

SAE N°1

Réalisation d'un métronome électronique

TOURAIS AUBIN – HUYNH ALEXIS

IUT D'EVRY – GE-1ÈRE ANNÉE

SOMMAIRE

I.	INTRODUCTION	Page 3
II.	DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT	Page 4 - 5
III.	L'ASTABLE 1 – PARTIE 1	Page 6
IV.	L'ASTABLE 1 – PARTIE 2	Page 7 - 8
V.	L'INVERSEUR	Page 9
VI.	L'ASTABLE 2	Page 10 - 11
VII.	L'AMPLIFICATEUR	Page 12
VIII.	LE HAUT-PARLEUR	Page 13
IX.	VALIDATION DU MONTAGE COMPLET	Page 14
X.	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	Page 14
XI.	ANNEXES TECHNIQUES	Page 15 - 16

INTRODUCTION

Présentation du Sujet :

Durant cette SAé, nous avons pu faire en binôme la « Réalisation d'un métronome électronique ».

Qu'est-ce qu'un métronome ?

Un métronome est un appareil étant capable d'émettre un son à intervalles réguliers permettant d'indiquer un tempo de manière fiable et stable. La valeur du tempo que l'on souhaite obtenir se calcule en battements par minute.

La hauteur du son est déterminée par la fréquence du signal sonore, sur notre métronome, la hauteur du son sera réglable, contrairement aux autres modèles.

Cahier des charges :

La fréquence des battements doit être réglable entre 40 et 208 BPM, ce qui permet de s'adapter à tous les morceaux de la musique classique.

La fréquence du son doit être aussi réglable entre 250 et 10 kHz, afin de s'adapter à tout type d'instrument. C'est aussi une plage de fréquences audible par la plupart des utilisateurs, quel que soit leur âge.

La durée de battements doit être voisine de 20 ms.

Données du cahier des charges à respecter pour les deux astables du circuit :

Pour l'astable 1 :

Tlow doit être voisin de 20 ms.

Tmax doit être supérieur à 1,5 s.

Tmin doit être inférieur à 0,29 s.

Pour l'astable 2 :

Tlow doit être voisin de 40 us.

Tmax doit être supérieur à 4 ms.

Tmin doit être inférieur à 100 us.

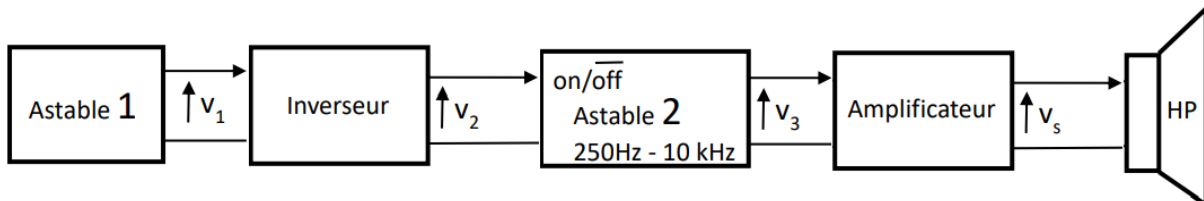
DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

1) Schéma de principe ou fonctionnel.

Vous pourrez retrouver ci-dessous le schéma fonctionnel qui est composé de 5 blocs fonctionnels.

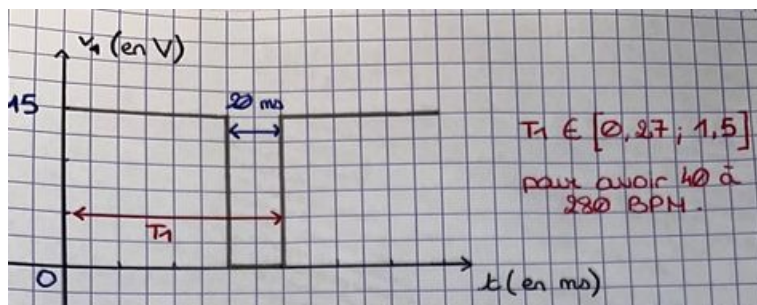
- **L'Astable 1** : Cette première partie permet de délivrer en permanence des signaux rectangulaires entre 0 et 15 V.
- **L'Inverseur** : Cette deuxième partie permet d'inverser le signal émis par l'Astable 1, si celui-ci est à 15 V, il inverse le signal et le passe ainsi à 0 V, et inversement, si le signal reçu vaut lui 0 V, l'inverseur le fait passer à 15 V en sortie.
- **L'Astable 2** : Cette troisième partie permet de délivrer des signaux rectangulaires à l'aide du signal qui est ressorti de l'inverseur, si son entrée est ON, alors il délivrera 15 V, mais si son entrée est de 0 V, il délivrera dans ce cas 0 V.
- **L'Amplificateur** : Cette quatrième partie reçoit le signal émis par l'Astable 2, et l'amplifie en courant afin de pouvoir alimenter le haut-parleur.
- **Haut-Parleur** : Cette cinquième et dernière partie, récupère le courant amplifié par l'Amplificateur et l'émet par la suite en son.

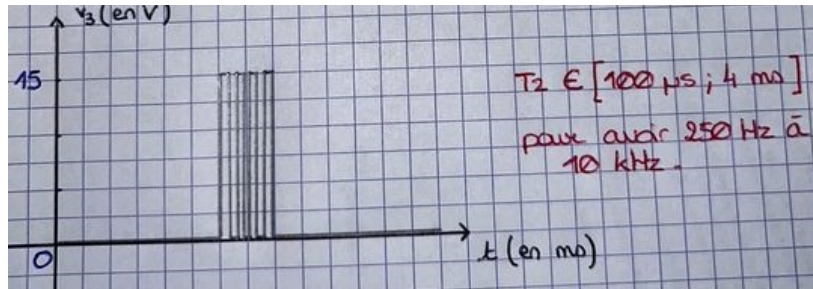
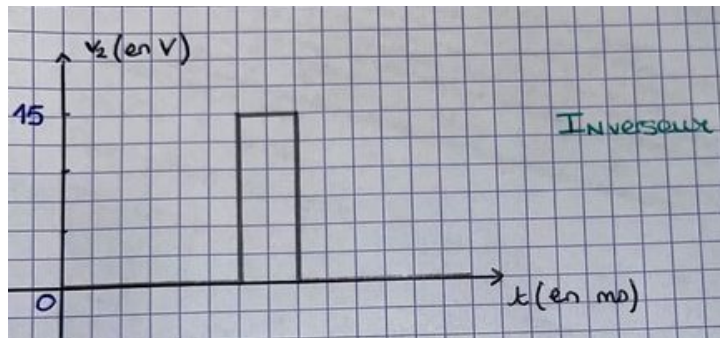
Pour avoir un meilleur aperçu, vous pouvez voir ci-dessous les blocs réunis.



2) Chronogrammes.

A présent, nous allons nous montrer les chronogrammes que nous utiliserons et que nous allons approximativement réceptionner par la suite du circuit électronique à l'aide de l'oscilloscope.





3) Explications du principe de fonctionnement du montage.

Le principe de fonctionnement du montage est :

- Le courant qui est généré par notre générateur de 15 V, passera en premier lieu par notre gros condensateur de 100 μF , puis en parallèle, le courant passera par l'astable 1 pour ainsi générer un signal périodique rectangulaire allant de 15 à 0V.
- Par la suite, le courant qui ne passera pas directement par notre NE555, continuera son chemin jusqu'à une DEL afin de signaler que le courant passe bel et bien et permettra ainsi de montrer l'allure/vitesse de la fréquence des battements, qui pourra être réglable via le potentiomètre de notre Astable 1.
- Ensuite, notre courant desservira par notre inverseur qui changera ainsi la période de notre signal ainsi inversera celui-ci.
- Ce courant continuera son chemin par notre second Astable qui recevra donc le signal modifié par notre inverseur, et permettra à son tour, de régler la fréquence du son pendant chaque battement via un nouveau potentiomètre qui se trouve dans cet astable.
- Nous entrerons dans le bloc de l'amplificateur, qui comme son nom le dit, « amplifie » le courant afin de pouvoir alimenter le haut-parleur, qui se trouvera à la fin.
- Et enfin, le haut-parleur recevra le courant transmis par l'amplificateur, et émettra un son qui sera différent selon le réglage des potentiomètres de l'astable 1 ainsi que celui de l'astable 2.

L'Astable 1 - Partie 1

1) Schéma électrique.

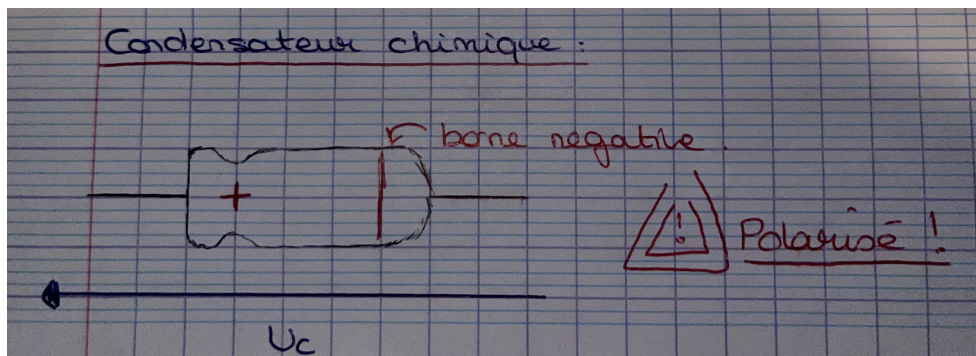
Le bloc fonctionnel 1 comporte la partie de **la base de l'Astable 1** (retourner page 2 pour rappel).

Ce bloc est composé d'un générateur de 15 V, ainsi que d'un condensateur de 100 μF .

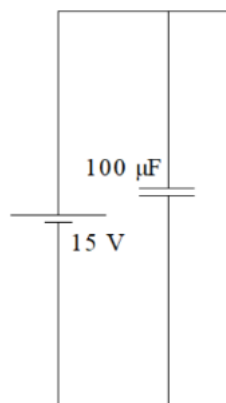
Branché le **+** du générateur avec un fil **ROUGE**, et le **-** du générateur avec un fil **NOIR**.

ATTENTION :

Mettre le condensateur dans le bon sens de polarité ! **Risque d'explosion !**



Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants.



2) Commentaires.

Après avoir mis en place cette première partie qui sera notre base du circuit, ainsi notre départ pour la construction de notre Astable 1, avec le placement de notre générateur de 15V et de notre condensateur (qui doit être mis dans le bon sens !), nous pouvons passer à la suite de cette astable, et donc à la seconde partie de notre circuit.

L'Astable 1 - partie 2

1) Schéma électrique.

Le bloc fonctionnel 1 comporte aussi la partie du **NE555 de l'Astable 1** (retourner page 2 pour rappel).

Voici les données des composants nécessaires à ce bloc :

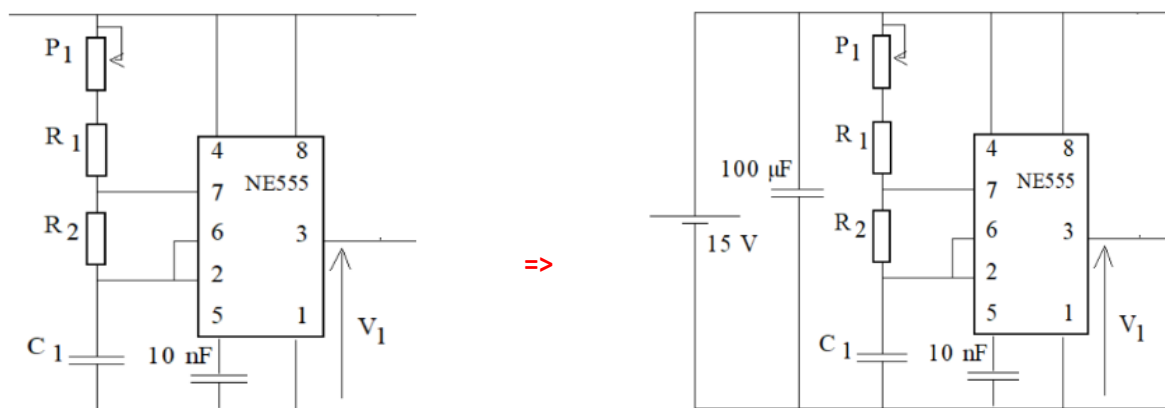
- 1 Résistance de 33 kilos Ohms. (R1)
- 1 Résistance de 3 kilos Ohms. (R2)
- 1 Potentiomètre de 200 kilos Ohms. (P1)
- 1 Condensateurs de 10 μ F. (C1)
- 1 Condensateurs de 10 nF.
- 1 NE555 avec son support.

RAPPEL ATTENTION :

Mettre le condensateur dans le bon sens de polarité ! Risque d'explosion !

Les résistances n'ont pas de sens de polarités.

Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants avec la première partie.



2) Calcul théorique des composants.

$$\begin{aligned} T_{low} &= 0,693 * R2 * C1 \\ &= 0,693 * 3.10^3 * 10.10^{-6} = 20,79 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{max} &= 0,693 * (R1 + P1 + 2 * R2) * C1 \\ &= 0,693 * (33.10^3 + 200.10^3 + 2 * 3.10^3) * 10.10^{-6} = 1656,27 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{min} &= 0,693 * (R1 + 2 * R2) * C1 \\ &= 0,693 * (33.10^3 + 2 * 3.10^3) * 10.10^{-6} = 270,27 \text{ ms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BPM}_{min} &= 60 / T_{max} \\ &= 60 / 1656,27 = 36,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BPMmax} &= 60 / T_{\min} \\ &= 60 / 270,27 = 222 \end{aligned}$$

3) Vérification théorique des performances.

Rappel du Cahier des charges pour cette astable :

Tlow doit être voisin de 20 ms.

Tmax doit être supérieur à 1,5 s.

Tmin doit être inférieur à 0,29 s.

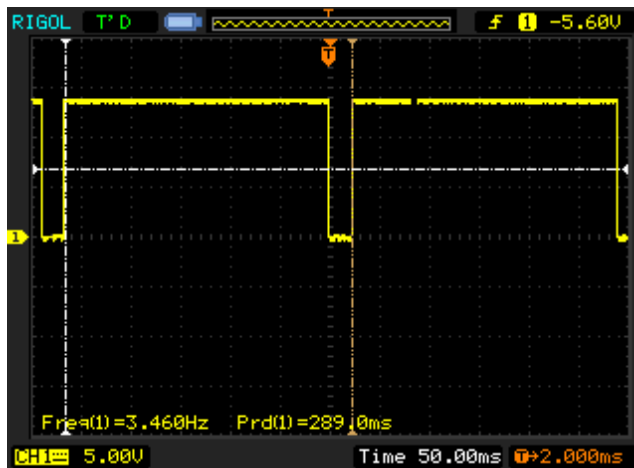
A présent, si nous comparons nos valeurs calculées ci-dessus aux unités du cahier des charges, voici sur quoi nous tombons pour l'astable 1 :

Tlow vaut 20,79 ms donc qui est voisin de 20 ms.

Tmax vaut 1656,27 ms = 1,6 s donc qui est supérieur de 1,5 s.

Tmin vaut 270,27 ms = 0,27 s donc qui est inférieur à 0,29 s.

4) Validation expérimentale des performances.



Echelle :

Tension = 5V.

Période = 50 ms.

Comme on peut le voir ci-dessus, l'astable 1 permet de délivrer en permanence des signaux rectangulaires entre 0 et 15 V.

Lorsque notre signal atteint 5 carreaux, notre signal est au top de la tension, qui vaut 15 V, mais lorsque celle-ci atteint une certaine durée, notre signal descend à 0 V, pour par la suite sous 1/2 carreau, repartir sous une nouvelle période et refaire les mêmes variances entre le 15 et le 0 V. (voir page 4 chronogramme dessiné)

5) Commentaires.

Maintenant que nous avons mis en place cette seconde partie du circuit, qui permet aussi de finaliser la construction de notre Astable 1, et que lorsque l'on branche la sonde de l'oscilloscope à la patte 3 du NE555, et que l'on y retrouve bien les mêmes signaux que trouvés ci-dessus, alors c'est que le calcul des données pour nos composants et que le branchement a été respecté.

C'est à partir d'ici, que nous pouvons passer à l'étape du branchement de notre inverseur qui sera la troisième partie de notre circuit.

L'inverseur

1) Schéma électrique.

Le bloc fonctionnel 2 comporte la partie de **l'inverseur** (retourner page 2 pour rappel).

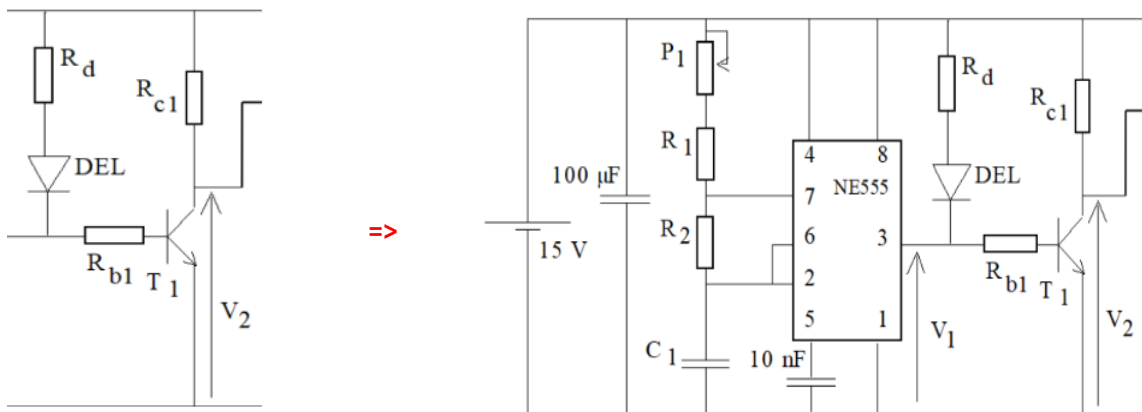
Voici les données des composants nécessaires à ce bloc :

- 1 Résistance de 5,6 kilos Ohms. (R_d)
- 1 Résistance de 100 kilos Ohms. (R_{b1})
- 1 Résistance 10 kilos Ohms. (R_{c1})
- 1 DEL. (Diode electroluminescente)
- 1 Transistor 2N2222. (T_1)

RAPPEL :

Les résistances n'ont pas de sens de polarités.

Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants avec les deux premières parties.



2) Commentaires.

Une fois que le branchement de l'inverseur à la suite des deux premières parties qui sont la globalité de l'astable 1, le signal sortant de cet astable sera alors inversé et en sortira un signal étant soit 15V si celui-ci a reçu 0V en entrée, ou bien 0V si celui-ci a reçu 15V.

C'est à ce moment-là que nous pouvons passer à la suite de notre circuit qui est la partie de l'astable 2.

L'Astable 2

1) Schéma électrique.

Le bloc fonctionnel 3 comporte la partie **L'Astable 2** (retourner page 2 pour rappel).

Voici les données des composants nécessaires à ce bloc :

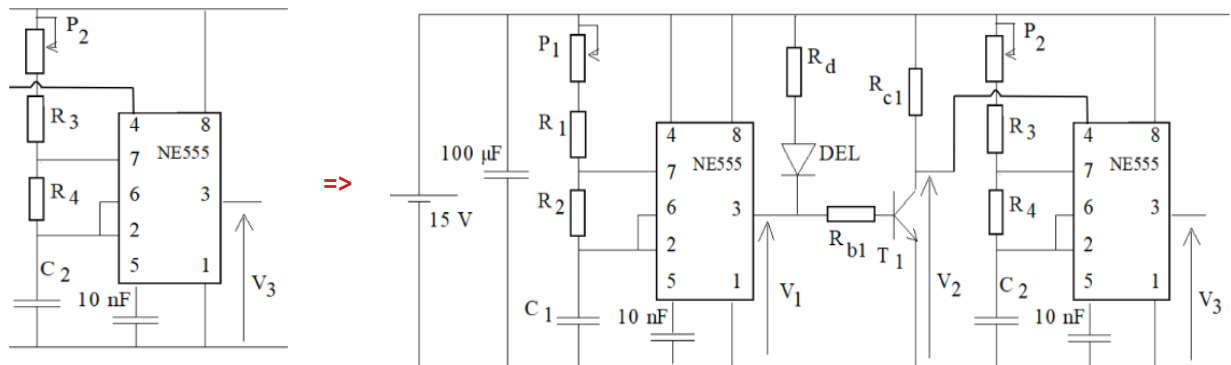
- 1 Résistance de 1500 Ohms. (R3)
- 1 Résistance de 3900 Ohms. (R4)
- 1 Potentiomètre de 500 kilos Ohms. (P2)
- 1 Condensateurs de 15 μ F. (C2)
- 1 Condensateurs de 10 μ F.
- 1 NE555 avec son support.

RAPPEL ATTENTION :

Mettre le condensateur dans le bon sens de polarité ! Risque d'explosion !

Les résistances n'ont pas de sens de polarités.

Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants avec les quatre premières parties.



2) Calcul théorique des composants.

$$T_{low} = 0,693 * R4 * C2$$

$$= 0,693 * 3,9.10^3 * 15.10^{-6} = 40,54 \text{ us}$$

$$T_{max} = 0,693 * (R3 + P2 + 2 * R4) * C2$$

$$= 0,693 * (1,5.10^3 + 500.10^3 + 2 * 3,9.10^3) * 15.10^{-6} = 5,29 \text{ ms}$$

$$T_{min} = 0,693 * (R3 + 2 * R4) * C2$$

$$= 0,693 * (1,5.10^3 + 2 * 3,9.10^3) * 15.10^{-6} = 9,66 \text{ ms}$$

$$f_{min} = 1 / T_{max}$$

$$= 1 / 5,29 = 189,03 \text{ Hz}$$

$$f_{max} = 1 / T_{min}$$

$$= 1 / 9,66 = 10,34 \text{ Hz}$$

3) Vérification théorique des performances.

Rappel du Cahier des charges pour cette astable :

Tlow doit être voisin de 40 μ s.

Tmax doit être supérieur à 4 ms.

Tmin doit être inférieur à 100 μ s.

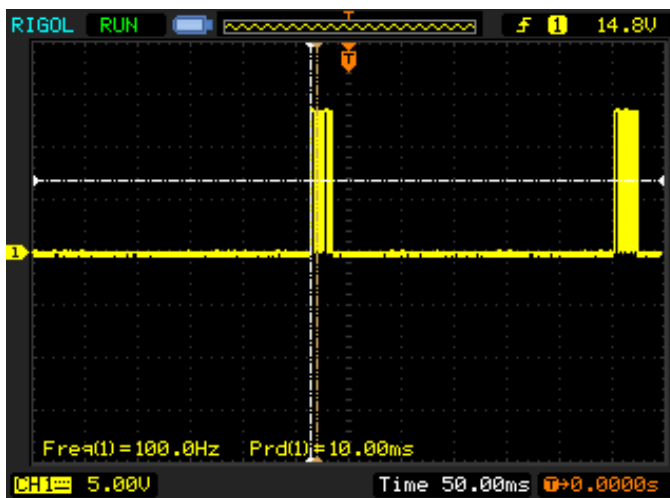
A présent, si nous comparons nos valeurs calculées ci-dessus aux unités du cahier des charges, voici sur quoi nous tombons pour l'astable 2 :

Tlow vaut 40,54 μ s donc qui est voisin de 40 μ s.

Tmax vaut 5,29 ms donc qui est supérieur de 4 ms.

Tmin vaut 9,66 ms = 966 μ s donc qui est inférieur à 100 μ s.

4) Validation expérimentale des performances.



Echelle :

Tension = 5V.

Période = 50 ms.

Comme on peut le voir ci-dessus, l'astable 2 permet de délivrer des signaux rectangulaires à l'aide du signal qui est ressorti de l'inverseur.

Lorsque notre signal atteint environ 5 carreaux, notre signal va émettre des signaux rectangulaires «contraires» à celui de l'astable 1, ceci est dû au rôle de l'inverseur qui était dans la partie précédente. (voir page 5 chronogramme dessiné)

C'est à partir de là, que nous pouvons voir que notre signal est bien passé par l'inverseur et que celui-ci a bien effectué son rôle.

5) Commentaires.

Pour conclure sur cette partie, dès que l'astable 2 est relié au reste du circuit, que lorsque l'on branche la sonde de l'oscilloscope à la patte 3 du NE555, et que l'on y retrouve bien les mêmes signaux que trouvés ci-dessus, alors à ce moment précis, nous pouvons conclure sur le bon branchement de l'astable 2 avec les parties précédentes, et ainsi passer à la partie suivante qui est pour rappel, l'amplificateur.

L'Amplificateur

1) Schéma électrique.

Le bloc fonctionnel 4 comporte la partie de **l'Amplificateur** (retourner page 2 pour rappel).

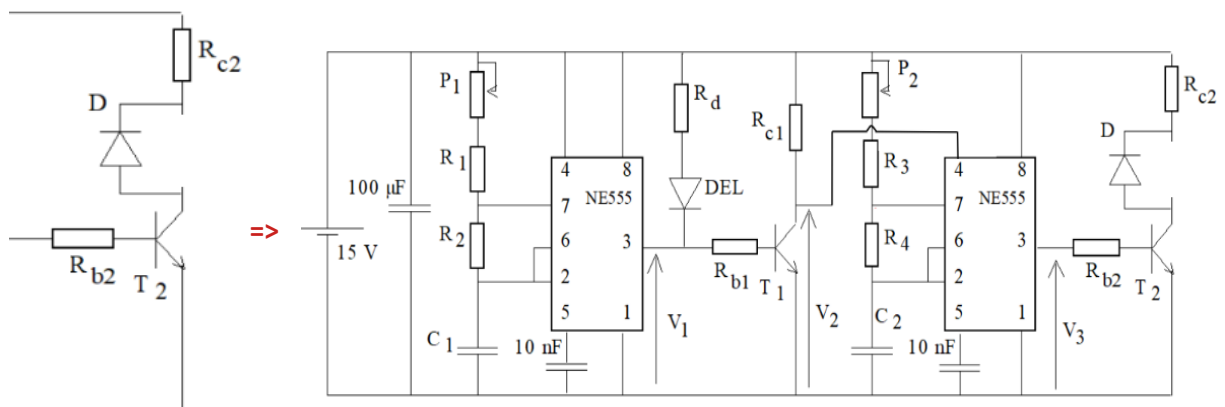
Voici les données des composants nécessaires à ce bloc :

- 1 Résistance de 120 Ohms.
- 1 Résistance de 750 Ohms.
- 1 Diode 1N4148.
- 1 Transistor 2N2219.

RAPPEL :

Les résistances n'ont pas de sens de polarités.

Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants avec tous les blocs réunit.



2) Commentaires.

Une fois cette étape terminée, il nous reste plus qu'à brancher notre haut-parleur au reste du circuit, afin d'obtenir, et ainsi vérifier, si tout notre circuit fonctionne comme il faut.

C'est une fois le haut-parleur branché correctement, que l'on pourra être certains d'entendre le son émis et pouvoir alors valider notre travail.

Le Haut-Parleur

1) Schéma électrique.

Le bloc fonctionnel 5 comporte la partie du **haut-parleur** (retourner page 2 pour rappel).

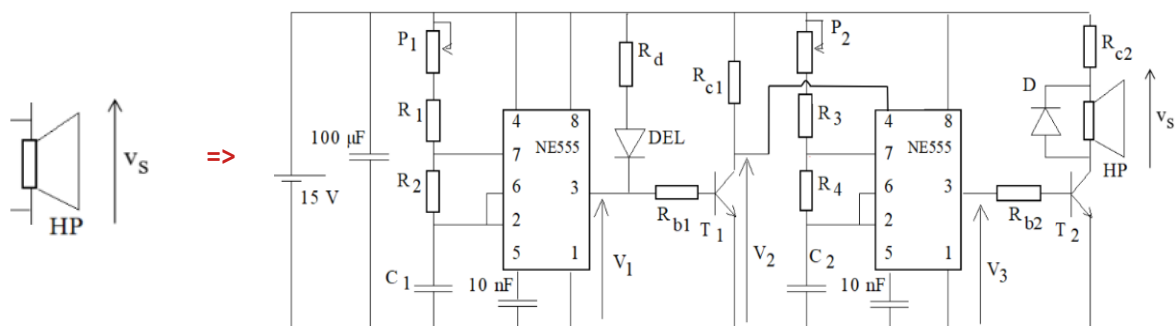
Voici le composant nécessaire à ce bloc :

- 1 Haut-Parleur.

RAPPEL :

Les résistances n'ont pas de sens de polarités.

Vous pouvez retrouver ci-dessous le câblage de ces composants avec tous les blocs réunis.



2) Commentaires.

A présent, l'assemblage de l'intégralité du circuit est effectué, si toutes les étapes et les données du cahier des charges ont été respectées, tout devrait bien fonctionner ! Sans aucun problème.

C'est à ce moment, que vous pourrez faire les tests avec le circuit opérationnel.

Si lorsque vous faites varier la hauteur et la fréquence du son, votre haut-parleur émet un son d'une allure rapide/lente et strident/neutre, alors c'est que le cahier des charges et le branchement a été respecté au pied de la lettre.

Vous pourrez trouver par la suite, une image du rendu du circuit sur plaque à trou, ainsi, qu'une image du même circuit mais directement sur un circuit imprimé.

VALIDATION DU MONTAGE COMPLET

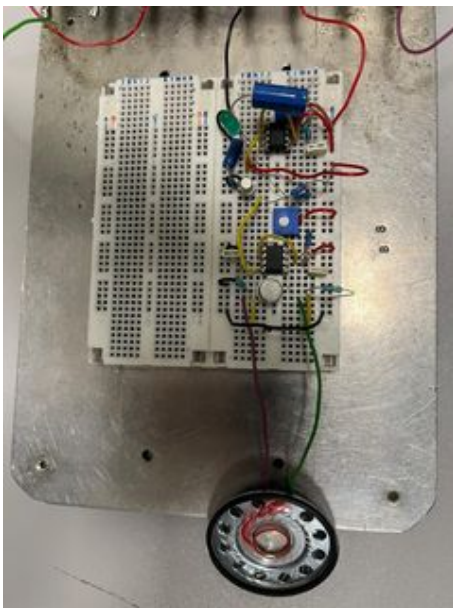
Nous avons alimenté le système sur 15V pour pouvoir vérifier le bon fonctionnement de notre système. Lorsque l'on tourne le potentiomètre de l'astable 1, la fréquence des battements varie. Nous avons pu vérifier ce fonctionnement à l'aide de la DEL.

Lorsque l'on tourne le potentiomètre de l'astable 2, la fréquence du son pendant chaque battement varie.

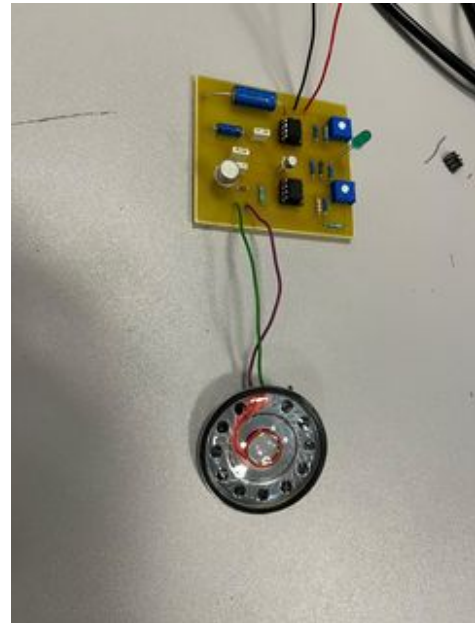
Nous avons pu également vérifier cela grâce au haut-parleur du système. Nous avons comparé les signaux relevés à l'oscilloscope et ils correspondent aux signaux que l'on avait prédits.

Voici la représentation réelle du métronome, que ce soit sur plaque à trous ou encore circuit imprimé.

Plaque à trous :



Circuit imprimé :



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons pu tester notre montage et en avons conclu qu'il marchait sans soucis.

Nous avons vérifié que le système respecte le cahier des charges imposé, la fréquence des battements est réglable entre 40 et 208 BPM, et la fréquence du son pendant chaque battement est réglable entre 250 et 10 000HZ, néanmoins certaines choses peuvent être améliorées.

Nous pourrions, par exemple, ajouter des boutons pivotables sur les potentiomètres pour pouvoir modifier les réglages de fréquence et de hauteur facilement.

Nous pourrions également ajouter un boîtier pour pouvoir protéger l'ensemble du montage, il faudrait que la hauteur du son soit plus importante pour pouvoir être audible même avec des instruments qui jouent en même temps.

Nous pourrions essayer d'alimenter notre système à l'aide d'une pile de 9V et voir combien de temps durera le système.

- Nomenclature des composants nécessaires au circuit

Ci-dessous, un tableau correspondant à la nomenclature des composants pour ainsi pouvoir référer plus facilement les composants à leurs positions attitrées, pour ce qui est du circuit imprimé ou encore circuit électrique.

Valeurs des composants	Nom sur le schéma
Résistance 100k Ω	R _{B1}
Résistance 10k Ω	R _{C1}
Résistance 750 Ω	R _{B2}
Résistance 5,6k Ω	R _D
Résistance 120 Ω	R _{C2}
Résistance 1,5k Ω	R ₃
Résistance 3,9k Ω	R ₄
Résistance 33k Ω	R ₁
Résistance 3k Ω	R ₂
Condensateurs 10nF x2	10nF
Condensateur 10 μ F	C ₁
Condensateur 15nF	C ₂
NE555 x2	NE555
Potentiomètre 200k Ω	P ₁
Potentiomètre 500k Ω	P ₂
DEL	DEL
Haut-parleur	HP
Diode 1N4148	D
Transistor 2N2219	T ₂
Transistor 2N2222	T ₁

- Coût des composants avec le prix final du métronome

Pour finaliser ce compte-rendu, vous pourrez retrouver ci-dessous, les composants utilisés tout au long de ce projet, ainsi que leurs prix et ainsi avoir une idée au préalable du coût total nécessaires à la création de ce métronome.

Composants	Prix
Résistances x9	0,09 €
Condensateurs 10 μ F	0,04 €
Condensateurs 10nF x2	0,20 €
Condensateur 15 μ F	0,07 €
NE555 x2	1,13 €
Potentiomètre 200k Ω	2,00 €
Potentiomètre 500k Ω	2,60 €
DEL	0,17 €
Haut-parleur	2,58 €
Diode 1N4148	0,01 €
Transistor 2N2219	0,64 €
Transistor 2N2222	0,60 €
Perçage du circuit imprimé x64	0,64 €
Plaque de cuivre	3,46 €
Prix total	14,24 €