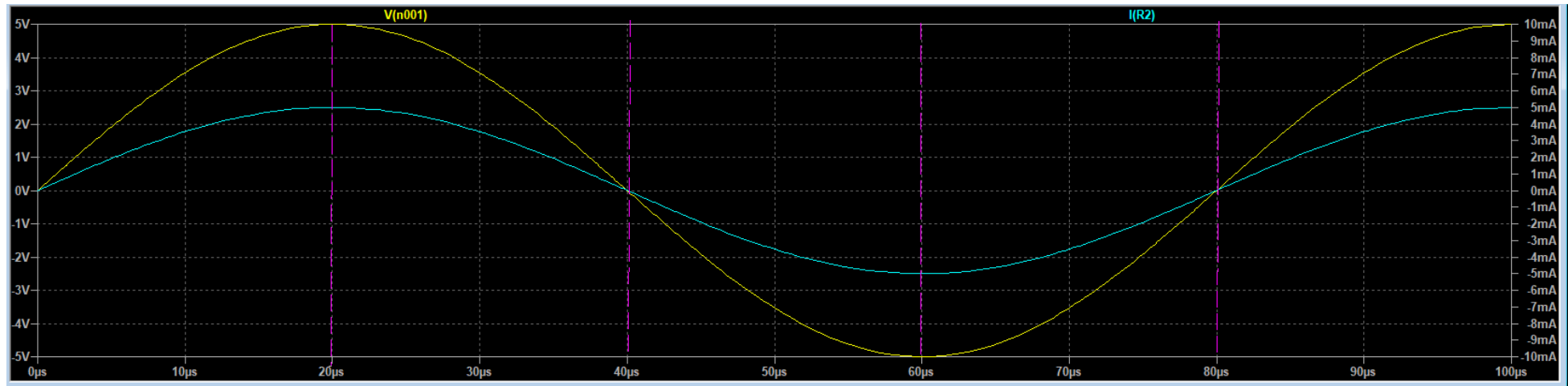
Calculons $U_{eff}/I_{eff} = \dots\dots\dots / \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$

On retrouve

Remarque : Intensité et tension aux bornes de la résistance ont la même fréquence , ils ont leur maximum et leur minimum en même temps. On dit qu'ils sont en phase.

Les réponses : alternative – $I_{max} = 5 \text{ mA}$ – $I_{eff} = 5/1,4 = 3,6 \text{ mA}$ –
 $U_{eff}/I_{eff} = 3,6 / 3,6 \times 10^{-3} = 1 \text{ 000 } \Omega$ (on retrouve la valeur de la résistance R2)

c) modifions la fréquence $f = 12\,500\text{Hz}$



En jaune, la tension aux bornes de la résistance, elle est alternative, $U_{\max} = 5\text{V}$, $U_{\text{eff}} = 3,6\text{V}$ (au dixième près) la période T est de 80 microsecondes ce qui nous donne bien $f = 1/80 \times 10^{-6} = 12\,500\text{Hz}$

En bleu, l'intensité qui traverse la bobine est alternative, $I_{\max} = 5\text{mA}$, $I_{\text{eff}} = 3,6\text{mA}$ (au dixième près), la période et la fréquence les mêmes que pour la tension.

$U_{\text{eff}}/I_{\text{eff}} = 3,6 / 3,6 \times 10^{-3} = 1000\ \Omega$ (on retrouve ici la valeur de la résistance R_2)

Conclusion :

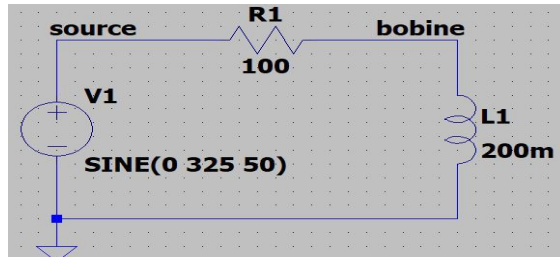
En alternatif intensité et tension aux bornes de la résistance sont en phase (ils ont la même fréquence et ont leur maximum et minimum en même temps), la valeur de la résistance ne change pas si on fait varier la fréquence.

En alternatif, on ne parle pas de résistance mais « d'impédance », notée Z

$$Z_R = R$$

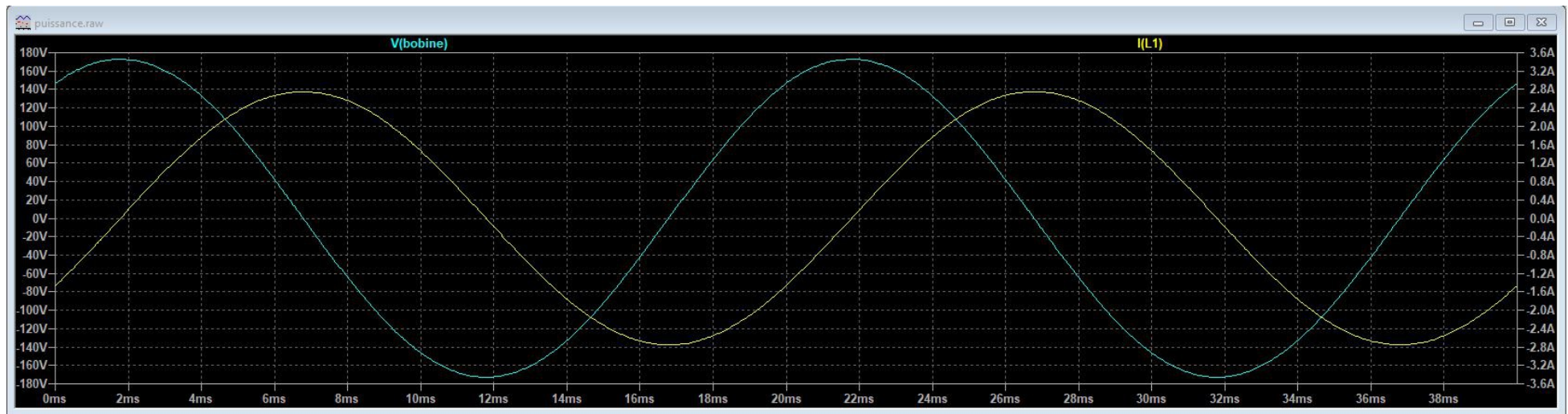
3°) Comportement d'une bobine en alternatif

a) expérience 1



Une bobine de 200 mH (le Henry est l'unité d'inductance, liée à la bobine, elle dépend de sa forme, du nombre de spires, de son environnement..) en série avec une résistance est soumise à une tension alternative, sinusoïdale de tension maximum 325V et de fréquence 50Hz

Nous observons l'oscillogramme suivant :



En bleu $V(\text{bobine})$, la tension aux bornes de la bobine, elle est alternative, U_{max} vaut environ 170V, donc $U_{\text{eff}} = 170/1,4 = 121\text{V}$ environ
la période T est de 20 ms environ $f = 1/20 \times 10^{-3} = 50\text{Hz}$

En jaune (IL1), l'intensité qui traverse la bobine est alternative, $I_{max} = 2,8 \text{ A}$, $I_{eff} = 2 \text{ A}$ (environ), la période et la fréquence les mêmes que pour la tension.

$$U_{eff}/I_{eff} = 121 / 2 = 60,5 \Omega$$

La bobine, qui pourtant est un enroulement de fil conducteur présente une « résistance » de $60,5 \Omega$ environ

On ne parle pas pour la bobine de « résistance » mais de **réactance inductive** notée X_L (en ohms)

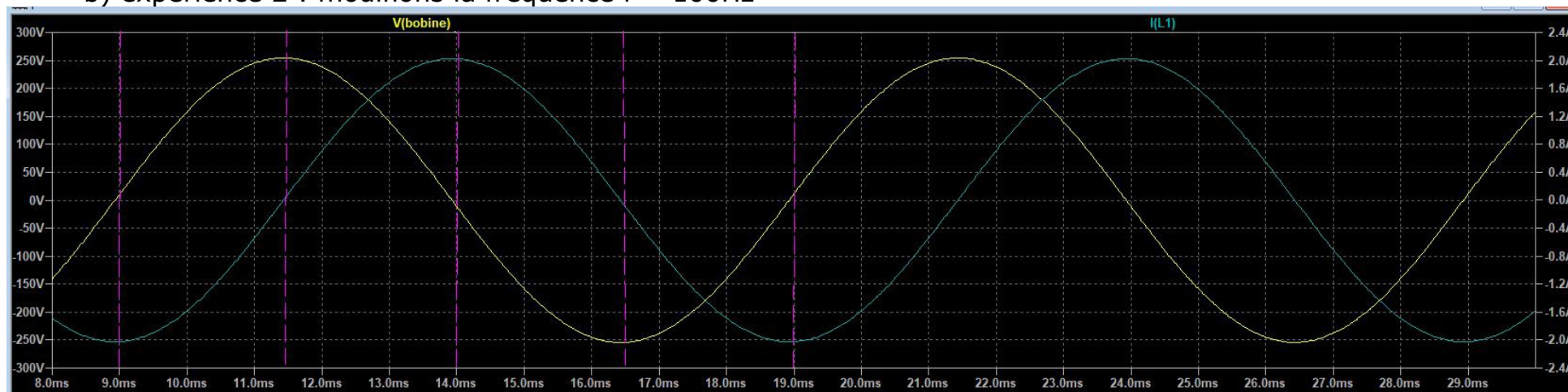
$$\text{On note } X_L = 60,5 \Omega$$

Remarque : les deux courbes n'atteignent pas leur maximum en même temps. La tension (bleu) atteint son maximum vers 2 ms (**sa phase est 90°**). A ce moment là, l'intensité est 0A (sa phase est 0°).

Il y a donc un **déphasage entre la tension et l'intensité**. La tension est en avance de 90° sur l'intensité. 90° étant le quart de 360° , on dit que :

Pour une bobine en régime sinusoïdal, tension et intensité sont en quadrature de phase et la tension est en avance de 90° sur l'intensité.

b) expérience 2 : modifions la fréquence $f = 100 \text{ Hz}$



En jaune, la tension aux bornes de la bobine $V(\text{bobine})$, elle est alternative, $U_{\text{max}} = 250\text{V}$, $U_{\text{eff}} = 178\text{V}$ environ la période T est de 10ms ce qui nous donne bien $f = 1/10 \times 10^{-3} = 100\text{Hz}$

En bleu, l'intensité $I(L1)$ qui traverse la bobine est alternative, $I_{\text{max}} = 2\text{A}$, $I_{\text{eff}} = 1,4\text{A}$ environ $U_{\text{eff}}/I_{\text{eff}} = 178 / 1,4 = 127\ \Omega$ (soit à peu près le double de la réactance pour 50Hz)

$X_L = 127\ \Omega$ – on remarque que la réactance inductive ou impédance (la résistance qu'oppose la bobine au courant alternatif) augmente avec la fréquence. La fréquence a doublé, la réactance a doublé aux erreurs de mesure près. Plus la fréquence augmente, plus la bobine sera « résistante », donc le courant dans celle-ci va diminuer.

Si f augmente alors X_L augmente

c) une formule

On peut calculer la réactance capacitive d'une bobine avec la formule suivante :

$$X_L = L\omega$$

avec X_L en Ω (ohms)

L en henrys (H)

[L est une grandeur qui dépende de la forme de la bobine, du nombre et de la taille des spires, de son environnement, de la présence d'un noyau...]

ω en radians par seconde (rd/s)

Rappel $\omega = 2\pi f = 6,28f$

On remarque aussi que la tension atteint son maximum à $11,5\text{ms}$ (phase 90°) alors que l'intensité est nulle (phase 0°).

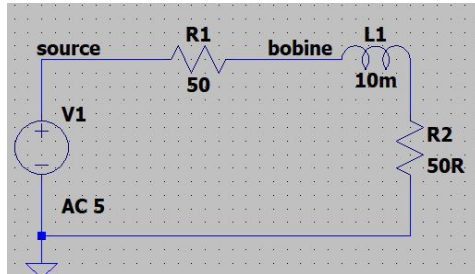
La tension est en avance de 90° sur l'intensité, tension et intensité sont en quadrature de phase, rien n'a changé par rapport à l'expérience précédente.

Remarque : on peut retrouver L avec les expérience ci-dessus.

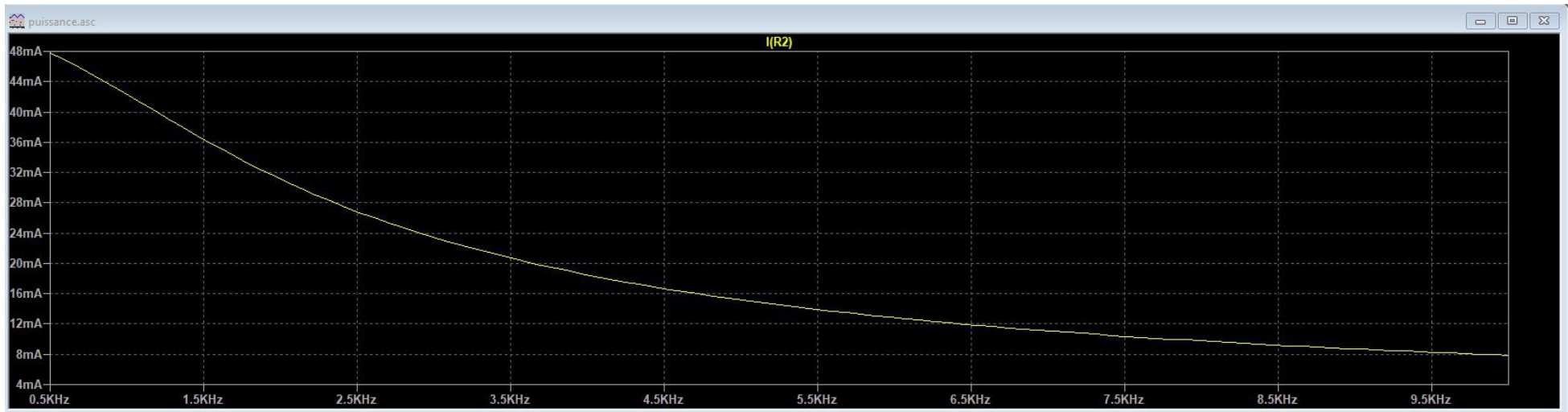
Expérience 2 : $f = 100\text{ Hz}$ donc $\omega = 6,28 \times 100 = 628\text{ rd/s}$

$X_L = L\omega$ donc $L = X_L/\omega = 127/628 = 0,202\text{ H} = 200\text{ mH}$ environ (voir schéma de l'expérience 1)

d)Expérience



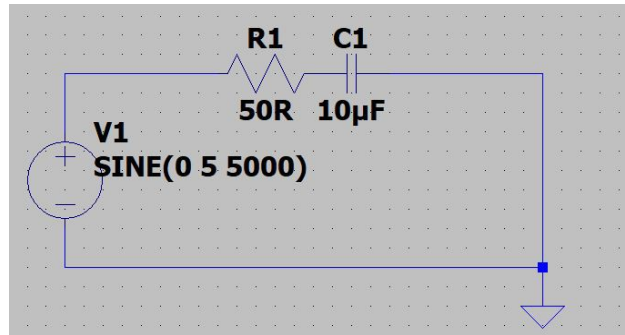
La charge R2 de 50 ohms est alimentée au travers d'une bobine de 10mH
Le générateur délivre une tension alternative ($U_{max}=5V$) dont la fréquence va varier de 10 Hz à 10 000Hz en quelques millisecondes puis l'expérience s'arrête.
On mesure l'intensité qui traverse R2



On voit que l'intensité qui traverse R2 est au départ de 48mA (la bobine est très peu résistante aux fréquences basses) puis va diminuer (la bobine devient de plus en plus résistante). Ce dispositif bloque les fréquences hautes tout en laissant passer les fréquences basses.

4°) Comportement d'un condensateur en alternatif.

Rappel : un condensateur est isolant en continu.



Un condensateur de $10\mu\text{F}$ est soumis à une tension alternative $U_{\text{max}}=5\text{V}$, $f=5\,000\text{ Hz}$ au travers d'une résistance de 50Ω .

On obtient l'oscillogramme suivant :



En rouge l'intensité qui « traverse » le circuit. $I_{\text{max}} = 100\text{ mA}$ environ donc $I_{\text{eff}} = 71\text{ mA}$ environ.

On remarque que l'intensité est à son maximum (phase = 90°) tandis que la tension est encore à 0 (phase : 0°)

Cette fois ci, c'est l'intensité qui est en avance de 90° sur la tension. Intensité et tension sont en quadrature de phase.

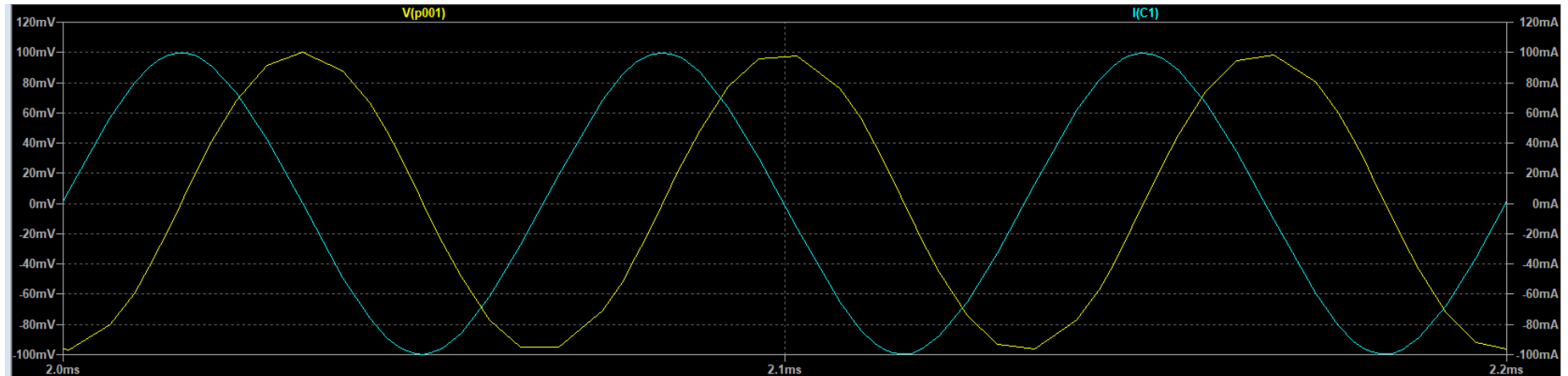
En jaune la tension aux bornes du condensateur

$U_{max} = 300 \text{ mV}$ environ donc $U_{eff} = 214 \text{ mV}$

$U_{eff}/I_{eff} = 214 \times 10^{-3} / 71 \times 10^{-3} = 3 \Omega$ environ.

Le condensateur en courant alternatif se comporte comme une « résistance » que l'on appelle « réactance capacitive » et que l'on note : $X_c = 3 \Omega$ (pour un condensateur de $10 \mu\text{F}$ à $5\,000 \text{ Hz}$)

Changeons la fréquence : $f = 15\,000 \text{ Hz}$



L'intensité (en bleu) est en avance de 90° par rapport à la tension, rien n'a changé

Aux bornes du condensateur : $U_{max} = 100 \text{ mV}$ $U_{eff} = 71 \text{ mV}$

L'intensité qui traverse le condensateur est $I_{max} = 100 \text{ mA}$ $I_{eff} = 71 \text{ mA}$

$U_{eff}/I_{eff} = 1 \Omega$.

La fréquence a été multipliée par 3, X_c a été divisée par 3

Plus la fréquence augmente, plus l'impédance (réactance) du condensateur diminue. Très résistant aux basses fréquences, sa réactance diminue avec la fréquence, c'est le contraire d'une bobine. Intensité et tension sont toujours en quadrature de phase.

Une formule : $X_C = \frac{1}{C \omega}$ avec X_c en ohms, C en farads et ω en radians/seconde