

Dossier De Conception (DDC)

du projet

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

Responsabilité documentaire

Action	NOM Prénom	Fonction	Date	Signature
Rédigé par	TEMPLIER-BOURDA Tancrède RENAUD Hugo	Technicien	20/09/2023	
Approuvé par	F. AUGEREAU (IUT GEII Bdx)	Chef de projet	20/09/2023	
Approuvé par	S. AVOL (Toy Corporation)	Client	20/09/2023	

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ13 Révision : 2 – 20/09/2023	1/23
----------------------------------	---	------

Suivi des révisions documentaires

Indice	Date	Nature de la révision
1	01/09/2021	Publication préliminaire du DDC, document à compléter par le Technicien
2	20/09/2023	Première publication

Documents de références

Sigle	Référence	Titre	Rév.	Origine
[CDC]	SLR_CDC	Cahier des charges	1	Toy Corporation

Table des matières

1. Nature du document	3
2. Conception préliminaire du produit	3
3. Conception détaillée du produit	11
3.1. Conception détaillée du système sonore et lumineux	11
3.2. Conclusion de la conception détaillée du produit	20
4. Dérivage des solutions techniques retenues	20
4.1. <Titre de la simulation / prototypage rapide>	20
4.2. Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit	21
5. Conclusion de la conception du produit	23
6. Matrice de conformité du produit	23

1. Nature du document

Ce document est un dossier de conception et a pour but de détailler la conception du produit développé. Il apporte ainsi des preuves de la conformité du produit par rapport à l'ensemble des exigences client. Le paragraphe 3 du [CDC] décrit de façon plus détaillée la nature et le positionnement de ce document dans l'arborescence documentaire du projet.

2. Conception préliminaire du produit

Ce chapitre décrit l'architecture fonctionnelle du produit. Il apporte les premiers éléments de preuve de la faisabilité du produit vis-à-vis des exigences client.

Référence de pré-conception: CPR01

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : toutes

Afin de répondre au cahier des charges, une analyse globale des exigences a conduit à l'architecture fonctionnelle présentée ci-dessous.

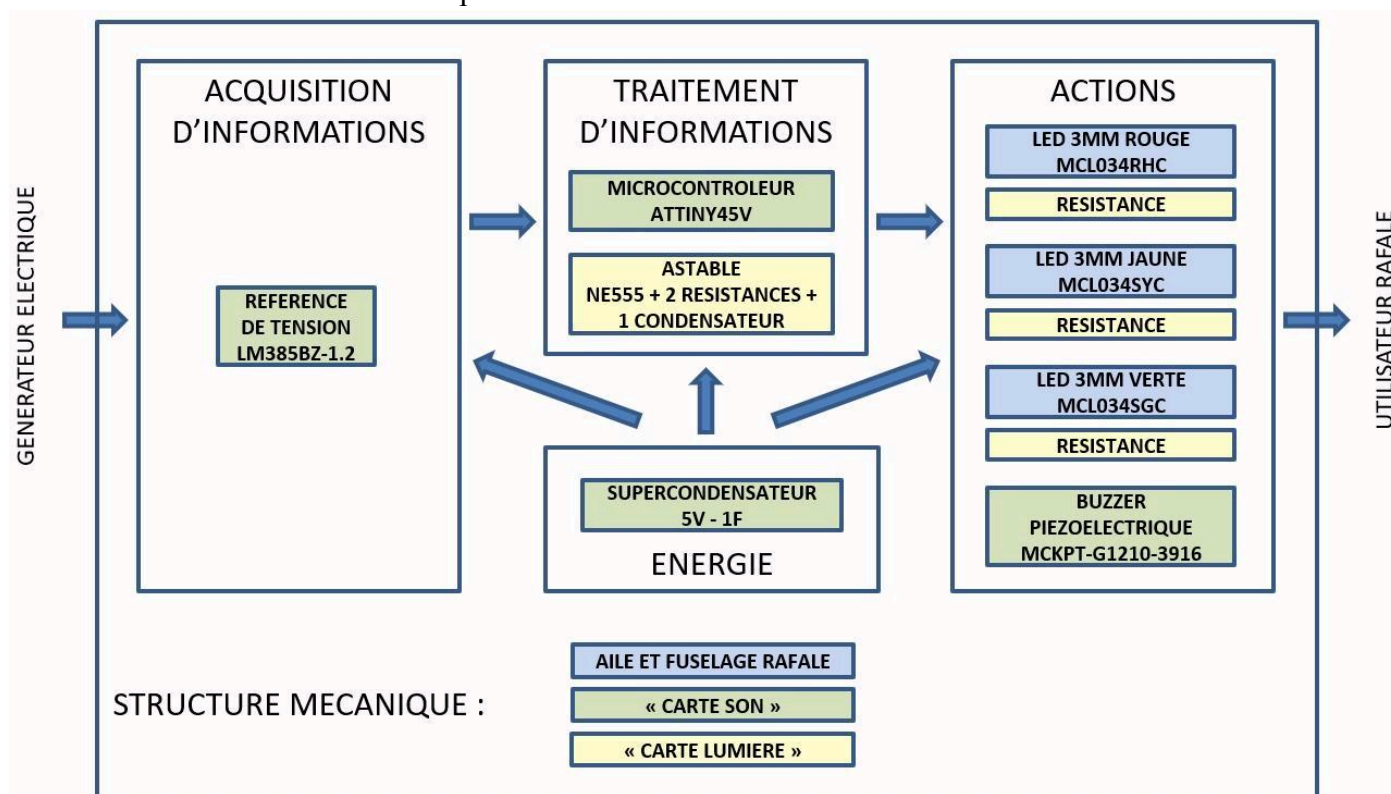


Figure 1 : architecture fonctionnel du « système sonore et lumineux »

Référence de pré-conception: CPR02

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_ENCOMBREMENT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_ENCOMBREMENT, il a été retenu pour le développement de ce système, une structure mécanique en 3 parties :

- * une « carte son » qui intègre les fonctions associées aux exigences sonores et énergétiques : EXIG_AUTONOMIE, EXIG_TENSION, EXIG_BRUIT, EXIG_CHARGE et EXIG_RETENTISSEMENT. Les choix techniques retenus sur cette carte apparaissent en vert sur la figure 1

- * une « carte lumière» qui intègre les fonctions associées aux exigences lumineuses : EXIG_CLIGNOTE, EXIG_ALLUMAGES et EXIG_INTENSITES. Les choix techniques retenus sur cette carte apparaissent en jaune sur la figure 1

- * les éléments lumineux sont déportés des cartes via des nappes bifilaires en partance de la « carte son » et à destination des des ailes et du fuselage

Les 2 cartes sont superposées et interconnectées entre elles. La « carte son » est située dessous et la « carte lumière » est située dessus. Une vue 3D mettant en évidence les connecteurs est fournie ci-dessous.

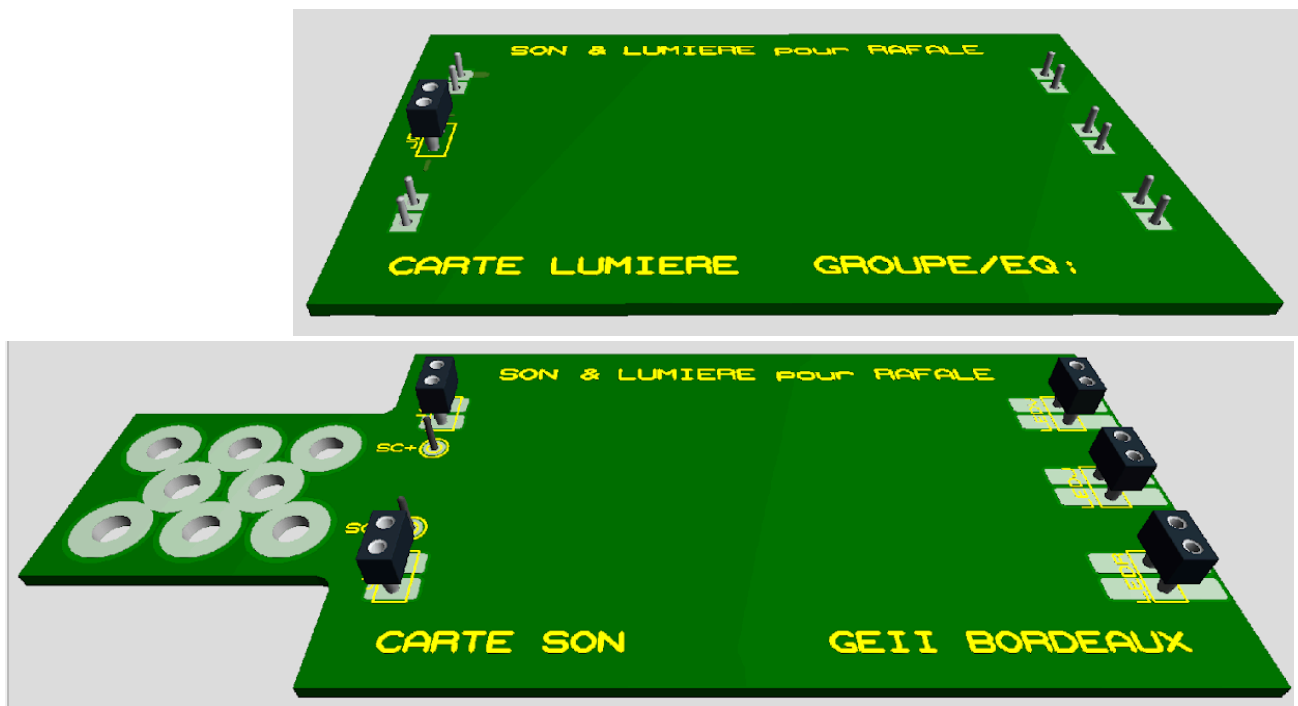


Figure 2 : vue 3D préliminaire de « carte son » et « carte lumière »

Il est à noter que la « carte son » est plus longue que la « carte lumière ». Le débord situé sur la gauche de la carte est destiné à accueillir le super-condensateur qui y sera couché sur le flanc.

La solution mécanique retenue permet respecter l'exigence EXIG_ENCOMBREMENT, car la longueur de la « carte son » est de 95mm (et 70mm pour la « carte lumière »), la largeur est de 40mm (pour les 2 cartes) et la hauteur est d'environ 25mm.

Référence de pré-conception: CPR03

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_AUTONOMIE, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_AUTONOMIE, plusieurs types de sources d'énergie électrique embarquées ont été envisagées.

Tout d'abord, les piles et piles rechargeables (AA, AAA) ont été exclues en raison de leur dimensions (et de leur faible valeur de tension par cellule).

Les piles boutons ont été exclues en raison de leur résistance interne non négligeable. Un courant supérieur à 1mA (ce qui est le cas du « système sonore et lumineux ») conduit à un effondrement non-acceptable de la tension fournie.

Les accumulateurs LiIon, LiPo, Lixx ont été exclus en raison de l'instabilité chimique et donc leur risque d'explosion en cas de crash du planeur.

Les super-condensateurs présentent pour ce projet un bon compromis entre dimensions et résistance interne. De plus, ils ne présentent pas de risques d'explosion ni de feu, pour un coût de quelques euros.

On retiendra un super-condensateur 5,4V d'une valeur voisine de 1F, ce qui permet un courant consommé de quelques 10aines de mA pour une autonomie minimale de 60s.

Référence de pré-conception: CPR04

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_TENSION

Afin de répondre à l'exigence EXIG_TENSION, une solution intégrant une référence de tension (associé à un ADC d'un MCU) a été retenue.

Vu la complexité des exigences de traitement, un microcontrôleur (MCU) est nécessaire. Les MCU actuels intègre au moins 1 convertisseur analogique-numérique (ADC). Dans le « système sonore et lumineux », la tension d'alimentation du MCU (et donc du ADC) n'est pas fixe. Donc, si l'on souhaite mesurer la tension d'alimentation avec le MCU, il convient donc de le faire indirectement en mesurant une tension fixe et connue, afin d'en déterminer la tension d'alimentation du ADC par un algorithme logicielle. Voici l'algorithme retenu :

$V_{cc} = V_{adc} / N_{adc} * 2^n$ où V_{adc} est la tension fixe fournie à l'entrée de l'ADC, N_{adc} la valeur numérique fournie par l'ADC et n le nombre de bits de l'ADC.

La tension fixe est réalisée par une référence de tension dont la valeur doit être la plus proche (mais inférieure) à la tension basse d'alimentation du MCU. Une référence de tension 1,2V a donc été retenue : LM385BZ-1.2.

En accord avec la datasheet du LM385, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

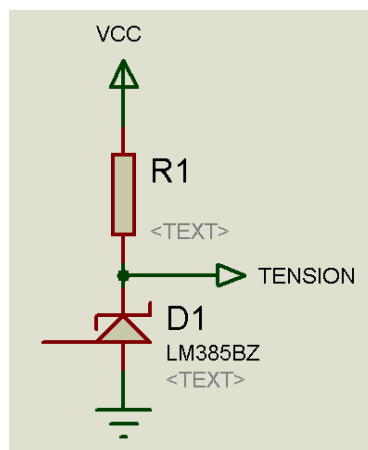


Figure 3 : schéma électrique préliminaire du LM385BZ-1.2

Le dimensionnement de la résistance R1 est décrit dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence de pré-conception: CPR05

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_BRUIT, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_BRUIT, il a été retenu un microcontrôleur 8 bits avec une gamme basse d'alimentation (1,8V \Rightarrow 5,5V). De plus, l'utilisation d'un oscillateur interne est souhaitable afin de minimiser la place et le coût (puisque la tolérance en fréquence exigée est confortable).

Le microcontrôleur retenu est un ATTINY45V d'ATMEL dont l'encombrement (DIP8) et le coût (~2€) sont faibles.

La génération de l'information « Bruit » est réalisée à l'aide d'un algorithme de type PRNG 16 bits dont l'avancement successif est cadencé par un timer du MCU. La configuration du timer est directement associée à la valeur de tension d'alimentation mesurée par l'ADC du MCU (cf § CPR04).

Référence de pré-conception: CPR06

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_CHARGE

Afin de répondre à l'exigence EXIG_CHARGE, il a été retenu d'utiliser le MCU retenu précédemment (Cf § CPR05).

Un algorithme est intégré au MCU sur la base de comparaisons logicielles (branchements conditionnels) en lien direct avec la valeur de tension d'alimentation mesurée par l'ADC du MCU (cf § CPR04).

Référence de pré-conception: CPR07

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_CLIGNOTE, EXIG_ALLUMAGES, EXIG_INTENSITES

Afin de répondre à l'exigence EXIG_CLIGNOTE, il a été retenu d'utiliser un NE555P.

Un NE555 peut être utilisé dans différents types de montages comme mentionné dans sa datasheet. Afin de générer un signal rectangulaire, il convient d'exploiter le NE555 dans un montage astable.

La datasheet met en évidence que la sortie du NE555 est en logique négative. Dit autrement, ce type de montage ne permet pas d'avoir des temps à l'état haut plus petits que ceux à l'état bas. La LED jaune est donc montée en logique négative (cathode reliée à la sortie du NE555 via une résistance). Afin que la LED jaune ne s'allume que lorsque l'information « Chargé » est active, il convient de relier l'anode de la LED jaune au signal « Chargé ».

L'ajout en série d'une résistance à la LED a pour objectif de maîtriser son courant électrique. La datasheet de la LED jaune retenue MCL034SYC nous montre que l'intensité électrique de la LED est liée directement (quasi-proportionnelle) à l'intensité lumineuse produite. La résistance permet ainsi de maîtriser l'intensité lumineuse de la LED en accord avec le cahier des charges.

En accord avec le paragraphe « 8.3.2 A-stable Operation » de la datasheet du NE555, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

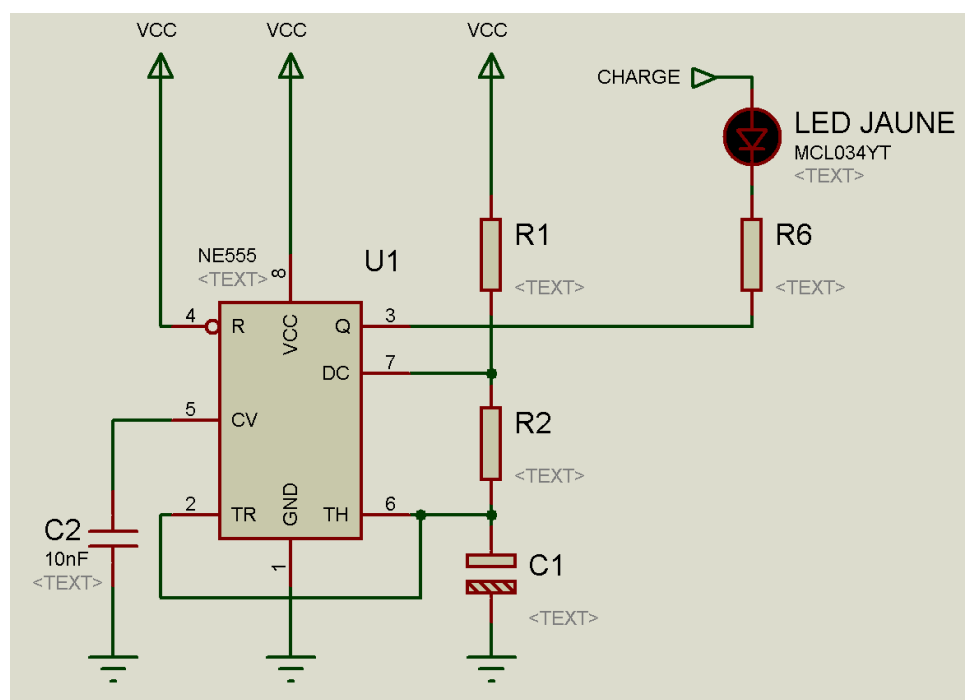


Figure 4 : schéma électrique préliminaire du NE555P et du MCL034SYC

Le signal de sortie en broche 3 du NE555 est le signal « Clignote ». Le chronogramme attendu de ce signal est le suivant :

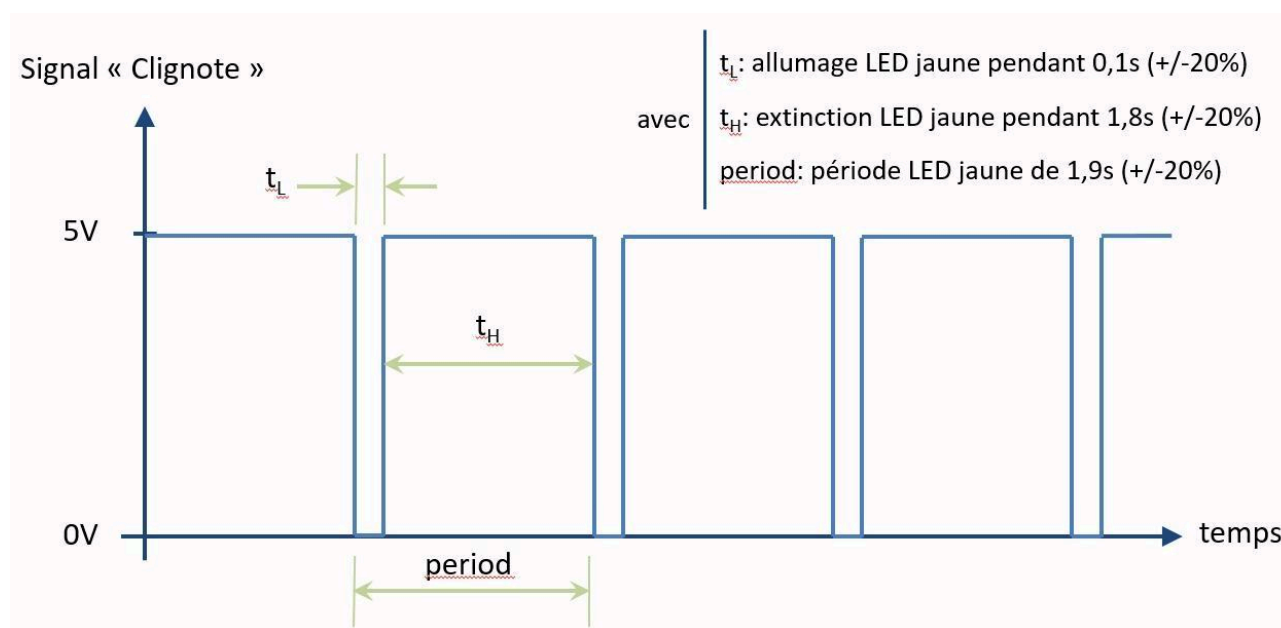


Figure 5 : chronogramme du signal « Clignote »

Les dimensionnements des résistances R1, R2 et C1 ainsi que R6 sont décrits dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence de pré-conception: CPR08

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_RETENTISSEMENT, EXIG_ENCOMBREMENT, EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_RETENTISSEMENT, il a été retenu d'utiliser un buzzer piézoélectrique, car les buzzer piézoélectrique ont un bon compromis taille, intensité sonore, consommation électrique.

De plus, afin d'accroître le volume sonore du buzzer, l'information « Bruit » a été utilisée pour créer son complément « Bruit ». Chaque information pilote respectivement d'une des 2 broches du buzzer. Ceci a pour conséquence de doubler l'amplitude crête-à-crête du signal électrique (par rapport au câblage « Bruit » + masse) envoyé au buzzer. Cette solution a également pour avantage de fournir une tension au buzzer toujours moyennement nulle. Cela économise (en place et coût) ici l'utilisation d'un condensateur de liaison.

En accord avec la datasheet du buzzer, le schéma électrique préliminaire retenu est donc le suivant.

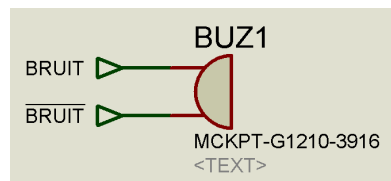


Figure 6 : schéma électrique préliminaire du buzzer MCKPT-G1210-3916

Référence de pré-conception: CPR09

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_ALLUMAGES, EXIG_INTENSITES

Afin de répondre à l'exigence EXIG_ALLUMAGES, des LEDs rouge et verte de 3mm MCL034RHC et MCL034SGC. Afin de répondre à l'exigence EXIG_INTENSITES, chacune des LEDs est associée à une résistance afin de maîtriser leur courant électrique. Les datasheets des LEDs nous montrent que l'intensité électrique des LEDs est directement liée (quasi-proportionnelle) à l'intensité lumineuse produite. La résistance mise en série avec chacune des LEDs permet ainsi de maîtriser l'intensité lumineuse de la LED en accord avec le cahier des charges.

L'allumage des LEDs étant constant tel que requis par l'exigence EXIG_ALLUMAGES, le montage électrique retenu est donc alimenté par une tension continue : la tension d'alimentation. Le schéma électrique préliminaire est le suivant.

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ13 Révision : 2 – 20/09/2023	9/23
----------------------------------	---	------

système Sonore et Lumineux
pour Rafale miniature

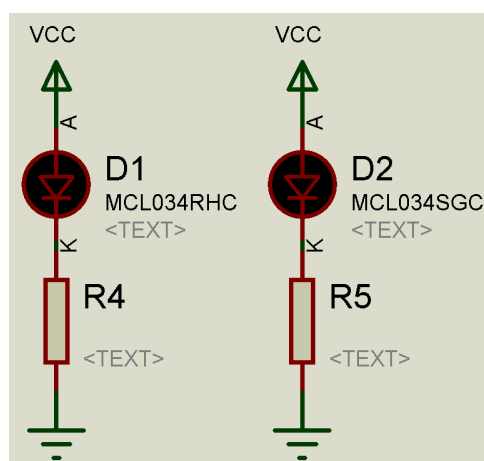


Figure 7 : schéma électrique préliminaire des étages à LEDs rouge et vert

Les dimensionnements des résistances R4 et R5 sont décrits dans le chapitre « 3. Conception détaillée » de ce présent document.

Référence de pré-conception: CPR10

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées par pré-conception : EXIG_COUT

Afin de répondre à l'exigence EXIG_COUT, une estimation préliminaire du coût d'un prototype a été réalisée.

Désignation	Coût unitaire TTC	Quantité	Coût cumulé TTC
Supercondensateur	4,50	1	4,50
Réf. de tension	1,50	1	1,50
MCU	3,00	1	3,00
Astable	0,50	1	0,50
LED	0,50	3	1,50
Buzzer	1,00	1	1,00
Résistances	0,05	7	0,35
Condensateurs	0,50	3	1,50
Circuit Imprimé	2,00	1	2,00
Coût Total TTC			15,85€

Figure 8 : estimation préliminaire du coût d'un prototype

L'estimation préliminaire nous montre que le prototype a une marge de 4,15€ par à l'exigence EXIG_COUT, ce qui représente une marge d'un peu plus de 20 %.

3. Conception détaillée du produit

Ce chapitre détaille la conception du produit développé. Il constitue une preuve de la conformité du produit. Chaque paragraphe de cette étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

3.1. Conception détaillée du système sonore et lumineux

Chaque bloc fonctionnel doit faire l'objet d'un chapitre de conception détaillé, présenté comme suit.

Référence de conception : CDT01

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : toutes

A la suite de la conception préliminaire, l'activité de conception détaillée a été menée. Comme décidé précédemment (cf § CPR02), le « système sonore et lumineux » est constitué de 2 cartes. Les schémas électriques complets des 2 cartes sont fournis ci-dessous.

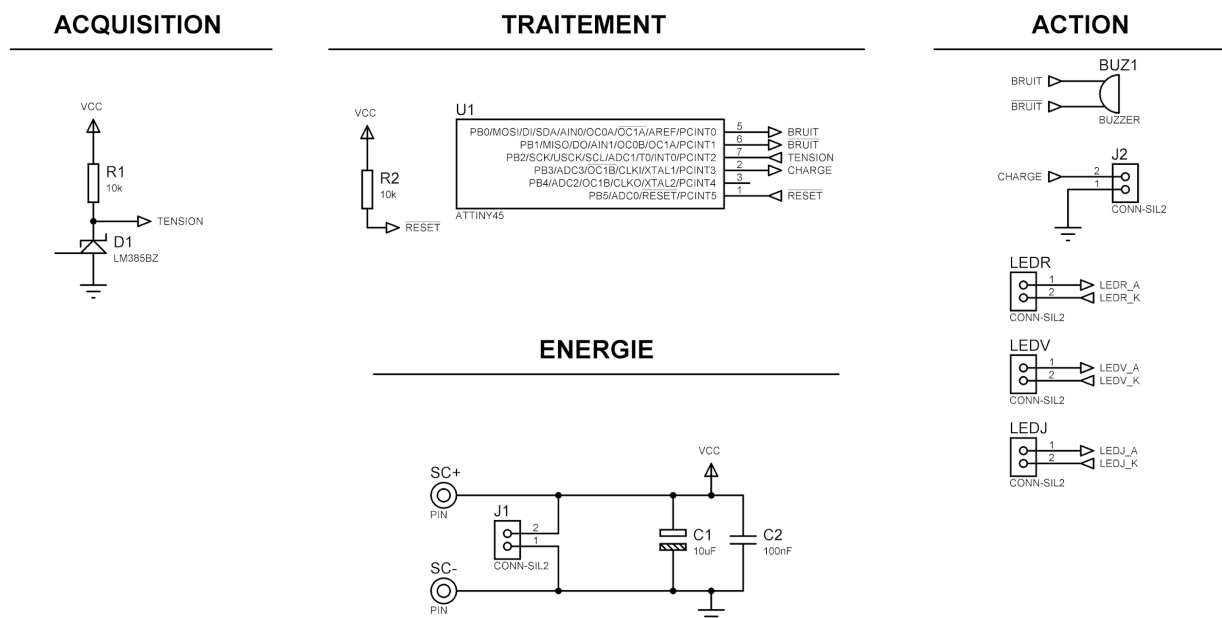


Figure 9 : schéma électrique de la « carte son »

système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

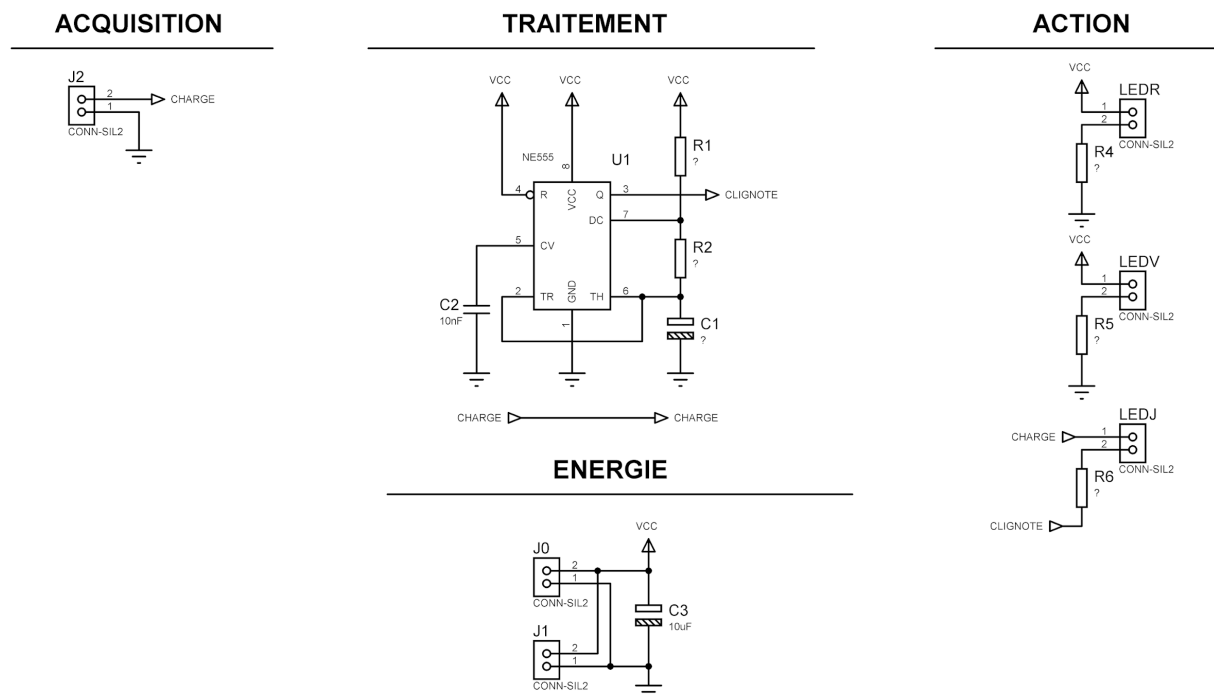


Figure 10 : schéma électrique de la « carte lumière »

Référence de conception : CDT02

Rédacteur : F. AUGEREAU

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : EXIG_TENSION

En accord avec la conception préliminaire (cf § CPR04), une référence de tension LM385BZ-1.2 et l'ADC d'un ATTINY45V sont utilisés pour effectuer la mesure de tension d'alimentation. Le schéma électrique complet de l'étage est le suivant.

système Sonore et Lumineux
pour Rafale miniature

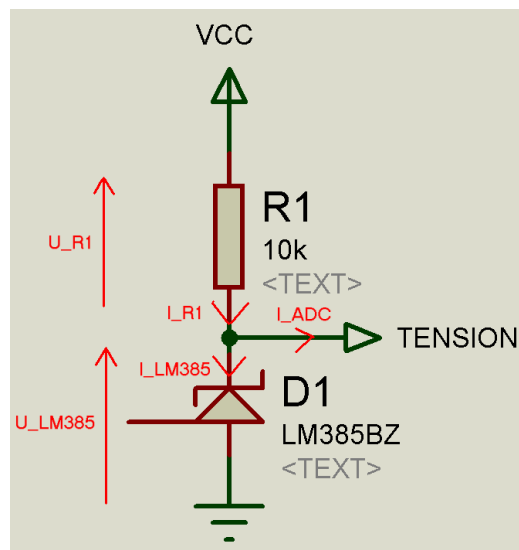


Figure 11 : schéma électrique détaillé du LM385BZ-1.2

Le dimensionnement de la résistance R1 est effectué de la manière suivante.

En s'appuyant sur la datasheet du LM385BZ-1.2 (cf figure 10), le courant minimal de fonctionnement de la référence de tension est

$$I_{LM385min} = 10\mu A.$$

En analysant le schéma électrique (cf figure 9), on constate que

$$I_{LM385} = I_{R1} - I_{ADC}.$$

En parcourant la datasheet de l'ATTINY (cf figure 11), on relève que dans le pire cas

$$I_{ADCmax} = 1\mu A.$$

On en déduit donc que

$$I_{R1min} = I_{LM385min} + I_{ADCmax} = 11\mu A$$

En s'appuyant sur la datasheet du LM385BZ-1.2 (cf figure 10), on relève que

$$U_{LM385} = 1,235V$$

Puisque

$$VCC = U_{LM385} + U_{R1} \text{ et } U_{R1} = R1 * I_{R1}$$

Alors

$$R1max = (VCC - U_{LM385}) / I_{R1min}$$

Ou encore

$$R1max = (VCC - U_{LM385}) / (I_{LM385min} + I_{ADCmax})$$

Le moment où le courant I_{LM385} sera minimal sera le cas où la tension V_{CC} sera minimale. Comme exigé par le cahier des charges (EXIG_AUTONOMIE), la tension minimale de fonctionnement du « système sonore et lumineux » est de 1,8V.

Après application numérique

$$R1_{max} = 51,3k$$

En accord avec le HTUT GEII Bordeaux « Comment transformer une valeur théorique de résistance en une valeur normalisée ? », la résistance $R1$ retenue est donc une résistance 10k série E6 +/-20 %.

FEATURES

- $\pm 1\%$ and 2% Initial Tolerance
- Operating Current of $10\mu A$ to $20mA$
- 1Ω Dynamic Impedance
- Low Temperature Coefficient
- Low Voltage Reference— $1.235V$
- 2.5V Device and Adjustable Device Also Available
- LM185-2.5 Series and LM185 Series, respectively

Figure 12 : datasheet LM385BZ-1.2

18.2 DC Characteristics

Table 18-1. DC Characteristics, $T_A = -40^\circ C$ to $+85^\circ C$

Symbol	Parameter	Condition	Min.	Typ. ⁽¹⁾	Max.	Units
I_{LIL}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin low	-1		1	μA
I_{LIH}	Input Leakage Current I/O Pin	$V_{CC} = 5.5V$, pin high	-1		1	μA

Figure 13 : datasheet ATTINY45V – Courant de fuite de l'ADC

Pour terminer, on doit également s'assurer que lorsque la tension d'alimentation est maximale, le courant circulant dans la référence de tension.

L'exigence EXIG_AUTONOMIE mentionne que

$$V_{CCmax} = 5,4V$$

Pour ne pas endommager le LM385, sa datasheet (cf figure 10) mentionne que

$$I_{LM385max} < 20mA$$

En exploitant les formules précédentes, on obtient

$$I_{LM385max} = (V_{CCmax} - V_{LM385}) / R1 - I_{ADCmin}$$

Après application numérique

$$I_{LM385max} = 428\mu A \text{ et donc inférieur à } 20mA$$

Le dimensionnement de R1 est donc correct vis à vis des exigences du cahier des charges et des contraintes de la datasheet du LM385BZ-1.2

Référence de conception : CDT03

Rédacteur : Tancrède Templier-Bourda

Relecteur : Hugo Renaud

Exigences client vérifiées : EXIG_CLIGNOTE

Afin de répondre à l'exigence EXIG_CLIGNOTE du cahier des charges, qui stipule que le « système sonore et lumineux » intègre un cœur de traitement qui génère l'information « Clignote » suivante :

* « Clignote » : information sous une forme binaire rectangulaire uniquement si l'information « Chargé » est active. Dans le cas contraire, l'information générée est constante et nulle. Les caractéristiques de la forme binaire rectangulaires sont :

* période : 1,9s (+/-20%)

* temps actif : 0,1s (+/-20%)

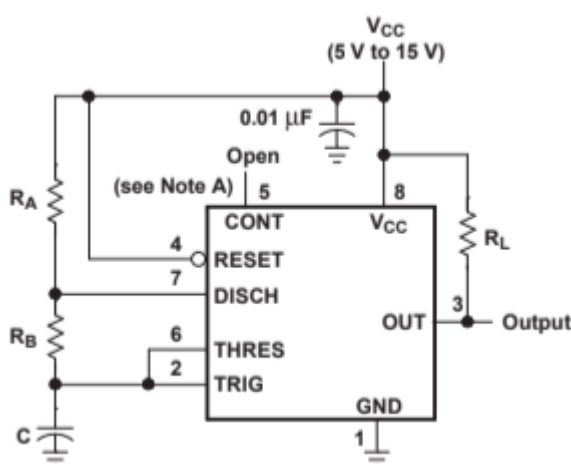
D'après les experts nous allons utiliser le timer NE555 en fonctionnement astable, en logique négative.

En lisant le datasheet NE555 , au numéro 8.3.2, on y trouve des formules

$$t_h = 0.693 (R_a + R_b) C$$

$$t_l = 0.693(R_b) C$$

Dans ces formules, Ra et Rb sont utilisés dans un montage fourni par le datasheet.



système Sonore et Lumineux pour Rafale miniature

Grâce à l'htut 2 nommé comment dimensionner un montage avec une exigence et 2 composants inconnus, nous permet de trouver $C1 = 100\mu\text{F}$. En partant de cela et en appliquant les formules extraites de la Datasheet du NE555, nous avons trouvé

(rappel: $R_a = R1$, $R_b = R2$)

$$t_h = 0.693 (R_a + R_b) C$$

$$t_l = 0.693(R_b) C$$

$$1,8 = 0,693 (R1 + 1443) 100 \times 10^{-6}$$

$$0,1 = 0,693 (R2) 100 \times 10^{-6}$$

$$R1 = 1,8 / 0,693 \times 100 \times 10^{-6} - 1500$$

$$R1 = 24\,474\,\Omega$$

$$R2 = 0,1 / 0,693 \times 100 \times 10^{-6}$$

$$R2 = 1\,500\,\Omega$$

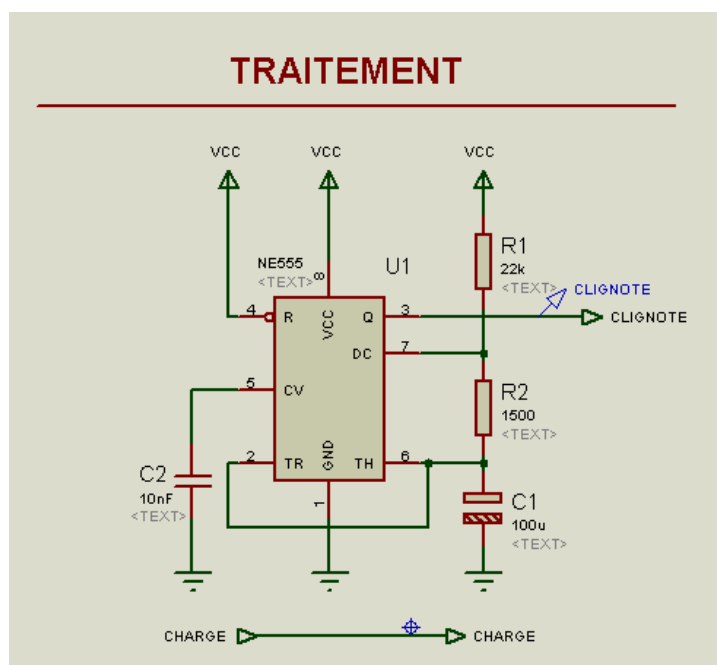
Après ces calculs, grâce au htut 1 nommé comment transformer une valeur théorique de résistance en une valeur normalisée. Nous trouvons

$R_B = 1443\,\Omega \Rightarrow$ série E12 $\rightarrow 1500\,\Omega$ (valeur normalisé)

$R_A = 24\,474\,\Omega \Rightarrow$ série E12 $\rightarrow 22\,\text{k}\Omega$ (valeur normalisé)

Ces valeurs nous permettent d'atteindre les exigences requises dans le cahier des charges.

Selon les recommandations des nos experts, nous utiliserons le circuits électriques suivant :



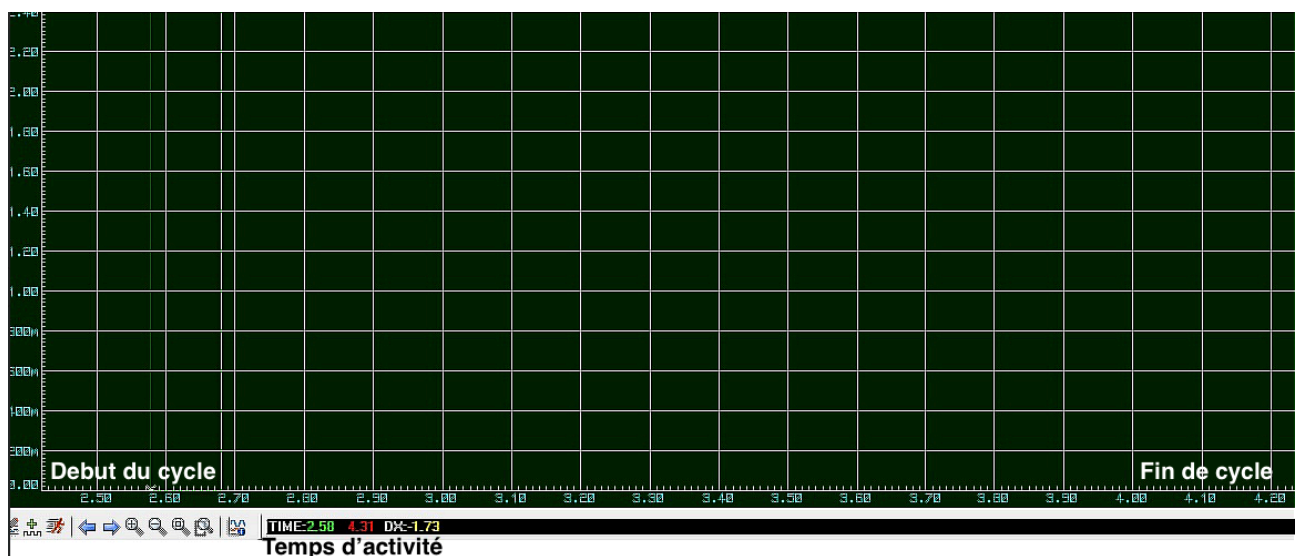
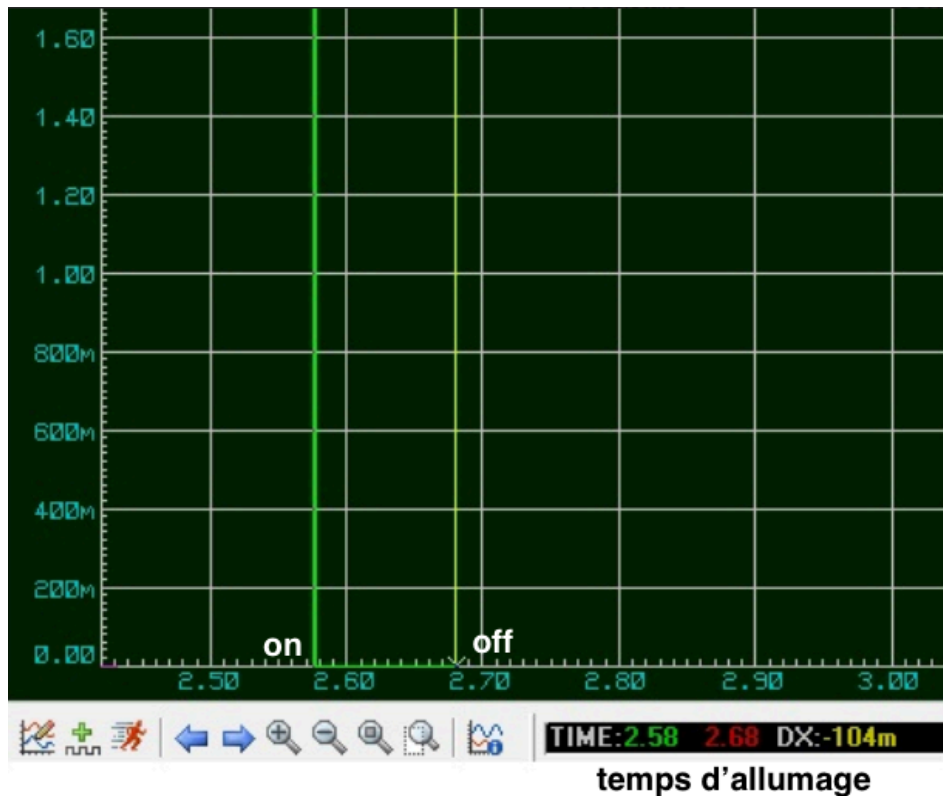
système Sonore et Lumineux
pour Rafale miniature

Nous avons mis en œuvre notre dérissage à l'aide du logiciel ISIS, nous avons réalisé une simulation du circuit électrique ci-dessus avec nos valeurs théoriques. Celles ci nous ont permis de trouver les valeurs simulés suivantes :

D'après le cahier des charges,

Suite à ce dérissage nous avons obtenue les valeurs suivantes :

Temps du timer : 2,577s a 2,6808 => 104ms



système Sonore et Lumineux
pour Rafale miniature

Suite aux valeurs obtenues, nous pouvons faire les calculs pour voir si rentre dans les critères du cahier des charges

V1 => $T_{attendu} = 1,9s$

$T_{mesuré} = 1,73s$

Pourcentage d'erreur = $(1,73 - 1,9) / 1,9 = -0,09$ ($\times 100$) = 9% compris dans $\pm 20\%$

V2 => $T_{attendu} = 0,1s$

$T_{mesuré} = 0,104s$

Pourcentage d'erreur = $(0,104 - 0,1) / 0,1 = 0,04$ ($\times 100$) = 4% compris dans $\pm 20\%$

Les résultats étant conformes au cahier des charges, nous avons l'étape primaire et nous pouvons à présent passer à l'étape de conception..

Référence de conception : CDT04

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Exigences client vérifiées : EXIG_INTENSITE

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

Référence de conception : CDT05

Rédacteur : F. AUGEREAU

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ13 Révision : 2 – 20/09/2023	18/23
----------------------------------	---	-------

Relecteur : L. THEOLIER

Exigences client vérifiées : EXIG_AUTONOMIE

En accord avec la conception préliminaire (cf § CPR03), un supercondensateur 5,4V est utilisé en tant qu'accumulateur d'énergie.

La loi fondamentale du condensateur (rappelée dans le HTUT GEII BDX « Comment dimensionner ses condensateurs de découplage ») est la suivante

$$I_c = C * dV_c / dt$$

ce qui nous donne la formule de dimensionnement du condensateur suivante

$$C = I_c * dt / dV_c$$

I_c est ici la somme des courants consommés par le « système sonore et lumineux »

dt est la durée d'autonomie exigée par le cahier des charges : 60s (EXIG_AUTONOMIE)

dV_c est la variation de tension d'alimentation acceptée par le cahier des charges : $5,0 - 1,8 = 3,2V$ (EXIG_AUTONOMIE)

Il faut maintenant analyser les courants consommés. Une synthèse est apportée dans le tableau suivant.

Désignation	Courant pic	Rapport cyclique	Courant moyen
Référence de tension	428µA	1,0	428µA
Microcontrôleur	5mA	1,0	5mA
LED rouge	2,6mA	1,0	2,6mA
LED verte	7,7mA	1,0	7,7mA
NE555	3mA	1,0	3mA
LED jaune	6,7mA	0,1/1,9	351µA
Buzzer	1,67mA	1,0	1,67mA
$I_c =$			20,8mA

Après application numérique sur la formule précédente, on obtient la valeur de super-condensateur minimale suivante.

$$C_{min} = 0,39F$$

En analysant les super-condensateurs disponibles à la vente chez Farnell, le super-condensateur 5,4V de 1F a été retenu.

En retournant la formule dans un sens différent, on obtient :

$$dt = C * dV_c / I_c$$

on peut alors estimer que l'autonomie du « système sonore et lumineux » avec un super-condensateur de 1F est de

$$dt = 153s$$

Le dimensionnement du supercondensateur est donc conforme à l'exigence EXIG_AUTONOMIE du cahier des charges.

3.2. Conclusion de la conception détaillée du produit

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Concluez sur les résultats de la conception détaillée. Le texte ci-dessous est un exemple.

La conception a permis d'élaborer le schéma électrique du produit et de dimensionner tous les composants. Ces valeurs nous permettent d'atteindre les exigences requises dans le cahier des charges. Selon les recommandations des nos experts, nous utiliserons le circuits électriques suivant :

4. Dériskage des solutions techniques retenues

Ce chapitre détaille les activités de dériskage des solutions techniques retenues : simulation et/ou prototypage rapide. Il constitue une preuve partielle de la conformité du produit. Chaque paragraphe de l'étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

Il permet également de confirmer les résultats théoriques effectués aux paragraphes 2 et 3 en vérifiant le fonctionnement à travers des simulations et/ou prototypages rapides. Pour chaque simulation et/ou prototypage rapide est renseigné le protocole de mise en œuvre. Les résultats des simulations et/ou prototypages rapides sont confrontés aux résultats de l'étude théorique.

L'ensemble des fichiers est disponible dans le dossier : renseignez ici le chemin du dossier où sont situés les fichiers de simulation et/ou prototypage rapide du projet.

4.1. <Titre de la simulation / prototypage rapide>

Chaque bloc fonctionnel ainsi que l'ensemble du montage doit faire l'objet d'une fiche de simulation / prototypage rapide, présentée comme suit.

Référence de la simulation : DRS<numéro>

Rédacteur : Tancrède TEMPLIER–BOURDA

Relecteur : Hugo RENAUD

Exigences client vérifiées : Renseignez ici les références des exigences client auxquelles le paragraphe de simulation / prototypage rapide ci-dessous fait référence.

IUT Bordeaux Département GEii	Référence : SLR_DDC_EQ13 Révision : 2 – 20/09/2023	20/23
----------------------------------	---	-------

But de la simulation : Décrivez brièvement le but de la simulation / prototypage rapide vis-à-vis du cahier des charges.

Fichiers : Renseignez ici le nom des fichiers associés à la simulation / prototypage rapide de manière à pouvoir rejouer la simulation / prototypage rapide en cas de besoin au cours et après le développement du produit.

Procédure de simulation :

Précisez le déroulé de simulation / prototypage rapide effectué, donnez le schéma de simulation / prototypage rapide correspondant. Précisez la configuration des sources éventuelles, le positionnement des sondes, etc.

Résultats attendus :

A partir des exigences client issues du Cahier Des Charges, renseignez les valeurs attendues ci-dessous.

Grandeur	Valeur attendue	Tolérance
Tension du signal S7	3,5 V	+/- 10%

Résultats obtenus :

Insérez les graphes, tableaux de valeurs, etc. issus de la simulation / prototypage rapide.

Commentez les résultats en les comparant à ceux de la phase de conception détaillée ainsi qu'aux exigences du cahier des charges.

A partir des simulations / prototypages rapides effectués, complétez ci-dessous les valeurs obtenues.

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Tension du signal S7	3,4 V	Conforme/Non conf.

Statut de la simulation : Mentionnez ici la conclusion du test, c'est-à-dire « conforme » ou « non conforme ».

Problèmes rencontrés :

Mentionnez ici les problèmes que vous avez rencontrés. Précisez les solutions que vous avez adoptées pour résoudre les problèmes, ou éventuellement les problèmes qui persistent encore lors de la rédaction de ce document. Ce paragraphe n'est pas à négliger, le client y apporte toujours beaucoup d'importance. Il permet de tracer les éventuelles modifications apportées au produit pendant son développement. On peut également informer le client des limitations du produit qui lui est livré. Il sera ainsi conscient des problèmes encore non résolus et ne perdra pas un temps précieux à comprendre pourquoi cela ne fonctionne pas. Ceci est une démarche de transparence entre un fournisseur et un client qui contribuera à la qualité finale du produit et à la satisfaction du client.

4.2. Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Concluez sur la simulation / prototypage rapide du produit en insistant sur les non-conformités et les solutions possibles. Le texte ci-dessous est un exemple.

Les simulations / prototypages rapides effectués dans cette partie ont permis de valider les choix et dimensionnements de la phase de conception.

5. Conclusion de la conception du produit

Rédacteur : Prénom et Nom du rédacteur du paragraphe

Relecteur : Prénom et Nom du relecteur du paragraphe

Concluez sur la conception du produit vis-à-vis des exigences client en insistant plus particulièrement sur les non-conformités identifiées, les causes possibles et les solutions envisagées.

6. Matrice de conformité du produit

Ce chapitre synthétise par l'intermédiaire d'un tableau la conformité du produit développé par rapport aux exigences issues du Cahier des Charges.

Exigence	Méthodes de Vérification	Eléments vérifiant l'exigence	Statut
EX01	Conception Conception Simulation	CPR01 CDT01 DRS01	Conforme Conforme Conforme