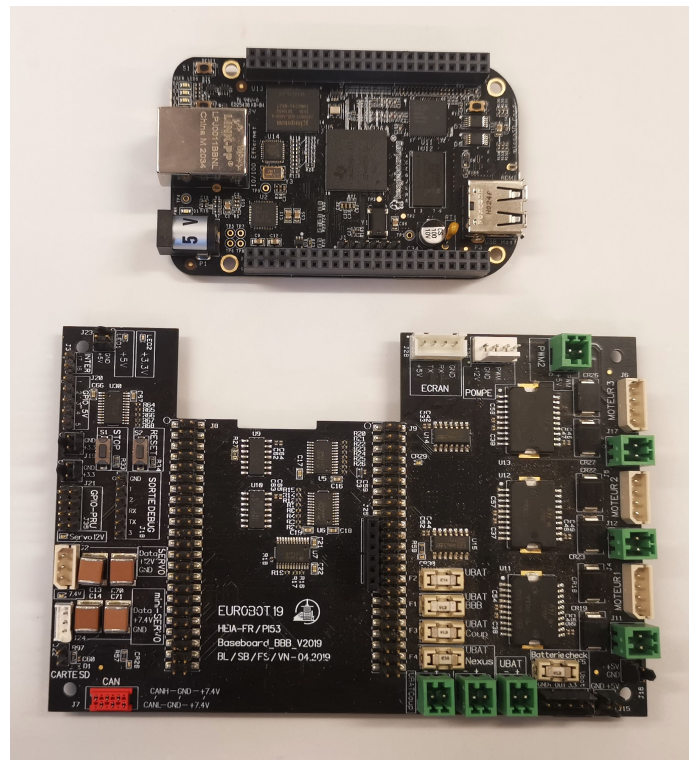




Projet de semestre 5

Baseboard

Bastien Piguet



Superviseur: Roland Scherwey, Pietro Buccella
Partenaire: RTFM
Durée du projet: 20.09.2023 – 20.12.2023
Filière: Génie électrique, HEIA-FR

The HES-SO logo is the exclusive and total property of the HES-SO.
The HEIA-FR logo is the exclusive and total property of the HEIA-FR.

Table des matières

Table des figures	III
Liste des tableaux	III
1 Introduction	1
1.1 Le projet	1
1.2 Objectifs	1
1.3 Planification du projet	2
2 L'ordinateur de bord	3
2.1 Elements actuels	3
2.2 Un nouveau système	3
2.2.1 Prérequis du SBC	3
2.2.2 Solutions disponibles	3
2.2.3 Tableau multicritères	4
2.3 Choix final	4
3 Modules de la baseboard	5
3.1 Modules prérequis de la baseboard	5
3.1.1 Module additionnel, optionnel	5
3.2 Régulateurs	6
3.2.1 Rail 3.3 V	7
3.2.2 Rail 5 V	7
3.2.3 Rail 7.4 V	7
3.2.4 Rail 12 V	8
3.2.5 Modification	8
3.3 LEDs de status	10
3.3.1 Calcul de la résistance	10
3.4 RTC	11
3.4.1 Alimentation	11
3.5 CAN	12
3.5.1 Connecteur	12
3.6 Level shifter	13
3.7 TTL	14
3.7.1 Connecteur	15
3.8 RS485	15
3.8.1 Connecteur	15
3.9 GPIO 5V	15
3.10 Mesure de la batterie	17
3.10.1 Calculs des composants	17
3.10.2 Simulation	18
3.10.3 Buzzer	19
3.11 Protection électrique	21
3.11.1 Fusible	21
3.11.2 ESD	21
3.12 WiFi	21
3.13 Communication série	21
4 Test de la carte	22
4.1 Alimentation	22

4.2	Mesure de la batterie	22
4.3	Lignes de communications	22
5	Conclusion	23
	Références	24
A	Annexe	A-1
A.1	Logiciels	A-1
A.2	Documents	A-1

Liste des figures

1	Exemple du tableau multicritères	4
2	Schéma block de la baseboard	6
3	Régulateur 3.3 V	7
4	Régulateur 5 V	7
5	Régulateur 7.4 V	8
6	Régulateur 12v V	8
7	Circuit de régulation 5V	9
8	Circuit de régulation 7.4V	9
9	Circuit de régulation 12V	10
10	LEDs de status d'alimentation	10
11	Circuit de la RTC	11
12	Circuit d'alimentation de la RTC	12
13	Circuit du transceiver CAN	12
14	Circuit des GPIOs systèmes de sortie	13
15	Circuit des GPIOs systèmes d'entrée	14
16	Circuit du transceiver TTL	14
17	Circuit du transceiver RS485	15
18	Circuit des GPIOs de sortie	16
19	Circuit des GPIOs d'entrée	16
20	Connecteurs des GPIOs	16
21	Circuit de mesure de la batterie	17
22	Circuit de mesure de la batterie sur LTSpice	18
23	Simulation de mesure de la batterie	19
24	Circuit d'oscillation pour le buzzer	19
25	Circuit de simulation d'oscillation pour le buzzer	20
26	Simulation de l'activation de l'oscillateur	20
27	Circuit du buzzer	20
28	Connecteur de communication série	22

Liste des tableaux

1	Planification du projet	2
2	Liste des éléments actuels des robots	3

1. Introduction

Le groupe de robotique de l'HEIA-FR, RTFM (Robot Team Morat Fribourg), participe activement au concours Eurobot chaque année. Au fil des années, l'évolution des besoins a rendu impérative une mise globale de la carte logique principale. Dans cette même optique, l'ordinateur de bord sera remplacé par un produit plus adapté aux exigences modernes. Cette initiative vise à maintenir la compétitivité de notre équipe en optimisant les performances électroniques du robot, garantissant ainsi une participation continue et fructueuse au concours Eurobot dans les années à venir.

1.1. Le projet

Le groupe RTFM (Robot-Team Fribourg Morat - <http://www.rtfmswiss.ch>) participe régulièrement à la compétition Eurobot (<https://www.eurobot.org>). Chaque année, les robots doivent s'adapter aux nouveaux règlements afin de participer à des compétitions nationales et internationales. Le robot pour la nouvelle compétition va prochainement être conçu, construit et testé. Il est équipé d'un ordinateur Linux embarqué avec un BeagleBone Black et d'un RaspberryPi, qui prennent le contrôle global du robot. En outre, il possède différents capteurs / actionneurs pour aborder les tâches de cette année, qui sera publié à la fin septembre.

1.2. Objectifs

Dans ce projet, il s'agit de choisir un nouvel ordinateur de contrôle plus performant pour reprendre les tâches de BeagleBone et RaspberryPi et être également préparé pour les tâches AI, par exemple pour la reconnaissance d'objets et de développer le hardware de la Baseboard correspondante. Pour ce projet PS5, les travaux suivants doivent être réalisés :

- Étudier la documentation existante de RTFM
- Définition des critères de sélection d'un nouvel ordinateur de commande plus performant.
- Commande de la carte de développement
- Choix des composants HW et des connecteurs.
- Conception et réalisation du schéma pour le Baseboard en respectant le cahier des charges ainsi que les bonnes pratiques.
- Documentation pour les tests et validation du système.

1.3. Planification du projet

Le projet débute la semaine du lundi 18.09.2023 (notée semaine 1) et se termine la semaine du lundi 18.12.2023 (notée semaine 11). Le présent rapport est à rendre au plus tard le vendredi 20.12.2023 à 23h59. La défense orale de ce travail se fera le mardi 09.01.2024. En bleu, le planning estimé et en vert le planning effectif.

	Mois	Sept.		Octobre				Novembre				Décembre					
		Semaines du projet		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Semaines de l'année civile		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Planification		■	■														
Etat de l'art		■	■	■													
Définition des critères			■	■	■												
Recherche du SBC				■	■	■											
Présentation intermédiaire						■	■										
Commande / Livraison Evaluation Board						■	■	■									
Choix des composants						■	■	■	■								
Conception du schéma								■	■	■	■	■	■	■	■		
Rédaction documents de tests													■	■	■		
Rédaction final du rapport														■	■		
Rendu du rapport PS5															■		

- Légende**
- Temps planifié
 - Jalon
 - Temps effectif
 - Deadlines

TABLE 1 – Planification du projet

2. L'ordinateur de bord

2.1. Elements actuels

L'élément principal de ce projet est de mettre à jour l'hardware du robot afin de mieux répondre aux besoins du groupe lors des concours dont ils participent. Le cœur de celui-ci est le BeagleBone Black, qui contient le programme principal du système et gère toutes les actions et communications avec les périphériques. Lors de l'ajout de mesure des distances par un lidar la puissance de calcul de celui-ci ne suffisait plus, un Raspberry pi 3B+ a été choisi pour effectuer les calculs de positionnement et de détection d'obstacle. Il communique entre eux par Ethernet et aux travers d'un socket. Le portage du système sur le Raspberry pi fut mentionné lors de multiples discussions, mais ce SBC ne comporte pas de port CAN et n'est donc pas adapté aux besoins du robot. Pour connaître la structure minimum qui sera requis voici un descriptif des appareils susnommés :

SBC	BeagleBone Black	Raspberry Pi 3B+
CPU	1 GHz ARM® Cortex-A8	1.4 GHz ARM® Cortex-A53
RAM	512 MB DDR3L 800 MHz	1 GB DDR2
Flash	4 GB eMMC	SD card
Connectivity	4x USB and standard	Wifi 5 Ghz, 4x USB and standard
Power	5 V, 1 A	5 V, 2 A
Price	50.- CHF	50.- CHF

TABLE 2 – Liste des éléments actuels des robots

2.2. Un nouveau système

2.2.1. Prérequis du SBC

Le système doit rester compatible avec l'infrastructure actuellement mise en place. De ce fait des éléments sont obligatoires pour une transition facilitée et le moins coûteuse possible. Voici la liste des caractéristiques minimum requise :

- Processeur ARM
- Compatible Debian
- Bus CAN
- Port USB 2x minimum
- UART 2x
- GPIO 4x

Si lors de la sélection un de ces paramètres venait à ne pas être respecté cela induirait de possibles grands changements dans le système informatique.

2.2.2. Solutions disponibles

Le nouvel ordinateur de bord devra être au moins aussi puissant que le Raspberry Pi 3B+ afin d'assurer, sur le long terme, des capacités suffisamment élevés pour de nouveaux systèmes tels que du traitement d'images, du multithreading ou des réseaux neuronaux. Lors de discussions avec les participants du groupe RTFM et les professeurs, certain produits ont été cités : Toradex, BeagleBone, Raspberry Pi et Phytex. Les recherches se sont donc basés sur ceux-ci. Cependant, des modèles comme ceux de Toradex sont des CoM (Computer on module) ayant des caractéristiques similaires que d'autres marques, ce type de produit ne comporte pas de connecteur standard tel que l'USB ou l'Ethernet. De ce fait, tous ces signaux devront être tracés sur la baseboard et cela engendrera donc une plus grande complexité de celle-ci. De plus, ce type de produit est plutôt destiné au monde industriel, ce qui induit des coûts bien supérieurs et un plus grand bagage de connaissance nécessaire afin de les utiliser à leur plein potentiel. Ils seront donc écartés de la sélection.

2.2.3. Tableau multicritères

Le choix des SBCs sur le marché étant vaste, le meilleur moyen de trouver le système qui correspond le plus aux besoins du robot est le tableau multicritères. Plusieurs itérations ont été réalisées afin de lister les caractéristiques techniques et filtrer le plus adéquatement les différents choix, le choix c'est donc porté sur le design suivant :

SBC	Critère	Description	Poids (p)	Sous-Note (u)	Note (n=Σu)	Score (s=p*n)	Remarque	Total (Σs)
BeagleBone black	Système		3		2	6	Puissance de calcul	26
	CPU	1GHz ARM® Cortex-A8		0				
	RAM	512MB DDR3L 800MHZ		0				
	Flash	4GB, 8bit Embedded MMC (eMMC)		2				
	Connectivity		2		2	4	Facilité de communication entre les appareil	
	Connector	LCD, eMMC, Ethernet 10/100M		1				
	Wi-Fi 5GHz	-		0				
	USB	1x USB 2.0		1				
	RTC	-		0				
	GPIO	2x 46 GPIO, ADC, I2C, SPI, PWM	3		3	9	Versatilité futur pour les robots	
	UART	5x UART		2				
	CAN	2x CAN		1				
	Power	5 V, 1 A	2		1	2	Durée de vie de la batterie et dissipation de puissance	
	Price / Availability	50,00 CHF	1		5	5	Coûts à l'unité et facilité d'acquisition	

FIGURE 1 – Exemple du tableau multicritères

Il est séparé en plusieurs catégories qui comportent des précisions sur les domaines et les particularités recherchées.

Le système comporte les informations relative à la puissance de calcul de l'ordinateur. Ce paramètre étant difficile à juger suivant les particularités physiques, il est comparé grace au site *geekbench* qui calcul un résultat selon un algorithme et le temps d'exécution.

La connectivité inclue les connecteurs et périphériques directement implémentés sur la carte.

Les GPIOs sont les protocoles de communications disponibles sur les ports d'extensions avec lequel un circuit devra être réalisé afin de les utiliser selon le besoin.

La puissance est un élément important du fait que la carte sera alimentée par batterie et que la dissipation de chaleur est à prendre en compte dans un possible boîtier fermer.

Le prix n'étant pas un facteur décisif, il comprend aussi la disponibilité sur le marché, ce qui peut être en notre défaveur si celui-ci se retrouve à être indisponible sur le marché au moment du développement et des concours.

Le tableau complet se trouve en annexe 1.

2.3. Choix final

Grâce au tableau multicritères, le SBC qui en ressort est le BeagleBone AI-64. Il possède toutes les connectivités requises pour l'environnement dans lequel il sera utilisé. Malgré l'absence d'une puce Wifi embarquée, un dongle USB sera utilisé, comme utilisé actuellement. Son processeur comporte 2 cœurs Cortex-A72, 6 microcontrôleurs Cortex-R5F et une cellule pour de l'IA.

3. Modules de la baseboard

La seconde partie de ce projet est de mettre à jour la baseboard, elle est la carte d'expansion du SBC, qui permet de gérer la connectique des périphériques et aussi l'alimentation de ceux-ci ainsi que celui de l'ordinateur. En se référant au PCB déjà existant, une grande partie des modules seront réutilisés ou mis à jour avec de nouveaux composants. Le schéma de la baseboard de 2019 est en annexe 2.

3.1. Modules prérequis de la baseboard

Afin de maintenir la compatibilité avec les périphériques actuels, certains éléments indispensables doivent être intégrés à la baseboard. Voici la liste des composants requis :

- Régulateur 3.3 V (Niveau logique du SBC)
- Régulateur 5 V (Alimentation, USB)
- Régulateur 7.4 V (CAN, Servo-moteur)
- Régulateur 12 V (Servo-moteur)
- Connecteur Servo 7.4 V
- Connecteur Servo 12 V
- Connecteur Alimentation (XT60)
- Connecteur arrêt d'urgence
- Connection PWM
- Connecteur écran
- Connecteur USB (Lidar)
- Connecteur Ethernet (Debug)
- Connecteur de démarrage
- Bouton start programme (interrupt pin)
- Bouton reset
- GPIO disponible (3.3 V, 5 V)
- Bouton de reset
- Bouton de start
- LED indicatrices
- Protection électrique de la carte

3.1.1. Module additionnel, optionnel

l'occasion étant présente, un ajout de fonctionnalités se montre afin de combler certaines lacunes et certaines modifications du système pour correspondre au mieux aux technologies et problématiques actuelles.

Une RTC de manière à garder l'heure à jour quand le système est mis hors tension et ainsi faciliter la recherche d'erreurs dans les logs lors d'utilisations précédentes.

Un convertisseur UART vers RS485 pour assurer une communication plus fiable avec les périphériques.

Un Haut-parleur / prise jack qui c'est avéré amusant lors de concours précédent et rend le robot original et les concours plus décontractés.

Un contrôle de la batterie intégré directement sur la carte pour ne pas devoir utiliser un module externe.

Tous ces modules sont intégrés et reliés sur la baseboard de cette façon : grande version est en annexe 3.

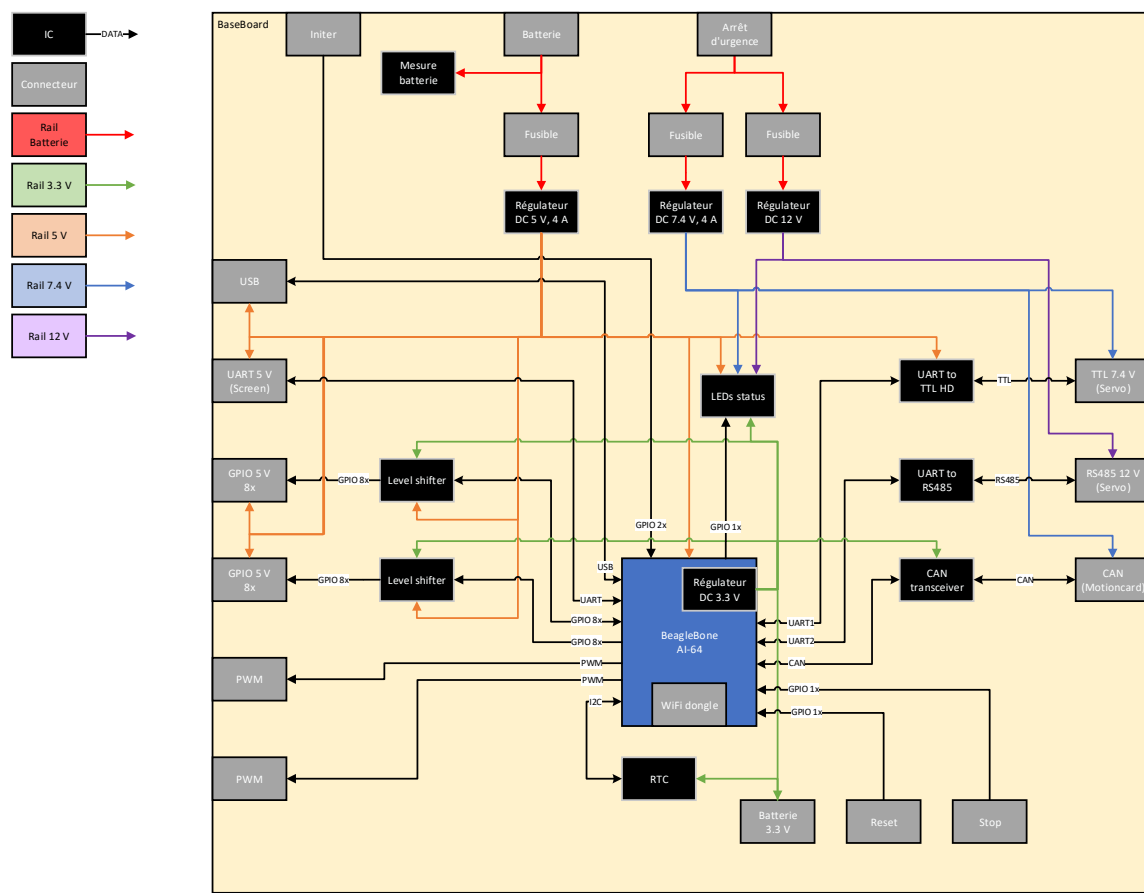


FIGURE 2 – Schéma block de la baseboard

3.2. Régulateurs

Le robot comporte une multitude d'actionneurs, de capteurs et d'ICs. Chacun d'eux fonctionnent à une tension définie par le fabricant et n'est donc pas la même pour tous. Cette carte s'occupera de l'alimentation de ceux-ci, elle a donc besoin de ces rails de tension : 3.3 V, 5 V, 7.4 V et 12 V. Grâce au service web *webench TI*, la sélection des ICs et composants est facilitée, après avoir mis les paramètres requis dans le service, tel que la tension d'alimentation minimum et maximum et le courant de sortie maximal, il propose une série de circuits remplissant les prérequis et listant les composants nécessaires à sa création, mais cela uniquement avec des composants dans la marque TI. Ceci simplifie le choix de l'IC, une tâche qui peut devenir très fastidieuse à cause de la grande quantité de possibilités et des similarités selon les modèles et les marques. De plus le listage des différents circuits permet de comparer les différents composants et sélectionner des similaires si cela est possible.

Le courant maximal qui sera tiré sur ces tensions est dépendant des périphériques. Une moyenne de 2 A a été défini pour les tensions 5, 7.4 et 12 V par les besoins des systèmes externes ultérieurs. Pour avoir une marge de puissance la recherche c'est effectué avec un maximal à 4 A.

La tension d'entrée vient d'une batterie dont le niveau varie lors de la décharge et selon le type de chimie utilisé. Dans le cas actuel ce sont des batteries de 4 cellules de type LiPo avec une tension variant entre 12.8 V et 16.8 V et du type LiFe avec une tension variant entre 12 V et 14.6 V. Le régulateur doit donc accepter un niveau d'entrée compris entre 12 V et 16.8 V.

3.2.1. Rail 3.3 V

Le BeagleBone AI-64, nouvel élément central du robot, fonctionne sur une tension de 3.3 V et de ce fait tous ces GPIOs ont un tel niveau logique. Il faut donc générer cette tension pour communiquer, sans risque d'endommagement, avec le système logique. Le service webench a proposé l'utilisation du TPS564257, datasheet en annexe [1], avec son jeu de résistances pour obtenir la tension voulue.

Ce régulateur fonctionne avec une tension de référence interne, un diviseur de tension est appliqué sur la sortie, le niveau résultant est injecté dans l'IC afin que le circuit modifie la tension de sortie pour arriver au même niveau que la référence interne.

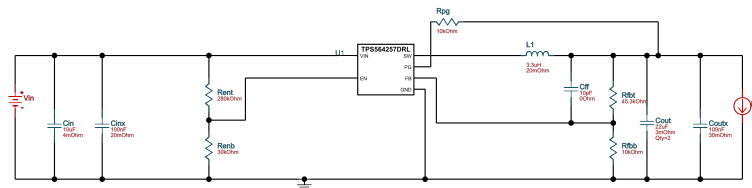


FIGURE 3 – Régulateur 3.3 V

3.2.2. Rail 5 V

La tension de 5 V est largement employée dans le domaine informatique, c'est pour cela que l'alimentation du BeagleBone requiert 5 V. Elle est essentielle pour alimenter les ports USB et d'autres systèmes intégrés au SBC. Les GPIOs de sorties présents sur la carte travailleront à ce niveau logique, offrant une flexibilité accrue pour l'intégration de modules dans des réalisations futures. Cette décision assure une compatibilité étendue et facilite l'intégration avec d'autres composants du domaine informatique. Le même IC que pour la tension de 3.3 V étant proposé par webench il a donc été choisi dans ce circuit.

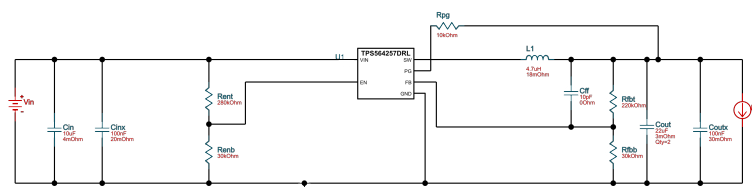


FIGURE 4 – Régulateur 5 V

3.2.3. Rail 7.4 V

Ce rail de tension est spécifique aux appareils embarqués alimentés par batterie, cette tension est tirée de la tension de deux batteries Li-Po $2 \cdot 3.7 V = 7.4 V$. Elle alimentera des servomoteurs et le bus de communication CAN. De même que pour la tension 5 V le régulateur choisi est identique que pour le 3.3 V.

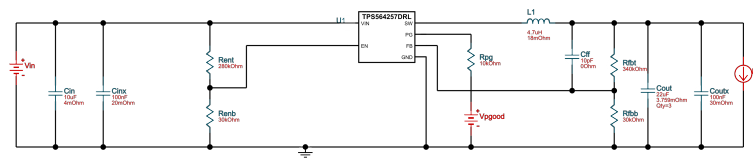


FIGURE 5 – Régulateur 7.4 V

3.2.4. Rail 12 V

Certains appareils, plus gourmand en puissance, sont alimentés en 12 V pour garder un courant plus faible, tel que des moteurs brushless. Le régulateur précédemment cité ne peut pas supporter une telle charge, il faut donc en choisir un plus robuste. De façon similaire, le service webench propose une série de solutions et celle sélectionnée fut le TPS563300, datasheet en annexe [2]. Il ne possède pas les mêmes caractéristiques, mais son fonctionnement est identique au circuit précédent.

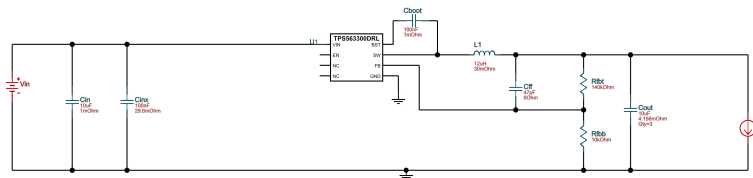


FIGURE 6 – Régulateur 12v V

3.2.5. Modification

Après analyse approfondie du schéma global, il en a été conclu que le BeagleBone intègre son propre régulateur 3.3 V pour son fonctionnement interne. Il offre une puissance suffisamment élevée pour alimenter les modules nécessitant ce niveau. Le port d'expansion met à disposition cette tension. En se référant au schéma interne, il a été confirmé que le régulateur du BeagleBone est apte à alimenter efficacement tous les modules présents sur la carte. Ainsi, il peut avantageusement remplacer le circuit précédemment envisagé. Cette décision permet d'éliminer un élément redondant, et assurant ainsi une uniformité de tension pour tous les composants nécessitant cette alimentation.

En raison de la suppression du régulateur 3.3 V sur la carte, la possibilité d'utiliser un régulateur similaire pour tous les rails c'est présentée. De plus certaines pins sont utiles à la gestion de l'alimentation, telles que l'ENable qui permet au système d'activer et de désactiver certaine tension en cas de besoin et surtout lors du démarrage afin d'éviter un retour de courant sur le SBC si celui-ci se retrouve à ne pas être alimenté. La pin Power Good et un indicateur que le régulateur a fini son cycle de démarrage et que la tension souhaité a été atteinte. les ICs précédemment sélectionnés ont été remplacés par le TPS62933P, datasheet en annexe [3]. Cette modification vise à garantir que tous les régulateurs de tension utilisés pour les différents systèmes soient identiques, facilitant ainsi la gestion de l'alimentation.

Le réglage de la tension se fait au travers de la pin FeedBack, qui modifie la tension V_{OUT} afin de

toujours obtenir 0.8 V. La datasheet fourni les calculs et les valeurs des composants recommandés.

$$V_{ref} = 0.8 \text{ V (tension de référence interne)}$$

$$R_{FBB} = 10 \text{ k}\Omega \text{ (recommandé)}$$

$$R_{FBT} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} \cdot R_{FBB}$$

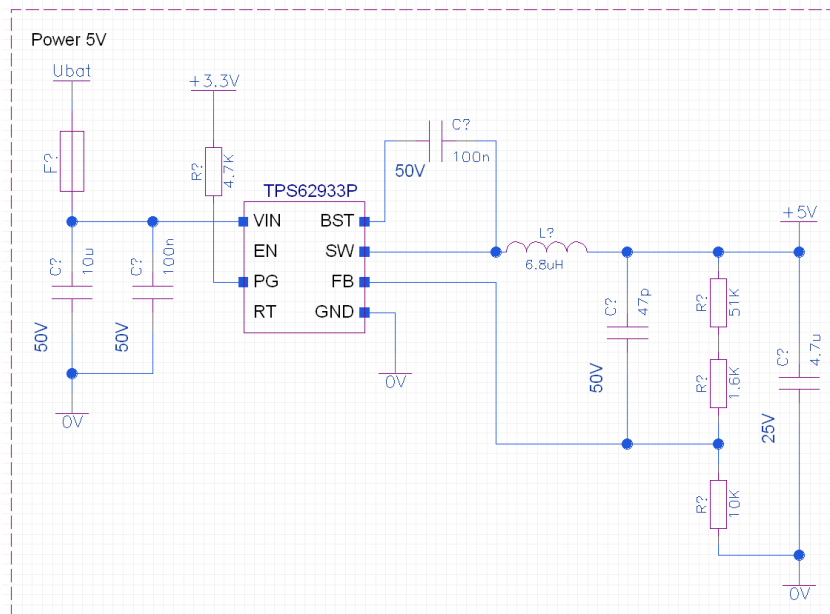


FIGURE 7 – Circuit de régulation 5V

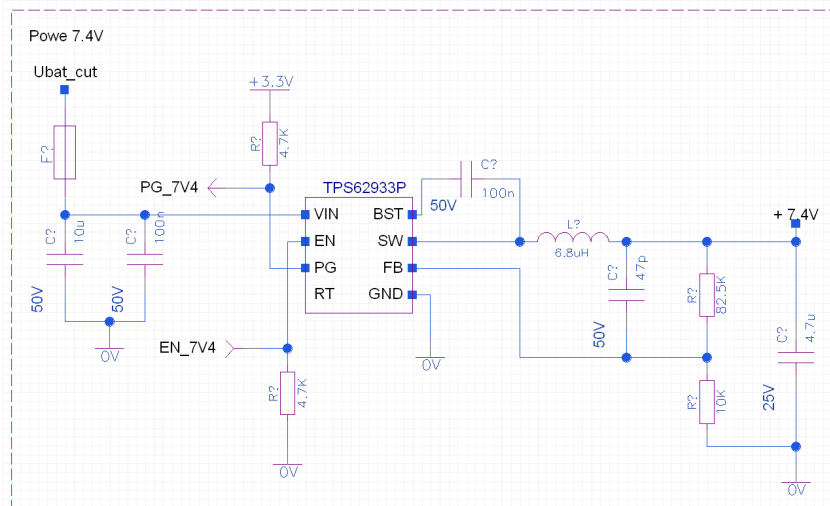


FIGURE 8 – Circuit de régulation 7.4V

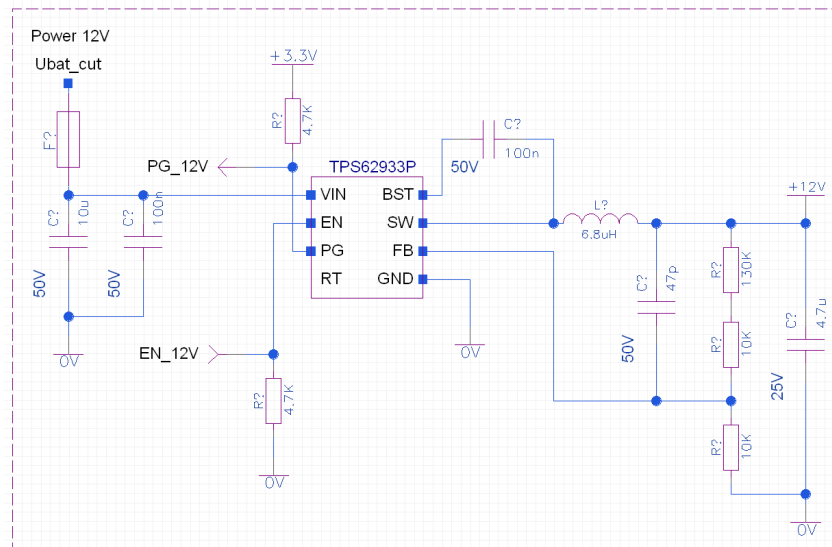


FIGURE 9 – Circuit de régulation 12V

3.3. LEDs de status

Les rails de tension sont des éléments important pour le bon fonctionnement de la carte. Pour assurer à l'utilisateur que ceux-ci fonctionnent correctement sans devoir accéder au système informatique, des LEDs sont alimentées par ceux-ci et s'allument lorsque la tension est présente. Similairement, une LED est placée pour informer que le logiciel du robot est en fonctionnement, ceci par le biais d'une GPIO qui est mise à 1 lors du démarrage du logiciel et dont son comportement peut être défini lors de la programmation.

Ces LEDs sont de basse puissance APT1608LVBC de chez Kingbright, la datasheet en annexe [4], il n'est pas nécessaire d'avoir une grande luminosité et une consommation plus faible est préférable pour un appareil sur batterie.

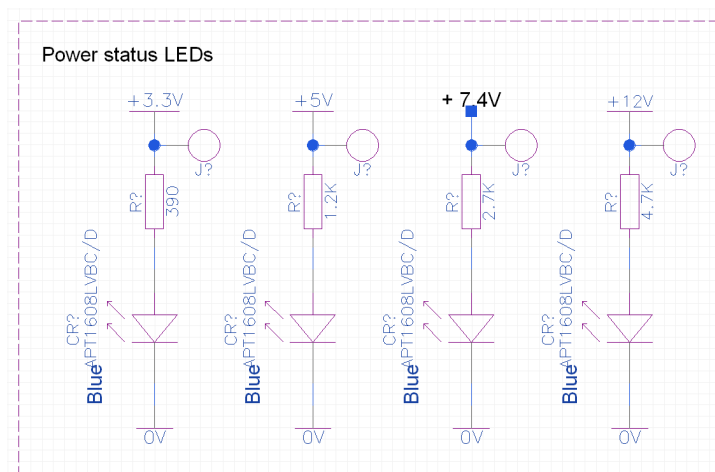


FIGURE 10 – LEDs de status d'alimentation

3.3.1. Calcul de la résistance

Les tensions étant élevées, une résistance doit être placée en série afin de limiter le courant traversant la LED. La chute de tension induit donc une perte en chaleur et doit être calculé pour assurer que la résistance puisse dissiper cette énergie. La tension et le courant requis par la LED dépend

de sa couleur, ces valeurs sont définies dans la datasheet.

$$R_{LED} = \frac{V_{in} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

$$P_{R_{LED}} = I_{LED} \cdot R_{LED}^2$$

3.4. RTC

Lors des concours précédents les logs du SBC, n'ayant pas d'horloge à l'heure, ils étaient enregistrés dans le désordre et donc il était difficile de retrouver les informations nécessaires à la résolution des problèmes. De ce fait l'ajout d'une RTC a été défini. Selon le catalogue existant dans l'école le choix c'est fait sur l'IC RV-8803-C7, datasheet en annexe [5]. Il communique en I2C avec le SBC afin de lui transmettre l'heure correcte si celui-ci n'est pas connecté à internet et lors de la mise hors tension du système. Uniquement au premier démarrage la RTC devra être mise à l'heure depuis l'ordinateur. Cet IC dispose d'une sortie CLock OUT qui fournit la fréquence du cristal interne et permet de contrôler que celui-ci fonctionne correctement.

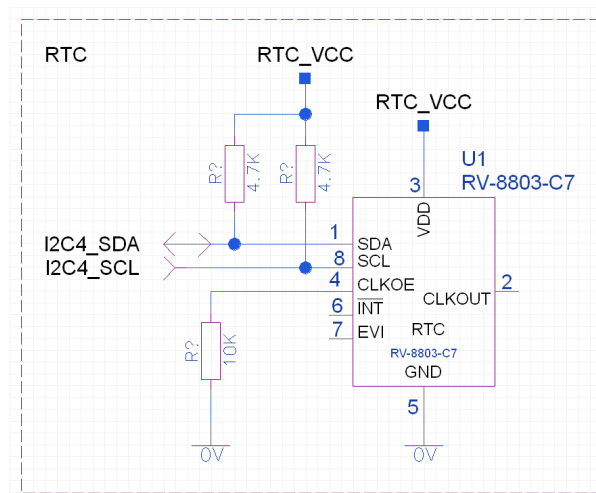


FIGURE 11 – Circuit de la RTC

3.4.1. Alimentation

La RTC doit rester alimentée même lors de la mise hors tension du Robot, pour cela une pile, une super capacité ou une batterie peut être utilisée. Le choix c'est porté sur une pile bouton (Type CR2032), utilisé couramment dans les ordinateurs fixes pour ce type de cas. Elle vient être mise sur un support horizontal avec un accès par le dessus pour faciliter le changement en cas de besoin, datasheet en annexe [6].

Afin de limiter la consommation de la pile et la faire durer le plus longtemps possible, un power multiplexer (mux) est placé entre les différentes sources d'alimentations et la RTC, celui-ci va sélectionner la source qui alimentera la RTC selon sa configuration. Le choix de l'IC a été aidé par le document "Basic of power switches", document en annexe [7], qui élabore les différents types de multiplexeur et leurs utilités. Ceci a mené au TPS2116, datasheet en annexe [8]. Il fonctionne dans une plage de tension de 1.6 V à 5.5 V qui est inférieur, comparé à ces homologues, qui ont un niveau minimal de 3 V en moyenne. Ceci permet de ne pas devoir se soucier de la tension de la pile lors du déchargement.

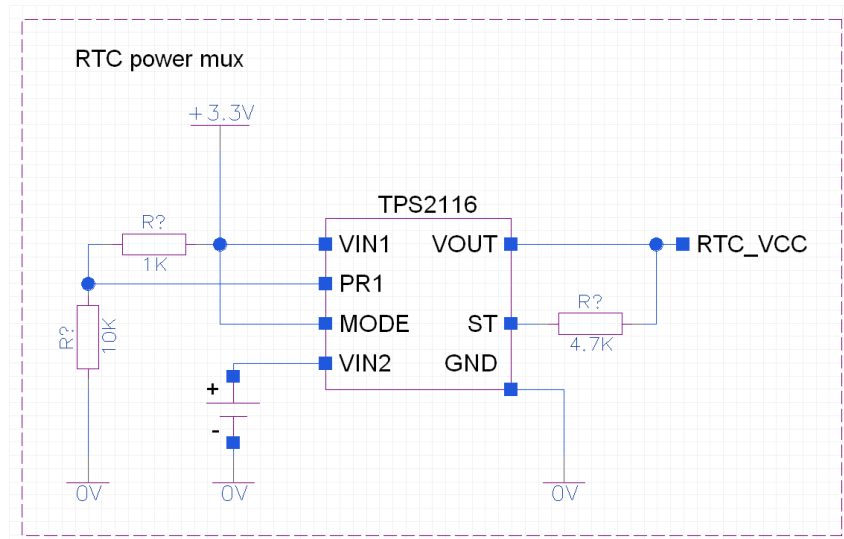


FIGURE 12 – Circuit d'alimentation de la RTC

Son fonctionnement est le suivant : lorsque la pin *PR1* a une tension supérieure à la référence interne de 1 V, le mux connecte la sortie *V_{OUT}* à l'entrée *V_{IN2}* et dans le reste des cas à l'entrée *V_{IN1}*. La pin *MODE* est mise à un niveau haut, ceci indique que le mode de fonctionnement de priorité est sélectionné.

3.5. CAN

Ce module est utilisé afin de communiquer avec la motion card, un système qui gère les actions que doivent effectuer les moteurs afin de déplacer le robot dans la direction voulue. Ce port de communication travail avec une paire différentiel. En ce référent au circuit de la carte précédant le transceiver SN65HVD234 est un candidat idéal, datasheet annexe [9], il est utilisé afin de transformer le signal, MCAN du BeagleBone qui est constitué de deux lignes, une émettrice et une réceptrice, en un signal différentiel CAN.

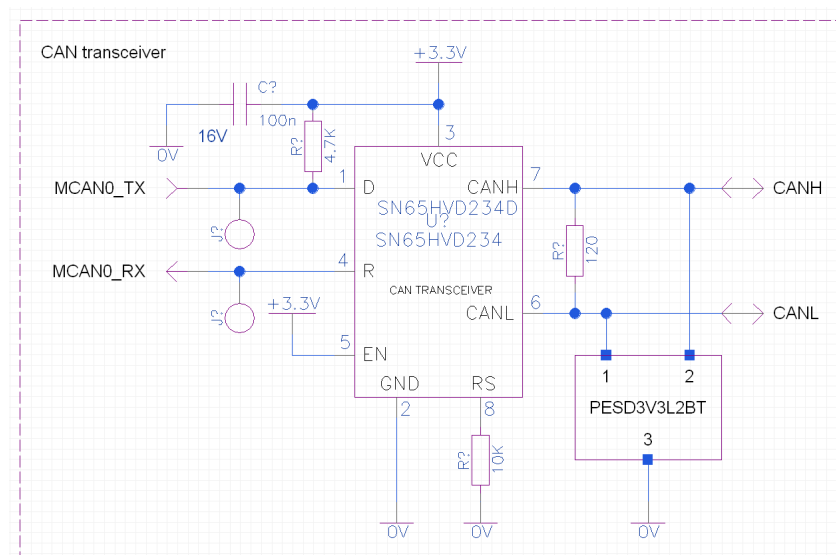


FIGURE 13 – Circuit du transceiver CAN

3.5.1. Connecteur

Le connecteur précédemment utilisé n'est malheureusement plus disponible dans la librairie interne et était défini par de périphériques qui ne sont plus utilisés. Ceci permet de le changer et en choisir

un plus adapté. Il doit être différent de ceux déjà utilisés afin d'éviter les erreurs de branchement qui pourraient détruire le circuit ou celui branché. Le choix c'est porté sur le JST VH, datasheet en annexe [10]. C'est un type de connecteur couramment utilisé dans ce type d'application et est donc disponible en grande quantité et pour une période prolongée. Il possède une sécurité mécanique qui assure le maintien du contact électrique même en cas de déplacement ou de vibrations. La motorisation est un élément crucial et ne doit dans aucun cas se déconnecter par mégarde.

3.6. Level shifter

Le SBC comporte des GPIOs qui ont une tension de travail de 3.3 V, alors que la plupart des appareils électroniques hobbyistes fonctionnent avec une tension de 5 V. Pour résoudre cette disparité, le level shifter 74LVX4245, datasheet en annexe [11], est utilisé pour permettre une interférence bidirectionnelle entre ces niveaux de tension différents. Ce composant est alimenté par les deux tensions logiques, et la direction du signal est déterminée par la broche T_R. Des résistances de pull-down sont ajoutées du côté input afin de prévenir toute oscillation indésirable lorsque la ligne est en haute impédance.

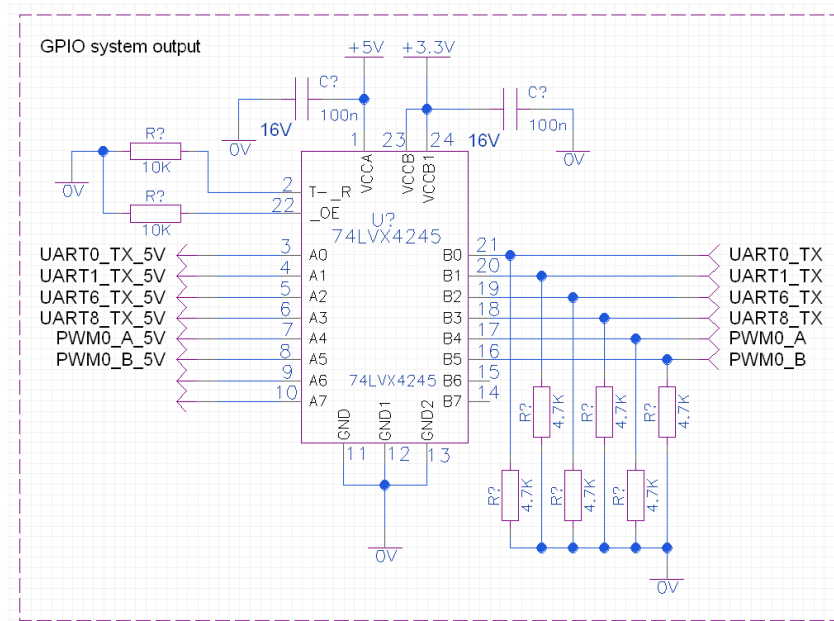


FIGURE 14 – Circuit des GPIOs systèmes de sortie

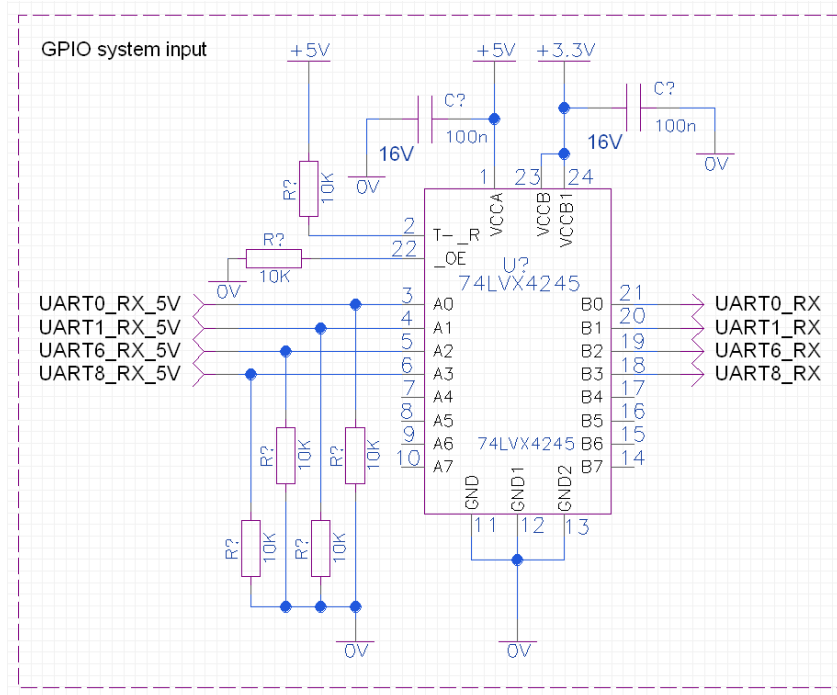


FIGURE 15 – Circuit des GPIOs systèmes d'entrée

3.7. TTL

La communication TTL (Time To Live), à ne pas confondre avec Transistor-Transistor Logic, garde le même circuit que sur la carte précédente. Elle est constituée de portes NOT et de buffers qui transforment le signal Full duplex du BeagleBone depuis le port UART en Half duplex vers les servomoteurs.

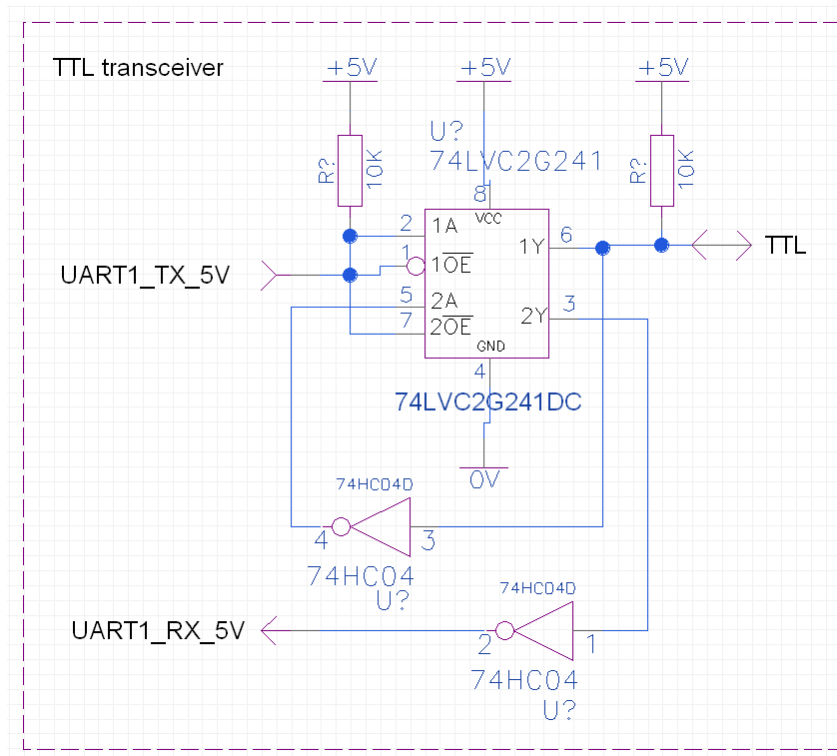


FIGURE 16 – Circuit du transceiver TTL

3.7.1. Connecteur

Le choix du connecteur est défini par celui des servomoteurs qui sont utilisés. La gamme Dynamixel XL-320 possède un connecteur "MOLEX 53253-0370", datasheet en annexe [12].

3.8. RS485

Le TTL mentionné précédemment présente certaines limitations, notamment dans des environnements sujets à des interférences électromagnétiques telles que le WiFi, celui-ci est plus enclin à faillir. En tenant compte de notre gamme de périphériques, le RS485 se présente comme une alternative robuste et potentiellement un remplaçant complet du TTL à l'avenir. La paire différentiel que le RS485 contient réduit considérablement les perturbations aux bruits électromagnétiques dans la ligne de communication, renforçant ainsi la fiabilité du système.

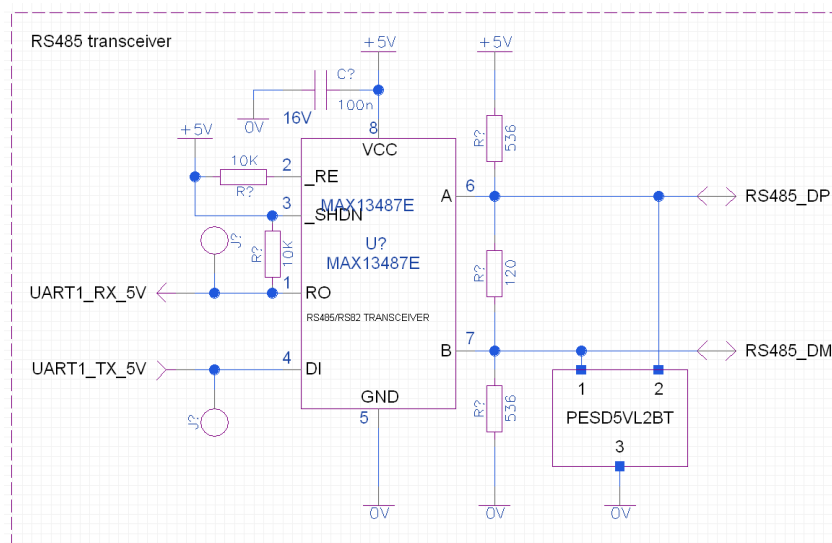


FIGURE 17 – Circuit du transceiver RS485

3.8.1. Connecteur

De même que pour le TTL le connecteur est déterminé par les appareils qui se trouve sur la ligne. Dans ce cas ce sont les servomoteurs Dynamixel de catégorie supérieur qui ont une communication RS485 avec le connecteur "MOLEX 2203 5045", annexe [13].

3.9. GPIO 5V

Les futurs robots ayant des besoins qui ne peuvent pas être prédit, il est impossible de connaître tous les futurs systèmes nécessaires, pour y remédier une série de GPIO est mis à dispositions sur la carte. Une majorité d'électronique de ce type travail avec une tension de 5V c'est donc pour ceci que les sorties du BeagleBone, qui sont en 3.3V, sont passés à travers d'un level-shifter qui transmettra les signaux entre les deux niveaux logique. Le 74LVX4245, présenté à la section 3.6, ne peut travailler que dans une seule direction à la fois, deux ICs sont donc utilisés pour fournir au minimum une entrée et une sortie en parallèle et en cas de besoin, un pont peut être fait sur la pin T_R pour changer la direction du transceiver.

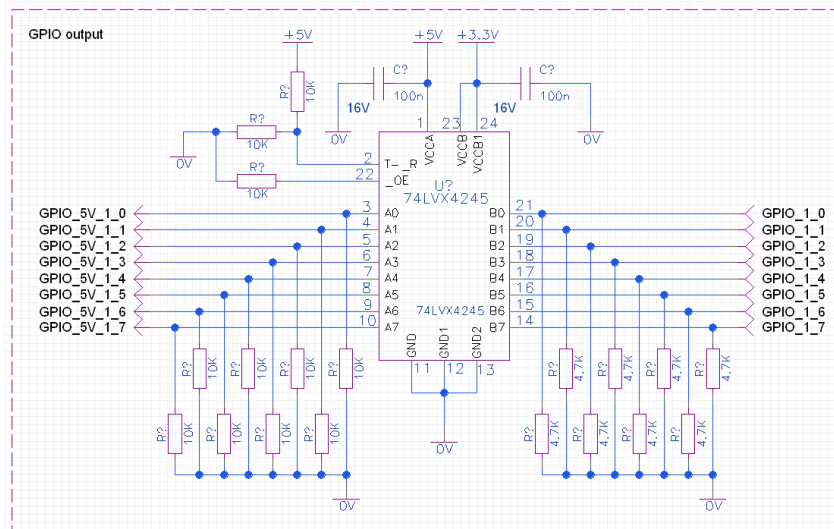


FIGURE 18 – Circuit des GPIOs de sortie

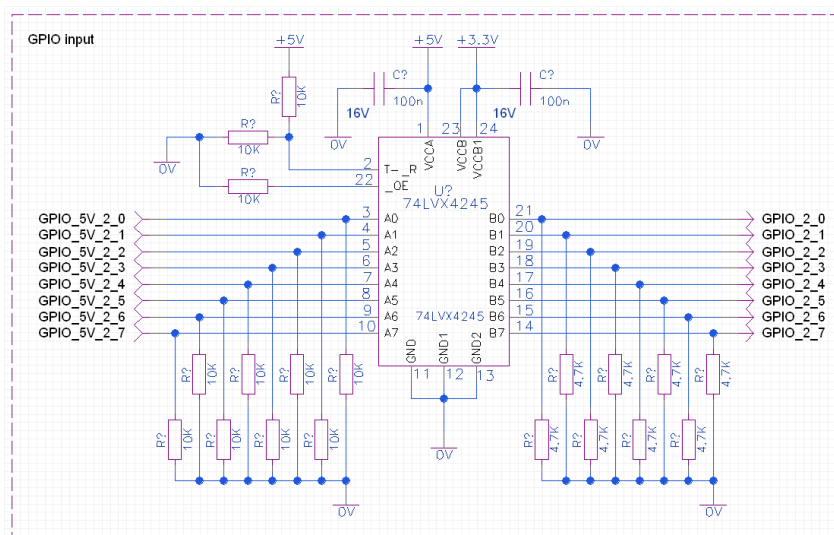


FIGURE 19 – Circuit des GPIOs d'entrée

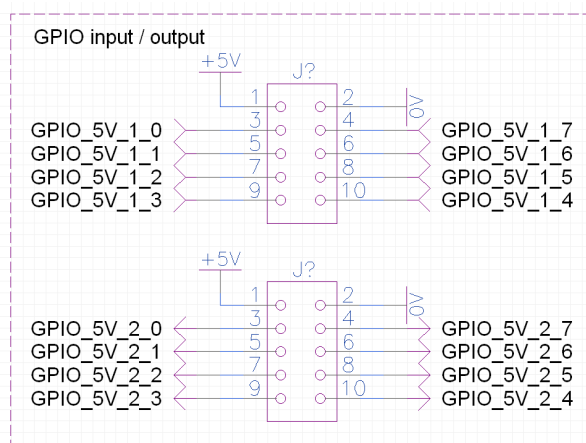


FIGURE 20 – Connecteurs des GPIOs

3.10. Mesure de la batterie

Le robot est alimenté par une batterie selon les réglementations du concours Eurobot. Pour assurer la durée de vie la plus longue de ces batteries un module de mesure externe indique la tension totale et celle de toutes les cellules internes. Cependant, ce module a tendance à prendre de la place et empêche un placement adéquat de la batterie dans le châssis. Afin de garder une sécurité pour la batterie un circuit mesurera sa tension et enverra un signal quand celle-ci descend sous un niveau déterminé par la chimie de la batterie, qui est de 12 V (4 · 3 V) pour une Li-Fe et 12.8 V (4 · 3.2 V) pour une Li-Po.

Ce circuit est composé d'un AOP AD8531, annexe [14], en mode trigger de Schmitt, avec la sortie qui activera une GPIO sur le Beaglebone quand la tension de la batterie passera sous le niveau dit bas des cellules. Cette tension dépend du type de chimie des cellules. Afin de s'adapter au deux types de batteries utilisés, un interrupteur fait la sélection entre deux circuits de résistances qui modifie la tension d'activation. Le circuit est alimenté en 12 V, les entrées de l'AOP ne pouvant pas excéder cette valeur, la tension de la batterie est divisé par 2 au travers d'un diviseur de tension résistif. De même pour la sortie, étant connectée au BeagleBone elle doit être à un niveau logique de 3.3 V.

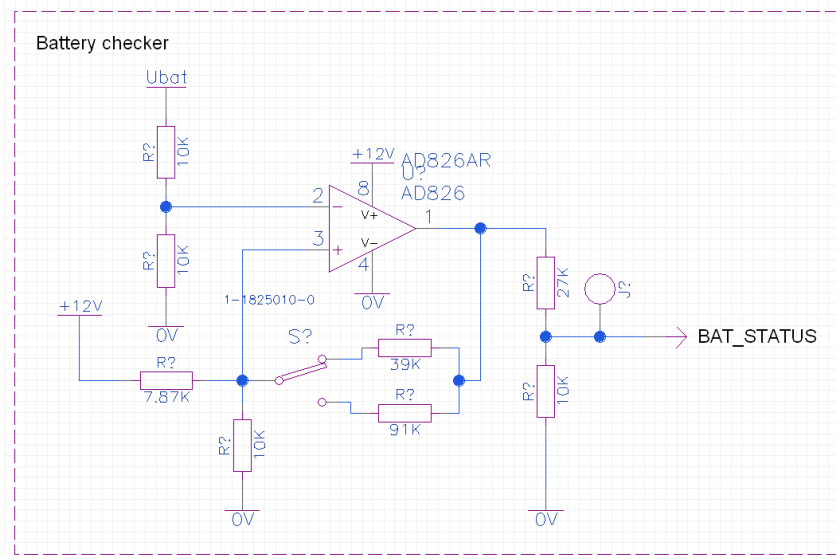


FIGURE 21 – Circuit de mesure de la batterie

3.10.1. Calculs des composants

Valeurs de référence :

- $U_{max_{LiPo}} = \frac{4 \cdot 4.2}{2} = 8.4$ Tension maximale pour une batterie de type LiPo [V]
- $U_{min_{LiPo}} = \frac{4 \cdot 3.2}{2} = 6.4$ Tension minimale pour une batterie de type LiPo [V]
- $U_{max_{LiFe}} = \frac{4 \cdot 3.65}{2} = 7.3$ Tension maximale pour une batterie de type LiFe [V]
- $U_{min_{LiFe}} = \frac{4 \cdot 3.0}{2} = 6.0$ Tension minimale pour une batterie de type LiFe [V]
- $U_{CMD} = 12$ Tension de commande [V]
- $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ Résistance choisi arbitrairement

$$U_{CEN} = \frac{U_{min_{LiPo}} + U_{max_{LiFe}}}{2} = 6.85 \text{ V}$$

$$U_{CEN} = U_{CMD} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_3}$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{U_{CMD}}{U_{CEN}} \cdot R_1 - R_1 = 7.518 \text{ k}\Omega \approx 7.87 \text{ k}\Omega$$

$$U_{min} = U_{CMD} \cdot \frac{R_1 // R_2}{R_3 + R_1 // R_2}$$

$$\Rightarrow R_{2_{LiPo}} = \frac{U_{min_{LiPo}} \cdot R_1 \cdot R_3}{U_{CMD} \cdot R_1 - U_{min_{LiPo}} \cdot (R_1 + R_3)} = 89.43 \text{ k}\Omega \approx 91 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{2_{LiFe}} = \frac{U_{min_{LiFe}} \cdot R_1 \cdot R_3}{U_{CMD} \cdot R_1 - U_{min_{LiFe}} \cdot (R_1 + R_3)} = 36.95 \text{ k}\Omega \approx 39 \text{ k}\Omega$$

Les résultats des résistances sont arrondi à la valeur supérieur de la série de composants disponible pour que la limite du Trigger soit légèrement plus élevée que la valeur nominale afin de ne pas atteindre une zone critique de la batterie.

3.10.2. Simulation

Pour assurer que les calculs soient correctes et fonctionnent avec les composants sélectionnés, une simulation est effectuée sur LTSpice avec les valeurs non arrondies. L'amplificateur opérationnel n'est pas le modèle exact utilisé, mais il est suffisamment proche pour que la simulation reflète de façon réaliste le circuit.

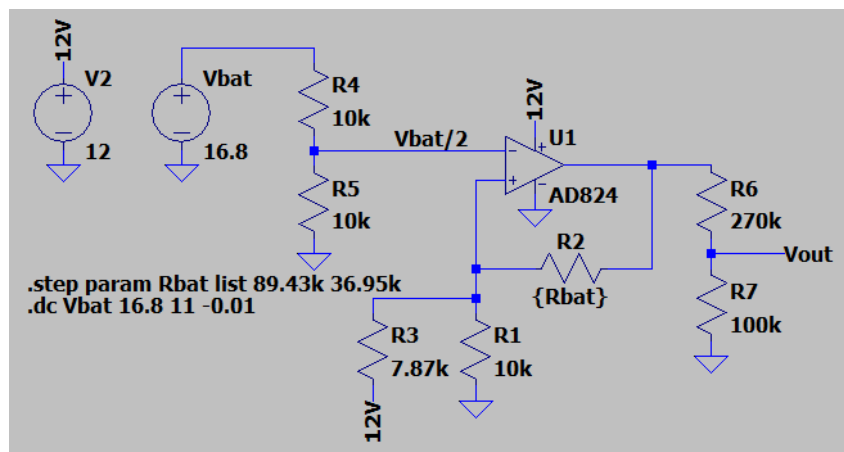


FIGURE 22 – Circuit de mesure de la batterie sur LTSpice

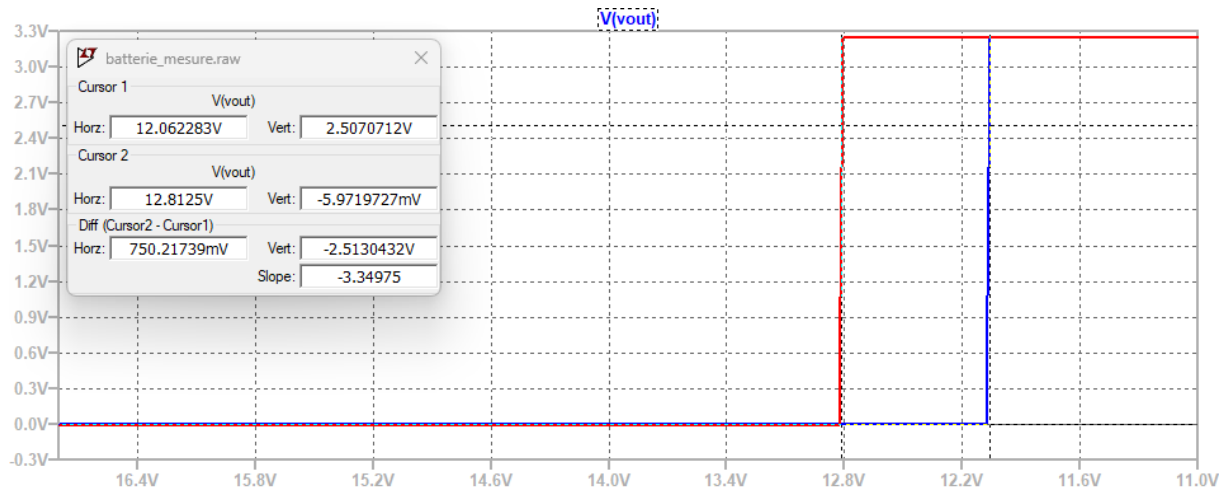


FIGURE 23 – Simulation de mesure de la batterie

3.10.3. Buzzer

N'ayant pas toujours une vue de l'état de la batterie sur le BeagleBone, il faut indiquer à l'utilisateur quand la tension est à un niveau bas. Le moyen le plus adapté d'avertir et assurer que l'information est reçue est de façon auditive. Une première version fut développée avec un timer 555 qui génère un signal PWM dès que son entrée est mise à un niveau haut.

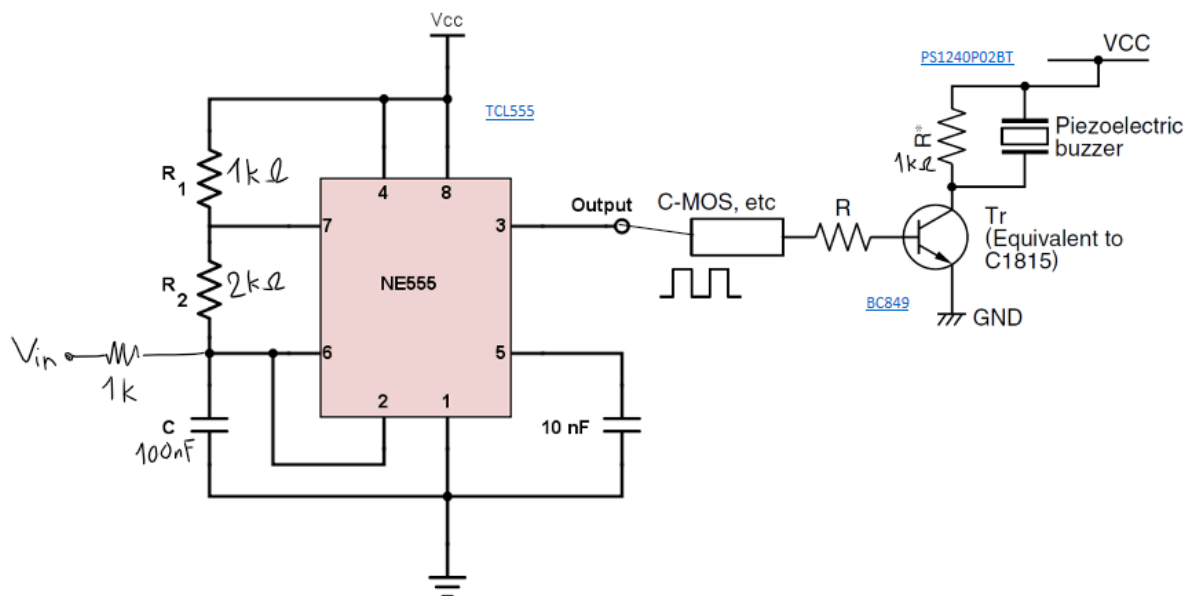


FIGURE 24 – Circuit d'oscillation pour le buzzer

Le circuit est simulé pour assurer le fonctionnement avec les composants choisis. Le résultat est concluant et l'activation s'effectue correctement. Le choix de la fréquence de sortie est choisi arbitrairement pour avoir un signal reconnaissable sans être désagréable. Il peut toujours être adapté en modifiant le jeu de résistances.

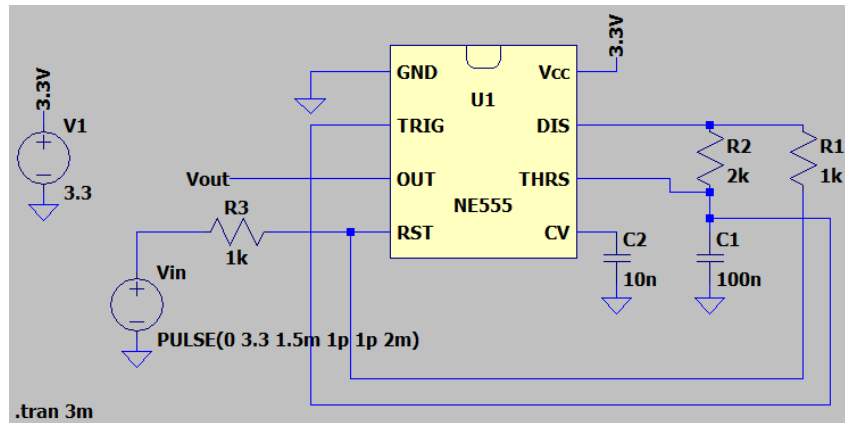


FIGURE 25 – Circuit de simulation d’oscillation pour le buzzer

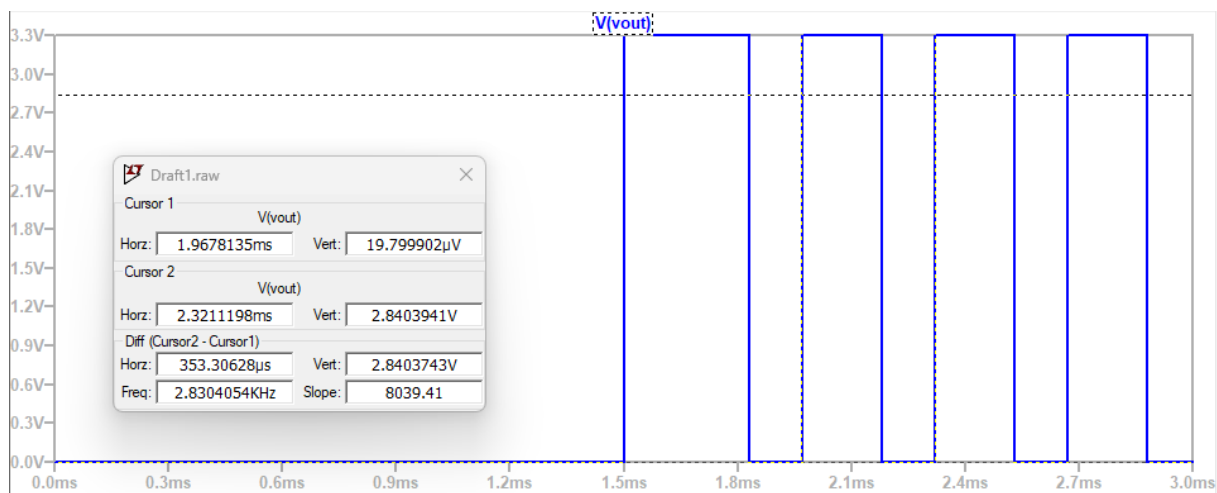


FIGURE 26 – Simulation de l’activation de l’oscillateur

Après réflexion, pour faciliter l’arrêt de signal, qui peut devenir gênant pour une période prolongée, c’est l’ordinateur qui générera un signal sur une sortie PWM qui fera sonner un buzzer, le modèle PS1240P02BT, datasheet en annexe [15]. Il est utilisé dans une grande quantité d’appareil pour sa simplicité et son coût faible.

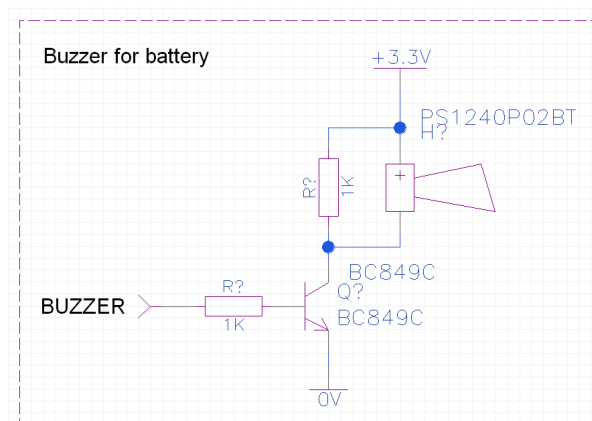


FIGURE 27 – Circuit du buzzer

3.11. Protection électrique

Le robot va se retrouver dans des conditions différentes au fils du temps du développement et de son fonctionnement, de ce fait des protections doivent être mise en place pour protéger ses composants internes les plus sensibles et les composants externes avec lesquels il interagit.

3.11.1. Fusible

La première étape de protection et celle du courant, il peut arriver en cas de courts circuit ou si un périphérique requiert une puissance trop élevée. Les fusibles sont dimensionnés selon ce que peuvent fournir les sources d'alimentations. Précédemment ces fusibles étaient de standard coupe-circuit à remplacer, cependant cela requiert lors des concours d'ajouter le contrôle d'avoir des pièces de rechanges. Une solution à cela sont les fusibles réarmables (PPTC), qui sont affectés par la température et coupe le circuit selon les conditions de manufacture et reviennent dans un état neutre après un certain temps de refroidissement. Selon les caractéristiques maximales des alimentations le choix c'est porté sur le Little fuse 2920L500/24SLDR, datasheet en annexe [16]

3.11.2. ESD

La carte se faisant manipuler régulièrement lors de la création du robot, celle-ci est mise à risque des utilisateurs. Les décharges électriques sont un grand risque qui peuvent détruire certains composants fragile tel que les transceiver. De ce fait un IC de protection qui encaisse ces surcharges est ajouté entre les bornes de communication du CAN et RS485.

3.12. WiFi

La communication principale avec les robots est via WiFi, c'est un point critique et nécessaire. En se basant sur le désigne précédent la solution pour connecter l'ordinateur de bord au WiFi était d'utiliser un dongle USB vu que la carte ne comporte pas de puce WiFi intégré et avec le nombre de port USB limité et déjà utilisé pour d'autre utilisation, il faut router une ligne supplémentaire venant du port 9 de la carte. Cependant, le BeagleBone AI-64 dispose d'un port M.2 qui permet de brancher une carte d'extension. De façon similaire à un ordinateur portable des modules de tout type peuvent y être installé. Dans ce cas le module WiFi, après recherches afin d'assurer la compatibilité avec le système d'exploitation, est l'Intel AX211, qui rempli les conditions requises telles que la norme 5GHz.

3.13. Communication série

Le BeagleBone étant conçu pour fonctionner sans affichage graphique, il dispose d'un port de communication série qui est l'interface à laquelle il va vouloir discuter au démarrage. Afin de pouvoir discuter avec celui-ci, il faut s'y connecter. Un connecteur est présent et permet de s'y interfacer, mais celui-ci se retrouvera sur la face cachée du circuit et donc inaccessible, cependant ce port de communication peut être atteint au travers du port d'expansion et donc routé sur une zone accessible de la baseboard. Et ensuite grâce à un adaptateur USB de s'y connecter sur un terminal, l'adaptateur utilisé et le TTL-232R, datasheet en annexe [17].

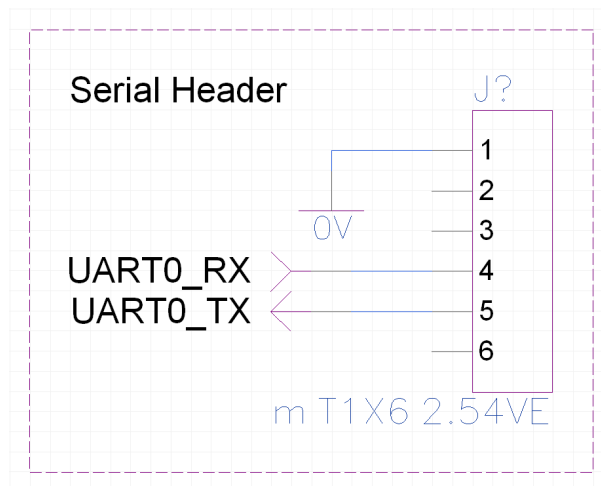


FIGURE 28 – Connecteur de communication série

Seule les signaux TX, RX et GND sont nécessaires à la communication.

4. Test de la carte

Lorsque la carte sera assemblée, il faut s'assurer de son fonctionnement, pour cela un document de test sera créer pour assurer la conformité des différents systèmes et que ceux-ci fonctionnent avec les différents périphériques. Les valeurs mesurées peuvent varier de $\pm 5\%$, ceci est dû à la tolérance de construction de certain composant. Pour chaque élément devant être mesuré et signal n'ayant pas de contact, un point de test est présent sur le PCB afin de faciliter la mesure et la maintenance.

4.1. Alimentation

Lors de la mise sous tension de la carte sans charges (aucun périphérique ne doit être connecté), la tension d'alimentation 5 V doit être active avec sa LED allumée

Après avoir inséré et alimenter le SBC, la tension 3.3 V doit être présent sur la carte et sa LED d'indication allumée.

Les rails 7.4 V et 12 V sont alimentés après avoir exécuté un logiciel adéquat qui va mettre à un niveau haut les pins enables des régulateurs de tension. Le contrôle est effectué avec l'état des LEDs et avec le logiciel qui indique l'état de la pin Power Good de chacune des tensions.

4.2. Mesure de la batterie

Quand la batterie est branchée et que le programme est exécuté le circuit de mesure de la batterie est alimenté. La tension d'entrée est variée avec une alimentation de laboratoire pour simuler la décharge d'une batterie. Selon le type de chimie sélectionné, la sortie passera à un niveau haut au minimum quand la tension d'entrée atteint le seuil bas de la batterie.

À ce moment-là le BeagleBone doit générer un signal PWM qui fait sonner le buzzer.

4.3. Lignes de communications

Avec un programme simple qui envoie des commandes sur les différents bus de communication tel que le déplacement d'un servomoteur, dès lors qu'un périphérique est branché, il doit réagir aux signaux transmis.

5. Conclusion

En fin de projet la majorité des objectifs ont été atteints. Le choix du nouvel ordinateur de bord fut plus complexe que prévu, la quantité de modèles et de types disponible sur le marché a rendu la tâche difficile, cependant après des réflexions approfondies, il a été possible de réduire grandement la liste des possibilités et au final, grâce au tableau multicritères de déterminer le modèle le plus adapté aux besoins du projet. La réalisation du protocole de tests a dû être réduit, mais une explication brève des éléments à contrôler est présente.

La réalisation du schéma électrique fut précédée du choix des modules qui y sont intégrés. En se référant au circuit déjà existant, une partie est reprise telle quelle. Mais une majorité et sois modifié avec de nouveau composant comme les circuits d'alimentations et les LEDs d'indications et d'autre sont créées pour remplir un besoin comme la RTC et la mesure de la batterie. Le schéma électrique est en annexe 4.

Les points difficiles ont été, le choix du SBC et la mise en place du tableau multicritères. La recherche du système parfait est très difficile quand le projet part de zéro, en théorie n'importe quel choix aurait pu fonctionner avec une adaptation plus ou moins conséquente du software ou du hardware des éléments manquant. De ce fait pour palier à ce problème le choix c'est effectué par élimination en se dirigeant vers la solution qui nécessitait le moins de développement externe.

Fribourg, le 20 décembre 2023



Bastien Piguet

Références

- [1] *TPS56425x 3-V to 17-V Input, 4-A, Synchronous Buck Converters in SOT-563 Package*, TPS564257, Texas Instruments, 2022. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps564257.pdf>.
- [2] *TPS563300 3.8-V to 28-V, 3-A Synchronous Buck Converter in SOT583 Package*, TPS563300, Texas Instruments, 2022. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps563300.pdf>.
- [3] *TPS6293x 3.8-V to 30-V, 2-A, 3-A Synchronous Buck Converters in a SOT583 Package*, TPS62933P, Texas Instruments, 2021. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62933p.pdf>.
- [4] *APT1608LVBC/D 1.6 x 0.8 mm SMD Chip LED Lamp*, APT1608LVBC, Kingbright, 2021. adresse : https://www.mouser.ch/datasheet/2/216/APT1608LVBC_D-535825.pdf.
- [5] *RV-8803-C7, Application Manual*, RV-8803-C7, Micro crystal Switzerland, 2019. adresse : https://www.microcrystal.com/fileadmin/Media/Products/RTC/App.Manual/RV-8803-C7_App-Manual.pdf.
- [6] *WA-BCPH Battery Holder*, 79527141, Würth Elektronik, 2020. adresse : <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/79527141.pdf>.
- [7] *Basics of Power Switches*, Texas Instruments, 2017. adresse : <https://www.ti.com/lit/an/slva927a/slva927a.pdf>.
- [8] *TPS2116 1.6 V to 5.5 V, 2.5-A Low IQ Power Mux with Manual and Priority Switchover*, TPS2116, Texas Instruments, 2021. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2116.pdf>.
- [9] *SN65HVD23x 3.3-V CAN Bus Transceivers*, SN65HVD234, Texas Instruments, 2002. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd234.pdf>.
- [10] *VH CONNECTOR 3.96mm pitch/Disconnectable Crimp style connectors*, B4P-VH, JST. adresse : <https://jst.de/file/download/613/vh>.
- [11] *SN74LVC4245A Octal Bus Transceiver and 3.3-V to 5-V Shifter With 3-State Outputs*, SN74LVC4245A, Texas Instruments, 1994. adresse : <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74lvc4245a.pdf>.
- [12] *Molex 0532530370*, 53253, Micro crystal Switzerland, 2017. adresse : <https://www.molex.com/en-us/products/part-detail/532530370?display=pdf>.
- [13] *2203-5045*, Molex, 1998. adresse : https://tools.molex.com/pdm_docs/sd/022035045_sd.pdf.
- [14] *Low Cost, 250 mA Output, Single-Supply Amplifiers*, AD8531, Analog Devices, 2008. adresse : https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8531_8532_8534.pdf.
- [15] *Piezoelectronic buzzers*, PS1240, TDK, 2022. adresse : https://product.tdk.com/en/system/files?file=dam/doc/product/sw_piezo/sw_piezo/piezo-buzzer/catalog/piezoelectronic_buzzer_ps_en.pdf.
- [16] *Low Rho Series PolySwitch® Resettable PPTC*, 2920L500/24SLDR, Little Fuse, 2023. adresse : <https://www.mouser.ch/datasheet/2/240/media-3322478.pdf>.
- [17] *TTL-232R TTL TO USB SERIAL CONVERTER RANGE OF CABLES Datasheet*, TTL-232R-3V3, FTDI Chip, 2019. adresse : https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2023/07/DS_TTL-232R_CABLES.pdf.

A. Annexe

A.1. Logiciels

Nom	Version	Éditeur	Utilisation
Tex Live	9.2	Tex User Group	Compilateur \LaTeX
Visual studio code	1.85.1	Microsoft	Éditeur de texte
LTSpice	17.1.14	Analog Devices, Inc.	Simulation de circuits
Xpedition Designer	VX.2.12	Siemens	Dessin de schématique

A.2. Documents

Description	Type	Fichier
Tableau multicritères pour SBC	Excel	fichier.xls
Schéma électrique de la baseboard 2019	pdf	Baseboard_BBB_v2019.pdf
Schéma block de la baseboard	pdf	Baseboard-2024_schema_block.pdf
Schéma électrique de la baseboard 2024	pdf	Eurobot_baseboard_schematic.pdf