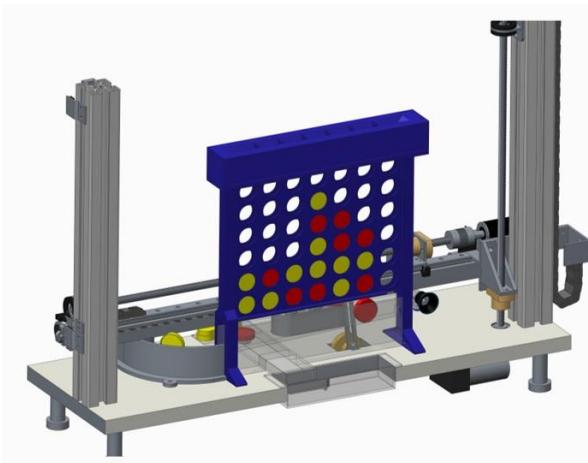




Het implementeren van het aansturingssysteem van de 4 op 1 rij robot.



Laurens Verbruggen (3886182)

20-1-2023

Het implementeren van het aansturingssysteem van de 4 op 1 rij robot.

20-1-2023

Student

Laurens Verbruggen (3886182)
laurens.verbruggen@student.fontys.nl

Mentor

Marjolein Daanen
m.daanen@fontys.nl

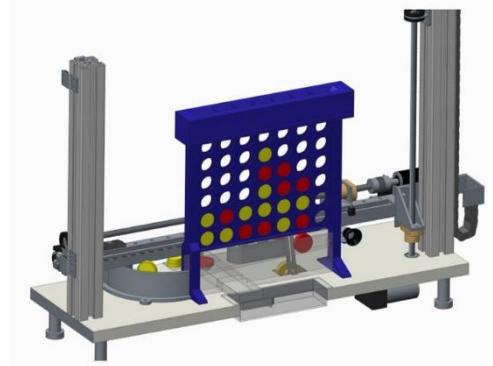
Bedrijf

ALTEN Nederland

Onder begeleiding van

Jos Deelen
Jos.deelen@alten.nl

Vincent van Hoek
vincent.van.hoek@alten.nl



Voorwoord

Als student heb ik binnen Fontys Mechatronica weinig de kans gekregen om te werken aan een printplaat en je echt te verdiepen in elektronica. Gelukkig kun je door een goed geformuleerde opdracht en veel interesse toch dat soort opdrachten krijgen bij een stage. Mijn grootste interesse tijdens mijn studie was de ontwikkeling van printplaten, en dankzij de hulp van Alten heb ik de afgelopen half jaar gewerkt aan een printplaat waarbij alle facetten aanwezig waren.

Alten had een opdracht liggen waarbij de hoofdaansturing van de 4-op-1 rij robot verbeterd moest worden. De opdracht is ontstaan uit de vraag naar een betere software integratie met de hardware in de robot, waarbij er gevraagd is om een dual-core STM32 te gaan gebruiken. Hiervoor moest de volledige printplaat opnieuw ontworpen worden. Deze ontwerpslag was mijn focus voor dit project.

Tijdens mijn project heb ik te maken gekregen met het chiptekort dat momenteel speelt in de elektronica wereld. Dit chiptekort is ontstaan uit het tekort aan productie van elektronische componenten en is voelbaar binnen elk technisch vakgebied. Dit voegde een uitdaging toe aan het project waardoor component keuze significant moeilijker werd en er een grote nadruk werd gelegd op het veilig werken met deze kostbare componenten.

Graag zou ik mijn begeleider binnen Alten, Vincent van Hoek, willen bedanken voor de regelmatige coaching en mentor sessies. Ik heb mijn aansluiting binnen het bedrijf voor een groot deel daaraan te danken.

Daarnaast zou ik graag mijn business manager Jos Deelen willen bedanken voor de kans om deze opdracht uit te voeren, en de steun en feedback tijdens het project. Daarbij zou ik ook graag de rest van de business managers willen bedanken voor de oefensessies van de presentatie en feedback rondes van dit verslag.

Ik had dit project ook niet kunnen uitvoeren zonder de hulp van mijn collega's binnen de Mechatronica afdeling: Jeroen Wilbers en Robert Wijma. Bedankt voor het meekijken over mijn schouder.

Laurens Verbruggen

Eindhoven, Januari 2023

Afkortingen

Afkorting	Betekenis
AI	Artificiële Intelligentie
UART	Universal Asynchronous Receive Transmit
GPIO	General Purpose Input and Output
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
BJT	Bipolar Junction Transistor
PWM	Pulse Width Modulation

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	1
1. Project definitie.....	2
1.1. Alten.....	2
1.2. 4-op-1-rij spel	3
1.3. Project doel	8
2. Project documentatie en architectuur.....	13
2.1. Voorgaande ontwerpen.....	13
2.2. Elektronisch architectuur.....	15
2.3. Systeem eisen.....	16
2.4. Module eisen.....	17
3. Systeem ontwerp	18
3.1. Elektronisch Ontwerp	18
3.2. Software Ontwerp	21
4. Module ontwerp	22
4.1. Vacuümsensor	22
4.2. PWM Connecties	24
4.3. Transistors	24
4.4. Homing switch.....	26
4.5. Regulators	27
5. Systeem implementatie.....	28
5.1. Netclasses.....	28
5.2. Component locatie	30
5.3. Interne lagen en polygonen.....	31
5.4. Trekontlasting.....	31
6. Testresultaten	32
6.1. Module Testing.....	32
6.2. Systeem Testing.....	35

7. Toekomst mogelijkheden	37
7.1. Software opmerkingen	37
7.2. Oplossing MOSFET inversie.....	37
8. Conclusie en aanbevelingen.....	38
Verwijzingen.....	39
Bijlage A System Design Document.....	1
A.1 System overview and architecture	3
A.2 Process flow (Concept of execution).....	3
A.3 Disciplinary architecture	4
A.4 Adaptons	8
A.5 Design options.....	10
A.6 Original Design	20
A.7 Netclasses.....	24
Appendix a. Mechanical architecture details	29
Appendix b. Pin list	30
Appendix c. Order list	32
Bijlage B System Requirement Documentation	1
B.1 User Requirements	2
B.2 System Requirements.....	2
B.3 Module requirements.....	19
Bijlage C Master test plan.....	1
C.1 Scope.....	3
C.2 Approach	5
C.3 Test plan	25
Bijlage D Elektronisch ontwerp	1
Bijlage E Elektronisch Lay-out.....	6
Bijlage F Software ontwerp	1



Samenvatting

Om de hiërarchie en structuur van de software van de 4-op-1-rij robot te kunnen verbeteren is gevraagd door Alten om de microcontroller van de 4-op-1-rij robot te vervangen voor een dual-core STM32 microcontroller. Om dit te realiseren moet er een nieuwe printplaat ontwikkeld worden waarop deze kan worden aangesloten.

Dit rapport beantwoordt de vraag: wat is er nodig voor het implementeren van een dual-core STM32 in de 4-op-1-rij robot? Daarbij wordt gekeken naar wat er nodig is om deze nieuwe printplaat te ontwikkelen.

Om deze ontwikkeling aan de nieuwe printplaat te maken is er een ontwerpcyclus volgens het V-model uitgevoerd. In deze ontwerpcyclus is de staat van de robot buiten beschouwing gelaten en zijn er geen mechanische aanpassingen gemaakt daaraan. Er is veel aandacht besteed aan de functionaliteiten van de robot en de gewenste oplossing voor de aansturing hiervan. Daarbij zijn verschillende problemen opgelost die zich voordeden in het vorige ontwerp. Deze ontwerpbeslissingen zijn gedocumenteerd in het System Design Document.

Uit de testfase is gebleken dat de aansturing van de robot functioneert. Daarnaast zijn de verschillende schakelingen in het ontwerp getest volgens een testplan. Daarbij zijn de actuatoren, sensoren en schakelaars getest en aantoonbaar functionerend door middel van een demo. Er blijkt echter een fout te zitten in de aansturing van de actuatoren, die gerepareerd kan worden.

Hierom wordt geadviseerd om een reparatie te doen op de printplaat. In de tussentijd moet rekening gehouden worden met deze fout als de printplaat gebruikt wordt. Daarnaast wordt aangeraden om de programmering van de aansturing van de robot met gebruik van deze dual-core microcontroller door te zetten doormiddel van een vervolgproject.



1. Project definitie

Binnen Alten wordt al enkele jaren gewerkt aan een robot die in staat is om het spel 4-op-1-rij te spelen tegen leden van het publiek tijdens evenementen. Deze robot is een intern project waaraan door verschillende medewerkers gewerkt is. De robot staat als opstelling in de werkplaats van het bedrijf en wordt doormiddel van projecten verbeterd en uitgebreid. Dit hoofdstuk beschrijft de robot en het bedrijf dat het bouwt. Daarnaast beschrijft het de opdracht waarmee de verbetering aan de robot wordt gemaakt en de aanleiding voor dit project. Het geeft informatie over het werk dat vooraf is gedaan en waar het project op verder bouwt.

Het doel van dit hoofdstuk is om meer context te geven over de werking en achtergrond van de opdracht. Het licht de termen toe die in het verslag terugkomen en geeft informatie over de context van het project.

1.1. Alten

Alten Nederland is een consultancy en engineering organisatie dat verschillende (veelal technisch georiënteerde) bedrijven ondersteund in technische ontwikkelingen met haar consultants. Het bedrijf is gespecialiseerd in IT, Technische Software en Mechatronica. Deze branches hebben elk hun eigen klanten en zijn verdeeld over verschillende vestigingen door heel Nederland. Vanwege de aard van het bedrijf heeft het weinig consultants die vanuit haar eigen kantoren werkt. Het grootste gedeelte van de werknemers werkt op locatie bij de klant. Slechts enkele werknemers zijn gepositioneerd op het kantoor en werken aan interne projecten voor klanten of aan idle projecten.

Om deze consultants, die op dat moment geen project hebben, de mogelijkheid te geven om te blijven werken aan hun competenties, en mede voor de productie van showmodellen om de competenties van het bedrijf ten toon te stellen, biedt Alten de mogelijkheid aan deze medewerkers om aan research en development projecten te werken die idle projecten worden genoemd. Deze projecten worden ontwikkeld in samenwerking met studenten en zijn voornamelijk gefocust op visueel interessante en interactieve robots en showmodellen. Deze projecten worden vervolgens gebruikt en tentoongesteld tijdens beurzen, exposities, en open dagen van het bedrijf.

Doordat er idle consultants aan de projecten werken, komt het vaak voor dat een project spontaan wordt overgedragen aan een andere idle consultant, doordat ze een opdracht bij een klant hebben gekregen. Dit zorgt ervoor dat er weinig gedocumenteerd wordt en veel van het project niet afgerekend wordt. Dit zorgt ervoor dat de studenten die aan de projecten werken de extra uitdaging krijgen om met de gelimiteerde hoeveelheid documentatie aan hun project te beginnen.

1.2. 4-op-1-rij spel

Een van deze showmodellen is in staat om het spel 4-op-1-rij te spelen. In dit spel, typisch gespeeld in een blauw rek met rode en gele fiches, spelen twee spelers om de beurt een fiche in het rek. Door fiches te spelen proberen beide spelers zo snel mogelijk vier vakjes te vullen die een aansluitende horizontale, verticale of diagonale rij vormen. Hieronder (Figuur 1 Het spel 4-op-1-rij) is het rek van het spel te zien, met een winnende rode diagonale rij. Wanneer een speler de rij weet te creëren kan het spel gereset worden door middel van een schuif onder in het rek dat de fiches terug geeft aan de spelers.

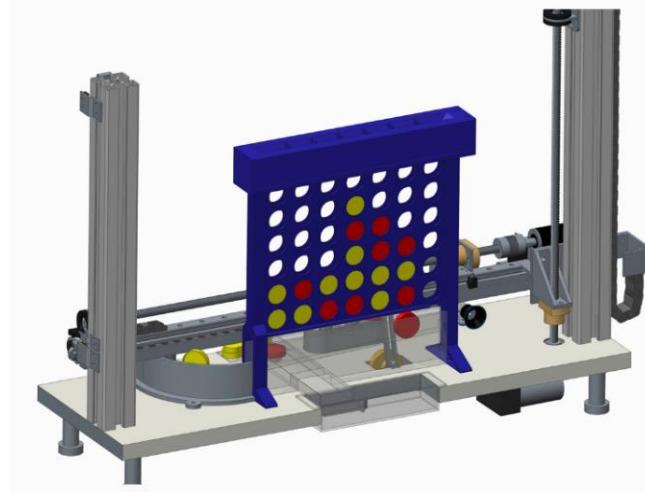
De robot van Alten kan een van de spelers vervangen. Doormiddel van een artificial intelligence kan de robot een zet bepalen, en een fiche spelen in het rek. De moeilijkheidsgraad van de robot kan worden ingesteld, waarop het een strategie bepaalt.



Figuur 1 Het spel 4-op-1-rij

1.2.1. 4-op-1-rij robot

De 4-op-1-rij robot speelt (doormiddel van motoren en een vacuüm gripper) fiches naar het spel. Daarnaast is het in staat om eerst alle fiches te sorteren doormiddel van een kleurensensor. Ook reset de robot het spel weer, door alle fiches uit het rek te halen en terug te brengen naar de opslag, wanneer er een winnaar is. De robot is ontwikkeld om door een persoon verplaatst te kunnen worden en past volledig op een kleine tafel. In het figuur hieronder (Figuur 2 De 4-op-1-rij robot) is te zien hoe deze robot eruit ziet vanaf het perspectief van een speler.

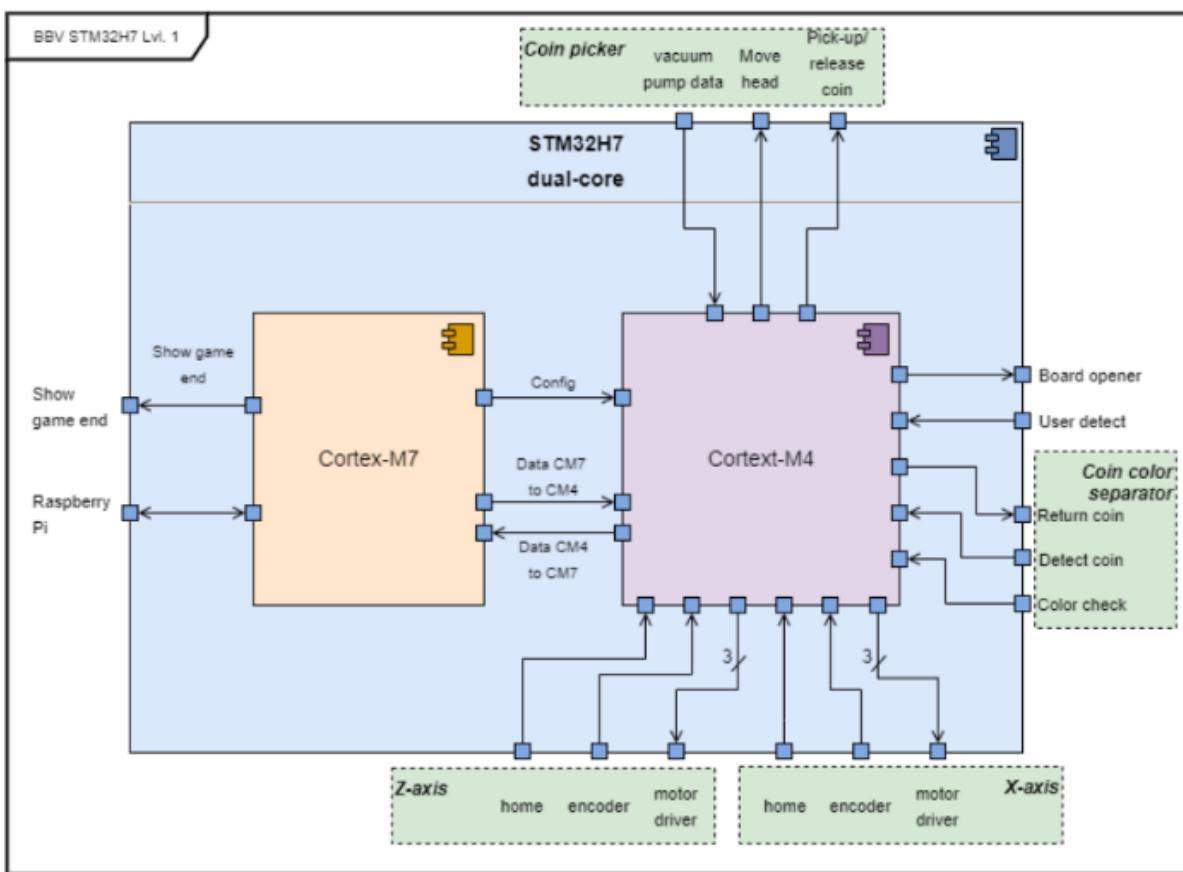


Figuur 2 De 4-op-1-rij robot

Huidige staat

De 4-op-1-rij robot zit mechanisch in elkaar. Onder de mechanische opstelling van de robot zit het aansturingssysteem dat de verschillende actuatoren en sensoren van de robot bestuurd. Het aansturingssysteem van de 4-op-1-rij robot bestaat uit twee processoren: een Raspberry Pi en een STM32 controller. De Raspberry Pi regelt de spelbepaling door middel van AI en het aansturen van de robot door middel van een state machine. De STM32 controller regelt het uitvoeren van deze states. Deze STM32 controller wordt de single-core STM32 genoemd.

In het verleden is er een nieuwe structuur bedacht voor de software van het systeem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een dual-core STM32. Deze STM32 bevat twee controllers die individueel van elkaar kunnen werken. (Figuur 3 Functie verdeling van hardware aansturing volgens de software architectuur.) Deze nieuwe softwarestructuur maakt het gebruik van de dual-core controller mogelijk in de software en verbetert de ‘plug-and-play mogelijkheden’, leesbaarheid en ontwikkelingstijd, doordat het een verdeling maakt van functionaliteit op basis van de twee cores. In plaats van dat de STM32 alleen de states uitvoert, en de Raspberry Pi de states bepaalt, wordt de state machine van de Raspberry Pi verplaatst naar de tweede core op de STM32, waardoor de Raspberry Pi alleen nog maar de spelbepaling doet. Daarmee creëer je een duidelijke hiërarchie in het aansturingssysteem. Op de structuur van deze twee cores kunnen software blokken worden geprogrammeerd. Dit maakt het makkelijk om de software in kleine stukken op te breken, en deze blokken (Figuur 7 De software blokken.) over meerdere projecten te laten spannen.

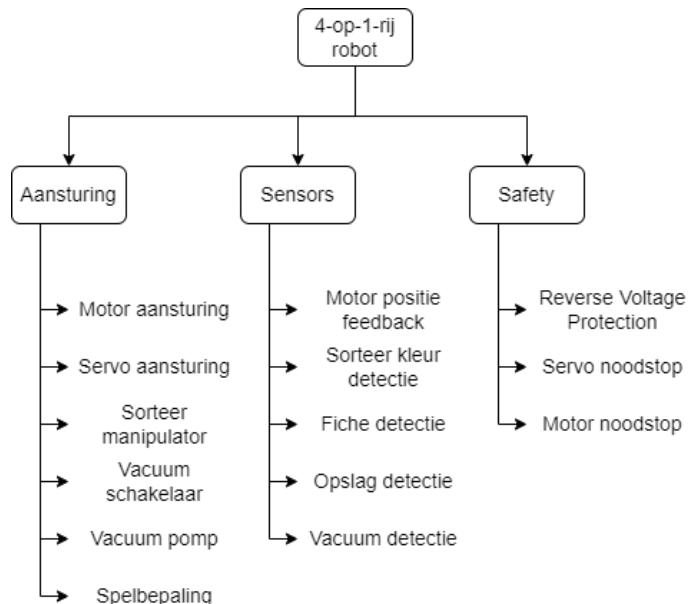


Figuur 3 Functie verdeling van hardware aansturing volgens de software architectuur.

De aansturing voor de motoren is getest door middel van een proof of concept van een dual-core aansturingssysteem met een nieuw software architectuur. Dit proof of concept was onderdeel van een vorig project, om onderzoek te doen naar een dual-core systeem. Dit dual-core systeem maakt gebruik van een nieuwe STM32 die een extra interne core heeft en gemonteerd is op een kleine printplaat. Het is in staat sommige functies van de robot te besturen, maar is niet bruikbaar voor de gehele robot. Dit project bouwt voort op dit dual-core proof of concept, en heeft als doel om een uitgewerkte versie te maken van dit systeem. (Project doel)

1.2.2. Functie boom

De functieboom (Figuur 4 Functie boom) geeft de vereiste functionaliteit weer. Deze functionaliteit wordt bepaald door de meegeleverde opstelling zoals beschreven in hoofdstuk 1.2.1 (4-op-1-rij robot). Het op te leveren systeem zal moeten voldoen aan deze functionaliteit, en kan onderverdeeld worden in de drie onderdelen: aansturing, sensors en ‘safety’. Deze onderdelen worden verder toegelicht in onderstaande paragrafen.



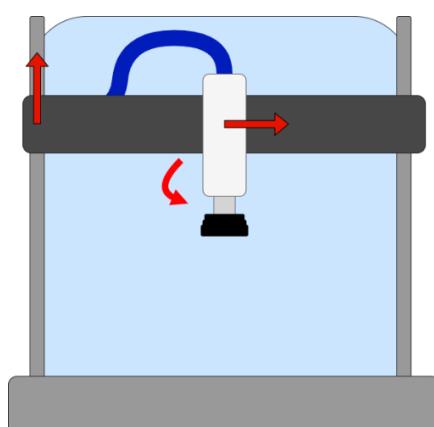
Figuur 4 Functie boom

Aansturing

Het spel wordt gespeeld door het werpen van fiches in het rek. De fiches worden opgepakt doormiddel van een vacuümgrijper. Deze vacuümgrijper gebruikt de onderdruk die wordt opgebouwd door de vacuümpomp om het fiche vast te zuigen. De beweging om de fiches in het rek te werpen wordt geregeld door vier motoren:

- Horizontale as; een motor met encoder feedback.
- Verticale as; een motor met encoder feedback.
- Vacuümpomp; een motor met een compressie onderdeel.
- Kantel servo; een servomotor op de vacuümgrijper.

Deze beweging moet in staat zijn om de vacuümgrijper horizontaal en verticaal over het rek te bewegen en het te kantelen naar de opening (Figuur 5 Beweging vrijheidsgraden). Daarnaast moet de druk van de grijper geregeld worden. De druk wordt opgebouwd door een motor met een vacuümpomp en uitgelezen door een vacuümsensor.



Figuur 5 Beweging vrijheidsgraden



Reset

Tijdens de reset van het spel worden de fiches gesorteerd en terug gespeeld naar de speler. De robot bereid het spel voor op een nieuwe ronde. Deze functionaliteit wordt uitgevoerd door eerst alle fiches te verwijderen uit het rek. Dit wordt gedaan door een “Opener Servo”. Deze servo schuift de teruggave schuif open waardoor alle fiches naar een tussenopslag rollen. De vacuümlijmhefboom sorteert daarna de fiches. Hierover is onder het kopje [Aansturing](#) meer te lezen.

Sensoren

In de robot zitten verschillende sensoren die feedback geven aan het systeem. Deze sensoren zijn er om de aansturing van de robot te creëren of voor de spelbepaling

Aansturing

De fiches worden tijdens het resetten van de robot gesorteerd op kleur. Doormiddel van een kleurensensor worden de fiches gesorteerd. De gescheiden kleur wordt terug gespeeld naar de gebruiker door het weg te tikken met een “Pinball Flipper”. Het fiche schuift over een baan terug naar de fichebak van de gebruiker. Tijdens het resetten wordt ook de inhoud van de fiches opslag gecontroleerd door een proximity sensor.

De vacuümlijmhefboom heeft een vacuümsensor waardoor het de druk in de hefboom kan meten. Dankzij deze feedback kan het systeem bepalen of het succesvol een fiche heeft opgepakt.

De motoren hebben ingebouwde encoders. Deze encoders worden gebruikt om de positie van de actuatoren te bepalen.

Spelbepaling

De artificiële intelligentie van de robot bepaalt de volgende zet, en geeft opdrachten om de zetten uit te voeren. Om de zetten van de robot te bepalen en uit te voeren moeten de fiches gedetecteerd worden. Doormiddel van een “User Detect” sensor wordt geregistreerd waar een fiche in gegooid wordt. Deze User Detect bestaat uit zeven kleursensoren die hun data schrijven naar een I2C register. De data wordt via I2C gecommuniceerd naar het aansturingssysteem. Het systeem communiceert daarna via UART met de AI om een zet te bepalen.

Veiligheid

Ter bescherming van de gebruiker zitten er drie grote veiligheidssystemen in de robot:

- Reverse voltage protectie; een bescherming tegen een verkeerde voedingsspanning.
- Motor noodstop; een schakeling die de stroom naar de motoren kan uitschakelen.
- Servo noodstop; een schakeling die de stroom naar de servo's kan uitschakelen.

De reverse voltage protectie beschermt de gebruiker van het kapot maken van het systeem, door de voltage af te sluiten als deze verkeerd om is aangesloten.

De noodstop in de opstelling stuurt de andere twee veiligheidssystemen aan. Deze systemen sluiten de stroom naar de motoren en naar de servo's af. Dit zorgt ervoor dat ten alle tijden de stroom naar de motoren afgesloten kan worden.

1.3. Project doel

Het project focust zich op het implementeren van de nieuwe dual-core STM32 controller, en beantwoordt de vraag: "wat is er nodig voor het implementeren van een dual-core STM32 in de 4-op-1-rij robot?". Hiervoor moet een PCB ontworpen worden die de motoren en sensoren kan aansturen met deze nieuwe dual-core STM32 controller. Hierbij is het belangrijk om veranderingen in de eisen in de gate te houden, die ontstaan uit het gebruik van de dual-core microcontroller, waarop mogelijk aanpassingen moeten worden gemaakt.

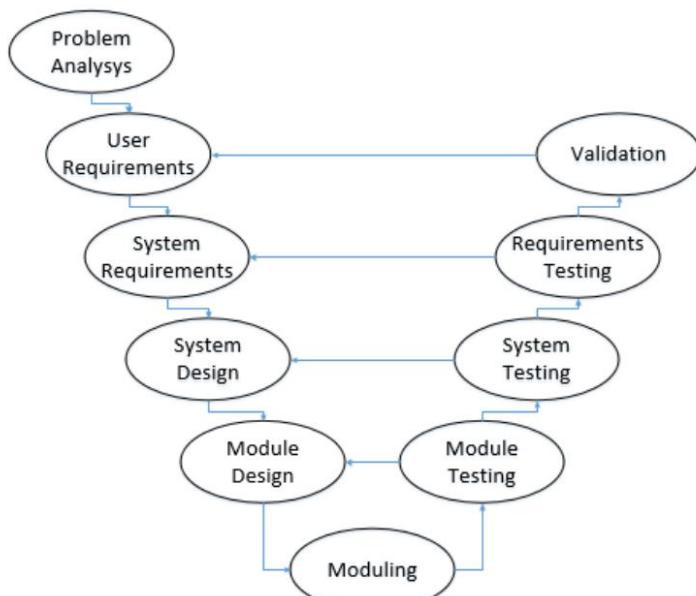
1.3.1. Taken

Om de single-core controller te vervangen met een dual-core controller moet een ontwerp voor de nieuwe printplaat ontwikkeld worden. Dit ontwerp wordt ontwikkeld met behulp van het originele ontwerp en moet aansluiten op de opstelling van de 4-op-1-rij robot. Hiervoor worden eerst de eisen opgesteld, daarna een printplaat ontwikkeld, en als laatste worden er software blokken ontwikkeld om de functionaliteit te bewijzen.

Aanpak

Tijdens het project wordt een ontwerpcyclus uitgevoerd doormiddel van het V-model. (Figuur 6) In dit model wordt een onderscheid gemaakt tussen systeem en module, waarbij deze individuele stappen vormen in de ontwerpcyclus. Doormiddel van ontwerpfasen en test fasen wordt het systeem stap voor stap gevalideerd. Dit verslag houdt de structuur van het v-model grotendeels aan. Doordat sommige systeemeigenschappen niet ingevuld konden worden tijdens de systeem ontwerp fase (zie hoofdstuk 3 Systeem ontwerp) is er na het module ontwerp fase een systeem integratie fase toegevoegd. Daarnaast is de 'moduling' fase samengevoegd met de testing fasen.

De opbouw van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 worden de voorgaande ontwerpen geanalyseerd, waarbij gekeken wordt naar verbeterpunten en systeemeisen. In hoofdstuk 3 wordt het systeem gedefinieerd en een ontwerp aangeboden. In hoofdstuk 4 en 5 zijn de verschillende blokken in het ontwerp ingevuld en uitgewerkt. In hoofdstuk 6 zijn de testresultaten van het systeem te zien, waarna er in hoofdstuk 7 uitwerkingen van mogelijke verbeterpunten gegeven zijn. Hoofdstuk 8 bevat de conclusies van het project. In de bijlagen zijn de gedetailleerde uitwerkingen van het ontwerp te zien.



Figuur 6 het v-model

Scope project

Op te leveren na het project zijn:

- Het ontwerp van de definitieve printplaat.
- Een werkend product van het aansturingssysteem.
- Testsoftware om de werking van het aansturingssysteem te bewijzen.
- Documentatie van de ontwerpbeslissingen.

User Requirements

De User Requirements zijn opgesteld samen met de klant (Tabel 1 User Requirements).

Tabel 1 User Requirements

Number	Requirement	MoSCoW	Test procedure
UR1	De robot speelt het spel 4-op-1-rij volledig automatisch.	Must	Observatie
UR2	De robot is makkelijk mee te nemen naar externe locaties in een passagiersauto.	Must	Observatie
UR3	De robot is plug and play.	Must	Observatie
UR4	De robot is veilig te gebruiken bij publiek.	Must	Observatie
UR5	De robot is opgebouwd van industriële componenten met behulp van competenties van Alten.	Must	Observatie
UR6	De robot kan 10 uur lang onafgebroken spelen.	Must	Observatie
UR7	Het aansturingssysteem maakt gebruik van de NUCLEO-H755ZI-Q controller.	Must	Observatie
UR8	Het dual-core aansturingssysteem moet dezelfde functionaliteit behouden als het single-core aansturingssysteem.	Must	Observatie
UR9	Software blokken behouden de structuur zoals beschreven in de architectuur.	Should	Observatie
UR10	De software blokken voor het initialisatie protocol worden uitgewerkt.	Should	Observatie
UR11	De opgeleverde producten zijn uitgewerkt met documentatie en beschrijvingen.	Should	Observatie
UR12	De software blokken voor het initialisatie protocol zijn getest op de opstelling.	Wish	Observatie

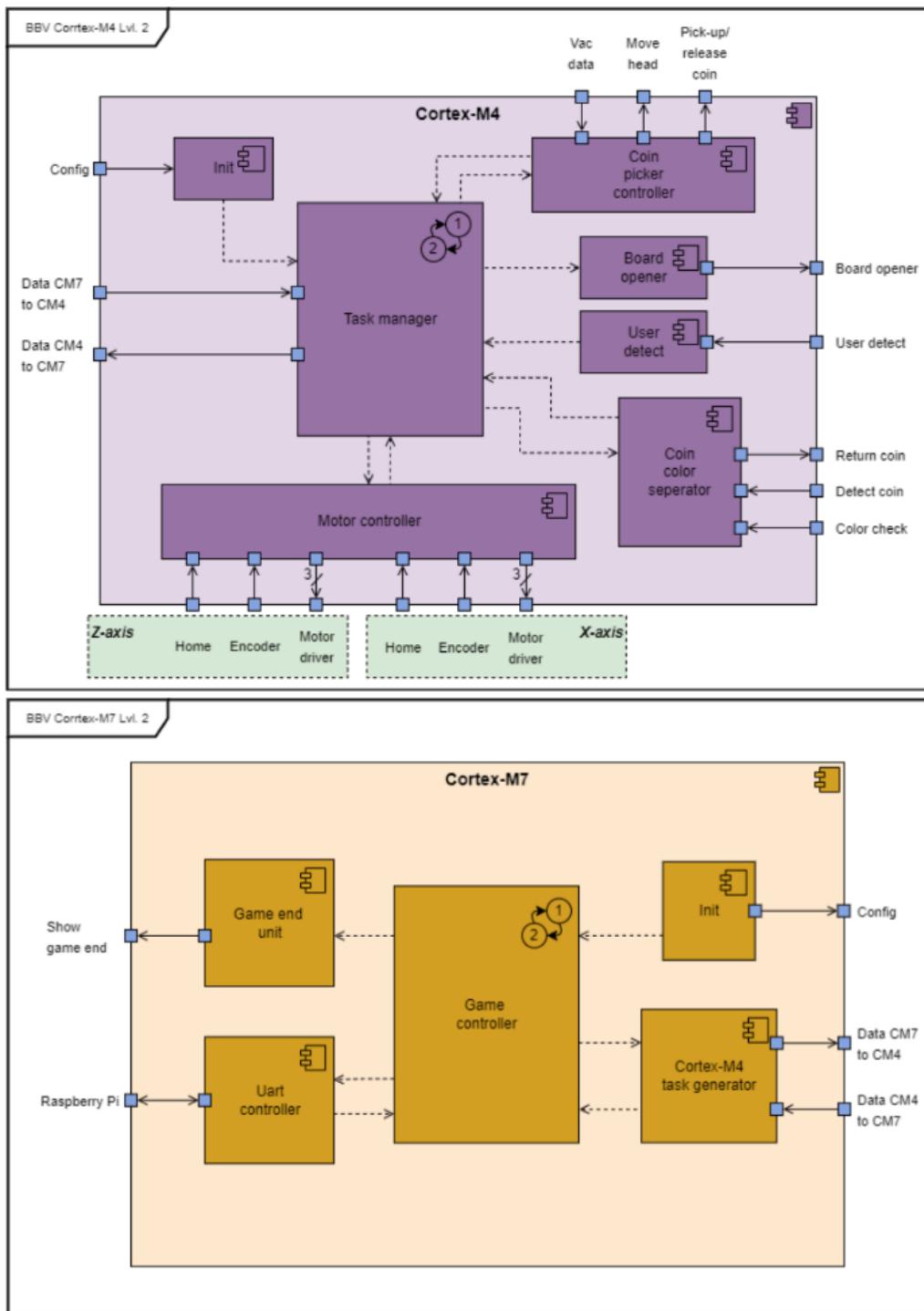
De software

Voor dit project is er gekozen om de initialisatie procedure te programmeren waarmee het systeem getest gaat worden. Hiervoor zijn de software blokken uit Tabel 2 Start protocol nodig (pagina 10). Deze initialisatie zorgt ervoor dat de verschillende onderdelen van het systeem op hun begin stand worden gezet, en klaar staan voor gebruik. Daarmee wordt de basisfunctionaliteit getest. Een uitgebreide structuur van de software blokken is te zien in Figuur 7 De software blokken.

Onderdeel van het initialisatie procedure is het initialiseren van de cores van de STM32 controller. Vanwege de hiërarchische structuur van de cores moet de hoofd core, de M7 core, als eerste geïnitialiseerd worden. Deze core geeft een puls aan de M4 core, de tweede core, om te initialiseren en het start protocol te starten. Een van de blokken die hiervoor nodig is, is de task manager. Dit blok verwerkt alle taken die de M7 core stuurt. Dit software blok is cruciaal voor de samenwerking van de twee cores, en start het initialisatie programma. Voor de test software zal deze alleen de taak van het start protocol kunnen verwerken.

Tabel 2 Start protocollen

Software blok	Start protocol	Inputs en Outputs
Init (M7)	Stuurt een puls naar de andere core om het start protocol te starten.	Input: Computer startsignaal Output: Config signaal
Init (M4)	Ontvangt de puls om de initialisatie task te sturen naar de task manager.	Input: Config signaal Output: Init task
Task manager	Stuurt signalen naar de motor controller, servo controllers en de sensor blokken om het start protocol uit te voeren.	Input: Init task Output: Motor controller init Output: Coin color seperator init Output: User detect init Output: Board opener init Output: Coin picker controller init
Motor controller	Beweegt X-as motor en Z-as motor naar home positie en test de werking van de motoren en encoders.	Input: Motor controller init Output: Homen afgerond met status
Coin color seperator	Checkt color sensor en proximity sensor. Test de pinball flipper.	Input: Coin color seperator init Output: Sensor statussen
User detect	Checkt de werking van de I2C io en de gate sensors.	Input: User detect init Output: Sensor statussen
Board opener	Beweegt servo naar home positie.	Input: Board opener init Output: Homen afgerond met status
Coin picker controller	Checkt vacuüm sensor en test vacuümpomp. Beweegt servo naar home positie.	Input: Coin picker controller init Output: Homen afgerond met status Output: Sensor statussen



Figuur 7 De software blokken. [1]



1.3.2. Projectgrenzen

Dit hoofdstuk geeft extra afbakening over de onderwerpen die behandeld worden in dit verslag.

Verwachting Alten

Om de 4-op-1-rij robot af te ronden moet het dual-core aansturingssysteem geïmplementeerd worden. Een printplaat zal geproduceerd en getest moeten worden zodat de software verder ontwikkeld kan worden. De hoofd focus van het project is de printplaat en de implementatie van het aansturingssysteem. Het testen van de initialisatie procedure zal hierbij dienen als bewijs.

Buiten de scope

Onderstaande punten vallen niet binnen de scope.

- Opstelling: Het aansturingssysteem en de bijbehorende software zullen worden ontwikkeld voor de bestaande testopstelling.
- Software: De software zal voortbouwen op de bestaande structuur, en geen verandering maken op de architectuur van het totale project.
- Leveranciers: Het aansturingssysteem en bijbehorende onderdelen zullen worden besteld en geproduceerd op de conventionele manier van Alten. Er wordt geen onderzoek gedaan naar leveranciers en productietechnieken. Hierbij komt kijken dat er geen nieuwe chips worden besteld, maar het development board van het proof of concept wordt gemonteerd op de printplaat.
- Toekomstplannen: Een vervolgstep van dit project is het verplaatsen van de statemachine van de robot van de Raspberry Pi naar de extra core op de STM32 controller. Dit wordt echter voor dit project buiten beschouwing gelaten. Het aansturingssysteem blijft de Raspberry Pi gebruiken.
- Mechanische aanpassingen: Het in orde maken van de opstelling wordt buiten beschouwing gelaten. Er zullen geen mechanische aanpassingen gedaan worden.

Afronding

Het project is afgerond als het nieuwe dual-core aansturingssysteem ontworpen en geproduceerd is en de bijbehorende testsoftware en documentatie is ingeleverd.

Als het aansturingssysteem op tijd geïmplementeerd kan worden, en er tijd over is, zullen er extra software blokken geïmplementeerd worden. Dit is echter niet een must.

Mocht er niet genoeg tijd zijn om de software te testen in de robot zal de aansturing van het initialisatie protocol worden getest in een testopstelling.

2. Project documentatie en architectuur

De documentatie van de robot is, op het moment van starten, niet compleet. Het single-core systeem is slecht beschreven, en niet meer up-to-date. Om de documentatie van de functionaliteit, werking van het single-core ontwerp, en de architectuur van het gewenste ontwerp vast te leggen, zijn in dit hoofdstuk de verschillende schema's uitgewerkt.

2.1. Voorgaande ontwerpen

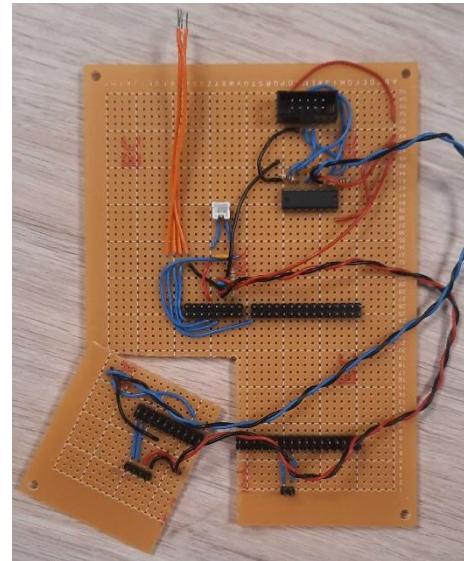
Voordat dit project is gestart zijn er verschillende versies geweest van het aansturingssysteem van de 4-op-1-rij robot. Hierbij zijn de belangrijkste versies deze:

- Single-core aansturingssysteem; het originele ontwerp waarop het dual-core systeem zal worden voortgebouwd.
- Dual-core proof of concept; het proof of concept dat ontwikkeld is tijdens de ontwikkeling van de software architectuur in een vorig project.

Het single-core aansturingssysteem en het dual-core proof of concept zijn de grootste referenties waarop het nieuwe ontwerp wordt gemaakt. Dit vorige ontwerp vormt de basis van het nieuwe ontwerp. Hiervoor is het uitgewerkt in een duidelijke architectuurdocumentatie.



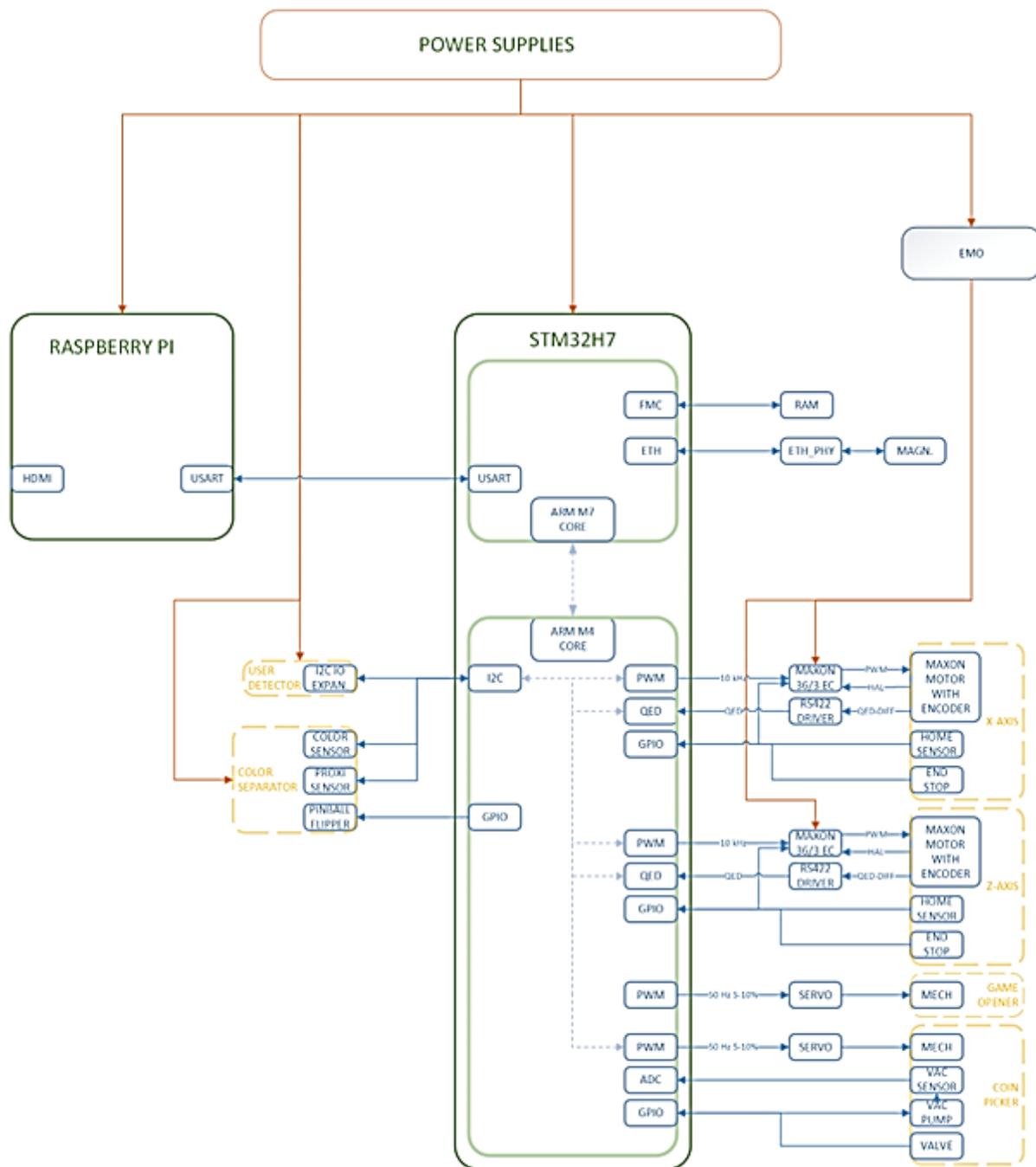
Figuur 9 Single-core aansturingssysteem



Figuur 8 Dual-core proof of concept

Eerste ontwerp

Naast de software architectuur en het bijbehorende proof of concept is er een begin gemaakt aan het ontwerp voor de printplaat van het dual-core aansturingssysteem. Een pinout van de dual-core is opgesteld en er is begonnen aan een tekening van een aansluitschema van het aansturingssysteem die niet helemaal af is. Deze tekeningen moeten gecontroleerd en verder uitgewerkt worden. In Figuur 10 is de architectuur van dit nieuwe dual-core aansturingssysteem te zien zoals die is opgesteld door de opdrachtgever.



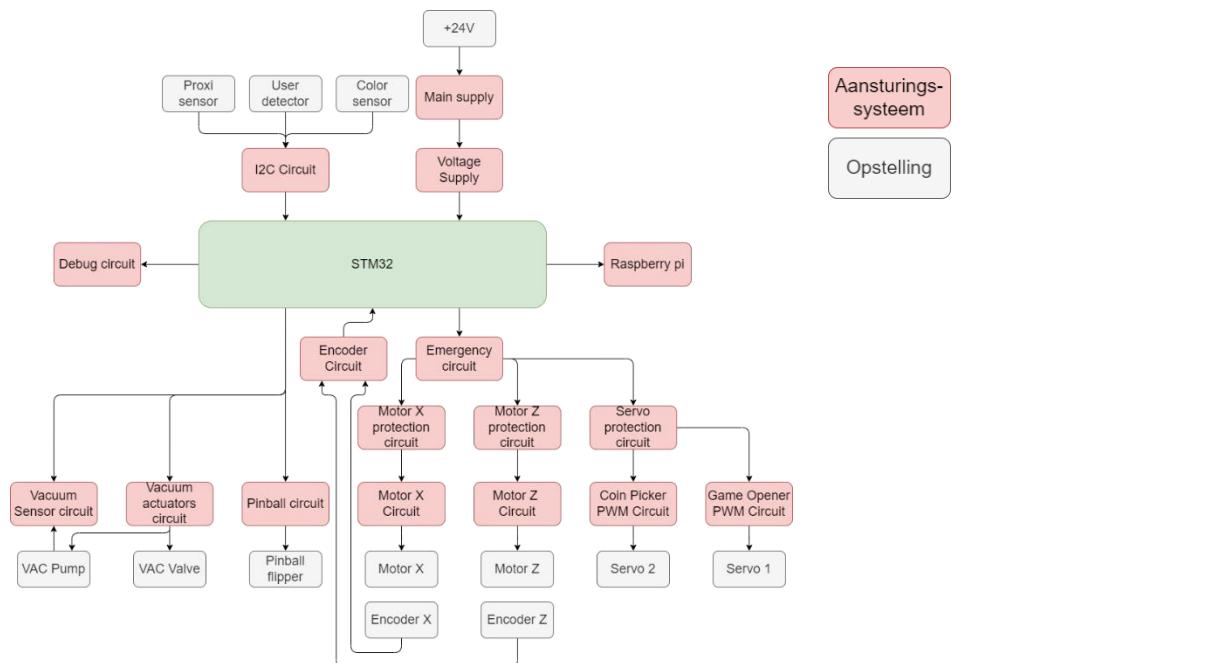
Figuur 10 Systeem architectuur dual-core

2.2. Elektronisch architectuur

De benodigde functionaliteit zoals die beschreven zijn in hoofdstuk 1.2.2 (Functie boom), en de architectuur zoals die beschreven is in hoofdstuk 2.1 (Voorgaande ontwerpen), zal geïmplementeerd moeten worden in het aansturingssysteem. Hiervoor is het voorgaande single-core aansturingssysteem geanalyseerd en een architectuur op gemaakt. Deze architectuur wordt in dit hoofdstuk toegelicht.

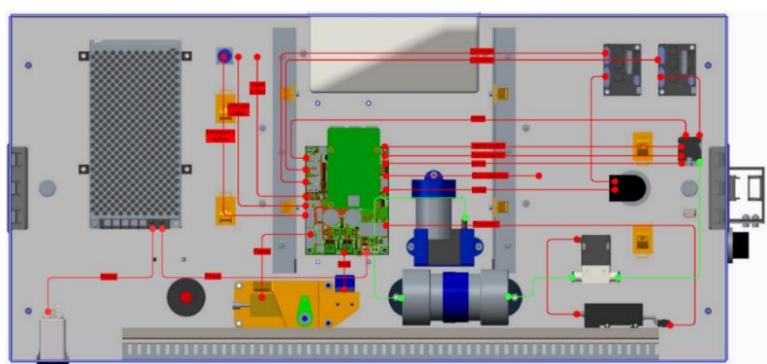
2.2.1. Verdeling componenten

Op elektronisch gebied zijn de verschillende functionaliteiten aanwezig in de opstelling en het voorgaande aansturingssysteem. In de opstelling zit alle elektronica die gemonteerd is op de robot en vast staat voor dit project. In het aansturingssysteem zitten alle aansluitingen voor de opstelling en de regelaar van het systeem. Dit aansturingssysteem zal worden aangepast. In de volgende paragrafen zijn de opstelling en aansturingssysteem verder toegelicht. In onderstaande figuur (Figuur 11 Elektronische verdeling) is in grijs aangegeven wat aanwezig is op de opstelling, en in rood hoort bij het aansturingssysteem.



Figuur 11 Elektronische verdeling

In het onderstaande figuur (Figuur 12 Voorgaande versie met fysieke locatie) is te zien waar het voorgaande aansturingssysteem (groene printplaat) in de robot aanwezig is en hoe de opstelling eruit ziet. In het midden van de robot zit, naast de printplaat, een vacuümpomp. Deze pomp zal moeten verplaatst worden om ruimte te maken voor de nieuwe STM32.



Figuur 12 Voorgaande versie met fysieke locatie

2.3. Systeem eisen

De eisen van de functionaliteit zijn beschreven in het gedeelte Functie boom. Deze eisen zijn gebaseerd op de werking van de onderdelen van de 4-op-1-rij robot en beschrijven dus alleen de functionaliteit. In de bijlage (System Requirement Documentation) zijn deze eisen uitgewerkt naar systeemeisen, waarin de focus wordt gelegd op elektrische en mechanische eigenschappen die van belang zijn in het nieuwe aansturingssysteem.

2.3.1. Resulterende nodige aanpassingen

Enkele componenten van de originele single-core aansturingssysteem (Voorgaande ontwerpen) zijn op het moment van het project niet beschikbaar voor bestelling. Deze onderdelen moeten op basis van de eigenschappen van de systeem eisen worden vervangen. Deze systeem eisen zijn te vinden in het SRD (System Requirements).

Uit de analyse van het single-core ontwerp blijkt dat de volgende onderdelen van de robot niet compleet of beschikbaar zijn:

- Vacuumsensor circuit; in het single-core systeem zit geen vacuumsensor. Dit komt door een fout in het ontwerp. De vacuumsensor is ook niet beschikbaar voor bestelling. Een nieuw component moet worden gekozen en de aansluiting moet mogelijk veranderd worden.
- Transistors; in het single-core systeem zitten transistoren die niet beschikbaar zijn voor bestelling. Een nieuwe component moet worden gekozen.
- Homing switch; in de opstelling zitten homing switches die niet geschikt zijn voor lage stroomsterktes. Hier wordt tijdens het ontwerp verder naar gekeken.
- Regulators; in het ontwerp voor de spanningsregulatoren zijn geen spoelen gedefinieerd. Hiervoor moet een nieuw component gekozen worden.
- Overige componenten; enkele andere componenten zijn niet beschikbaar voor bestelling (zie Adaptions in de bijlage A.4). Deze componenten hebben echter een alternatieve optie die nagenoeg hetzelfde is. Deze componenten zullen worden getest maar worden binnen dit rapport verder niet toegelicht.

In hoofdstuk 3 (Systeem ontwerp) worden deze ontwerpkeuzes uitgewerkt. Daarnaast wordt besproken hoe de dual-core microcontroller wordt toegevoegd aan het systeem.

2.3.2. Stroom verbruik

Het ontwerp van het systeem is afhankelijk van de stroom verbruik van elk component. De belangrijkste eigenschappen op het gebied van stroom verbruik zijn:

- De afstand tussen elektrische sporen, afhankelijk van het voltageverschil.
- De breedte van de elektrische sporen, afhankelijk van de stroomsterkte.
- De efficiëntie en warmt coëfficiënt van een component, afhankelijk van het verbruikte vermogen.

Per component uit de elektrische architectuur van de bestaande opstelling (Electrical architecture) is gekeken naar het stroomverbruik van de stroomtoevoer, het stroomverbruik van de signalen en de toegestane temperatuurstijging van de component. De uiteindelijke invulling van deze systeem eisen zijn afhankelijk van het module ontwerp. Deze worden daarom ook pas ingevuld in hoofdstuk 5 (Systeem implementatie).



2.4. Module eisen

2.4.1. Aansluiting dual-core controller

Voor het gebruik van de dual-core controller zijn enkele belangrijke eisen van belang. Deze eisen zijn gegeven in het System Requirement Document (Module requirements STM32H755). Bij het ontwerp van de aansluitingen is het belangrijk om te letten op de functies pinout van de STM32 (Pin list) en de maximale stroom en spanningen op deze pinnen.

Enkele belangrijke eisen zijn als volgt:

- De STM32 heeft een 3.3 volt signaal spanning. Dat betekent dat uitgangen niet hogere spanning kunnen leveren dan 3.3 volt.
- De input pinnen van de GPIO zijn 5 volt tolerant. Dat betekent dat ze meer dan 3.3 volt aankunnen, en dus aangesloten kunnen worden op 5 volt signalen.
- De analoge input pinnen zijn niet 5 volt tolerant. Dat betekent dat hier uitdrukkelijk op moet worden gelet in het ontwerp.

2.4.2. Aansturing componenten

Uit de analyse van het single-core aansturingssysteem is bepaald hoe de verschillende onderdelen aangestuurd moeten worden. De module eisen voor deze onderdelen zijn als volgt.

De aansturing van de horizontale en verticale motoren gaat doormiddel van twee motor controllers. Deze motor controllers maken gebruik van elk drie GPIO signalen en een PWM signaal, en kunnen worden afgesloten door middel van een protectie circuit. De encoderconnecties zijn onderdeel van de motor aansturing. De motor controller aansturing bevat ook connectie punten voor eindschakelaars en homing schakelaars. Deze connectie punten zijn voorzien van schakeldender filters. De servo's worden aangestuurd doormiddel van een PWM signaal en gevoed door de 5V regulator, ook door middel van een protectie circuit.

De vacuümlijm wordt geregeld door een vacuümpomp en drukschakelaar. Deze schakelaar schakelt de onderdruk die gegenereerd wordt door de vacuümpomp, waardoor de lijm vacuüm trekt. Daarnaast wordt de druk op de vacuümlijm gecontroleerd door een analoge vacuümsensor.

De spelbepaling gaat doormiddel van een Raspberry pi. Deze Raspberry pi is onderdeel van het aansturingssysteem en wordt door middel van UART mee gecommuniceerd. De sensoren communiceren doormiddel van een I2C bus met de aansturing.

De aansturing van de vacuümpomp, vacuümvalve en pinball flipper worden geregeld door een transistor schakelingen. Deze schakelen de voedingen hiervan aan of uit.

Het aansturingssysteem wordt gevoed door een 24V bron. Dit voedingspunt wordt beschermd met een reverse voltage protectie schakeling (A.6.1 Reverse Voltage Protection). Deze schakeling schakelt het voedingspunt af wanneer de voedingsbron verkeerd om wordt aangesloten. Op de printplaat moet de spanning verder worden verdeeld over de verschillende spanningsniveaus. Deze verdeling gaat door middel van verschillende voltageregulatoren.

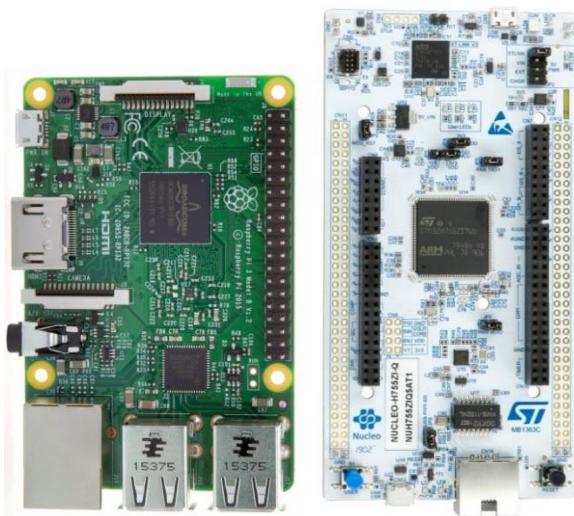
3. Systeem ontwerp

Tijdens de systeem ontwerp fase is gekeken naar het theoretische ontwerp van het systeem. De architectuur van het systeem is uitgebreid, gebaseerd op de systeem eisen, en voor de software is een schematisch overzicht gemaakt van de loop van het initialisatie proces. In dit hoofdstuk wordt specifiek gekeken naar de onderdelen die aangepast moeten worden en het ontwerp voor het totale systeem uitgewerkt.

3.1. Elektronisch Ontwerp

3.1.1. Development boards

De processoren van het aansturingssysteem zijn gemonteerd op development boards. Dit zijn modules waarop alle elektronica voor de processoren aanwezig zijn. Deze modules zijn individueel te testen. In tegendeel tot voorgaande ontwerpen zal, naast de Raspberry Pi, ook de STM32 als development board in zijn geheel worden gemonteerd op het systeem. Dit verlaagt de kosten van het project, is makkelijker te testen en maakt de productie tijd korter. Hierop moet het ontwerp worden aangepast, zodat deze gemonteerd kunnen worden.



Figuur 13 De development boards. [19]

3.1.2. Vacuümsensor

Vanwege een fout in het ontwerp van het vorige aansturingssysteem (Voorgaande ontwerpen) is er nooit een vacuümsensor aangesloten en getest. Deze vacuümsensor reguleert de vacuüm gripper, zoals beschreven in hoofdstuk 2.4.2 (Aansturing componenten). De sensor die destijds gekozen was, is niet meer beschikbaar. Dit zorgt ervoor dat een volledig nieuwe sensor gekozen moet worden.

De belangrijkste eisen, zoals die te lezen zijn in het SRD (B.3.2 Module requirements VAC Sensor), zijn het bereik van de druk die op de sensor gezet kan worden, het signaal type en het spanningsniveau van het signaal. De optimale sensor zou hierdoor een drucksensor zijn die een vacuümgehalte kan meten van 0 tot 1 bar. Een hogere druk dan 1 bar komt niet voor, aangezien er alleen vacuüm voorkomt in het systeem, en later dan 0 is niet mogelijk. Daarbij zou de sensor een maximale uitgangsvoltage van 3.3V moeten geven als analoog signaal. Met dit signaal is slechts één ingang op de STM32 nodig, die volgens de eisen van de STM32 slechts 3.6V aankunnen.

3.1.3. Eindstop schakelaars

In het originele ontwerp wordt gebruik gemaakt van eindstop schakelaars (Aansturing componenten), die momenteel niet aanwezig zijn in de opstelling. Het ontbreken van deze schakelaars veranderd weinig in de functionaliteit van de robot, maar zouden, als deze op de juiste manier worden toegepast, een veiligere werking geven van de motoren. Daarom is besloten om deze aansluitingen niet weg te halen in het nieuwe ontwerp, en wordt aangeraden om deze in de toekomst alsnog toe te voegen.

3.1.4. Transistors

Voor het schakelen van de verschillende actuatoren zijn er transistors aanwezig in het systeem, zoals beschreven in hoofdstuk 2.4.2 (Aansturing componenten). De gekozen transistors in het single-core ontwerp zijn niet beschikbaar voor bestelling en moeten opnieuw gekozen worden. Deze component keuze is afhankelijk van de systeem eisen van de actuatoren die worden aangestuurd. Om deze keuze te maken zijn de systeem eisen van de actuatoren (Supplies) gecombineerd om een geschikte transistor te vinden. Doordat de minimale en maximale eisen gecombineerd zijn, kan een transistor gekozen worden die voldoet aan alle eisen. Deze gecombineerde eisen zijn in Tabel 3 (Gecombineerde transistor eisen) afgebeeld.

Tabel 3 Gecombineerde transistor eisen

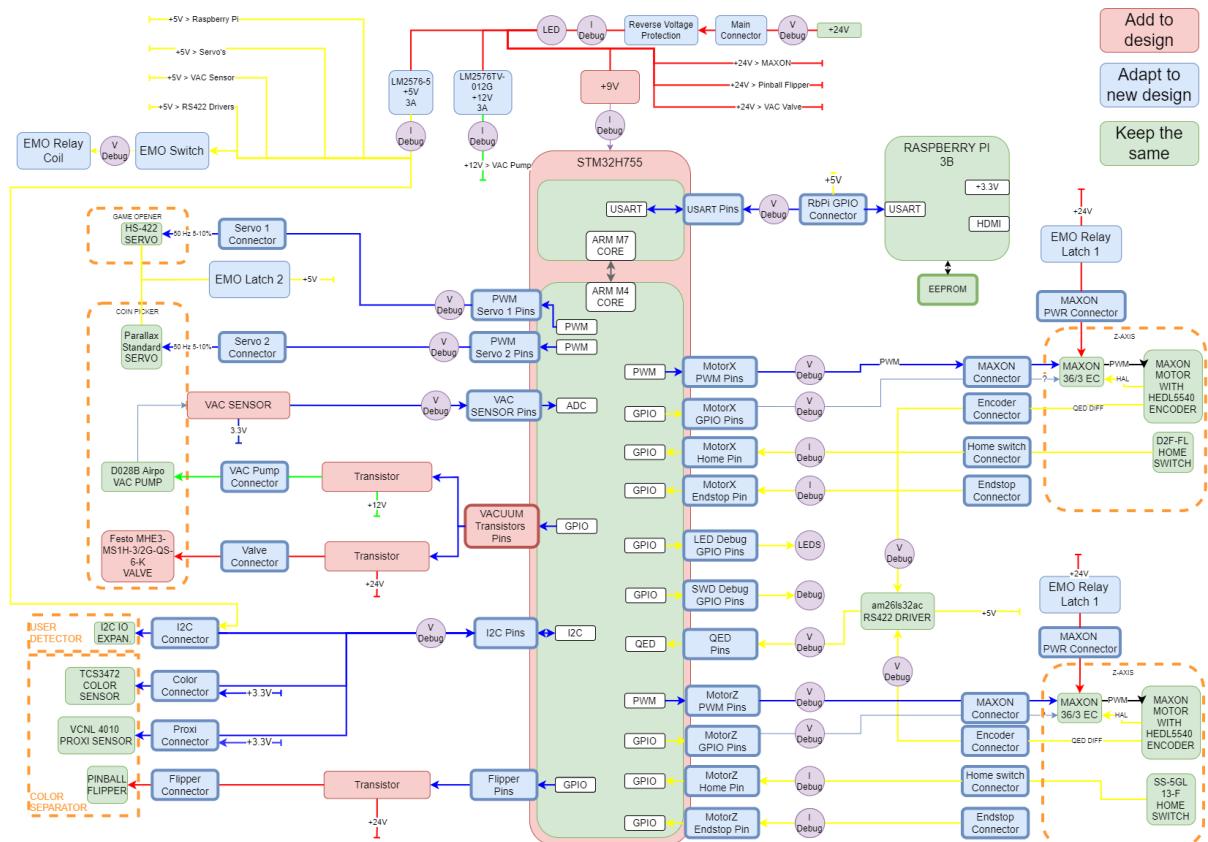
No	Requirement	Min value	Max value	Unit
1	Switching voltage ($V_{gs\ th}$)	0	3.3	V
2	Drain current (I_d)	1.66		A
3	Load voltage (V_{ds})	24		V

3.1.5. Pin out verdeling

Op basis van de eisen van de STM32 (Aansluiting dual-core controller) is een verdeling gemaakt van de aansluitingen. Deze aansluitingen zijn gemaakt afhankelijk van de functionaliteit en eigenschappen van de pinnen. Deze worden in het volgende hoofdstuk (Module ontwerp) uitgewerkt.

3.1.6. Complete overzicht systeem

In het onderstaande figuur (Figuur 14 Complete systeem) is het complete systeem aangegeven, waarbij de onderdelen die behandeld zijn in dit hoofdstuk, zijn gemarkerd. In het rood zijn de onderdelen gemarkerd die toegevoegd moeten worden aan het systeem omdat deze nog niet aanwezig waren of niet beschikbaar waren. In het blauw zijn aandachtspunten gemarkerd waar aanpassingen zijn gemaakt die minimale impact hebben op het ontwerp. De in het groen gemarkerde blokken worden niet aangepast.



Figuur 14 Complete systeem



3.2. Software Ontwerp

De software zal het initialiseren van de verschillende functionaliteiten uitvoeren zoals beschreven onder het kopje De software in hoofdstuk 0. Deze functionaliteiten hebben een duidelijke hiërarchie, wat afgebeeld wordt in de bijlage (Software). In dit hoofdstuk worden de verschillende onderdelen van de architectuur toegelicht.

3.2.1. Actuatoren

De beweging van de motoren wordt bestuurd door de TIM (timer) class. Deze timer class stuurt alle PWM signalen uit. Hierin zijn de functies voor het bewegen van de servo's beschreven.

De motor_master class maakt gebruik van PWM signalen, en stuurt via de timer class signalen naar de motoren. De motor_master class combineert de aansturing van de PWM signalen met het uitlezen van de encoders. De hoofdfunctionaliteit van deze class is om de positie van beide motoren aan te sturen.

3.2.2. Sensoren

De sensoren die nodig zijn voor het uitvoeren van de gameplay worden ontvangen via de I²C classes, adc class, en timer class.

- De adc class kan doormiddel van de GPIO de analoge pin van de vacuümsensor uitlezen. Deze waarde kan uit de class worden opgevraagd.
- De timer class regelt naast de PWM signalen ook het uitlezen van de encoder pulsen. Deze pulsen worden daarna gebruikt om een counter de positie van de motoren te laten bepalen.
- De I²C classes maken gebruik van de I²C interface op de STM32 om informatie op te vragen uit de verschillende I²C devices.

3.2.3. Spelbepaling

Doormiddel van een UART connectie worden de opdrachten van de AI opgevraagd uit de Raspberry Pi. Dit gaat via de usart class. Dit wordt echter voor dit project buiten de scope gelaten. De AI van de spellogica is geïnstalleerd op de Raspberry pi en zal geen verandering aan gebracht worden.

4. Module ontwerp

De ontwikkeling van de PCB, en de implementatie van het systeem ontwerp (Hoofdstuk 3 Systeem ontwerp), wordt gedaan in de software ‘EAGLE’. Dit ontwerp zal moeten worden uitgewerkt in een functioneel schema en een lay-out. Het functionele schema is de technische tekening, en verdere invulling, van het systeem ontwerp. De lay-out is de fysieke vorm van de PCB. In dit hoofdstuk wordt de ontwikkeling van het functionele schema beschreven, waarbij dit afhankelijk is van de werking van de onderdelen, en de typische aansluiting ervan. Gebaseerd hierop wordt in het volgende hoofdstuk de lay-out gemaakt.

4.1. Vacuümsensor

Om een nieuwe vacuümsensor te gebruiken moet een schakeling worden gemaakt die aansluit op de dual-core microcontroller. Op basis van de eisen van de vacuümsensor in Tabel 4 waren slechts enkele sensoren beschikbaar. Om meer sensoren te kunnen onderzoeken moest het bereik van de druk op de sensor

Tabel 4 Eisen vacuümsensor

Eisen	Min	Max	
Absolute Operating Pressure	-1.0	1	bar
Operating voltage	3.3	24	V
Signal Voltage level	0	3.3	V

worden uitgebreid om ook differentiaal sensoren toe te laten. Differentiaal sensoren gebruiken een tweede aansluiting waarop het verschil in druk kan worden gemeten. In deze situatie open wordt de tweede poort open gelaten om te meten op basis van de atmosfeer druk. Deze categorie van sensoren zorgde voor meer opties, waardoor een component gekozen kon worden die binnen de prijsklasse van de klant viel.

De gekozen sensor is een 5 volt differentiaal sensor van het merk Honeywell. Deze sensor was als enige beschikbaar binnen een acceptabele prijsklasse.

Echter moest met deze sensorkeuze een oplossing bedacht worden voor een verschil in het spanningsniveau van het analoge signaal en het toelaatbare spanningsniveau van de analoge poort op de STM32. De analoge poort mag een maximaal spanningsniveau van 3.6 volt krijgen. Hiervoor zijn de volgende opties overwogen.

4.1.1. Spanningsdeler

Een spanningsdeler maakt gebruik van twee weerstanden die samen een verhouding in spanning creëren, waardoor de spanning over de spanningsdeler wordt verlaagd. De combinatie van weerstanden bepaald de output van de uitgangsspanning.

Enkele eisen zijn hier belangrijk om in gedachte te houden:

- De spanning van het signaal.
- De maximale spanning die op de ADC gezet mag worden.
- De input impedantie van de ADC.
- De maximale signaal stroom die de sensor kan leveren.
- Het stroom verbruik van de ADC.

4.1.2. Spanningsdeler met buffer

Door een buffer toe te voegen aan de spanningsdeler, kunnen de volgende eisen worden opgelost:

- De input impedantie van de ADC.

- Het stroom verbruik van de ADC.

Doordat de buffer de stroomkring van de ADC en de spanningsdeler van elkaar los koppelt, is de input impedantie van de aansluiting aan de ADC gelijk aan de impedantie van de buffer. Daarnaast versterkt het de stroom van het signaal, waardoor het stroom verbruik van de ADC niet meer uitmaakt.

4.1.3. Externe ADC

Een mogelijke oplossing zou een externe, 5 volt tolerantie ADC zijn. Dit zou een losstaande chip zijn die aangesloten kan worden op de I2C bus. Het probleem met deze oplossing is dat het extra kosten met zich mee brengt, de chip complexer maakt, en het maken van de code ingewikkelder maakt. Hierdoor is deze optie niet verder overwogen.

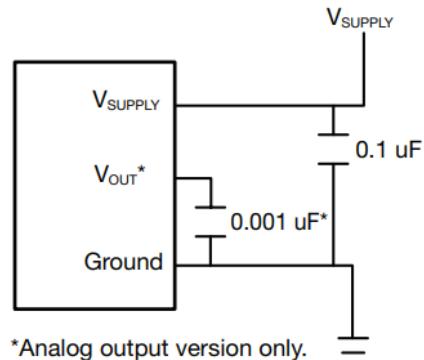
4.1.4. Ontwerp

De vacuümsensor wordt gevoed door de +5V bron. Dit component wordt aangeraden om te gebruiken met een filter. Deze filter is te zien in Figuur 15 (Vacuümsensor filter). De sensor heeft een filter condensator die bij een analoge output toegevoegd moet worden. [1] Deze condensator is te zien in Figuur 16 (Schematische) als C2.

Voor de weerstanden van de spanningsdeler zijn een 18K en 33K weerstand gekozen. Deze weerstanden vormen de juiste uitgangsspanning voor de ADC. De weerstanden zullen enkel de stroomsterkte van het signaal dragen. Dit betekent dat het formaat en het vermogen niet cruciaal zijn. Achter de spanningsdeler is een opamp toegevoegd waarbij de uitgang aan de negatieve ingang is gemaakt, waardoor het een buffer vormt.

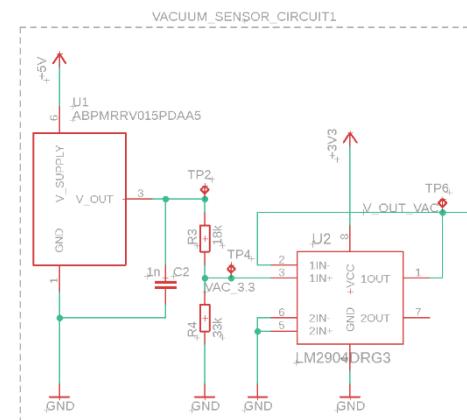
In het schema (Schematische) zijn vier testpads aangesloten. Deze testpads zullen tijdens de testfase dienen als connectie punten. TP2, de testpad aan de uitgang van de vacuümsensor, kan gebruikt worden om de spanning van de sensor te meten. TP4, de testpad bij de ingang van de buffer, toont de resulterende spanning van de spanningsdeler. TP6 is de testpad achter de buffer waarop de stroom naar de ADC kan worden gemeten.

Het resulterende functioneel schema van de vacuümsensor is te zien in Figuur 16. Het signaal achter TP6 sluit ergens anders in het schema aan op de STM32.



*Analog output version only.

Figuur 15 Vacuümsensor filter [2]



Figuur 16 Schematische vacuümsensor

4.2. PWM Connecties

De verschillende PWM connecties van het aansturingssysteem (Aansturing componenten) moeten geconfigureerd worden op kloksnelheid. De componenten hebben ieder een eigen acceptabele kloksnelheid. Deze moeten worden geconfigureerd in de STM32.

De interne klok van de STM32 kan worden ingesteld voor de PWM signalen doormiddel van een Auto Reset Register en Prescaler. Deze instellingen moeten integers zijn en beïnvloeden de kloksnelheid en resolutie van het signaal.

De Auto Reset Register bepaalt het getal van de counter waarop de counter gereset wordt. Dit heeft veel invloed op de resolutie van het signaal. Door een hogere Auto Reset Register te kiezen, kunnen er meer stapjes geteld worden.

De Prescaler beïnvloedt de snelheid waarop de counter telt, oftewel de frequentie van de counter. Door een lagere Prescaler te pakken kan een hogere Auto Reset Register worden gebruikt om dezelfde frequentie te behalen. Daarnaast hebben de signalen een maximale resolutie, wat het uiterste van de Auto Reset Register bepaalt.

- De servo's hebben een deadband width van 8us. Dat betekent dat de servo niet reageert, tenzij er een signaalverandering plaats vindt van minimaal 8us. Hieruit kan de gewenste resolutie bepaald worden.
- De motoren hebben een resolutie van 0.2us. Hiervoor is de gewenste Auto Reset Register en Prescaler berekent.

Zoals beschreven in het System Design Document (Bijlagen A.5.2 & A.5.3), zijn de benodigde Auto Reset Register en Prescaler berekent. Doormiddel van het plotten van de formule voor de Prescaler, kunnen de Auto Reset Register en Prescaler berekend worden.

$$N_{PSC}(N_{ARR}) = \frac{C}{f} \cdot \frac{1}{(N_{ARR})}$$

f = 5000Hz The needed speed

C = 240Mhz The clock speed of the timers of the STM32H755

De minimale ARR voor de motor PWM signalen, dat een integer is en binnen de resolutie van de motoren past, is gelijk aan 10000. Dit resulteert in een Prescaler van 48.

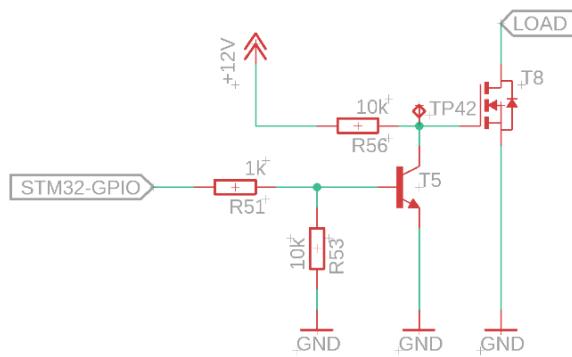
4.3. Transistors

Voor de transistoren van de actuatoren, zie 2.4.2 (Aansturing componenten) is een component keuze is gemaakt gebaseerd op de eisen in hoofdstuk 3.1.4 (Transistors). Na de bestelling bleek dat er een fout zat in de component keuze. Na een interne review met collega's bleek dat, vanwege de lage spanning van de GPIO aansluitingen op de STM32, de lage gatespanning op de MOSFET zou zorgen voor een hoge weerstand op de schakeling. Om dit te voorkomen, moest de gatespanning verhoogd worden. Dit is gedaan doormiddel van een voorschakeling met een BJT. Deze voorschakeling kan slechts een kleine hoeveelheid stroom aan, maar heeft een lage drempelspanning. Doormiddel van het combineren van de voorschakeling en de MOSFET, wordt de stroom naar de actuatoren geschakeld.

Het ontwerp van de MOSFET schakelingen, zoals uitgelegd in hoofdstuk 3 (Transistors), zijn aangesloten met een voorschakeling. Deze voorschakeling maakt gebruik van het hoogst mogelijke potentiaalniveau die niet binnen de categorie voedingsspanning vallen, 12V. Dit zorgt ervoor dat het

niet nodig is om de voorschakelingen binnen het vlak van de voedingsspanning te leggen, en dat de spanning hoog genoeg is om de MOSFET volledig te openen.

- In de voorschakeling is gekozen voor een 10K weerstand bij de gate van de MOSFET (R56), omdat deze niet afhankelijk is van de stroomsterkte, en zodoende minder stroom gebruikt.
- Voor de base van de transistor is een 1k weerstand geplaatst, om de stroom uit de GPIO te limiteren, maar genoeg stroom voor de transistor toe te laten.
- Weerstand 53 werkt als pull-down weerstand en zorgt ervoor dat de base naar grond wordt getrokken bij een floating input vanuit de GPIO.



Figuur 17 Huidige voorschakeling

4.4. Homing switch

Doordat er in de opstelling schakelaars gekozen zijn voor de homing schakelaars van het systeem (Aansturing componenten) die niet onder de categorie “microload” vallen, is de minimale load op de schakelaar hoger dan de GPIO van de STM32 kan leveren. Deze minimale load is nodig om de contactoppervlakte te overbruggen. Om deze load te creëren, moet een pull-up weerstand worden toegevoegd om een grotere stroomsterkte door de schakelaar te laten lopen.

Deze microload schakelaars hebben in plaats van zilveren contactjes, gouden contactjes waardoor makkelijker spanning geleidt als deze in contact komen met elkaar. Dit zorgt ervoor dat er een lage stroomsterkte, van 1mA, door de schakelaar kan lopen zonder dat de schakelaar faalt. Echter is het bij de schakelaars in de 4-op-1-rij robot nodig om een hogere stroomsterkte door de schakelaar te laten lopen, om te garanderen dat het goed schakelt. De minimale load van het systeem is gelijk aan 160mA bij 5v. Om deze load te creëren, moet een 800mW weerstand worden toegevoegd. Deze oplossing is uitgewerkt en besproken met de System Architect.

Op advies van de System Architect is besloten om microload schakelaars aan te schaffen, zodat het hoge vermogensverlies in de gekozen oplossing niet nodig is. Bijvoorbeeld, in plaats van de D2F-FL die momenteel gebruikt wordt als schakelaar in de horizontale verplaatsing, kan een DSF-01 gebruikt worden. Hierdoor hoeft er minder stroom door de schakelaar te gaan, en kunnen er kleinere weerstanden gekozen te worden, waardoor minder vermogen verloren gaat.

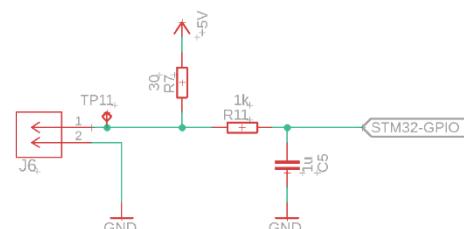
De pull-up weerstand voor de homing switches zorgen voor een minimale load om de schakeling van het contact te optimaliseren.

In Figuur 18 (Homing switch circuit) zorgt de weerstand R7 voor de stroomsterkte die door de schakelaar loopt. Een minimale load van 160mA moet door de schakelaars lopen, waarvoor een pull-up weerstand van 30Ω gebruikt is. De berekeningen en technische onderbouwing zijn terug te vinden in het SDD (A.5.5 Homing switch). Om de stroom door de schakelaar te meten is testpad 11 toegevoegd.

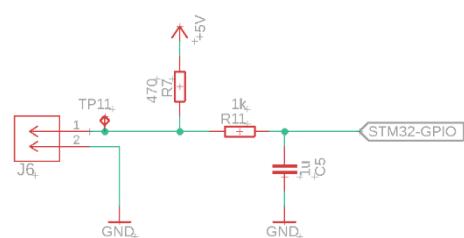
De 30Ω weerstand zal een vermogen van 800mW verbruiken. Dit betekent dat een footprint gekozen moet worden die groot genoeg is om de temperatuur aan te kunnen. Deze optie is besproken met de systeemarchitect, waarna besloten is om de homing switch aan te passen, zodat er minder stroom verbruikt wordt.

Aangeraden is om een homing switch te installeren die geschikt is voor microload (zie hoofdstuk 4.4) Voor het nieuwe aansluitschema is rekening gehouden met een load van 10mA. Hiervoor is R7 aangepast naar 470Ω.

Om de schakeldender van de schakelaars te filteren is een RC filter toegevoegd. Deze filter voegt lichte risetime toe aan het signaal, en filtert hoge frequenties eruit.



Figuur 18 Homing switch circuit



Figuur 21 Verbeterde homing switch circuit

4.5. Regulators

Het aansturingssysteem wordt gevoed door een externe 24V voeding en drie interne voedingen. (zie Aansturing componenten)

De spoelen in de filters voor de 3.3V en 5V voedingen bleken ongedefinieerd. Om de juiste filter te krijgen, moet aan de hand van de input voltage van de regulator en de maximale stroomsterkte, een spoel gekozen worden. In het System Design Document (Voltage regulator filters) is te zien hoe deze geselecteerd zijn. (Figuur 22 Uitwerking regulator filter)

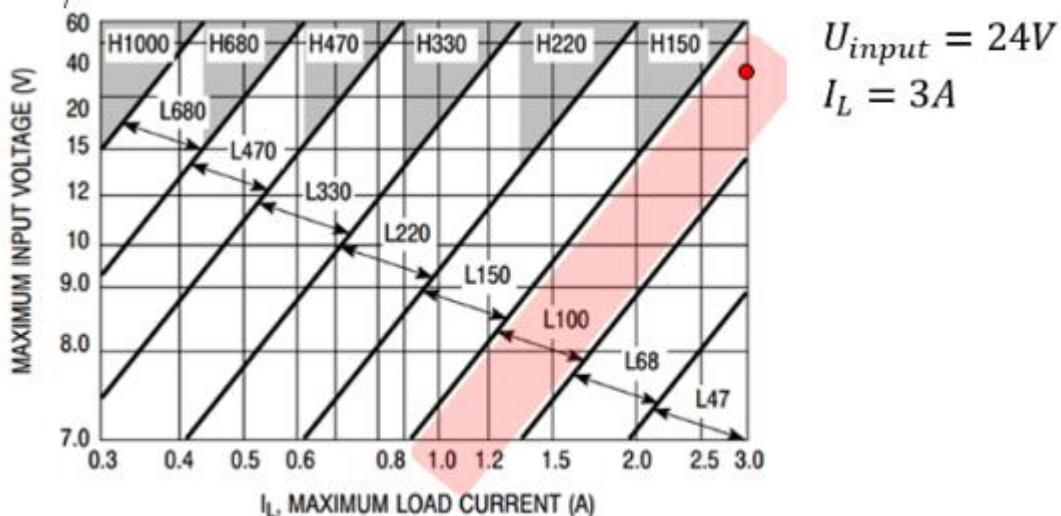


Figure 19. LM2576-5

Figuur 22 Uitwerking regulator filter

Voor de 12V regulator is een verkeerde spoel gekozen. Deze fout blijkt door het testplan (Hoofdstuk 6) niet te zijn opgevangen, en heeft naar verwachting geen groot nadelig effect op het systeem. De spoel die gekozen is voor de 12V regulator is, is hetzelfde als de spoel voor de 5V regulator.

5. Systeem implementatie

De lay-out van de PCB is de fysieke aansluiting van het functioneel schema op het bord. Hierbij moet gekeken worden naar de stroomsterktes en spanningsverhoudingen om de diktes en tussenafstand van de signaalpaden te bepalen. In dit hoofdstuk worden de ontwerpbeslissingen binnen deze lay-out toegelicht.

5.1. Netclasses

De netclasses van de lay-out bepalen de classificaties waarop de signaalpaden worden ingedeeld. In de classificaties van de netclasses (Tabel 5 Netclasses) zijn vier netclasses van de 4-op-1-rij robot afgebeeld.

Tabel 5 Netclasses

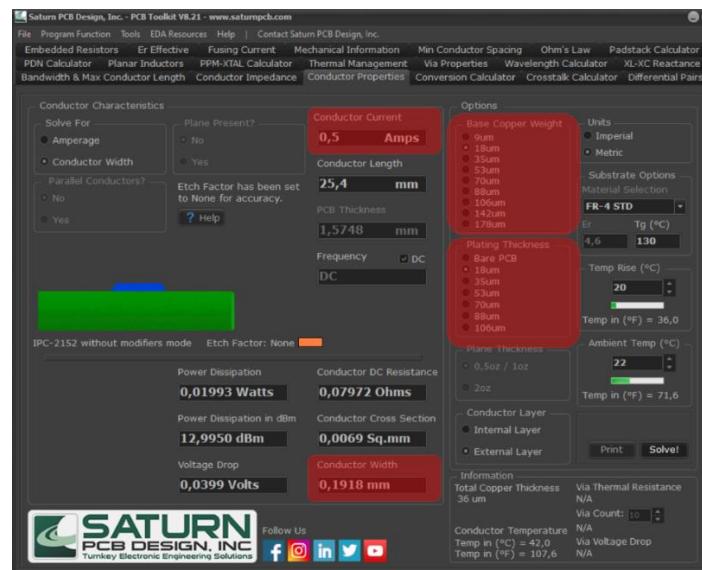
Class	Current range	Min track clearance	Min track width	Min via width	Voltage
Signal	- 0.5A	0.13mm	0.25mm	0.35mm	<16V
Default	0.5A – 1.0A	0.13mm	0.5mm	0.35mm	<16V
Power	1.0A - 3.0A	0.13mm	2.5mm	3x 0.35mm	<16V
Main supply	3.0A - 6.5A	0.53mm	6.75mm	5x 0.35mm	>16V

Deze classificaties bepalen automatisch de signaalspoordikte en tussenafstand in het ontwerp. De classificaties zijn bepaald op spanningsniveau, namelijk hoger of lager dan 16V, en op stroomsterkte. De ‘Main supply’ classificatie is de enige die 24V potentiaal gebruikt. Andere signalen gebruiken 12V, 9V, 5V of 3.3V. Hiervoor is de tussenafstand vergroot om kortsluiting te voorkomen. De andere classificaties zijn afhankelijk van stroomsterkte. Per stroomsterkte zijn de overeenkomende spoordiktes bepaald.

Doormiddel van de PCB Toolkit van Saturn, een applicatie die gebruikt wordt binnen Alten bij het ontwikkelen van PCB’s, zijn de waardes voor de classificaties bepaald. Deze software berekent gebaseerd op de hoeveelheid ampère die door het pad loopt, en de dikte van het koper, de minimale breedte van het pad. Ditzelfde is ook gedaan voor de via’s, waarbij dezelfde instellingen worden gebruikt om de diameter van een via te berekenen.

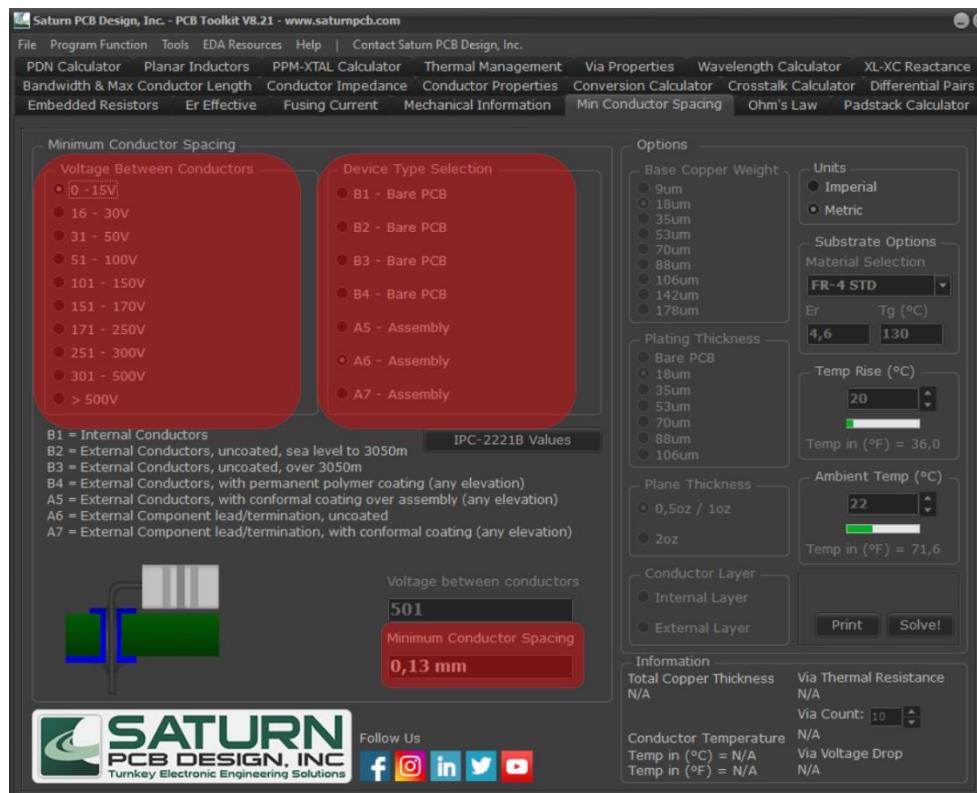
System Design Documentation - 4 op 1 rij – besturingssysteem

Version: 1.0, Date: 20-1-2023



Figuur 23 Saturn pad dikte

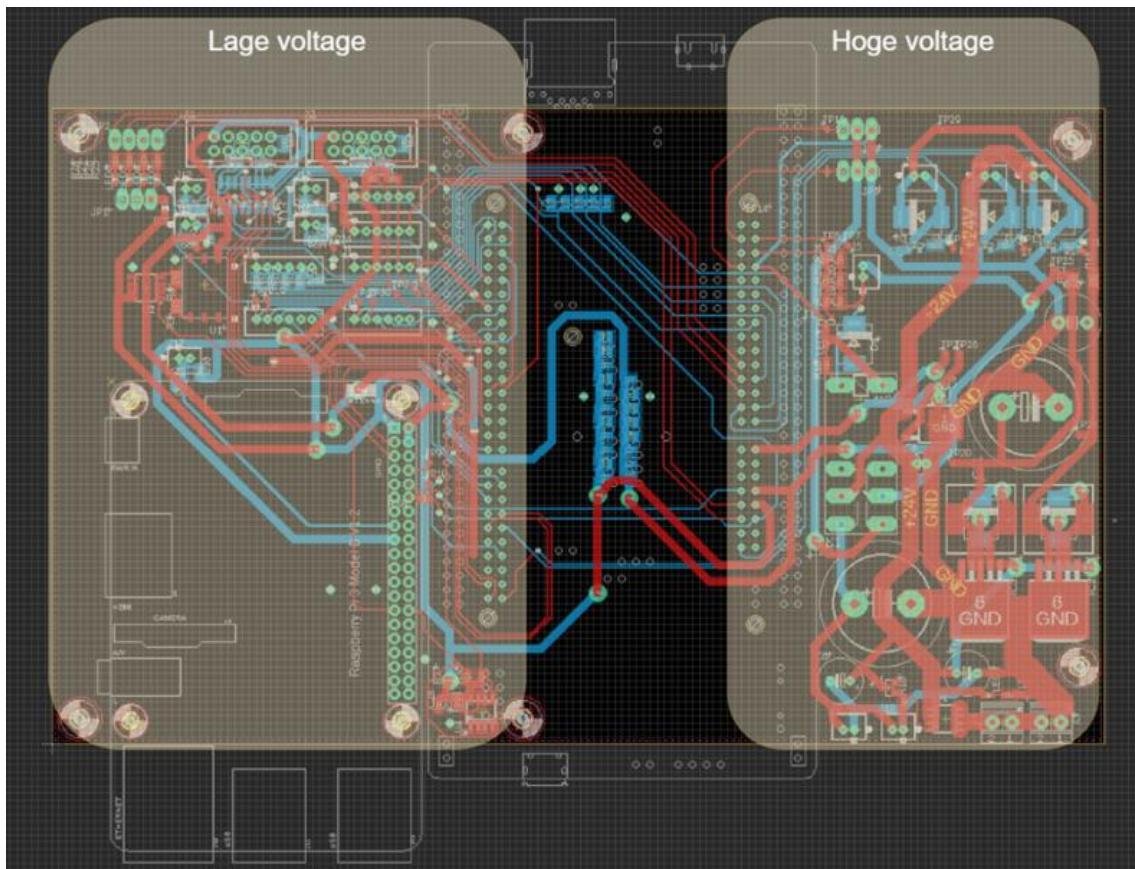
Om de minimale afstand tussen spanningsniveau en het type pad belangrijk. Het type is afhankelijk van de locatie van het pad (intern of extern), of er een extra coating aanwezig is, en of het pad met een gat door de PCB heen loopt of niet. Type A6 geeft aan dat de paden op de oppervlakte van de PCB liggen, er geen extra coating wordt gebruikt en through-hole connecties worden gebruikt.



Figuur 26 Saturn pad clearance

5.2. Component locatie

De hoeveelheid ruimte in de robot voor de PCB is bepaald door de aansluitpunten in de opstelling en de omliggende actuatoren. Om spoorlengtes zo kort mogelijk te maken, worden componenten van dezelfde potentiaalniveau zo dicht mogelijk bij elkaar geplaatst. Hiervoor is een verdeling gemaakt van de ruimte op het bord. Om de hoge voedingsvoltages bij elkaar te leggen is de rechter helft van de PCB gereserveerd. De lage voltages zijn aan de linker kant gelegd.



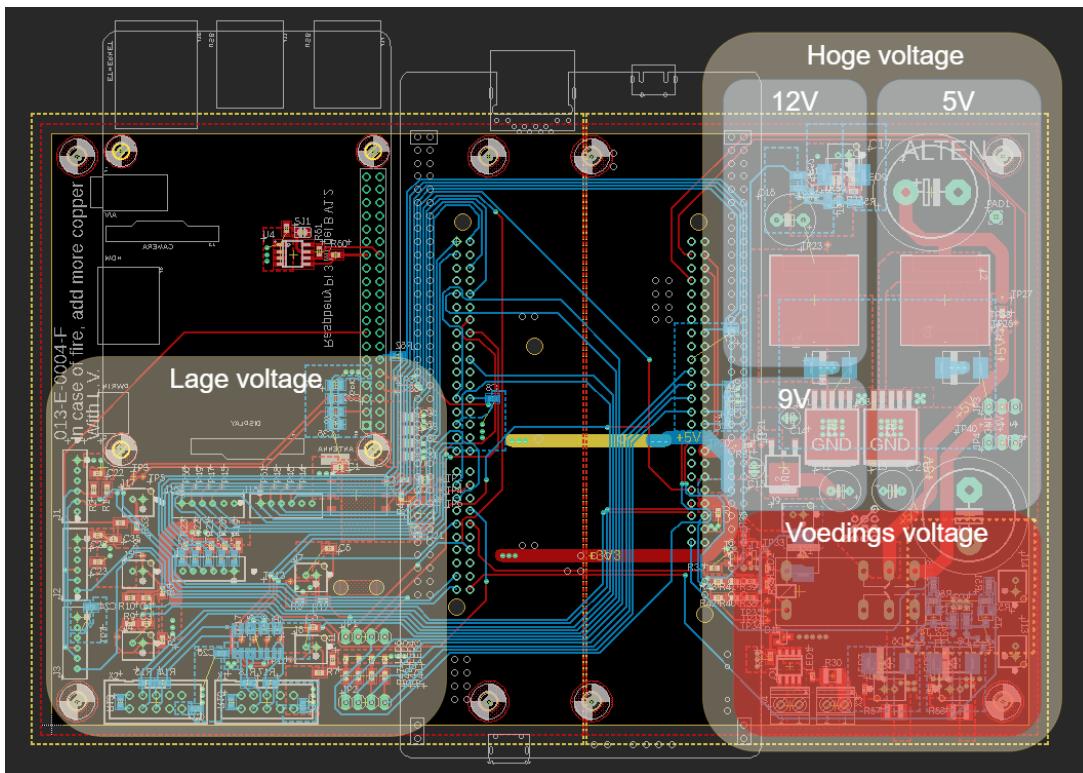
Figuur 27 Eerste verdeling componenten

5.3. Interne lagen en polygonen

Om ruimte te besparen zijn enkele interne lagen toegevoegd. Deze interne lagen hebben een groot vlak met een enkel potentiaalniveau om alle componenten in dat vlak te voorzien van stroom.

Daarnaast is gekozen om alle nabij liggende componenten van dezelfde potentiaal te verbinden doormiddel van een polygoon. Dit vlak creëert automatisch een verbinding tussen de aansluitingen, waardoor minder sporen aangelegd hoeven te worden.

Doormiddel van deze technieken kan de PCB beter ingericht worden. Doordat er meer ruimte bespaard kon worden, dankzij de interne vlakken, konden onderdelen dichter bij elkaar gelegd worden. Daarnaast is de verdeling duidelijker geworden. In Figuur 29 is deze verdeling te zien. Een volledige versie van de lay-out is te zien in de bijlage. (Elektronisch)



Figuur 29 Verbeterde componenten lay-out

5.4. Trekontlasting

Om de aansluiting van de vacuümsensor te verstevigen zijn enkele montage gaten aangebracht bij de sensor. Hierdoor kan de pneumatische slang worden vastgemaakt aan de PCB met tie-wrap, en dient als trekontlasting.

6. Testresultaten

Doormiddel van het testplan wordt de PCB stap voor stap in elkaar gezet en getest. Dit wordt gedaan in verschillende fases waarbij de functionaliteit per fase getest wordt. In de module testing fase wordt de functionaliteit op component niveau getest, en de PCB stap voor stap in elkaar gezet. In de systeem testing fase worden de verschillende samenwerkingen van het systeem getest. Een uitgebreide weergave van hoe deze tests verlopen is te lezen in de bijlagen (Master).

6.1. Module Testing

Tijdens module testing worden de verschillende onderdelen individueel getest. Hiervoor zijn in het testplan (Master) de stappen beschreven. Tijdens deze fase wordt gekeken naar kritieke fouten in elk subsysteem van het aansturingssysteem. Dit wordt gedaan tijdens assemblage van de PCB, om zo verschillende gedeeltes van de PCB te kunnen isoleren.

6.1.1. Voeding punt

In de voeding van de PCB zit een reverse voltage protectie circuit. Dit gedeelte reageert wanneer een negatieve spanning op de voeding wordt geplaatst en moet getest worden voordat volgende onderdelen op de PCB geplaatst worden, om kortsluiting op een later punt te voorkomen. Deze teststap wordt daarom ook als eerste gedaan, en is kritisch voor de volgende teststappen.

Doormiddel van een voedingsbron en voltage meter is de reverse voltage protectie getest. Het spanningsniveau op de toevoer van het systeem was lager dan 0.05V, bij een voedingsspanning van een negatieve 24V. De 24V bron geeft bij een positieve spanning een stabiele voeding.

Het ledlampje bij het voedingspunt schijnt net iets te fel. Dit is niet kritisch voor de werking van de PCB, maar kan gebruiksonvriendelijk zijn. De weerstandswaarde van het lampje mocht hoger zijn.

6.1.2. Voltage regulators

De voltage regulators zijn direct na het voeding punt de meest kritische onderdelen. Het potentiaalniveau moet gelijk zijn aan de verwachte voeding van de onderdelen. Als deze voeding te hoog is, of kortsluit, kan het andere onderdelen beschadigen. Ook deze stap wordt geïsoleerd uitgevoerd van de andere onderdelen. In Figuur 30 is een afbeelding van de testopstelling met het voedingspunt en de regulatoren te zien.

De voltage regulatoren toonde met het minimale circuit (enkel de regulatoren en de bijbehorende spoelen) vreemd gedrag. De uitgangsspanning was te hoog, en reageerde niet op een constante manier op het inputvoltageniveau. Na het doormeten van de regulatoren, voor het geval van een soldeerfout, bleek het probleem in het ontbreken van de benodigde condensatoren. Hieruit blijkt dat de switching-regulators niet functioneren zonder condensatoren. Na het verbeteren van het testplan en het aansluiten van de condensatoren toonde de regulatoren het correcte gedrag. De regulatoren tonen een voltage niveau van 5.015V, 9.16V, 12.13V, wat binnen de systeem eisen van het de power supply vallen. (Power requirements)



6.1.3. Veiligheidscircuit

Voordat motoren getest worden, moet het veiligheidscircuit werken. Dit circuit sluit de stroomtoevoer naar de motoren af en voorkomt (verdere) schade als de motoren onverwacht gedrag leveren.

De schakelaar en de veiligheidsrelay toonden het juiste gedrag. De relay schakelde de stroomtoevoer naar de motoren aan en uit doormiddel van de connector van de schakelaar.

Uit het testen van de veiligheidscircuit bleek een grote fout in het schakelen van de MOSFET te zitten die de stroom naar de motoren toestaat. Deze fout bleek ook aanwezig te zijn bij elke andere MOSFET schakeling, namelijk bij de connector van de vacuümpomp, vacuümschakelaar en pinball flipper. De fout zorgt ervoor dat de MOSFET normaal open is, en gesloten kan worden doormiddel van het signaal. Dit is het tegenovergestelde van het gewenste gedrag, dat de MOSFET normaal gesloten is en geopend kan worden. Doormiddel van software kan dit probleem voor een groot gedeelte worden opgelost. Hierover is in het kopje systeem testing (Inversie) meer te lezen.

6.1.4. Verdere stappen

Andere functionaliteit wordt na de vorige 3 stappen getest. Deze teststappen zijn ter controle van het ontwerp en zijn minder kritisch voor andere functionaliteiten. Deze stappen zijn verder beschreven in het testplan (Master).



Vacuümsensor

Een interessante teststap is de vacuümsensor. In deze functionaliteit zit veruit de meeste ontwikkeling en kan getest worden op functionaliteit, nauwkeurigheid en precisie.

De vacuümsensor toont bij een onderdruk van 0, een voltage niveau van 1.6V. Dit valt binnen de verwachting, omdat de sensor een druk van +15Pa tot -15Pa kan meten, en de atmosfeerdruck in het midden van het meetbereik van de sensor valt. De uitgangsvoltage van 1.6V, in verhouding tot de maximale spanning van 3.3V, is dus acceptabel. Daarnaast geeft de opamp hetzelfde spanningsniveau als de sensor, en blijkt daarmee te functioneren.

Een interessante observatie hierin is dat in normale omstandigheden de druk op de sensor nooit boven atmosfeerdruck komt, waardoor de sensor nooit een spanningsniveau van meer dan 1.6V kan aantonen. Hierdoor wordt in feite de helft van het bereik van de ADC ingeleverd. Een positieve kijk hierop is echter dat, wanneer de druk op de verkeerde ingang van de sensor wordt geplaatst, de sensor niet kapot gaat. Dit kan leiden tot een error status, als die wordt opgevangen in de code.

PWM signalen

Met een oscilloscoop is gecontroleerd dat de PWM signalen van zowel de servo's als de motoren correct is. Deze signalen werden correct gedetecteerd door de oscilloscoop en werden als geschikt gezien om aan te sluiten op de servo's.

6.1.5. Inversie encoders

De stappen van de motoren waren onlogisch in vergelijking met de encoder lezingen. De stappen sprongen van het hoogste getal terug naar 0, en leken niet consistent. Het bleek echter dat de oriëntatie van de encoders niet klopte en omgedraaid moest worden.

Om deze om te draaien moest de tweede puls, de B puls, gedetecteerd worden op een falling-edge in plaats van een rising-edge. Hierdoor wordt effectief het signaal geïnverteerd.

6.1.6. Resultaten

Uit deze testfase blijken de belangrijkste onderdelen van de PCB te functioneren.

- De reverse voltage protectie sluit de spanning af bij een negatieve spanning.
- De ledjes zijn een beetje te fel.
- De spanningsregelaars functioneren.
- De veiligheidsrelay schakelt wanneer dit moet.

De MOSFET blijken niet te functioneren zoals verwacht. Hiervoor is in de systeem testing fase meer onderzoek gedaan naar dit probleem.

6.2. Systeem Testing

Voor de systeem testing fase is de volledige PCB geassembleerd en wordt gebruik gemaakt van code van de STM32 om verschillende onderdelen van de PCB te testen. In Figuur 31 is deze testopstelling te zien.

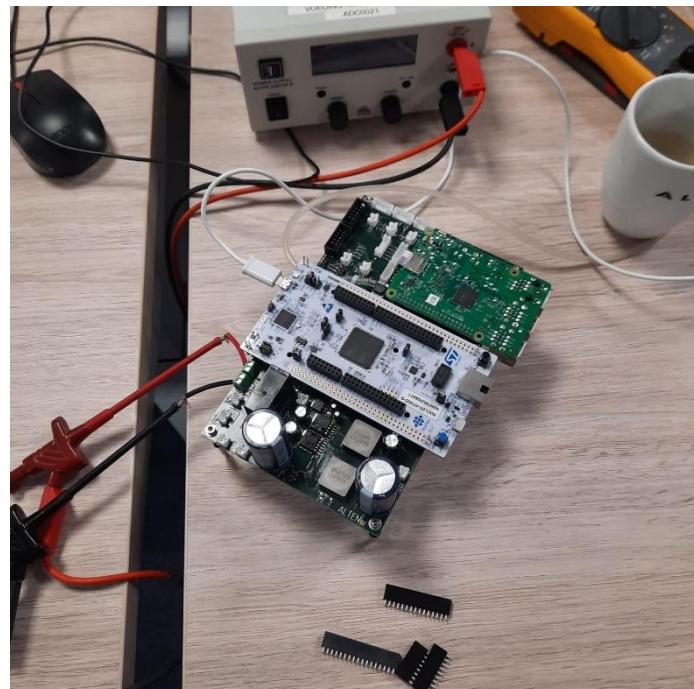
6.2.1. Software integratie

Door gebruik te maken van de GPIO pinnen, die individueel aangemaakt zijn de software van de microcontroller, zijn alle uitgangen van het aansturingssysteem geprogrammeerd. Hiermee kunnen alle aansluitingen van de microcontroller worden aan- en uitgeschakeld worden. Door alle uitgangen een voor een te laten knipperen zijn deze gecontroleerd op functionaliteit.

6.2.2. Inversie MOSFET's

De MOSFET's zijn verkeerd aangesloten, waardoor het uitgangsvoltage geïnverteerd is. Dit probleem is geprobeerd op te lossen door de signaalpinnen van de STM32 ook te inverteren.

Dankzij deze oplossing functioneren de uitgangen zoals nodig is. Echter kunnen de uitgangen van de STM32 niet onmiddellijk bij opstarten zichzelf aanschakelen, waardoor de uitgangen van de PCB niet meteen uitgeschakeld kunnen worden. Dit zorgt ervoor dat tijdens het opstarten, en tijdens het programmeren van de STM32, de uitgangen aanspringen. Dit kan, als dit te lang aanhoudt, zorgen voor het opwarmen van de spoel in de pinball flipper, en het opbouwen van druk in de vacuümtank.



Figuur 31 Testopstelling system testing

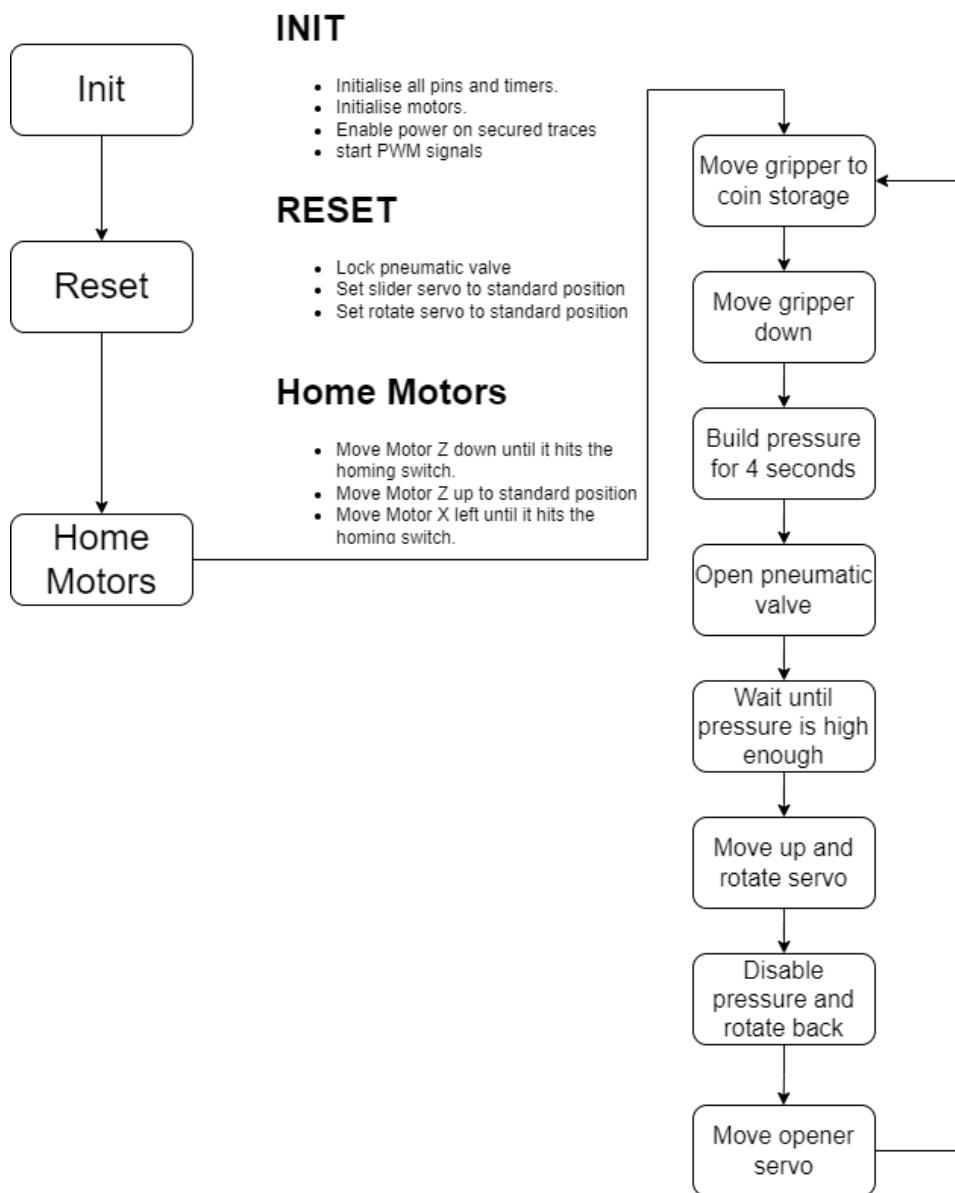
6.2.3. Vacuüm problemen

Tijdens het testen van de vacuümgrijper bleek de vacuümpomp erge moeite te hebben met het opbouwen van druk. Dit komt vermoedelijk door grote lekkages in de pneumatiek van de robot. Hierdoor is het momenteel alleen mogelijk om het muntje op te pakken zonder de vacuümpomp uit te zetten. Dit is nadelig voor de gewenste functionaliteit en moet verbeterd worden. Deze functie is op verschillende manieren getest: het handmatig vastdrukken van het fiche; positioneren van de grijper, en automatisch laten zakken, met verschillende compressie; en het ‘voelen’ van de onderdruk met een vinger, om te bepalen hoeveel kracht er stond. Deze leken allemaal niet voldoende.

6.2.4. Software demo

In de bijlage (Software ontwerp) is een overzicht te zien van de geproduceerde software.

Doormiddel van het aanroepen van deze functies is een korte demo gemaakt. Deze demo test en bewijst de werking van de verschillende onderdelen van het systeem.



Figuur 32 Flowchart van de demo

7. Toekomst mogelijkheden

7.1. Software opmerkingen

De software voor de STM32 heeft verschillende knelpunten gehad. Hierdoor is het testen van het systeem lichtelijk vertraagd. Deze aandachtspunten zijn belangrijk geweest tijdens het programmeren en moeten bij mogelijke vervolgprojecten in de gate worden gehouden. Hieronder zijn de aandachtspunten van de software beschreven.

7.1.1. Code generator

Omdat de development software van de STM32, het programma waarin de controller geconfigureerd en geprogrammeerd wordt, een code generator gebruikt om grote delen van de software voor te bereiden, is het erg belangrijk om te werken binnen de structuur van het programma. De software maakt automatisch code aan voor de configuratie die je instelt in het programma, en kan code overschrijven die handmatig is toegevoegd. Deze structuur wordt aangegeven met comments in de code.

7.1.2. Dual Core code

Noemenswaardig is dat de development software van de STM32 een nieuw sub-project aanmaakt voor elke core uit de STM32. Dit betekent dat de code voor een core handmatig geüpload moet worden naar desbetreffende core. Deze twee codes staan volledig los van elkaar en zullen doormiddel van een intern register met elkaar moeten communiceren, zoals beschreven in de software architectuur van het voorgaande project.

7.2. Oplossing MOSFET inversie

Tijdens de testfase (Inversie) is ontdekt dat de uitgang van de MOSFET schakeling geïnverteerd is. Dit komt door een fout in de schakeling van hoofdstuk 4.3 (Transistors). Weerstand R53 trekt de base van transistor 5 (T5) naar grond wanneer de input floating is. (Tabel 6 Huidige logica MOSFET)

Hierdoor is de transistor standaard gesloten, en is de gate bij TP42 gelijk aan 12V. Dit zorgt ervoor dat de output hoog wordt. Deze inversie zorgt ervoor dat de uitgang tijdens het opstarten van de PCB open is, wat de componenten kan overbeladen als de input voor te lang floating of laag blijft.

Als dit probleem in de toekomst opgelost zou worden, moet R53 verbonden zijn met 3.3V, zodat de transistor tijdens floating input omhoog wordt gehaald. (Tabel 7 Verbeterde logica MOSFET)

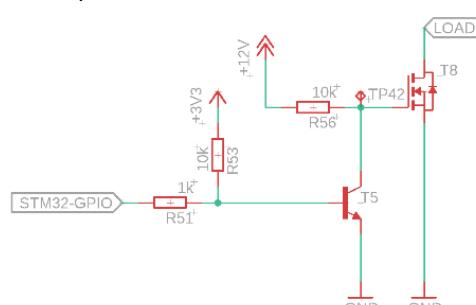
Dit zou resulteren in de schakeling in Figuur 33. Deze oplossing is op dit moment nog niet toegepast, en wordt aangeraden om toe te passen in de toekomst.

Tabel 6 Huidige logica MOSFET

Input	Output	Application
Low	High	Pin set
Float	High	Startup/reset
High	Low	Default state

Tabel 7 Verbeterde logica MOSFET

Input	Output	Application
Low	Low	Default state
Float	Low	Startup/reset
High	High	Pin set



Figuur 33 Verbeterde MOSFET schakeling

8. Conclusie en aanbevelingen

De printplaat van de 4-op-1-rij robot is opnieuw ontworpen voor het gebruik van een dual-core STM32. Hierbij is gekeken naar de implementatie van deze nieuwe microcontroller en de feedback op het vorige ontwerp.

In de implementatie was het belangrijk om de letten op de spanningsniveaus van de aansluitingen op de STM32, omdat deze niet overeen komen met de single-core STM32. Daarbij kwam kijken dat sommige spanningen moesten worden versterkt of verzwakt om de nodige aansluiting te maken. Daarnaast was het nodig om de juiste instellingen op de interne klokken van de STM32 goed in te stellen. Hierdoor konden de juiste signalfrequenties geselecteerd worden.

De printplaat is geïnstalleerd in de 4-op-1-rij robot en functioneert. Om deze printplaat functionerend te maken moesten verschillende ontwerpen worden vervangen en aangepast worden. De functionaliteit van deze aanpassingen is aantoonbaar door middel van een demo.

Een functionele fout is aanwezig in het ontwerp waardoor oververhitting in de solenoïde van de “pinball flipper” kan optreden. De fout zit in de MOSFET schakeling van de vacuümvalve output, de vacuümpomp output, de pinball flipper output, en het veiligheidscircuit. Voor deze fout is een oplossing aangeboden waarmee dit gerepareerd kan worden. In de tussentijd wordt er aangeraden om de pinball flipper los te koppelen van het systeem wanneer er geprogrammeerd wordt aan de robot. Daarnaast is het belangrijk om niet de robot aan te raken tijdens opstarten, omdat het een onverwachte beweging kan geven.

Om de werking van de homing schakelaren te garanderen, moeten deze veranderd worden naar “micro-load” schakelaars. Dit zijn schakelaars die bij een laag vermogen (5V – 1mA, in plaats van 5V – 100mA) betrouwbaar gebruikt kunnen worden.

Daarnaast beschikt de robot op dit moment geen eindstop schakelaars. Dit zorgt voor een onveilige werking van de motoren, en zouden idealiter toegevoegd worden aan de assen van de robot. Ook deze schakelaars dienen “micro-load” schakelaars te zijn. Voor deze verbetering is een aansluiting op het aansturingssysteem beschikbaar.

De software van de robot is ver van compleet en kan in de toekomst doorontwikkeld worden om de volledige functionaliteit van de robot te geven. Daarbij is het belangrijk om de focus te leggen op de werking van de nieuwe dual-core STM32. Daarna kan focus gelegd worden op het verplaatsen van de spelbepaling van de Raspberry pi naar de STM32.

Verwijzingen

- [1] Honeywell, „farnell.com,” 7 2019. [Online]. Available:
] <https://www.farnell.com/datasheets/2913160.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [2] Mean Well, „Tinytronics.nl,” 25 06 2015. [Online]. Available:
] https://www.tinytronics.nl/shop/index.php?route=product/product/get_file&file=412/LRS-150-spec.pdf. [Geopend 20 1 2023].
- [3] Texas Instruments, „ti.com,” May 2021. [Online]. Available:
] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576hv.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [4] Maxon, „maxongroup.com,” 08 2021. [Online]. Available:
] https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8930313830430/414533-ESCON-36-3-EC-Hardware-Reference-En.pdf. [Geopend 20 1 2023].
- [5] Sparkfun, „cdn.sparkfun.com,” [Online]. Available:
] <http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Robotics/hs422-31422S.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [6] Parallax, „rs-online.com,” 24 10 2011. [Online]. Available: <https://docs.rs-online.com/0e85/0900766b8123f8d7.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [7] abra, „abra-electronics.com,” [Online]. Available: <https://abra-electronics.com/electromechanical/other-motors/d028b-airpo-vacuum-pump-12v-d028b.html>. [Geopend 20 1 2023].
- [8] Taos, „cdn-shop.adafruit.com,” August 2012. [Online]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TCS34725.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [9] Adafruit, „learn.adafruit.com/,” 29 December 2017. [Online]. Available:
] <https://learn.adafruit.com/using-vcnl4010-proximity-sensor/pinouts>. [Geopend 20 1 2023].
- [1] Texas Instruments, „ti.com,” September 2016. [Online]. Available:
0] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am26ls32ac.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [1] Faulhaber, „ontrium.com,” [Online]. Available: <https://www.ontrium.com/get.aspx?id=1642490>.
1] [Geopend 20 1 2023].
- [1] Festo, „festocom,” [Online]. Available:
2] <https://www.festo.com/us/en/a/525153/?q=~:sortByFacetValues-asc>. [Geopend 20 1 2023].
- [1] Alten, „redmine.alten.nl,” 13 4 2017. [Online]. Available: https://redmine.alten.nl/projects/in-a-row/repository/192/raw/53.%20Electronics%20Engineering/1.%20Repo/trunk/3.%20PCBs/Photodiode%20board/SDD_photodiodeboard.docx. [Geopend 20 1 2023].
- [1] Festo, „festocom,” 8 2015. [Online]. Available:
4] <https://www.festo.com/media/pim/270/D15000100122270.PDF>. [Geopend 20 1 2023].



- [1] Omron, „mouser.com,” [Online]. Available: [https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_d2f-5\] 587403.pdf](https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_d2f-5] 587403.pdf). [Geopend 20 1 2023].
- [1] Omron, „mouser.com,” [Online]. Available: [https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_ss-6\] 1509069.pdf](https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_ss-6] 1509069.pdf). [Geopend 20 1 2023].
- [1] EAO, „Farnell.com,” 11 12 2013. [Online]. Available:
7] <https://www.farnell.com/datasheets/1782572.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [1] ST, „st.com,” 3 2021. [Online]. Available:
8] https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2408-stm32h7-nucleo144-boards-mb1363-stmicroelectronics.pdf. [Geopend 20 1 2023].
- [1] ST, „st.com,” 05 2019. [Online]. Available:
9] <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32h755bi.pdf>. [Geopend 20 1 2023].
- [2] Alten, „Software Architectuur Documentatie - 4-op-1-rij robot,” 13 4 2022. [Online]. Available:
0] https://redmine.alten.nl/projects/in-a-row/repository/192/entry/51.%20Software%20Engineering/1.%20Repo/trunk/1.%20Design/Dual-core%20low%20level%20design/SAD_Pascal_Faatz_V3.pdf. [Geopend 20 1 2023].



Eindhoven
20-1-2023
PUBLIC

Bijlage A System Design Document

System Design Documentation - **4 op 1 rij - besturingssysteem**

Version 1.0

Date: 20-1-2023

ALTEN

laurens verbruggen



Version History

Version	Date	State	Author	Remark
0.1				

Acronyms and Abbreviations

Term	Explanation
<ABC>	<First three letters of the alphabet>

Referenced documents

Id	Reference	Title	Date	Author
01	SRD	<i>System Requirements PCB</i>		<i>Laurens Verbruggen</i>
02	SAD	<i>Software Architectuur Documentatie – 4-op-1-rij robot</i>	13-4-2022	<i>Pascal Faatz</i>

A.1 System overview and architecture

This section describes the system architectural design. All system functions and its interfaces will be identified.

A.2 Process flow (Concept of execution)

The process flow shows the requested functionality of the system, and its software flow.

Software block	Start protocol	Inputs and Outputs
Init (M7)	Sends a pulse between the cores to start the initialisation process.	Input: Computer start signal Output: Config signal
Init (M4)	Receives the pulse to send the initialisation task to the task manager.	Input: Config signal Output: Init task
Task manager	Sends a signal to the motor controllers and sensors to start their initialisation protocol.	Input: Init task Output: Motor controller init Output: Coin colour separator init Output: User detect init Output: Board opener init Output: Coin picker controller init
Motor controller	Moves motors X and Z to their home position and tests the functionality of the encoders.	Input: Motor controller init Output: Homing finished with status
Coin colour separator	Checks the colour sensor and proximity sensor. Tests the pinball flipper.	Input: Coin colour separator init Output: Sensor statuses
User detect	Checks the I2C connection and tests the gate sensors.	Input: User detect init Output: Sensor statuses
Board opener	Moves servo to home position.	Input: Board opener init Output: Homing finished with status
Coin picker controller	Checks vacuum sensor and test vacuum pump. Moves servo to home position.	Input: Coin picker controller init Output: Homing finished with status Output: Sensor statuses

A.3 Disciplinary architecture

8.1.1. Mechanical architecture

Mounting connections

Due to static connection bolts in the setup, connector pieces need to be added to mount the PCB correctly to the setup.

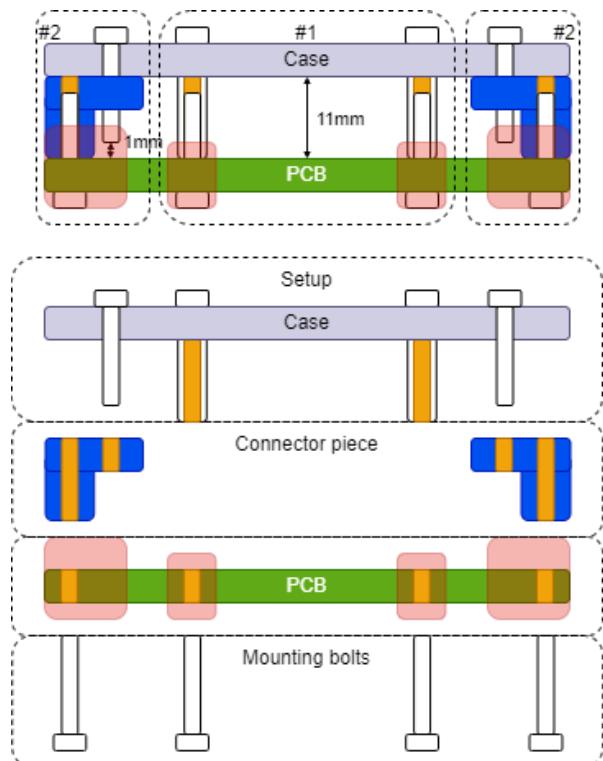


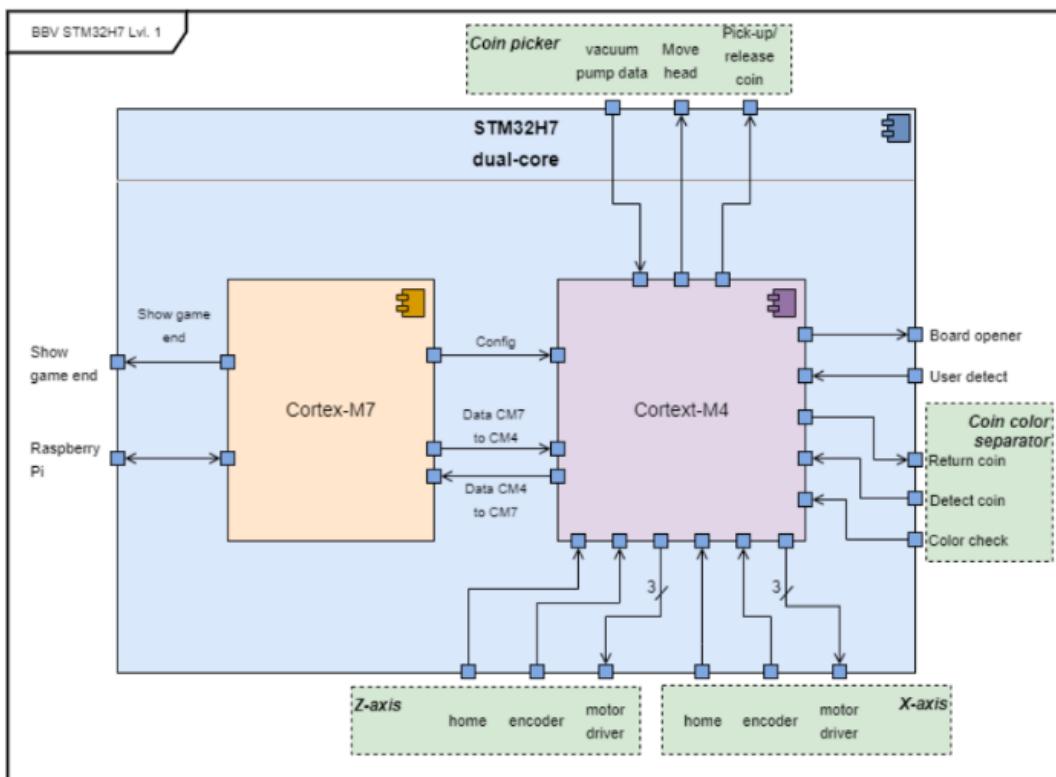
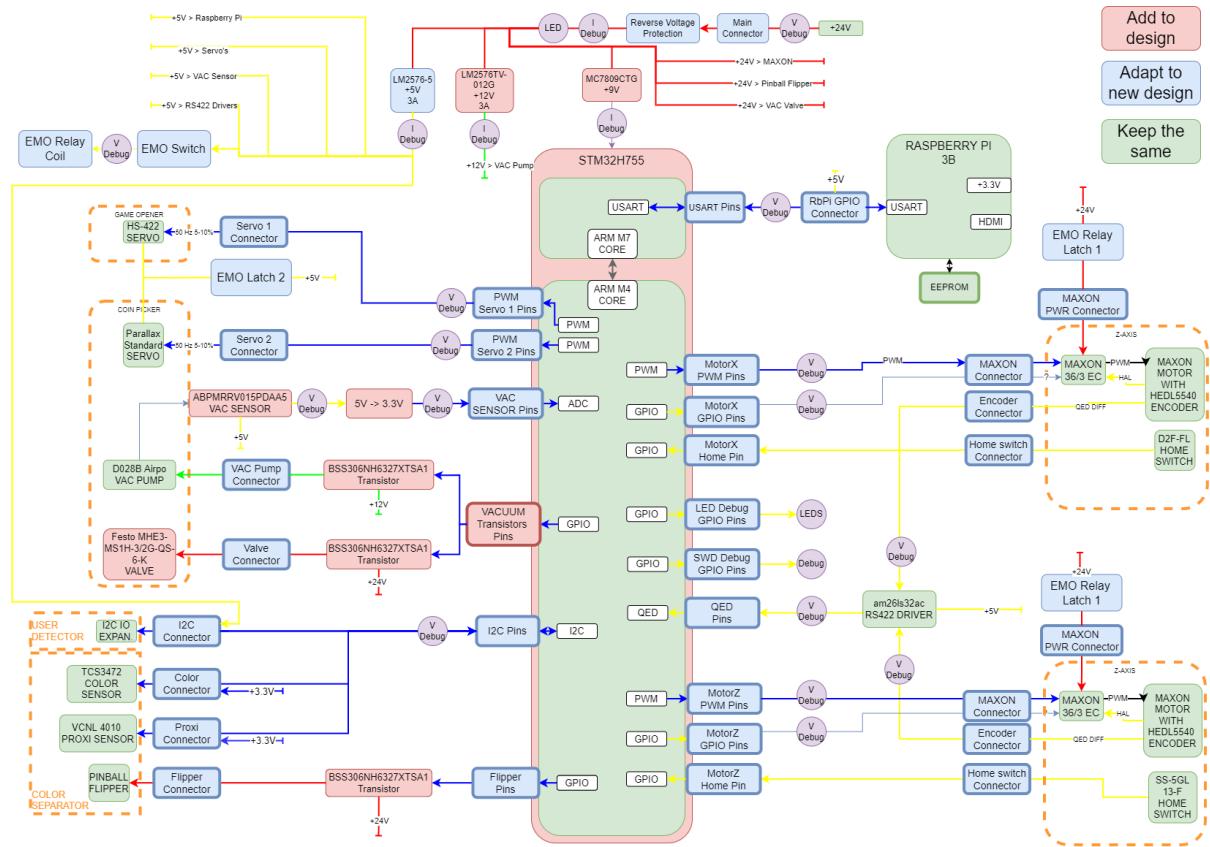
Figure 1 Blue: Connector piece for connection to male bolts



Figure 2 PCB Footprint

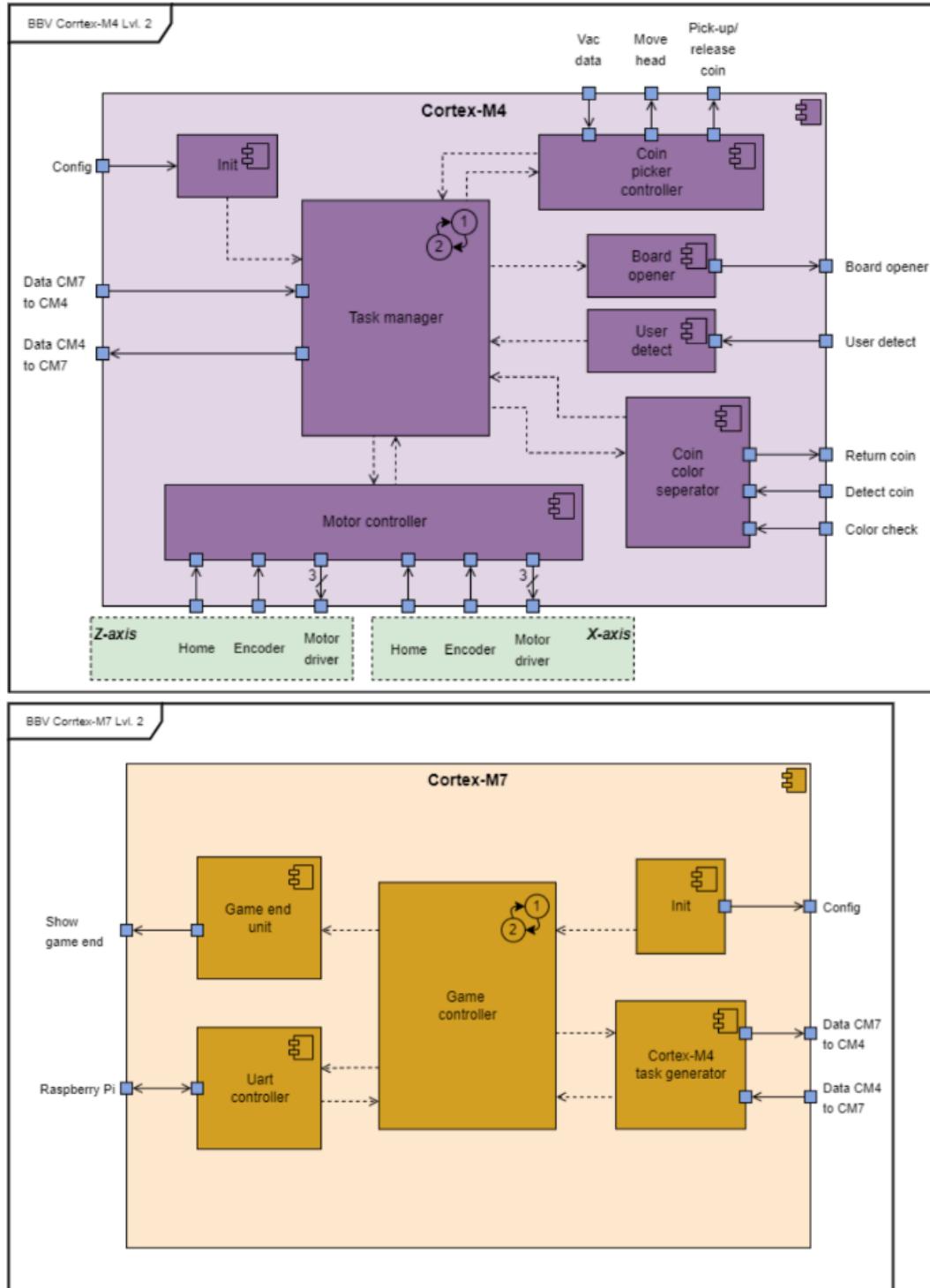
8.1.2. Electrical architecture

The electrical architecture shows the components and relationships of the PCB.

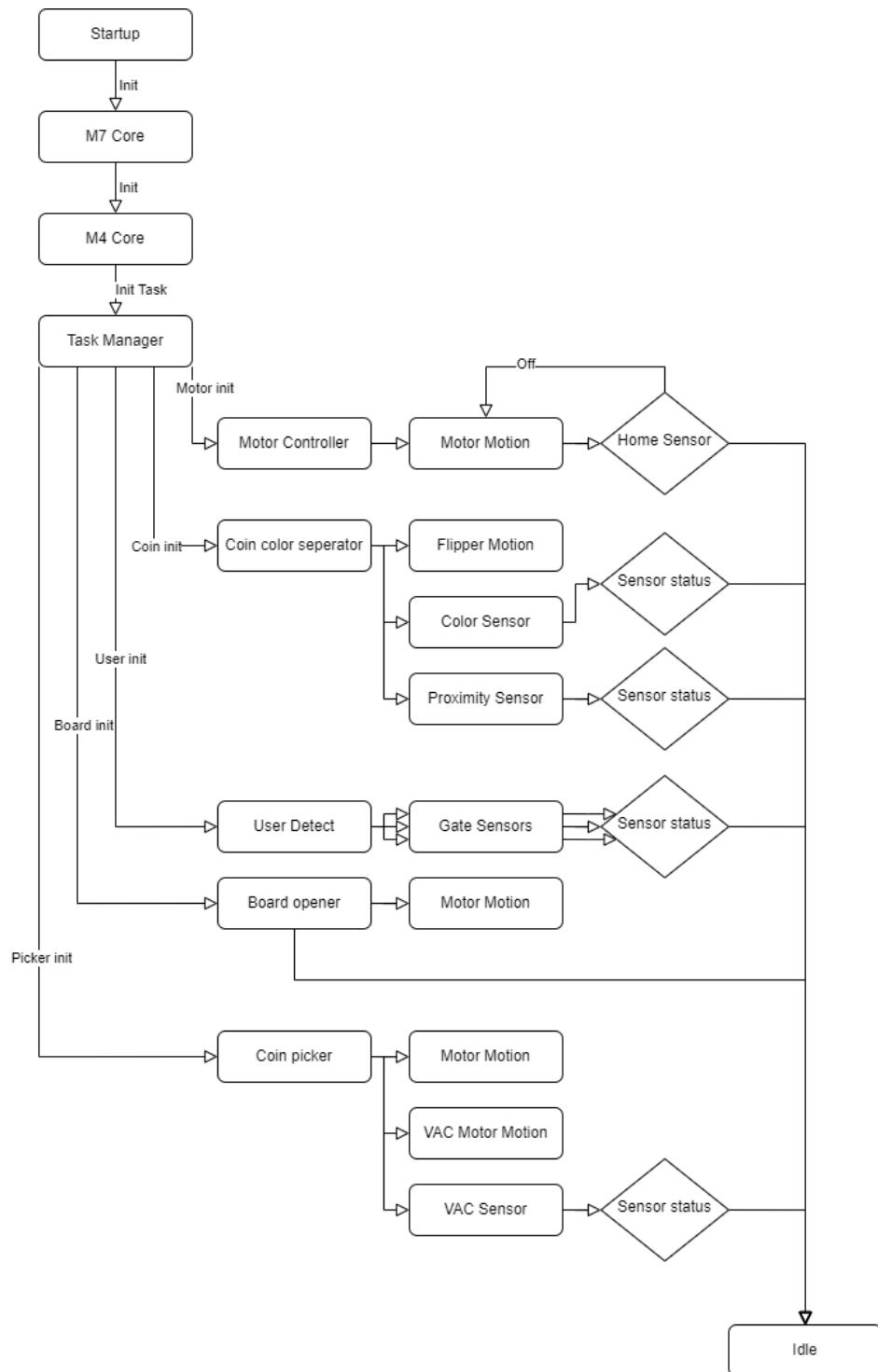


8.1.3. Software architecture

The software architecture contains the software blocks that are designed in the Software Architecture Design¹.



¹ Reference 01 in referenced documents



A.4 Adoptions

The adoptions show which connections are needed for change. Their requirements are validated, and conclusions are implemented into the new PCB.

Connection	Connection to	Requirement	Validation	Conclusion
USART Connection	PB6 & PB7	Signal voltage must be 3.3V.	Regular I/O Pin with 3.3V capabilities.	No change needed
I2C Connection	PB8 & PB9	Signal voltage must be 3.3V, with a signal speed of 400kHz at most.	I2C on the STM32 uses 100kHz speed and regular 3.3v IO.	No changes needed
Flipper Connection	PC8	Signal voltage must be higher than 2V and provide 100nA.	PC8 uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below.	Check transistor for availability.
VAC transistors Connection	PC7 & PC6	Signal voltage must be higher than 2V and provide 100nA.	PC7 & PC6 uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below	Check transistor for availability.
VAC Sensor Connection	PA4	Signal voltage can reach 5v. Connection uses 5mA.	ADC uses max 3.6v. For current calculation see table below.	VAC Sensor must be altered for 3.3V.
QED Connection	PD13, PD12, PA6 & PA5	Signal voltage can reach 5v. Connection uses 8mA.	QED uses regular 5v IO. For current calculation see table below.	QED Connection must be connected to FT_xx pins
MotorX PWM Connection & MotorZ PWM Connection	PB10 & PB11	Signal voltage uses 3.3V. Connection uses 0.07mA. Signal speed must refresh at 10 to 5000Hz.	Motor PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below. The refresh rate will be set at 5000Hz	STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset Register for his frequency.
PWM Servo 1 Connection	PD13, PD12, PA6 & PA5	Signal voltage must be atleast 3v. Signal speed must refresh at 50Hz	PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below. STM32 timers are 16-bit and provide up to 240MHz.	STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset Register for his frequency.
PWM Servo 2 Connection	PD13, PD12, PA6 & PA5	Signal voltage must be at least 3.3v. Signal speed	PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below.	STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset



		must refresh at 50Hz	STM32 timers are 16-bit and provide up to 240MHz.	Register for this frequency.
MotorZ GPIO Connection & MotorX GPIO Connection	PD14, PE2, PG12, PEO, PD15 & PA0	Signal voltage must be at least 3.3v.	GPIO uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below.	No changes needed.
MotorZ Home Pin & MotorX Home Pin	PB2 & PE11	Signal voltage must be at least 5v, with 100mA.	GPIO uses regular 5v IO. The maximum amount of ampere on the pin must be 20mA.	Homing Connection must be connected to FT_xx pins. A protection circuit must be made for the current on the GPIO.



A.5 Design options

A.5.1 VAC Sensor Connection

Requirement: Signal voltage can reach 5v. Connection uses 5mA.

Connection to: PA4

Validation: ADC uses max 3.6v. For current calculation see table below.

Conclusion: VAC Sensor must be altered for 3.3V.

Sensor choice

Because the MPXV6115V is not currently available. The ABPMRRV015PDAA5 will be used instead. The functionality is the same.

Supplies

SR.3 VAC Sensor Power				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the needed VAC Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage	3.3		24	V
Rationale	By using an existing power supply, no new supplies need to be added.			

Pneumatics pressures

SR.4 VAC Sensor				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the needed VAC Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Absolute Operating Pressure	-1.0		1	bar
Rationale	The sensor should be able to withstand normal atmosphere pressure and should be able to read over the entire operating range of the pneumatic system.			

Connectivity

SR.5 Signal				
Ref	UR.4			
Description	The voltage level of the sensor.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Voltage level	0		3.3	V
Rationale	The ADC cannot tolerate 5V.			

Environmental

SR.6 Operating Ambient Temperature				
Ref	UR.4			
Description	The ambient temperature allowed for the system.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating temperature	0		+45	° C
Rationale	Overheating causes damage to the robot.			

Input impedance

The external resistance of the voltage level shifter needs to be less than the chosen External input impedance value.

Symbol	Parameter	Conditions			Min	Typ	Max	Unit
RAIN ⁽⁵⁾	External input impedance	Resolution = 16 bits, T _J = 140 °C	-	-	-	-	50	Ω
		Resolution = 16 bits, T _J = 125 °C	-	-	-	-	170	
		Resolution = 14 bits, T _J = 140 °C	-	-	-	-	200	
		Resolution = 14 bits, T _J = 125 °C	-	-	-	-	435	
		Resolution = 12 bits, T _J = 140 °C	-	-	-	-	700	
		Resolution = 12 bits, T _J = 125 °C	-	-	-	-	1150	
		Resolution = 10 bits, T _J = 140 °C	-	-	-	-	3700	
		Resolution = 10 bits, T _J = 125 °C	-	-	-	-	5650	
		Resolution = 8 bits, T _J = 140 °C	-	-	-	-	18000	
		Resolution = 8 bits, T _J = 125 °C	-	-	-	-	26500	

Figure 3 Input Impedance

Voltage divider

For a buffer less divider, we will use the resolution with the highest maximum input impedance possible. With an 8-bit ADC we can allow 18000Ω input impedance.

The signal current of the VAC is at most 0.2mA. If the loss of the ADC pin is 400uA, the total current loss is:

$$I_{io} \cdot R_1 + I_{loss} \cdot (R_1 + R_2) = U_{vac}$$

$$0.0004 \cdot 3700 + I_{loss} \cdot 17500 = 5$$

$$I_{loss} = 0,201 \text{ mA}$$

$$I_{total} = 0,601 \text{ mA}$$

I_{total} is more than 0.2 mA. That means that the resistors of the divider must be made larger, or the ADC pin loss needs to go down. The input impedance of the pin cannot go up, so the frequency of the ADC pin must go down to allow for a lower consumption.

I_{DD} (ADC)	ADC consumption on V_{DD}	$f_{ADC}=50 \text{ MHz}$	-	-	-	400	-
		$f_{ADC}=25 \text{ MHz}$	-	-	-	220	-
		$f_{ADC}=12.5 \text{ MHz}$	-	-	-	180	-
		$f_{ADC}=6.25 \text{ MHz}$	-	-	-	120	-
		$f_{ADC}=3.125 \text{ MHz}$	-	-	-	80	-

Calculating the needed resistors for $f_{ADC} = 3.125 \text{ MHz}$:

$$I_{io} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

$$U_{R2} = 3.3V$$

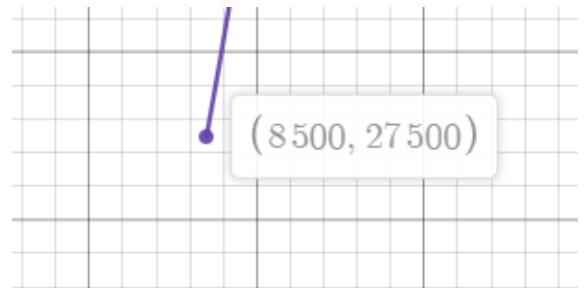
$$U_{R1} = U_{vac} - U_{R2}$$

$$I_{tot}(R_1) = \frac{U_{R1}}{R_1}$$

$$I_{loss} = I_{tot}(R_1) - I_{io}$$

$$R_2(R_1) = \frac{U_{R2}}{I_{loss}(R_1)}$$

$$y = R_2(x) \{I_{tot}(x) < I_{vac}\} \{x > 0\} \{y > 0\}$$



The lowest possible resistor values create an impedance of 36000Ω , which the system cannot handle. Another solution has to be found.

Voltage divider with buffer

With a simple voltage divider and an op-amp you can create a division with negligible input impedance. That way the selected voltages of the voltage divider don't matter as long as they produce 3.3V.

However, the correct op-amp (preferably rail-to-rail) needs to be selected. The op-amp that's currently available at Alten is the LM2904DRG3.

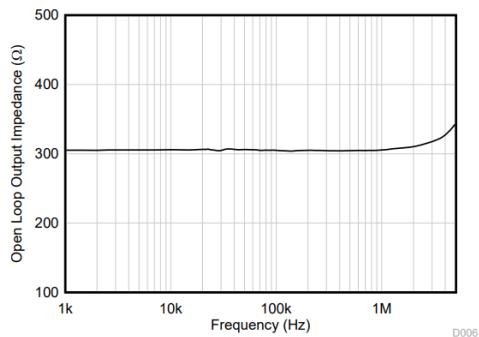
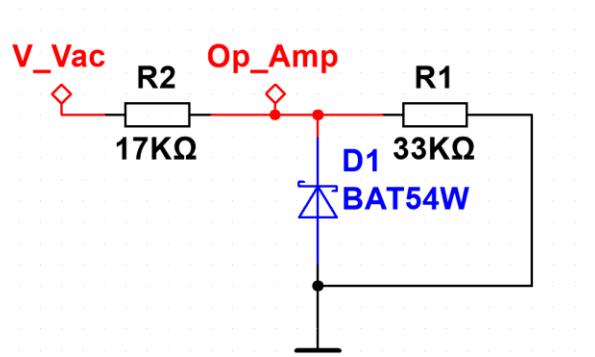
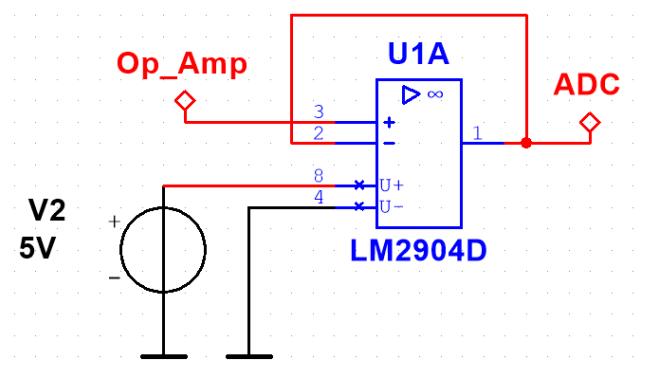


Figure 6-24. Open-Loop Output Impedance vs Frequency

Using a frequency lower than 1.2MHz, the impedance of the op-amp is about 300Ω .

According to Figure 3, a 12-bits resolution can sustain 700Ω at $T_J = 140^\circ C$.



8.3.1 Unity-Gain Bandwidth

The unity-gain bandwidth is the frequency up to which an amplifier with a unity gain may be operated without greatly distorting the signal. These devices have a 1.2-MHz unity-gain bandwidth (B Version).

To achieve the 1.2MHz resolution, a prescaler must be used for the ADC frequency.

$$f_{clock} = 76000000$$

$$f_{ADC}(P) = \frac{f_{clock}}{P}$$

$$f_{ADC}(64) = 1187500$$

With a prescaler of 64, our frequency is withing the unity-gain bandwidth of the sensor, and lower than the maximum input impedance.

With this resolution, a 12-bit counter, we can count 4096 steps.

This would require making our system unresponsive for a drift of $\frac{4096}{24} = 170,667 \approx 171$ counter steps.

A.5.2 MotorX PWM Connection & MotorZ PWM Connection

Requirement: Signal voltage uses 3.3V. Connection uses 0.07mA. Signal speed must refresh at 10 to 5000Hz.

Connection to: PB10 & PB11

Validation: Motor PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below. The refresh rate will be set at 5000Hz

Conclusion: STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset Register fort his frequency.

To calculate the needed prescaler and AutoReset Register, we can use the following

$$N_{PSC}(N_{ARR}) = \frac{C}{f} \cdot \frac{1}{(N_{ARR})}$$

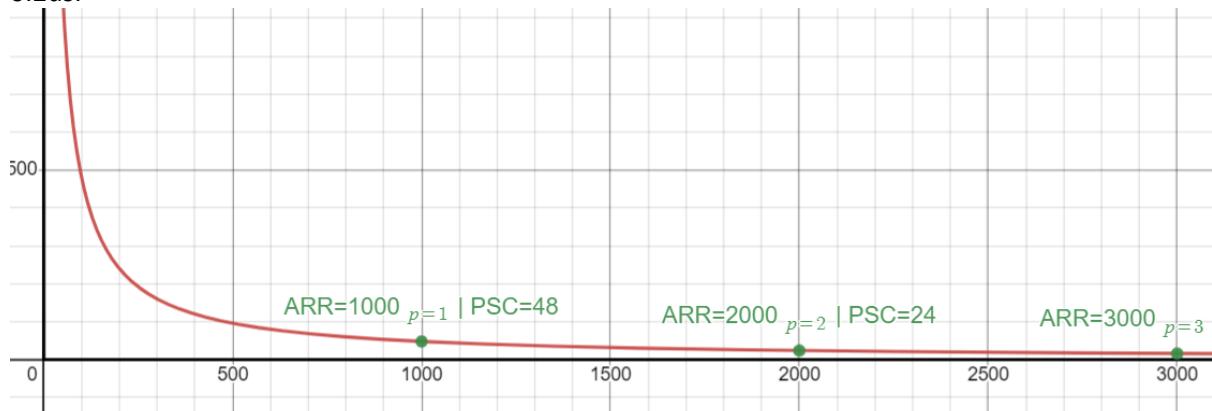
f = 5000Hz The needed speed

C = 240Mhz The clock speed of the timers of the STM32H755

The smallest step needed is 0.2us, as this is the PWM resolution, expressed in S.

$$\begin{aligned} N_{ARR} \cdot S &= \frac{1}{f} \\ N_{ARR} &= \frac{1}{f \cdot S} \\ N_{ARR} &= \frac{1}{5000 \cdot 0.0000002} \\ N_{ARR} &= 1000 \end{aligned}$$

Graphing the results of the formula where N_{PSC} and N_{ARR} are integers, and the smallest step is 0.2us.



To achieve the highest N_{ARR} , N_{PSC} must be 48.

This results in N_{ARR} being 1000.

A.5.3 PWM Servo 1 Connection & PWM Servo 2 Connection

Requirement: Signal voltage must be at least 3v. Signal speed must refresh at 50Hz

Connection to: PD13, PD12, PA6 & PA5

Validation: PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below.

STM32 timers are 16-bit and provide up to 240MHz.

Conclusion: **STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset Register for this frequency.**

Requirement: Signal voltage must be at least 3.3v. Signal speed must refresh at 50Hz

Connection to: PD13, PD12, PA6 & PA5

Validation: PWM uses regular 3.3v IO. For current calculation see table below.

STM32 timers are 16-bit and provide up to 240MHz.

Conclusion: **STM32 timer need to have the correct prescaler and AutoReset Register for this frequency.**

To calculate the needed prescaler and AutoReset Register, we can use the following formula.

$$N_{PSC}(N_{ARR}) = \frac{C}{f} \cdot \frac{1}{(N_{ARR})}$$

$f = 50\text{Hz}$ The needed speed

$C = 240\text{Mhz}$ The clock speed of the timers of the STM32H755

We want to achieve a resolution that doesn't exceed our servo's deadband.

$t_{deadband} = 8\mu\text{s}$ The deadband width

$t_{pulse} = \frac{1}{f} = 20000\mu\text{s}$ The width of the signal

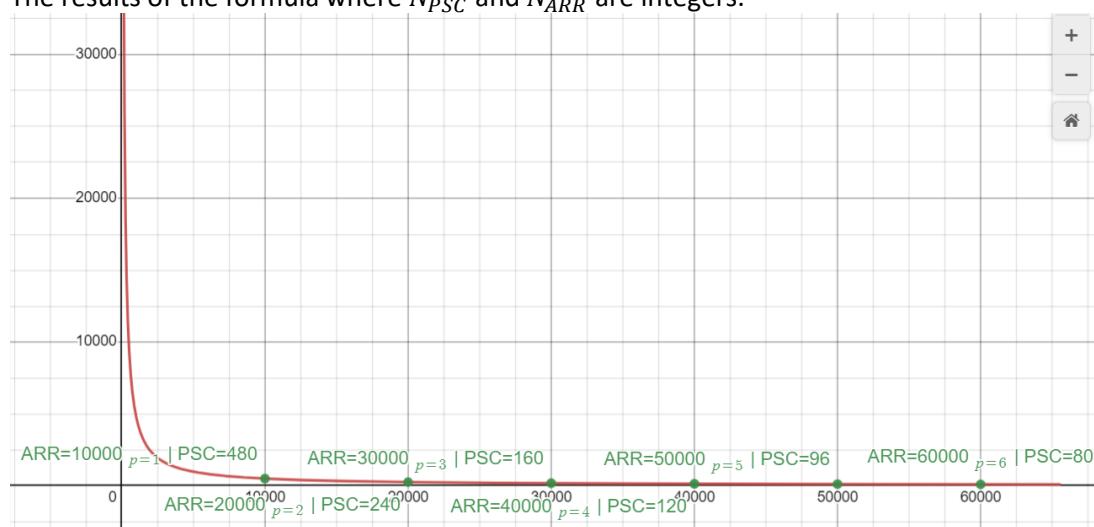
Resolution $\frac{t_{pulse}}{t_{deadband}} = 2500$

To sit safely in the deadband, we want to use a pulse length of 2us (because with 4us you go over the deadband, with 2us you can stay in the middle)

Resolution = 10000

$N_{ARR} = 10000$

The results of the formula where N_{PSC} and N_{ARR} are integers.



The minimum prescaler is 480.

We can multiply the resolution by 6 to achieve the highest possible resolution at PSC=80, with a ARR of 60000.

A.5.4 Transistors

- The VAC Valve requires 6.5W at 24V. This means a current of 0.27A will flow through the transistor. $I_D = 0.27$
- The VAC Pump requires 12W at 12V. This means a current of 1A will flow through the transistor. $I_D = 1A$
- The pinball flipper provides 14.5Ω 24V. This means a current of 1.66A will flow through the transistor. $I_D = 1.66A$

The chosen transistor in the existing circuit is no longer available for purchase. That's why a new transistor needs to be chosen.

The transistor has the following requirements:

No	Requirement	Min value	Max value	Unit
1	Switching voltage ($V_{gs\ th}$)	0	3.3	V
2	Drain current (I_D)	1.66		A
3	Load voltage (V_{ds})	24		V

The following transistor is selected:

<https://nl.farnell.com/infineon/bss306nh6327xtsa1/mosfet-n-ch-30v-2-3a-sot-23-3/dp/2443468>

BSS306NH6327XTSA1

A.5.5 Homing switch

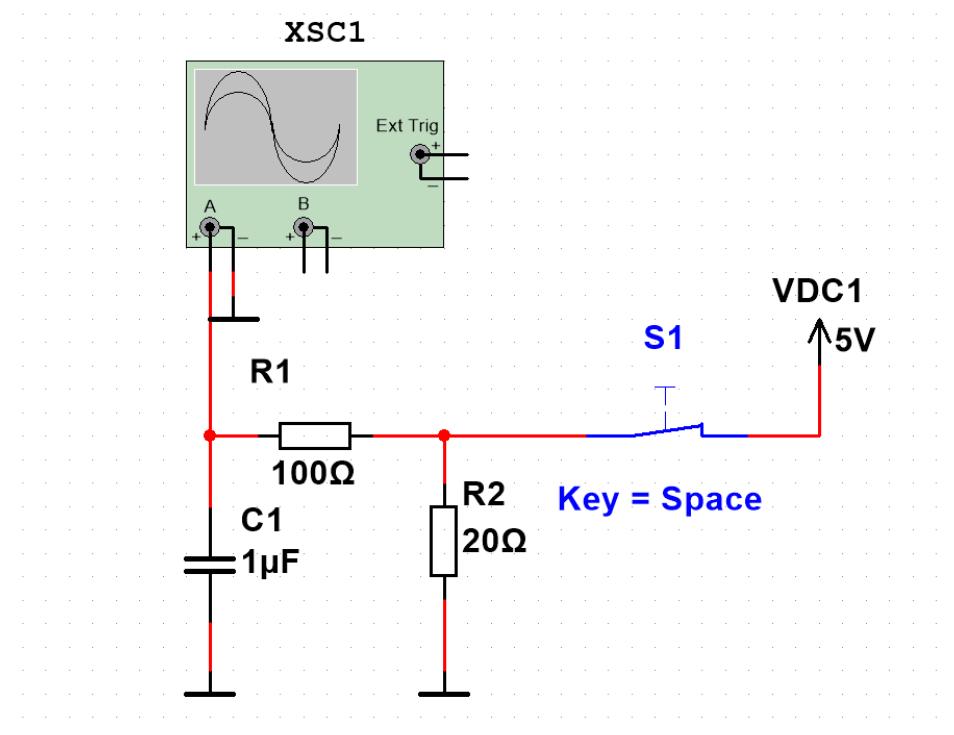
Requirement: Signal voltage must be at least 5v, with 100mA.

Connection to: PB2 & PE11

Validation: GPIO uses regular 5v IO. The maximum amount of ampere on the pin must be 20mA.

Conclusion: Homing Connection must be connected to FT_xx pins. A protection circuit must be made for the current on the GPIO.

To protect the GPIO pin from the current, a resistor to ground must be placed.



A.5.6 Leds

All leds are red.

Value	Min	Typ	Max	Unit
V_F	1.6	2.0	2.4	V
I_F		20		mA
$V_R (I_R = 100\mu A)$	5			V

A led needs to be chosen that operates in combination with a resistor on 24V. The led: ASMT-RR45-AQ902, is chosen.

The chosen luminous intensity is 30%. This results in a forward current of 5mA.

3V3

The chosen resistor, for 5V, needs to be

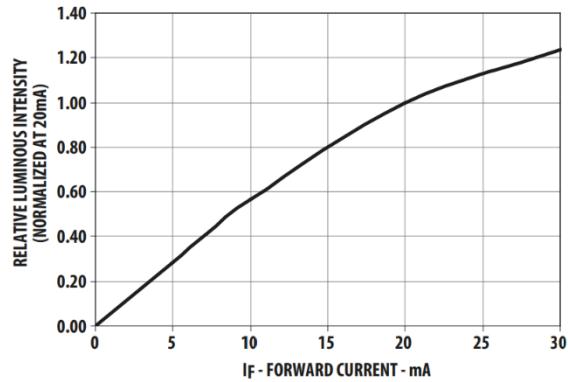


Figure 3. Luminous intensity vs. forward current

$$U_{Led} + U_R = 3.3$$

$$U_R = I_F * R$$

$$R = \frac{(3.3 - U_{Led})}{I_F}$$

$$R = \frac{1.3}{0.005} \approx 260\Omega$$

5V

The chosen resistor, for 5V, needs to be

$$U_{Led} + U_R = 5$$

$$U_R = I_F * R$$

$$R = \frac{(5 - U_{Led})}{I_F}$$

$$R = \frac{3}{0.005} \approx 600\Omega$$

For 5V outputs, a value of 680 ohm is chosen.

12V

The chosen resistor, for 12V, needs to be

$$U_{Led} + U_R = 12$$

$$U_R = I_F * R$$

$$R = \frac{(12 - U_{Led})}{I_F}$$

$$R = \frac{10}{0.005} \approx 2000\Omega$$

For 12V outputs, a value of 1100 ohm is chosen. This resistor is chosen based on a wrong estimation, and needs to be changed to a resistor with the correct value.

24V

The chosen resistor, for 24V, needs to be

$$U_{Led} + U_R = 24$$

$$U_R = I_F * R$$

$$R = \frac{(24 - U_{Led})}{I_F}$$

$$R = \frac{22}{0.005} \approx 4400\Omega$$

A value of 2400 ohm is chosen. This resistor is chosen based on a wrong estimation, and needs to be changed to a resistor with the correct value.

A.6 Original Design

A.6.1 Reverse Voltage Protection

In the original design, a Reverse Voltage Protection circuit is installed.

This circuit will be copied over.

PFET_DRAIN

For the reverse power protection, a PMOS needs to be added. The chosen PMOS in the design is a FDS6679Z. This component is currently outdated, so the FDS6679AZ will be used.

Features

- Max $r_{DS(on)} = 9.3\text{m}\Omega$ at $V_{GS} = -10\text{V}$, $I_D = -13\text{A}$
 - Max $r_{DS(on)} = 14.8\text{m}\Omega$ at $V_{GS} = -4.5\text{V}$, $I_D = -11\text{A}$
 - Extended V_{GS} range (-25V) for battery applications
 - HBM ESD protection level of 6kV typical (note 3)
 - High performance trench technology for extremely low $r_{DS(on)}$
 - High power and current handing capability
 - RoHS Compliant

MOSFET Maximum Ratings $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

MOSFET Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)			
Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{DS}	Drain to Source Voltage	-30	V
V_{GS}	Gate to Source Voltage	± 25	V
I_D	Drain Current -Continuous	(Note 1a) -Pulsed	-13 -65
P_D	Power Dissipation for Single Operation	(Note 1a)	2.5
		(Note 1b)	1.2
		(Note 1c)	1.0
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature	-55 to +150	°C

Thermal Characteristics

Thermal Characteristics			
R_{UA}	Thermal Resistance , Junction to Ambient (Note 1a)	50	°C/W
R_{UC}	Thermal Resistance , Junction to Case (Note 1)	25	°C/W

Package Marking and Ordering Information

Device Marking	Device	Reel Size	Tape Width	Quantity
FDS6679AZ	FDS6679AZ	13"	12mm	2500 units

Figure 4 FDS6679AZ Datasheet

The characteristics are extremely similar, except for the increased on-resistance, and higher tolerance for drain current.

The FDS6679AZ will be used for the new circuit.

Power Decap

For the power decap circuit, a Zener diode is used. The chosen component is BZX84C15. This component is currently available. So will be used for this project according to the original circuit.

Features

- -13 A, -30 V. $R_{DS(ON)} = 9 \text{ m}\Omega$ @ $V_{GS} = -10 \text{ V}$
 $R_{DS(ON)} = 13 \text{ m}\Omega$ @ $V_{GS} = -4.5 \text{ V}$
 - Extended V_{GS} range (-25V) for battery applications
 - ESD protection diode (note 3)
 - High performance trench technology for extremely low $R_{DS(ON)}$
 - High power and current handling capability

Absolute Maximum Ratings

Absolute Maximum Ratings			
Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{GS}	Drain-Source Voltage	-30	V
V_{GS}	Gate-Source Voltage	-25/+20	V
I_D	Drain Current - Continuous - Pulsed	-13 -50	A
P_D	Power Dissipation for Single Operation (Note 1a) (Note 1b) (Note 1c)	2.5 1.2 1.0	W
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +175	°C

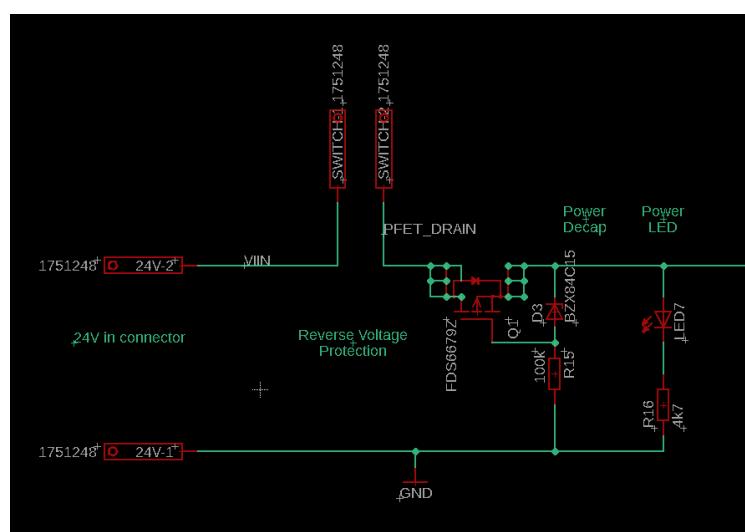
Thermal Characteristics

R_{JJA}	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (Note 1a)	50	°C/W
R_{JJC}	Thermal Resistance, Junction-to-Case (Note 1)	25	°C/W

Package Marking and Ordering Information

Device Marking	Device	Reel Size	Tape width	Quantity
FDS6679Z	FDS6679Z	13"	12mm	2500 units

Figure 5 FDS6679Z Datasheet



A.6.2 Emergency Stop

The emergency stop circuit disables the power to the Maxon PWR Connector and the Servo1&2 Connectors.

The relay in the circuit, the G2R-2A DC5, is currently not available for purchase.

However, the G2R-24 DC5 is available. The rating of the new relay is the same as the old relay, with exception of a few differences.

The differences are:

1. The G2R-24 is fully sealed instead of flux protected.
2. The G2R-24 has double contacts instead of being normally open.

The fully sealed option can carry more current, and doesn't have any downsides, thus is suited for this project.

● Contacts: Fully Protection Type

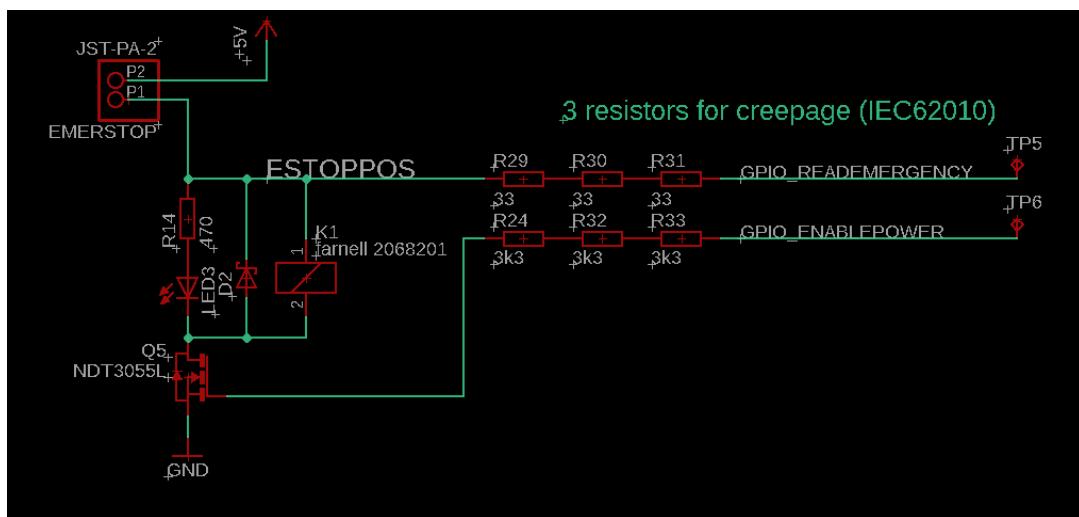
Classification Number of poles	Standard type Quick-connect Terminal (1single-pole type)			High-capacity type		Bifurcated contact type		High-sensitivity type		
	1-pole		2-pole	1-pole		2-pole	1-pole		2-pole	
Item	Load	Resistive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Resistive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Resistive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Resistive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)
Contact type	Single			Single			Bifurcated			Single
Contact material	Ag-alloy (Cd free)									
Rated load	10 A at 250 VAC 10 A at 30 VDC	7.5 A at 250 VAC 5 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 5 A at 30 VDC	2 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC	16 A at 250 VAC 16 A at 30 VDC	8 A at 250 VAC 8 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 5 A at 30 VDC	2 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC	3 A at 250 VAC 1.5 A at 30 VDC
Rated carry current	10 A		5 A		16 A		5 A		5 A	
Max. switching voltage	380 VAC, 125 VDC			380 VAC, 125 VDC			380 VAC, 125 VDC			380 VAC, 125 VDC
Max. switching current	10 A		5 A		16 A		5 A		5 A	
Failure rate (P level) (reference value) *	100 mA at 5 VDC		10 mA at 5 VDC		100 mA at 5 VDC		1 mA at 5 VDC		100 mA at 5 VDC	
* This value was measured at a switching frequency of 120 operations/min.										

* This value was measured at a switching frequency of 120 operations/min.

● Contacts: Flux Sealed Type

Classification Number of poles	Standard type (Single contact type)				Bifurcated contact type					
	1-pole		2-pole		1-pole		2-pole			
Item	Load	Resistive load (cosφ = 1)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Resistive load (cosφ = 1)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Resistive load (cosφ = 1)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)	Inductive load (cosφ = 0.4; L/R = 7 ms)		
Contact type	Single			Single			Bifurcated			
Contact material	Ag-alloy (Cd free)									
Rated load	8 A at 250 VAC 8 A at 30 VDC	6 A at 250 VAC 4 A at 30 VDC	4 A at 250 VAC 4 A at 30 VDC	1.5 A at 250 VAC 2.5 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 5 A at 30 VDC	2 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC	5 A at 250 VAC 3 A at 30 VDC		
Rated carry current	8 A		4 A		4 A		5 A			
Max. switching voltage	380 VAC, 125 VDC			380 VAC, 125 VDC			380 VAC, 125 VDC			
Max. switching current	8 A		4 A		4 A		5 A			
Failure rate (P level) (reference value) *	100 mA at 5 VDC			10 mA at 5 VDC			1 mA at 5 VDC			
* This value was measured at a switching frequency of 120 operations/min.										

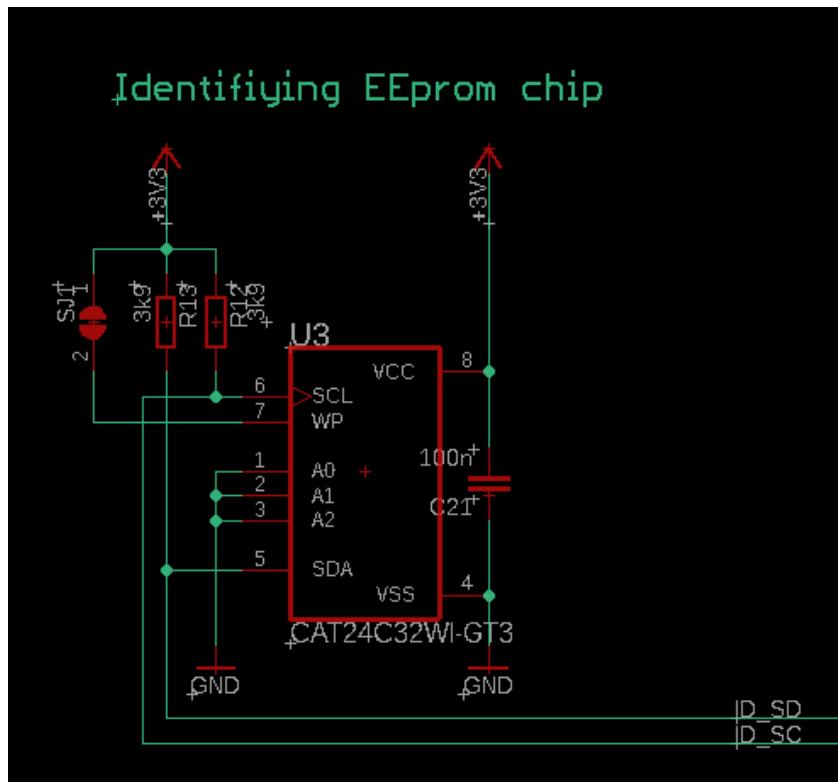
* This value was measured at a switching frequency of 120 operations/min.



G
2
R

A.6.3 Raspberry Pi EEPROM

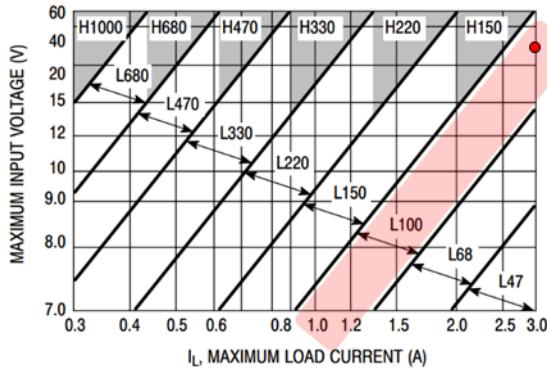
The CAT23C43WI-GT3 is available for purchasing and will be added into the circuit.



A.6.4 Voltage regulator filters

For the voltage regulator filters, spools needed to be selected. These are based on their input voltage and load current.

5V



$$U_{input} = 24V$$

$$I_L = 3A$$

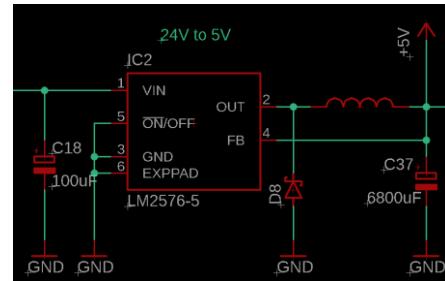


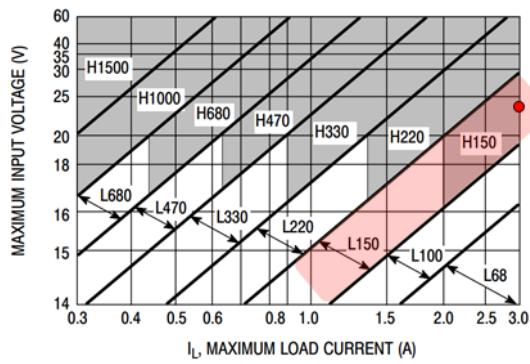
Figure 19. LM2576-5

L100	100 μ H	77 312	671 27000	PE-92108	RL2444
------	-------------	--------	-----------	----------	--------

The needed spool value is:

$$L = L100 = 100\mu H$$

12V



$$U_{input} = 24V$$

$$I_L = 3A$$

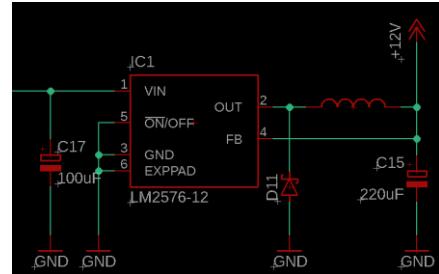


Figure 20. LM2576-12

L100	100 μ H	77 312	671 27000	PE-92108	RL2444
------	-------------	--------	-----------	----------	--------

The needed spool value is:

$$L = L100 = 100\mu H$$

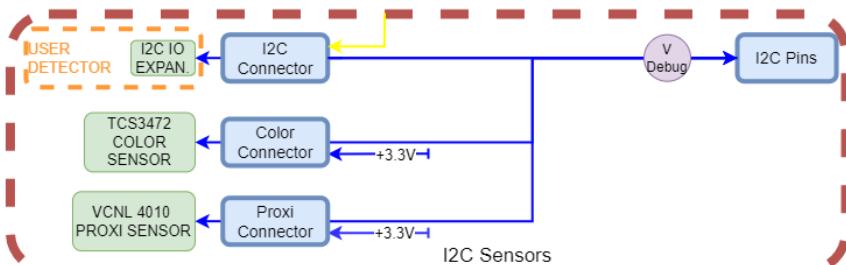
$$L_{chosen} = 100\mu H$$

A.7 Netclasses

For each circuit in the PCB, a class allocation is made to determine the trace width and clearance. The allocation is based on the range of current, and voltage level. The following classes are categorised:

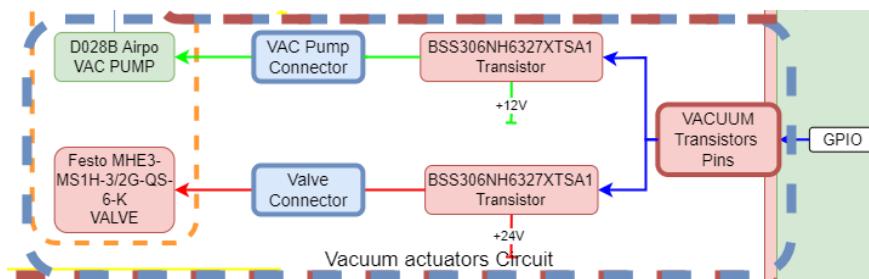
Class	Current range	Min track width	Min via width
Signal	- 0.5A	0.25mm	0.35mm
Default	0.5A – 1.0A	0.5mm	0.35mm
Power	1.0A - 3.0A	2.5mm	3x 0.35mm
Main supply	3.0A - 6.5A	6.75mm	5x 0.35mm

A.7.1 I2C Classes



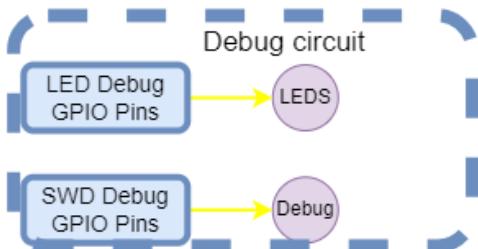
Connection	Voltage	Current	Class
User detector supply	5V	500mA	Default
Color sensor supply	3.3V	0.33mA	Signal
Proxi sensor supply	3.3V	203.8mA	Signal
I2C	3.3V	-	Signal

A.7.2 Vacuum actuators



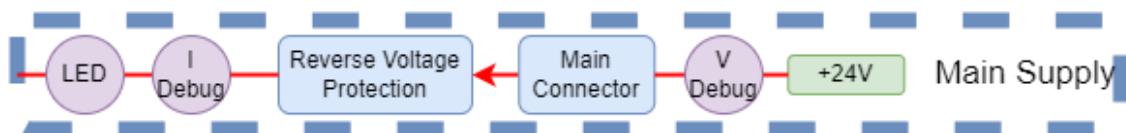
Connection	Voltage	Current	Class
Transistor switch	3.3V	0.1mA	Signal
Valve supply	12V	0.271A	Signal
Pump supply	24V	1A	Power

A.7.3 Debug



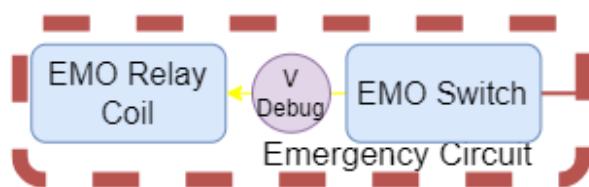
Connection	Voltage	Current	Class
LEDS		-	Signal
SWD		-	Signal

A.7.4 Power supply



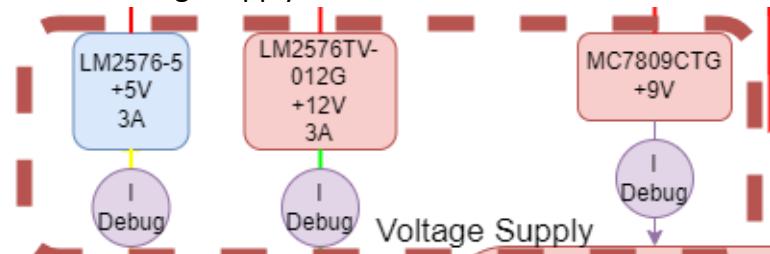
Connection	Voltage	Current	Class
LED	24V	-	Signal
RVP Gate	24V	10uA	Signal
Power	24V	6.5A	Main supply

A.7.5 Emergency



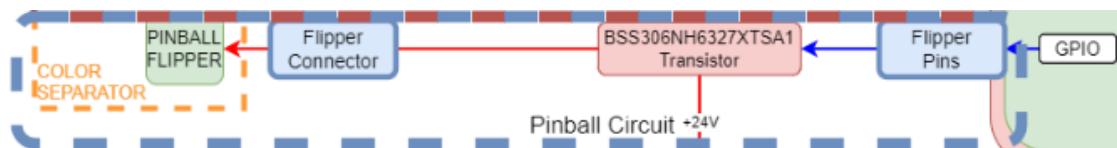
Connection	Voltage	Current	Class
Relay coil	5V	106mA	Signal
Switch transistor	3.3V	0.1mA	Signal

A.7.6 Voltage supply



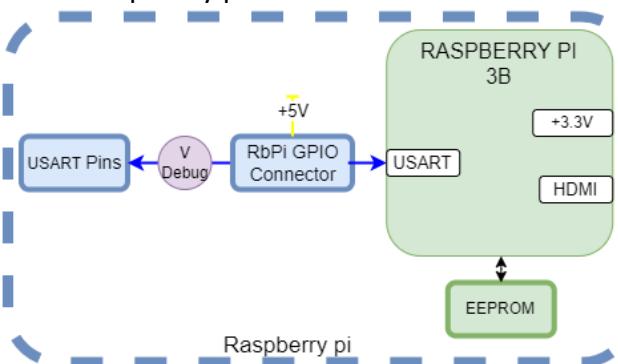
Connection	Voltage	Current	Class
5V supply	5V	3A	Power
3.3V supply	3.3V	3A	Power
9V supply	9V	1A	Power

A.7.7 Pinball



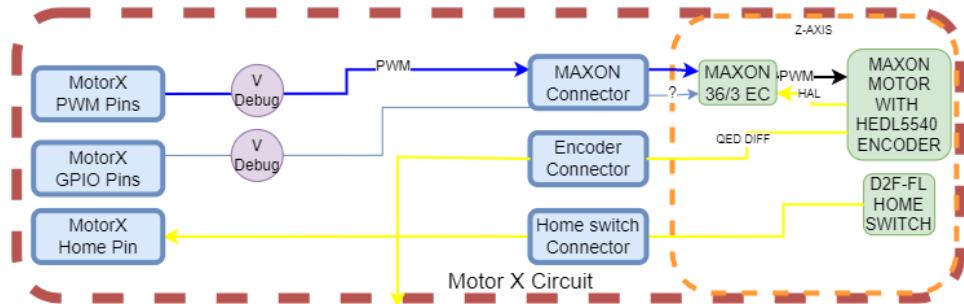
Connection	Voltage	Current	Class
Switch transistor	3.3V	0.1mA	Signal
Power flipper	3.3V	1.66A	Power

A.7.8 Raspberry pi



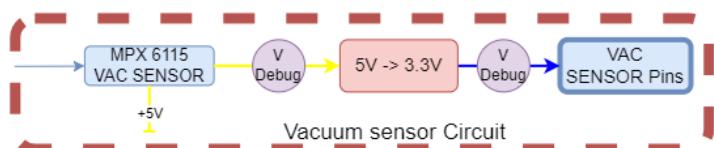
Connection	Voltage	Current	Class
USART	3.3V	-	Signal
Raspberry pi	5V	?	Power

A.7.9 Motor Circuit



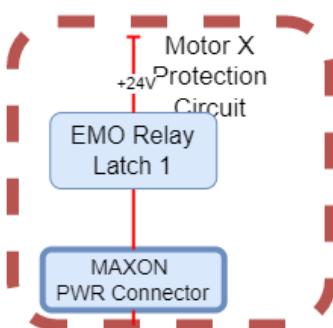
Connection	Voltage	Current	Class
PWM	3.3V	0.07mA	Signal
GPIO	3.3V	-	Signal
Home	5V	-	Signal
Encoder	5V	8mA	Signal

A.7.10 Vacuum Sensor



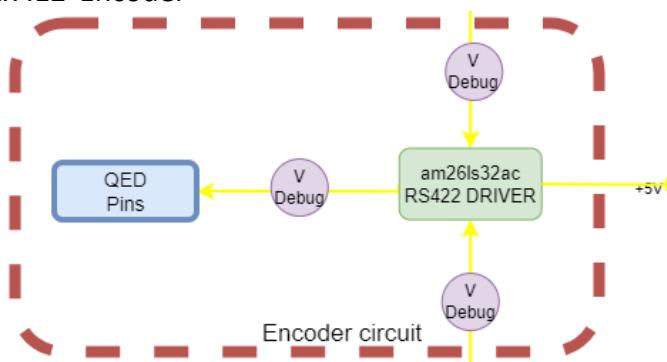
Connection	Voltage	Current	Class
Sensor supply	5V	2.8mA	Signal
Vacuum signal	3.3V/5V	-	Signal
Home	5V	100mA	Signal
Encoder	5V	8mA	Signal

A.7.11 Motor Protection Circuit



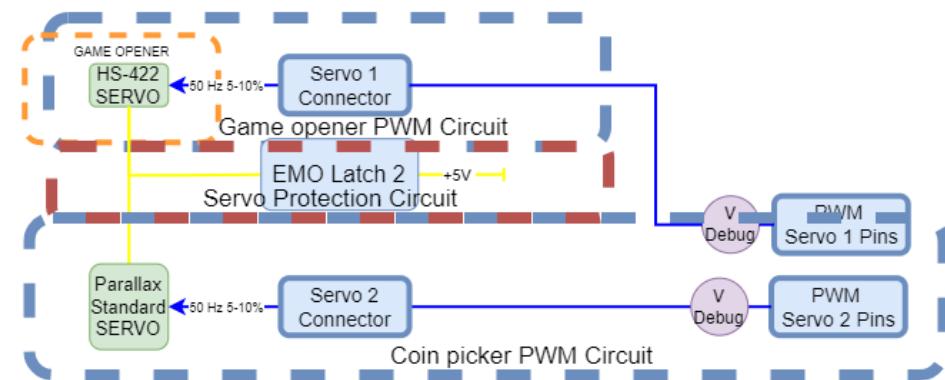
Connection	Voltage	Current	Class
Maxon supply	24V	3A	Power

A.7.12 Encoder



Connection	Voltage	Current	Class
Encoder signals	5V	8mA	Signal

A.7.13 Servo's



Connection	Voltage	Current	Class
Servo PWM	3.3V	-	Signal
Servo supply	5V	0.8A	Default

Appendix a. Mechanical architecture details

Connection	Pin amount	Current rating	AWG	Needed amount	Connector
I2C Connector	4	300mA	24		
Color Connector	4	300mA	24		
Proxi Connector	4	300mA	24		
Flipper Connector	2	1.7A	22		
RbPi GPIO Connector	40	20mA	-		
STM32H755 (CN8)	16	20mA	-		
STM32H755 (CN9)	30	20mA	-		
STM32H755 (CN10)	34	20mA	-		
STM32H755 (CN11)	20	20mA	-		
MAXON Connector	6	130uA	24		
Motor PWR Connector	2	3A	22		
Encoder Connector	10	60mA	24		
Home switch Connector	2	200mA	24		
Servo 1&2 Connector	3	1A	22		
VAC Pump Connector	2	1A	22		
Valve Connector	2	0.30A	24		
Main Connector	2	6.5	22		
Emergency Stop Connector	2		24		

Appendix b. Pin list

Position	Connection	Type	Function	Name
1	PE2	Output	GPIO_Output	DigiIN/OUT_Z
9	PC13	Input	GPIO_Input	B1 [Blue PushButton]
10	PC14-OSC32_IN (OSC32_IN)	I/O	RCC_OSC32_IN	
11	PC15-OSC32_OUT (OSC32_OUT)	I/O	RCC_OSC32_OUT	
22	PF8	I/O	TIM13_CH1	PWM_Servo_Rotate
23	PF9	I/O	TIM14_CH1	PWM_Servo_Slider
24	PF10	Input	GPIO_Input	Rotary_Switch_C8
25	PH0-OSC_IN (PH0)	I/O	RCC_OSC_IN	
26	PH1-OSC_OUT (PH1)	I/O	RCC_OSC_OUT	
28	PC0	Input	GPIO_Input	Rotary_Switch_C2
29	PC1	I/O	ETH_MDC	
37	PA0	Output	GPIO_Output	Ready_Z
38	PA1	I/O	ETH_REF_CLK	
39	PA2	I/O	ETH_MDIO	
40	PA3	Input	GPIO_Input	Rotary_Switch_C1
43	PA4	I/O	ADC1_INP18	Vaccuum_Sensor
45	PA6	I/O	TIM3_CH1	Encoder_X_A
46	PA7	I/O	ETH_CRS_DV	
47	PC4	I/O	ETH_RXD0	
48	PC5	I/O	ETH_RXD1	
49	PB0	Output	GPIO_Output	LD1 [Green Led]
50	PB1	Input	GPIO_Input	Rotary_Switch_C4
51	PB2	I/O	GPIO_EXTI2	Homing_Z
59	PE9	I/O	GPIO_EXTI9	Pushbutton_Rotary_Switch
61	PE11	Input	GPIO_Input	Homing_X
62	PE12	Input	GPIO_Input	Endstop_X
63	PE13	Input	GPIO_Input	Endstop_Z
66	PB10	I/O	TIM2_CH3	PWM_X
67	PB11	I/O	TIM2_CH4	PWM_Z
72	PB12	I/O	UART5_RX	
73	PB13	I/O	ETH_TXD1	
74	PB14	Output	GPIO_Output	LD3 [Red Led]
76	PD8	I/O	USART3_TX	STLINK_RX
77	PD9	I/O	USART3_RX	STLINK_TX
78	PD10	Output	GPIO_Output	USB_OTG_FS_PWR_EN
82	PD12	I/O	TIM4_CH1	Encoder_Z_A
83	PD13	I/O	TIM4_CH2	Encoder_Z_B
84	PD14	Output	GPIO_Output	DigiIN/OUT_X
85	PD15	Output	GPIO_Output	Ready_X
93	PC6	Output	GPIO_Output	Vaccuum_Valve
94	PC7	Output	GPIO_Output	Vaccuum_Pump



95	PC8	Output	GPIO_Output	Solenoid
97	PA8	I/O	USB_OTG_FS_SOF	
98	PA9	I/O	USB_OTG_FS_VBUS	
100	PA11	I/O	USB_OTG_FS_DM	
101	PA12	I/O	USB_OTG_FS_DP	
109	PC10	I/O	GPIO_EXTI10	Coin_INT
110	PC11	I/O	GPIO_EXTI11	Prox_INT
111	PC12	I/O	UART5_TX	
112	PDO	Output	GPIO_Output	Enable_PWR
113	PD1	I/O	GPIO_EXTI1	Read_EMO
115	PD3	Output	GPIO_Output	Debug 1
116	PD4	Output	GPIO_Output	Debug 2
117	PD5	Output	GPIO_Output	Debug 3
120	PD6	Output	GPIO_Output	Debug 4
124	PG11	I/O	ETH_TX_EN	
125	PG12	Output	GPIO_Output	Direction_X
126	PG13	I/O	ETH_TXDO	
132	PB5	I/O	TIM3_CH2	Encoder_X_B
136	PB8	I/O	I2C1_SCL	
137	PB9	I/O	I2C1_SDA	
138	PE0	Output	GPIO_Output	Direction_Z
139	PE1	Output	GPIO_Output	LD2 [Yellow Led]

Appendix c. Order list

Device	Farnell	Price	Amount	Price	Link
BA17809FP-E2	2343120	€ 4.64	3	€ 13.92	https://nl.farnell.com/2343120
ABPMRRV015PDA5	3643133	€ 21.53	2	€ 43.06	https://nl.farnell.com/3643133
BSS306NH6327XTSA1	2443468	€ 0.47	9	€ 4.23	https://nl.farnell.com/2443468
BA17809FP-E2	2343120	€ 1.38	3	€ 4.14	https://nl.farnell.com/2343120
Printklemme	2478586	€ 2.26	3	€ 6.78	https://nl.farnell.com/2478586
Power inductor	1845602	€ 4.62	2	€ 9.24	https://nl.farnell.com/1845602
Relay	2068198	€ 8.76	1	€ 8.76	https://nl.farnell.com/2068198
FDS6679AZ	1700668	€ 1.02	2	€ 2.04	https://nl.farnell.com/1700668
CAT24C32WI-GT3	2463713	€ 0.41	5	€ 2.04	https://nl.farnell.com/2463713
CAP POL 0.1uF	1871011	€ 0.07	2	€ 0.13	https://nl.farnell.com/1871011
0 ohm jumper	3542526	€ 0.24	10	€ 2.35	https://nl.farnell.com/3542526
CAP POL 0.33uF	1871013	€ 0.07	2	€ 0.13	https://nl.farnell.com/1871013
CAP 47uF	2611939	€ 0.36	15	€ 5.37	https://nl.farnell.com/2611939
CAP POL 100uF	9451285	€ 0.13	4	€ 0.52	https://nl.farnell.com/9451285
R 1.1k	1894185	€ 0.15	10	€ 1.53	https://nl.farnell.com/1894185
JST PA 2 M	Digikey	€ 0.22	22	€ 4.75	www.digikey.nl/
JST PH 6 M	Digikey	€ 0.29	12	€ 3.52	www.digikey.nl
CAP POL 6800uF	2069009	€ 3.72	3	€ 11.16	https://nl.farnell.com/2069009
R 2.4k	1894322	€ 0.06	10	€ 0.56	https://nl.farnell.com/1894322
Schottky Diode	2628294	€ 0.34	10	€ 3.44	https://nl.farnell.com/2628294
Leds	1652080	€ 0.31	15	€ 4.67	https://nl.farnell.com/1652080
Zener diode	2675186	€ 0.12	5	€ 0.61	https://nl.farnell.com/2675186
CAP 1uF	1759122	€ 0.03	20	€ 0.59	https://nl.farnell.com/1759122
CAP 220uF	9451420	€ 0.31	2	€ 0.62	https://nl.farnell.com/9451420
CAP 1000pF	3019380	€ 0.01	10	€ 0.11	https://nl.farnell.com/3019380
R 1k	9233385	€ 0.01	20	€ 0.28	https://nl.farnell.com/9233385
R 2k2	9233423	€ 0.02	10	€ 0.20	https://nl.farnell.com/9233423
R 3k3	9233440	€ 0.01	10	€ 0.14	https://nl.farnell.com/9233440
R 470	9233334	€ 0.01	20	€ 0.28	https://nl.farnell.com/9233334
Transistor	1081230	€ 0.12	10	€ 1.17	https://nl.farnell.com/1081230
JST PH 6 F	Digikey	€ 0.10	12	€ 1.14	www.digikey.nl/
JST PH Contact	3617210	€ 0.03	100	€ 3.16	https://nl.farnell.com/3617210
Pin recept 40	2847248	€ 1.19	2	€ 2.38	https://nl.farnell.com/2847248
Pin recept 34	3583802	€ 1.69	2	€ 3.38	https://nl.farnell.com/3583802
Pin recept 16	1593492	€ 0.42	5	€ 2.12	https://nl.farnell.com/1593492
Pin recept 20	1593494	€ 0.74	2	€ 1.48	https://nl.farnell.com/1593494
Pin recept 30	2847247	€ 0.89	2	€ 1.78	https://nl.farnell.com/2847247
PCB Test Point	8731128	€ 14.60	1	€ 14.60	https://nl.farnell.com/8731128
PCB		€ 105.39	2	€ 210.78	



Eindhoven
20-1-2023
PUBLIC

Bijlage B System Requirement Documentation

System Requirement Documentation

4-op-1-rij PCB

Version: 0.1

Date: 7-9-2022

ALTEL

Laurens Verbruggen



B.1 User Requirements

ID	Requirement	Description	MoSCoW	Engineers Remark
UR.1	The robot plays the game fully automatic.		Must	
UR.2	The robot is easily transportable to external locations in a personal car.		Must	
UR.3	The robot is plug and play.		Must	
UR.4	The robot is safe to use in public.		Must	
UR.5	The robot is built with industrial components and with competencies from Alten.		Must	
UR.6	The robot can play for 10 hours uninterrupted.		Must	
UR.7	The processing board uses the new dual-core controller		Must	
UR.8	The dual-core controller keeps the same functionality as the single-core controller.		Must	
UR.9	All software blocks are made using the software architecture's structure.		Must	

B.2 System Requirements

The system requirements describe the specifications in which the STM32H755 controller and other necessary parts will be placed. During development, these requirements should be kept in mind and the final product should meet these requirements. Any parts that are added or replaced are discussed in the Module requirements

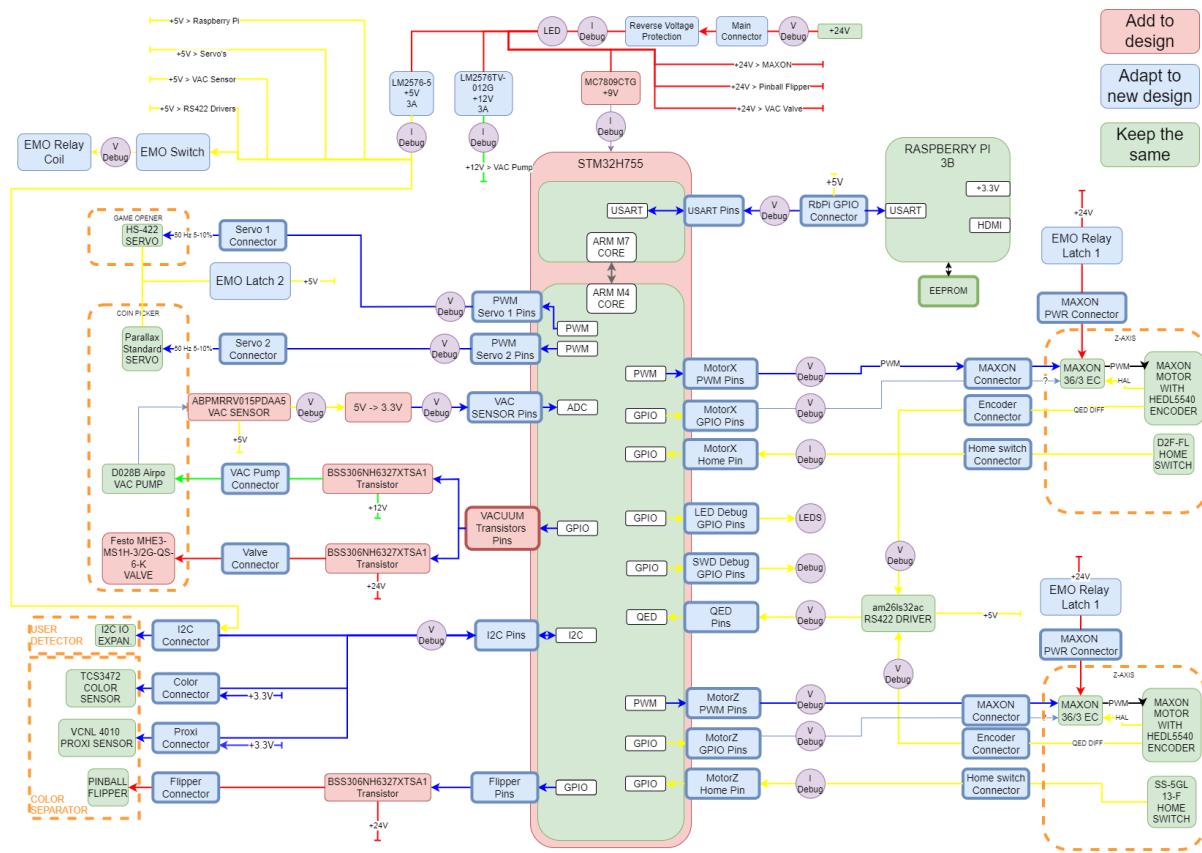
The colour coding for whether requirements are changed or reused from the previous design is shown in the table below.

Colour Legenda		
Green Table	Existing requirement / component	
Blue Table	Adapted or changed requirement / component	
Red Table	Added requirement / component	

Certain parts have been adapted or changed, while its requirement is unchanged. This is because of the unavailability of the parts.

System Requirement Documentation 4-op-1-rij PCB

Version: 0.1, Date: 7-9-2022





B.2.1 Power requirements

SR.1	+24V Power Supply			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The range of the power supply currently in use.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Voltage Range	21.6	24	28.8	V
Current Range			6.5	A
Ripple & noise			200	mVp-p
Voltage Tolerance		+- 1.0%		
Line regulation		+- 0.5%		
Load regulation		+- 0.5%		
Rationale	The system has this power supply provided.			
Datasheet	https://www.tinytronics.nl/shop/index.php?route=product/product/get_file&file=412/LRS-150-spec.pdf [2]			

SR.2	+5V Power Supply			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The range of the LM2576-5 power supply.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Voltage Range	4.75	5	5.25	V
Current Range			3	A
Output voltage to ground	-1			V
Output leakage current	2	7.5	30	mA
Rationale	The LM2576 has previously been chosen for this project.			
Datasheet	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576hv.pdf [3]			

SR.3	+12V Power Supply			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The range of the LM2576-12 power supply.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Voltage Range	11.4	12	12.6	V
Current Range			3	A
Output voltage to ground	-1			V
Output leakage current	2	7.5	30	mA
Rationale	The LM2576 has previously been chosen for this project.			
Datasheet	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576hv.pdf [3]			



B.2.2 Supplies

Motor Power

SR.4	Power Supply MAXON 36/3 EC			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the MAXON 36/3 EC.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	10	24	36	V
Operating current		+3.0		A
output voltage (factor * Vcc)			0.98	
output current		2.7	9	A
time of peak output current			4	s
Rationale	The MAXON 36/3 EC is part of the provided setup			
Datasheet	https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/control/4-Q-Servokontroller/414533 [4]			

SR.5	Power Supply HS 422 Servo			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the HS 422 Servo			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	4.8	5.0	6	V
Operating current		8mA/IDLE AND 150mA/NO LOAD RUNNING	0.8	A
Rationale	The HS 422 is part of the provided setup.			
Datasheet	http://cdn.sparkfun.com/datasheets/Robotics/hs422-31422S.pdf [5]			



SR.6	Power Supply Parallax Standard Servo			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the Parallax Standard Servo			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	4.0	5.0	6.0	V
Operating current		No load voltage/current: 100 mA at 6 VDC in motion, 20 mA at resting state.		
Rationale	The Parallax Standard Servo is part of the provided setup.			
Datasheet	https://docs.rs-online.com/0e85/0900766b8123f8d7.pdf [6]			

SR.7	Power Supply VAC Pump			
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the D028B Airpo Vacuum Pump			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc		12		V
Power		12		W
Rationale	The D028B Airpo vacuum pump is part of the provided setup.			
Datasheet	https://abra-electronics.com/electromechanical/other-motors/d028b-airpo-vacuum-pump-12v-d028b.html [7]			

*Sensor Power*

SR.8 Power Supply TCS3472 Color Sensor				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the TCS3472 Color Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	2.7	3	3.6	
Operating current	2.5	245	330	µA
Rationale	The TCS3472 is part of the provided setup.			
Datasheet	https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TCS34725.pdf [8]			

SR.9 Power Supply VCNL 4010 Proximity Sensor				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the VCNL 4010 Proximity Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	3	3.3	5	V
Operating current		203.8		mA
Rationale	The VCNL 4010 Proximity Sensor is part of the provided setup.			
Datasheet	https://learn.adafruit.com/using-vcnl4010-proximity-sensor/pinouts [9]			

SR.10 Power Supply am26ls32ac RS422 Encoder driver				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the am26ls32ac			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	4.75	5	5.25	V
Input Current		52	70	mA
Rationale	The am26ls32ac RS422 Encoder driver has previously been chosen for the design.			
Datasheet	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am26ls32ac.pdf [10]			

SR.11 Power Supply HEDL 5540 Encoder				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the HEDL 5540			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	4.5	5	5.5	V
Input Current		57		mA
Counts		500		CPS
Velocity			30000	RPM
Frequency			250	kHz
Rationale	The HEDL 5540 Encoder is part of the provided setup.			
Datasheet	https://www.ontrium.com/get.aspx?id=1642490 [11]			

*Processors Power*

SR.12 Power Supply Raspberry Pi				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the Raspberry Pi			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc		5		V
Operating current				mA
Rationale	This Raspberry pi has previously been chosen for this project			

Solenoids Power

SR.13 Power Supply Pinball Flipper				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the Pinball Flipper Solenoid			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc		24		V
Resistance		14.5		Ω
Rationale	The Pinball Flipper is part of the provided setup.			
Datasheet	No datasheet			

SR.14 Power Supply VAC Valve				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the MHE3-MS1H-3/2G-QS-6-K Valve			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	21.6	24	26.4	V
Power		6.5		W
Rationale	The VAC Valve is part of the provided setup.			
Datasheet	https://www.festo.com/us/en/a/525153/?q=~:sortByFacetValues-asc [12]			

Custom Chips

SR.15 Power Supply User Detector				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the User Detector Chip			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	2.3	5	5.5	V
Input Current		500		mA
Rationale	The User Detector is part of the provided setup.			
Datasheet	https://redmine.alten.nl/projects/in-a-row/repository/192/raw/53.20Electronics%20Engineering/1.%20Repo/trunk/3.%20PCBs/Photodiode%20board/SDD_photodiodeboard.docx [13]			

Transistor drain rating

SR.16 Drain Source tolerances				
Ref	UR.4			
Description	The ambient temperature allowed for the system.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Load voltage	24			V
Drain current	1.66			A



Rationale	All transistors should be able to withstand the maximum load of the parts to allow for one type of transistor.
------------------	--

B.2.3 Pneumatics pressures

SR.17 Pneumatics VAC gripper				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the ESG-20-CN-HCL-QS gripper.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating Pressure		-0.7	0.0 (atm)	bar
Rationale	This gripper is part of the provided setup.			
Datasheet	https://www.festo.com/media/pim/270/D15000100122270.PDF [14]			

SR.18 Pneumatics VAC Pump				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The reachable pressure of the D028B Airpo Vacuum Pump			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Attainable Pressure	-0.7			bar
Rationale	This pump is part of the provided setup.			
Datasheet	https://abra-electronics.com/electromechanical/other-motors/d028b-airpo-vacuum-pump-12v-d028b.html [7]			

SR.19 VAC Valve				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the MHE3-MS1H-3/2G-QS-6-K Valve			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating Pressure	-0.9		8	bar
Rationale	This valve is part of the provided setup.			
Datasheet	https://www.festo.com/us/en/a/525153/?q=~:sortByFacetValues-asc [12]			



B.2.4 Connectivity

USART Connection

SR.20 USART Pin Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The signal characteristics of the USART communication.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal Voltage	0		3.3	V
Signal Current				
Signal Speed				
Rationale				
Datasheet				

SR.21 USART Pin Signal				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	USART uses a GPIO Connection			
Rationale	The STM32 has USART pins available for use.			

I2C Connection

SR.22 I2C Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The output characteristics of the I2C bus,			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal Voltage	0		3.3	V
Signal Speed	0	100	400	kHz
Rationale	The I2C Connection is based on the requirements of the I2C devices in the design.			

SR.23 I2C Connection Signal				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	I2C uses an I2C-GPIO Connection.			
Rationale	The STM32 has I2C pins available for use.			



Motor X & Motor Z PWM Connection

SR.24 Motor PWM Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The signal characteristics of the PWM connection.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal Voltage	0-1.0		2.4-36	V
Signal Current		0.07		mA
Frequency range	10	5000	5000	Hz
Pulse Length	10		90	%
Pulse Length	20		180	us
Pulse Resolution		0.1		%
Pulse Resolution		0.2		us
Rationale	The Maxon motor controllers cannot operate outside of these requirements.			
Datasheet	https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8930313830430/414533-ESCON-36-3-EC-Hardware-Reference-En.pdf [4]			

SR.25 Motor PWM Connection Signal	
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8
Description	uses a PWM-GPIO Connection
Rationale	The STM32 provides PWM signal pins.

*Motor X GPIO Connection & Motor Z GPIO Connection*

SR.26 Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The data pins of the motors.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal Voltage	2.4		36	V
Rationale	The Maxon motor controllers cannot operate outside of these requirements.			
Datasheet	https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8930313830430/414533-ESCON-36-3-EC-Hardware-Reference-En.pdf [4]			

SR.27 Connection Signal

Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The digital data pins use a GPIO Connection.			
Rationale	The STM32 provides digital signal pins.			

QED Connection

SR.28 QED Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The signal characteristics of the QED connection.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal High Voltage	2.7	5.0		V
Signal Low Voltage	0		0.45	
Signal Current	-0.440		8	mA
Rationale	The chosen QED driver uses these signals.			
Datasheet	https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am26ls32ac.pdf?ts=1663743340393&ref_=url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FAM26LS32AC [10]			

SR.29 QED Connection Signal

Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	QED uses a Timer GPIO Connection			
Rationale	The STM32 provides digital timer pins.			



PWM Servo 1 Connection

SR.30 PWM Servo 1 Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The signal characteristics of the PWM connection.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal High Voltage	3		5	
Signal Speed		50		Hz
Pulse Length	0.9	1.5	2.1	mS
Pulse Length	4.5		10.5	%
Rationale	The servo provides these signals.			
Datasheet	https://www.robotshop.com/media/files/pdf/servomanual-31422s.pdf [5]			

SR.31 PWM Servo 1 Connection Signal

Ref	UR.4, UR.5 & UR.8
Description	PWM Servo 1 uses an PWM-GPIO Connection.
Rationale	The STM32 provides PWM signal pins.

PWM Servo 2 Connection

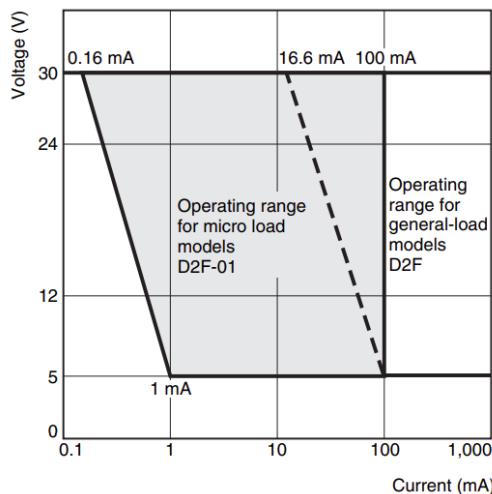
SR.32 PWM Servo 2 Connection Requirements				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The signal characteristics of the PWM connection.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Signal High Voltage	3.3	5.0	Vcc+0.2	V
Signal Speed		50		Hz
Pulse Length	0.75		2.25	mS
Pulse Length	3.75		11.25	%
Rationale	The servo provides these signals.			
Datasheet	https://www.parallax.com/package/parallax-standard-servo-downloads/?wpdmdl=3873&refresh=6333cc1ec140171664339180&ind=1600888277673&filename=900-00005-Standard-Servo-Product-Documentation-v2.2.pdf [6]			

SR.33 PWM Servo 2 Connection Signal

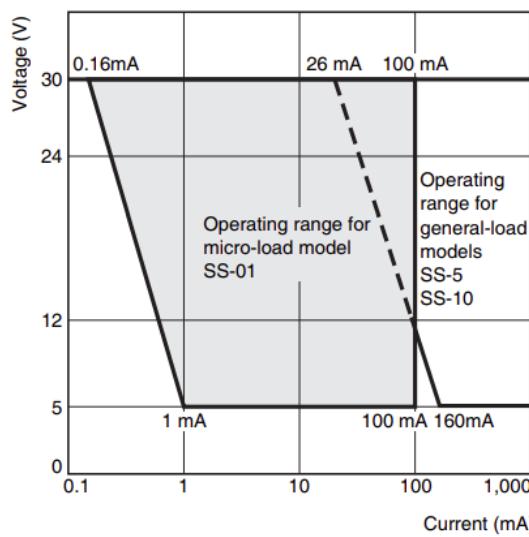
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8
Description	PWM Servo 2 uses a PWM Servo 2 Connection
Rationale	The STM32 provides PWM signal pins.

Maximum switch loads

SR.34 D2F-FL Home Switch Connection				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the D2F-FL Switch			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Load	100 mA at 5 VDC		0.5 A at 30 VDC	
Contact resistance			50	mΩ
Rationale	The D2F-FL is part of the provided setup.			
Datasheet	https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_d2f-587403.pdf [15]			



SR.35 SS-5GL13-F Home Switch Connection				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the SS-5GL13-F Switch			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Load	5 VDC 160 mA			
Contact resistance			50	mΩ
Rationale	The SS-5GL13-F is part of the provided setup.			
Datasheet	https://nl.mouser.com/datasheet/2/307/en_ss-1509069.pdf [16]			





EMO Connection

SR.36 EMO Connection				
Ref	UR.4, UR.5 & UR.8			
Description	The operating requirements of the EMO switch			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Switching voltage			250 V DC	
Contact Current			5	A
Rationale	The emo switch is part of the provided setup.			
Datasheet	https://nl.farnell.com/eao/51-253-022/switch-e-stop-1co-turn-reset-faston/dp/1889178#anchorTechnicalDOCS [17]			

Transistor connections

SR.37 Transistor switching voltage				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the needed transistors			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage	0.0		3.3	V
Rationale	The STM32 cannot provide more than 3.3V.			



B.2.5 Environmental

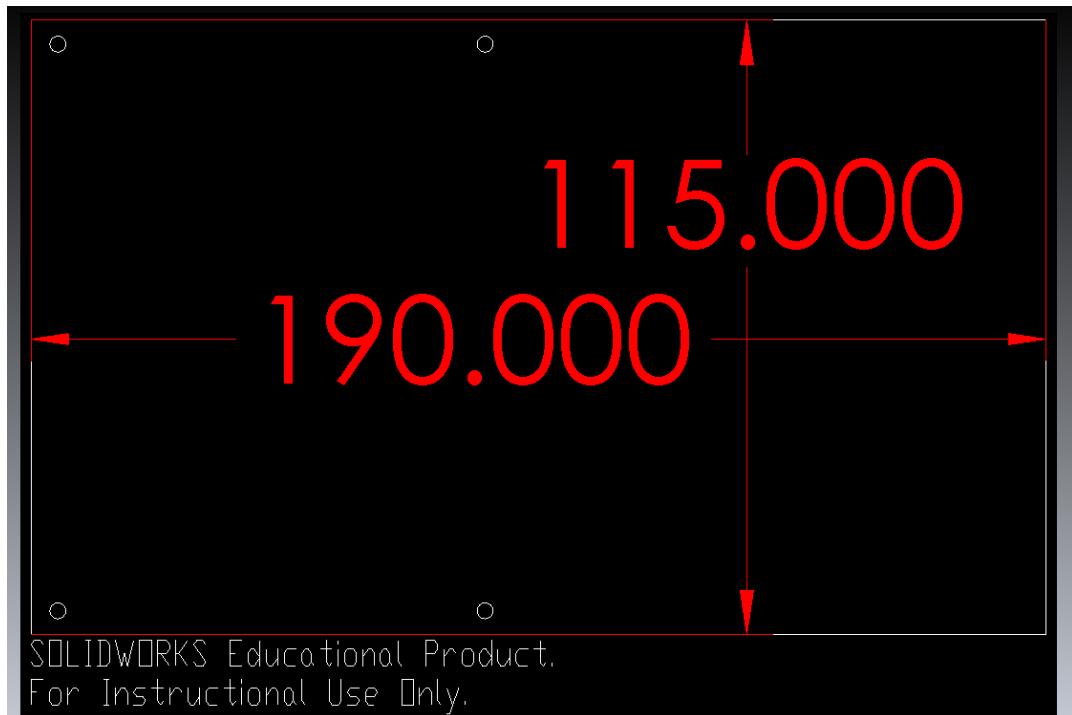
SR.38 Room climate operation	
Ref	UR.4
Description	The system operates in room temperature and climate.
Rationale	The robot is mainly used in exhibitions.

SR.39 Operating Ambient Temperature				
Ref	UR.4			
Description	The ambient temperature allowed for the system.			
Operating temperature	Min	Mean	Max	Unit
Entire system	0		+45	° C
24V Supply	-30		+70	° C
LM2576-5 & 12	-40		+125	° C
Raspberry Pi 3B				° C
EMO				° C
User Detector				° C
TCS3472	-40		+85	° C
VCNL4010				° C
Pinball Flipper				° C
Maxon 36/3 EC	-30		+45	° C
AM26LS32AC	0		+70	° C
MAXON Motor				° C
DSF-FL	-40		+85	° C
SS-5GL-13-F	-25		+85	° C
HS422	-20		+60	° C
Standard Servo	-10		+50	° C
D028B Airpo				° C
Transistor	0		+45	° C
Rationale	Overheating causes damage to the robot.			

B.2.6 Dimensioning

SR.40	PCB Footprint
Ref	UR.2
Description	A footprint, including the mounting holes and dimensions, are digitally available. All electronics must be contained in this footprint.
Rationale	There is only limited space in the robot.

SR.41	PCB Height
Ref	UR.2
Description	The PCB, including thickness, cannot exceed the limit.
Value	Min
Height	100
Rationale	The PCB will not fit under the robot.





B.2.7 Performance

SR.42	Uptime
Ref	UR.4
Description	The robot can be playing for 10 hours without trouble.
Rationale	The robot is operating an entire day.

B.2.8 Compliance

SR.43	Norms
Ref	UR.4
Description	The robot must be compliant to the norms: IEC 60204, IEC 61010
Rationale	These are standard practice for Alten

SR.44	Architecture
Ref	UR.9
Description	The software must be created using the structure of the software architecture.
Rationale	This structure is already made.

SR.45	Norms
Ref	UR.4
Description	The robot must be compliant to RoHS and REACH.
Rationale	These are standard practice for Alten.

B.2.9 Transport

SR.46	PCB location
Ref	UR.2
Description	The PCB is fully contained inside the robot.
Rationale	This limits damage and increases transportability.



B.3 Module requirements

The modules of the system are changed or added components that need to be developed in addition to the full system.

B.3.1 Module requirements STM32H755

The module requirements for the STM32H775 document the requirements for the STM32 controller. These requirements will affect the new system.

Supplies

SR.47 Power Supply STM32H755 (VIN method)				
Ref	UR.7			
Description	The operating requirements of the STM32H755 Controller			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage Vcc	7	9	11	V
Operating current (Vcc=7V)			800	mA
Operating current (7V<Vcc<9V)			450	mA
Operating current (9V<Vcc<11V)			250	mA
Rationale	This board is requested to be used by the user.			
Datasheet	https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-h755zi-q.html#documentation [18]			

*Connectivity*

SR.48 ADC Connections STM32H755				
Ref	UR.7			
Description				
Value	Min	Mean	Max	Unit
VDD		3.3	4.0	V
VSS	-0.3	0.0		V
Resolution	8		16	Bits
VDDA	1.62	VDD	3.6	
VREF+	1.62	VDD	VDDA	
VREF-		VSS		
Voltage range	VREF-		VREF+	
Rationale	The STM32H755 is equipped with an ADC. https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32h755bi.pdf [19]			

Table 6. Legend/abbreviations used in the pinout table

Name	Abbreviation	Definition
Pin name	Unless otherwise specified in brackets below the pin name, the pin function during and after reset is the same as the actual pin name	
Pin type	S	Supply pin
	I	Input only pin
	I/O	Input / output pin
	ANA	Analog-only Input
I/O structure	FT	5 V tolerant I/O
	TT	3.3 V tolerant I/O
	B	Dedicated BOOT0 pin
	RST	Bidirectional reset pin with embedded weak pull-up resistor
	Option for TT and FT I/Os	
	_f	I2C FM+ option
	_a	analog option (supplied by VDDA)
	_u	USB option (supplied by V _{DD33USB})
	_h	High-speed low-voltage I/O
Notes	Unless otherwise specified by a note, all I/Os are set as floating inputs during and after reset.	
Pin functions	Alternate functions	Functions selected through GPIOx_AFR registers
	Additional functions	Functions directly selected/enabled through peripheral registers



SR.49 STM32H755 GPIO				
Ref	UR.7			
Description	The operating requirements of the GPIO pins of the STM32H755.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
TT_xxx				
Output voltage	VSS - 0.3		4.0	V
FT_xxx				
Output voltage	VSS - 0.3		VDD + 4.0	V
All Pins				
Output current per pin	0		20	mA
Output current total	0		140	mA
General Purpose Timer Frequency			240	MHz
General Purpose Timer Resolution			32 (TIM 2, TIM 5) 16 (TIM 3, TIM 4)	bit
I2C Frequency	1		100	kHz
Rationale	The characteristics of the STM32 GPIO			

Dimensioning

SR.50 Processor location	
Ref	UR.5
Description	Microcontroller and Pi are mounted using pin headers, and not placed on the PCB.
Rationale	Production time makes it impossible to mount directly



B.3.2 Module requirements VAC Sensor

The module requirements for the vacuum sensor document the requirements for the sensor which will be added in the system. These requirements will affect the new system.

Supplies

SR.51 VAC Sensor Power				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the needed VAC Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating voltage	3.3		24	V
Rationale	By using an existing power supply, no new supplies need to be added.			

Pneumatics pressures

SR.52 VAC Sensor				
Ref	UR.5			
Description	The operating requirements of the needed VAC Sensor			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Absolute Operating Pressure	-1.0		1	bar
Rationale	The sensor should be able to withstand normal atmosphere pressure and should be able to read over the entire operating range of the pneumatic system.			

Connectivity

SR.53 Signal				
Ref	UR.4			
Description	The voltage level of the sensor.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Voltage level	0		3.3	V
Rationale	The ADC cannot tolerate 5V.			

Environmental

SR.54 Operating Ambient Temperature				
Ref	UR.4			
Description	The ambient temperature allowed for the system.			
Value	Min	Mean	Max	Unit
Operating temperature	0		+45	° C
Rationale	Overheating causes damage to the robot.			



Eindhoven
20-1-2023
PUBLIC

Bijlage C Master test plan

Master Test Plan

4-in-a-row robot

Version: 01

Date: [date]

ALTEN

laurens verbruggen



Version History

Version	Date	State	Author	Remark
[Manager]				

Acronyms and Abbreviations

Term	Explanation
System	The STM32H755 controller and any component that is changed or added to the system according to the SDD.

Referenced documents

Id	Reference	Title	Date	Author
01	SDD	SDD 4o1r		
02	SRD	System Requirements PCB		



C.1 Scope

C.1.1 Introduction

The 4-in-a-row robot will use a new main processing board. The STM32H755 controller will replace the STM32F. The robot will play the 4-in-a-row game using the provided setup.

C.1.2 Goal

The goal of testing is to demonstrate the functionality of the main processing board. All components from the setup should be initialized and tested to allow for behaviour to be programmed.

C.1.3 Test basis

- Plan of Approach
- Initialization protocol document
- SRD (System Requirements Document)

C.1.4 Entry criteria

Module Testing

- PCB of the main processing board with the STM32H755 controller is finished
- A power supply, oscilloscope and function generator are available.
- Components of modules are available.

System Testing

- Module testing is complete.
- Redesign of PCB is complete.
- Software for toggling and reading STM32H755 pins.
- Configuration of the STM32H755 controller is complete.
- Documentation is up to date.
- Test plan for integration testing is complete.

Requirement Testing

- System testing is complete.
- Redesign of system is complete if necessary.
- Test plan for system testing is complete.

Acceptance Testing

- Requirement testing is complete.
- All bugs and faults of system are fixed.
- All System Requirements are met.
- Test plan for acceptance testing is complete.



C.1.5 Exit criteria

Module Testing

- The PCB does not have any shortages.
- Components function as expected.

System Testing

- The STM32 operates the components of the module as expected and shows the same behaviour as in module testing.
- Actuators function as expected.
- Sensors function as expected and are correctly read by the STM32.

Requirement Testing

- The robot and its components operate as expected.
- The M4 and M7 cores of the STM32H755 controller communicate with each other.

Operation	
VAC Valve	Switch
Pinball Flipper	Switch
MAXON 36/3 EC	Move to Home
VAC Pump	Switch
STM32H755	Communication
MPX 6115 VAC Sensor	Init
RS422 Encoder Driver	Init
User Detector	Init
HS 422 Servo	Move to home
Parallax Servo	Move to home
Raspberry Pi	Communication
TCS3472 Color	Init
VCNL 4010 Prox	Init

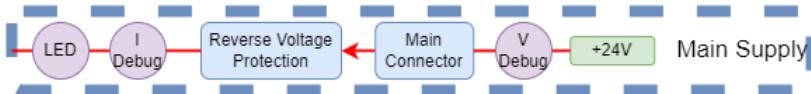
Acceptance Testing

- The components of the entire robot are able to perform the initialization operations.

C.2 Approach

C.2.1 Functional testing

Main supply



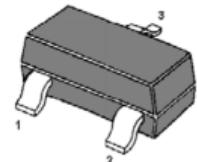
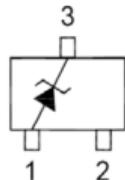
Setup

1. Mount Q1
2. Mount D1 and R29
3. Mount Led1 and R30
4. Mount X4 and X3

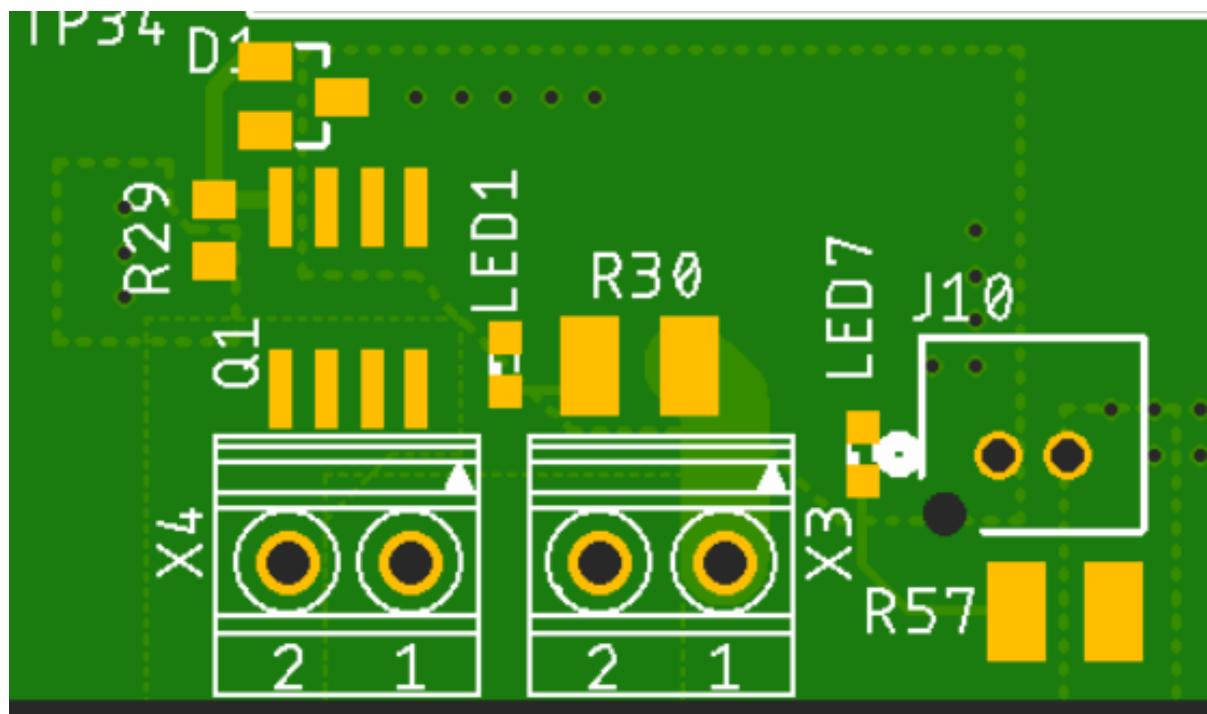
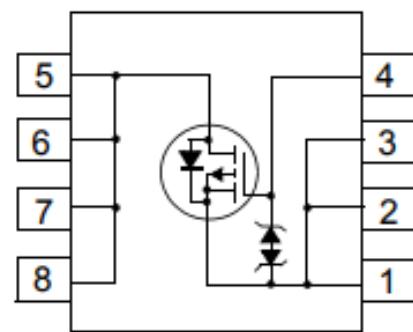
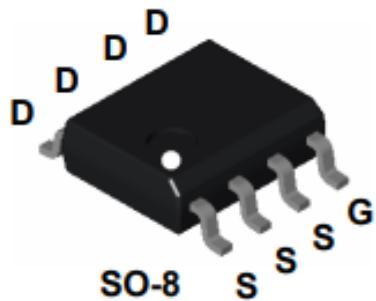
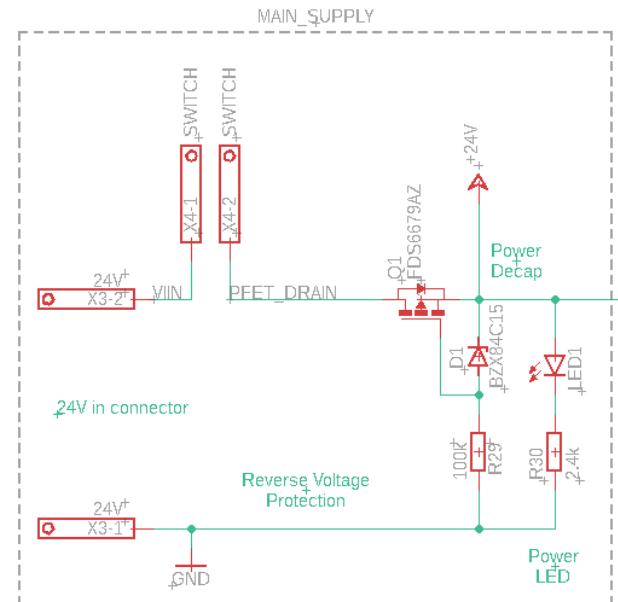
Needed: Soldering, voltage supply (24V), voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
1	Check voltage level of the 24V supply with no load	Apply a power supply normally to the connector. Check the voltage level of the output.	Main supply is completely isolated	
2	Check if Reverse voltage protection triggers when a negative voltage is applied.	Apply a power supply in reverse to the connector. Check the voltage level of the output.	Main supply is completely isolated	
3	Test leds current draw	Apply signal voltage to leds Check brightness of the led	Debug circuit isolated	

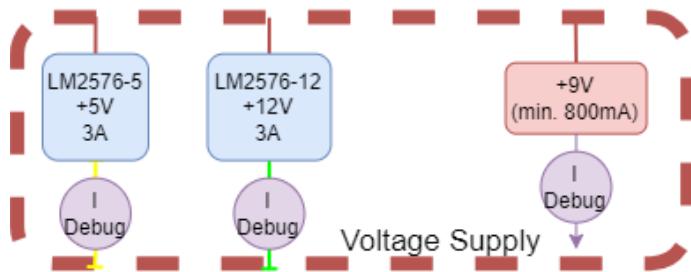
Reference sheet



1. Anode 3. Cathode



Voltage supply



Setup

1. Mount IC3, L2, C13, D3 and C17

Test NO. 4

2. Mount IC1, L1, C12, D2 and C16

Test NO. 5

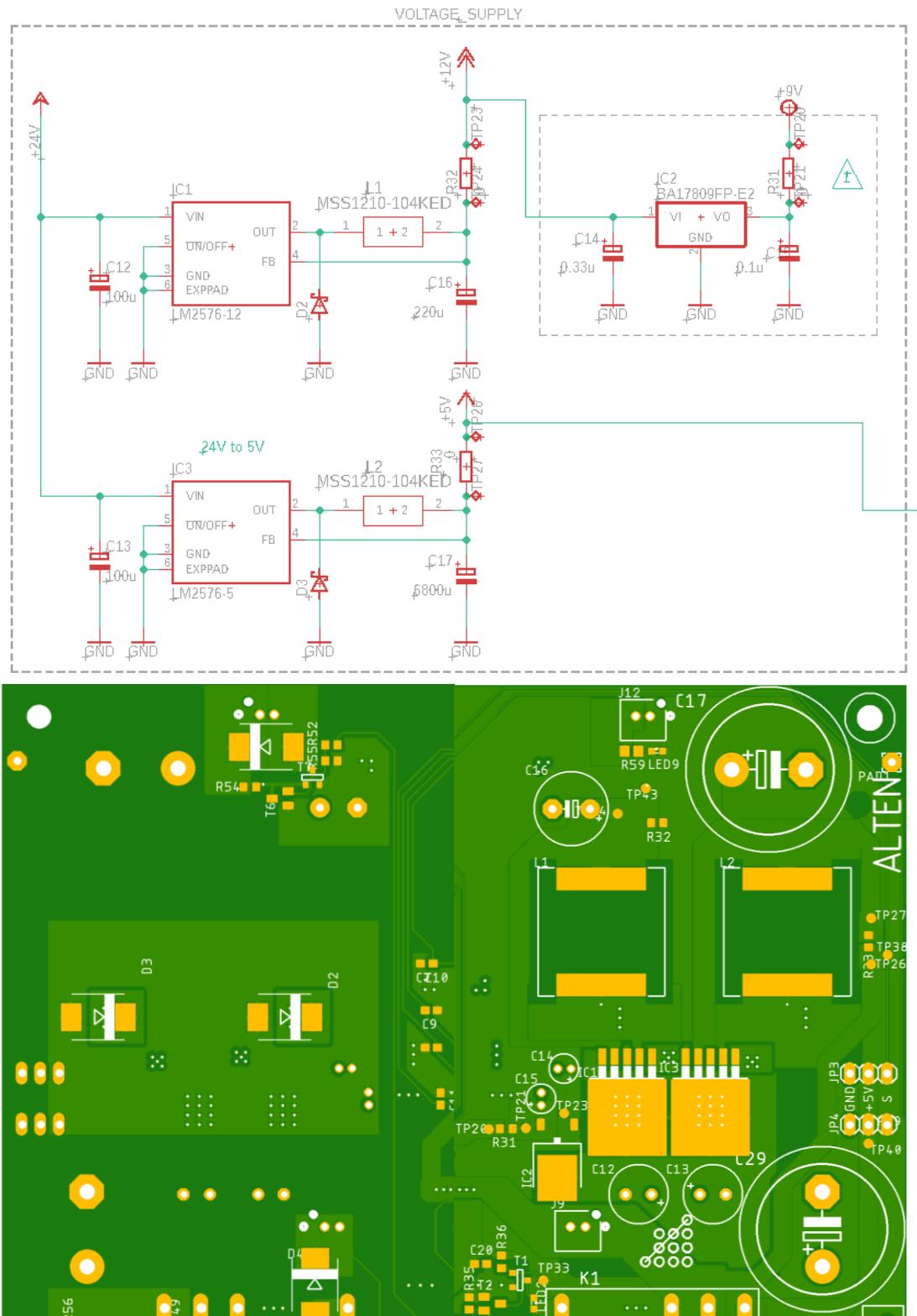
3. Mount IC2, C14 and C15

Test NO. 6

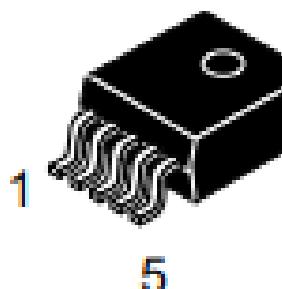
Needed: Soldering, voltage supply (24V), voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
4	Test if 5V supply provides the correct voltage level.	Apply the 24V supply to the voltage supply circuit, and check voltage level	Voltage supply and main supply are isolated together	Make sure to have tested the main supply first
5	Test if 12V supply provides the correct voltage level.	Apply the 24V supply to the voltage supply circuit, and check voltage level	Voltage supply and main supply are isolated together	Make sure to have tested the main supply first
6	Test if 9V supply provides the correct voltage level.	Apply the 24V supply to the voltage supply circuit, and check voltage level	Voltage supply and main supply are isolated together	Make sure to have tested the main supply first

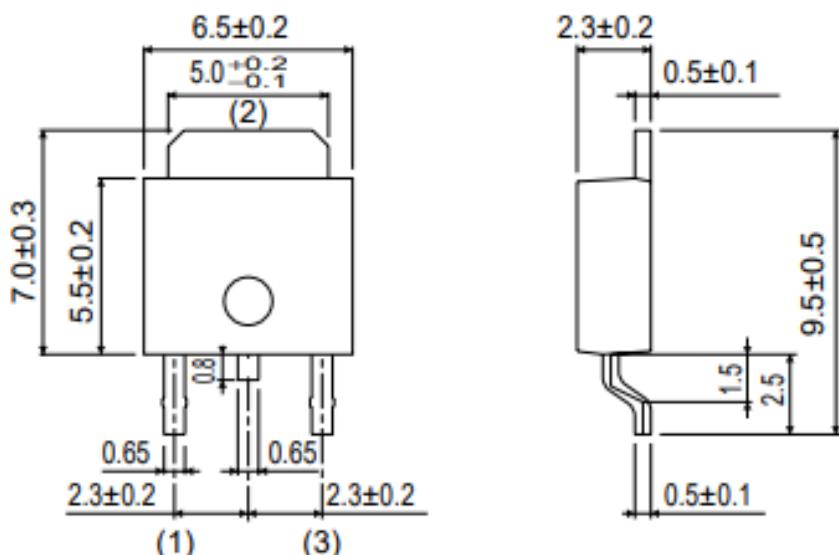
Reference sheet



- Pin 1. V_{in}
 2. Output
 3. Ground
 4. Feedback
 5. ON/OFF

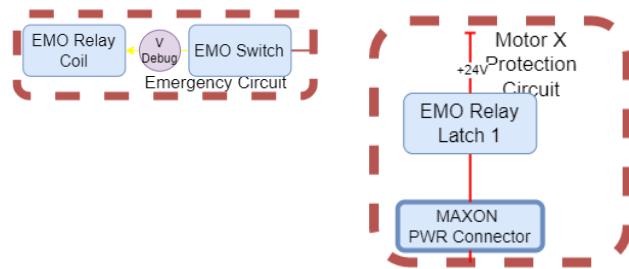


**D²PAK
D2T SUFFIX
CASE 936A**



(1) INPUT
(2) COMMON
(3) OUTPUT

Emergency circuit



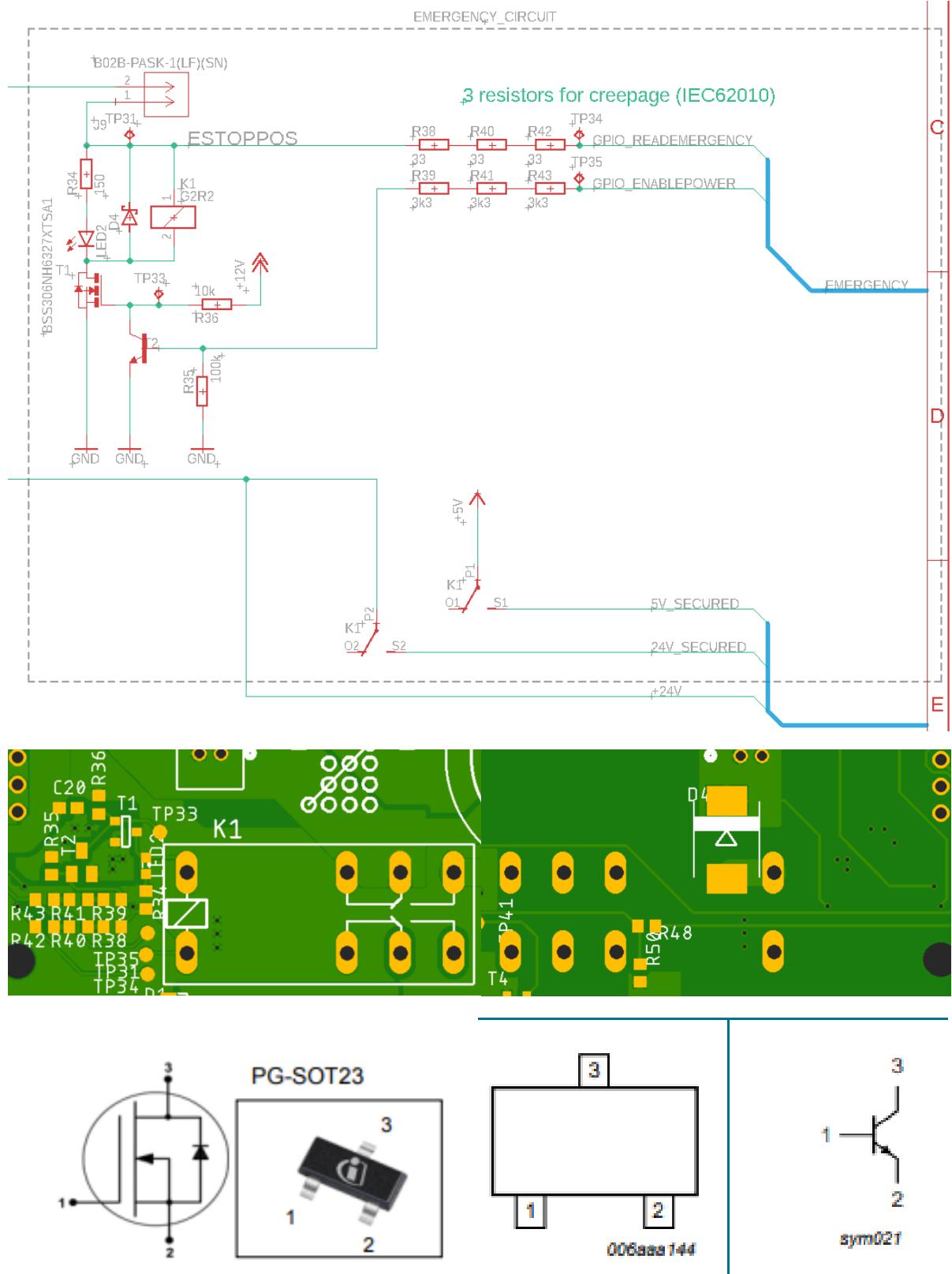
Setup

1. Mount T1, R36, C20, R35,

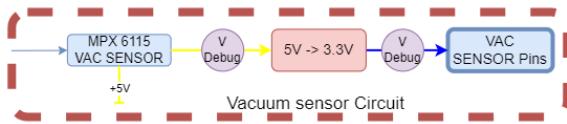
Needed: Soldering, voltage supply (24V), voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
7	Test if EMO Relay Latch switches without load, with external signal, and measure resistance.	Apply threshold voltage on coil Measure resistance over drain	Motor protection circuit isolated	2 Relay Latches are installed
8	Test voltage level on secured traces.	Apply threshold voltage on coil Measure voltage on secured traces	Secured components disconnected	
9	Test led luminosity	Apply signal voltage to leds Check brightness of the led	Debug circuit isolated	

Reference sheet



Vacuum sensor circuit



Setup

1. Mount U2, R4, R3, C2 and C21

Test NO. 11

2. Mount U1 and C1

Test NO. 10

Needed: Soldering, voltage supply (5V), voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
10	Test VAC Sensor voltage level in comparison to applied pressure	Apply a power supply to the sensor, apply pressure to the fitting, measure output. (TP2 or TP6)	VAC sensor is completely isolated	
11	Test 5V to 3.3V with external supply.	Apply a power supply to the circuit (TP2), measure output voltage (mid: TP4, out: TP6)	5V to 3.3V circuit is completely isolated.	

Reference sheet

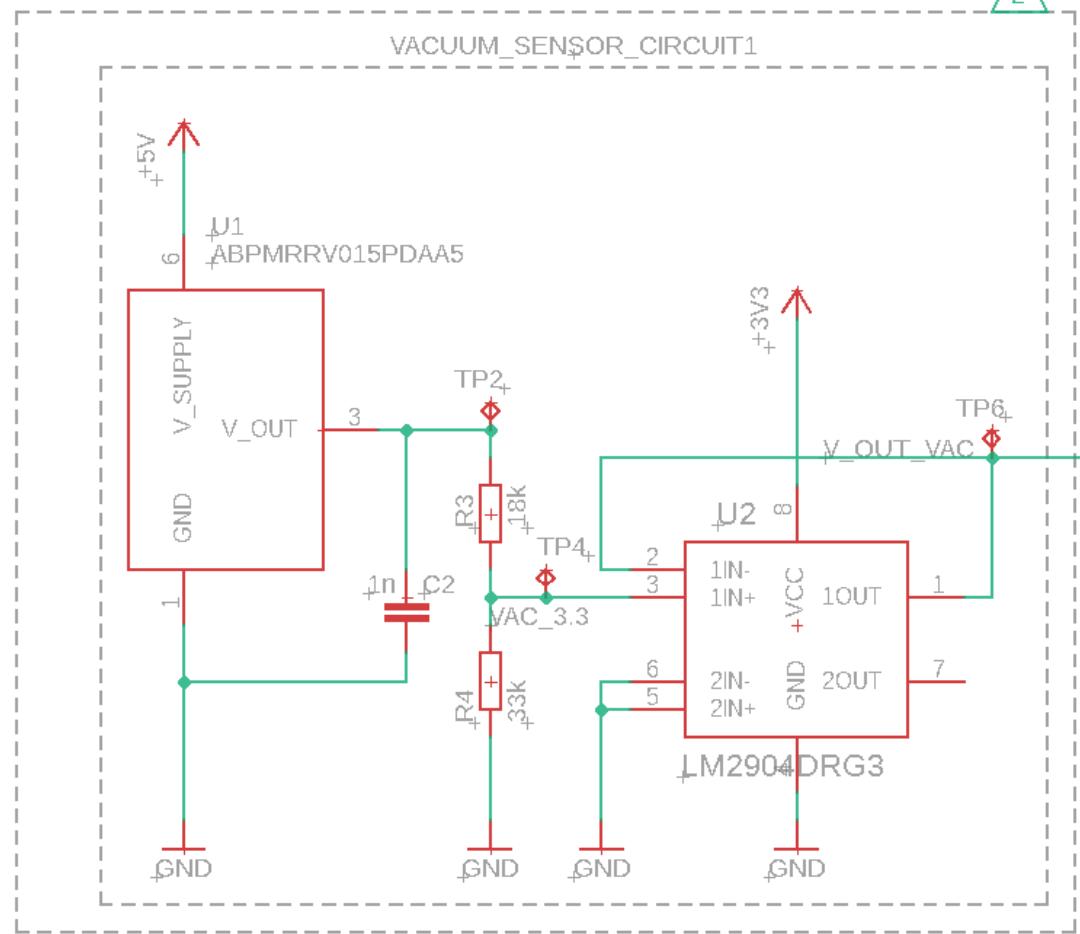
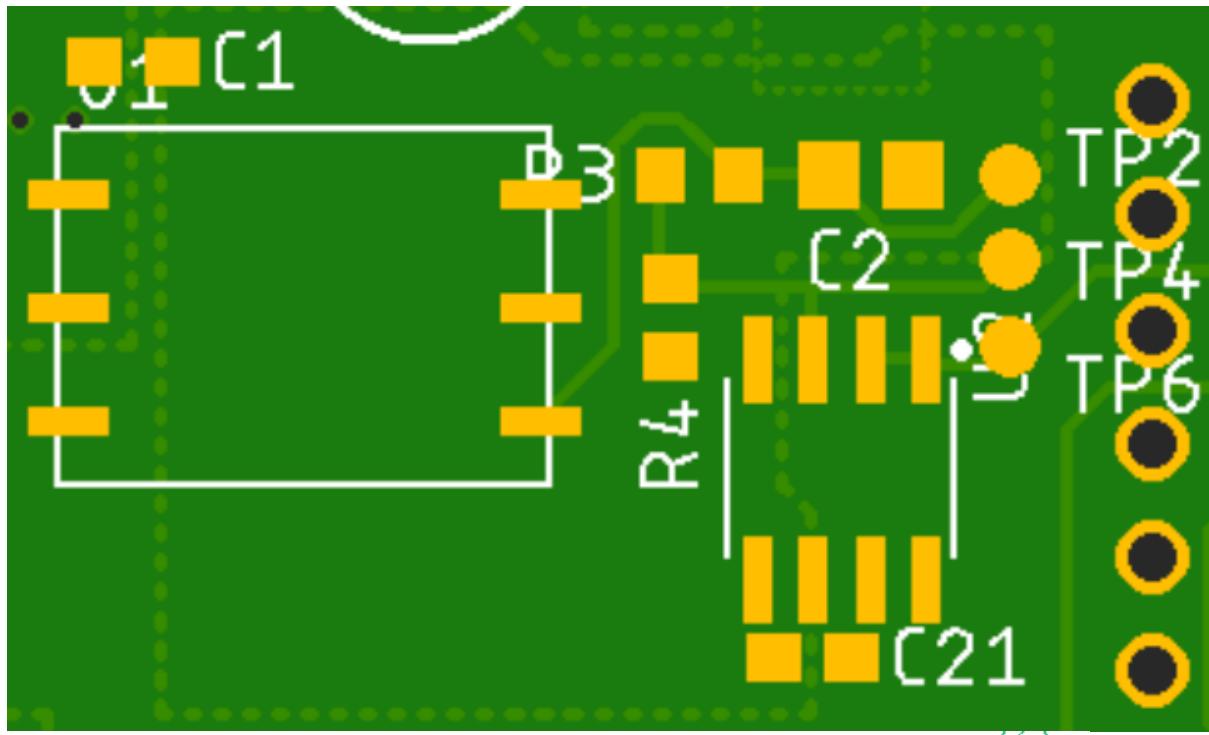
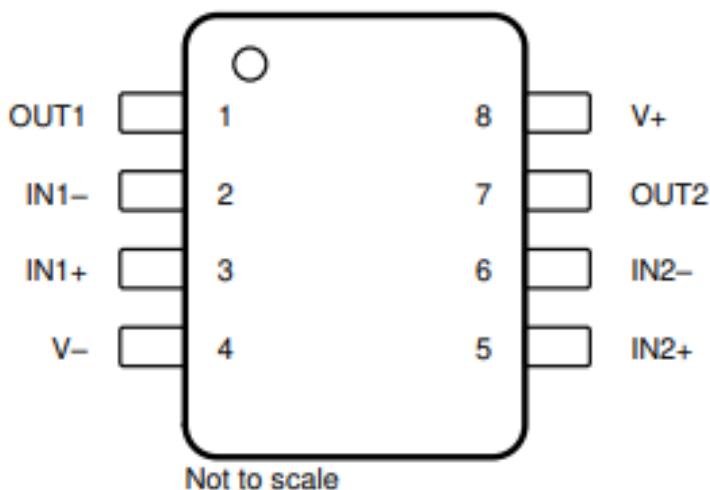
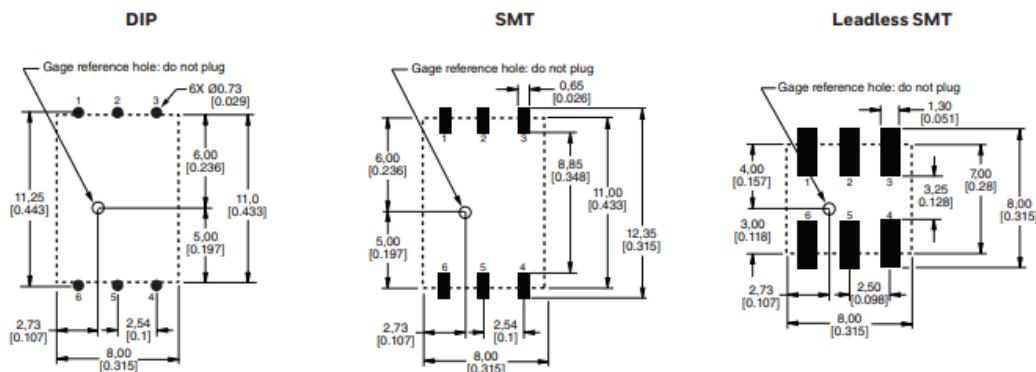


TABLE 8. PINOUTS

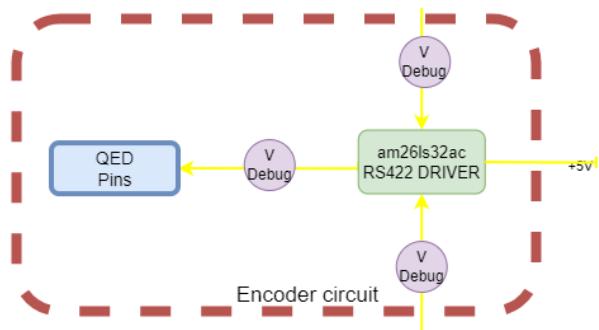
OUTPUT TYPE	PIN 1	PIN 2	PIN 3	PIN 4	PIN 5	PIN 6
I ² C	GND	V _{supply}	INT	NC	SDA	SCL
SPI	GND	V _{supply}	SS	NC	MISO	SCLK
analog	GND	NC	V _{out}	NC	NC	V _{supply}

FIGURE 8. RECOMMENDED PCB LAYOUTS



**Figure 5-1. D, DDF, DGK, P, PS, PW, and JG Package
8-Pin SOIC, SOT23-8, VSSOP, PDIP, SO, TSSOP,
and CDIP Top View**

Encoder Circuit



Setup

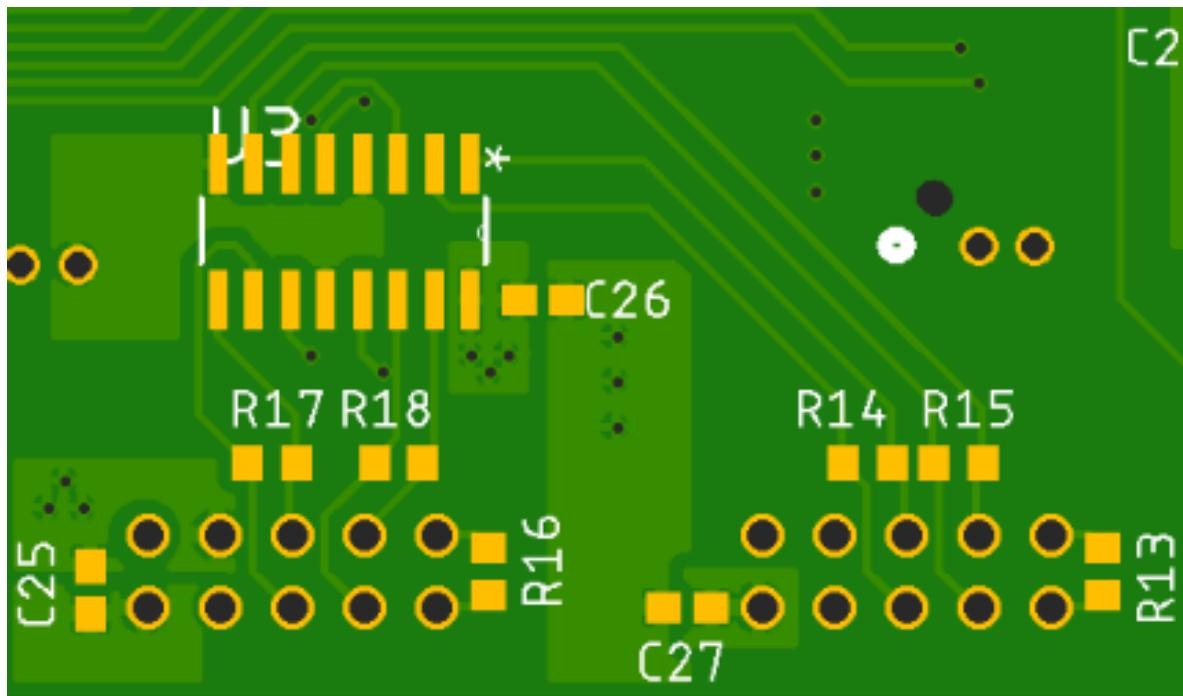
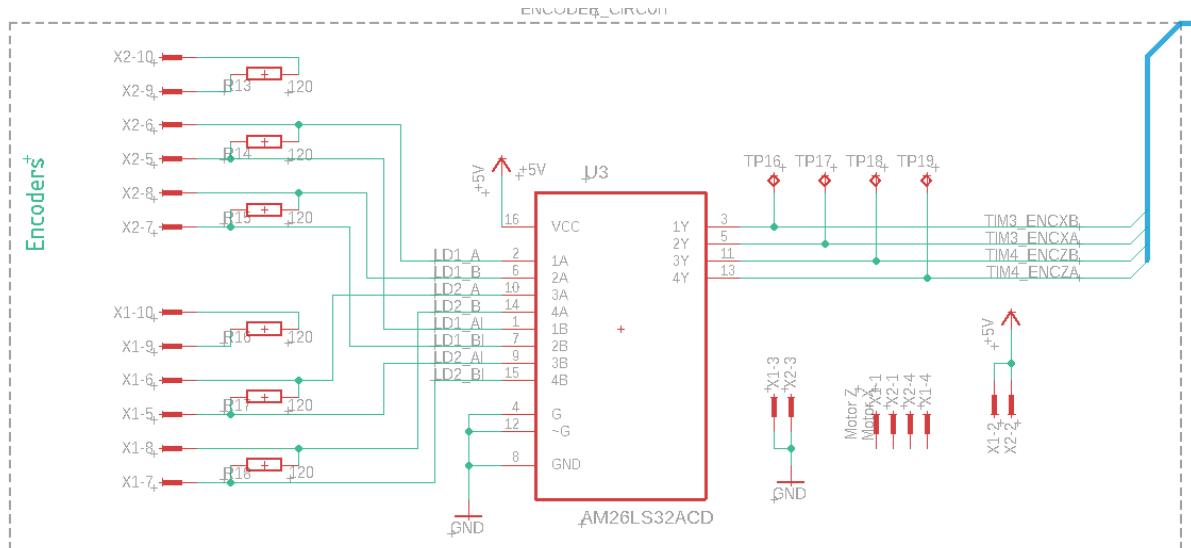
1. Mount U3, R13, R14, R15, R16, R17, R18, C25, C26, and C27

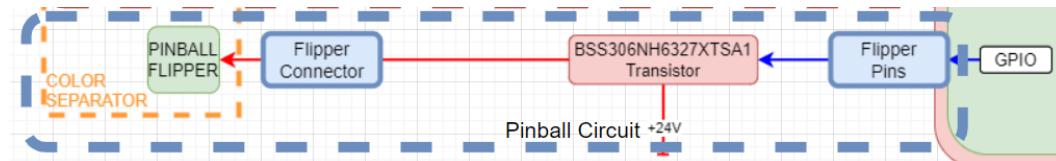
Test NO 12.

Needed: Soldering, function generator, voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
12	Test if RS422 driver converts QED signal to the correct encoder signal with external function generator	Apply a function generator to the circuit, check RS422 behaviour.	RS422 driver is completely isolated	2 inputs test

Reference sheet

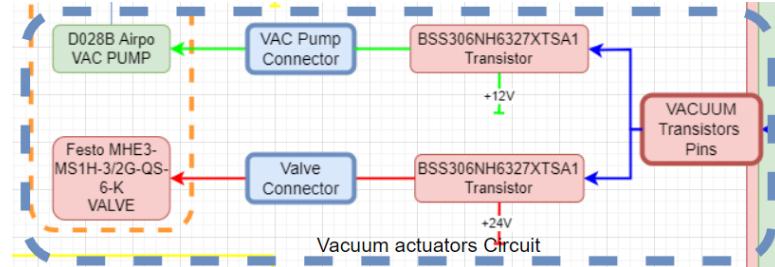


Actuators circuit

Setup

1. Mount T6, R54, T7, R55, R52 and D7

Test NO. 15

2. Mount T5, T8, R56, R51, R53 and D8


Test NO. 16

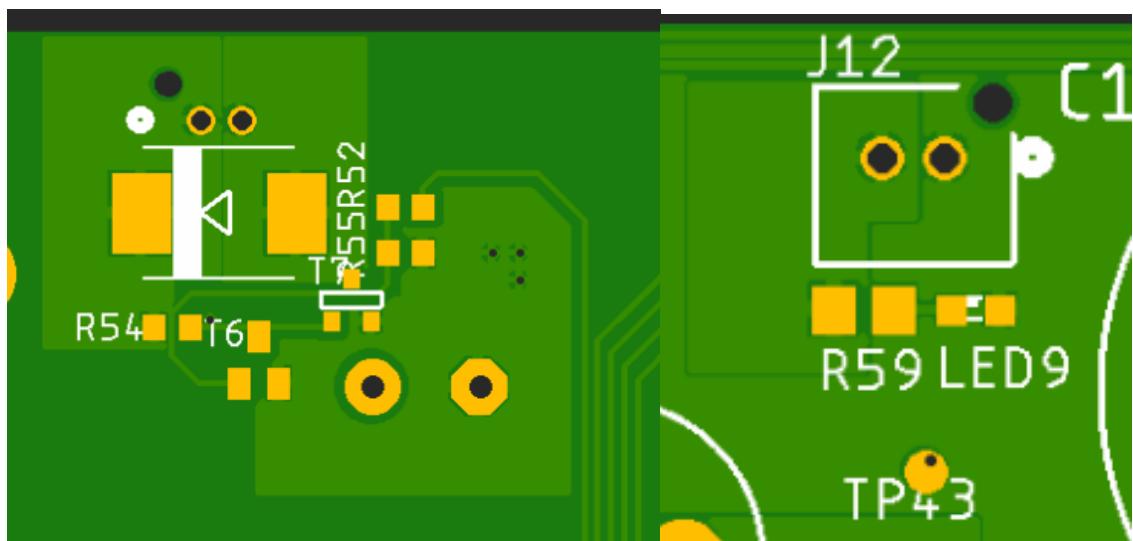
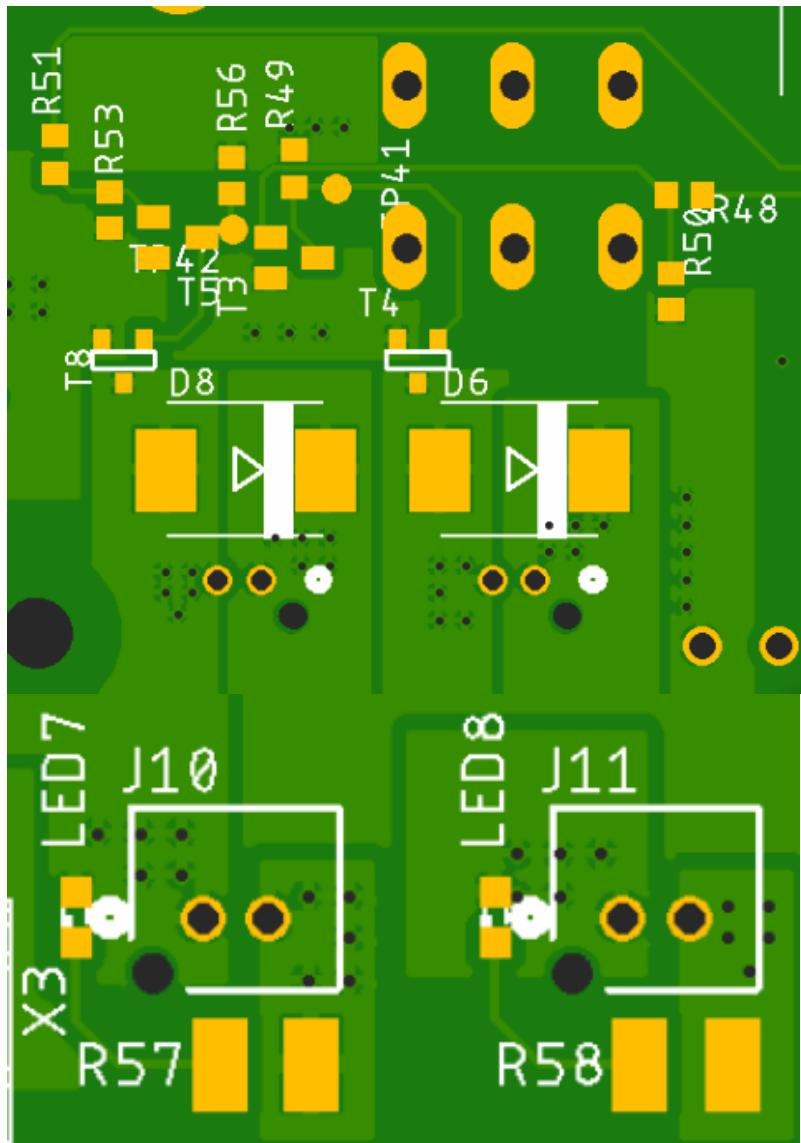
3. Mount T3, T4, R48, R50, R49 and D6
4. Mount R59, Led9, R57, Led7, R58 and Led 8

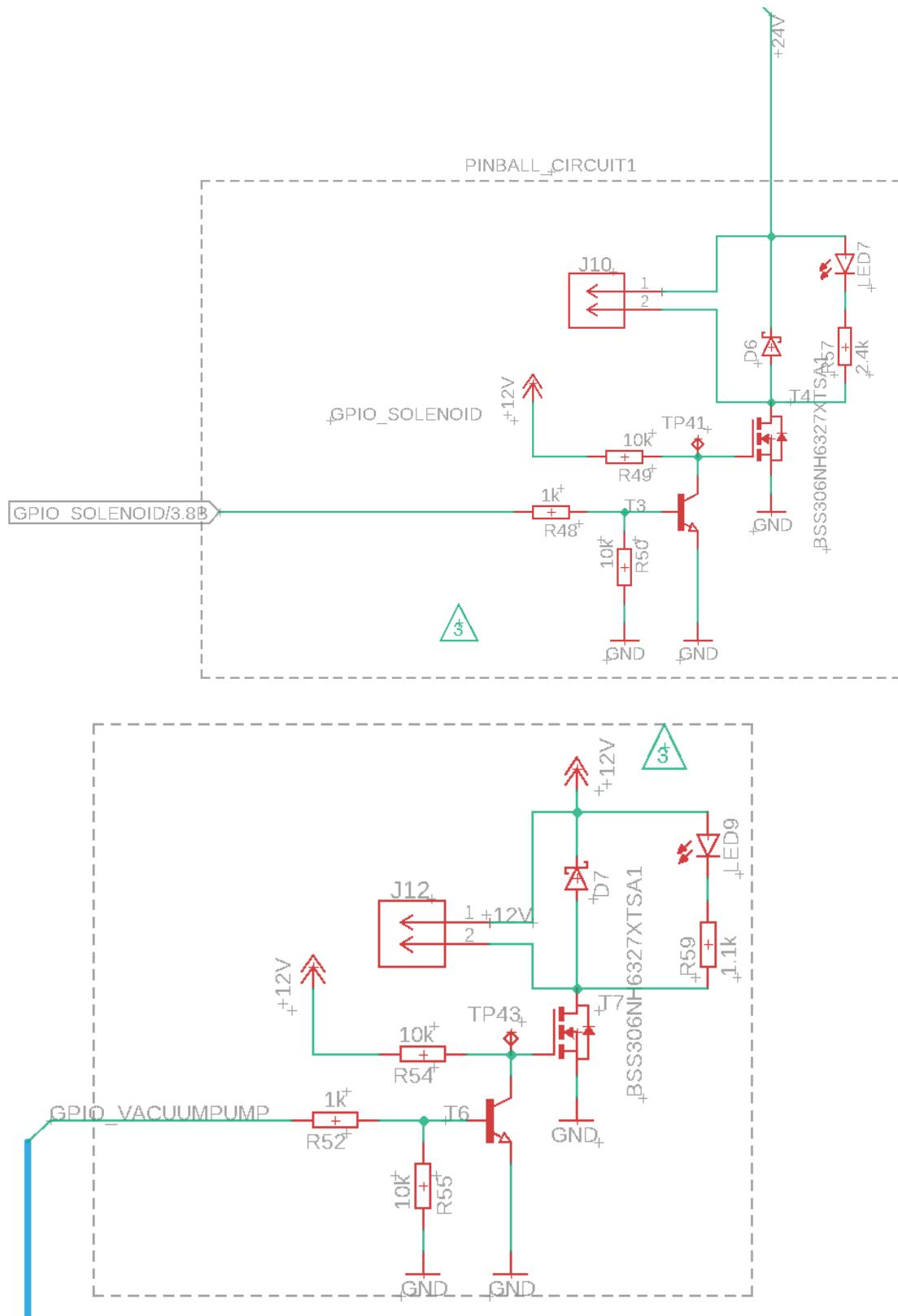
Test NO 18

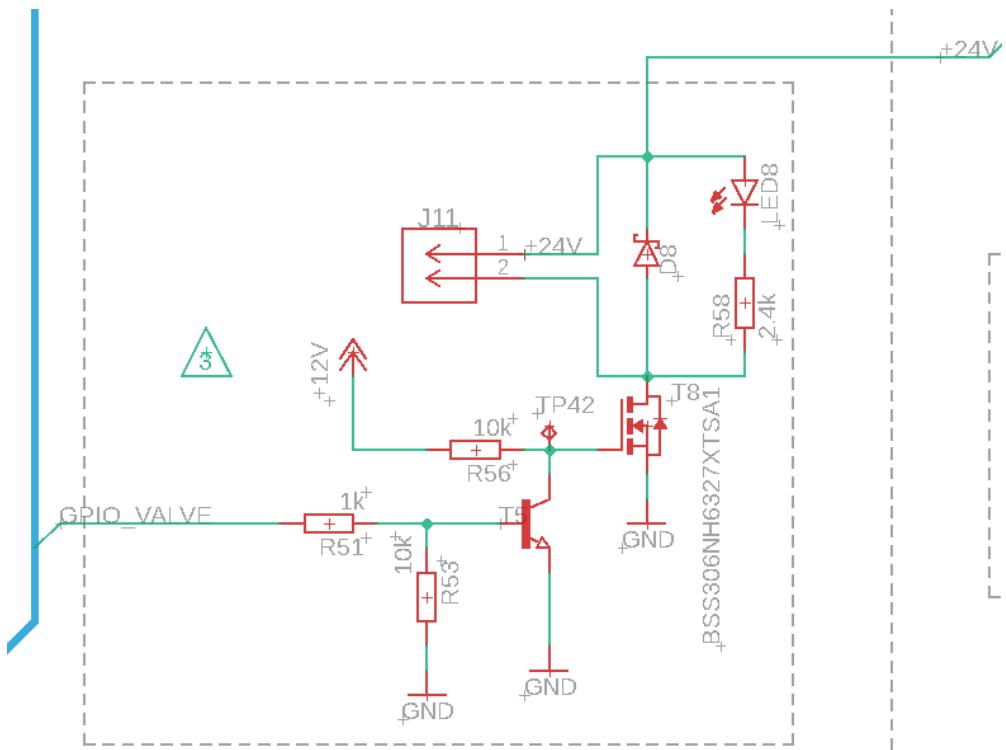
Needed: Soldering, voltage supply (3.3V), voltage probe

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
15	Test if the vacuum pump transistor and mosfet switches without load, with external signal, and measure resistance	Apply threshold voltage on transistor Measure resistance over drain	Transistor is completely isolated.	
16	Test if the valve transistor and mosfet switches without load, with external signal, and measure resistance	Apply threshold voltage on transistor Measure resistance over drain	Transistor is completely isolated.	
17	Test if the pinball transistor and mosfet switches without load, with external signal, and measure resistance	Apply threshold voltage on transistor Measure resistance over drain	Transistor is completely isolated.	
18	Test leds current draw	Apply signal voltage to leds Check brightness of the led	Debug circuit isolated	

Reference sheet







*Further testing*

Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
Module Testing				
	Test homing switch signal with external applied power	Apply a power supply to the circuit, measure output voltage	Homing switch is completely isolated.	2 homing switches are installed
	Test servo operation with applied PWM signal with external signal generator	Apply a function generator to the circuit, check servo behaviour.	PWM Circuit isolated	2 PWM Circuits installed
System Testing				
Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
	Test led switching with STM32 signals.	Toggle the LED pins on the STM32. Check led brightness		
	Test ADC feedback of entire VAC Sensor circuit.	Apply pressure to the VAC sensor, and read ADC value.		
	Test if the transistor switches without load, with STM32 signal, and measure resistance.	Toggle the transistor pins on the STM32. Check transistor resistance.		3 transistors are installed.
	Test if the VAC Pump turns on with STM32 signal to the transistor	Toggle the VAC pump transistor with STM32. Check pump for behaviour.		
	Test if the Valve turns on with STM32 signal to the transistor	Toggle the VAC valve transistor with STM32. Check valve for behaviour.		
	Test if the pinball flipper turns on with STM32 signal to the transistor.	Toggle the pinball flipper transistor with STM32. Check flipper for behaviour.		
	Test if RS422 driver converts QED signal to the correct encoder	Rotate the encoder and read RS422 output with the STM32.		2 encoders channels



signal with encoder values.			are installed.
-----------------------------	--	--	----------------

Requirements Testing				
Test No.	Test item	Test approach	Condition	Notes
	Test if EMO Relay Latch switches during normal operation	Operate robot, press emo switch during movement.		2 motor circuits are installed.
	Motor safely switches off when EMO switch is pressed	Operate robot during peak speed, press EMO switch during movement.		2 motor circuits are installed.
	Test voltage drop of the Raspberry pi during normal operation.	Operate robot during normal movement. Measure voltage level.		
	Servo safely switches off when EMO switch is pressed	Operate robot during peak speed, press EMO switch during movement.		2 servo circuits are installed.
	Test I2C signal characteristics during normal operation	Operate sensors normally, check I2C signal		
	Measure the amperage of the 5V supply.	Operate robot during peak speed, measure amp draw at power supply		
	Measure the amperage of the 9V supply.	Operate robot during peak speed, measure amp draw at power supply		
	Measure the amperage of the 12V supply.	Operate robot during peak speed, measure amp draw at power supply		
	Measure the voltage level of the 5V supply.	Operate robot during peak speed, measure voltage level at power supply		
	Measure the voltage level of the 9V supply.	Operate robot during peak speed, measure		



		voltage level at power supply		
	Measure the voltage level of the 12V supply.	Operate robot during peak speed, measure voltage level at power supply		
	Check voltage level of the 24V supply during normal operation.	Operate robot during peak speed, measure voltage level at main supply		
	Measure the amperage of the 24V supply.	Operate robot during peak speed, measure amp draw at main supply		

C.2.2 Non-Functional testing

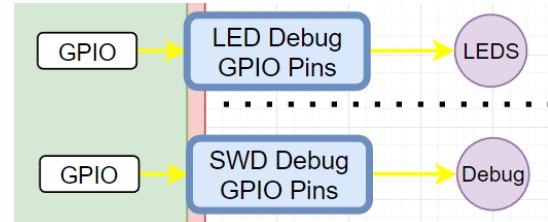
Efficiency

- Test current draw 24V
- Test current draw 12V
- Test current draw 9V
- Test current draw 5V
- Test current draw 3.3V
- Heat production by system

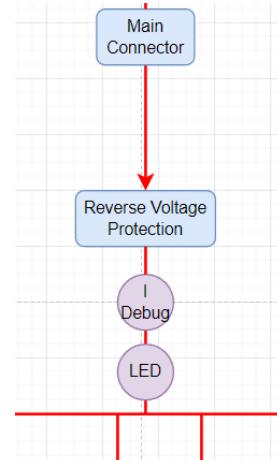
Maintainability

In the design multiple debug points are installed.

1. At every data connection, a probe to measure voltage is present.
2. At the voltage supplies a current measurement pin is installed.
3. An extra connection is installed for led feedback.
4. An extra connection is installed for Serial Debugging.



Using these points, the stability of data signals can be tested, draw current can be measured, and feedback can be given to the user.



Portability

The processing parts of the system are mounted on connectors and can be disconnected and replaced.

Reliability

- The robot operates within SR.46 and SR.43 over a period of 10 hours.



C.2.3 Structural testing

1. The 24V supply can not give sufficient power.
2. The 5V supply can not give sufficient power.
3. The 12V supply can not give sufficient power.
4. The 9V supply can not give sufficient power.
5. The 3.3V supply of the raspberry pi can not give sufficient power.
6. The EMO switch doesn't trigger fast enough in case of an emergency.
7. The user detector board doesn't register the coins.
8. The color sensor doesn't detect the coin color.
9. The proximity sensor doesn't detect the coin in the system.
10. The pinball flipper draws too much current and breaks.
11. The data signals of PWM, QED, or I2C are significantly malformed.
12. The GPIO individual pin max current is exceeded.
13. The GPIO pins total current exceeds the maximum.

C.2.4 Experience-based testing

1. Ambient temperature during operation.
2. Other environmental requirements.
3. Norms requirements testing.

C.3 Test plan

C.3.1 Effort

Main testing is done by Laurens Verbruggen.

Experience testing is asked to be done by the system architect or other experienced consultant.

C.3.2 Risk

The following components are critical to the success of testing, and the guidelines should be kept per component.

STM32H755

Current draw of the GPIO pins should be tested before the STM32H755 is connected to the system. Voltage level and current draw of the voltage supplier for the STM32H755 should be measured before connecting the STM32H755.

ESD regulations should be kept to prevent damage.

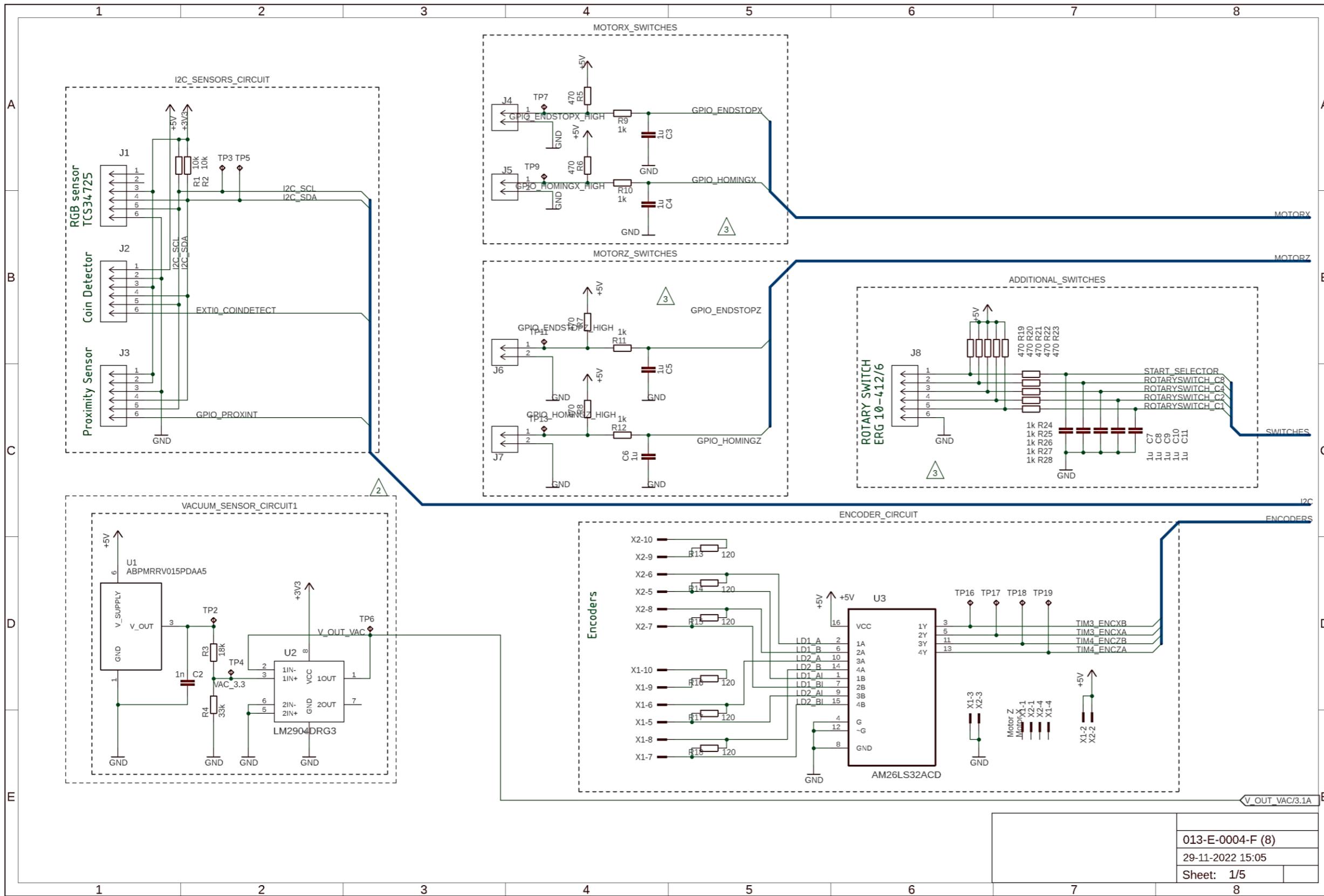
Once the STM32H755 is connected, disconnection should be minimized to keep connection issues low.

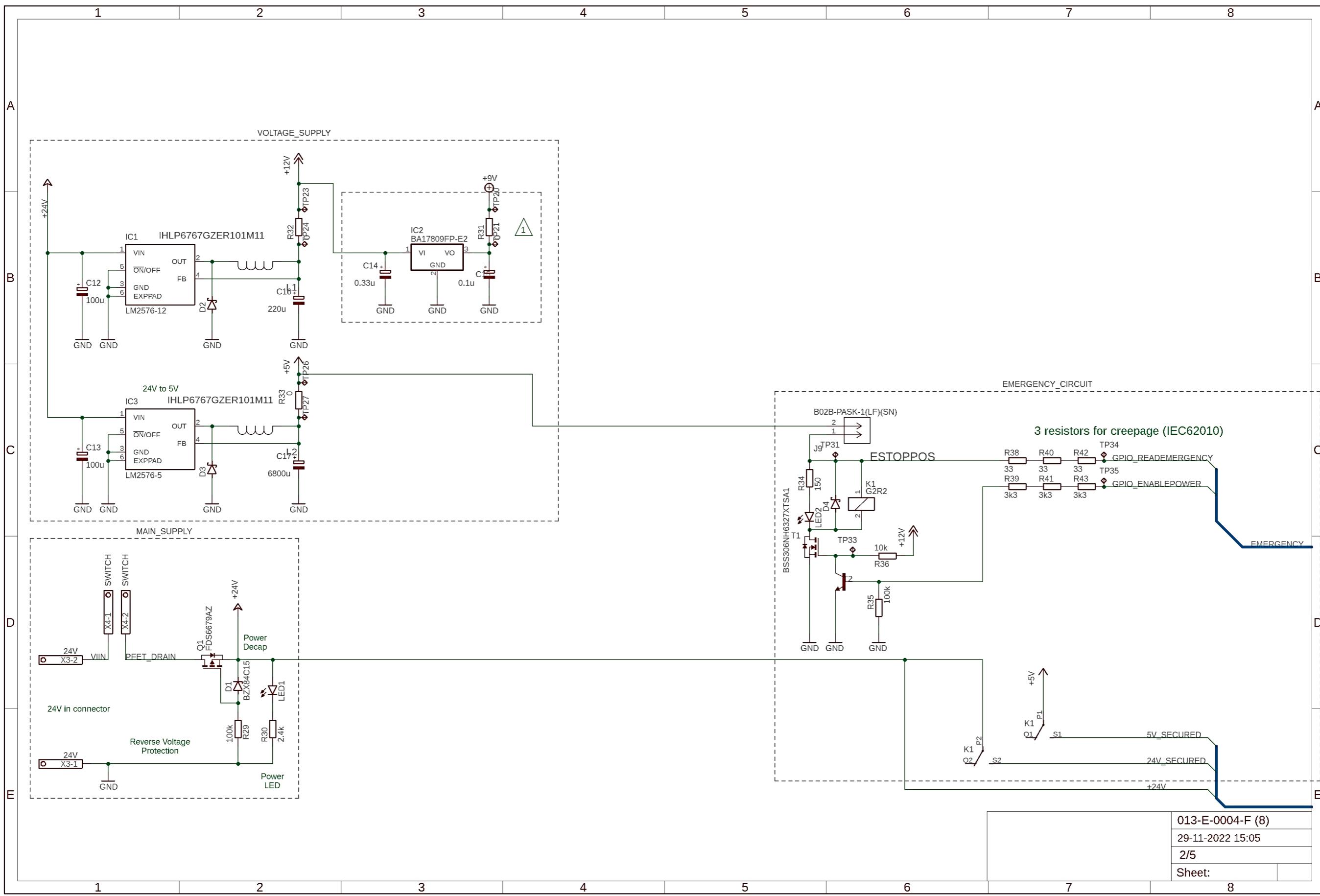
Raspberry Pi

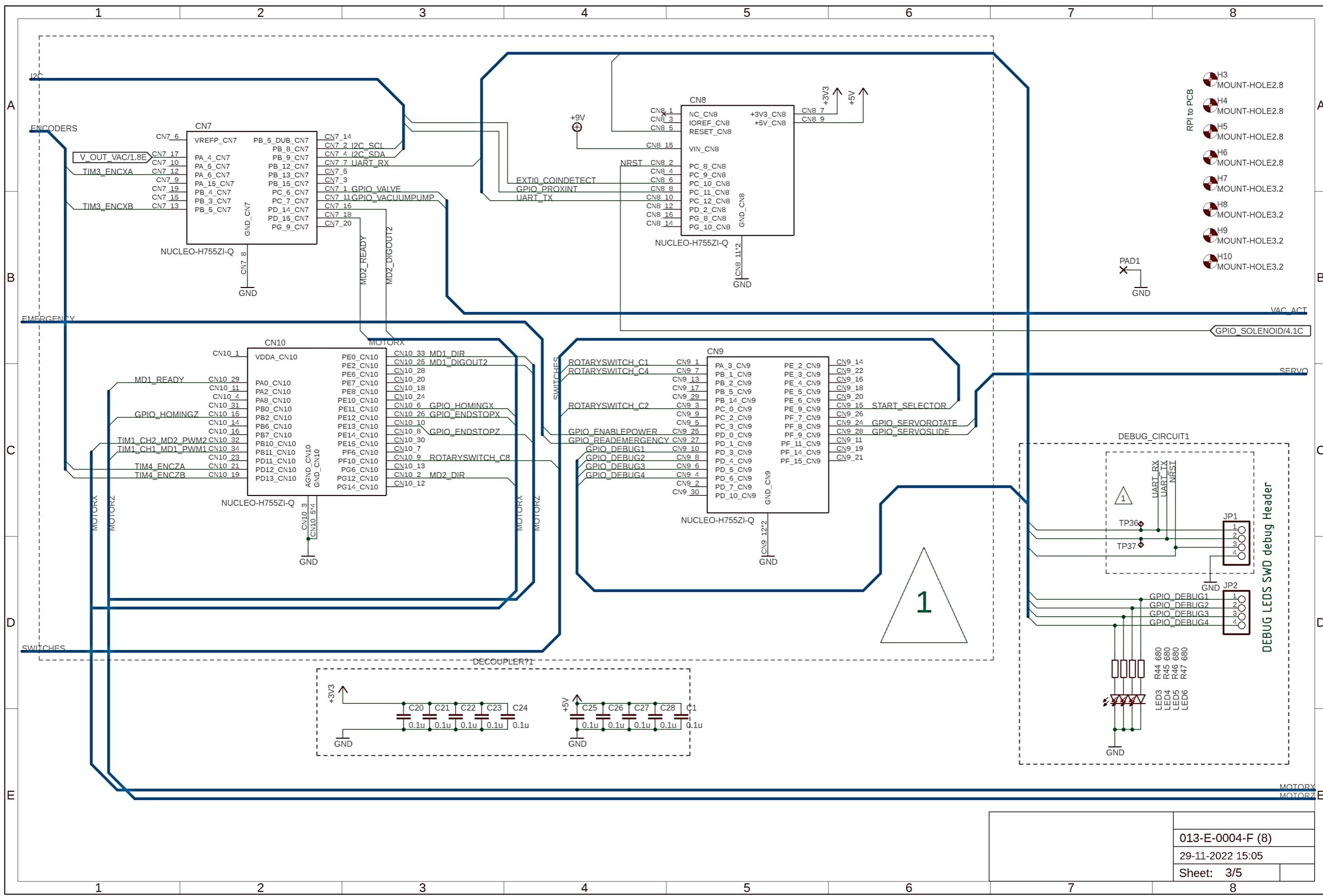
The voltage level of the supplier should be measured before connection. Current draw and voltage drop should be measured at connection.

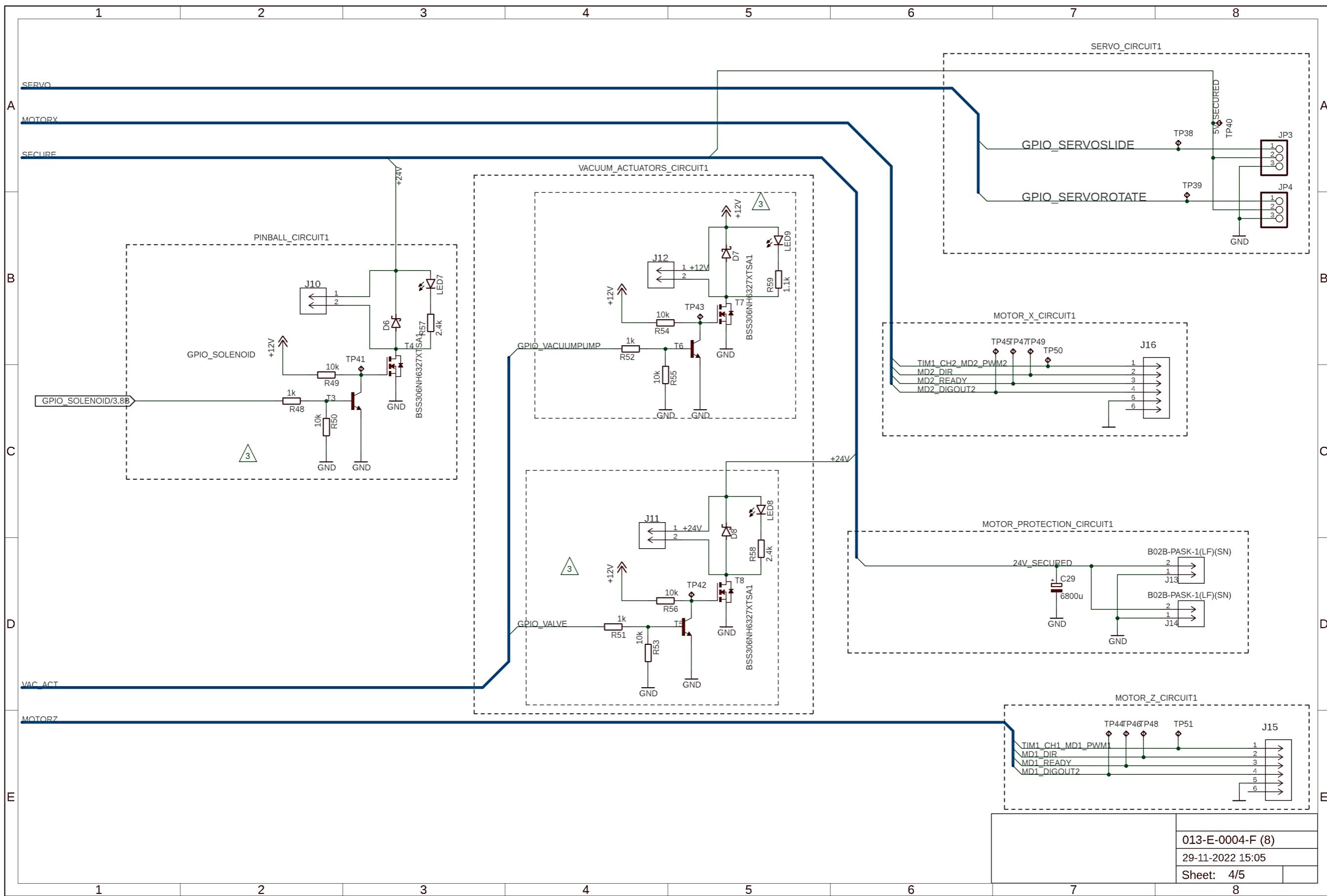


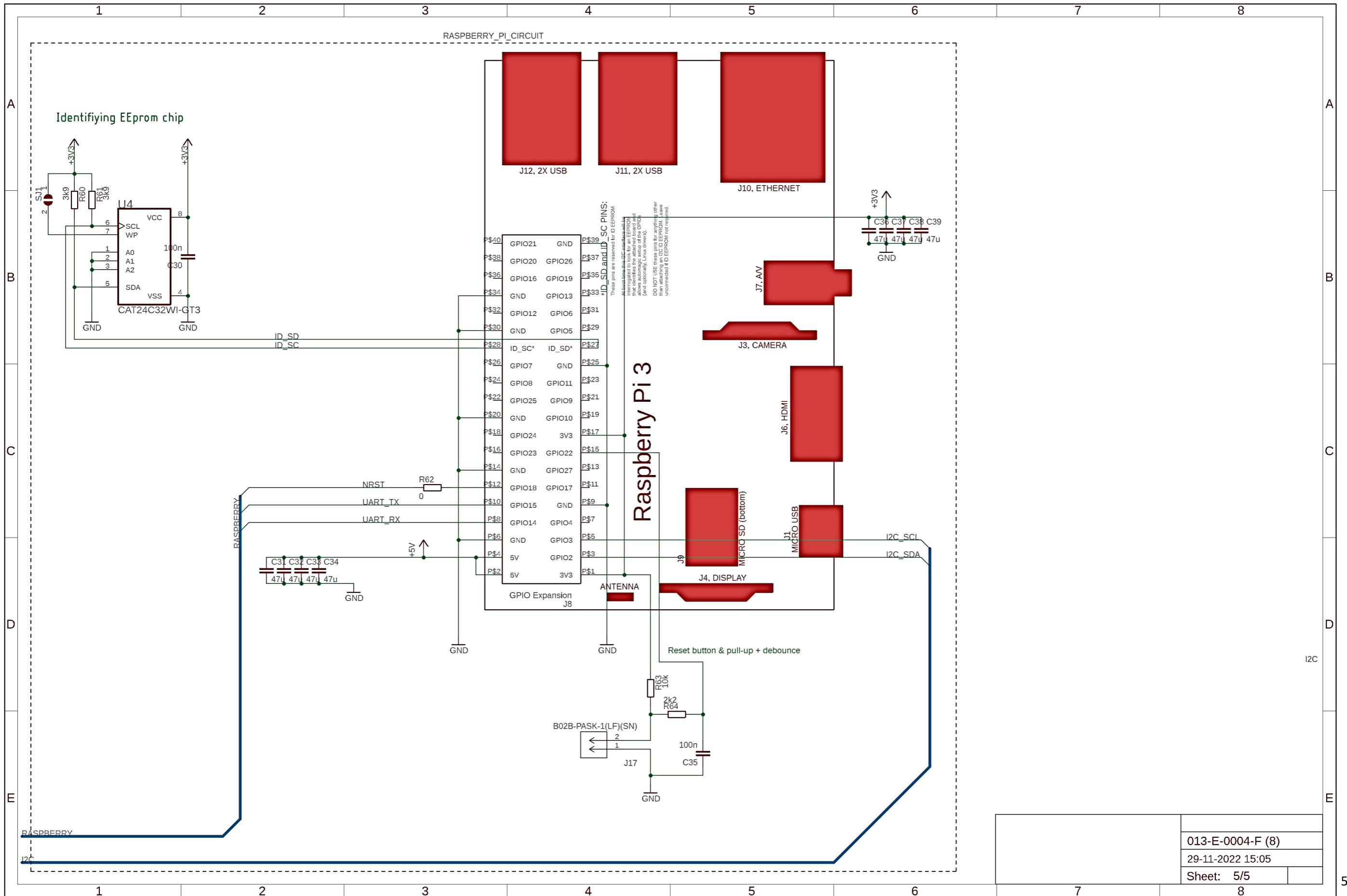
Bijlage D Elektronisch ontwerp



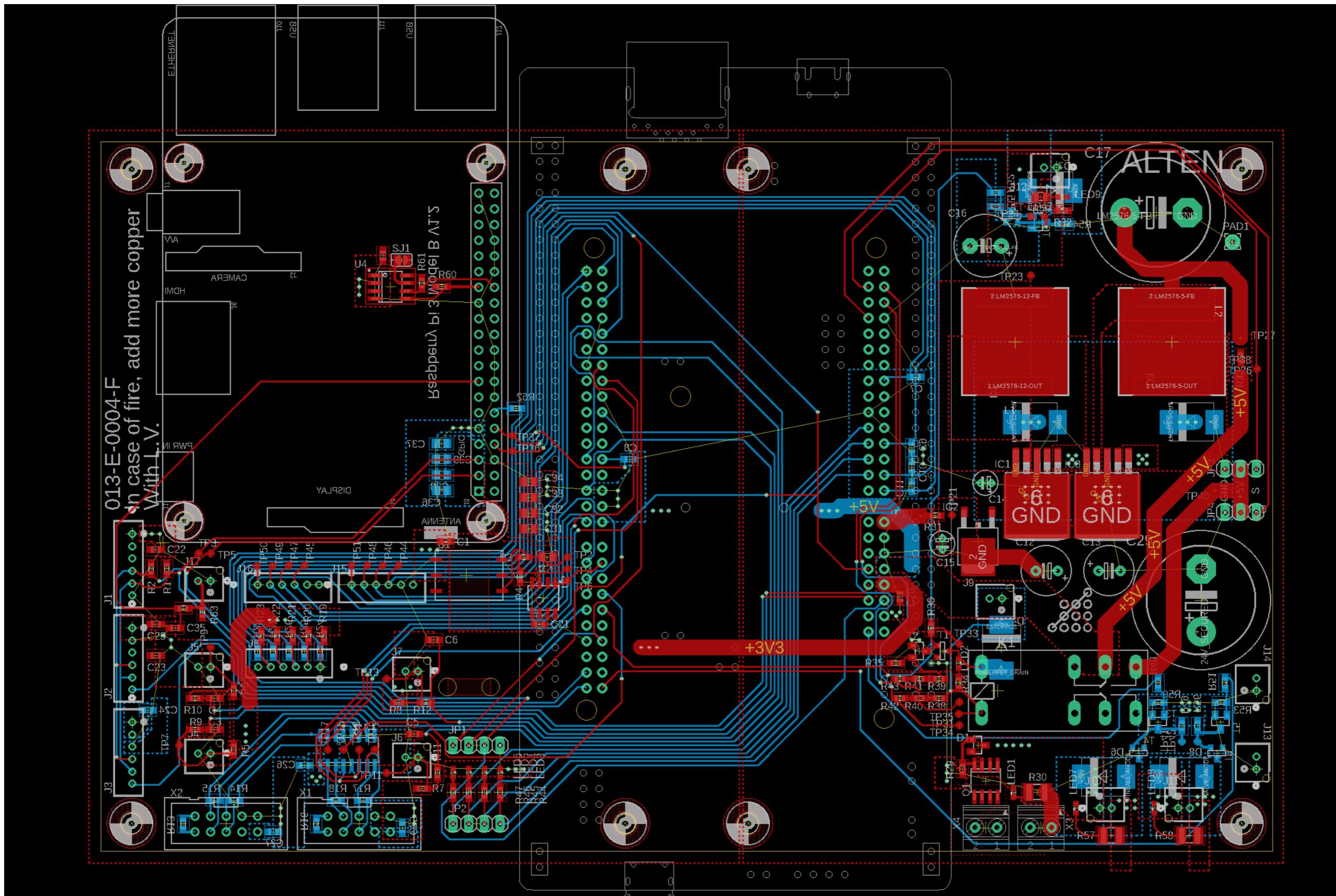




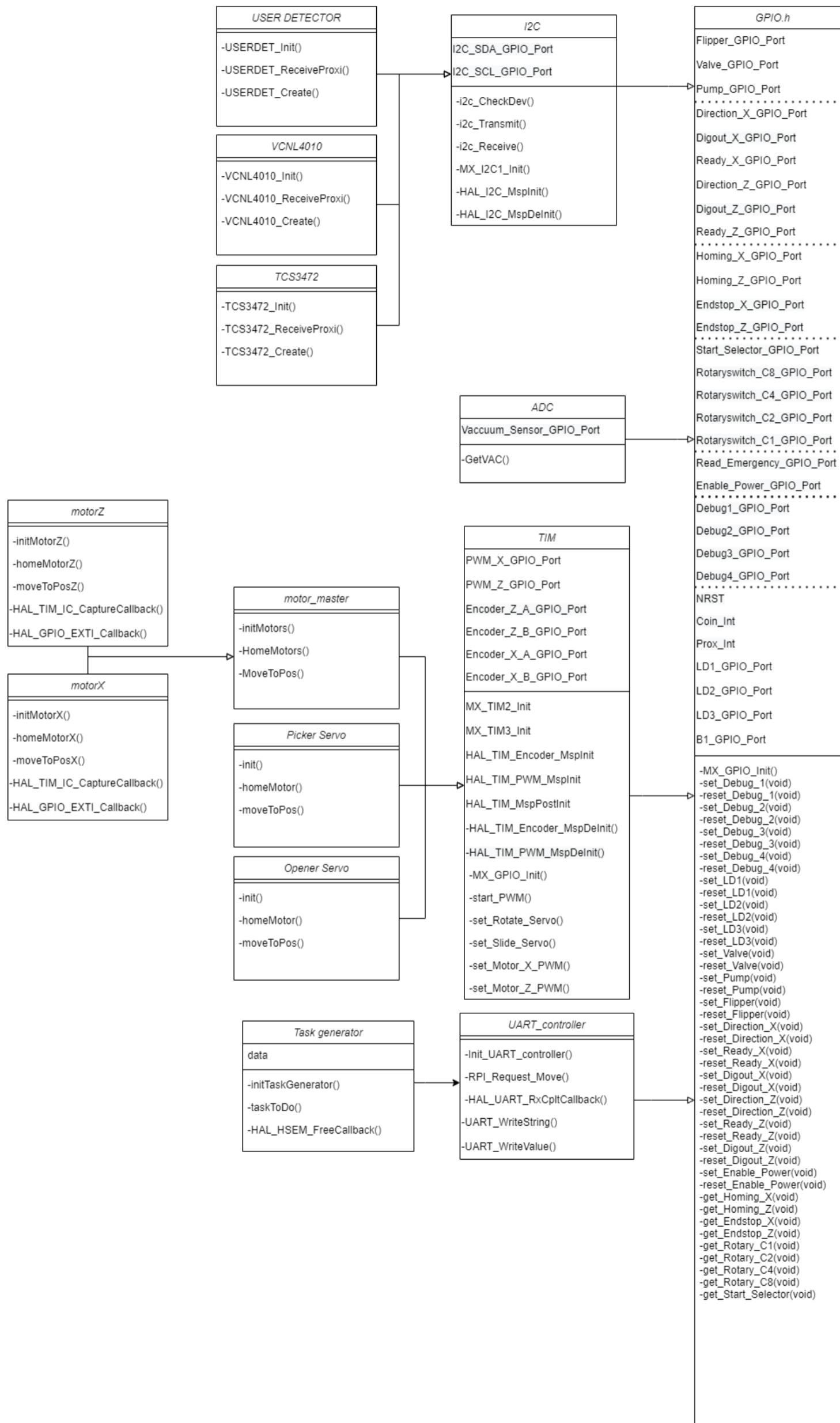




Bijlage E Elektronisch Lay-out



Bijlage F Software ontwerp





Eindhoven
20-1-2023
PUBLIC



Dit formulier opnemen in stageverslag

ORIGINALITEITSVERKLARING

bij het stageverslag met de titel :

Het implementeren van het aansturingssysteem van de 4 op 1 rij robot ***

Hierbij verklaar ik dat het ingeleverde rapport zoals hierboven is genoemd, origineel * is: het is door mij, de ondergetekende, persoonlijk opgesteld en opgemaakt.

Om dit stuk te kunnen opstellen heb ik zelf de benodigde onderzoeken uitgevoerd.

Daar waar ik gebruik heb gemaakt van andermans werk, heb ik dat aangegeven bij het betreffende stuk tekst ** en in de literatuurlijst.

Datum : 20-1-2023

Naam : ...Laurens Verbruggen.....



Handtekening student:

Herstelbare handtekening

X LV

Laurens Verbruggen

Ondertekend door: c9e596c4-f9ab-4a3d-a6c7-24f053d7a9d2

- * De Hogeschool heeft de beschikking over controlesoftware m.b.t. originaliteit. Zij behoudt zich het recht om deze software in voorkomende gevallen in te zetten
- ** Letterlijk overgenomen werk dient meteen vóór die tekst begint, te zijn voorzien van de bronvermelding: de titel van het werk waaruit geciteerd wordt alsmede naam van de auteur.
- *** Verplicht opnemen in het verslag

Het betreft hier:

Hoofdstuk	Geschreven door
Project definitie	Laurens Verbruggen
Project documentatie en architectuur	Laurens Verbruggen
Systeem ontwerp	Laurens Verbruggen
Module ontwerp	Laurens Verbruggen
Systeem implementatie	Laurens Verbruggen
Testresultaten	Laurens Verbruggen
Toekomst mogelijkheden	Laurens Verbruggen
Conclusie en aanbevelingen	Laurens Verbruggen