

Conception d'une plateforme Linux embarquée modulaire

Modular Embedded Linux Platform For The Internet Of Things

Thèse de bachelor

With the new generation of processors with integrated RAM and power management using the system in package (SiP) technology, it's now possible to develop single board computers (SBC) using standard 4 layers printed circuit board (PCB).

By integrating all the necessary elements in a single package, the SiP technology allows to make less complex board, reducing the time to market, the product size, development and production costs.

Filière d'études : Électricité et systèmes de communication

Auteurs : Samuel Dolt, Nicolas Hauert

Conseiller : Dr. Elham Firouzi

Mandant : Dolt.ch

Expert : Sylvain Bolay

Date : 28 juin 2018

Sommaire

Das Ziel unserer Arbeit bestand darin eine Linux basierende Plattform für den Industriepartner bolay.co SA zu entwerfen. Diese Plattform wird in verschiedenen Industriebereichen eingesetzt, unter anderem in den Bereichen der Temperaturmessung anhand diversen Sensoren, der Displayanzeige, der Übertragung von Daten zu einem Server oder dem Öffnen von Bankschliessfächern.

Ausgangslage und Ziele :

Die neue Linux Plattform wurde anhand eines OSD3358 Prozessors System in Package (SiP) konzipiert. Dieser Prozessor wurde während der Projektstudie gewählt, weil dieser einen grossen Mehrwert für zukünftige Herausforderungen bringen kann. Dank seiner Vielfältigkeit kann dieser Prozessor in verschiedenen Tätigkeitsbereichen eingesetzt werden. Durch die Unterstützung eines modifizierten Linux- Kernels und seiner Verwendung von Beagle Bone Black (BBB), können Open Source Entwicklungsboards dank bestehenden Erweiterungsboards (Clickboards) einfach erweitert werden. Man kann anhand von verschiedenen Clickboards auf einer sehr einfachen Art und Weise verschiedene Sensoren anschliessen, welche Messwerte wie GPS Signal, Temperatur, Bluetooth Signal oder PWM Signale erfassen können. Durch das speziell für die Firma bolay.co SA entwickelte PCB, welches auch Platine oder Leiterplatte genannt wird, haben wir ihre speziellen Anforderungskriterien in unsere Arbeit einfließen lassen. Unter anderem waren die Anforderungen an das PCB das es zwei Ethernetports, Wi-Fi, GSM 4G und zwei SD Kartenleser hat.

Vorgehen :

Am Anfang der Thesis haben wir unsere Arbeit in zwei Bereichen aufgeteilt, zum einen den Softwarebereich und zum anderen den Hardwarebereich. Für das PCB (Hardware) haben wir uns mit der Firma bolay.co SA in Sitten getroffen und die Anforderungskriterien des PCB festgelegt. Parallel zur Entwicklung des PCB wurden die verschiedenen Clickboards getestet und die ersten Ergebnisse ausgewertet. Zum Schluss wird das PCB in die Produktion gegeben.

Table des matières

Sommaire	i
Préface	iv
1. Introduction	1
1.1. Historique du projet	1
1.2. Projektmanagement	4
2. Conception électronique	20
2.1. Ressources pour la conception électronique	20
2.2. Alimentation du module OSD3358-SM	21
2.3. Ports Ethernet	24
2.4. Contrôleur USB	25
2.5. Hub USB à quatre port	29
2.6. Display Parallel Interface et paramètre de démarrage	32
2.7. Connecteur MiniPCI Express	35
2.8. Mikrobus	38
2.9. Connecteur MicroSD	40
2.10. Assignation des broches du processeurs	41
3. Routage et placement	43
3.1. Choix du boîtier	43
3.2. Placement des composants	43
4. Support logiciel	45
4.1. Installation	45
4.2. Partitionnement de la carte MicroSD	50
5. Clickboards mit Pocket Beagle	51
5.1. Pocket Beagle technische Daten	51
5.2. Pocket Beagle mit Internet verbinden	52
5.3. Pins	53
5.4. GPIO LED Ansteuerung	54
5.5. PWM	56
5.6. RTC	59
5.7. Erkenntnisse	62
6. Conclusions/Bilan	63
Déclaration d'autonomie	64
Glossaire	65
Bibliographie	67
Table des figures	69
Liste des tableaux	70
Index	71

ANNEXE	71
A. Planning	73
B. Test du watchdog interne du processeur AM3358	74
C. Installation des outils de développement Logiciel	76
D. Schéma électrique	78
E. Routage et placement	92
F. Affiche pour les portes ouvertes	95
G. Article pour le livre de l'école	97

Préface

Convention

Ce travail utilise les conventions suivantes :

Information importante

Les informations importantes pour le futur développement de ce projet sont marqué avec un bloc :



Référence à la bibliographie

Les références bibliographique sont indiquée de la manière suivante :

- [1] : La source provient de l'entrée bibliographique n° 1
- [1, p. 10] : La source provient de la dixième page de l'entrée bibliographique n° 1
- [1, ch. 10] : La source provient du chapitre 10 de l'entrée bibliographique n° 1

1. Introduction

1.1. Historique du projet

Depuis sa création en 2012, la société Bolay.co SA s'est spécialisée dans le développement de produits et de services dans le domaine de la mesure et du contrôle à distance d'infrastructures critiques.

La plupart des projets de l'entreprise utilisent une ou plusieurs électroniques embarquées contenant des capteurs et des actionneurs permettant d'effectuer des mesures et des ordres donnés à distance depuis une plateforme web. Afin de relier la plateforme en ligne avec les infrastructures qui sont directement chez les clients de l'entreprise, un ordinateur embarqué utilisant le système d'exploitation Linux est utilisé.

La première génération d'ordinateurs embarqués utilisée par l'entreprise était basée sur une carte embarquée de type FOX Board G20 de la société italienne Acme System srl. Lorsque cette carte est devenue obsolète, elle a été remplacée par une carte de type Terra provenant du même fournisseur.

La carte Terra est actuellement utilisée par l'entreprise bolay.co SA pour la plupart de leurs projets industriels. Elle avait été sélectionnée pour sa disponibilité garantie à long terme. En effet, la société Acme Systems avait annoncé une disponibilité garantie jusqu'en 2024 [1].

Cependant, à la fin de l'année 2017, plusieurs accessoires importants de la carte Terra ont été supprimés du catalogue de la société italienne. De plus, en début 2018, la carte a été annoncée comme étant en fin de vie.

Afin de réduire la dépendance à une entreprise tierce pour un élément aussi central, l'entreprise a décidé de faire concevoir leur propre ordinateur embarqué.

1.1.1. Conception d'un ordinateur embarqué

Un ordinateur embarqué moderne pouvant utiliser le système d'exploitation Linux est conçu en utilisant les composants suivantes :

- Un System on Chip (SoC) incluant un Central processing unit (CPU), un Graphics processing unit (GPU) et une sélection de périphériques (Universal Serial Bus (USB), Universal asynchronous receiver transmitter (UART), Ethernet (Ethernet), Controller Area Network (CAN bus))
- Un Power management integrated circuit (PMIC)
- De la mémoire Random access memory (RAM)
- De la mémoire de masse utilisant par exemple la technologie Flash memory (Flash)

Avec l'avancée des technologies et la miniaturisation des composants, la plupart de ces modules sont directement soudés sur un Printed circuit board (PCB) en utilisant la technologie Ball Grid Array (BGA) avec au maximum un espacement entre les rangées de balles de 0.4 mm.

Afin de pouvoir relié toutes les balles d'un tel composant (fan-out), il est nécessaire d'utiliser un PCB avec au minimum 8 couches de cuivre, ce qui augmente considérablement le coût d'un produit en petites séries.

Afin de réduire cette complexité, il a été décidé de concevoir le nouvel ordinateur embarqué en utilisant un System in package (SiP), qui intègre la plupart de ces éléments dans un BGA plus grand.

La recherche d'un tel composant a commencé en novembre 2017. Les recherches préliminaires étaient limitées à trouver un système conçu autour d'un SoC de la société Atmel (aujourd'hui Microchip), afin de rester au maximum compatible avec la carte Terra, qui était basée autour d'un SoC de cette société.

Cette société a une gamme de SiP basée sur des processeurs ARM Cortex-A5 de la série ATSAMA5D. Cependant, cette série n'a pas été sélectionnée, les SiP disponibles intégrant seulement 128MO de RAM, ce qui est insuffisant pour les besoins de bolay.co.

En regardant auprès d'autres fournisseurs, nous avons sélectionné le SiP OSD3358 de la société Octavo System. Ce SiP intègre un processeur Cortex-A8 AM3358 de Texas Instrument cadencé à 1GHz, 512MO de mémoire RAM ainsi que le PMIC, dans un BGA de 27x27mm.

La société Octavo a un deuxième SiP OSD3358-SM dans leur catalogue, basé sur les mêmes composants mais avec une taille réduite à 21x21mm. Ce composant n'avait cependant pas été sélectionné lors de la préétude, car il n'était pas disponible dans la gamme de températures industriels.

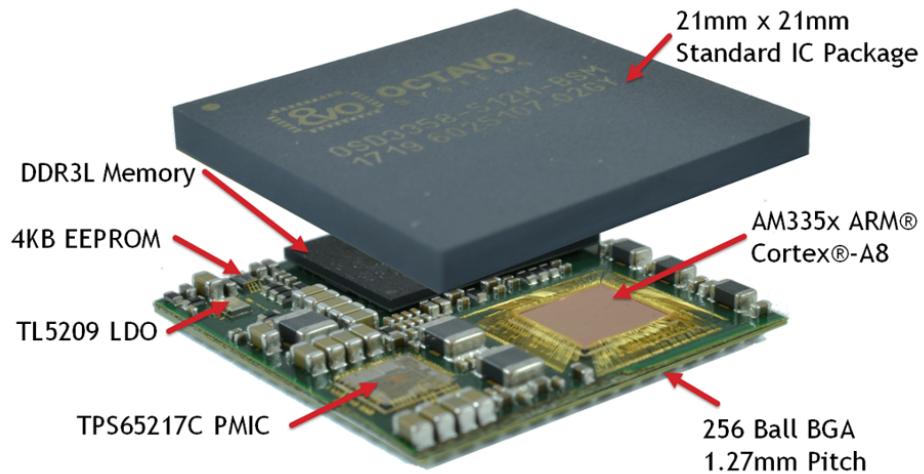


Fig. 1.1.: Contenu d'un module OSD3358-SM

Source : Octavo Systems LLC

En février 2018, la société Octavo System a annoncé la sortie pour juin 2018 d'une version industrielle du SiP OSD3358-SM. A partir de ce moment, le composant OSD3358 a donc été remplacé dans ce projet par sa variante plus petite, le OSD3358-SM.

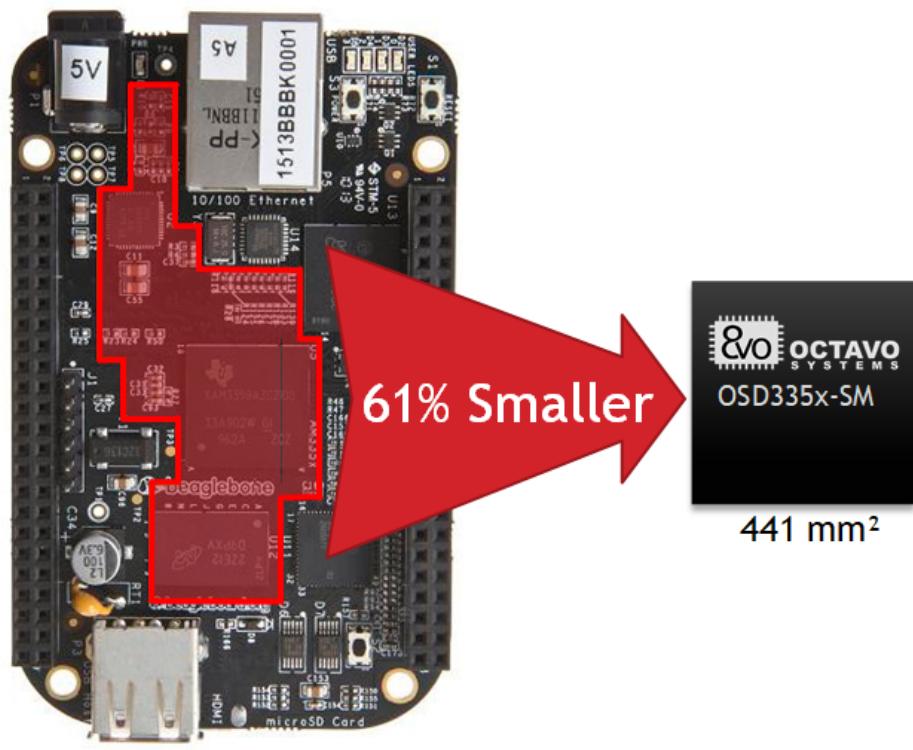


Fig. 1.2.: Comparaison de la surface gagnée par l'intégration dans un System In Package
Source : Octavo Systems LLC

1.2. Projektmanagement

1.2.1. Projektbeschreibung

Samuel Dolt und Nicolas Hauert haben sich entschlossen, Ihre Bachelorarbeit in Zusammenarbeit mit der Firma bolay.co SA aus Sitten zu realisieren. Samuel Dolt ist schon seit drei Jahren selbstständig und kennt Sylvain Bolay, welcher der Inhaber der Firma bolay.co ist. Die Firma dolt.ch welche Samuel gehört befindet sich im Berner Jura genauer gesagt in Courtelary. Samuel und Sylvain haben schon diverse Projekte zusammen im Bereich Embedded Linux realisiert und kennen das Fachgebiet sehr gut. Die Firma bolay.co SA ist vor allem im Bereich der Fernmessung und Steuerung sensibler Infrastrukturen tätig. Die Tätigkeitsbereiche, welche diese Firma umfasst sind folgende. [17]

- Easycontrol
Es ist ein Sensor, welcher überall dort montiert werden kann, wo eine Echtzeit-Temperaturmessung von -55°C bis +125°C erforderlich ist.
- Easygateway
Zugriff auf alle Bildschirme (Computer, Automaten, Drucker, Datenlogger...) mit einem einfachen Webbrowser von einem festen Computer, einem Laptop, einem Tablett und natürlich von einem Mobiltelefon (Smartphone).
- Easyaccess
Die easyAccess-Plattform ermöglicht alle Zugangstüren in Echtzeit über einen einfachen Webbrowser zu konfigurieren. So hat man überall die Kontrolle über die Infrastruktur.
- Easydisplay
easyDisplay ist ein Werkzeug zur Erstellung und Planung von Online-Werbekampagnen. Man kann eine gezielte Verteilung nach Kunde, Marke, Region oder Sprache definieren.
- Easyvault
easyVault ist eine neue Schnittstelle zur Verwaltung des elektronischen Bankschlüssels für den Tresor. Es ermöglicht die Fernüberwachung und Steuerung von Tresorschlössern (Bankschlüssel öffnen/schließen).
- Easypv
Ein Datenlogger speichert zentral Daten von Wechselrichtern, Energiezählern, Sensoren und überträgt sie über eine Kommunikationsschnittstelle direkt an die Server. Damit hat der Kunde immer einen Einblick in die Stromproduktion in Echtzeit !

In den meisten Projekten wird das Embedded Linux System von der Firma Acme Systems SRL verwendet, um die Verbindung zwischen den Sensoren und den Servern zu gewährleisten. Die Arbeit besteht darin, eine bestehende Linuxplattform durch eine neuere und modernere Umgebung zu ersetzen.

Heutiger Stand auf dem Markt

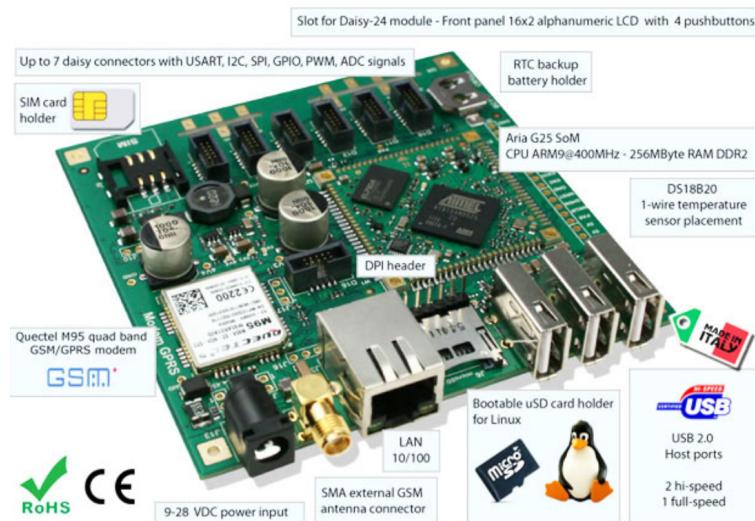


Fig. 1.3.: Linux Plattform von der Firma Acme Systems SRL
Source : Acme Systems

- Prozessor AT91SAMG25 von Microchip. ARM9 mit einer ARMv5 Architektur von 400 MHz
- 256 MB RAM
- 3 USB Ports
- microSD für das Betriebssystem Debian 8.4 Jessie
- Port Ethernet 10/100
- Einspeisung von 9 bis 28V DC
- Modul GPRS Quectel M95 Quad Band

1.2.2. Zu Entwickeln

Wir haben uns mit der Firma bolay.co SA darauf geeinigt, dass wir eine Embedded Linux Plattform entwickeln, welche den AM3358 Prozessor von Texas Instrument verwendet.

Dieser Prozessor wurde während der Bachelorvorstudie gewählt, weil dieser einen grossen Mehrwert für zukünftige Herausforderungen bringen kann. Durch die Unterstützung eines unmodifizierten Linux-Kernel und seiner Verwendung im Beagle Bone Black (BBB) Open-Source-Entwicklungsboard können bestehende Erweiterungsboards (Click Boards) einfach verwendet werden.

PCB Kriterien

- Texas Instrument AM3358 Prozessor mit 1 GHz, SystemInPackage (SPI) von Octavo System
- Zwei integrierte programmierbare Real-Time Unit (PRU) Koprozessoren bei 200MHz
- 512 MB RAM
- Zwei SD-Kartenleser, einer für das Betriebssystem und einer für die Daten
- Ein 100 MBit/s Ethernet-Port zur POE-Stromversorgung der Karte
- Zwei PCI Express Mini Card
- Erweiterungsparts mit Unterstützung für USB 2.0 und I2C/SMBus Kommunikationsbusse
- Einer der beiden Erweiterungsparts unterstützt auch den Anschluss einer SIM-Karte für das 3G/4G-Modul
- Ein Erweiterungsport kompatibel mit dem Beagle Bone Black
- Erweiterungsport Gehäuse auf DIN-Schiene montierbar
- Betrieb im industriellen Temperaturbereich
- E/A-Schutz gegen ESD-Entladungen und Kurzschlüsse
- Debian-basiertes Betriebssystem Version 9 oder höher
- Verpolungs- und Überspannungsschutz
- Hardware-Watchdog, wird vor dem Start des Betriebssystems automatisch eingeschaltet
- Rücksetzen der allgemeinen Stromversorgung durch ein externes elektronisches Bauteil
- Konsole an der seriellen 3,3V TTL-Schnittstelle
- Eindeutige Identifikationsnummer

1.2.3. Erweiterungsboards (Click Boards) Kriterien

- RS485 Halbduplex-Kommunikationsbus
- 3G oder 4G Modem
- Wifi / Bluetooth
- Ein oder mehrere 100MBit/s Ethernet-Ports
- Ein oder mehrere USB-Anschlüsse an der Vorderseite oder intern
- GPS
- LoRaWAN Multiband-Sender/Empfänger
- MicroE mikroBus Kartenadapter
- Touchscreen-Anzeige
- HDMI-Anschluss
- Optionaler Brandschutz

Muss Ziele

- Entwurf der Platine mit der CircuitStudio-Software nach Vorgaben
- Test und Validierung von mehreren Clickboards
- Erstellen eines optimierten Debian-Betriebssystem-Images
- Unterstützung für Erweiterungskarten im Betriebssystem
- Tests und Erprobungen von PRU-ICSS-Coprozessoren, um die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie zu ermitteln, die in den bestehenden Produkten des Unternehmens nützlich sein könnten.

Nicht Ziele

- Binäre Software-Kompatibilität mit dem aktuellen System
- Kompatibilität mit aktuellen Systemerweiterungskarten
- Kundenspezifisches Design der Erweiterungskarte

Kann Ziele

- Prototyp und Dokumentation der Boardkarte
- Projektversionshistorie (Git-Repositories)
- Herstellung von Dateien Dokumentation der Software

1.2.4. Projektphasen

Die Bachelorarbeit wurde auf der Zeitachsen in drei Hauptteile eingeteilt.

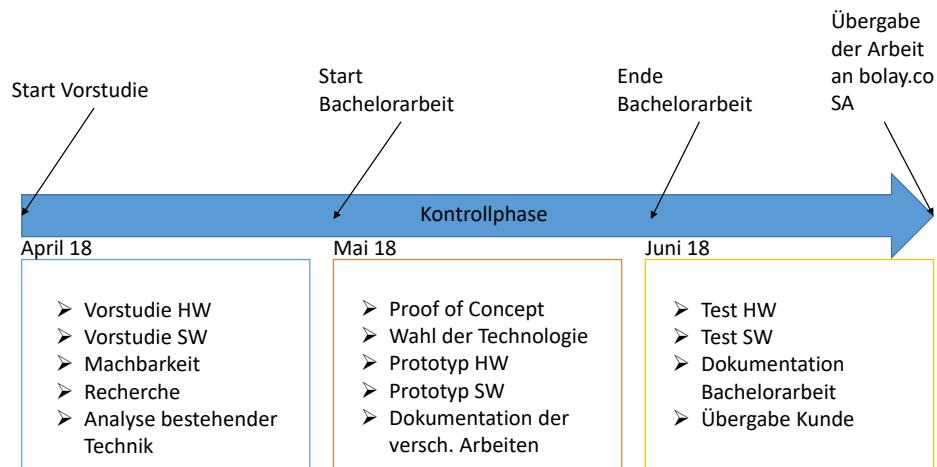


Fig. 1.4.: Projektphasen

Die Vorstudie wurde anfangs April 2018 gestartet. Dabei ging es darum die notwendigen Hardware Komponenten wie Prozessor, Speisung, Schnittstellen ect zu definieren. Weiter wurde bestimmt, mit welcher Software die Arbeit gemacht werden sollte und welche Technik momentan sich bereits auf dem Markt durchgesetzt hat. Die Machbarkeit wurde anhand von verschiedenen Recherchen im Internet analysiert und mit der Firma bolay.co SA besprochen.

Das Proof of Concept beinhaltet eigentlich den Kern der Bachelorarbeit. Dabei geht es darum, dass man die Analysen der Vorstudie in die Arbeit einfließen lässt, um diese auch erfolgreich durchzuführen. Die Prototypen werden sowohl hardware- wie auch softwareseitig erstellt. Parallel dazu wurde beschlossen, dass man die Dokumentation fortlaufend führt, damit man am Schluss weniger unter Zeitdruck gerät.

Der Kern der Arbeit besteht darin den Prototypen auf Herz und Nieren zu testen und die gewonnen Kenntnisse zu dokumentieren. Trifft dies nicht zu, muss man das Problem analysieren und die Fehler beheben. Im Idealfall gibt es keine Fehler und man kann die Arbeit mit der Dokumentation beenden. Zu guter letzt übergibt man das Produkt dem Kunden.

Parallel zu den drei Phasen verläuft noch eine permanente Kontrollphase, welche uns ermöglicht unser Projekt zu überwachen und zu steuern um allfällige Abweichungen und Probleme zu beheben.

1.2.5. Projektorganisation

Projektorganisation		
Rolle	Name	Funktion
Projektchef	Samuel Dolt	Student 1 BFH
Softwarechef Clickboards	Nicolas Hauert	Student 2 BFH
Softwarechef PCB	Samuel Dolt	Student 1 BFH
Administratorchef	Nicolas Hauert	Student 2 BFH
Hardwarechef	Samuel Dolt	Student 1 BFH
Expert	Elham Firouzi	Dozent BFH
Expert	Sylvain Bolay	Bolay.co SA
Kunde	Sylvain Bolay	Bolay.co SA
Projektkomitee BFH	Max Felser	Abteilungsleiter BFH

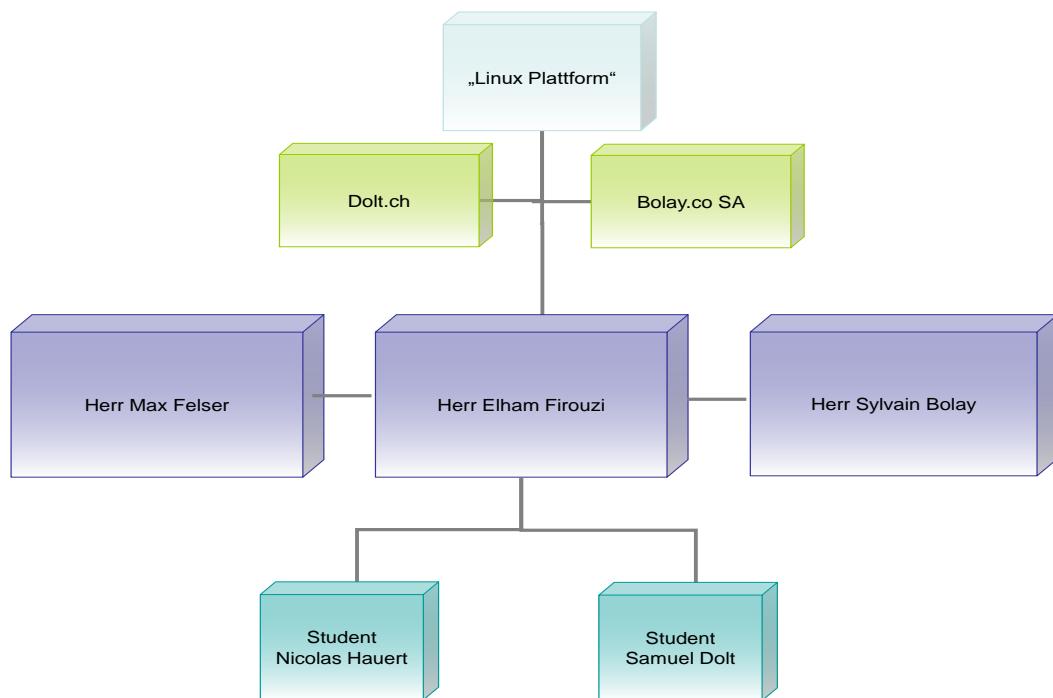


Fig. 1.5.: Projektorganigramm

1.2.6. Stakeholder

Bei den Stakeholdern geht es um die Personen, welche auf unser Projekt "Linux Plattform" einen Einfluss nehmen können. Wie im Stakeholderdiagramm ersichtlich ist, sind sechs verschiedene Gruppen, welche dieses Projekt beeinflussen können. Der grösste Einfluss hat der Kunde, welcher sagt wie er gerne das Produkt hätte. Dabei müssen seine Vorstellungen und Wünsche bestmöglich umgesetzt werden. Auf der anderen Seite ist es natürlich auch wichtig, dass die Studierenden ihren Aufgabenteil zielgerichtet und ambitioniert erledigen, damit am Schluss eine erfolgreiche Arbeit entsteht. Lieferengpässe von Material kann es zu jeder Zeit geben, deshalb ist es wichtig genügend Zeit für die diversen Bestellungen einzuplanen. Dies fängt schon bei der Planung an und hört bei der Übergabe des Produktes an den Kunden auf.

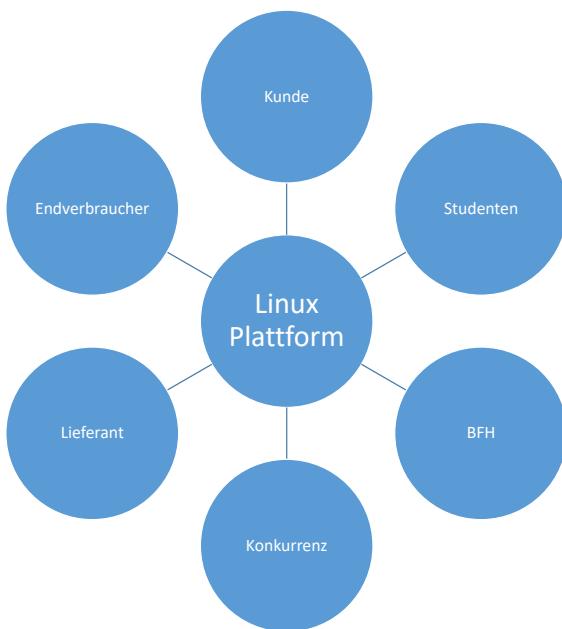


Fig. 1.6.: Stakeholderdiagramm

1.2.7. Projektchancen und Risiken

Das Kennen von Risiken und Chancen führt dazu, dass man seine eigene Strategie besser und effektiver ausrichten kann. Wenn man die Personen an der richtigen Stelle einsetzt, damit diese auch ihr volles Potential ausschöpfen können, ist es für alle gewinnbringend. Risiken bedeuten in erster Linie Unsicherheit welche sich negativ auf ein Projekt auswirken können. Risiken kann man global mit drei Faktoren erklären :

- Qualität
- Zeit
- Kosten

Das Ziel des Risikomanagements ist, gewisse Risiken in einem Projekt zu erkennen und allfällige Folgen zu ermitteln. Anders gesagt : muss man sich die Frage stellen was passiert mit dem Projekt wenn etwas nicht nach Plan läuft.

Das Projekt wurde in fünf Hauptgruppen unterteilt, bei welchen verschiedene Risiken analysiert wurden. Die gefährlichsten Faktoren waren falsche Schätzung, fehlerhafte Planung, verlieren der Kontrolle, Steuerung und mangelnde Kommunikation untereinander. Es wurde festgestellt, dass eine permanente Überwachung des Projektes zu einer Minderung von Fehlern führt.

Im Bereich der Organisation und Planung waren vor allem die Priorisierung und die Finanzierung wichtig. Für unsere Arbeit haben wir ein Budget bekommen, welches nicht überschritten werden durfte. Bei der Komponentenwahl musste diese Zahl eingehalten werden. Die Priorisierung ist wichtig, um zu wissen was eilt und was warten kann. Durch diese Arbeit konnte man einmal mehr lernen, dass man die richtigen Prioritäten zur richtigen Zeit setzen muss.

Die externen Einflüsse auf ein Projekt kann man am wenigsten beeinflussen oder lenken. Man kann durch Abklärungen und Analysen gewisse Vorkommnisse steuern, damit diese gut ablaufen. Die Marktakzeptanz muss man analysieren, um zu gewährleisten, dass das entworfene Produkt auf dem Markt auch erfolgreich sein wird. Im Weiteren ist es von grosser Bedeutung, dass man mit dem Industriepartner stets im Kontakt ist, um die Meilensteine zusammen zu diskutieren.

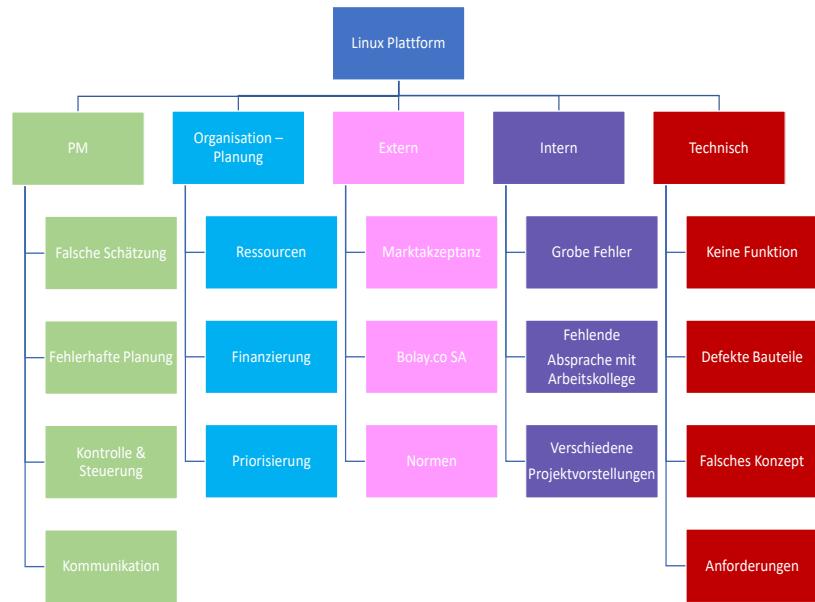


Fig. 1.7.: Projektchancen und Risiken

Intern gesehen ist das Wichtigste, dass man eine einwandfreie Kommunikation untereinander hat. Es hilft enorm Fehler oder Missverständnisse zu vermeiden. Am Anfang ist es wichtig, dass man die Projektvorstellungen zusammen diskutiert und mit der selben Vision an das Projekt ran geht.

Die technische Seite ist vielleicht der anspruchsvollste Teil der Arbeit. Es wird viel Zeit in diesen Bereich investiert und man muss sich vor Augen führen, dass die technischen Komponenten den Normen entsprechen müssen. Zu den Herausforderungen gehören die Funktion, die Bauteile, das Konzept und die Anforderungen. All diese Aspekte müssen mit Sorgfalt richtig und korrekt ausgewählt werden.

Projektchancen und Risiken		
Was ?	Wie ?	Ziel
PM	Eine möglichst gute Schätzung machen für Kosten, Aufwand und Ertrag.	Reibungsloses PM mit dem Ziel eine gute Planung von A bis Z zu haben ohne negative Überraschungen !
Organisation und Planung	Prioritäten richtig setzen, diese können allenfalls mit der Hilfe der Gewichtung erkannt werden, finanzielle Mittel im Voraus mit der Industrie und der BFH abklären.	Mit den richtigen Prioritäten kommt man im Projekt besser voran. Engpässe kommen seltener vor und man weiss welche Ressourcen und finanzielle Mittel man für das Projekt zur Verfügung hat.
Extern	Etwas vom wichtigsten bevor man ein Produkt auf den Markt bringt, ist eine Marktanalyse. Diese sagt schnell aus, ob das Produkt marktauglich ist oder nicht.	Marktanalyse muss gemacht worden sein, damit man genau weiss ob das Produkt auf dem Markt bestehen kann oder nicht.
Intern	Einen engen Austausch untereinander ist von grosser Wichtigkeit und hilft Fehler in einem Projekt zu mindern.	Einen regelmässigen Austausch führt zum Ziel, ein Projekt erfolgreich vorantreiben und durchführen zu können.
Technisch	Damit die technische Seite des Projektes erfolgreich verläuft, bedingt es, dass man sich zuerst mit der Technik auseinandersetzt. Das beginnt schon mit der Komponentenwahl, geht weiter über das Zusammensetzen bis hin zum Endprodukt. Ein Konzept muss gut analysiert werden, ob es erfolgreich sein kann, wenn nicht muss es geändert werden.	Ein erfolgreiches Projekt ist, in unserem Fall ein funktionierendes PCB, welches mit Clickboards kompatibel ist.

1.2.8. Risikomatrix

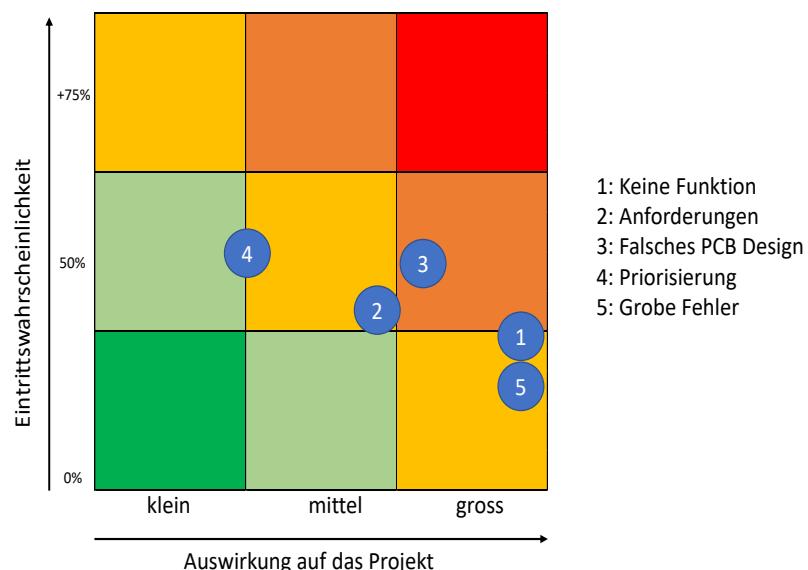


Fig. 1.8.: Risikomatrix

Die Risikomatrix dient dem Team aufzuzeigen, wo die grössten Gefahren bestehen, um ein Projekt zu gefährden. Man hat sich Gedanken gemacht und sich die Frage gestellt, wo die Gefahr für unser Vorhaben am grössten ist und welche Auswirkungen diese speziell auf unser Projekt hat.

Die grösste Auswirkung auf das Projekt haben ganz klar die Funktion und die Fehler. Falls das PCB nicht funktionsfähig ist, kann man sagen, dass das Projekt nicht erfolgreich war. Das PCB ist so zu sagen das Herzstück unserer Arbeit und es ist von grosser Wichtigkeit, dass dies auch auf Anhieb funktioniert. Ein PCB auf Fehler zu untersuchen und diese zu ändern braucht enorm viel Zeit und dazu muss man oft eine bis zwei Wochen warten bis das neue, korrigierte PCB geliefert wird.

Durch die "kurze" Diplomarbeitszeit konnte man es sich nicht erlauben, grobe Fehler zu machen und ein zweites PCB nachträglich zu bestellen. Das falsche PCB Design kann genau gleich zu einem Scheitern führen, wie wenn das PCB grundsätzlich nicht funktionieren würde. Die Firma bolay.co SA hat klare Ideen, welche Anforderungen und Kriterien unser PCB und unsere Arbeit haben muss. Können wir die Anforderungen nicht erfüllen, ist das Projekt gescheitert.

Es ist deshalb von enormer Wichtigkeit, dass wir das Projekt gut analysieren und uns Meilensteine setzen. Durch das Priorisieren fällt es einem leichter, sich auf das Wichtige zu konzentrieren und das weniger Wichtige später zu erledigen.

1.2.9. Personalmanagement

Zum Personalmanagement in einem Projekt gehören die Prozesse der Organisation, Verwaltung und Leitung eines Projektteams. Es ist wichtig, dass jede Person in einem Team eine klare Rolle zugeteilt bekommt, für welche sie auch Verantwortung tragen muss. Durch diese Verteilung kann man die Ressourcen besser optimieren, was wiederum zu einem erfolgreichen Projekt verhilft.

Personalmanagement				
Vorgang	Samuel Dolt	Nicolas Hauert	Elham Firouzi	Sylvain Bolay
Projektidee	R	A	I	C
Projektauftrag	R	A	I	C
Projektmanagement	A	R	I	C
Hardware	R	C	I	C
Software	R	C	I	C
Clickboards	A	R	I	C
Software PCB	R	C	I	C
Kundenservice	R	C	I	C

R : Responsible
A : Accountable
C : Consult
I : Inform

1.2.10. Projektergebnisplan

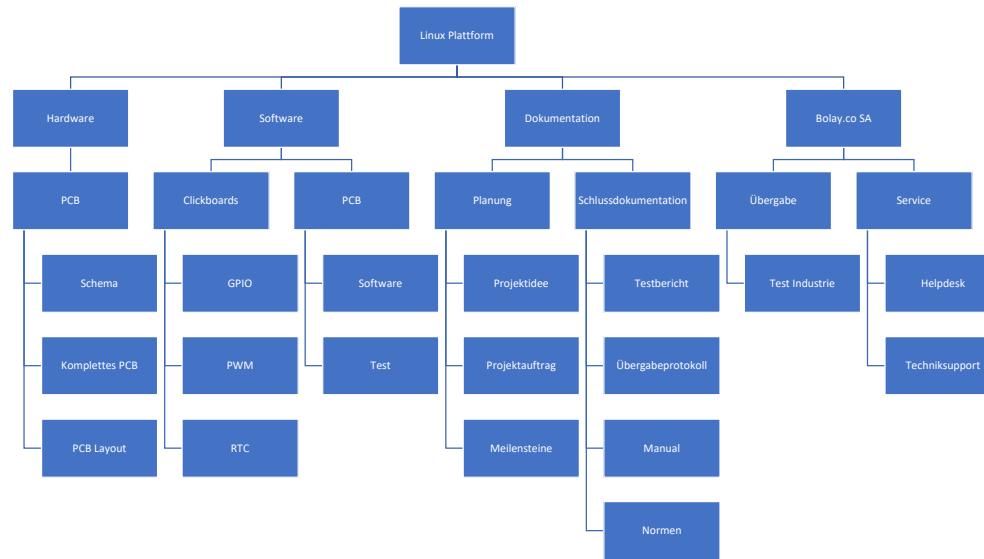


Fig. 1.9.: Projektergebnisplan

Man hat das Projekt in verschiedene Strukturen unterteilt, damit man einen besser Überblick behält. Dabei sind Hardware, Software, Dokumentation und Bolay.co SA die wichtigsten Säulen des Projekts. Diese wurden wiederum unterteilt in kleinere und wichtige Strukturen.

1.2.11. Use Case

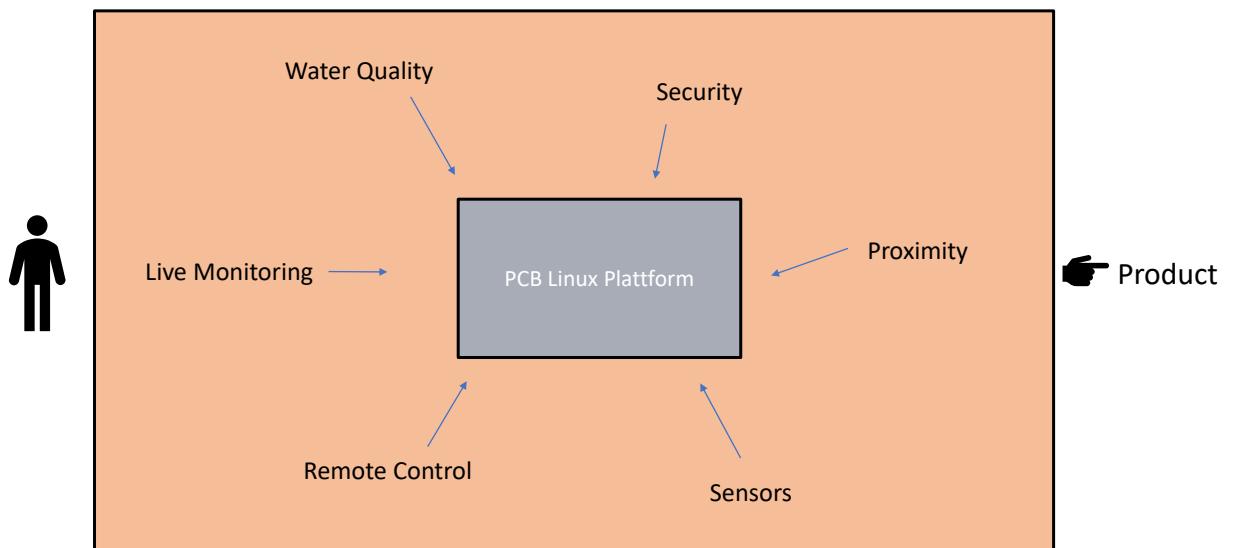


Fig. 1.10.: Use Case

Beim Use Case Diagramm hat man graphisch die wichtigsten Tätigkeitsbereiche aufgeführt, bei welchen die Kundschaft das Produkt einsetzen kann.

1.2.12. Kostenmanagement

Farnell :

Farnell				
2x	2465069	DS100V3	Embest JTAG Emulator	64.85 CHF
4x	2856406	FTR-110-03-G-D-06	Connector JTAG	16.28 CHF
1x	2630518	MC7430	Sierra Wireless	175.00 CHF

Mouser :

Mouser				
2x	958-PKTBEAGLE-SC-569	PocketBeagle-SC-569	Pocketbeagle	60.16 CHF
1x	415-OSD3358-SM-RED	OSD3358-SM-RED	Development Boards	204.00 CHF
5x	415-OSD3358-512M-ISM	OSD3358-512M-ISM	Industrial version	258.95 CHF
5x	415-OSD3358-512M-BSM	OSD3358-512M-BSM	Version standard	214.45 CHF
1x	634-SI3402BISO-EVB	SI3402BISO-EVB	POE EVAL BOARDS	89.25 CHF
2x	595-PRUCAPE	PRUCAPE	TI PRUCAPE	89.90 CHF
1x	763-NHD70CTPCAPE-N	NHD-7.0CTP-CAPE-N	Ecran	86.70 CHF

Mikroe :

Mikroe			
1x	MIKROE-2670	GNSS 5 click	41.00 CHF
1x	MIKROE-2063	RTC 6 click	21.00 CHF
1x	MIKROE-2350	Rubber Antenna 868Mhz right angle	6.90 CHF
1x	MIKROE-2349	Rubber Antenna 868Mhz straight	6.90 CHF
2x	MIKROE-1535	tRF click	118.00 CHF
1x	MIKROE-1892	I2C 1-Wire click	28.00 CHF
1x	MIKROE-1296	4-20 mA T click	28.00 CHF
1x	MIKROE-1387	4-20 mA R click	26.00 CHF
1x	MIKROE-2154	Signal Relay click	29.00 CHF
1x	MIKROE-1196	OPTO click	21.00 CHF
2x	MIKROE-989	RS485 click 3.3V	36.00 CHF
1x	MIKROE-2720	BUZZ 2 click	12.00 CHF
2x	MIKROE-989	RN4678 click	58.00 CHF
1x	MIKROE-1375	GSM2 click	44.00 CHF
1x	MIKROE-2226	3G-EA Click (for EU and Australia)	89.00 CHF
1x	MIKROE-2913	Barcode click	179.00 CHF

1.2.13. Prüfplan

Im Bereich Qualitätsmanagement stand beim Projekt die wichtigsten Arbeitsabschnitte im Fokus. Dabei wurden verschiedene Prüfungsmethoden angewendet um sicherzustellen, dass die Arbeitsabschnitte auch korrekt abgewickelt wurden. Diese wurden vom Projektmanagement bis hin zur Dokumentation durchgeführt. Während der Thesis wurde oft das Vieraugenprinzip angewendet, um allfällige Fehler zu vermeiden.

Qualitätsmanagement	
Prüfungsmethode	Beschreibung
Schriftlicher Review (SR)	Das Ergebnis wird den Prüfern per Email zugestellt. Diese prüfen das Ergebnis unabhängig voneinander und erstellen einen Prüfbericht mit den Befunden. Die Befunde werden vom Autor korrigiert oder mit einer schriftlichen Begründung zurückgewiesen, welche dem Prüfer per Email zugestellt wird
Mündlicher Review (MR)	In einem Review-Meeting werden die schriftlichen Befunde besprochen. Dabei werden die nötigen Anpassungen / Massnahmen beschlossen, Verantwortlichen zugewiesen und terminiert. Ein schriftlicher Review (SR) ist immer Basis für einen mündlichen Review (MR). Als Resultat eines MR entsteht ein Reviewprotokoll, das von MRTeilnehmern unterschrieben werden muss
Walk-Trough (WT)	Ein Walk-Through ist eine weniger formale Prüfung als ein Review. Indem durch die zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegenden Resultate gegangen wird, versucht sich der Prüfende ein Bild über den aktuellen Stand der Arbeiten zu verschaffen

Stand 25.06.2018				
Phase / Ergebnis	Prüfmethode	Verantwortlicher	Prüfer	Status
PM				
Pflichtenheft	SR	dolt.ch	FUE1	✓
Projektbeschreibung	SR	HAUEN2	FUE1	✓
Projektphasen	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Projektorganisation	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Stakeholder	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Projektchancen und Risiken	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Risikomatrix	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Personalmanagement	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Projektergebnisplan	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Use Case	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Kostenmanagement	SR	HAUEN2	FUE1,SB	✓
Hardware				
Kontrolle Schema PCB	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	✓
Kontrolle Layout PCB	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	✓
Montagekontrolle PCB	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	
Test + Messungen PCB	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	
Clickboards				
Bestellung	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	✓
Tests Clickboards	Test	HAUEN2	DOLTS1, HAUEN2	✓
Software				
Software Clickboards	Test	HAUEN2	DOLTS1, HAUEN2	✓
Software Test PCB	Test	DOLTS1	DOLTS1, HAUEN2	
Dokumentation				
Abschlussdokumentation	SR	HAUEN2	FUE1, SB	✓
Prüfbericht	SR	DOLTS1	DOLTS1	
Rolle	Name	Kürzel	Funktion	
Commanditaire	Samuel Dolt	DOLTS1	dolt.ch	
Chef Projekt	Samuel Dolt	DOLTS1	Student 1 - BFH	
Chef Software Clickboards	Nicolas Hauert	HAUEN2	Student 2 - BFH	
Chef Administrativ	Nicolas Hauert	HAUEN2	Student 2 - BFH	
Chef Software PCB	Samuel Dolt	DOLTS1	Student 1 - BFH	
Chef Hardware PCB	Samuel Dolt	DOLTS1	Student 1 - BFH	
Experte	Elham Firouzi	FUE1	Fachdozent - BFH	
Experte	Sylvain Bolay	SB	bolay.co SA	

Fig. 1.11.: Prüfplan

2. Conception électronique

2.1. Ressources pour la conception électronique

Les ressources principales pour le développement d'une carte basé sur le module OSD3358 sont :

2.1.1. Documentation du processeur

- AM335x Datasheet [26]
- AM335x Errata [27]
- AM335x and AMIC110 Technical Reference Manuel (*seulement 5113 pages*) [23]
- AM335x Hardware Design Guide [19]
- AM335x Schematic Checklist [20]
- AM335x and AM43xx USB Layout Guideline [25]

2.1.2. Documentation du PMIC

- TPS65217 Datasheet [28]

2.1.3. Documentation du SiP

- OSD335x-SM Datasheet [14]
- OSD335x-SM Design Tutorial [13]

2.1.4. Design de référence

Basé sur le processeur AM3358

- AM335x Starter Kit
- Carte d'expérimentation Beaglebone.org BeagleBone Black [4]

Basé sur le SiP OSD3358-SM

- Carte d'évaluation OctavoSystem OSD3358-SM-RED [12]
- Carte d'expérimentation Beaglebone.org PocketBeagle [6]

2.2. Alimentation du module OSD3358-SM

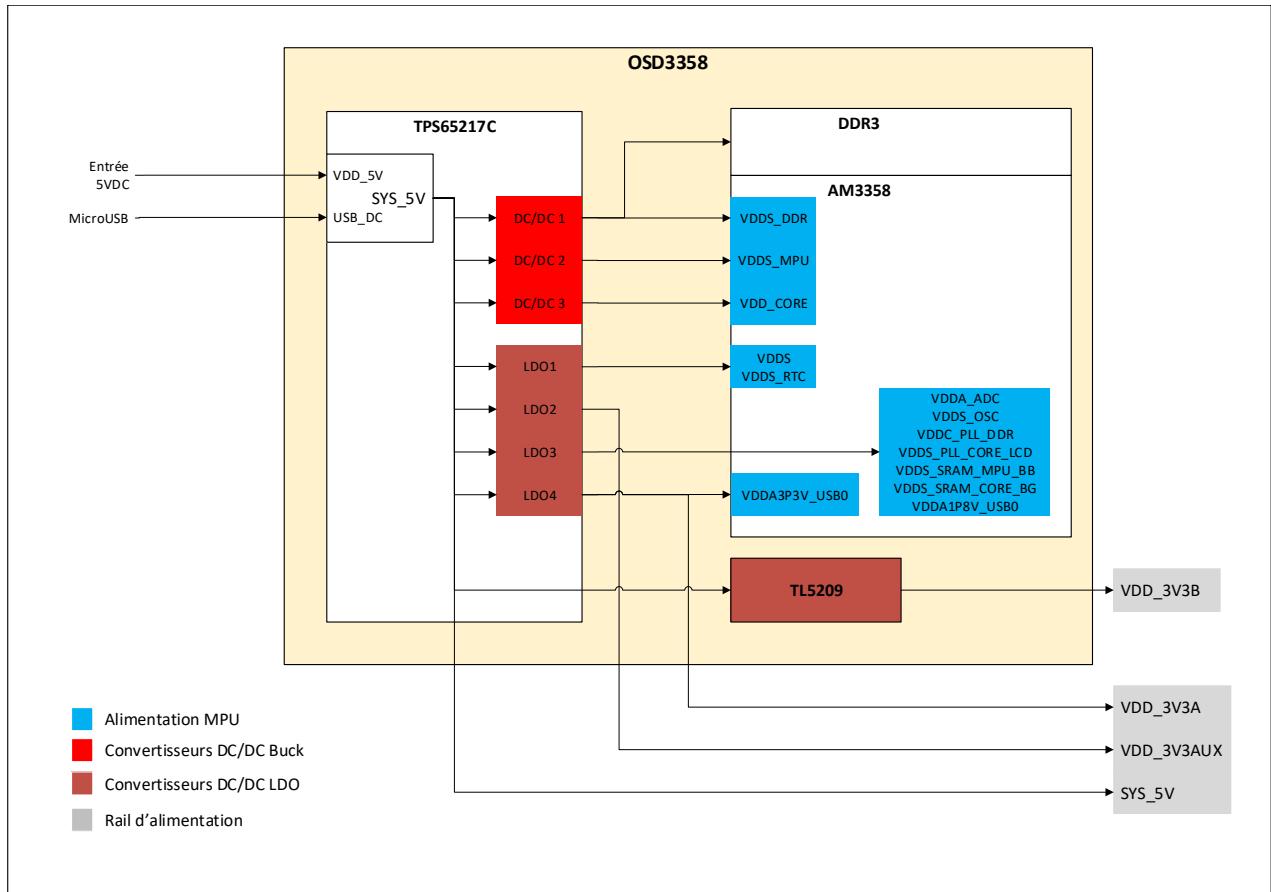


Fig. 2.1.: Schéma bloc de l'étage d'alimentation

Le module OSD3358-SM possède trois entrées différentes permettant d'alimenter le processeur par ordre de priorité :

- *VIN_AC*, Alimentation primaire, 5VDC
- *VIN_USB*, Alimentation secondaire, 5VDC
- *VIN_BAT*, Batterie 1 cellule Li-ion ou LiPo, 3.7V

Une de ces trois entrées est en permanence connectée à la sortie *SYS_VOUT (SYS_5V)*

2.2.1. Alimentation primaire **VDD_5V (VIN_AC)**

L'alimentation primaire a été conçue pour le branchement d'un adaptateur secteur 230VAC/5VDC.¹

Cette entrée est utilisée en priorité et doit pouvoir fournir jusqu'à 2 A en permanence.

2.2.2. Alimentation secondaire **USB_DC (VIN_USB)**

L'alimentation secondaire est utilisée lorsque l'alimentation primaire n'est pas connectée. Cette entrée a été conçue pour l'alimentation du processeur à l'aide d'un port USB 2.0 standard à 500 mA. Le système d'exploitation à la possibilité d'augmenter la limitation de courant à 1.1 A en modifiant la configuration du PMIC via le bus *I²C*.

1. L'entrée *VIN_AC* n'est pas compatible avec une alimentation 5VAC. Texas Instrument utilise le préfixe AC pour indiquer que cette entrée s'utilise généralement avec adaptateur secteur

2.2.3. Chargeur/Alimentation par batterie (VIN_BAT)

Le module de gestion de l'alimentation du processeur intègre un chargeur de batterie. Cependant, il n'est pas conseillé de l'utiliser pour les raisons suivantes : [3]

- Lorsque le processeur demande au module de gestion de l'alimentation de s'éteindre, les entrées *VIN_AC* et *VIN_USB* se déconnectent, mais la sortie *SYS_5V* reste alimentée par la batterie.
- Le convertisseur TL5209 qui fournit la sortie *VDD_3V3B*, utilise l'alimentation *VDD_3V3A* comme signale d'activation. Lors de la séquence de mise hors tension, si une batterie est connectée, le régulateur de l'alimentation *VDD_3V3A* est coupé. Cependant, la tension résiduelle sur le rail d'alimentation *VDD_3V3A* n'éteint pas le régulateur *VDD_3V3B*. Celui-ci maintient le processeur en tension en l'alimentant à travers des broches de la périphérie, ce qui maintient le rail *VDD_3V3A* et peu endommager le processeur.
- La batterie est considérée comme suffisamment chargée avec au minimum 3.3V. Avec une tension aussi basse, les régulateurs 3.3V de type LDO sont hors de leur zone de travail.



Ne pas connecter de batterie sur l'entrée *VIN_BAT* afin d'éviter d'endommager le processeur.

2.2.4. Sortie d'alimentation *SYS_5V*

Le rail d'alimentation *SYS_5V* alimente en 5V les deux ports d'extensions MikroBus. Jusqu'à 500mA peuvent être utilisés sur ce rail.

2.2.5. Sortie d'alimentation *VDD_3V3A*

Le rail d'alimentation *VDD_3V3A* est utilisé comme source d'alimentation des modules périphériques du processeurs. Ce rail ne doit pas être utiliser pour alimenter un module externe.

2.2.6. Sortie d'alimentation *VDD_3V3B*

Le rail d'alimentation *VDD_3V3B* n'est pas utilisé par le processeur. Il sert à l'alimentation du hub USB et des cartes mikrobus. Jusqu'à 500mA peuvent être utilisés sur ce rail.

2.2.7. Sortie d'alimentation *VDD_3V3AUX*

Le rail d'alimentation *VDD_3V3AUX* est limité à 100mA. Sur la carte de ce projet, il est utilisé pour alimenter en permanence une led.

2.2.8. Surveillance de l'alimentation et Watchdog

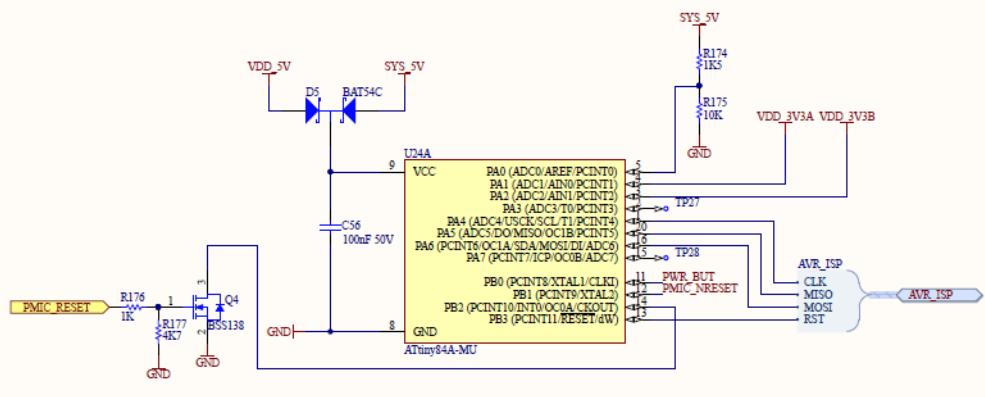


Fig. 2.2.: Microprocesseur pour la surveillance de l'alimentation et la fonction Watchdog

Le processeur AM3358 possède un Watchdog interne qui provoque une ré-initialisation à chaud (Warm Reset)² du processeur. Ce procédé n'as pas été jugé suffisant pour répondre au besoin de l'entreprise bolay.co, car il ne provoque pas une ré-initialisation de tous les modules présents sur les cartes et sur les ports d'extension. Ce référencer à l'annexe B pour plus d'information sur le Watchdog interne.

Le module d'alimentation TPS65217C possède une entrée de ré-initialisations qui permet d'effectuer une ré-initialisation à froid de toute la carte en déconnectant toutes les alimentations. A noter que cette entrée doit être tenue à l'état bas suffisamment longtemps pour permettre le déchargement de tous les condensateurs présents sur la carte.

Afin d'utiliser ce procédé, un microprocesseur de type Microchip (anciennement Atmel) ATtiny84A a été ajouté. Ce processeur est alimenté en permanence soit par l'entrée *VDD_5V*, soit par l'entrée *SYS_5V*. Cette deuxième source d'alimentation a été ajoutée afin d'assurer que le microprocesseur soit alimenté en permanence, même lorsque l'entrée *VDD_5V* n'est pas utilisée.

En effet, les broches d'entrées/sorties de ce processeur possèdes des diodes de protection contre les surtensions ESD qui se mettent à conduire si la tension de la broche d'entrée/sortie devient plus grande que la tension d'alimentation, ce qui en cas de durée prolongée endommage le microprocesseur.

Un signal allant du processeur au microprocesseur est commuté en permanence afin de signaler au microprocesseur que le processeur est toujours actif. Si ce signal ne commute plus, le microprocesseur provoque une coupure d'alimentation de la carte en maintenant le signal de reset du module d'alimentation à l'état bas. Le microprocesseur peut ensuite mesurer les tensions de plusieurs alimentations importantes pour s'assurer que les condensateurs ont eu suffisamment de temps pour se décharger, puis il peut relâcher le signal reset, afin de provoquer un redémarrage de la carte.

2. C'est à dire un reset sans coupure d'alimentation

2.3. Ports Ethernet

Les processeurs de la série AM335x intègre un commutateur (switch) ethernet natif à trois port appelé TI Common Platform Ethernet (CPSW), ayant les fonctionnalités suivantes :[18]

- Un port interne pour la connexion avec le processeur
- Deux ports externes
- Mode 10/100/1000 avec auto-négociation
- glsVLAN
- Mode commutateur
- Mode dual EMAC

Les deux ports externes nécessite l'ajout d'un PHY. Le périphérique interne permet d'utiliser de connecter un PHY à l'aide d'un des protocoles suivants :[23]

- Media-independent interface (MII) et Management Data Input/Output (MDIO)
- Reduced gigabit media-independent interface (RGMII) et MDIO
- Reduced Media-independent interface (RMII) et MDIO



Le mode dual EMAC permet de gérer séparément les deux ports Ethernet, ce qui utile pour implémenter un par-feu ou un pont entre deux réseaux différent. Il est cependant important de noté que ce mode n'est pas natif. Le contrôleur Ethernet utilise la technologie Réseau local virtuel (VLAN) pour tagger les paquets en provenance des ports Ethernet externe, ce qui permet au processeur de les différentier. Cependant cette technique peut avoir des limitations si elle est utilisées avec du matériel non compatible VLAN.

2.3.1. Adresse MAC

Le processeur AM3358 contient deux ou trois adresses MAC unique dans sa mémoire morte, accessible au adresses suivantes :

- ADR1 : 0x44E10630
- ADR2 : 0x44E10638

Dans les premières versions du processeurs, les deux adresses sont attribuée dans l'ordre, c'est à dire que $ADR2 = ADR1 + 1$. Dans les dernières versions, les adresses sont attribuée selon l'équation $ADR2 = ADR1 + 2$. Cette technique permet de mettre à disposition une troisième adresse MAC unique, $ADR3 = ADR1 + 1 = ADR2 - 2$. [22]

2.3.2. Sur la carte TerraNova

Initialement, la carte TerraNova devait posséder deux ports ethernets Gigabit, en utilisant le même PHY que sur la carte AM335x Starter Kit (EVM) de Texas Instruments [24], afin de bénéficier d'un bon support logiciel. Cependant, cette solution n'a pas pu être utilisée car la carte EVM est basée sur PHY Qualcom (anciennement Atheros) AR8031 qui n'était pas disponible en stock chez les fournisseurs habituel.³

Il a donc été décider d'utiliser un PHY 10/100 de type Microchip (anciennement Micrel) LAN8710A. Ce PHY est utilisé pour le port ethernet de la carte Beaglebone Black [4].

A noter qu'un problème sur la gestion du reset du PHY LAN8710A sur la carte Beaglebone Black a récemment été trouvés, ce qui demande un changement hardware [2].

3. Ce problème semble aujourd'hui résolut avec 7000 pièces disponible chez Arrow au 23.06.2018.

2.4. Contrôleur USB

2.4.1. Contrôleur USB du processeur AM3358

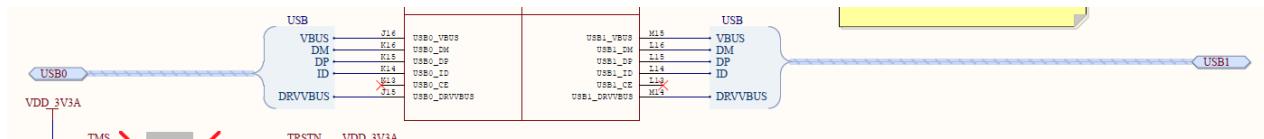


Fig. 2.3.: Port USB0 et USB1 du processeur

Le processeur possède deux port USB natif, *USB0* et *USB1*, avec les fonctionnalité suivante :[23, ch. 16, p. 2557]

- Mode USB hôte 2.0 - High/Full/Low speed
- Mode Phérique USB 2.0 - High/Full speed
- Changement de mode selon la norme USB On-The-Go (USB OTG)

Broches *USBn_DP* et *USBn_DM*

La paire différentiel *USBn_DP* et *USBn_DM* est utilisée pour la transmission de donnée selon le protocole USB.



Le contrôleur a la capacité d'inverser la polarité de ces deux broches afin de simplifier le routage, cependant Texas Instrument recommande dans leur errata d'utiliser la broche *DP* comme signal positif et *DM* comme signal négatif afin de permettre le démarrage par USB, car le code de démarrage en mémoire morte ne supporte pas cette option. [27, ch. 3.1.3, p.9]

Broche *USBn_ID*

La broche *USBn_ID* permet de sélectionner le mode hôte ou le mode périphérique. En mode USB OTG, cette broche doit être reliée sur la broche ID d'un connecteur MiniUSB type AB ou MicroUSB type AB. Les connecteurs de type A ou de type B ne peuvent pas être utilisée avec la norme OTG, car il sont mono-mode.

Si la norme OTG n'est pas utilisée, la broche doit être utilisée de la manière suivante :

Tableau 2.1.: Sélection du mode USB hôte ou périphérique

Connexion	Mode
Flottant	Périphérique
Pull-down	Hôte

Broche *USBn_DRVBUS*

La sortie *USBn_DRVBUS* est utilisée pour activer ou désactiver la sortie d'alimentation 5V sur un connecteur USB externe.

Cette fonctionnalité est utilisée pour les cas suivant :

- Pour fournir l'alimentation 5V uniquement lorsque le mode hôte (Utile pour le mode OTG)
- Pour permettre d'économiser de l'énergie en coupant l'alimentation d'un périphérique USB

Broche USBn_VBUS

En mode périphérique, l'entrée *USBn_VBUS* est utilisée pour détecter la connexion d'un hôte. En mode hôte, elle est utilisée conjointement avec la sortie *USBn_DRVBUS* afin de détecter de la présence ou non d'un circuit externe permettant de couper l'alimentation du port USB

Broche USBn_CE

Dans le mode périphérique, le contrôleur USB possède une sortie *USBn_CE* qui devient active lorsque le branchement d'un chargeur est détecté.⁴

Comme nous n'avons pas l'utilité de cette détection et que cette sortie n'est pas multiplexée avec un autre périphérique, la broche n'est pas utilisée.

4. Valable uniquement pour les chargeurs compatible avec la norme USB 2.0 - Battery Charging Specification 1.1

2.4.2. Utilisation du port USB0

Le port *USB0* est connecté à un connecteur MiniUSB Type AB supportant le mode OTG.

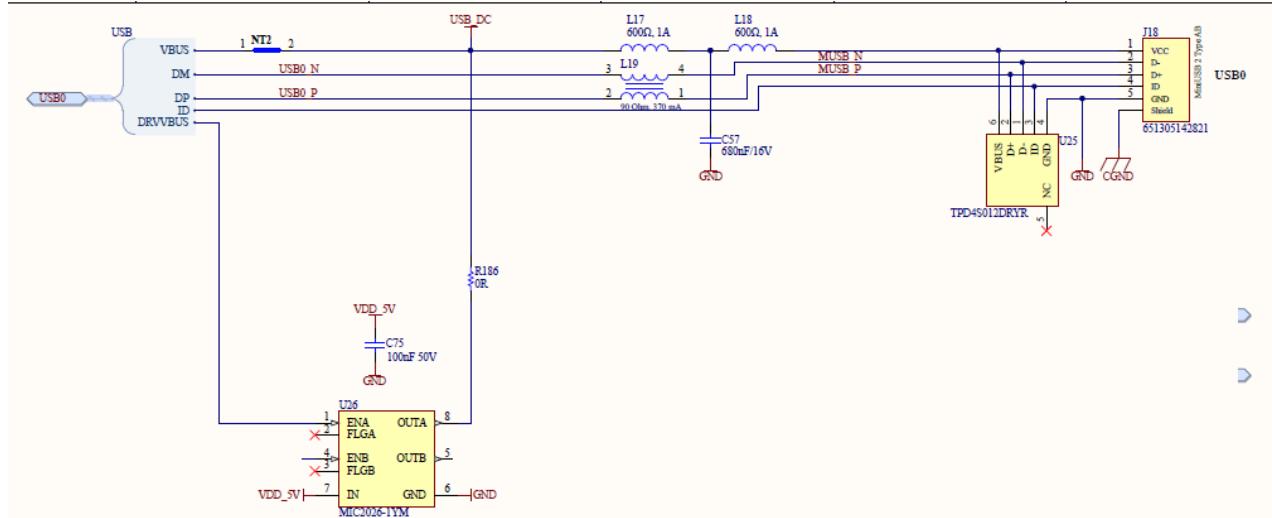


Fig. 2.4.: Utilisation du port USB0

Un Power Switch de type Microchip MIC2026 est utilisé pour activer ou désactiver la sortie d'alimentation du port USB. Ce composant a une limitation de courant interne se déclenchant entre 0.5 A à 1.25 A.

De plus, la ligne d'alimentation est connectée sur l'entrée d'alimentation secondaire du module OSD3358-SM, permettant d'alimenter une partie de la carte en la brochant à un ordinateur, ce qui est utile pour la programmation du module.

En branchant ce port à un ordinateur et en utilisant le driver USB Gadget de Linux, il est possible de faire apparaître la carte comme :



- une clé USB avec par exemple le contenu de la carte MicroSD secondaire et/ou
- un port Ethernet virtuel et/ou
- un port RS-232 virtuel et/ou
- un clavier et/ou
- une souris

2.4.3. Utilisation du port USB1

Le port *USB1* est connectée à un hub USB à quatre port, décris dans la section suivante.

2.5. Hub USB à quatre port

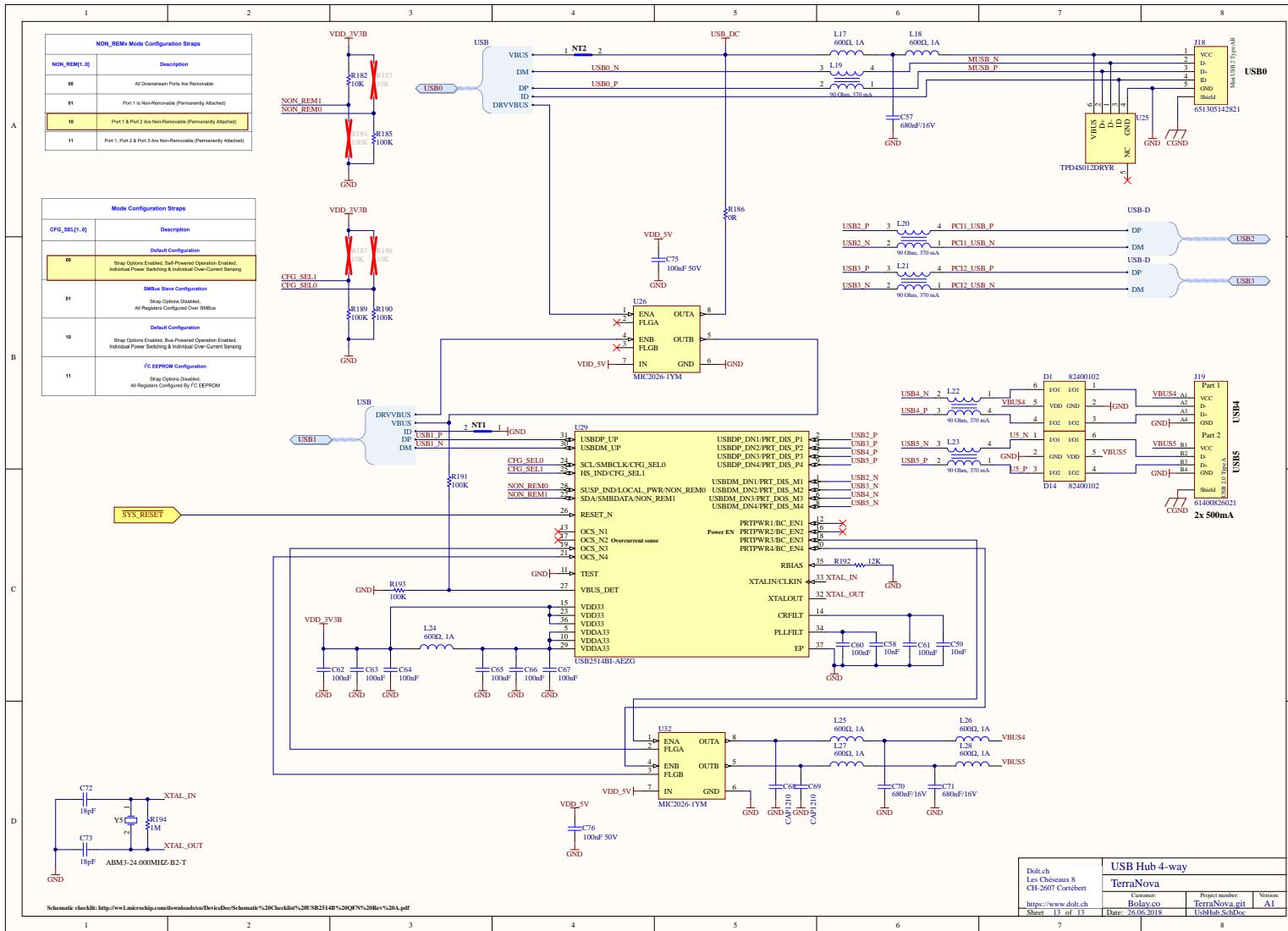


Fig. 2.5.: Hub USB

2.5.1. Alimentation du hub USB

Afin de pouvoir délivrer suffisamment de courant au deux ports USB externe, l'alimentation de puissance du hub USB a été connectée à l'entrée d'alimentation 5V principale. La partie logique du hub est alimentée en permanence



Le hub ne fonctionne pas lorsque la carte est alimentée à travers du connecteur MiniUSB.

2.5.2. Port USB2 et USB3 (Hub USB sortie 1 et 2)

Les ports USB 2 et 3 sont connecté aux connecteurs MiniPCIExpress 1.

Selon la norme MiniPCIExpress 1.3, le port USB d'un connecteur MiniPCI sont non détachable et n'utilise pas l'alimentation 5V de la ligne VBUS. Les broches *PRTPWR1*, *PRTPWR2*, *OCS_N1* et *OCS_N2* du hub ne sont donc pas utilisée.

2.5.3. Port USB4 et USB5 (Hub USB sortie 3 et 4)

Les ports USB 4 et 5 reliés aux connecteurs externe USB4 et USB5.

Ces ports étant détachable, les broches *PRTPWR3*, *PRTPWR3* sont utilisée pour enclencher/déclencher un power switch de type MIC2026. En cas de limitation de courrant dans le power switch, l'information est transmise au hub via les broches *OCS_N3* et *OCS_N4*.

2.5.4. Configuration du hub USB

Les broches *CFG_SEL1* permet de choisir entre deux mode de configuration différente :

Tableau 2.2.: Sélection du mode de configuration

<i>CFG_SEL0</i>	Mode
0b	Configuration via les pins <i>CFG_SEL1</i> , <i>NON_REM0</i> et <i>NON_REM1</i>
1b	Configuration via eeprom I^2C ou via le protocole SMBUS

Le mode de configuration basique suffit pour notre cas d'utilisation, la ligne *CFG_SEL0* est donc mise à zéro via un résistance de tirage à la masse.

Tableau 2.3.: Sélection du mode d'alimentation

<i>CFG_SEL1</i>	Configuration
0b	Alimentation permanente de la partie logique du hub
1b	Alimentation du hub détachable

Comme notre hub est embarqué sur notre carte, et n'as donc pas d'alimentation détachable, la broche *CFG_SEL1* est mise à la masse par une résistance de pull-down.

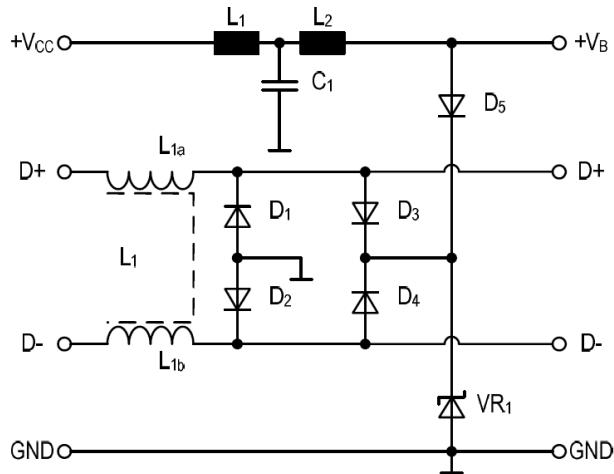
Tableau 2.4.: Sélection du mode d'alimentation

<i>NON_REM[1..0]</i>	Configuration
00b	Tous les ports sont détachable
01b	Le port 1 est non-détachable
10b	Les ports 1 et 2 ne sont pas détachable
11b	Les ports 1, 2 et 3 ne sont pas détachable

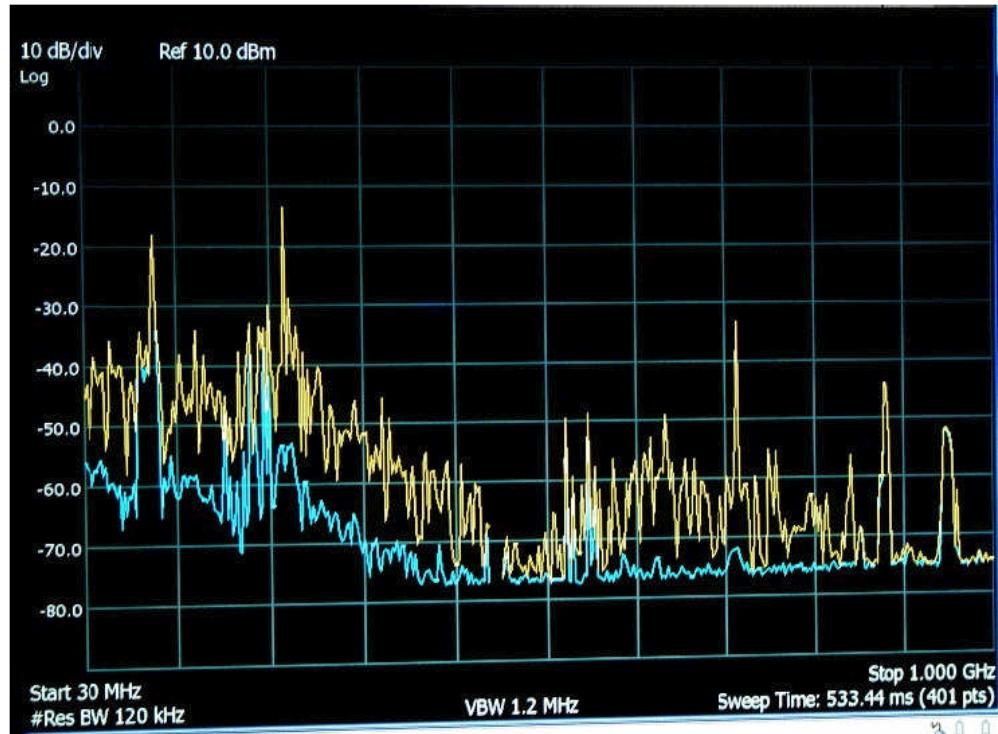
Les ports 1 et 2 (USB2 et USB3) doivent être marqué comme non-détachable afin de respecter la norme MiniPCIEexpress 1.3. La ligne *NON_REM1* est donc tirée vers le haut par une résistance de pull-up, et la ligne *NON_REMO* tirée vers le bas via une résistance de pull-down.

2.5.5. Filtre EMC et protection ESD

Le filtre EMC et la protection ESD des trois ports USB externe utilise la solution standard de la société Wurth Electronik, telle que présenter dans leur guide *The USB Interface from EMC Point of View*.[31]



(a) Filtre EMC avec protection ESD



(b) Spectre d'émission de la ligne *D+* avec (jaune) et sans (bleu) filtre EMC

Fig. 2.6.: Filtre EMC et protection ESD d'un port USB 2.0
Source : Wurth Elektronik

2.6. Display Parallel Interface et paramètre de démarrage

2.6.1. Paramètres de démarrage

Le processeur AM3358 utilise 16 lignes de paramétrage SYSBOOT[0 :15] qui sont lues au début de la séquence d'initialisation du processeur. Les 16 lignes sont multiplexées avec les lignes de données de l'afficheur LCD_DATA[0 :15]. Sur notre carte, chaque ligne peut être polarisée vers le haut ou le bas via une série de résistance, certaine étant montée par défaut, d'autre non comme le montre la figure 2.7.

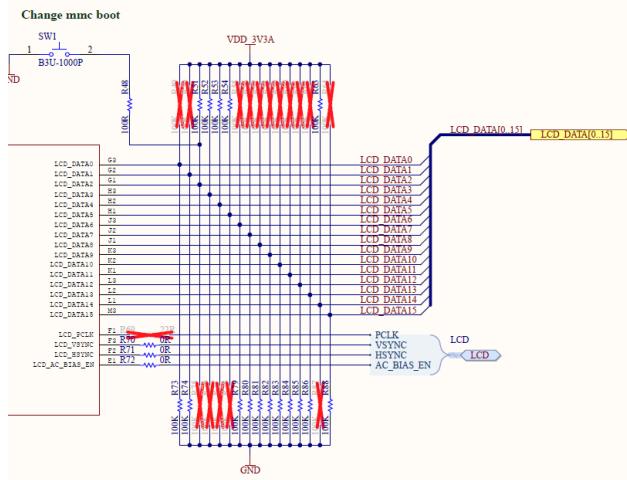


Fig. 2.7.: Paramètre de démarrage

Configuration de l'ordre de démarrage

Tableau 2.5.: Configuration du démarrage, MSB [23]

SYSBOOT[15 :14]	SYSBOOT[13 :12]	SYSBOOT[11 :10]	SYSBOOT[9]	SYSBOOT[8]
00b = 19.2 MHz	00b	XIP :	NAND :	0b = Mode 8-bit
01b = 24 MHz		00b = non multiplexé	0b = Software ECC	1b = Mode 16-bit
10b = 25 MHz		10b = multiplexé	1b = Hardware ECC	
11b = 26 MHz		Autre : 0b00		

Tableau 2.6.: Configuration du démarrage, LSB [23]

SYSBOOT[7 :6]	SYSBOOT[5]	SYSBOOT[4 :0]
00b = MII	0b = CLKOUT1 désactivé	Ordre de démarrage :
01b = RMII	1b = CLKOUT1 activé	0b11100 = MMC1, MMC0, UART0, USB0
10b = Reservé		0b11000 = SPI0, MMC0, USB0, UART0
11b = RGMII sans délais		...

Comme montrés dans le tableau 2.6, la configuration par défaut essaie tous d'abord de charger le bootloader depuis le port MMC1, ce qui correspond sur notre carte à la carte MicroSD du connecteur J3. Si le chargeur de démarrage n'est pas trouvés dans cette carte microSD, le processeur va essayer sur le port MMC0, ce qui correspond à la carte MicroSD du connecteur J2.

Le bouton SW1 de la figure 2.7 permet de changer l'ordre de démarrage en essayant d'abords le port SPI0 ensuite le port MMC0. Cette configuration permet de démarrer depuis la deuxième carte MicroSD même si la première contient un chargeur de démarrage valide, pour autant qu'aucune carte d'extension ne réponde sur le port SPI0.

2.6.2. Connecteur pour écran tactile

La connexion d'un écran tactile résistif est possible grâce à un connecteur 40-pin pour câble plat. Ce connecteur a été choisi car il est utilisé par plusieurs constructeurs d'écran tactile, en faisant un standard de-facto pour la connection de ce type d'écran.[29]

Écran LCD

Le contrôleur LCD du processeur supporte :[23, p. 1923]

- Jusqu'à 24bit parallèle de donnée (RGB avec 8 bit par pixels)
- Jusqu'à une résolution de 2048x2048 pixels
- Affichage LCD dit "Character LCD" à deux lignes de type Hitachi, Motorola ou Intel
- Affichage LCD dit "Character LCD" à une ligne de type Motorola ou Intel
- Panneau LCD passif de type STN, DSTN et C-DSTN
- Panneau LCD actif de TN TFT
- Panneau OLED passif de type PM OLED avec un contrôleur externe
- Panneau OLED actif de type AM OLED

A noter que suite à problème de conception du processeur, l'ordre des bits entre le mode LCD-16bits et le mode LCD-24bits n'est pas compatible [27, p. 8]. Il n'est donc pas possible de connecter un écran 16 bits si la carte est prévue pour un écran 24 bits.

Afin d'économiser 8 broches, il a été décidé d'utiliser le mode 16 bits. Les bits non-utilisés du mode 24-bits sont mis à la masse sur le connecteur, permettant le branchement d'écran 16 ou 24 bits, comme le montre la figure 2.8.

Contrôleur pour écran tactile et convertisseur ADC

Le processeur contient un contrôleur pour écran tactile qui support la connexion d'une dalle tactile résistive à 3, 4 ou 8 fils. Ce contrôleur est aussi utilisée comme convertisseur analogique digitale.

Il est important de noter que le contrôleur possède deux problèmes de conception important listé dans le fichier errata :

- Fausse détection de l'interruption Pen-up [27, Advisory 1.0.31, p. 33]
- Mise en cours circuits des broches de l'ADC lors de la séquence de démarrage [27, Advisory 1.0.32, p. 35]

Le premier problème peut être contourner par le logiciel lors de l'emploi d'une dalle résistive à quatre fils. Le deuxième problème se présente uniquement lors du branchement d'une source à basse impédance sur une des entrées analogiques, ce qui n'est pas le cas lors du branchement d'un écran tactile.



En cas de création d'une carte d'extension se connectant sur le connecteur pour écran et utilisant les entrées ADC, il est important de placer des résistances d'environ 100 ohm en séries sur chaque ligne analogique , telle que recommandé par Texas Instrument. [27, Advisory 1.0.32, p. 35]

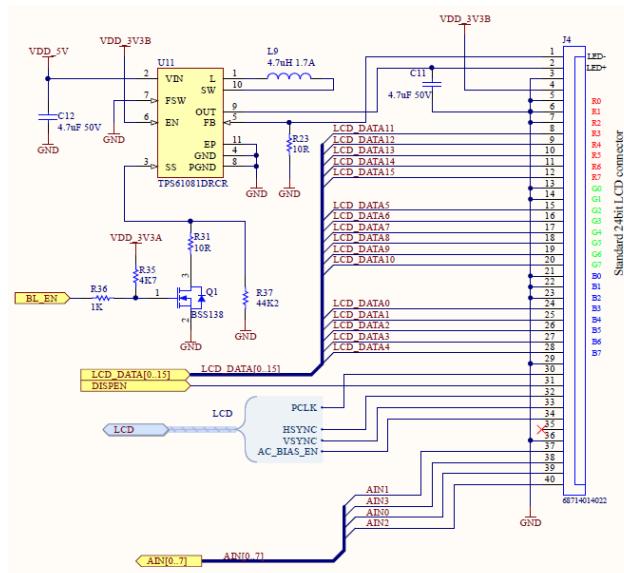


Fig. 2.8.: Connecteur pour écran tactile

Rétro-éclairage

L'alimentation du rétro-éclairage est fournis par une source de courant constante utilisant un convertisseur de type Boost (composant U11, TPS61081) afin de pouvoir alimenter plusieurs led en série, avec une tension totale allant jusqu'à 27V.

La résistance R23 permet le réglage du courant.

$$I_{LED} = \frac{U_{FEEDBACK}}{R_{23}} = \frac{1.229 \text{ V}}{R_{23}} = \frac{1.229 \text{ V}}{10 \Omega} = 123mA \quad (2.1)$$

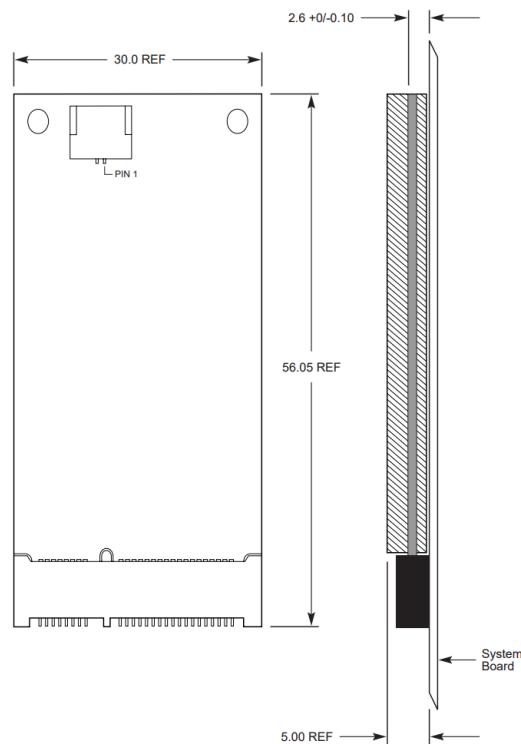


La valeur de R_{23} doit être ajustée en fonction des caractéristiques de l'écran tactile

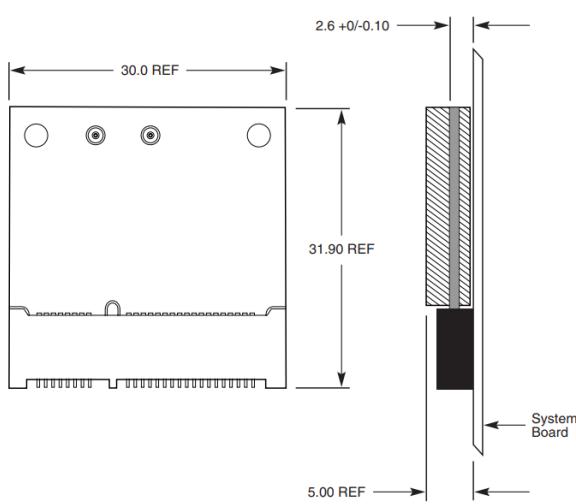
2.7. Connecteur MiniPCI Express

2.7.1. Facteur de forme et dimension

Il existe deux tailles différentes de carte selon la spécification PCI Express mini Card v. 1.3 [15] :



(a) Carte au format Full-Minicard



(b) Carte au format Half-Minicard

Fig. 2.9.: Format des cartes selon la norme PCI Express miniCard v. 1.2
Source : Groupe PCI-SIG

Pour obtenir un compatibilité avec les deux types de cartes, nous avons utilisés un montage générique telle que présenté dans la norme Mini PCI Express :

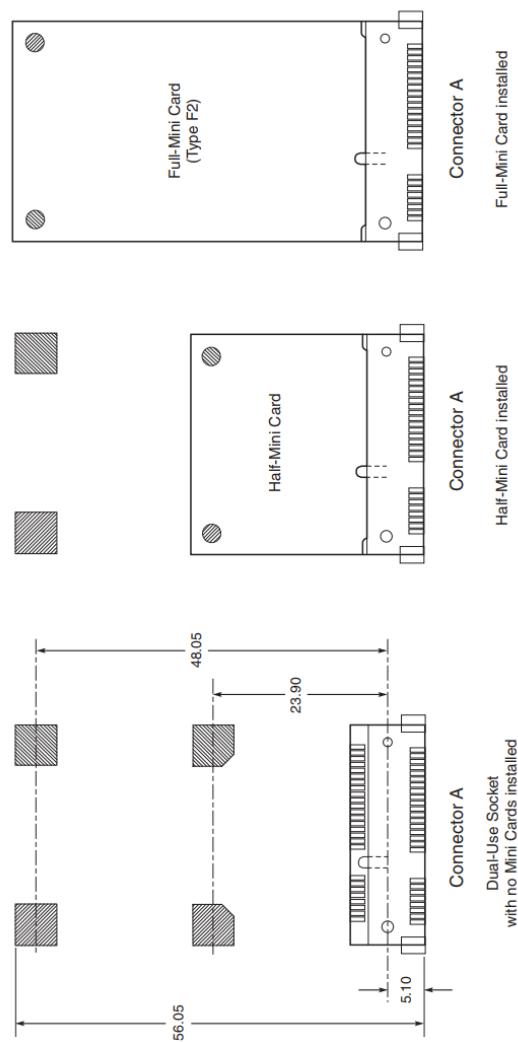


Fig. 2.10.: Emplacement générique pour carte PCI Express miniCard
Source : Groupe PCI-SIG

2.7.2. Alimentation du port d'extension miniPCI Express

Les caractéristiques de l'alimentation du port d'extension miniPCI Express doit correspondre au point suivant [15] :

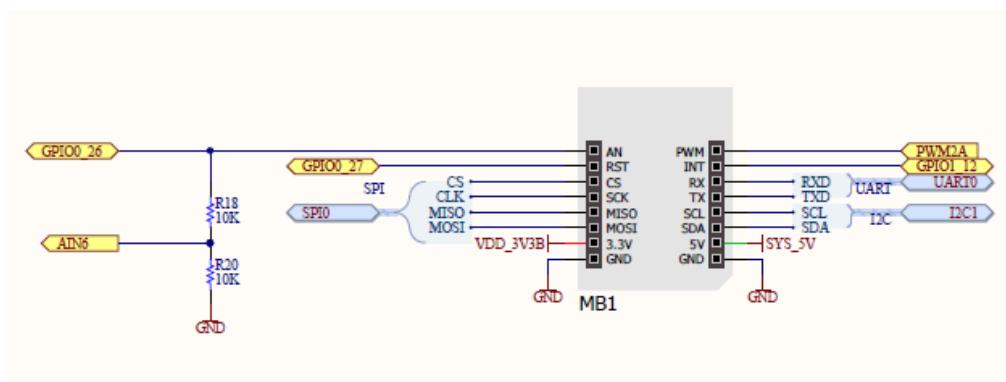
- Tension nominale de 3.3 V, $\pm 9\%$
- Courant nominal de 1.1 A
- Courant d'enclenchement et de pointe à maximum 2.75 A
- Signal de réinitialisation tenu à zéro tant que l'alimentation n'est pas stable (Signal Power Good)

Afin de répondre à ces exigences, le régulateur linéaire LDO MCP1727 de Microchip a été sélectionné. Il possède les caractéristiques suivante :

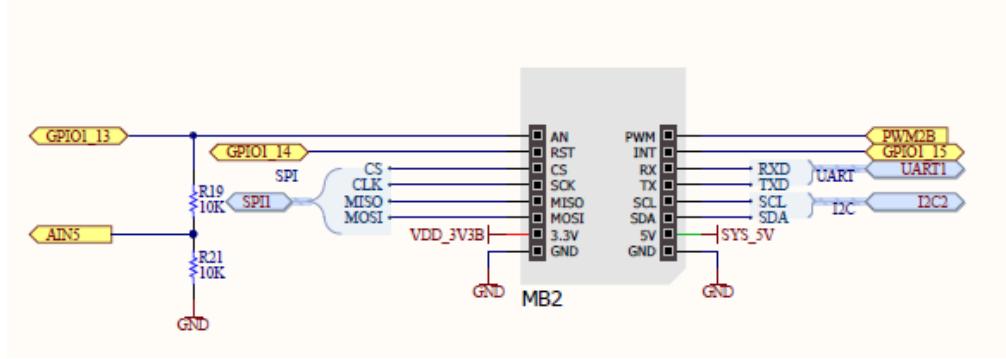
- Tension nominale de 3.3 V, $\pm 2.5\%$
- Courant nominal de 1.5 A
- Courant d'enclenchement et de pointe à maximum 2.2 A
- Sortie Power Good

Un condensateur a été rajouter afin de permettre à ce composant d'atteindre les piques de courants à 2.75 A.

2.8. Mikrobus



(a) Connecteur d'extension MikroBus n° 1



(b) Connecteur d'extension MikroBus n° 2



Les diviseurs de tension sur les entrées analogiques sont nécessaire, car les entrées A/N5 et A/N6 supporte au maximum 1.8 V

Il existe trois tailles différentes pour le Mikrobus.

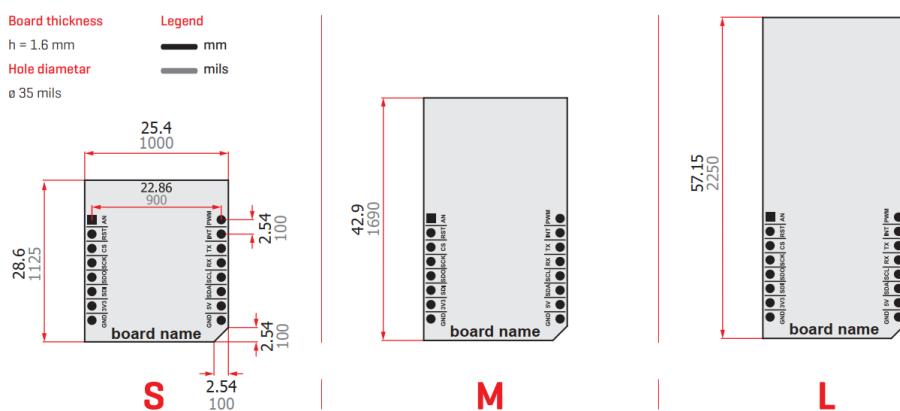
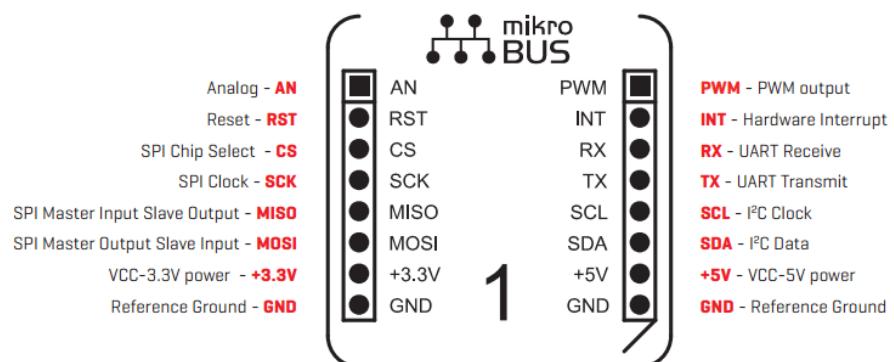


Fig. 2.12.: Mikrobus
Source : Mikroe

Voici les spécifications des Pinout :



Pin functions/silkscreen markings for the socket [see page 11 for how to mark add-on boards]

Fig. 2.13.: Signaux utilisable par une carte Mikrobus
Source : Mikroe

2.9. Connecteur MicroSD

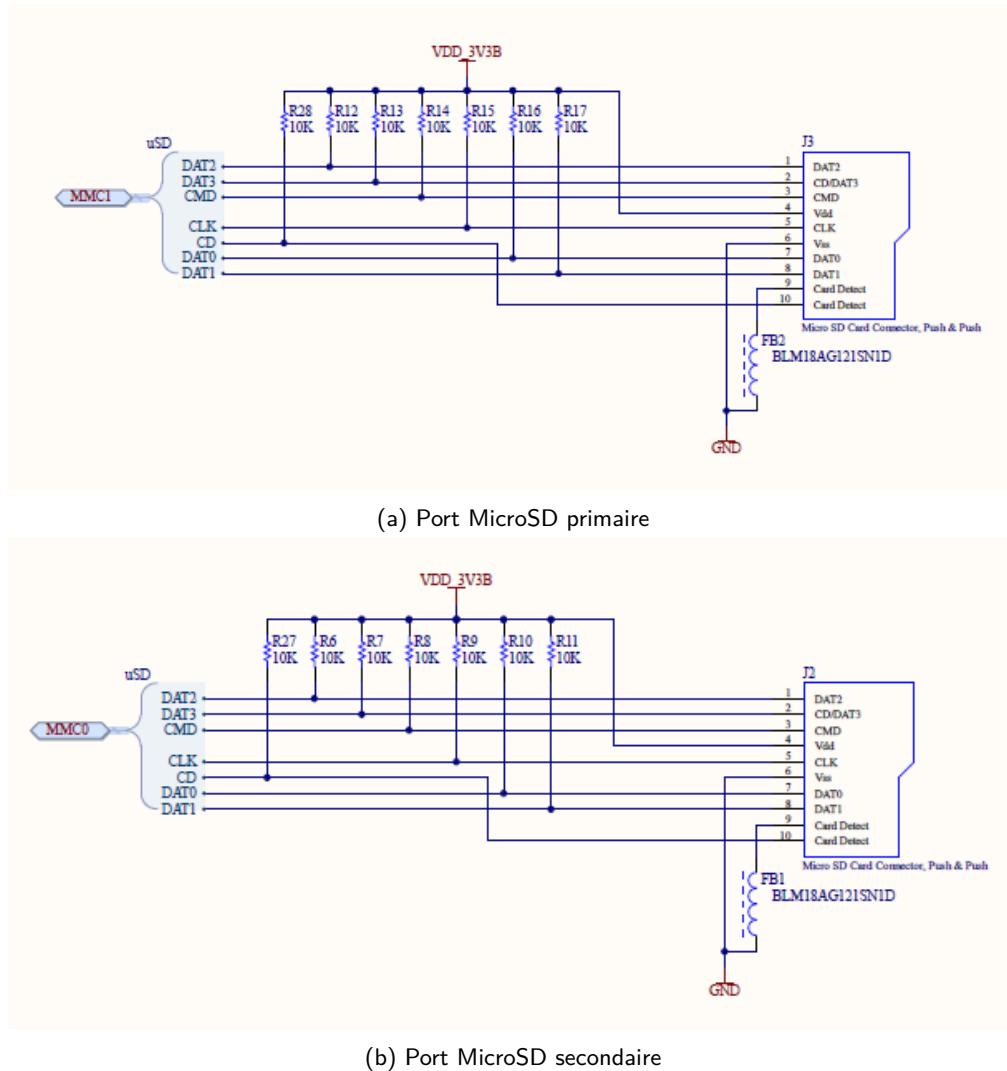


Fig. 2.14.: Emplacement pour cartes MicroSD

Au démarrage, le disque primaire à la priorité sur le disque secondaire, voir section 2.6.1

2.10. Assignation des broches du processeurs

Chaque broche du processeur AM3358 est multiplexée entre plusieurs signaux (jusqu'à 10) en provenance de plusieurs périphériques internes. De plus, chaque broche appartient à une série de broches appelée bank par Texas Instrument et chaque bank peut être alimenté en 3.3V ou en 1.8V.

Chaque périphérique est composé de plusieurs signaux, qui peuvent être connecté à des broches se trouvant sur des bank différents, mais il est important d'avoir la même tension d'alimentation sur chaque bank utilisée par un même périphérique.

Comme il y a énormément de possibilité, avec un grand risque d'erreur, Texas Instrument met à disposition un programme permettant l'assignement automatique ou manuel des broches, avec un contrôle des tensions d'alimentations.

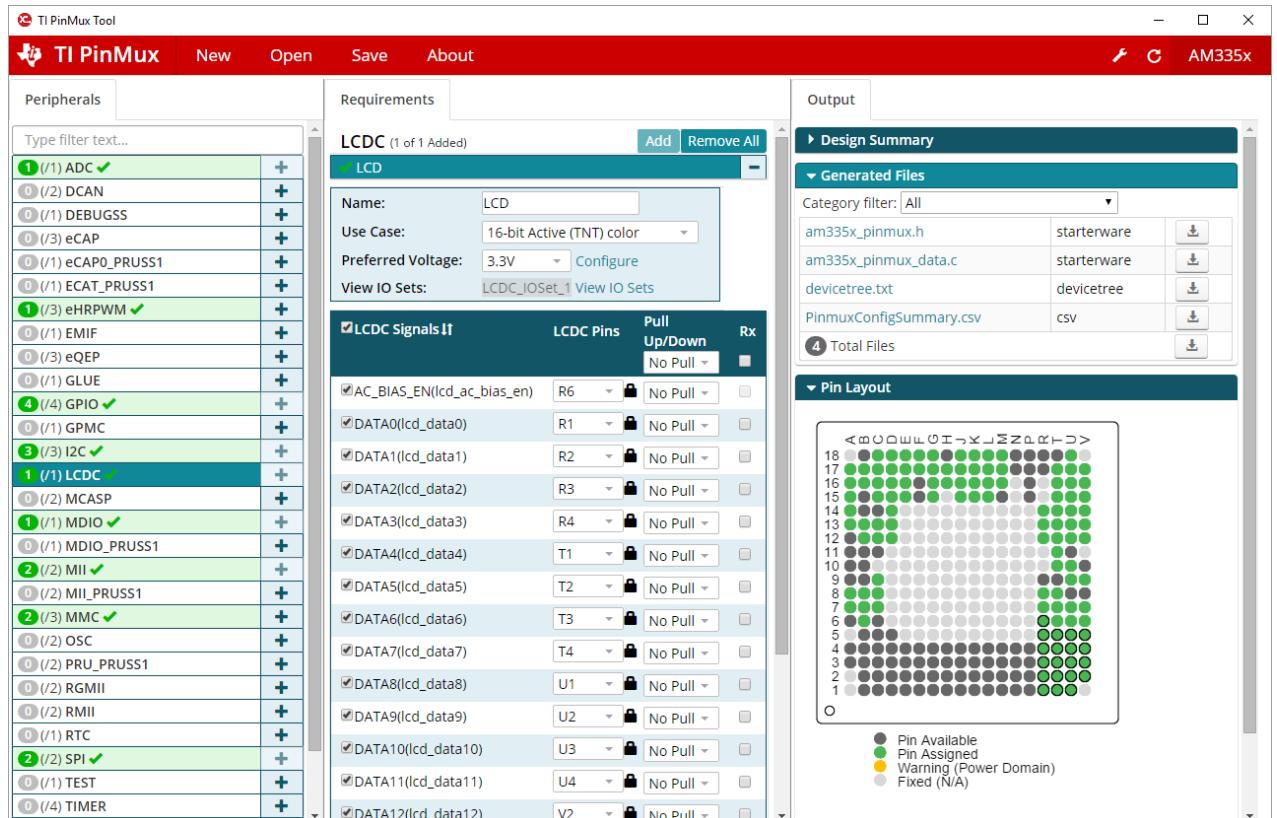


Fig. 2.15.: Texas Instrument PinMux Tool

Avec ce programme et la documentation du processeur, nous avons pu commencer par fixer un certain nombre de périphériques, qui ont la particularité d'avoir des signaux qui sont uniquement disponibles sur une seul broche :

- Contrôleur d'écran LCD
- Contrôleur d'écran tactile résistive et convertisseur ADC
- Ports Ethernet
- Cartes MicroSD
- Ports USB
- JTAG
- Oscillateurs

Le broche pouvant facilement être déplacée sont celle utilise pour les ports d'extensions MikroBus, avec notamment :

- UART
- Bus CAN
- I^2C
- SPI
- PWM

Après un peu d'observation sur les différentes possibilités restantes, nous avons fixer les signaux suivants :

- UART0
- I2C1
- UART 1
- I2C2

Ces signaux sont utilisés sur les ports d'extension MikroBus et permettent d'étendre le standard MikroBus de manière symétrique de la manière suivante :

- La ligne SDA de l'I2C peuvent être utilisée comme signal CTS de l'UART ou comme signal CAN_H du bus CAN
- La ligne SCL de l'I2C peuvent être utilisée comme signal CTS de l'UART ou comme signal CAN_L du bus CAN

Une fois ces broches fixées, il ne restait plus qu'une possibilité pour les signaux SPI0 et SPI1 qui sont utilisée pour les cartes d'extension MikroBus. Le restant des broches étant utilisée comme GPIO.

3. Routage et placement

3.1. Choix du boîtier

Après avoir discuté de plusieurs alternatives avec l'entreprise Bolay.co, il a été décidé de garder le même boîtier que celui utilisé sur leur électronique actuel.

Ce boîtier peut contenir un circuit de 10x10cm.

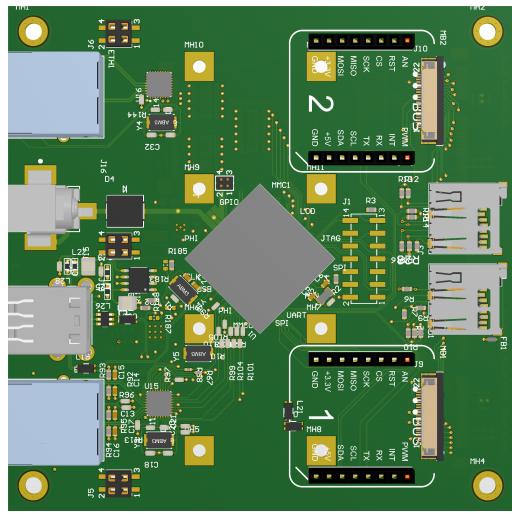
3.2. Placement des composants

Pour le placement des composants, nous avons tous d'abords placé les connecteurs d'alimentation, les connecteurs USB et les connecteurs Ethernet à l'arrière du PCB.

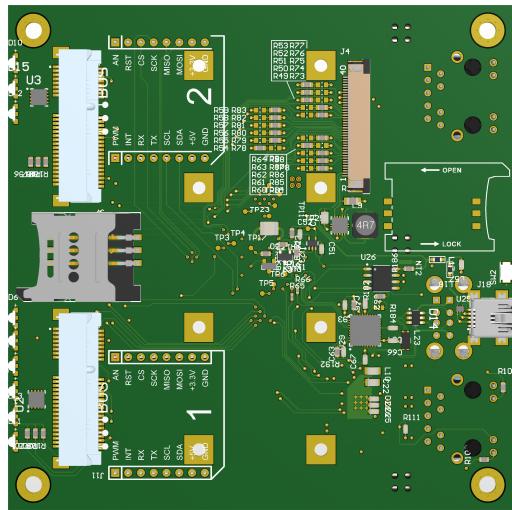
Ensuite, les emplacements pour les cartes MiniPCI et les cartes Mikroe ont été placé dans la zone opposée, avec les MiniPCI sur le coté arrière. Avec cette configuration, le processeur peut être placé au centre de la carte, avec une rotation de 45°.



Fig. 3.1.: Boîtier actuel



(a) Coté TOP



(b) Coté BOTTOM

Fig. 3.2.: Placement des composants

4. Support logiciel

4.1. Installation

Notre carte étant basé sur le même processeur que la carte PocketBeagle de BeagleBoard.org, il est possible de construire une image Debian en suivant la documentation écrite par Robert Nelson, le mainteneur officiel du noyaux pour Texas Instrument et Beaglebone.org [16].

Tableau 4.1.: Source utilisée

Composant	Version	Source
gcc-linaro-arm-linux-gnueabihf	6.4.1	https://releases.linaro.org/
Das U-Boot	2018.03	git://git.denx.de/u-boot.git , tag v2018.03
Linux Kernel	4.9.105-ti-r112	https://github.com/beagleboard/linux.git
Debian rootfs	2018-03-05	https://rcn-ee.com/rootfs/bb.org

Listing 4.1: Préparation de l'environnement

```
samuel@Thinkpad-W541:~$ mkdir -p ~/src/osbuild
samuel@Thinkpad-W541:~$ cd ~/src/osbuild/
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild$
```

Listing 4.2: Installation d'un compilatoir croisé

```
$ wget -c https://releases.linaro.org/components/toolchain/binaries/6.4-2017.11/arm-linux-
  ↵ gnueabihf/gcc-linaro-6.4.1-2017.11-x86_64_arm-linux-gnueabihf.tar.xz
$ tar xf gcc-linaro-6.4.1-2017.11-x86_64_arm-linux-gnueabihf.tar.xz
$ export CC=`pwd`/gcc-linaro-6.4.1-2017.11-x86_64_arm-linux-gnueabihf/bin/arm-linux-
  ↵ gnueabihf-
```

Une fois cette étape faite, on peut tester l'installation du compilatoir croisé avec :

Listing 4.3: Test du compilatoir croisé

```
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild$ {CC}gcc --version
arm-linux-gnueabihf-gcc (Linaro GCC 6.4-2017.11) 6.4.1 20171012
Copyright (C) 2017 Free Software Foundation, Inc.
This is free software; see the source for copying conditions. There is NO
warranty; not even for MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
```

4.1.1. U-boot

Préparation

Listing 4.4: Téléchargement d'U-Boot

```
git clone git://git.denx.de/u-boot.git
cd u-boot/
git checkout v2018.03 -b terranova-2018.03
```

Listing 4.5: Patch d'U-boot pour le support de l'écosystème Beaglebone.org

```
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ curl https://rcn-ee.com/repos/git/u-boot-
    ↪ patches/v2018.03/0001-am335x_evm-uEnv.txt-bootz-n-fixes.patch -sSf | git am
Applying: am335x_evm: uEnv.txt, bootz, n fixes

samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ curl https://rcn-ee.com/repos/git/u-boot-
    ↪ patches/v2018.03/0002-U-Boot-BeagleBone-Cape-Manager.patch -sSf | git am
Applying: U-Boot: BeagleBone Cape Manager
```

Si tous c'est bien passé, git a créer de nouveau commit avec le deux patch :

Listing 4.6: Contrôle de l'historique git d'u-boot

```
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ git log
commit 7ece1a604ba93d7fdc13236a075043cc3edf4fc7 (HEAD -> terranova-2018.03)
Author: Robert Nelson <robertcnelson@gmail.com>
Date: Thu Apr 5 11 :04 :01 2018 -0500

    U-Boot: BeagleBone Cape Manager

Signed-off-by: Robert Nelson <robertcnelson@gmail.com>

commit e761e0dcb80d0c15984d98d77093e1a0fff7b499
Author: Robert Nelson <robertcnelson@gmail.com>
Date: Thu Apr 5 11 :13 :28 2018 -0500

    am335x_evm: uEnv.txt, bootz, n fixes

Signed-off-by: Robert Nelson <robertcnelson@gmail.com>

commit f95ab1fb6e37f0601f397091bb011edf7a98b890 (tag: v2018.03)
Author: Tom Rini <trini@konsulko.com>
Date: Tue Mar 13 08 :02 :19 2018 -0400

    Prepare v2018.03

Signed-off-by: Tom Rini <trini@konsulko.com>
```



Les deux patch pour U-Boot ne sont pas obligatoire pour avoir un système fonctionnel. Il permette juste d'avoir une compatibilité avec l'écosystème logiciel et matériel Beaglebone.org^a.

^a. Par exemple, voir la fonction `board_is_pb()` pour l'ajout du support de la carte PocketBeagle qui utilise le même SiP

Compilation

Listing 4.7: Compilation d'U-Boot

```
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=${CC} distclean
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=${CC}
    ↳ am335x_evm_defconfig
HOSTCC scripts/basic/fixdep
HOSTCC scripts/kconfig/conf.o
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.tab.c
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.lex.c
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.hash.c
HOSTCC scripts/kconfig/zconf.tab.o
HOSTLD scripts/kconfig/conf
#
# configuration written to .config
#
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/u-boot$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=${CC}
scripts/kconfig/conf --silentoldconfig Kconfig
    CHK include/config.h
    UPD include/config.h
    CFG u-boot.cfg
    GEN include/autoconf.mk
```

4.1.2. Linux

Défférente version du noyaux Linux peuvent être utilisée

- <https://github.com/beagleboard/linux>
- <git://git.ti.com/processor-sdk/processor-sdk-linux.git>
- Kernel.org

Ci-dessous, on utilise le Kernel Beagleboard.org, afin de rester compatible avec l'écosystème Beagleboard.org

La configuration du noyaux Linux est reprise du fichier bb.org_defconfig

Il est aussi possible d'utiliser le fichier omap2plus_defconfig , qui est le seul disponible dans Linux Mainline (from kernel.org).

Le defconfig omap2plus est une version minimale, compilant uniquement le support nécessaire pour le processeur. Le defconfig bb.org est plus orienté carte de développement et active le support pour un plus grand nombre de modules, tel qu'un support pour plusieurs types d'écrans tactiles et pour beaucoup de capteurs SPI ou I2C. (CONFIG_SENSORS_*=Y)

Listing 4.8: Compilation de Linux

```
sudo apt install lzop
sudo apt-get build-dep linux-image-$(uname -r)

samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild$ git clone https://github.com/beagleboard/linux.git
Cloning into 'linux'...

samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild$ cd linux/
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/linux$ git checkout 4.9.105-ti-r112
Checking out files: 100% (29916/29916), done.
Note: checking out '4.9.105-ti-r112'.
```

You are in 'detached HEAD' state. You can look around, make experimental changes and commit them, and you can discard any commits you make in this state without impacting any branches by performing another checkout.

If you want to create a new branch to retain commits you create, you may do so (now or later) by using -b with the checkout command again. Example:

```
git checkout -b <new-branch-name>

HEAD is now at 083c99062ad8 4.9.105-ti-r112 bb.org_defconfig

cd linux

samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/linux$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=${CC} distclean
CLEAN scripts/basic
CLEAN scripts/kconfig
CLEAN .config
samuel@Thinkpad-W541:~/src/osbuild/linux$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=${CC} bb.
    ↪ org_defconfig
HOSTCC scripts/basic/fixdep
HOSTCC scripts/kconfig/conf.o
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.tab.c
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.lex.c
SHIPPED scripts/kconfig/zconf.hash.c
HOSTCC scripts/kconfig/zconf.tab.o
HOSTLD scripts/kconfig/conf

#
# configuration written to .config
#



make ARCH=arm -j16 CROSS_COMPILE="ccache_${CC}" zImage
make ARCH=arm -j16 CROSS_COMPILE="ccache_${CC}" dtbs
make ARCH=arm -j16 CROSS_COMPILE="ccache_${CC}" modules
```

4.1.3. Debian

L'image système Debian (rootfs) peut être téléchargée avec le code suivant :

Listing 4.9: Installation de Debian

```
wget https://rcn-ee.com/rootfs/bb.org/testing/2018-03-05/stretch-iot/debian-9.3-iot-armhf
    ↪ -2018-03-05.tar.xz
tar xf stretch*.tar.xz
```

4.1.4. Détection de la carte par U-Boot

L'écosystème Beagleboot.org utilise une EEPROM pour permettre à U-Boot de détecter quelle configuration utiliser. Ce système permet d'avoir un seul image système compatible avec toute les cartes utilisants cette solution.

Selon [5], section 4.4 Board ID EEPROM

Tableau 4.2.: My caption

Nom	Tailles (octets)	Description
Header	4	0xAA, 0x55, 0x33, 0xEE
Nom de la carte	8	Nom au format ascii : A335TEN
Version	4	Ascii 00A0 for A0
Config option	32	All 0xFF
RSVD	18	All 0xFF
Disponible	4018	

Listing 4.10: bash version

```
debian@beaglebone:~$ sudo cat /sys/bus/i2c/devices/i2c-0/0-0050/eeprom | hexdump -C
00000000 aa 55 33 ee 41 33 33 35 42 4e 4c 54 30 30 43 30 |.U3.A335BNLT00C0|
00000010 33 32 31 34 42 42 42 4b 31 33 36 32 ff ff ff ff |3214BBBBK1362....|
00000020 ff |.....|
*
00000050 58 41 38 30 30 31 33 36 32 58 58 58 58 58 58 |XA8001362XXXXXXX|
00000060 ff |
*
echo -n -e '\xaa\U3\xeeA3355BC0T00A0' | /sys/bus/i2c/devices/i2c-0/0-0050/eeprom
```

4.2. Partitionnement de la carte MicroSD

Le Boot rom interne au AM335x permet de charger le bootloader de deux façon :

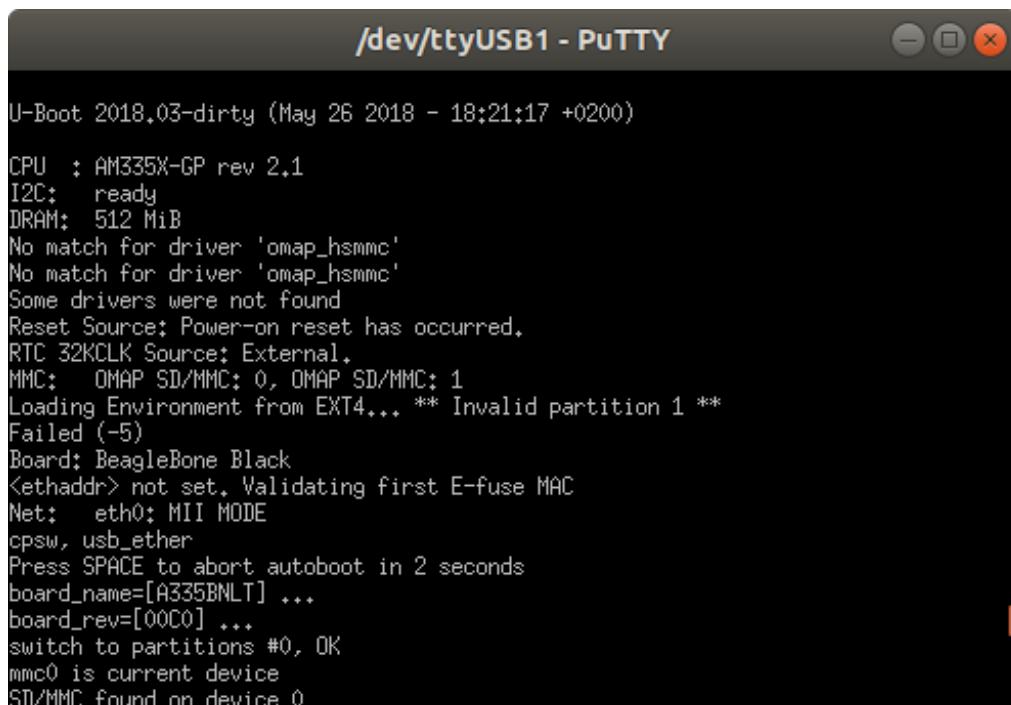
- Depuis une partition FAT16
- Depuis le MBR

Le mode MBR est utilisé ci-dessous :

Listing 4.11: bash version

```
dd if=ML0 of=/dev/mmcblk0 bs=512 seek=256 count=256 conv=notrunc
dd if=u-boot.img of=/dev/mmcblk0 bs=512 seek=768 count=1024 conv=notrunc

# mount
sudo tar -C /media/samuel/rootfs/ -xf $HOME/src/buildroot/output/images/rootfs.tar
sudo mkdir boot /media/samuel/rootfs/boot
sudo mv /home/samuel/src/buildroot/output/images/zImage /media/samuel/rootfs/boot/
sudo mv /home/samuel/src/buildroot/output/images/uEnv.txt /media/samuel/rootfs/boot/
```



The screenshot shows a terminal window titled '/dev/ttyUSB1 - PuTTY'. The window contains the following U-Boot boot logs:

```
U-Boot 2018.03-dirty (May 26 2018 - 18:21:17 +0200)

CPU : AM335X-GP rev 2.1
I2C: ready
DRAM: 512 MiB
No match for driver 'omap_hsmmc'
No match for driver 'omap_hsmmc'
Some drivers were not found
Reset Source: Power-on reset has occurred.
RTC 32KCLK Source: External.
MMC: OMAP SD/MMC: 0, OMAP SD/MMC: 1
Loading Environment from EXT4... ** Invalid partition 1 **
Failed (-5)
Board: BeagleBone Black
<ethaddr> not set. Validating first E-fuse MAC
Net: eth0: MII MODE
cpsw, usb_ether
Press SPACE to abort autoboot in 2 seconds
board_name=[A335BNLT] ...
board_rev=[00C0] ...
switch to partitions #0, OK
mmc0 is current device
SD/MMC found on device 0
```

Fig. 4.1.: Démarrage sous U-Boot

5. Clickboards mit Pocket Beagle

5.1. Pocket Beagle technische Daten

Software

- 8GB Carte micro SD San Disk Ultra

Anschlüsse

- 36 Anschluss Pins

Prozessor

- Octavo Systems OSD3358 1GHz ARM® Cortex-A8
- 512MB DDR3 RAM
- ARM Cortex-M3

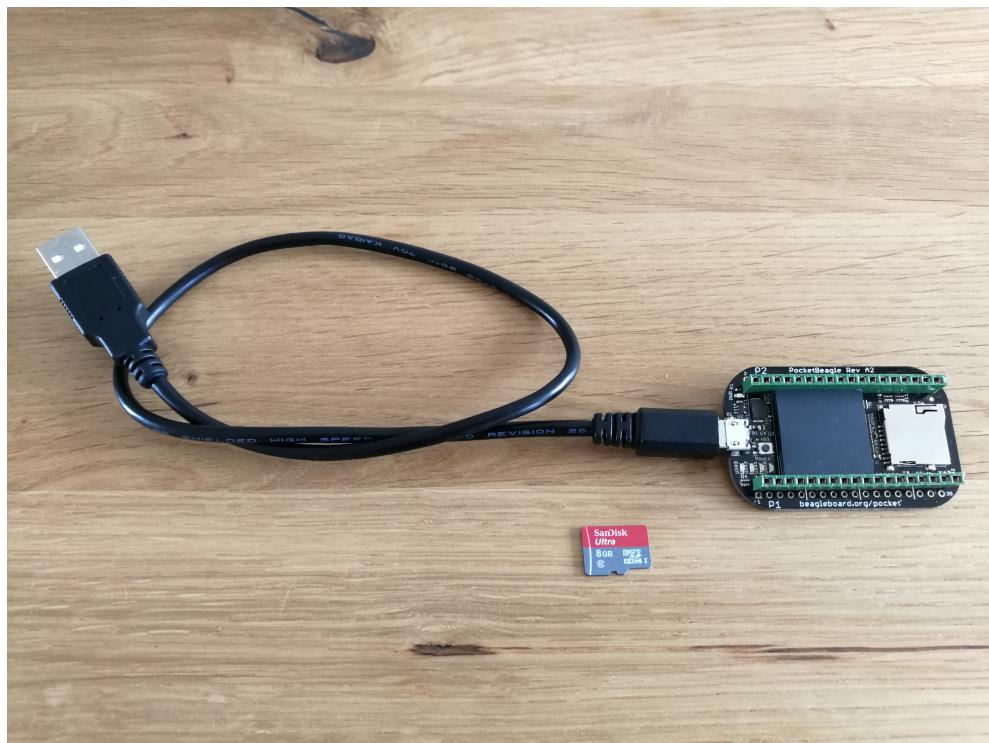


Fig. 5.1.: Pocket Beagle

5.2. Pocket Beagle mit Internet verbinden

Damit man die Pocket Beagle mit dem Internet verbinden kann muss man diese im Linux Terminal verknüpfen. Diese Verknüpfung geschieht dank USB und mit Ubuntu 18.04.

Auf der Pocket Beagle :

Listing 5.1: bash version

```
sudo route add default gw 192.168.7.1
echo "nameserver 8.8.8.8" | sudo tee /etc/resolv.conf
```

Auf dem Computer :

Listing 5.2: bash version

```
ETHWAN=enp0s25
ETHPB=enx9884e3b9bf39

sudo -- sh -c 'echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward'
sudo iptables --table nat --append POSTROUTING --out-interface $ETHWAN -j MASQUERADE
sudo iptables --append FORWARD --in-interface $ETHPB -j ACCEPT
```

ETHWAN muss mit dem Namen der Schnittstelle übereinstimmen damit sich der Computer mit dem Netzwerk verbinden kann (Ethernet / Wifi)

ETHPB muss mit dem Namen der Schnittstelle übereinstimmen damit der Computer eine Verbindung zur Pocket Beagle Karte herstellen kann. [8]

5.3. Pins

GPIO heisst abgekürzt General Purpose Input Output. Damit sind programmierbare Ein- und Ausgänge bezeichnet. Diese GPIOs sind auf dem Beagle Bone Black und Pocket Beagle als Stiftleiste herausgeführt worden. Auf diesen Stiftleisten kann man verschiedene Systeme ansteuern wie zum Beispiel Sensoren anschliessen, welche einen bestimmten Wert ausgeben. Die Pins können je nach Bedarf als Eingänge oder Ausgänge programmiert werden, um die entsprechenden Signale anzunehmen oder abzugeben.

Bei den GPIOs Pins kann man einen Pin für mehrere Funktionen verwenden. Zum Beispiel kann man einen Pin als PWM oder I2C konfigurieren.

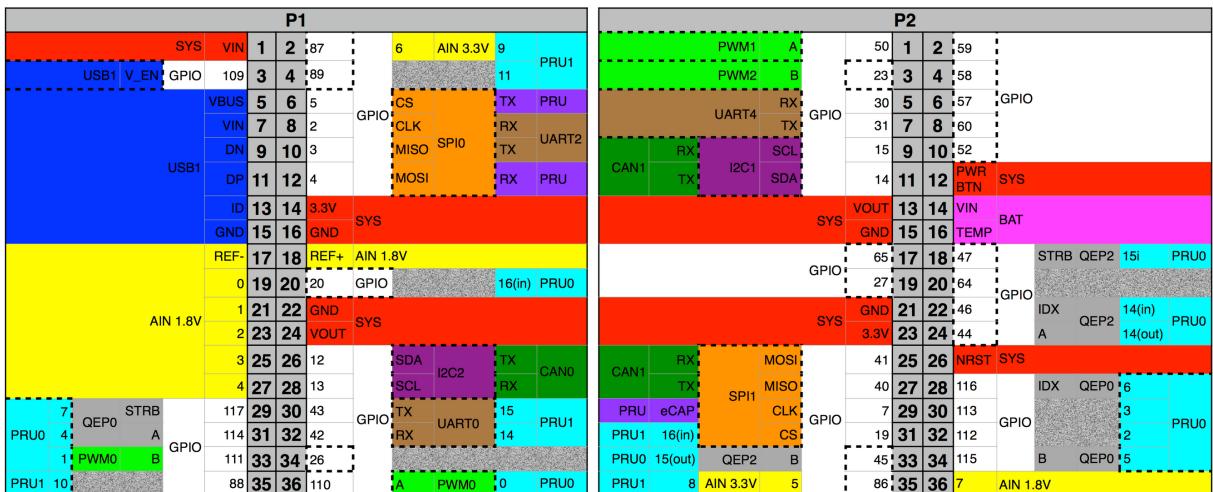


Fig. 5.2.: Pins P1 und P2 Pocketbeagle
Source : Github Pocket Beagle

Das Pocket Beagle besteht aus zwei Stiftleisten mit je 18 Pins wobei nicht alle als Ein- oder Ausgaben dienen. Es gibt Pins die besitzen nur einen Ground oder +5V respektive +3.3V. Da einige Pins doppelt belegt werden können, muss man anhand der Programmation dem entsprechenden Pin seine Funktion zuteilen. Der Pin muss also initialisiert werden. Bei den spannungsführenden Pins (+3.3V oder +5V) muss man dies nicht machen, den diese sind immer auf den Wert geregelt.

Man kann grundsätzlich sagen, dass die Pocket Beagle mit 5V gespiesen wird. Da dieser mit einem Chip von Octavo Systems arbeitet ist die Basis eine Speisung von 3.3V. Folglich arbeiten alle GPIOs mit 3.3V. Durch diese tiefe Spannung lässt sich auch bestätigen, dass der Strom mit welchem die GPIOs arbeiten minimal ist. Man spricht hier von maximal 16mA. Idealerweise sollte aber ein GPIO nicht mehr als 8mA ziehen. [9]

5.4. GPIO LED Ansteuerung

5.4.1. Code

Listing 5.3: bash version

```
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 002 : ID 80ee:0021 VirtualBox USB Tablet
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
ssh: connect to host 192.168.7.2 port 22 : Connection refused
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 002 : ID 80ee:0021 VirtualBox USB Tablet
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
debian@192.168.7.2's password:
Linux beaglebone 4.9.82-ti-r102 #1 SMP PREEMPT Thu Feb 22 01 :16 :12 UTC 2018 armv7l
```

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*copyright.

```
Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Mar  5 07 :23 :11 2018 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo -s
[sudo] password for debian:
root@beaglebone:/home/debian# /sys/class/gpio/gpio26
bash: /sys/class/gpio/gpio26: Is a directory
root@beaglebone:/home/debian# echo out > /sys/class/gpio/gpio26/direction
root@beaglebone:/home/debian# while :; do
> echo 1 > /sys/class/gpio/gpio26/value; sleep 1
> echo 0 > /sys/class/gpio/gpio26/value; sleep 1
> done
```

5.4.2. Dimensionierung LED

Bevor man eine LED auf ein Steckbrett montiert und dieses mit einem GPIO verbindet, muss man unbedingt den Vorwiderstand so dimensionieren das die LED nicht zerstört wird. Es wurde eine 2V LED gewählt und durch folgende Berechnung der korrekte Widerstand verwendet :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3.3V - 2V}{5mA} = 260\Omega \quad (5.1)$$

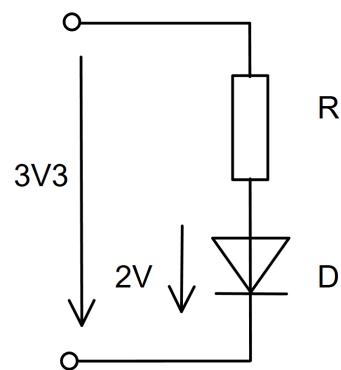


Fig. 5.3.: Widerstand Dimensionierung

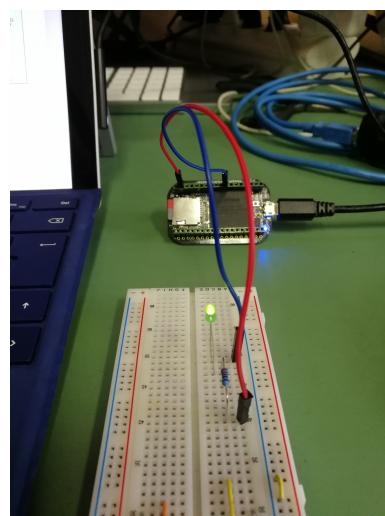


Fig. 5.4.: GPIO LED

5.5. PWM

In diesem Abschnitt geht es um PWM (Pulse-Width-Modulation) welcher mit Hilfe des Oszilloskope graphisch wiedergegeben wurde. Ein PWM Ausgang ist ein Pin an welchem ein periodisches Signal mit konfigurierbaren Tastverhältnis programmiert werden kann. Das zyklische Verhältnis (alpha) ist das Verhältnis zwischen der Dauer (T_H) des Pegels und der Periode (T) des Signales.

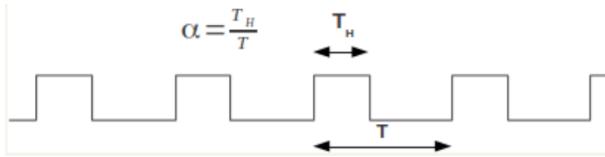


Fig. 5.5.: PWM
Source : Christophe Blaess

Die PWM Modulation wird oft bei Informationenübertragungen und Steuerung von Energieumwandlungen verwendet. Das PWM Signal kann auch mit einem analogen Komparator erzeugt werden, welcher das analoge Signal mit einem Trägersignal vergleicht. Die grössten Einsatzgebiete eines PWM sind Messtechnik, Steuerungstechnik und Leistungselektronik. [10] [30]

5.5.1. Code

Listing 5.4: bash version

```
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
debian@192.168.7.2's password:
Linux beaglebone 4.9.82-ti-r102 #1 SMP PREEMPT Thu Feb 22 01 :16 :12 UTC 2018 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Mar  5 09 :19 :12 2018 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo -s
[sudo] password for debian:
root@beaglebone:/home/debian# config-pin P1_08 pwm
root@beaglebone:/home/debian# export ocp=/sys/devices/platform/ocp
root@beaglebone:/home/debian# echo 0 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*/
  ↳ export
```

Listing 5.5: bash version

```
root@beaglebone:/home/debian# echo 20000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*
  ↳ */pwm*0/period
root@beaglebone:/home/debian# echo 10000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*
  ↳ */pwm*0/duty_cycle
root@beaglebone:/home/debian# echo 1 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*/
  ↳ pwm*0/enable
```

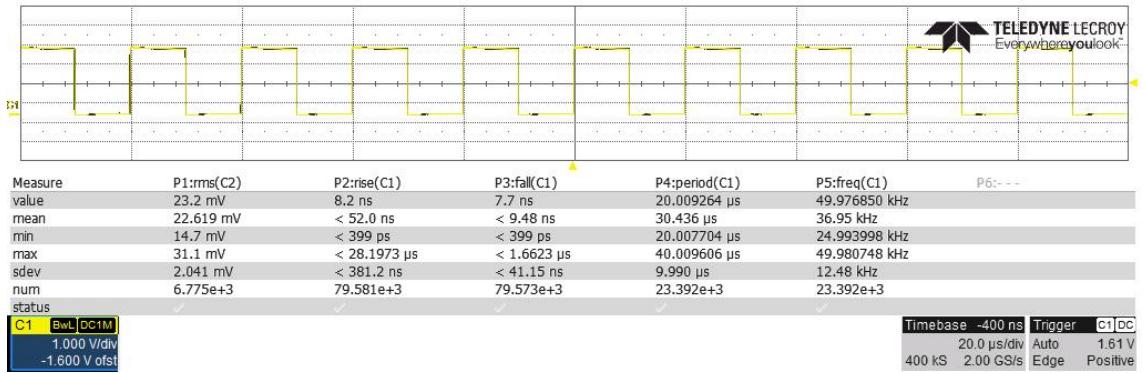


Fig. 5.6.: PWM1

Listing 5.6: bash version

```
root@beaglebone:/home/debian# echo 40000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip
→ */pwm*0/period
root@beaglebone:/home/debian# echo 20000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip
→ */pwm*0/duty_cycle
root@beaglebone:/home/debian# echo 1 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*/
→ pwm*0/enable
```

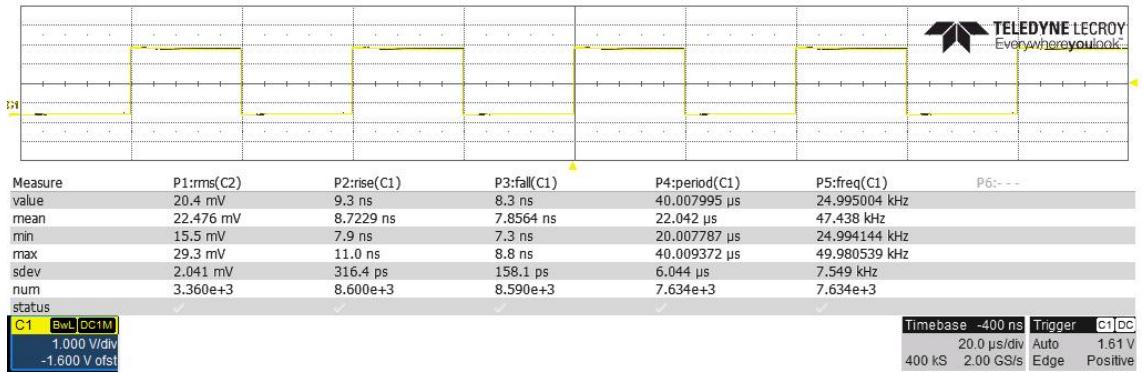


Fig. 5.7.: PWM2

Listing 5.7: bash version

```
root@beaglebone:/home/debian# echo 5000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip
→ */pwm*0/duty_cycle
root@beaglebone:/home/debian# echo 20000 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip
→ */pwm*0/period
root@beaglebone:/home/debian# echo 1 > ${ocp}/48300000.epwmss/48300200.pwm/pwm/pwmchip*/
→ pwm*0/enable
```

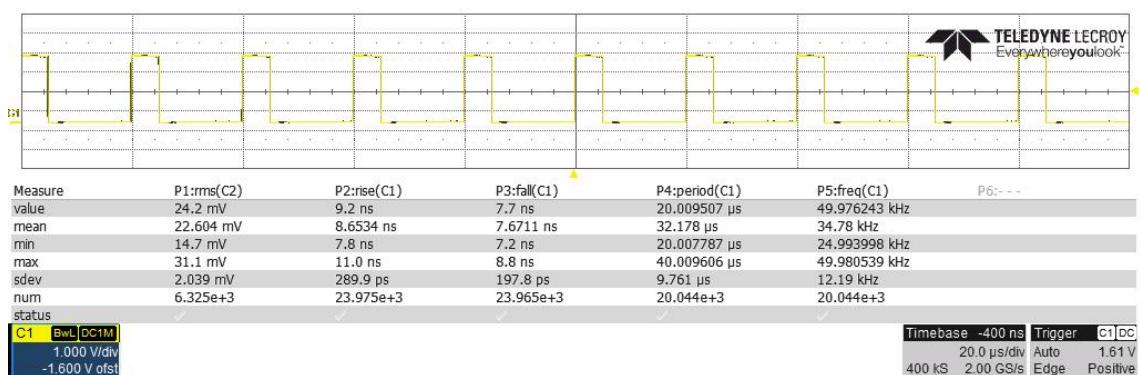


Fig. 5.8.: PWM3

5.6. RTC

Eine Echtzeituhr was auf Englisch real-time-clock heisst, ist eine Uhr, welche die Zeit physikalisch misst. Die tägliche Uhr, welche man kennt, ist eine logische Uhr. Im Bereich der Elektronik wird eine oft eine Echtzeituhr eingesetzt. Warum : Mit dem RTC 6 Clickboard wollte man sicherstellen, dass die Uhrzeit nach dem Ausschalten der Pocketbeagle immer noch funktioniert, respektive weiter läuft, obwohl man die Pocketbeagle von der Spannung getrennt hat. Dies ist im unten dargestellten Code ersichtlich.

5.6.1. Code

Für das RTC hat man viel Zeit investiert um herauszufinden, wie man es funktionsfähig machen kann. Man hat es am Anfang nicht geschafft die Uhrzeit einzustellen. Folgende Meldungen wurden ausgegeben :

Listing 5.8: bash version

```
debian@beaglebone:~$ timedatectl
    Local time: Mon 2018-03-05 07 :43 :25 UTC
    Universal time: Mon 2018-03-05 07 :43 :25 UTC
        RTC time: Sat 2000-01-01 00 :00 :00
        Time zone: Etc/UTC (UTC, +0000)
Network time on: yes
NTP synchronized: no
RTC in local TZ: no
debian@beaglebone:~$ date -s "2018-06-19 15:10:00"
date: cannot set date: Operation not permitted
Tue Jun 19 15:10:00 UTC 2018
debian@beaglebone:~$ hwclock -w
hwclock: Cannot access the Hardware Clock via any known method.
hwclock: Use the --debug option to see the details of our search for an access method.
debian@beaglebone:~$ hwclock -r
hwclock: Cannot access the Hardware Clock via any known method.
hwclock: Use the --debug option to see the details of our search for an access method.
debian@beaglebone:~$ hwclock -D
hwclock from util-linux 2.29.2
hwclock: cannot open /dev/rtc: Permission denied
No usable clock interface found.
hwclock: Cannot access the Hardware Clock via any known method.
debian@beaglebone:~$ hwclock -r -f /dev/
Display all 151 possibilities? (y or n)
debian@beaglebone:~$ hwclock -r -f /dev/rtc1
hwclock: Cannot access the Hardware Clock via any known method.
hwclock: Use the --debug option to see the details of our search for an access method.
debian@beaglebone:~$ hwclock -r -f /device/
hwclock: Cannot access the Hardware Clock via any known method.
hwclock: Use the --debug option to see the details of our search for an access method.
```

Es wurde im Internet recherchiert und man hat herausgefunden, dass man eine bestimmte Datei einbinden muss, damit man die Zeit einstellen kann. Um an diese Stelle zu gelangen wie beim unteren Bild dargestellt, haben wir folgende Schritte getätigt : [11]

Listing 5.9: bash version

```
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 002 : ID 80ee:0021 VirtualBox USB Tablet
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
debian@192.168.7.2's password:
Linux beaglebone 4.9.82-ti-r102 #1 SMP PREEMPT Thu Feb 22 01 :16 :12 UTC 2018 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Nov 3 13 :32 :49 2016 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo -s
[sudo] password for debian:
root@beaglebone:/home/debian# vim sudo /boot/uEnv.txt
2 files to edit
root@beaglebone:/home/debian# sudo vim /boot/uEnv.txt
```

```
debian@beaglebone: ~
#Docs: http://elinux.org/Beagleboard:U-boot_partitioning_layout_2.0

uname_r=4.9.82-ti-r102
#uuid=
#dtb=

###U-Boot Overlays###
###Documentation: http://elinux.org/Beagleboard:BeagleBoneBlack_Debian#U-Boot_Overlays
###Master Enable
enable_uboot_overlays=1
###

###Override capes with eeprom
#uboot_overlay_addr0=/lib/firmware/<file0>.dtbo
#uboot_overlay_addr1=/lib/firmware/<file1>.dtbo
#uboot_overlay_addr2=/lib/firmware/<file2>.dtbo
#uboot_overlay_addr3=/lib/firmware/<file3>.dtbo
###
###Additional custom capes
#uboot_overlay_addr4=/lib/firmware/<file4>.dtbo
uboot_overlay_addr5=/lib/firmware/PB-I2C1-RTC-6-CLICK.dtbo ←
#uboot_overlay_addr6=/lib/firmware/<file6>.dtbo
#uboot_overlay_addr7=/lib/firmware/<file7>.dtbo
###
###Custom Cape
#dtb_overlay=/lib/firmware/<file8>.dtbo
###
###Disable auto loading of virtual capes (emmc/video/wireless/adc)
disable_uboot_overlay_emmc=1
disable_uboot_overlay_video=1
disable_uboot_overlay_audio=1
disable_uboot_overlay_wireless=2
#disable_uboot_overlay_adc=1
###
###PRUSS OPTIONS
###cpu_usage(4-4 x ti kernel)
```

Fig. 5.9.: RTC Datei

Nachdem wir diese Datei eingebunden hatten, konnte man auf eine recht einfache Art und Weise die Uhrzeit manuell einstellen. Als man die Pocket Beagle um 11 :08 :10h von der Spannung und um 11 :16 :52h wieder an die Spannung angeschlossen hat, konnte man feststellen, dass dies funktioniert.

Listing 5.10: bash version

```
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 002 : ID 80ee:0021 VirtualBox USB Tablet
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
debian@192.168.7.2's password:
Linux beaglebone 4.9.82-ti-r102 #1 SMP PREEMPT Thu Feb 22 01 :16 :12 UTC 2018 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Mar 5 02 :12 :34 2018 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo -s
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl
    Local time: Mon 2018-03-05 02 :19 :01 EST
    Universal time: Mon 2018-03-05 07 :19 :01 UTC
        RTC time: Mon 2018-03-05 07 :19 :01
        Time zone: America/New_York (EST, -0500)
    Network time on: yes
NTP synchronized: no
    RTC in local TZ: no
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl set-ntp false
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl set-time "2018-06-20 11 :08 :00"
root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :08 :10.635658-0400
root@beaglebone:/home/debian# packet_write_wait: Connection to 192.168.7.2 port 22 :
    ↳ Broken pipe
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ lsusb
Bus 001 Device 001 : ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
Bus 002 Device 002 : ID 80ee:0021 VirtualBox USB Tablet
Bus 002 Device 001 : ID 1d6b:0001 Linux Foundation 1.1 root hub
nicolas@nicolas-VirtualBox:~$ ssh debian@192.168.7.2
debian@192.168.7.2's password:
Linux beaglebone 4.9.82-ti-r102 #1 SMP PREEMPT Thu Feb 22 01 :16 :12 UTC 2018 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Mar 5 02 :14 :50 2018 from 192.168.7.1
debian@beaglebone:~$ sudo -s
[sudo] password for debian:
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl
    Local time: Wed 2018-06-20 11 :15 :08 EDT
    Universal time: Wed 2018-06-20 15 :15 :08 UTC
        RTC time: Wed 2018-06-20 15 :15 :07
        Time zone: America/New_York (EDT, -0400)
```

```

Network time on: no
NTP synchronized: no
RTC in local TZ: no
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl set-ntp false
root@beaglebone:/home/debian# timedatectl set-time "2018-06-20 11 :16 :40"
root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :16 :52.092528-0400
root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :17 :02.725121-0400
root@beaglebone:/home/debian# hwclock -w
root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :18 :14.999950-0400

```

Spannung aus :

Listing 5.11: bash version

```

root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :08 :10.635658-0400
root@beaglebone:/home/debian# packet_write_wait: Connection to 192.168.7.2 port 22 :
→ Broken pipe

```

Spannung ein :

Listing 5.12: bash version

```

root@beaglebone:/home/debian# hwclock -r
2018-06-20 11 :16 :52.092528-0400

```

Für die Praxis heisst es, dass wir in unserem Einsatzgebiet nicht auf eine feste Internetverbindung angewiesen sind. Die Uhr kann zur Zeit der Inbetriebnahme eingestellt werden und wird auch bei einem kurzen Stromausfall weiterlaufen. Dies dank dem Batteriebetrieb, welches das Clickboard RTC 6 hat.

5.7. Erkenntnisse

Zusammengefasst kann man sagen, dass die Clickboards die Möglichkeit geben, auf eine sehr interessante Art und Weise das Pocket Beagle in verschiedenen Bereichen zu verwenden. Man kann auch für den Privatgebrauch selbst eine Temperaturmessanlage konzipieren und das dank der Pocket Beagle und den Clickboards. Die Basis zur Messung oder dem Auslesen der Messwerte bleibt das Pocket Beagle. Die Clickboards kann man praktisch und einfach auf der Internetseite www.mikroe.com bestellen und auf die Pocket Beagle setzen, dies ohne grossen Aufwand. Die Kosten solcher Clickboards belaufen sich zwischen 20 bis 180 CHF. Je nachdem in welchem Anwendungsgebiet das Clickboard eingesetzt wird kann der Preis variieren.

6. Conclusions/Bilan

Nach 8 intensiven Wochen kann man zufrieden auf die Bachelorarbeit zurückblicken. Während diesen 8 Wochen wurden die Muss Ziele erreicht. Es wurde extrem viel Zeit in die Recherchen investiert. Einer der Herausforderungen bestand darin das man im ständigen Austausch mit der Firma bolay.co SA waren um den Stand der Arbeit zu kommunizieren. Durch diesen intensiven Austausch konnte man immer direkt Einfluss auf das Projekt nehmen und Änderungen einfacher tätigen. Zusätzlich hat man festgestellt, dass es wichtig ist nicht nur das Datasheet der Komponente zu studieren, sondern auch das Eratasheet. In diesem Datenblatt findet man zusätzlich zu dem Datasheet wichtige und nützliche Informationen beim Erstellen des PCB Schemas.

Heutiger Stand :

- Entwurf des PCB mit Circuit Studio Software
- Test und Validieren von mehreren Clickboards
- Erstellen eines optimierten Debian-Betriebssystem-Images
- Unterstützung für Erweiterungskarten im Betriebssystem
- Tests und Erprobungen von PRU-ICSS-Coprozessoren
- Dokumentation

Aussicht :

- PCB Layout fertig erstellen
- PCB in die Produktion geben
- PCB auf Funktion prüfen
- PCB in der Industrie einsetzen

In Zukunft wird das PCB, wenn es vollständig ist, in die Produktion gehen sobald man die Zusage der Firma bolay.co SA hat. Einmal das PCB auf die Funktion und Richtigkeit geprüft wird es in der Industrie zum Einsatz kommen. Die Firma dolt.ch wird das Projekt in naher Zukunft weiter begleiten und den Kunden bestmöglich unterstützen. Das SiP (System in Package) unterstützt die Lösungen welche man der Firma bolay.co SA angeboten hat. Mit dem konzipierten PCB blickt man optimistisch in die Zukunft und sind überzeugt das es in der Industrie auch erfolgreich sein wird.

Déclaration d'autonomie

Nous attestons avoir rédigé le présent travail de manière autonome et sans recourir à d'autres sources et supports que ceux mentionnés dans la bibliographie. Tous les passages, dont nous ne sommes pas les auteurs sont répertoriés comme citations et leur provenance est précisée.

Lieu, date : Bienne, 28 juin 2018

Nom prénom : Samuel Dolt Nicolas Hauert

Signatures :



Acronymes

BGA Ball Grid Array.

CAN bus Controller Area Network.

CPSW TI Common Platform Ethernet.

CPU Central processing unit.

Ethernet Ethernet.

Flash Flash memory.

GPU Graphics processing unit.

MDIO Management Data Input/Output.

MII Media-independent interface.

PCB Printed circuit board.

PMIC Power management integrated circuit.

RAM Random access memory.

RGMII Reduced gigabit media-independent interface.

RMII Reduced Media-independent interface.

SiP System in package.

SoC System on Chip.

TI Texas Instrument.

UART Universal asynchronous receiver transmitter.

USB Universal Serial Bus.

VLAN Réseau local virtuel.

Bibliographie

- [1] ACME Systems, "Acme Systems production duration," 2015. [Online]. Available : <http://terzo.acmesystems.it/download/doc/AcmeSystemsProductionDuration.pdf>
- [2] Beagleboard.org, "Beaglebone Black Bug #4 - 8710A Reset Design Flaw." [Online]. Available : <https://github.com/beagleboard/beaglebone-black/issues/4>
- [3] ——, "BeagleBone Power Management - eLinux.org." [Online]. Available : https://elinux.org/BeagleBone_Power_Management#3.3V_supplies
- [4] ——, "Beaglebone Black - Schematics," pp. 1–11, 2014. [Online]. Available : https://github.com/beagleboard/beaglebone-black/blob/master/BBB_SCH.pdf
- [5] ——, "BeagleBone Black - System Reference Manual," 2017. [Online]. Available : <https://github.com/beagleboard/beaglebone-black/wiki/System-Reference-Manual>
- [6] ——, "PocketBeagle Schematics," pp. 1–6, 2017. [Online]. Available : https://github.com/beagleboard/pocketbeagle/blob/master/PocketBeagle_sch.pdf
- [7] Desouza, "[Resolved] CCS/CCSTUDIO : CCSv8 installation stuck for Ubuntu 18.04." [Online]. Available : https://e2e.ti.com/support/development_tools/code_composer_studio/f/81/t/685773
- [8] dolt, "dolt.ch," 2018. [Online]. Available : <https://www.dolt.ch/pocketbeagle-partage-de-connexion-depuis-un-ordinateur-hote-sous-ubuntu-18-04/>
- [9] Jason Kridner, "System Reference Manual PocketBeagle," 2017. [Online]. Available : <https://github.com/beagleboard/pocketbeagle/wiki/System-Reference-Manual>
- [10] ——, "Beagleboard," 2018. [Online]. Available : <https://github.com/beagleboard/pocketbeagle/wiki/Peripherals>
- [11] neerajdantu, "Beagleboard," 2018. [Online]. Available : <https://github.com/beagleboard/pocketbeagle/wiki/Click-boards>
- [12] Octavo Systems, "OSD3358-SM-RED Schematics PDF - Octavo Systems." [Online]. Available : <https://octavosystems.com/docs/osd3358-sm-red-schematics-pdf/>
- [13] ——, "OSD335x-SM Design Tutorial - Octavo Systems." [Online]. Available : https://octavosystems.com/app_notes/osd335x-sm-design-tutorial/
- [14] ——, "OSD335x-SM Datasheet," pp. 1–30, 2018. [Online]. Available : <https://octavosystems.com/docs/osd335x-sm-datasheet/>
- [15] PCI-SIG, "PCI Express ® Mini Card Electromechanical Specification Revision 1.2," 2007. [Online]. Available : https://s3.amazonaws.com/fit-iot/download/facet-cards/documents/PCI_Express_miniCard_Electromechanical_specs_rev1.2.pdf
- [16] Robert Nelson, "PocketBeagle - Linux on ARM - eewiki." [Online]. Available : <https://eewiki.net/display/linuxonarm/PocketBeagle>
- [17] sylain bolay, "bolay," 2018. [Online]. Available : <https://www.bolay.co/>
- [18] Texas Instruments, "AM335x CPSW (Ethernet) Driver's Guide - Texas Instruments Wiki." [Online]. Available : [http://processors.wiki.ti.com/index.php/AM335x_CPSW_\(Ethernet\)_Driver%27s_Guide](http://processors.wiki.ti.com/index.php/AM335x_CPSW_(Ethernet)_Driver%27s_Guide)
- [19] ——, "AM335x Hardware Design Guide - Texas Instruments Wiki." [Online]. Available : http://processors.wiki.ti.com/index.php/AM335x_Hardware_Design_Guide

- [20] ——, “AM335x Schematic Checklist - Texas Instruments Wiki.” [Online]. Available : http://processors.wiki.ti.com/index.php/AM335x_Schematic_Checklist
- [21] ——, “Linux Host Support CCSv8.” [Online]. Available : http://software-dl.ti.com/ccs/esd/documents/ccsv8_linux_host_support.html
- [22] ——, “[Resolved] AM335x MAC Addresses - Sitara Processors Forum - Sitara™ Processors - TI E2E Community.” [Online]. Available : https://e2e.ti.com/support/arm/sitara_arm/f/791/t/324849?AM335x-MAC-Addresses
- [23] ——, “AM335x and AMIC110 Sitara™ Processors Technical Reference Manual,” 2011. [Online]. Available : <http://www.ti.com/lit/ug/spruh73p/spruh73p.pdf>
- [24] ——, “AM335x Starter Kit (EVM) - Schematics,” 2013. [Online]. Available : http://processors.wiki.ti.com/images/a/a2/TMDSSK3358_3H0009_REV1_2B_SCH.pdf
- [25] ——, “AM335x and AM43xx USB Layout Guidelines,” 2014. [Online]. Available : <http://www.ti.com/lit/an/sprabt8a/sprabt8a.pdf>
- [26] ——, “AM335x Sitara™ Processors,” p. 253, 2016. [Online]. Available : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/am3358.pdf>
- [27] ——, “AM335x Sitara™ Processors, Silicon Errata,” p. 44, 2017. [Online]. Available : <http://www.ti.com/lit/er/sprz360i/sprz360i.pdf>
- [28] ——, “TPS65217x Single-Chip PMIC,” 2018. [Online]. Available : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps65217.pdf>
- [29] Toradex, “Generic RGB Display Adapter Board.” [Online]. Available : <https://developer.toradex.com/knowledge-base/generic-rgb-display-adapter-board>
- [30] Wikipedia, “PWM,” 2018. [Online]. Available : <https://de.wikipedia.org/wiki/Pulsweitenmodulation>
- [31] Wurth Elektronik, “The USB Interface from EMC Point of View,” pp. 1–13, 2016. [Online]. Available : https://www.we-online.com/web/en/index.php/download/media/07_electronic_components/download_center_1/application_notes_berichte/usb_eple/ANP024c_EN_The_USB_interface_from_EMCPoint_of_view.pdf

Table des figures

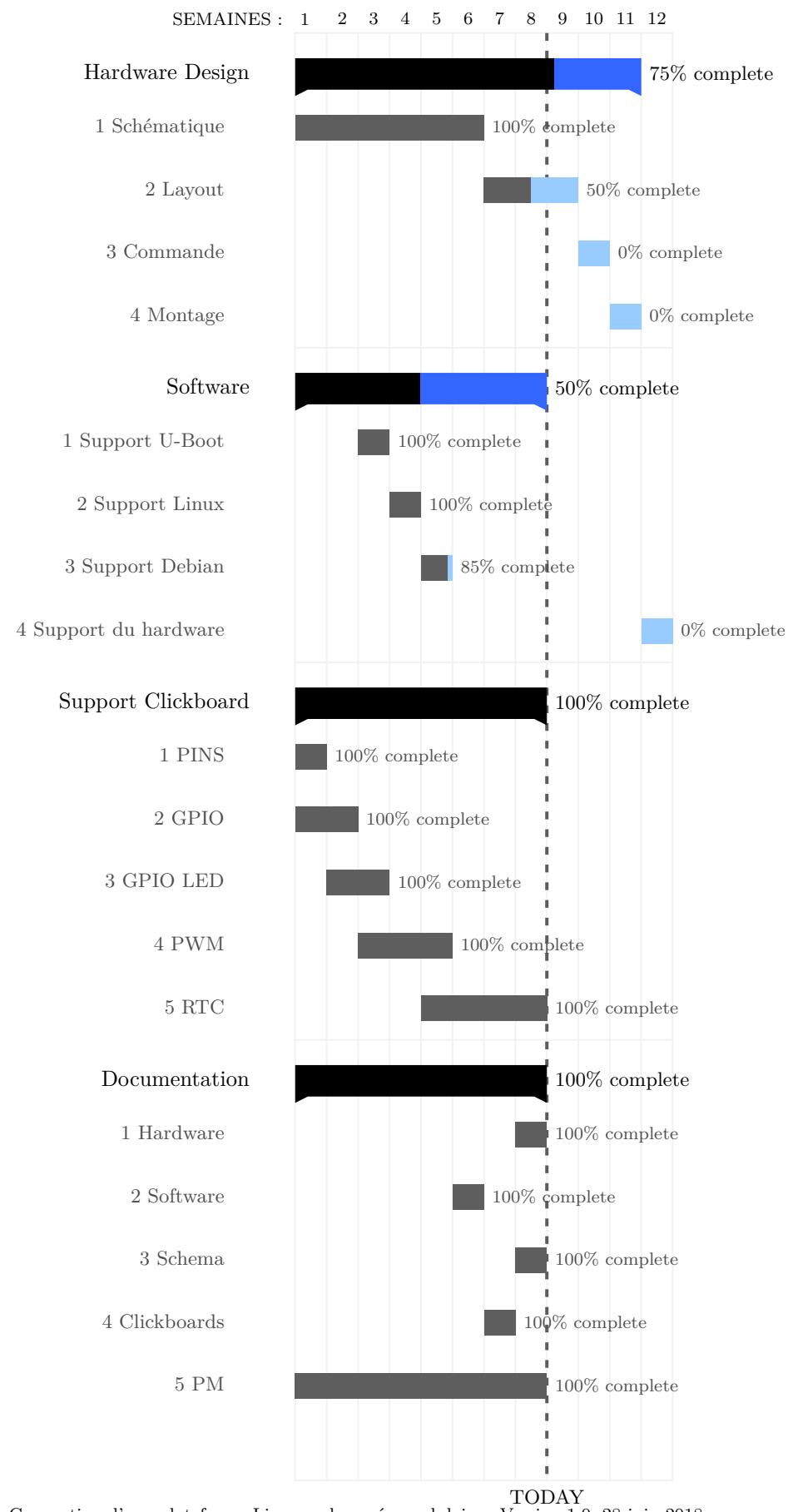
1.1.	Contenu d'un module OSD3358-SM Source : Octavo Systems LLC	2
1.2.	Comparaison de la surface gagnée par l'intégration dans un System In Package Source : Octavo Systems LLC	3
1.3.	Linux Plattform von der Firma Acme Systems SRL Source : Acme Systems	5
1.4.	Projektphasen	8
1.5.	Projektorganigramm	9
1.6.	Stakeholderdiagramm	10
1.7.	Projektchancen und Risiken	11
1.8.	Risikomatrix	13
1.9.	Projektergebnisplan	15
1.10.	Use Case	16
1.11.	Prüfplan	19
2.1.	Schéma bloc de l'étage d'alimentation	21
2.2.	Microprocesseur pour la surveillance de l'alimentation et la fonction Watchdog	23
2.3.	Port USB0 et USB1 du processeur	25
2.4.	Utilisation du port USB0	27
2.5.	Hub USB	29
2.6.	Filtre EMC et protection ESD d'un port USB 2.0 Source : Wurth Elektronik	31
2.7.	Paramètre de démarrage	32
2.8.	Connecteur pour écran tactile	34
2.9.	Format des cartes selon la norme PCI Express miniCard v. 1.2 Source : Groupe PCI-SIG	35
2.10.	Emplacement générique pour carte PCI Express miniCard Source : Groupe PCI-SIG	36
2.12.	Mikrobus Source : Mikroe	38
2.13.	Signaux utilisable par une carte Mikrobus Source : Mikroe	39
2.14.	Emplacement pour cartes MicroSD	40
2.15.	Texas Instrument PinMux Tool	41
3.1.	Boîtier actuel	43
3.2.	Placement des composants	44
4.1.	Démarrage sous U-Boot	50
5.1.	Pocket Beagle	51
5.2.	Pins P1 und P2 Pocketbeagle Source : Github Pocket Beagle	53
5.3.	Widerstand Dimensionierung	55
5.4.	GPIO LED	55
5.5.	PWM Source : Christophe Blaess	56
5.6.	PWM1	57
5.7.	PWM2	57
5.8.	PWM3	58
5.9.	RTC Datei	60
1.	Installation de TI Code Composer Studio	77
2.	Face TOP	93
3.	Face BOTTOM	94

Liste des tableaux

2.1.	Sélection du mode USB hôte ou périphérique	25
2.2.	Sélection du mode de configuration	30
2.3.	Sélection du mode d'alimentation	30
2.4.	Sélection du mode d'alimentation	30
2.5.	Configuration du démarrage, MSB [23]	32
2.6.	Configuration du démarrage, LSB [23]	32
4.1.	Source utilisée	45
4.2.	My caption	49

ANNEXES

A. Planning



B. Test du watchdog interne du processeur AM3358

B.1. Fonctionnement du watchdog sous Linux

Le noyau Linux permet à un programme de prendre la main sur le watchdog interne en ouvrant le fichier /dev/watchdog0. Une fois le fichier ouvert, le programme doit écrire à intervalle régulier dans le fichier pour éviter le redémarrage du processeur.

B.2. Procédure de test

Le test a été effectué deux fois :

- Une première fois avec un noyau ayant l'option CONFIG_SYSPEND du noyau Linux activée
- Une deuxième fois avec l'option CONFIG_SYSPEND désactivée

Chaque test est composé de deux parties :

- Une première partie testant le fonctionnement du Watchdog dans le cas où le programme n'écrit plus dans le fichier du watchdog.
- Une deuxième partie testant le fonctionnement du Watchdog dans le cas où la commande d'extinction est utilisée

Le fonctionnement du watchdog interne au processeur AM3358 a été testé sur une carte Beaglebone Black. L'image du système d'exploitation a été générée à l'aide du programme Buildroot.

B.3. Déroulement du tests

Premier test

Listing 1: bash version

```
git clone git://git.buildroot.net/buildroot
cd buildroot
make beaglebone_defconfig
make nconfig
```

Les options suivantes doivent être activées dans Buildroot :

1. Build option >> Enable compiler cache
2. Toolchain >> Toolchain Type >> External toolchain
3. System configuration >> Init system >> Systemd

Listing 2: bash version

```
make
```

Après 15 minutes, une image est créée dans le fichier "output".

Listing 3: bash version

```
cp output/images/sdcard.img ../buildroot-default.img
```

Après avoir flasher l'image sur une carte MicroSD et démarrer la carte BeagleBone Black avec, on peut vérifier la présence de l'option CONFIG_SYSPEND :

Listing 4: bash version

```
zcat /proc/config.gz | grep SUSPEND  
> CONFIG_SYSPEND=y
```

Ensuite, on effectue le protocole de test :

Listing 5: bash version

```
systemctl poweroff # On observe que le rail 3.3V s'éteint  
systemctl reboot # On observe que le processeur redémarre, mais que le rail 3.3V reste  
    ↪ activer  
echo "1" | /dev/watchdog0 # On observe un redémarrage après 60s, sans coupure du 3.3V  
echo "1" | /dev/watchdog0, systemctl poweroff # Pas de redémarrage. La carte reste éteinte
```

Deuxième test

Dans Buildroot, on modifie la configuration du noyau avec :

Listing 6: bash version

```
make clean  
make linux-menuconfig
```

En désactive

1. Power management option » Suspend to RAM and standby

On compile une nouvelle image avec la commande make

Listing 7: bash version

```
make
```

Après avoir démarrer sur la nouvelle image, on vérifie que l'option CONFIG_SYSPEND n'est pas présente :

Listing 8: bash version

```
zcat /proc/config.gz | grep SUSPEND  
> CONFIG_SYSPEND is not set
```

Ensuite, on effectue le protocole de test :

Listing 9: bash version

```
systemctl poweroff # On observe que le rail 3.3V s'éteint  
systemctl reboot # On observe que le processeur redémarre, mais que le rail 3.3V reste  
    ↪ activer  
echo "1" | /dev/watchdog0 # On observe un redémarrage après 60s, sans coupure du 3.3V  
echo "1" | /dev/watchdog0, systemctl poweroff # Pas de redémarrage. La carte reste éteinte
```

B.4. Résultat du tests

- Les deux tests donne les mêmes résultat, démontrant que le watchdog n'est pas affecté par l'option CONFIG_SYSPEND.
- Dans les deux tests, la première partie fonctionnait de manière idéale, avec un redémarrage du processeur.
- Dans les deux tests, la deuxième partie n'était pas idéale, avec un watchdog ne fonctionnant plus lorsque le processeur est éteint. Il est ainsi possible d'avoir un système qui s'arrête sans redémarrer, ce qui peut être très problématique pour notre client, car les ordinateurs embarqués ne sont pas toujours situé dans des endroits facile d'accès.

C. Installation des outils de développement Logiciel

Note : Installation avec Ubuntu 18.04

C.1. Installation de TI Code Composer Studio

Le logiciel TI Code Composer Studio peut être utilisé pour la programmation des coprocesseurs PRU. [21]

Installation des dépendances :

Listing 10: bash version

```
mkdir ccs_tmp_install_dir && cd ccs_tmp_install_dir
sudo apt install libc6:i386 libusb-0.1-4 libgconf-2-4 build-essential
wget http://software-dl.ti.com/ccs/esd/CCSv8/CCS_8_0_0/exports/CCS8.0.0.00016_web_linux-
→ x64.tar.gz
tar xvzf CCS8.0.0.00016_web_linux-x64.tar.gz
```

Un bug existe dans cette version qui empêche l'installation de fonctionner normalement sur Ubuntu 17.10 et 18.04. Pour le contourner, il faut faire selon Texas Instrument (TI) [7] :

Listing 11: bash version

```
wget https://e2e.ti.com/cfs-file/_key/communityserver-discussions-components-files/81/
→ ccs_5F00_installini.zip
unzip ccs_5F00_installini.zip
```

```
Item 1 / Item 2 / Item 3
ccs_tmp_install_dir/
└── ccs_5F00_installini.zip
    ├── CCS8.0.0.00016_web_linux-x64.tar.gz
    ├── ccs_installini.xml
    └── ccs_setup_linux64_8.0.0.00016.bin
```

Listing 12: bash version

```
sudo ./ccs_setup_linux64_8.0.0.00016.bin
```

Listing 13: bash version

```
sudo /opt/ti/ccsv8/eclipse/ccstudio
```

Ensuite, il faut installer manuellement le composant suivant C6000 Compuleur Tools.

Aller sur **[Help] > Install New Software** - Sélectionner C6000 Compiler Tools version 8.2.3 - Sélectionner PRU Compiler Tools 2.2.1

Listing 14: bash version

```
wget http://software-dl.ti.com/codegen/esd/cgt_public_sw/PRU/2.1.5/ti_cgt_pru_2.1.5
→ _linux_installer_x86.bin
chmod +x ti_cgt_pru_2.1.5_linux_installer_x86.bin
sudo ./ti_cgt_pru_2.1.5_linux_installer_x86.bin
-----
Welcome to the PRU Code Generation Tools Setup Wizard.
-----
Select Installation Directory
Please specify the directory where PRU Code Generation Tools will be installed.
```

The installation requires 152891 KB.

Destination Directory [/home/samuel/ti-cgt-pru_2.1.5] : /opt/ti-cgt-pru_2.1.5

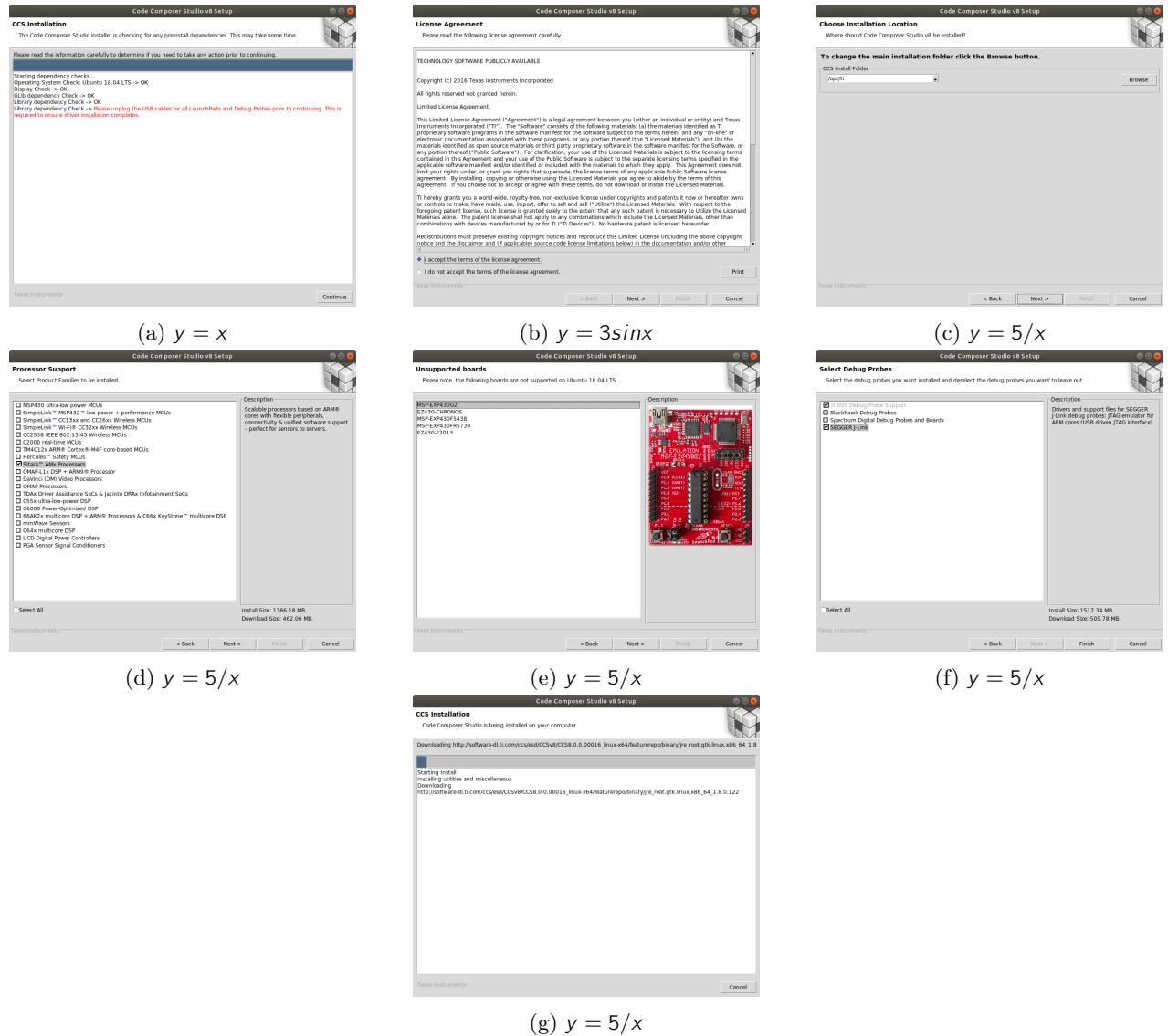
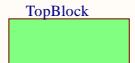
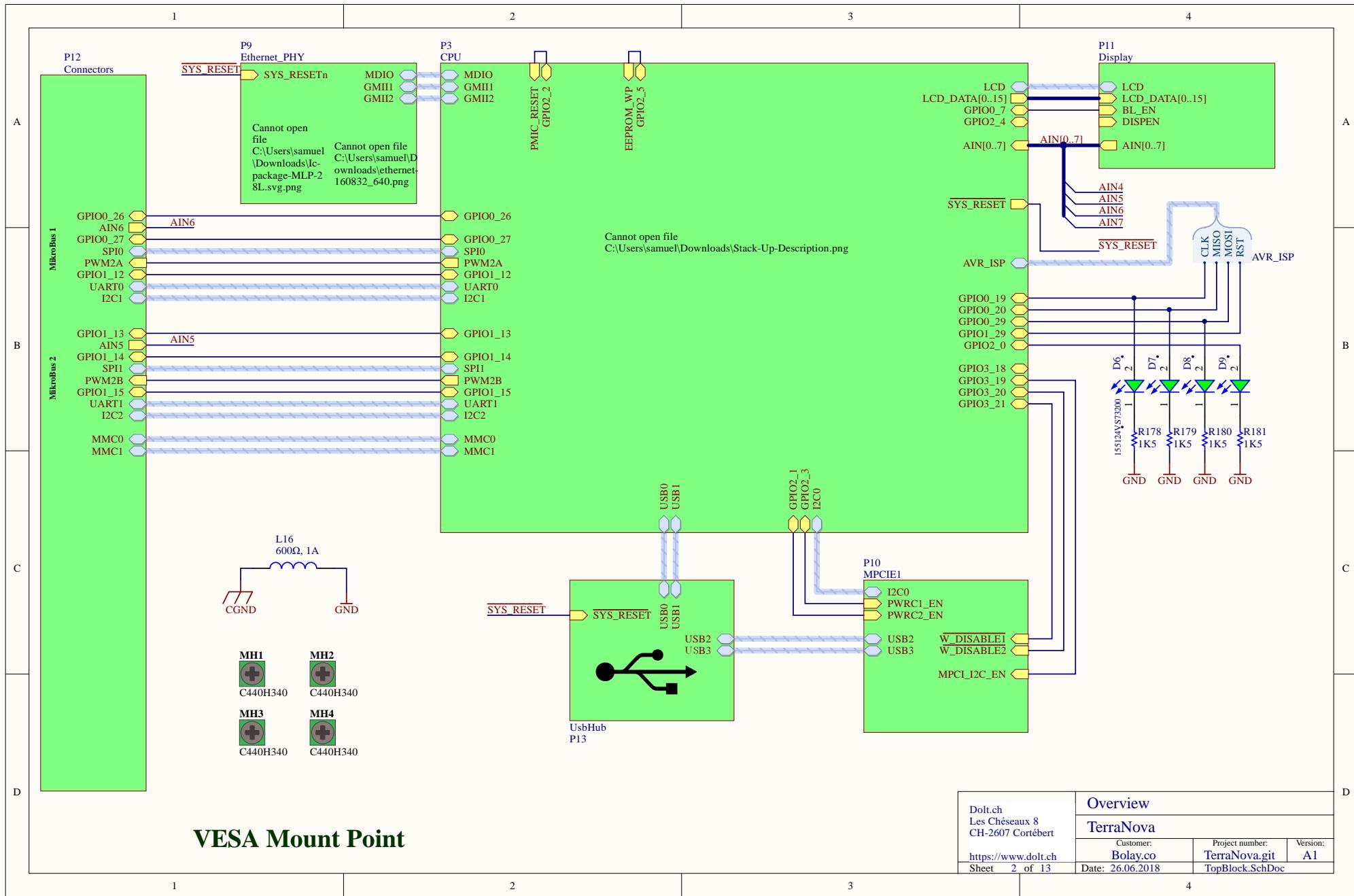
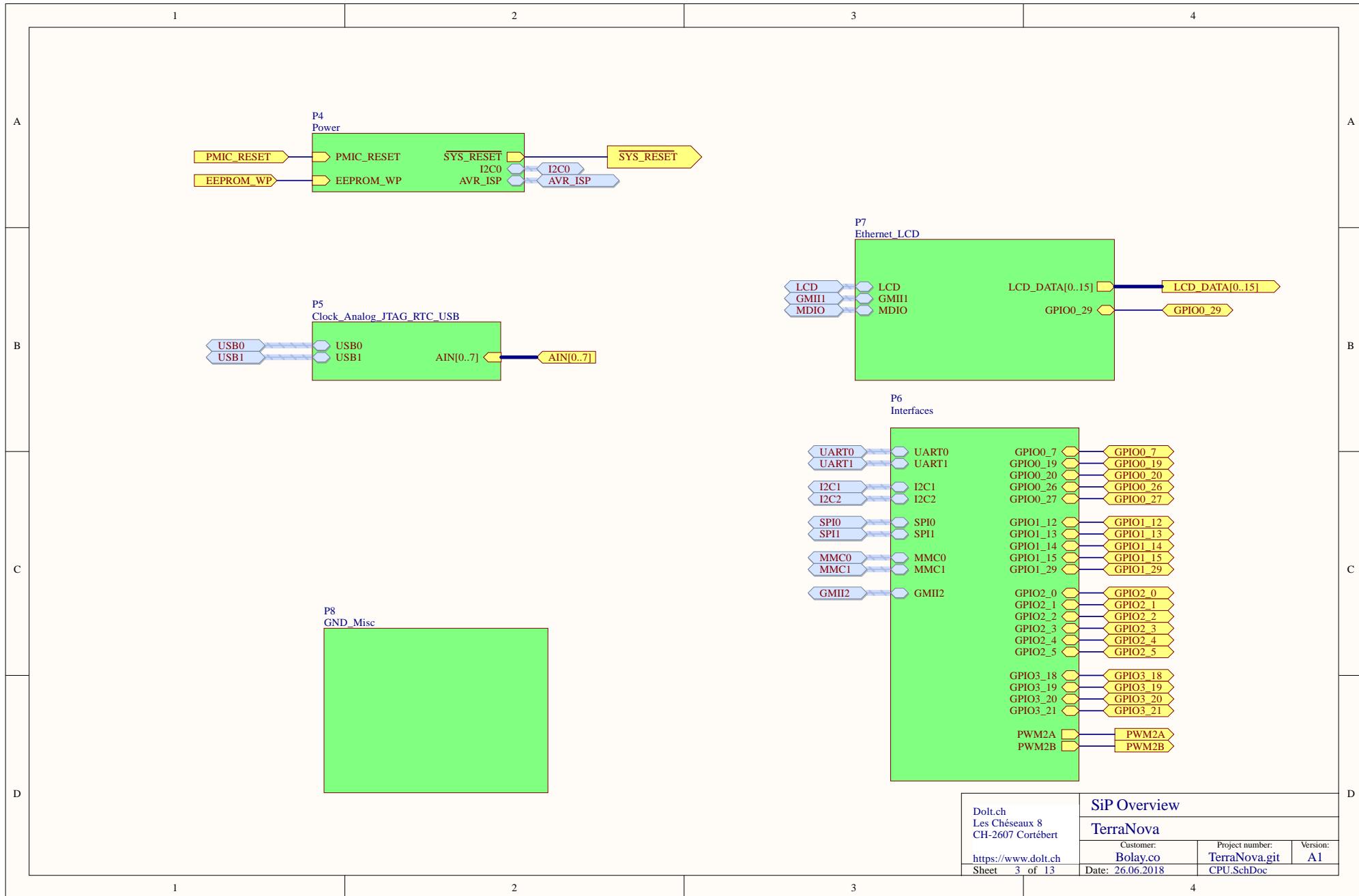


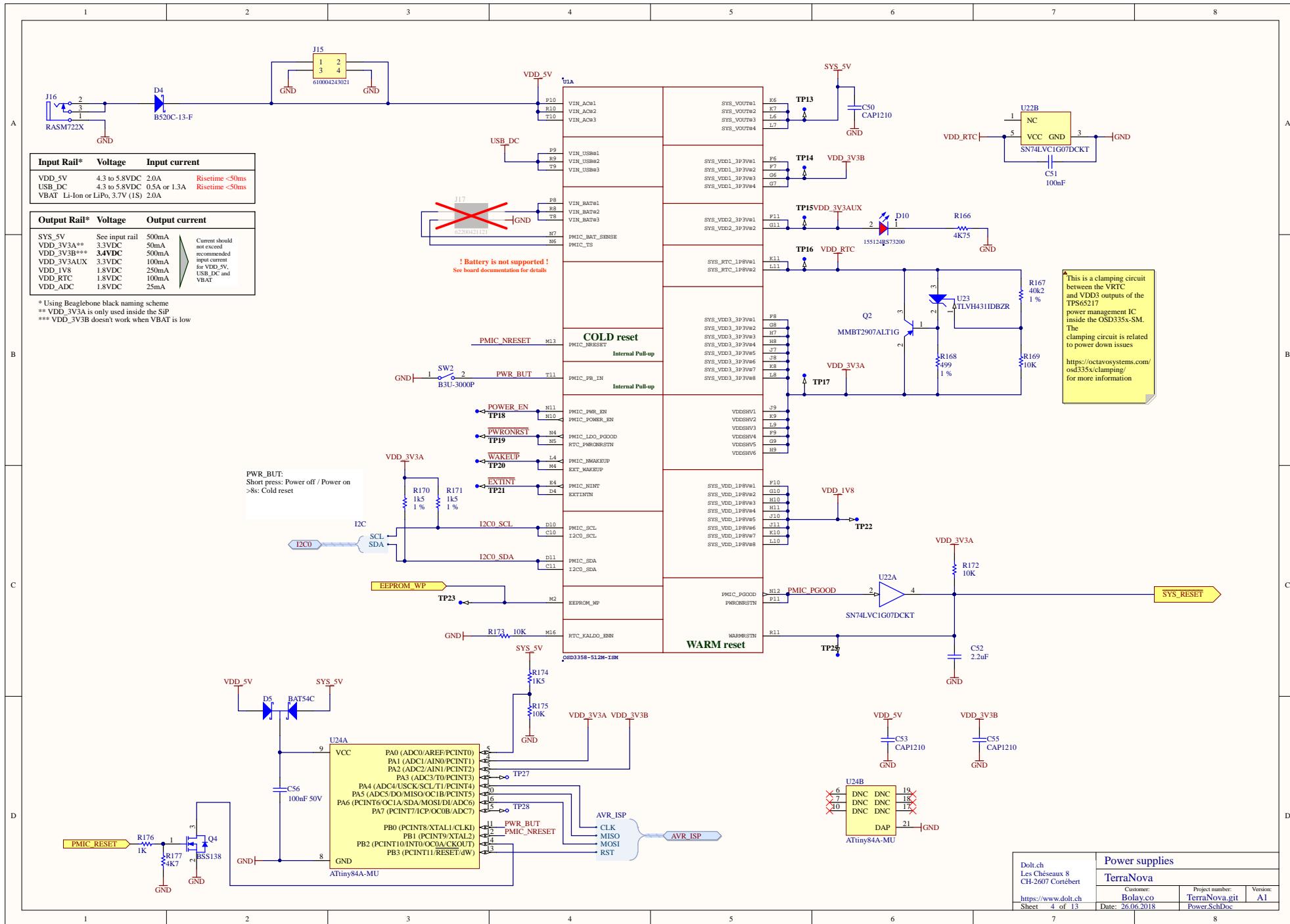
Fig. 1.: Installation de TI Code Composer Studio

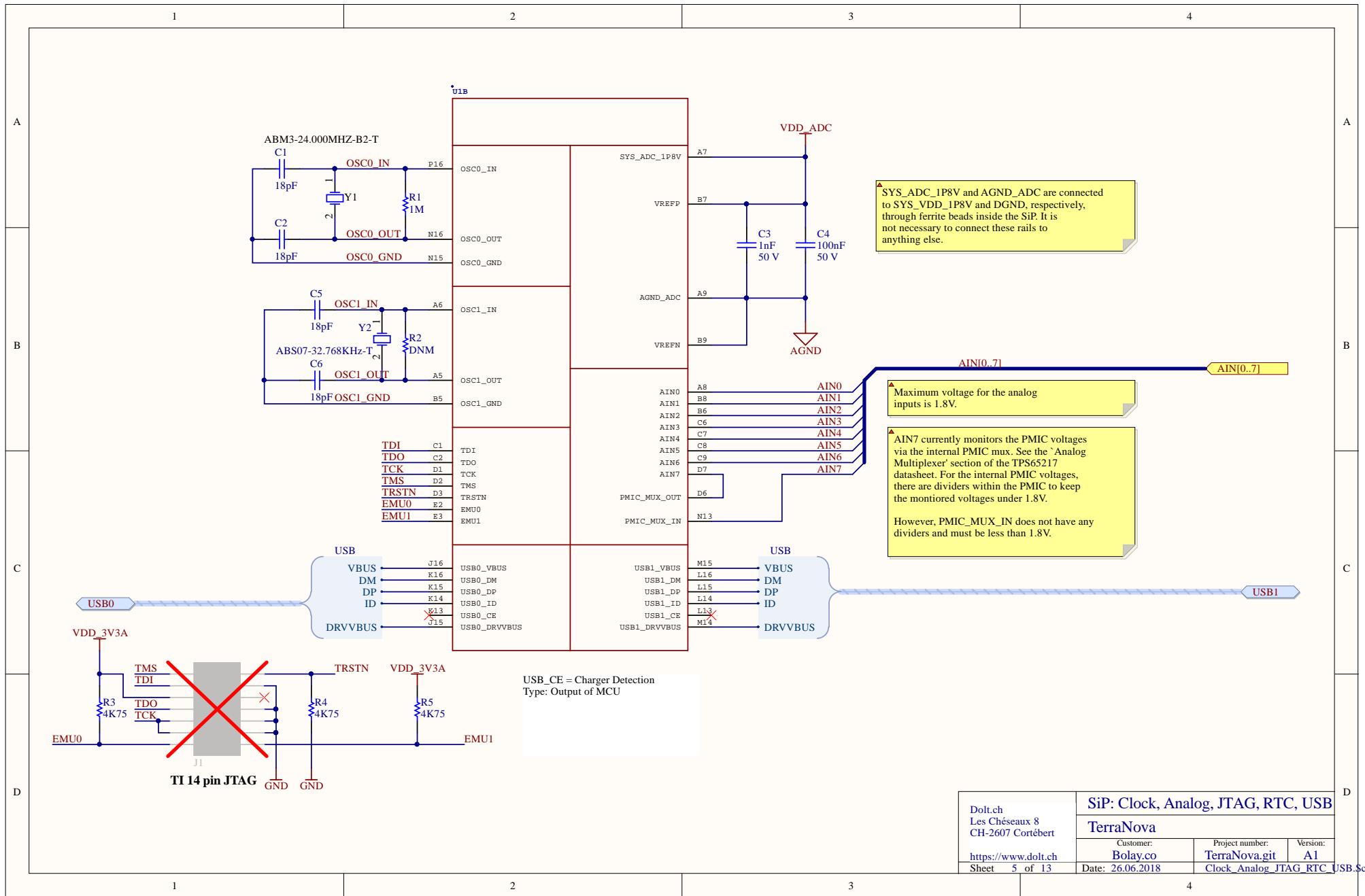
D. Schéma électrique

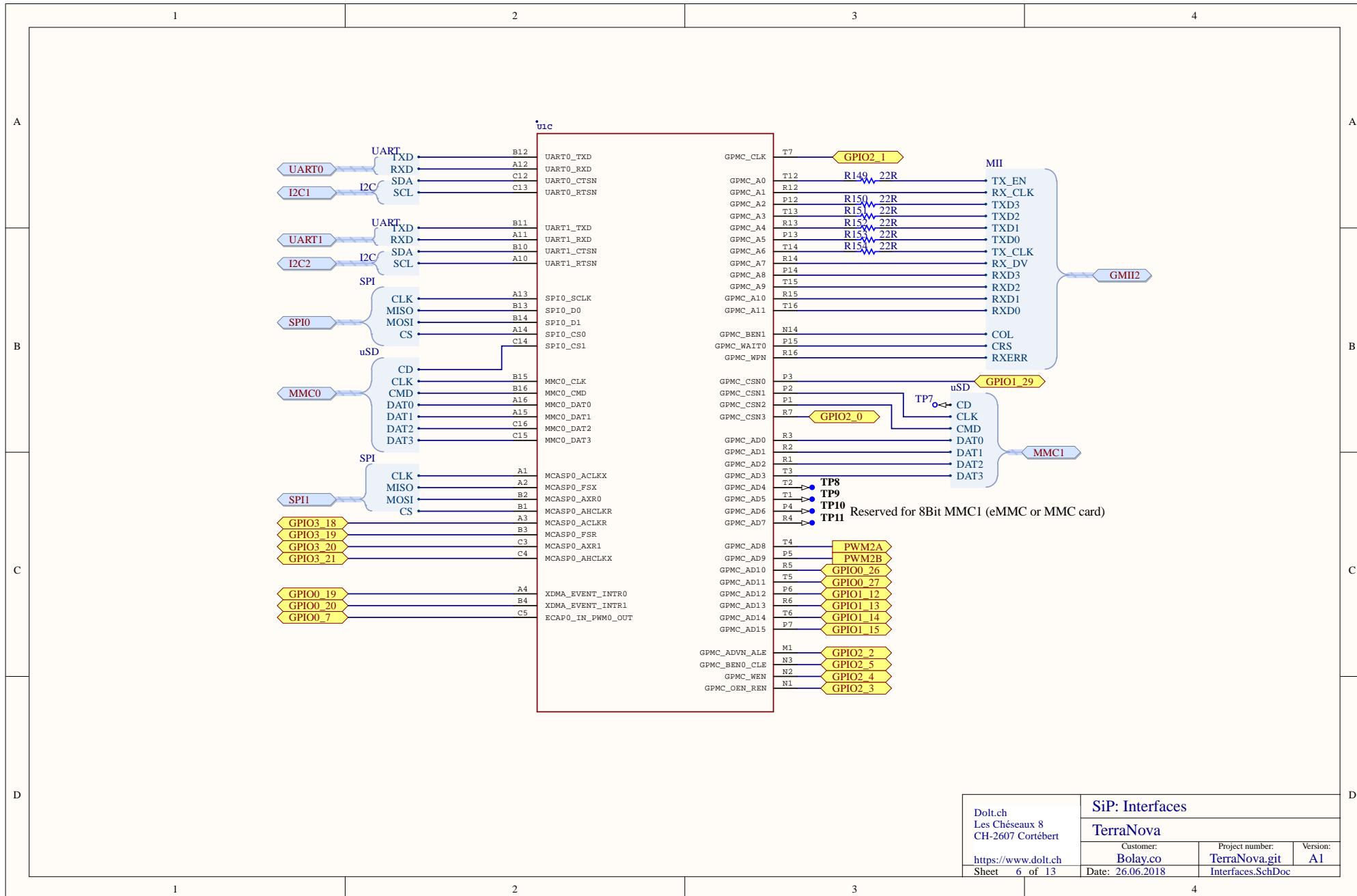
	1	2	3	4																																									
A	CodeName: Terra Nova Schematics and hardware specifications, rev. A1-0																																												
B	<table border="1"> <thead> <tr> <th>REV</th><th>Description</th><th>Date</th><th>Authors</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00A0</td><td>First prototype batch (5pcs)</td><td>xx.xx.2018</td><td>S. Dolt, N. Hauert</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				REV	Description	Date	Authors	00A0	First prototype batch (5pcs)	xx.xx.2018	S. Dolt, N. Hauert																																	
REV	Description	Date	Authors																																										
00A0	First prototype batch (5pcs)	xx.xx.2018	S. Dolt, N. Hauert																																										
C		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Page</th><th>Description</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Informations</td></tr> <tr><td>2</td><td>Board overview</td></tr> <tr><td>3</td><td>System in package (SiP) overview</td></tr> <tr><td>4</td><td>SiP - Power stage</td></tr> <tr><td>5</td><td>SiP - Clock, Analog, JTAG, RTC, USB</td></tr> <tr><td>6</td><td>SiP - Interfaces</td></tr> <tr><td>7</td><td>SiP - Ethernet and LCD</td></tr> <tr><td>8</td><td>SiP - GND and internal power rail</td></tr> <tr><td>9</td><td>Ethernet - PHY and connectors</td></tr> <tr><td>10</td><td>Mini PCI Express extensions ports</td></tr> <tr><td>11</td><td>Display LCD connector</td></tr> <tr><td>12</td><td>Hub USB and USB connectors</td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				Page	Description	1	Informations	2	Board overview	3	System in package (SiP) overview	4	SiP - Power stage	5	SiP - Clock, Analog, JTAG, RTC, USB	6	SiP - Interfaces	7	SiP - Ethernet and LCD	8	SiP - GND and internal power rail	9	Ethernet - PHY and connectors	10	Mini PCI Express extensions ports	11	Display LCD connector	12	Hub USB and USB connectors														
Page	Description																																												
1	Informations																																												
2	Board overview																																												
3	System in package (SiP) overview																																												
4	SiP - Power stage																																												
5	SiP - Clock, Analog, JTAG, RTC, USB																																												
6	SiP - Interfaces																																												
7	SiP - Ethernet and LCD																																												
8	SiP - GND and internal power rail																																												
9	Ethernet - PHY and connectors																																												
10	Mini PCI Express extensions ports																																												
11	Display LCD connector																																												
12	Hub USB and USB connectors																																												
D	 <table border="1"> <tr> <td>Dolt.ch Les Chêzeaux 8 CH-2607 Cortébert https://www.dolt.ch Sheet 1 of 13</td> <td>Index</td> </tr> <tr> <td>TerraNova</td> <td>Customer: Bolay.co</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Project number: TerraNova.git</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Version: A1</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Date: 26.06.2018</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Main.SchDoc</td> </tr> </table>				Dolt.ch Les Chêzeaux 8 CH-2607 Cortébert https://www.dolt.ch Sheet 1 of 13	Index	TerraNova	Customer: Bolay.co		Project number: TerraNova.git		Version: A1		Date: 26.06.2018		Main.SchDoc																													
Dolt.ch Les Chêzeaux 8 CH-2607 Cortébert https://www.dolt.ch Sheet 1 of 13	Index																																												
TerraNova	Customer: Bolay.co																																												
	Project number: TerraNova.git																																												
	Version: A1																																												
	Date: 26.06.2018																																												
	Main.SchDoc																																												
	1	2	3	4																																									

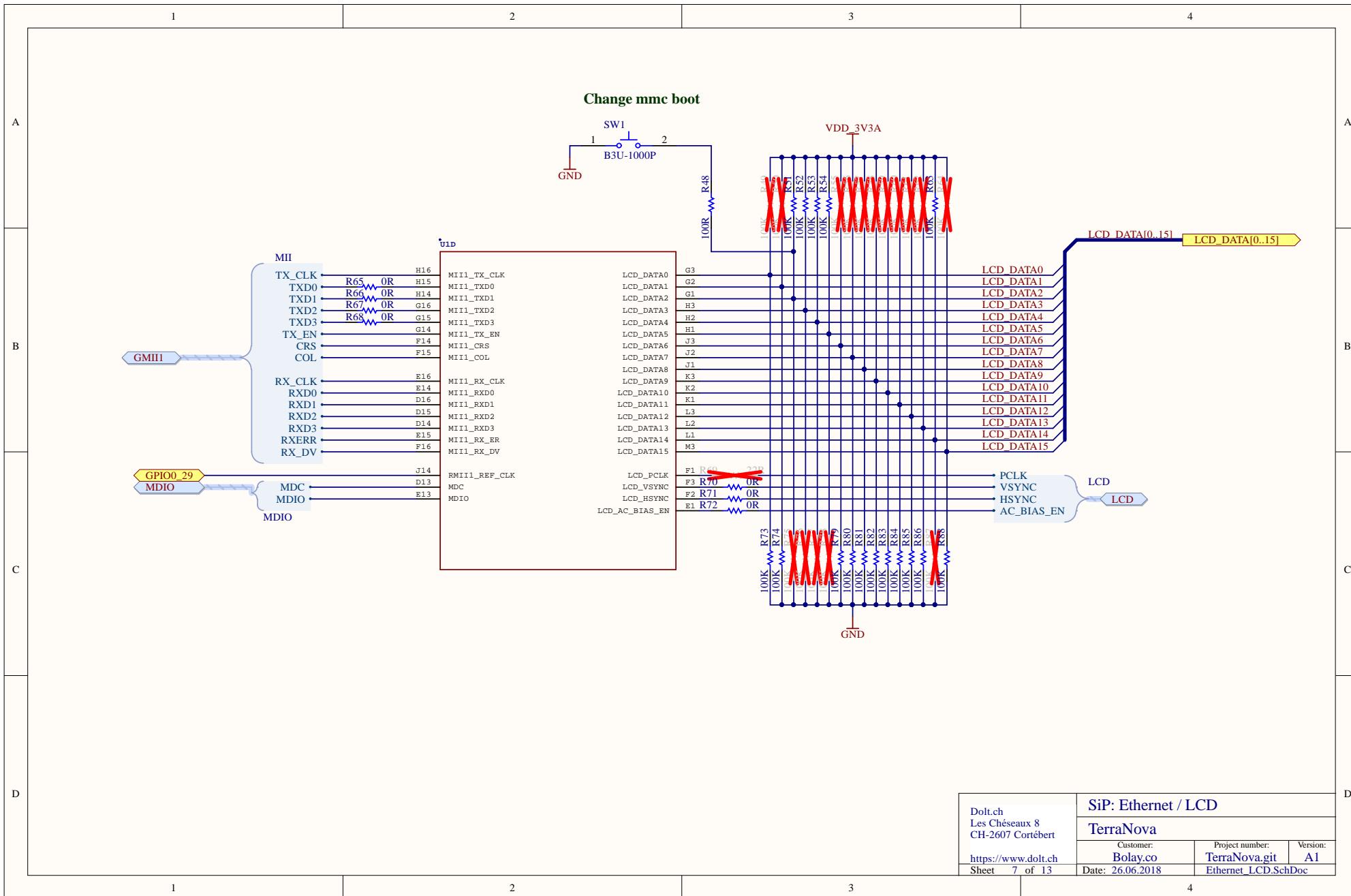


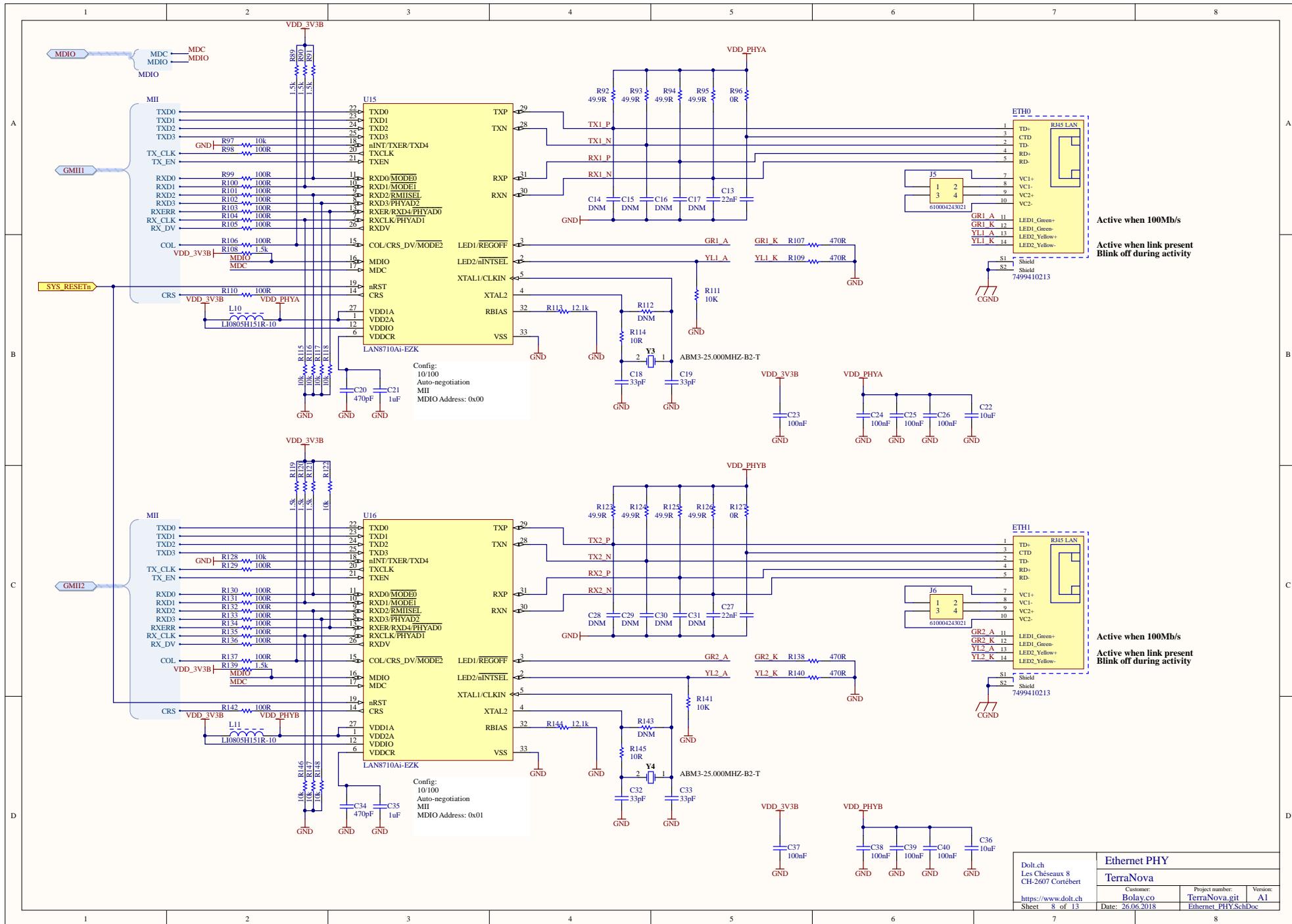


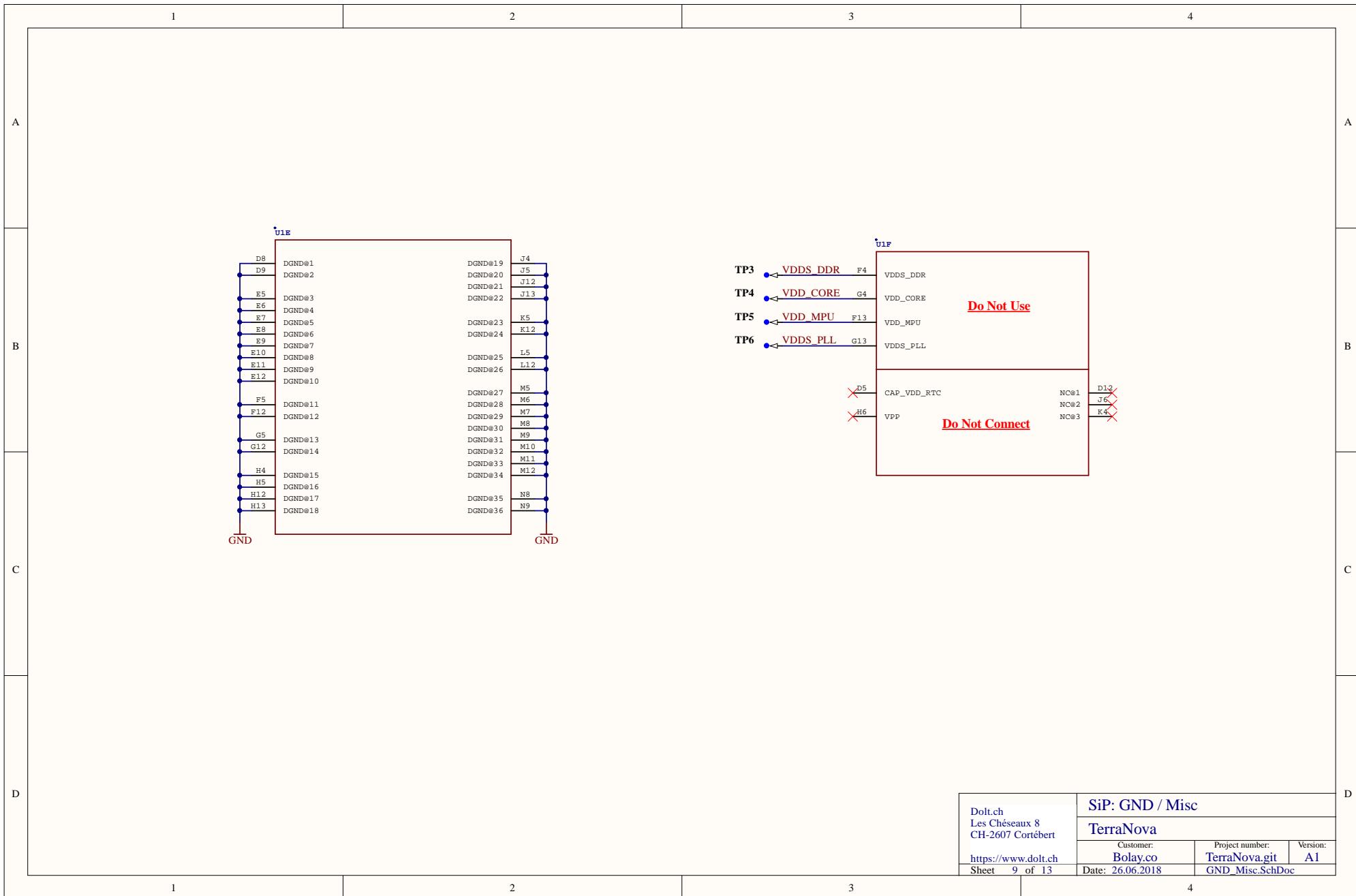


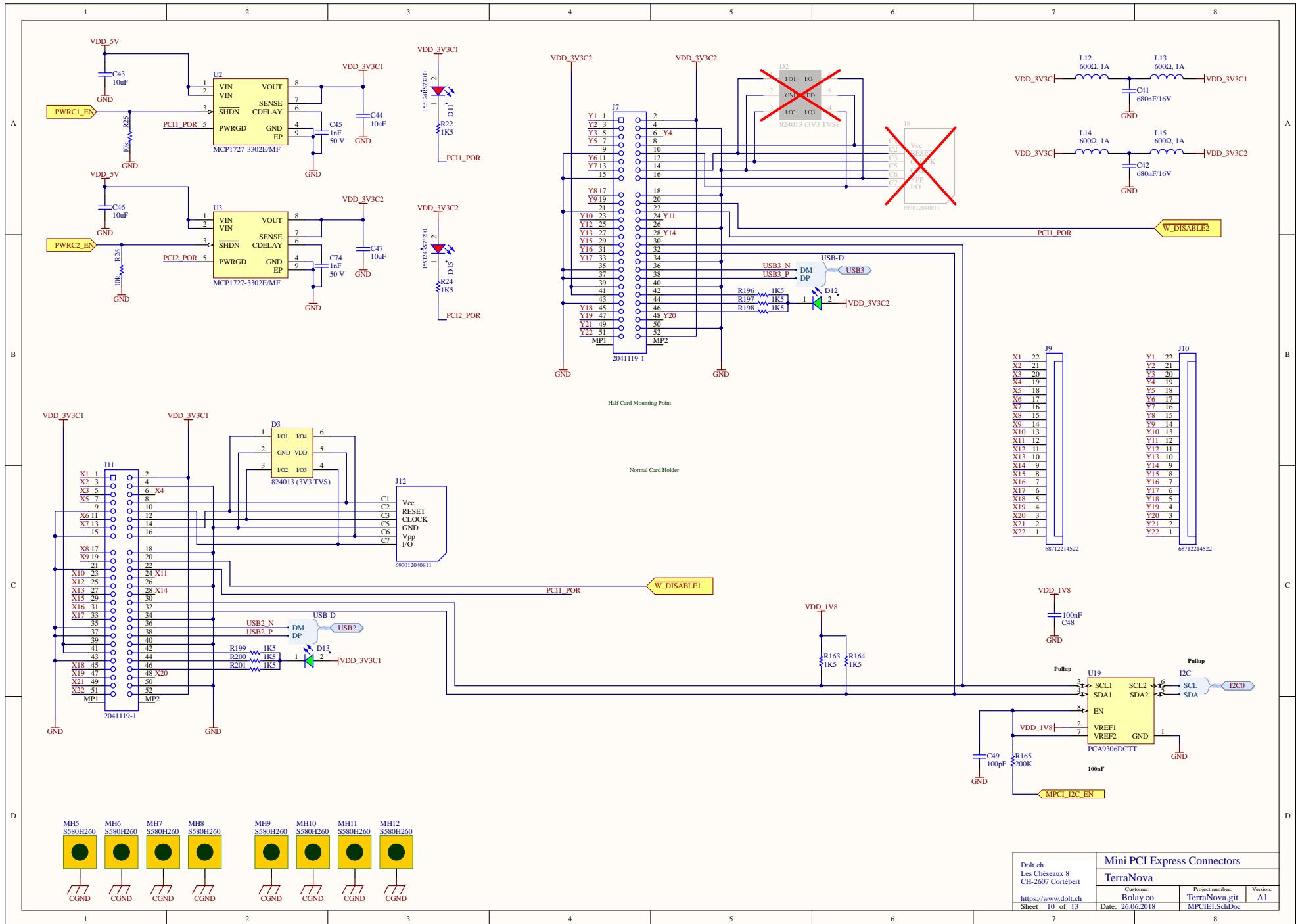




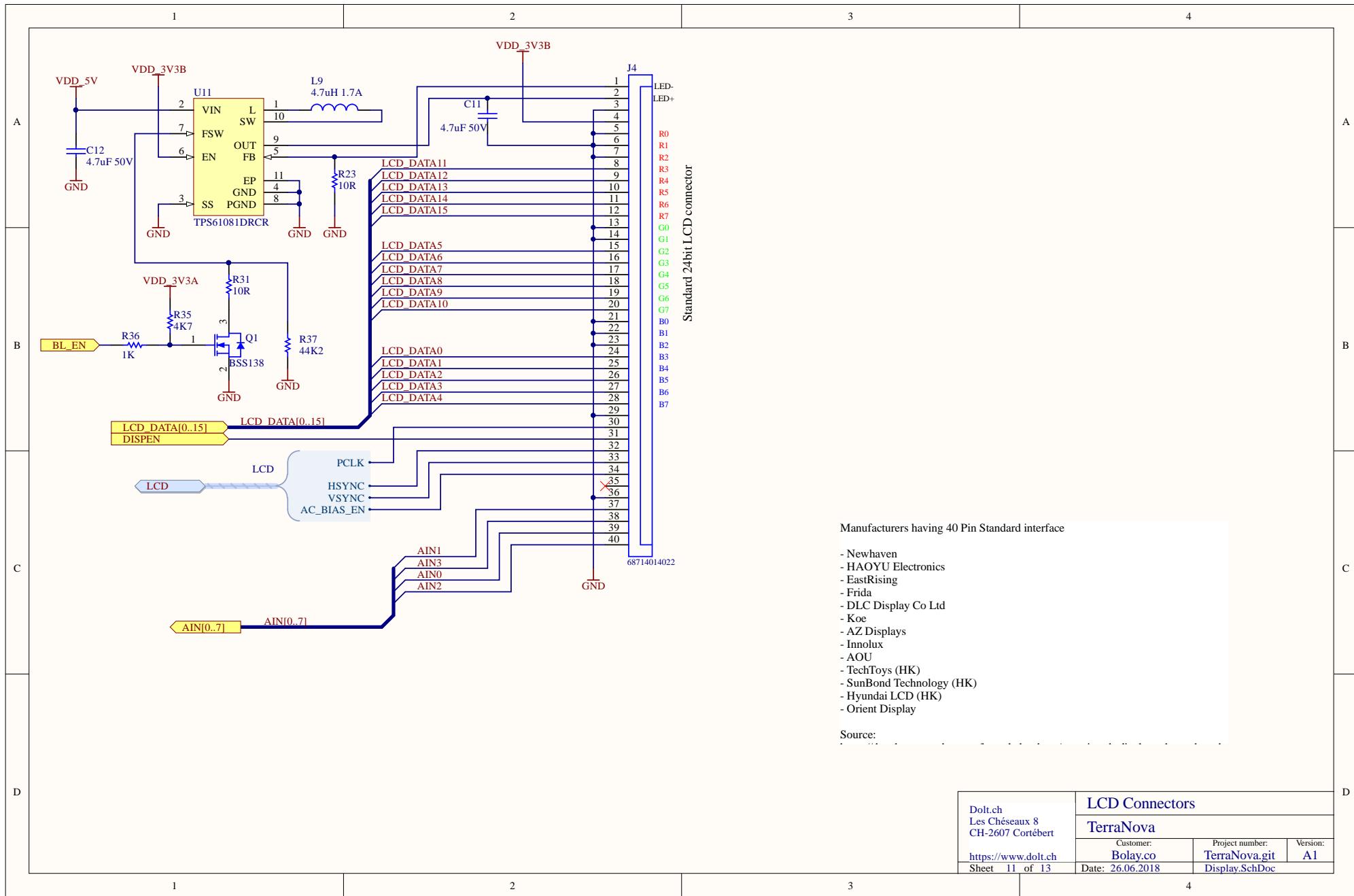


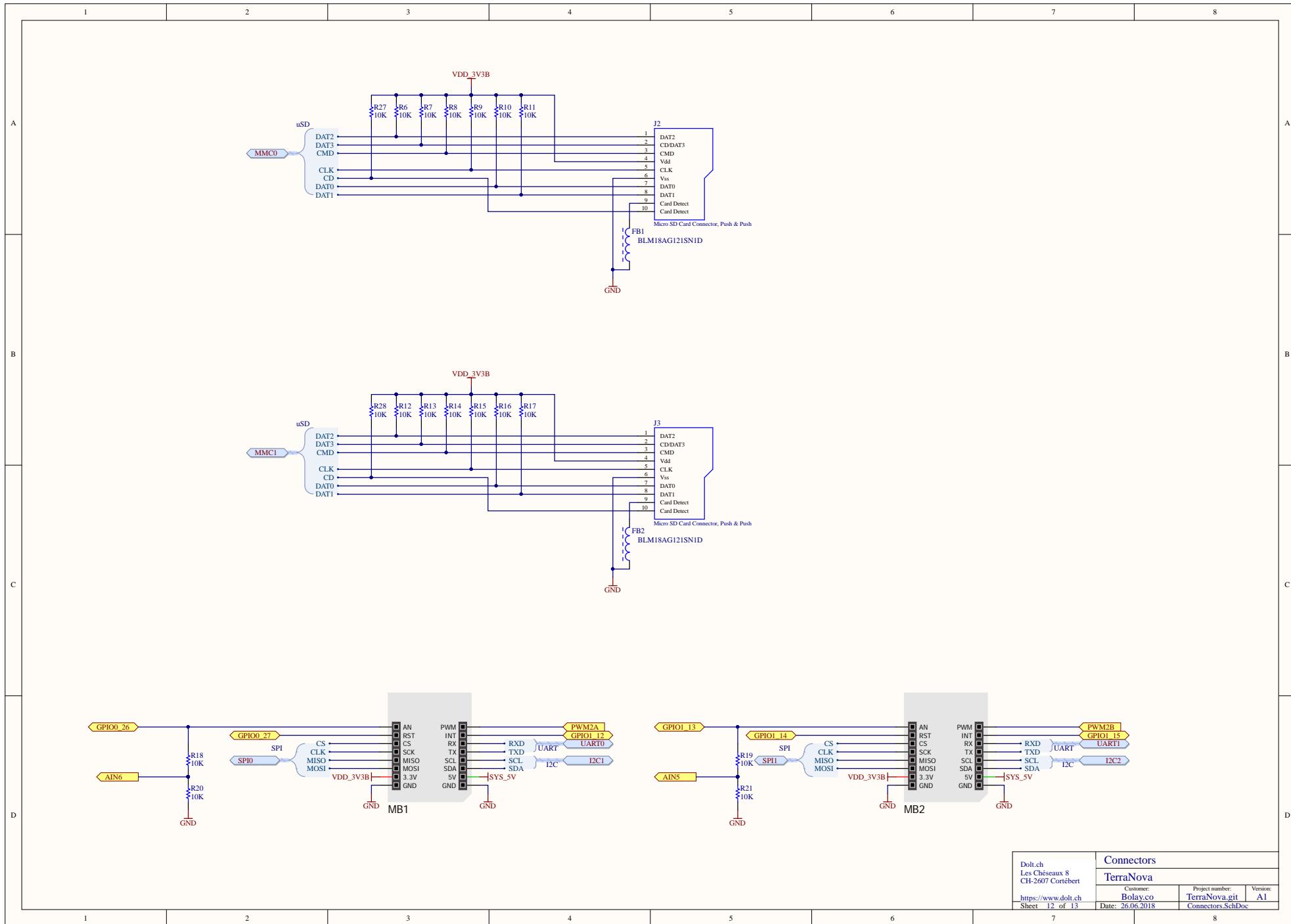


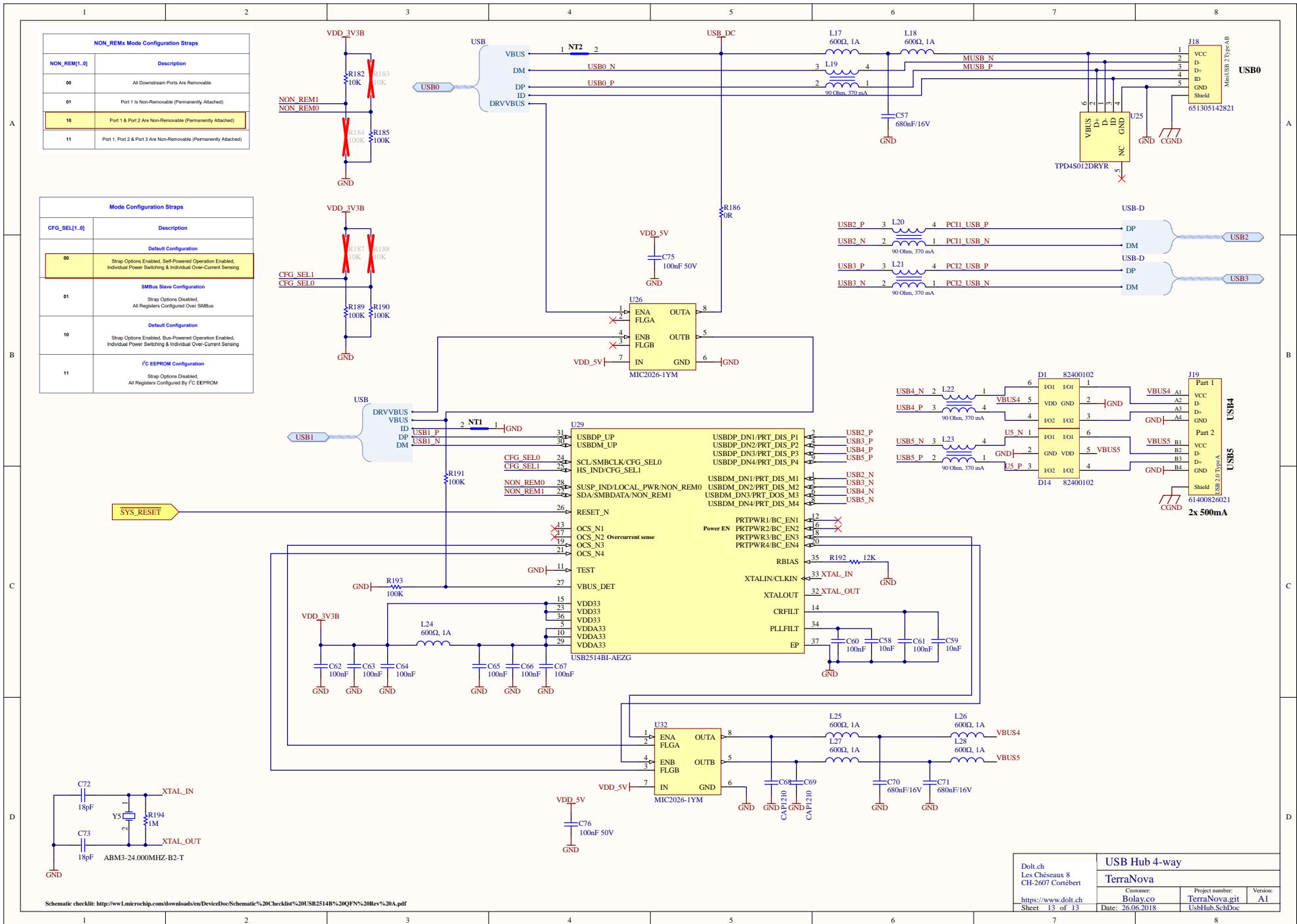




Dolt.ch		Mini PCI Express Connectors		
TerraNova				
Customer:	Bolay.co	Project number:	TerraNova.git	Version:
				A1
Sheet:	10 of 13	Date:	26.06.2018	MPCIEI.SchDoc







E. Routage et placement

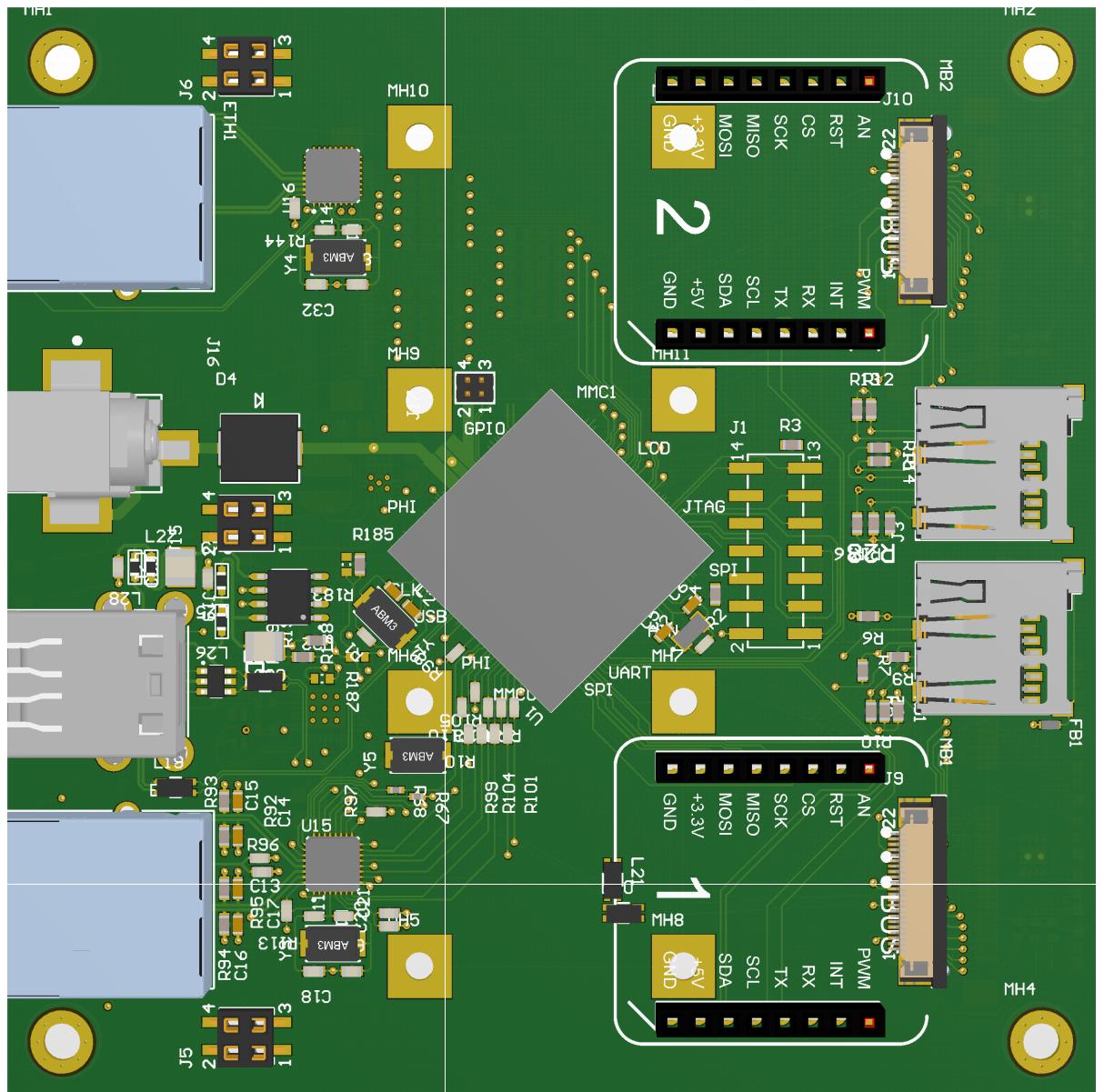


Fig. 2.: Face TOP

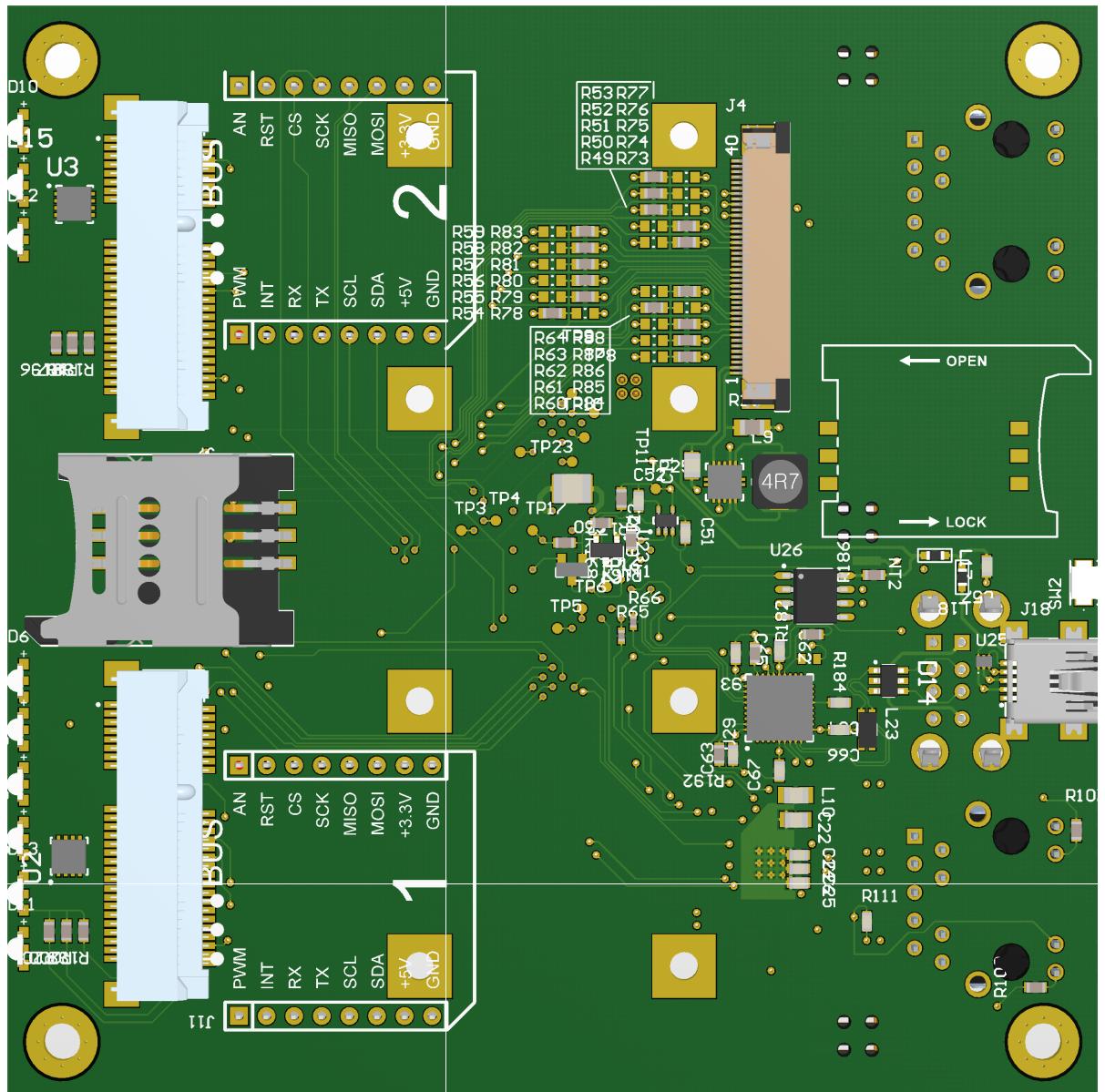


Fig. 3.: Face BOTTOM

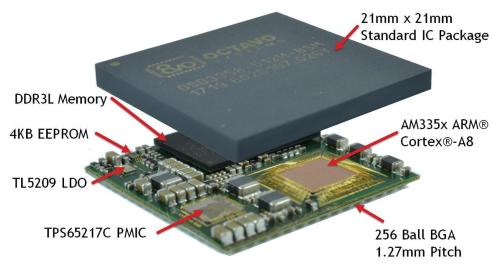
F. Affiche pour les portes ouvertes

Modular embedded Linux platform for The Internet of Things

Motivation

With the new generation of processors with integrated RAM and power management using the **system in package** (SiP) technology, it's now possible to develop **single board computers** (SBC) using standard **4 layers printed circuit board** (PCB).

By **integrating** all the necessary elements in a single package, the SiP technology allows to make less complex board, **reducing the time to market**, the **product size, development and production costs**.



The diagram illustrates the internal components of the SBC, including the central AM335x ARM Cortex-A8 processor, DDR3L Memory, 4KB EEPROM, and various power management and connectivity components. Below the main board, a 3D rendering shows the physical SBC board with its various ports and connectors, connected to a cloud icon labeled "IOT CLOUD" via arrows labeled "ETHERNET WWAN (4G) LoRaWAN".

Features

- ▶ CPU ARM Cortex-A8 1GHz
- ▶ 512 MB RAM
- ▶ 2 MicroSD slot for storage
- ▶ 2 Ethernet Port
- ▶ 2 miniPCIe port
- ▶ 2 extension slots
- ▶ 1 touchscreen connector
- ▶ -40° to +85°C (Industrial range)

In partnership with:

Samuel Dolt
Technicien ES en électronique
www.dolt.ch

bolau.co
SWISS MADE



Berner Fachhochschule
Haute école spécialisée bernoise
Bern University of Applied Sciences

Fachbereich: Elektro- und Kommunikationstechnik

Student:	Nicolas Hauert, Samuel Dolt
Dozent:	Prof. Dr. Elham Firouzi
Experte:	Sylvain Bolay

G. Article pour le livre de l'école

Eine Linux basierende Plattform mit Clickboards

Studiengang: BSc in Elektro- und Kommunikationstechnik | Vertiefung: Management
 Betreuer: Prof. Dr. Elham Firouzi
 Experte: Sylvain Bolay (bolay.co SA)
 Industriepartner: bolay.co SA, Sitten

Das Ziel unserer Arbeit bestand darin eine Linux basierende Plattform für den Industriepartner bolay.co SA zu entwerfen. Diese Plattform wird in verschiedenen Industriebereichen eingesetzt, unter anderem in den Bereichen der Temperaturmessung anhand diversen Sensoren, der Displayanzeige, der Übertragung von Daten zu einem Server oder dem Öffnen von Bankschliessfächern.

1

Ausgangslage und Ziele

Die neue Linux Plattform wurde anhand eines OSD3358 Prozessors System in Package (SiP) konzipiert. Dieser Prozessor wurde während der Projektstudie gewählt, weil dieser einen grossen Mehrwert für zukünftige Herausforderungen bringen kann. Dank seiner Vielfältigkeit kann dieser Prozessor in verschiedenen Tätigkeitsbereich eingesetzt werden. Durch die Unterstützung eines modifizierten Linux- Kernels und seiner Verwendung von Beagle Bone Black (BBB), können Open Source Entwicklungsbrettern dank bestehenden Erweiterungsboards (Clickboards) einfach erweitert werden. Man kann anhand von verschiedenen Clickboards auf einer sehr einfachen Art und Weise verschiedene Sensoren anschliessen, welche Messwerte wie GPS Signal, Temperatur, Bluetooth Signal oder PWM Signale erfassen können. Durch das speziell für die Firma bolay.co SA entwickelte PCB, welches auch Platine oder Leiterplatte genannt wird, haben wir ihre speziellen Anforderungskriterien in unsere Arbeit einfließen lassen. Unter anderem waren die Anforderungen an das PCB das es zwei Ethernetsports, Wi-Fi, GSM 4G und zwei SD Kartenleser hat.

Vorgehen

Am Anfang der Thesis haben wir unsere Arbeit in zwei Bereichen aufgeteilt, zum einen den Softwarebereich und zum anderen den Hardwarebereich. Für das PCB (Hardware) haben wir uns mit der Firma bolay.co SA in Sitten getroffen und die Anforderungskriterien des PCB festgelegt. Parallel zur Entwicklung des PCB wurden die verschiedenen Clickboards getestet und die ersten Ergebnisse ausgewertet. Zum Schluss wurde das PCB in die Produktion gegeben.



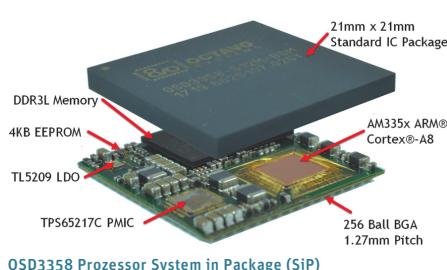
Samuel Dolt
 samuel@dolt.ch

Resultate und Ausblick

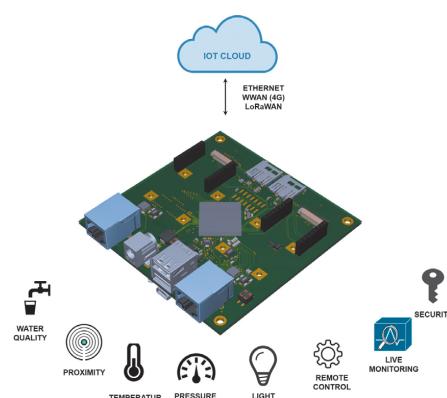
Bisher konnten wir verschiedene Clickboards wie GPIO, PWM, SPI, UART, Bluetooth und RTC mit der Hilfe der Pocket Beagle testen. Diese Clickboards müssen in einem zweiten Schritt auf unserem PCB getestet werden, damit wir sicherstellen können, dass wir unser PCB korrekt ausgelegt haben. Das PCB selbst ist soweit fertig und wird in einer zweiten Phase in der Industrie getestet und eingesetzt. In Zukunft wird sich zeigen, ob man das PCB ändern oder erweitern muss, damit es den industriellen Anforderungen entspricht.



Nicolas Marc Hauert



OSD3358 Prozessor System in Package (SiP)



Use Case