

Le theremin

Introduction

L'un des premiers instruments de musique électronique, inventé en 1919 par Léon Theremin.

Fonctionne sans contact physique : deux antennes sont utilisées pour moduler la hauteur et l'amplitude du son produit.

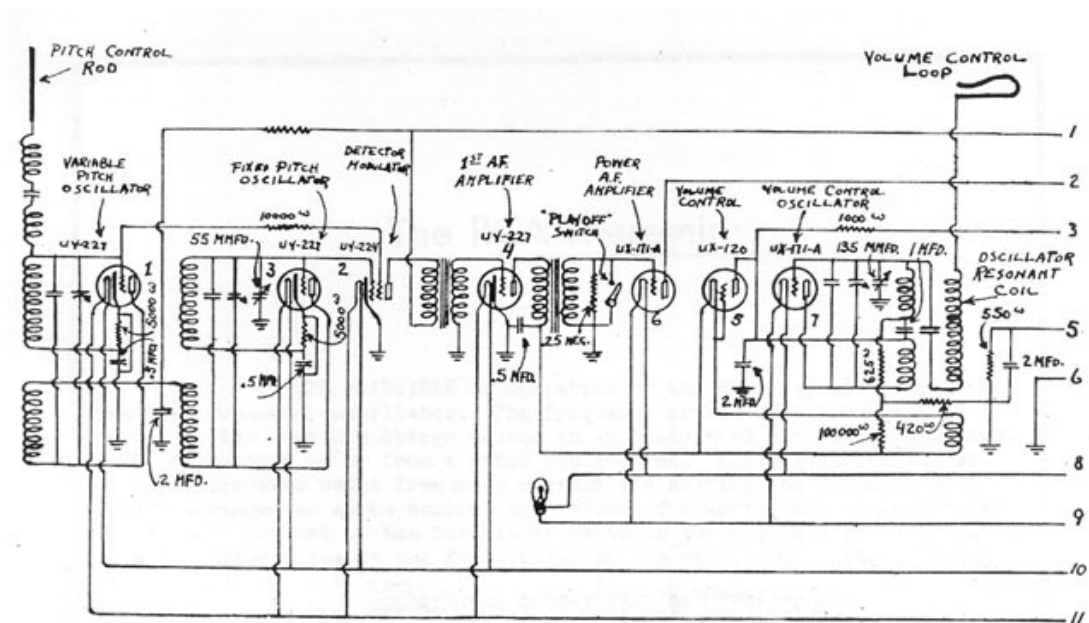
Très utilisé pour les ambiances sonores de films, surtout de science fiction, dans les années 1950 (*Mars Attacks*, *Planète interdite*, *La Maison du Docteur Edwardes...*) ; plus récemment dans *Hellboy* (2004).

Dans la musique populaire depuis les années 1960 : Jean Michel Jarre (*Oxygène X* et *Chants magnétiques I*), The Beach Boys (*Good Vibrations* et *I Just Wasn't Made For These Times*), Bee Gees, Led Zeppelin (*Whole Lotta Love*), Portishead, Heather Nova (*When somebody turns you on*), Dionysos.



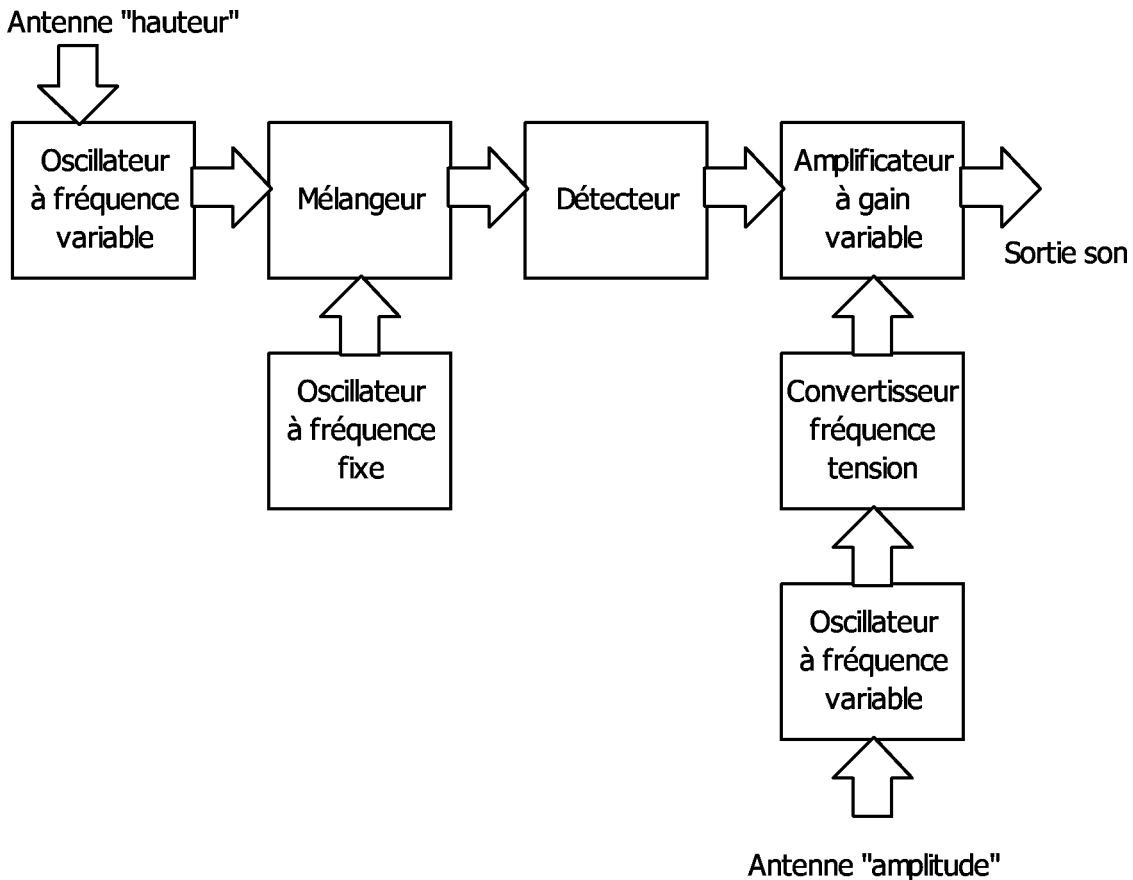
I - Etude du fonctionnement de l'électronique

I - 1 - Le theremin RCA



I – 2 – Schéma bloc

On considère que la présence de la main à proximité de l'antenne provoque une variation de capacité de l'ordre de 2pF dans le circuit auquel l'antenne est connectée.

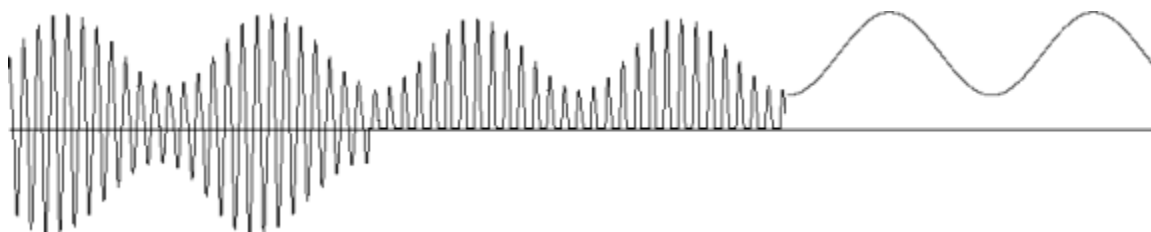
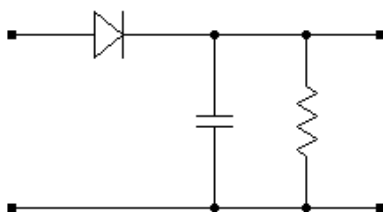


I – 2 – Fonctionnement du mélangeur

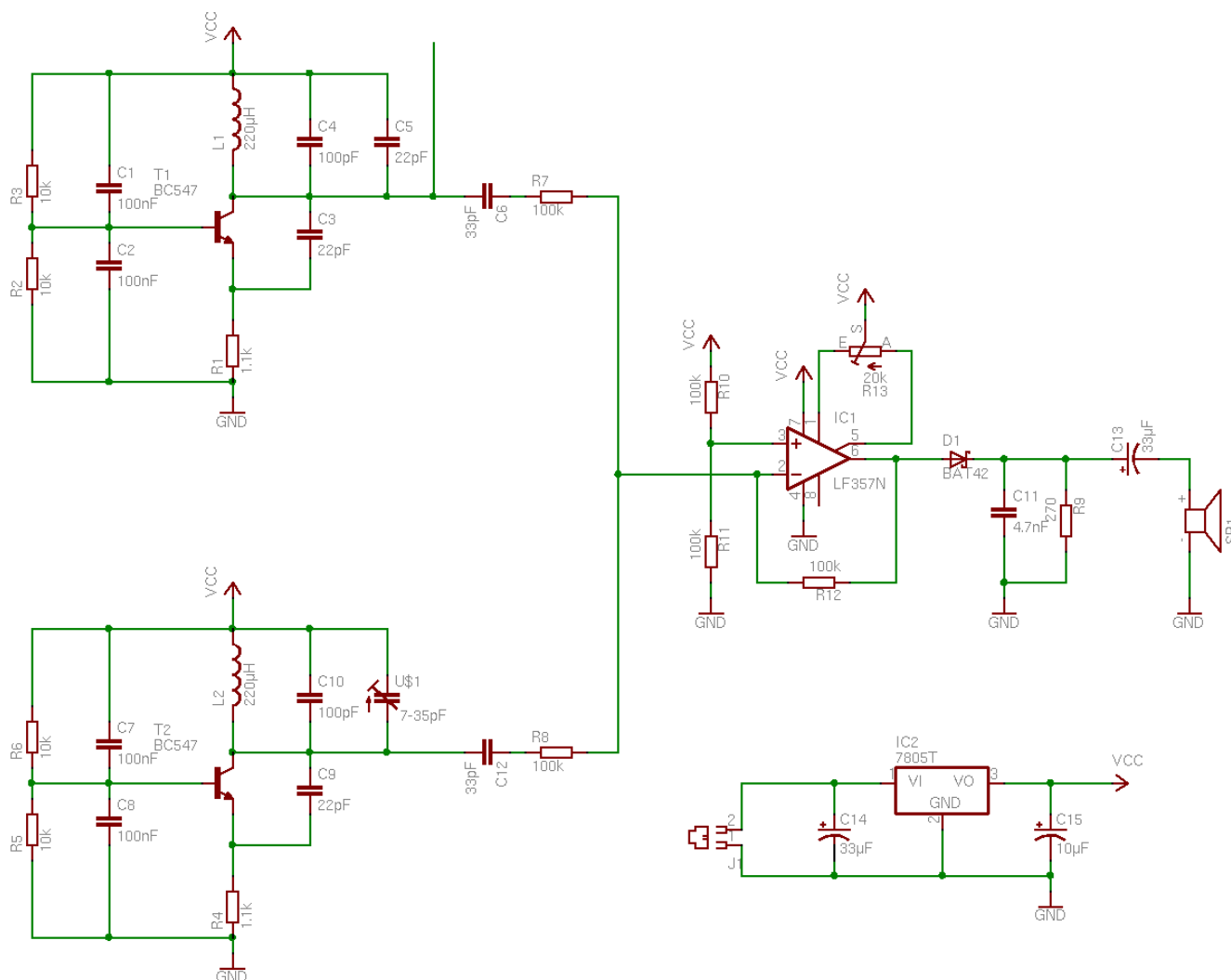
$$\cos(\omega \cdot t) + \cos(\omega' \cdot t + \phi) = 2 \cdot \cos \frac{(\omega + \omega') \cdot t + \phi}{2} \cdot \cos \frac{(\omega - \omega') \cdot t - \phi}{2}$$

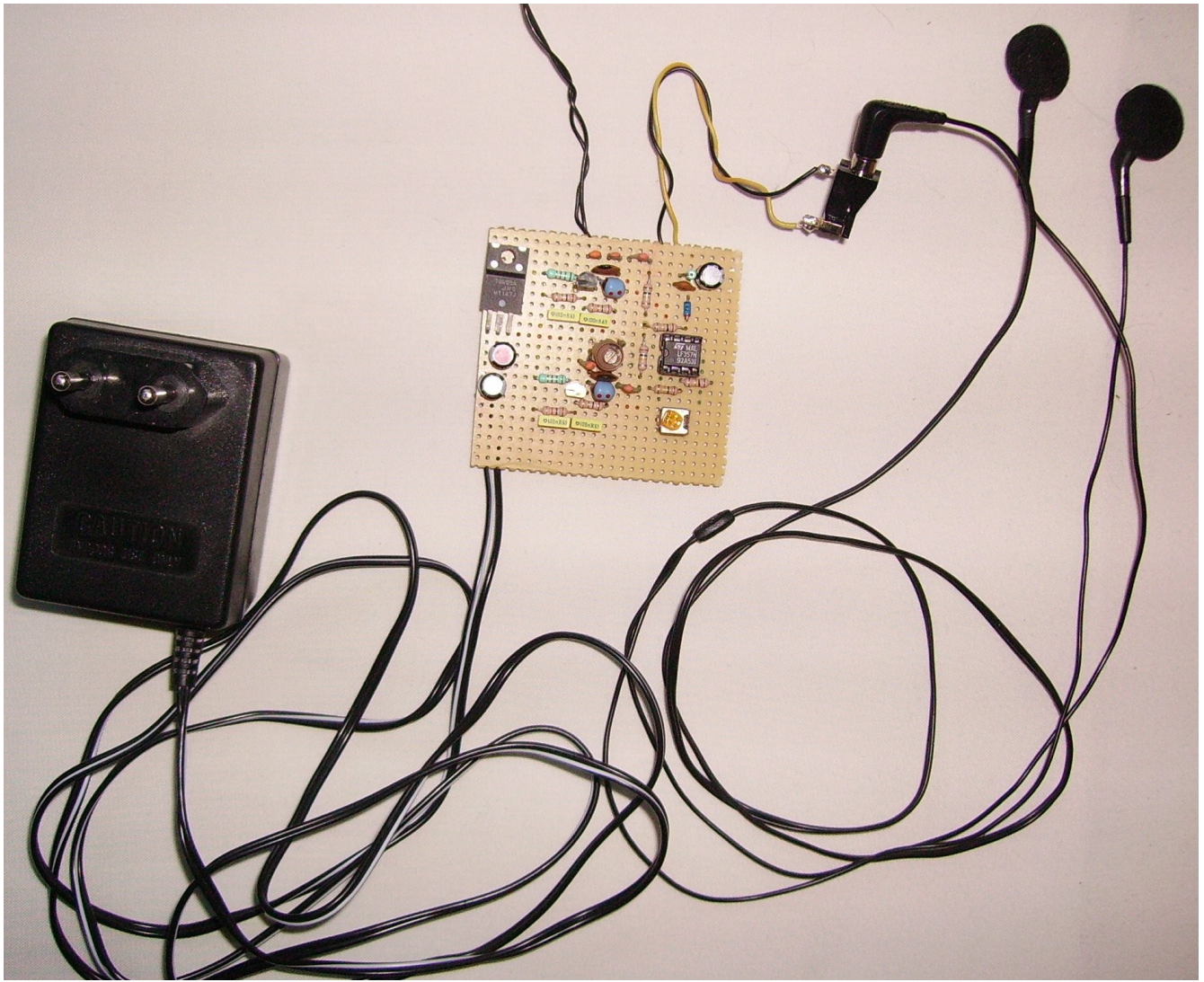
- On obtient un signal de haute fréquence modulé en amplitude par un signal de basse fréquence.
- La pulsation du signal de basse fréquence est la moitié de la différence des pulsations des signaux d'entrée.

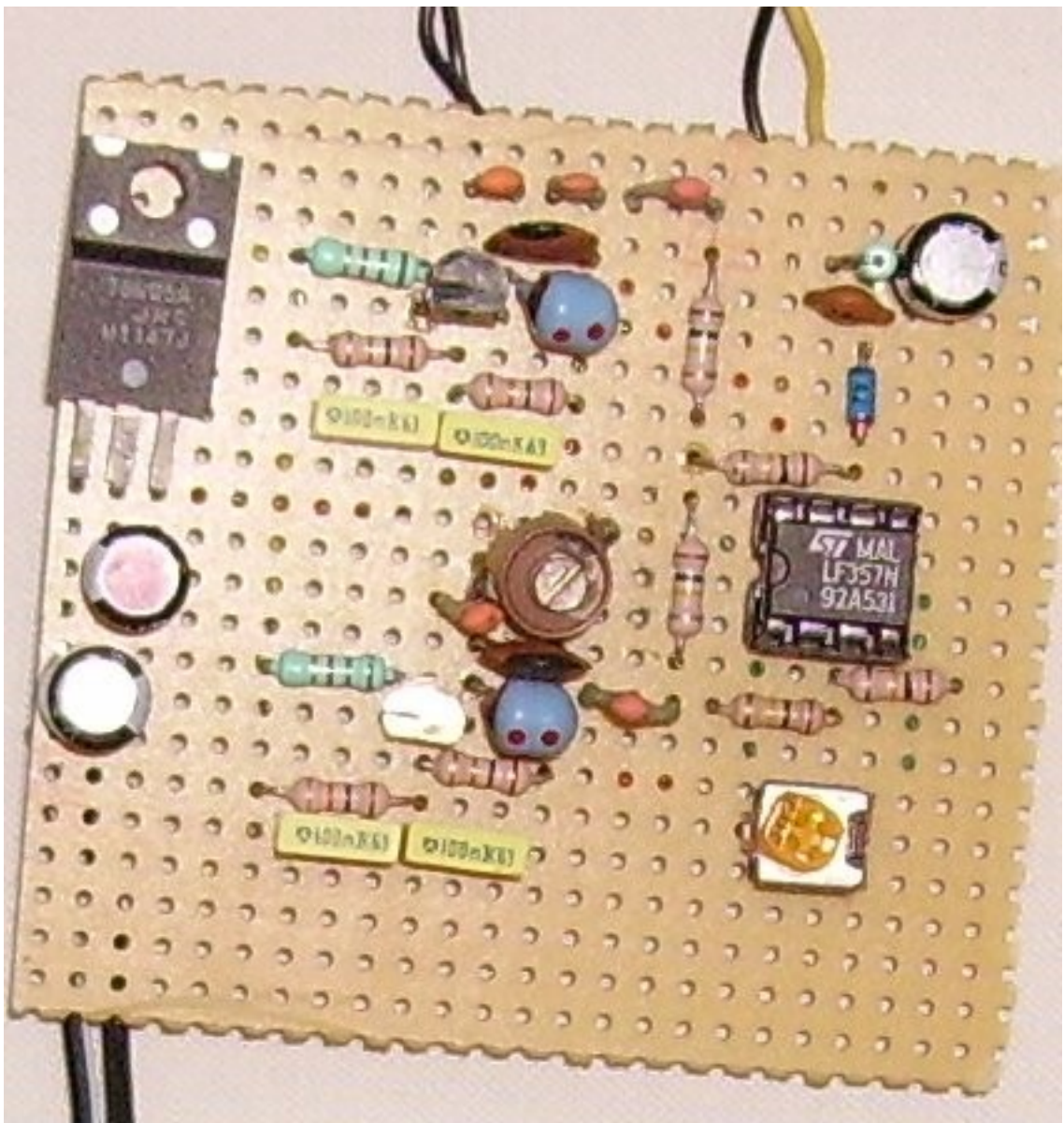
I – 3 – Fonctionnement du détecteur



II - Réalisation pratique d'un theremin

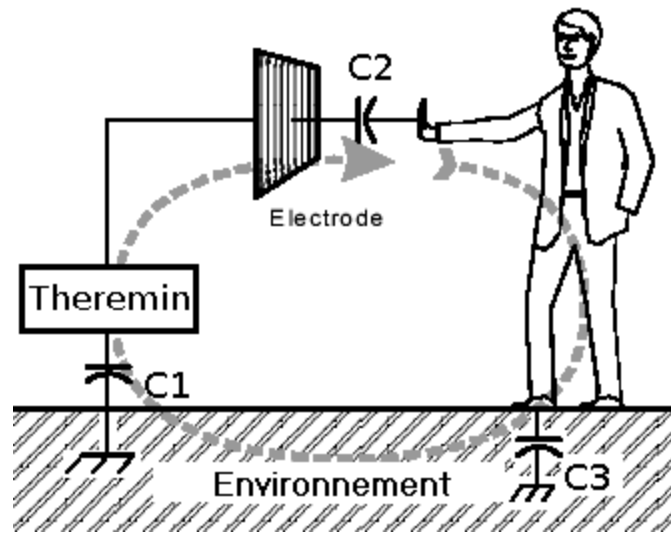






III - Etude de l'effet des mains sur les antennes

III – 1 – La théorie capacitive



Avec $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$; $d = 5 \text{ cm}$; $S = 10 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 10 \text{ cm}^2$ on a

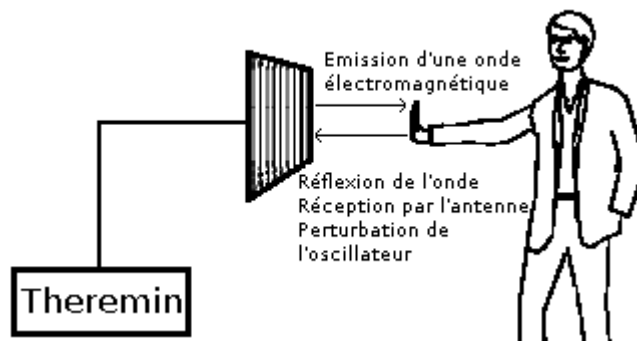
$$C2 = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{d} = 0,2 \text{ pF} ; \text{ ce condensateur étant mis en série avec } C1 \text{ et}$$

$C3$, cette théorie est peu plausible.

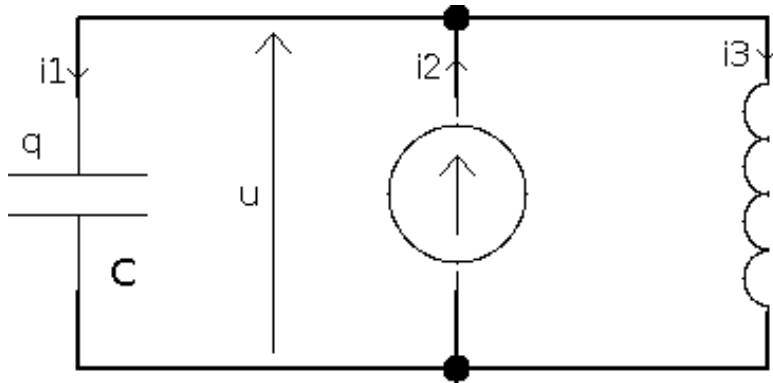
De plus, lorsque je touche la masse du theremin, cela ne modifie pas sensiblement la fréquence du son émis ; $C1$ et $C3$ devraient donc être grands devant $C2$, ce qui est également difficile à imaginer.

III – 2 – La théorie électromagnétique

Le theremin rayonne une onde électromagnétique (je l'ai vérifié expérimentalement à l'aide d'un récepteur PO).



Modélisation électrique :



L'antenne émet une onde, dont l'amplitude instantanée est proportionnelle à la tension u . Après réflexion, cette onde est reçue par l'antenne avec un retard $\tau = \frac{2d}{c}$ et

injecte donc un courant $i2 = k \cdot u(t - \tau)$ dans le circuit LC, k étant un coefficient en $A \cdot V^{-1}$ tenant compte des diverses atténuations de l'onde (ondes n'atteignant pas la main ou l'antenne, ondes traversant la main sans être réfléchies, rendement de l'antenne).

Les lois usuelles donnent l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d^2 i3}{dt^2}(t) - \frac{k}{C} \cdot \frac{d i3}{dt}(t - \tau) + \frac{1}{L \cdot C} \cdot i3(t) = 0$$

dont on cherche les solutions sous la forme $i3(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi)$.
On obtient une condition sur la pulsation, d'où l'on tire la formule :

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot d \cdot k}{c \cdot C}\right)}}$$

Application numérique :

$L = 220 \mu\text{H}$, $C = 100 \text{pF}$, $d = 5 \text{cm}$, $k = 1 \text{mA/V}$

Fréquence de résonance propre du circuit LC : 1,073MHz

Avec perturbation par la main : 1,071MHz

D'où un signal audible de 2kHz.