
Détecteur de proximité

Annexe du guide étudiant

S1- APP1

Automne 2025 – Semaines 1, 2 et 3

Département de génie électrique et de génie informatique et de génie
robotique

Faculté de génie

Université de Sherbrooke

Note : En vue d’alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Document S1_APP1_Détecteur de proximité_Guide_Etudiant.docx

Version 1 : Rédigé par Réjean Fontaine, ing., août 2012

Mis à jour par Jean-Philippe Gouin, Claudette Légaré, Vincent-Philippe Rhéaume, Serge Apedovi Kodjo, Jonathan Vincent, David Pivin, Jean-Samuel Lauzon, Charles Richard, Alexandre Tessier, Maxime Dubois, Sylvain Nicolay et Mathieu Massicotte 2014-2022

Version 2 : Rédigé par Jean-Philippe Gouin, mai 2023

Mis à jour par Jean-Philippe, Gwenaël Hamon, Julien Rossignol et Mathieu Massicotte 2023-2024

Copyright © 2025 Département de génie électrique et de génie informatique. Université de Sherbrooke.

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Terminologie et composants du Détecteur de proximité	2
2.1.	Les résistances.....	5
2.2.	Les condensateurs.....	9
2.3.	La diode	11
2.4.	Le potentiomètre	11
2.5.	La diode électroluminescente	12
2.6.	Diode infrarouge	12
2.7.	Les alimentations	12
2.8.	Les circuits intégrés	13
2.9.	Le 556	14
2.9.1.	Mode astable.....	15
2.9.2.	Mode monostable	17
2.9.3.	Le générateur d'ondes carrées basse fréquence	17
2.9.4.	Générateur d'ondes carrées haute fréquence	18
2.10.	Porte logique.....	19
2.11.	Le circuit imprimé	19
3.	La liste de matériel ou BOM	20
4.	Évaluation théorique et pratique de la puissance consommée	23
4.1.	Puissance moyenne statique	23
4.1.1.	Puissance moyenne statique consommée par les résistances, condensateurs et inductances .	23
4.1.2.	Puissance moyenne consommée par les composants complexes	23
4.2.	Puissance moyenne dynamique.....	24
4.2.1.	Puissance moyenne dynamique consommée par les résistances, condensateurs et inductances	24
4.2.2.	Puissance moyenne dynamique consommée par les composants complexes.....	26
4.3.	Puissance totale consommée d'un circuit ou d'un sous-circuit.....	26
4.4.	Mesure pratique de la puissance consommée	27
5.	Les fonctions transcendantes	29
6.	Le plan de Validation de conception et le plan de test	30
6.1.	Le plan de validation de conception	30

6.2.	Plan de test vs plan de validation de conception.....	30
7.	Références	34

Liste des figures

FIGURE 1. SCHEMA-BLOC DU CIRCUIT DU DETECTEUR DE PROXIMITE	3
FIGURE 2. SCHEMA ELECTRIQUE DU CIRCUIT DU DETECTEUR DE PROXIMITE.....	4
FIGURE 3. RESISTANCE DE MONTAGE EN SURFACE.	5
FIGURE 4. RESISTANCE AXIALE.	5
FIGURE 5. RESISTANCE AVEC CODE DE COULEUR.....	5
FIGURE 6. CONDENSATEUR CERAMIQUE NE NECESSITANT AUCUNE POLARISATION. IL PEUT ETRE BRANCHE DANS N'IMPORTE QUEL SENS.....	10
FIGURE 7. CONDENSATEUR ELECTROLYTIQUE NECESSITANT D'ETRE POLARISE : LA PATTE LA PLUS COURTE EST LA BORNE (-), LE SIGNE - EST ECRIT SUR LE COTE.	10
FIGURE 8. SCHEMA EQUIVALENT DU POTENTIOMETRE SELON 2 MODES DE BRANCHEMENT	11
FIGURE 9. BOITIER DE TYPE DIP.....	13
FIGURE 10. BOITIER DE TYPE SMT.	13
FIGURE 11. NUMEROTATION DE CIRCUITS INTEGRES.	14
FIGURE 12. LE CONNECTEUR TAMPON (OU SOCKET) (GAUCHE) EST SOUDE SUR LE CIRCUIT IMPRIME ET SERT DE RECEPTACLE AU CIRCUIT INTEGRE (DROITE).	14
FIGURE 13. SCHEMA INTERNE DU CIRCUIT INTEGRE ⁹	15
FIGURE 14. SCHEMATISATION D'UNE CONFIGURATION MONOSTABLE ET ASTABLE.....	15
FIGURE 15. MONTAGE EN CIRCUIT ASTABLE ¹⁰	16
FIGURE 16. SORTIE (TRACE DU HAUT) ET CHARGE ET DECHARGE D'UN RESEAU R-C (TRACE DU BAS).	16
FIGURE 17. ÉQUATIONS DE LA FICHE TECHNIQUE DU LM555 ²	18
FIGURE 18 : DESCRIPTION DES PORTES LOGIQUES.....	19
FIGURE 19. LE CIRCUIT IMPRIME.....	19
FIGURE 20. FIGURE 5 TIRÉE DE LA SPECIFICATION TECHNIQUE LM555 ³	25
FIGURE 21 : SIGNAUX REELS DE DIFFERENCE DE POTENTIEL DANS UNE RESISTANCE DU CIRCUIT DE L'APP	26
FIGURE 22. EXEMPLE D'UNE RESOLUTION PAR UNE METHODE GRAPHIQUE.	29

Liste des tableaux

TABEAU 1. ASSIGNATION DES COULEURS A UN NOMBRE.....	6
TABEAU 2. ASSIGNATION DES COULEURS A UN NOMBRE.....	6
TABEAU 3. DEFINITION DE LA PRECISION EN FONCTION DE LA COULEUR DE LA DERNIERE BANDE.	7
TABEAU 3. LISTE DE MATERIEL DE LA PROBLEMATIQUE DE L'APP1 A COMPLETER.	21
TABEAU 4. EXEMPLE DE PLAN DE TEST.	32
TABEAU 5. EXEMPLE DE PLAN DE VALIDATION.	33

1. INTRODUCTION

Le circuit de détecteur de proximité sur lequel vous allez travailler est relativement complexe de prime abord, mais ne vous laissez pas décourager. Vous verrez qu'il est séparé en plusieurs modules qui, pris indépendamment l'un de l'autre, sont relativement simples à comprendre. Cet APP vous permettra de faire un cheminement très rapide vers des techniques de conception simples d'une part; et d'autre part, vers des techniques d'assemblage et de déverminage de circuits électroniques. Cette annexe au guide étudiant a pour but de rassembler certaines informations complémentaires à votre formation qui sont plus spécifiques à la problématique. Dans un premier temps, cette annexe s'attardera au circuit électronique du détecteur de proximité et aux spécifications techniques demandées comme telles et dans un deuxième temps, aux informations complémentaires vous permettant de faire le montage de votre circuit.

Tel que présenté dans la problématique, le détecteur de proximité comporte plusieurs étages afin de cadencer une onde carrée qui alimente deux DEL infrarouge et un circuit de réception. La Figure 1 représente cette information sous forme d'un schéma-bloc, et indique quelles sont les performances attendues du client du circuit à chacune des étapes. Par exemple, à la sortie du générateur d'ondes carrées haute fréquence identifié *Oscillateur 38 KHz (haute fréquence)* sur le schéma-bloc, le signal analogique devrait être à environ $38 \text{ kHz} \pm 10 \%$ avec une amplitude de $5 \text{ V} \pm 10 \%$ lorsqu'il est alimenté à $5 \text{ V} \pm 10\%$. Les marges sont importantes et vous devrez vous y attarder pour le plan de validation de la conception. Vous pourrez tester les performances de chacun des étages au fur et à mesure de la conception/assemblage de votre circuit grâce à l'utilisation de l'oscilloscope qui deviendra vos yeux pour comprendre ce qui ne va pas bien dans votre circuit. Les signaux observés sur l'oscilloscope devraient ressembler aux signaux dessinés à la Figure 1. Vous remarquerez rapidement que la nomenclature des signaux peut être exprimée sous différentes formes : $V_{\text{crête}}$, $V_{\text{crête-crête}}$, V_{rms} . Il est important de démêler ces formulations et devenir habile à passer de l'une à l'autre. Les lectures dans le volume recommandé dans le guide étudiant [1] couvrent cet aspect.

2. TERMINOLOGIE ET COMPOSANTS DU DÉTECTEUR DE PROXIMITÉ

Certaines terminologies utilisées au niveau électronique n'ont pas de signification pour vous pour l'instant. Ce n'est pas grave; nous ne nous attendons pas à ce que vous compreniez ce qui se passe dans les signaux au niveau fréquentiel; ce sont des notions qui seront abordées en S2. Les objectifs prioritaires de l'APP1 SN sont d'être capable de lire un schéma électrique simple, de comprendre les fiches techniques et d'assembler un circuit fonctionnel. Ainsi, même si vous voyez une porte logique, il est important de comprendre comment mathématiquement le calcul logique peut être effectué et de le voir visuellement sur un oscilloscope, mais pas comment le composant fonctionne. Il en est de même pour les autres composants du circuit.

Plongeons maintenant plus en profondeur dans le circuit du détecteur de proximité. Pour cela, vous devrez avoir côte à côte les Figure 1 et Figure 2. Vous allez également devoir vous référer à plusieurs fiches techniques en parallèle. La nomenclature des pièces

Sur la Figure 2, vous remarquerez que chaque composant comporte un numéro de référence par exemple R1, D1, C1 ou U1. Ces références, appelées en anglais *reference designator*, sont utilisées pour identifier chacun des composants afin de pouvoir les retrouver autant dans le schéma que sur le circuit imprimé. Le numéro de la référence indique son ordre d'apparition dans le schéma. Ainsi, D1 a été inséré dans le schéma avant D2 qui lui a été inséré dans le schéma avant D3, etc. Le numéro ne nous intéresse pas réellement, le seul point important est qu'ils soient tous différents et uniques. Il est là pour localiser le composant parmi les autres composants du même type. Cependant, la lettre en préfixe est importante, car elle indique le type de composants. Voici une brève liste de ces lettres ainsi que leur correspondance :

D : diode

C : condensateur

R : résistance

VR : potentiomètre

L : inductance ou ferrite

U : circuit intégré

J : connecteur

TP : point de test ou *test point*

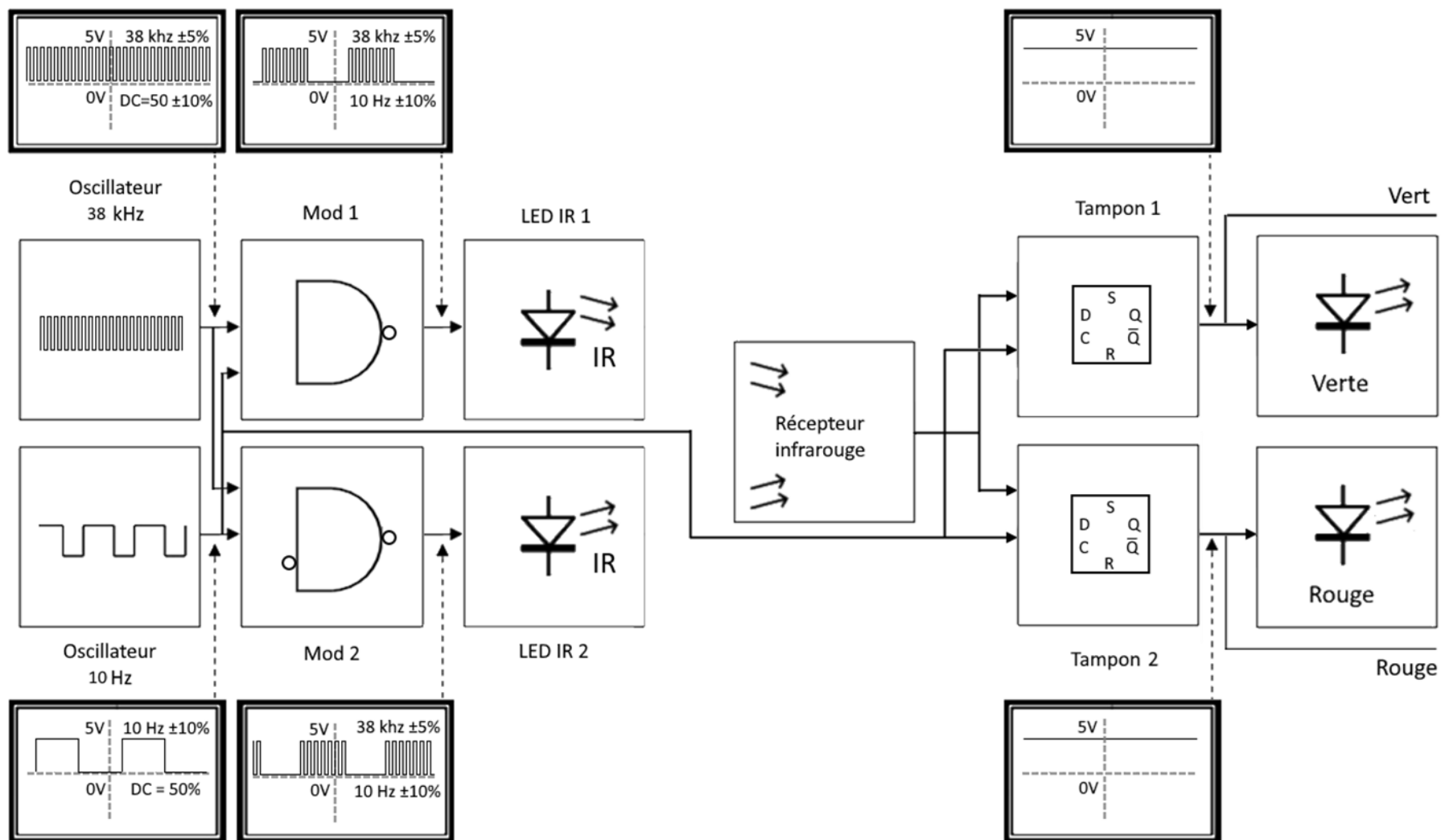


Figure 1. Schéma-bloc du circuit du détecteur de proximité

2.1. LES RÉSISTANCES

Sur le schéma, vous remarquerez plusieurs résistances (nommée R?). Elle existe sous plusieurs boîtiers et bien que le boîtier le plus commun soit la résistance de montage en surface (Figure 3), bien adapté au montage de circuits imprimés de masse, le boîtier le plus utilisé pour le prototypage est la résistance axiale (Figure 4) sur laquelle une série de bandes de couleurs code sa valeur. Comme vous l'apprendrez durant votre bacc, plusieurs considérations dicte le choix de la technologie (par exemple la fréquence des signaux et le coût).



Figure 3. Résistance de montage en surface².



© Can Stock Photo

Figure 4. Résistance axiale³.

Le nombre de bandes est important, car il reflète la précision du composant. Le plus commun est le codage sur 4 bandes (Figure 5) décrit :

Bande 1 : premier chiffre significatif

Bande 2 : second chiffre significatif

Bande 3 : multiplicateur

Bande 4 : précision de la résistance.

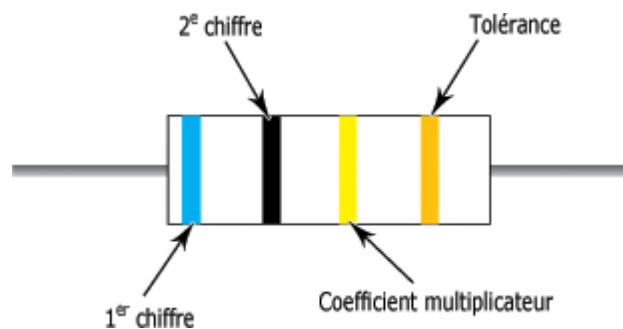


Figure 5. Résistance avec code de couleur⁴.

Les différentes couleurs des bandes sont attribuées à différents chiffres. Pour les premières bandes, le code suit le Tableau 1.

Tableau 1. Assignment des couleurs à un nombre.

Noir		0
Brun		1
Rouge		2
Orange		3
Jaune		4
Vert		5
Bleu		6
Violet		7
Gris		8
Blanc		9

Les scientifiques aguerris parmi vous retiendront que ce code de couleur n'est rien d'autre que le spectre de l'arc-en-ciel en partant du rouge jusqu'au violet. Le spectre de teintes est pris entre le noir et le blanc (qui sont les plus éloignés). Pour les autres étudiants plus pragmatiques, certaines comptines du genre « Notre BRasserie est Ouverte Jeudi et Vendredi, BienVenue Grand Buveurs » ou « Ne Brulez Rien Ou Je Vais Bruler Vos Gant Blanc » sont plus faciles à retenir. Pour un codage sur 4 bandes, les 2 premières indiquent la valeur de la résistance alors que la troisième est son facteur multiplicatif.

Pour leur part, les facteurs multiplicatifs sont décrits dans le Tableau 2. Tableau 2. Assignment des couleurs à un nombre.

Tableau 2. Assignment des couleurs à un nombre.

Noir		1 ou 10^0
Brun		10 ou 10^1
Rouge		100 ou 10^2
Orange		1k ou 10^3
Jaune		10k ou 10^4
Vert		100k ou 10^5
Bleu		1M ou 10^6
Violet		10M ou 10^7
Gris		100M ou 10^8
Blanc		1G ou 10^9
Or		0,1 ou 10^{-1}
Argent		0,01 ou 10^{-2}

Le code de couleur de la dernière bande définit la précision tel que présenté dans le Tableau 3.

Tableau 3. Définition de la précision en fonction de la couleur de la dernière bande.

Brun		1 %
Rouge		2 %
Orange		3 %
Jaune		4 %
Vert		0,5 %
Bleu		0,25 %
Violet		0,1 %
Gris		0,05 %
Argent		10 %
Or		5 %

Par exemple une résistance avec les 4 bandes :

brun, noir, rouge, or sera de valeur $10 \times 10^2 = 1 \text{ k}\Omega \pm 5 \%$

Pour un codage sur 5 bandes, les 3 premières bandes indiquent la valeur de la résistance alors que la quatrième est son facteur multiplicatif et la 5^e bande sa précision.

Par exemple une résistance avec les 5 bandes :

orange, orange, rouge, bleu et brun sera de valeur $332 \times 10^6 = 332 \text{ M}\Omega \pm 1 \%$

Les résistances possèdent une certaine précision. Cette précision indique la plage dans laquelle la résistance pourrait être. Par exemple, une résistance de 345 ohms avec une précision de 5 % variera entre 327,75 Ω et 362,25 Ω .

Une résistance d'une meilleure précision se répercute directement sur son coût. Avec le temps, les ingénieurs ont développé des techniques pour utiliser principalement des résistances 10 %, 5 % et 1 %. Il est extrêmement rare d'avoir besoin de résistances avec des précisions inférieures à 1 %. L'art de la conception électronique est de faire des systèmes électroniques précis avec des composants imprécis. Vous découvrirez ces techniques dans les prochaines années.

Il arrive que l'ordre des bandes soit difficile à déterminer (surtout s'il n'y a pas de bande *or* ou *argent*). La bande la plus large indique généralement la 1^{ère} bande. Si les bandes ont la même largeur, la bande à l'écart des autres représente généralement la précision. Lorsque vous n'êtes pas certains d'une valeur, il faut se replier sur le multimètre.

Les résistances ne sont pas disponibles dans toutes les valeurs possibles. Autant pour la production que pour la distribution, ce serait impensable. Certains standards ont été adoptés, les valeurs disponibles ont été choisies en fonction de la précision de la résistance. Par exemple, la série E24 est composée de 24 valeurs pour la précision de 5 %.

E24 : 100 – 110 – 120 – 130 – 150 – 160 – 180 – 200 – 220 – 240 – 270 – 300

330 – 360 – 390 – 430 – 470 – 510 – 560 – 620 – 680 – 750 – 820 - 910

Chaque valeur est disponible pour chaque puissance de 10 (i.e pour chaque couleur de la 3^e bande d'une résistance à 4 bandes).

La sélection d'une résistance comporte 4 éléments et ce sont ces 4 éléments que nous recherchons pour compléter un BOM :

RES 390K OHM 1/10 W 5% 0805ⁱ.

- 390 kOhms est la valeur choisie pour réaliser une fonction précise en fonction d'équation ou de fiche technique. La valeur calculée de la résistance n'est habituellement pas disponible dans les résistances standards. Il faut en sélectionner une à partir du standard, mais pour cela, il faut estimer l'effet des variations potentielles des résistances sur la fonctionnalité du circuit sous conception. C'est ici que votre expertise peut devenir cruciale.
- 1/10 W indique la capacité de dissipation de chaleur du boîtier. Il faut s'assurer que la puissance dissipée soit inférieure à la capacité du boîtier. Nous y revenons plus loin dans ce document.
- 5% représente la précision de la résistance. Dans les circuits, nous allons nous assurer que cette variation ne viendra pas affecter le fonctionnement du circuit. Nous tentons, autant que possible, de choisir les résistances 5 %, car leur coût est moindre. Ainsi, tous les circuits de polarisation (exemple résistance de pull-up d'une DEL), seront réalisés avec une résistance 5 % où nous allons nous assurer que la valeur extrême de la précision du boîtier permettra encore de rencontrer les spécifications recherchées. Nous allons habituellement utiliser les résistances 1 % dans les circuits de filtrage où des facteurs de qualité sont élevés, ce qui n'est pas le cas de notre problématique.
- 0805 désigne la taille (80 millièmes par 50 millièmes de pouce) de boîtier. Ce dernier est choisi à la fois pour des considérations techniques, car il doit dissiper adéquatement la chaleur qu'il produit et des considérations pragmatiques liées aux pratiques de l'entreprise pour laquelle vous travaillez. Dans ce dernier cas, le choix du boîtier sera réalisé en fonction des technologies accessibles : il existe des composants avec des pattes traversant le circuit imprimé (*through hole* en anglais), ou à montage en surface (*surface mount technology* ou *SMT* en anglais). Les *through holes* dissipent plus facilement la chaleur alors que les boîtiers *SMT* sont mieux adaptés pour la miniaturisation. La section 4 vous expliquera comment évaluer la puissance dissipée. Cependant, il est possible de revenir à la planche à dessin et de réduire la puissance dissipée des résistances par une conception appropriée. Au niveau des boîtiers de montage en surface, il existe quelques standards de grosseurs, s'exprimant en fonction de leurs dimensions physiques. Un boîtier 0805 sera de 80 millièmes de pouce par 50 millièmes de pouce. Il est aussi possible d'exprimer le boîtier en format métrique : un boîtier impérial 0805 sera équivalent à un boîtier 2012 en métrique (2,0 mm x 1,2 mm).

ⁱ Note, 0805 est un boîtier standard de type montage en surface. Dans le cas de l'APP, nous disposons de résistances ¼ W en format *Through hole*.

2.2. LES CONDENSATEURS

Les composants électroniques nécessitent une tension d'alimentation pour fonctionner. Par exemple, le composant U1 est alimenté par une tension 5 V. Les composants électroniques peuvent être plus ou moins sensibles aux variations de leurs alimentations. Comme les condensateurs sont des dispositifs qui s'opposent aux variations de tension, ils seront utilisés afin de stabiliser la tension continue. Nous retrouverons toujours à l'entrée des circuits imprimés un condensateur avec une grande capacité énergétique. Il sert de *réservoir* au cas où il y aurait des demandes de courants importantes. Ces demandes auraient pour effet de faire chuter la tension des alimentations lorsque la source de tension ne pourrait fournir à la demande.

Dans notre cas, le condensateur C1 de 33 μF ⁱⁱ joue ce rôle. D'autres condensateurs plus petits sont distribués un peu partout dans le circuit. En réalité, chaque alimentation d'un circuit intégré possèdera son condensateur de découplage. Bien que localisés près de C1 dans le schéma, les condensateurs C2, C3, et C4 de 0,1 μF , sont en réalité localisés physiquement près de U1, U2 et U3 dans le circuit afin de minimiser la longueur des fils et de leurs effets inductifs parasites indésirables. Leur rôle est un peu différent de celui de C1. Ces petits condensateurs ont la particularité de mieux filtrer (absorber) les variations rapides de courant, mais ne sont pas capables de fournir une charge à long terme comme C1. Localiser ces condensateurs près des circuits intégrés augmente leur capacité à stabiliser localement leur alimentation. Attention, les condensateurs ne sont pas tous identiques. Certains doivent être en céramique et d'autres en polyester. Il ne faut pas les mélanger puisque ceux en polyesters ont une meilleure précision (et coûtent plus cher évidemment ...) et sont utilisés pour des raisons spécifiques comme le filtrage de signaux, tandis que ceux en céramique, moins précis et moins chers, sont utilisés pour le découplage (stabiliser les alimentations).

Il existe plusieurs familles de condensateurs. Certains, dits non-polarisés, peuvent être branchés sans attention particulière à la polarité +/- du voltage appliqué à leurs bornes (par exemple, les condensateurs en céramique) (Figure 6). D'autres condensateurs ne fonctionnent bien uniquement si la polarité est respectée; dans ce cas, la patte positive (pour les condensateurs tantale) ou négative (pour les condensateurs électrolytiques comme celui de la Figure 7) est identifiée. Ainsi, sur le schéma électrique, vous retrouverez à quelques endroits le symbole (+) près de certains condensateurs. Ce symbole représente un condensateur polarisé et indique qu'il faut faire attention à le mettre dans le bon sens lors du montage. Par exemple, la borne (-) du condensateur C1 sera placée sur la tension 0 V qui est plus basse que la tension 5 V. Un condensateur polarisé dont la polarité n'est pas respectée risque de littéralement exploser, parfois même après des minutes de fonctionnement présumé normal.

ⁱⁱ Bien que nous soyons tentés de dire 1 millifarad plutôt que mille microfarads, vous vous apercevrez que les condensateurs sont généralement exprimés en microfarad.



Figure 6. Condensateur céramique ne nécessitant aucune polarisation. Il peut être branché dans n'importe quel sens⁵.



Figure 7. Condensateur électrolytique nécessitant d'être polarisé : La patte la plus courte est la borne (-)⁶, le signe – est écrit sur le côté.

La sélection d'un condensateur se caractérise par 5 éléments recherchés pour compléter un BOM :

CAP CER 0,1 UF 10% 50 V NPO RADIAL

- CER : indique la technologie du condensateur. Il en existe plusieurs : aluminium, électrolytique, céramique, tantale, polyester. Dans ce cas précis, CER indique une technologie céramique. La technologie utilisée est fonction du coût, de la précision, leur caractéristique fréquentielle et de caractéristiques internes. Pour l'APP1, les choix se limitent aux condensateurs électrolytiques et céramiques pour les alimentations et polyesters pour les applications nécessitant des condensateurs plus précis. Les étudiants en GE approfondiront cette sélection dans les années à venir.
- 0,1 uF : indique la valeur de la capacité. Cette valeur est calculée en fonction d'équation ou de fiches techniques.
- 10% : c'est la précision nominale du condensateur. En plus de cette variation statistique, la valeur du condensateur varie en fonction de sa tension de polarisation et de la température.
- 50 V : représente la tension maximale que peut soutenir le condensateur. Au-delà de cette tension, il peut littéralement **exploser**. Le choix de cette valeur est réalisé en fonction de la tension maximale appliquée au condensateur plus une marge de sécurité. Par exemple, on utilisera des condensateurs de 25 V pour des tensions allant jusqu'à 15 V environ. Pour les condensateurs utilisés près des composants électroniques, on regardera la tension d'alimentation du composant sachant que la tension appliquée au condensateur ne devrait pas dépasser cette valeur. Par exemple, le 556 opérera à 5 V. Les condensateurs l'entourant comporteront une tension de claquage > 15 V.
- NPO : réfère à la stabilité thermique du condensateur. Ces derniers peuvent avoir d'énormes variations en fonction de la température. NPO est un condensateur qui ne varie pas en fonction de la température. Il existe d'autres acronymes où X7R et Z5U sont les plus communs. La liste suivante résume les caractéristiques des condensateurs :
 - X8R (-55/+150, $\Delta C/C0 = \pm 15\%$),
 - X7R (-55/+125 °C, $\Delta C/C0 = \pm 15\%$),
 - X6R (-55/+105 °C, $\Delta C/C0 = \pm 15\%$),
 - X5R (-55/+85 °C, $\Delta C/C0 = \pm 15\%$),
 - X7S (-55/+125, $\Delta C/C0 = \pm 22\%$),
 - Z5U (+10/+85 °C, $\Delta C/C0 = +22/-56\%$),
 - Y5V (-30/+85 °C, $\Delta C/C0 = +22/-82\%$).

Certaines compagnies n'utilisent pas cette nomenclature et il faut vérifier la fiche technique pour s'assurer que le condensateur réponde à nos besoins en tout temps.

- Radial : Représente le boîtier. Tout comme pour les résistances, le boîtier est important pour faciliter le montage des circuits. Actuellement, les condensateurs en montage en surface sont privilégiés pour leur plus faible coût. Dans le cas de l'APP, nous allons utiliser des boîtiers de type radial, car nous allons les souder à la main.

2.3. LA DIODE

Le diode D1 est une diode de protection. Leur rôle est d'empêcher de faire sauter l'électronique au cas où l'utilisateur brancherait les sources de tension à l'envers. La particularité de la diode est de laisser passer le courant dans un seul sens. Ainsi le courant peut s'écouler dans la diode D1 depuis le connecteur vers la série de condensateurs C1, C2, C3 et C4, ainsi que le restant du circuit

Le comportement de la diode est un peu plus complexe que le simple modèle du *sens unique pour le courant*, mais cette description est suffisante pour l'APP1. Le comportement complet des diodes sera couvert lors d'un APP plus tard en S1. Dans le cadre de l'APP1, considérez toujours les diodes avec ce modèle simple, c'est-à-dire aucun courant possible en polarité inverse et perte de tension constante de 0,7 V en polarité directe.

2.4. LE POTENTIOMÈTRE

Un potentiomètre est une résistance variable basée sur un déplacement mécanique d'un curseur. La valeur d'un potentiomètre indique sa résistance totale maximale. Ainsi, si vous sélectionnez un potentiomètre de 10 k Ω , cette résistance se retrouvera entre les 2 bornes situées aux extrémités du potentiomètre (bornes A et B de la Figure 8).

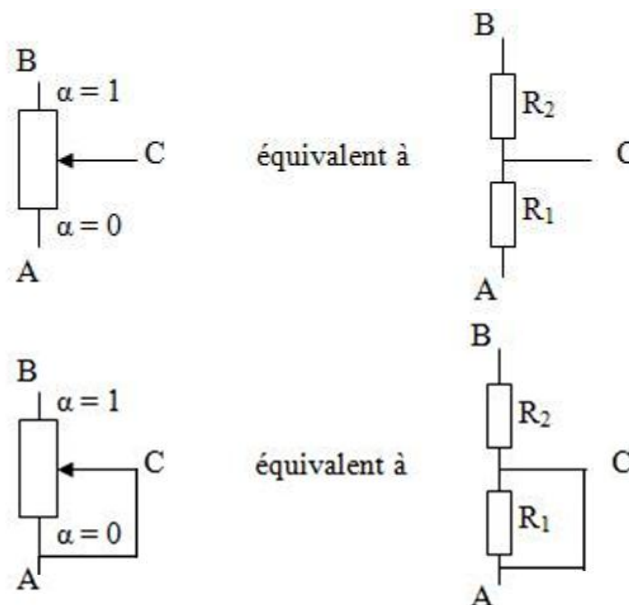


Figure 8. Schéma équivalent du potentiomètre selon 2 modes de branchement⁷

Le déplacement mécanique permettra de séparer la résistance totale en 2 résistances (R_1 et R_2) dont la somme des valeurs en Ohms est toujours égale à la valeur du potentiomètre. Cette division de la résistance est disponible sur la borne C. Si on suppose que nous avons un potentiomètre de 10 k Ω , le glissement du curseur permettra de faire varier la résistance R_1 entre 0 Ω et 10 k Ω dans notre exemple. Inversement, R_2 passera de 10 k Ω à 0 Ω pour le même déplacement de curseur.

On peut se servir d'un potentiomètre pour faire un diviseur de tension. En effet, si l'on fixe une tension sur la borne B et que l'on met 0 V sur la borne A, la tension qui apparaîtra sur C sera égale au ratio de $V_A = V_B \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$.

Une croyance commune d'étudiant en début de baccalauréat est de penser qu'il faut absolument brancher les 3 bornes d'un potentiomètre, ce qui est faux. Si on désire avoir seulement une résistance variable, il est possible de n'utiliser que les bornes A et C ou encore B et C. Le déplacement mécanique ne tient pas compte du fait qu'une borne soit branchée ou pas. Le potentiomètre n'est pas un composant "actif" comme un circuit intégré, c'est un composant passif.

2.5. LA DIODE ÉLECTROLUMINESCENTE

Les diodes D2 et D3 sont des diodes électroluminescente (DEL ou *light emitting diode* ou *LED* en anglais) [8]. Lorsqu'un courant s'écoule dans la DEL, une tension variante entre 1,5 et 2,5 V, selon la couleur de la DEL, apparaît à ses bornes et elle se met à émettre de la lumière. Sachant que la DEL est alimentée à 5 V et que le SN74HC74N (U3) pourra imposer une tension de ≈ 0 V à sa sortie, on vous demande de calculer la valeur de R4 et R9 pour avoir un courant d'environ 10 mA dans la DEL. Vous devez valider les valeurs de tension en direct permettant de faire allumer la DEL selon les fiches techniques pour les DEL rouge et verte. Vous en apprendrez plus sur le fonctionnement interne des diodes dans la session. Vous remarquerez que la DEL est mise en *pull-up*. C'est-à-dire qu'elle est branchée à l'alimentation positive et qu'un courant s'écoulera à l'intérieur de celle-ci quand une basse tension sera présentée à sa cathode (lire ici qu'elle sera allumée), donc lorsque la sortie du circuit intégré est à un niveau bas. Cette configuration est commune, car historiquement les circuits intégrés pouvaient tirer plus de courant que ce qu'ils pouvaient pousser. Remarquez alors que la DEL sera alors allumée en "logique inverse", c'est-à-dire lorsque la sortie de la bascule (SN74HC74N) est à zéro.

2.6. DIODE INFRAROUGE

Les diodes D4 et D5 sont des diodes infrarouges. Vous devez polariser la diode avec un courant de d'environ 25 mA pour avoir une puissance lumineuse suffisante. Comme la diode émet environ 50% du temps pendant sa période d'émission 50 ms, nous proposons d'augmenter le courant à 50 mA, ce qui fera un courant moyen de 25 mA. Vous devez valider la valeur de tension en fonction du courant dans la fiche technique. Le circuit SN74HC00 comporte quelques imperfections dont le fait que son niveau bas n'est pas tout à fait à 0 V, mais en réalité un peu plus haut. La valeur basse sera plutôt près de 0,5 à 0,7 V selon le courant drainé par le circuit. Il est important de prendre ceci en considération lors de vos calculs.

2.7. LES ALIMENTATIONS

La conception d'un circuit électronique exige d'apporter une source d'énergie pour que le circuit fonctionne. Dans notre cas, la source d'énergie est externe et provient d'une source de tension fixe, qu'on utilisera pour générer une tension de + 5 V par rapport à la référence (le "ground", "0V", "commun", "masse").

La “mise à la masse” / “mise à la terre” est une question de fiabilité ou de sensibilités des circuits. Plusieurs de vos collègues pourront vous dire qu’il n’est pas nécessaire de mettre la masse dans un circuit. Dans la plupart des cas, il n’y aura pas de problème fonctionnel. En mettant le circuit à la terre, on s’assure qu’il n’accumulera pas de charge statique par rapport à son environnement. Le fait de ne pas référencer votre circuit à la masse pourrait faire en sorte que les sources flottantes accumulent des charges statiques et bruits. Votre “circuit +/- 5V” pourrait très bien être centré à des centaines de volts par rapport au secteur.

2.8. LES CIRCUITS INTÉGRÉS

Le nom du circuit intégré est toujours indiqué dans un schéma réalisé selon les règles de l’art. Par exemple, U1 est un NE556P [9]. Notez qu’il existe plusieurs fabricants. Ainsi le composant 556 peut être appelé NE556, SE556, LM556 selon la compagnie qui l’a fabriqué. Les lettres ajoutées en suffixe, par exemple le « P » dans SE556P, indiquent le type de boîtier. « P » signifie un boîtier avec broches à travers le circuit imprimé (*Dual in-line* (DIP)) (Figure 9). Il existe aussi des boîtiers de montage en surface (*surface mount* (SMT)) (Figure 10).



Figure 9. Boîtier de type DIP¹⁰.

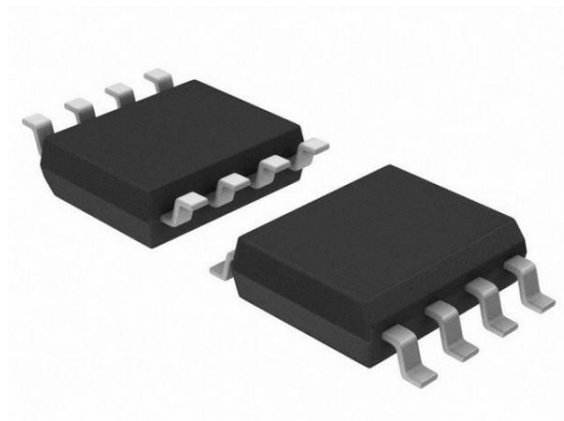


Figure 10. Boîtier de type SMT¹¹.

Habituellement, tous les fabricants vont utiliser la même numérotation des pattes pour un même type de boîtier ce qui fait en sorte que l’on peut changer un composant d’une compagnie pour celui d’une autre sans problème. Il peut cependant exister quelques caractéristiques différentes au niveau électrique, car la fabrication du dispositif n’est pas entièrement identique, mais les boîtiers sont généralement compatibles. Vous retrouverez sur le site WEB de l’APP1 SN 3 fiches techniques du NE556, celle du NE555 et celle du LM555 [12]. On utilisera un 556, mais ce dernier contient deux sous-circuits 555, c’est pourquoi nous suggérons d’utiliser les fiches techniques du 555 qui contiennent parfois plus d’informations ou parfois plus claires. Vous pourrez les comparer.

La patte 1 d’un circuit intégré est indiquée par un point (Figure 11). Il peut être blanc ou encore par une incrustation dans le boîtier de plastique soit au bout du boîtier soit localisé à la patte 1 directement. La numérotation se fait en sens opposé des aiguilles d’une montre lorsqu’on regarde le boîtier du dessus.

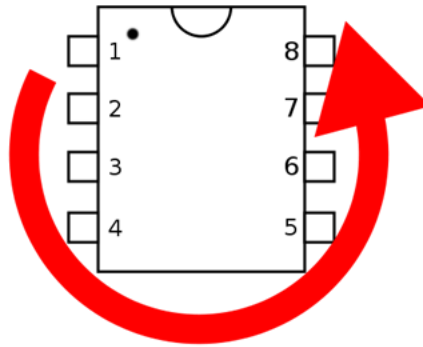


Figure 11. Numérotation de circuits intégrés¹³.

Sur le circuit imprimé, carte verte où on y soudera les pièces électroniques, une convention est que la métallisation de la patte 1 est d'une forme carrée alors que toutes les autres pattes seront rondes. Il y a parfois d'autres méthodes d'identification.

Lors du montage de prototypes sur circuit imprimé, il est possible de devoir changer un circuit intégré brisé. Pour faciliter le remplacement, on optera pour un connecteur tampon (de l'anglais Socket carrier) (Figure 12 gauche). Ce connecteur tampon est soudé sur le circuit imprimé et le circuit intégré est inséré dans ce connecteur (Figure 12 – droite). Cette pratique permet de changer rapidement un circuit intégré défectueux sans avoir à le dessouder. Il est recommandé d'utiliser cette option lors de la soudure de votre PCB. Vos compétences natives dans le domaine laissent entrevoir plusieurs heures de déverminages et plusieurs erreurs de débutant à tous les niveaux. Cette pratique pourra vous sauver plusieurs heures. Lorsque le circuit est fonctionnel et stable, le connecteur n'est plus utile et n'est pas assemblé en production de masse.

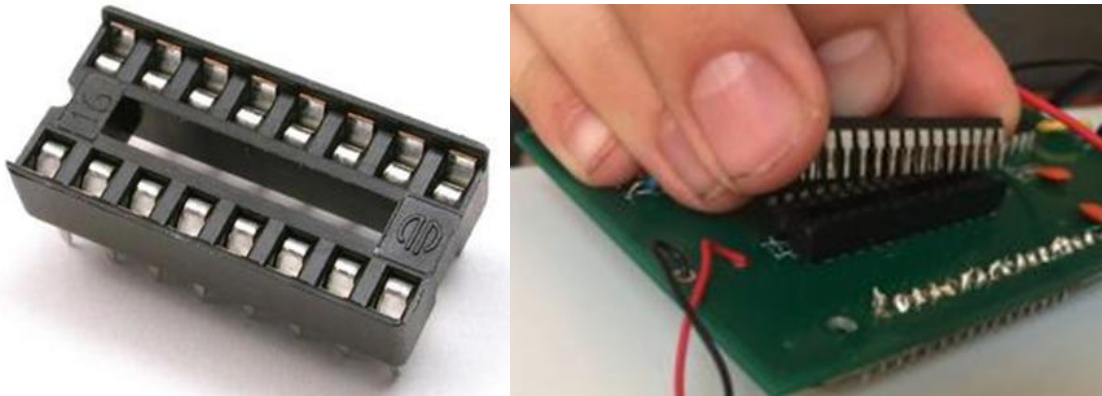


Figure 12. Le connecteur tampon (ou Socket) (gauche)¹⁴ est soudé sur le circuit imprimé et sert de réceptacle au circuit intégré (droite)¹⁵.

2.9. LE 556

Le circuit intégré 556 est un générateur d'onde carré dont le « duty cycle » est configurable à votre guise avec un choix judicieux de résistances. Il n'est ni plus ni moins qu'un comparateur avec une hystérésis (Figure 13) qui, lorsque la tension à son entrée *Threshold* dépasse un seuil correspondant à $2/3 V_{cc}$, soit la tension d'alimentation, la tension à sa sortie *Output* descendra à 0 V et lorsque la tension à son entrée *Threshold* atteindra un seuil bas correspondant à $1/3 V_{cc}$ la tension à sa sortie *Output* montera à sa tension d'alimentation. La sortie *Discharge*, quant à elle, sera à 0 V lors que la sortie *Output* est à 0 V, mais sera flottante lorsque la sortie *Output* est à la tension d'alimentation.

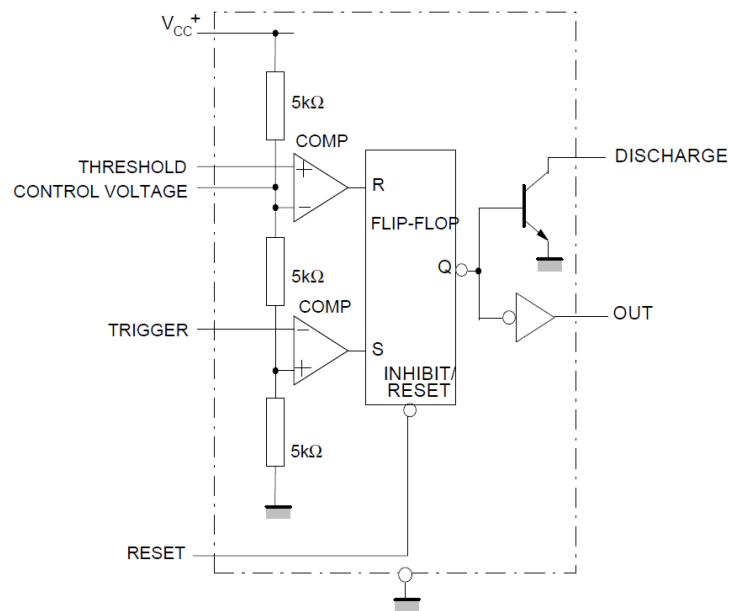


Figure 13. Schéma interne du circuit intégré ⁹.

Les circuits 555 et 556 peuvent être utilisés pour opérer en différents modes dont les modes astable et monostable (Figure 14), correspondant respectivement à la génération d'un signal cyclique (une onde carrée) et à une impulsion seule, dont les paramètres sont fixés par les composants externes (résistances et condensateurs) ainsi que les connexions.

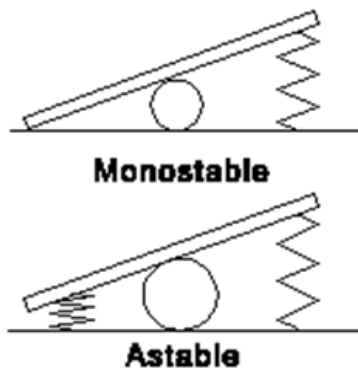


Figure 14. Schématisation d'une configuration monostable et astable

2.9.1. MODE ASTABLE

Afin de réaliser une horloge (c.a.d. que la sortie *Output* n'est jamais stable, donc astable), nous tirerons profit du temps de charge et de décharge d'un circuit composé d'une résistance ou de résistances en série avec un condensateur (ex. R_a , R_b et C dans la Figure 15).

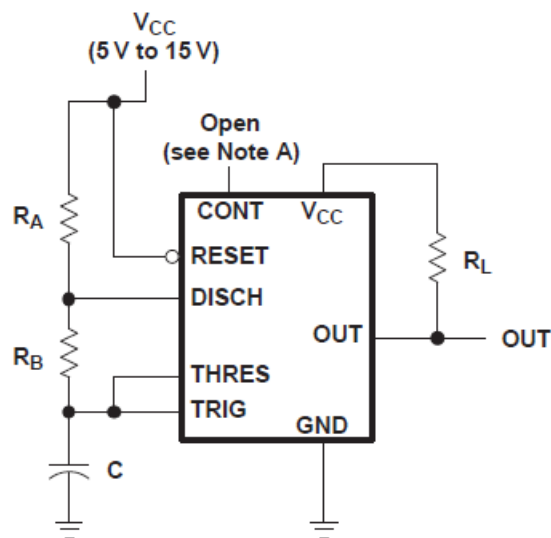


Figure 15. Montage en circuit astable¹².

Une fois sous tension, le condensateur C se chargera jusqu'à $2/3$ de V_{cc} , à ce moment, la sortie *Discharge* localisée à la patte 7 et la sortie *Output* tomberont à 0 V et forceront le condensateur C à se décharger. Lorsque la tension aux bornes de C aura atteint $1/3$ de V_{cc} , la sortie *Discharge* deviendra flottante (donc aucun courant n'y entrera ou n'en sortira), la sortie *Output* montera à la tension d'alimentation et le condensateur se chargera à nouveau. Le cycle recommence ainsi indéfiniment. La vitesse de charge et de décharge se contrôle en fonction des résistances R_a et R_b . Différentes combinaisons donneront différentes vitesses de charge et de décharge, donc différentes vitesses d'horloge. La forme d'onde générée aux bornes du condensateur aura alors la forme d'une exponentielle (Figure 16).

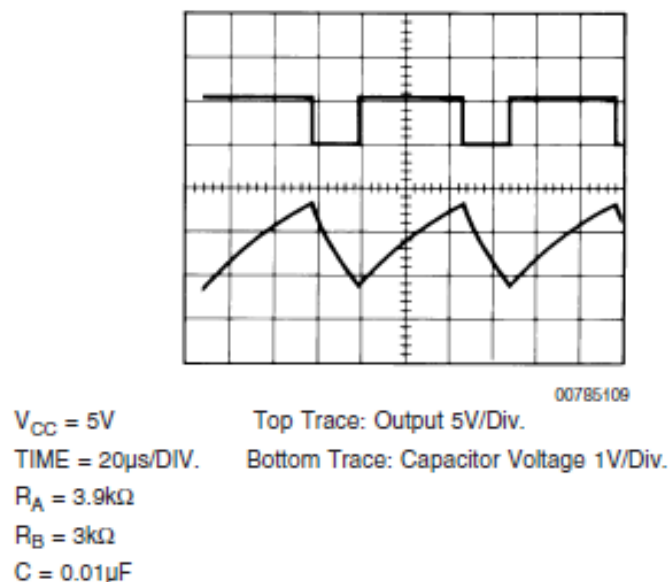


Figure 16. Sortie (trace du haut) et charge et décharge d'un réseau R-C (trace du bas).

L'intérêt de connaître les formes d'ondes sur les composants autour du circuit intégré est qu'il est possible, connaissant les tensions minimums et maximums ainsi que la fréquence du signal, de déterminer théoriquement la puissance dissipée dans chacun des composants l'entourant.

Les fiches techniques du NE555 et du LM555 vous indiquent un mode spécial d'astable où le rapport cyclique est de 50 % (normalement impossible à obtenir dans la configuration normale de l'astable). Cette configuration sera détaillée dans la section 2.9.3. Ce mode n'est pas décrit dans les fiches techniques du NE556, cependant, la configuration et les équations décrites dans les fiches techniques du NE555 et du LM555 sont valides pour le 556.

2.9.2. MODE MONOSTABLE

Le mode monostable est un mode où un seul état est stable (c.-à-d. l'état de repos). Lorsqu'un front descendant est observé à l'entrée *Trigger*, la sortie *Output* passera à l'état haut, la sortie *Discharge* deviendra flottante et le condensateur pourra se charger. Lorsque le condensateur atteindra $2/3$ de V_{cc} , la sortie *Discharge* court-circuitera le condensateur, le déchargeant rapidement, et la sortie *Output* retombera à 0 V. Le système sera stable dans cet état jusqu'au prochain « *Trigger* ». On pourra contrôler la durée de l'impulsion présente à la sortie *Output* en contrôlant la vitesse de charge du condensateur à l'aide de la résistance.

Le mode monostable se présente sous deux configurations : avec ou sans réenclenchement. Il est possible, via les connexions de certaines broches, de décider si une deuxième impulsion sur « *Trigger* » est ignorée pendant qu'une impulsion de sortie est déjà en cours, ou si la temporisation de l'impulsion de sortie est réinitialisée. Référez-vous à la fiche technique pour plus de détails.

2.9.3. LE GÉNÉRATEUR D'ONDES CARRÉES BASSE FRÉQUENCE

Dans le cadre de l'APP, ce module sert à générer une onde carrée 0 – 5 V d'une fréquence de 10 Hz à l'intérieur des précisions demandées dans la Figure 1. Le circuit sera basé sur un 556 opéré en mode astable. La topologie sélectionnée est la seule permettant d'obtenir une onde carrée avec un rapport cyclique de 50 %. Vous la retrouverez dans les fiches techniques du NE555 et du LM555 dans la section *50 % duty cycle*. Vous devez calculer les résistances R3 et R5 et le condensateur C5 qui permettront d'obtenir approximativement les caractéristiques désirées. Il sera, en effet, très difficile d'obtenir la précision fréquentielle désirée avec des résistances précises à 5 % et des condensateurs précis entre 10 % et 20 %. Pour cette raison, un potentiomètre a été ajouté en série avec VR1. Il pourra ajuster la fréquence et le rapport cyclique du circuit. Vous devrez choisir R3 en tenant compte du potentiomètre que vous aurez sélectionné; c'est-à-dire que vous devrez retrancher la demi-valeur du potentiomètre de la valeur totale de R3 calculée.

Vous verrez que le calcul des résistances et du condensateur dans cette topologie ne peut pas se résoudre analytiquement, car il y a trop d'inconnues, pas assez de contraintes. L'approche est de simplifier les calculs en fixant certains paramètres. Par exemple, on pourrait supposer que $R3 = R5$. Il ne faut cependant pas fixer trop de paramètres, car la résolution des équations peut mener à des incongruités. Une approche souvent utilisée est de fixer d'abord la valeur des condensateurs et de calculer les résistances ensuite. Le raisonnement derrière cette approche vient du fait que le choix des valeurs des condensateurs est relativement limité alors que le choix des résistances est beaucoup plus flexible. Ainsi, les concepteurs fixeront la valeur des condensateurs à des valeurs très utilisées comme 1 nF, 10 nF, 100 nF, 1 μ F ou encore 10 μ F et calculeront les résistances appropriées à partir des équations contenues dans les fiches techniques. Plusieurs options sont ainsi possibles, mais certaines seront éliminées d'office par exemple lorsque les calculs mèneront à des résistances $< 50 \Omega$ ou $> 1 M\Omega$. En deçà de 50Ω , la résistance des interconnexions (soudure, fils) de la plaquette ou du circuit imprimé influence le circuit et il est difficile de faire un circuit avec un comportement prédictible. En haut de $1 M\Omega$, les courants deviennent très faibles à des tensions d'alimentation ≈ 5 V et peuvent être influencés plus facilement par les ondes

électromagnétiques environnantes; ce qui se traduit par une possibilité de fonctionnement erratique du circuit. Notez que tout appareil électronique émet des ondes électromagnétiques perturbatrices. Par exemple, voici une liste des appareils qui se trouveront près de votre circuit dans le laboratoire et qui peuvent influencer votre circuit : cellulaire, ordinateur, bloc d'alimentation (PC, cell, etc), écran d'ordinateur, générateur de fonctions, oscilloscope, multimètre, fluorescents...

Les valeurs de résistances doivent faire partie de la série E24 disponible en libre-service aux locaux C1-3018 et C1-3024. Pour le condensateur vous avez dans votre sac de pièces trois valeurs possibles pour vos calculs (1 nF, 10 nF et 1 uF).

Dans le cas de la topologie sélectionnée, une difficulté supplémentaire apparaît. Il faut résoudre une fonction transcendante. La façon de résoudre cette fonction est expliquée dans la section 5 de cette annexe.

2.9.4. GÉNÉRATEUR D'ONDES CARRÉES HAUTE FRÉQUENCE

Le générateur d'ondes carrées haute fréquence se base sur le même circuit 556. Cependant, la topologie utilisée dans ce cas-ci est plus répandue que pour la topologie du générateur basse fréquence et peut être trouvée dans toutes les fiches techniques du 556. Cette architecture ne permet pas un rapport cyclique exactement de 50 %, mais notre application n'en souffrira pas. Utilisez une approche de conception similaire au générateur d'ondes carrées basse fréquence à l'exception que les équations pourront être résolues analytiquement en fixant la valeur du condensateur C8. Pour le condensateur, vous avez aussi les mêmes trois valeurs possibles pour vos calculs dans votre sac de pièces (1 nF, 10 nF et 1 uF).

Attention, dans la fiche technique l'équation du rapport cyclique est décrite comme étant le temps off sur la période totale et non l'inverse, qui est souvent utilisé (Figure 17).

The charge time (output high) is given by:

$$t_1 = 0.693 (R_A + R_B) C$$
And the discharge time (output low) by:

$$t_2 = 0.693 (R_B) C$$
Thus the total period is:

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 (R_A + 2R_B) C$$
The frequency of oscillation is:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_A + 2 R_B) C}$$
Figure 6 may be used for quick determination of these RC values.
The duty cycle is:

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B} = \frac{t_2}{t_1 + t_2}$$

Figure 17. Équations de la fiche technique du LM555².

2.10. PORTE LOGIQUE

Le circuit intégré SN47HC00N comporte 4 portes logiques « non et » (NAND). Il existe trois types de circuit logique (« et », « ou » et « ou exclusif ») en plus des inverseurs qui permet de faire une porte « non et », (Figure 18). Nous apprendrons plus tard dans le baccalauréat le fonctionnement de chacun des types de portes et leur agencement pour en faire un circuit complexe.

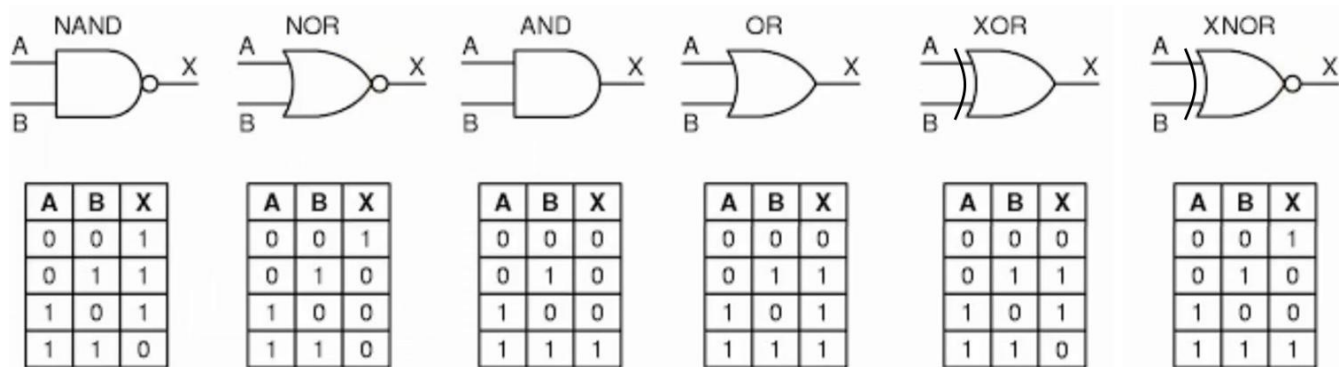


Figure 18 : Description des portes logiques

La fiche technique fournie sur la page web indique la logique du circuit et la distribution des pattes pour les 4 portes. C'est à vous de faire l'attribution des pattes pour arriver à faire fonctionner le circuit comme demandé.

Il est à noter que les circuits intégrés sont très sensibles aux bruits électromagnétiques. Il est donc une bonne pratique de brancher les entrées non utilisées à la masse et des laisser flottant (non connecté) les sorties non utilisées.

2.11. LE CIRCUIT IMPRIMÉ

Le circuit imprimé (Figure 19) se compose de 2 couches de métallisation (dessus, dessous). De façon globale, les petits composants (résistances et condensateurs) sont regroupés autour du circuit intégré auquel il est associé. L'entrée principale des alimentations + 5 V et 0 V est sur le connecteur J1 (voir sérigraphie sur PCB) en haut. De chaque côté, vous retrouverez des trous mécaniques dans lesquels vous pourriez insérer des vis afin de fixer le circuit à votre robot. Faites attention lors du montage à la polarisation des condensateurs et des diodes.

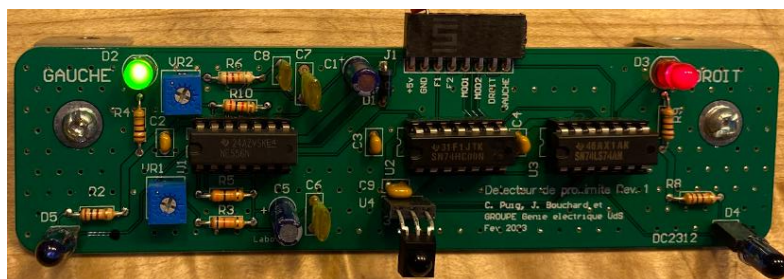


Figure 19. Le circuit imprimé.

3. LA LISTE DE MATÉRIEL OU BOM

Le terme BOM vient de l'anglais *Bill of Material*. Il s'agit de la liste des composants électroniques nécessaires à l'assemblage du circuit électronique. À partir de ce BOM, il est possible à un personnel de l'approvisionnement de commander les bons composants électroniques.

Le BOM de votre projet contient 8 colonnes dont : le type de pièce à commander (ex. 556), la référence sur le circuit imprimé (U1), le numéro du composant du fabricant (NE556N), le nom du fabricant (Texas Instrument), le numéro du composant chez le distributeur (296-6504-5-ND) ainsi que le nom du distributeur (Digi-key).

Vous remarquerez que la liste de matériel ci-dessous contient quelques lignes avec des symboles « ? ». Ce sont les composants que vous devez calculer et valider. Notez qu'il n'est pas obligatoire d'avoir des résistances $\frac{1}{4}$ W à ajouter au BOM, car il est possible que des $\frac{1}{10}$ W fassent l'affaire pour un coût moins cher. Justifiez le choix du boîtier en fonction de la puissance à dissiper dans votre rapport et/ou validation. Portez attention à toute l'information nécessaire pour réaliser une commande de composants électroniques. Toute cette information doit se retrouver facilement, car le service de l'approvisionnement pourrait se servir de cette dernière pour trouver un composant équivalent d'une autre compagnie.

Tableau 4. Liste de matériel de la problématique de l'APP1 à compléter.

No. de référence	Type	Description	Qt	Distributeur	No. du distributeur	Fabriqueur	No.
C1	Condensateur	Condensateur électrochimique polarisé (Radial) 33uF 25V	1	Digi-Key	P1550-ND	Panasonic Electronic Components	ECA-1EM330
C ?	Condensateur	Condensateur électrochimique polarisé (Radial) 1 uF 50 v	1	Mouser	710-860020672005	Würth Elektronik	710-860020672005
C2, C3, C4, C6, C7, C9	Condensateur	Condensateur céramique 0,1uF	6	Digi-Key	BC1084TR-ND - Tape & Reel (TR)	Vishay Beyschlag	K104K15X7RF5TL1
C ?	Condensateur	Condensateur polyester 0,001 uF	1	Digi-Key	493-14311-1-ND - Cut Tape (CT)	Nichicon	QYX1H102JTP3TA
C ?	Condensateur	Condensateur polyester 0,01 uF	1	Digi-Key	493-3455-ND	Nichicon	QYX1H103JTP
R2, R3, R4, R5, R6, R8, R9, R10	Résistance	À calculer	8	?	?	?	?
D1	Diode	Diode 1 Amp	1	Digi-Key	4878-1N4007TR-ND - Tape & Reel (TR)	Diotec Semiconductor	1N4007
D2	Diode	DEL verte	1	Digi-Key	754-1263-ND	Kingbright	WP7113GD
D3	Diode	DEL rouge	1	Digi-Key	754-1264-ND	Kingbright	WP7113ID
D4, D5	Diode	Support 2 pattes	2	Digi-Key	SAM1213-02-ND	Samtec Inc.	SSW-102-01-T-S
D4, D5	Diode	Diode Infrarouge	2	Digi-Key	751-1204-ND	Vishay Semiconductor Opto Division	TSAL6200
J1	Connecteur	Connecteur, 8 broches	1	Mouser	200-SSW10802TSRA	Samtec Inc.	SSW-108-02-T-S-RA
TP1	Point de test	Point de test	1	Digi-Key	36-5011-ND	Keystone Electronics	5011
U1	Circuit intégré	Dual Precision Timer	1	Digi-Key	296-6504-5-ND	Texas Instruments	NE556
U2	Circuit intégré	Porte logique quadruple 2 entrées	1	Mouser	595-SN74HC00N	Texas Instruments	SN74HC00N

NAND

U3	Circuit intégré	Bascule D double	1	Digi-Key	296-1602-5-ND	Texas Instruments	SN74HC74N
U1 U2 U3	Support	Support DIP	3	Digi-Key	1-2199298-3 A 14-LC-TT	TE connectivity Assmann WSW connectivity	571-1-2199298-3
U4	Capteur	Récepteur infrarouge	1	Digi-Key	751-1385-5-ND	Vishay Semiconductor Opto Division	TSOP34338
U4	Support	Support 3 broches	1	Digi-Key	SSW-103-01-T-S	Samtec Inc.	SSW-103-01-T-S
VR1, VR2	Potentiomètre	Potentiomètre 10k	2	Digi-Key	3362P-103LF-ND	Bourns inc.	3362P-1-103LF

4. ÉVALUATION THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA PUISSANCE CONSOMMÉE

Lorsqu'on fait la conception d'un circuit, il est important d'en évaluer la consommation totale de puissance ainsi que la puissance de chacun des composants. D'une part, la puissance consommée pour chacun des composants permet de choisir la dimension du boîtier et du mécanisme de refroidissement (radiateur, ventilateur, refroidisseur à l'eau, etc.) et d'autre part, la somme des puissances individuelles de chaque composant branché sur une alimentation permet d'estimer la puissance nécessaire aux régulateurs de tension et par extension de la puissance totale nécessaire au fonctionnement du circuit. Dans le cas de la problématique, nous sommes branchés directement sur une alimentation externe, ce qui ne cause pas de problème, mais ce n'est pas toujours le cas. Ce circuit est conçu pour être alimenté par la batterie de votre robot. Vous pouvez prendre exemple sur le chargeur de votre cellulaire, ordinateur portable ou autres appareils électroniques. Si votre circuit consomme beaucoup de puissance, vous allez avoir besoin d'un bloc d'alimentation plus gros que le simple port USB souvent utilisé dans ce genre d'appareil et les coûts fabrication/vente en seront plus élevés.

La puissance consommée s'évalue en 2 étapes. La première étape consiste à évaluer la puissance statique ; c'est-à-dire sans excitation du circuit. C'est la consommation dite *direct current* en anglais ou DC. La seconde étape consiste à évaluer la puissance dynamique. C'est la puissance lorsque le circuit est excité par une source qui varie dans le temps. C'est une consommation dynamique ou AC de l'anglais *alternating current*). Les prochaines sections couvrent ces aspects.

4.1. PUISSANCE MOYENNE STATIQUE

4.1.1. PUISSANCE MOYENNE STATIQUE CONSOMMÉE PAR LES RÉSISTANCES, CONDENSATEURS ET INDUCTANCES

Pour calculer la puissance moyenne d'une résistance il faut utiliser l'une des équations ci-dessous.

$$P = VI = RI^2 = V^2/R \quad (4-1)$$

Les capacités et inductances emmagasinent de l'énergie et la redonnent au circuit. Elles dissipent de l'énergie seulement par les pertes ohmiques. **Dans notre cas, ces pertes en DC sont négligeables et nous n'allons pas en tenir compte.**

Pour les pièces non-linéaires tels les diodes et les transistors, il faut appliquer l'équation: $P = VI$. Dans ce cas, il faut trouver la tension DC à laquelle opère le dispositif et déterminer le courant y passant. Par exemple, une diode de protection aura une perte de 0,7 V (section 2.3) lorsqu'un courant DC de 1 A y passe. La puissance DC est alors 0,7 W.

4.1.2. PUISSANCE MOYENNE CONSOMMÉE PAR LES COMPOSANTS COMPLEXES

Les circuits intégrés que vous utilisez (ex. 556), peuvent dissiper une puissance moyenne statique importante. Cette dissipation est fonction de la technologie dans lequel est fabriqué le circuit intégré, de la complexité des fonctions qu'il réalise et de sa tension d'opération, par exemple. Cette dissipation est nécessaire pour faire fonctionner les transistors qui composent les circuits intégrés dans le mode d'opération désiré. Évaluer la

consommation de ces composants peut devenir une aventure et il faut bien regarder la fiche technique du fabricant. Pour les 2 paragraphes suivants, ouvrez la fiche technique du 555 disponible sur le site WEB.

Prenons l'exemple du NE555 que vous n'utiliserez pas, mais qui est très semblable au NE556. À la page 3 de la fiche technique du NE555, le premier encadré indique les conditions maximales d'opérations (**Absolute maximum rating**) du 555. Entre autres, on voit que la tension maximale d'opération est +18 V, que la dissipation maximale du boîtier est de 1180 mW, que la température d'opération normale est de 0 °C à +70 °C et que la température d'entreposage est de -65 °C à +150 °C. Finalement, il contient quelques informations sur la façon de souder ce composant en fonction des boîtiers sélectionnés. Théoriquement, on ne doit jamais s'approcher des valeurs présentées dans cet encadré, car elles mèneront à la destruction du circuit intégré, si elles sont dépassées.

L'encadré des caractéristiques électriques (**Electrical Characteristics**) contient la plupart des informations recherchées dans notre quête de la puissance consommée. Entre autres, on peut y voir que le 555 peut fonctionner nominalement quand la tension d'alimentation (*Supply voltage* ou V_{cc}) varie entre 4,5 V et 16 V. On remarque que le 16 V est inférieur aux 18 V indiqués dans la section des conditions maximales d'opération. On peut aussi voir que le courant consommé, habituellement représenté par I_{cc} (c.-à-d. le courant consommé sur l'alimentation V_{cc}). Cela est valide si la charge R_L est infinie ; ce qui est normal, car si R_L n'est pas infinie, le 555 devra également fournir la puissance pour cette charge. Nous pouvons calculer une puissance moyenne statique variant entre 30 mW (5 V et 6 mA) et 225 mW (15 V et 15 mA). Cependant qu'arrive-t-il si nous opérons le 555 à une tension d'alimentation de 10 V, par exemple? N'ayant pas la réponse exacte dans la fiche technique, il est souvent raisonnable de faire une règle de 3 pour approximer la consommation. Nous arrivons à une différence de courant de 0,9 mA par volt ($((15 - 6) \text{ mA}) / (15 - 5) \text{ V}$) ce qui permet de calculer un courant de 10,5 mA pour une alimentation de 10 V. Donc, nous pouvons estimer la consommation à 105 mW dans cet exemple.

Les 2 exercices précédents ont mis en exergue que l'évaluation de la puissance moyenne statique n'est pas une chose triviale et qu'il faut une certaine interprétation des fiches techniques. En l'occurrence, le symbole utilisé pour les alimentations varie d'une fiche technique à l'autre. Selon les technologies utilisées les tensions d'alimentation peuvent avoir les symboles V_{cc} , V_{dd} , V_s et les courants consommés par ces tensions d'alimentation les symboles I_{cc} , I_{dd} ou I_s . Ces symboles sont tous équivalents.

Vous devrez donc refaire cet exercice pour le NE556 et le SN74HC00N.

4.2. PUISSANCE MOYENNE DYNAMIQUE

Dans la section précédente, nous nous sommes intéressés à la puissance moyenne dite *statique* ou *DC*. Il y a souvent aussi une certaine puissance moyenne dynamique ou *AC*, qui dépend d'un signal ou de l'état du circuit. Il faut réitérer que l'on recherche la puissance dissipée par le composant pour sélectionner son boîtier et par la suite évaluer la puissance nécessaire du système d'alimentation.

4.2.1. PUISSANCE MOYENNE DYNAMIQUE CONSOMMÉE PAR LES RÉSISTANCES, CONDENSATEURS ET INDUCTANCES

Dans le cas des résistances, la puissance moyenne dynamique s'évalue par l'estimation de la puissance efficace ou RMS (root mean square) : $P_{RMS} = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$. Les variantes $P_{RMS} = R \cdot I_{RMS}^2$ ou V_{RMS}^2 / R s'appliquent également. La difficulté consiste à évaluer V_{RMS} et I_{RMS} , car les formes d'ondes peuvent être complexes. Pour

trouver la puissance moyenne dynamique, il faut s'attarder à la forme de l'onde et, comme il a été mentionné précédemment, calculer la puissance en évaluant la tension RMS ou le courant RMS.

Voici un exemple :

La Figure 20 présente 2 exemples de signaux disponibles à la sortie d'un LM555 et pour lesquels, des puissances dynamiques peuvent être calculées, si cette tension est appliquée aux bornes d'une résistance. Dans le cas du signal du haut, il s'agit de réaliser l'intégrale d'une onde carrée mise au carré tel que présenté dans les exercices de l'APP1. Alors que dans le cas du bas, il s'agit de réaliser le calcul d'une double exponentielle mise au carré. Cette dernière (en noir) peut être approximée par des droites proposées (en vert).

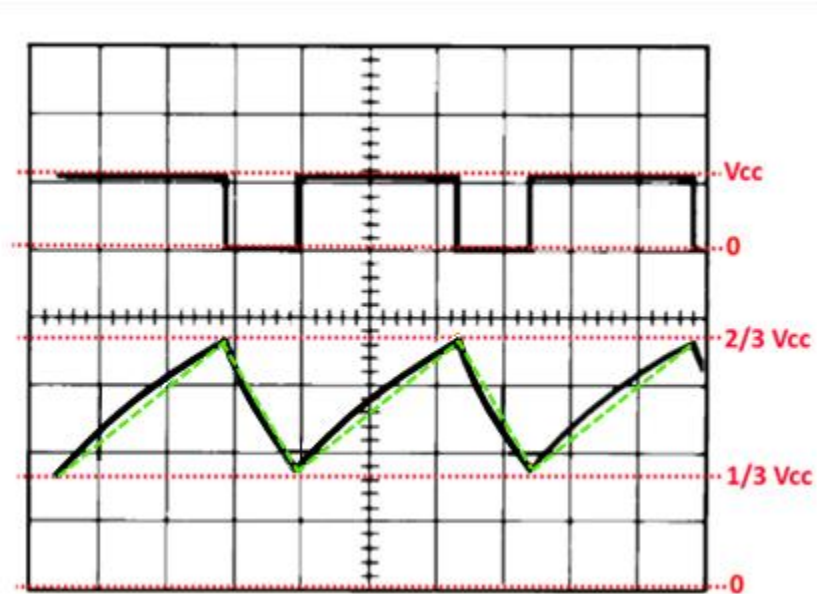


Figure 20. Figure 5 tirée de la spécification technique LM555³.

Explication du raisonnement :

Les calculs de l'intégrale de la double exponentielle peuvent s'avérer non triviaux et il est impératif de pouvoir estimer si l'ordre de grandeur de la puissance est exact. On propose 2 approximations successives pour réaliser cette estimation. La première est un calcul de plafonnement de la puissance en supposant que le composant est excité par une tension continue égale à la plus haute tension alternative (AC) appliquée sur le composant. Par exemple, si une résistance est excitée par une onde carrée de ± 2 V, on peut déjà savoir que la puissance dissipée sera nécessairement inférieure à $4^2/R$. Cette pratique calcule une borne supérieure et permet une première validation de la puissance dissipée par un composant. Dans la forme d'onde du haut de la Figure 20, la borne supérieure de puissance dissipée serait V_{cc}^2/R alors que pour la figure du bas, ce serait $(2/3 V_{cc})^2/R$. On peut raffiner l'approximation des exponentielles en les remplaçant par des droites (en vert). À ce moment, le calcul de l'intégrale demeure simple et s'approche du calcul de l'intégrale des exponentielles.

Pour les férus de mathématiques avancées, il est aussi possible de résoudre les doubles exponentiels, mais à un coût en temps et en effort qui ne valent pas souvent la peine. Ce sera votre travail d'ingénieur plus tard d'estimer si ce travail est pertinent. Dans la pratique courante en électronique, on va rapidement borner la puissance dissipée, puis raffiner pour calculer rapidement un estimé assez juste de la puissance dissipée ou encore la vraie puissance dissipée si la forme d'onde est simple, puis nous allons nous donner une marge de sécurité. Cela permettra de se donner confiance dans les résultats obtenus. Nous ne nous attendons pas à ce que vous résolviez

une double exponentielle pour le calcul de puissance. Une estimation avec marge de sécurité raisonnable est suffisante.

Exemple de signaux du circuit de l'APP :

La Figure 21 montre un exemple de signaux pris sur le circuit réel de l'APP. Les signaux bleu et jaune proviennent des deux sondes d'oscilloscope mises aux bornes d'une résistance. Le signal en rouge est la soustraction de la courbe jaune et bleue, il représente la différence de potentiel dans le composant. On vous laisse trouver de quelle résistance il s'agit et comparer vos résultats.

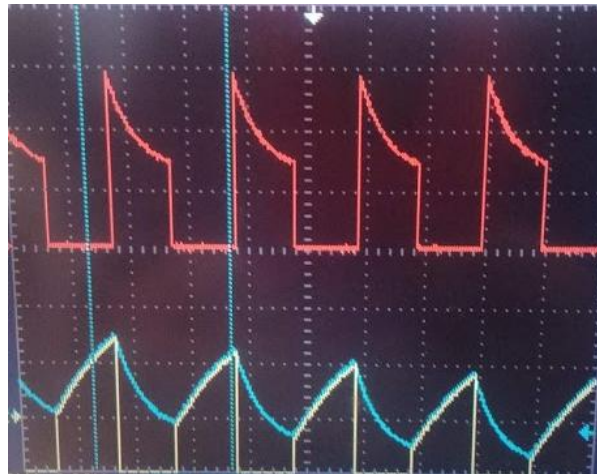


Figure 21 : Signaux réels de différence de potentiel dans une résistance du circuit de l'APP

Vous aurez à mesurer les signaux des différences de potentiels dans chacune des résistances, puis simplifier les signaux mesurés et ensuite calculer la puissance moyenne dynamique consommée. Ici, il est possible de simplifier le signal rouge en remplaçant la partie courbe décroissante par une droite.

4.2.2. PUISSANCE MOYENNE DYNAMIQUE CONSOMMÉE PAR LES COMPOSANTS COMPLEXES

L'unique façon d'évaluer la puissance moyenne dynamique de composants complexes est de se référer à la fiche technique. Quand cette information est disponible, les fabricants la fournissent dans les caractéristiques électriques en fonction de la fréquence d'opération du dispositif. Nous ne disposons pas de cette information dans les fiches techniques et nous allons devoir négliger cette puissance moyenne dynamique de nos calculs. Cependant, aux fréquences où nous opérons (c.-à-d. dans l'ordre du kHz), cette consommation est habituellement extrêmement faible. Elle deviendra plus importante lorsque vous utiliserez des circuits opérant à plusieurs dizaines de kHz et très importantes dans les centaines de MHz.

4.3. PUISSANCE TOTALE CONSOMMÉE D'UN CIRCUIT OU D'UN SOUS-CIRCUIT

Cette section regroupe les informations décrites précédemment et s'adresse à votre cas plus spécifique où vous devez évaluer la puissance consommée de l'émetteur. Pour ce faire, vous devez calculer indépendamment la puissance de tous les composants du circuit selon les méthodes décrites précédemment. Tel que mentionné, **ne tenez pas compte des condensateurs** puisque ceux-ci ne consomment pas de courant comme les pièces actives

(circuit intégré) et n'ont pas de pertes significatives en chaleur due au courant qui les traverse comme les résistances, diodes et transistors.

Pour le calcul de la puissance consommée par le 556, vous devez trouver, dans la fiche technique, les informations concernant les tensions et courants d'alimentation. Il est à noter que ce travail pourrait être fait en vue de concevoir une source d'alimentation ou de calculer le temps de fonctionnement sur piles, il est donc préférable de calculer la valeur maximale de puissance (I_{MAX} et V_{MAX}) pour éviter tout problème par la suite. Vous devez aussi calculer la puissance consommée par les autres pièces de cet étage de circuit.

Pour les résistances, la puissance consommée est $P = V^2 / R$. Il faut donc déterminer la valeur de V . Les graphiques de la fiche technique du NE555 fournissent plus d'explications sur les signaux de chaque patte. La Figure 20 ci-haut présente deux traces : celle du haut étant la sortie et celle du bas, la tension du condensateur en fonction du temps. Réalisez les approximations successives décrites précédemment pour assurer des ordres de grandeur.

Par la suite, vous devez calculer les tensions aux bornes des résistances en soustrayant les tensions à leurs 2 bornes. En occurrence, une des 2 bornes est branchée à V_{CC} et il faut calculer la valeur RMS de V_{CC} moins le tracé de la Figure 20 ci-haut. Puisqu'il s'agira de tension variant dans le temps, il faudra calculer les tensions efficaces (V_{RMS}) en calculant l'intégrale exacte ou son approximation à la main. Si vous avez de la difficulté à comprendre quelle est la tension dans chacune des résistances entourant le 556 à partir de sa fiche technique (c.f. Figure 20 ci-haut), vous pouvez faire des mesures à l'aide de deux sondes d'oscilloscope pour obtenir la tension de chacune des résistances. N'oubliez pas que la tension dans la résistance est la différence des tensions à ses bornes. Avec deux sondes, on peut placer une sonde de chaque côté de la résistance et utiliser l'opérateur soustraction, ceci vous permettra d'avoir la tension exacte aux bornes de chaque résistance.

Pour les portes logiques, vous devez trouver les valeurs de tension et de courant consommé dans la fiche technique. Ceci vous permettra d'évaluer la puissance moyenne statique.

Pour les DEL, la puissance consommée est $P = V \cdot I$. Puisque les signaux à ses bornes varient en fonction du temps, prendre $P_{RMS} = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$. Prendre les valeurs spécifiées de courant et de tension dans la fiche technique de la diode. Ne pas tenir compte du courant de fuite ou de toutes autres imperfections de la diode.

4.4. MESURE PRATIQUE DE LA PUISSANCE CONSOMMÉE

L'évaluation de la puissance consommée est extrêmement importante et la prise de mesure nécessite une attention particulière. Ne pas utiliser adéquatement les appareils de mesure et ne pas connaître a priori leurs caractéristiques peut mener à de fausses mesures. Entre autres, il faut faire attention à ce que l'impédanceⁱⁱⁱ de la sonde de l'oscilloscope ne vienne pas perturber le circuit et modifier son comportement. Le type de circuit électronique et les fréquences utilisées dans cet APP ne sont pas critiques. Cependant, pour des mesures optimales, nous allons toujours faire attention de brancher le point de masse de la sonde le plus près possible du point de mesure. Veuillez aussi noter que l'oscilloscope contribue un certain "bruit de mesure"; vous auriez

ⁱⁱⁱ Pour les besoins de l'APP1, l'impédance sera considérée comme une simple résistance. En l'occurrence, lorsqu'on mesure un signal avec une sonde d'oscilloscope, on vient mettre une *résistance* en parallèle (celle de la sonde) avec le générateur d'onde qui lui peut être modélisé par une source parfaite en série avec une autre *résistance*. Le circuit qui reçoit le signal peut lui aussi être modélisé par une *résistance*. On se retrouve alors avec un circuit diviseur à 3 résistances où la résistance de la sonde vient modifier le comportement initial du générateur d'ondes/circuit électronique, ce qui fausse la mesure.

avantage à connaître l'amplitude de ce bruit (comment la mesurer?) et à vous assurer que ce que vous recherchez est plus grand que le plancher de bruit de l'appareil.

Dans certains cas, il serait important d'évaluer le courant passant dans un composant électronique. Bien qu'il soit facile de mesurer la tension (DC ou AC), il en est autrement pour les courants. On peut alors se servir d'un subterfuge et placer une petite résistance (1 à 30 Ohms) en série avec le composant en supposant que cette résistance ne viendra pas perturber le fonctionnement de notre circuit. On peut alors mesurer la tension sur la résistance sachant que le courant y traversant est V/R . Vous allez faire ce montage dans le laboratoire #2.

Pour la résolution de la problématique, on s'intéresse à la puissance de l'émetteur seulement. Afin de faire la mesure, vous pouvez retirer les circuits intégrés de votre plaquette de montage ou de votre PCB, puis mesurer le courant lorsque ce circuit est alimenté à 5 V.

5. LES FONCTIONS TRANSCENDANTES

La résolution de certaines équations est impossible analytiquement même en fixant des paramètres comme certains condensateurs ou résistances. C'est le cas des fonctions de type

$$y = x \ln(x) \quad \text{Équation 5-1}$$

où il est impossible d'isoler correctement x . La façon d'aborder ce problème est de passer par une approche graphique où l'on dessine indépendamment les fonctions de chaque côté de l'égalité comme suit :

$$y/x = \ln(x) \quad \text{Équation 5-2}$$

Cette approche peut être réalisée dans des logiciels mathématiques comme Matlab, MatCAD ou encore dans des chiffriers comme Excel. Il reste à espérer que les 2 fonctions se recoupent à un endroit comme le démontre la Figure 22.

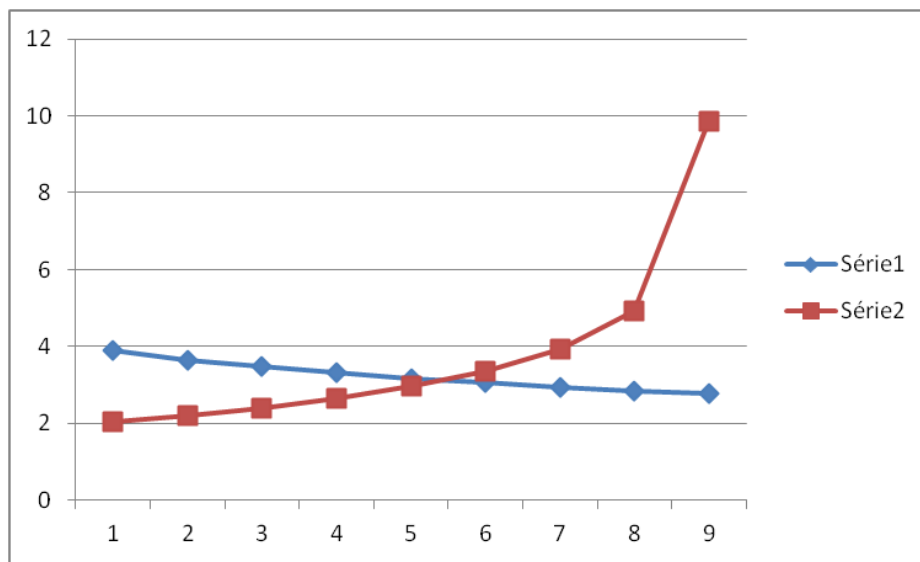


Figure 22. Exemple d'une résolution par une méthode graphique.

6. LE PLAN DE VALIDATION DE CONCEPTION ET LE PLAN DE TEST

6.1. LE PLAN DE VALIDATION DE CONCEPTION

Le plan de validation de conception est tout aussi important que la conception comme telle sinon plus. La création du plan de validation de conception exige des connaissances élargies du domaine dans lequel le développement du produit est effectué. Il est réalisé à partir de spécifications fonctionnelles qui décrivent les différentes fonctions d'un produit qui sont à leur tour traduites en un cahier des charges fonctionnelles [16]. Ce dernier décrit les performances attendues du produit en développement à travers la description de la fonction à rencontrer, son critère d'appréciation (exemple résister à l'eau), le niveau du critère (ex. immersion dans 3 mètres d'eau) et la flexibilité (ex. ± 50 cm). Le cahier des charges fonctionnelles (CdCF) comprend, entre autres, les normes que le produit doit rencontrer (ex. CSA, AFNOR...). Le concepteur utilise le CdCF pour réaliser le produit.

Dans l'APP1, les charges fonctionnelles globales sont plus ou moins décrites et la conception a déjà été réalisée pour vous, ou du moins, en grande partie. Vous n'avez pas à vous soucier de ce CdCF. Cependant, vous devez vous poser la question à savoir comment atteindre les objectifs visés. Pour cela, la Figure 1 contient les informations sur les performances attendues de chaque section. Ces informations sont utiles pour réaliser les tests unitaires, les tests d'intégration et les tests constituant les tests de validation de la conception.

6.2. PLAN DE TEST VS PLAN DE VALIDATION DE CONCEPTION

Il ne faut pas confondre le plan de test et le plan de validation. Le plan de test sert à tester le circuit que nous avons sous les yeux. C'est le genre de test qui est utilisé lors de la production du produit. Pour ce circuit particulier avec ses composants, on identifie quelques points de test et on regarde si les signaux entrent dans les plages attendues. Si c'est le cas, on déclare le circuit fonctionnel. Le plan de validation de conception s'attarde à savoir si le produit répond aux besoins attendus par le client. C'est un travail d'ingénieur de planifier l'ensemble des tests à réaliser et ces tests sont beaucoup plus exhaustifs que des tests unitaires ou d'intégration où on test 2 ou plusieurs circuits en cascade. Prenons en exemple les plans requis pour la fabrication d'un GPS pour mieux distinguer les 2 plans.

Un plan de test est utilisé dans la ligne d'assemblage d'électronique où on assemble le GPS avant la vente.

- Un test unitaire serait de mesurer la valeur des résistances individuellement.
- Un test fonctionnel pourrait être de vérifier par une mesure si l'agencement de résistances avec un amplificateur opérationnel donne un gain de 10. On injecte un signal à l'entrée du circuit et on regarde à sa sortie si on a effectivement un gain de 10.
- Finalement, on peut effectuer un test d'intégration pour savoir si la batterie permet d'allumer l'écran et démarrer le processeur. Un test système permettrait de prendre une mesure de la position de l'usine pour voir si le GPS fonctionne avant de le mettre sur le marché.

Bien que le GPS doit fonctionner à des températures inférieures à -20 °C, les tests seront réalisés avec des conditions d'opération normale et ainsi testé à la température de la pièce. Le plan de test dicte alors quelques cas à tester pour voir si le produit sortant de la production fonctionne bien mais ne s'intéresse pas aux conditions particulières que le produit doit subir.

Le plan de validation de conception du GPS vérifie si le produit correspond aux requis du client. Il est utilisé à chaque étape de conception et se compose d'une série de tests unitaires et d'intégration qui permettraient de valider la fonctionnalité de chacun des modules indépendamment pour toutes les conditions que pourrait subir ce module. Par exemple, le produit est réputé fonctionner à des températures variantes entre -70 à + 125 °C, il doit avoir une autonomie de 2 jours avec une pile de 100 mAh et doit avoir un poids de moins de 200 g. Il doit pouvoir supporter des décharges électrostatiques de 2000 V. Le plan de validation de la conception doit vérifier le fonctionnement du circuit pour toutes ces conditions réunies. Cela signifie une quantité de test exorbitante et il est nécessaire de bien planifier les tests à réaliser.

Il est à noter qu'habituellement le plan de validation de conception contient une grande majorité des éléments du plan de test de production, mais avec des conditions de test différentes. En électronique, les conditions les plus usuellement rencontrées et susceptibles de faire changer les performances de notre circuit sont les variations en température, la plage possible des alimentations en entrée, la susceptibilité au bruit (alimentations et électromagnétique), l'émission électromagnétique du circuit, la résistance aux vibrations, la fiabilité à long terme du circuit et de son assemblage, et certainement toutes les normes à rencontrer (CSA, AFNOR, FDA, Santé Canada, Marquage CE, FCC, etc, etc, et encore, etc). Lorsque vous devez rencontrer des normes, il est obligatoire de le démontrer avec un test approprié. Ce test fera partie du plan de validation.

Dans le cas de l'APP1, vous allez vous concentrer sur les tests au niveau électrique. On vous demande de réaliser le plan de test pour chacun des modules (tests unitaires et test d'intégration) en conditions normales d'opération, i.e. avec votre oscillateur haute fréquence en marche qui alimente les autres circuits subséquents un peu à la manière des tests de production. **Vous devez consigner ces résultats dans votre cahier de laboratoire**, car cette pratique est obligatoire en industrie pour obtenir les crédits de recherche scientifique et de développement expérimental. Par la suite, vous allez développer le plan de validation de la conception selon ce qui est mentionné dans le guide étudiant. Il faut alors injecter, à l'endroit approprié, les signaux désirés selon les spécifications du client (voir Figure 1 de l'annexe). Il ne faut pas non plus oublier que l'alimentation doit être tolérante à une plage d'utilisation. Pour chacun des cas à tester, il faut réaliser un test et vérifier la réponse. Le plan de validation consiste à répertorier ces conditions dans un tableau. Notez qu'un test électrique peut nécessiter de répéter plusieurs fois le même test avec différentes conditions d'opération (amplitude minimum et maximum, fréquence minimum et maximum, température, etc.). À titre d'exemple, si un circuit est spécifié pour fonctionner de 1 V à 5 V et de 100 Hz à 3 kHz, il faut injecter les 4 cas possibles de signaux (1 V et 100 Hz, 1 V et 3 kHz, 5 V et 100 Hz et finalement 5 V et 3 kHz). Idéalement, on testerait un peu au-delà de chacun des maximums et minimums.

Normalement, pour une validation complète il faudrait faire des tests pour couvrir les variations statistiques de chacune des composants électroniques (c.-à-d. leur précision). C'est un test impossible à réaliser et nous allons préférer réaliser une simulation de type *Monte-Carlo* qui effectue des simulations avec toutes les valeurs minimums et maximums des résistances et condensateurs pour nous assurer que le circuit fonctionne dans toutes les conditions. Nous n'allons pas aborder ce sujet dans l'APP et nous allons nous contenter de simples mesures des signaux.

À titre d'exemple, vous retrouverez au Tableau 5 le plan de test pour la mise sous tension du circuit avec vérification à quelques points de test. Au bout de chaque ligne de test, un carré à cocher permet de savoir si le test a été réalisé et satisfait le critère ou pas. Des images synoptiques (même réalisées à la main) du test à réaliser facilitent la compréhension. Des plans de tests plus élaborés seront abordés plus tard dans votre baccalauréat.

Tableau 5. Exemple de plan de test.

Nom de la fonction à valider	Entrée	Résultat attendu	Test complété avec succès	Explication des modifications apportées pour que le circuit fonctionne
Circuit d'alimentation	Ouvrir la source de tension	J1 : 0 V et 5 V	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Pas les bonnes tensions → Vérifier le fil entre la masse et la borne + ou – sur la source de tension.
Oscillateur haute-fréquence	Alimentation positive de 5 V	F2 : Onde carrée 38 kHz de 0 à 5 V 50 % de rapport cyclique	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Le signal est de 0 V → Ajuster VR2
Signal de sortie	Alimentation positive de 5 V	Rouge : 0 V CC	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Onde carrée → Valider F1 à 10Hz, si mauvais ajuster VR1

Le Tableau 6 présente un exemple d'un plan de validation électrique du circuit de protection et du circuit d'oscillateur haute fréquence. Comme nous nous préoccupons seulement de la validation électrique sans tenir compte des variations statistiques des valeurs de résistances et condensateurs, il faut regarder les paramètres pour lesquels le 556 pourrait voir varier sa fréquence à sa sortie. Le 556 ne possède pas d'entrée proprement dite, mais il est alimenté par une source 5 V précise à $\pm 10\%$. Le plan consisterait à

- 1) Pour les diodes de protection -> alimenter le circuit en inverse (c.-à-d. inverser le + 5 V avec le 0 V et vérifier si la diode laisse passer le courant. **Attention il n'est pas conseillé de faire ce test pour de vrai, en cas de défaillance les dégâts seront irréparables.** Vous pourrez l'essayer sur un circuit qui contiendrait seulement les diodes en limitant le courant de la source.
- 2) Pour l'oscillateur haute fréquence, alimenter le circuit de façon normale et faire varier les alimentations de $\pm 10\%$ et vérifier le fonctionnement de la sortie.
- 3) Pour l'oscillateur haute fréquence, alimenter le circuit de façon normale et faire varier le potentiomètre VR2. Vérifier que l'ajustement de la fréquence permet au minimum la plage de $\pm 5\%$ demandée.

Votre travail consiste à trouver et réaliser un travail similaire permettant de valider les autres parties du circuit.

Tableau 6. Exemple de plan de validation.

Nom du test	Conditions du test	Résultat attendu	Test complété avec succès	Explication des modifications apportées pour que le circuit fonctionne
Circuit de protection des alimentations	Les polarités des alimentations 5 V et 0 V sont inversées	J1 : 0 V et 0 V	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Si signal → La diode est inversée
Oscillateur haute-fréquence	Alimentation positive à 5,5 V	F2 : Onde carrée 38 kHz de 0 à 5,5 V 50 % de rapport cyclique	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	
Oscillateur haute-fréquence	Alimentation positive à 4,5 V	F2 : Onde carrée 38 kHz de 0 à 4,5 V 50 % $\pm 10\%$ de rapport cyclique	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Si non fonctionnel, augmenter légèrement la tension jusqu'à ce que le circuit fonctionne.
Oscillateur haute-fréquence	Alimenter le circuit avec 5 V et 0 V. Tourner le potentiomètre VR2 au min et au max.	F2 : Onde carrée 38 kHz $\pm 5\%$ de 0 à 5 V, le rapport cyclique risque de changer	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Refaire les calculs avec un condensateur différent.

7. RÉFÉRENCES

- [1] R. Fontaine, Guide étudiant, DetecteurProximate, 2018, 24 p.
- [2] <https://www.ebay.fr/itm/0603-5-Carte-Resistance-Montage-En-Surface-Bobines-5000-12K-pour-10M-/122744569558>
- [3] <https://www.canstockphoto.ca/fragment-of-electronic-board-with-chip-43154368.html>
- [4] <http://www.maxicours.com/se/fiche/5/2/131352.html>
- [5] <http://www.conrad.fr/>
- [6] <http://boutique.semageek.com>
- [7] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Potentiom%C3%A8tre>
- [8] Lumex, SSL-LX5093LID, 1p.
- [9] Texas instrument, NE556, Precision timers, SLFS022E – SEPTEMBER 1973 – REVISED MARCH 2004, 24 p.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Dual_in-line_package
- [11] <http://www.evelta.com/>
- [12] National semiconductor, LM555 timer, juillet 2006, 12 p.
- [13] http://fr.wikipedia.org/wiki/Dual_Inline_Package
- [14] https://solarbotics.com/product/dc-16_pin/
- [15] <https://www.fabriqueurs.com/simon/>
- [16] TASSINARI, *Pratique de l'analyse fonctionnelle*, Dunod, 4^{ème} édition, 2006, 208 p.