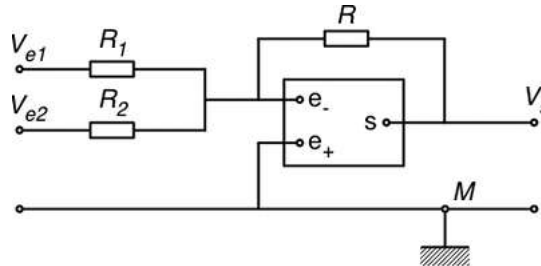


AO "IDÉAL" EN MODE LINÉAIRE – corrigé du TP2

2. Montage "sommateur (inverseur)"

2.1. Montage avec signaux continus ou variables

- Pour pouvoir calculer les incertitudes expérimentales causées par les résistances, on considère le cas plus général avec trois résistances différentes.



- D'après la loi de Millman : $V_- = \frac{\frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{V_{e2}}{R_2} + \frac{V_s}{R}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}$ avec $V_- = V_+ = 0$; par suite : $V_s = -R \cdot \left(\frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{V_{e2}}{R_2} \right)$.

On obtient donc $V_s = -(V_{e1} + V_{e2})$ pour trois résistances égales.

- Pour le calcul d'incertitudes, les tensions et résistances étant mesurées avec les mêmes appareils, on peut craindre des corrélations ; on choisit donc d'ajouter linéairement les différentes contributions :

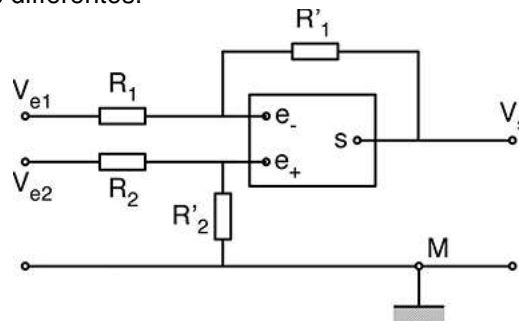
$$\Delta V_s \approx R \cdot \left(\frac{\Delta V_{e1}}{R_1} + \frac{\Delta V_{e2}}{R_2} \right) + \Delta R \cdot \left| \frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{V_{e2}}{R_2} \right| + R \cdot \left(\frac{|V_{e1}|}{R_1^2} \Delta R_1 + \frac{|V_{e2}|}{R_2^2} \Delta R_2 \right).$$

Même si on suppose ensuite les trois résistances "égales" il subsiste un troisième terme associé à leurs incertitudes : $\Delta V_s \approx \Delta V_{e1} + \Delta V_{e2} + \frac{\Delta R}{R} \cdot (|V_{e1} + V_{e2}| + |V_{e1}| + |V_{e2}|)$.

- En attente de données fournies par les étudiants...

2.2. Variante : montage "soustracteur"

- Pour pouvoir calculer les incertitudes expérimentales causées par les résistances, on considère le cas plus général avec quatre résistances différentes.



- D'après la loi de Millman : $V_- = \frac{\frac{V_{e1}}{R_1} + \frac{V_s}{R'1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'1}}$ et $V_+ = \frac{\frac{V_{e2}}{R_2}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R'2}} = V_-$; par suite : $V_s = V_{e2} \frac{1 + \frac{R'1}{R_1}}{1 + \frac{R'2}{R_2}} - V_{e1} \frac{R'1}{R_1}$.

On obtient donc $V_s = V_{e2} - V_{e1}$ pour toute série de résistances telles que $K_1 = \frac{R'1}{R_1} = 1$ et $K_2 = \frac{R'2}{R_2} = 1$.

- Pour le calcul des incertitudes sur cette relation théorique, même si on a utilisé des résistances théoriquement égales, il faut tenir compte du fait qu'on a utilisé des résistances expérimentalement différentes (aux incertitudes près).

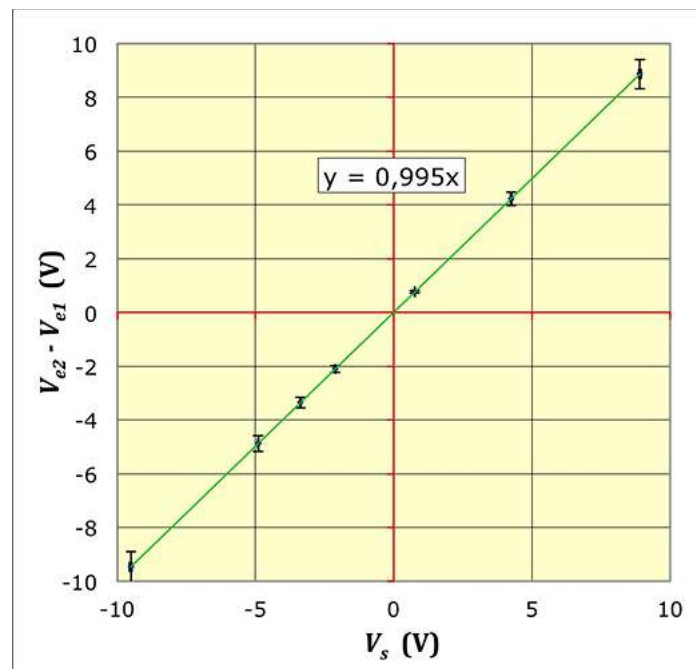
Ainsi, en propageant les incertitudes dans les expressions avec des résistances différentes, puis en imposant après des résistances égales (pour $K_1 = K_2 = 1$) on obtient : $\Delta K_1 = \Delta K_2 = 2 \frac{\Delta R}{R}$.

- Ici encore on choisit donc d'ajouter linéairement les différentes contributions :

$$\Delta V_s \approx \Delta V_{e1} + \Delta V_{e2} + \left| \frac{\partial V_s}{\partial K_1} \right| \Delta K_1 + \left| \frac{\partial V_s}{\partial K_2} \right| \Delta K_2 ;$$

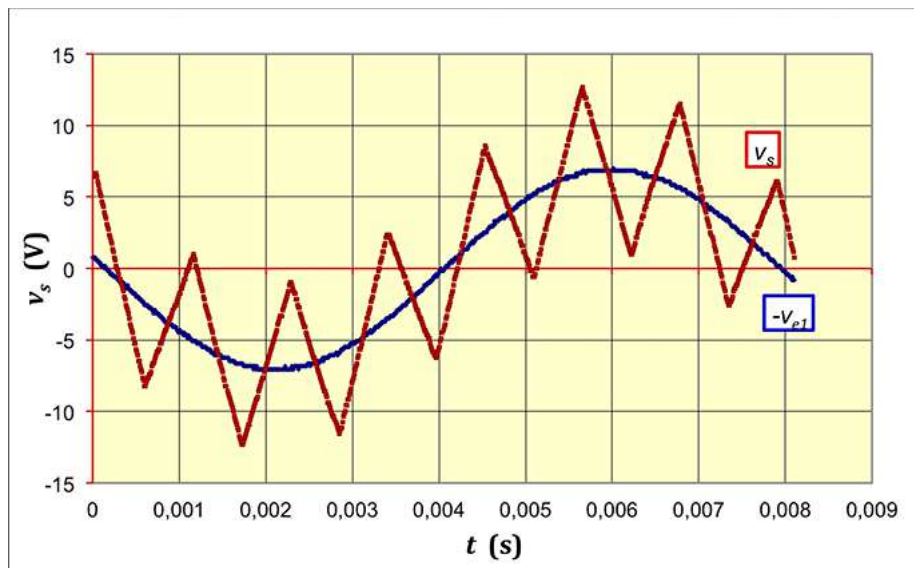
$$\Delta V_s \approx \Delta V_{e1} + \Delta V_{e2} + 2 \frac{\Delta R}{R} \cdot (|V_{e2} - V_{e1}| + |V_{e2}|) .$$

- Des mesures en régime continu ont été effectuées avec des résistances $R = 470 \pm 5 \Omega$, pour des couples de tensions V_{e1} et V_{e2} le plus diverses, réparties dans l'intervalle $\pm 13 V$.



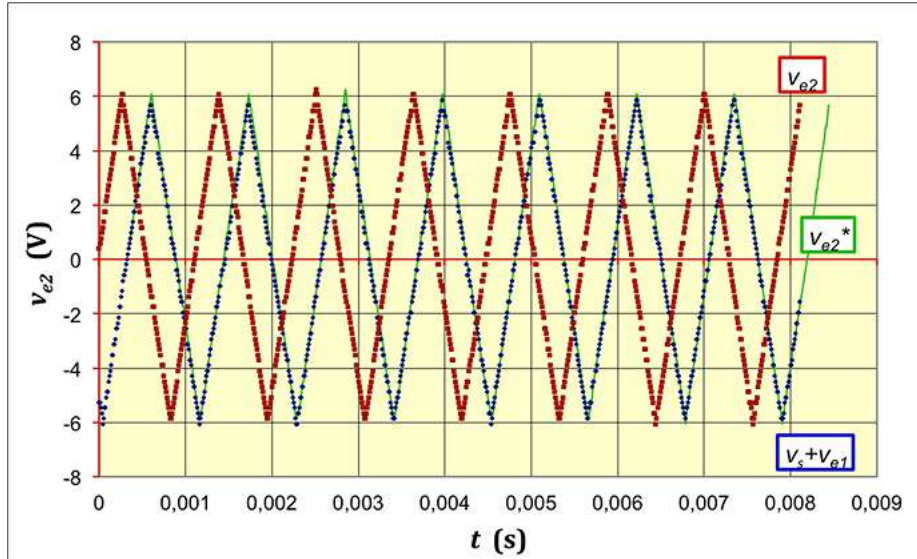
Le modèle théorique est bien compatible avec les mesures (coefficient de proportionnalité $0,995 \pm 0,023$).

- En régime variable, on substitue une tension v_{e1} sinusoïdale à une tension v_{e2} en dents de scie.



♦ remarque : l'avantage de la forme des deux signaux étudiés est la compréhension visuelle aisée du fait que la dent de scie v_{e2} est ajoutée à la sinusoïde $-v_{e1}$.

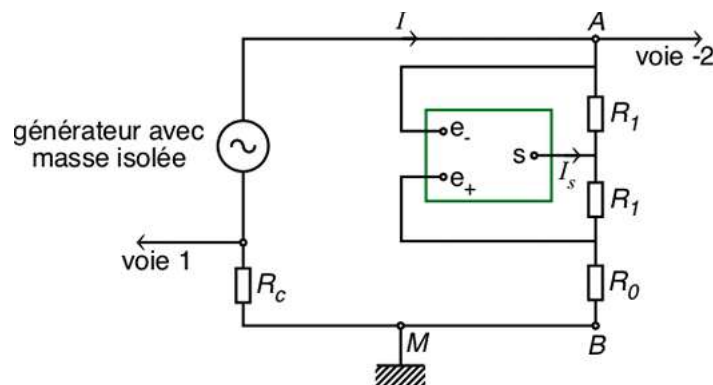
• La mesure de v_{e2} montre une compatibilité convaincante avec le signal inversement déduit à partir des deux précédents (on peut ajuster manuellement le décalage de v_{e2}^* pour vérifier la superposition).



3. Montage “résistance négative”

• En régime linéaire : $V_{e+} = V_{e-}$ donc $U_{AB} = R_0 \cdot (I + I_s)$ et $R_1 I + R_1 \cdot (I + I_s) = 0$.

On en déduit : $I_s = -2I$ et $U_{AB} = -R_0 I$ (comportement en résistance négative, ce qui correspond en fait à une sorte de générateur, par l'action de la sortie de l'A.O.).



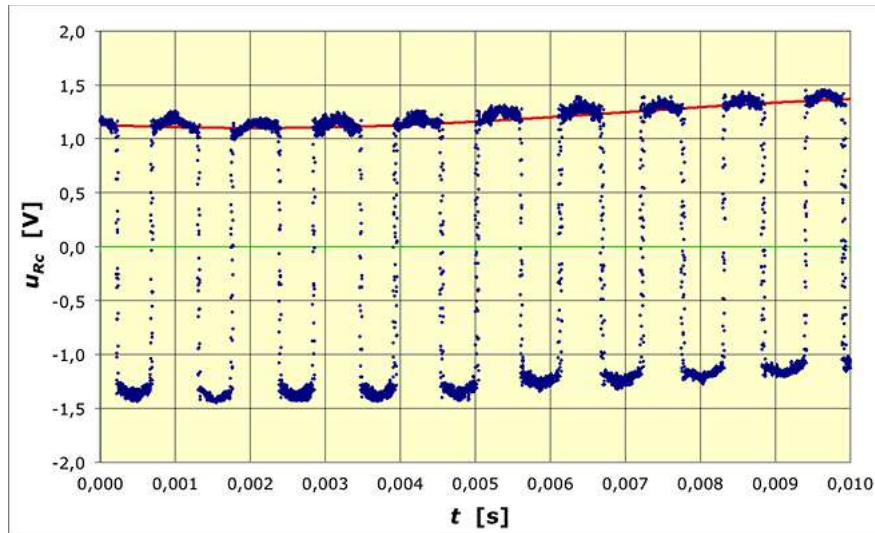
• Si on considère que le mode saturé correspond à $V_s = \pm A$, l'addition de la tension aux bornes de R_1 (du côté du point A) donne : $U_{AB} = \pm A + R_1 I$.

♦ remarque : si on craint une confusion avec le point A, on peut ici noter la tension d'alimentation $\pm \tilde{A}$.

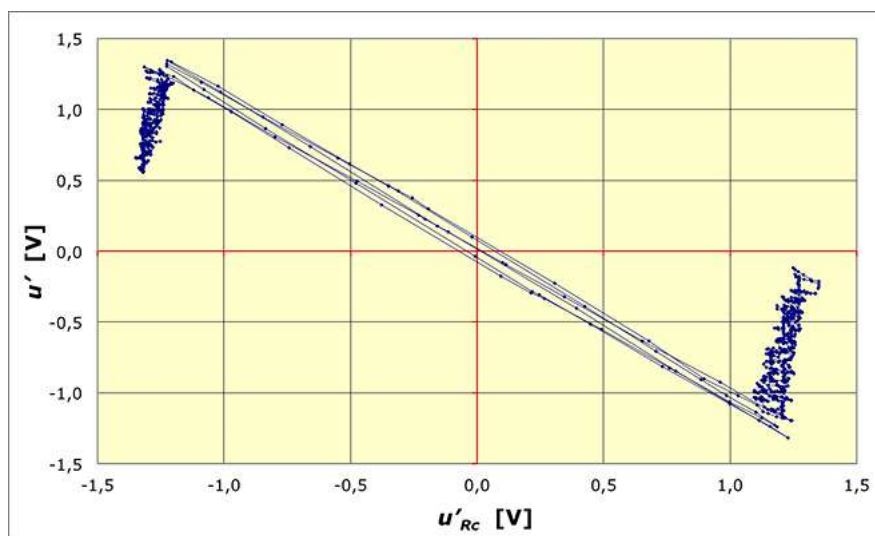
♦ remarque : la résistance de sortie en mode saturé n'est pas nulle mais généralement $\rho \approx 350 \Omega$, donc $V_s = \pm A - \rho I_s$; d'autre part : $V_s = (R_1 + R_0)(I + I_s)$ donc $I_s = \frac{\pm A - (R_1 + R_0)I}{R_1 + R_0 + \rho}$ ce qui donne $U_{AB} = \pm A' + R_1' I$ en notant $A' = A \frac{R_1 + R_0}{R_1 + R_0 + \rho}$ et $R_1' = R_1 + \rho \frac{R_1 + R_0}{R_1 + R_0 + \rho}$; compte tenu de la valeur $\rho \ll R_1 \approx 10 \text{ k}\Omega$, ceci ne correspond toutefois qu'à une correction de $-3,1\%$ sur A et de $+3,4\%$ sur R_1 , ce qui est du même ordre que les incertitudes de mesure (assez grandes pour les portions saturées).

♦ remarque : ici encore, pour des calculs d'incertitudes complets il faudrait raisonner avec deux résistances R_1 différentes.

• Le premier montage est réalisé (en régime variable) avec : $R_1 = 10,02 \pm 0,07 \text{ k}\Omega$; $R_0 = 992 \pm 7 \Omega$; $R_c = 1050 \pm 7 \Omega$. On constate clairement qu'il s'ajoute un important signal parasite d'allure sinusoïdale à 50 Hz (demi-période de 10 ms ; il faut que cela soit un nombre suffisant de périodes du signal étudié).

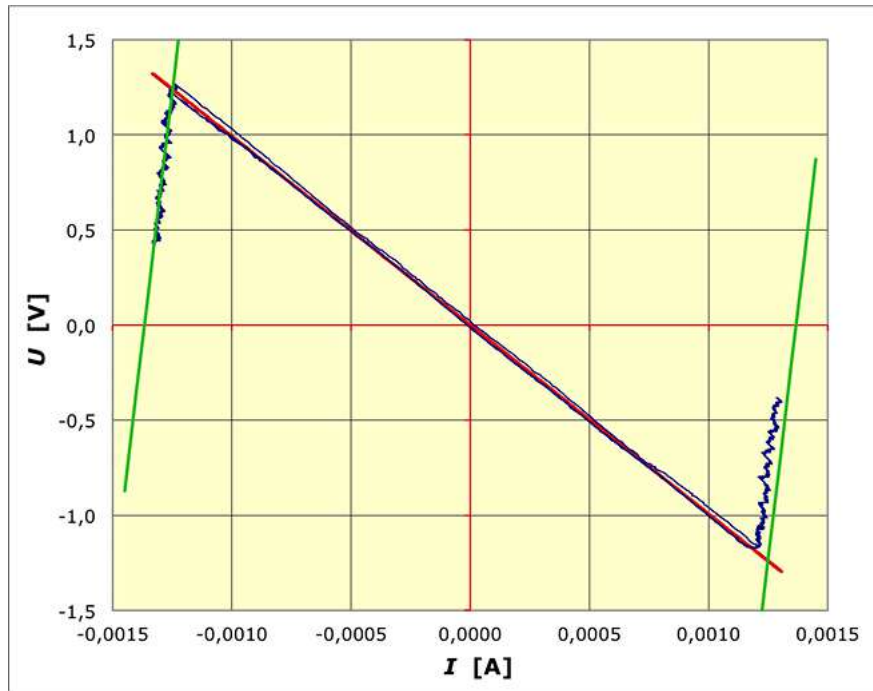


Une première correction très simple consiste à décaler le signal pour compenser la valeur moyenne des parasites ; on obtient l'allure de la caractéristique souhaitée, sur laquelle on constate l'effet très perturbateur des parasites.

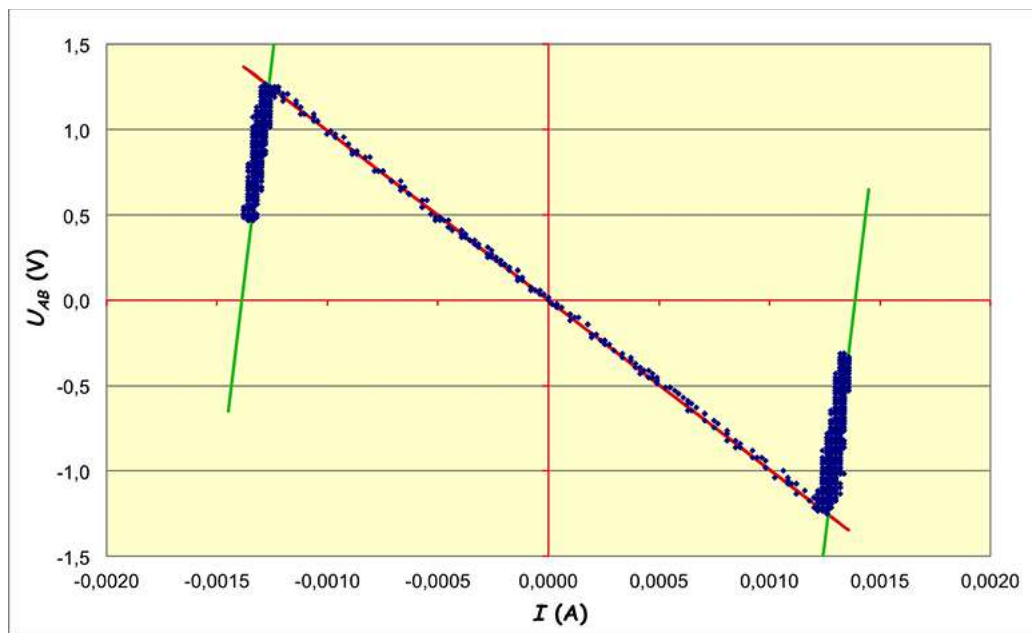


• Sans que cela permette d'éliminer tous les parasites, on peut tout de même ajuster une sinusoïde d'après les portions saturées et la retrancher du signal. Avec ce filtrage simple, on obtient l'allure de la caractéristique souhaitée.

Les mesures sont raisonnablement décrites par la modélisation avec une tension de saturation $A \approx 15 \pm 1 \text{ V}$ et une résistance de sortie $\rho \approx 500 \pm 100 \Omega$.



• Le second montage est réalisé (en régime variable) avec : $R_1 = 9,86 \pm 0,07 \text{ k}\Omega$; $R_0 = 992 \pm 7 \Omega$; $R_c = 992 \pm 7 \Omega$. On obtient “directement” un signal nettement moins parasité.



Ici encore, les mesures sont raisonnablement décrites par la modélisation avec une tension de saturation $A \approx 15 \pm 1 \text{ V}$ et une résistance de sortie $\rho \approx 500 \pm 100 \Omega$.

• Avec ce montage on peut choisir $R_0 \leq R_c$, bien qu'il fonctionne plus efficacement surtout pour $R_0 \approx R_c$, mais en pratique il est généralement utilisé dans ce dernier cas : le but étant de choisir R_0 pour compenser la résistance R_c d'un autre circuit.