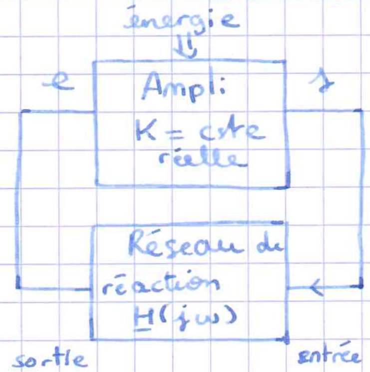
ES3 : OSCILLATEURS

Systèmes bouclés auto-oscillants (pas de signal d'entrée !)
MAIS source d'énergie : $-15\,V$ / masse / $+15\,V$
↓
nécessite l'instabilité du système

I - Oscillateurs sinusoïdaux (quasi)

1 - Architecture générale



→ ici : e et s tensions

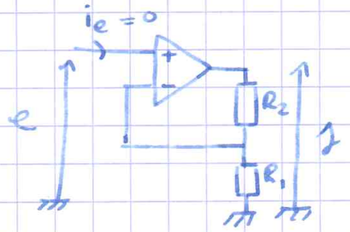
→ on suppose $\underline{H}(j\omega)$ = filtre passe-bande

Principe

→ Ampli : compense les pertes par effet Joule
→ Filtre : sélectionne l'harmoniq de fréquence f_0 : fréq. d'oscillat°.

2. Exemple de l'oscillateur à pont de Wien

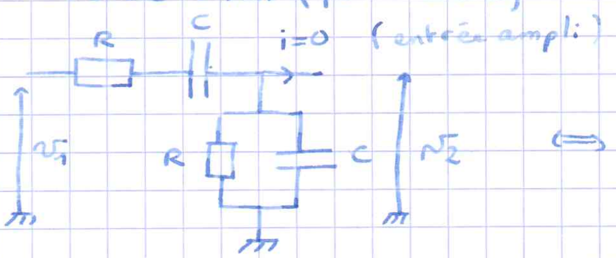
Ampli : ANi



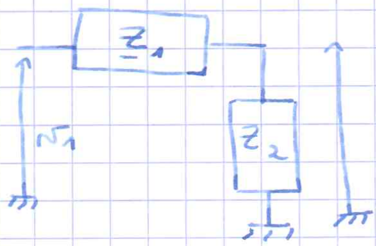
ALi stable ⇒ RL a priori
+ idéal

Si RL : $\varepsilon = 0$ et $s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)e = Ke$

Filtre de Wien (passe bande)



⟺



$\frac{\underline{v_2}}{\underline{v_1}} = \frac{\underline{Z_2}}{\underline{Z_2} + \underline{Z_1}}$

$\underline{Z_1} = R + \frac{1}{jC\omega} = \frac{1 + jRC\omega}{jC\omega}$ $\qquad \underline{Z_2} = \frac{1}{\frac{1}{R} + jC\omega} = \frac{R}{1 + jRC\omega}$

$$\underline{H} = \frac{\frac{R}{1+jRC\omega}}{\frac{R}{1+jRC\omega} + \frac{1+jRC\omega}{jC\omega}} = \frac{\frac{R}{1+jRC\omega}}{\frac{jRC\omega + (1+jRC\omega)^2}{jC\omega(1+jRC\omega)}} = \frac{jRC\omega}{1 + 3jRC\omega - (RC\omega)^2} = \frac{1}{3 + \frac{1}{jRC\omega} - \frac{RC\omega}{jRC\omega}} = \frac{1/3}{1 + \frac{1}{3}j\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$$

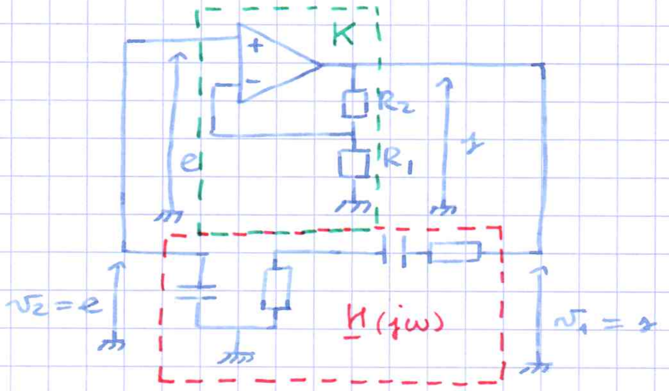
$$\underline{H} = H_0 \times \frac{j\frac{\omega}{\omega_0 Q}}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0 Q} - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$ où $H_0 = \frac{1}{3}$, $Q = \frac{1}{3}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

↳ filtre peu sélectif

ou

$$\underline{H} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{\frac{1}{3jRC\omega} + 1 + \frac{jRC\omega}{3}} = \frac{1/3}{1 + \frac{j}{3}\left(RC\omega - \frac{1}{RC\omega}\right)}$$

Oscillateur : montage



3. Condition théorique d'auto-oscillation

Hyp : les signaux s et e sont sinus.

$\rightarrow \quad \underline{s} = K\underline{e} \qquad$ et $\qquad \underline{e} = \underline{H}(j\omega)\,\underline{s}$

$$\underline{s} = K\underline{H}(j\omega)\,\underline{s}$$

$\Rightarrow$ RSF possible : $K\underline{H}(j\omega) = 1$ (condition de Barkhausen)

Cas de l'oscillateur de Wien

$$K \times \frac{H_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)} = 1 \iff KH_0 = 1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$$

$$\iff \begin{cases} \omega = \omega_0 = \frac{1}{RC} \\ \text{et } K = \frac{1}{H_0} = 3 \end{cases}$$

4. Instabilité du système bouclé et démarrage des oscillations

$\underline{s} = K\underline{e}$ et $\underline{e} = \underline{H}(j\omega)\,\underline{s}$

$$\Rightarrow \underline{s} = \frac{KH_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}\,\underline{s}$$

$$\left(\left(1 + jQ\frac{\omega}{\omega_0} + \frac{Q\omega_0}{j\omega}\right)\underline{s} = KH_0\,\underline{s}\right) \times j\frac{\omega\omega_0}{Q}$$

$$\frac{\omega_0}{Q} j\omega \cdot \underline{s} + (j\omega)^2\,\underline{s} + \omega_0^2\,\underline{s} = KH_0\frac{\omega_0}{Q}\,j\omega\,\underline{s}$$

$\hookrightarrow$ EDL : $\dfrac{d^2s}{dt^2} + \dfrac{\omega_0}{Q}(1 - KH_0)\dfrac{ds}{dt} + \omega_0^2\, s(t) = 0$ (suppose le RL de l'ALi a priori)

- $KH_0 < 1$ i.e. $K < 3$ $\Rightarrow$ sys. stable, pas d'oscillat° possibles
- $KH_0 = 1$ i.e. $K = 3$ $\Rightarrow$ osc. harmoniq $\Rightarrow$ oscill. sinusoïdales où $\omega = \omega_0 = \frac{1}{RC}$
- $KH_0 > 1$ i.e. $K > 3$ $\Rightarrow$ instable : osc. amplifiée expon.

Amplitude $\propto \exp\left(\underbrace{\frac{\omega_0}{2Q}(KH_0 - 1)}_{>0} t\right)$

→ deux systèmes stables mais leur associat° instable si condition vérifiée.

5- Stabilisation de l'amplitude des oscillations et non linéarités

• Si $R \sim$ qq kΩ, $|s|_{max} \sim V_{sat}$

Si $R \sim 100\,\Omega$, $|s|_{max} < V_{sat}$ (qq V)

↳ saturation en courant de l'ALi

6. Taux de distorsion harmonique (TDH)

nb sans dimension caractérisant | la pureté spectrale d'un signal périodique
| sa ressemblance à une sinusoïde

$s(t) =$ signal T-périodique $\left(\omega_0 \hat{=} \frac{2\pi}{T}\right)$

DSF : $s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} S_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k)$

$$S_{eff} \hat{=} \sqrt{\langle s^2 \rangle} = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{S_k^2}{2}} \qquad S_{eff}^{fond} = \frac{S_1}{\sqrt{2}}$$

$$TDH \hat{=} \sqrt{\frac{\sum_{k=2}^{\infty} S_k^2}{\sum_{k=1}^{\infty} S_k^2}} = \sqrt{\frac{S_{eff}^2 - (S_{eff}^{fond})^2}{S_{eff}^2}}$$

$$TDH = \sqrt{1 - \left(\frac{S_{eff}^{fond}}{S_{eff}}\right)^2}$$

→ signal sinus : $TDH = 0$
→ bruit blanc : $S_{eff} \gg S_{eff}^{fond}$ donc $TDH \to 1$

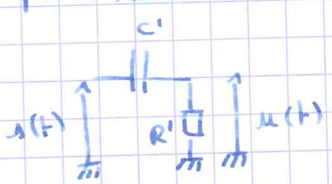
→ osc. à pont de Wien : $s(t)$: sortie de l'ALi / entrée filtre
$e(t)$: sortie filtre / entrée ALi

$TDH(e) < TDH(s)$ grâce au filtrage passe bande

7. Comment obtenir le portrait de phase de l'oscillateur ?

⇒ dériver s ou e sans perturber le fonct° de l'osc.

• passe haut du 1er ordre



$$\underline{H}(j\omega) = \frac{jR'C'\omega}{1 + jR'C'\omega}$$

Si $R'C'\omega \ll 1$, $\underline{H}(j\omega) \sim jR'C'\omega$

$\Rightarrow u(t) = R'C' \frac{ds}{dt}$

• Contraintes : il faut $R'C' \ll \frac{1}{\omega_0} = RC$ et $R' \gg R$

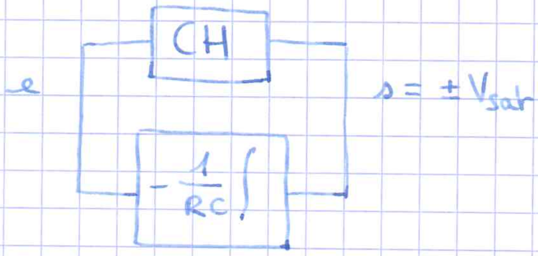
ex : pour $R = 1\,k\Omega$, $C = 100\,nF$ → $R' = 100\,k\Omega$, $C' = 10\,pF$ à $100\,pF$

II – Oscillateurs à relaxation

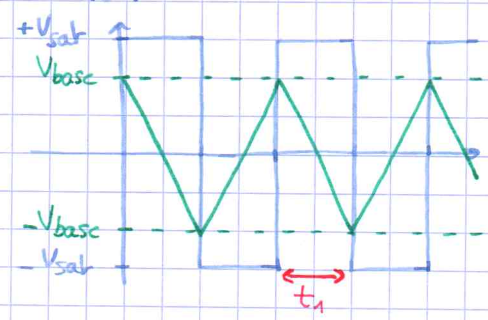
- non sinus → ⎍ , /\/ ....
- constitués à l'aide d'1 sys. fonct° instable (comp. hystérésis)

1 – Multivibrateur astable

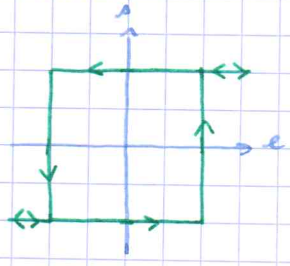
bouclage d'un CH (I ou NI) sur un intégrateur inv.



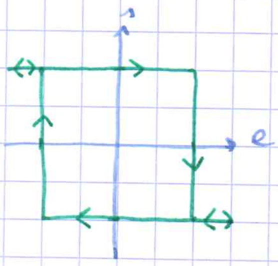
But :



CHNI :

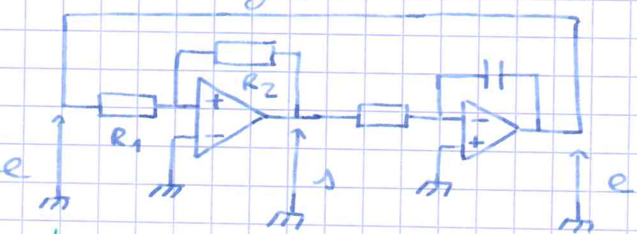


CHI :



⟹ seul le CHNI convient

→ Montage :



2. Analyse du fonctionnement du montage

→ raisonnement par hypothèses sur les ≠ phases

Hyp à $t = 0$: $s^{(0)} = +V_{sat}$ et il vient de basc. de $-V_{sat}$ à $+V_{sat}$ ⟹ $e(0) = +V_{basc}$

• Phase 1 : $s = +V_{sat}$ ⟹ $e(t) = -\frac{V_{sat}}{RC}.t + e(0)$

$$e(t) = -\frac{V_{sat}}{RC}t + V_{basc}$$

→ A quel instant t_1 la phase 1 cesse-t-elle ?

On est à $s = +V_{sat}$ tant que $\varepsilon > 0$ i.e. $V^+ > 0$ i.e. $\frac{R_2 e + R_1 \overset{V_{sat}}{\overset{\shortparallel}{s}}}{R_1 + R_2}$

$$\Leftrightarrow R_2 e + R_1 V_{sat} > 0$$

$$\Leftrightarrow e > -\frac{R_1}{R_2}V_{sat} > -V_{basc} \qquad V_{basc} \hat{=} \frac{R_1}{R_2}V_{sat}$$

à t_1 on a basculement i.e. $e(t_1) = -V_{basc} = -\frac{R_1}{R_2}V_{sat}$

⟹ $t_1 = \frac{2V_{basc}}{V_{sat}} \times RC = 2.\frac{R_1}{R_2}.RC$

• Phase 2 : $s = -V_{sat}$ ⟹ $e(t) = +\frac{V_{sat}}{RC}(t - t_1) + \overbrace{e(t_1)}^{-V_{basc}}$

on est dans la phase 2 tant que $\varepsilon < 0$ i.e. $V^+ < 0$

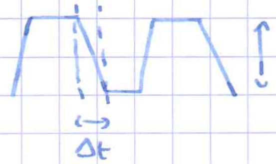
i.e. $e < -\frac{R_1}{R_2}(-V_{sat})$ ⟺ $e < \frac{R_1}{R_2}V_{sat} = V_{basc}$ donc $e(t_2) = V_{basc}$

donc $T = 4\frac{R_1}{R_2} \times RC$

③ Réglage de la fréq. des oscillations

→ via le produit RC.

→ f_{max} ?



$2V_{sat}$ $\quad \Delta t = \dfrac{2V_{sat}}{\sigma}$

Critère conventionnel : $\quad 2\Delta t \leqslant 0{,}1\,T$

$$f \leqslant \frac{0{,}1}{2\Delta t} = \frac{0{,}1\,\sigma}{4V_{sat}} = \frac{0{,}1 \times 16 \cdot 10^6}{4 \times 15} = \frac{4 \cdot 10^5}{15} \# 25\,kHz$$