

Télécommande IR

Introduction

Le but du projet était de construire une télécommande à un canal infrarouge permettant d'enclencher et de déclencher un relais optique. Tout est alimenté par les générateurs de signaux du laboratoire. Suite au COVID-19 le tout a dû être simulé sur LTspice IV. Ce rapport présente les choix de conception et le fonctionnement des différents blocs utilisés.

Sommaire

1. Liste des composants utilisés	1
2. Emetteur	2
2.1. Caractéristiques du signal	2
2.2. Construction	3
3. Récepteur	4
3.1. Schéma Complet	4
3.2. Convertisseur I-U	5
3.3. Filtre Passe-Bande	6
3.4. Convertisseur A/D	8
3.5. Décodeur	10
3.6. Actionneur	12
4. Analyse Critique	15
5. Références	16

1. Liste des composants utilisés

Composant	Caractéristiques	Nombre
Résistance	1Ω de puissance	1
	150Ω	1
	1kΩ	1
	3kΩ	3
	10kΩ	1
	18kΩ	1
	22kΩ	1
	33kΩ	1
	39kΩ	1
	47kΩ	1
	51kΩ	1
	1MΩ	1
Capacité	6.8nF	1
	680nF	1
	100nF	2
	1μF	1
LED IR	LD271	1
LED Rouge	HLMP-6000	1
Photodiode IR	BP104	1
Transistor	IRLU8259	1
	IRFZ24	1
Amplificateur	TL072	2
Comparateur	LM393	1
Bascule	HEF4538	3
Compteur	HEF4017	1
Porte Logique	HEF4081	1
	HEF4049	1

2. Emetteur

2.1. Caractéristiques du signal

Le signal source transmis par l'émetteur, alimenté à 3V, est formé par une source du laboratoire. Nous avons choisi que notre signal serait constitué de 5 impulsions d'une période de 4ms et de rapport cyclique 10%. Ce signal se répète toutes les 30ms tant que le bouton poussoir est activé (Figure 1).

Ceci permet de ne pas dépasser les limites de la LD271 utilisée pour émettre le signal infrarouge et de facilement filtrer le bruit de l'environnement par la suite.

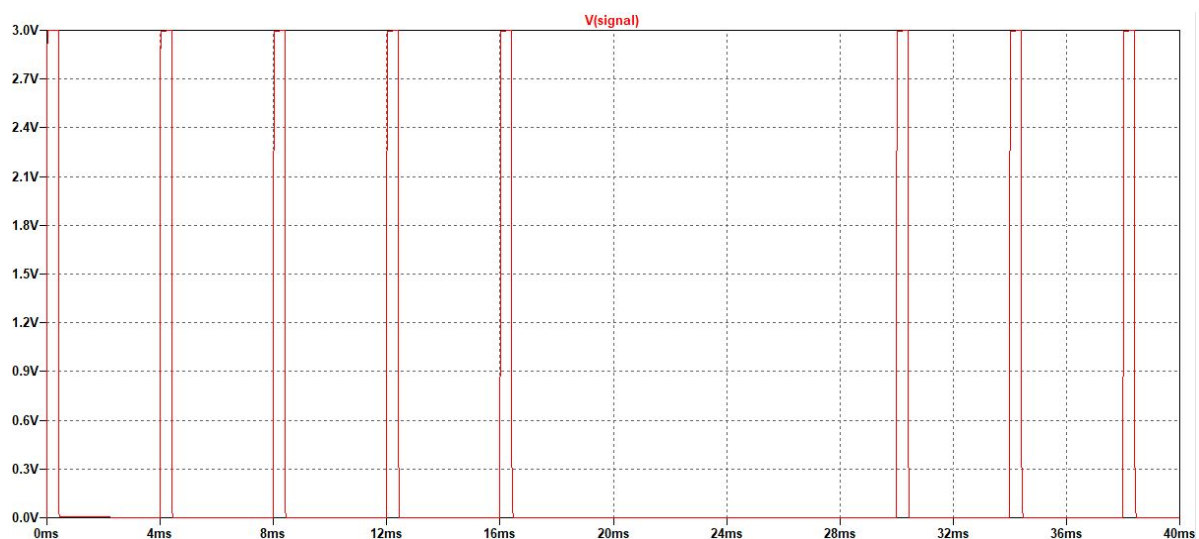


Figure 1: Visualisation du signal transmis par l'émetteur: salves de 5 impulsions de 4ms et rapport cyclique de 10% se répétant toutes les 30ms.

L'émetteur n'étant pas modélisé, sur LTspice, du côté récepteur, ce signal est modélisé par une source de courant $I_{source} = EXP(0\ 20u\ 10u\ 4.5u\ 400u\ 7u\ 4m\ 5\ 30m)$. Nous simulons le bruit de l'environnement par une source de bruit blanc $V_{noise} = 0.2 * white(1e6 * time)$ que nous ajoutons entre le récepteur et le filtre [2].

2.2. Construction

L'émetteur est chargé de transmettre le signal à travers le milieu par rayonnement infrarouge. Il reçoit à son entrée le signal parfait de la source du laboratoire (Figure 1).

Le signal étant fourni, il ne reste plus qu'à l'utiliser pour alimenter la led infrarouge LD271, sans ajouter de distorsions. Puisque la led a besoin de beaucoup de courant, pas délivrable par la source, un étage driver constitué d'un transistor NMOS IRLU8259 est implémenté. Le transistor est alors contrôlé par le signal de la source du laboratoire qui est connectée directement au gate. Pour notre signal, la puissance de la led est maximale¹ pour un courant de 1A. Lorsque le transistor conduit, la led fonctionne avec une tension de 1.9V à ses bornes. Il faut donc placer une résistance de puissance en amont pour limiter le courant et reprendre l'excès de tension (Figure 2).

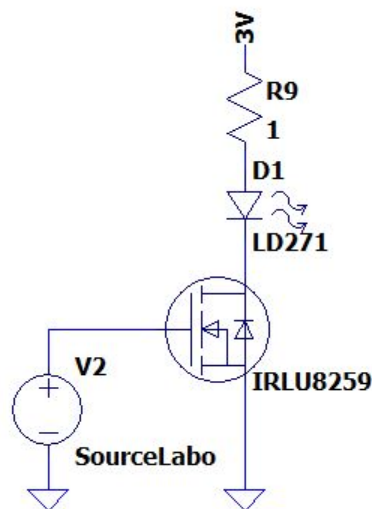


Figure 2: Emetteur du signal IR. Un courant de 1A traverse la led lorsque le transistor conduit. La résistance est une résistance de puissance de 1Ω.

¹ Pour augmenter la distance de propagation du signal il faut augmenter la puissance de rayonnement de la led qui est proportionnelle à son courant. Il est donc intéressant de maximiser le courant.

3. Récepteur

3.1. Schéma Complet

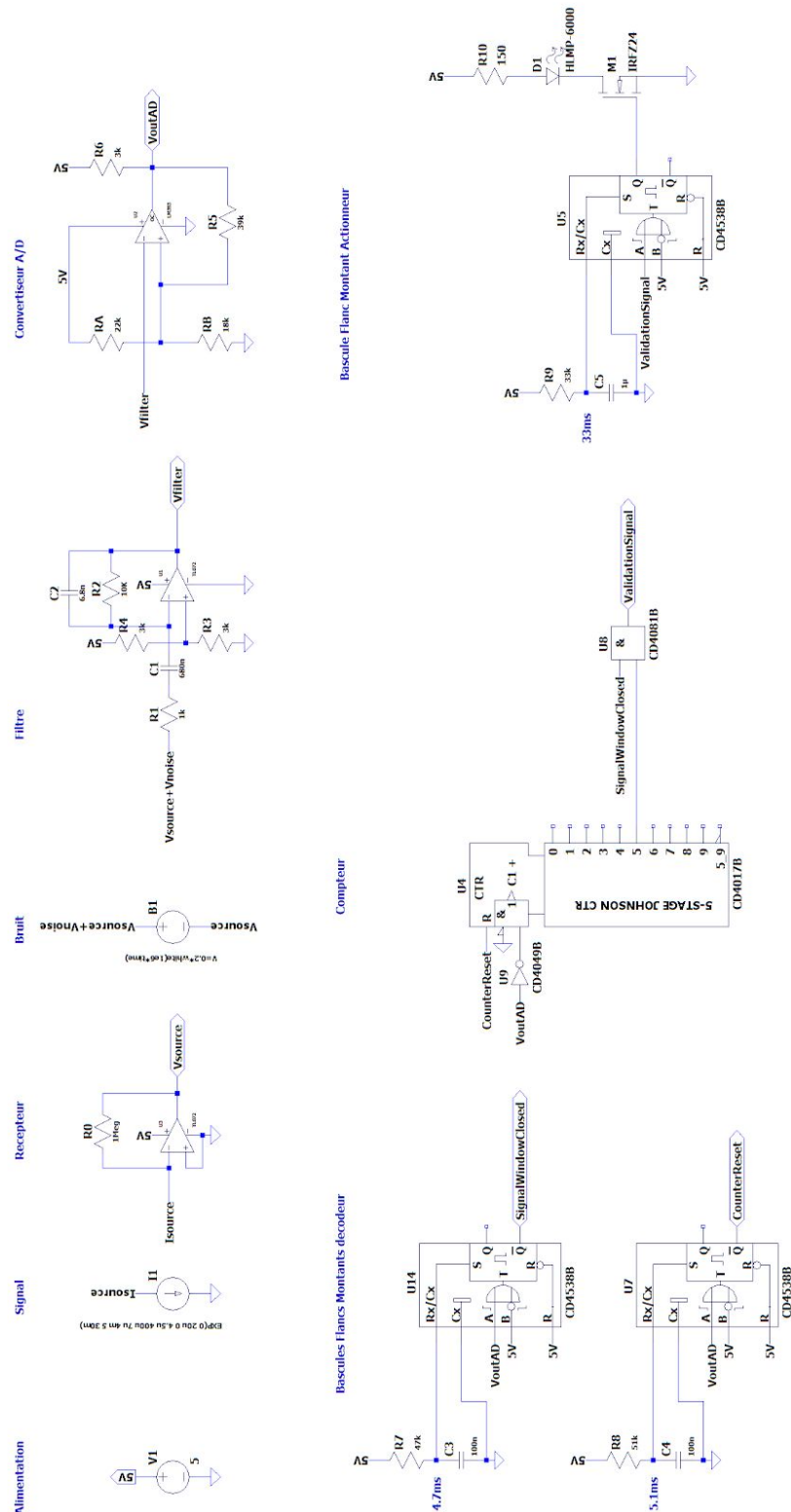


Figure 3: Schéma complet du récepteur de la télécommande.

3.2. Convertisseur I-U

Le récepteur doit pouvoir être capable de capter le signal. On utilise donc la photodiode sensible à l'infrarouge BP104 (compatible avec la LD271) qui renvoie un signal en courant, ici modélisé par I_{source} . Il faut donc par la suite convertir le courant en tension pour pouvoir travailler avec. Il suffit d'implémenter un étage convertisseur courant-tension proposé dans la donnée [2] représenté en *Figure 4*.

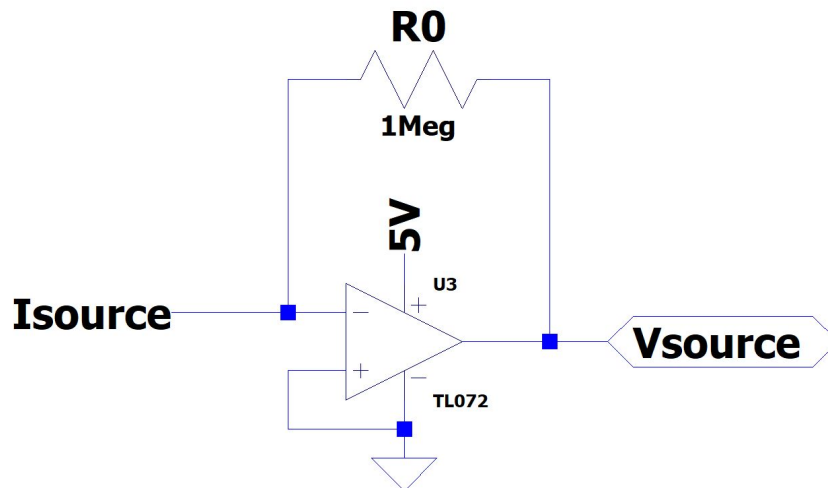


Figure 4: Schéma du convertisseur courant tension.

On utilise un amplificateur opérationnel en contre réaction négative avec la borne positive à la masse. Il suffit de choisir la résistance pour décider du facteur proportionnel entre le courant d'entrée et la tension de sortie.

Le signal de sortie est défini par $V_{source} = R * I_{source}$ lorsque l'impédance d'entrée de l'amplificateur opérationnel est assez élevé pour négliger le courant passant dans la borne négative.

Un problème risque de survenir à cause de l'utilisation du TL072 qui est idéalement alimenté à $\pm 15V$ mais qui est ici alimenté à 0-5V seulement à cause des contraintes du cahier des charges. Cet amplificateur peut être remplacé par le LMC662 [3] qui possède la caractéristique rail-to-rail et serait plus adapté à la situation.

3.3. Filtre Passe-Bande

Ce filtre a pour but d'atténuer les composantes hautes fréquences ainsi que d'atténuer la composante DC liée à la lumière ambiante tout en obtenant un gain d'amplification.

Dans notre cas nous choisissons des fréquences de coupures tel que seulement le signal qui est nous utile soit amplifié. Ainsi notre signal, qui est composé de pulses de 0.4 ms et d'un espacement temporel entre chaque pulse d'une même trame d'impulsion de 4 ms, doit être filtré avec des fréquences de coupures de

$$\frac{1}{4\text{ ms}} = 250\text{ Hz} = f_1 \text{ et } \frac{1}{0.4\text{ ms}} = 2500\text{ Hz} = f_2.$$

La Figure 5 permet de poser la fonction de transfert et de pouvoir choisir les composants.

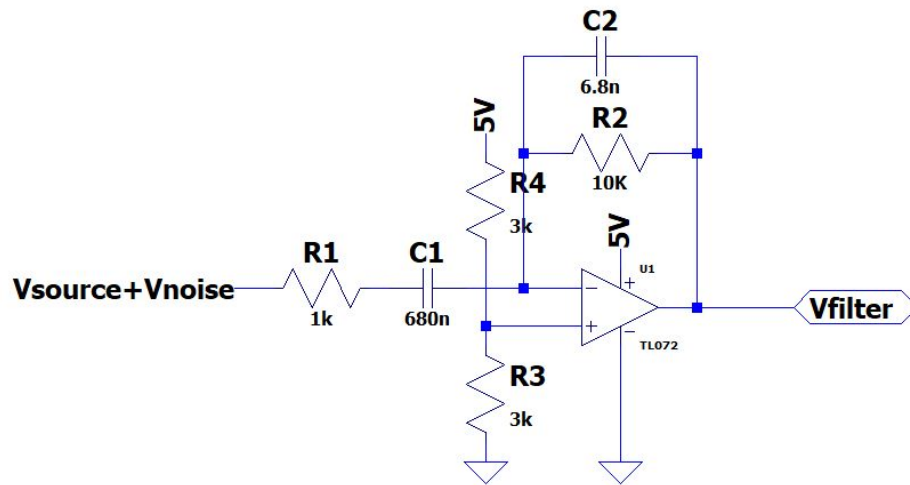


Figure 5 : Schéma du filtre passe bande.

Un amplificateur opérationnel (TL072) est utilisé en contre réaction négative avec résistances et capacités permettant de choisir les fréquences de coupure. Les résistances liées à la borne positive permettent de créer une référence de tension et ainsi la tension de sortie du filtre sera centré sur $V_{cc}/2$.

La fonction de transfert est $H(jw) = \frac{-jwR_2C_1}{(1+jwR_1C_1)(1+jwR_2C_2)}$

En souhaitant un gain de 20 dB dans la bande passante on peut correctement choisir nos composants.

En posant $R_2 = 10\text{ k}\Omega$, on obtient :

$$C_1 = \frac{1}{0.1 * 2 * f_1 * R_2} = 637\text{ nF} \rightarrow \text{valeur standard : } C_1 = 680\text{ nF}.$$

$$R_1 = \frac{1}{2 * f_1 * C_1} = 1\text{ k}\Omega,$$

$$C_2 = \frac{1}{2 * f_2 * R_2} = 6.36\text{ nF} \rightarrow \text{valeur standard : } C_2 = 6.8\text{ nF}.$$

Nous obtenons ainsi avec ce choix de composants le diagramme de bode de la Figure 6.

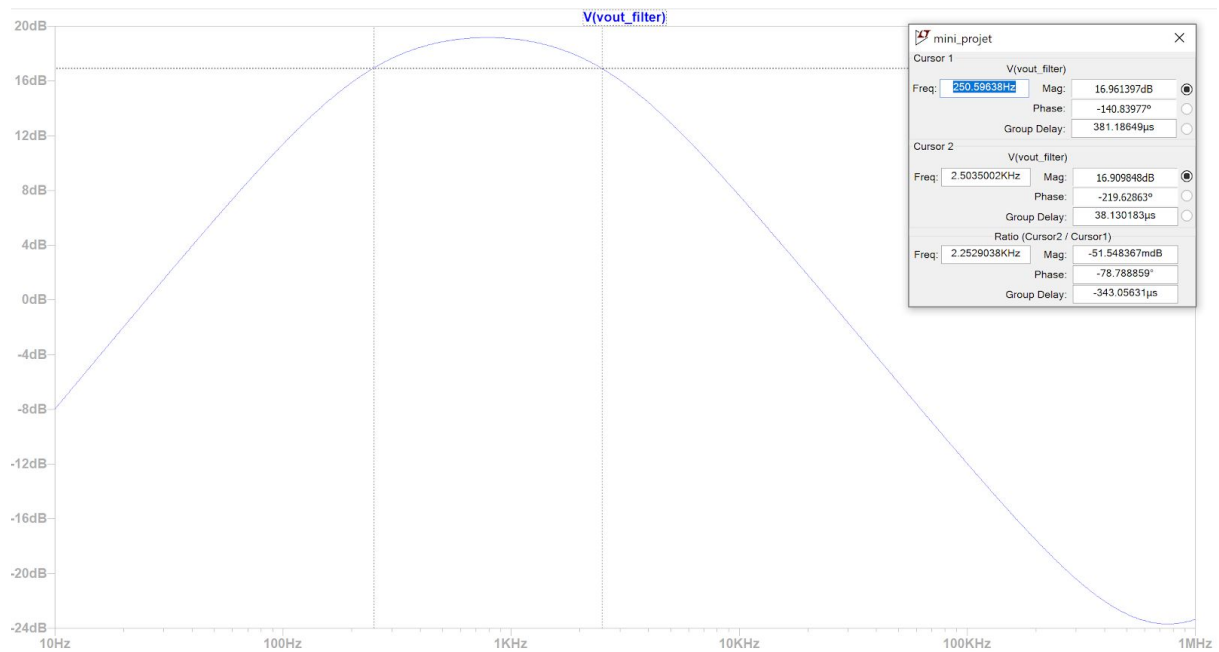


Figure 6: Diagramme de bode en magnitude lors de la simulation du filtre passe bande sur LTspice.

On remarque bien nos fréquences de coupure f_1 et f_2 représentées par des traitillés verticales. Le gain de la bande passante est de l'ordre de 20dB comme souhaité.

3.4. Convertisseur A/D

Avant de passer à l'étage de décodage, nous devons passer du monde analogique au monde digital. Il suffit d'implémenter un comparateur à hystérèse permettant de distinguer un 1 d'un 0 logique (Figure 7).

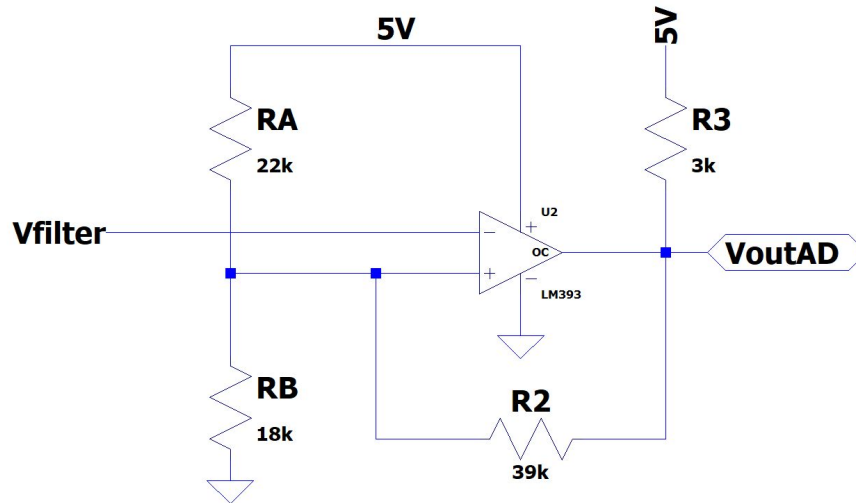


Figure 7: Schéma du comparateur inverseur à hystérèse.

Un comparateur (LM393) est utilisé pour comparer la tension d'entrée de la borne négative avec des tensions de basculement définies par les résistances liées à la borne positive. La tension de sortie est à 0-5V notamment grâce à la résistance de pull-up **R3** placée en sortie du comparateur.

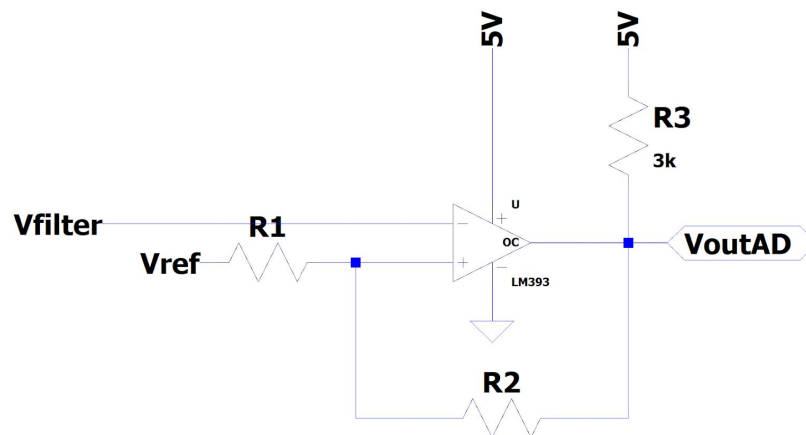


Figure 8: Schéma équivalent du comparateur inverseur à hystérèse [1].

Dans le pire des cas, c'est à dire lorsque la tension de la source est de 0.25V [2], la tension de sortie du filtre est montrée en Figure 9. C'est grâce à elle que nous pouvons choisir des tensions de basculement robustes pour notre système tout en sachant que les tensions de

saturation de sortie du TL072 de l'étage précédent sont de 3.6V et 1.6V et que la tension de référence est située à 2.5V grâce au diviseur résistif placée sur l'étage précédent.

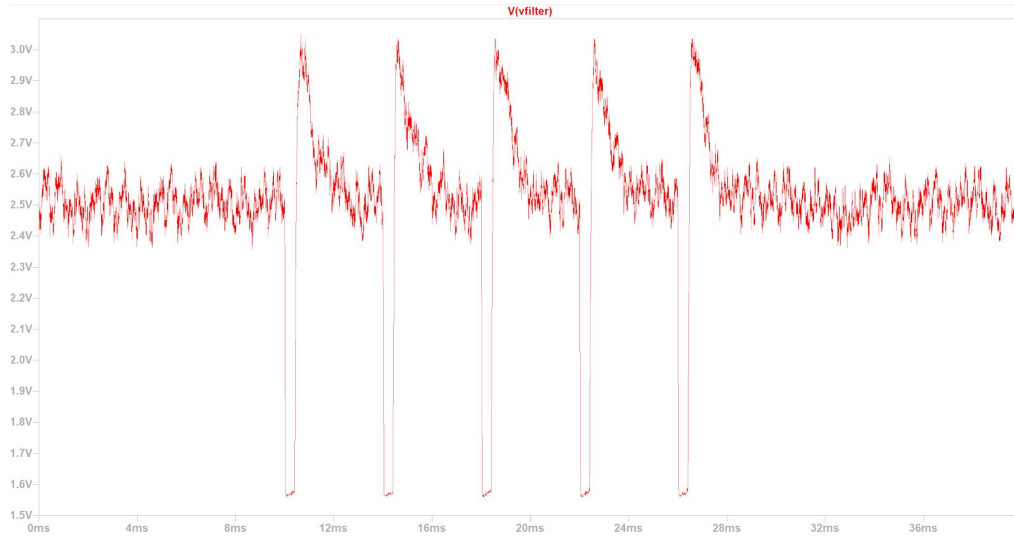


Figure 9: Tension de sortie du filtre lorsque la tension de source est au minimum (0.25V). On peut choisir des tensions de basculement robustes pour notre convertisseur A/D, dans notre cas nous décidons $V_{T1} = 1.8 V$ et $V_{T2} = 2.8 V$.

Le dimensionnement des composants peut s'effectuer en voyant que (équivalence *Figure 7* et *Figure 8*) :

$$R_1 = \frac{R_A * R_B}{R_A + R_B}$$

$$V_{ref} = V_{cc} * \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

De plus, les équations d'un comparateur à hystérèse sont les suivantes [1]:

$$V_{T2} = V_{ref} + V_H * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{T1} = V_{ref} + V_L * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\Delta V_T = (V_H - V_L) * \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_{ref} = V_{ref} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Or nous désirons un signal sortant 0-5V, $V_L = 0 V$ et $V_H = 5 V$ donc $V_{T1} = V_{ref}$.

Nous fixons $R_1 = 10 k\Omega$

$$R_2 = R_1 * \frac{V_H - V_L - \Delta V_T}{\Delta V_T} = 40 k\Omega \rightarrow \text{valeur standard : } R_2 = 39 k\Omega$$

$$V_{ref} = V_{T1} * \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 2.25 V$$

$$R_A = R_1 * \frac{V_{cc}}{V_{ref}} = 22\,222 \Omega \rightarrow \text{valeur standard : } R_A = 22 k\Omega$$

$$R_B = R_A * \frac{V_{ref}}{V_{cc} - V_{ref}} = 18\,181 \Omega \rightarrow \text{valeur standard : } R_B = 18 k\Omega$$

3.5. Décodeur

Le but du décodeur est de nous assurer que le signal perçu, après filtrage, provient bien de notre source. Un signal valide idéal doit contenir cinq impulsions espacées de 4ms.

Pour compter le nombre d'impulsions, un compteur Johnson HEF4017 est incrémenté sur chaque flanc descendant de notre signal digital². Le compteur est sensible aux flancs montants. Pour remédier à cela, un inverseur HEF4049 est utilisé pour transformer le flanc descendant en un flanc montant et ainsi incrémenter le compteur.

Pour gérer les temps entre les impulsions, deux bascules HEF4538 sont activées sur le flanc montant du signal digital. La première, chargée de la fenêtre du signal, se désactive au bout de 4.7ms, soit plus que la période idéale d'un pulse. Ainsi, le résultat n'est pas impacté par les distorsions du signal et autres retards possibles. Tant qu'un autre flanc montant est détecté dans cet intervalle de 4.7ms la fenêtre reste ouverte et le compteur s'incrémente. La deuxième bascule, chargée du reset du compteur, se désactive un peu plus tard, après 5.1ms, laissant ainsi le temps à la fenêtre du signal de se refermer et activer l'actionneur. Ces durées sont définies par la constante de temps d'un circuit RC associé à chaque bascule.

Finalement, le signal est reconnu et accepté si la fenêtre s'est refermée et que le compteur est à 5. Ces conditions sont testées par une porte logique AND, HEF4081, qui valide ainsi le signal (ou pas).

Le schéma du décodeur est présenté en *Figure 10* et la logique des signaux en *Figure 11*.

² Cette façon de faire évite des problèmes qui pourraient survenir en début de simulation sur LTspice. En pratique, il n'est pas nécessaire d'ajouter cet inverseur, et dans ce cas, l'incrémentation se fait sur le flanc montant du signal digital et non sur le flanc descendant.

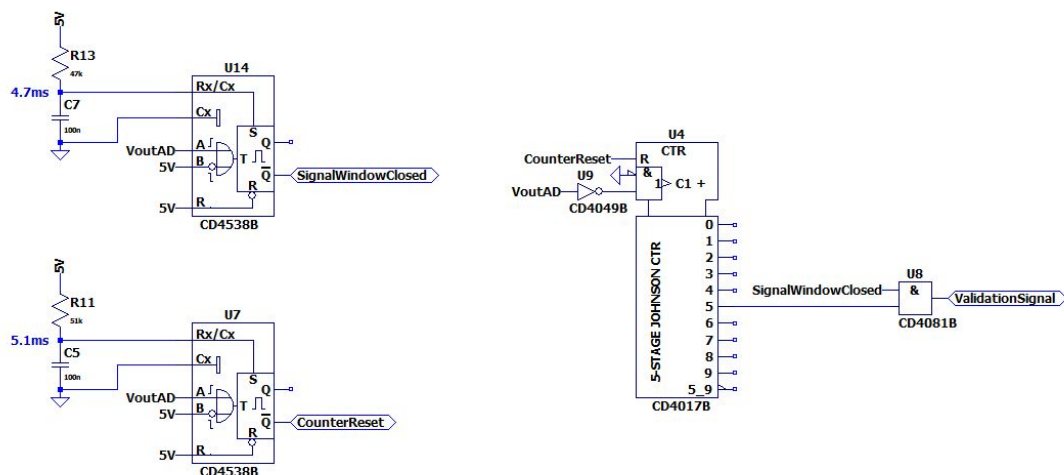


Figure 10: Schéma du décodeur.

La bascule en haut à gauche gère la fenêtre du signal. La bascule en bas à gauche remet à zéro le compteur un peu après la fermeture de la fenêtre du signal. Le compteur compte le nombre d'impulsions reçues et le signal est validé si 5 impulsions ont été reçues et que la fenêtre du signal s'est refermée.

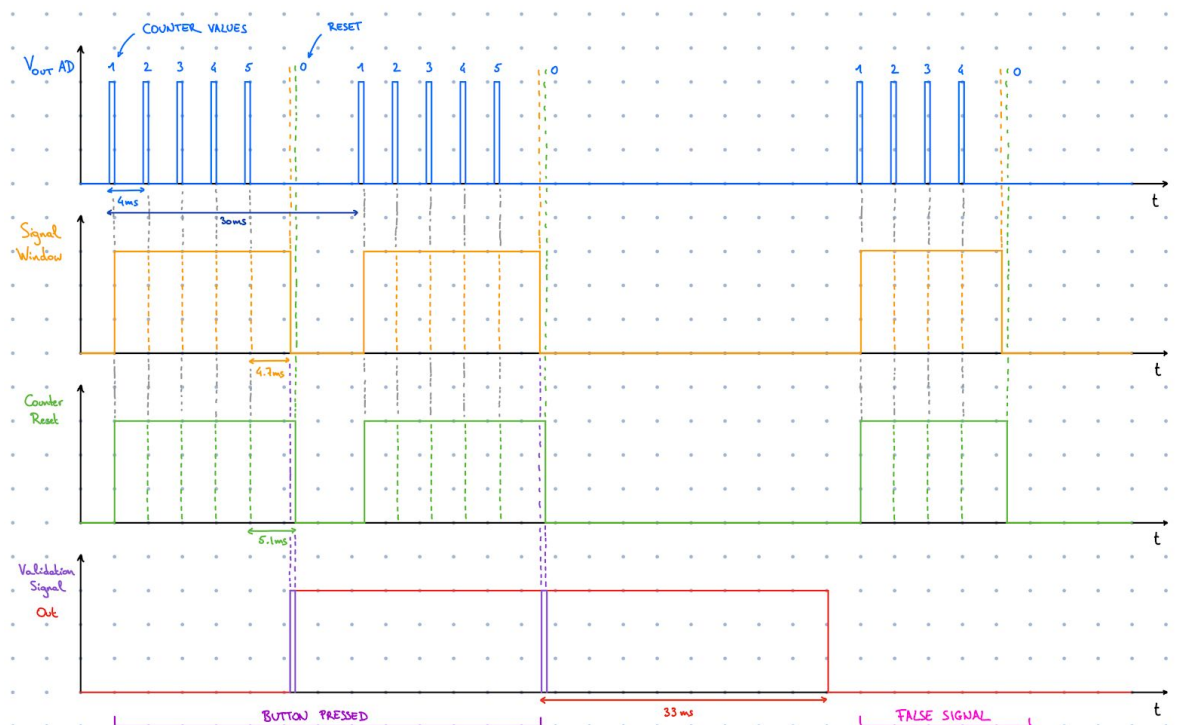


Figure 11: Logique des signaux traités par le décodeur.

A chaque flanc descendant de V_{outAD} le compteur s'incrémente³. Si la fenêtre du signal s'est refermée et que le compteur est à 5, le signal est validé et la sortie activée, peu après la fermeture de la fenêtre du signal, le compteur est remis à zéro.

³ La Figure 11 illustre bien le peu de différence qu'il y a à incrémenter sur le flanc montant plutôt que le flanc descendant de V_{outAD} . Il n'y a donc aucune adaptation à faire en cas d'absence de l'inverseur.

3.6. Actionneur

Tant que l'utilisateur appuie sur le bouton la sortie est active et elle se désactive quand ce n'est plus le cas. Le résultat peut être observé en *Figure 13* et *Figure 14*.

Une bascule HEF4538 est activée sur le flanc montant du signal d'activation de l'actionneur, validé par le décodeur (*Figure 12*). Cette bascule se désactive au bout de 33ms (*Figure 11*), temps suffisant pour supposer que l'utilisateur a arrêté d'appuyer sur le bouton ou qu'un signal invalide a été reçu puisque notre signal se répète toutes les 30ms. Il est ensuite aisé d'utiliser le signal de sortie pour actionner un circuit en aval, par exemple, en ajoutant un transistor IRFZ24 qui commande une led rouge HLMP-6000 pour indiquer l'état de la sortie, avec une résistance pour limiter le courant à 20mA (*Figure 15*).

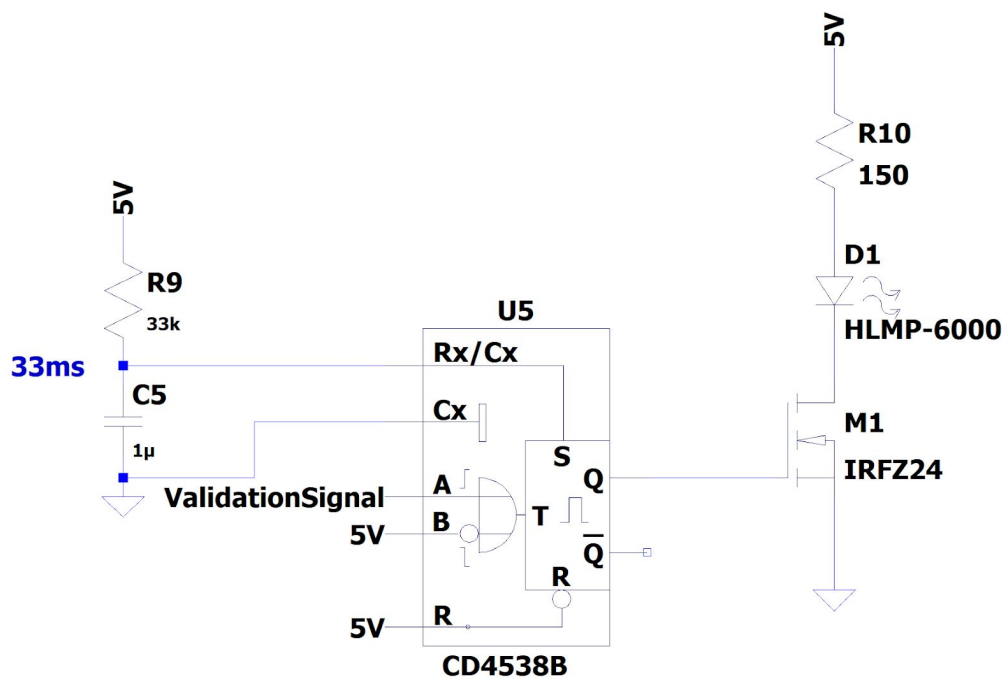


Figure 12: Schéma de l'actionneur et de l'étage driver.

C'est une bascule configurée sur le flanc montant du signal validé par le décodeur. Le signal Out est à 5V, et allume alors la led, si le décodeur a validé le signal reçu et à 0V au bout de 33ms si le décodeur n'a pas reçu de signal valide et dans ce cas la led est éteinte.

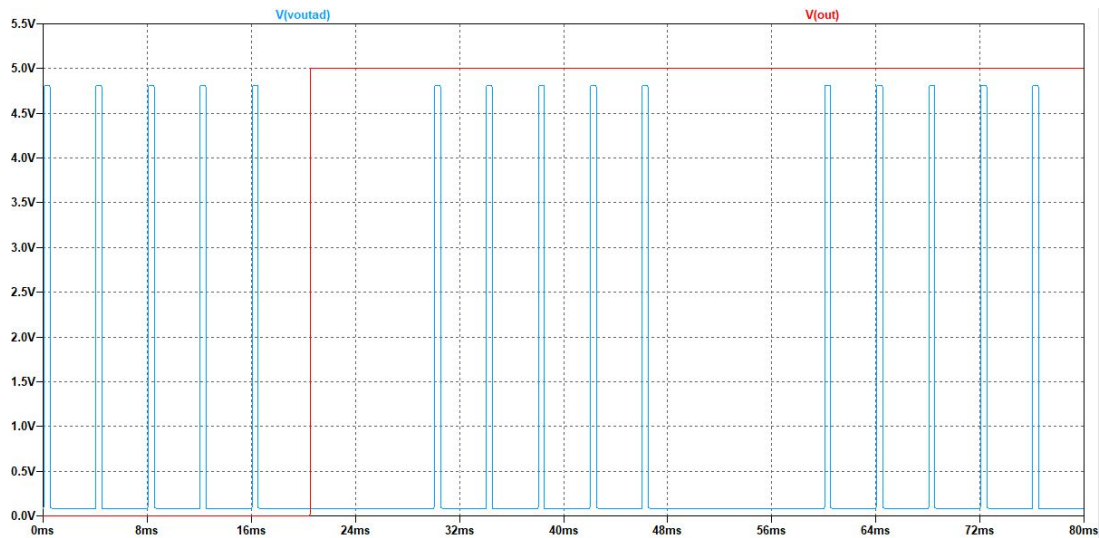


Figure 13: Simulation LTspice de l'actionneur lors d'un appuie prolongé sur le bouton. En bleu le signal digital du convertisseur A/D et en rouge le signal de sortie de l'actionneur. Nous voyons que après le premier signal l'actionneur s'active et qu'il reste activé tant que l'utilisateur appuie sur le bouton.

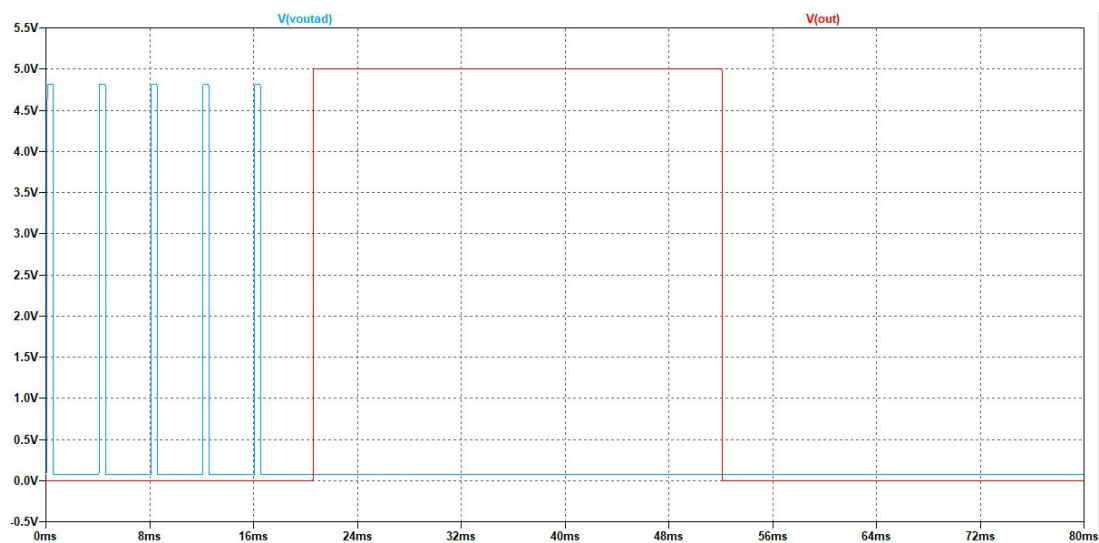
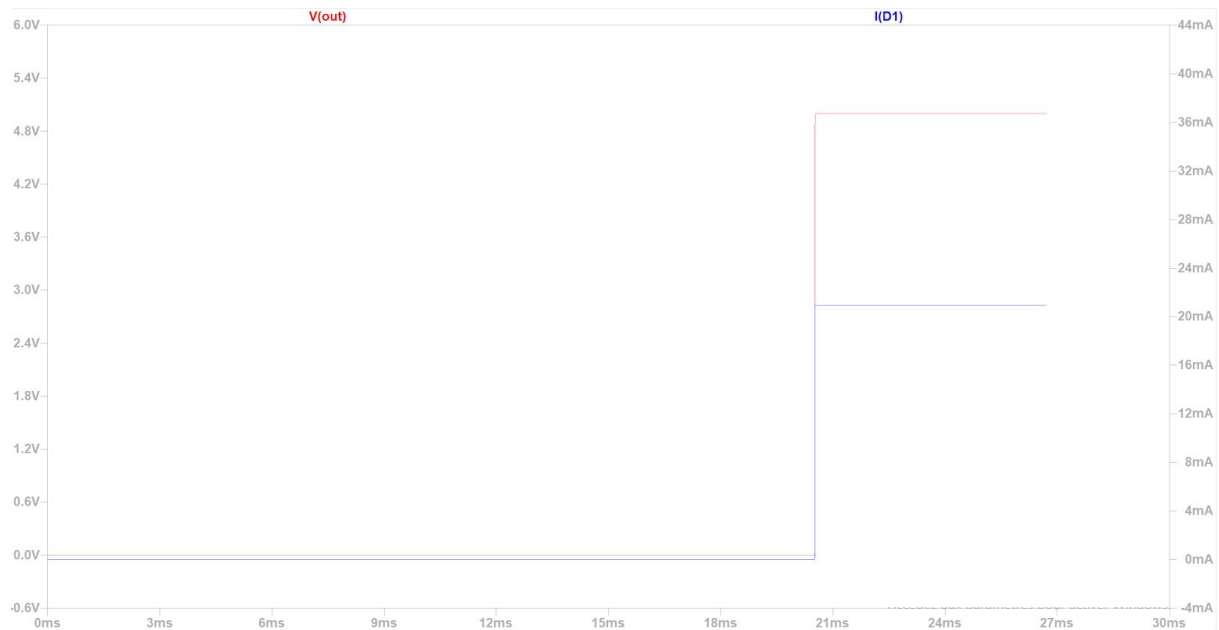


Figure 14: Simulation LTspice de l'actionneur lors d'un appuie bref sur le bouton. En bleu le signal digital du convertisseur A/D et en rouge le signal de sortie de l'actionneur. Nous voyons que après le premier signal l'actionneur s'active et qu'il se désactive si l'utilisateur cesse d'appuyer sur le bouton.



*Figure 15: Simulation LTspice de l'actionneur lors d'un appui bref sur le bouton.
En rouge le signal de sortie de l'actionneur et en bleu le courant passant dans la LED rouge.
Le courant est bien limité à 20mA.*

En pratique le délai entre l'action utilisateur sur le bouton et le résultat de l'actionneur sera compris entre 21ms (activation) et 33ms (désactivation), un temps qui est imperceptible à l'être humain. L'action paraîtra donc instantanée.

4. Analyse Critique

Le circuit fonctionne très bien en simulation, ce n'est pas pour autant qu'il fonctionne assurément en réalité. Des problèmes liés au bruit et de la qualité du signal transmis par la source risquent d'entrer en jeu. Après la conversion A/D, la logique du décodeur est relativement fiable pour éviter les erreurs. Un manque de robustesse est qu'il se peut qu'une autre télécommande envoie un signal similaire au nôtre et déclenche l'actionneur car aucun protocole de communication n'est réellement mis en place afin d'identifier la source du signal. Cela dit, notre bande passante de notre filtre est sur une décade seulement, cela restreint considérablement les signaux pouvant actionner le circuit.

En ce qui concerne la construction, notre liste de composants est très variée et beaucoup de composants sont uniques, ce n'est pas forcément très économique pour la production et l'assemblage. De plus, nous n'avons jamais tenu compte de la consommation énergétique et c'est une question à se poser puisque le tout est alimenté par des piles.

5. Références

Théorie

[1] Kayal, M., 2017. *Electronique*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

[2] Donnée du mini projet (disponible sur le moodle du cours semaine du 6-12 avril)
https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/2763026/mod_resource/content/1/MinProjet2020%20LTspice%2006%20avril.pdf

[3] Complément du mini projet (disponible sur le moodle du cours semaine du 25-31 mai)
https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/2778836/mod_resource/content/1/Complément%20MiniProjet%202020.pdf

Datasheets

LD271: <http://www.led-eshop.de/PDF/5mm/LD271.pdf>

BP104: <http://www.vishay.com/docs/81500/bp104.pdf>

HLMP-6000: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1295326/Broadcom/HLMP-6000/1>

IRLU8259: <http://datasheetspdf.com/pdf-file/646215/InternationalRectifier/IRLU8259PBF/1>

IRFZ24: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/546428/KERSEMI/IRFZ24.html>

TL072: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl072.pdf?ts=1589466986639>

LMC662: <http://www.ti.com/lit/ds/snosc51c/snosc51c.pdf?ts=1590653696342>

LM393: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393-n.pdf?ts=1589467031080>

HEF4538: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/HEF4538B.pdf>

HEF4017: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/HEF4017B.pdf>

HEF4081: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/HEF4081B.pdf>

HEF4049: <https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/HEF4049B.pdf>