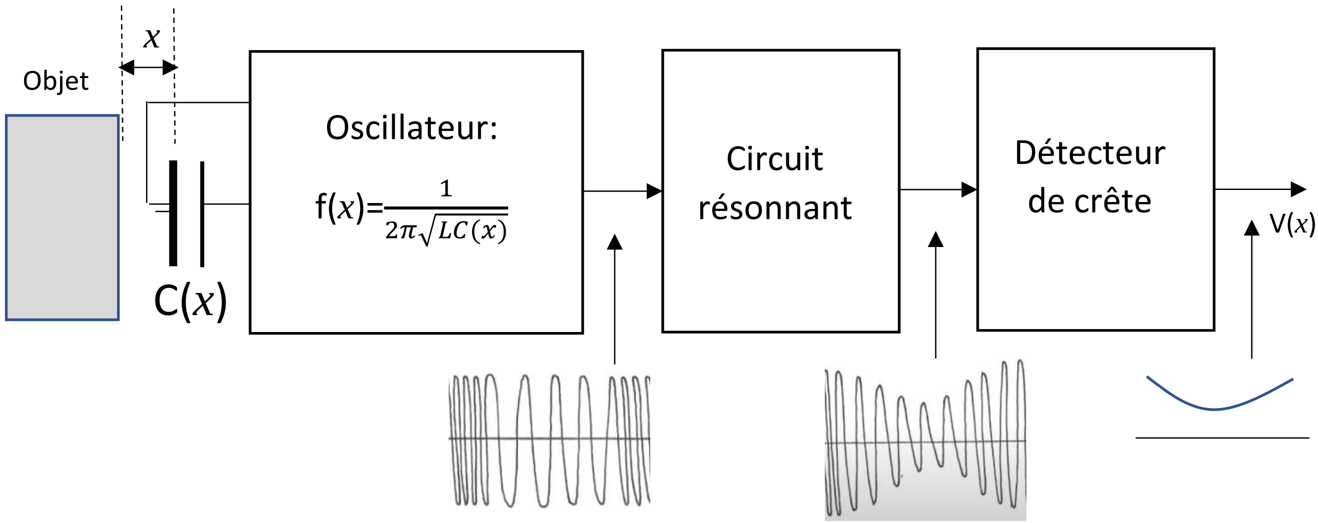
Correction du TP N°2: Simulation par Multisim d'un capteur de proximité capacitif

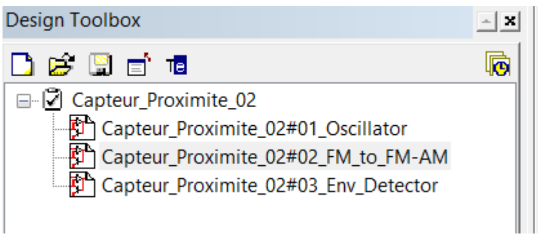
1. Principe :



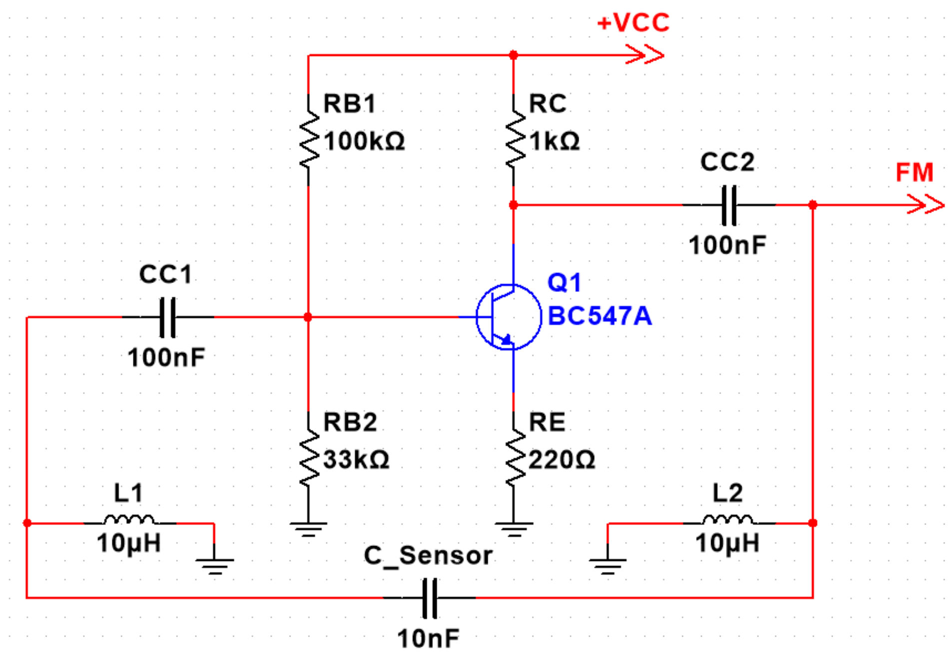
2. Simulation par Multisim :

2.1. Schéma électrique

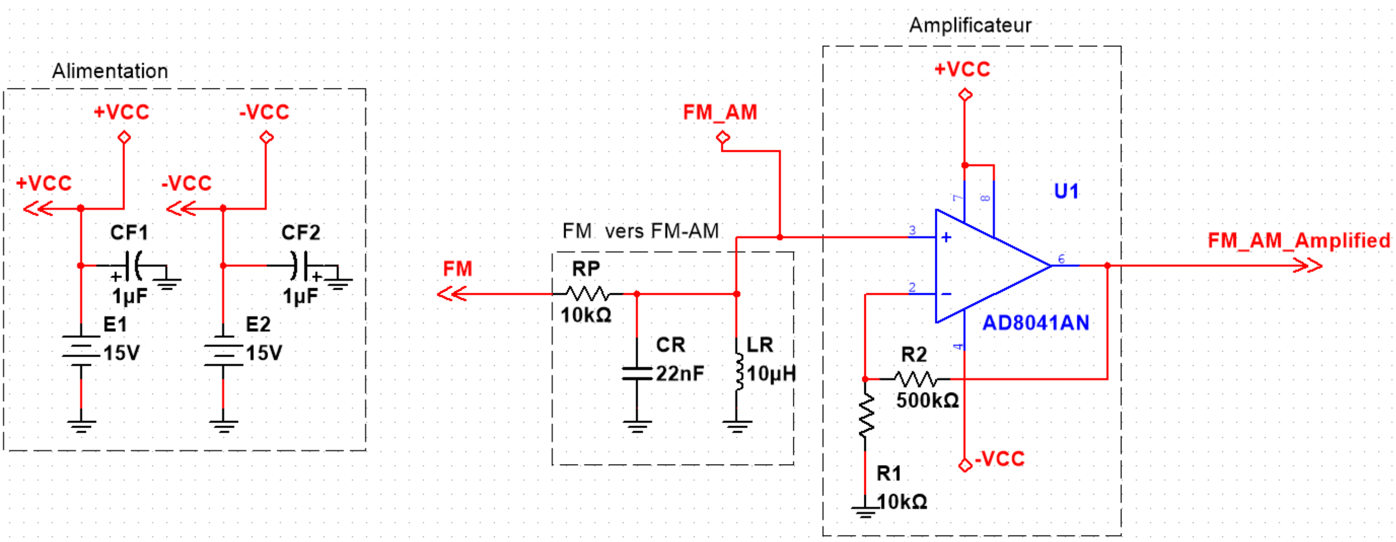
Réaliser le montage dans trois pages (Multi-page):



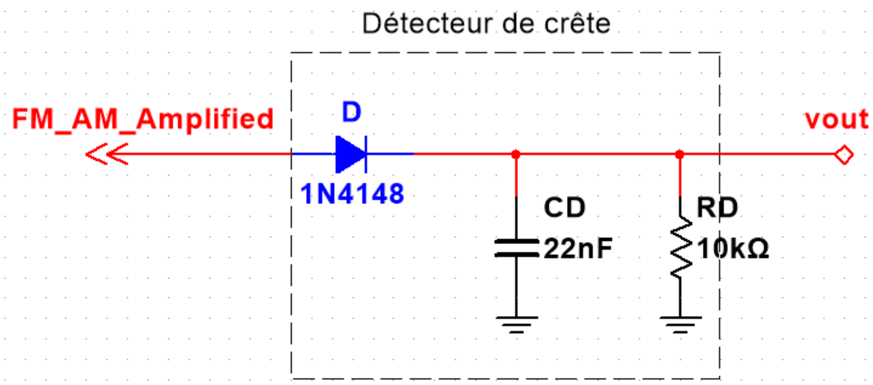
Page 01 → Name: '01_Oscillator':



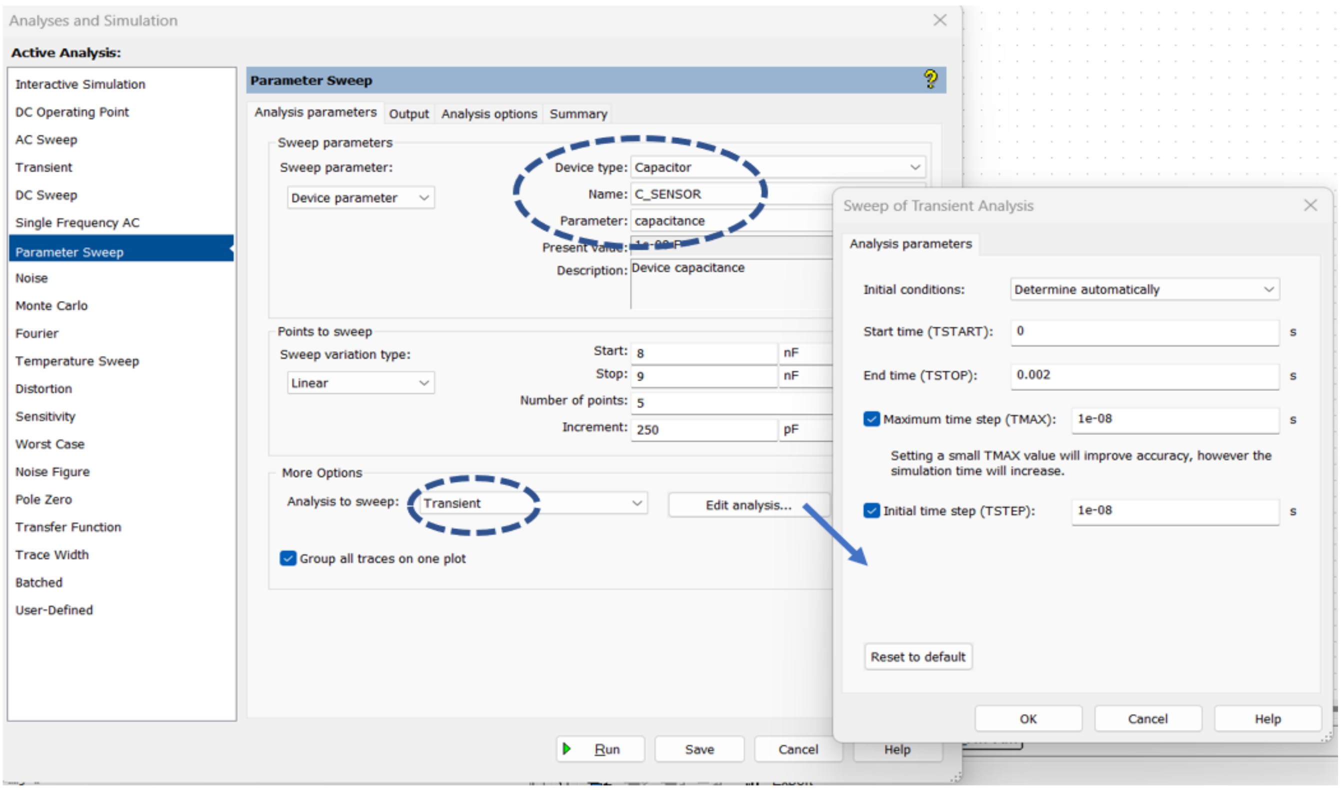
Page 02 → Name: ' 02_FM_to_FM-AM':



Page 03 → Name: ' 03_Env_Detector':



2.2. Type d'analyse : Parameter sweep



Question 01 :

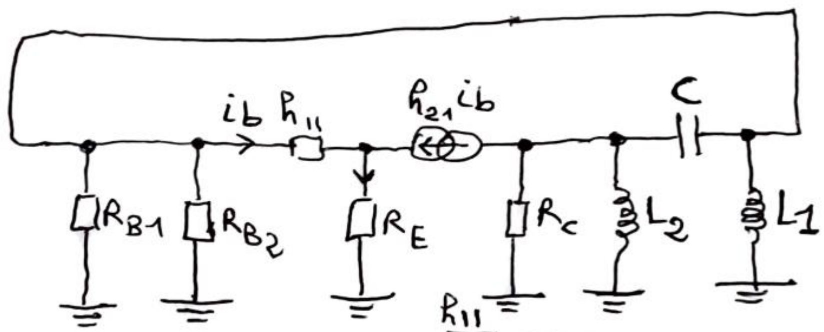
1.1. Comment s'appelle l'oscillateur utilisé dans ce circuit ?

C'est un oscillateur sinusoïdal de type Hartley.

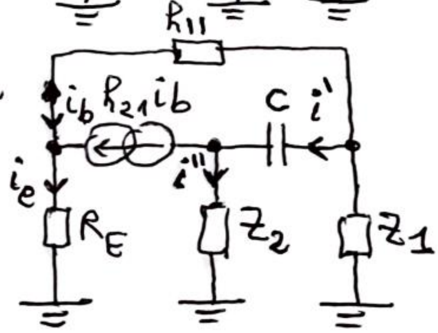
1.2. Donner les équations permettant de calculer sa fréquence d'oscillation.

Pour déterminer la fréquence d'oscillation, suivez les étapes ci-après :

- Dessiner le schéma équivalent petits signaux de l'oscillateur.



$$Z_1 = Z_{L_1} // R_{B1} // R_{B2}$$
$$Z_2 = R_c // Z_{L_2}$$



Avec: C =C_Sensor, $h_{21} = \beta = 120$, $h_{11} = \beta \frac{V_{Th}}{I_{CQ}}$, $V_{Th} = 0.026\,V$

, $I_{CQ} = \frac{\frac{R_{B2}}{R_{B2}+R_{B1}} V_{CC} - V_{BE0}}{\frac{R_B}{\beta} + R_E}$, $V_{BE0} \approx 0.7\,V$ et $R_B = R_{B1}//R_{B2}$.

- Ecrire les équations des courant/tensions en utilisant les lois de Kirchhoff.

$$Z_1(-i' - i_b) - Z_c i' - Z_2(i' - h_{21} i_b) = 0$$
$$Z_1(-i' - i_b) - h_{11} i_b - R_E h_{21} i_b = 0$$
$$\boxed{\begin{aligned}&(-Z_1 - Z_c - Z_2)\, i' + (-Z_1 + h_{21} Z_2)\, i_b = 0 \\ &-Z_1\, i' + (-Z_1 - h_{11} - h_{21} R_E)\, i_b = 0\end{aligned}}$$

- Finalement on obtient une équation de la forme :

B×ib=0 où B est un nombre complexe.

$$(+Z_1 + Z_c + Z_2)\,\frac{Z_1 + h_{11} + h_{21} R_E}{Z_1}\, i_b + (-Z_1 + h_{21} Z_2)\, i_b = 0$$

Pour que le circuit oscille il faut que : ib≠0 et B=0.

B=$(Z_1 + Z_C + Z_2)\frac{Z_1+h_{11}+h_{21}R_E}{Z_1} + (-Z_1 + h_{21}Z_2) = 0$

B=0 => $\begin{cases} Re\{B\} = 0 \\ Im\{B\} = 0 \end{cases}$

La résolution de ces deux équations nous donne la fréquence d'oscillation et la condition d'oscillation.

Fréquence d'oscillation :

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{(h_{11}+h_{21}R_E)R_B R_C}{(h_{11}+h_{21}R_E)(R_B R_C C(L_1+L_2)+L_1 L_2)+R_B L_1 L_2}}$$

$$f_0 \approx \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{(L_1+L_2)C}}$$

Condition d'oscillation :

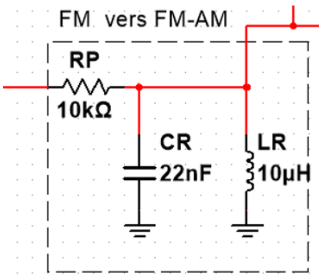
$$\omega_0{}^2 L_1 L_2 C\big((h_{11} + h_{21}R_E)(R_B + R_C) + h_{21}R_B R_C L_1 L_2 C\big) = (h_{11} + h_{21}R_E)(R_C L_1 + R_B L_2) + R_B R_C L_1$$

1.3. Donner la formule approximée de sa fréquence en fonction de la capacité du capteur.

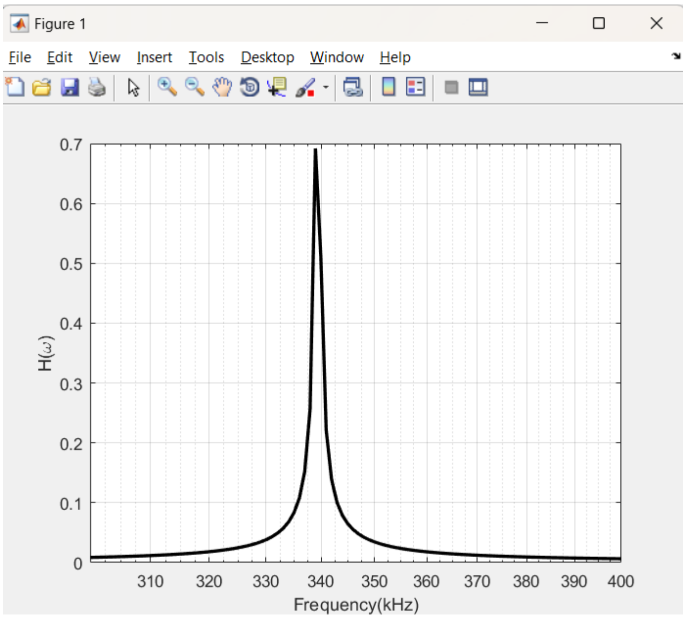
$$f_0 \approx \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{(L_1 + L_2)C}}$$

Question 02 :

2.1. Utiliser MATLAB pour tracer le module de la réponse en fréquence H(ω) du circuit : ' FM vers FM-AM'.



$$H(\omega) = \frac{Z_{CR}//Z_{LR}}{Z_{CR}//Z_{LR}+R_P}$$




```
clear;
clc;
f=logspace(5+log10(3),5+log10(4),100);
RP=10e3; CR=22e-9; LR=10e-6;
ZCR=complex(0,-1./(2*pi*f*CR));
ZLR=complex(0,2*pi*f*LR);
ZEQ=ZCR.*ZLR./(ZCR+ZLR);
HW=ZEQ./(ZEQ+RP);
abs_HW=abs(HW);
semilogx(f/1e3,abs_HW,'k-','LineWidth',2);
grid on;
ylabel('H(\omega)');
xlabel('Frequency(kHz)');
```

2.2. Donner l'expression de sa fréquence de résonnance.

Fréquence de résonnance est la fréquence pour laquelle la tension VFM devient maximale => H(w) devient réelle:

$$H(\omega) = \frac{j\omega L_R}{j\omega L_R + (1-\omega^2 L_R C_R) R_P} \text{ devient réelle si: } 1 - \omega^2 L_R C_R = 0$$

$$=> \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_R C_R}}$$

2.3. Exprimer le signal 'FM_AM_Amplified' en fonction de signal 'FM-AM'.

On a un amplificateur non inverseur:

$$V_{\text{FM\_AM\_Amplified}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{\text{FM-AM}}$$

Question 03 :

Donner la condition sur RD et CD pour que le détecteur de crête restitue correctement l'information *x* (la distance entre l'objet et le capteur) pour un mouvement sinusoïdal de fréquence f_m.

VFM_AM(max)=2.13 V pour C=9nF, VFM_AM(min)=1.23 V pour C=8nF.

Alors l'indice de modulation : $\mu = \frac{\text{VFM\_AM}_{max} - \text{VFM\_AM}_{min}}{\text{VFM\_AM}_{max} + \text{VFM\_AM}_{min}} = 0.27$

La condition est donnée par la formule : $R_D C_D \leq \frac{1}{2\pi f_m} \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{\mu}$

➔ Voir la référence suivante page 63 : Communications analogiques et numériques. Cours et problèmes. Hwei P. Hsu. **McGRAW-HILL.**

Selon les valeurs de R_D et C_D utilisées alors f_m ne doit pas dépasser la valeur $f_{m(max)}$:

$$f_{m(\max)} = \frac{1}{2\pi R_D C_D} \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{\mu} = 567 \text{ Hz.}$$