

Manipulation 4: méthode du 1er harmonique

1. Présentation de la manipulation

Cette étude porte essentiellement sur la détermination expérimentale du lieu critique du relais, à partir de la connaissance du lieu de transfert de la partie linéaire, et des caractéristiques de l'oscillation de pompage (amplitude et pulsation), mesurées expérimentalement.

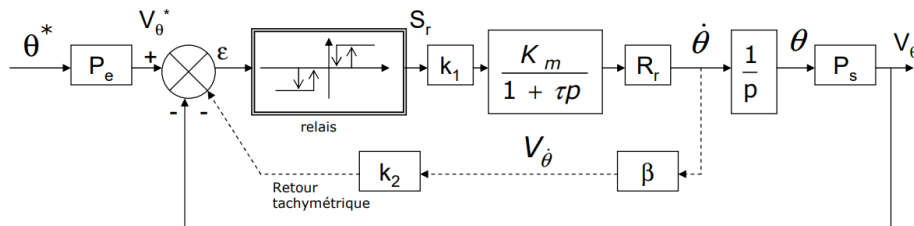


Figure 1: schéma bloc du montage final

2. Matériel utilisé

Afin de répondre aux différents objectifs du travail pratique, nous allons utiliser un moteur à courant ainsi qu'un relais. De plus, la fonction de transfert simplifiée du moteur utilisée est la suivante :

$$G(s) = \frac{K_m}{p(1 + \tau p)}$$

3. Manipulation

Montage

Dans l'intention de construire expérimentalement le lieu critique d'un relais et de réaliser une comparaison aux résultats théoriques issus de formules mathématiques, nous avons réalisé le montage de l'asservissement de position sans le retour tachymétrique suivant à partir la maquette fournie en cours (figure 2). Sur cette figure, il est réglé de façon à produire des auto-oscillations (entrée + à 0V)

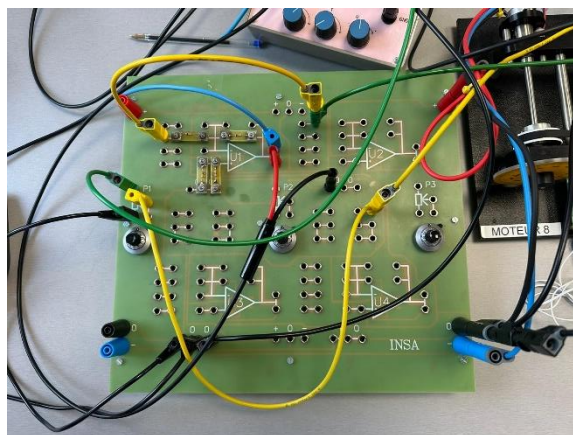


Figure 2: Montage de l'asservissement de position sans le retour tachymétrique

Construction du lieu critique expérimental du relais

Réglage du relais

En utilisant l'oscilloscope en mode XY persistant, et en appliquant au montage sur l'entrée + une entrée sinusoïdale d'amplitude supérieur à 0.5V, nous pouvons régler le relais afin qu'il corresponde au comportement attendu pour ce TP. Nous avons ainsi pu placer le centre de l'hystérésis à 0V, les seuils à $\pm H/2 = \pm 0.5V$, et l'amplitude de sortie à $\pm M = \pm 7.25V$, comme nous pouvons bien le voir sur la *figure 3*.

Etude théorique

Nous traçons dans un premier temps le lieu de transfert de la fonction $k_1.G(j\omega)$ dans le plan de Nyquist, sur lequel nous traçons également le lieu critique $-1/N(X_l)$, c'est deux courbes sont présentées en *figure 3*. Afin de pouvoir lire la valeur du gain X_0 et de la pulsation ω_0 associé à l'intersection des deux courbes, nous avons zoomé et ajouté des repères 0 pour chaque X_l calculé. Nous obtenons ainsi la courbe en *figure 5*. Pour $k_1 = 0.5$ nous obtenons $X_{0théorique} \cong 1.25$ et $\omega_{0théorique} = 10.9 \text{ rad/s}$. Nous avons mené ces calculs pour $k_1 = \{0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7\}$ et obtenu le *tableau 1*.

Etude expérimentale

Pour cette partie nous utilisons le montage présenté en *figure 2* avec lequel nous étudions la présence d'auto-oscillations selon la valeur de k_1 que nous faisons varier à l'aide d'un potentiomètre. Nous obtenons le *tableau 2* en relevant l'amplitude peak-to-peak et la fréquence des oscillations à l'aide de l'oscilloscope, sachant que $X_0 = A_{pp}/2$.

Analyse

On peut, à l'aide des résultats des études théoriques et expérimentales tracer le graphe en *figure 6*. Nous pouvons constater que l'amplitude des oscillations est quasi identique entre le simulé et le réel. La pulsation de pompage, quant à elle suit la même évolution avec un léger décalage. Celui-ci peut s'expliquer par les constantes du modèle simulé qui peuvent être différent de celle du système concret à cause des variations entre les différents moteurs de la salle de tp ou bien de l'ancienneté des mesures.

Tracer du lieu critique

En connaissant la pulsation des auto-oscillations du système pour des k_1 donné ainsi que le lieu des racines des fonctions $k_1.G(j\omega)$, nous pouvons tracer le lieu critique du relais. Celui-ci correspond à une droite d'imaginaire constante environ égal à -0.075i (*figure 7*) Ce genre de lieu critique correspond à la forme du lieu critique d'un relais hystérésis, comme montré dans la partie théorique.

Linéarisation par balayage

Au lieu de laisser le système en auto oscillations, nous nous intéressons dans l'incidence d'une perturbation sinusoïdale à amplitude réglable.

En gardant les caractéristiques du relais et en réglant l'atténuateur k_1 à 0.5, nous avons réglé le GBF afin d'obtenir une sortie sinusoïdale de fréquence 50 Hz et d'amplitude 0.2 V dans notre système oscillant. Ensuite, nous avons augmenté progressivement l'amplitude du signal sinusoïdal de commande simulant une perturbation. Nous avons observé le signal en entrée du relais pour un intervalle d'amplitudes d'entrée allant de 200mV à 1.5 V. Les *figures 8 à 14* montrent l'évolution de ce signal.

Nous observons qu'une augmentation de l'amplitude d'entrée a une incidence sur la vitesse d'oscillation du moteur. En effet, en présence d'une perturbation de faible amplitude, plus précisément inférieure au seuil de commutation (exemple *figure 8*), notre système composé du moteur et d'un relais est peu altéré et oscille à 2 Hz. Cependant, plus cette perturbation devient importante, la somme de la perturbation et de l'oscillation elle-même peut dépasser les limites du relais et ainsi altérer la sortie de notre système. Par conséquent, il arrivera un moment où pour une amplitude suffisamment grande de la perturbation, celle-ci sera prépondérante par rapport à l'auto-oscillation et la sortie du relais oscillera à la fréquence de la perturbation.

De plus, comme nous l'avons vu précédemment, notre moteur se comporte comme un filtre passe-bas avec une constante de temps de 0,214. Ce qui peut se traduire par une forte atténuation des fréquences supérieures à 0.75 Hz. Par conséquent, le moteur va filtrer cette fréquence proche des 50 Hz, ce qui entraîne un arrêt du moteur et un retour de position quasi nul. L'entrée correspondra alors uniquement à la perturbation, soit un signal de sinusoïdal de 50 Hz, filtré par le moteur en sortie (exemple *figure 14*).

Correction par boucle secondaire tachymétrique

Dans cette partie, nous nous sommes focalisés sur la réalisation du correcteur par boucle secondaire tachymétrique. Ce type de correcteur consiste à créer un retour supplémentaire dans la boucle d'asservissement. Dans notre cas, nous récupérerons la vitesse afin de réaliser l'asservissement du moteur. Tout d'abord nous avons conservé les réglages effectués précédemment, l'atténuateur k_1 à 0.5 et l'hystérésis à 1 V et nous observons une auto-oscillation d'amplitude 2,5 V_{pp}. A l'état initial, avec taux de contreréaction tachymétrique égal à 0, nous continuons à avoir notre système auto oscillant. Or, dès que nous augmentons le taux de contreréaction tachymétrique, l'amplitude des oscillations, ainsi que leur forme et fréquence est altéré. En effet, une augmentation du taux est reliée à une diminution de l'amplitude et à une augmentation de la fréquence.

Ensuite nous avons déterminé expérimentalement la valeur du taux de contreréaction tachymétrique permettant de diviser par deux l'amplitude de l'auto-oscillation. Nous obtenons comme résultats un taux de contreréaction tachymétrique, nommé k_2 sur la *figure 1*, égal à 0.3. Nous pouvons observer à la *figure 15* le signal à l'entrée du relais. Nous observons que ce signal est périodique et non sinusoïdal dû au fait que nous avons maintenant deux retours et non qu'un seul.

Nous avons aussi retrouvé le résultat du taux de contreréaction tachymétrique à l'aide du tracé du lieu critique sur Matlab. Or pour réaliser cela il a été nécessaire de calculer la nouvelle fonction de transfert du système en boucle ouverte. Nous trouvons alors :

$$FTBO = k_1 \frac{N(s) \cdot G(s) \cdot R_r \cdot P_s}{s} \cdot \left(1 + \frac{k_2 \cdot \beta \cdot s}{P_s} \right)$$

Avec $G(s)$ la fonction de transfert du moteur, $N(s)$ la fonction de transfert de la non linéarité et R_r , k_1 , P_s , k_2 et β les différents gains du système.

En ce qui concerne les résultats trouvés sur le logiciel, nous avons trouvé un taux de contreréaction tachymétrique égal à 0.4 environ.

Conclusion

Ce travail pratique nous a permis de nous familiariser avec la méthode du premier harmonique. Nous avons dû appliquer les notions apprises tout au long du premier semestre d'analyse de systèmes non linéaires sur un système concret, celui d'un moteur avec un relais. A partir du critère de Revers, nous avons été capables de tracer le lieu critique et de déterminer la fréquence de pompage afin de stabiliser la limite de l'asservissement du système.

Table des Annexes

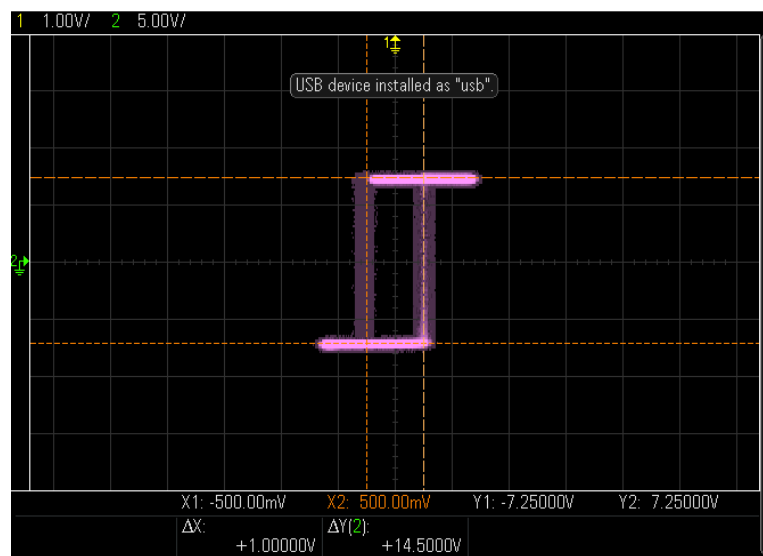


Figure 3: caractéristique du relais hystérésis

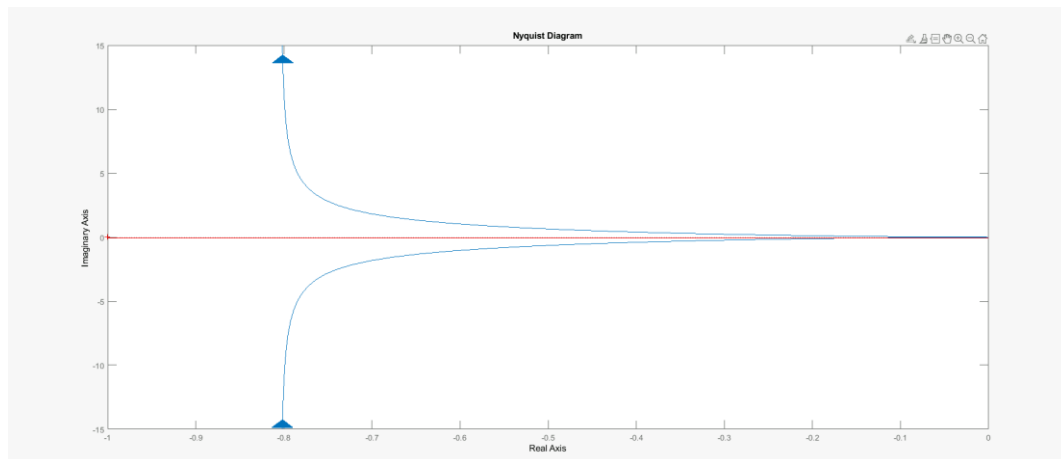


Figure 4: plan de Nyquist des fonctions $0.5.G(j\omega)$ et $-1/N(X_I)$

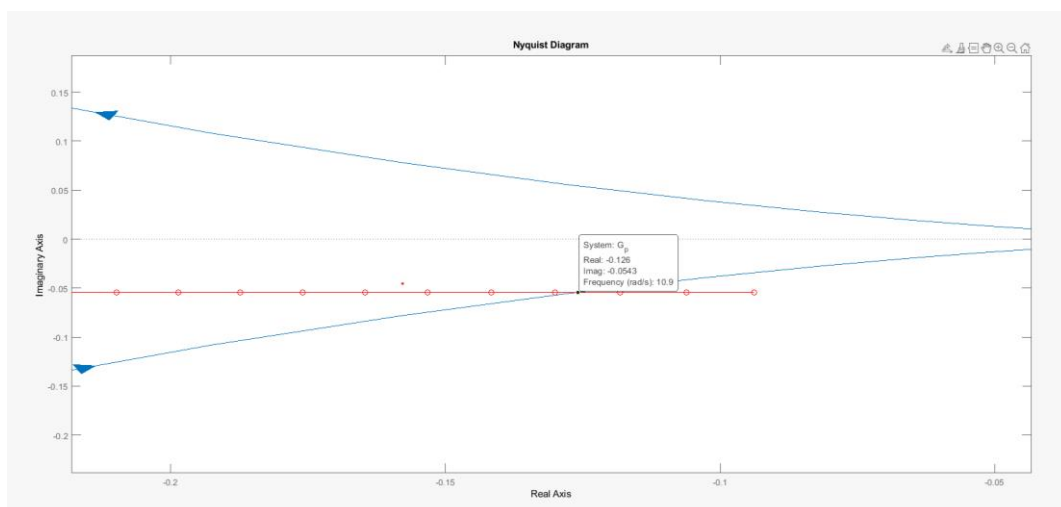


Figure 5: zoom du plan de Nyquist des fonctions $0.5.G(j\omega)$ et $-1/N(X_I)$

| k_1 | X_0 théorique (V) | ω_0 théorique (rad/s) |
|-------|---------------------|------------------------------|
| 0.3 | 1,08 | 9 |
| 0.4 | 1,18 | 10 |
| 0.5 | 1,25 | 10,9 |
| 0.6 | 1,32 | 11,7 |
| 0.7 | 1,4 | 12,3 |

Tableau 1: Amplitude et pulsation des auto-oscillations en simulation selon les valeurs du gain k_1

| k_1 | X_0 réel (V) | ω_0 réel (rad/s) |
|-------|----------------|-------------------------|
| 0.3 | 1,015 | 8,04 |
| 0.4 | 1,18 | 8,9 |
| 0.5 | 1,25 | 9,42 |
| 0.6 | 1,45 | 9,86 |
| 0.7 | 1,575 | 10,1 |

Tableau 2: Amplitude et pulsation des auto-oscillations en réel selon les valeurs du gain k_1

Evolution de l'amplitude et de la pulsation des auto-oscillations en simulé et en réel selon le k_1 donné

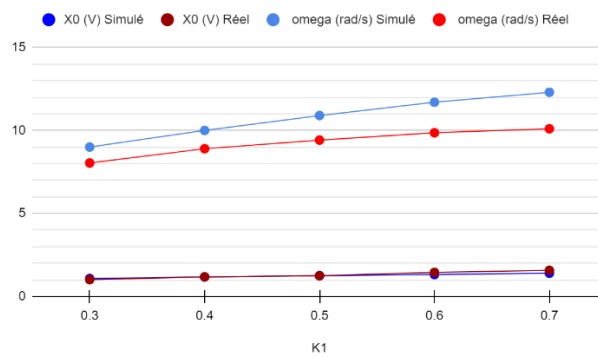


Figure 6: Evolution de l'amplitude et de la pulsation des auto-oscillations en simulé et en réel selon le k_1 donné

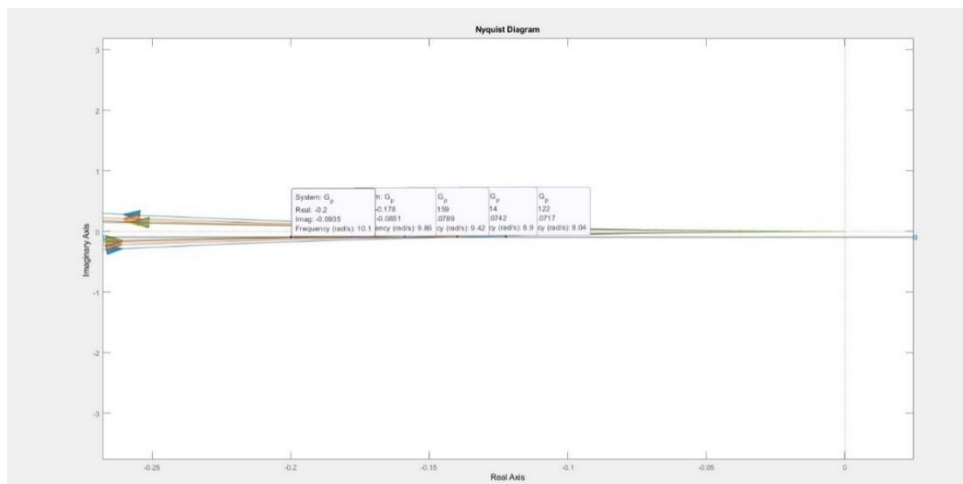


Figure 7: Lieu critique expérimental

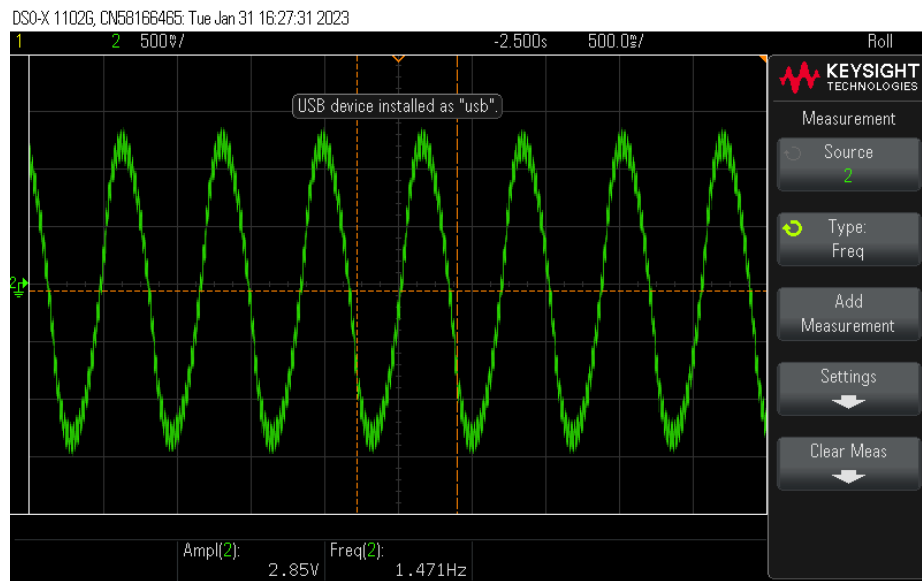


Figure 8: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 200mV.

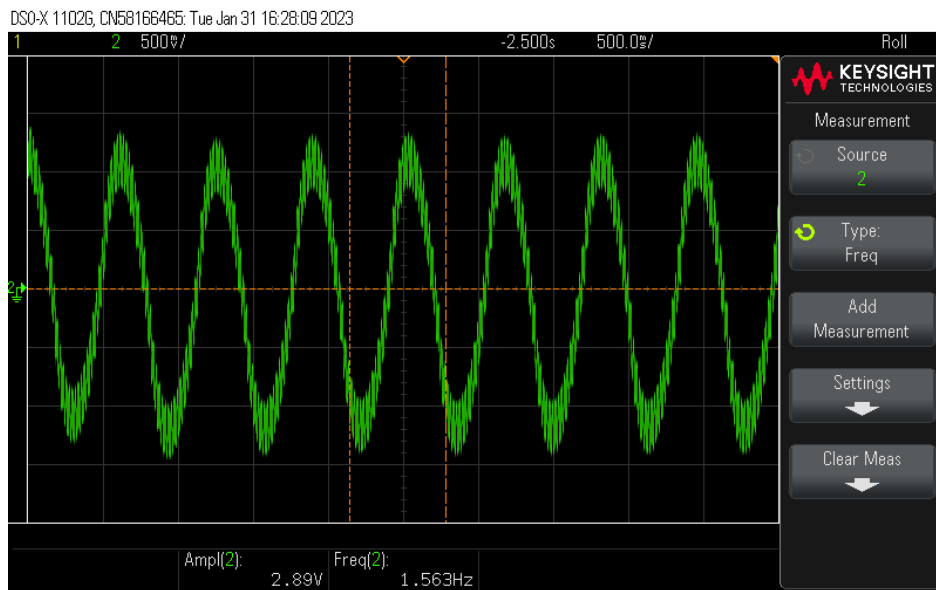


Figure 9: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 400mV.

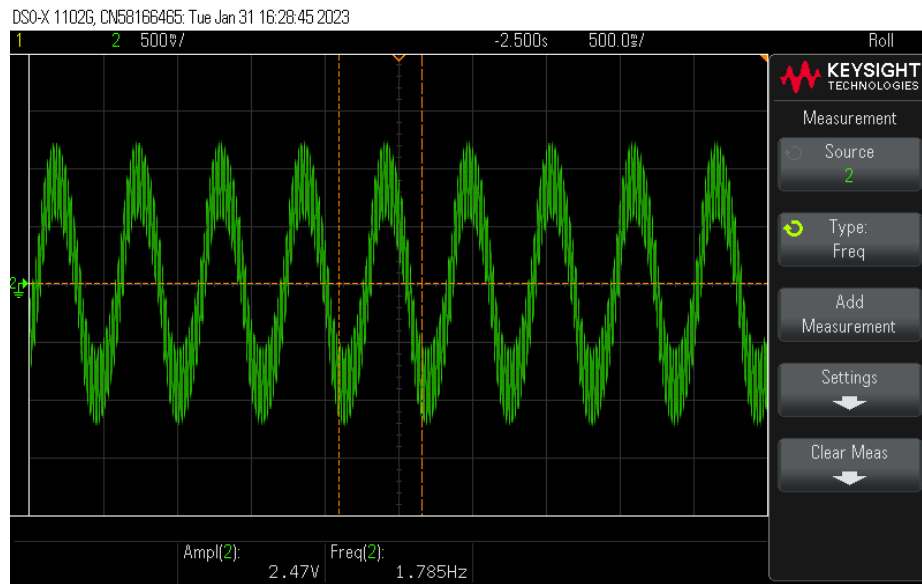


Figure 10: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 600mV.

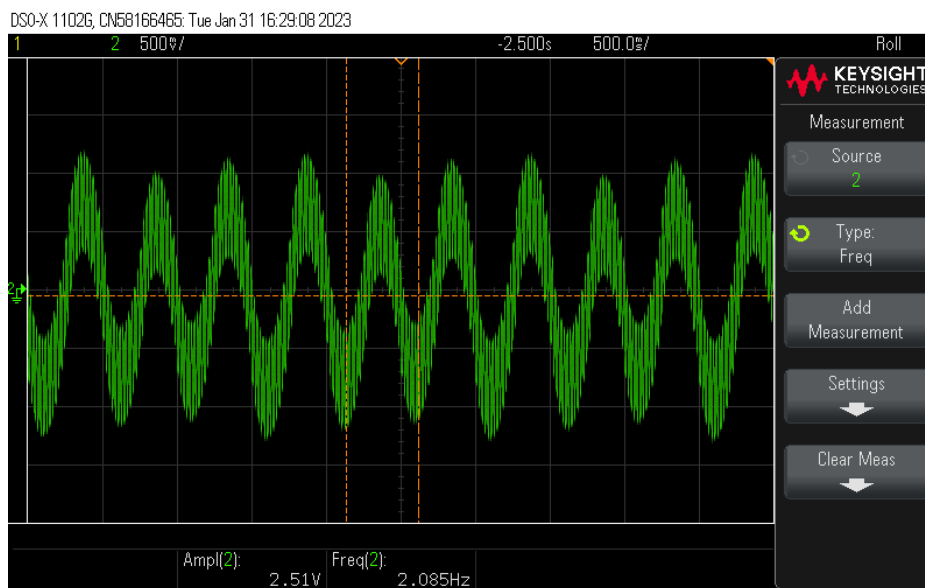


Figure 11: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 800mV.

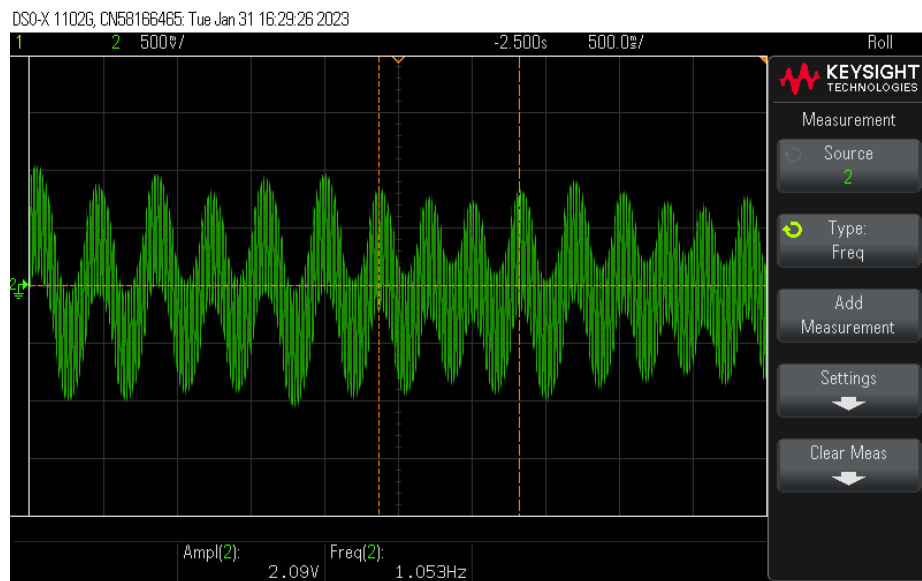


Figure 12: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 1V.

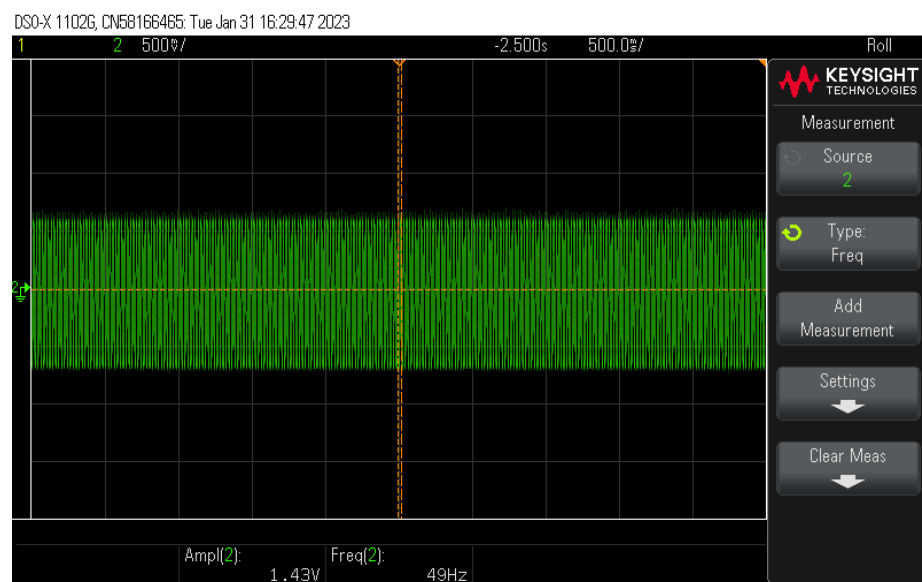


Figure 13: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 200mV

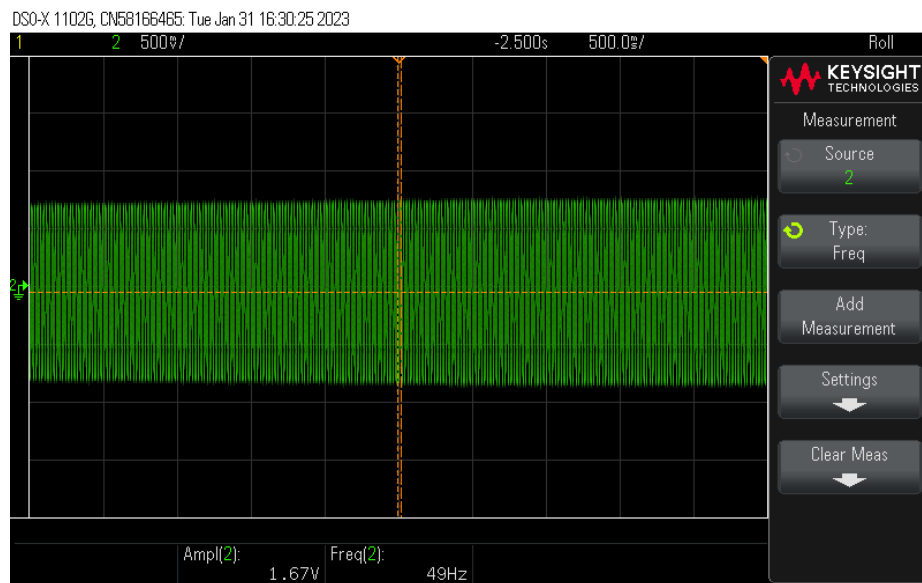


Figure 14: signal en entrée du relais pour une perturbation d'entrée d'amplitude de 1.5V.

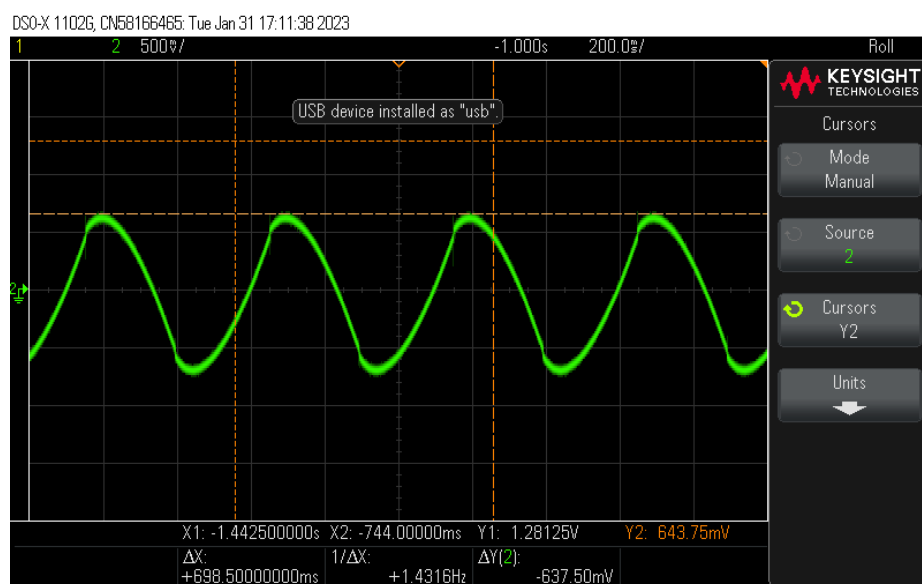


Figure 15: signal en entrée du relais du système avec retour tachymétrique.