

*Télémetre à
ultrasons*

Projet de TE

Du 5 au 9 janvier 2004

LANTY Gaëtan

PIERRE Mathieu

SONGWA NANA Onésime

Sommaire

Introduction

- 1- Objectifs du TE
- 2- Structure adoptée
- 3- La paire de transducteurs

I- Le module d'émission

- 1- L'horloge à 40kHz
- 2- La transmission de puissance à l'émetteur

II- Le module de réception

- 1- Nécessité d'une masse virtuelle
- 2- Amplification et filtrage
- 3- Conversion analogique-numérique

III- Le module d'affichage

- 1- Nécessité de compter à 17.05kHz
- 2- Réalisation

III- Le module de commande

- 1- Déroulement du cycle de mesure
- 2- Première solution envisagée : utilisation d'un automate
- 3- Solution retenue

Conclusion

Introduction

1. Objectifs du TE

L'objectif de ce TE est la réalisation d'un télémètre à ultrasons. Le travail à effectuer se décompose en plusieurs parties. La première étape est la conception du montage, accompagnée du câblage des solutions proposées afin de les tester et de les valider. La deuxième étape est la fabrication de ce télémètre sous forme d'un circuit imprimé. Enfin, il s'agit de procéder aux réglages et à l'étalonnage du télémètre, de vérifier son bon fonctionnement, et éventuellement d'en déterminer les limites d'utilisation.

Qu'est-ce qu'un télémètre à ultrasons ?

Un télémètre à ultrasons sert à mesurer une distance. Le principe, inspiré de la chauve-souris, est d'envoyer une salve d'ultrasons vers un objet les réfléchissant, tel qu'un mur ou une vitre, et de capter l'écho renvoyé par cet objet. On accède à la distance séparant le télémètre de cet objet en mesurant le temps que met l'écho pour revenir au télémètre. Connaissant la vitesse du son, on déduit la distance cherchée.

Les avantages d'un tel moyen de mesure sont multiples. On n'est plus obligé de disposer d'un objet de référence tel qu'un mètre, la mesure est rapide même sur plusieurs mètres, et on peut, sans risque, mesurer des distances difficiles d'accès. Par exemple, on peut facilement relever la hauteur d'un plafond.

Avant de commencer tout travail, il convient de se fixer un cahier des charges afin de cerner précisément les objectifs, dont voici la liste :

- mesurer une distance de l'ordre de quelques mètres ;
- réaliser un télémètre portatif alimenté par une pile 9V ;
- afficher directement cette distance, en cm, sur trois chiffres.

2. Structure adoptée

Les objectifs étant fixés, nous avons donc établi la structure générale de notre télémètre. Cette structure est modulaire, afin de la rendre aussi claire que possible.

Du fonctionnement du télémètre se dégagent trois modules : un module d'émission, un module de réception et un module qui permet d'afficher la distance mesurée. De plus, un module de commande interagissant avec les trois autres est nécessaire pour contrôler le fonctionnement de l'ensemble du télémètre.

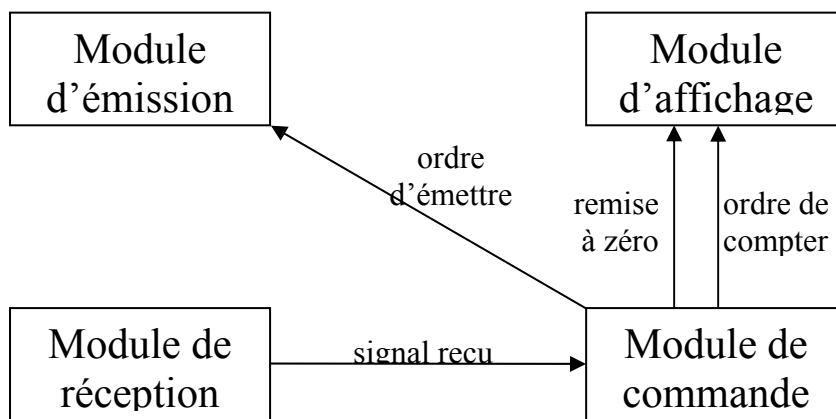


Schéma global

3. La paire de transducteurs.

Les composants les plus importants et les plus incontournables pour la réalisation de notre projet sont les deux transducteurs piézoélectriques. En effet, c'est cette paire de transducteurs qui nous a permis de transformer de l'énergie électrique en énergie sonore (pour le transducteur émetteur) et de convertir le signal sonore reçu en un signal électrique utile. Puisque tout le montage doit être construit autour de ces composants et va dépendre de leur fonctionnement, nous avons jugé nécessaire de procéder à une étude expérimentale de la paire émetteur/récepteur, plutôt que de nous baser uniquement sur les données du constructeur qui peuvent s'avérer légèrement approximatives lorsqu'on passe d'une paire de transducteurs à une autre.

L'objectif principal de cette étude a évidemment été de déterminer leur fréquence de résonance, c'est à dire la fréquence avec laquelle on doit alimenter le transducteur émetteur.

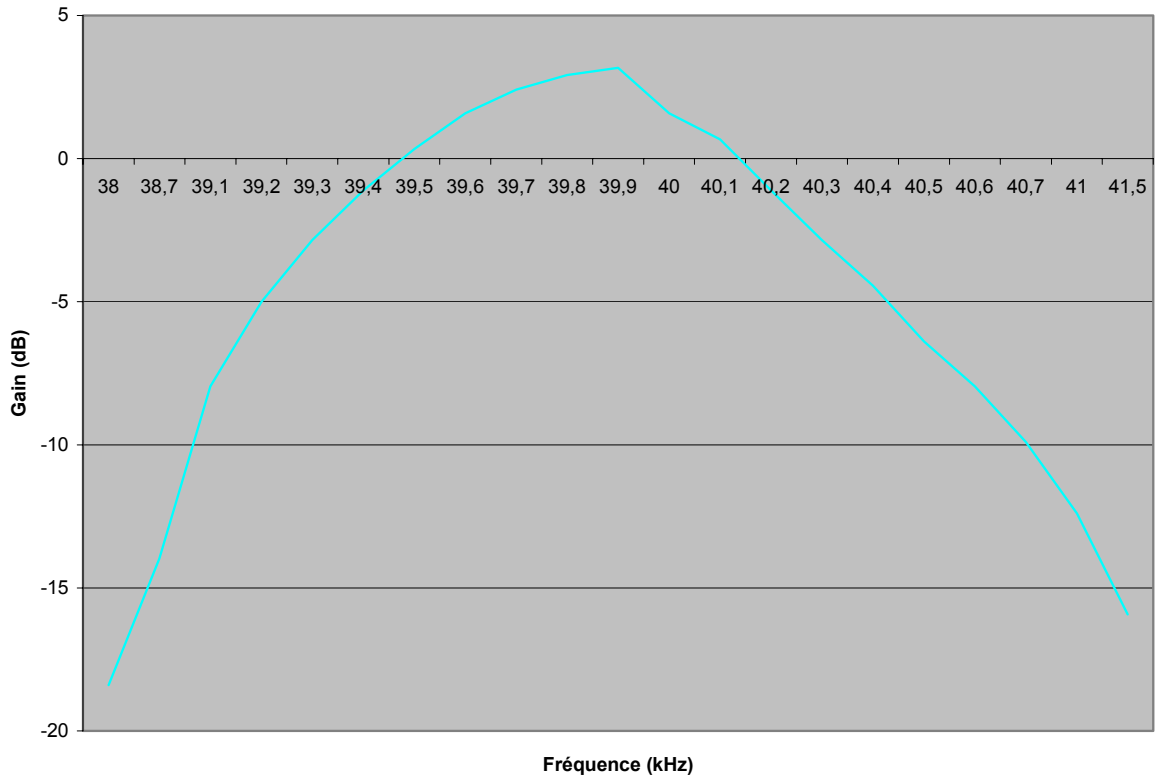
L'étude consiste à placer l'émetteur et le récepteur l'un en face de l'autre distant d'environ 1 cm(cela permet d'avoir en réception un signal de grande amplitude facile à étudier). On évite ainsi les problèmes liés à la réflexion de l'onde sonore sur un obstacle. En outre, on alimente l'émetteur (avec un GBF) avec une tension sinusoïdale d'amplitude 5V et de fréquence variable.

Nous avons obtenu la courbe de gain représentée à la page suivante.

En conclusion, nous utiliserons une fréquence de 40 kHz pour l'alimentation de l'émetteur. En outre, la paire de transducteurs est très sélective. Ainsi lorsqu'on alimente l'émetteur avec un signal carré seul le fondamental peut être reçu en sortie du récepteur. Enfin nous avons noté que le gain est indépendant de l'amplitude de l'excitation et remarqué la présence d'une deuxième fréquence de résonance à 55.5 kHz avec un gain de -13.98 dB.

La partie suivante va donc s'attacher à expliquer comment générer le signal de 40kHz qui va alimenter l'émetteur.

Gain de la paire de transducteurs



I- Le module d'émission

1. L'horloge à 40 kHz.

Une solution simple pour générer un signal de 40 kHz est d'utiliser un NE555 qui permet dans une configuration donnée(voir schéma 1) de fournir un signal créneau. Il est alimenté en 9V (tension de la pile) et les valeurs des résistances et du condensateur permettent de fixer la fréquence et le rapport cyclique. ($f=1.44/(R_a+2R_b)*C$ et $R_a/(R_a+2R_b)$) Si $R_b \gg R_a$ alors le rapport cyclique est proche de 0.5, ce qui permet d'avoir l'amplitude du fondamental maximale (seul pris en compte par la paire de transducteurs). En outre, l'utilisation d'un potentiomètre pour R_b permet d'ajuster précisément la valeur de la fréquence, afin d'être très exactement à la fréquence de résonance de la paire de transducteur. Nous avons donc choisi les valeurs suivantes :

$C=82\text{pF}$; $R_a=1.5\text{ k}\Omega$; $R_b=150\text{k}\Omega+\text{potentiomètre de } 10\text{k}\Omega$.

Enfin le NE555 possède une entrée reset qui lorsqu'elle est à 1 autorise le signal d'horloge et lorsqu'elle est à 0 l'inhibe ce qui permettra de commander l'émission.

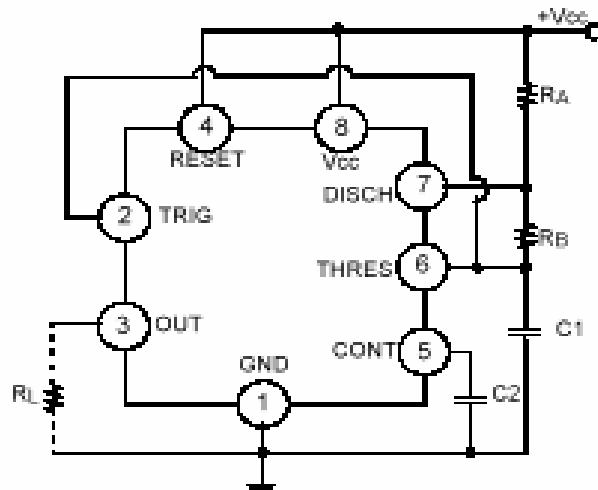


Schéma 1

2. La transmission de puissance à l'émetteur.

Dans un premier temps, nous avons pensé alimenter l'émetteur directement avec le signal d'horloge généré par le NE555. Deux problèmes se sont opposés à l'utilisation de cette solution :

- Le transducteur se comporte comme un circuit RLC série et donc perturbe le signal d'horloge, ce qui est néanmoins peu contraignant.
- La puissance transmise au transducteur est faible, ce qui est très contraignant car c'est ce qui va principalement limiter la portée du télémètre.

Finalement, nous avons opté pour l'utilisation d'un doubleur de tension (voir schéma 2). Au lieu d'avoir 9V d'amplitude crête à crête, il y a 18V.

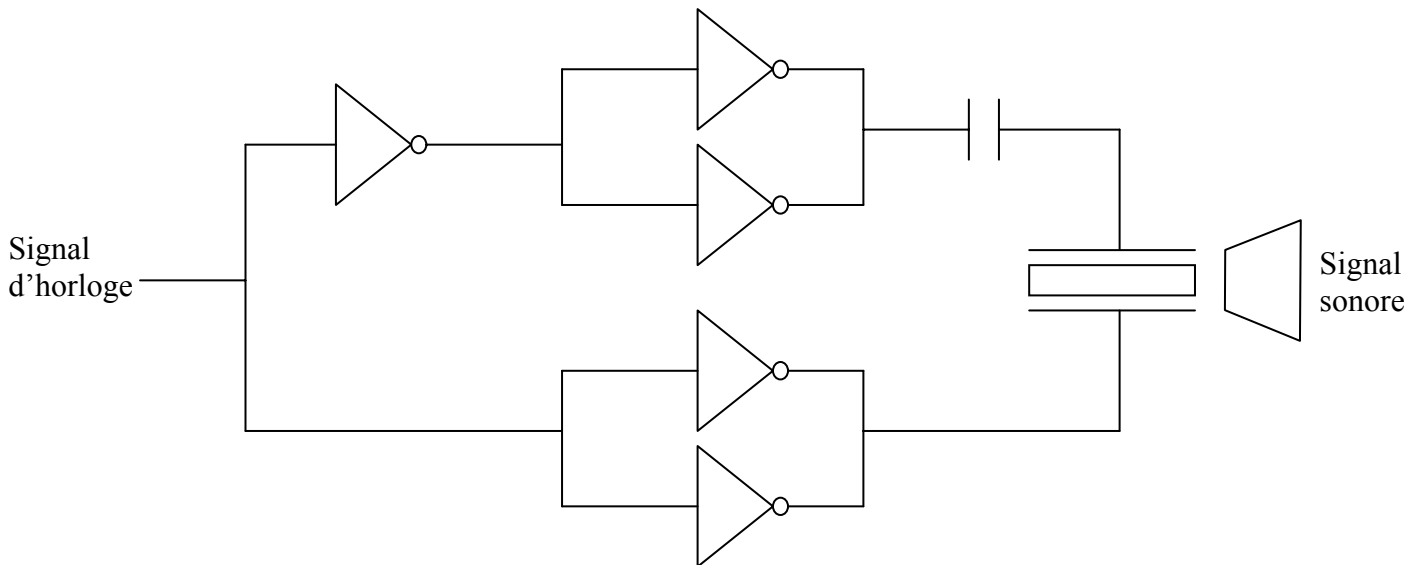
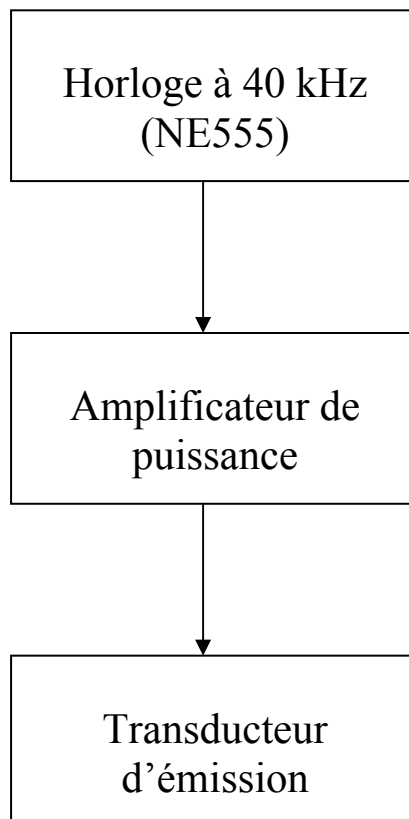


Schéma 2

Le module d'émission se résume donc au schéma de principe suivant.



II- Le module de réception

La paire de transducteurs est sélective, le signal reçu est donc une sinusoïde de fréquence 40 kHz : ce n'est plus un signal logique. Il va donc falloir procéder, dans le module de réception, à une conversion analogique/numérique

1. Nécessité d'une masse virtuelle.

Pour mener à bien cette conversion, nous avons choisi d'utiliser des amplificateurs opérationnels. Il faut donc une alimentation en $+V_{cc}$ et $-V_{cc}$, or nous disposons uniquement d'une pile de 9V. La solution retenue est d'établir un point de potentiel à 4,5V. Pour se faire, on monte un pont diviseur de tension avec deux résistances de $1\text{ M}\Omega$ (pour limiter la perte de puissance par effet Joule) dont le potentiel milieu (4,5 V), d'où il ne doit sortir aucun courant, est connecté à l'entrée + d'un AO monté en suiveur(voir schéma 3). La sortie de l'AO est donc à 4,5 V avec une résistance interne très faible. En alimentant les AO en 0-9 V et en traitant notre signal par rapport à la masse virtuelle, tout ce passe comme si les AO étaient alimentés en $-4,5\text{ V}$ et $+4,5\text{ V}$ par rapport à celle-ci.

Le transducteur récepteur a donc une de ses bornes connectée à la masse virtuelle.

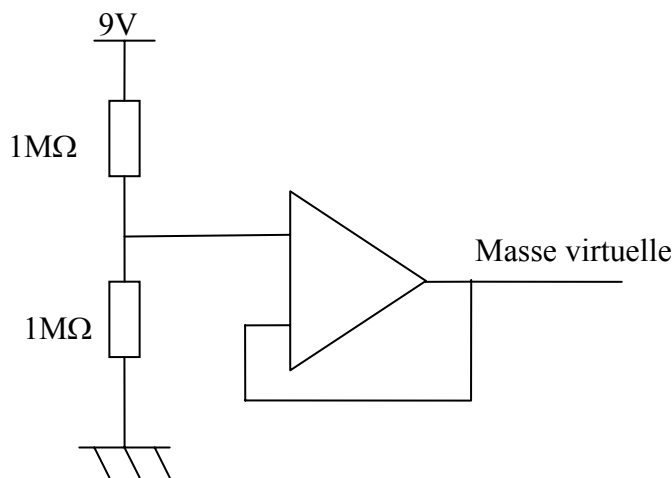


Schéma 3

2. L'amplification et le filtrage.

Le signal reçu est très faible, il faut donc l'amplifier pour pouvoir le distinguer du bruit parasite. Pour cela, on utilise un AO monté en amplificateur non inverseur(voir schéma 4). Pour avoir un gain de 100 on prend : $R_2=150\text{ k}\Omega$ et $R_1=1,5\text{ k}\Omega$. Cependant pour avoir un gain de 100 à 40 kHz, il faut un AO dont le produit gain bande est supérieur à 4MHz, nous avons donc utilisé le LT1007 qui est de meilleure qualité que le TL081.

En outre, pour éliminer tous signaux parasites, on a décidé de filtrer le signal amplifié avec un simple pont R-C (voir schéma 4) dont la fréquence de cassure est juste supérieure à 40 kHz.

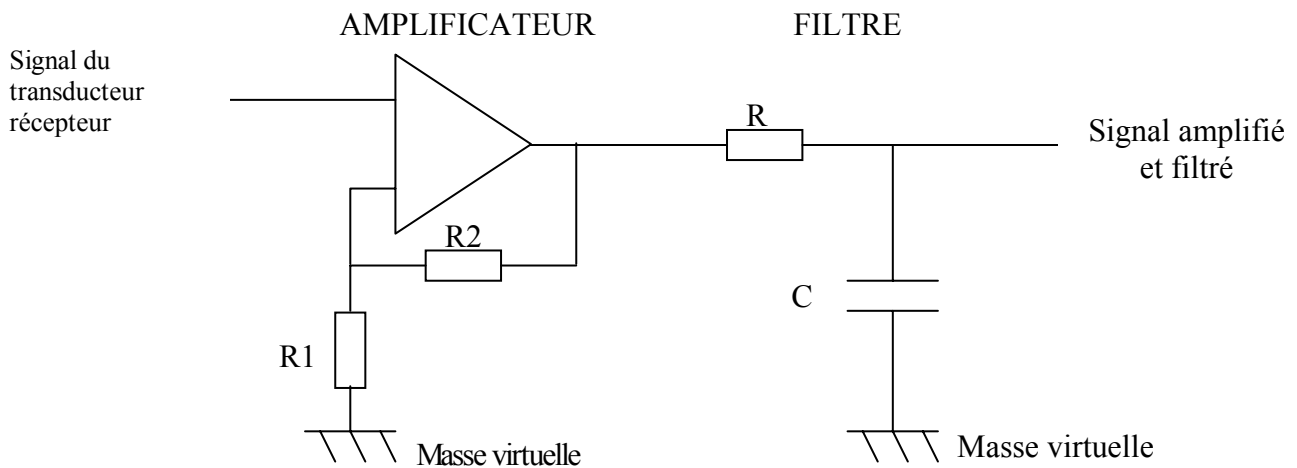


Schéma 4

3. Conversion analogique-numérique

C'est un comparateur qui convertit le signal analogique en signal tout ou rien (voir schéma 5). On utilise un AO (de qualité moyenne), un TL081. Sur l'entrée +, on met le signal. Sur l'entrée -, on fixe un seuil de tension (à l'aide d'un trimmer) juste au-dessus de la masse virtuelle, par exemple à 4,6 V. Ainsi, lorsque le signal est supérieur à 4,6 V, l'AO sature à +4,5 V par rapport à la masse virtuelle, et donc à 9 V par rapport à la masse réelle (c'est le niveau logique 1). Par contre, lorsque le signal est inférieur à 4,6 V, l'AO sature à -4,5 V par rapport à la masse virtuelle, et donc à 0 V par rapport à la masse réelle (c'est le niveau logique 0).

Plus le seuil est proche de 4,5 V, plus la réception est sensible, mais moins elle est fiable. Un ajustement du trimmer sera nécessaire pendant la phase de réglage.

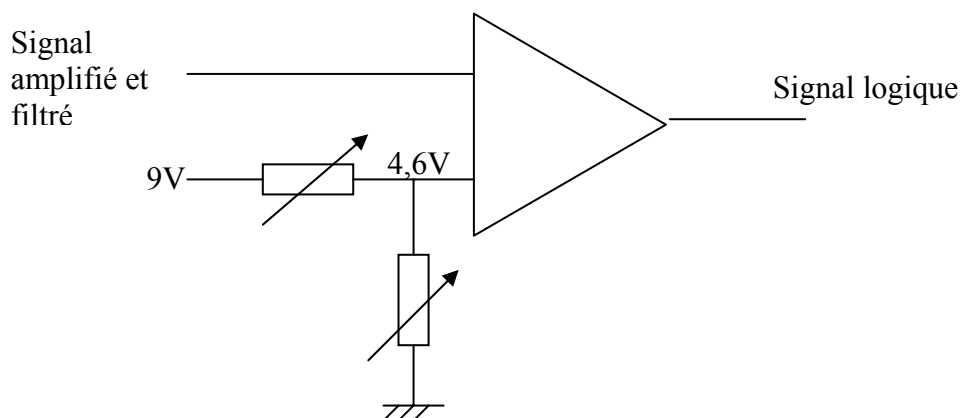
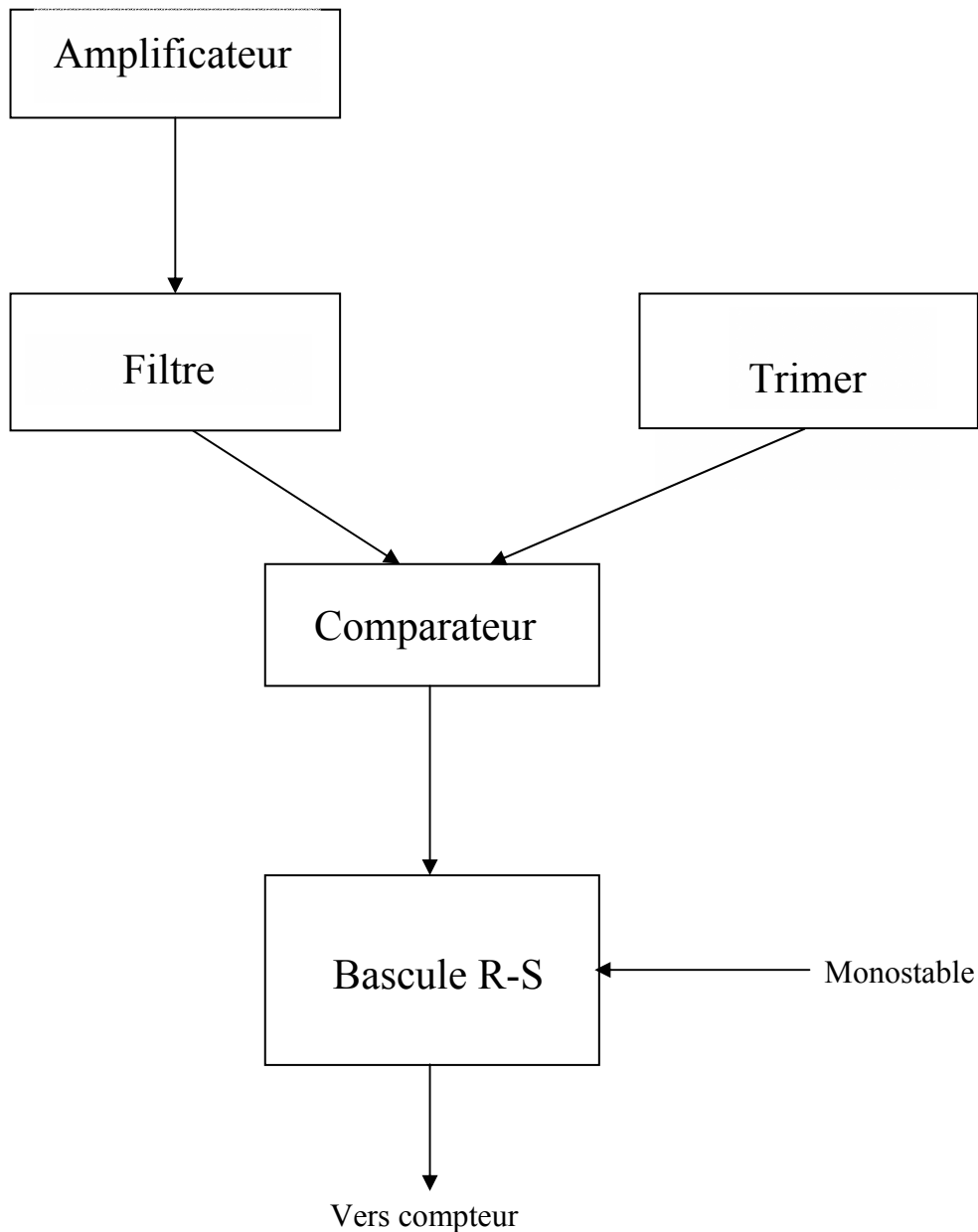


Schéma 5

Avec ce qui précède, lorsqu'un signal est reçu, on obtient un niveau logique à 1 mais celui-ci est instable (On a une série de 0 et de 1). En effet, le signal passe successivement au-dessus et en dessous du seuil. Il faut donc stabiliser le niveau logique à 1. Pour cela on utilise une bascule R-S qui donne une sortie constante dès le premier niveau logique 1 détecté en entrée. (Il y a mémorisation quand l'entrée repasse à zéro)

Finalement, le module de réception se résume au schéma de principe suivant :



En conclusion, avec une structure simple constituée de composants d'utilisation facile, ce module de réception réalise une conversion analogique/numérique. Les tests pratiques ont démontré que sa simplicité lui procurait une grande fiabilité.

III- *Le module d'affichage*

La fonction de ce module est d'afficher le résultat de la mesure. Il reçoit en entrée un signal de l'automate qui passe au niveau haut au début de l'émission et qui retourne à l'état bas lors de la réception de l'écho.

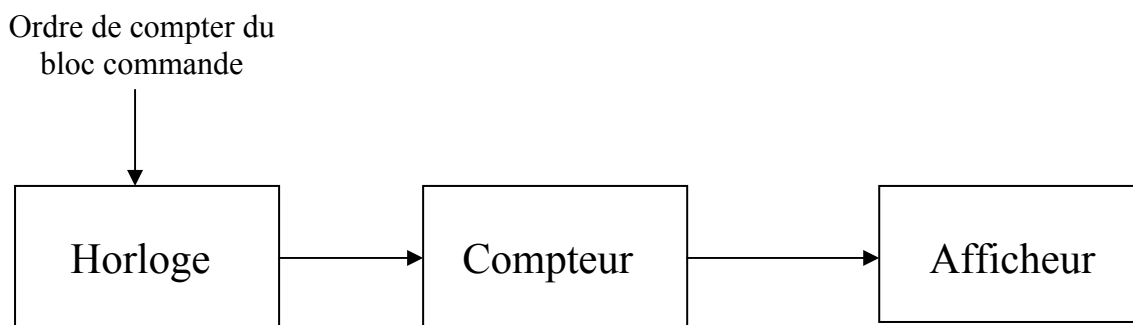
1. **Nécessité de compter à 17,05 kHz**

Le principe utilisé est l'incrémement d'un compteur tous les deux centimètres parcourus par la salve d'ultrasons, ce qui correspond à un centimètre dans le sens aller et un centimètre dans le sens retour. Etant donnée la vitesse de propagation des ultrasons, on déduit la fréquence d'incrémement du compteur : $f=1/T=v/(2d)$ avec $d=1$ cm et $v=341$ m/s.

Numériquement, $f=17.05$ kHz.

On peut noter qu'on suppose constante la valeur de v , alors qu'elle dépend du milieu de propagation (de sa masse volumique, de la pression, de la température).

Le module se décompose donc en trois sous-parties : une horloge, un compteur, et un afficheur.



2. **La réalisation**

L'afficheur était fourni. Il se compose de trois afficheurs sept segments commandés par trois convertisseurs BCD/7 segments. Notre compteur doit donc fournir à ces convertisseurs les trois chiffres de la valeur à afficher codés en BCD : chaque chiffre est donc codé sur 4 bits.

Pour réaliser le compteur nous avons utilisé trois compteurs décimaux. Nous avons effectué une mise en cascade asynchrone : l'horloge du compteur des unités est notre horloge, l'horloge du compteur des dizaines provient d'une sortie du compteur des unités qui passe à 1 quand celui-ci revient à 0, et de même pour le compteur des centaines.

L'horloge à 17.05 kHz est produite par un circuit astable NE555, dont le fonctionnement est identique à celui qui crée le signal d'émission à 40 kHz (voir le schéma 1).

On doit compter uniquement lorsque le signal fourni par le module commande est à l'état haut. Pour cela, on a connecté ce signal à l'entrée Reset du NE555, ce qui fait que les fronts d'horloge ne sont pas produit quand on ne doit pas compter.

IV- Le module de commande

La fonction du bloc commande est de gérer le fonctionnement global du télémètre. Il interagit donc avec les modules de la partie opérative du système, le module d'émission et le module de réception, et avec le bloc d'affichage. Il leur fournit des signaux de commande et reçoit de leur part des informations sur le déroulement du cycle de mesure, que nous détaillons ci-dessous.

1. Déroulement du cycle de mesure

Lors d'une demande de mesure par l'utilisateur, le compteur est remis à zéro et lancé, et, simultanément, l'émetteur envoie une salve d'ultrasons d'une durée de 0.26 ms. Le compteur est arrêté dès réception de l'écho. Cependant, immédiatement après l'émission, le récepteur capte le signal émis, qui peut être pris pour le retour de l'écho. Or, ce signal ne doit pas déclencher l'arrêt du compteur, c'est pourquoi pendant une durée de 0.68 ms après le début du cycle, l'arrêt du compteur ne peut se faire, même si le récepteur capte un signal. Dans le cas où aucun écho n'est reçu, le compteur ne s'arrête pas, mais est de toute façon remis à zéro lors d'une nouvelle demande de mesure.

2. Première solution envisagée : utilisation d'un automate

Notre première idée a été de réaliser un automate à l'aide d'un circuit programmable GAL isp22V10C. L'avantage de cette solution est sa grande souplesse : en effet, il est très facile de tester plusieurs cycles de mesure en reprogrammant le circuit. Le déroulement de la mesure pouvait être amélioré, sans rendre le montage plus complexe. Notamment, il était possible de prendre en compte le cas où aucun écho n'est capté, et de stopper le compteur en attente d'une nouvelle demande de mesure.

L'automate devait utiliser la même horloge que le compteur (17.05 kHz), possédait trois entrées, la demande de mesure, l'information de réception de l'écho, et l'information selon laquelle le compteur avait atteint son maximum (ce qui signifiait qu'aucun signal n'avait été reçu), et pilotait quatre sorties, la remise à zéro du compteur, l'ordre de compter (ou non), l'autorisation d'émettre, et l'ordre de remettre à zéro le signal « écho capté » tant que le délai de 0.68 ms n'était pas passé.

Néanmoins, nous n'avons finalement pas retenu cette solution pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ce circuit programmable doit fonctionner avec une alimentation 0/5 V, tandis que le reste du circuit, et en particulier le module de réception, fonctionne entre 0 et 9 V. Nous aurions donc eu à ajouter un régulateur pour fournir l'alimentation de 5 V. Mais surtout les signaux logiques que s'échangent les modules auraient nécessité un réajustement, à l'aide de

comparateurs. Nous aurions pu utiliser le LM311, qui possède une sortie à collecteur ouvert, ce qui permet de fixer le niveau du signal de sortie indépendamment de sa tension d'alimentation : cette possibilité est tout à fait adaptée à l'interface 5V/9V que nous souhaitons réaliser. Malgré tout, ces nouveaux modules auraient alourdi de façon conséquente le montage.

La deuxième raison, et la principale, est que nous nous sommes rendus compte qu'au prix d'une légère simplification du cycle, il était parfaitement possible de concevoir la partie commande à l'aide de circuits moins complexes et donc beaucoup moins coûteux qu'un circuit programmable. Nous avons donc retenu une autre solution, que nous allons détailler.

3. Solution retenue

En fait, la remise à zéro du compteur, l'ordre d'émettre, et la neutralisation de la prise en compte d'une réception s'effectuent dès la demande de l'utilisateur et durent un temps constant et prédéfini. Un circuit monostable, qui fournit un signal à l'état haut pendant une durée donnée, est tout à fait adapté.

Nous avons donc utilisé trois circuits monostables 4538. La durée de l'impulsion est réglable à l'aide d'un condensateur et d'une résistance, et nous avons retenu un câblage qui évite la relance de l'impulsion à chaque rebond de l'interrupteur.

- Pour la remise à zéro du compteur, qui est asynchrone, l'impulsion dure 0.026 ms, temps inférieur à la période d'horloge du compteur (0.058 ms) afin de ne pas provoquer une erreur sur la distance comptée. ($R=2.6K\Omega$ $C=10nF$)
- L'autorisation d'émettre dure 0.26 ms, ce qui correspond à une salve de 10.4 périodes, puisque la fréquence du signal émis est 40 kHz. ($R=2.6K\Omega$ $C=100nF$).
- On empêche la prise en compte d'un signal de réception pendant 0.68 ms. ($R=6.8K\Omega$ $C=100nF$)

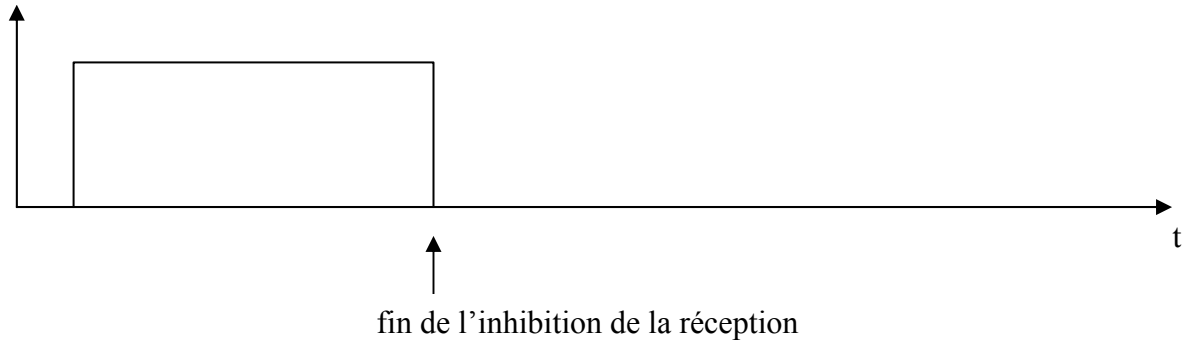
C'est une durée qu'on règle expérimentalement en mesurant le temps pendant lequel on reçoit un signal qui ne correspond pas à l'écho. Ce temps dépend de la position relative du récepteur par rapport à l'émetteur et détermine la distance minimale que le télémètre peut mesurer. Nous évaluons, avec nos réglages, cette distance minimale à 12 cm.

Enfin, le module de commande doit piloter le déclenchement et l'arrêt du compteur. Nous avons utilisé une bascule RS, et plus précisément un circuit 4043 à Set prioritaire. Sur l'entrée Reset est connecté le signal carré de sortie du module de réception. Sur l'entrée Set est connectée la sortie du monostable qui inhibe la réception du mauvais signal. Les chronogrammes suivants récapitulent de façon schématique le fonctionnement du module de commande.

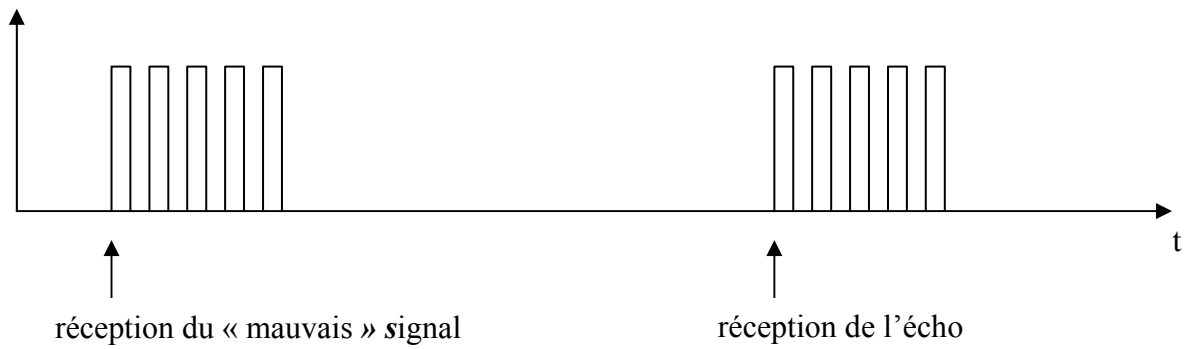
L'utilisateur effectue sa demande de mesure par l'intermédiaire d'un bouton poussoir. Celui-ci est placé entre l'alimentation (9 V) et l'entrée des trois monostables. En outre, une résistance de pull-up placée entre la masse (0 V) et l'entrée des monostables permet de fixer ces dernières au niveau logique bas quand le bouton poussoir est ouvert.

En conclusion, tout comme le module de réception, le module de commande base son efficacité sur sa simplicité.

Entrée set : sortie du monostable



Entrée reset : sortie du module réception

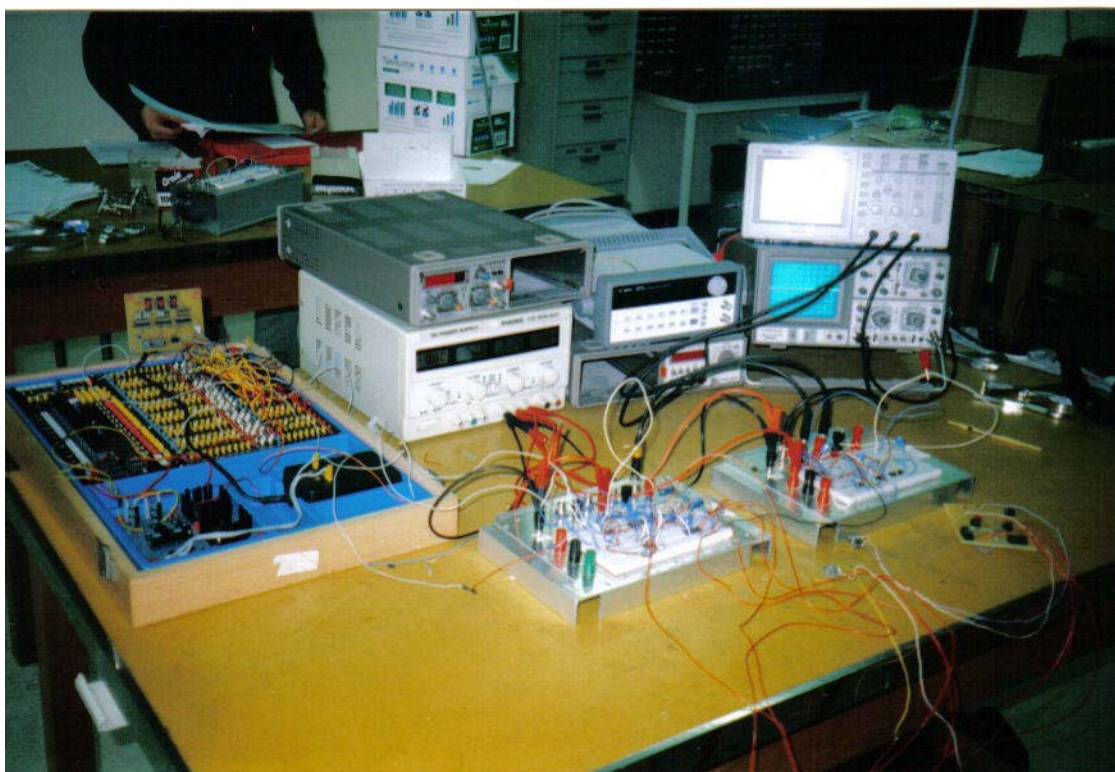


Sortie de la bascule : autorisation de compter



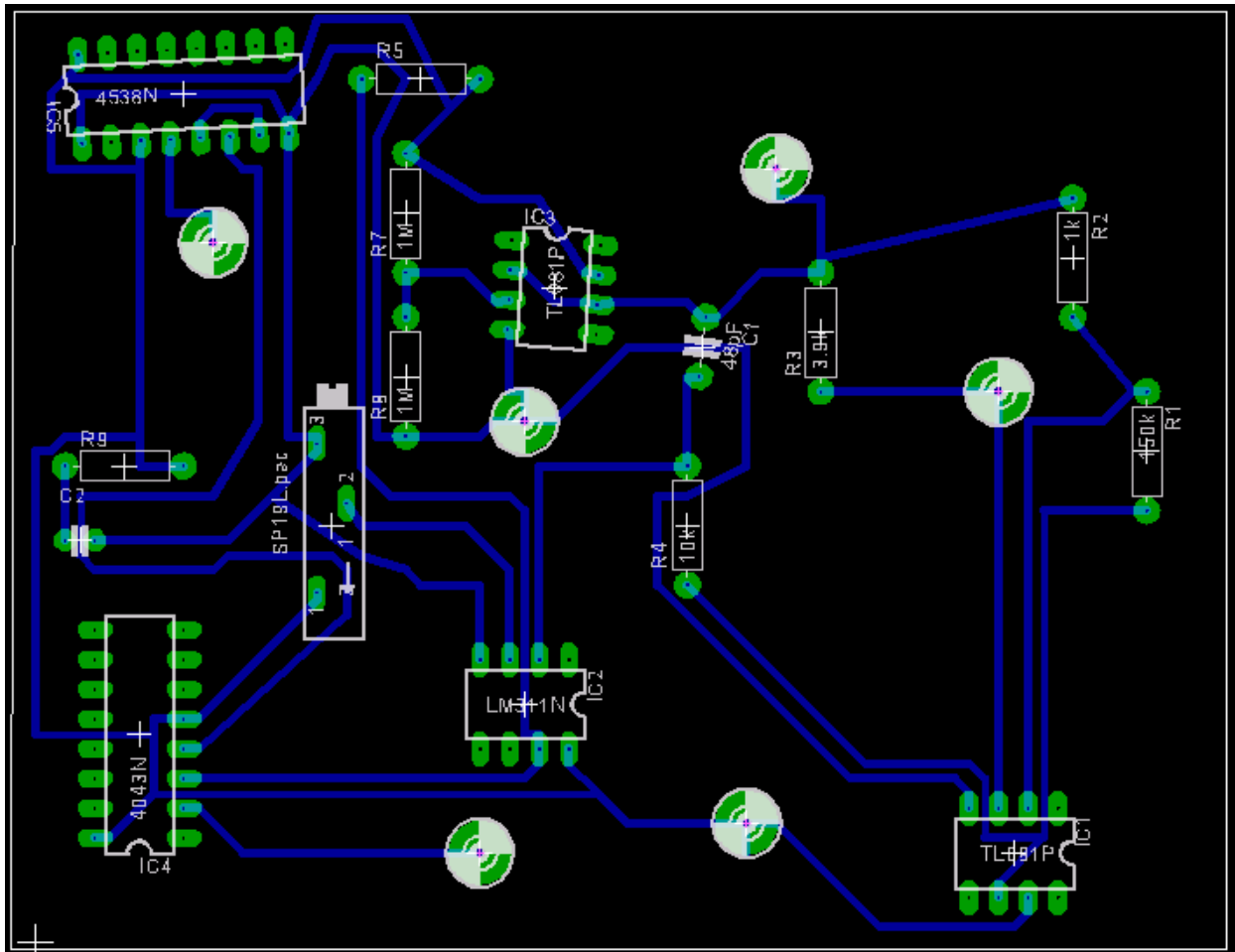
Conclusion

La phase de conception nous a occupé jusqu'au jeudi après-midi. Nous avons ensuite procédé à des tests pour vérifier le bon fonctionnement et déterminer les limites d'utilisation.



Nous avons notamment mesuré la distance au plafond. Différentes mesures ont systématiquement donné le même résultat, soit 198 cm, ce qui prouve la grande stabilité de ce moyen de mesure. De plus, après vérification avec un décamètre traditionnel, nous avons estimé que la précision du télémètre était de 1 cm. D'autres mesures à des distances inférieures ont confirmé cette estimation. Cependant, comme le système n'était pas facilement déplaçable, nous n'avons pas pu tenter d'évaluer des distances supérieures, et donc nous n'avons pas pu déterminer la portée maximale du télémètre.

La phase suivante du travail a été la fabrication du télémètre sous forme de circuits imprimés, qui se compose de plusieurs étapes : dessin des pistes avec le logiciel EAGLE, gravure, perçage, soudage des composants. Ceci nous a permis de nous initier au routage. Malheureusement, par manque de temps, nous n'avons pu réaliser toutes les cartes. Nous avons néanmoins choisi d'en réaliser une entièrement, la carte qui contient en particulier le module réception.



L'impression générale du groupe à la suite de ce TE est positive. En effet, cette semaine nous a permis de mettre en pratique les connaissances que nous avons acquises. En outre, ce qui nous a particulièrement intéressé est d'avoir à effectuer un travail de conception, ce qu'on ne nous avait jusqu'alors jamais proposé.