

Sommaire

Introduction générale.....	(1)
----------------------------	-----

Chapitre I : Schéma synoptique et étude des différents étages

1.1. Introduction.....	(6)
1.2. Schéma synoptique et principe de fonctionnement du montage.....	(6)
1.3. Etude des différents étages.....	(7)
1.3.1. Alimentation.....	(7)
1.3.1.1. Définition.....	(7)
1.3.1.2. Schéma synoptique et circuit d'une alimentation.....	(7)
1.3.2. Détection de pulsation.....	(8)
1.3.2.1. Diode LED.....	(8)
1.3.2.2. Photorésistance.....	(9)
1.3.2.3. Amplificateur opérationnel.....	(9)
1.3.2.3.1. Configuration et caractéristiques d'un AOP.....	(10)
1.3.2.3.2. Montages de base d'un AOP.....	(12)
1.3.2.3.2.1. Montage en amplificateur non inverseur.....	(12)
1.3.2.3.2.2. Montage en amplificateur inverseur.....	(13)
1.3.2.3.2.3. Montage en comparateur à un seuil.....	(14)
1.3.2.3.2.3.1. Comparateur non inverseur.....	(14)
1.3.2.3.2.3.2. Comparateur inverseur.....	(14)
1.3.2.4. Filtres passifs.....	(15)
1.3.2.4.1. Filtre passif passe-haut de premier ordre (ou cellule CR).....	(15)
1.3.2.4.2. Filtre passe-bas de premier ordre (ou cellule RC).....	(16)
1.3.2.5. Transistor bipolaire.....	(17)
1.3.2.5.1. Définition.....	(17)
1.3.2.5.2. Transistor en amplification.....	(18)
1.3.2.5.2.1. Montage collecteur commun.....	(19)
1.3.2.5.2.2. Montage émetteur commun.....	(19)
1.3.2.5.2.3. Montage en base commune.....	(20)
1.3.2.6. Monostable.....	(20)
1.3.2.6.1. Définition.....	(20)
1.3.2.6.2. Caractéristiques d'un monostable.....	(21)
1.3.2.6.3. Monostable à portes NOR (CMOS).....	(23)
1.3.2.7. Astable.....	(24)
1.3.2.8. CD 4060.....	(24)
1.3.2.8.1. Montage avec oscillateur RC.....	(25)
1.3.2.9. Trigger de Schmitt.....	(26)
1.3.2.10. Compteur.....	(26)
1.3.2.10.1. Compteur asynchrone.....	(27)
1.3.2.10.2. Compteur synchrone.....	(29)
1.3.2.11. Décodeur.....	(30)

Sommaire

1.4. Conclusion.....	(31)
----------------------	------

Chapitre II : Réalisation pratique

2.1. Introduction.....	(32)
2.2. Circuit électrique du module « détection ».....	(32)
2.2.1. Calcul théorique du premier étage	(32)
2.2.2. Calcul du deuxième étage	(34)
2.2.3. Troisième étage.....	(35)
2.3. Fonctionnement du montage.....	(36)
2.4. Circuit électrique du module « indicateur »	(37)
2.5. Fonctionnement du montage.....	(39)
2.5.1. Partie affichage.....	(46)
2.6. Circuit réalisé.....	(47)
2.6.Circuit en fonctionnement	(49)
2.7. Conclusion.....	(50)
Conclusion et perspectives	(51)
Bibliographie.....	(52)
Annexes.....	(53)

Table de figures

Figure I.1 : schéma fonctionnel du cœur	(1)
Figure I.2 : pression du ventricule gauche	(3)
Figure I.3 : ECG normal d'un être humain	(4)
Figure 1.4 : Schéma synoptique du pulsomètre numérique	(6)
Figure 1.5 : Schéma synoptique d'alimentation	(7)
Figure 1.6 : Circuit d'une alimentation	(8)
Figure 1.7 : Symbole d'une LED.....	(9)
Figure 1.8 : Symbole d'un amplificateur opérationnel.....	(10)
Figure 1.9 : Schéma interne d'un AOP.....	(10)
Figure 1.10 : AOP dans un boîtier à 8 broches.....	(11)
Figure 1.11 : Schéma représentatif d'un AOP.....	(11)
Figure 1.12 : Montage d'un AOP en amplificateur non inverseur.....	(12)
Figure 1.13 : Montage d'un AOP en amplificateur inverseur.....	(13)
Figure 1.14 : Comparateur non inverseur.....	(14)
Figure 1.15 : Comparateur inverseur.....	(14)
Figure 1.16 : Caractéristique de transfert d'un comparateur non inverseur.....	(15)
Figure 1.17 : Filtre passe-haut.....	(15)
Figure 1.18 : Filtre passe-bas.....	(16)
Figure 1.19 : représentation d'un transistor bipolaire.....	(17)
Figure 1.20 : Modèle du transistor en petits signaux.....	(18)
Figure 1.21 : Schéma équivalent d'un transistor bipolaire en petits signaux.....	(19)
Figure 1.22 : Amplificateur collecteur commun.....	(19)
Figure 1.23 : Amplificateur émetteur commun.....	(19)
Figure 1.24 : Amplificateur base commune.....	(20)
Figure 1.25 : Chronogramme d'un monostable.....	(21)
Figure 1.26 : Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable.....	(22)
Figure 1.27 : Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable.....	(23)
Figure 1.28 : Monostable à base d'amplificateur.....	(23)
Figure 1.29 : Signal de sortie d'un astable.....	(24)
Figure 1.30 : Montage avec oscillateur RC.....	(25)
Figure 1.31 : Signal de sortie du CD4060.....	(25)
Figure 1.32 : Symbole et signal de sortie du trigger de schmitt.....	(26)
Figure 1.33 : Symbole générale d'un compteur.....	(27)
Figure 1.34 : Diagramme d'un compteur synchrone.....	(27)

Figure 1.35 : Compteur asynchrone 4 bits.....	(28)
Figure 1.36 : Diagramme des 4 sorties du compteur asynchrone.....	(28)
Figure 1.37 : Compteur synchrone 4 bits.....	(29)
Figure 1.38 : Un afficheur 7 segments.....	(30)
Figure 2.1 : Schéma indicateur du module « détection ».....	(32)
Figure 2.2 : Filtre passe-bas.....	(32)
Figure 2.3 : Signale après le filtre.....	(34)
Figure 2.4 : Amplificateur du deuxième étage.....	(35)
Figure 2.5 : signal à la sortie du deuxième étage.....	(37)
Figure 2.6 : Monostable à base d'amplificateur opérationnel.....	(38)
Figure 2.7 : Signale à la sortie du monostable.....	(36)
Figure 2.8 : Circuit imprimé détection.....	(37)
Figure 2.9 : Circuit électrique du module « indicateur ».....	(38)
Figure 2.10 : Signale à la sortie de Q12.....	(39)
Figure 2.11 : Le réseau des résistances.....	(42)
Figure 2.12 : Circuit imprimé d'indication.....	(45)
Figure 2.13 : Circuit de la partie affichage.....	(46)
Figure 2.14 :Circuit imprimé de la affichage.....	(47)
Figure 2.15 : Photo du circuit détection.....	(47)
Figure 2.16 : Photo du circuit d'alimentation.....	(47)
Figure 2.17 : photo du circuit indicateur.....	(48)
Figure 2.18 : Photo de partie affichage.....	(48)
Figure 2.19 : Photo du circuit dans le cas normal.....	(48)
Figure 2.20 : Photo du circuit en cas de détection et indication.....	(49)

Introduction générale :

1. Introduction :

Depuis des siècles le cœur est au centre de préoccupations humaines. La fonction principale qui nous préoccupe est l'activité de pompe du corps. La pompe n'est efficace que quand les cellules se contractent dans certain ordre : Synchronisme.

La contraction globale (cycle cardiaque) est commandée et précédée par une activité électrique qui joue le rôle de générateur oscillant. Ce générateur commande la périodicité du fonctionnement et donc la fréquence cardiaque.

2. Notion sur le cœur :

Le cœur est un organe creux et musculaire comparable à une pompe qui assure la circulation du sang dans les veines et les artères. Dans le corps humain, le cœur se situe un peu à gauche du centre du thorax, en arrière du sternum. Il est l'élément central du système cardiovasculaire.

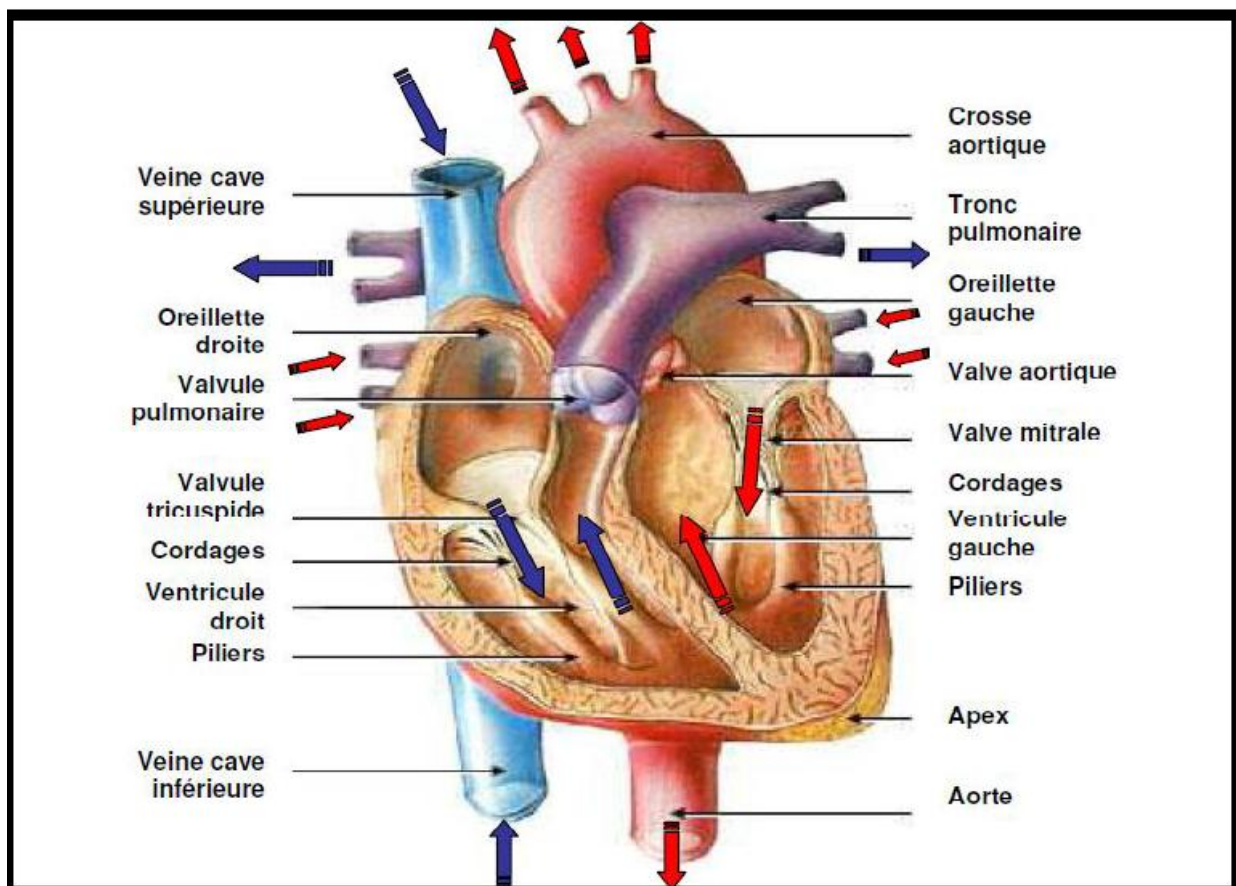


Figure I.1 : Schéma fonctionnel du cœur.

- Le cœur droit reçoit le sang veineux (peu oxygéné) et le renvoie vers les poumons ;
- Le cœur gauche reçoit le sang artériel (riche en oxygène) venant des poumons et le renvoie dans la grande circulation.

Chaque partie du cœur est divisée en deux cavités :

- Une Oreillette où s'abouchent les veines qui amènent le sang au cœur ; veines caves supérieures et inférieures à droite, quatre veines pulmonaires drainent du sang artériel à gauche.
- Un Ventricule d'où partent : à droite, l'artère pulmonaire qui véhicule du sang veineux ; à gauche l'aorte vers le corps.

Phase de systole

Pendant ce temps, le ventricule se contracte produisant une élévation rapide de la pression, suivie par une courbe arrondie lorsque le sang est chassé du cœur.

Phase de diastole

Lorsque le ventricule se relaxe, la pression tombe presque à 0. Cela correspond à l'éjection du sang vers les poumons et la grande circulation.

A la fin de la diastole, il y'a une légère élévation de pression due au volume supplément de sang envoyé dans le ventricule, par la contraction auriculaire.

L'activité cardiaque est représentée par la figure 1.2.

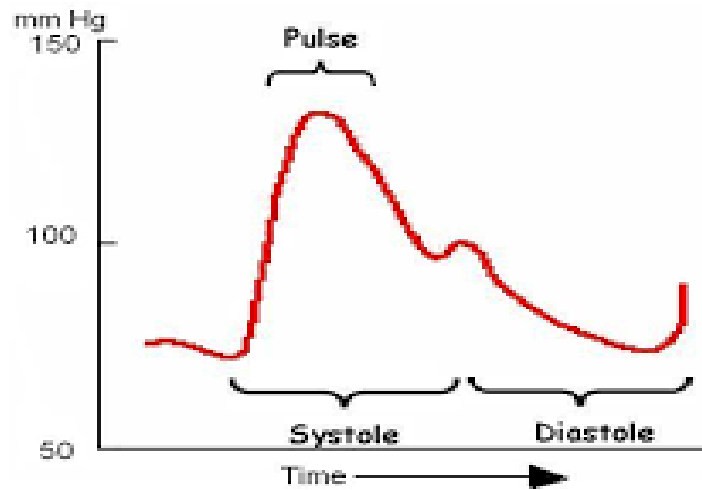


Figure 1.2 : Pression du ventricule gauche.

La contraction myocardique et l'éjection ventriculaire qui en résulte nécessitent l'activation électrique préalable des cellules musculaires. Cette activation électrique locale et sa propagation constituent la dépolarisation.

En fin de contraction, la différence de potentiel des cellules myocardiques est restaurée afin qu'une nouvelle dépolarisation s'accomplisse, il s'agit de la repolarisation.

Ces deux phénomènes conduisent à l'apparition d'un courant électrique dont la variation est captée au moyen des électrodes.

La courbe relevée, constitue un électro-cardiogramme (ECG) représenté la fig1.3.

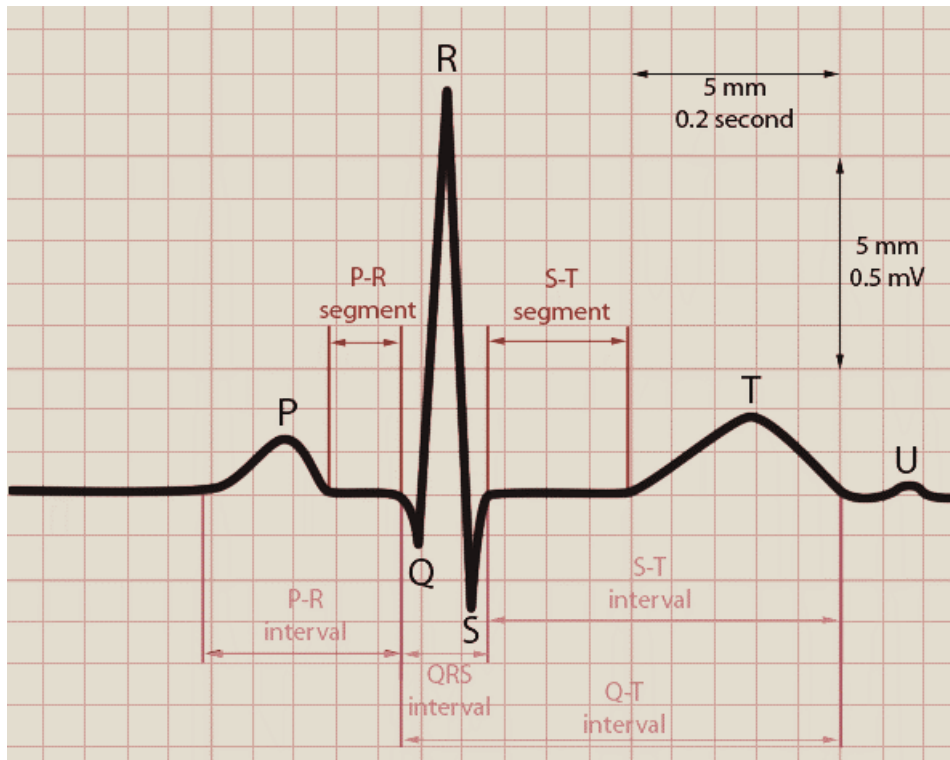


Figure 1.3 : ECG Normal d'un être humain.

a- Onde auriculaire P :

Elle représente la dépolarisation des oreillettes. La durée de cette onde est inférieure à 0.10 Secondes. L'onde de dépolarisation auriculaire est normalement invisible car elle est masquée par l'onde QRS.

L'intervalle PQ représente le temps de conduction auriculo ventriculaire. Il varie selon la fréquence cardiaque et selon l'âge, de 0.12 sec à 0.20 sec.

b- Onde QRS :

Elle provient de la dépolarisation des ventriculaires, c'est une onde rapide et ample, sa durée varie normalement entre 0.06 sec et 0.08 sec et ne dépasse pas 0.10 sec.

c- Onde T :

Elle provient de la dépolarisation des ventriculaires, elle est du même sens que le complexe QRS.

d- Segment ST :

Il est normalement isoélectrique. Pendant le segment ST, le muscle cardiaque est dans un état transitoire.

e- Espace QT :

Il représente la durée réelle de la systole ventriculaire, c'est-à-dire la dépolarisation et la repolarisation. L'intervalle QT varie également avec le rythme cardiaque.

f- Onde U :

L'onde U qu'il faut éviter d'incorporer à l'onde T dans la mesure de l'espace QT apparaît souvent 0.02 sec à 0.04 sec après l'onde T et dure 0.20 sec. Sa nature exacte est inconnue.

3. Fréquence des battements cardiaques :

Chez l'adulte normal, le cœur se contracte 60 à 90 fois par minute ; chassant en même temps vers les poumons le sang du cœur droit et vers le reste de l'organisme le sang du cœur gauche.

Il serait alors intéressant d'avoir un appareil qui mesure cette fréquence en un temps plus court. Il n'est pas conçu uniquement pour le médecin ; mais pour toute personne sachant lire un nombre de deux chiffres.

Notre projet va dans ce sens : la réalisation d'un « Pulsomètre Numérique » : un appareil électronique mesurant la fréquence cardiaque qui est le nombre de battements par minute ; en un temps très court.

Ce sera l'objet de notre travail qui est divisé en deux chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités et l'étude théorique des circuits pouvant être utilisés dans la conception du système. Dans ce chapitre on va donner alors le schéma synoptique de notre réalisation.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude pratique du circuit réalisé et le fonctionnement détaillé des différents étages.

Nous finirons notre mémoire par une conclusion générale et d'éventuelles perspectives.

Chapitre I :

1. schéma synoptique et étude des différents étages

1.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous donnerons quelques généralités sur les différents composants de base constituant notre circuit qui est un pulsomètre numérique ; ceci va nous servir par la suite à la bonne compréhension du principe de son fonctionnement.

Nous allons dans un premier temps donner le schéma bloc de notre réalisation, tout en définissant le rôle de chaque partie et en introduisant par la suite des notions sur les différents étages constituant le circuit de notre système.

1.2. Schéma synoptique et principe de fonctionnement du montage

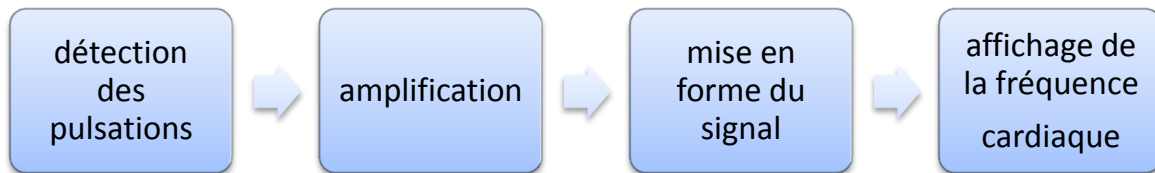


Figure 1.1 : Schéma synoptique du pulsomètre numérique.

Le problème se pose ainsi : prélever la fréquence cardiaque et la lire directement. L'opération peut être faite sur toute la surface du corps, à l'aide d'un capteur. le plus simple et le plus commode c'est de faire la mesure sur un doigt , et surtout de la main gauche .En effet ;chaque pulsation cardiaque envoit du sang se propageant avec une certaine pression jusqu'au bout des doigts.

Le doigt est translucide à la lumière il est donc possible de capter ces variations de pression sous forme de variations de luminosité : c'est notre point de départ.

Un capteur reçoit ces variations de lumière pour ; nous délivrer une tension à ces bornes .Cette tension admet une très faible amplitude et une très faible fréquence.

Pour éliminer toute fréquence parasite ;il faut d'abord filtrer le signal d'entrée avec un filtre pas bas(très bas) possédant une grande pente de coupure dans le but de bloquer toute fréquence parasite A cette fin ; on utilise un amplificateur opérationnel A comme filtre passe-bas du deuxième ordre et qui amplifie du même coup, un peu la tension d'entrée.

Viendra après ,un amplificateur B de grand gain pour obtenir une tension appréciable , à la sortie

A partir de ce point, il faut attaquer un monostable avec une durée d'une minute ; et il suffit alors d'attaquer les compteurs-décodeurs et la fréquence cardiaque sera affichée.

Sensiblement égale à celle de la systole (QRS du ECG), on peut fixer la durée de comptage à 15sec par exemple à l'aide d'un monostable ; seulement il faudra multiplier par quatre le nombre d'impulsions fournies par le monostable pour afficher la fréquence cardiaque.

1.3. Etude des différents étages

1.3.1. Alimentation

1.3.1.1. Définition

Le terme d'alimentation électrique désigne un ensemble de systèmes capables de fournir de l'électricité aux appareils fonctionnant avec cette énergie. Plus spécifiquement, l'alimentation électrique est l'appareillage qui tire le courant électrique d'un réseau électrique et le fournit, sous une forme appropriée, à un autre appareil : courant, tension et fréquence de façon stable et constante à un ou plusieurs consommateurs ; et ce dans des conditions de sécurité.

Une alimentation stabilisée est un dispositif électronique, utilisant une régulation, permettant le réglage de la tension et du courant nécessaire au fonctionnement d'un appareil électrique ou électronique. Il est généralement conçu pour fonctionner en générateur idéal de tension et de courant.

1.3.1.2. Schéma synoptique et circuit d'une alimentation

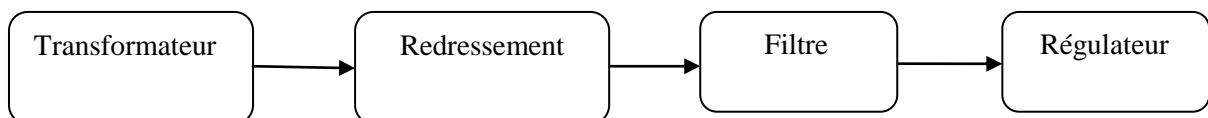


Figure 1.2 : Schéma synoptique d'alimentation.

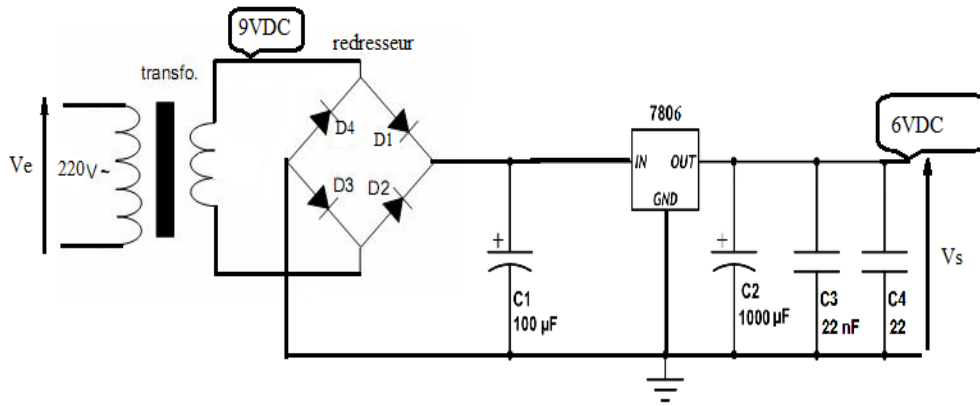


Figure 1.3 : Circuit d'une alimentation.

Dans notre circuit, le transformateur a pour objectif deux fonctions :

- Isoler l'équipement du secteur alimentaire,
- Baisser la tension fournie par le secteur car elle est très élevée par rapport à celle que nécessite notre montage.

Le pont de diode, c'est-à-dire le redresseur, convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en une tension unidirectionnelle.

Le filtre, constitué d'une cellule du type C, sert à éliminer les parasites de la tension redressée. Le régulateur maintient la tension de sortie constante quelque soit la variation de la tension prise à la sortie du pont de diodes.

1.3.2. Détection de pulsations

1.3.2.1. Diode LED

Le mot LED est l'acronyme de Light Emitting Diode (Diode Electroluminescente en français). Le symbole de la LED ressemble à celui de la diode mais on y ajoute deux flèches sortantes pour représenter le rayonnement lumineux émis.

Une LED produit un rayonnement monochromatique à partir d'une transformation d'énergie. C'est lors de la recombinaison d'une paire électron-trou qu'il y a émission d'un photon. En effet la transition d'un électron entre la bande de conduction et la bande de valence peut être radiative et s'accompagne de l'émission d'un photon.

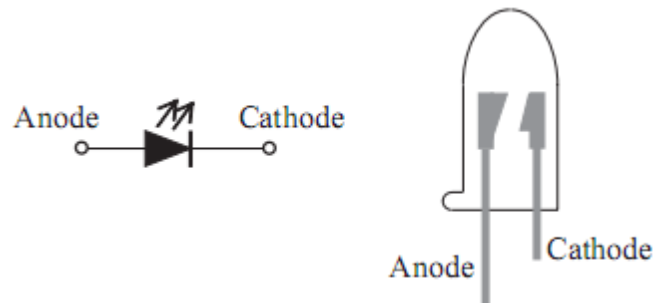


Figure 1.4 : Symbole d'une LED.

1.3.2.2. Photorésistance

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente. On peut également le nommer résistance photo dépendant (light-dependent resistor (LDR)) ou cellule photoconductrice.

Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée (donc longueur d'onde inférieure à la longueur d'onde seuil), elle transporte une énergie importante. Au-delà d'un certain niveau propre au matériau, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons assez d'énergie pour passer de la bande de valence à la bande de conduction.

1.3.2.3. Amplificateur opérationnel

L'amplificateur opérationnel (AOP) doit son nom au fait qu'il a d'abord été conçu pour effectuer des calculs analogiques : addition, soustraction, résolution d'équations différentielles...

Aujourd'hui il est devenu le composant universel de l'électronique analogique grâce à sa facilité d'emploi et son faible coût. Ce circuit peut fonctionner aussi bien en régime linéaire (amplificateurs, filtres,..) qu'en régime de commutation (comparateurs, générateurs de signaux carrés,..).

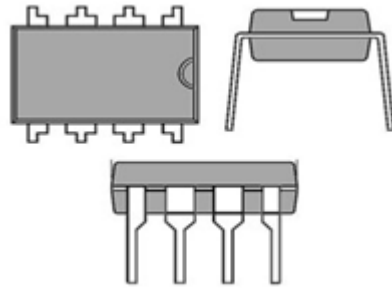


Figure 1.5 : Symbole d'un amplificateur opérationnel.

1.3.2.3.1. Configuration et caractéristiques d'un AOP

Un AOP est constitué d'un circuit intégré c'est-à-dire un support de silicium de quelques mm² sur lequel sont assemblés de multiples composants électroniques (diodes, transistors, résistances, capacités ...). Son schéma interne est donné par la figure 1.6.

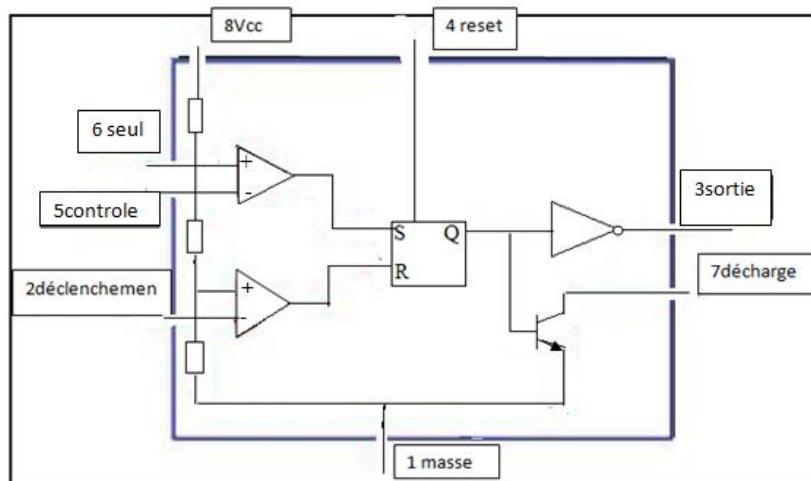


Figure 1.6: Schéma interne d'un AOP.

On le trouve en général dans un boîtier plastique à double rangée de connexions (DIL : Dual In Line en Anglais) pour les applications courantes. Un boîtier contient un, deux ou quatre AOP. Le brochage (attribution du rôle de chaque connexion) dépend du modèle utilisé. La représentation est toujours vue de dessus. Le sens du boîtier est indiqué soit par un point en relief, soit par une encoche. Les broches sont numérotées. Un AOP est un circuit à deux entrées (l'une dite inverseuse et notée -, l'autre non inverseuse et notée +) et une sortie.

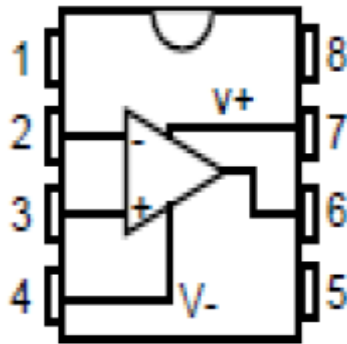


Figure 1.7 : AOP dans un boîtier à 8 broches.

Le symbole le plus couramment utilisé pour la représentation de l'AOP est donné par la figure 1.8.

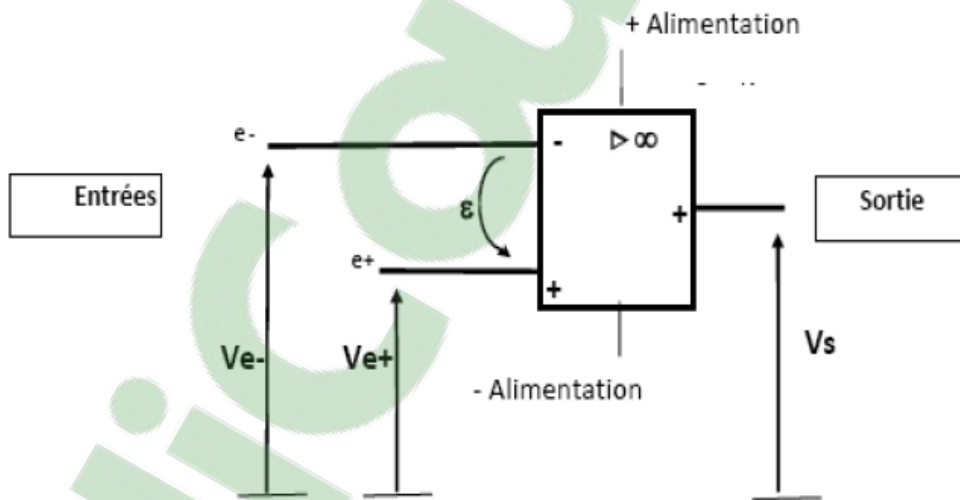


Figure 1.8 : Schéma représentatif d'un AOP.

e_+ : Entrée non inverseuse.

e_- : Entrée inverseuse.

ε : Tension différentielle.

\triangleright : Symbole d'amplification.

ε : La différence de potentiel à l'entrée :

$$\varepsilon = V_{e^+} - V_{e^-}$$

A la sortie, cette différence de potentiel est amplifiée :

$$V_s = A \cdot \varepsilon$$

Par contre, les courants d'entrée sont nuls :

$$I_e^+ = I_e^- = 0 \text{ A}$$

1.3.2.3.2. Montages de base d'un AOP

1.3.2.3.2.1 Montage en amplificateur non inverseur

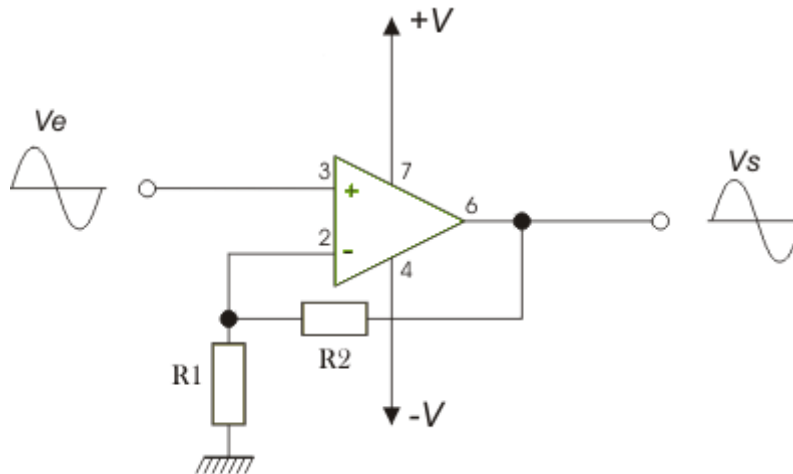


Figure 1.9 : Montage d'un AOP en amplificateur non inverseur.

Calcul du gain :

On a toujours une différence de potentiel entre les entrées nulle puisque l'on considère l'AOP parfait avec un gain infini.

Puisque la tension d'entrée est appliquée directement à l'entrée+, on se retrouve avec un simple diviseur de tension d'entrée, et l'on a alors :

$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{(R1+R2)}{R1}$$

$$\frac{U_s}{U_e} = 1 + \frac{R2}{R1}$$

$$\mathbf{G = 1 + \frac{R2}{R1}}$$

Calcul de l'impédance d'entrée :

La tension d'entrée étant appliquée directement à l'entrée non inverseuse, l'impédance d'entrée du montage est simplement égale à celle de l'AOP ; ce montage est plus avantageux que l'amplificateur inverseur sur ce point.

1.3.2.3.2 Montage en amplificateur inverseur

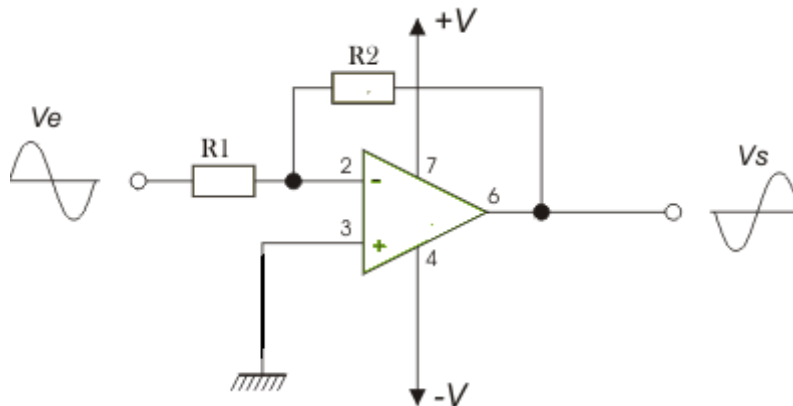


Figure 1.10 : Montage d'un AOP en amplificateur inverseur.

❖ Calcul du gain :

Le gain de l'AOP étant quasi-infini, la différence de potentiel entre les entrées doit donc être quasi-nulle.

L'entrée+ étant reliée à la masse, le potentiel U_1 de l'entrée- doit également être nul.

En appliquant la loi d'Ohm à l'entrée, on a :

$$(U_e - U_1) = R_1 \times I_1 \text{ soit } U_e = R_1 \times I_1 \text{ puisque } U_1 = 0$$

En appliquant la loi d'Ohm à l'entrée, on a :

$$(U_s - U_1) = -R_2 \times I_2 \text{ soit } U_s = -R_2 \times I_2 \text{ puisque } U_1 = 0$$

Or d'après la loi des nœuds $I_1 = I + I_2$

Le courant d'entrée I est quasi-nul, donc $I_1 = I_2$

On a alors :

$$\mathbf{G} = \frac{U_s}{U_e} = - \frac{R_2}{R_1}$$

❖ Calcul de l'impédance d'entrée :

Le courant d'entrée du montage (et non de l'AOP) est donné d'après la loi d'ohm par :

$$I_1 = \frac{(U_1 - U_2)}{R_1}, \text{ soit } I_1 = \frac{U_e}{R_1}$$

L'impédance d'entrée Z_e de ce montage est donc égale à R_1 .

Cette impédance d'entrée est donc très faible par rapport à celle de l'AOP, car on ne peut pas prendre une valeur trop élevée pour R_1 car R_2 doit être plus élevée selon le gain. On perd donc avec ce montage, une partie des qualités de l'AOP.

1.3.2.3.2.3 Montage en comparateur à un seuil

Un comparateur est un opérateur dont la tension de sortie U_s prend deux valeurs stables et distinctes, le signe de la différence entre la tension d'entrée U_e et une tension de référence $U_{réf}$.

1.3.2.3.2.3.1. Comparateur non inverseur

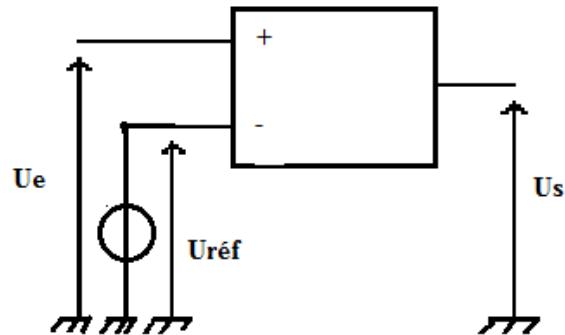


Figure 1.11 : Comparateur non inverseur.

1.3.2.3.2.3.2. Comparateur inverseur

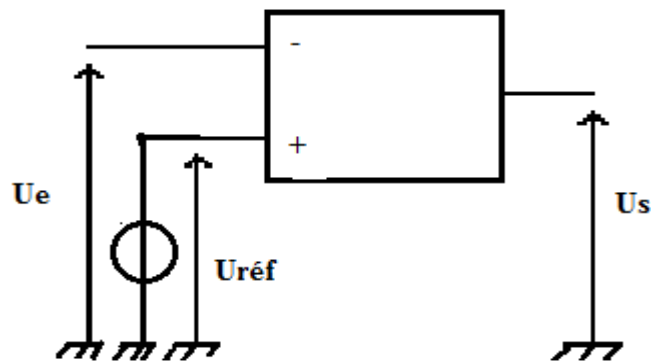


Figure 1.12 : Comparateur inverseur.

Dans un comparateur, une tension de référence est mise en place sur la borne inverseur et la borne non inverseur mesure la tension à comparer.

La tension de référence peut être obtenue par un pont diviseur de tension

❖ . Caractéristique de transfert $U_s = f(U_e)$

- Si la tension à la borne (+) est supérieur a la tension de entrée (-), la tension de sortie sera infiniment positive en pratique V_{sat} .
- Si la la tension à la borne (-) est inférieur à la tension de référence entrée (+), la tension de sortie sera infiniment négative en pratique $-V_s$

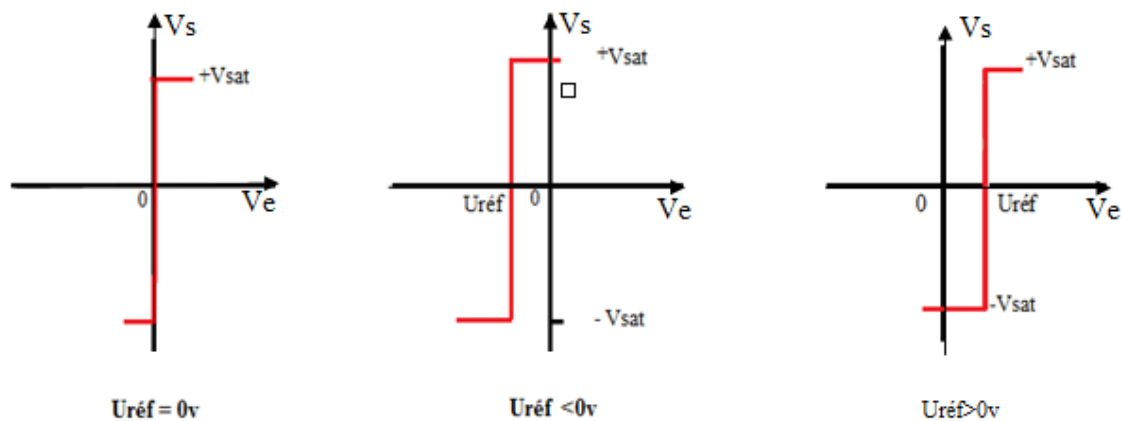


Figure 1.13 : Caractéristique de transfert d'un comparateur non inverseur.

1.3.2.4. Filtres passifs

1.3.2.4.1. Filtre passif passe-haut de premier ordre (ou cellule CR)

Un filtre passe-haut assure plusieurs taches comme le filtrage en premier lieu. Dans le contexte présent, on l'utilise afin de convertir la fréquence de notre signal en tension continue.

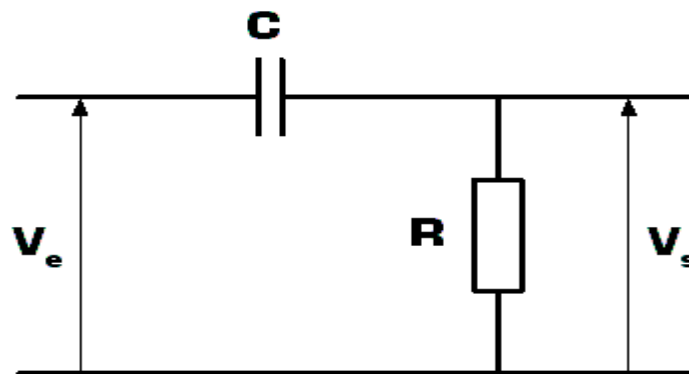


Figure 1.14: Filtre passe-haut.

Un filtre passe-haut est un dispositif qui possède une réponse en fréquence relativement constante (gain fixe) en hautes fréquences et un gain décroissant aux fréquences inférieures à celle de coupure. La décroissance est plus ou moins rapide, dépendant de l'ordre du filtre. La résistance et le condensateur se comportent comme un diviseur de tension.

❖ Calcul de V_s en fonction de V_e :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{Z_R}{Z_R + Z_C}$$

Sachant que l'impédance de la résistance vaut :

$$Z_R = R$$

Et que l'impédance du condensateur vaut :

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

Et en divisant le numérateur et le dénominateur par R on obtient :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{j\omega RC}\right)}$$

La fréquence de coupure est obtenue pour $\frac{V_s}{V_e} = 1/\sqrt{2}$ (- 3dB).

1.3.2.4.2. Filtre passe-bas de premier ordre (ou cellule RC)

Un filtre passe-bas est un dispositif qui possède une réponse en fréquence relativement constante (gain fixe) aux basses fréquences et un gain décroissant aux fréquences supérieures à celle de coupure. La décroissance est plus ou moins rapide selon l'ordre du filtre. La résistance et le condensateur se comportent comme un diviseur de tension.

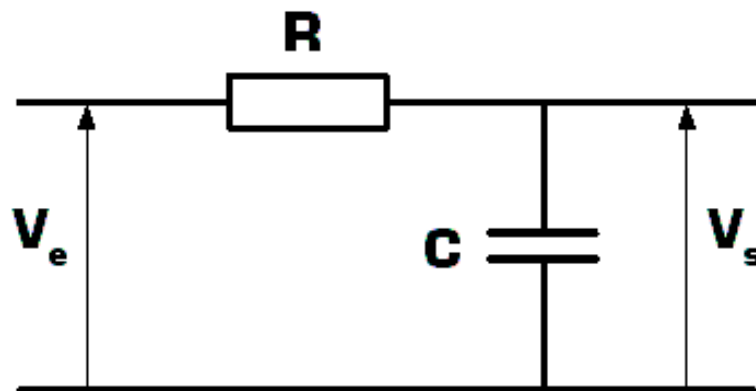


Figure 1.15 : Filtre passe-bas.

❖ Calcul de V_s en fonction de V_e :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{Z_C}{Z_C + Z_R}$$

On déduit que :

$$\frac{V_s}{V_e} = \frac{1}{(1 + jR_C \omega)}$$

La fréquence de coupure est obtenue pour $\frac{V_s}{V_e} = 1/\sqrt{2}$ (- 3dB).

1.3.2.5. Transistor bipolaire

1.3.2.5.1. Définition

Le transistor bipolaire est un composant électrique utilisé comme : interrupteur commandé, amplificateur, stabilisateur de tension, modulateur de signal....

Le transistor bipolaire est créé en juxtaposant trois couches de semi-conducteurs dopés N+, P puis N pour le transistor NPN (courant dû à un flux d'électrons) ou dopés P+, N puis P pour le transistor PNP (courant dû à un flux de trous). Le niveau de dopage décroît d'un bout à l'autre de la structure.

Un faible courant de base, I_B , permet de commander un courant de collecteur, I_C , bien plus important.

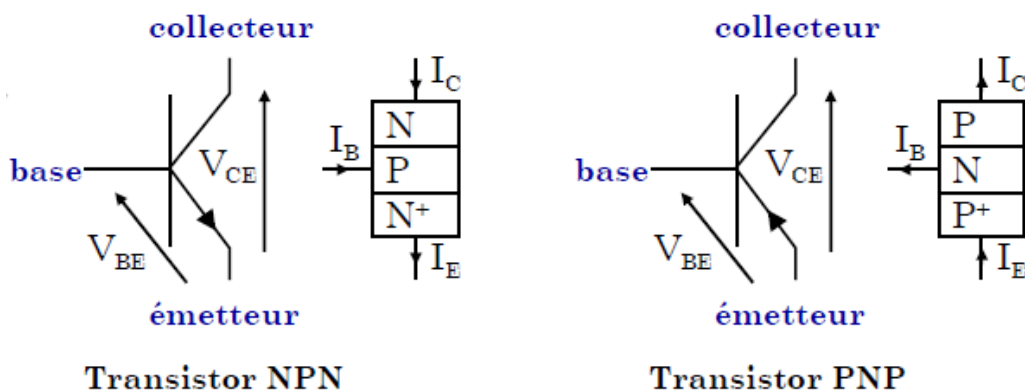


Figure 1.16 : Représentation d'un transistor bipolaire.

1.3.2.5.2. Transistor en amplification

Le transistor est un composant unidirectionnel, pour amplifier des signaux il faut donc ajouter une composante continue appelée « polarisation » à chaque grandeur qui sollicite le transistor. Alors $X = X_0 + x$ ou x est le signal à amplifier et X_0 la composante continue. Il être plus grande que l'amplitude de X .

En régime linéaire le principe de superposition est applicable, on distinguera donc l'étude de la polarisation et de l'amplification des signaux.

➤ Modèle du transistor en petits signaux

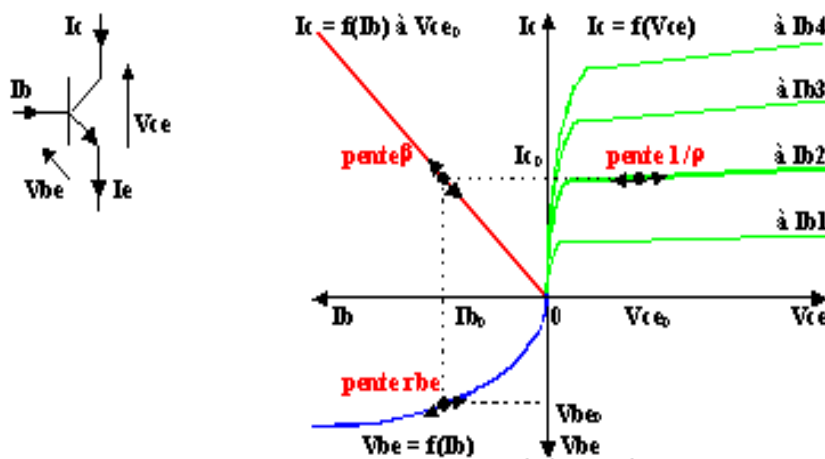


Figure 1.17 : Modèle du transistor en petits signaux.

La polarisation fixe V_{be0} , I_{be0} , I_{ce0} , V_{ce0} .

Autour de la polarisation se déplace le point de fonctionnement du transistor quand on applique les petits signaux à amplifier. Vis à vis des petits signaux, les propriétés du transistor sont caractérisées par les pentes des tangentes aux points de polarisation. Ce sont les paramètres du transistor en petits signaux. Ils varient en fonction du choix du point de polarisation.

On en déduit les équations pour les petits signaux :

$$V_{be} = r_{be} \cdot i_b$$

$$i_c = \beta \cdot i_b$$

$$i_c = \beta \cdot i_b + V_{ce}/r$$

Conformément à ces équations, en petits signaux le transistor peut être modélisé par le circuit électrique suivant :

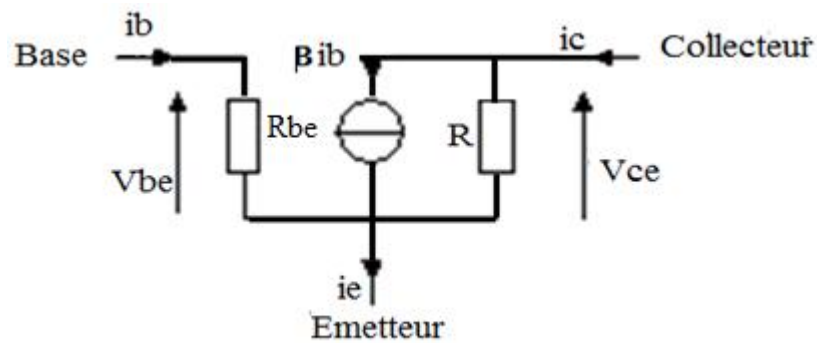


Figure 1.18 : Schéma équivalent d'un transistor bipolaire en petits signaux.

1.3.2.5.2.1. Montage collecteur commun

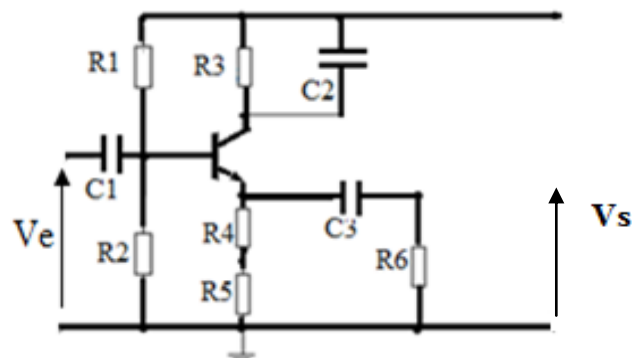


Figure 1.19 : Amplificateur collecteur commun.

Ce montage est également appelé émetteur suiveur car son gain en tension est voisin de 1 ($U_s = U_e$). Par contre, il est utilisé comme abaisseur d'impédance ou comme amplificateur de courant.

1.3.2.5.2.2. Montage émetteur commun

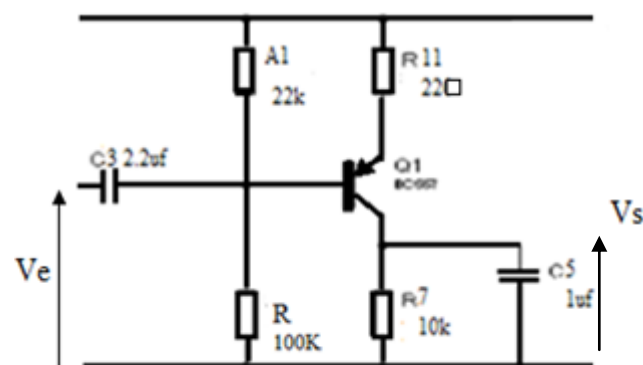


Figure 1.20 : Amplificateur émetteur commun.

C'est le plus naturel et aussi le plus employé, l'entrée est au niveau de la base et la sortie est au niveau du collecteur. L'amplificateur à émetteur commun est utilisé comme préamplificateur parce qu'il a un bon gain en tension, mais son impédance de sortie est trop grande (plusieurs 100k) pour pouvoir produire suffisamment de puissance pour la majeure partie des applications.

1.3.2.5.2.3. Montage en base commune

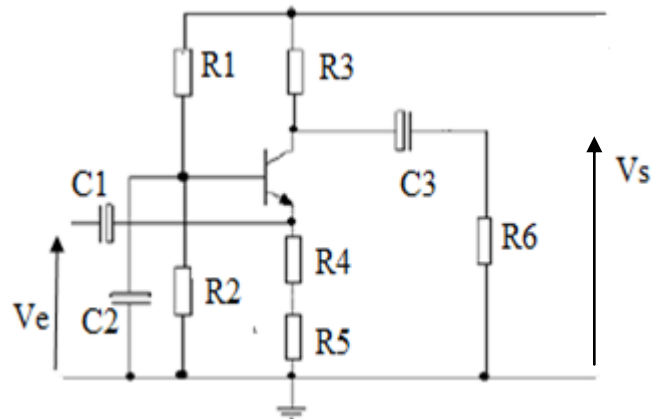


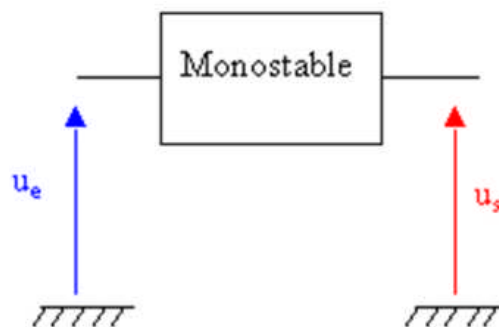
Figure 1.21 : Amplificateur base commune.

Ce montage possède une faible impédance d'entrée et peut travailler assez haut en fréquences.

1.3.2.6. Monostable

1.3.2.6.1. Définition

Un monostable est un circuit possédant deux états en sortie : un état stable (durée indéfinie) et un état instable de durée T_0 fixe. T_0 est appelée durée propre du monostable. Le passage à l'état instable se produit sous l'effet d'une impulsion de commande.



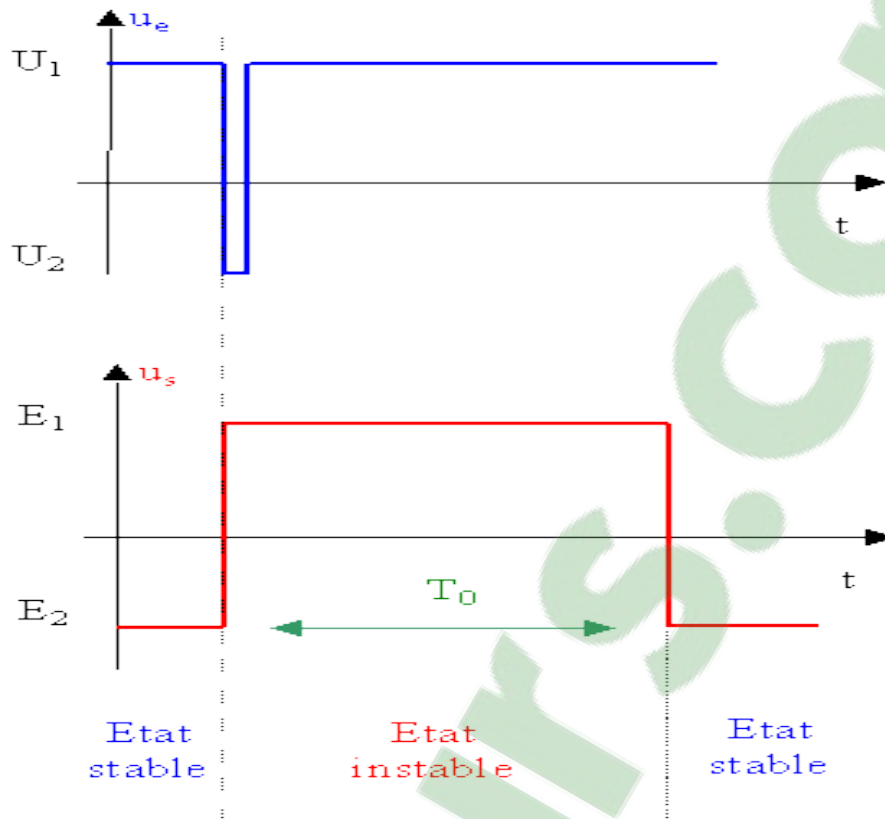


Figure 1.22 : Chronogramme d'un monostable.

1.3.2.6.2. Caractéristiques d'un monostable

Un monostable possède quatre caractéristiques :

- Etat stable
- Front de déclenchement : front montant ou descendant
- Durée de l'état instable T_0 ou t_w (time width)
- Redéclenchable ou non

Il existe deux types de monostable :

1. Monostable redéclenchable : une nouvelle impulsion pendant l'état instable "relance" le monostable pour une durée T_0 .

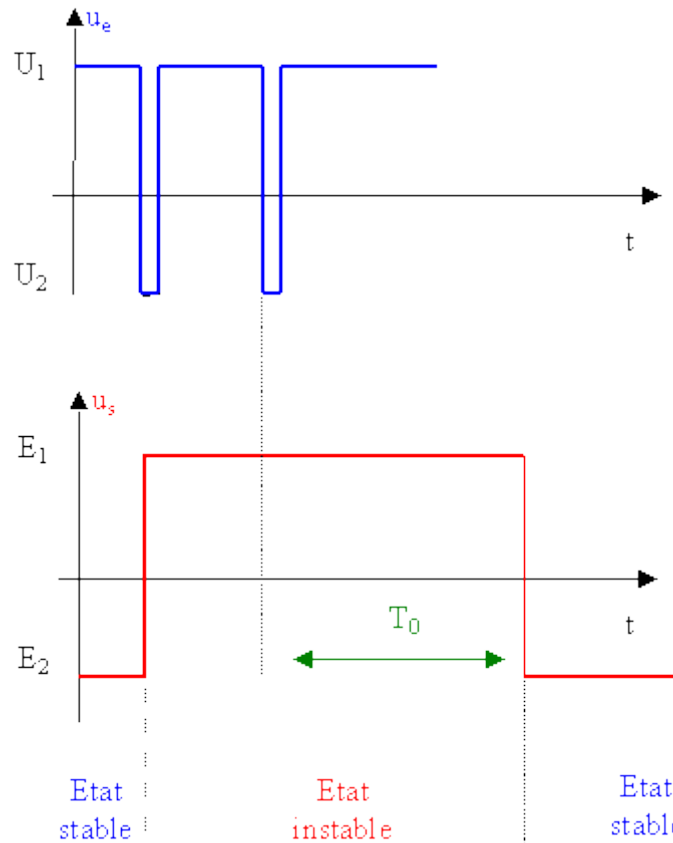


Figure 1.23 : Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable.

2. Monostable non redéclenchable : une nouvelle impulsion pendant l'état instable ne modifie pas la durée de cet état.

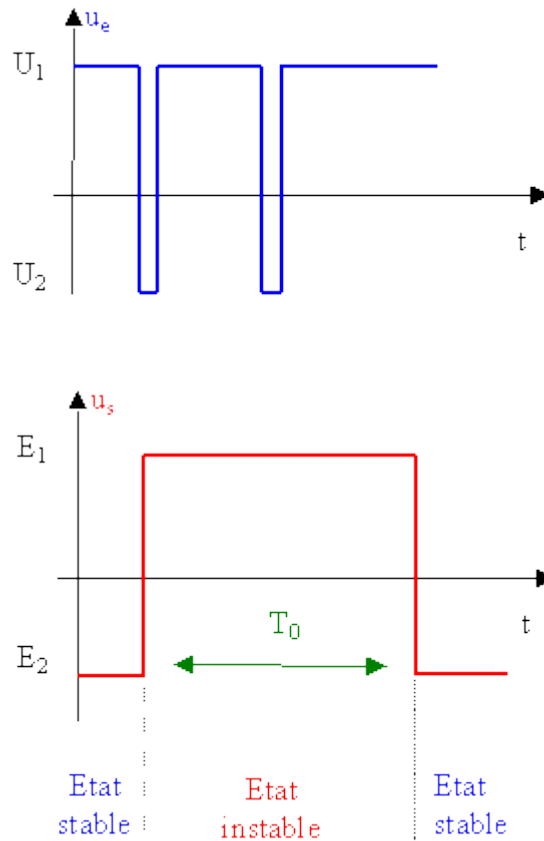


Figure 1.24 : Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable.

1.3.2.6.3. Monostable a base d'amplificateur opérationnel

On peut réaliser un monostable, à l'aide d'un amplificateur opérationnel, en lui ajoutant une résistance et un condensateur à l'extérieur comme suit :

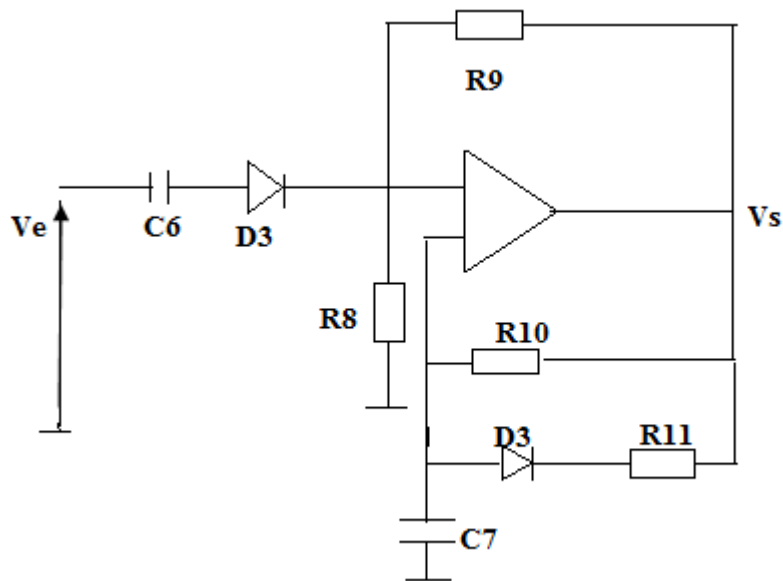


Figure 1.25 : Monostable à base d'amplificateur.

La durée de temporisation est déterminée par R_{10} et C_7 tel que : $T=R_{12}*C_7$.

Les valeurs de R_{12} et C_7 sont choisies avoir $T=100$ ms qui est sensiblement la durée de la systole.

1.3.2.7. Astable

Le terme astable désigne une structure ne possédant pas d'état stable, c'est-à-dire un oscillateur ; le signal délivré oscille continuellement d'un état à l'autre sans jamais se stabiliser. Certains astables peuvent être synchronisés par un signal externe. Le signal de sortie est caractérisé par :

Sa période T en secondes (s), ou sa fréquence F en hertz (Hz) ;

$$F = \frac{1}{T}$$

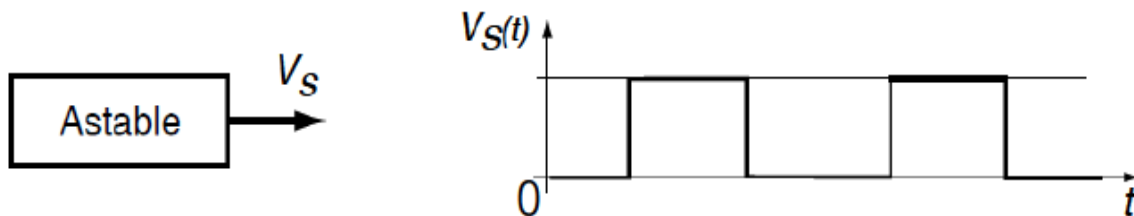


Figure 1.26 : Signal de sortie d'un astable.

Les types d'astables sont :

- astable à base de transistors.
- astable à base de portes logiques.
- astable à base d'amplificateurs opérationnels.

1.3.2.8. CD 4060

C'est un compteur binaire à 14 broches. Il comporte les portes logiques nécessaires pour réaliser à l'aide d'un circuit RC ou d'un oscillateur.

Le circuit comporte également pour la partie compteur, 14 bascules en cascade qui divisent chacune par 2 le nombre d'impulsions entrantes.

Ce circuit comporte en outre, une entrée de remise à zéro générale, active au niveau haut. Un niveau logique haut sur cette entrée, initialise tous les étages et force toutes les sorties au niveau logique bas.

L'action d'un trigger de Schmitt sur l'entrée des impulsions autorise des temps de montée et descente quelconques.

1.3.2.8.1. Montage avec oscillateur RC

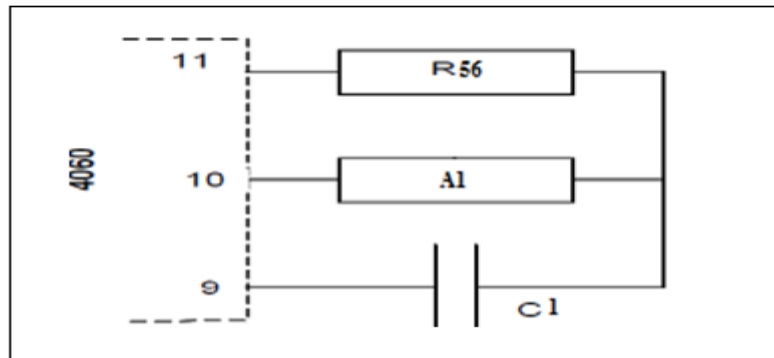


Figure 1.27 : Montage avec oscillateur RC.

Dans ce montage l'oscillateur constitué à l'extérieur du 4060 par un réseau RC a pour période $T = 2,2 \times A1 \times C1$.

A son entrée (clk), il reçoit le signal de sortie du CD4060 (signal carré 1Hz) donné par la figure 1.28.

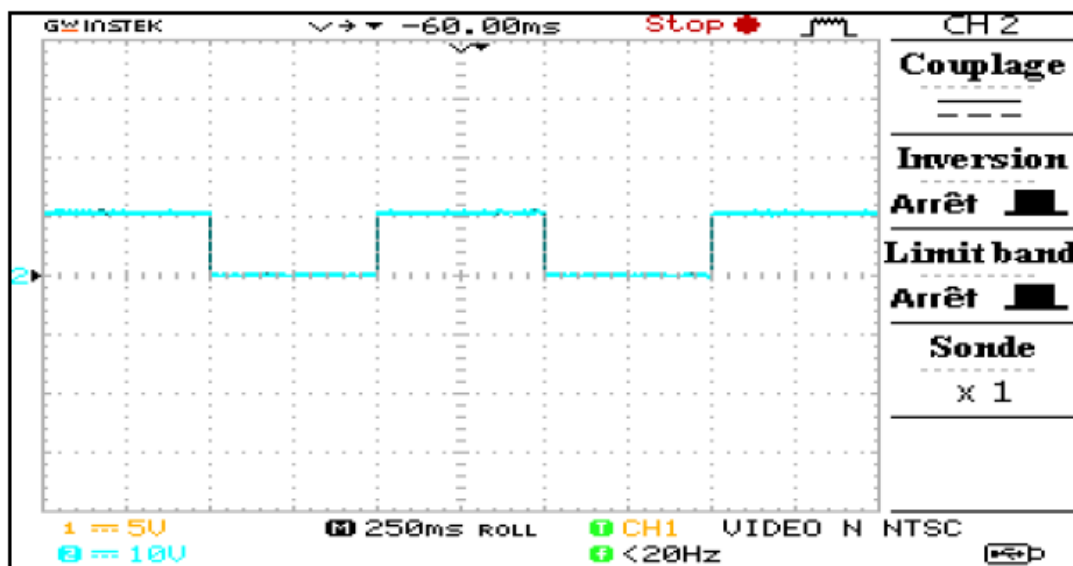


Figure 1.28 : Signal de sortie du CD4060.

$$T = 4 \times 0.25 = 1 \text{ s}$$

$$F = 1/T = 1 \text{ Hz}$$

La bascule D intégré dans ce circuit divise la fréquence du signal, et on obtient un signal de 1Hz au niveau de la sortie.

1.3.2.9. Trigger de Schmitt

Le trigger de Schmitt est un composant à 2 seuils :

- Un seuil de comparaison en entrée V_e montante ; il assure le basculement de la sortie de l'état bas à l'état haut.
- Un second seuil pour V_e descendant ; il assure le basculement inverse.

Si V_e montante est inférieure à V_e descendante, le trigger de Schmitt est dit inverseur ; il est dit non inverseur dans le cas inverse.

Le trigger de Schmitt est utilisé en régulation tout ou rien pour éviter des basculements intempestifs de la sortie d'un système. Il est utilisé également pour régénérer un signal binaire dégradé.

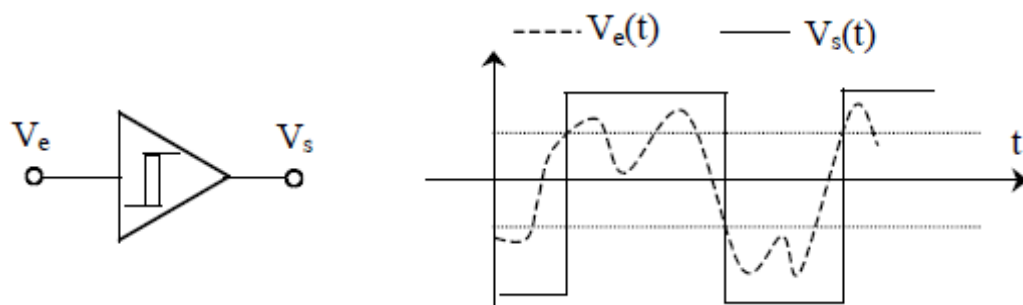


Figure 1.29 : Symbole et signal de sortie du trigger de Schmitt.

1.3.2.10. Compteur

Un compteur est un circuit séquentiel qui permet de dénombrer des impulsions appliquées sur son entrée d'horloge (clk : clock) et de restituer sur ses sorties des informations sous forme binaire. A chaque impulsion, l'état du compteur est modifié et entre deux impulsions son état reste stable ; un compteur est donc aussi une sorte de registre mémoire. Un compteur doit démarrer vide ou plein suivant l'utilisation, l'entrée RAZ ou CLK ou MR ou R sert de remise à zéro. L'entrée CE (count enable) servant à valider le circuit ou interrompre le comptage.

La valeur numérique est disponible à la sortie du circuit en binaire naturel pour un compteur binaire et en BCD (Binaire Codé Décimal) pour un compteur décimal.

Les événements comptés sont les fronts montants ou descendants du signal d'horloge appliqué à l'entrée du circuit.

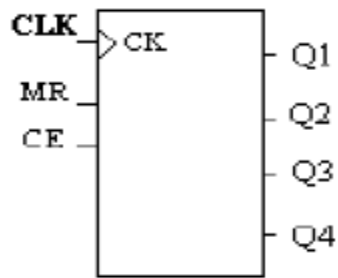


Figure 1.30 : Symbole général d'un compteur.

1.3.2.10.1. Compteur asynchrone

Le compteur asynchrone est basé sur le diviseur de fréquence. Il s'agit d'une simple bascule D dont la sortie inversée est envoyée sur son entrée D. Ainsi, à chaque front montant de l'entrée d'horloge, la donnée transférée sur la sortie est complémentée. La fréquence du signal est donc divisée par deux :

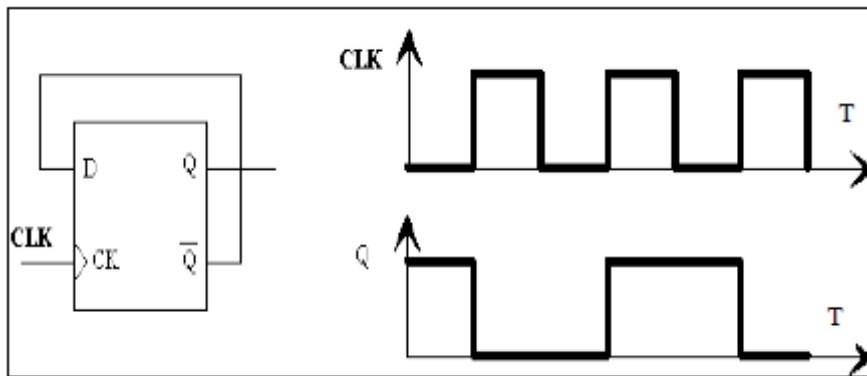


Figure 1.31 : Diagramme d'un compteur asynchrone.

Avec : CLK : clock (l'horloge).

Q : la sortie non inversée.

T : le temps.

Un compteur asynchrone est simplement constitué de plusieurs diviseurs de fréquences (autant que de bits requis). Si l'on désire un compteur, les entrées d'horloge doivent être actives sur fronts descendants.

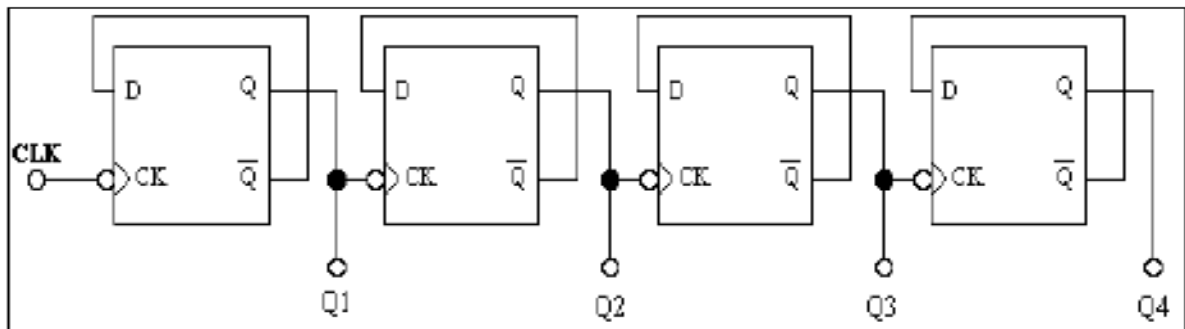


Figure 1.32 : Compteur asynchrone 4 bits.

Cela conduit au résultat suivant :

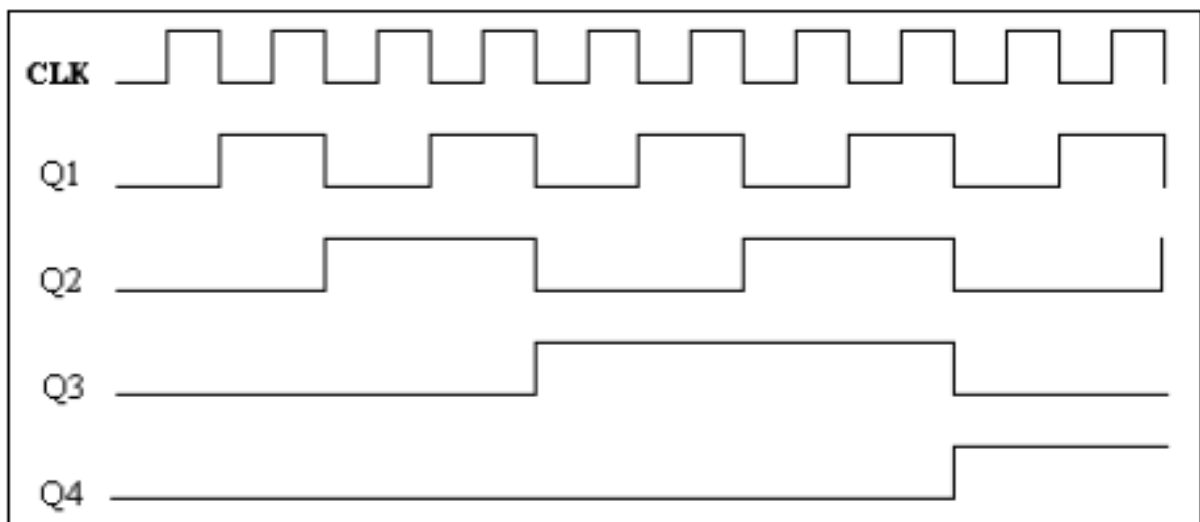


Figure 1.33 : Diagramme des 4 sorties du compteur asynchrone.

Avec : CLK (L'horloge).

Q1 : la 1^{ère} sortie.

Q2 : la 2^{ème} sortie.

Q3 : la 3^{ème} sortie.

Q4 : la 4^{ème} sortie.

Comme on peut le constater ; Q1, Q2, Q3 et Q4 sont successivement égales à 0000, 0001, 0010,.....1111, c'est-à-dire 0, 1, 2....., 15. Bien sûr, ce cycle continue indéfiniment aussi longtemps que le signal d'horloge est présent.

1.3.2.10.2. Compteur synchrone

Dans un compteur synchrone, les bascules changent d'état simultanément, car elles sont pilotées par le même signal d'horloge.

La façon la plus simple d'implémenter un compteur synchrone c'est d'utiliser des bascules T au lieu des bascules D.

Une bascule T est très semblable à une bascule D ; la différence est que l'entrée D (Donne) est remplacée par une entrée T (Toggle) qui contrôle le changement d'état de la bascule qui change d'état d'une période d'horloge à la suivante (elle passe à 1 si elle était à 0, ou à 0 si elle était à 1).

Voici un exemple de compteur synchrone 4 bits :

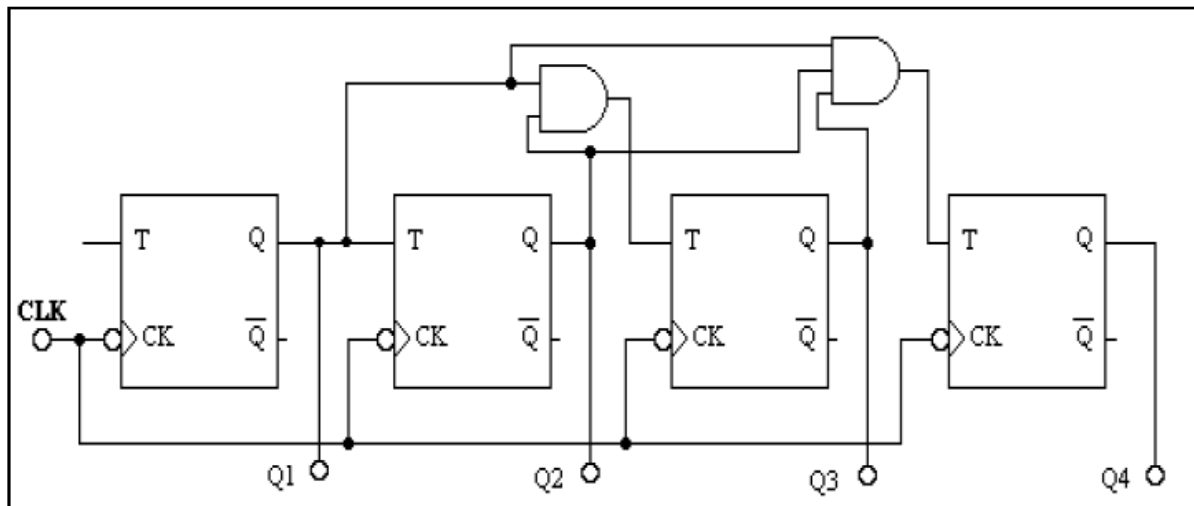


Figure 1.34 : Compteur synchrone 4 bits.

Les chronogrammes sont similaires à ceux des compteurs asynchrones. Les signaux Set et Reset, omis pour raison de clarté, sont néanmoins nécessaires pour être au moins en mesure de remettre toutes les sorties à 0 à la mise sous tension.

Certains ont même des entrées pour brancher une résistance et un condensateur pour réaliser un oscillateur comme le 4060.

1.3.2.11. Décodeur

Généralement un mot binaire à "n" bits peut représenter 2^n combinaisons différentes, donc 2^n éléments bien définis d'informations. Si on considère les "n" bits comme entrées d'adresse d'un multipole combinatoire, le choix d'une combinaison quelconque parmi les 2^n possibles détermine le choix d'une seule sortie.

La sortie "i" sera choisie dans le cas où l'équivalent décimal de l'adresse présentée en entrée est "i".

Les circuits logiques (multipoles combinatoires) qui réalisent cette fonction s'appellent décodeurs.

Le décodeur délivre, pour chaque valeur du code d'entrée, une seule sortie à l'état inverse de celui de toutes les autres.

Un code BCD (Binary Code Décimal ou DCB : Decimal Codé Binaire) est un code 4 bits dont 10 combinaisons sur les 16 possibles sont employées pour désigner les 10 chiffres décimaux de 0 à 9.

Un décodeur BCD est donc un décodeur qui a 4 entrées plus une entrée de validation en général, et 10 sorties dont une d'entre elles étant seule validée. Les autres sorties sont dans l'état inverse et ces 10 combinaisons sont naturellement reliées à la valeur numérique BCD appliquée à l'entrée.

1.3.2.12. Affichage

L'affichage à 7 segments est le plus couramment utilisé, il est composé de 7 petites diodes LED qui deviennent lumineuses dès qu'elles sont parcourues par un courant. Ces LED sont des sources de lumière ponctuelles. Sur chacune d'elles, est fixée une matière plastique dont le rôle est de diffuser sous forme de trait, la lumière produite.

Ces diodes et leurs diffuseurs sont disposés de façon à obtenir un 8. L'afficheur comporte également une huitième diode qui illumine décimal situé à droite ou à gauche du chiffre quand elle est parcourue par un courant.

L'affichage de ce type se réalise soit en supposant initialement tous les éléments éteints et on allume sur la commande certains éléments, soit (plus économique) en les supposant toutes allumées et en les éteignant sur commande.



Figure 1.35 : Un afficheur 7 segments.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a cité les différents circuits que nous allons utiliser pour la réalisation du pulsomètre numérique autour de : LDR , LM324 .., un filtre passe bas, un compteur, des afficheurs 7 segments...etc.

Clicours.com

Chapitre II :

2.1 Introduction

Nous avons présenté dans le chapitre précédent les différents composants qui constituent notre montage afin de pouvoir entamer notre objectif qui est la réalisation pratique d'un pulsomètre numérique.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le circuit électrique du montage, le circuit imprimé de sa réalisation et les mesures pratiques en différents points, notamment les entrées et les sorties de tous les étages.

Nous allons aussi voir et prélever les signaux des différents étages et cela s'effectue à l'aide d'un oscilloscope à mémoire.

2.2. Circuit électrique du module « détection »

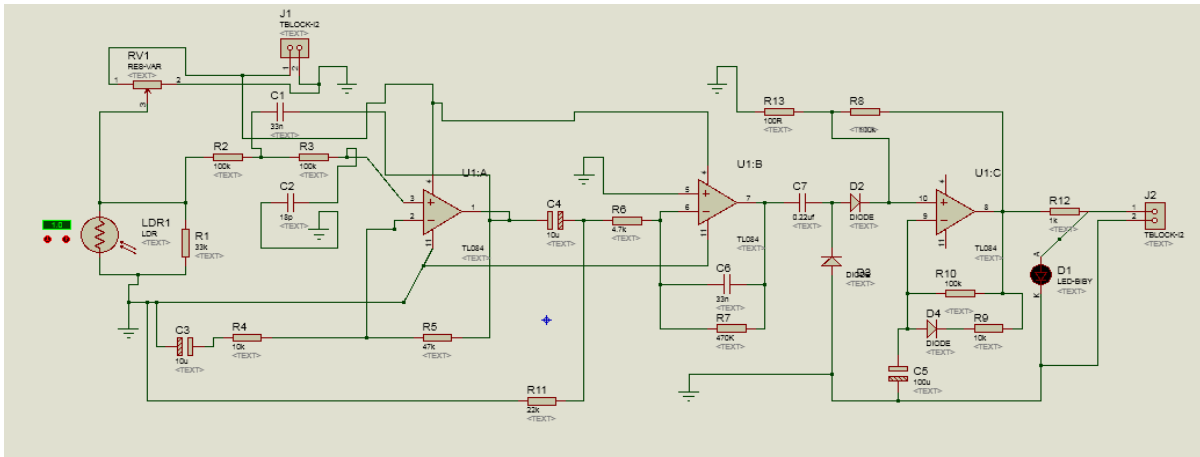


Figure 2.1 : Module détecteur du pulsomètre numérique.

2.2.1 Calcul théorique du premier étage :

A l'entrée, on a une LDR pour détecter la variation du flux sanguin qui n'est autre que la fréquence cardiaque. Le signal détecté attaque un filtre passe-bas de deuxième ordre à base du $\mu A741$ qui sert aussi d'amplificateur.

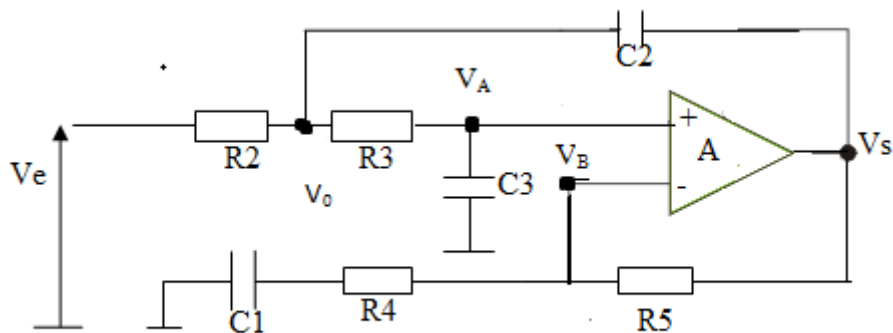


Figure 2.2 : Filtre passe-bas

Selon la méthode de MILMANN on a :

$$V_A = \frac{V_0}{1 + R_3 C_3 P}$$

Tel que :

$$V_0 = \frac{V_e + R_2 C_2 P V_S}{1 + R_2 C_2 + \frac{R_2 C_3 P}{1 + R_3 C_3 P}}$$

$$V_B = \frac{V_S}{1 + \frac{R_5}{R_4}}$$

En prenant le cas idéal $V_A = V_B$, on trouve :

$$\frac{V_S}{V_e} = \frac{A_V}{1 + [C_3(R_2 + R_2) + R_2 C_2(1 - A_V)]P + R_2 R_3 C_2 C_3 P^2} = H(P)$$

$A_V = 1 + \frac{R_5}{R_4}$: Gain de l'étage ampli .Op

$H(p)$ est la fonction de transfert du filtre passe-bas, elle est de la forme :

$$H(p) = \frac{c}{1 + bp + ap^2}$$

Sa pulsation propre :

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{a}} = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_2 C_3}} \approx 117.7 \text{rd/s}$$

Soit $f_0 = 18.6 \text{ Hz}$

Le coefficient de surtension est : $Q = \frac{\sqrt{a}}{b} = 0.3$

En notation complexe, on aura :

$$H(j\omega) = \frac{A_V}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + jQ\frac{\omega}{\omega_0}\right]}$$

$$|H(j\omega)| = \frac{A_V}{\left[\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^{1/2}} = A(\omega)$$

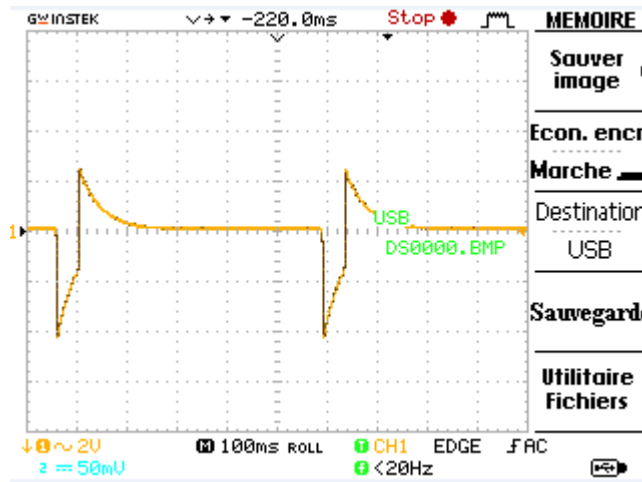


Figure 2.3 : Signal après le filtre.

2.2.2. Calcul du deuxième étage :

Cet étage permet d'amplifier le signal du premier étage du fait qu'il est très faible.

Son schéma est représenté comme suit :

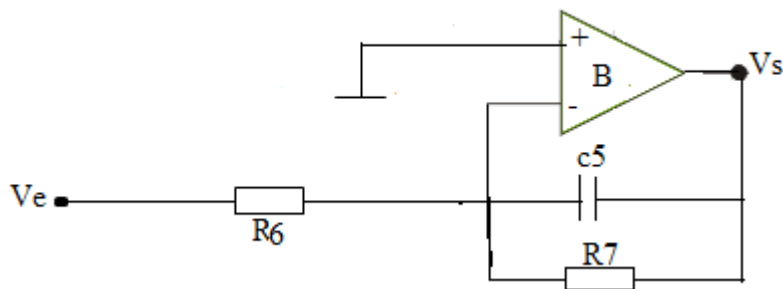


Figure 2.4 : Amplificateur du deuxième étage.

Sa fonction de transfert est donnée par :

$$T(p) = \frac{-R_7}{R_6 + R_6 R_7 C_5 P}$$

En notation complexe :

$$T(j\omega) = \frac{-R_7}{R_6 + j\omega R_6 R_7 C_5}$$

$$T(j\omega) = \frac{R_7}{[(R_6)^2 + (\omega^2 R_6 R_7 C_5)^2]^{1/2}} = B(\omega)$$

Pour ω faible $\longrightarrow B(\omega) = \frac{R_7}{R_6} = G_B$

A.N : $G_B = 100$

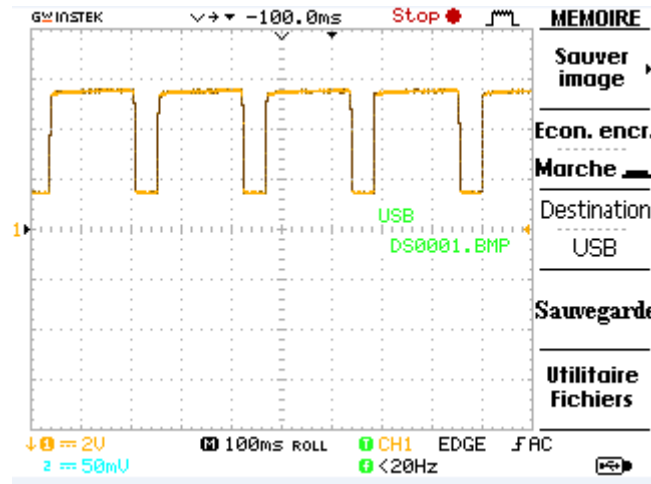


Figure 2.5 : Signal à la sortie du deuxième étage.

2.2.3. Troisième étage

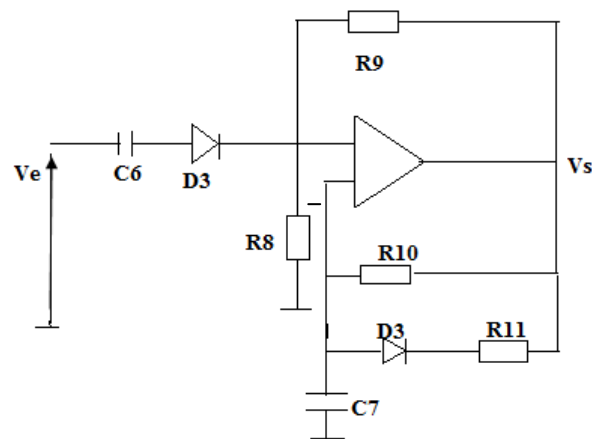


Figure 2.6 : Monostable à base d'amplificateur opérationnel.

La durée de temporisation est déterminée par R_{10} et C_7 telle que : $T = 0.7 \times R_{10} \times C_7$.

La valeur de R_{10} et C_7 sont choisies pour avoir $T = 100$ ms qui est sensiblement la durée de la systole.

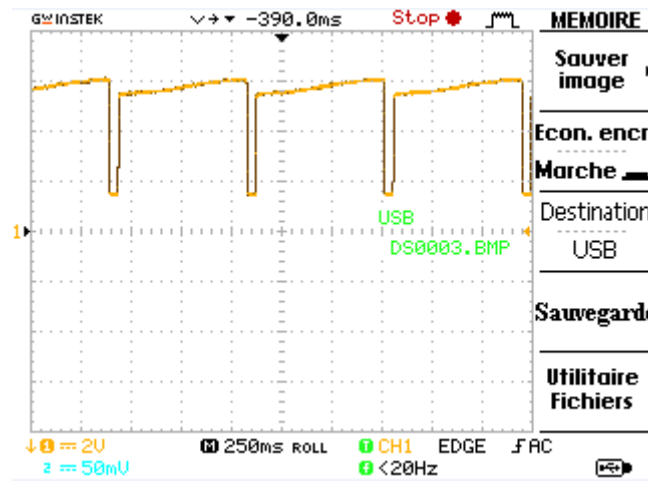


Figure 2.7 : Signal à la sortie du monostable.

2.3. Fonctionnement du montage

On utilise une photorésistance (LDR) comme capteur ; sa résistance varie avec la luminosité de la lumière qu'elle reçoit. Son rôle est capter les variations de luminosité, pour délivrer à ses bornes, une tension qui ne dépasse pas 2 mV. Il est nécessaire de couvrir la LDR avec le doigt, afin d'éviter toute lumière parasite (il faudrait y tenir le doigt à 2-3 mm environ).

Le corps humain induit une tension de ronflement de 50Hz qui s'ajoute à la fréquence de 100 Hz due à la lumière artificielle ambiante. En contrepartie ; la fréquence du signal utile ne dépasse point les 3 Hz qui correspond à 180 battements par minute.

Ce signal passe dans le filtre passe-bas (A) du deuxième ordre réalisé à l'aide d'un amplificateur opérationnel qui possède une fréquence de coupure d'environ 19Hz, et un gain en tension de l'ordre de 5.7 pour notre bande de fréquences (0-3Hz). A la sortie ; on a une tension de 10 mV en moyenne (elle varie d'une personne à une autre) qui va être amplifiée par l'amplificateur opérationnel B. Son gain déterminé par le rapport de R_6 et R_7 , est égal à 100, il nous permet donc d'obtenir une tension de 1 Vcc.

Plus intéressant encore ; ce point MP, peut être relié au cardioscope pour visualiser L'E.C.G.

L'amplificateur opérationnel C, constitue un monostable dont la temporisation est déterminée par R_{10} et C_7 . Comme la fréquence cardiaque présente le nombre en une minute, d'ondes systolique dont la durée varie entre 60 et 100ms ; on fixe alors la durée du monostable à $t = 100$ ms. A son entrée ; la diode D2 absorbe toute composante négative et D3 empêche le monostable de se déclencher pour une tension inférieure à 0,5 V. Ce point est très important pour ne pas compter les ondes T, P et U qui sont considérées comme bruit.

A la sortie de cet amplificateur, on prévoit une LED D5 qui clignoterait en synchronisme avec les battements du pouls ; c'est un indicateur de pulsations.

Le filtre qui est en même temps préamplificateur, l'amplificateur et le monostable assurent la mise en forme du signal détecté par la LDR.

➤ **Circuit imprimé du module « détection » :**

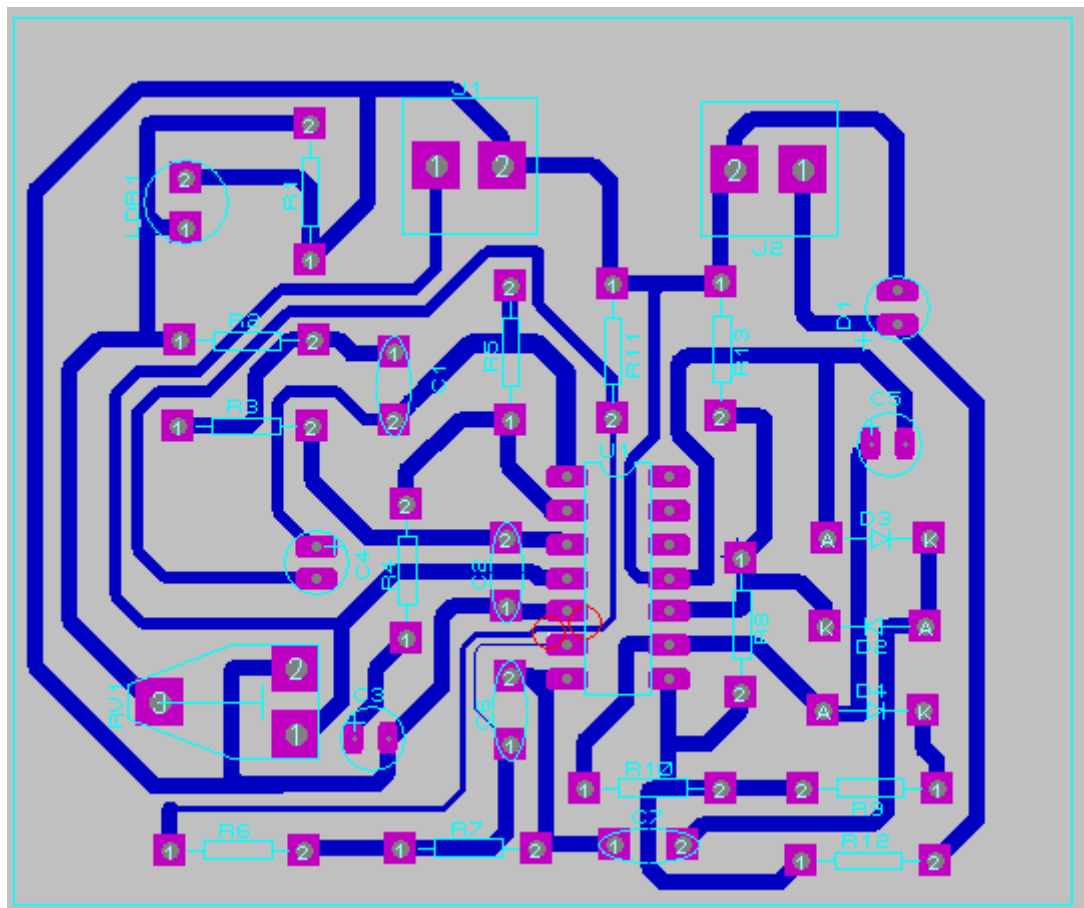


Figure 2.8 : Circuit imprimé de la détection.

2.4. Circuit électrique du module « indicateur »

Le circuit électrique du module qui constitue l'indication et l'affichage de la fréquence cardiaque est donné par la figure 2.6.

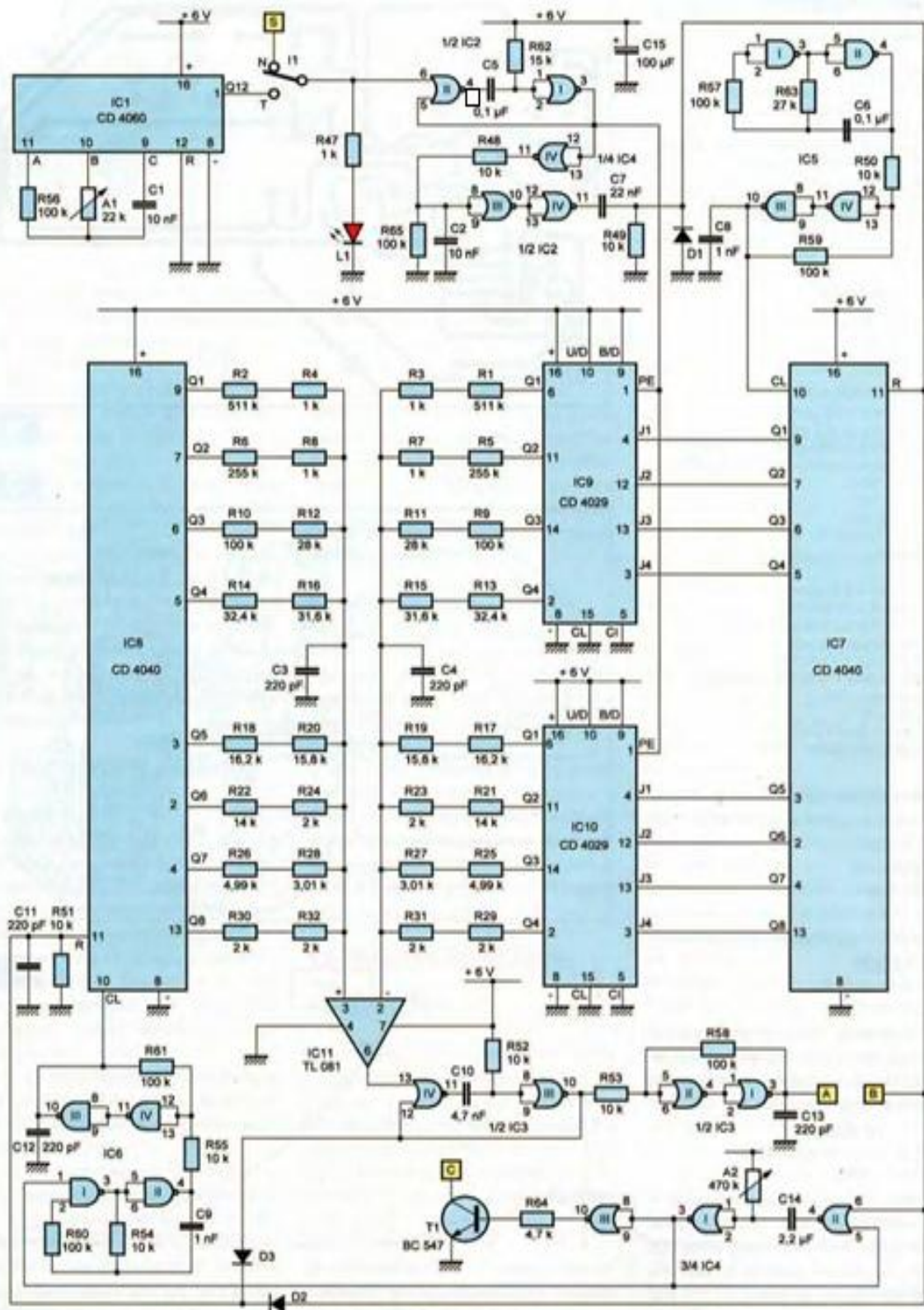


Figure 2.9 : Circuit électrique du module indicateur.

2.5. Fonctionnement du montage

Le rôle de ce module est de pouvoir afficher la valeur ou la fréquence des pulsations cardiaques. Pour cela, le signal devra passer par différentes étapes qui assurent sa mise en forme et sa conversion analogique/numérique.

➤ Base de temps affectée au tarage.

Le circuit intégré référencé IC1 est un compteur binaire de 14 étages, comportant un oscillateur interne placé en amont des étages diviseurs. Sur la sortie C (broche n° 9), la période (t) du signal carré disponible se détermine au moyen de la relation $t = 2.2 \times A1 \times C1$.

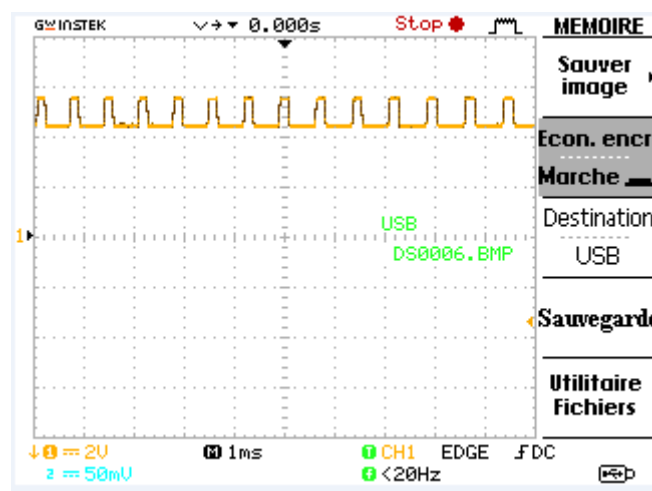


Figure 2.10 : Signal à la sortie Q12.

Pour une position médiane du curseur de l'ajustable A1, la valeur de (t) est théoriquement égale à 242 μ s. Sur la sortie Q12 broche n° 1, la période (T) du créneau de forme carrée se calcule par la relation :

$$T = 2^{12} \times t$$

$T = 4096 \times t$, soit 991 ms.

Comme nous le verrons au paragraphe consacré aux réglages, le curseur de l'ajustable A1 doit être placé dans une position telle que la LED rouge L1, dont le courant est limité par R47, clignote à une période de 1 s, l'inverseur I1 étant bien entendu placé sur la position « test ».

➤ Traitement des signaux en provenance du module de détection

Les portes NOR(I) et (II) de IC2 sont montées en bascule monostable. Pour chaque front « montant » du signal issu du module « détection », cette bascule délivre un bref état

« haut » caractérisé par une durée égale à $0.7 \times R62 \times C5$, soit environ 1 ms. Ce dernier est à la base de plusieurs opérations que nous détaillerons au fur et à mesure des explications :

- transfert du résultat obtenu du chronométrage.
- remises à zéro diverses.
- comptage en vue de l'affichage du résultat.

➤ **Base de temps du chronométrage**

Les portes NAND(I) et (II) de IC5 réalisent un oscillateur fonctionnant en permanence. Il génère sur sa sortie des créneaux de forme carrée, aussitôt pris en compte par le trigger de Schmitt formé par les portes NAND(II) et (IV) du même boîtier. Ce dernier confère au signal carré des fronts « montants » et « descendants » ayant une allure davantage « verticale » et donc plus appropriée à assurer le fonctionnement du compteur IC7/4040, un compteur caractérisé par 12 étages binaires montés en cascade. Seules les 8 sorties Q1 à Q8 sont exploitées. La position extrême de ce compteur peut occuper, celle pour laquelle toutes les sorties Q présentent un état « haut », est la position 255, ainsi que nous l'avons déjà précisé au début de nos explications.

Rappelons à ce sujet, que cette position extrême correspond à une pulsation de 40. Cela signifie que le temps séparant deux pulsations consécutives est égal à $60s/40$, soit 1.5 s. La période (t_1) de la base de temps de chronométrage doit donc être telle que : $t_1 = \frac{1500}{255}$ ms, soit 5.88 ms.

La valeur théorique de la période (t_1) compte tenu des composants R63 et C6, est égale à : $t_1 = 2.2 \times R63 \times C8$, soit 5.94 ms.

En réalité, la valeur réelle de (t_1) n'est jamais rigoureusement égale à la valeur théorique obtenue par l'application de la formule évoquée ci-dessus. Les composants se caractérisent par des tolérances de fabrication pouvant atteindre 10%, si bien que des écarts en plus ou moins peuvent être constatés, mais cela n'a pas d'importance. Nous verrons que la précision de l'indication finale du résultat n'est pas affectée, grâce au réglage prévu à cet effet.

➤ **Pilotage du chronométrage**

La fin de l'état « haut » émis par la bascule monostable NOR(I) et (II) de IC2 correspond à la fin du transfert du résultat de chronométrage ; nous en reparlerons. La sortie de la porte NOR(IV) de IC4 présente à ce moment un front « ascendant ». Etant donné la présence de R48 et de C2, la sortie de la porte NOR(IV) de IC2 passera à un état « haut » avec un très

léger retard (70 μ s) occasionné par la charge de C2 à travers R48. Le front « ascendant » en question est finalement pris en compte par le dispositif de dérivation que forment C7, R49 et D1. Au niveau de la cathode de D1 ; une très brève impulsion positive se produit, elle assure la remise à zéro avant d'entamer son cycle. Cette remise à zéro se produit immédiatement après le transfert, vers une mémoire intermédiaire de stockage, du résultat de chronométrage précédent.

Pour ne pas risquer que ce transfert soit altéré par une remise à zéro s'effectuant trop tôt, ou plus exactement en même temps que la fin du signal commandant le transfert, le décalage de sécurité de 70 μ s évoqué ci-dessus est volontairement introduit.

➤ **Transfert du résultat de chronométrage**

Les circuits intégrés référencés IC9 et IC10 sont des CD 4029. Il s'agit de compteurs-décompteurs d'une capacité de 4 bits. Dans la présente application, ces compteurs ne fonctionnent pas en mode « comptage » ; seule leur fonction de « prépositionnement » est mise en contribution.

Les entrées J1 à J4 de IC9 sont en liaison avec les sorties Q1 à Q4 de IC7, alors que les entrées J1 à J4 de IC10 sont reliées respectivement aux sorties Q5 à Q8 de ce même compteur. A l'occasion d'un état « haut » appliqué sur les entrées PE, les sorties Q correspondantes de IC9 et IC10 prennent les mêmes niveaux binaires que les entrées J correspondantes. Elles gardent ces valeurs, même si les niveaux binaires des entrées J évoluent par la suite. Il s'agit en fait de la mémorisation du résultat du chronométrage précédent, ce qui permet d'exécuter le chronométrage suivant, tout en permettant au système de traiter le résultat précédent, en vue de l'affichage final.

➤ **Transformation de la valeur binaire mémorisée en valeur analogique**

Pour poursuivre la suite du traitement du résultat de chronométrage, la méthode adoptée nécessite la transformation de la valeur binaire de ce dernier en une valeur analogique. Le principe consiste à faire correspondre aux sorties Q5 à Q8, des résistances dont la valeur est à chaque fois divisée par deux par rapport à la sortie précédente. Ces résistances sont reliées entre elles pour former un point commun. Grâce à cette disposition ; si le compteur occupe une position (n) donnée comprise entre 0 et 255, le potentiel (u) présente sur ce point commun est déterminé au moyen de la relation suivante :

$$u = \frac{n}{255} \times U$$

U étant la tension d'alimentation du montage, soit 6 V dans le cas présent. Cependant ; pour vérifier sa véracité, prenons une valeur quelconque de (n), par exemple 167. Pour déterminer la notation binaire correspondante ; il convient dans un premier temps, de décomposer 167 en une somme de puissances entières de 2.

$$167 = 128 + 32 + 4 + 2 + 1.$$

$$167 = 2^7 + 2^5 + 2^2 + 2^1 + 2^0.$$

Le tableau ci-dessous met en évidence les niveaux logiques des sorties Q du chronométrage.

Sortie « Q »	Q8	Q7	Q6	Q5	Q4	Q3	Q2	Q1
Valeur décimale	128	64	32	16	8	4	2	1
Niveau logique pour la position 167	1	0	1	0	0	1	1	1

Il est alors possible de tracer le réseau des résistances correspondantes, comme indiqué en figure 2.11. Les états « haut » correspondent aux résistances reliées à la polarité positive d'alimentation, tandis que les états « bas » correspondent à celles reliées à la polarité négative.

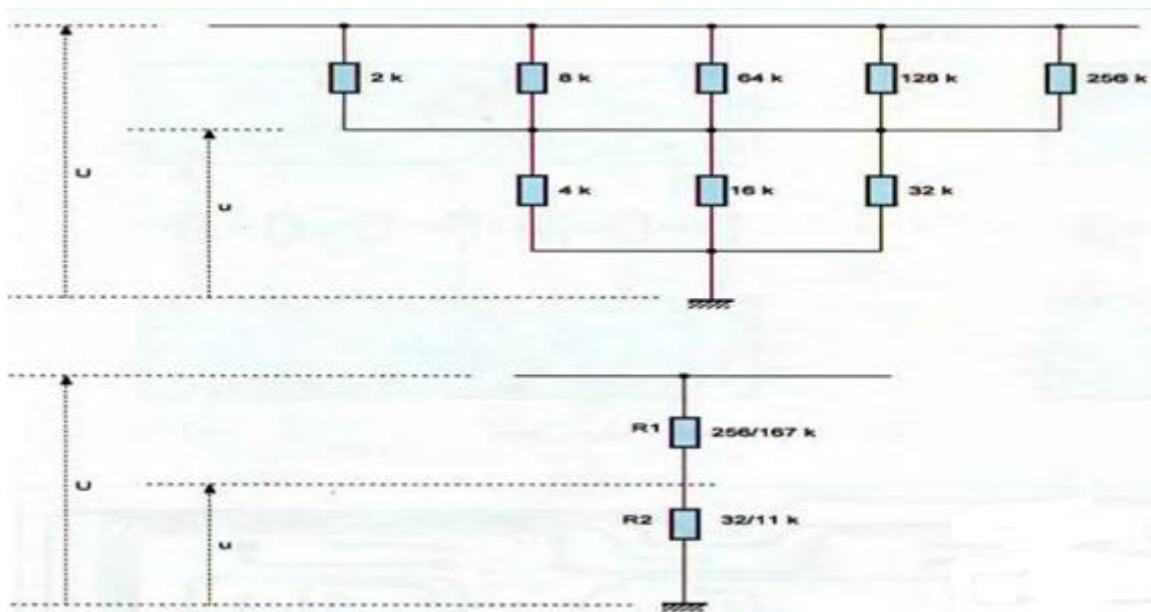


Figure 2.11 : Le réseau des résistances.

Nous pouvons remplacer la branche des résistances supérieures par une résistance équivalente de valeur R_1 telle que :

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{256} + \frac{1}{128} + \frac{1}{64} + \frac{1}{8} + \frac{1}{2}$$

On peut vérifier que :

$$\frac{1}{R_1} = \frac{256}{167}$$

La branche inférieure peut être remplacée par une résistance équivalente R_2 , en appliquant la même méthode de calcul, telle que :

$$R_2 = \frac{32}{11}$$

Il est alors possible d'exprimer la valeur de la tension (u) au niveau de la sortie du pont diviseur R_1/R_2 :

$$u = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{167}{255} \times U$$

Reportons nous au paragraphe consacré au principe de l'exploitation de la courbe hyperbolique

$$y = \frac{10200}{x}$$

Il s'agit à ce niveau, de générer un train caractérisé par 10200 créneaux de comptage. La base de temps affectée à cette tâche est l'oscillateur constitué par les portes NAND (I) et (II) de IC6. Le trigger de Schmitt, formé par les portes (III) et (IV) du même boîtier, donne aux créneaux ainsi générés la configuration convenable.

Pour arriver à cette valeur théorique de 10200 créneaux, l'oscillateur de type « commandé » n'est activé que pendant une durée Δt donnée et déterminée par le curseur de l'ajustable A2. Une fois le résultat du chronométrage du cycle précédent mémorisé, le compteur IC8 est remis à zéro pour « initialisation ».

Par la même occasion, la bascule monostable constituée par les portes NOR(I) et (II) de IC4 devient active et présente sur sa sortie un état « haut » d'une durée égale à Δt . c'est pendant cette durée que l'oscillateur précédemment évoqué est actif.

La valeur de Δt équivaut à $0.7 \times A2 \times C14$. Pour une position médiane du curseur de l'ajustable A2, la valeur théorique de Δt est de 362 ms. La période théorique des créneaux générés par l'oscillateur NAND(I) et (II) de IC6 est égale à $2.2 \times R54 \times C9$, soit 22 μ s, ce qui représente une fréquence de l'ordre de 45.5 kHz.

Avec ces valeurs, le nombre des créneaux générés par l'oscillateur est égal à 362 ms / 0.022 ms, soit 16455 ; cette valeur est trop élevée. Le curseur de l'ajustable A2 devra occuper une position telle que cette valeur soit effectivement obtenue.

Le lecteur vérifiera que la valeur théorique de la résistance ohmique de l'ajustable A2 devra avoisiner 146 k Ω pour obtenir ce résultat.

En réalité, les résultats de ce calcul sont altérés par les tolérances relatives aux composants de l'oscillateur et à ceux de la bascule monostable.

Dans la pratique ; le réglage final, tout à fait rigoureux, s'effectue par un positionnement correct du curseur de l'ajustable A2.

➤ Mise en évidence de la valeur à afficher

Le train d'impulsions évoqué ci-dessus, est appliqué sur l'entrée de comptage de IC8, qui est encore un compteur de type CD4040 dont les premières sorties sont mises à contribution. Les valeurs binaires de IC8 sont également transformées en valeurs analogiques, suivant le même principe que celui mis en œuvre pour la valeur binaire du résultat du chronométrage. Le point commun des résistances émanant de IC8 est relié à l'entrée « non inverseuse » de IC11, qui est un amplificateur opérationnel monté en « comparateur ». Quand au point commun des résistances issues des mémoires IC9 et IC10, il est en liaison avec l'entrée « inverseuse » du même comparateur.

Pour une position (x) donnée de la mémorisation du résultat du chronométrage ; à chaque fois que le compteur IC8 dépasse légèrement cette valeur, la sortie du comparateur, généralement à l'état « bas », passe à l'état « haut », car le potentiel sur l'entrée « non inverseuse » devient supérieur à celui présent sur l'entrée « inverseuse ».

Cela se traduit par les conséquences suivantes :

- la sortie de la bascule monostable constituée par les portes NOR (III) et (IV) de IC3 présente un bref état « haut ».

- Cet état « haut », par l'intermédiaire de D3, assure la remise à zéro de IC8 qui démarre ainsi un nouveau cycle.

- le front montant de cet état « haut » est également pris en compte par le trigger formé des portes NOR (I) et (II) de IC3.

En définitive, si (k) est le nombre représentatif des créneaux composant le train d'impulsions et si (x) est la valeur décimale correspondant aux positions binaires des mémoires affectées au chronométrage, il se produira un nombre (y) de remise à zéro, représentant autant de fronts montants délivrés par la sortie du trigger.

Ce nombre (y) est tel que :

$$y = \frac{k}{x}$$

C'est donc bien la valeur (y) qu'il conviendra d'afficher en tant qu'indication du nombre de pulsations par minute.

➤ **Circuit imprimé du module « indicateur »**

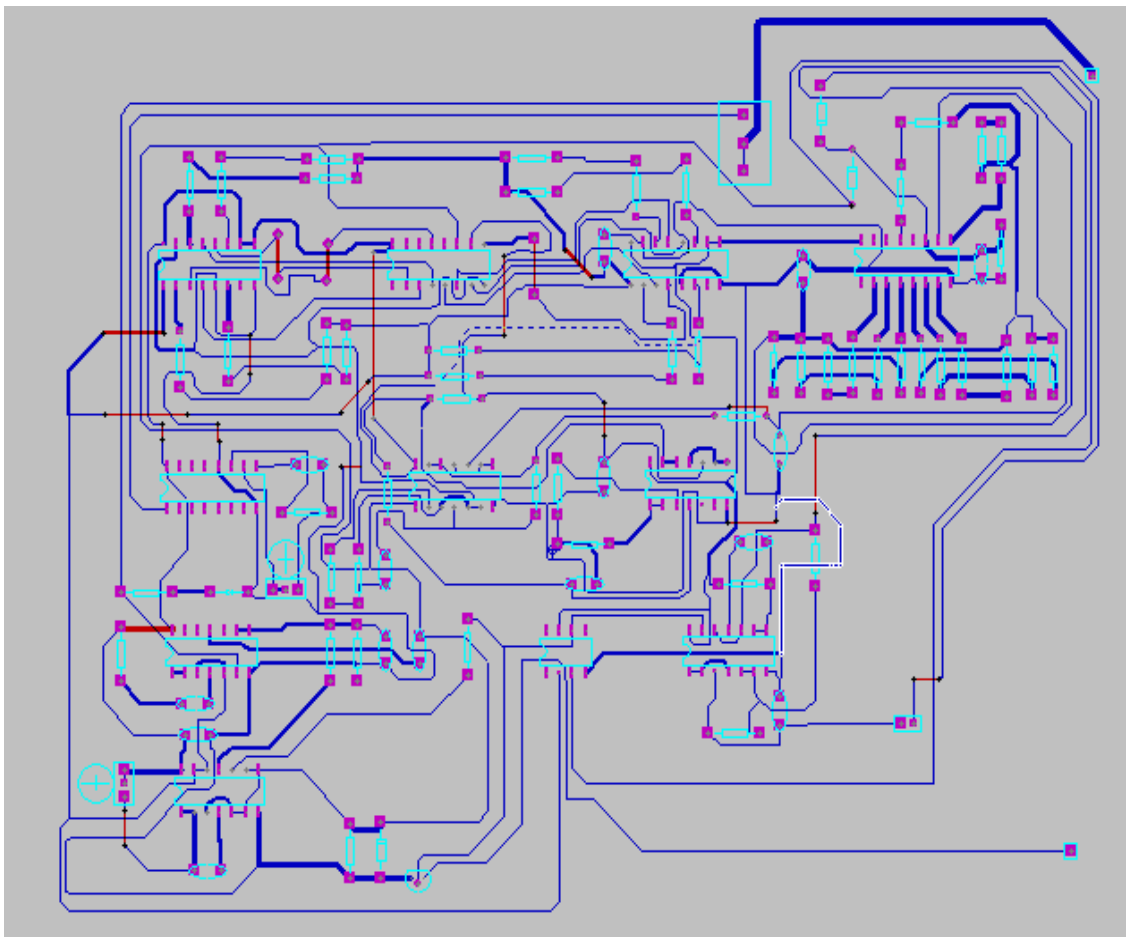


Figure 2.12 : Circuit imprimé d'indication.

2.5.1. Partie affichage

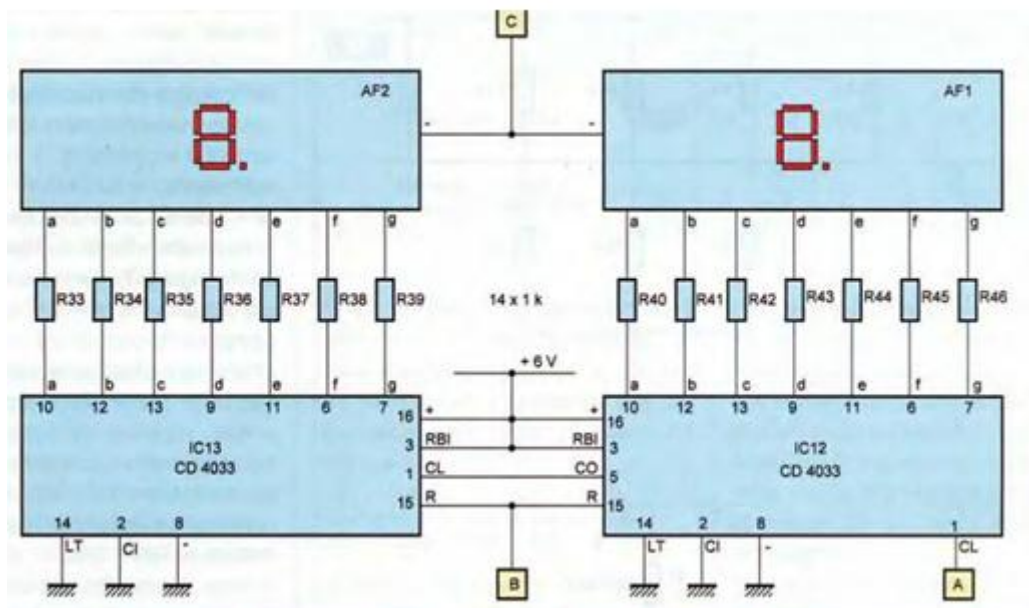


Figure 2.13 : Circuit de la partie affichage.

➤ Affichage du résultat

Les (y) fronts montants délivrés par la sortie du trigger NOR (I) et (II) de IC3 sont appliqués sur l'entrée de comptage CL de IC12, un compteur-décodeur à 7 segments affecté au comptage des unités. La sortie CO de IC12 est reliée à l'entrée CL de IC13, un compteur-décodeur du même type affecté au comptage des dizaines.

Les deux compteurs comportent sept sorties, repérées de (a) à (g), reliées aux segments correspondants des deux afficheurs à cathode communes, par l'intermédiaire des résistances de limitation R33 à R46.

En début de cycle, c'est-à-dire au moment du transfert du contenu du chronomètre IC7 vers les mémoires IC9 et IC10, les compteurs d'affichage sont remis à zéro et ainsi initialisés.

Pendant la phase active correspondant à l'émission du train d'impulsions (phase « calcul »), la sortie de la porte NOR(III) de IC4 présente un état « bas ». Il en résulte le blocage du transistor T1 et l'extinction de l'affichage. Cette disposition évite à l'utilisateur de voir défiler les valeurs croissantes de l'affichage. Cette phase est relativement brève et correspond à quelques 250 à 300 ms. En dehors de cette extinction volontaire, ce dernier affiche une valeur fixe pouvant éventuellement varier quelque peu d'une pulsation à la suivante.

- circuit imprimé du module « indicateur » partie affichage

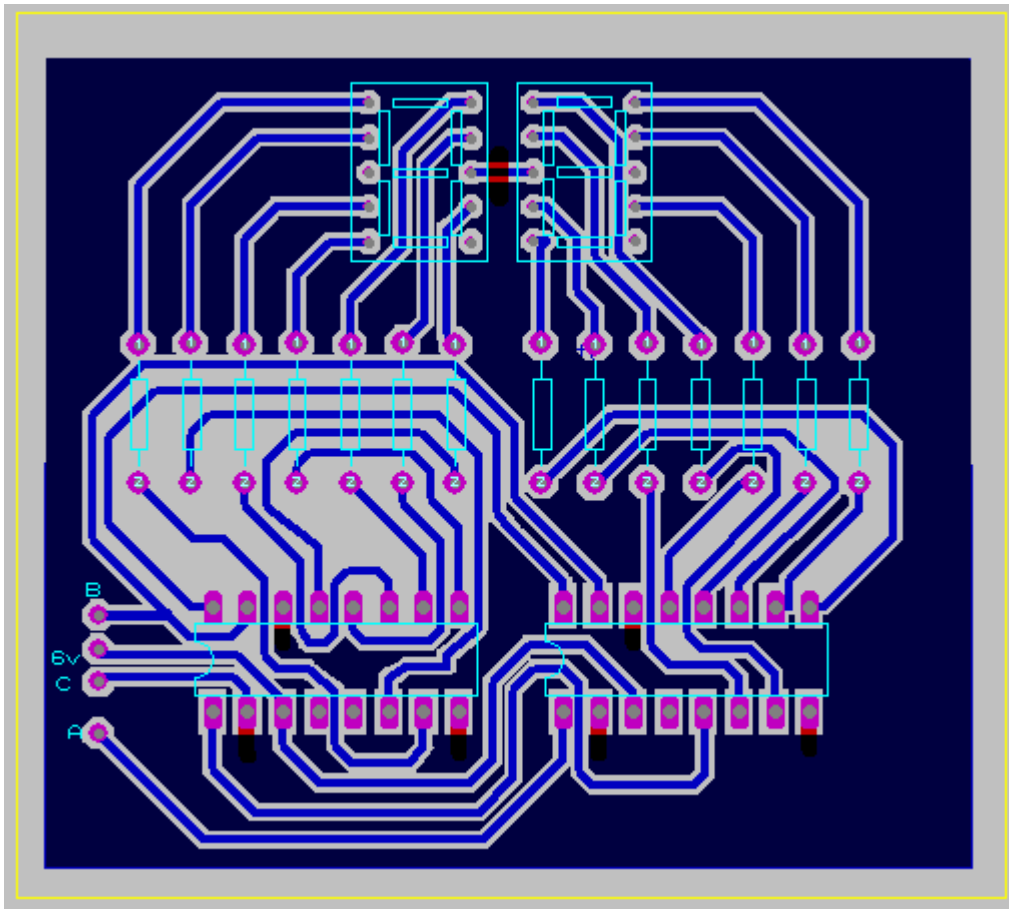


Figure 2.14 : Circuit imprimé de la partie affichage.

2.6. Circuit réalisé :

Les figures suivantes montrent les modules finaux de notre réalisation.

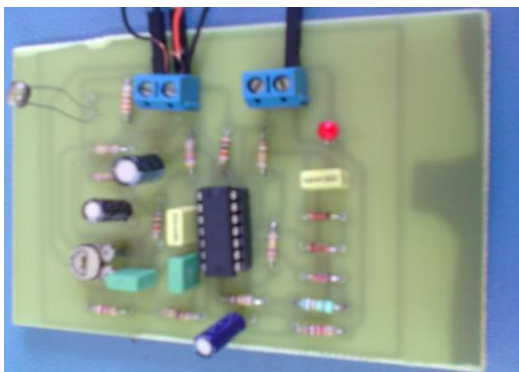


Figure 2.15 : Photo du circuit de détection.



Figure 2.16 : Photo du circuit d'alimentation.

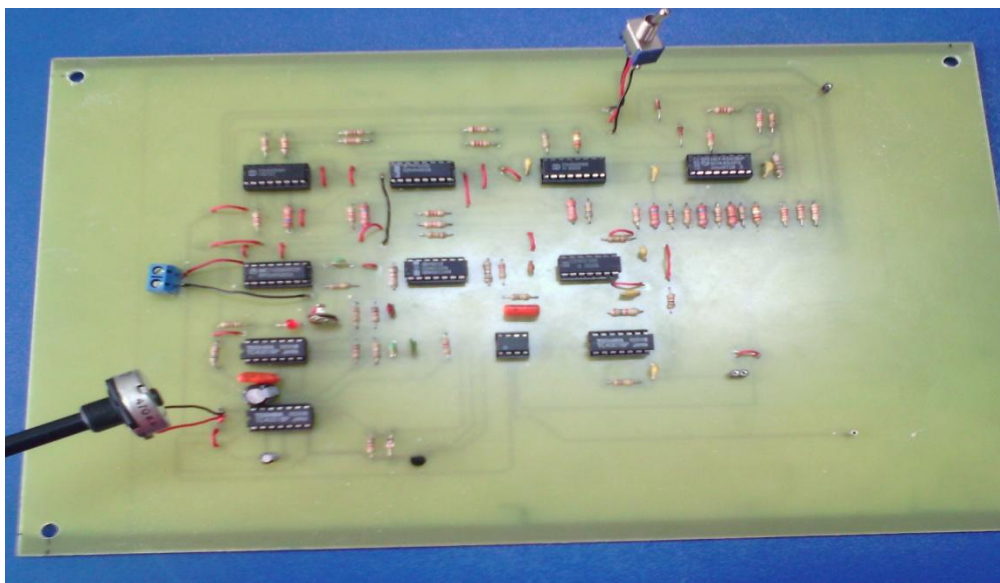


Figure 2.17 : Photo du circuit indicateur.



Figure 2.18 : Photo de la partie affichage.

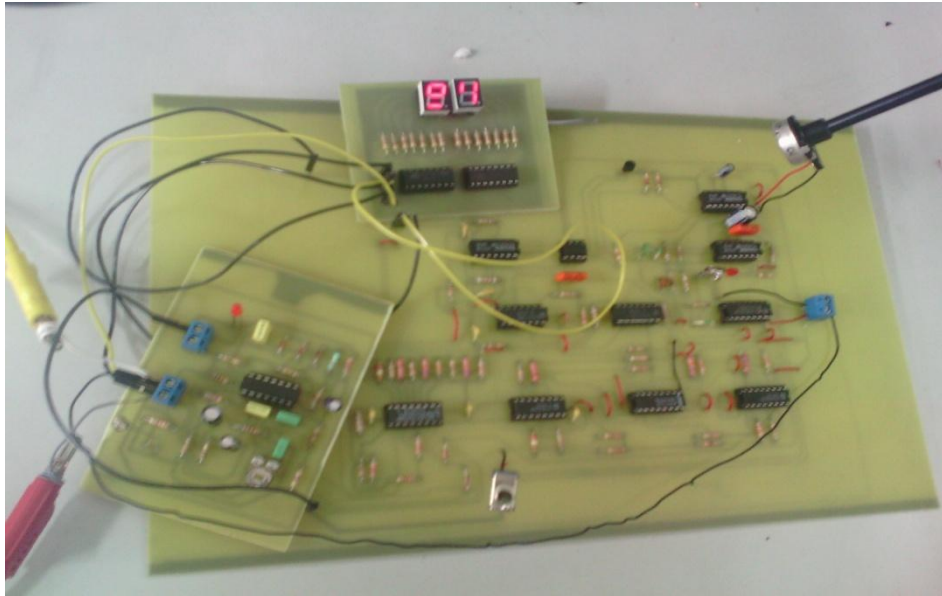
2.6.1.Circuit en fonctionnement :**➤ Cas où le nombre de battements :**

Figure 2.19 : Photo du circuit dans le cas normal.

Dans la figure 2.19, on remarque l'affichage du nombre de battements.

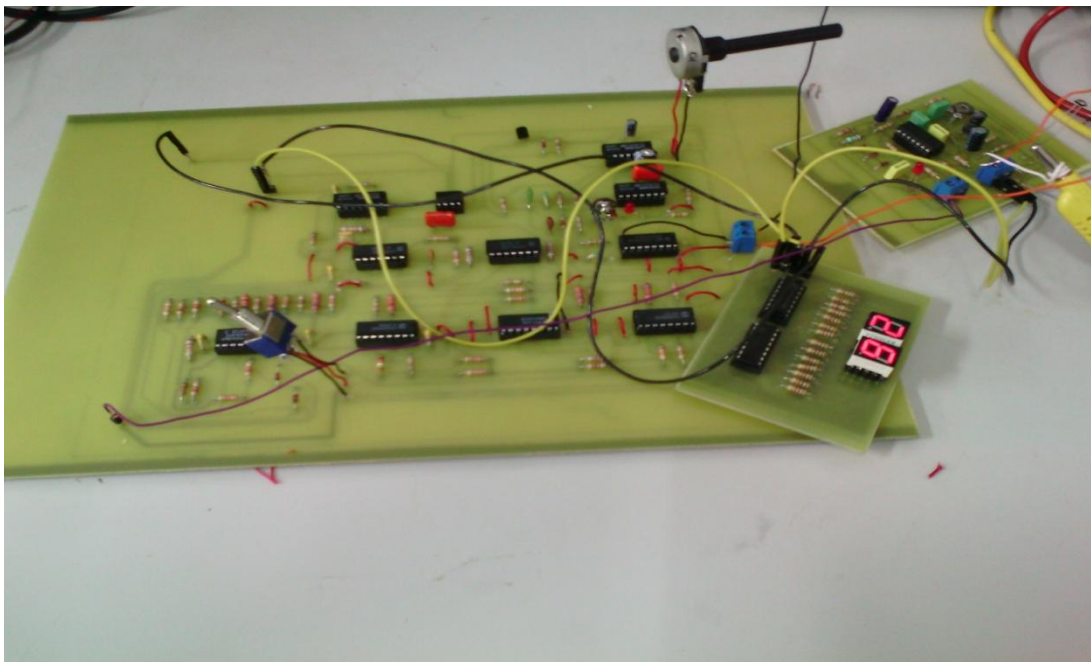
➤ Cas de détection

Figure 2.20 : Photo du circuit en cas de détection et indication de la fréquence.

Dans ce cas-là on a un affichage de 93 comme nombre de battements et la LED clignote plus vite.

2.7. Conclusion :

Dans ce chapitre ; nous avons donné le circuit électrique du montage avec explication détaillée du fonctionnement. Nous avons aussi relevé les signaux aux différents points.

Clicours.com

Conclusion et Perspectives :

Conclusion

Il serait intéressant d'avoir un appareil qui nous mesure la fréquence cardiaque en un temps plus court qu'une minute. Un n'est pas conçu uniquement pour le médecin ; mais pour toute personne sachant lire un nombre de deux chiffres ou plus.

Notre projet va dans ce sens ; la réalisation d'un «Pulsomètre numérique» : un appareil électronique mesurant la fréquence cardiaque qui nous donne le nombre de battements par minute au bout de quinze secondes.

Nous avons donné d'abord le schéma synoptique du montage et son fonctionnement bloc ; puis nous avons étudié tous les étages qui constituent le montage.

Après ; nous avons présenté le circuit électrique du montage, nous avons expliqué en détail son fonctionnement, puis nous en avons fait la réalisation pratique et des essais.

Le circuit pourrait être perfectionné par les étudiants à venir, dans le cadre de leurs projets en instrumentation.

Bibliographie

- [1] : Blaid Asma « Etude et réalisation d'une centrale d'éclairage »
(PFE) (2013/2014).
- [2] 1^{er} STI électronique (2004-2005)
- [3] : Opto électronique – académie de Nancy- Metz.
http://www.as-nancy-metz.fr/presetab/loritz/pre_bac/ssi/cours/electronique/Optoelec/optoele.htm
- [4] : <http://en.wikipedia.org/wiki/1N4148>
- [5] : M^{elle} MAHI.K et M^{elle} GUITOUN.K :«Etude ET réalisation d'une horloge temps réel»(PFE) dirigé par :Mr NEMICH.A(2013-2014).
- [6] : Electronique magazine -n°33
- [7] : www.datasheet.com.
- [8] :http://www.gecif.net/articles/genie_electronique/cours/terminale/les_montages_astables.pdf,Edition2013.
- [9] : Cours Ms .HAMDOUNE : modulation _ démodulation de fréquence.
- [10] : Electronique des impulsions Tome III , les générateurs d'impulsions par jean Paul Vabre .
- [11] : Data Book
- [12] : Revue Electronique pratique N°111 Série Janvier 1988.
- [13] : Revue Electronique pratique N°72 Serie Juin 1984.
- [14] : guide des circuit intégrés H. Podvin , D. Meyer. Publitrionic 1985.
- [15] : Cours Ms .BELAID / modulation _ démodulation de fréquence.
- [16] : principes d'électronique Malvino.
- [17] : Medicine «Appareil cardio vasculaire,Appareil Locomoteur» par : p.Obraska , L.Perlemuter , Jquevilliers.
- [18] :http://philippe.roux.7.perso.neuf.fr/Resources/Amplification_bipolaire.pdf.

ANNEXE

ANNEXE

Annexe 1

A.1.LM 324 [11]

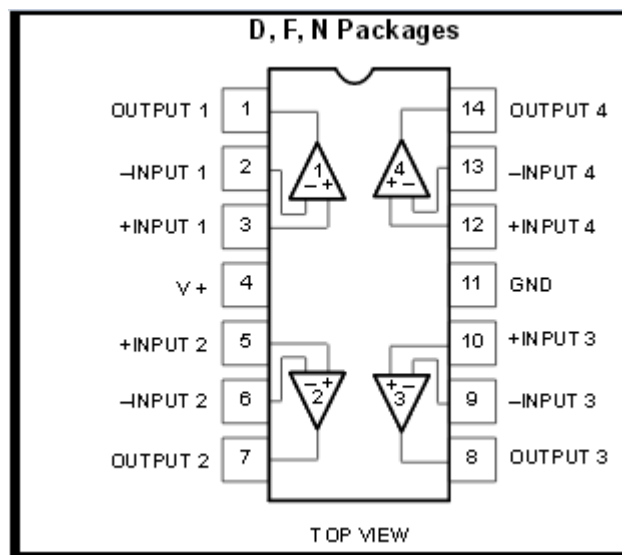
Description générale

Le LM 324 comportent quatre Amplificateurs opérationnels totalement indépendants, à gain élevé et à compensation en fréquence interne.

Ils sont spécialement conçus pour fonctionner avec une seule tension d'alimentation et dans une large plage de valeurs de cette tension .Ils peuvent également être alimentés avec deux tensions séparées et le faible courant consommé est indépendant de la valeur des tensions d'alimentation.

La gamme des applications de ce produit comprend les amplificateurs transducteurs, les amplificateurs à courant continu et tous les circuit à amplificateurs opérationnels conventionnels qui peuvent désormais être implantés facilement dans des systèmes à tension d'alimentation unique .

Brochage :



Caractéristiques :

- compensation de fréquence interne en gain unitaire.
- Gain important en courant continu
- Large bande passante (gain unitaire) compensée en température 1MHZ.

Plage importante de tension d'alimentation :

- Alimentation unique 3V à 3V.
- Alimentation double +-1.5 V à +- 15 V.
- courant d'alimentation très faible (800 A) totalement indépendant de la tension d'alimentation (1 mW / Ampli à 5V).

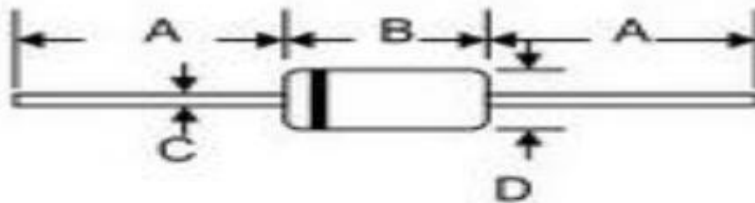
- Faible courant de polarisation d'entrée

Avantages :

- Elimine la nécessité d'une alimentation double.
- Quatre amplificateurs opérationnels à compensation interne dans un seul boîtier.
- Permet un fonctionnement directement avec une tension proche de la masse et la tension de sortie peut également atteindre la masse.
- Compatible avec toutes les formes de logique.
- Le courant consommé permet l'utilisation de batteries ou piles.

Annexe 2

A.2.1N4148 [4]



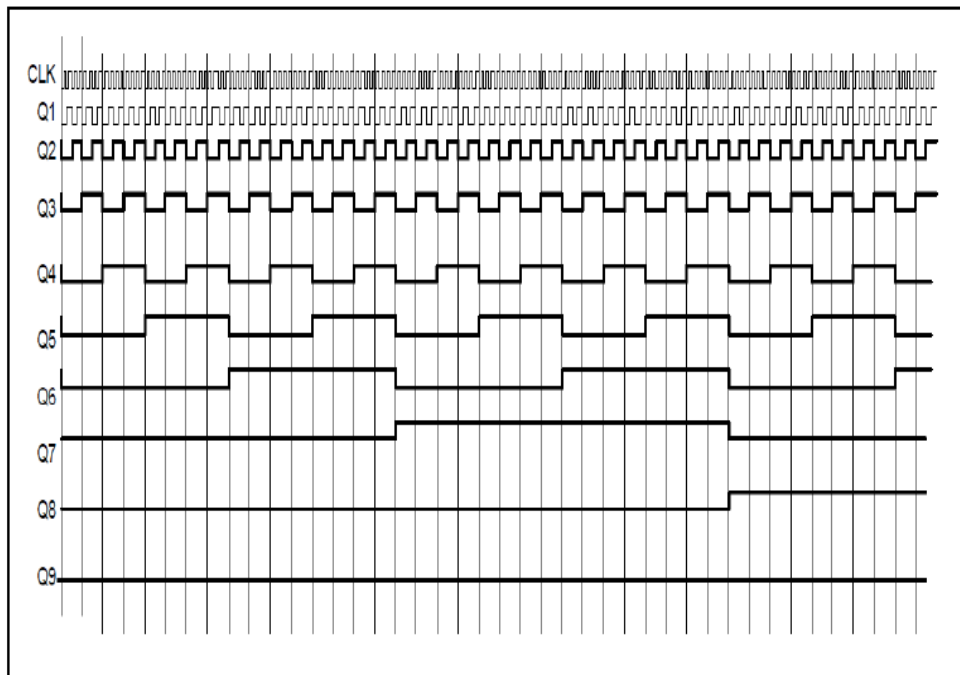
DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

Caractéristiques :

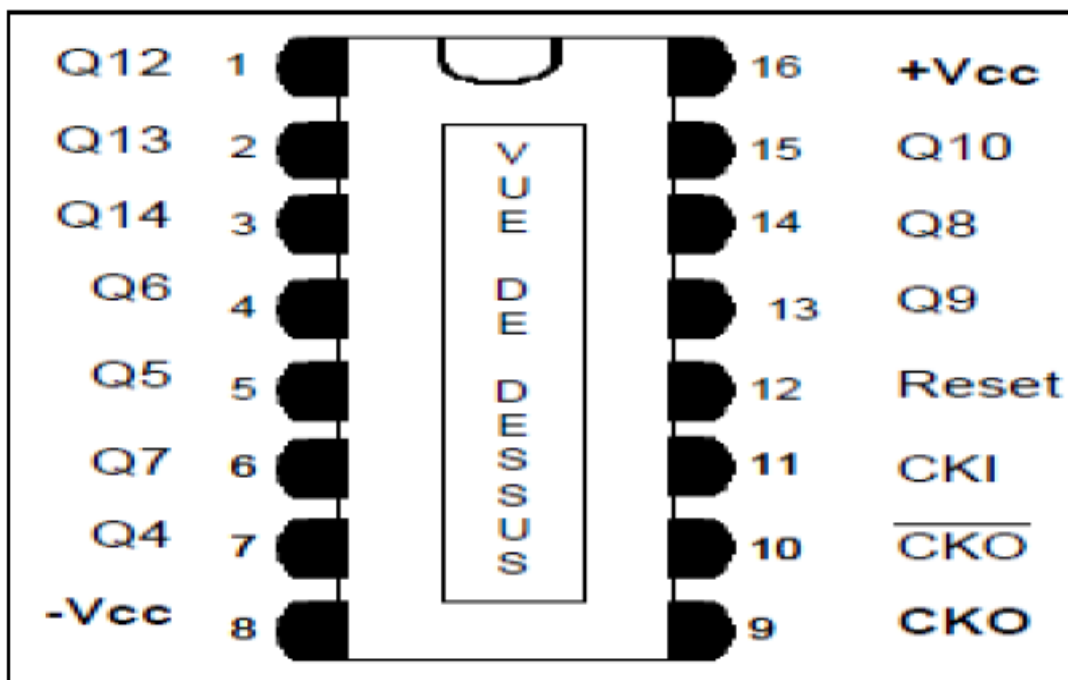
- Courant, I_f moyen: 200Ma.
- Courant, I_{fs} maximum: 500mA.
- Type de boîtier de diode: DO-35.
- Type de diode: Faible signal.
- Tension, V_f max.: 1V.
- Nombre de broches: 2.
- Température de fonctionnement max.: 200°C.
- Type de packaging: Pièce.
- Tension, V_{rrm} : 100V.
- Temps t_{rr} max.: 4ns

Annexe 3

A.3. Le chronogramme de compteur 4060. [7]



Le 4060



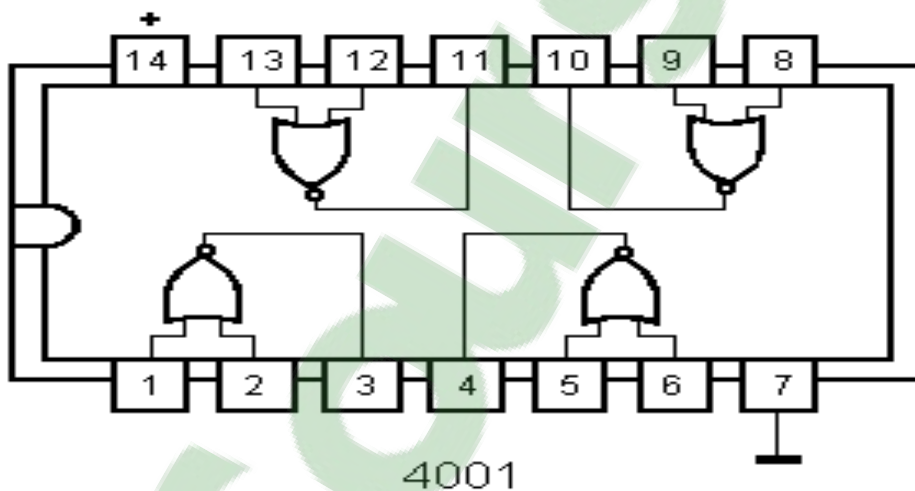
Annexe 4

A.4. Circuit intégré CD 4001. [6]

Le CD 4001 est un circuit intégré ayant 14 pins en DIL (Dual In Line Package), composé de 4 portes logiques NOR. Comportent quatre NOR à deux entrées à trigger de shmit. .

La porte commute pour deux tensions d'entrée différentes suivant qu'il s'agit d'un front montant ou d'un front descendant.

Brochage :



Description des pins du CD 4001

Numéro de pins	Fonction
1, 2 ,5 ,6 ,8 ,9 ,12 13	Entrées données
3 ,4 ,10 ,11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée +Vcc

Conditions de fonctionnement recommandées par le constructeur

Symbole	Paramètre	Valeur	unité
VDD	Tensions d'alimentation	3-20	V
VI	Tensions d'entrées	0-VDD	V
TOP	Température de fonctionnement	(-55)/125	°C

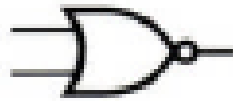
Annexe 5

A.5. Port NOR

Ici la sortie S obtenue sera le résultat inverse d'un OU logique entre les deux entrées :

$$S = \overline{A+B}$$

Son symbole est donné par la figure suivante



Sa table de vérité est donnée

Entrée 1	Entrée 2	Entrée 3
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Annexe 6

A.6.Circuit intégré CD4011 [11]

Le CD4011 fait partie de la famille des circuits intégrés CMOS (Complémentaire Métal Oxyde Semi-conducteur). Il possède 14 broches DIL. DIL se réfère à la disposition des broches et il signifie <<Dual-In-Line>>. Cela signifie simplement que les 14 broches sont disposées en deux rangées parallèles.

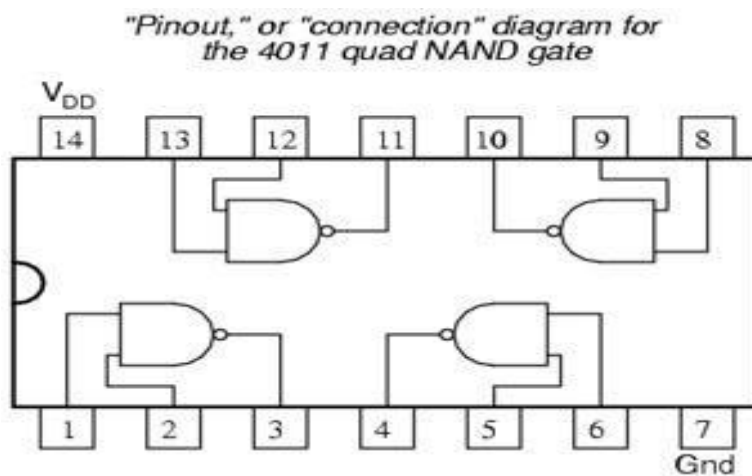
Bien que l'électricité statique puisse détruire des circuits intégrés CMOS, ils sont extrêmement fiables en fonctionnement. Eviter de toucher les broches et ne pas surchauffer avec le fer à souder.

La base 4000 des séries circuits intégrés CMOS travaille à partir d'un minimum de 3 volts jusqu'à un maximum de 15 volts. Certaines version de la série 4000 fonctionne jusqu'à un maximum de 18 volts.

Le CMOS 4011 contient quatre portes NAND.

Quatre portes dans un CMOS 4011 sont parfois appelés onduleurs. L'état de la sortie d'une porte sera le contraire (ou l'inverse) des entrées.

Brochage



Description des pins du CD4011

Numéro de pins	Fonction
1,2,5,6,8,12,13	Entrées données
3,4,10,11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée à +Vcc

Conditions de fonctionnement recommandées par le constructeur

Symboles	Paramètre	Valeur	unité
VDD	Tension d'alimentation	3-20	V
VI	Tension d'entrée	0-VDD	V
TOP	Température de fonctionnement	-55à+125	°C

Caractéristiques

- Courant de repos déterminé jusqu'à 20V
- 5V, 10V et 15V : notations paramétriques
- Fuite de courant d'entrée = 100nA (max) et VDD =18V à T = 25°C
- 100% test de courant de repos
- Respecte toutes les exigences des normes pour les descriptions de la série des dispositifs CMOS.

Annexe 7

A.7. Porte NAND

cette porte présente la particularité de pouvoir recréer des portes AND , OR ,NON dans un circuit électronique en utilisant seulement des montages composés d'uniquement des portes NAND. On effectue toujours une opération ET logique entre le deux sorties mais cette fois le résultat obtenue est inversé :

$$S = \overline{A \cdot B}$$

symbole de la port NAND est donné par la figure :



table de vérité de la port NAND est donnée par la table

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

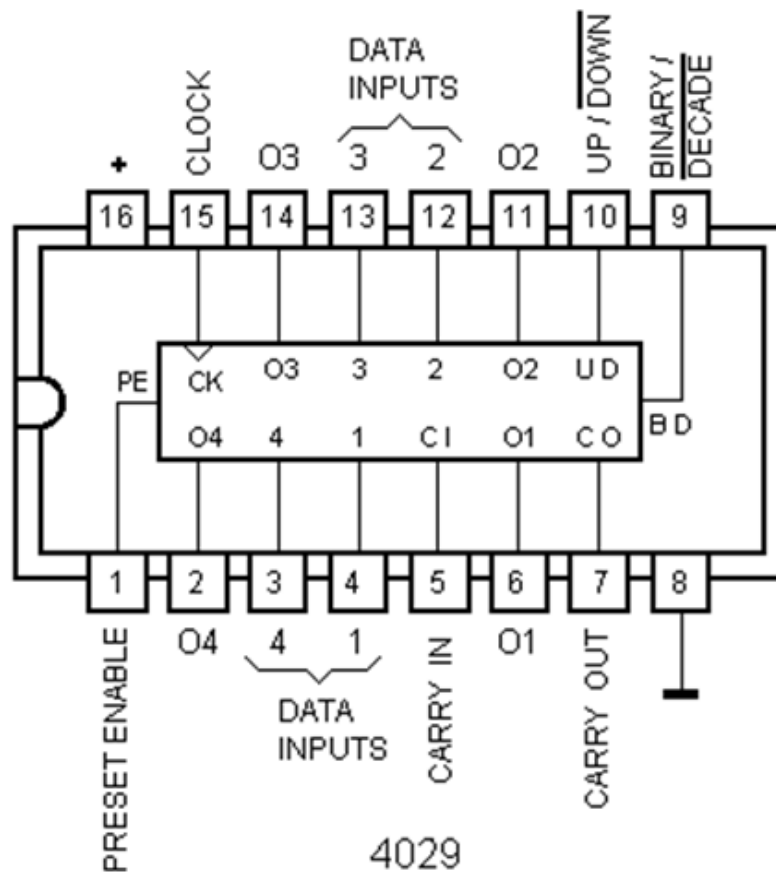
Annexe 8

A.8.Compteurs –Décodeurs CD 4029[7]

Le CD4029 est un compteur/décompteur 4 bits à repositionnements. Les 4 bits de sortie permettent de compter ou de décompter entre 0 et 9 (décade) ou entre 0 et 15 (binaire).

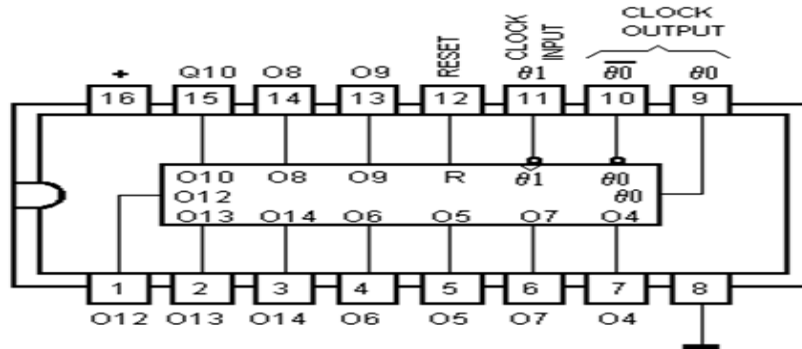
La valeur du compteur peut être pré chargée à une valeur N en utilisant les entrées parallèles et permettre de compter de N à 15 par exemple.

Brochage du 4029



Annexe 9

A.9. Brochage du 4060 [11]



L'idée est d'utiliser un 4060 qui contient 14 diviseurs par deux, pour avoir une bonne stabilité, il est possible de générer des fréquences très basses. C'est une fréquence encore trop élevée pour la pendule qui demande 1/60 Hz pour fonctionner. Donc, on utilise un deuxième 4060 pour obtenir la bonne fréquence, est divisé par le second 4060 par 128 et on obtient une fréquence de 1/64 Hz la bonne

Le compteur par 64 est composé de 6 bascules binaires et ce qu'il faut, c'est remettre le compteur à zéro quand il y a eu 60 impulsions (et non 64). La valeur de 60 (décimal) se code en binaire 111100

$$60 = 1 \cdot 32 + 1 \cdot 16 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 4 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 1$$

Donc il faut détecter que les quatre bascules de poids forts sont dans l'état '1' et, dans ce cas, forcer une remise à '000000', donc quand le compteur arrive à la valeur décimale 60 (111100 en binaire ou 0x3C en hexadécimal), la sortie de AND passe à l'état '1', qui est juste le niveau qu'il faut pour remettre le 4060 à zéro. Le seul (léger) inconvénient de ce montage, c'est que la sortie d'horloge 1/60 Hz reste 32 secondes à l'état '0' et 28 secondes à l'état '1', mais cela ne présente aucun problème pour la précision de la minute.

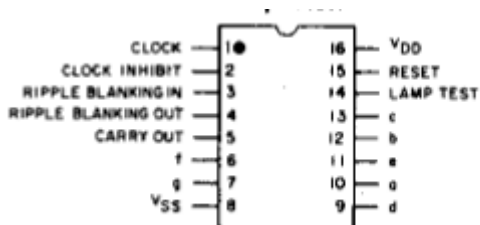
Donc quand le compteur arrive à la valeur décimale 60 (111100 en binaire ou 0x3C en hexadécimal), la sortie du AND passe à l'état "1", qui est juste le niveau qu'il faut pour remettre le 4060 à zéro. Le seul (léger) inconvénient de ce montage, c'est que la sortie d'horloge à 1/60 Hz reste 32 secondes à l'état "0" et 28 secondes à l'état "1", mais cela ne présente aucun problème pour la précision de la minute.

Annexe 10

A.10.CD 4033 [11]

(Décode counters / dividers with decoded 7-segment display outputs). with ripple blanking 4033.

- Counter and 7-segment decoding in one package.
- Easily interfaced with 7-segment display types.
- Fully static counter operation : DC to 6 MHz AT $V_{DD}=10V$.
- Ideal for low-power displays.
- Quiescent current specified to 20 μA .
- Standardized symmetrical output characteristics.
- 5V, 10V et 15V PARAMETRIC RATING.
- Input current of 100 nA at 18V et 25°C.
- 100% TESTED FOR QUIESCENT CURRENT .
- Meets all requirements of JEDEC tentative standard N° 13A , «Standard specifications for descriptions for description of «B»SERIES CMOS devices ».



Résumé :

Les troubles cardiaques représentent actuellement la cause majeure de la mortalité dans le monde. Le cœur est une pompe automatique qui bat normalement 72 fois durant chaque minute, c'est un rythme imposé par la contraction des cellules du tissu nodal. Un pulsomètre numérique peut permettre de mesurer aisément la fréquence cardiaque d'une façon fiable et non invasive. A travers ce mémoire, nous comptons pouvoir réaliser un dispositif électronique pouvant détecter et afficher après amplification la valeur de la fréquence cardiaque durant 1 minute. un système de comptage, va compter et par la suite afficher par le biais de deux afficheurs 7 segments le nombre de battements cardiaque durant 1 minute.

Mots-clés : Détection; Affichage; Fréquence cardiaque; Amplification.

Abstract :

Heart disease currently represent the major cause of death in the world. The heart is an automatic pump that normally beats 72 times during each minute, this is a pace imposed by the contraction of the cells of the nodal tissue. A digital heart rate monitor can help to easily measure the cardiac frequency reliably and noninvasively. Through this final dissertation, we expect to realize an electronic device that can detect and display after amplification the value of the cardiac frequency during 1 minute. A counting system, will count and then display through two 7-segment displays the number of heart beats during 1 minute.

Key-words: Detection; Display; Cardiac frequency; Amplification.

ملخص :

تمثل أمراض القلب حاليا السبب الرئيسي للوفيات في العالم. القلب هو عبارة عن مضخة آلية، تنبض في الظروف العادية 72 مرة خلال كل دقيقة، هذه الوتيرة مفروضة بانكماش خلايا الأنسجة العقدية. جهاز رصد تردد ضربات القلب الرقمي يمكن أن يساعد على قياس تردد ضربات القلب بسهولة و بطريقة موثوقة و غير جراحية. من خلال هذه المذكرة ، فإننا نعتزم على إنتاج جهاز إلكتروني يمكن من الكشف والعرض بعد التضخيم لقيمة تردد ضربات القلب خلال دقيقة. نظام عدّ، يقوم بعد ثم عرض عن طريق جهازي عرض من نوع سبعة قطاعات لعدد ضربات القلب خلال دقيقة.

الكلمات المفتاحية : الكشف، العرض ، تردد ضربات القلب ، التضخيم.