Compte Rendu

Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications

Electronique Analogique

TP1- Oscillateur Colpitts

2eme Année

Année : 2023 - 2024

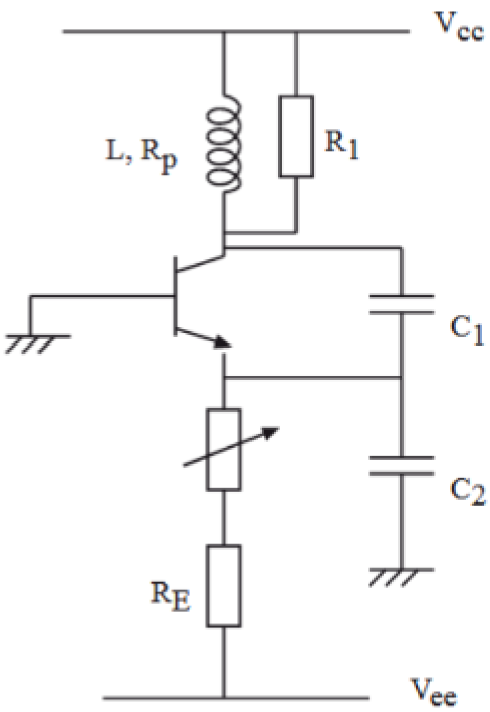
Camille Lanfredi

Rémi Weidle

Oscillateur Colpitts

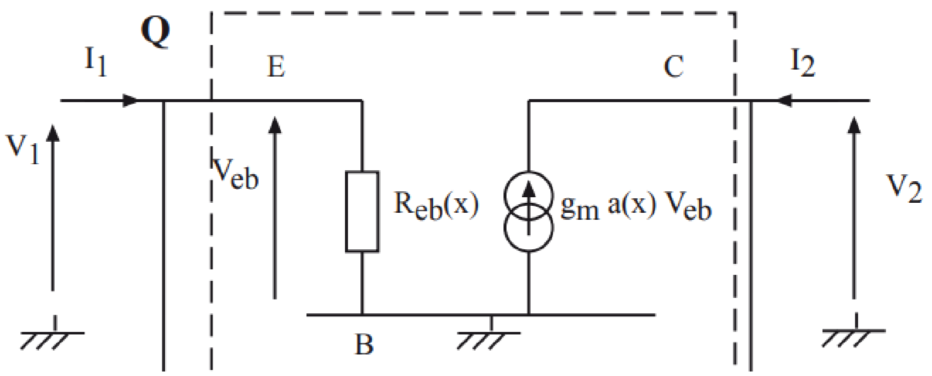
Contexte

L'objectif de ce TP est de mesurer la courbe expérimentale a(x) et la comparer à la courbe théorique. On réalise donc le montage ci- contre afin d'obtenir un oscillateur Colpitts :



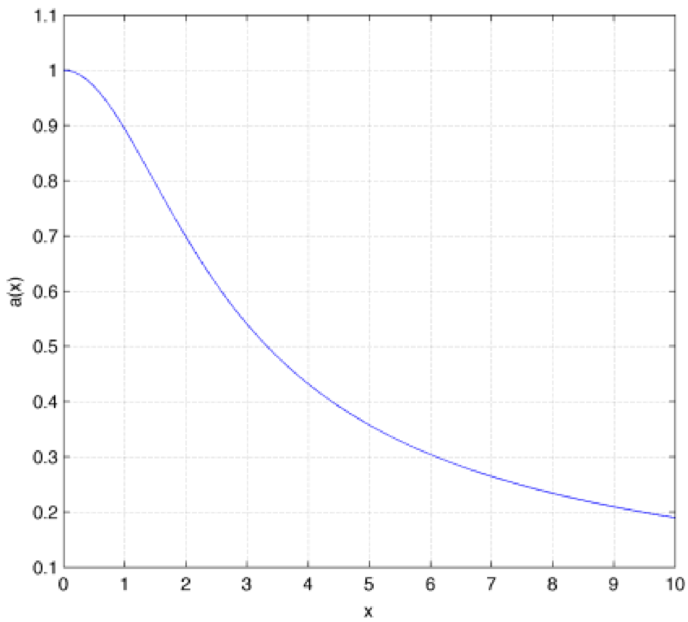
Dans un premier temps, nous allons analyser le circuit électrique pour mieux comprendre son fonctionnement et ses paramètres.

Le Schéma équivalent au premier harmonique d'un transistor bipolaire comme celui que nous utilisons peut se représenter sous cette forme :



Ce schéma équivalent correspond généralement au schéma petit signal au premier harmonique lorsque l'on fait tendre x, car cela permet de simplifier l'analyse autour du point de polarisation et $x = \frac{V_{BE}}{\eta Vt}$ peut-être considéré comme une petite valeur.

De plus, la fonction a(x) a une allure asymptotique pour x tendant vers 0 qui vaut 1.



Allure de la fonction a(x)=f(x)

Cela est cohérent puisque pour un petit signal, nous devons retomber sur le schéma petit signal. Quand le terme a(x) disparait, nous retrouvons bien le schéma classique d'un transistor.

Pour tracer la fonction a(x), nous allons partir d'un oscillateur Colpitts et faire varier l'amplitude de la tension Base-Emetteur $\boldsymbol{V_{BE}}$ et donc, la valeur de **x**.

Si le schéma permet de créer des oscillations, alors la fréquence d'oscillation est définie par :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1 C_2}{C_1+C_2}}} \text{ et } gm\ a(x) = \frac{1}{R_C} * \frac{(C_1+C_2)^2}{C_1 C_2}$$

Par conséquent :

$$a(x) = \frac{1}{R_C * gm} * \frac{(C_1+C_2)^2}{C_1 C_2}$$

Pour évaluer a(x), nous devons déterminer tous les paramètres du schéma petit signal. Commençons par ***gm***, la transconductance de la jonction base-Emetteur du transistor. Le ***gm*** peut être déterminer à partir du courant de polarisation du transistor. Quant à ***Rc***, elle représente la résistance de fuite de la bobine. Elle est représentée par 2 résistances en parallèle.

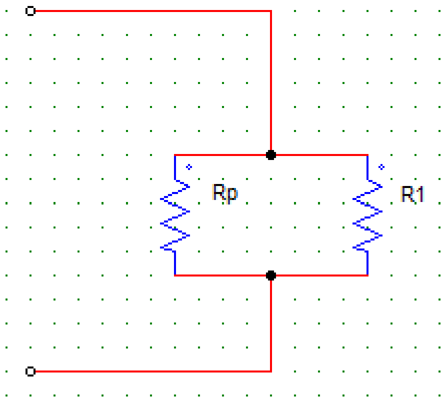


Schéma équivalent de la résistance de fuite Rc

Rp est la résistance de fuite de la bobine. Elle est donc liée à la résistance d'enroulement de la bobine et à l'hystérésis du matériau qui la constitue. Nous allons donc devoir mesurer cette résistance. De plus, cette résistance dépend de la fréquence d'oscillations.

Nous allons donc devoir mesurer et/ou calculer :

- **La résistance Rp**
- **Le courant de polarisation du transistor** pour déterminer le gm, définie par : $gm = \frac{I_{C0}}{V_T}$

Par simplification, Vt sera égale à 1 et donc gm = 25 mV

- **Les capacités C1 et C2** : elles n'ont pas forcément une valeur exacte à leur fréquence considérée. (Écart maximum de 20%). Nous utiliserons donc un banc de mesure d'éléments passifs.

1. Manipulation

Avant de commencer, les différentes mesurer, nous nous assurons que le transistor fonctionne correctement. Pour cela, nous utilisons un multimètre pour observer si nous obtenons bien une tension entre la jonction Base-Emetteur et Base-Collecteur. Une fois vérifié, nous pouvons démarrer les manipulations.

Lors de nos mesures, nous utilisons une sonde d'oscilloscope commutable (x1/x10) car si nous utilisons un oscilloscope avec un simple câble coaxiale, nous ajouterions une capacité entre 100 et 120 pF. L'avantage d'une sonde d'oscilloscope passive est qu'elle réduit cette capacité ramenée d'environ 13 pF.

De plus, nous remplaçons le potentiomètre R(x) par des résistances variables de l'ordre des kΩ. Cela ne nous donnera pas forcément les valeurs prescrites de R(x) : (2, 4, 6, 8 ,10) mais cela permet grandement de simplifier les manipulations, en essayent, bien sûr, de rester dans l'intervalle [2 ;10].

Dans un premier temps, nous fixons Re, la résistance fixe qui remplace le potentiomètre. A partir de cette résistance nous déterminons la valeur de x définie par la relation suivante :

$$x = \frac{V_{BE}}{V_T}$$

Nous devons donc mesurer la tension de la jonction Base-Emetteur de notre transistor. Cela variera en fonction de la résistance Re. Puis, nous mesurons la tension de la jonction Collecteur-Emetteur du transistor. Ensuite nous déterminons la valeur du courant I_{C0}, le courant circulant dans le collecteur du transistor en régime continu. Pour y parvenir, nous mesurons la tension aux bornes de la résistance Re et la divisons par la valeur de la résistance.

$$I_{C0} = \frac{V_{RE}}{R_E}$$

Ensuite à partir du courant I_{C0}, nous pouvons obtenir la valeur du gm grâce à la relation suivante :

$$gm = \frac{I_{C0}}{V_T}$$

Avec V_T, la tension thermique équivalente à 25 mV.

Et enfin pour terminer, il ne nous reste plus qu'à mesurer la fréquence d'oscillations.

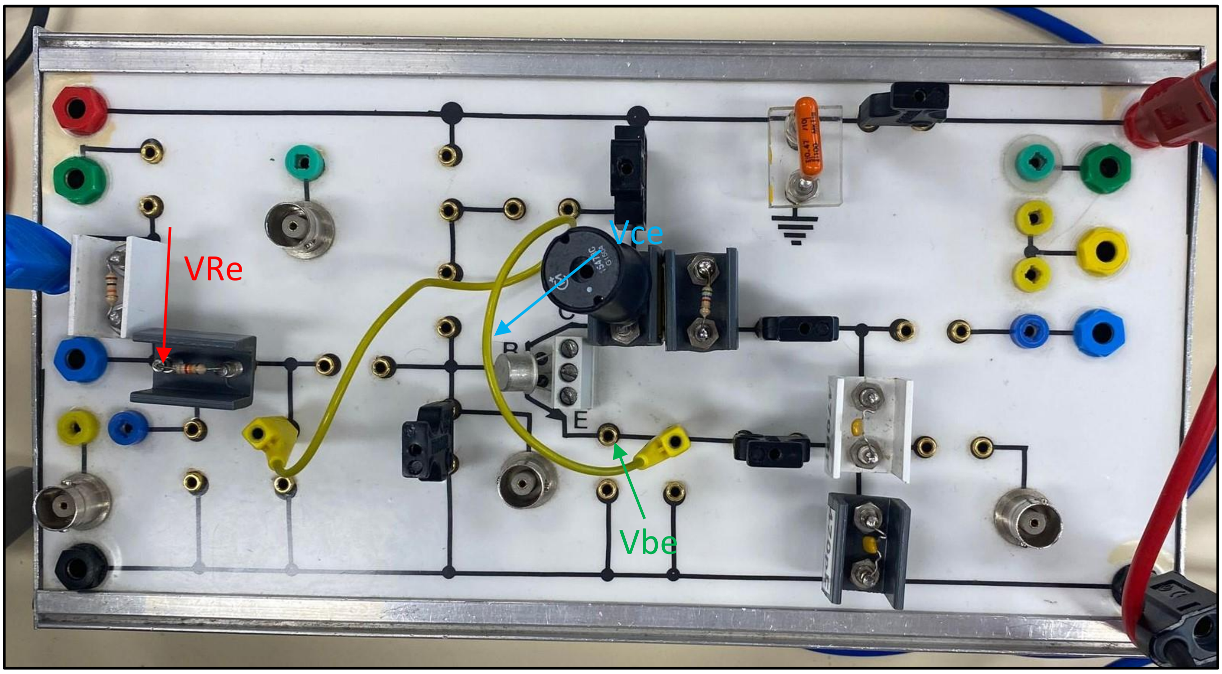
Il ne nous reste plus qu'à répéter ces mesures avec plusieurs valeurs de résistances pour obtenir plusieurs valeurs différentes de x et ainsi, par la suite tracer la caractéristique a(x)=f(x).

Voici ci-dessous, le tableau comprenant toutes les mesures en fonction de la résistance Re remplaçant le potentiomètre.

Re (kOhms)	Veb(mV)	Vcb(mV)	f(MHz)	Ic0(mA)	gm	x
68	400	1000	1,36	0,195	0,0078	16
82	340	0,62	1,36	0,16	0,0064	13,6
100	152	355	1,36	0,138	0,00552	6,08
220	140	336	1,3528	0,0646	0,002584	5,6
330	91	212	1,35	0,0438	0,001752	3,64
470	66,5	130	1,35	0,031	0,00124	2,66
560	32,4	74	1,344	0,0262	0,001048	1,296

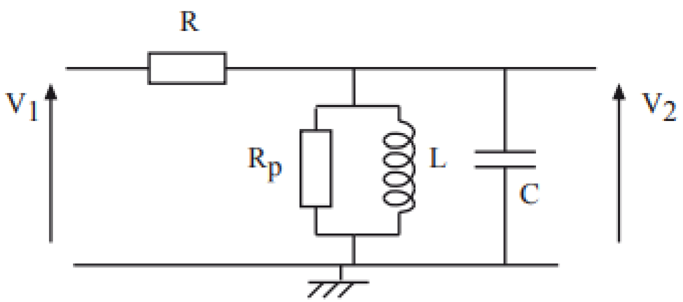
L'influence de la polarisation, déterminée par la résistance d'émetteur Rx (devenu Re), sur un oscillateur Colpitts est significative. Rx modifie la polarisation du transistor, influençant ainsi le courant de collecteur continu (Ic0) et la tension base-émetteur (Vbe). Ces variations de polarisation peuvent altérer l'amplification du signal de sortie. Néanmoins, l'oscillateur maintient généralement une fréquence d'oscillation stable grâce à ses composants LC (inductance et capacités), bien que l'ajustement précis de Rx puisse être nécessaire pour optimiser l'amplitude tout en maintenant la stabilité de l'oscillation.

Voici une photo détaillée du montage :

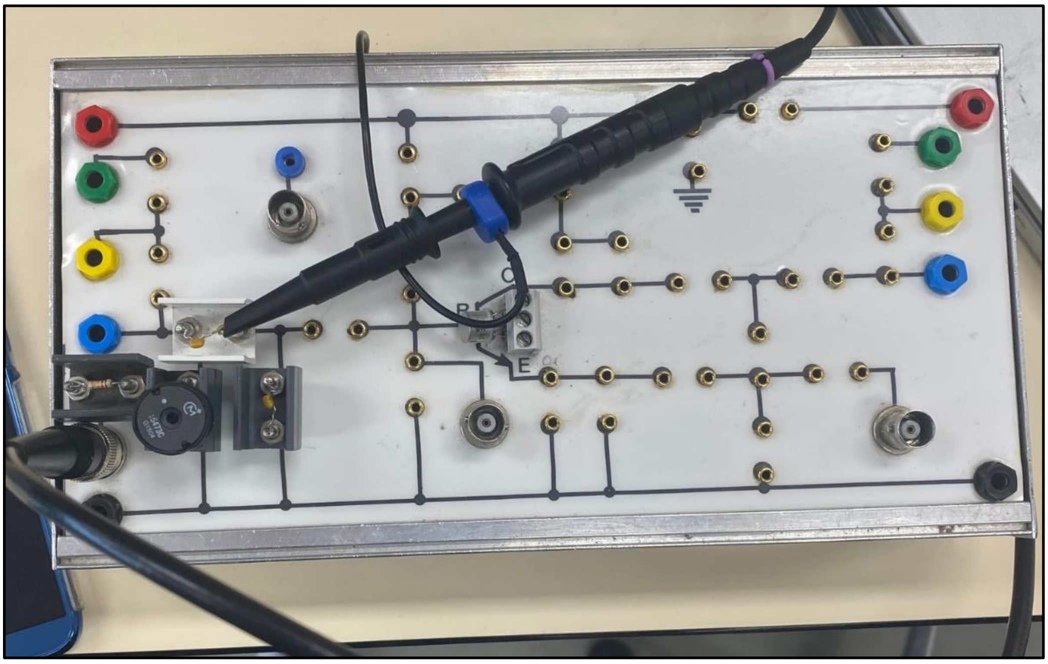


Montage réalisé sur la maquette

Désormais, nous allons mesurer la résistance de pertes Rp et l'inductance de la bobine pour les valeurs de tensions relevées à la fréquence de l'oscillateur. Pour cela, nous réalisons le montage suivant.



C représente la mise en série des capacités C1 et C2.



Montage réalisé sur la maquette

Dans un premier temps, nous mesurons les valeurs de nos capacités avec un banc de mesure composé l'éléments passifs car contrairement à un multimètre, le banc permet de donner la valeur exacte. Un multimètre donne la valeur de condensateur en fonction de la fréquence de fonctionnement de l'appareil. Donc certainement pas à 1,35MHz mesuré du montage.

Voici les valeurs théoriques et mesurés de nos condensateurs :

Composants	Valeur théorique (pF)	Valeur mesurée (pF)
C1	470	476
C2	470	463

Quant à la bobine L, nous utilisons la relation liant L et f :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

$$Donc\ L = \frac{\frac{1}{2\pi f}}{\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}} = 50{,}012\ \mu H$$

Une fois les condensateurs mesurés, nous allons faire résonner notre bobine à la fréquence d'oscillation 1,35MHz. Pour y parvenir, nous mettons en série nos capacités car l'ensemble résonne aux alentours de 1,35MHz, par la relation :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}}}$$

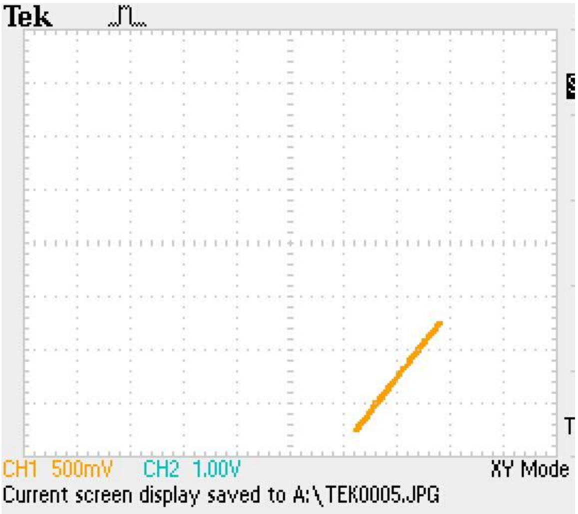
De plus, la résonnance est donnée lors de la compensation des éléments LC (bobine et condensateur). A ce moment précis, les tensions V1 et V2 (entrée/sortie) sont en phases. Pour vérifier d'avantage leur phases, nous utilisons la méthode de lissage « X/Y » et observons la fréquence au moment où la courbe passe d'une ellipse à une courbe plate.

Lors des mesures, nous réutilisons une sonde d'oscilloscope pour éviter de ramener les 120pF du câble coaxial.

Nous obtenons donc :

- Tension d'entrée V1 = 0,84V
- Tension de sortie V2 = 2,08V
- Nous fixons R à 12kΩ.

En ajustant la fréquence en mode « X/Y », nous obtenons la courbe suivante :



Nous mesurons une fréquence d'oscillation de 1,469 MHz, valeur assez différente des 1,35MHz d'oscillation.

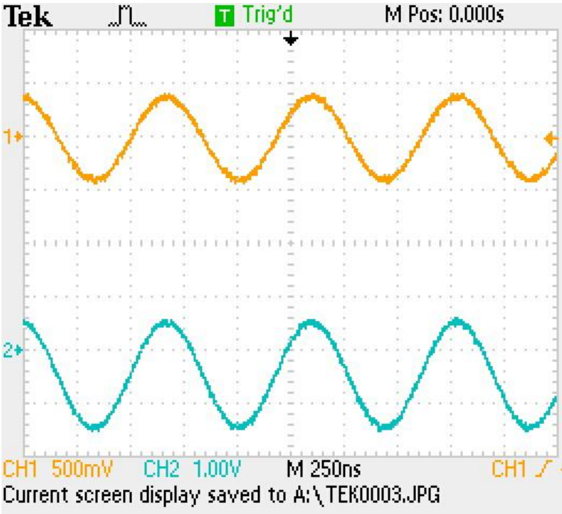
La fréquence d'oscillation dans un oscillateur Colpitts peut être influencée par la bobine (inductance) présente dans le circuit, ainsi que par des phénomènes d'hystérésis. Donc puisque la valeur de la bobine se décale, la fréquence se décale aussi. Mais également du transistor qui en haute fréquence présente des effets capacitifs parasites venant de l'émetteur et du collecteur.

De plus, nous savons que Rp est lié à V1, V2 et R par la relation suivante :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{R_P}{R_P + R}$$

Soir un rapport :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{0,84}{2,08} = 0,4$$



Chronogrammes de la tension d'entrée (V1) et de la tension de sortie (V2)

Donc :

$$0{,}4(R_P + R) = R_P$$

$$R = \frac{0{,}6R_P}{0{,}4} \; donc \; \boldsymbol{R_P} = \frac{0{,}4R}{0{,}6} = \boldsymbol{8k}\Omega$$

Cette valeur est cohérente car R et Rp ont le même ordre de grandeur.

Et

$$Rc = \frac{R_P R}{R_P + R} = \mathbf{3818}\Omega$$

Lorsqu'un oscillateur Colpitts fonctionne, il génère des signaux V1 et V2 qui doivent idéalement être en phase pour maintenir l'oscillation. Si ces signaux ne sont pas parfaitement en phase, c'est-à-dire s'ils présentent un certain décalage de phase entre eux, cela peut entraîner des problèmes dans le fonctionnement de l'oscillateur, notamment des variations d'amplitude plus importantes.

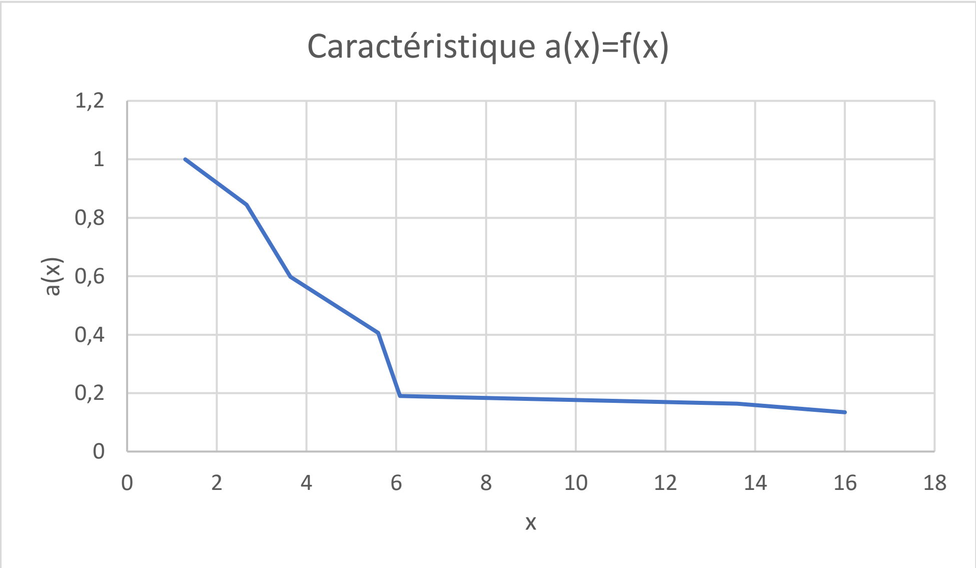
Désormais, nous avons tous les éléments pour résoudre la fonction a(x) qui a pour expression :

$$a(x) = \frac{1}{R_C * gm} * \frac{(C_{1+}C_2)^2}{C_1 C_2}$$

Voici de nouveau le tableau comprenant toutes les mesures en fonction de la résistance Re remplaçant le potentiomètre en comprenant les valeurs d'a(x).

Re (kOhms)	Veb(mV)	Vcb(mV)	f(MHz)	Ic0(mA)	gm	x	a(x)
68	400	1000	1,36	0,195	0,0078	16	0,13434228
82	340	0,62	1,36	0,16	0,0064	13,6	0,16372965
100	152	355	1,36	0,138	0,00552	6,08	0,18983148
220	140	336	1,3528	0,0646	0,002584	5,6	0,40552236
330	91	212	1,35	0,0438	0,001752	3,64	0,59809919
470	66,5	130	1,35	0,031	0,00124	2,66	0,84505628
560	32,4	74	1,344	0,0262	0,001048	1,296	0,99987575

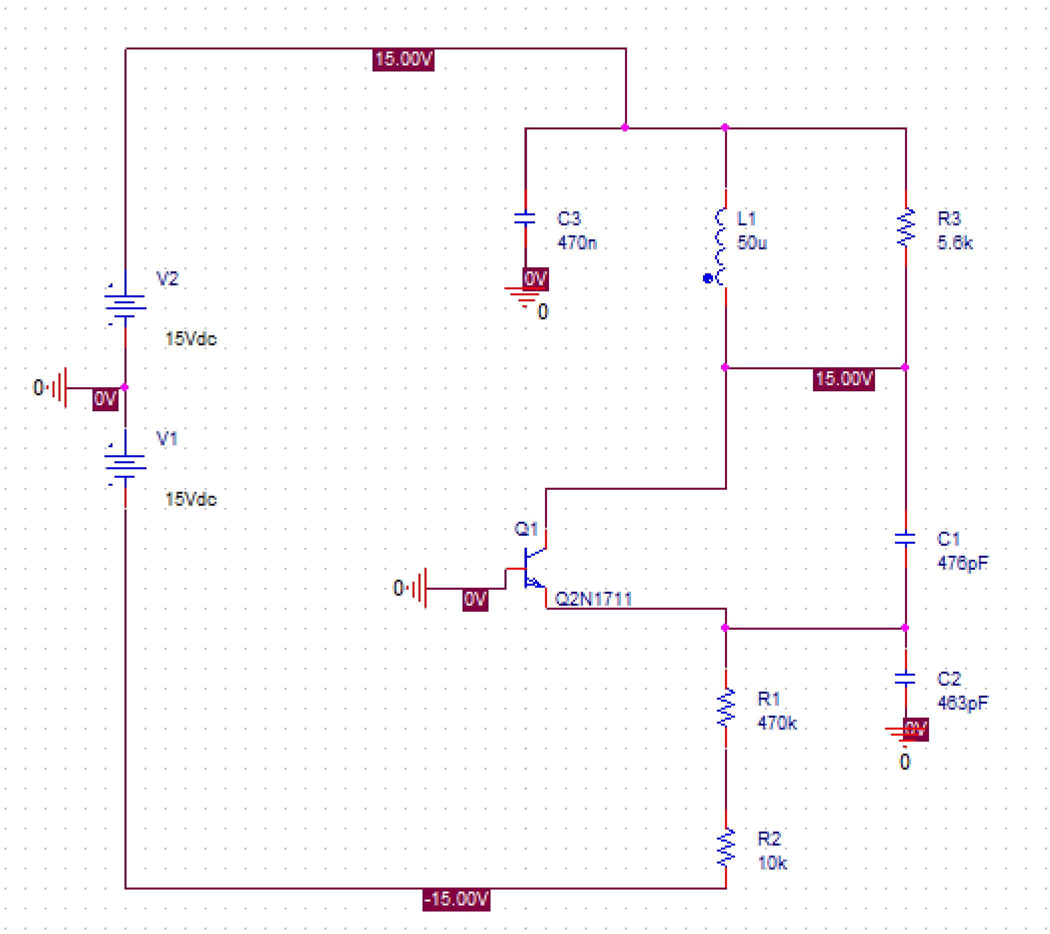
Et voici sa représentation :



Malgré une forme se rapprochant plus ou moins de la courbe théorique, les asymptotes d'a(x) sont respectées. La fonction a(x) démarre à son maximum avoisinant le 1 et tend vers 0 quand x grandit. Seule sa décroissance ne suit pas la forme théorique.

2. Simulation

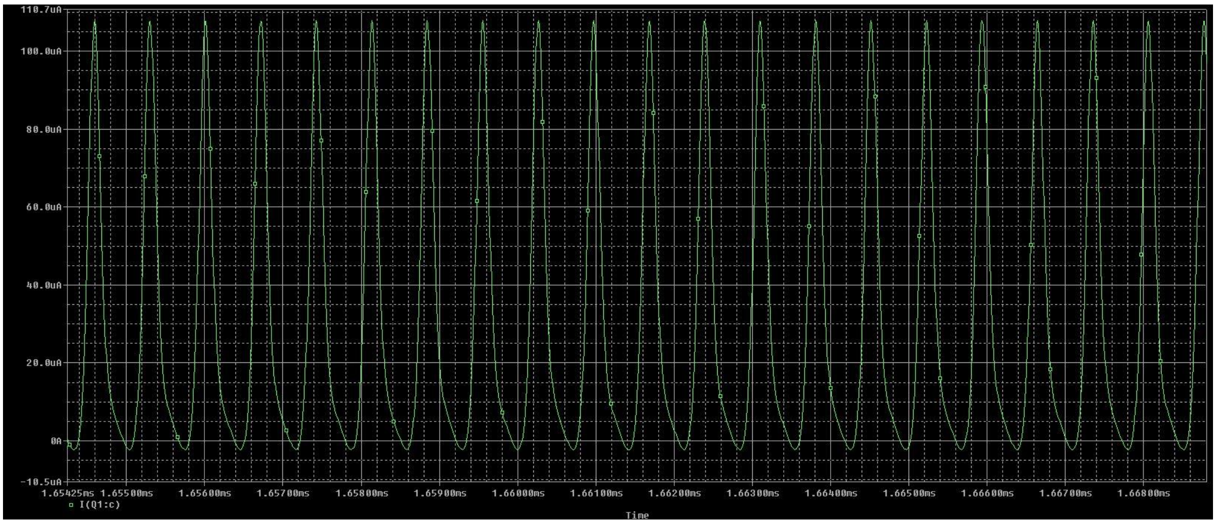
Dans cette partie, nous allons reproduire l’oscillateur avec le logiciel SPICE et effectuer une simulation dans le domaine temporel.



Pour bien configurer la simulation, nous faisons une analyse ‘*Domain time*’.

Pour ne pas rater le démarrage d’un oscillateur, nous devons régler le *‘time step’* pour avoir un certain nombre de points par période présumé, soit environ 100 points par période. De plus, il faut mettre une contrainte sur l’un des 2 condensateurs.

Voici la forme du courant du transistor



Nous pouvons observer des pics de courant caractéristiques d'un oscillateur de classe C.