

Projet de diplôme

Ecole supérieure

Génie Électrique, spécialisation Électronique

Diplôme SLOD

Salle R110

Rapport :

2005 Eolienne intelligente

Réalisé par :

Simon Martin

A l'attention de :

Professeur mandataire en charge du projet :

M. Juan-José Moreno

Experts externes à l'Ecole Supérieure :

M. Pierre Isoz

M. Olivier Guedat

Client :

AMPA

M. Edouard Schubert – Président

Table des matières :

Rapport :	1
1 Introduction	5
2 Cahier des Charges	5
3 Planification préliminaire	5
4 Pré-étude & Design	7
4.1 Schéma bloc	7
4.2 Schéma bloc détaillé	8
4.3 Descriptions des blocs et choix des composants	9
4.3.1 Extern Board	9
4.3.1.1 Entrées	9
4.3.1.1.1 L'Hélice	9
4.3.1.1.2 Le Moteur Brushless	10
4.3.1.1.3 Mesures préliminaires	11
4.3.1.2 Redresseur	14
4.3.1.3 Safety Load Automatique	15
4.3.1.4 Sorties	17
4.3.2 Main Board	18
4.3.2.1 Entrée	18
4.3.2.2 Les Interrupteurs	19
4.3.2.2.1 On/Off	19
4.3.2.2.2 Battery	19
4.3.2.3 Buck Boost Battery Charge Control	20
4.3.2.4 Régulateur 5 Volts	22
4.3.2.4.1 Marche à suivre	22
4.3.2.5 Régulateur 3.3 Volts	24
4.3.2.6 Mesure de f_{phase}	25
4.3.2.7 Safety Load Manuel	28
4.3.2.8 Microcontrôleur	29
4.3.2.9 LCD	31
4.3.2.10 Select BTN	32
4.3.2.11 Mesures des courants et tensions	32
4.3.2.11.1 Les courants	32
4.3.2.11.2 Les tensions	33
4.3.2.12 Sorties	34
4.3.2.12.1 Radio et transpondeur	34
4.3.2.12.2 La Batterie	35
4.3.2.12.3 Le Port USB	35
4.4 Évaluation préliminaire des coûts	35
5 Hardware	36
5.1 Spécificités du « Main Board »	36
5.1.1 PCB	36
5.1.1.1 Placement et Organisation des composants	36
5.1.1.2 Largeurs des pistes et distances d'isolation	40
5.1.1.3 Commande chez EuroCircuit	42
5.1.2 Mécanique	43
5.1.3 Complications rencontrées	43
5.1.4 Améliorations possibles	44
5.1.5 Modifications à faire	44
5.1.5.1 Primordiales	44
5.1.5.2 Optionnelles	44
5.2 Spécificités de la « Extern Board »	45
5.2.1 PCB	45
5.2.1.1 Largeurs des pistes et distances d'isolation	46

5.2.1.2 Commande chez EuroCircuit	48
5.2.2 Complications rencontrées	49
5.2.3 Modifications à faire	49
6 Software.....	50
6.1 Spécificités du programme.....	50
6.1.1 Réglages dans Harmony	50
6.1.1.1 Timers	50
6.1.1.2 I2C.....	51
6.1.2 Organigramme.....	53
6.1.2.1 Explications de l'organigramme	55
6.1.3 Le BQ25713	56
6.1.3.1 Test de la communication I2C	58
6.1.3.1.1 Schéma de mesure	58
6.1.3.1.2 Résultats des mesures :	59
6.1.3.1.3 Décodage de la trame I2C	60
6.1.4 Routine d'interruption.....	61
6.1.4.1 Schéma de mesure	61
6.1.4.2 Résultats	62
6.1.5 Les ADCs	62
6.2 Améliorations possibles	62
7 Tests et mesures	63
7.1 Tensions d'alimentations – Main Board.....	63
7.1.1 Schéma de mesure du 5 Volts	63
7.1.2 Schéma de mesure du 3.3 Volts	63
7.1.3 Résultats des mesures d'alimentation.....	63
7.2 Test du Safety Load Auto – Extern Board	64
7.2.1 Schéma de test du Safety Load Auto	64
7.2.2 Résultats	64
7.3 Tests et mesures restantes.....	65
7.3.1 Main Board	65
7.3.2 Extern Board.....	65
8 Résultat final	65
9 Suite du projet.....	65
10 Conclusion et Remarques	66
11 Annexes.....	67
11.1 Documents annexés :	67
11.1.1 Cahier des charges du projet :	67
11.1.2 Planning & Journal de travail :	67
11.1.3 Procès-Verbaux hebdomadaires :	67
11.2 Design Docs « Main Board » et « Extern Board »	67
11.3 Listing des codes	67
12 Bibliographie	68
12.1 Listes des figures	68
12.2 Listes des Schémas	69
12.3 Datasheets utiles	70
12.3.1 Électronique.....	70
12.3.2 Mécanique	70

1 Introduction

Ce projet de diplôme a pour but de remplacer le système de recharge d'une batterie actuel sur des Piper L4, dont s'occupe. Ces derniers ne possèdent pas d'alternateur qui pourrait alimenter l'électronique se trouvant à bord. A la place, ils possèdent chacun une batterie au plomb qui doit être branchée à un chargeur utilisant le 230VAC après chaque vol afin d'avoir la garantie de ne pas partir en vol avec la batterie n'étant pas chargée suffisamment.

L'idée est donc de placer une petite hélice sur le train d'atterrissage qui, avec un moteur brushless, va fonctionner en génératrice et recharger ladite batterie, se trouvant quant à elle dans le cockpit.

Au sol, c'est l'hélice de l'avion qui va entrainer la petite hélice grâce au vent qu'elle produit lors que le moteur est en marche. Dans les airs, c'est le vent provoqué par le déplacement de l'air de l'avion qui permettra à la petite hélice de tourner.

La petite hélice, de modélisme, va donc faire fonctionner un moteur brushless. Ce moteur va fournir 3 phases qui, une fois redressées, permettra d'obtenir une tension qui pourra être utilisée pour alimenter un circuit, la batterie gel et les autres éléments nécessitant une alimentation.

2 Cahier des Charges

Vous trouverez le Cahier des charges du projet : en annexes

3 Planification préliminaire

Simon MARTIN - SLOD 2020		No jour projet		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		No semaine		33						34						35			36						37						38			39			40			41			42			43																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Projet : 2005_Eolienne_intelligente		Date	10.08.20	11.08.20	12.08.20	13.08.20	14.08.20	15.08.20	16.08.20	17.08.20	18.08.20	19.08.20	20.08.20	21.08.20	22.08.20	23.08.20	24.08.20	25.08.20	26.08.20	27.08.20	28.08.20	29.08.20	30.08.20	31.08.20	01.09.20	02.09.20	03.09.20	04.09.20	05.09.20	06.09.20	07.09.20	08.09.20	09.09.20	10.09.20	11.09.20	12.09.20	13.09.20	14.09.20	15.09.20	16.09.20	17.09.20	18.09.20	19.09.20	20.09.20	21.09.20	22.09.20	23.09.20	24.09.20	25.09.20	26.09.20	27.09.20	28.09.20	29.09.20	30.09.20	01.10.20	02.10.20	03.10.20	04.10.20	05.10.20	06.10.20	07.10.20	08.10.20	09.10.20	10.10.20	11.10.20	12.10.20	13.10.20	14.10.20	15.10.20	16.10.20	17.10.20	18.10.20	19.10.20	20.10.20	21.10.20	22.10.20	23.10.20	24.10.20	25.10.20	26.10.20	27.10.20	28.10.20	29.10.20	30.10.20	31.10.20	01.11.20	02.11.20	03.11.20	04.11.20	05.11.20	06.11.20	07.11.20	08.11.20	09.11.20	10.11.20	11.11.20	12.11.20	13.11.20	14.11.20	15.11.20	16.11.20	17.11.20	18.11.20	19.11.20	20.11.20	21.11.20	22.11.20	23.11.20	24.11.20	25.11.20	26.11.20	27.11.20	28.11.20	29.11.20	30.11.20	01.12.20	02.12.20	03.12.20	04.12.20	05.12.20	06.12.20	07.12.20	08.12.20	09.12.20	10.12.20	11.12.20	12.12.20	13.12.20	14.12.20	15.12.20	16.12.20	17.12.20	18.12.20	19.12.20	20.12.20	21.12.20	22.12.20	23.12.20	24.12.20	25.12.20	26.12.20	27.12.20	28.12.20	29.12.20	30.12.20	31.12.20	01.01.21	02.01.21	03.01.21	04.01.21	05.01.21	06.01.21	07.01.21	08.01.21	09.01.21	10.01.21	11.01.21	12.01.21	13.01.21	14.01.21	15.01.21	16.01.21	17.01.21	18.01.21	19.01.21	20.01.21	21.01.21	22.01.21	23.01.21	24.01.21	25.01.21	26.01.21	27.01.21	28.01.21	29.01.21	30.01.21	31.01.21	01.02.21	02.02.21	03.02.21	04.02.21	05.02.21	06.02.21	07.02.21	08.02.21	09.02.21	10.02.21	11.02.21	12.02.21	13.02.21	14.02.21	15.02.21	16.02.21	17.02.21	18.02.21	19.02.21	20.02.21	21.02.21	22.02.21	23.02.21	24.02.21	25.02.21	26.02.21	27.02.21	28.02.21	29.02.21	30.02.21	01.03.21	02.03.21	03.03.21	04.03.21	05.03.21	06.03.21	07.03.21	08.03.21	09.03.21	10.03.21	11.03.21	12.03.21	13.03.21	14.03.21	15.03.21	16.03.21	17.03.21	18.03.21	19.03.21	20.03.21	21.03.21	22.03.21	23.03.21	24.03.21	25.03.21	26.03.21	27.03.21	28.03.21	29.03.21	30.03.21	31.03.21	01.04.21	02.04.21	03.04.21	04.04.21	05.04.21	06.04.21	07.04.21	08.04.21	09.04.21	10.04.21	11.04.21	12.04.21	13.04.21	14.04.21	15.04.21	16.04.21	17.04.21	18.04.21	19.04.21	20.04.21	21.04.21	22.04.21	23.04.21	24.04.21	25.04.21	26.04.21	27.04.21	28.04.21	29.04.21	30.04.21	01.05.21	02.05.21	03.05.21	04.05.21	05.05.21	06.05.21	07.05.21	08.05.21	09.05.21	10.05.21	11.05.21	12.05.21	13.05.21	14.05.21	15.05.21	16.05.21	17.05.21	18.05.21	19.05.21	20.05.21	21.05.21	22.05.21	23.05.21	24.05.21	25.05.21	26.05.21	27.05.21	28.05.21	29.05.21	30.05.21	31.05.21	01.06.21	02.06.21	03.06.21	04.06.21	05.06.21	06.06.21	07.06.21	08.06.21	09.06.21	10.06.21	11.06.21	12.06.21	13.06.21	14.06.21	15.06.21	16.06.21	17.06.21	18.06.21	19.06.21	20.06.21	21.06.21	22.06.21	23.06.21	24.06.21	25.06.21	26.06.21	27.06.21	28.06.21	29.06.21	30.06.21	01.07.21	02.07.21	03.07.21	04.07.21	05.07.21	06.07.21	07.07.21	08.07.21	09.07.21	10.07.21	11.07.21	12.07.21	13.07.21	14.07.21	15.07.21	16.07.21	17.07.21	18.07.21	19.07.21	20.07.21	21.07.21	22.07.21	23.07.21	24.07.21	25.07.21	26.07.21	27.07.21	28.07.21	29.07.21	30.07.21	31.07.21	01.08.21	02.08.21	03.08.21	04.08.21	05.08.21	06.08.21	07.08.21	08.08.21	09.08.21	10.08.21	11.08.21	12.08.21	13.08.21	14.08.21	15.08.21	16.08.21	17.08.21	18.08.21	19.08.21	20.08.21	21.08.21	22.08.21	23.08.21	24.08.21	25.08.21	26.08.21	27.08.21	28.08.21	29.08.21	30.08.21	31.08.21	01.09.21	02.09.21	03.09.21	04.09.21	05.09.21	06.09.21	07.09.21	08.09.21	09.09.21	10.09.21	11.09.21	12.09.21	13.09.21	14.09.21	15.09.21	16.09.21	17.09.21	18.09.21	19.09.21	20.09.21	21.09.21	22.09.21	23.09.21	24.09.21	25.09.21	26.09.21	27.09.21	28.09.21	29.09.21	30.09.21	01.10.21	02.10.21	03.10.21	04.10.21	05.10.21	06.10.21	07.10.21	08.10.21	09.10.21	10.10.21	11.10.21	12.10.21	13.10.21	14.10.21	15.10.21	16.10.21	17.10.21	18.10.21	19.10.21	20.10.21	21.10.21	22.10.21	23.10.21	24.10.21	25.10.21	26.10.21	27.10.21	28.10.21	29.10.21	30.10.21	31.10.21	01.11.21	02.11.21	03.11.21	04.11.21	05.11.21	06.11.21	07.11.21	08.11.21	09.11.21	10.11.21	11.11.21	12.11.21	13.11.21	14.11.21	15.11.21	16.11.21	17.11.21	18.11.21	19.11.21	20.11.21	21.11.21	22.11.21	23.11.21	24.11.21	25.11.21	26.11.21	27.11.21	28.11.21	29.11.21	30.11.21	01.12.21	02.12.21	03.12.21	04.12.21	05.12.21	06.12.21	07.12.21	08.12.21	09.12.21	10.12.21	11.12.21	12.12.21	13.12.21	14.12.21	15.12.21	16.12.21	17.12.21	18.12.21	19.12.21	20.12.21	21.12.21	22.12.21	23.12.21	24.12.21	25.12.21	26.12.21	27.12.21	28.12.21	29.12.21	30.12.21	31.12.21	01.01.22	02.01.22	03.01.22	04.01.22	05.01.22	06.01.22	07.01.22	08.01.22	09.01.22	10.01.22	11.01.22	12.01.22	13.01.22	14.01.22	15.01.22	16.01.22	17.01.22	18.01.22	19.01.22	20.01.22	21.01.22	22.01.22	23.01.22	24.01.22	25.01.22	26.01.22	27.01.22	28.01.22	29.01.22	30.01.22	31.01.22	01.02.22	02.02.22	03.02.22	04.02.22	05.02.22	06.02.22	07.02.22	08.02.22	09.02.22	10.02.22	11.02.22	12.02.22	13.02.22	14.02.22	15.02.22	16.02.22	17.02.22	18.02.22	19.02.22	20.02.22	21.02.22	22.02.22	23.02.22	24.02.22	25.02.22	26.02.22	27.02.22	28.02.22	29.02.22	30.02.22	01.03.22	02.03.22	03.03.22	04.03.22	05.03.22	06.03.22	07.03.22	08.03.22	09.03.22	10.03.22	11.03.22	12.03.22	13.03.22	14.03.22	15.03.22	16.03.22	17.03.22	18.03.22	19.03.22	20.03.22	21.03.22	22.03.22	23.03.22	24.03.22	25.03.22	26.03.22	27.03.22	28.03.22	29.03.22	30.03.22	31.03.22	01.04.22	02.04.22	03.04.22	04.04.22	05.04.22	06.04.22	07.04.22	08.04.22	09.04.22	10.04.22	11.04.22	12.04.22	13.04.22	14.04.22	15.04.22	16.04.22	17.04.22	18.04.22	19.04.22	20.04.22	21.04.22	22.04.22	23.04.22	24.04.22	25.04.22	26.04.22	27.04.22	28.04.22	29.04.22	30.04.22	01.05.22	02.05.22	03.05.22	04.05.22	05.05.22	06.05.22	07.05.22	08.05.22	09.05.22	10.05.22	11.05.22	12.05.22	13.05.22	14.05.22	15.05.22	16.05.22	17.05.22	18.05.22	19.05.22	20.05.22	21.05.22	22.05.22	23.05.22	24.05.22	25.05.22	26.05.22	27.05.22	28.05.22	29.05.22	30.05.22	31.05.22	01.06.22	02.06.22	03.06.22	04.06.22	05.06.22	06.06.22	07.06.22	08.06.22	09.06.22	10.06.22	11.06.22	12.06.22	13.06.22	14.06.22	15.06.22	16.06.22	17.06.22	18.06.22	19.06.22	20.06.22	21.06.22	22.06.22	23.06.22	24.06.22	25.06.22	26.06.22	27.06.22	28.06.22	29.06.22	30.06.22	01.07.22	02.07.22	03.07.22	04.07.22	05.07.22	06.07.22	07.07.22	08.07.22	09.07.22	10.07.22	11.07.22	12.07.22	13.07.22	14.07.22	15.07.22	16.07.22	17.07.22	18.07.22	19.07.22	20.07.22	21.07.22	22.07.22	23.07.22	24.07.22	25.07.22	26.07.22	27.07.22	28.07.22	29.07.22	30.07.22	31.07.22	01.08.22	02.08.22	03.08.22	04.08.22	05.08.22	06.08.22	07.08.22	08.08.22	09.08.22	10.08.22	11.08.22	12.08.22	13.08.22	14.08.22	15.08.22	16.08.22	17.08.22	18.08.22	19.08.22	20.08.22	21.08.22	22.08.22	23.08.22	24.08.22	25.08.22	26.08.22	27.08.22	28.08.22	29.08.22	30.08.22	31.08.22	01.09.22	02.09.22	03.09.22	04.09.22	05.09.22	06.09.22	07.09.22	08.09.22	09.09.22	10.09.22	11.09.22	12.09.22	13.09.22	14.09.22	15.09.22	16.09.22	17.09.22	18.09.22	19.09.22	20.09.22	21.09.22	22.09.22	23.09.22	24.09.22	25.09.22	26.09.22	27.09.22	28.09.22	29.09.22	30.09.22	01.10.22	02.10.22	03.10.22	04.10.22	05.10.22	06.10.22	07.10.22	08.10.22	09.10.22	10.10.22	11.10.22	12.10.22	13.10.22	14.10.22	15.10.22	16.10.22	17.10.22	18.10.22	19.10.22	20.10.22	21.10.22	22.10.22	23.10.22	24.10.22	25.10.22	26.10.22	27.10.22	28.10.22	29.10.22	30.10.22	31.10.22	01.11.22	02.11.22	03.11.22	04.11.22	05.11.22	06.11.22	07.11.22	08.11.22	09.11.22	10.11.22	11.11.22	12.11.22	13.11.22	14.11.22	15.11.22	16.11.22	17.11.22	18.11.22	19.11.22	20.11.22	21.11.22	22.11.22	23.11.22	24.11.22	25.11.22	26.11.22	27.11.22	28.11.22	29.11.22	30.11.22	01.12.22	02.12.22	03.12.22	04.12.22	05.12.22	06.12.22	07.12.22	08.12.22	09.12.22	10.12.22	11.12.22	12.12.22	13.12.22	14.12.22	15.12.22	16.12.22	17.12.22	18.12.22	19.12.22	20.12.22	21.12.22	22.12.22	23.12.22	24.12.22	25.12.22	26.12.22	27.12.22	28.12.22	29.12.22	30.12.22	31.12.22	01.01.23	02.01.23	03.01.23	04.01.23	05.01.23	06.01.23	07.01.23	08.01.23	09.01.23	10.01.23	11.01.23	12.01.23	13.01.23	14.01.23	15.0

4 Pré-étude & Design

4.1 Schéma bloc

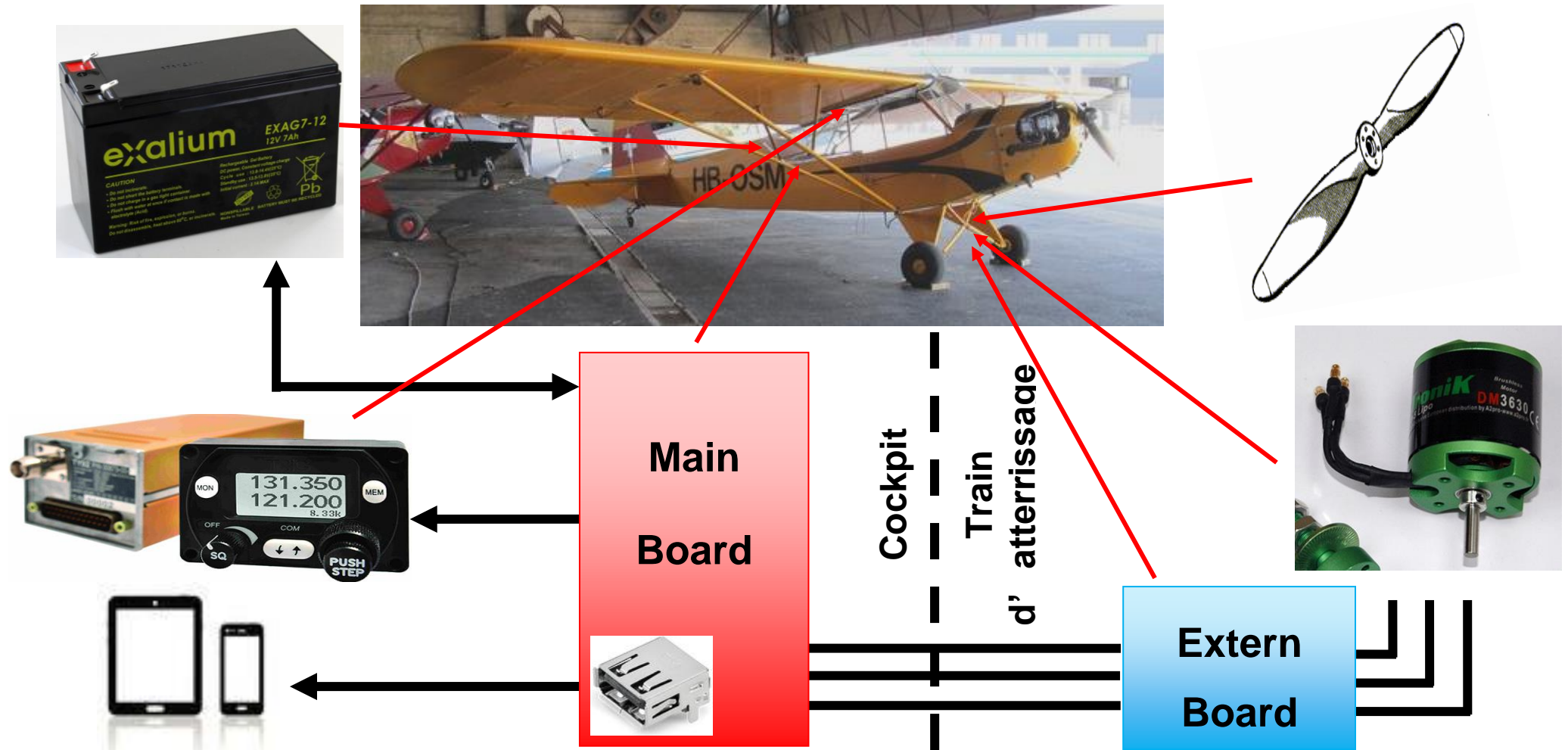


Schéma 1 : Schéma bloc

4.2 Schéma bloc détaillé

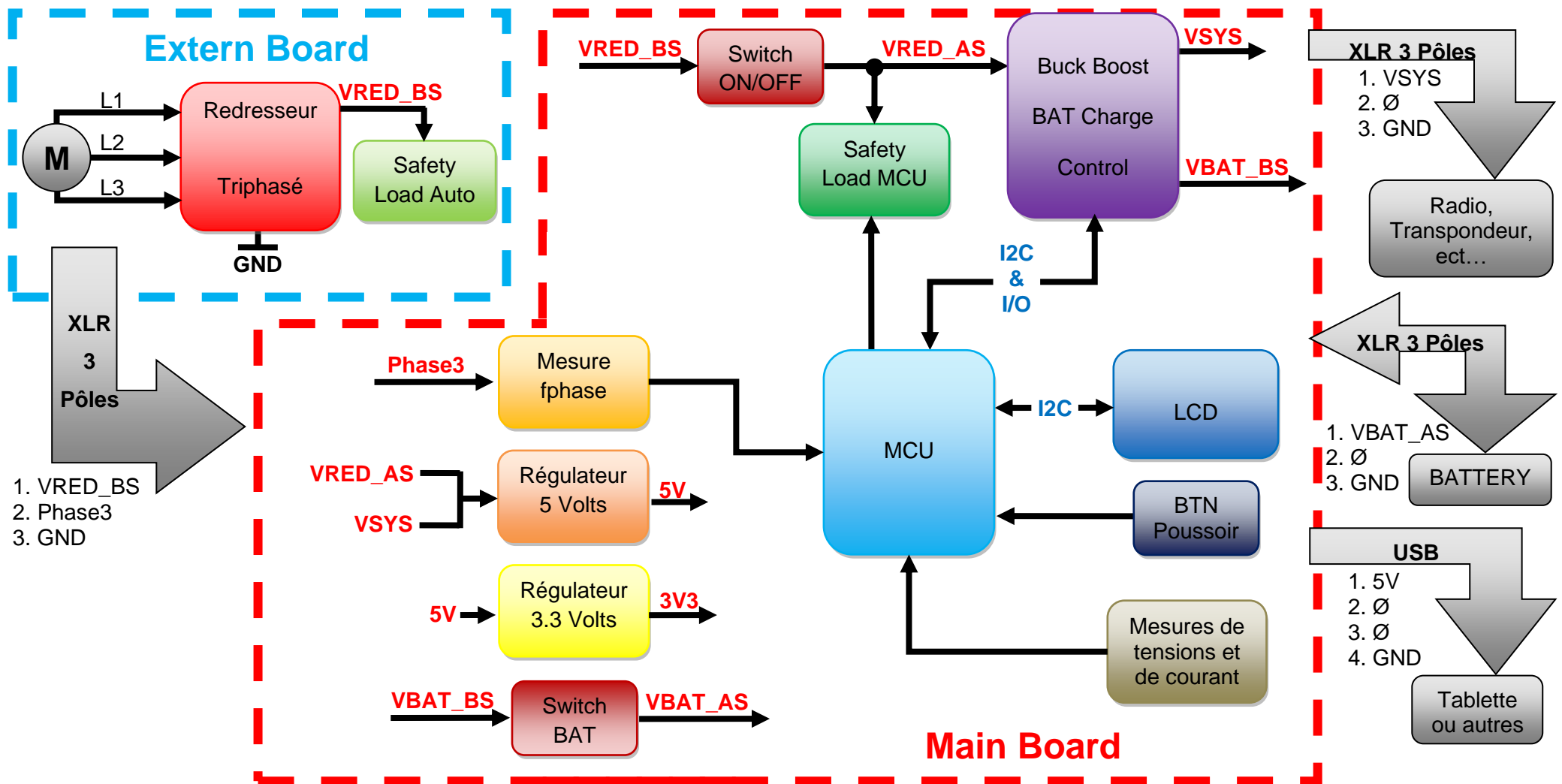


Schéma 2 : Schéma bloc détaillé

4.3 Descriptions des blocs et choix des composants

Dans cette partie du rapport se trouve les explications sur certains choix, le dimensionnement et les explications des différents points du Schéma bloc détaillé.

Après discussion entre M. Moreno et le directeur de l'AMPA M. Edouard Schubert, la décision de séparer le PCB en deux cartes distinctes a été prise. En effet, afin de pouvoir mieux dissiper l'énergie qu'emmagasinerait quelque partie du montage, l'un des 2 PCBs sera placé sur train d'atterrissage. La carte sera à l'air libre et ceci lui permettra de profiter du flux d'air dû au déplacement de l'avion dans les airs, allant à plus de 100km/h.

4.3.1 Extern Board

L'Extern Board contient donc l'arrivée des 3 phases du moteur brushless, 6 diodes Schottky pour redresseur le triphasé et un système Safety Load automatique.

Ensuite, la tension redressée, le GND ainsi que l'une des phases sont transmis au PCB principale appelé « Main Board »

4.3.1.1 Entrées

4.3.1.1.1 L'Hélice

Lorsque que l'hélice est utilisée en condition normale, c'est à dire en aéromodélisme, elle est sensé pouvoir atteindre les 10'000 RPM sans problème. Mais dans le cas présent, elle fera fonctionner le moteur brushless auquel elle est fixée en génératrice.



Figure 1 : Hélice et moteur brushless fixé sur un Piper L4 – Vue de face

Ne sachant pas comment l'hélice va réagir et à quelle vitesse elle va tourner lorsque l'avion est en marche (au sol ou dans les airs), nous avons dû effectuer des Mesures préliminaires pour vérifier si l'hélice tourne tout simplement. Si c'était le cas, nous devions aussi vérifier qu'elle n'allait atteindre les 10'000 RPM trop vite.

En effet, si l'hélice dépassait cette vitesse, il y aurait des risques qu'elle se brise en vol.

4.3.1.1.2 Le Moteur Brushless

Il s'agit d'un moteur brushless modèle Protronik KV650, il avait déjà été choisi au préalable. Ce moteur est branché à l'hélice, à l'extérieur vers le train d'atterrissage, sur la barre de croisement des roues.



Figure 2 : Hélice et moteur brushless - vue 3/4

L'hélice va donc fonctionner en génératrice et les 3 phases sortant du moteur seront redressées et utilisées pour alimenter et charger les autres éléments externes au montage. Ne sachant pas comment le moteur allait réagir et ce qu'il allait nous fournir, nous avons dû effectuer des Mesures préliminaires avant de commencer le diplôme.



Figure 3 : Moteur brushless KV650 de Protronik

Les phases du brushless seront brasées sur le PCB externe à l'aide d'un footprint pouvant accueillir les 3 fils maximum 10AWG.

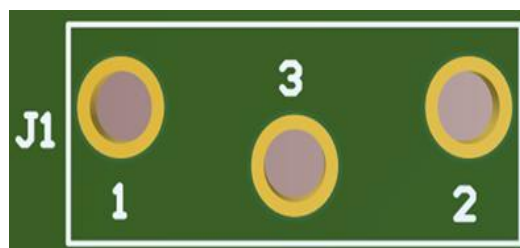


Figure 4 : Footprint pour le moteur brushless

4.3.1.1.3 Mesures préliminaires

Comme évoqué précédemment, nous avons dû faire des mesures afin de vérifier que l'hélice allait se mettre en rotation et que si elle démarrait, sa vitesse ne devrait pas dépasser les 10'000 RPM. Pour ce faire, nous avons utilisé un montage Veroboard fait préalable durant les vacances. Voici le schéma de la carte :

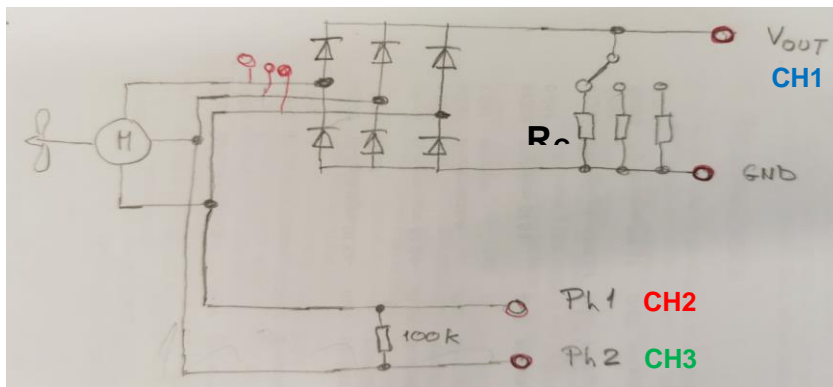


Schéma 3 : Schéma du Veroboard des mesures préliminaires

Chaque phase arrive sur 2 diodes schottky (3 phases * 2 diodes = 6 diodes), ce qui va nous permettre de redresser la tension, que nous allons mesurer avec CH1. Grâce à CH2 et CH3, nous allons mesurer la fréquence de 2 des 3 phases. Il fallait aussi installer des résistances de charge pour si nous observons que la vitesse de rotation de l'hélice grimpe trop vite, pouvoir réduire sa vitesse en tirant du courant. Voici le montage ci-dessous :

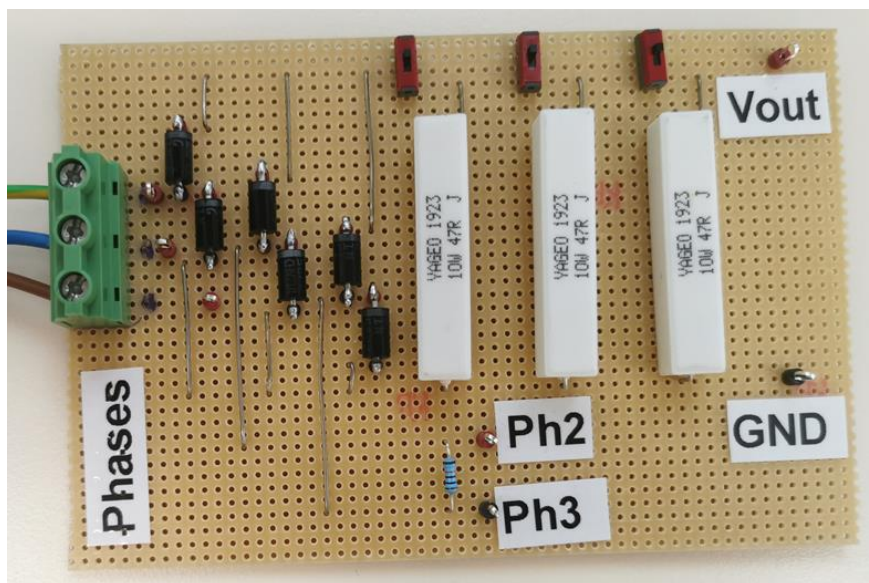


Figure 5 : Montage Veroboard pour les mesures préliminaires

Pour le montage, nous avons dû faire avec ce qu'il y avait dans les stocks. Après avoir fouiller dans le tiroir, nous avons trouvé des 1N5822 (courant direct de 3A).

De ce fait, nous avons voulu des résistance de charge permettant de tirer maximum 1A. Avec peu de résistance de puissance de petite valeur, nous avons utilisé 3 résistances de $47\Omega/10W$ pouvant être mise en parallèle. Chacune des résistances peuvent être connectées ou non à l'aide d'un interrupteur 2 positions (Off = vers l'extérieur de la carte, On = vers la résistance)

Vous trouverez ci-joint le protocole de test que j'ai dû créer. Nous étions dans l'optique suivante :

- Il fallait mesurer la tension redressée et la fréquence des phases
- Cette dernière ne devait absolument pas atteindre les **1'166 Hz**.

Les « 1'166 Hz » proviennent du fait que les **10'000 RPM** doivent être diviser par **60** afin d'obtenir **166 RPS**. Il faut encore multiplier ce nombre par **7**, qui correspond au nombre de pôle du moteur, ce qui nous permet d'avoir notre la fréquence des phases maximale.

- Mesurer pour chaque charge possible : A vide, 1x Rch, 2x Rch, 3x Rch.
 - Mesure au sol lorsque le moteur de l'avion atteint :
 - 1000 [tr/min]
 - 2000 [tr/min]
 - 2300 [tr/min]
 - Mesure en vol lorsque le moteur de l'avion atteint :
 - 60 [mph]
 - 70 [mph]
 - 80 [mph]
 - 90 [mph]

Les mesures au sol se sont passé de la manière suivante. J'étais à l'avant avec un oscilloscope portable sur la cuisse gauche et un cahier/tablette pour noter nos mesures. Je devais aussi faire attention à ne pas gêner le manche entre mes genoux. M. Moreno lui était à l'arrière et devait gérer les commandes de l'avion. Par manque de place à l'avant, il avait aussi le montage Veroboard avec les 3 sondes de l'oscilloscope et c'était à lui de changer les résistances de charge.

Lorsque nous avons fait les mesures au sol, nous nous sommes rendu compte avec M. Moreno que les mesures en vol ne pourraient être faites, et cela pour 2 raisons principales.

La première est que le manque de place dans le cockpit. Le montage sur veroboard pourrait gêner le pilote lors de la conduite et il pourrait difficilement changer la valeur de la résistance de charge. Secondement, si le passager, moi en l'occurrence, devait se concentrer sur l'écran de l'oscilloscope et de la tablette, il pourrait très vite avoir le mal des transports. Étant déjà sujet à ce genre de chose en voiture et en avion de ligne, ça n'aurait pas été une bonne idée de me faire faire les mesures car je n'aurais pas pu les faire correctement ni en faire suffisamment.

Voici quelque captures d'écran de nos mesures au sol.

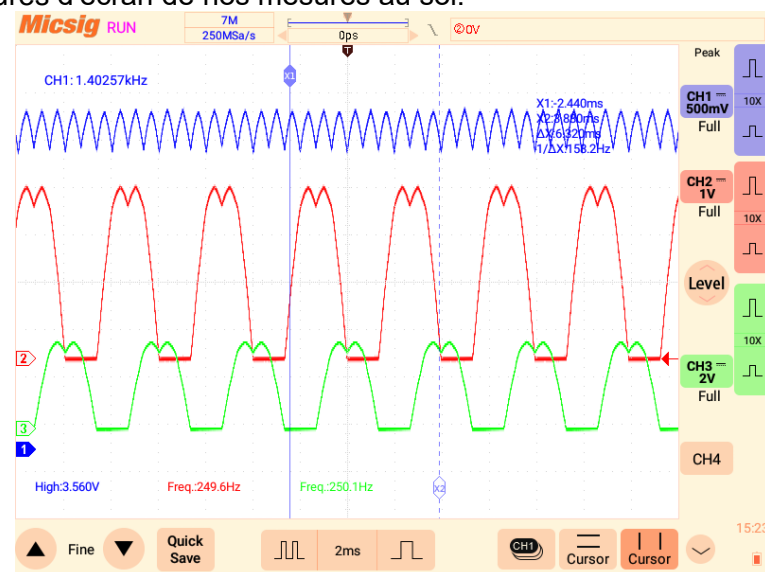


Figure 6 : Mesure au Sol - 1000 [RPM] - 3.6 [V] et 250 [Hz]

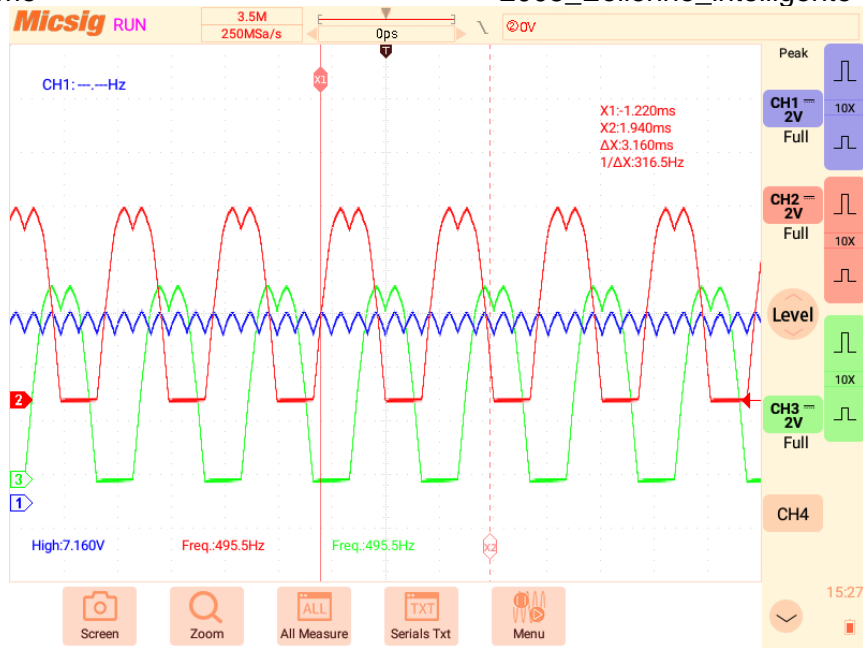


Figure 7 : Mesure au sol - 1500 [RPM] - 7.6 [V] et 495 [Hz]

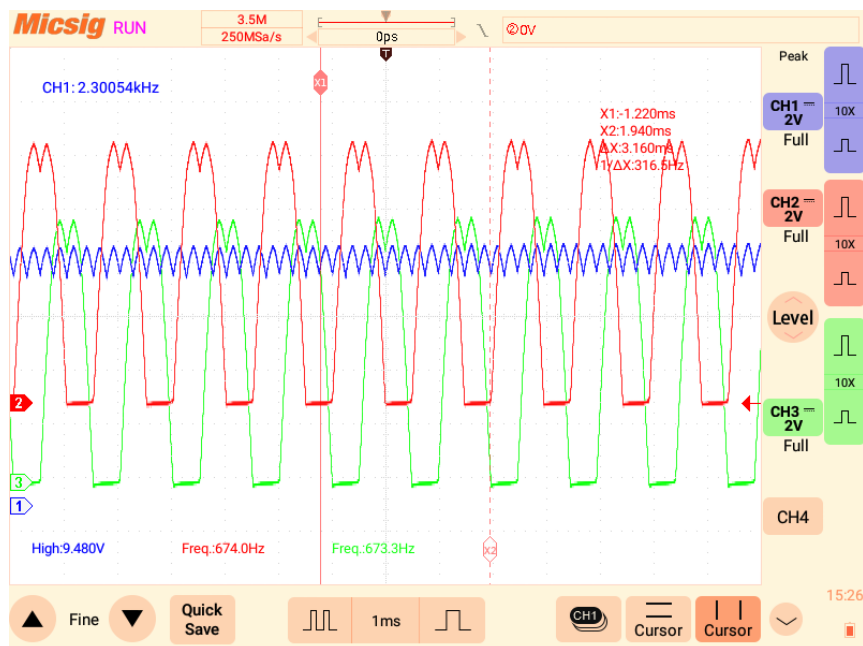


Figure 8 : Mesure au sol - 2300 [RPM] - 9.5 [V] et 674 [Hz]

Voici ce que nous avons pu déduire de ces mesures

Premièrement, l'hélice tourne mais il faut atteindre les 1500 [RPM] environ avec l'avion avant qu'elle ne commence à tourner.

Deuxièmement, nous avons pu estimer les RPM max de l'avion lorsque l'hélice est à son maximum elle aussi, c'est-à-dire 10'000 [RPM]. Nous avons estimé à environ 3'770 [RPM]. Suite à cela, il a aussi été possible déterminer la tension maximale que le moteur brushless pourrait nous fournir et nous avons calculé **16.1 [V]**.

Pour redresser la tension triphasée, j'ai cherché des diodes Schottky qui pourrait tenir un « gros » courant. Ce « gros » courant, j'ai pu le déterminer de la façon suivante :

Le Buck Boost aura besoin de fournir une tension 14 [V] environ et un courant max de 2[A]. Nous pouvons alors calculer la puissance maximale dont le système aura besoin de soutirer.

$$P_{MAX} = V_{SYS} \cdot I_{MAX} = 14 \cdot 2 = 28 [W] \xrightarrow{\text{Arrondi}} 30[W]$$

Sachant que lorsque l'avion démarre, la tension transmise par le moteur brushless se situe autour de 3.6 [V]. De ce fait, il est possible de savoir le courant max dont le système pourrait demander au moteur.

$$I_{MAX \text{ Triphase}} = \frac{P_{MAX}}{V_{MIN \text{ Triphase}}} = \frac{30}{3.6} = 8.33 [A] \xrightarrow{\text{Arrondi}} 10[A]$$

J'ai tout d'abord orienté mes recherches sur un composants avec 3 diodes Schottky ayant la cathode en commun et, à l'inverse, un autre avec l'anode en commun (comme ci-dessous)

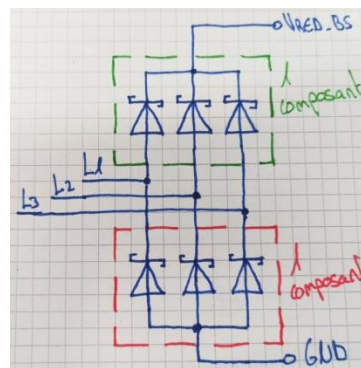


Schéma 4 : Idée pour le Redresseur du triphasé

Mais au fil de mes recherches, en ajoutant les autres caractéristiques, j'ai vite déchanté en constatant que le nombre de composants correspondant à mes besoins étaient très peu nombreux et que leurs prix étaient exorbitants (entre 60 et 80.-).

Après d'autres recherches, j'ai décidé d'utiliser des STPS1045SF. Il s'agit de diode SMD qui peuvent supporter un courant jusqu'à 10[A] et une tension inverse de 45[V].

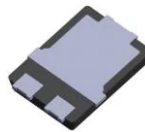


Figure 9 : Diode Schottky STPS1045SF - Vue bottom

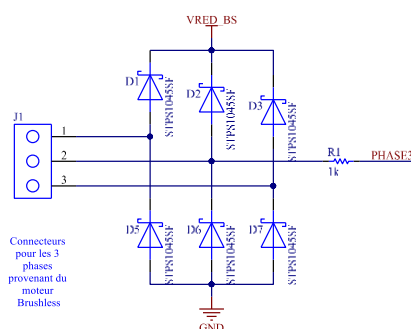


Schéma 5 : Redresseur triphasé

« J1 » correspond à l'arrivée des 3 phases du brushless. La résistance « R1 » fait partie en soit de Mesure de f_{phase} , elle a été placée dans cette partie car ça permet d'éviter à faire passer l'une des phases directement sur la Main Board. J'ai utilisé un footprint SMD 1812, les raisons seront expliquées dans la partie Hardware (Spécificités de la « Extern Board »).

4.3.1.3 Safety Load Automatique

Ne sachant pas si l'hélice allait atteindre ou dépasser les 10'000 [RPM] et ainsi risquer de la détériorer ou de la détruire, j'ai eu besoin de trouver un montage qui permettrait de mettre une charge supplémentaire, ce qui demanderait plus de courant au moteur. Ceci aurait pour effet de réduire la vitesse de rotation de l'hélice. Avec l'aide de M. Moreno, nous avons trouvé un montage dont nous pourrions utiliser à notre guise (Safety Load Manuel).

Après réflexion, nous nous sommes rendu compte que si l'on désactive l'alimentation du le PCB principale à l'aide du Switch On/Off, l'hélice risquerait de tourner et de se casser s'il n'y a pas de vérification tierce. De ce fait, nous avons décidé d'implémenter un second « Safety Load » qui réagirait automatiquement si la tension redressée devient trop élevée.

Nous avons tout d'abord effectué des simulations afin de vérifier notre système. Voici le montage :

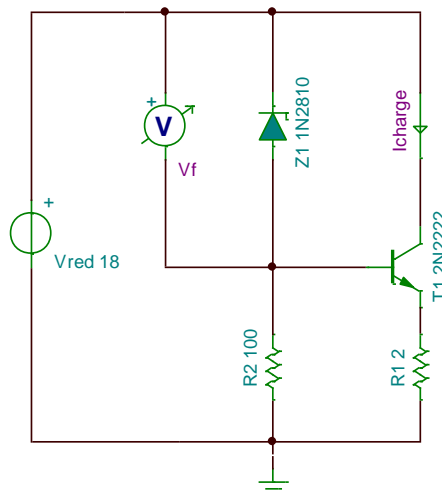


Schéma 6 : Simulation du Safety Load Automatique

Le montage marche la manière suivante : Tant que la tension **Vred** n'a pas atteint la tension **Vf** de la diode, cette dernière ne laissera pas de tension et de courant arrivé sur la base du Transistor. Lorsque Vred sera à une tension suffisante, le transistor conduira et cela appliquera une charge supplémentaire.

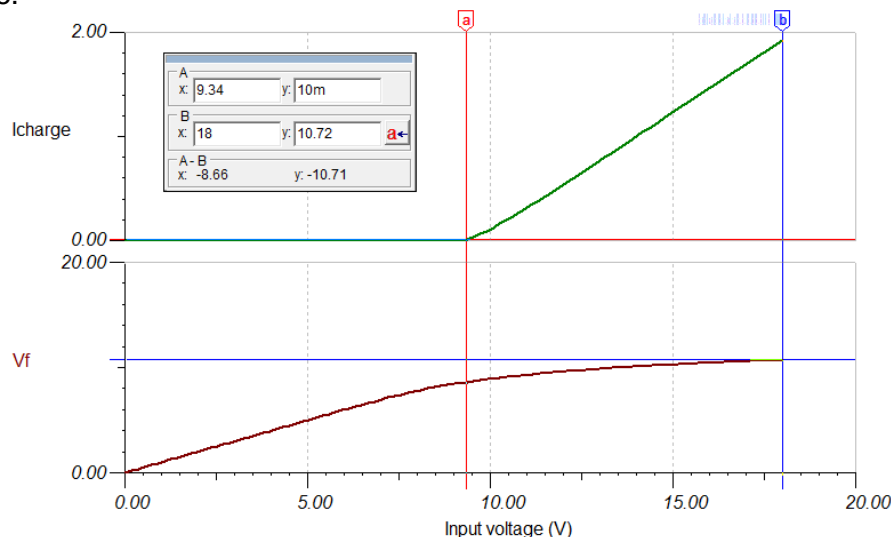


Figure 10 : Résultat de la simulation du Safety Load Auto

Nous pouvons observer que la pente de V_f se réduit nettement une fois que la diode se met à conduire, visible lorsque le courant I_{Charge} commence à augmenter. Nous voyons aussi que la tension V_f ne dépassera pas les 11[V].

Bien sûr, cette simulation ne reflète pas exactement la réalité. La diode et transistor ne sont pas représentatifs des composants que j'allais utiliser et les valeurs trouvées sont à prendre avec des pincettes.

Donc voici le montage qui serait utilisé :

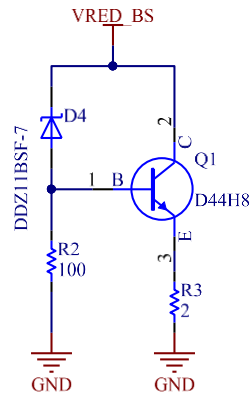


Schéma 7 : Safety Load Auto

La diode fait partie d'une série de diode avec le même footprint, ayant seulement la tension V_f qui change. Ceci permettrait de faire d'éventuels tests avec plusieurs diodes de cette même série et ainsi adapter le système Safety Load en fonction de ces tests.

En soit, la même logique peut s'appliquer avec les 2 résistances (0805).

Le Transistor quant à lui devra dissiper de la puissance et supporter au minimum 5 [A]. Nous avons décidé de lui attribuer un refroidisseur, j'ai alors utilisé un transistor D44H8, traversant (TO-220-3) avec un refroidisseur, un HSE-B20254-035H-01 par exemple ou quelque chose de similaire.



Figure 11 : D44H8 avec un radiateur

En sortie de l' « Extern Board », il n'y a pas véritablement de connecteurs pour les câbles (en blanc). Ils seront directement soudés sur la carte. Il s'agit de trous métallisés pouvant accueillir des câbles AWG15.

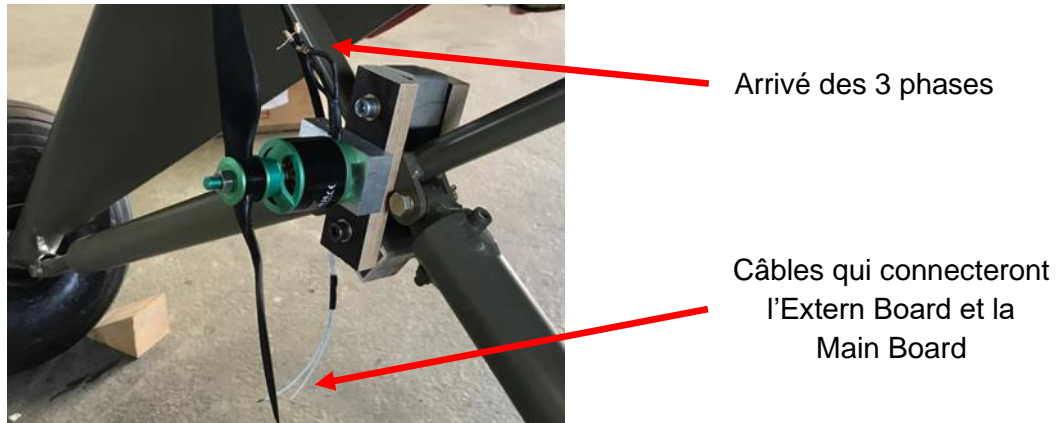


Figure 12 : Explications des câbles entrées/sorties de l'Extern Board

A noter que les 3 câbles blancs étaient déjà installés sur l'avion et relient le train d'atterrissage et le cockpit de l'avion. Ils permettront de transmettre la tension redressée **VRED_BS**, l'une des phases **PHASE3** et le **GND**.

Les détails sur le Hardware, donc le placement des composants, le routage ou autres, sont disponibles à partir de Spécificités de la « Extern Board »

4.3.2 Main Board

Le Main Board est le nœud du montage et contient tout le reste. Les interrupteurs, le microcontrôleur, les différents régulateurs de tensions, les interfaces utilisateurs et les sorties pour les éléments que le montage devra alimenter.

4.3.2.1 Entrée

La Main Board ne possède qu'une seule entrée, si l'on considère le connecteur de programmation du microcontrôleur comme quelque chose d'autre.

Donc, la seule entrée du PCB est l'arrivée de **VRED_BS**, de **PHASE3** et du **GND** grâce aux 3 fils blancs, qui eux correspondent aux sorties de l'Extern Board. Contrairement à cette dernière, ces 3 câbles arrivent à l'aide d'un connecteur XLR 3 pôles mâles.

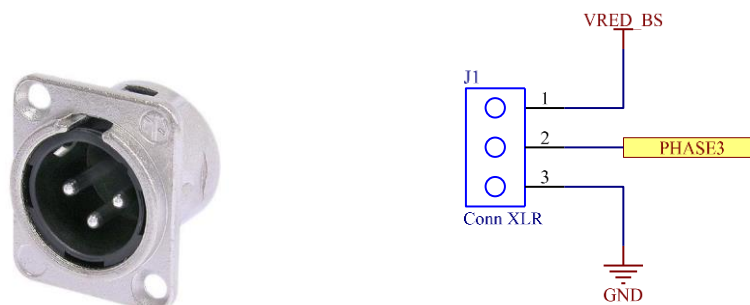


Figure 13 : Connecteur XLR mâle 3 pôles

Le choix d'un connecteur XLR provient du fait qu'il est préférable d'éviter les connecteurs à vis par exemple car les vibrations de l'avion pourraient déloger les vis. Les fils pourraient bouger et on ne pourrait pas garantir la connexion. De ce fait, un système qui a besoin d'une action humaine pour se déconnecter était privilégié.

4.3.2.2 Les Interrupteurs

Le montage possède 2 interrupteurs, un « On/off » et un « Battery ». Le premier, comme son nom l'indique, servira à alimenter ou non le système dans son ensemble. Le second permettrait quant à lui déconnecter la Batterie Gel.

4.3.2.2.1 On/Off

L'interrupteur On/Off permet de couper l'arrivée de la tension redressée VRED_BS au reste du montage. D'ailleurs, c'est de là que viens le « BS » et le « AS ». « BS » pour « Before Switch » et « AS » pour « After Switch ».

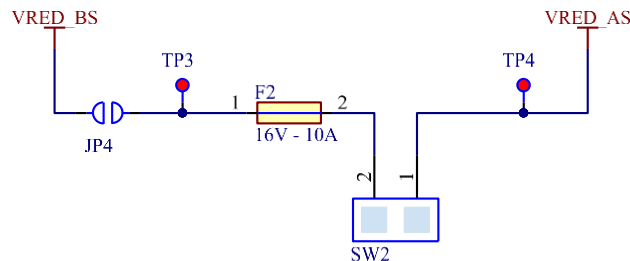


Schéma 8 : Switch On/Off, avec le fusible d'entrée

JP4 correspond à un jumper SMD, il s'agit d'une sécurité pour pouvoir vérifier la tension VRED_BS avant de la connecter au reste de montage si le test s'est avéré concluant. Le point de test **TP3** permet de mesurer la tension en cas de besoin avant de mettre l'interrupteur en position ON.

L'interrupteur utilisé est un commutateur à levier, supportant jusqu'à 20 [A] et 125 [V]. Il sera fixé au boîtier et sera connecté au PCB grâce à des fils, entre 15AWG et 18AWG. Il s'agit d'un ST141D00.



Figure 14 : ST141D00

Comme demandé dans le cahier des charges, un fusible a été placé à l'entrée afin de protéger le système contre de potentielles surintensités. Ayant calculé au préalable que le courant redressé ne dépasserait pas les 10[A] en temps normal, j'ai donc dimensionné le fusible à cette même valeur.

Afin d'éviter de devoir changer le fusible lorsque celui-ci s'ouvre et ainsi devoir ouvrir le boîtier une fois au sol, il m'a été demandé d'utiliser un fusible thermique réarmable.

Ce dernier, un fois que le courant a chuté, retourne à un état conducteur, faisant plutôt office de disjoncteur, permettant ainsi au circuit de fonctionner à nouveau sans ouvrir le châssis ou remplacer un composant.

4.3.2.2.2 Battery

Comme évoqué un peu plus haut, l'interrupteur Battery sert à isoler la batterie Gel du montage.

L'interrupteur est le même que pour l'interrupteur On/Off.

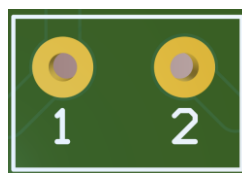


Figure 15 : Footprint des interrupteurs

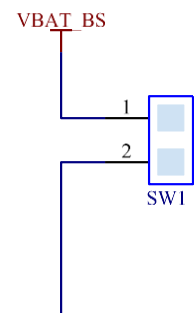


Schéma 9 : Interrupteur de la batterie

4.3.2.3 Buck Boost Battery Charge Control

Lors des premiers jours du diplôme, mes recherches se sont principalement concentrées sur le composant qui devrait s'occuper de la gestion de la charge de la batterie gel. M. Moreno m'avait proposé différents ICs qui pourraient faire l'affaire mais il me fallait encore étudier ces derniers. Je devais aussi faire quelque recherche d'autres composants.

Suite à mes recherches et après concertation avec M. Moreno, nous avons déterminé que le BQ25713 correspondait au mieux à nos attentes, voire plus.

En effet, il ne permet pas uniquement de charger la batterie. Il fait aussi office de Buck Boost pouvant recevoir une tension d'entrée entre 3.5 et 24V et possède des registres permettant de régler la tension et le courant de sortie / de la batterie à notre guise. La tension dite « VSYS » permet d'alimenter le reste d'un circuit ou autres. Cette même tension provient soit de la tension d'entrée transformée par le Buck Boost, soit de la batterie.

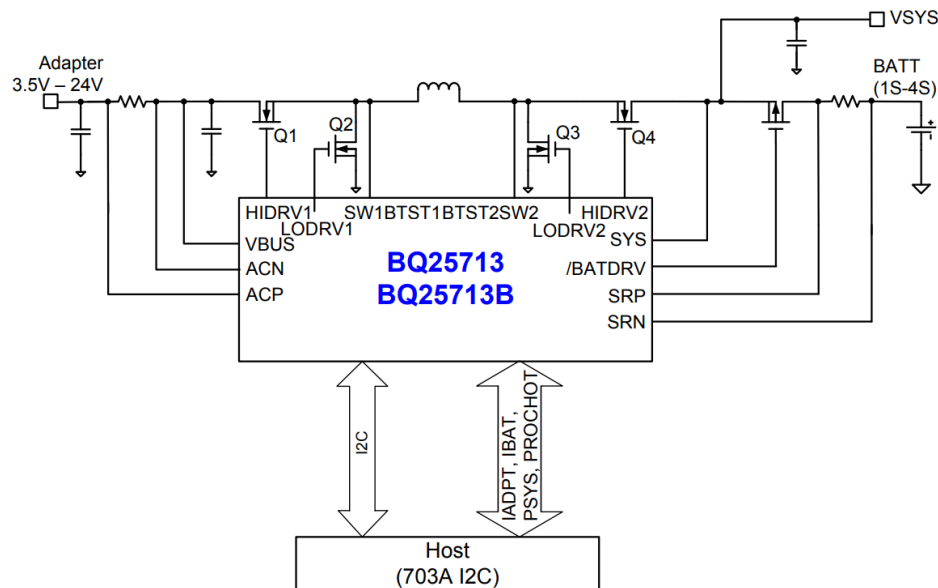


Figure 16 : Application Diagram pour le BQ25713

Pour le dimensionnement des composants qui entourent le circuit intégré, je me suis référé à la datasheet ainsi qu'au User's Guide du « BQ25713EVM-017 ». Il s'agit d'un kit d'évaluation pour le BQ25713.

Sur la pin 16, CELL_BATPRESZ, il était demandé utiliser un pont résistif qui permet au système de savoir la tension de la batterie que l'on va brancher dessus. En se référant au tableau donné dans la datasheet, comme ci-dessous, il est facile de déterminer les valeurs des résistances.

CELL COUNT	PIN VOLTAGE w.r.t. VDDA	BATTERY VOLTAGE (REG0x05/04)	SYSOVP
4S	75%	16.800 V	19.5 V
3S	55%	12.592 V	19.5 V
2S	40%	8.400 V	12 V
1S	25%	4.192 V	5 V

Figure 17 : Tableau de configuration de la batterie pour le BQ25713 (p. 24)

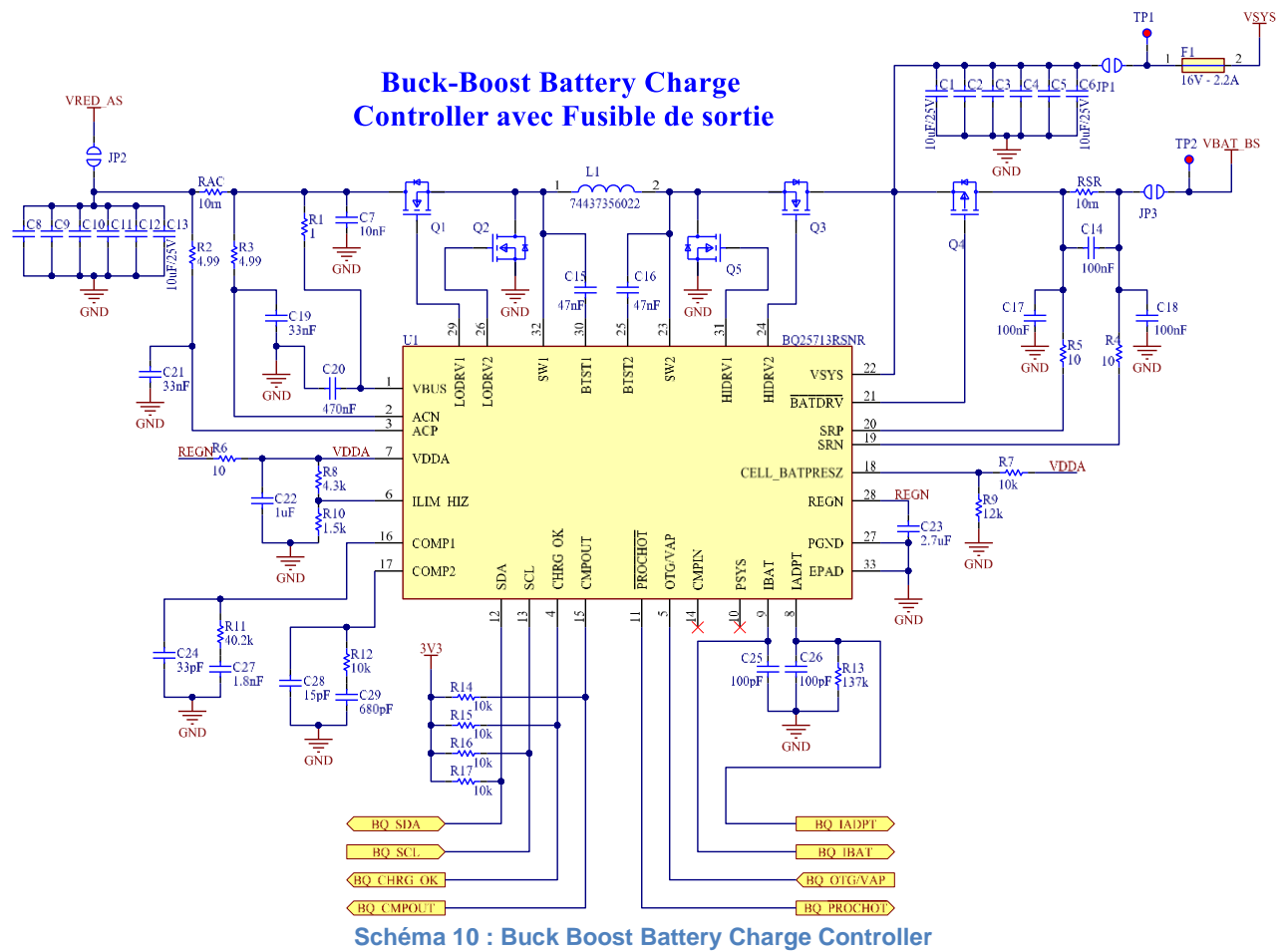
En sachant que pour une batterie de 16.8V, il faut un rapport de pont résistif de 75%, la tension par pourcentage est de 0.224V.

$$\% \text{ du pont résistif} = \frac{12.000}{0.224} = 53.57 \%$$

Après quelques recherches, voici les valeurs de résistances en série E24 obtenues :

$$R7 \text{ à } 10k \text{ et } R9 \text{ à } 12k \rightarrow \frac{R9}{R9 + R7} = \frac{12'000}{12'000 + 10'000} = 0.54 = 54.5 \%$$

A la sortie de la tension VSYS se trouve le fusible de sortie demandé, dimensionner à 16V et 2A.



A noter que certaines valeurs préconisées diffèrent entre les 2 documents, voir différent dans le même document. En exemple, les condensateurs de découplage d'entrée et de sortie. Dans la datasheet, ils conseillent de placer entre 4 à 6 condensateurs de 10[μF]/20[V] avec un low ESR et qui sont X7R ou X5R, chose qu'ils ont fait dans le kit de test. Or dans la datasheet, dans le schéma « Typical Application » (p. 71), il est inscrit « 4x10 mF » en entrée et « 6x10 mF » en sortie. Après quelques recherches et concertation avec M. Moreno, j'ai déterminé qu'il s'agissait d'une erreur dans le schéma « Typical Application » et je devais alors utiliser des condensateurs céramiques 10 [μF].

4.3.2.4 Régulateur 5 Volts

Afin de pouvoir alimenter une tablette ou tout autre appareil du genre, j'avais d'un régulateur [5] Volts avec une tension d'entrée variable. Pour ce faire, M. Moreno m'a dirigé vers un LM2674, un composant standard à l'ES.

Avec une tension d'entrée entre 8 et 40 [V], cet IC nous garantit un courant de sortie de 500[mA]. Sachant que le régulateur 3V3 est un LDO, presque l'intégralité du courant sera distribuée au port USB.

Pour la tension d'entrée, il en possède 2 différentes. Lors du démarrage, VRED_AS ne sera pas suffisante pour alimenter le régulateur. C'est la tension système VSYS qui, par le biais de la Batterie, alimentera l'IC et ainsi permettra au système de démarrer et charger la Batterie. Une fois que la tension VRED_AS est satisfaisante, c'est elle qui va prendre le relais.

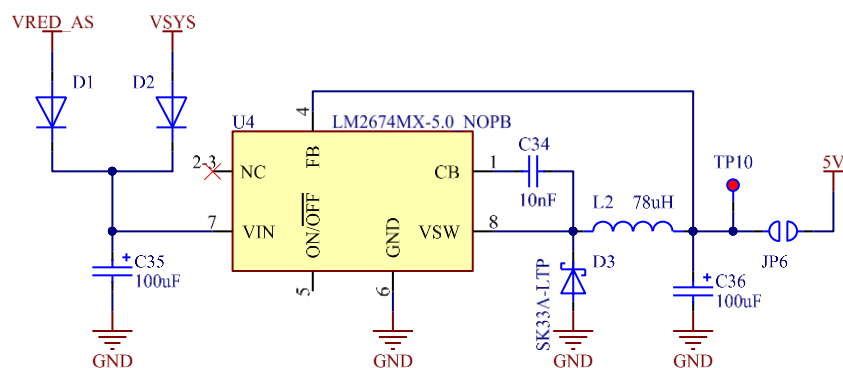


Schéma 11 : Régulateur 5 Volts LM2674

Pour se faire, il m'a fallu trouver 2 diodes de « croisement/sélection » qui pourraient bloquer la tension VSYS vers VRED_AS et inversement.

Le point de test TP10 permettra de tester la tension que le régulateur va générer. Une fois ceci fait, le jumper SMD JP6 sera brasé pour transmettre le 5V au reste du montage.

Pour ce qui est des autres composants entourant le LM2674, la datasheet nous donne une marche à suivre en fonction de nos besoins.

4.3.2.4.1 Marche à suivre

Premièrement, il faut déterminer la valeur de l'inductance, L2 dans notre cas. Pour se faire, nous devons connaître la tension d'entrée maximum (16[V]) et le courant de sortie max 500[mA].

En plaçant nos valeurs sur le tableau ci-contre, nous obtenons **L21**.

En se référant à « Figure 19 : Table "Inductor Manufacturers' Part Numbers" (p. 20) » ci-dessous, la datasheet nous donne plusieurs solutions d'inductance en fonction de ce que nous avons besoin.

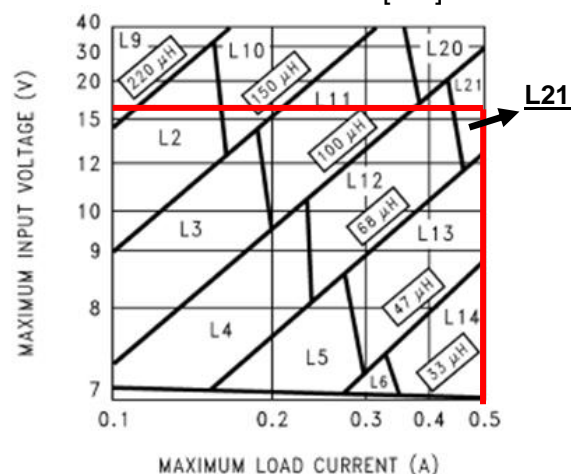


Figure 18 : Tableau "Applications Curves" (p. 24)

Après quelque recherche, j'ai décidé de prendre une PE-53821-S car il s'agissait de l'une des seules inductances proposées qui est encore actives sur le marché.

IND. REF. DESG.	INDUCTANCE (μH)	CURRENT (A)	SCHOTT		RENCO		PULSE ENGINEERING		COILCRAFT
			THROUGH HOLE	SURFACE MOUNT	THROUGH HOLE	SURFACE MOUNT	THROUGH HOLE	SURFACE MOUNT	
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683

Figure 19 : Table "Inductor Manufacturers' Part Numbers" (p. 20) ↑

Chose étrange, la valeur de l'inductance donnée par la Table (68μF) n'est pas la même que celle donnée par la référence (78μF). J'ai tout de même décidé de garder cette valeur et d'indiquer dans les modifications qu'il faudrait utiliser une autre inductance de 68μH cette fois-ci.

Ensuite, il est demandé de déterminer le condensateur de sortie, chose qui se fait grâce à la valeur de l'inductance précédemment dimensionnée avec cette table ci-dessous.

OUTPUT VOLTAGE (V)	INDUCTANCE (μH)	OUTPUT CAPACITOR					
		SURFACE MOUNT		THROUGH HOLE			
		SPRAGUE 594D SERIES (μF/V)	AVX TPS SERIES (μF/V)	SANYO OS-CON SA SERIES (μF/V)	SANYO MV-GX SERIES (μF/V)	NICHICON PL SERIES (μF/V)	PANASONIC HFQ SERIES (μF/V)
5	22	100/16	100/10	100/10	330/35	330/35	330/35
	33	68/10	100/10	68/10	220/35	220/35	220/35
	47	68/10	100/10	68/10	150/35	150/35	150/35
	68	100/16	100/10	100/10	120/35	120/35	120/35
	100	100/16	100/10	100/10	120/35	120/35	120/35
	150	100/16	100/10	100/10	120/35	120/35	120/35

Figure 20 : Table "Output Capacitor" (p. 14)

J'ai alors utilisé un condensateur 100[μF] et 16[V] minimum.

Ensuite, on nous explique que la tension inverse de la diode Schottky doit être minimum 1.25 fois plus grande que la tension max d'entrée :

$$V_{f \min} = V_{IN} \cdot 1.25 = 16 \cdot 1.25 = 20[V] \xrightarrow{\text{Marge}} 30[V]$$

V _R	500-mA DIODES		3-A DIODES	
	SURFACE MOUNT	THROUGH-HOLE	SURFACE MOUNT	THROUGH-HOLE
20V	SK12	1N5817	SK32	1N5820
	B120	SR102		SR302
30V	SK13	1N5818	SK33	1N5821
	B130	11DQ03	30WQ03F	31DQ03
	MBRS130	SR103		

Figure 21 : Table "Schottky Diode Selection" (p. 15)

Par la suite, ils préconisent d'utiliser un condensateur céramique 10[nF]/50[V] entre la pin CB et VSW du LM2674.

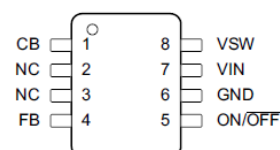


Figure 22 : Pin configuration du LM2674

Enfin, la datasheet préconise un condensateur d'entrée low ESR, en aluminium ou en tantale. Grâce au tableau ci-dessous, sa valeur peut être déterminée en fonction du courant que l'on lui accorde à l'entrée ainsi que la tension d'entrée.

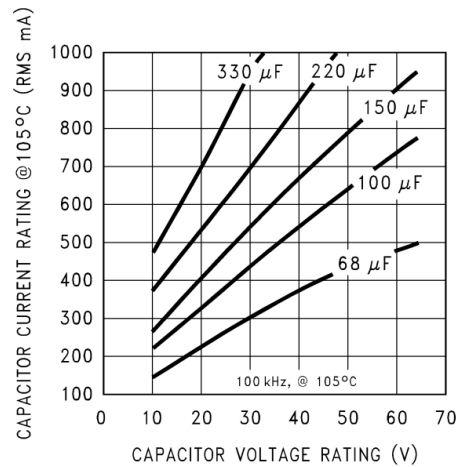


Figure 23 : Tableau servant à déterminer la valeur du condensateur de sortie d'un LM2674

À noter qu'il est aussi préférable d'utiliser un condensateur avec une tension d'au moins 1.25x la tension à laquelle il sera soumis. Dans le cas présent, un condensateur avec une tension de 25V ferait parfaitement l'affaire.

Malheureusement, très probable suite à un mauvais copier-coller, j'ai intégré au schéma exactement le même condensateur qu'en sortie. De ce fait, le condensateur d'entrée fait également 100µF.

4.3.2.5 Régulateur 3.3 Volts

Comme pour le régulateur 5 Volts, M. Moreno m'a imposé le MAX1793 pour créer le 3.3 Volts. Il s'agit d'un Régulateur linéaire LDO avec une tension de Dropout de 210 [mV]. Avec une tension minimale de $3.3 + 0.210V$, l'IC garantit 1A en courant de sortie, ce qui est largement suffisant pour les besoins de la carte.

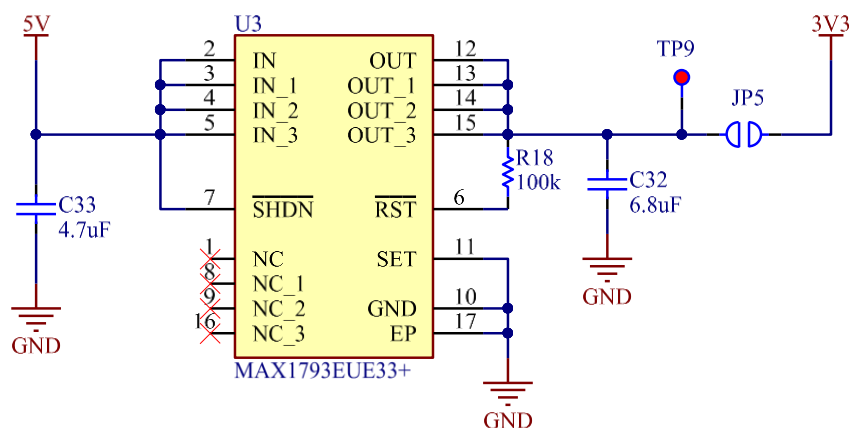


Schéma 12 : Régulateur 3.3 Volts MAX1793

Pour ce régulateur, le fabricant préconise de :

- Mettre un condensateur céramique 4.7 [µF] à l'entrée lorsque la tension d'entrée se situe entre 2.5 et 5.5 Volts.
- Mettre un condensateur low-ESR de 6.8 [µF] à la sortie.
- Connecter une résistance pull-up de 100 [kΩ] entre la pin /RST et la sortie.

4.3.2.6 Mesure de f_{phase}

Afin de pouvoir garantir que l'hélice ne risquerait pas d'atteindre les 10'000 RPM, le microcontrôleur va mesurer sa vitesse de rotation et ainsi pourra agir à l'aide du Safety Load Manuel pour réduire les RPM que supportera l'hélice.

De ce fait, nous utilisons un montage des plus basique :

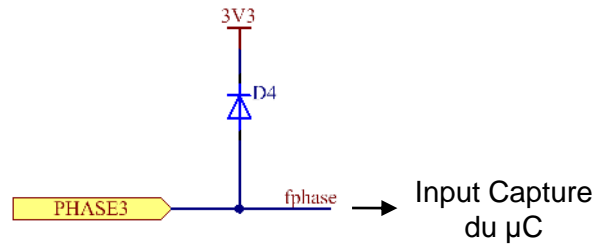


Schéma 13 : Mesure de la fréquence de la phase

Une seule diode Schottky permet de cette manière mesurer la fréquence de la phase, lorsque que f_{phase} sera à un Input Capture.

Si la phase mesurée est en alternance positive, presque l'intégralité de cette tension sera récupérée par le redresseur (D2 sur le schéma ci-dessous), ce qui donnera une partie de la tension de VRED. La tension se trouvant sur la pin du μC sera alors nulle, proche de zéro. Et la diode mise en pull-up bloquera alors cette même tension. Un zéro sera alors interprété par le μC .

A l'inverse, si la phase se trouve en alternance négative, elle sera bloquée par l'autre diode (D4 ci-dessous). Cette fois-ci, la diode Dphase fera office de pull-up et une tension positive se trouvera alors sur la patte du microcontrôleur.

La fréquence créée par cette alternance sera la même que celle de la Phase connectée au montage.

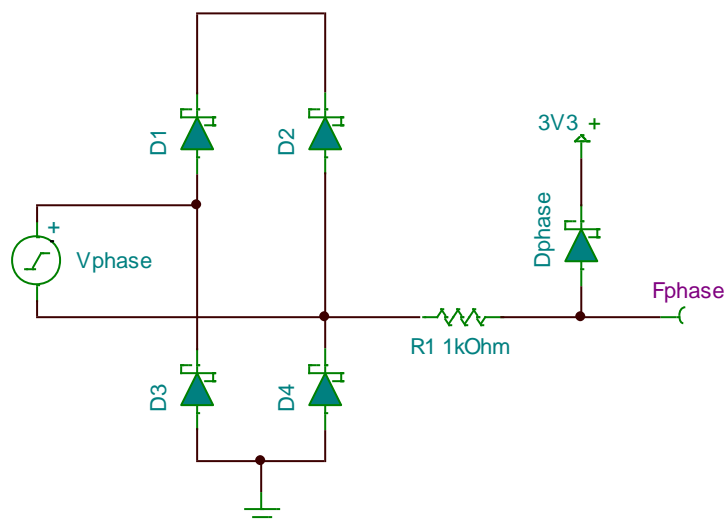


Schéma 14 : Simulation de la mesure de phase

N'ayant pas de générateur de triphasé sur notre logiciel de simulation, j'ai dû utiliser un simple générateur et lui demander un signal sinusoïdal. Le principe reste le même, la fréquence pourra toujours être mesurée. Seul le rapport cycle ne sera pas représentatif du montage utilisé dans mon projet.

Pour les simulations, j'ai décidé de tester avec 3 tensions différentes : 5 Volts, 10 Volts et 1 Volt d'amplitude pic. Pour ce qui est de la fréquence du générateur, celui-ci était fixé à 500Hz.

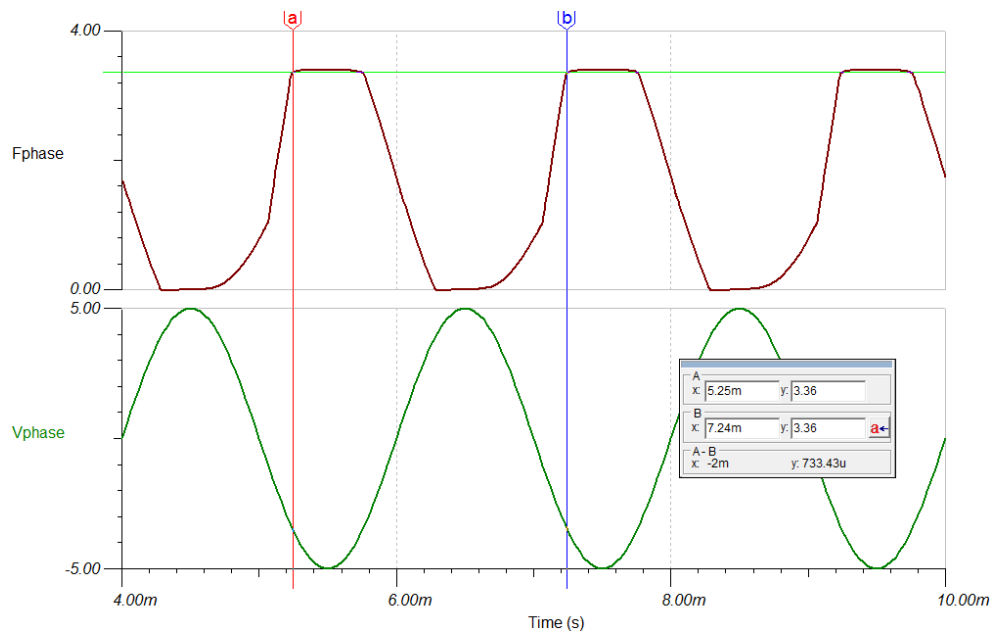


Figure 24 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 5V

Sur la première simulation, nous pouvons observer que la tension arrivant sur Fphase se situe entre 0 et 3.3V environ. Si l'alternance positive de fphase dépasse légèrement 3.3V, cela ne devrait pas poser problème au MCU, car il ne s'agit que de quelques dizaines de millivolts. Nous pouvons aussi voir que la fréquence mesurée à l'aide des curseurs correspond bien à celle demandée au générateur de fonction.

Malgré tout, il ne faut pas oublier qu'il ne s'agit de simulation. Les cas réels seront probablement encore différents.

La deuxième simulation nous montre que même si l'amplitude augmente, la tension arrivant sur la pin du microcontrôleur ne change pas par rapport à la simulation précédente. Pareil que la première simulation, la fréquence mesurée correspond toujours à nos attentes.

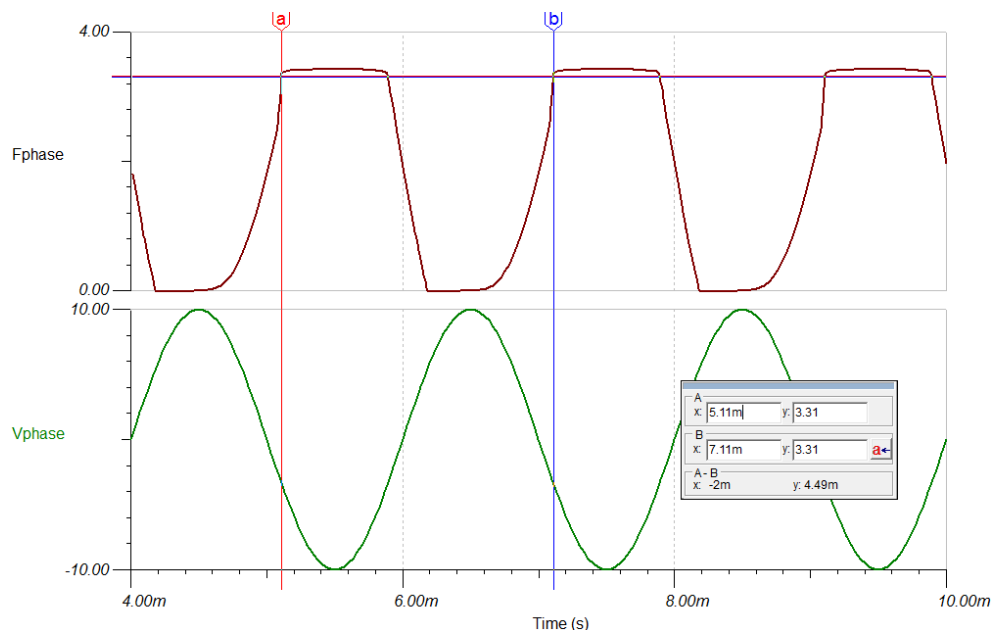


Figure 25 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 10V

Enfin, la dernière simulation nous montre que si l'amplitude du signal d'entrée est trop modérée, la fréquence ne sera pas impactée par ce changement tandis que la tension maximale du signal f_{phase} sera trop bas à son tour. Le microcontrôleur sera donc dans l'incapacité de mesurer ce signal.

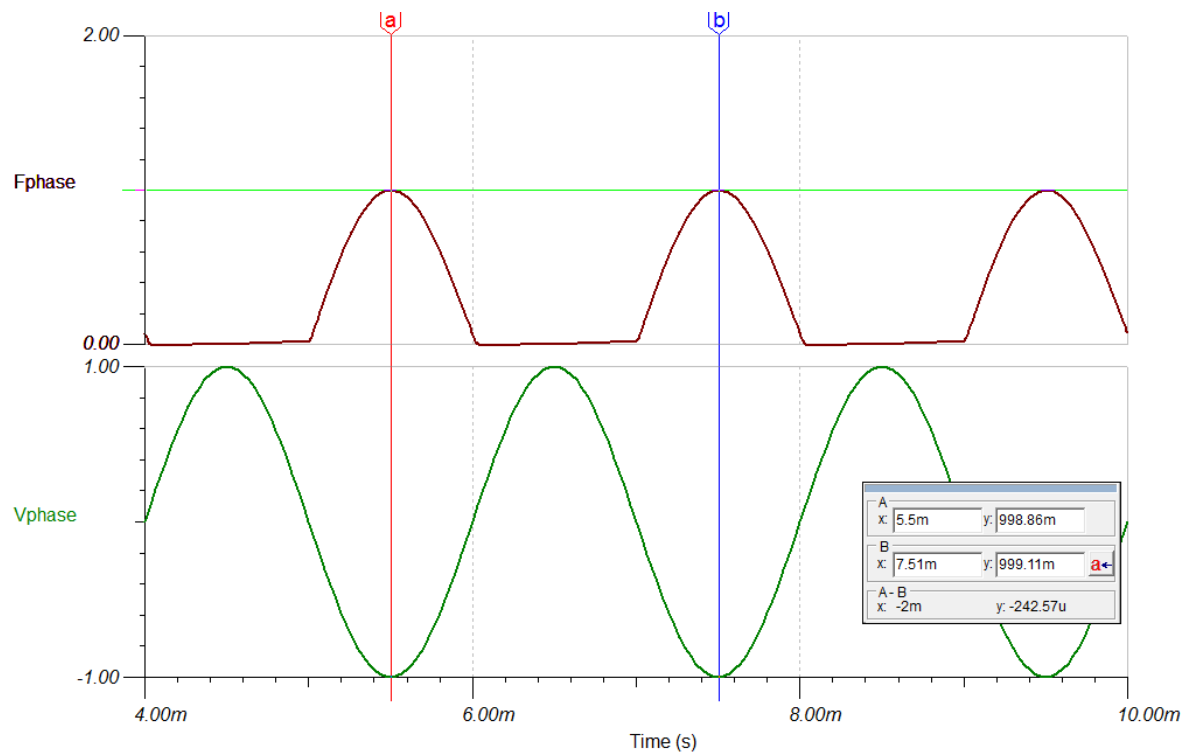


Figure 26 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 1V

Sachant que la tension du redresseur ne devrait pas s'abaisser en dessous de 3.5V, ce cas est quasiment impossible.

4.3.2.7 Safety Load Manuel

Comme pour sa version automatique, ce montage a pour but d'ajouter une charge sur la tension redressée afin de réduire la vitesse de rotation de l'hélice.

L'idée était de pouvoir faire varier l'ajout de charge à l'aide de la sortie d'un DAC entre 0 et 3.3V, connecté sur la patte positive AOP. Ce qui aurait pour effet de faire varier la tension sur la résistance R28 et ainsi le courant que cette dernière "demande".

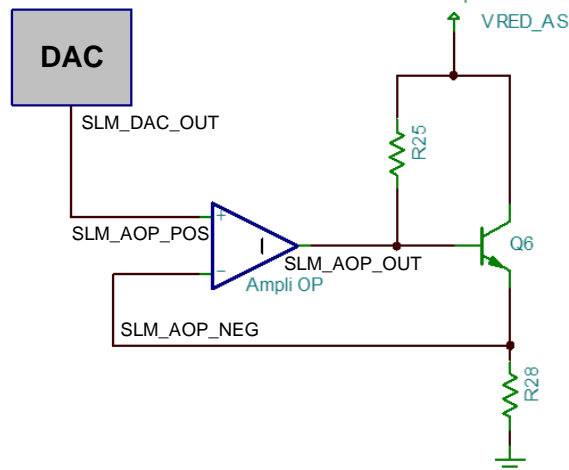


Schéma 15 : Idée pour le montage Safety Load Manuel

Nous avons donc besoin d'un ampli-op et d'un DAC. Nous avons finalement décidé d'utiliser ceux se trouvant sur le microcontrôleur que nous allons utiliser. Ce qui, visuellement, réduit la compréhension du schéma ci-dessous.

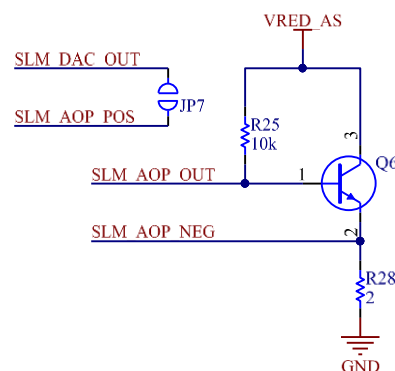


Schéma 16 : Safety Load Manuel avec un DAC et un Ampli-OP

Identiquement que sa version automatique, la résistance R28 possède un footprint 0805. En augmentant sa valeur, le montage sera moins efficace. À l'inverse, si l'on réduit la valeur de la résistance, la pente du courant en fonction de la tension du DAC sera plus forte. Exemple :

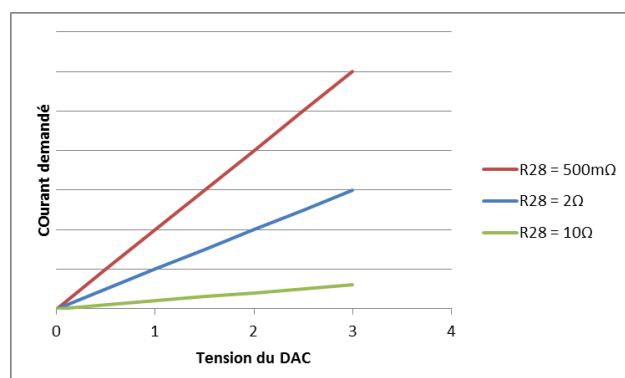


Figure 27 : Représentation du courant demandé en fonction de la tension du DAC

4.3.2.8 Microcontrôleur

Pour le microcontrôleur, j'avais connaissance des besoins, qui étaient :

- 1x I2C pour la communication avec le Charge Controller BQ25713
- Entre 5 et 10 I/O pour les différents composants
- Entre 5 et 10 ADC Input
- 1x Input Capture pour la mesure de phase
- 1x I2C pour l'écran LCD
- 1 DAC pour le Safety Load
- 1 Amplificateur Opérationnel aussi pour le Safety Load.

Je me suis donc tourné vers les PIC32**MK** pour trouver ce dont j'avais besoin, car les « MX » ne possèdent pas de DAC ou d'AOP.

Sur le site de Microchip, j'ai cherché dans la famille entière des MK, en filtrant mes recherches. Suite à ça, j'ai décidé d'utiliser le PIC32MK0521GPD064.

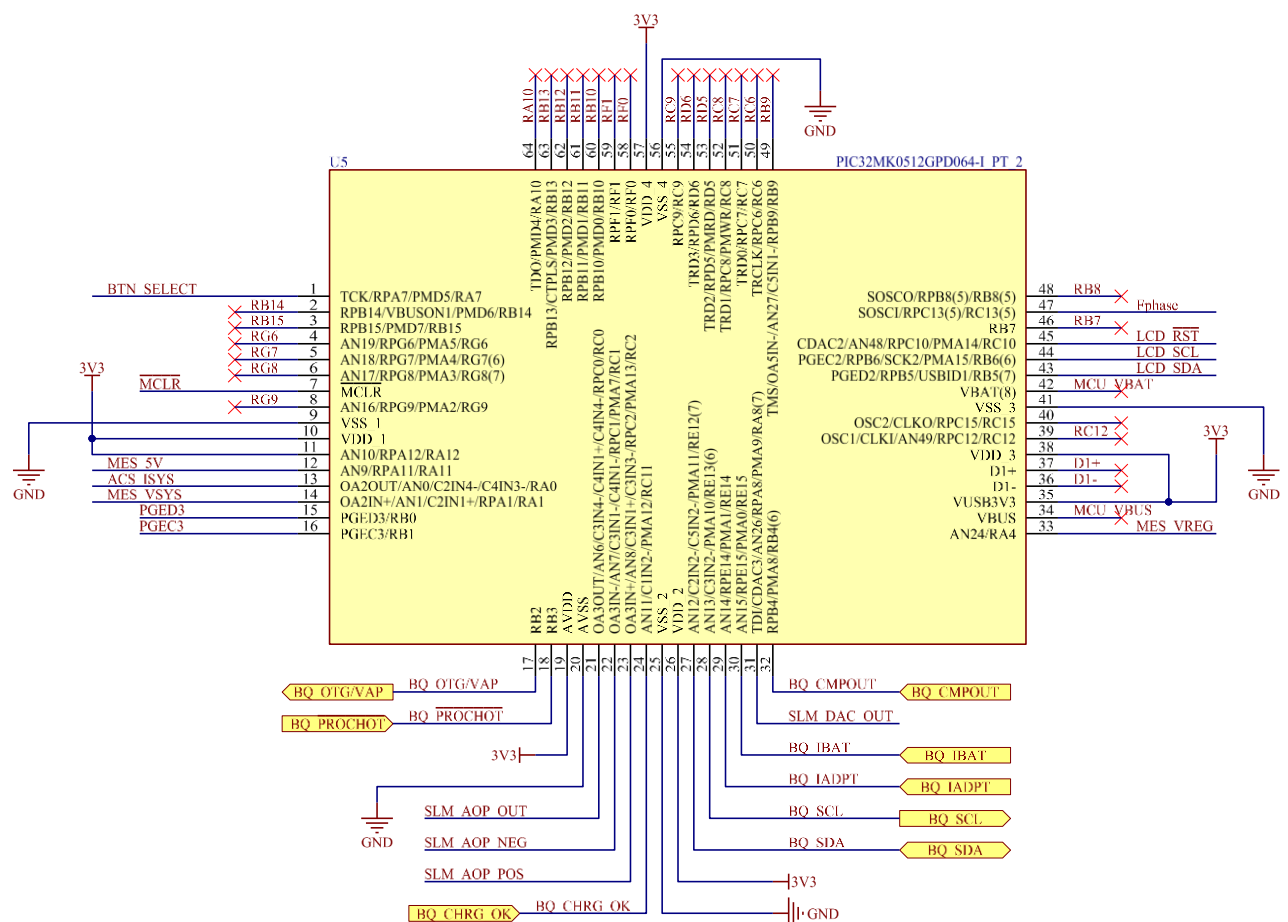


Schéma 17 : Microcontrôleur PIC32MK0512GPD064

Lors de nos recherches avec M. Moreno, nous avons trouvé d'autres PIC32MK correspondant à nos attentes, mais ces derniers étaient tous neufs. Malgré le fait qu'il y avait des μC 48 pins, ce qui nous aurait permis d'économiser sur le nombre de patte non-utilisée, nous n'avons pas voulu prendre le risque de devoir programmer sans MPLABx ou autre.

Voici le montage préconisé par le fabricant, j'ai simplement ajouté un bouton de Reset, comme dans le kit PIC32 de l'ETML-ES.

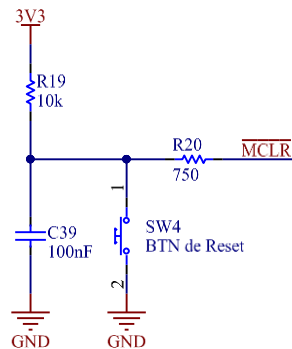


Schéma 18 : Système de Reset du microcontrôleur

Pour ce qui est du connecteur de programmation, j'ai opté pour celui de l'école avec un détrompeur.



Schéma 19 : Connecteur de programmation du microcontrôleur

Figure 28 : Connecteur de programmation avec détrompeur

En suivant les instructions du fabricant, j'ai ajouté des condensateurs de découplage à chaque pin d'alimentation 3.3V, qui sont les suivantes :

- 10 – VDD_1
- 19 – AVDD
- 26 – VDD_2
- 35 – VUSB3V3
- 38 – VDD_3
- 57 – VDD_4

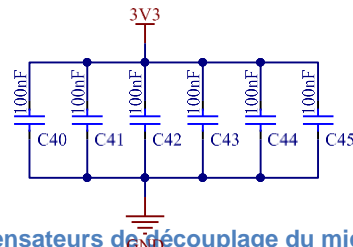


Schéma 20 : Condensateurs de découplage du microcontrôleur

Pour le routage du PCB, il ne faut pas oublier de les mettre au plus proche de ces mêmes pins.

Afin d'avoir accès à toutes les pattes du μ C sans avoir de nombreux et volumineux points de test, j'ai décidé d'implanter des Headers. Sachant que les pins 49 à 64 ne sont pas utilisées, je n'ai ajouté que 3 connecteurs. A noter qu'ils sont SMD, car l'écran LCD m'empêchait d'utiliser des traversant, étant donné qu'il se trouvait.

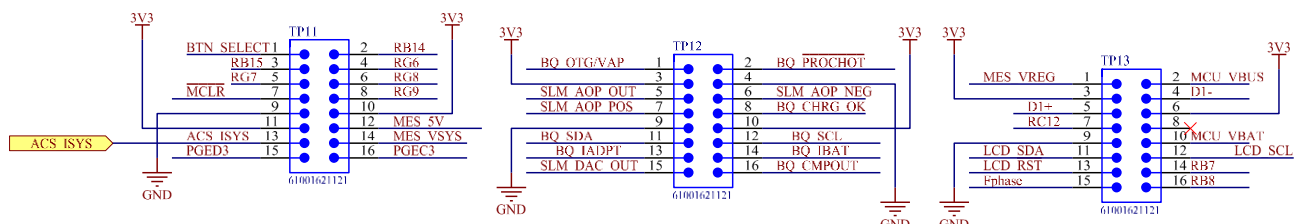


Schéma 21 : Header de mesures, autour du microcontrôleur

Comme demandé dans le cahier des charges, il faut un écran sur lequel il sera affiché la valeur de l'un des différents courants ou tensions sélectionnés. Pour cela, M. Moreno m'a demandé que ce qui s'affichera à l'écran soit suffisamment visible à lumière du soleil et à l'ombre. J'ai donc cherché un Display étant « transflectif » et disposant également d'un rétro-éclairage.

L'écran devait de préférence être alimenté par le 3V3, ayant beaucoup de marge de courant grâce au LDO MAX1793. Sa taille devait se situer entre 10x2 et 16x3 caractères maximum.

Après quelques recherches, j'ai décidé avec l'accord de M. Moreno, d'utiliser un NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M de chez Newhaven. Il communique en I2C et permet d'afficher 20x2 caractères.



Figure 29 : LCD NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M de chez NewHaven

Avec le morceau de schéma ci-dessous, on observe que les pins pour le backlight (A et K) sont directement connecté au 3.3V et au GND. J'aurais pu en effet ajouter un Mosfet qui ferait office d'interrupteur afin de pouvoir activer ou désactiver le rétro-éclairage, mais je n'en voyais pas l'utilité. Le backlight ne pouvant être réglé grâce à une interaction avec l'utilisateur, ceci n'aurait qu'uniquement ajouté des composants sur le PCBs.

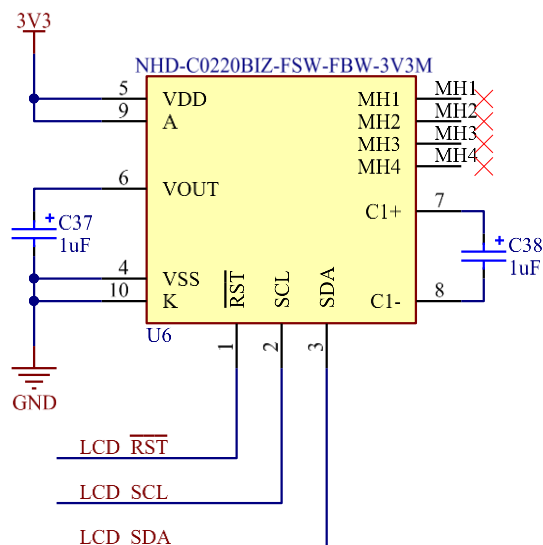


Schéma 22 : Écran LCD avec rétro-éclairage NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M

Les valeurs des condensateurs C37 et C38 sont celles préconisées dans la datasheet de l'écran.

4.3.2.10 Select BTN

Comme évoqué plus haut, les valeurs mesurées de tensions et de courants devront être affichées sur le LCD. Afin de pouvoir changer la valeur que l'on veut voir à l'écran, nous avons donc ajouté un bouton poussoir.

Lors de l'élaboration du schéma, j'étais parti dans l'optique de mettre une pull-down et ainsi envoyé une pulse positive lorsque l'utilisateur interagit avec le bouton poussoir.

Par la suite, je me suis rendu compte que le μC peut avoir certaines de ces pins configurées avec une **pull-up interne**. J'ai donc alors changé mon schéma en supprimant la résistance de pull-down mise précédemment et en connectant SW3 au GND cette fois-ci. C'est une pulse négative qui sera reçue par le microcontrôleur.

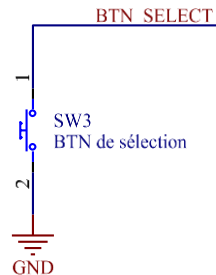


Schéma 23 : Bouton de sélection

4.3.2.11 Mesures des courants et tensions

4.3.2.11.1 Les courants

Les courants devant être mesurés sont **ISYS**, le courant qui partira à la Radio et au Transpondeur, et **IBAT**, s'agissant du courant de la Batterie Gel.

Le premier est mesuré à l'aide d'un ACS722, un circuit intégré qui mesure le courant et sort une tension proportionnelle entre sa tension d'alimentation et le 0 Volts. Il est possible de venir récupérer facilement cette mesure en connectant sa sortie à un ADC.

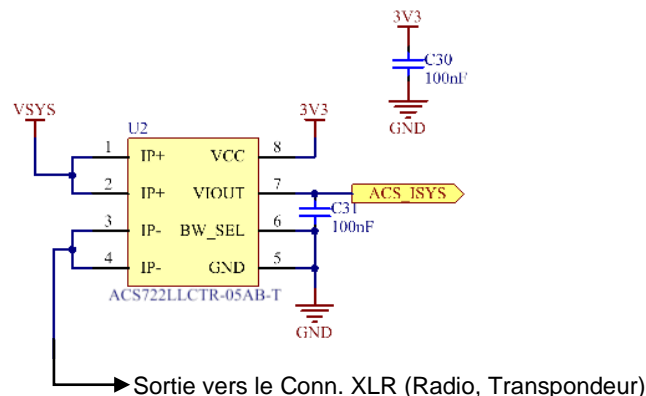


Schéma 24 : Mesure du courant ISYS

Le second quant à lui est mesuré directement par le Bat Charge Controleur, le BQ25713, et est disponible sur la patte n°9 IBAT. (voir Buck Boost Battery Charge Control, en bas à droite)

Dans le même principe que pour ISYS, la pin n°9 BQ25713 va également varier entre 3.3V et 0V proportionnellement au courant de la Batterie. Il suffit donc aussi d'y connecter l'un des ADCs du μC .

4.3.2.11.2 Les tensions

Les tensions devant être mesurées sont au nombre de 4 :

- **VRED_AS**, tension redressée du moteur brushless provenant de l'Extern Board. Mesurée après l'interrupteur On/Off. Tension maximum = **16[V]**
- **VSYS**, tension qui permettra d'alimenter le système et les périphériques externes (Radio, Transpondeur). Tension maximum = **16[V]**
- **5V**, tension qui alimentera le port USB 2.0 ainsi que le LDO qui produira la tension 3V3. Tension maximum = **5[V]**
- **3V3**, tension qui servira d'alimentation aux différents composants du PCB Main Board (µC, LCD, etc....). Tension maximum = **3.3 [V]**

Pour faire des mesures, j'ai divisé les 3 premières tensions grâce à des ponts résistifs étant donné que les pattes du microcontrôleur ne pourraient pas supporter de telles tensions.

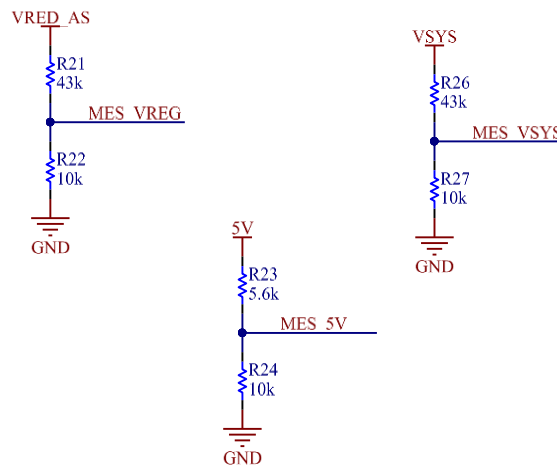


Schéma 25 : Ponts résistifs pour les mesures de tensions

Voici les calculs des ponts résistifs ci-dessus, pour la tension maximale de VREG_AS et VSYS, j'ai utilisé 18V pour avoir un peu de marge, si par hasard les tensions dépasseraient les 16V :

$$U_{MAX\ MES_VREG} = U_{MAX\ VREG_AS} \cdot \frac{R21}{R21 + R22} = 18 \cdot \frac{?}{? + ?}$$

Je fixe la valeur de la résistance du bas (R22, R24 et R27) à **10[kΩ]** et je transforme la formule.

$$U_{MAX\ MES_VREG} = U_{MAX\ VREG_AS} \cdot \frac{R22}{R22 + R21} = 18 \cdot \frac{10k}{10k + R?}$$

$$R21 = \frac{U_{MAX\ VREG_AS} \cdot R22}{U_{MAX\ MES_VREG}} - R22 = \frac{18 \cdot 10k}{3.3} - 10k = 44.54 [k\Omega] \xrightarrow{\text{Série E24 en dessous}} \mathbf{43[k\Omega]}$$

Sachant que la tension max de VREG_AS et VSYS est la même :

$$R26 = R21 = \mathbf{43[k\Omega]}$$

$$R23 = \frac{U_{MAX\ 5V} \cdot R24}{U_{MAX\ MES_5V}} - R24 = \frac{5 \cdot 10k}{3.3} - 10k = 5.15 [k\Omega] \xrightarrow{\text{Série E24 en dessous}} \mathbf{5.6[k\Omega]}$$

4.3.2.12 Sorties

La Main Board possède 3 sorties a proprement dit. Une sortie XLR pour la Radio et le Transpondeur, une sortie XLR pour la batterie au plomb gel et enfin une sortie USB pour alimenter une tablette ou un téléphone portable.

4.3.2.12.1 Radio et transpondeur

La radio, installée dans le cockpit, est une radio TY91 de chez Trig Avionics. En veille, elle consomme 2.8 Watts, tandis qu'en émission, ceci se situera autour des 28 Watts. Elle a besoin d'une tension d'alimentation pouvant varier entre 11 et 33 Volts.



Figure 30 : Radio TY91 de Trig Avionics

Provenant aussi de chez Trig Avionics, le transpondeur TT21 consommera 2.1 Watts en veille et 4 Watts lors de l'émission. Il faudra, quant à lui, l'alimenter entre 9 et 33 Volts.



Figure 31 : Transpondeur TT21 de Trig Avionics

Leur alimentation proviendra d'un connecteur XLR 3 pôles femelle de chez Neutrik.



Figure 32 : Connecteur XLR 3 pôles de chez Neutrik - NC3FD-L-1

Ce connecteur a été choisi afin de pouvoir garantir la bonne maintenance de la connexion entre les éléments externes et le boîtier contenant le PCB principale. Les borniers tenant les fils grâce à des vis étant évités car les vibrations dues à l'avion pourraient déloger les câbles/fils.

La batterie est une batterie au plomb/gel 12 Volts et 7Ah. Elle sera connectée grâce à un connecteur XLR 3 pôles, ce qui lui transmettra la tension de charge générée par le chargeur ainsi que le GND. Un interrupteur sera installé entre la batterie et le reste du PCB, ceci permettra d'éviter que le montage ne consomme l'énergie emmagasinée dans la batterie et qu'elle ne se décharge.



Figure 33 : Connecteur XLR 3 pôles de chez Neutrik - NC3FD-L-1

4.3.2.12.3 Le Port USB

Un connecteur USB permettra de fournir 5 Volts et 500 mA maximum pour une tablette par exemple ou tout autre pareil pouvant être rechargé depuis un port de ce type.



Figure 34 : Port USB 2.0 Type A

4.4 Évaluation préliminaire des coûts

Nom	Type	Interaction avec le μC	Prix [chf]
PIC32MX0512GPD064	Microcontrôleur	\emptyset	fr. 5.70
Composants entourant le μC			fr. 10.00
BQ25713	Battery Charge Controller	I2C	fr. 3.40
Composants entourant le BQ25713			fr. 14.00
NHD-C0220BiZ-FSW-FBW-3V3M	Écran LCD	I2C	fr. 12.00
LM2674MX-5.0	Régulateur 5 Volts	\emptyset	fr. 2.90
Composants entourant le LM2674			fr. 6.00
MAX1793EUE33+	Régulateur 3.3 Volts	\emptyset	fr. 3.50
ACS722LLCTR-05AB-T	IC Current Sensor	ADC	fr. 4.00
Interrupteurs 15A			fr. 9.00
Connecteurs en tous genre			fr. 19.30
Autres			fr. 35.00
1457K1202BK	Boîtier	120 mm x 84 mm x 44 mm	fr. 32.40
PCB Main Board	120 mm x 80 mm		fr. 68.00
Stencils pour le Main Board			fr. 30.00
PCB Extern Board	50 mm de diamètre		fr. 45.00
TOTAL :			fr. 300.20

5 Hardware

5.1 Spécificités du « Main Board »

5.1.1 PCB

5.1.1.1 Placement et Organisation des composants

Lorsque j'ai voulu placer mes composants autour de mon microcontrôleur, j'ai voulu appliquer la logique suivante : Les entrées à gauche et les sorties à droite, vu depuis le dessus.

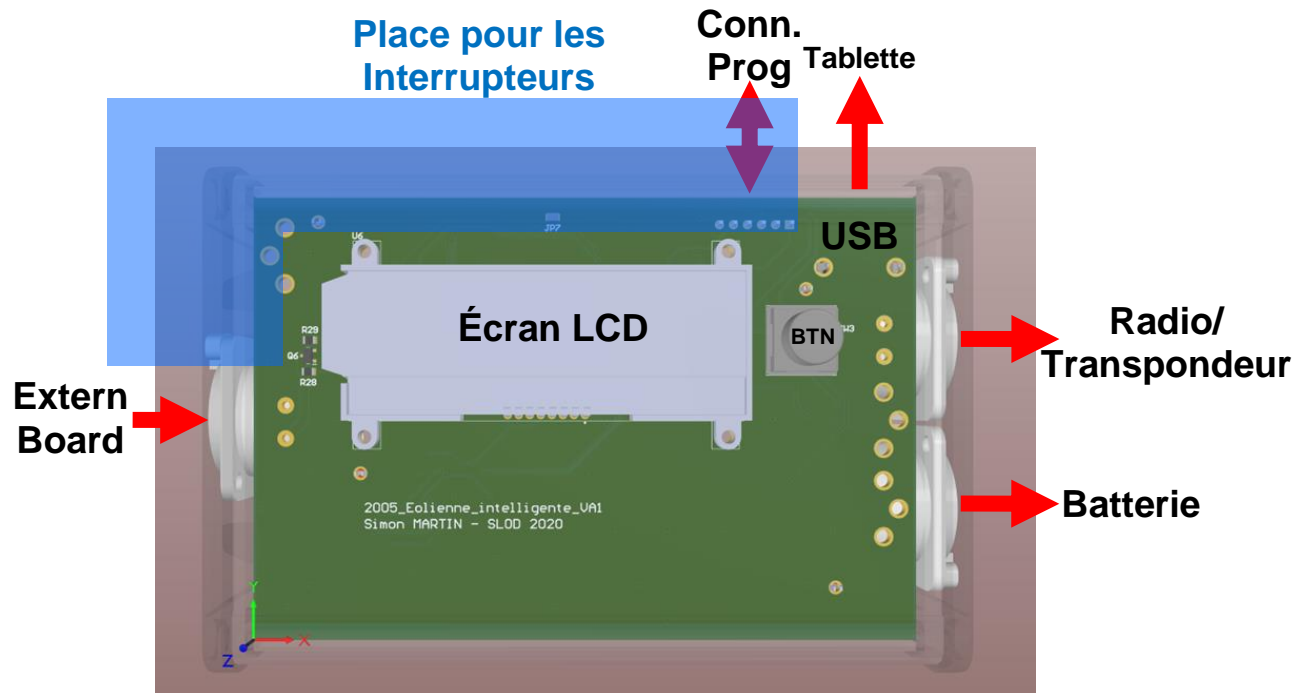


Figure 35 : Logique de placement des entrées/sorties

Dans la même optique, je souhaitais placer dans l'ordre mes composants. Par exemple, le BQ25713 devrait placer avant le Régulateur 5V, vu que ce dernier utilise la tension V_{SYST}, provenant elle-même du BQ25713. Illustré ci-dessous, il ne faut pas oublier que ceci est la vue Bottom, le PCB est donc **inversé** par rapport à l'image précédente.

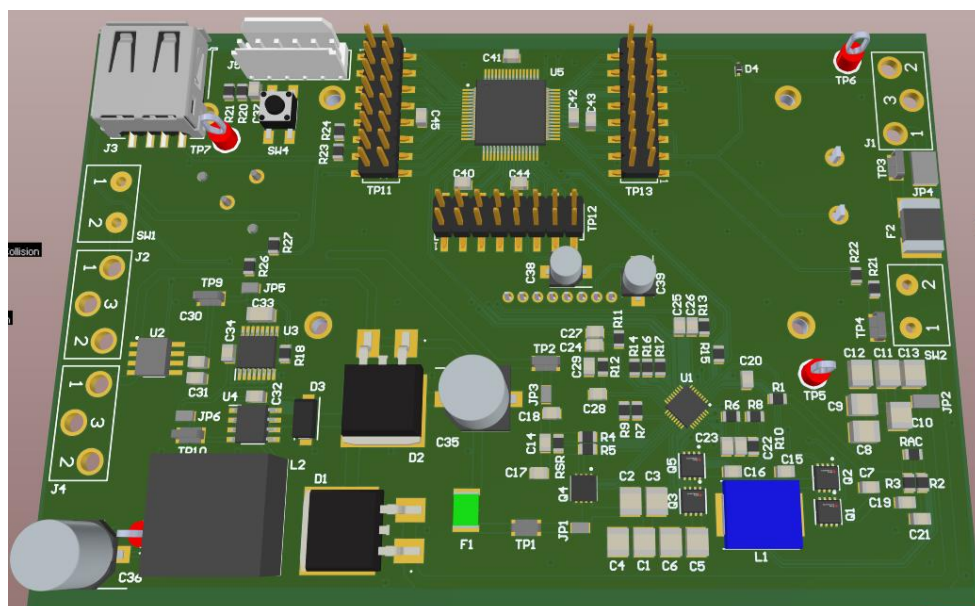


Figure 36 : Logique de placement des composants vue bottom

Étant donné que mon microcontrôleur est un TQFP-64 et que je n'avais pas besoin toutes les pattes de l'IC, j'ai pu attribuer les plus librement en fonction de mes besoins.

Grâce à MPLAB X, j'ai pu voir facilement où se trouvaient les différentes fonctions dont j'avais la nécessité.

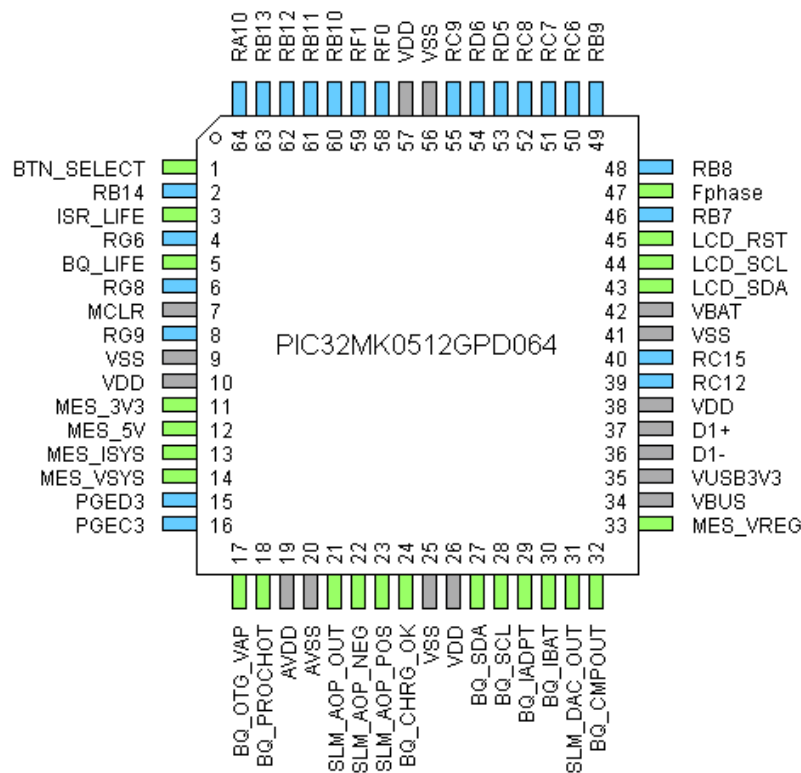


Figure 37 : Pin Diagram de mon microcontrôleur sur Harmony

Sachant qu'aucunes des pattes 49 à 64 n'allaient être utilisées, j'ai pu « coller » le μ C au bord du boîtier et placer les autres composants tout autour.

En récupérant les fichiers Step de mes connecteurs XLR, de mes commutateurs et mon boîtier mécanique, j'ai pu les intégrer sur Altium et ainsi voir le résultat et vérifier qu'il n'y avait pas de problème de collision entre certains composants et les connecteurs par exemple.

Le résultat se trouve sur les pages suivantes.



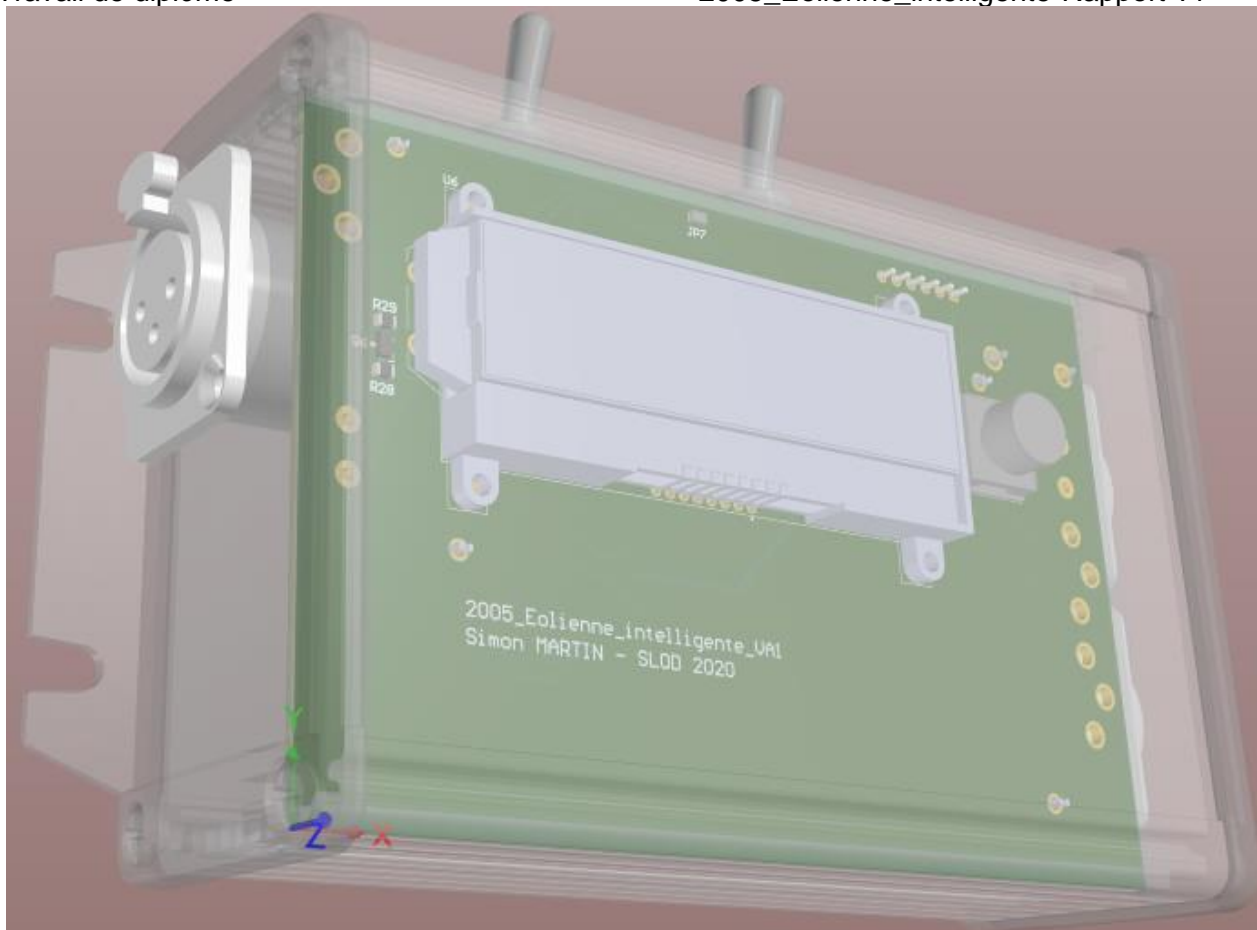


Figure 40 Vue face avant 3D, de gauche

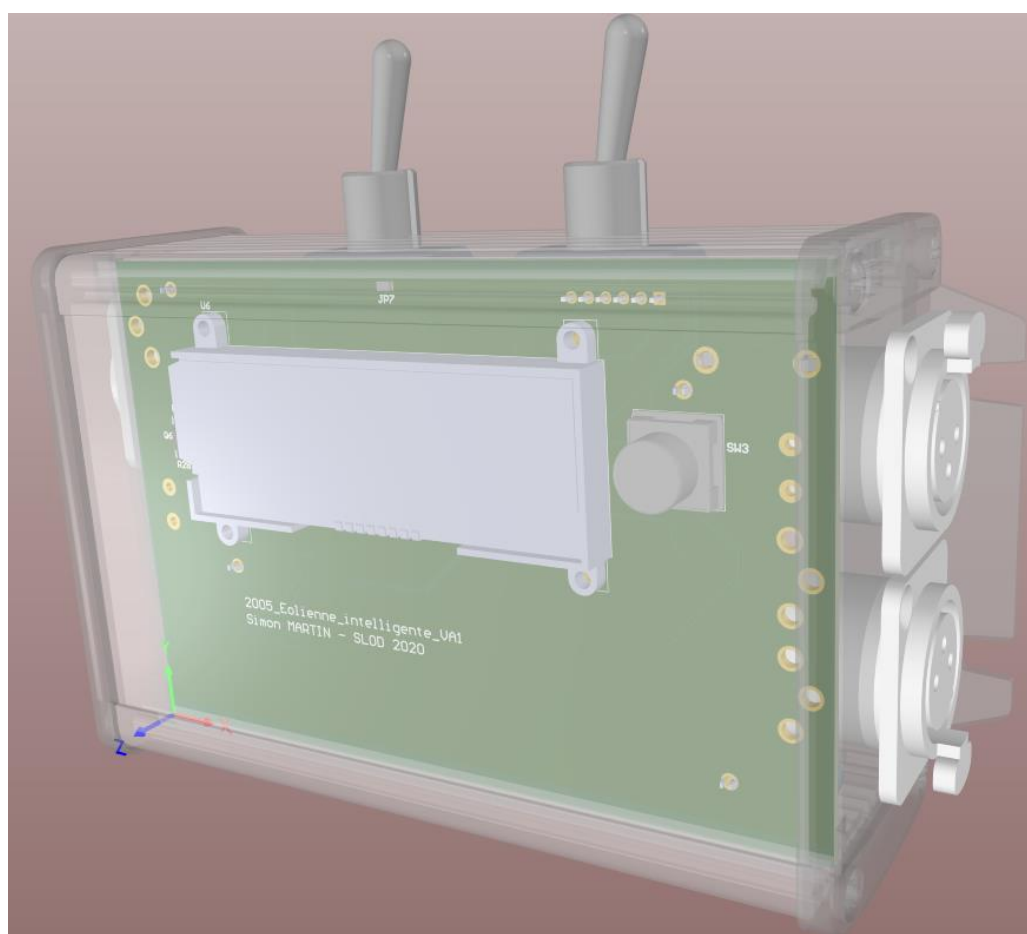


Figure 41 : Vue face avant 3D, de droite

5.1.1.2 Largeurs des pistes et distances d'isolation

Afin de garantir que les courants de certaines pistes ne les fassent pas surchauffer, j'ai décidé d'augmenter la largeur de ces mêmes pistes. Pour cela, je me suis référé au calculateur proposé par Digikey, site disponible [ici](#).

Il se présente de cette manière :

En entrant le courant voulu, l'épaisseur des pistes ainsi que l'augmentation de température voulue, le calculateur nous indique la largeur de piste requise dans 2 cas : Lorsque la piste fait partie des couches internes et lorsque la piste est à l'air libre.

Courant
4 A

Épaisseur
35 µm

Augmentation de température
35 °C

Température ambiante
20 °C

Longueur de piste
Entrez la longueur... mm

FORMULE
Ce calculateur de largeur de piste de circuit imprimé utilise les formules de la norme IPC-2221.

Largeur de piste minimum
2.472457199 mm

Couches internes
Largeur de piste requise
= 2.472457199 mm

Résistance
= 0.00000000 Ω

Chute de tension
= 0.00000000 V

Perte de puissance
= 0.00000000 W

Largeur de piste minimum
0.9504187488 mm

Couches externes à l'air libre
Largeur de piste requise
= 0.9504187488 mm

Résistance
= 0.00000000 Ω

Chute de tension
= 0.00000000 V

Perte de puissance
= 0.00000000 W

Figure 42 : Calculateur de largeur de piste de Digikey

Sur le Main Board, une grande majorité des pistes ont une largeur de 0.2mm, ce que nous utilisons comme un minimum standardisé. Avec cette largeur, je garanti jusqu'à un courant de 1.3[A] avec un échauffement de 35°C.

La minorité des pistes n'étant pas à 0.2mm correspond aux pistes aux courants plus élevés.

Une partie fait 1mm de large, ce qui me permet de garantir un courant de 4[A], également avec un échauffement de 35°C. Ces pistes correspondent en grande partie aux connexions des composants autour du BQ25713, particulièrement pour les MOSFET

L'autre partie possède une largeur de 1.5mm. Ces pistes correspondent à la tension redressée VRED_BS et VRED_AS. Aussi avec une augmentation de température de 35°C, je garantis un courant pouvant atteindre les 5.5[A]. Avec le courant maximum que ces connexions pourraient atteindre, c'est-à-dire 10[A], les pistes pourraient atteindre un échauffement de 135°C. A noter qu'atteindre un tel courant est un cas particulier qui serait possible lorsque l'avion est au sol et que le moteur se trouve en « bas régime » (~1000 tr/min)

Pour ce qui est des distances d'isolation je me suis référé à la règle « 1mm pour 1kVolts ». Sachant que les distances d'isolation sont déjà préréglées pour 0.15mm, ceci permet de garantir un maximum de 150[V]. Étant bien plus bas (< 20V), il n'y a aucun risque.

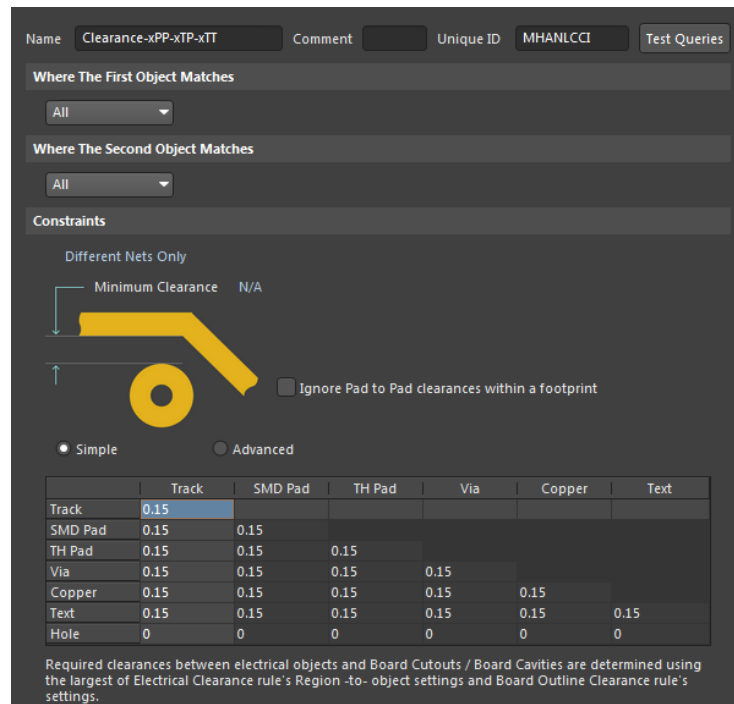


Figure 43 : Rule pour la distance d'isolation entre les éléments

J'ai ajouté la « Rules » ci-dessous afin de ne plus avoir d'erreur d'arrondi chez EuroCircuit, n'agissant qu'uniquement sur les plans, de masse par exemple, faisant partis des « Poly »

(Très souvent avec les plans, Altium arrondi à 0.15mm alors que EuroCircuit arrondissent quant à eux à 0.149mm, ce qui crée de nombreuses erreurs lors du Check-Up.)

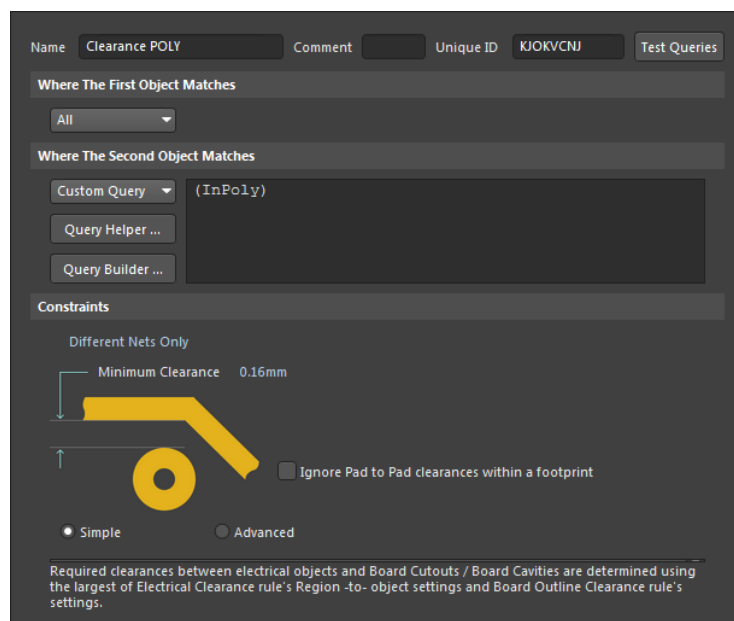


Figure 44 : Nouvelles Rules pour les Poly

5.1.1.3 Commande chez EuroCircuit

La commande des PCB s'est faite chez EuroCircuit. L'image ci-dessous montre bien que nous avons commandé le « Main Board » en classe 6C.

Sélecteur de classification - 2005_Eolienne_intelligente_VA1_4 (B2513511)

Classe des tracés

	Classe C.I.	3	4	5	6	7	8	9
Largeur de trace sur couches externes (OL-TW)	0.2	≥ 0.250 mm	≥ 0.200 mm	≥ 0.175 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	≥ 0.090 mm
Distance d'isolation sur couches externes (OL-TT-TP-PP)	0.15	≥ 0.250 mm	≥ 0.200 mm	≥ 0.175 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	⚠ ≥ 0.100 mm
Colerette d'anneau couches externes (OAR)	0.125	≥ 0.200 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	≥ 0.100 mm

⚠ L'épaisseur de cuivre sur couches externes de (18 µm) nécessite une isolation minimale sur couches externes de 0.100 mm.

Classe de perçage

	Classe C.I.	A	B	C	D	E
Trou fini minimal	0.3	≥ 0.50 mm	≥ 0.35 mm	≥ 0.25 mm	≥ 0.15 mm	≥ 0.10 mm

Annuler Appliquer

Figure 45 : Choix de la classification du PCN Main Board

5.1.2 Mécanique

Afin de pouvoir intégrer le PCB principale, je devais trouver un boîtier mécanique de taille raisonnable et pouvant garantir le bon maintien de la carte.

Suite à mes recherches, le PCB « Main Board » sera donc placé dans un boîtier 1457K1202BK de la marque Hammond Manufacturing. Voici ces caractéristiques :

- Le boîtier, métallique, est très résistant aux chocs.
- Pouvant accueillir des PCBs faisant 120x80mm. A cette taille, les circuits imprimés ne risquent pas de bouger une fois que le boîtier est fermé comme il se doit.
- Ce boîtier est IP65. Avec ce dernier, il y a des joints fournis avec et les vis de fermeture possèdent des petites rondelles caoutchouteuses.



Figure 46 : Boîtier mécanique choisi

L'usinage du boîtier ne sera pas effectué par mes soins, mais par l'entreprise client.

5.1.3 Complications rencontrées

- Lors du montage des composants sur la carte, il y a eu un problème avec le stencil. Avec l'aide mon camarade M. Nikola Dimitrijevic, nous avons réussi à mettre de la pâte que partiellement sur les composants les plus critiques. J'ai dû alors ajouter manuellement de la pâte à braser sur ces mêmes composants. Exemple, le BQ25713 (QFN-32) et les Mosfets qui l'entourent (5x VSONP-8). De ce fait, les composants avec des pads cachés comme ceux mentionner ont été braser au four alors que les autres ont été braser à la main par mes soins
- J'aurais dû penser à implémenter plus tôt les 3Ds des connecteurs XLR, etc.... Cela m'aurait permis de perdre moins de temps pour la commande des PCBs. Je n'aurais pas eu besoin de déplacer à posteriori certains de mes composants, comme le connecteur de programmation et le connecteur USB.
- Le connecteur de programmation était monté à l'envers avant que je ne le remplace.
- Une fois le montage terminé, j'ai décidé d'alimenter ma carte, une fois les alimentations testées et connectées, je me suis rendu compte que mon écran LCD était défectueux. Seul une partie du backlight était lumineux tandis que l'autre partie grésillait. Je l'ai donc débraser et recommander un autre afin de le remplacer.

5.1.4 Améliorations possibles

- Ajouter des LEDs apparentes pour déterminer l'état de la Batterie
 - Une LED qui s'allumerait lorsque la tension de la batterie serait trop basse. Le désavantage de cette idée serait que ça ajouterait un consommateur sur cette même batterie alors que cette dernière serait trop déchargée.
 - Une LED permettant de déterminer si la Batterie est complètement chargée
 - Une LED qui indiquerait si la Batterie est en charge ou en décharge.
- Intégrer un générateur de courant propre au backlight.

Les LEDs ont tendance en vieillissant à avoir leur barrière de potentiel qui vont s'élargir. Cela entraîne une augmentation progressive de la chute de tension aux bornes de la LED. Ensuite, le courant va diminuer, entre autres à cause de la résistance série, et donc la luminosité va en pâtir par la suite. Sachant que l'on peut considérer le Backlight comme une LED, l'ajout d'un montage « générateur de courant » permettrait de pérenniser l'efficacité de ce dernier. Il serait possible aussi d'ajouter un système permettant de l'activer ou non, si on le juge nécessaire pour le futur.
- Implémenter un système à l'aide de MOSFET permettant de mesurer les tensions (VRED, VSYS et 5V) sans consommer en permanence, sachant qu'il y a suffisamment de pins de libre sur le microcontrôleur.
- Ajouter un anti rebond hardware sur le BTN Select.

5.1.5 Modifications à faire

Sous le titre « Primordiales », les modifications présentées correspondent à celle qui peuvent altérer le bon fonctionnement du circuit et/ou faciliter le montage du PCB à la main.

Les modifications dites « Optionnelles » sont celles qui sont légèrement moins importantes et/ou qui permettront une meilleure compréhension de la carte sans avoir besoin de documents annexes pour comprendre à quoi correspond certain composant, comme par exemple des indications sur l'Overlay du PCB.

5.1.5.1 Primordiales

- Espacer un peu plus les 6 condos de découplage en entrée et en sortie pour le « Buck Boost Battery Charge Controller ». Sachant qu'il y a largement la place sur la face bottom de la carte pour le faire.
- Ajouter des pull-up sur les signaux I2C pour l'écran LCD
- Changer le condensateur d'entrée du LM2674 (5 Volts) pour un TCN4227M025R0100E (tantale 220µF/25V).

5.1.5.2 Optionnelles

- Modifier/clarifier l'Overlay du connecteur de programmation
- Rapprocher les trous des footprints (Interrupteurs et connecteurs) et indiquer à quoi ces mêmes trous correspondent.
- Indiquer à quoi correspondent les points de test.
- Déplacer légèrement vers l'intérieur du PCB le condensateur C36 (dans le coin en bas à gauche en vue Bottom)

5.2 Spécificités de la « Extern Board »

5.2.1 PCB

Le PCB « Extern Board » comprend quelques spécificités et les voici.

En premier lieu, la résistance R1, servant à réduire le courant de la phase arrivant sur l'une des pins du microcontrôleur, est une résistance SMD en 1812 métrique. Ce choix provient du fait que j'avais besoin de passer sous cette résistance et qu'une résistance plus petite n'aurait pas suffi.

La puissance dissipée par la résistance n'est pas très élevée :

$$P_{DMAX} = U_{MAX} \cdot I_{R1} = U_{MAX} \cdot \frac{U_{MAX}}{R1} = \frac{U_{MAX}^2}{R1} = \frac{16^2}{1000} = 0.256 = \mathbf{256[mW]}$$

Sachant que les résistances SMD 0805, standard dans nos projets, peuvent dissiper 1/4 ou 1/2 Watt, elles pourraient tous juste suffire au besoin. Prenons aussi en compte que le cas où la tension de la phase atteint les 16V est très peu probable, voir impossible car les systèmes de Safety Load réagiraient bien avant et la tension demandée au moteur chuterait.

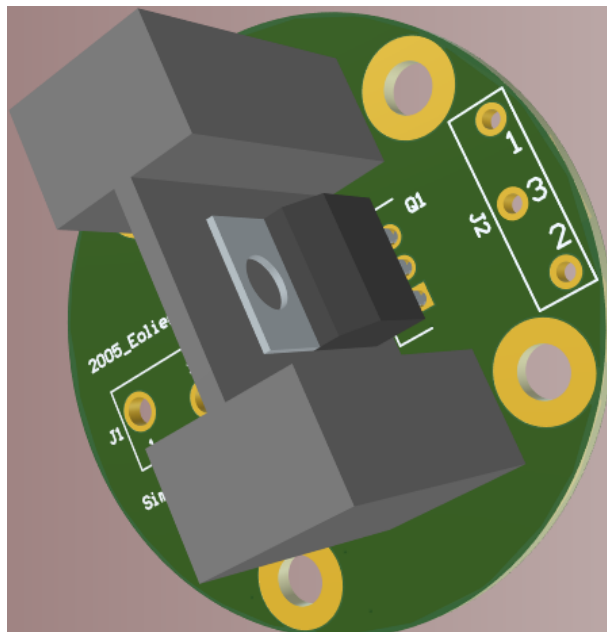
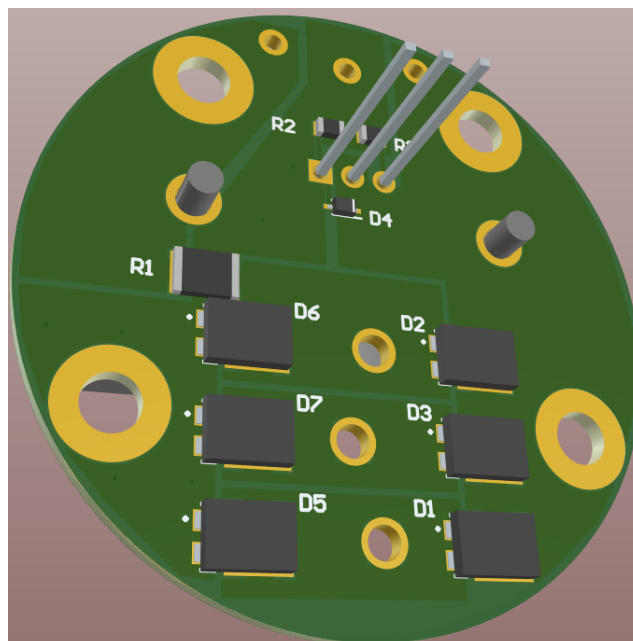


Figure 47 : Vue 3D de la face Top de l'Extern Board



5.2.1.1 Largeurs des pistes et distances d'isolation

Pour l'Extern Board, j'ai utilisé uniquement des plans afin de faire les différentes connexions sur le PCB. De ce fait, je n'ai pas de largeur de piste « standardisé ». Les plans ne sont pas assez réguliers pour pouvoir calculer le courant que les pistes vont pouvoir supporter.

Sachant que le courant parcourant ces grandes surfaces de cuivres peut atteindre au maximum 10[A], la taille des plans sera suffisamment grande afin de garantir un échauffement du cuivre supportable. Par ailleurs, le fait que la carte se trouvera à l'air libre et que le vent généré par le déplacement de l'avion sera plus ou moins en contact direct avec le PCB, l'augmentation de la température sera réduite et ne posera encore moins de problème.

Par contre, afin de garantir la largeur de connexion entre un pad et un plan, j'ai modifié la valeur de base se trouvant dans les Rules car je l'ai estimé trop petite. La Rule de base contraint cette épaisseur de connexion à 0.2mm. En sachant que qu'il se pourrait que 10[A] traverserait ces petites connexions, l'augmentation de température pourrait atteindre les 3650 °C !!! C'est juste astronomique.

Par conséquent, j'ai décidé de multiplier cette largeur par 10 et aboutir à 2mm. De nouveau, avec un courant max de 10A, l'élévation de température ne sera « que » de 85°C.

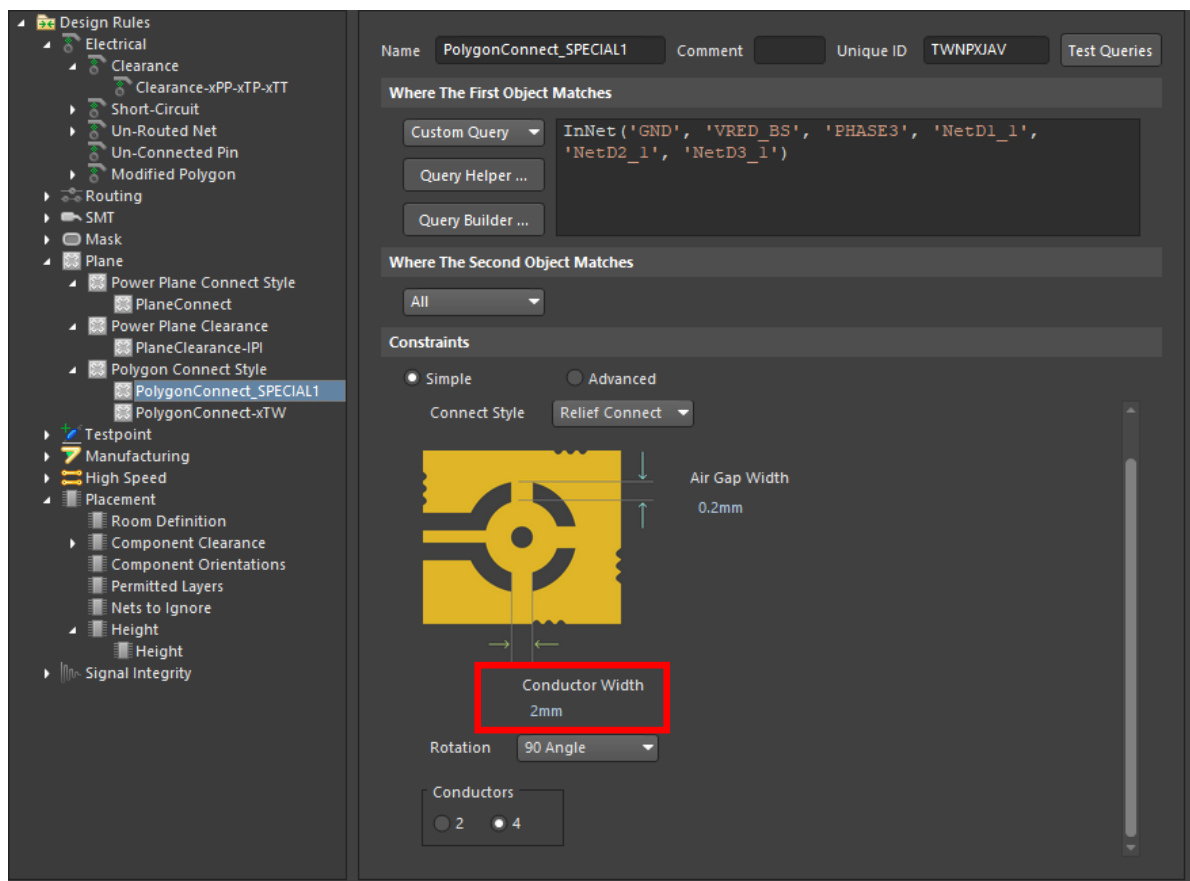


Figure 49 : Rule concernant les connexions entre les pads des composants et un plan

A nouveau, le fait d'utiliser uniquement des plans changent quelque peu la donne. En faisant mes plans à la main, j'ai quand même placé une certaine distance d'isolation mais je n'ai pas donné de valeur fixe. Toutefois, les distances d'isolation restent au minimum supérieur à 0.15mm, voir égales. Je peux donc garantir au moins 150[V] sur le circuit, chose qui, comme pour la Main Board, devrait largement suffire étant donné que la tension ne devrait pas dépasser les 16[V].

Name: Clearance-xPP-xTP-xTT Comment: Unique ID: MHANLCCI Test Queries

Where The First Object Matches: All

Where The Second Object Matches: All

Constraints

Different Nets Only

Minimum Clearance: N/A

☐ Ignore Pad to Pad clearances within a footprint

☒ Simple ☐ Advanced

	Track	SMD Pad	TH Pad	Via	Copper	Text
Track	0.15					
SMD Pad	0.15	0.15				
TH Pad	0.15	0.15	0.15			
Via	0.15	0.15	0.15	0.15		
Copper	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
Text	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Hole	0	0	0	0	0	0

Required clearances between electrical objects and Board Cutouts / Board Cavities are determined using the largest of Electrical Clearance rule's Region -to- object settings and Board Outline Clearance rule's settings.

Figure 50 : Rule pour la distance d'isolation entre les éléments

5.2.1.2 Commande chez EuroCircuit

Contrairement à la Main Board, nous pouvons observer que cette fois-ci, le PCB Checker d'EuroCircuit a mesuré une distance d'isolation de 0.149mm au lieu de 0.150mm.

Sélecteur de classification - 2005_ExternBoard_V1 (B2536310)

Classe des tracés		Classe des tracés						
	Classe C.I.	3	4	5	6	7	8	9
Largeur de trace sur couches externes (OL-TW)	0.4	≥ 0.250 mm	≥ 0.200 mm	≥ 0.175 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	≥ 0.090 mm
Distance d'isolation sur couches externes (OL-TT-TP-PP)	0.149	≥ 0.250 mm	≥ 0.200 mm	≥ 0.175 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	⚠ ≥ 0.100 mm
Colerette d'anneau couches externes (OAR)	0.29	≥ 0.200 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.150 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.125 mm	≥ 0.100 mm	≥ 0.100 mm

⚠ L'épaisseur de cuivre sur couches externes de (18 µm) nécessite une isolation minimale sur couches externes de 0.100 mm.

Classe de perçage		Classe de perçage				
	Classe C.I.	A	B	C	D	E
Trou fini minimal	0.3	≥ 0.50 mm	≥ 0.35 mm	≥ 0.25 mm	≥ 0.15 mm	≥ 0.10 mm

Annuler Appliquer

Figure 51 : Choix de la classification du PCB Extern Board

Le PCB Checker d'EuroCircuit nous indique qu'il a mesuré 2 endroits où la distance d'isolation de 0.150mm n'est pas respectée.

DRC Information information DFM

Couche	Demandé	Measured	
Largeur de trace sur couches externes (OL-TW)			
Cuivre top	0.150 mm	+	
Cuivre bottom	0.150 mm	0.400 mm	
Distance d'isolation sur couches externes (OL-TT-TP-PP)			
Cuivre top	0.150 mm	0.149 mm	2
Cuivre bottom	0.150 mm	0.150 mm	
Colerette d'anneau couches externes (OAR)			
Cuivre top	0.125 mm	0.290 mm	
Cuivre bottom	0.125 mm	0.290 mm	
Trou fini minimal			
Trous métallisés	0.25 mm	0.30 mm	
Trous non métallisés (NPTH)	0.25 mm	4.20 mm	
Component pad pitch			
Cuivre top	0.50 mm	+	
Cuivre bottom	0.50 mm	+	

Fault view

Distance d'isolation sur couches externes (OL-TT-TP-PP) - Cuivre top

Problème actuel

Distance d'isolement mesurée : 0.149 mm
Distance d'isolement mini. requise : 0.150 mm

isolation de cuivre à cuivre

Vue top
Sérigraphie top
Vernis épargne top
Cuivre top

Cuivre bottom
Vernis épargne bottom
Sérigraphie bottom
Trous métallisés
Trous non métallisés (NPTH)
Vue bottom

Total material thickness: 1.59 mm

Vue d'oiseau

Figure 52 : Détails sur les distances d'isolation plus petites que 0.150mm

Avec ces 2 Warning, la commande peut malgré tous se faire correctement en classe 6C, car il ne s'agit de d'arrondis minimes.

5.2.2 Complications rencontrées

- Dû aux nombreux plans, le brasage des composants était quelque peu compliqué, étant donné que chauffer les pads à une température adéquate demandait plus de temps que d'habitude.
Ce même problème m'a empêché de braser les diodes Schottky à l'aide du four. En effet, la température de la plaque n'atteignait jamais une température suffisamment élevée afin de faire se « liquéfier » la patte à braser.
J'ai donc dû utiliser un fœhn et chauffer un certain temps toutes les diodes une à une.

5.2.3 Modifications à faire

- Le footprint se chargeant de l'arrivée des 3 phases du moteur est faux. Il m'a été demandé de mettre 2.5mm de diamètre pour les trous devant accueillir ces 3 embouts, afin de pouvoir y passer des câbles 10AWG, alors que les embouts font 3.5mm de large.
Je pense qu'il serait utile de changer cela pour des trous de 3.6mm au minimum

6 Software

6.1 Spécificités du programme

Le programme devait contenir les différents points suivants :

- Une communication I2C avec le BQ25713 afin de pouvoir gérer la charge de la Batterie et récupérer de nombreuses informations (Courant/tensions en entrées et en sorties, état de ladite batterie)
- Gestion des 7 mesures (5 tensions et 2 courants) sur des ADC avec interprétation de ces dernières
- Communications I2C avec l'écran LCD afin de pouvoir afficher les mesures du point précédent avec une gestion des menus
- Mesure à l'aide d'un Input Capture la fréquence de la phase, ce qui permet de déterminer la fréquence de rotation de l'hélice.
- Utilisation d'un DAC et d'un Ampli-OP pour le Safety Load Manuel.

6.1.1 Réglages dans Harmony

6.1.1.1 Timers

Pour mon projet, je n'utilise qu'un seul Timer pour l'instant. J'utilise donc le Timer 2, en interruption.

Afin de créer une routine d'interruption toutes les 50ms, j'ai paramétré le Timer 2 afin d'obtenir une interruption toutes les 10ms. Ensuite, dans l'ISR, j'incrmente une variable et à chaque fois qu'elle atteint la valeur 4, je change l'état de la machine d'état principale et je remets à zéro la variable. Cela me permet d'avoir ma routine toutes les 50ms comme voulu.

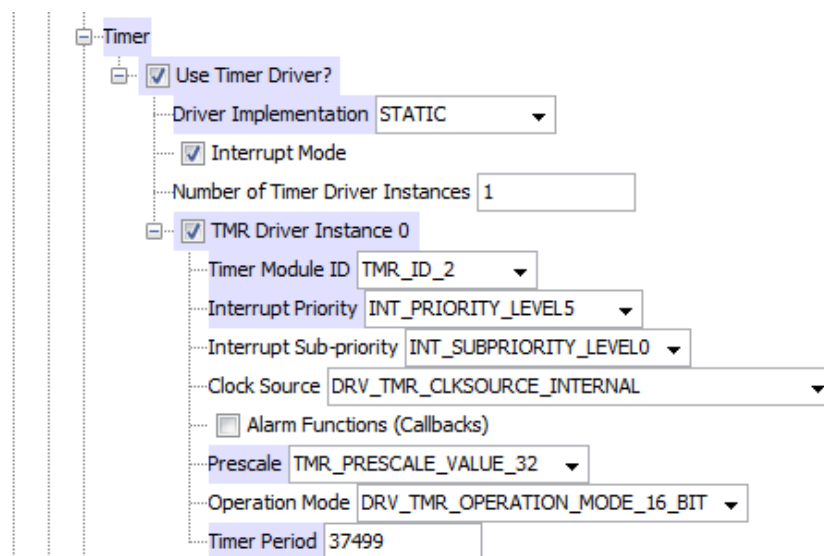


Figure 53 : Réglage des Timers dans Harmony

$$Timer\ Period = \frac{f_{osc}}{\frac{Prescaler}{Period^{-1}}} - 1 = \frac{120 \cdot 10^6}{\frac{32}{(10 \cdot 10^{-3})^{-1}}} - 1 = 37'499$$

6.1.1.2 I2C

Les I2C sont au nombre de deux, un pour la communication avec le chargeur BQ25713 et un pour la communication avec l'écran LCD.

Le premier correspond au module n°4 tandis que le second correspond au module n°3.

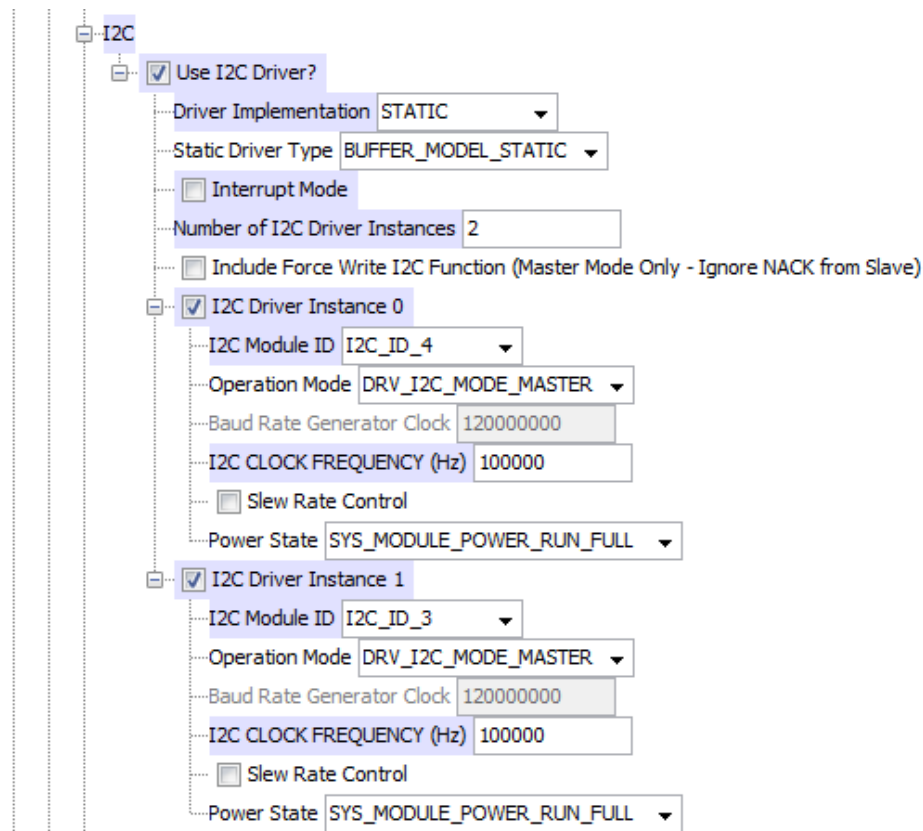


Figure 54 : Réglages des I2Cs dans Harmony

Dans les 2 cas, le PIC32 sera le Master et le clock qu'il leur communiquera à tous les 2 via SCL sera 100 kHz. Pas besoin d'une interruption dans un premier temps.

6.1.2 Organigramme

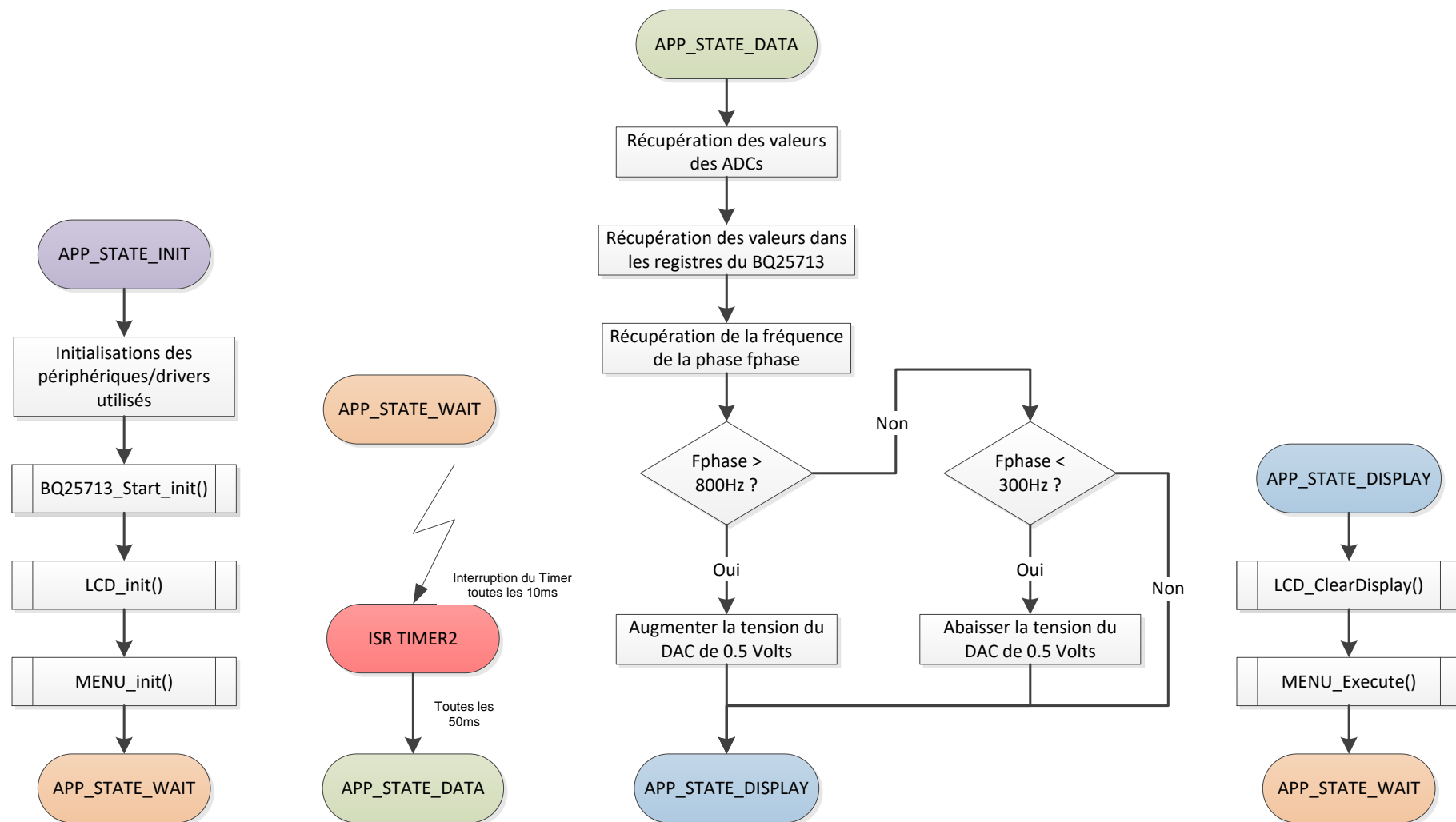


Figure 55 : Organigramme du code prévu

6.1.2.1 Explications de l'organigramme

Il ne s'agit là que de complément à l'organigramme de la page précédente.

L'idée est la suivante :

Dans un premier temps, lors du démarrage, l'état **INIT** sera lancé. C'est ici que l'on va initialiser les drivers et les différents périphériques que l'on a besoin, comme les I2Cs, les ADCs et l'Input Capture. On y trouvera aussi l'initialisation du BQ25713 afin qu'il s'occupe de charger la batterie. L'écran LCD et les menus d'affichage feront aussi partie de cet état.

Une fois cela fait, nous entrons dans l'état **WAIT**, qui comme son nom l'indique, ne servira qu'à attendre une instruction.

Cette instruction correspond à l'interruption du Timer 2, qui a lieu toutes les 10ms. A chaque fois que l'on passe dans cette interruption, une variable s'incrémentera. Au bout de 5 fois, nous changerons l'état de la machine d'état principale, ce qui équivaudra à 50ms.

Le nouvel état se nomme **DATA**. C'est dans cet état que l'on va récupérer et traiter les données. Les valeurs des tensions récupérées sur les ADCs seront placées dans leur structure. La lecture des différents registres du BQ25713 contenant tensions, courants et puissances seront lancées. Et l'Input Capture mesure la phase et ainsi la vitesse de rotation de l'hélice. En fonction de cette valeur, la tension du DAC agissant sur le Safety Load Manuel sera modifiée.

C'est ensuite dans l'état **DISPLAY** que les valeurs des tensions et des courants récupérés seront affichées et le traitement du bouton poussoir BTN Select sera effectué.

Enfin, nous retournerons dans l'état **WAIT** et ainsi de suite.

6.1.3 Le BQ25713

Comme évoqué plus haut, le BQ25713 est paramétrable en grande partie depuis un μC via un bus I2C, en lecture comme en écriture. De nombreux registres sont disponibles en R/W ou R. Une écriture se passe de la manière suivante :

Un Start (S) permet d'indiquer qu'une communication I2C s'initialise. Tous les éléments connectés sur cette ligne I2C vont observer les 7bits qui vont suivre afin de pouvoir déterminer si la suite leur sera adressé ou non. Si la Slave Address correspond à la leur, ils sauront qu'ils doivent observer la suite de la trame. Le bit suivant leur indique si le Master veut lire ou écrire. 0 pour écrire et 1 pour lire.

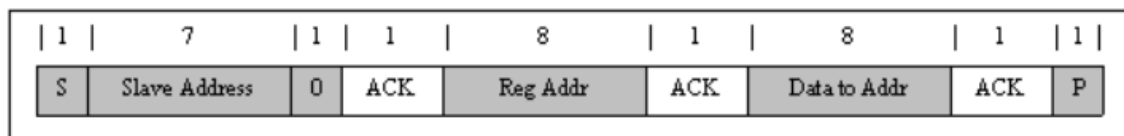


Figure 56 : Écriture I2C sur BQ25713

Après un Acknowledge (ACK), qui indique que la transmission des bits précédents s'est bien effectuée et que d'autres bytes vont suivre, le prochain byte indiquera l'adresse du registre auquel le Master veut accéder (Reg Addr). Ensuite, après un second ACK, la valeur que le Master veut donner au registre est envoyée. Enfin, un Stop (P) permet d'interrompre la communication.

Lors d'une lecture, les 2 premiers bytes sont identiques à ceux d'une écriture. En effet pour l'instant, le Master indique uniquement au Slave qu'il veut accéder à un registre. Par la suite, le Master renvoie un Start (S) et la même Slave Address, ce qui indique qu'il veut lire cette fois.

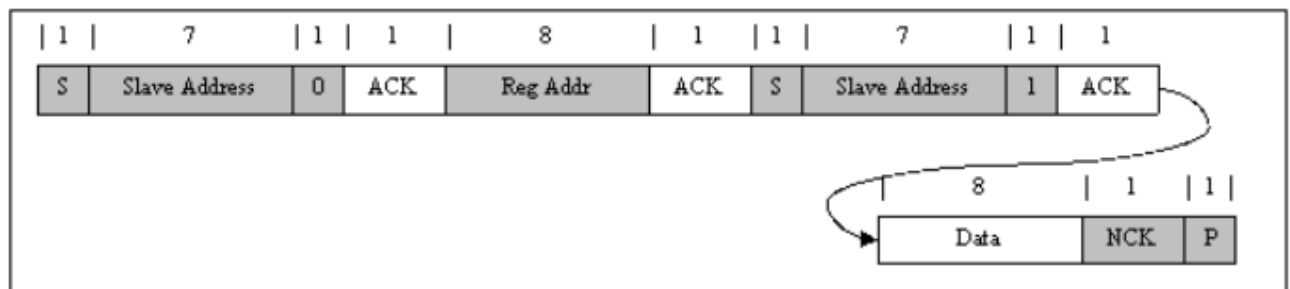


Figure 57 : Lecture I2C sur le BQ25713

Après cela, ce sont les données du registre qui sont envoyées du Slave au Master. Un Not Acknowledge (NCK) et Stop (P) permettent d'indiquer la fin de la communication.

Presque l'entièreté des registres du BQ25713 se trouve 2 Bytes. Heureusement, le chargeur nous permet de faire des Multi-Lectures et des Multi-Écriture. Cela se passe de la même manière que lors de lecture et écriture simple, à la différence près que :

En écriture multiple, les données envoyées surviennent en continu et sont stocker par le Slave à l'adresse indiquée par le Master au préalable, additionner au nombre du byte envoyé.

D'où le « Data to Addr +N ».

La communication prend fin une fois que le Stop (P) est envoyé par le Master.

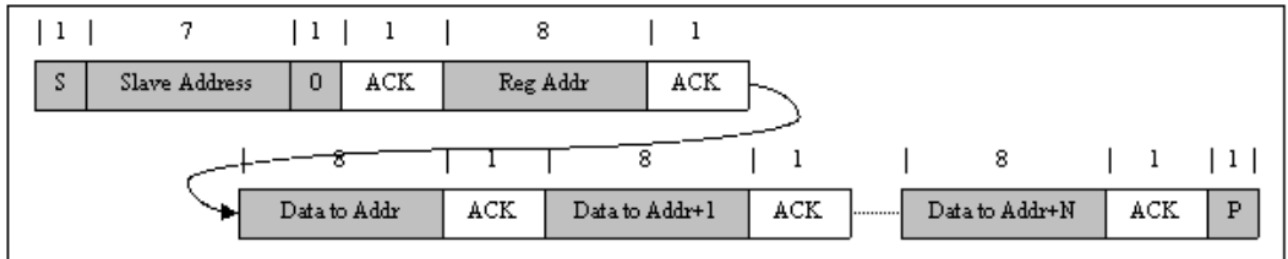


Figure 58 : Multi-Écriture I2C sur le BQ25713

En lecture multiple, ce sont les données envoyées par le Slave qui vont se suivre, jusqu'à l'arrivée du Stop (P) du Master. Les bytes envoyés correspondent eux aussi à ceux à l'adresse indiquée par le Master additionnée au nombre du byte. D'où le « Data @Addr + N »

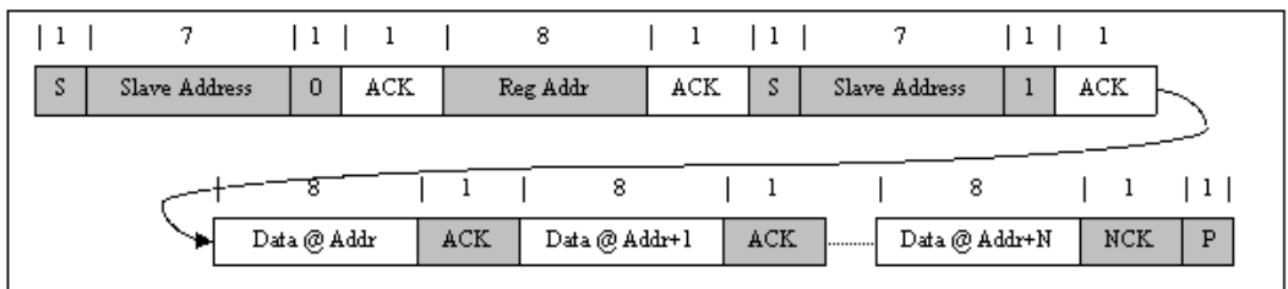


Figure 59 : Multi-Lecture I2C sur le BQ25713

6.1.3.1 Test de la communication I2C

Lors du démarrage donc, nous initialisons la communication I2C et paramétrons les registres du BQ25713 par la suite.

Lors des essais, la tension en sortie du chargeur, que ce soit V_{SY} ou V_{BAT}, ne semblait pas réagir aux instructions indiquées par nos multiples écritures des registres.

En conséquence, j'ai implémenté dans le code une lecture d'un registre dont la valeur ne peut changer. De cette manière, si l'on obtient la bonne valeur, il est certain que l'IC reçoit et interprète correctement les instructions qu'on lui envoie.

Le BQ25713 possède un registre qui correspond à ces besoins, il s'agit du registre MANUFACTURER_ID. Ce dernier ne change jamais de valeur et n'est accessible qu'en lecture.

```

24 void BQ25713_Start_init(void)
25 {
26     // Initialisation de l'I2C pour le chargeur de batterie.
27     BQ25713_I2C_Init();
28
29     // Lecture et récupération du Manufacturer_ID du BQ25713
30     // Si le registre renvoie bien 0x40,
31     // la suite de la configuration sera effectuée comme il se doit
32     // Cette valeur est toujours fixée à 0x40
33     if(BQ25713_Get_MANUFACTURER_ID() == 0x40)
34     {
35         BQ25713_I2C_Write16(BQ25713, CHRG_OPTION0, 0x0B, 0x73);
36         BQ25713_I2C_Write16(BQ25713, CHRG_OPTION1, 0x01, 0x92);

```

Figure 60 : Extrait de fonction BQ25713_Start_init()

Si le BQ25713 ne répond pas ou que son Manufacturer ID est incorrecte, la suite de la configuration ne sera pas faite.

Dans la suite du projet, il serait possible d'ajouter une LED ou autre qui permettrait de savoir si la communication fonctionne, sans avoir à déboguer.

6.1.3.1.1 Schéma de mesure

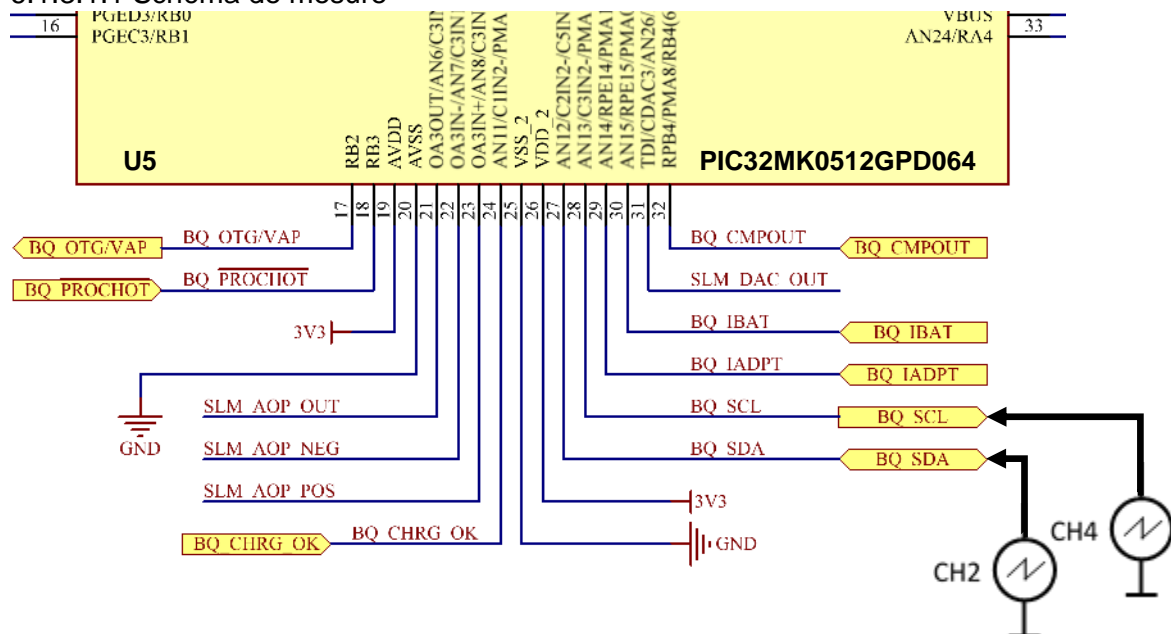


Schéma 26 : Schéma de mesure de la trame I2C

La tension d'entrée lors des mesures était de 14.03 Volts et l'alimentation qui fournissait cette tension était branchée sur TP4 pour le 14V et TP6 pour le GND.

6.1.3.1.2 Résultats des mesures :

L'oscilloscope utilisé possède la fonction « Protocole » qui permet de déchiffrer certains protocoles de communication comme les trames UART, SPI et comme dans notre cas de l'I2C.



Figure 61 : Mesure de la trame I2C avec le BQ25713

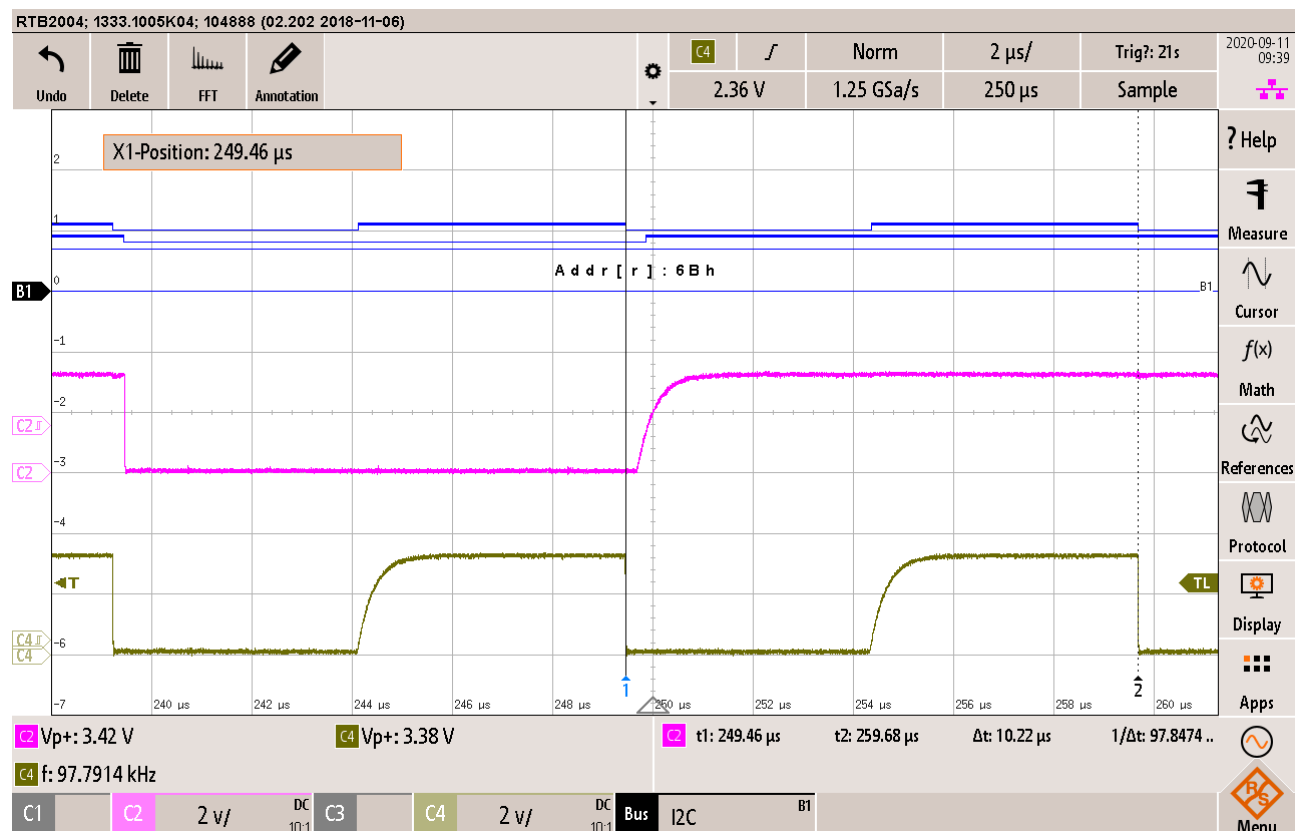
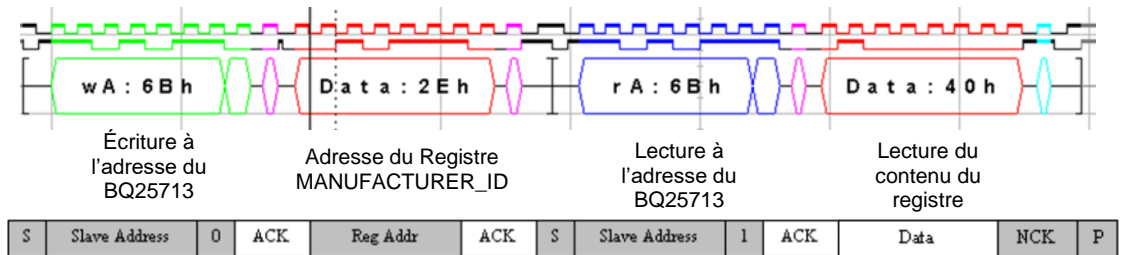


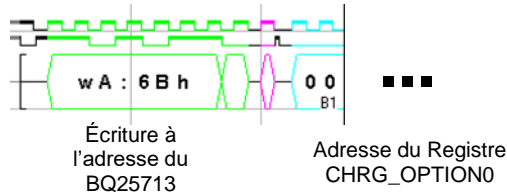
Figure 62 : Zoom sur la trame I2C - vérification de la fréquence

6.1.3.1.3 Décodage de la trame I2C

Voici comment j'ai décodé la trame I2C en me référant à la datasheet du BQ25713 et aux valeurs des registres, à la Slave Address du BQ25713, etc...

1^{ère} partie de la trame : Lecture du registre MANUFACTURER_ID

```
#define BQ25713      0x6B // Adresse du BQ25713
#define MANUFACTURER_ID 0x2E // R
The ManufacturerID register command always returns 40h.
```

2nd partie de la trame : Écriture dans le registre CHRG_OPTION0

```
#define BQ25713      0x6B // Adresse du BQ25713
#define CHRG_OPTION0 0x00 // R/W
```

Figure 63 : Décodage de trame I2C

Nous pouvons en déduire que la communication fonctionne bel et bien dans les 2 sens. La lecture et l'écriture, les valeurs transmises et reçues et les numéros des registres correspondent bien.

6.1.4 Routine d'interruption

Comme déjà évoqué quelque fois dans mon rapport, j'ai implémenté une routine d'interruption qui se produit toutes les 10ms.

Afin de tester le bon fonctionnement de mon microcontrôleur et de ma routine d'interruption, j'ai ajouté ceci dans mon code :

```
//----- TIMER2 -----
void __ISR(_TIMER_2_VECTOR, ipl5AUTO) IntHandlerDrvTmrInstance0(void)
{
    // Variable de "boucle"
    static int i = 0;
    // Afin de passer 5x avant de mettre à jour l'état de la machine
    // d'état principale APP ( WAIT --> DATA)
    uint16_t val_max = 4;

    if(i >= val_max){
        // Activation de la Pin de vie de l'ISR du Timer2
        // Mise à l'état haut
        → ISR_LIFEOn();
        // Reset de la valeur de i
        i = 0;
        // Mise à jour de la machine d'état, Passage dans l'état "Service Tasks"
        APP_UpdateState(APP_STATE_DATA);
        // Toutes les 5x 10ms = 50ms
    }
    else{
        // Désactivation de la Pin de vie de l'ISR du Timer2
        // Mise à l'état bas
        → ISR_LIFEOff();
        // Incrémentation de la valeur de i
        i++;
    }
    // Mise à zéro du flag d'interruption du Timer 2
    PLIB_INT_SourceFlagClear(INT_ID_0,INT_SOURCE_TIMER_2);
}
```

Figure 64 : Routine d'interruption avec On/Off de ISR_LIFE

En activant cette pin du µC à chaque fois que la variable i atteint la valeur 4, cette mise à 1 ne se produira que toutes les 50ms. Tandis qu'à chaque fois que la variable i n'est pas supérieur ou égale à 4, je la mets à l'état bas. Je devrais donc obtenir un signal carré variant entre 0 et 3.3V, qui possède une période de 50ms et un rapport cyclique de 1/5.

6.1.4.1 Schéma de mesure

N'ayant pas ajouté la pin avec le nom ISR_LIFE qu'une fois dans le code, son nom sur le schéma est **RB15**.

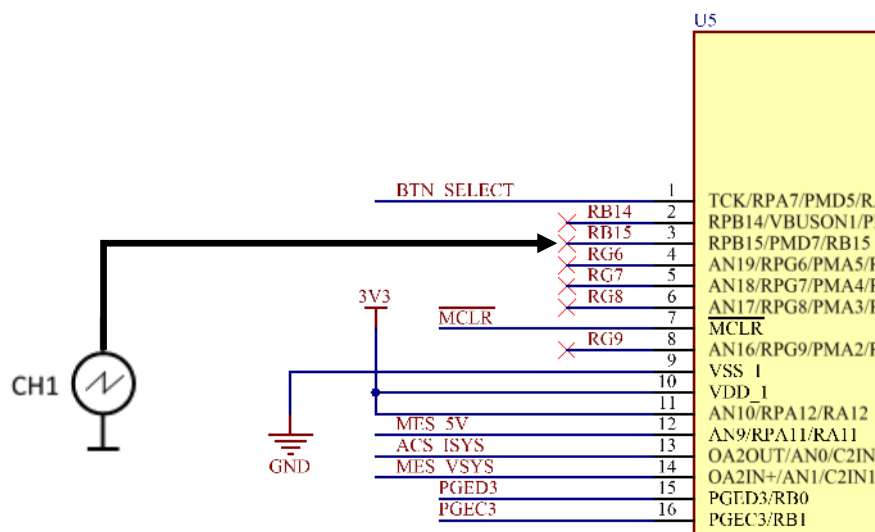


Schéma 27 : Mesure de la routine d'interruption

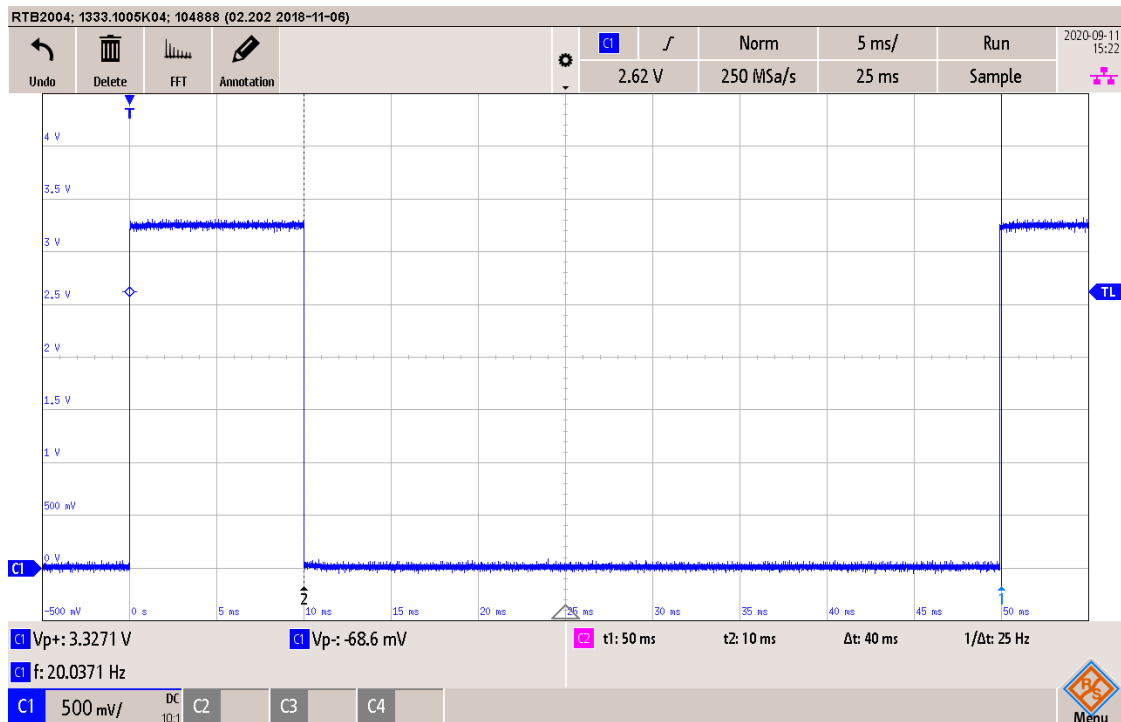


Figure 65 : Mesure de la routine d'interruption

En observant le résultat de la mesure, nous pouvons constater que le temps entre chaque impulsion est bien de 50ms. La largeur d'une impulsion correspond aussi quant à elle à la valeur souhaitée, c'est-à-dire 10ms. Les résultats sont donc concluants, la routine d'interruption marche exactement comme souhaité.

6.1.5 Les ADCs

Comme évoqué précédemment, des ADCs permettront de mesurer les tensions et les courants. N'ayant pas eu le temps de m'occuper de les faire fonctionner, je tenais quand même à expliquer l'idée de comment ces derniers étaient censés agir.

L'idée serait d'initialiser les ADCs dans un premier temps dans l'état INIT, comme les autres drivers, périphériques et éléments connectés. C'est une fois que l'on arrivera dans l'état DATA que les valeurs de chacun des ADCs seront récupérées dans une structure. Les données seront ensuite traitées, converties et affichées sur l'écran LCD une fois arrivé dans l'état DISPLAY.

6.2 Améliorations possibles

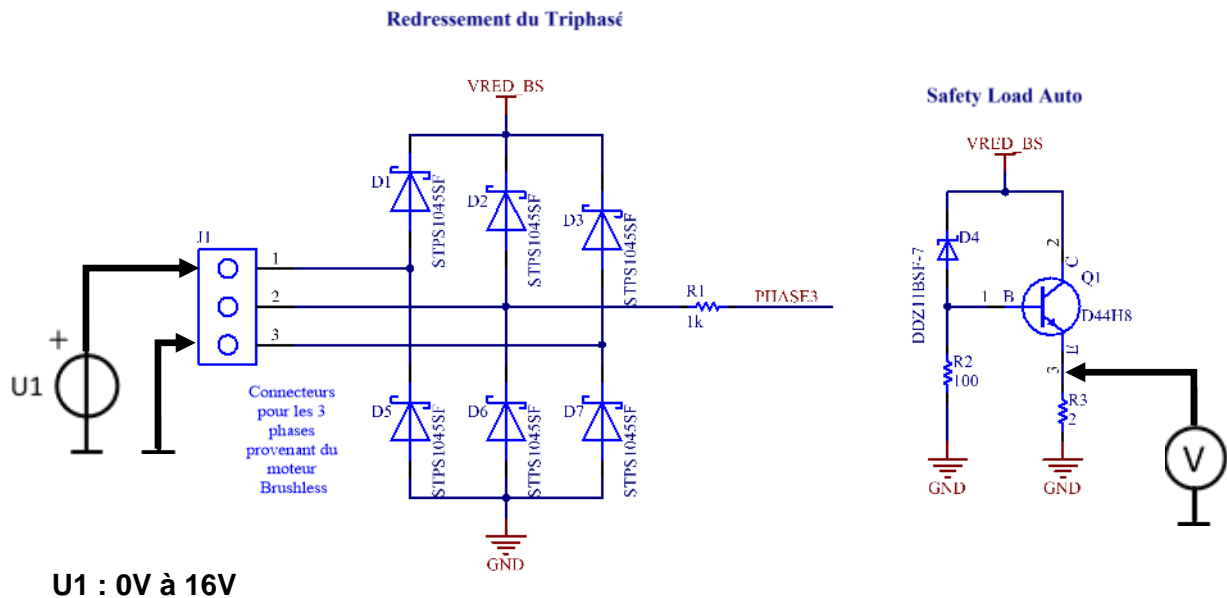
- Régler les problèmes de fonctionnement du BQ25713. La charge de la batterie ne fonctionne pas. Vérifier que l'initialisation envoyée au chargeur.
- Initialiser les 7 ADCs et gérer la récupération, la gestion et le traitement des données.
- Établir la connexion I2C avec l'écran LCD, tester l'affichage et faire la gestion des menus avec le BTN Select.
- Activer le driver de l'Input Capture et le tester afin de pouvoir mesurer la fréquence de la phase.
- Gérer les initialisations du DAC et de l'Ampli-OP et leur utilisation, et tester le bon fonctionnement.

7.2 Test du Safety Load Auto – Extern Board

Afin de tester son fonctionnement, j'ai fait la chose suivante :

Une alimentation variable sur 2 des 3 entrées des phases et un multimètre aux bornes de la résistance de R3. De cette manière, nous pouvons alors déterminer la tension à laquelle le Safety Load réagira.

7.2.1 Schéma de test du Safety Load Auto



7.2.2 Résultats

En augmentant progressivement la tension, nous avons pu observer que la tension sur la résistance R3 restait proche de zéro jusqu'à ce que l'on atteigne environ 11-12V Volts. Le courant que le circuit demande à l'alimentation à progressivement augmenter lui aussi.

Plus de détails lors de la présentation et peut être la démonstration.

7.3 Tests et mesures restantes

7.3.1 Main Board

- Tester le fusible d'entrée F2 (16V / 10A). Possible étant donné qu'il se trouve entre le connecteur XLR et l'Interrupteur d'entrée. Il est donc actuellement isolé du reste du montage.
Trouver un moyen d'avoir plus de 10A à l'ES, par exemple, connecter en série 4 alimentation (3A max chacune)

7.3.2 Extern Board

- Tester le redressement du Triphasé :
Trouver un moyen de générer du triphasé de maximum 20 Volts et de les 3 phases au 3 bornes de J1. Ensuite, mesurer la tension acquise sur VRED_BS, disponible sur la borne n°1 de J2.

8 Résultat final

Si l'on se réfère au Cahier des Charges :

- ✓ Recherche de composants électroniques et mécaniques selon cahier de charges (justification)
- ✓ Réalisation de schémas et de PCB (outils CAO Altium)
- ✓ Recherche de solution Mécanique pour intégration dans un boîtier prédéterminé.
- ✓ Recherche de solution Hardware
 - Système de charge de la batterie
 - Affichage
- ✗ Recherche de solutions Software
 - Gestion de la charge de la batterie, mesure et affichage
- ✗ Démontrer par différentes mesures que les parties Hardware et Software ont été bien implémentées.

Le projet n'est donc pas encore arrivé à son terme, les solutions Software n'ont pas encore été abouties à ce stade.

9 Suite du projet

Le plus important serait de finir la partie Software dans un premier temps. Cela permettrait de savoir si le projet peut bien aboutir au résultat souhaité.

Après avoir usiné le boîtier et avoir fait fonctionner le montage comme il se doit, des tests en conditions réels devront être fait. Une fois le bon fonctionnement garanti, la commande d'un autre PCB avec les modifications Hardware effectuées et quelques ajouts/améliorations s'imposera.

Enfin, après testé le nouveau PCB, tous les avions de l'AMPA pour être équiper d'un système comme celui-ci, les uns après les autres.

10 Conclusion et Remarques

En conclusion, ce projet de diplôme m'a permis d'en apprendre encore d'avantage sur la gestion personnelle et professionnelle sur un projet de ce type. Ce projet m'a également permis de mettre en pratique les connaissances acquises durant la durée de ma formation ici à l'École Supérieure et quels étaient mes points forts et mes points faibles.

Malgré mes efforts, je n'ai pas pu amener à bien ce projet durant ces 5 semaines de travail de diplôme. La partie Software n'est pas aboutie comme il se doit. J'ai sous-estimé le temps que j'aurais dû allouer à la programmation de mon PCB principale. Mais le projet reste bien avancé, il n'y a pas besoin de repartir de zéro.

Les erreurs que j'ai commis durant ces cinq semaines m'ont montrées les points sur lesquels j'ai eu de la facilité et ceux à l'inverse ou j'ai eu plus peine à atteindre mes objectifs, voir ne pas les atteindre.

En exemple, j'aurais dû plus m'attarder sur la programmation de ma carte. J'aurais aussi dû plus vite penser à implémenter les 3Ds des connecteurs et des commutateurs à levier sur Altium afin de voir plus vite que je devais déplacer certains composants afin d'avoir l'espace suffisant pour placer mes connecteurs. Cela m'aurait permis de faire entièrement le routage de mon PCB en 1.5 jour, voir 2, au lieu des 3/3.5 jours réels.

Enfin, l'ensemble du projet a été très instructif et intéressant. Je suis tout de même content de ce que j'ai pu faire durant le temps imparti. Je me rends bien qu'il a fallu apporter beaucoup du sien chaque jour lors de ces 5 semaines d'affilées. Il y a eu des moments difficiles ou ça ne marchait pas comme je le voulais, comme des moments de réussite.

Avenches, le lundi 14 septembre 2020

Simon Martin

11 Annexes

11.1 Documents annexés :

(Voir sous : «K:\ES\PROJETS\SLO\2005_Eolienne_intelligente\doc »)

11.1.1 Cahier des charges du projet :

- 2005_Eolienne_intelligente-CDC-v1.pdf

11.1.2 Planning & Journal de travail :

- 2005_Eolienne_intelligente-JournalDeTravail_SMN.PDF
- 2005_Eolienne_intelligente-Planning.PDF

11.1.3 Procès-Verbaux hebdomadaires :

- PV_2005_Eolienne_intelligente_20200812.PDF
- PV_2005_Eolienne_intelligente_20200819.PDF
- PV_2005_Eolienne_intelligente_20200826.PDF
- PV_2005_Eolienne_intelligente_20200902.PDF
- PV_2005_Eolienne_intelligente_20200909.PDF

11.2 Design Docs « Main Board » et « Extern Board »

- Schematic Prints
- Bill of materials
- Assembly Drawings
- PCB Top-Bottom Assy Dwgs
- Dimensional Drawings

11.3 Listing des codes

- App.c
- App.h
- Mk32_I2C_BQ25713.c
- Mk32_I2C_BQ25713.h
- System_interrupt.c

12 Bibliographie

12.1 Listes des figures

Figure 1 : Hélice et moteur brushless fixé sur un Piper L4 – Vue de face.....	9
Figure 2 : Hélice et moteur brushless - vue 3/4	10
Figure 3 : Moteur brushless KV650 de Protronik	10
Figure 4 : Footprint pour le moteur brushless.....	10
Figure 5 : Montage Veroboard pour les mesures préliminaires	11
Figure 6 : Mesure au Sol - 1000 [RPM] - 3.6 [V] et 250 [Hz].....	12
Figure 7 : Mesure au sol - 1500 [RPM] - 7.6 [V] et 495 [Hz]	13
Figure 8 : Mesure au sol - 2300 [RPM] - 9.5 [V] et 674 [Hz]	13
Figure 9 : Diode Schottky STPS1045SF - Vue bottom	14
Figure 10 : Résultat de la simulation du Safety Load Auto	15
Figure 11 : D44H8 avec un radiateur	16
Figure 12 : Explications des câbles entrées/sorties de l'Extern Board	17
Figure 13 : Connecteur XLR mâle 3 pôles.....	18
Figure 14 : ST141D00.....	19
Figure 15 : Footprint des interrupteurs	19
Figure 16 : Application Diagram pour le BQ25713	20
Figure 17 : Tableau de configuration de la batterie pour le BQ25713 (p. 24).....	20
Figure 18 : Tableau "Applications Curves" (p. 24)	22
Figure 19 : Table "Inductor Manufacturers' Part Numbers" (p. 20)	23
Figure 20 : Table "Output Capacitor" (p. 14)	23
Figure 21 : Table "Schottky Diode Selection" (p. 15)	23
Figure 22 : Pin configuration du LM2674.....	23
Figure 23 : Tableau servant à déterminer la valeur du condensateur de sortie d'un LM2674	24
Figure 24 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 5V.....	26
Figure 25 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 10V.....	26
Figure 26 : Résultat de simulation - avec une amplitude pic de 1V.....	27
Figure 27 : Représentation du courant demandé en fonction de la tension du DAC	28
Figure 28 : Connecteur de programmation avec détrompeur	30
Figure 29 : LCD NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M de chez NewHaven	31
Figure 30 : Radio TY91 de Trig Avionics.....	34
Figure 31 : Transpondeur TT21 de Trig Avionics	34
Figure 32 : Connecteur XLR 3 pôles de chez Neutrik - NC3FD-L-1.....	34
Figure 33 : Connecteur XLR 3 pôles de chez Neutrik - NC3FD-L-1.....	35
Figure 34 : Port USB 2.0 Type A.....	35
Figure 35 : Logique de placement des entrées/sorties	36
Figure 36 : Logique de placement des composants vue bottom.....	36
Figure 37 : Pin Diagram de mon microcontrôleur sur Harmony	37
Figure 38 : Vue face arrière, de gauche	38
Figure 39 : Vue face arrière, de droite	38
Figure 40 : Vue face avant 3D, de gauche	39
Figure 41 : Vue face avant 3D, de droite.....	39
Figure 42 : Calculateur de largeur de piste de Digikey	40
Figure 43 : Rule pour la distance d'isolation entre les éléments	41
Figure 44 : Nouvelles Rules pour les Poly.....	41
Figure 45 : Choix de la classification du PCN Main Board.....	42
Figure 46 : Boîtier mécanique choisi	43
Figure 47 : Vue 3D de la face Top de l'Extern Board.....	45
Figure 48 : Vue 3D de la face Bottom de l'Extern Board.....	45
Figure 49 : Rule concernant les connexions entre les pads des composants et un plan	46
Figure 50 : Rule pour la distance d'isolation entre les éléments	47
Figure 51 : Choix de la classification du PCB Extern Board	48
Figure 52 : Détails sur les distances d'isolation plus petites que 0.150mm.....	48
Figure 53 : Réglage des Timers dans Harmony	50

Figure 54 : Réglages des I2Cs dans Harmony	51
Figure 55 : Organigramme du code prévu.....	53
Figure 56 : Écriture I2C sur BQ25713	56
Figure 57 : Lecture I2C sur le BQ25713.....	56
Figure 58 : Multi-Écriture I2C sur le BQ25713.....	57
Figure 59 : Multi-Lecture I2C sur le BQ25713	57
Figure 60 : Extrait de fonction BQ25713_Start_init()	58
Figure 61 : Mesure de la trame I2C avec le BQ25713.....	59
Figure 62 : Zoom sur la trame I2C - vérification de la fréquence	59
Figure 63 : Décodage de trame I2C	60
Figure 64 : Routine d'interruption avec On/Off de ISR_LIFE	61
Figure 65 : Mesure de la routine d'interruption	62
Figure 66 : Tableau de mesure des tensions d'alimentation	63

12.2 Listes des Schémas

Schéma 1 : Schéma bloc	7
Schéma 2 : Schéma bloc détaillé	8
Schéma 3 : Schéma du Veroboard des mesures préliminaires	11
Schéma 4 : Idée pour le Redresseur du triphasé	14
Schéma 5 : Redresseur triphasé	14
Schéma 6 : Simulation du Safety Load Automatique.....	15
Schéma 7 : Safety Load Auto.....	16
Schéma 8 : Switch On/Off, avec le fusible d'entrée	19
Schéma 9 : Interrupteur de la batterie	19
Schéma 10 : Buck Boost Battery Charge Controller	21
Schéma 11 : Régulateur 5 Volts LM2674	22
Schéma 12 : Régulateur 3.3 Volts MAX1793	24
Schéma 13 : Mesure de la fréquence de la phase	25
Schéma 14 : Simulation de la mesure de phase	25
Schéma 15 : Idée pour le montage Safety Load Manuel	28
Schéma 16 : Safety Load Manuel avec un DAC et un Ampli-OP	28
Schéma 17 : Microcontrôleur PIC32MK0512GPD064	29
Schéma 18 : Système de Reset du microcontrôleur	30
Schéma 19 : Connecteur de programmation du microcontrôleur	30
Schéma 20 : Condensateurs de découplage du microcontrôleur	30
Schéma 21 : Header de mesures, autour du microcontrôleur.....	30
Schéma 22 : Écran LCD avec rétro-éclairage NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M	31
Schéma 23 : Bouton de sélection.....	32
Schéma 24 : Mesure du courant ISYS	32
Schéma 25 : Ponts résistifs pour les mesures de tensions.....	33
Schéma 26 : Schéma de mesure de la trame I2C	58
Schéma 27 : Mesure de la routine d'interruption	61
Schéma 28 : Mesure du 5 Volts	63
Schéma 29 : Mesure du 3.3 Volts	63

12.3 Datasheets utiles

12.3.1 Électronique

Microcontrôleur : [PIC32MK0512GPD064](#)

Buck Boost Battery Charge Controller : [BQ25713](#) et Kit de d'évaluation : [BQ25713EVM-017](#)

Régulateur 5V : [LM2674](#)

Régulateur 3.3V : [MAX1793](#)

Current Sensor : [ACS722](#)

Écran : [NHD-C0220BIZ-FSW-FBW-3V3M](#) et son µC interne : [ST7036](#)

Radio : [TY91](#)

Transpondeur : [TT21](#)

12.3.2 Mécanique

Boitier : [1457K1202BK](#)

XLR femelle : [NC3FD-L-1](#)

XLR mâle : [NC3MD-L-1](#)

Commutateur à levier : [ST141D00](#)