

Kabel-verifieringsenhet – Automatisera verifieringen av mätsignaler i kablar



Mohid Sadiq
Hassan Mezher

Division of Industrial Electrical Engineering And Automation
Faculty of Engineering, Lund University

Kabel-verifieringsenhet – Automatisera verifieringen av mätsignaler i kablar



Av

Mohid Sadiq & Hassan Mezher

Department of Electrical and Information Technology
Faculty of Engineering at Lund University
SE-221 00 Lund, Sweden

© Copyright Hassan Mezher, Mohid Sadiq

LTH School of Engineering at campus Helsingborg

Lund University

Box 882

SE-251 08 Helsingborg

Sweden

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg

Lunds universitet

Box 882

251 08 Helsingborg

Sverige

Tryckt i Sverige

Lunds universitet

Lund 2026

Sammanfattning

I de flesta produktion och valideringsmiljöer brukar kabel-verifiering testas manuellt med en multimeter, en process som kräver både tid och är utsatt för mänskliga misstag. Målet med detta examensarbete var att tillverka en automatisk kabel-verifieringsenhet med förmågan att kunna validera funktionaliteten i en kabel och detektera potentiella fel scenarier. Dessutom var målet att kunna läsa ut både digitala och analoga signaler.

Systemet var implementerat genom Beckhoff PLC, programmerat i TwinCAT, där olika I/O moduler användes för att nå önskade mätningar till potentiella fel som exempelvis kortslutningar eller avbrott. Verifieringen av hur funktionellt systemet var gick ut på att manuellt tillverka kablar som simulerade olika fel scenarier.

Resultatet visade en lyckad enhet som detekterade alla fel scenarier, med en display som visade tydlig information kring upptäckta fel, vart de felen uppstod samt en representation om hur de ser ut i kabeln. Utöver enskilda fel testades även kombinationer av olika fel scenarier som verifierades genom digitala och analoga mätningar.

Jämfört med manuell testning, enheten reducerade testningen med en god marginal och avslutade en hel kabel mätning inom 15 sekunder, till skillnad från minuterna de brukade ta vid manuell mätning. Framtida implementationer kan utföras såsom ett HMI som stödjer olika mängder av pins med ett tydligare slutresultat och en multiplexer som kan minska storleken på enheten.

Nyckelord: HMI, TwinCAT, Beckhoff, Kablage, Verifiering.

Abstract

In many production and validation industries, cable verification is usually done using manual testing with a multimeter, a process that requires time and is prone to human errors.

The goal of this project was to develop an automatic cable verification device, with the capability of validating cable functionality and detecting potential faults, while also being able to read both analog and digital inputs.

The system was implemented using a Beckhoff PLC programmed in TwinCAT, where various I/O modules were used to meet the required measurements for potential faults in cables that could be open circuit to short circuits. To verify that the system worked as intended, cables were manually constructed to simulate the different fault scenarios.

The resulting device successfully detected all possible fault scenarios, with a display that provided clear information around detected scenarios, where they were located moreover a representation of how the problem looks in the cable. The fault scenarios were even tested while being combined with each other that was also successful by the use of digital and analog measuring.

Compared to manual testing, the device reduced testing time significantly, completing a full cable measurement in 15 seconds rather than the minutes it typically required during the study. Future improvements can be made including an HMI that could make the measurement of different amounts of conductors more clear and a multiplexer that would reduce the size of the device

Keywords: HMI, TwinCAT, Beckhoff, Cable assembly, Verifying

Förord

Vi vill börja med att tacka vår handledare, Måns Andersson, för möjligheten att kunna utföra examensarbetet i samband med BorgWarner. Utöver detta vill vi även tacka våra handledare på företaget för all handledning, vägledning och rådgivning under examensarbetet, samt alla anställda för alla besvarade frågor och deras insikt i problemet.

Dessutom tackar vi vår handledare Erik Ottosson på Lunds Universitet för att ha varit med oss under resan, gett oss tips och råd gällande rapportskrivandet samt vägledning. Slutligen vill vi även passa på och tacka alla vänner och familj för stödet under hela arbetet och utbildningens gång.

Tack för oss!

18 maj 2026, Lunds Tekniska Högskola

Hassan Mezher

Mohid Sadiq

Innehållsförteckning:

1. Introduktion.....	10
1.1 Bakgrund.....	11
1.1.1 Tidigare forskning.....	11
1.1.2 Kontext och uppdragsgivare.....	11
1.2 Syfte och frågeställning.....	12
1.3 Målformulering.....	13
1.4 Problemformulering.....	13
1.5 Motivation.....	13
1.6 Avgränsningar.....	13
1.7 Kravspecifikation.....	14
1.7.1 Funktionella krav.....	14
1.7.2 Icke funktionella krav.....	15
1.8 Arbetsfördelning.....	15
2. Teori.....	16
2.1 PLC.....	16
2.2 Beckhoff och TwinCAT.....	16
2.2.1 TwinCAT-arkitektur.....	17
2.2.2 TwinCAT HMI funktioner.....	18
2.3 D-sub kablar.....	18
2.4 XLR kablar.....	19
2.5 Felscenarion som kan uppstå.....	19
2.5.1 Avbrott (Open circuit).....	19
2.5.2 Korskoppling (Fel pins).....	20
2.5.3 Kortslutning (Fel lödat).....	20
2.5.4 Avbrott och Kortslutning.....	21
2.6 Multiplexer.....	21
2.7 HMI.....	22
2.8 BitBucket.....	22
3. Metod.....	23
3.1 Systemdesign.....	23
3.1.1 Programmering.....	24
3.1.2 Modulval.....	25
3.1.3 Mätningstid digitala och analoga mätningar.....	26
3.3 Hur valdes felen som testades?.....	30
3.4 Manuell tillverkning av kablar.....	31
3.4.1 Material.....	32
3.4.2 Tillverkning av Avbrott.....	32
3.4.3 Tillverkning av Korskoppling.....	33

3.4.4 Tillverkning av Kortslutning.....	33
3.5 Hur fel detekteras.....	33
3.6 Programmerings implementation.....	34
3.7 HMI implementation.....	36
3.8 Källkritik.....	38
4.Resultat.....	42
4.1 Rapportering av data.....	42
4.2 Rapportering av HMI-data.....	45
4.3 Prestanda och tillförlitlighet.....	48
5. Diskussion.....	50
5.1 Resultatdiskussion.....	50
5.2 Metoddiskussion.....	51
5.3 Begränsningar.....	51
5.4 Antaganden.....	51
5.5 Framtida utvecklingsmöjligheter.....	52
5.5.1 Förbättringar gällande HMI.....	52
5.5.2 Förbättringar gällande kabel-verifieringsenheten.....	52
5.6 Etiska aspekter.....	52
5.6.1 Sekretess/ konfidentiell information.....	52
5.6.2 Samhällsnytta.....	53
6. Slutsats.....	54
7.Terminologi.....	55
8.Källförteckning.....	56
9.Bilagor.....	59
10.Appendix.....	63

1. Introduktion

Inom produktutveckling och valideringsmiljöer är kvalitetssäkring av kablage viktigt men tidskrävande. Kablage innehåller flera pins som måste lödas och kopplas ihop exakt enligt specifikationerna för att de ska fungera som förväntat. I testmiljön där examensarbetet skrevs utfördes testningen av kablage genom att använda en multimeter för att kontrollera om varje pin har en elektrisk kontakt. Problemet är att i en utvecklingsmiljö, där tusentals kablar används och där varje kabel kan bestå av flera olika antal pins som måste testas, blir detta en tidskrävande och ineffektiv resursanvändning. Detta skapar ett tydligt behov av en mer automatiserad och effektiv lösning där en kabel kan testas betydligt snabbare på ett sätt som sparar både tid och resurser.

Därför har det tagits fram en lösning för att effektivisera testningen av moderna kablage genom att testa en kabel och samtliga pins på ett mer tidseffektivt och resurseffektivt sätt. Alla ledare testas på några sekunder genom att man ansluter kabeln till en test-enhet, som testar vardera ledare för sig och ger ett resultat över kabelns funktionalitet, där varje ledares funktion visas. Kabel-verifieringsenhet kommer att ha funktionaliteten att ta emot olika typer av kablage, mäta varje pin för sig och även identifiera eventuella fel, vilket diskuteras längre fram i rapporten. Lösning baseras på ett PLC-styrt testsystem med ett implementerat HMI-användargränssnitt för visualisering av resultatet.

Examensarbetet inleddes i slutet av januari och har pågått till början av maj, en period på cirka tre månaders intensivt arbete för att nå det slutliga målet. Denna rapport inleds med en genomgång av tidigare forskning inom ämnet, följt av en teoretisk beskrivning av vanliga fel i kablage och de metoder som användes för att ta fram lösningar. Därefter presenteras det slutliga resultatet, och avslutningsvis förs en diskussion gällande resultatet samt reflektioner kring arbetet.

1.1 Bakgrund

Utvecklingsbranschen behöver dagligen hitta metoder och lösningar som kan spara tid även om det handlar om en tidsvinst på bara några minuter samt effektivisera sitt användande av resurser. Nedan skrivs det fakta om relevanta undersökningar till problemformuleringen för detta examensarbete.

1.1.1 Tidigare forskning

Tidigare forskning inom detta problem har behandlats i tidigare studier. Till exempel finns IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) som är enligt dem världens största tekniska professionella organisation samt ett publikt stöd för att avancera dagens teknologi för människans skull.

I studien *“Multi-interface telecommunication cable tester”*(Sun et al.2023) publicerad i samband med en konferens av IEEE, tar skribenterna upp eventuella fel som en kabeltestare bör verifiera. Studien handlar om tre fel, kabelns kontinuitet (är den hel?), konnektivitet/anslutning(är kopplingen ren?) och även kartläggning över ledningen(går signalen till rätt plats?). Dessa tre tester är det som var själva fokuset under examensarbetets gång och ska även diskuteras tydligare i rapporten. Kablarna studien fokuserade på motsvarar de som behandlas i detta arbete, vilket är D-sub 15 och 9 men stärktes även till D-sub 25 och RJ45, kablar som förklaras på teoriavsnittet. [1]

De rapporterar om hur det oftast är två personer som utför verifieringen med en multimeter för att mäta färdigt kabelns kontinuitet. Detta verifierades när D-sub-kabeln med 15 pins skulle testas med en multimeter, processen blev mer tidskrävande när det var en person på arbetet samtidigt som det var svårt att tolka resultatet eftersom elektriskt kontakt kunde ges ut även vid fel, såsom kortslutningar. [2]

1.1.2 Kontext och uppdragsgivare

Examensarbetet genomfördes i samarbete med BorgWarner, ett globalt företag med ungefär 40000 anställda runt omkring hela världen där cirka 450 av dessa befinner sig i Landskrona. Företaget har bland annat berättat hur de har tillverkat kopplingar till fyrhjulsdrift sedan 1990-talet. Produkterna i BorgWarner bidrar till ökad effektivitet och prestanda i

förbränningsmotorer och körupplevelse. Företagets vision är en ren energieffektiv värld. BorgWarner jobbar för att minska miljöpåverkan. Detta görs genom att bland annat minska koldioxidavtrycket samt effektivisera energianvändningen.[3]

Felsökning i en testmiljö kräver kunnsighet av vilka komponenter som fungerar som planerat och vilka som skapar interferens. Detta är särskilt viktigt inom företag som jobbar med prototyper då många komponenter och riggar är specialbeställda. Detta innebär att många kablar som används i BorgWarner är gjorda i deras egna anläggningar av deras kunniga anställda. För detta ändamål behöver man hitta ett sätt att automatisera testningen av dessa kablar för att kunna undersöka deras funktionalitet. Inom testmiljön kan det finnas ett flertal kablar för ett projekt samt förekommer äldre kablar som återanvänds från en tidigare rig som kanske inte är hela och behöver verifieras.

I rapporten *“Development of Multi-Interface tester for controllers”* (Zhou et al. 2023) som i samband med en konferens publicerats av ACM digital library, meddelar gruppen hur testning i dagsläget har blivit mer komplext. De beskriver hur det krävs en mer intensiv arbetskraft samt hur anställningen av personal i testavdelningar ökar kontinuerligt. Dessutom är det omfattande hur många olika instrument som används i nuläget för testning, rapporten påpekar även i sin tur problemen som uppstår vid testning som åldrande, orimliga resultat och tidskrävande mätningar. Sådana problem kan påverka företags kostnader markant. [4]

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet är att skapa en fungerande kabel-verifieringsenhet som kontrollerar kabelns funktionalitet, vilka problem som kabeln innehar, vart dessa problem uppstår i kabeln med både digitala och analoga signaler samt presentera resultatet via ett HMI användargränssnitt.

Frågeställningarna för detta examensarbete är följande:

- Vilka problem kan uppstå under byggandet av kablage?
- Hur kan man verifiera att en kabel fungerar?
- Hur kan man hålla den bärbar för mobilitet?

- Hur ska ett funktionellt HMI skapas för att förmedla testresultaten till en operatör?
- Hur stora är tidsvinsterna då ett automatiskt testsystem används jämfört med den tidigare manuella testprocessen?

1.3 Målformulering

Målet med kabel-verifieringsenheten är att den ska kunna kontrollera funktionaliteten i en kabel 50% snabbare än vad det redan görs manuellt. Ett annat mål med detta examensarbete är att utöka kunskaper inom PLC programmering och tillämpning av HMI användargränssnittet.

1.4 Problemformulering

I dagens testmiljö verifieras kablage manuellt med hjälp av en multimeter. Processen är tidskrävande och repetitiv, vilket leder till ineffektiv användning av både tid och personal. Vid testning av flera tusentals kablar med flera pins leds processen till ineffektiv resursanvändning och mänskliga felkällor. Det finns därför ett tydligt behov av ett automatiserat system som snabbt och tillförlitligt kan verifiera kabelns funktionalitet.

1.5 Motivation

Det som väckte intresset för detta examensarbete var just arbetsprocessen innefattar både arbetande inom mjukvara och hårdvara, vilket passar väl med den kunskap som har tagits med under utbildningen. Det är även spännande att få samarbeta med ett stort, framgångsrikt och globalt företag som BorgWarner, ett företag som har flera verksamheter runt om i hela världen.

1.6 Avgränsningar

I detta examensarbete avgränsades praktiska tester på andra kablar som DB9 och M12 kablage, DB15 och XLR var däremot de kablar som sattes som utgångspunkt för att säkerställa att alla tester gav ut rätt logik. Detta bestämdes genom att prioritera att få testerna att i första hand fungera för de kablar som passade BorgWarners behov och för att hinna med tidsplaneringen för examensarbetet. Logiskt skall dessa kablar fungera med det program som

skrevs vilket inte avgränsade examensarbetet för endast DB15 och XLR kablar. Genom att anpassa programmet för andra typer av kablage än DB15 och XLR så kan även andra kablar testas genom att använda sig av en adapter. Utöver detta valdes även att inte dimensionera kabel-verifieringsenheten till en bärbar box för mobilitet. Denna avgränsning togs för att begränsa sig till att uppnå syftet med examensarbetet och funktionaliteten av kabel-verifieringsenheten samt för att hålla sig inom tidsplanen för arbetet. Utöver detta var även BorgWarners vision att kunna vidareutveckla kabel-verifieringsenheten innan eventuella åtgärder tas för att dimensionera enheten. Ytterligare en avgränsning är att HMI-displayen kan ge förväntade felindikeringar för kablage som inte innehåller 15-pins, vilket diskuteras vidare längre fram i rapporten.

1.7 Kravspecifikation

För att säkerställa att examensarbetets syfte uppnås hade följande krav ställts på den automatiserade kabel-verifieringsenheten sedan början av examensarbetet. Kraven var uppdelade i två delar: funktionella respektive icke-funktionella krav. De funktionella kraven innefattar krav som måste uppfyllas för att kabel-verifieringsenheten skulle fungera som önskat, medan de icke-funktionella kraven implementerades i mån av tid.

1.7.1 Funktionella krav

- Systemet **måste** kunna detektera avbrott, korskoppling och kortslutningsfel som man tillsammans med testarna på BorgWarner bestämde som vanliga fel som uppstår under byggandet av kablar.
- Kabel-verifieringsenheten **måste** kunna köras med både en digital och analog del för att uppfatta ifall den testade kabeln fungerar rätt.
- Logiken för systemet **måste** vara anpassat så det fungerar för DB15 kablar samt andra in-house kablar (exempelvis DB9 och XLR kablar).
- Prototypen **måste** kunna testa funktionaliteten av en kabel på max 30 sekunder och ge ett tydligt svar.

1.7.2 Icke funktionella krav

- Systemet **bör** ha ett fungerande HMI-användargränssnitt med en implementerad knapp som kör ett test för funktionaliteten av en kabel.
- Ifall en HMI implementeras **bör** resultatet av kabelns funktionalitet visas, vilka fel som kabeln innehar, vart dessa felen uppstår i kabeln samt ska det vara intuitivt nog att en operatör kan använda den utan manual.
- Enheten **bör** kunna vara bärbar.

1.8 Arbetsfördelning

Tabell 1: Sammanställning över arbetsfördelningen under examensarbetet uppdelat i de mest fundamentala arbetsprocesser där siffran anger hur man i procent har bidragit.

	Hassan	Mohid
Programmering	30	70
Elritningar	50	50
Kabeltillverkning	70	30
HMI implementering	70	30
Rapportskrivning	50	50
Poster	50	50
Systemdesign	50	50

2. Teori

I detta kapitel förklaras begrepp och olika tekniker som var viktiga att angripa innan metodavsnittet. Nedan redogörs grundläggande beskrivning av vad en PLC är samt ges mer insikt i den PLC som användes för att utföra detta examensarbete. Därefter kommer fakta om företags kablarna som används, vilka problem som kan uppstå vid manuell tillverkning och slutligen lite fakta om HMI-användargränssnittet.

2.1 PLC

En PLC är en enhet som kör i realtid. PLC står för “Programmable Logic Controllers” och har använts inom industriell automation i över 50 år. I vissa tillverkningsavdelningar som bil och livsmedelsindustrin har efterfrågan av automatisering resulterat till extremt komplexa tillverkningssystem, som är i nuläget kontrollerade av en PLC. Att en PLC kör i realtid betyder att den kan garantera ett svar inom en viss tid.[5]

Till skillnad från vanliga persondatorer, är en PLC uppbyggd för att operera under extrema miljöer där bland annat temperaturen, fuktigheten eller även elektriska störningar kan vara en stor risk för driftstörningar. Systemet används bland annat för rulltrappor, hissar och även robotik. En fördel med PLC:er är realtidsstyrning som innebär att systemet kommer med säkerhet.[6]

Systemet fungerar genom att en programmable logic controller körs i en konstant och snabb cykel. Själva körningen är generellt omöjlig att se med mänskliga ögat då den avläser signaler, bearbetar data och uppdaterar output på några millisekunder. En bra fördel är att man själv kan bestämma hur snabbt den ska köra genom att använda timers, vilket hjälper med bland annat felsökning och verifierad logik.

2.2 Beckhoff och TwinCAT

Beckhoff är en leverantör av industriella styrsystem och utvecklar PLC:er, en realtidsstyrd PC(personal computer) som kombinerades med programvaran TwinCAT för att göra den till en programmable controller unit. Några av dessa styrsystem från Beckhoff används och diskuteras i metodavsnittet.

TwinCAT är en mjukvara skapad av Beckhoff och används för att programmera och kontrollera olika typer av automatiserade verktyg såsom PLC:er, styrning av position, hastighet eller vridmoment hos maskiner och även human-machine interface (HMI). Huvudpoängen med mjukvaran är att omvandla en standard PC till en realtidsstyrenhet. Fördelen med TwinCAT är att den har ett brett användningsområden inom programmeringsspråk som C/C++, strukturerad text, funktionsblock diagram och även ladder diagram.[7]

EtherCAT är en viktig standard och är enligt deras egna sida den snabbaste industriella ethernet-anslutningen. Själva styrsystemet agerar som en “master” och är en fältbuss som sedan kopplas ihop till moduler, exempelvis EL1859 agerar som “slavar”. De tar emot instruktioner från mastern för att styra utgångar och skickar tillbaka information från sina ingångar. I ett EtherCAT nät så kopplas modulerna i en kedja utan att kopplas via switchar eller hubbar. Eftersom EtherCAT inte använder sig av switchar eller hubbar avgränsas inte antalet enheter som kan kopplas samman till skillnad från vanliga ethernet som måste skicka ett enskilt paket till varje IP-adress.[8]

2.2.1 TwinCAT-arkitektur

Enligt rapporten *“TwinCAT: Evolution, Architecture, and Its Synergy with MQTT” (Neuron Team, 2023)* är systemet uppdelat i två delar, varav en som heter TwinCAT engineering (XAE) och en TwinCAT runtime (XAR). TwinCAT XAE står för “eXtended Automation Engineering” och är en utvecklingsmiljö som möjliggör programmering, felsökning och konfiguration av I/O enheter i automationsprojekt.[9][10]

Den andra huvudkomponenten, Extended Automation Runtime (XAR), är den komponent som gör det möjligt för systemet att kommunicera med de moduler som är kopplade till PLC:n, till exempel för att läsa digitala och analoga värden. XAR är kärnan i PLC-miljön och har ansvaret över att exekvera PLC programmen och även hantera kommunikation med andra enheter inom automation systemen.[9][10]

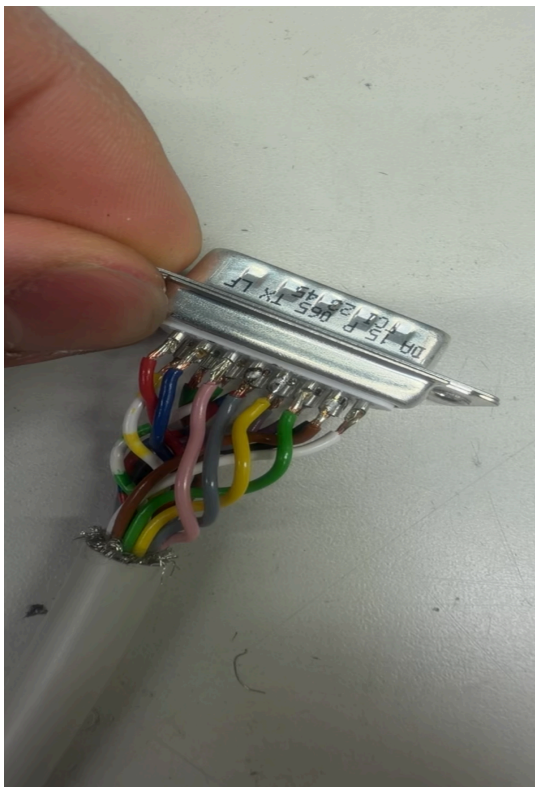
2.2.2 TwinCAT HMI funktioner

En fundamental operation är "Data Binding" vars funktion är att länka variabler från programmeringskoden till objektet för att få den att agera enligt samma logik. TwinCATs automation interface använder sig av JavaScript, vilket är ett verktyg som hjälper användaren att skriva sitt egna skriptspråk.

2.3 D-sub kablar

Huvudkabeln som testas i denna rapport är en D-subminiature och den brukar förkortas som en D-sub. D-sub kontakterna har olika varianter och klassas efter dess kön (hane/hona) och pinantal. Standard typerna inkluderar oftast 9, 15, 25, 37 och 50 pins. Användningsområden för dessa typer av kablar brukar användas bland annat till robotik och automationssystem.

DB15 kabeln har 15 pins där åtta av dem sitter på den första raden horisontellt och sju på raden under. När det gäller vilka pins man använder till vad användes färgschemat DIN 47100 som berättar vilken färg på kabeln man ska löda på vilken pin, ett smidigt sätt som minskar risken för fel pins problemet som diskuteras i nästa avsnitt. Som tidigare nämnt finns det två olika typer av kontakter, en som har hylsor i ändarna och fungerar som en hona medan andra kommer med stift och ska representera hanen. Figur 2.2 visar ett exempel på hur D-suben är konstruerad med ledare.



Figur 2.2A: Bilden visar hur kabeln ser ut inifrån och hur den vidare kopplas till en av ledarna. På bilden ser man även hur den övre raden innehåller åtta pins medan den andra har sju stycken.

2.4 XLR kablar

XLR kablage används främst för brusreducering och för längre kabeldragning utan försämring av signalens styrka. Det finns flera versioner där antal pins skiljer sig, allt från 3 till 8 pins. Den används i bland annat headsets, mikrofoner och även andra enheter. Likt D-sub kabeln har dessa två kontakter, en hane och en hona.[18].

2.5 Felscenarion som kan uppstå

Under detta avsnitt diskuteras de felen som kan uppstå på en kabel vid manuell tillverkning och vilken felaktig signal man får.

2.5.1 Avbrott (Open circuit)

Det första problemet som uppstod uppreparande med företags kablar var avbrott i kabeln. Ett avbrott uppstod när en pin saknade en elektrisk kontakt från kabeln så att den inte leder ström. Orsakerna kan vara bland annat brutna ledare eller dålig lödning med för lite tenn.

Föreställ dig att du använder en kabel med 15 ledare omedveten om att en av dem är helt bruten. Att hitta det problemet kräver mätning av alla pins då det är i princip omöjligt att gissa vid varje kabel ifall kabelns kontinuitet är en felkälla på en av dess pins. För att testa för avbrott manuellt användes en multimeter, ifall den fick en signal gav multimetern utslag och ifall det saknades gav den inte ut en signal.

2.5.2 Korskoppling (Fel pins)

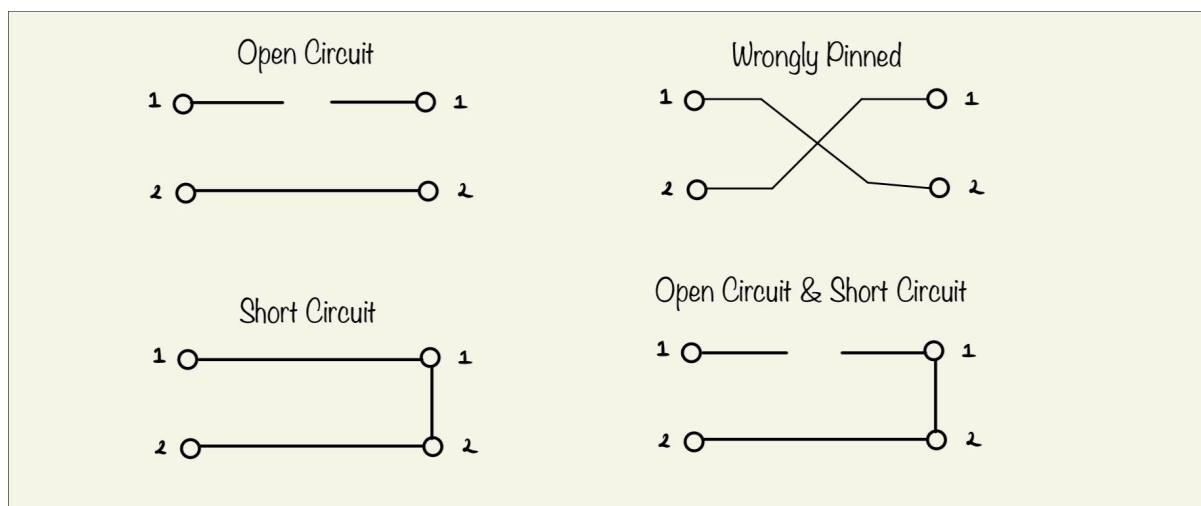
Sedan finns korskoppling som uppstår när ledaren i honan inte ligger på samma pin som på hanen, eller tvärtom. Detta kan uppstå av slarvfel vid manuell kabeltillverkning när man inte har varit uppmärksam på siffrorna som står gravat på subarna.

Detta problem till skillnad från avbrott är delvis svårare att hitta vilket innebär mer tidsförlust till företaget. Ifall signalen inte hittas på multimetern på en DB15 kabel, kunde man lösa det genom att kontrollera signalen från de andra 14 pins i motsatt sida av kabeln för att se ifall ledaren hamnade på fel pin.

2.5.3 Kortslutning (Fel lödat)

Kortslutning i en kabel är ett farligt problem som kan orsaka många felkällor och få en tro att en kabel fungerar även ifall den innehåller en kortslutning. Det är rätt enkelt att använda sig av mer tenn än nödvändigt vilket resulterar i att den sätter sig mellan pins och sammankopplar dessa. Signalen kommer då till rätt pinn men fördelar sig även till den andra pinnen som är sammankopplad med tennet.

Vid testning av en fel lödat kabel där fel lödningen sker vid närliggande pins med en multimeter blir problemet att en signal från rätt pin kommer ges. Detta lurar användaren att det inte finns ett fel i kabeln, hade användaren även testat närliggande pin med den fungerande hade ännu en till signal kommit fram.



Figur 2.5: Sammanställning av de tre huvudsakliga felen representerade på pin 1 och pin 2. *Open Circuit* beskriver avbrotts fel mellan pin 1. *Wrongly pinned* beskriver korskoppling mellan pin 1 och 2 respektive pin 2 och 1. *Short Circuit* beskriver kortslutning mellan pin 1 och 2. Sedan visas ett specialfall där det visualiseras ett avbrott följt av en kortslutning vilket teoretiskt fungerar likt en korskoppling.

2.5.4 Avbrott och Kortslutning

Teoretiskt är en kortsluten ledare med ett avbrott ett intressant problem. Som det framgår i Figur 2.5 visas ett scenario av ett problem där första och andra pinnen i båda ändarna visas. Ledaren börjar med att pin 1 har ett avbrott medan pin 2 har en kortslutning direkt efter med den första pinnen. Det som uppstod då var att pin 1 gav en signal som kom från pin 2, även om den hade ett avbrott.

Vid testning av detta scenario med multimeter kunde detta testas genom att kontrollera ifall en pin på ena sidan av kabeln inte ger utslag av en signal för avbrott. När pinnen inte har en signal och ger ett avbrott så kontrollerar du samma pin på andra sidan av kabeln samt alla andra pins för att undersöka utslag av en signal på två pins samtidigt, för ett korskopplingsfel.

2.6 Multiplexer

Multiplexer är en elektronisk komponent som tar flera analoga eller digitala insignaler och skickar dem till en specifik utsignal.

2.7 HMI

Interaktion mellan användare och maskin är möjlig genom användning av ett Human Machine Interface(HMI). I detta examensarbete användes TwinCAT 3 HMI Engineering, vilket är en visualisering plattform som integreras direkt i utvecklingsmiljön.[11]

2.8 BitBucket

Bitbucket är en molnbaserad plattform för versionshantering som bygger på versionshanteringssystemet Git. Genom funktioner som pull, push och branching kan utvecklingsteamet arbeta parallellt i isolerade miljöer och granska varandras ändringar innan de integreras i huvudkoden. Detta strukturerade arbetsflöde förbättrar kommunikationen inom gruppen och minimerar risken för kod konflikter.[12]

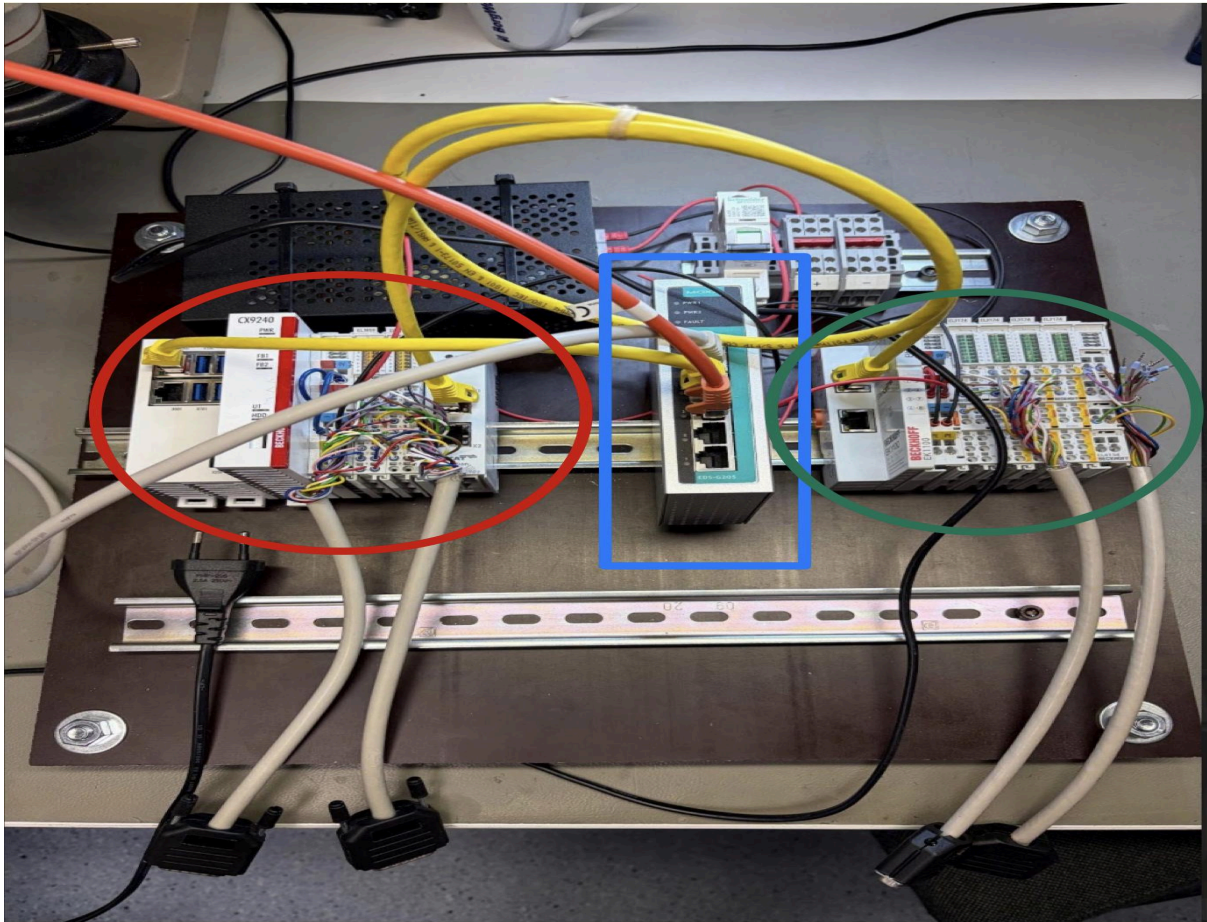
3. Metod

I detta kapitel beskrivs hur examensarbetet genomfördes från idé till prototyp. Nedan kommer information om systemets uppbyggnad, val av komponenter samt de metoder som användes för att implementera och verifiera lösningar.

3.1 Systemdesign

Examensarbetet påbörjades med en monteringsplattform för alla komponenter och moduler. Plattformen var utrustad med en DIN-skena, vilket möjliggjorde installation för PLC-moduler och ethernet-switchar. Företagets nätverk kopplades in till ethernet switchen via en ethernet-kabel som möjliggjorde en uppkoppling för datorn som körde systemet, konfigurationen och etherCAT:en som var förutbestämt av BorgWarner och behövde en IP adress. EtherCAT:en som användes för detta examensarbete kallades för CX9240.

Systemet försörjdes med en spänning via en extern strömkälla (Mascot 2922). Den kopplades vidare till en Schneider dvärgbrytare iC60H (säkring) se figur 3.1, som satt där som skydd mot överspänningar samt för att användaren skulle kunna slå på/av systemet när det behövs. Ledningen från switchen går in till kopplingsplintar som assisterade med att fördela strömmen till olika områden, såsom modulerna som inte fungerade utan en strömkälla.[13]



Figur 3.1: Kabel- verifieringsenheten som användes för att verifiera samtliga tester. Till vänster om ethernetboxen som ligger inom den blåa rektangeln, ligger den digitala enheten inom den röda cirkeln med de digitala modulerna. Till de digitala modulerna EL1859 kopplas två testkablar där vänstersidan anger insignalerna och högersidan utsignalerna som utgör testscenariot för den digitala delen. Inom den gröna cirkeln ligger den analoga delen bestående av analoga moduler och med samma princip av två testkablar som utgör ett test scenario där vänstersidan anger insignaler och högersidan utsignaler. För att verifiera tog man valfri kabel och satte hona till hane och tvärtom i andra änden.

3.1.1 Programmering

Programmering utfördes i TwinCAT 3, vilket är en utvecklingsmiljö för PLC-system baserade på IEC 61131-3-standard. Programlogiken implemeterades för att styra testprocessen, hantera signaler från modulerna och kommunicera med HMI-systemet.

3.1.2 Modulval

Efter inlärnigen av programmering bestämdes modulerna som skulle användas för att få de signaler som efterfrågades. Implementering av digitala signaler var en bra grund till att lära sig grunderna på TwinCAT. Sökningen av digitala moduler gav ut olika alternativ som funkade för kabel-verifieringsenheten, detta innebar att slutliga valet av moduler behövdes göras noggrant med mobilitet av enheten och resurser i åtanke.

Efter undersökning och att sätta sig in i ett antal moduler ansågs modulen EL1859 passande till kraven för detta examensarbete. Enligt Beckhoff-dokumentationerna är EL1859 en modul som har kanaler med åtta inputs och outputs och levererar 24V DC med en utgångsström på 0,5 A per kanal. Spänningsintervallet på en "0" spänningssignal ligger mellan -3..+5V (standarden EN 61131-2, typ 1/3) och 11..30V på en "1" spänningssignal (standarden EN 61131-2, typ 3). Modulen har en inkopplingstid (T_{on}) på 60 μ s och en fränkopplingstid (T_{off}) på 300 μ s. För att en signal ska registreras säkert har modulen ett ingångsfilter på 3ms. Modulen har endast digitala kanaler vilket innebär att den saknar analog upplösning. Detta ansågs vara det mest optimala valet för att utgöra den digitala delen av kabel-verifieringsenheten då två av dessa moduler skulle ge 16 inputs och outputs, vilket var mer än tillräckligt för de 15 pins som skulle kopplas för att testa en DB15 kabel. Självklart blev det en output respektive en input över, vilket inte gav några problem då dessa endast kunde bortse från då de inte används och därmed inte kopplas till en av portarna på modulerna.[14]

Vid konstruktion av den analoga delen blev valet av moduler först en EL4012 tillsammans med fyra stycken EL3174. Modulen EL4012 enligt Beckhoff-dokumentationerna är en EtherCAT terminal med en tvåkanal analog output. Planen med den var att koppla outputen till en multiplexer som hjälpte med kravet på att kabel-verifieringsenheten skulle kunna vara så liten och bärbar som möjligt. Iden var att koppla vidare multiplexers utsignaler till EL3174s ingångar, som är en terminal med fyrkanalig analoga inputs. Detta möjliggjorde att man kunde testa för 16 inputs och outputs varav endast 15 pins skulle kopplas för att testa en DB15 kabel.

EL3174 har ett nominellt spänningsintervall på ± 10 V och ett tekniskt spänningsintervall på $\pm 10,73$ V. Nominella strömintervallet ligger på ± 20 mA och ett tekniskt på $\pm 21,47$ mA. Ett

tekniskt intervall innebär en som stödjer mätningar i gränsområdet. Spänningsmätningen sker differentiellt och har en common mode spänning på 35 V medan strömmätningar är "single-ended". Att något är single-ended innebär att kanalerna är elektriskt isolerade och har en gemensam jordpotential. Modulen har en upplösning på 16 bitar och en konverteringstid på minst 150 μ s. Gränsfrekvensen för ingångsfiltret ligger på 5 kHz.[15]

EL4012 har en spänning på 24V DC och ett strömintervall mellan 0..20mA. Liknande EL3174 använder modulen inte logiska nivåer och har en "single-ended" signalanslutning. Modulen har en upplösning på 12 bitar och en konverteringstid på cirka 150 μ s och stödjer distribuerade klockor med en precision på under 1 μ s.[16]

Under examensarbetet var multiplexern inte tillgänglig i tid, vilket medförde att man behövde tänka om kring valen av analoga moduler. Därför valdes att endast köra på en EL4134 för enhetens outputs, vilket enligt Beckhoff dokumentation är en fyrkanalig analog output. Spänningsintervallet på modulen ligger på ± 10 V, har en single-ended signalanslutning. EL4134 har en upplösning på 16 bitar och utgångsfel på 0,1%. Utgångshastigheten befinner sig på max 4 ksps. Detta medförde att det inte kunde testas alla outputs på kabeln för den analoga delen på en gång, men gav fortfarande möjligheten att kunna testa programmet och logiken med samma tester som utfördes för den digitala delen för 4 pins analogt.[19]

3.1.3 Mätningstid digitala och analoga mätningar

Inom den slutliga prototypen av kabel-verifieringsenheten så styrdes testtiden för vardera mätning med hjälp av en implementerad timer i programmeringskoden för programmet, mer om implementeringen av programmeringskoden beskrivs i programmeringsavsnittet. En timer med en delay mellan varje mätning kunde implementeras och fungerade för att styra programmets testtid för att kunna felsöka programmet och för visualisering av HMI:et. För att visuellt kunna se felen i kabeln med HMI användargränssnittet sattes timern så hela testet utfördes på cirka 15 sekunder för att ge omkring 1 sekund per pin.

Teoretiskt så utfördes mätningar på en kabel där logiken utgår för 15 pins där vardera pin testades mot resterande pins inom kabeln. Logiken utgår från att exempelvis pin 1 testas mot samtliga pins 2 till 15 och pin 2 mot samtliga pins 3 till 15 på samma sätt testas samtliga

andras pins i kabeln, vilket resulterar i 105 mätningar där antalet mätningar ges av följande matematiska koncept:

$$K_{\text{mätningar}} = \frac{p(p-1)}{2} \quad (1)$$

där $K_{\text{mätningar}}$ är antalet mätningar, p är antalet stift på kabeln i vårt fall är det 15.

För att beräkna tiden för vad det tar en mätning för den digitala delen så adderades cykeltiden för PLC:n med omkopplingstiderna adderat med ingångsfiltret vilket ges av följande ekvation:

$$t_{\text{mätning}} = t_{\text{cykeltid}} + T_{\text{ON}} + T_{\text{OFF}} + t_{\text{ingångsfiltret}} \quad (2)$$

där $t_{\text{mätning}}$ är den totala tiden för en mätning, t_{cykeltid} är cykeltiden för PLC:n som i vårt fall var satt till 10 ms $T_{\text{ON}} + T_{\text{OFF}}$ som är omkopplingstiderna och slutligen $t_{\text{ingångsfiltret}}$ som är tiden för ingångsfiltret.

För den digitala delen så användes modulerna EL1859 som har omkopplingstiderna $T_{\text{ON}} = 60\mu\text{s}$ och $T_{\text{OFF}} = 300\mu\text{s}$, cykeltiden $t_{\text{cykeltid}} = 10\text{ms}$ och ingångsfiltret $t_{\text{ingångsfiltret}} = 3\text{ms}$ vid insättning i (2) ges tiden för en mätning till: $t_{\text{mätningdigital}} = 13.36\text{ms}$.

Eftersom där görs 105 mätningar för att testa en kabel med 15 stift så ges den totala tiden digitalt enligt: $t_{\text{Tot}} = K_{\text{mätningar}} \cdot t_{\text{mätningdigital}} = 1402.8\text{ms} = 1.403\text{s}$

För den analoga delen så användes modulerna EL3174 samt EL4134 där EL3174 har en konverteringstid på minst $150\mu\text{s} = 0.15\text{ms}$ medans EL4134 har utgångshastighet som befinner sig på max 4 ksps som motsvarar 0.25ms. Genom att addera cykeltiden med konverteringstiden för EL3174 adderat med utgångshastigheten för EL4134 kunde tiden för en mätning analogt ges enligt följande ekvation:

$$t_{\text{mätning}} = t_{\text{cykeltid}} + t_{\text{konverteringstid}} + t_{\text{utgångshastighet}} \quad (3)$$

där $t_{\text{mätning}}$ är den totala tiden för en mätning, t_{cykeltid} är cykeltiden för PLC:n som i vårt fall var satt till 10 ms, $t_{\text{konverteringstid}}$ som är konverterinstiden för EL3174 samt $t_{\text{utgångshastighet}}$ som är utgångshastigheten för EL 4134.

Vid insättning av värden i (3) ges tiden för en mätning analogt till: $t_{mätninganalog} = 1.4 \text{ ms}$.

Eftersom där görs 105 mätningar för att testa en kabel med 15 stift så ges den totala tiden

$$\text{analogt enligt: } t_{Tot} = K_{mätningar} \cdot t_{mätninganalog} = 147 \text{ ms} = 0.147 \text{ s}$$

Eftersom analoga modulerna saknar ett ingångsfiler blir mätningen snabbare än de för de digitala modulerna.

Ytterligare en beräkning av testtiden för en mätning och för den totala tiden som bör ses över är den analoga delen med modulen EL4012 och multiplexern. Modulen EL4012 har konverteringstid på cirka $150 \mu\text{s} = 0.15 \text{ ms}$. Multiplexern som planerades användas var en ELM 2744-0000 som är en fyrkanalig multiplexerterminal och klarar spänningar till 48V AC/DC. Multiplexern har omkopplingstiderna typiskt 1 ms och max $t_{multiplexerON} = 5 \text{ ms}$ och typiskt 1 ms och max $t_{multiplexerOFF} = 5 \text{ ms}$. [20]

Genom att addera cykeltiden med konverteringstiden för EL3174, adderat med konverteringstiden för EL4012, adderat med maximala omkopplingstiderna för multiplexern kunde tiden för en mätning ges enligt följande beräkning:

$$t_{mätning} = t_{cykeltid} + t_{EL3174kon} + t_{EL4012kon} + t_{multiplexerON} + t_{multiplexerOFF} \quad (4)$$

Vid insättning av värden i (4) ges tiden för en mätning analogt till:

$$t_{mätninganalog} = 20.3 \text{ ms. Eftersom där görs 105 mätningar för att testa en kabel med}$$

15 stift så ges den totala tiden analogt enligt:

$$t_{Tot} = K_{mätningar} \cdot t_{mätninganalog} = 2131.5 \text{ ms} = 2.13 \text{ s}.$$

3.2 Elritningar

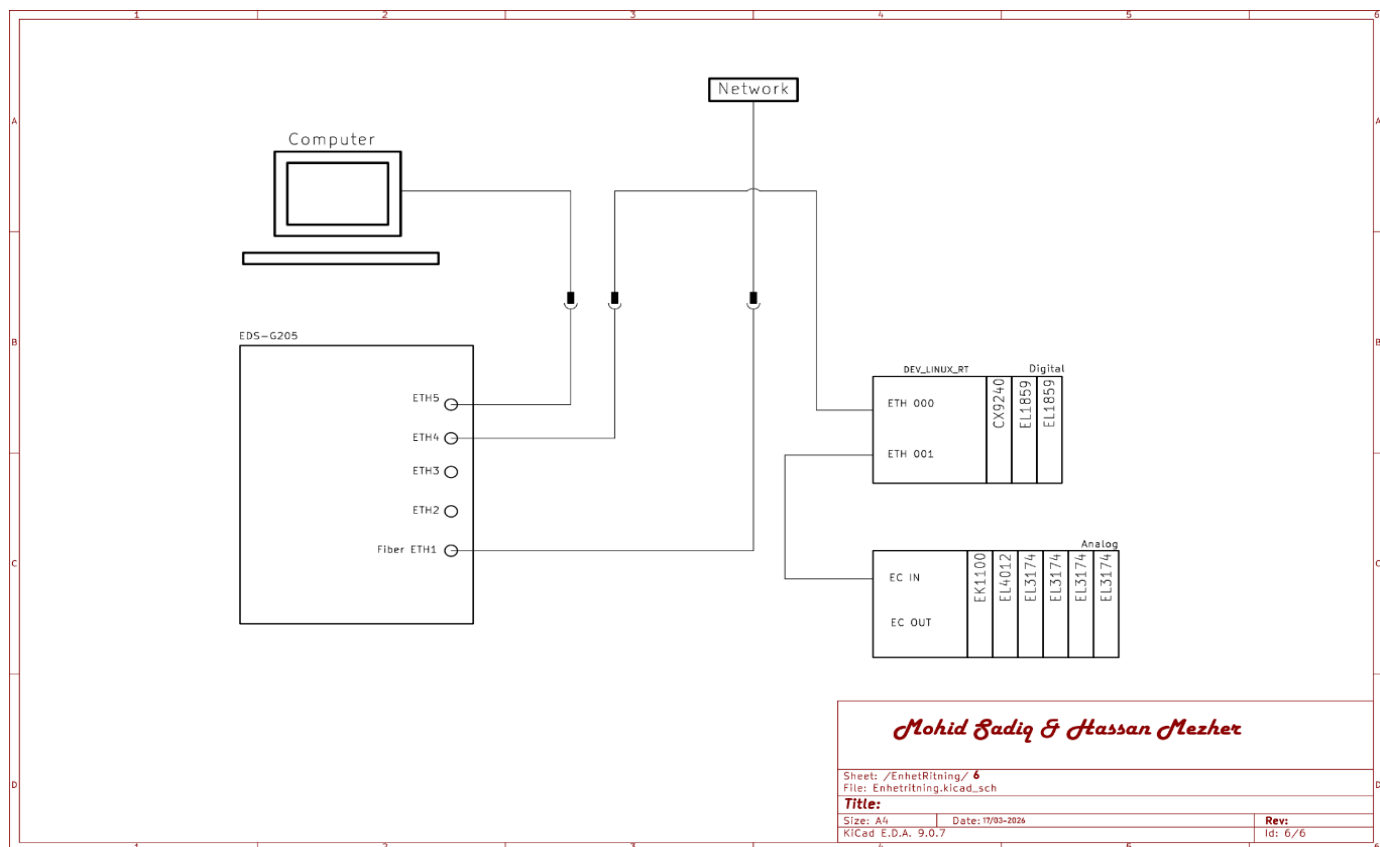
För att verifiera att modulvalen för enheten fungerade ihop och att implementeringen på kabel-verifieringsenheten lät rimlig sågs det först till att rita elritningar, innan installationen av modulerna på enheten. För att skapa elritningarna användes verktyget KiCad, en öppen

mjukvarusvit som används för elektronisk design. Några vanliga användningsområden för KiCad brukar vara kretskort(PCB) och kopplingsscheman.[17]

Ritningen av modulerna påbörjades genom att först informationsöka om modulerna, hur de fungerar samt hur det kan se ut. För att uppfylla företagets krav introducerades ritningar gjorda för tidigare riggar från företaget för att kunna få en överblick över den struktur som förväntades. För att påbörja skissen för den digitala delen började arbetet med att skissa början med huvudriktningen se bilaga A, där syftet var att rita hanen och honans ände av DB15 kabeln. På kabeln med honan ritades 15 hylsor(ofyllda cirklar) med en siffra som index, vilket angav vilken hylsa den tillhör följt med en beteckning som innebar vilken sorts kabelfärg som kopplades till hylsan. På detta sätt kunde beteckningarna för kabelfärgerna tydligt kopplas till hylsans index samtidigt som tillverkning av kablarna diskuteras tydligare i rapporten.

Tittar man vidare på bilaga A representerar den gröna kabeln sladden som kopplas till hylsorna med tre olika beteckningar. MSX är en egen beteckning för att representera modulen i kabel-verifieringsenheten där “MS” följt av en siffra är beteckningen för modulen. Därefter anges namnet på modulen exempelvis EL1859 sedan följt med vilken siffra i modulen den tillhörde. Eftersom det fanns två EL1859 moduler behöver man skapa fyra stycken ritningar, två stycken för ingångar och två för utgångar. För att göra ritningen tydligare ritades modulerna för utgångarna på vänster sida se bilaga B för att representera att ledarnas signal går utåt, likadant för ingångarna se bilaga C där modulerna skissades på höger sida för att representera att ledarnas signal går in till modulerna.

Sista elritningen var en skiss över hela uppkopplingen mellan nätverk, datorn och systemet, se figur 3.2. Denna ritning föreställde ett elschema av hur och vart allt kopplades ihop med modulerna och EtherCATen. Ifall examensarbetet skulle få implementeringar i framtiden kan detta elschema användas för att bygga om hela systemet effektivare.



Figur 3.2: Ritning över hela uppkopplingen. Network föreställde företagets nätverksanslutning, EDS-G205 anger ethernetboxen som visar hur ethernetportarna är kopplade, Digital - anger den digitala delen, Analog - anger den analoga delen av kabel-verifieringsenheten.

3.3 Hur valdes felen som testades?

Felscenarion som valdes för rapporten rekommenderas av ingenjörer i BorgWarner som beskrev vilka problem de har stött på med deras kablar samt vilka problem som uppstår frekvent. Dessutom var dessa fel man själva stötte på vid tillverkning av fungerande kablar, vilket var bra tecken på att det är fel som kan uppstå.

I början av processen söktes information om olika felkällor som kan påverka en kabel, exempelvis kabellängden vilket kan orsaka störningar. Efter att ha diskuterat problemet med handledarna kom man till en slutsats att det inte utgjorde en felkälla som skulle påverka mätningarna, eftersom kablarna var relativt korta.

Fel Scenarion som testades under examensarbetet var följande: Avbrott, korskoppling, kortslutning, avbrott följt med korskoppling, korskoppling följt med avbrott, avbrott följt med

kortslutning, kortslutning följt med avbrott, korskoppling följt med kortslutning och kortslutning följt med korskoppling och slutligen alla fel samtidigt.

De digitala modulerna kunde testa alla fall förutom ett fel ,vilket var avbrott följt med kortslutning. Med de analoga modulerna kunde samtliga tester verifieras även fallet då man hade en kabel med ett avbrott följt med en kortslutning.

3.4 Manuell tillverkning av kablar

Kablarna som testades under examensarbetets gång var manuellt tillverkade på plats, se figur 3.4. Nedan finns information om hur dessa kablar tillverkades och hur man fick göra annorlunda för att representera de olika felscenarion.



Figur 3.4: Kabel A - Fungerande kabel med alla 15 fungerande pins. Kabel B - Kabel med avbrott i ledare 1,8,9 och 15. Kabel C - Kabel med kortslutningsfel mellan pin 1-2, 7-8 och 14-15. Kabel D - Kabel med korskoppling mellan pin 4-5 och 9-10. Kabel E - Kabel med alla fel som, kortslutning

mellan 1-9 och 12-13-14, korskoppling mellan 4-5 och avbrott i ledare 8. Kabel F - Fungerande XLR kontakt(hane), ska representera en adapter. Kabel G - Fungerande XLR kontakt(hona), ska representera en adapter. Kabel H - XLR kabel med avbrott i sjunde ledaren, korsande ledningar mellan 1-2 och kortslutning mellan 3-4.

3.4.1 Material

Kabeltypen som användes var en 15/0,25, vilket innebär en kabel med 15 olika ledare där vart och en hade en area på 0.25mm^2 . För att bestämma hur långt ned yttermanteln på kabeln skulle skalas av användes en D-sub-kåpa tillsammans med en DB15-kontakt som mall. På så sätt mättes ledarna upp för att säkerställa att de varken blev för långa eller korta för höljet. Kabeln skalades med en kabelkniv i lugn takt för att inte råka skada ledarna inuti. Efter borttagningen av skyddet löddes ledarna i hylsorna, här var det extra viktigt att följa färgschemat för att få rätt färg till rätt pin.

Eftersom det var väldigt trångt på hylsan användes en lödkolv med en fin spets för att löda utan att bränna plasten. Värmen på lödkolven var 350°C som uppnåddes efter en väntan på ett par sekunder. Efter lödningen var nästa steg att sätta ihop kabeln i kåpan. Vissa fall blev ledarna för långa, vilket löstes genom att justera kablarnas dragning. Kabeln sattes i kåpan och sedan utfördes samma process på andra sidan av kabeln.

Tillverkningen av XLR kablarna fungerade på liknande sätt som DB15 kabeln. Processen påbörjades med att klippa av en 10/0,25 kabel eftersom XLR gick upp till max 7 pins, detta innebar att det hade varit onödigt ifall det användes en kabel med 15 pins. Innan lödningen påbörjades tillsattes en bakkåpa i mitten av kabeln, detta utfördes eftersom den inte får plats i kabeln efter lödningen av alla kontakter. En ring tillsattes på bakkåpan följt med en klämhylsa som satte fast bakkåpan på plats och kopplas ihop med XLR-kontakten. När allt satt på plats löddes stiften ihop med ledarna. Till sist skruvades bakkåpan in till kontakten för att få ena kontakten färdig, därefter utfördes samma procedur av steg till motsatta sidans kontakt.

3.4.2 Tillverkning av Avbrott

Tillverkningen av avbrottskabeln påbörjades genom att skala av en del i yttre manteln för att senare klippa några ledare i kabeln. För att göra det synligt användes en plasttub som

värmdes fast som skydd mot ledarna, se figur 3.4. På det sättet blev kabelns funktionalitet synlig, en fördel som kan minimera risken att den används till framtida examensarbeten.

3.4.3 Tillverkning av Korskoppling

För att manuellt tillverka en kabel med korskoppling byggde idén att bygga ena sidan av kabeln som en fungerande kabel och andra sidan kabeln defekt, där två färger på kontaktens pins bytt plats. Med andra ord ifall ena sidan har vita ledaren till pin 1 och brun till pin 2 blev andra sidan bruna ledaren till pin 1 och omvänt. Detta problemet uppstod under byggandet av en helt fungerande kabel, vilket berodde på att siffrorna på kontakten var svåra att tyda.

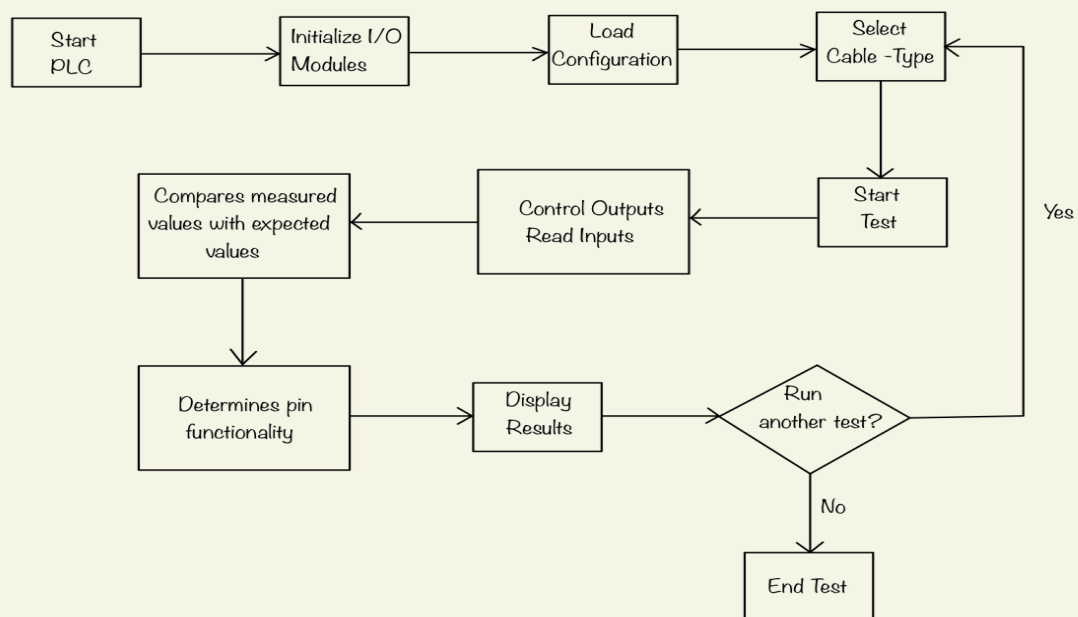
3.4.4 Tillverkning av Kortslutning

Vid tillverkning av kablar manuellt är vanligt förekommande problem kortslutning som uppstår då för mycket tenn används för att löda pins vid trångt avstånd. Iden med kortslutning mellan två pins kan ske på två olika sätt, en med två närliggande sammanlödda ledare horisontellt och andra vertikalt. Detta genomfördes för att se till att programmet upptäcker sammanlödning mellan exempelvis ledare 1 och 9 och inte endast närliggande ledare som exempelvis 3 och 4.

3.5 Hur fel detekteras

Verifieringen av kablagen utfördes genom att först tillverka två fungerade kablar med varsin kontakt. Dessa kopplades in i modulerna genom att koppla in ledarna med ändhylsor. Dessa ändhylsor sattes fast med hjälp av en crimptång. Genom att koppla in två kablar på detta sätt i modulerna kunde ett test-scenari skapas, i kablarna kommer en utsignal gå igenom alla 15 pins och sedan ge en input vidare. Mellan dessa två testkablar kopplas sedan den kabeln som man vill testa, se figur 3.1.

Efter att satt upp ett testscenario för att kunna testa kablar gick man in i online view i TwinCAT som visar vilka värden PLC:n ger ut i realtid. En funktion som användes för värden man själv skulle ändra heter "prepared value" som är en inbyggd funktion i TwinCATs testmiljö som var ett sätt att ge ett true respektive false värde för att kunna felsöka programmet. Testning av två olika scenarion samtidigt fungerade genom att koppla ihop kablarna, med andra ord en längre slinga av kablar som gav resultat som diskuteras vidare i nästa avsnitt.



Figur 3.5: Ett flödesschema av testningsmetoden. Metoden påbörjas genom att starta PLCn och initiera I/O moduler följt med att konfigurera programmet. Genom att koppla in en valfri kabel innan körning av test kommer PLCn kontrollera utsignaler samt läsa in insignaler med hjälp av modulerna, det leder till att PLCn jämför värden som mättes med de förväntade värden. Detta ger en slutsats på funktionaliteten av kabelns pins och sänder vidare resultatet genom HMI:t eller live view. Slutligen väljer användaren att starta om programmet eller avsluta hela testningen.

3.6 Programmerings implementation

Vid implementering och skrivandet av programmeringskoden i TwinCAT påbörjades processen genom att inläsa Beckhoff dokumentation och skriva testprogram för att få en fundamental förståelse för programmeringsspråket. Därefter skrevs pseudokod där logiken för programmeringskoden grundade sig i tre metoder som beskrev de tre huvudsakliga felen som kan uppstå i kablarna, avbrott (som kallades OC), korskoppling (som kallades WP) och kortslutning (som kallades SC). Ytterligare en metod som implementerades längre fram i implementeringen av programmeringskoden var metoden CMF som identifierar två eller fler sammanhängande fel. Denna metod implementerades för att kunna täcka scenarier där en och samma kabel har mer än ett fel eller i värsta fall alla tre fel.

För att kunna köra de tre huvudmetoderna skapades ett funktionsblock som för den digitala delen fick namnet "Test". Inom funktionsblocket "Test" implementerades koden för att köra en cykel av koden, där programmet gick igenom samtliga pins på kabeln och genom logiska IF-satser skrivna för de tre metoderna OC, WP och SC kunde felen upptäckas och lagras inom tre arrays som representerade felen för de tre scenarierna. Ifall ett avbrott fel upptäcktes så ersattes positionen i arrayen för OC till 1 istället för 0 som representerade alla fungerade pins i arrayen som inte har ett avbrott fel. Ifall ett korskopplings fel upptäcktes på en pinne så ersattes värdet på arrayen i den positionen med vart ledaren är kopplad. Exempelvis ifall pin 4 är kopplad till pin 5 och pin 5 är kopplad till pin 4 så ersätts position 4 i arrayen WP för korskoppling till 5 och position 5 till 4 och resterande positioner med nollor som representerar en fungerande pin som inte innehar ett korskopplingsfel. På liknande sätt fungerar även arrayen för kortslutning där ifall ett kortslutningsfel upptäcktes på en pinne så ersattes värdet på arrayen i den positionen med vart ledaren är kopplad. Utöver detta implementerades även en timer i funktionsblocket "Test" som möjliggjorde för programmet att kunna exekvera koden och för användaren att kunna följa med testet i TwinCATs online-view. Ytterligare en implementation inom funktionsblocket "Test" var implementeringen av en knapp som gjordes med hjälp av en boolean variabel. Genom att implementera en knapp kunde hela cykeln kod köras endast då knappen sattes till ett TRUE värde inom TwinCATs online view miljö. Slutligen så kördes funktionsblocket "Test" från MAIN metoden genom att anropa på funktionsblocket "Test". Genom att implementera de tre huvudmetoderna, metoden CMF samt funktionsblocket "Test" som kör en cykel av programmet kunde man successivt med hjälp av TwinCATs online-view kunna testa logiken för programmeringskoden genom att testa logiken med testkablarna för de tre huvudsakliga felen, se figur 3.4.

Efter färdig implementation av programmeringskoden för den digitala versionen och vid testning med testkablarna, upptäcktes att den var begränsad för ett scenario då en kabel innehar ett avbrott fel följt av en kortslutning på samma kabel. För den digitala delen så upptäcktes detta fel men registrerades som en korskoppling, se figur 2.5. Detta medförde att man vid implementeringen av den analoga delen kunde lösa detta problem. Vid implementering av programmeringskoden för den analoga delen så utnyttjades samma kod som den digitala men där justeringar gjordes inom funktionsblocket som kallades för "TestAnalog".

Eftersom koden tidigare var anpassad för att ge ett logiskt värde TRUE eller FALSE som output istället för en signal, så fick justeringar göras genom att hitta ett nominellt värde för de tre fallen av fel. Genom att testa med testkablarna vid TwinCATs online-view för den analoga delen kunde man hitta ett nominellt värde då där skickades in en utsignal med värdet 30000. För att beräkna de nominella värdet för vart och en av de tre felscenarierna för den analoga delen med modulen EL4134 som hade ett spänningsintervall som ligger på ± 10 V kunde följande ekvation användas för beräkningarna:

$$V_{ut} = \frac{D_{värde}}{32767} \cdot 10V \quad (5)$$

där V_{ut} är utsignalen beräknat i Volt (V), $D_{värde}$ är det digitala värdet av utsignalen och 32767 kommer från modulens upplösning på 16 bitar samt spänningsintervallet ± 10 V.

För ett avbrottsfel fick man en signal omkring 0 (0V) för en korskoppling och en fungerande signal runt 19000 (5.80V) och för en kortslutning ett värde omkring 200 (0.061V). Dessa värden fungerar som en procentuell gräns på spänningen genom kabeln. Värdet 30000 innebär att en spänning på runt 9.16V gick igenom kabeln medan ett värde 0 innebär att ingen spänning gick genom kabeln. Genom att justera IF-satserna för de olika metoderna kunde det anpassas ett intervall för signalen utifrån det nominella värdet för de olika scenarierna av fel och därmed få den analoga delen att upptäcka felet avbrott följt av kortslutning på en kabel.

3.7 HMI implementation

TwinCAT har en inbyggd funktion att implementera ett HMI-användargränssnitt. Denna implementering inleddes med att integrera två viktiga moduler från systemets Package Manager, TE2000, TwinCAT 3 HMI Engineering samt TF2000, TwinCAT 3 HMI Server. TE2000, TwinCAT 3 HMI Engineering ansvarar för själva plattformen där HMI:n byggs upp och TF2000, TwinCAT 3 HMI Server ansvarar för själva displayen som visas upp efter att man har konfigurerat sitt HMI.

Implementeringen av HMI-användargränssnittet började med att göra en skiss på hur displayen skulle se ut samt vilka funktioner som skulle finnas med. Det fanns viktiga faktorer som påverkade ritningen, en faktor var kravet på tillgänglighet för engelskspråkiga ingenjörer med begränsade kunskaper i svenska. Dessutom var det viktigt att göra gränssnittet

lättförståeligt för att tillåta nya operatörer att manövrera HMI-användargränssnittet, utan osäkerhet kring steg på användning. För att effektivisera arbetsflödet och möjliggöra parallell utveckling av HMI och skrivandet av programmeringskoden användes versionshanteringssystemet Git. Genom att skapa ett centralt lagringsutrymme kallat för repository, kunde mjukvaru-projektet sparas och uppdateras kontinuerligt mellan gruppen. Metoden innebar att den programmerare som färdigställde en del av koden kunde skicka sina ändringar (push) till servern. Andra parten kunde därefter hämta den senaste versionen (pull) till sin utvecklingsmiljö för att integrera HMI-funktionerna mot vad som var den nuvarande koden. Denna metod minimerade risken för kodkonflikter, tydliggjorde kommunikationen och optimerade utvecklingstiden för både den analoga logiken och operatör gränssnittet.

Vid implementeringen av HMI fanns där en "toolbox", vilket var en verktygslåda som innehöll alla figurer, tabeller och alla andra verktyg som kunde behövas till ett arbete. Från toolboxen hämtades olika funktioner som en knapp exempelvis, som skulle köra programmet så fort användaren interagerade med den. Bredvid toolbox fanns fliken "properties" som behövdes för att ändra egenskaperna hos objekt som exempelvis färgen eller storleken. Ytterligare en funktion var "TcHmiButton" som var verktygen som valdes för att få objekten att fungera enligt de förväntade resultaten.

Vid implementeringen av en knapp gjordes detta exempelvis genom att ge den ett valfritt namn, inom detta fall var namnet "StartStop", därefter en storlek så den ser passande ut. Nästa steg för att knappen skulle fungera som önskat var att ge den en handling som bestämde hur knappen skulle påverkas. Detta kunde göras genom ".onPressed" operationen som innebar att knappen gick från falskt till sant när den trycktes. Utöver de lades även ett villkor "Condition" till knappen, vilket i det fallet blev ".onPressed" operationen.

Nästa steg vid implementeringen av HMI-användargränssnittet var att visa funktionaliteten hos kablagens pins. I initiala skissen fanns en idé kring hur visualiseringen av detta skulle bli för att sedan kunna implementeras med HMI-användargränssnittet. Visualiseringen grundade sig kring att ha tre olika cirklar där var och en skulle representera de tre olika huvudproblemen. Utöver detta skulle det även finnas en till cirkel som visade det slutliga resultatet ifall kabeln är fungerande respektive icke fungerande för användning, se figur 4.2. Cirkelarna som skapades fanns redan i toolboxen där de kallades för "Ellipse". För att koppla ihop de användes data-binding funktionen igen och kopplade varje cirkel till respektive

variabel i koden som representerar resultatet av de olika felen. Detta kunde göras genom att exempelvis koppla avbrott variabeln "bCableFunctionalitySC", vilket ger booleska värden på vart enda pin i kabeln när den stöter på avbrott fel.

Ännu en funktion som behövde implementeras var färgningen av cirkelarna, för att visuellt kunna representera när kabeln stöter på ett fel av ett slag. Detta valdes att representeras genom att ge cirkelarna en grön färg vid en fungerande pin och rött när ett fel detekteras. För att lösa detta fick man helt enkelt skriva en enkel JavaScript kod som kontrollerar de olika scenarierna för problem som kan uppstå och sedan i realtid uppdaterar och ändrar färgen på cirkeln när ett fel detekteras. För att uppfylla kraven för färgerna skrevs koden enligt appendix A.

Kodens huvudsakliga logik grundar sig i att kontrollera booleska värdet på det befintliga indexet. Ifall indexet var falskt innebar det att det inte fanns några detekterade fel och det skulle ge ut färgen grön som representeras ("255,0,0,1). Ifall indexet gav ut en etta skulle cirkeln istället bli röd och betyda att ett fel hade uppstått. För att kontrollera att denna kod fungerar enligt de förväntade resultaten kunde man felsöka programmet för olika kablar se exempelvis figur 4.2 som visar ett scenario innan exekvering och se figur 4.3 som visar samma scenario efter exekvering. För att visualisera kabeln fel i realtid implementerades även grafiska representationer i HMI där varje ledare motsvarade en linje. Förändring likt föregående problem utfördes där svart färg representerade en aktiv ledare och transparens användes för att visa avbrott eller gömma aktiva ledare när ett fel skedde.

3.8 Källkritik

Informationen för detta examensarbete var taget från en mängd olika källor, allt från publikationer på företagets webbplatser, artiklar till utdrag ur vetenskapliga böcker, detta för att säkerställa en god källkritik. Nedan anges samtliga källor som använts för informationssökning inom examensarbetet samt går igenom hur man gått tillväga för att säkerställa en god källkritik genom hela rapportskrivandet.

Källorna [1], [2] och [5] är tagna från IEEE som är en databas för akademisk forskning främst inom elteknik. Materialet innehåller vetenskaplig fakta om examensarbetets problemformulering samt bakgrundsfakta om ämnet och är publicerad för att visa resultat på

studien. Materialet från IEEE är publicerat framförallt för akademiker som studerande, ingenjörer men även forskare i utbildningssyfte. Denna källan kan ses som trovärdig då det som publiceras på IEEE alltid granskas och kontrolleras innan publicering för andra akademiker.

Källa [3] är tagen från Landskrona Miljöforum som behandlar miljö och hållbarhetsfrågor inom kommunen och samverkar i samarbete med kommunen, vilket gör den pålitlig för informationsinhämtning. Landskrona Miljöforum fokuserar på företagets miljö och hållbarhetsarbete. Materialet innehåller fakta om BorgWarner och deras vision inom ett hållbart samhälle. Källan är tillgänglig för allmänheten, publicerad för att berätta om företaget BorgWarner.

Källa [4] är tagen från ACM Digital Library och är en pålitlig databas med vetenskapliga artiklar. Materialet innehåller vetenskaplig information som använts för examensarbetets problemformulering samt inom bakgrund kapitlet. Materialet är skrivet för allmänheten men riktar sig främst för akademiker som informationssökare inom teknologin. Detta material är publicerat för att ge insikt i hur dagens testning av kablage. Allt publicerat i deras databaser genomgår en granskningsprocess av forskare och experter inom fältet, vilket gör den pålitlig.

Källa [6] är ett utdrag ur en vetenskaplig bok skriven av Jacqueline Jarvis och Dennis Jarvis publicerad i Springer. Materialet innehåller information gällande PLC och PLC system. Materialet är skrivet i huvudsyfte för de som arbetar med hårdvarubaserade PLC-system som ingenjörer eller PLC programmerare. Materialet är publicerat i utbildningssyfte för att ge insikt i PLC-system. Källan är pålitlig eftersom den har upphovsrätt av springer, ett trovärdigt och relevant bokförlag.

Källa [7], [9], [11], [14], [15], [16] och [19] är tagna från Beckhoffs officiella webbplats för dokumentation, vilket gör den pålitlig för information om specifikationer kring deras hårdvaruprodukter. Materialet som publiceras på Beckhoffs hemsida är tillgängligt för allmänheten men riktar sig framförallt till deras kunder, vilket är tekniska företag inom automation. Materialet är publicerat för att ge insikt kring specifikationer och hur Beckhoffs hårdvaruprodukter fungerar.

Källa [8] är från EtherCAT Technology Group som är den officiella webbplatsen för EtherCAT, vilket gör den pålitlig för att informationsöka om EtherCAT. Källan användes för att hitta grundläggande information om EtherCAT och hur den fungerar. Materialet är publicerat framförallt för dokumentation i utbildningssyfte för den som arbetar med EtherCAT.

Källa [10] är tagen från Neuron Team vilket är specialiserade inom industriell IoT. Materialet innehåller teoretisk information om TwinCAT som använts inom examensarbetets teoriavsnitt. Materialet är skrivet framförallt för den som arbetar med TwinCAT-system som ingenjörer eller programmerare i utbildningssyfte. Källan har visats trovärdig då den innehåller teoretisk fakta som vid jämförelse överensstämde även med Beckhoffs egna dokumentationer.

Källa [12] är från DevTools som är ett företag som arbetar med mjukvaruverktyg. Källan anger grundläggande information om mjukvaru verktyget bitbucket. Materialet är skrivet för allmänheten men framförallt de som arbetar med mjukvara som programmerare eller mjukvaruingenjörer. Materialet är publicerat i utbildningssyfte om fundamental information om mjukvaru verktyget bitbucket. Denna källan har endast använts för att samla grundläggande information om vad bitbucket är och har för att granska informationen i källkritiskt syfte även kontrollerats med ingenjörer på BorgWarner.

Källa [13] är tagen från Mascots webbplats, företaget tillverkade strömkällan som användes för detta examensarbete, vilket gör den pålitlig för informationssökning om specifikationer gällande produkten. Källan innehåller databladet och egenskaper över deras strömkällor. Företag som arbetar med elektroteknik och industri använder sig av specifikationer och datablad av detta material. Materialet är publicerat för att uppfatta komponenternas egenskaper som strömförbrukning och spänning.

Källa [17] är taget från KiCads egna webbplats. Från källan hämtades information om KiCad och dess funktionalitet, vilket var pålitligt för att inhämta information om hur KiCad fungerar. Den källan är publicerad för tekniskt insatta individer som arbetar med tekniska ritningar som konstruktörer. Materialet är publicerat för att få bättre förståelse över verktyget och dess användning.

Källa [18] är tagen från Seetronic, ett företag som producerar kablar och anslutningslösningar. Materialet från källan innefattar allmän fakta om hur XLR kabeln är uppbyggd och finns för allmänheten och för de som generellt är intresserade av information om olika typer av kablage. Materialet är publicerat i utbildningssyfte om kablage. Källan anses som trovärdig då företaget själva konstruerar kablar och tillverkar den typen av kablage och har en förståelse över uppbyggnaden.

4.Resultat

Detta kapitel presenterar resultaten från den implementerade kabel-verifieringsenheten. Fokuset ligger på att detektera olika feltyper i kablage samt hur dessa resultat visualiseras i TwinCATs live-view miljö samt HMI användargränssnittet. För varje testscenario presenteras utfallet samt visualiseringen i HMI:t.

4.1 Rapportering av data

Innan testningen av kablage visade monitoring window värdet noll på alla pins se figur 4.1. Vid test av en avbruten ledare visade testresultaten en etta på insignalen, annars var det en nolla som innebar att inga fel upptäcktes (se tabell 4.1, test 1 och test 2). För kortslutna kablar blev resultatet vilka andra pins den var kortsluten med. (se tabell 4.1, test 3 och test 4). Korskopplingar visade insignalen på den felaktiga pinnen som blev kopplad (se tabell 4.1, test 5 och test 6). En XLR-kabel testades och gav ut rätt resultat för en fungerande (se tabell 4.1, test 7 och test 8) samt en kabel med samtliga fel (se tabell 4.1, test 9 och test 10).

Expression	Type	Value	Prepa...	Addr...	Com...
bOneCycle	BOOL	TRUE			
bButton	BOOL	FALSE	TRUE		
nPin	INT	15			
i	INT	1			
j	INT	0			
timer	TON				
tTime	TIME	T#1s			
bTime	BOOL	FALSE			
aArrayOC	ARRA...				
aArrayOC[1]	INT	0			
aArrayOC[2]	INT	0			
aArrayOC[3]	INT	0			
aArrayOC[4]	INT	0			
aArrayOC[5]	INT	0			
aArrayOC[6]	INT	0			
aArrayOC[7]	INT	0			
aArrayOC[8]	INT	0			
aArrayOC[9]	INT	0			
aArrayOC[10]	INT	0			
aArrayOC[11]	INT	0			
aArrayOC[12]	INT	0			
aArrayOC[13]	INT	0			
aArrayOC[14]	INT	0			
aArrayOC[15]	INT	0			
aArraySC	ARRA...				
aArrayWP	ARRA...				
bCableFunctionalityOC	BOOL	TRUE			
bCableFunctionalitySC	BOOL	TRUE			
bCableFunctionalityWP	BOOL	TRUE			
bCableFunctionality	BOOL	TRUE			
testLastValueWP	BOOL	TRUE			
testLastValueOC	BOOL	TRUE			
testLastValueSC	BOOL	TRUE			
aPinInputs	ARRA...			%I*	
aPinOutputs	ARRA...			%Q*	

Figur 4.1: Monitoring Window i TwinCAT där samtliga test 1-10 har körts.

Tabell 4.1: Sammanställning av resultat från test 1 till 10. aArray[1] till aArray[15] tillståndet för vardera pin i kabeln, 0-fungerande pin, 1-etta icke fungerande pin. För korskopplingsfall samt korskopplingsfall samt kortslutningsfall representerar nolla samtliga fungerande pins och alla andra siffror fel på respektive pin: bcableFunctionalityOC - ett avbrottsfel (OpenCircuit - OC); bCableFunctionalitySC - ett kortslutningsfel(Short Circuit - SC); bCableFunctionalityWP - ett korskopplingsfel (Wrongly pinned) där T (TRUE) är fungerande pin och F (FALSE) icke fungerande pin med respektive fel. bCableFunctionality beskriver. IE - Innan exekvering, EE - Efter exekvering.

	Test 1: OCH IE	Test 2: OC EE	Test 3: SC IE	Test 4: SEC E	Test 5: WP IE	Test 6: WP EE	Test 7: 7-polig fungerandeXLR-kabel IE	Test 8: 7-polig fungerande XLR-kabel EE	Test 9: 7-polig icke fungerande XLR-kabel IE	Test 10: 7-polig icke fungerande XLR-kabel EE
aArray[1]	0	1	0	2	0	0	0	0	0	2
aArray[2]	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
aArray[3]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
aArray[4]	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3
aArray[5]	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
aArray[6]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aArray[7]	0	0	0	8	0	0	0	0	0	1
aArray[8]	0	1	0	7	0	0	0	1	0	1
aArray[9]	0	1	0	0	0	10	0	1	0	1
aArray[10]	0	0	0	0	0	9	0	1	0	1
aArray[11]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
aArray[12]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
aArray[13]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
aArray[14]	0	0	0	15	0	0	0	1	0	1

aArray[15]	0	1	0	14	0	0	0	1	0	1
bCableFunctionalityOC	T	F	T	T	T	T	T	F	T	F
bCableFunctionalitySC	T	T	T	F	T	T	T	T	T	F
bCableFunctionalityWP	T	T	T	T	T	F	T	T	T	F
bCableFunctionality	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F

Test 1 : Arrayen “OC” (Open Circuit) innan exekvering.

Test 2: Arrayen “OC” (Open Circuit) efter exekvering. Resultatet visade att ledare 1,8,9,15 var avbrutna och saknade kontakt, vilket stämde överens med kabelns konstruktion. Nedan ser man att variabeln bCableFunctionality gav värdet false, vilket innebar att kabeln var icke fungerande.

Test 3: Arrayen “SC” (Short Circuit) innan exekvering.

Test 4: Arrayen “SC” (Short Circuit) efter exekvering. Resultatet visade att ledare 1 och 2, 7 och 8 samt 14 och 15 var kortslutna med varandra vilket stämde överens med kabelns konstruktion. Nedan ser man samtliga variabler för SC med FALSE värden.

Test 5: Arrayen “WP” (Wrongly Pinned) före exekvering.

Test 6: Arrayen “WP” (Wrongly Pinned) efter exekvering. Resultatet visade att ledare 5 var kopplad till ledare 4:s input och tvärtom medan den 10:de ledaren var kopplad till ledare 9:s input och tvärtom. WP variablerna visade false.

Test 7: Test på en fungerande 7-polig XLR-kabel innan exekvering.

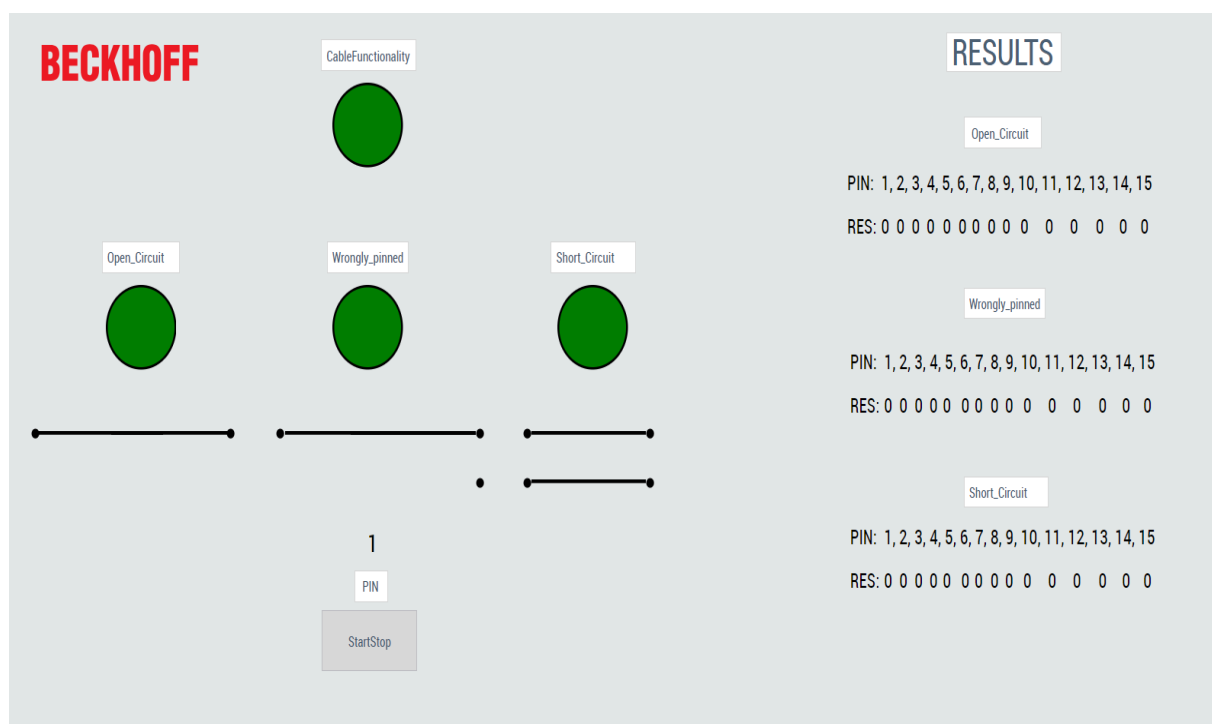
Test 8: Test på en fungerande 7-polig XLR-kabel efter exekvering. Resultatet visade 0or på samtliga Arrays förutom Open Circuit (OC) Arrayen som visade positivt på fel från ledare 8-15, ett förväntat fel.

Test 9: Test av en icke fungerande 7-polig XLR-kabel innan exekvering.

Test 10: Test av en icke fungerande 7-polig XLR-kabel med samtliga fel efter exekvering. Resultatet visade kortslutning mellan ledare 1 och 2, fel pin anslutning mellan ledare 3 och 4 samt menat avbrottsfall på ledare 7 följt med förväntade avbrottsfall från ledare 8-15.

4.2 Rapportering av HMI-data

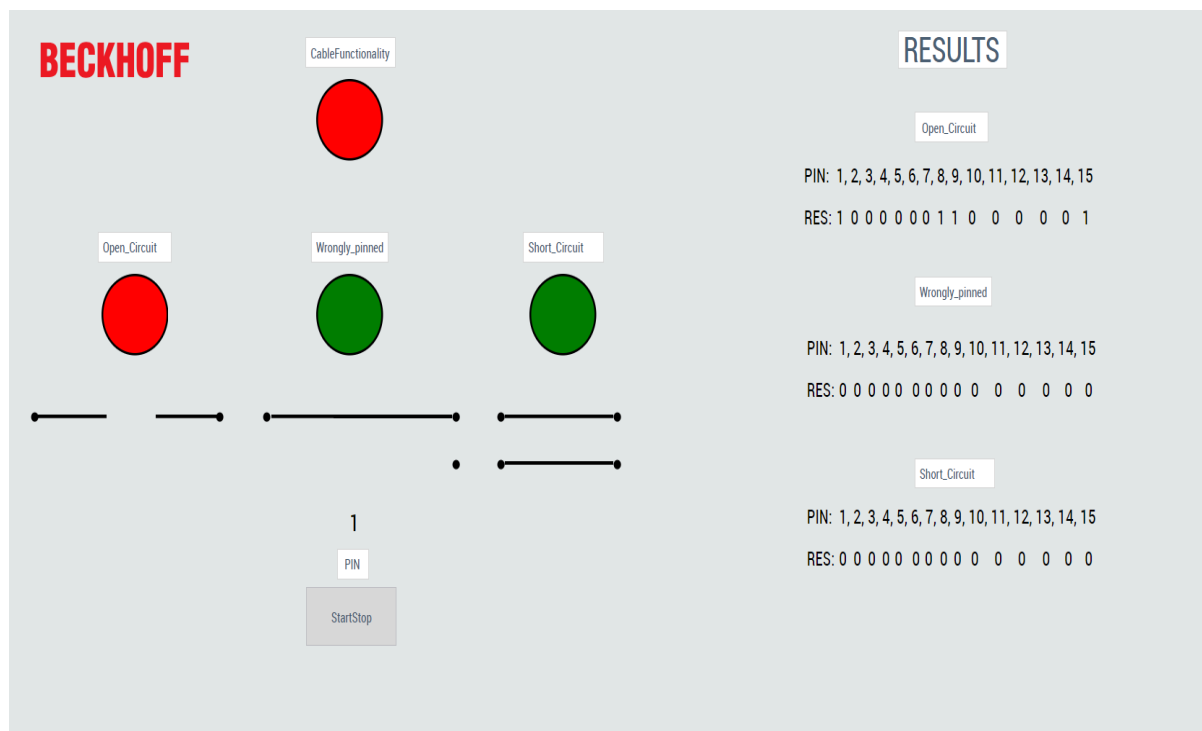
HMI skärmen innehöll fyra cirklar som representerar kabelns status. Tre av cirkarna motsvarar respektive felscenario (avbrott, korskoppling och kortslutning), medan den fjärde visade kabelns övergripande funktionalitet. För att förenkla tolkningen av resultatet indikerade grön färg att den pin/kabel fungerade som förväntad medan rött innebar detekterat fel/ej fungerande pin. Ifall det blev rött på respektive felscenario en gång under testet skulle fjärde cirkeln (CableFunctionality) hålla sig röd under hela testet som slutresultat på att kabeln är defekt. Samtliga tester har samma display före exekvering, se figur 4.2.



Figur 4.2: Live view på HMI:t före exekvering.

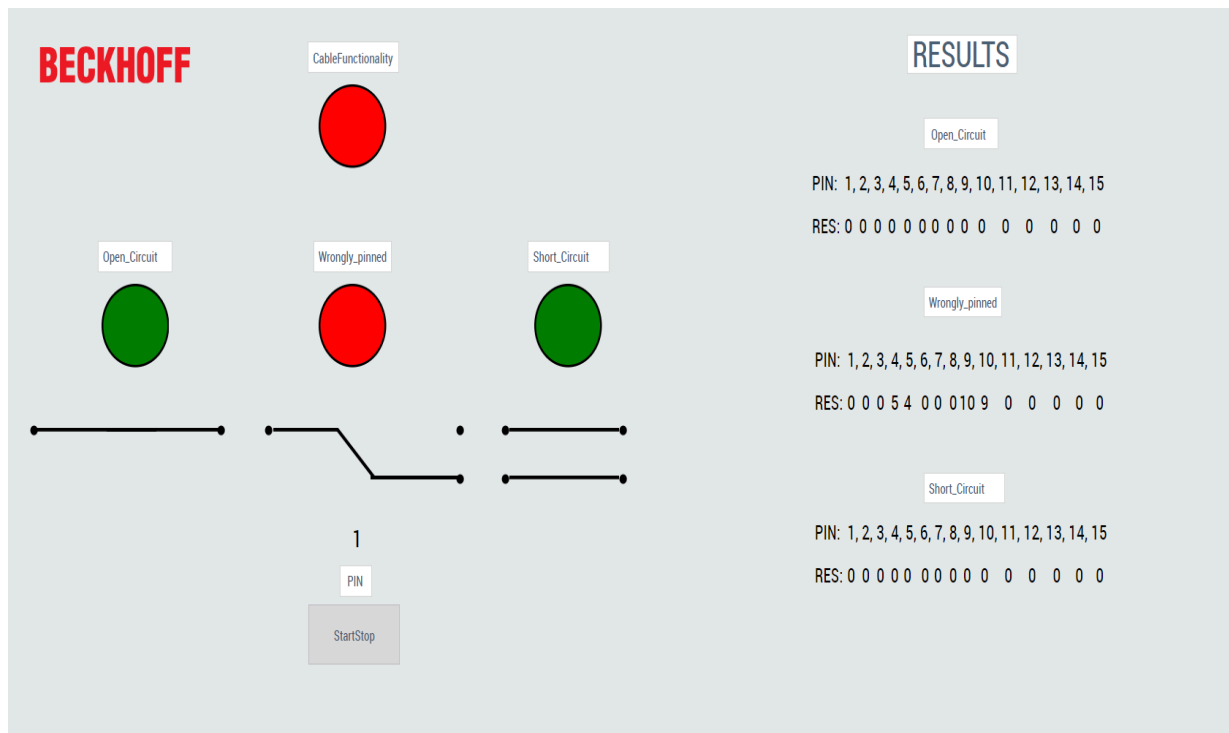
För att ytterligare tydliggöra informationen på HMI-skärmen implementerades en visuell representation av ledarnas tillstånd i kabeln. Det första scenariot visade en rak linje i normalt

tillstånd. Denna raka linje var gjord av tre olika mindre linjer, där den mellanliggande växlad från svart till transparent, vilket indikerade avbrott i ledaren, se figur 4.3.



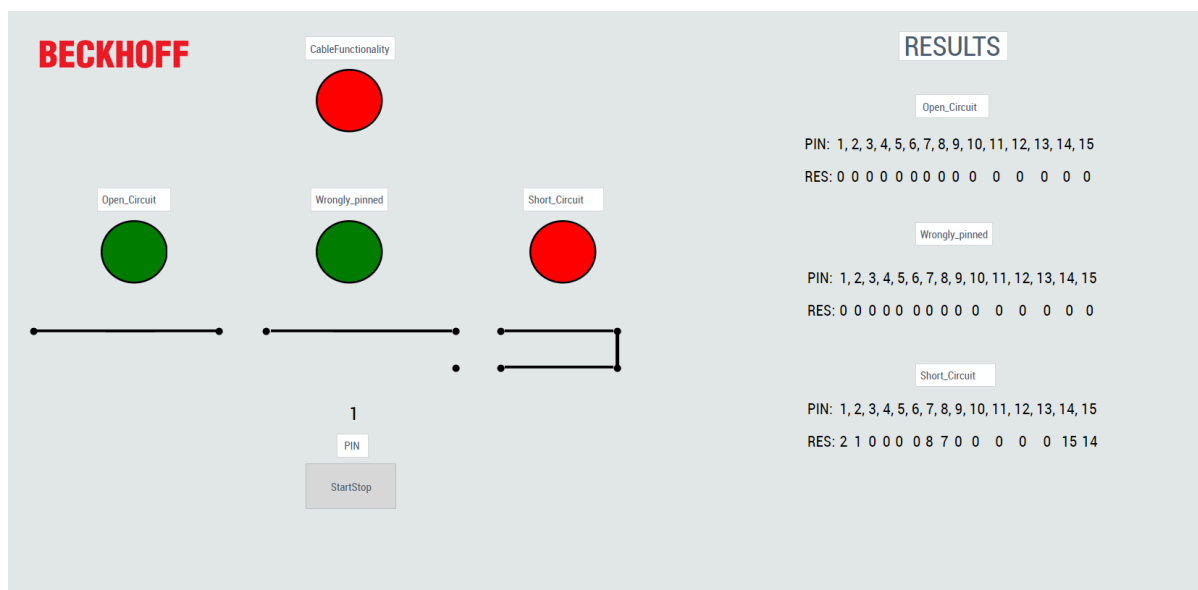
Figur 4.3: Utseende på displayen efter exekvering av kabel med avbrutna ledare. Open-Circuit cirkeln blev röd vid varje avbruten ledare medan CableFunctionality höll sig röd från den första avbrutna ledaren (pin 1). Matrisen till höger visar resultat (RES) på att pin 1,8,9,15 saknade kontakt vilket innebar ett godkänt test.

I normalt tillstånd består det andra scenariot av två sammankopplade horisontella linjer. Vid detektering av en korskoppling deaktiverades det högra segmentet genom att den bytte färg från svart till transparent. Istället ersattes den av en diagonal länk som gör vice versa efter att den har indikerat korskoppling. Denna nya länk kopplar ihop det vänstra segmentet med den parallella linjen för att ge ett exempel på en utsignal som kopplats till fel ingång, se figur 4.4.



Figur 4.4: Utseende på displayen efter exekvering av kabel med korskoppling. *Wrongly pinned* cirkeln blev röd vid varje pin den hittade en korskoppling medan *CableFunctionality* höll sig röd vid första indikering för att visa att kabeln i sin helhet är defekt.

Sista scenariot om kortslutning fanns två parallella segment i horisontell linje i normalt tillstånd. När ett fel detekterades växlande en koppling mellan de två segment från transparent till svart vertikalt som sammankopplade de två linjerna, den linjen reresenterade hur signaler flöt mellan de två leden, se figur 4.5.



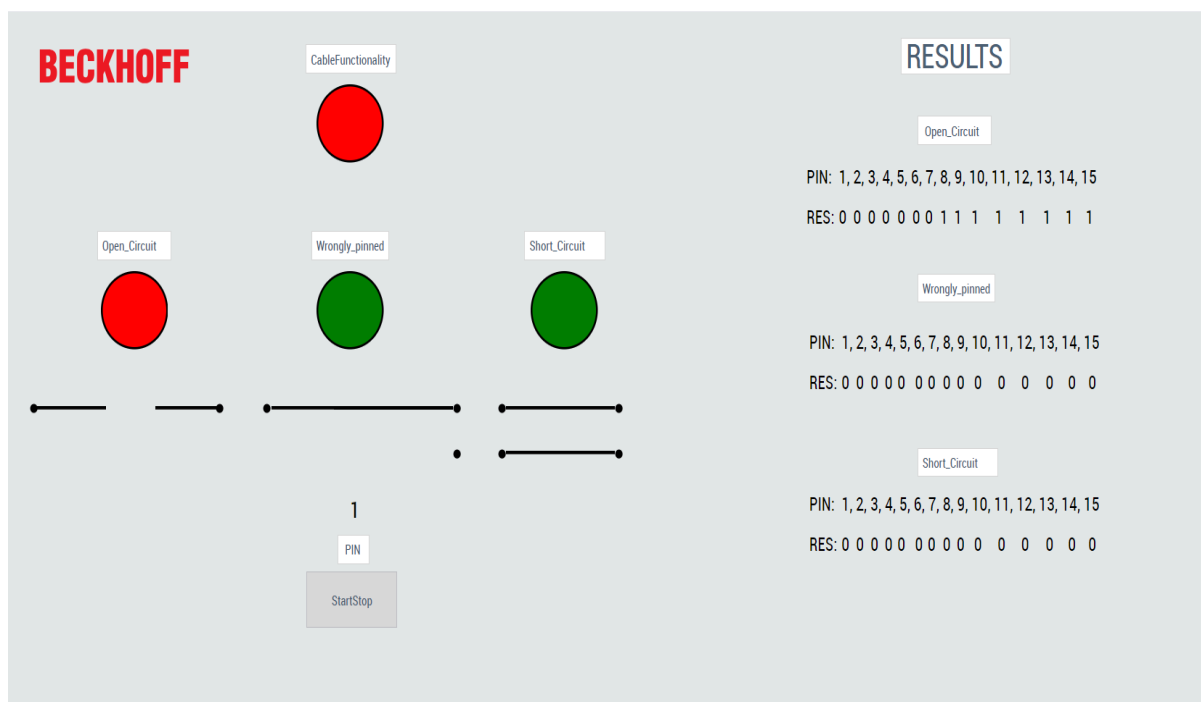
Figur 4.5: Utseende på displayen efter exekvering av kabel med kortslutning. Short_Circuit cirkeln blev röd vid varje kortslutningsfall och som andra tester blev CableFunctionality röd vid första kortslutningsfallet (pin 1) och indikerade att kabeln i helhet var defekt.

Till höger om displayen fanns en matris som förtydligade vilka pins där felen uppstod. Matrisen hade två parallella rader av siffror, där den översta raden föreställde uppräknings av 15 pins, medan den nedre var binär räkning där en nolla innebar en fungerande pin och etta tvärtom. Matrisen hade totalt tre par av rader, ett för respektive felscenario.

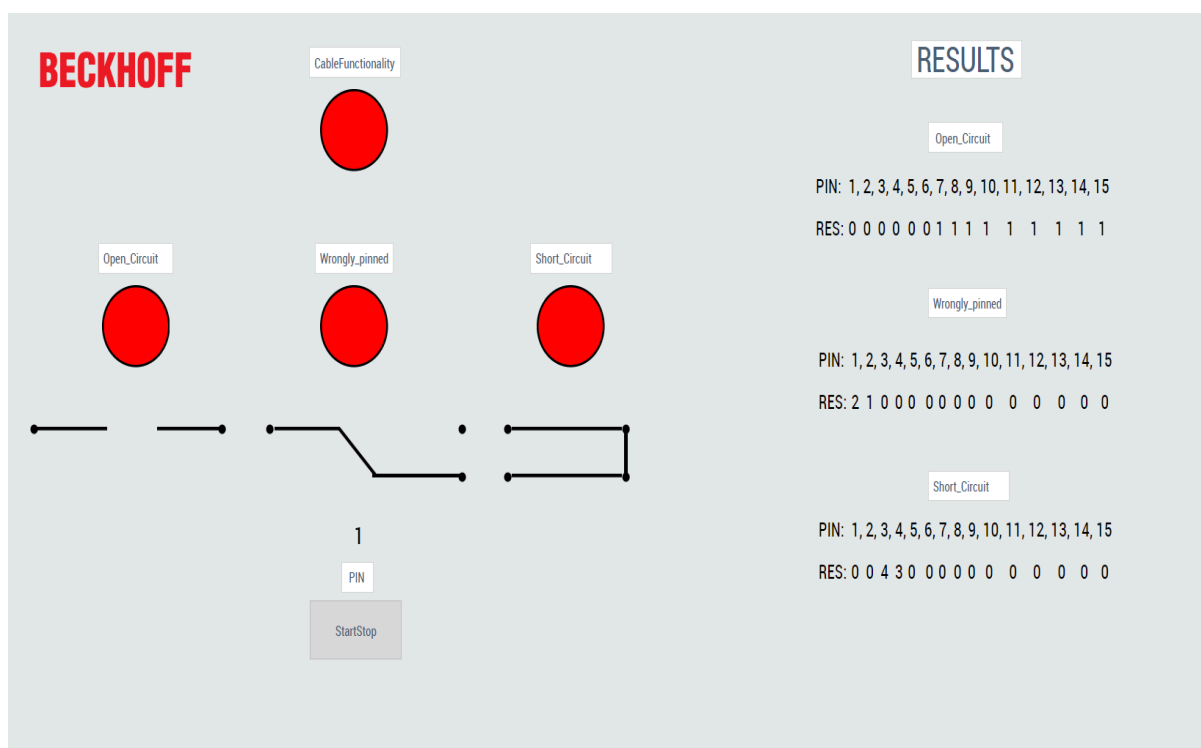
4.3 Prestanda och tillförlitlighet

Vid manuell testning av kablage med en multimeter visade sig ett par tester ta flera minuter per kabel och ge otydlighet kring resultatet. Kabel-verifieringsenheten kunde istället ge en större tydlighet av resultatet samt reducera testtiden med ungefär 90%. Efter flera tester dagligen kom man fram till att en manuell mätning på en kabel med samtliga fel tog ungefär två minuter och 10 sekunder medan kabel-verifieringsenheten gav samma godkända resultat på endast 15 sekunder för ett långsamt test där testaren kunde följa med vad som sker på en bra takt. Samtliga tänkbara fall gav rätt resultat med den analoga versionen, till skillnad från den digitala som gav rätt på alla tester förutom fallet där en utsignal skickas från en avbruten ledare vidare till en kortslutning.

Vid test av en funktionell XLR-kabel visade HMI-användargränssnittet samma resultat som för DB15. En skillnad på resultatet av en XLR var avbrottsfall som visades för alla pins efter den sjunde, se figur 4.6 och 4.7.



Figur 4.6: Utseende av display efter exekveringen av en fungerande 7-polig XLR-kabel. Matrisen visar att de flesta tester godkändes förutom avbrott fallet som visade det förväntade resultatet, avbrott från pin 8-15.



Figur 4.7: Utseende av display efter exekveringen av en 7-polig XLR kabel med samtliga fel. Matrisen visade ett avbrott fel på pin 7 som bestod av ett menat avbrott på pin 7, men även de förväntade avbrott felen från pin 8-15.

5. Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultatet i förhållande till examensarbetets syfte, vilket var att implementera en fungerande kabel-verifieringsenhet som validerade olika problem som kunde uppstå i en kabel. Dessutom diskuteras hur examensarbetet kan utvecklas i framtiden och lite kort kring etiska aspekter.

5.1 Resultatdiskussion

Resultatet var en välfungerande testenhet som fungerade för följande fall:

- Avbrott
- Korskoppling
- Kortslutning
- Avbrott + korskoppling
- Avbrott + kortslutning
- Kortslutning + korskoppling
- Kortslutning + avbrott
- Korskoppling + kortslutning
- Korskoppling + avbrott
- Alla fel samtidigt

Detta var huvudprincipen av testenheten och vad som förväntades att ske i slutet av examensarbetet, vilket innebar att systemet uppfyllde de uppställda kraven.

Resultatet som förväntades nåddes genom att inte begränsa sig till endast en digital mätning, eftersom vissa fall som avbrott + kortslutning var fall som inte kunde läsas genom enbart digitala mätsignaler. Det som hände gällande detta fall var att eftersom ett avbrott som avbröt kontakten till en av pinsen följt med en kortslutning innebar en signal i två pins, fick enheten att tro att systemet var korskopplat, se figur 2.5. Varken avbrottet eller kortslutningen definierades. Genom att istället implementera en analog mätning kunde detta problemet lösas genom att kontrollera signalens styrka, till skillnad från den digitala som endast tittar ifall det fanns en signal och vart den hamnade.

Ett resultat som inte lyckades var mätningar som XLR kabeln gav ut. Som tidigare nämnt i resultatavsnittet (figur 4.6 och 4.7) gav slutliga mätningen av en XLR kabel avbrottsfall på pins från 8-15. Detta var ett förväntat fel eftersom en sju-polig XLR endast gav ut signaler till sju pins, resten saknade kontakt som sågs som avbrottsfall.

5.2 Metoddiskussion

Att börja med implementeringen av den digitala delen var ett bra val som fick processen att bli mer effektiv och gjorde sedan implementering av den analoga delen enklare. Modulerna som valdes för enheten var fungerande och passade bra med examensarbetets krav. TwinCAT var en bra PLC till examensarbetet men var rätt svår att begripa från början, vilket ledde till en långsammare utvecklingsprocess. När det kommer till programmering och funktioner var det väldigt begränsat när det gällde dokumentationer, särskilt när det handlade om HMI och hur den används. Kablagen som tillverkades manuellt för att testa logiken av programmet gav resultat som förväntades och de scenarierna som implementerades räckte för att verifiera alla sorts problem en kabel kan innehålla.

5.3 Begränsningar

En begränsning som uppstod under examensarbetet var användningen av en multiplexer som skulle göra det möjligt att se de 15 olika ingångarna för den analoga delen. Eftersom man inte hade tillgång till multiplexern behövdes examensarbetet begränsas med en modul med fyra insignaler som kunde testa ifall programmeringskoden för den analoga delen fungerade som förväntat. Samtliga fel testades på de fyra insignalerna och gav förväntat resultat. En annan begränsning var att testenheten inte kunde detektera i vilken ände kabeln hade de verifierade felen, detta påverkade inte företagets krav då målet var att endast behålla fungerande kablar.

5.4 Antaganden

Examensarbetet utgick från att de vanligaste felscenarierna på en kabel är avbrott, kortslutning och korskoppling. Dessutom utgick man från att inga störningsproblem från exempelvis kabelns längd skulle påverka resultaten från testningen. Andra antaganden gjordes som att testenhetsens moduler alltid var hela och väl fungerande under körning av kod.

Ytterligare ett antagande var att resultatet på HMI-displayen är tydligt och ger den information testarna behöver.

5.5 Framtida utvecklingsmöjligheter

Även om examensarbetet ansågs som lyckat fanns det vissa implementeringar och framtida planer som kan utföras för att göra enheten bättre och mer precis. Nedan diskuteras framtida planer för enheten och på vilket sätt de hade utvecklat kabel-verifieringsenheten.

5.5.1 Förbättringar gällande HMI

En förbättring för HMI displayen till nästa gång var att tillsätta en dropbox som ger olika alternativ till användaren angående vilken kabel den försöker testa. En sådan dropbox kan ta bort förvirringen från testningen av XLR-kabeln som gav ut avbrottsfall på alla pins efter den sjunde. Dropboxen kan innehålla flera kabelvarianter som DB9, XLR med tre pins och med mera, det hade gjort testerna ännu snabbare och tydligare för användaren.

5.5.2 Förbättringar gällande kabel-verifieringsenheten

En förbättring för kabel-verifieringsenheten kopplat till förra delkapitelet gällande HMI:et är att flera metoder kan implementeras för flera kabelscenarier. Detta skulle möjliggöra att sedan kunna länka dem till HMI:et som variabler. En viktigare utveckling är att få in multiplexern som saknades för att genomföra testningen av alla pins i vald kabel för den analoga delen.

5.6 Etiska aspekter

I detta examensarbete har man varit uppmärksamma inom flera etiska aspekter, särskilt inom sekretess och samhällsnytta. Nedan diskuteras dessa ämnen och varför de var viktiga att tänka på under examensarbetet.

5.6.1 Sekretess/ konfidentiell information

Eftersom examensarbetet utfördes i samarbete med Borgwarner, innebar det att viss information gällande företagets projektkoder, ritningar och lösningar omfattades som sekretess. Detta var inget som förhindrade arbetsprocessen eftersom företag erbjöd jobbdatorer där all kommunikation i gruppen skedde på ett konfidentiellt sätt.

Jobbdatorerna hade vissa begränsningar vid anslutning till extern nätverk. Exempel på det var hur bilder från teams inte var synliga när man logga in med privat nätverk. Problemet med detta var att det påverkade takten på skrivandet, lösningen var att ta många bilder som kunde behövas för rapporten och skicka dem från företagets mejl till ens privata mejl.

5.6.2 Samhällsnytta

Kabel-verifieringenheten kommer bidra till ökad effektivitet och mindre risk för mänskliga fel. Detta kan leda till minskad resursförbrukning och sparad tid. Ur ett etiskt perspektiv är detta positivt då den förbättrar kvaliteten och ger en mer hållbar användning av både tid och materialförbrukning.

6. Slutsats

Syftet med detta examensarbete var att tillverka en automatisk kabel-verifieringsenhet med förmågan att kunna validera funktionaliteten i en kabel och detektera potentiella fel scenarier. Dessutom var målet att kunna läsa ut både digitala och analoga signaler.

Resultatet visade att systemet uppfyller sitt syfte. Enheten kunde verifiera de tre olika felen, avbrott, korskopplingar och kortslutningar både individuellt och när de kombinerades ihop. Dessutom visualiserades resultatet med ett HMI-användargränssnitt som visade vilka pins felen låg på, hur scenariot kan se ut i kabeln och även ifall kabeln är användbar.

Begränsningen av multiplexer gjorde det svårare att fortsätta implementeringen av analogt HMI och behöver justeras i framtiden för att enheten ska vara hel för användning. Andra begränsningar som testning av kablage med pins mindre än 15, fick fel att upplysas även om de inte fanns.

För att lösa dessa begränsningar och få en komplett enhet var målet att skriva fler metoder som skulle länkas vidare till en dropbox i HMI:t, en funktion som får användaren att välja antalet pins som skall testas. Sammanfattningsvis visade det sig att kabel-verifieringsenheten var en bra lösning för effektivisering av tid och resurser.

7.Terminologi

OC (Open circuit) = Ingen elektrisk kontakt i en ledare.

WP (Wrongly pinned) = Felaktig koppling mellan pins.

SC (Short circuit) = Sammankoppling mellan ledare.

HMI (Human Machine Interface) - Ett sätt att få användaren att interagera med hårdvaran.

D-sub (D-subminiature) - Typ av kablage, format som ett "D"

XLR - Typ av kablage, cirkelformat.

PLC (Programmable Logic Controller) - Industriell styrenhet.

TwinCAT- Programmeringssida för Beckhoff

Array - Lista som lagrar flera värden.

8.Källförteckning

[1] IEEE. (u.å.). *IEEE at a Glance*.

<https://www.ieee.org/about/at-a-glance#:~:text=IEEE%20is%20the%20world%27s%20largest,and%20professional%20and%20educational%20activities> (Hämtad: 2026-04-02).

[2] Sun, H. & Jia, C. (2019). Design of a Multi-interface Telecommunication Cable Tester: *2019 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data, & Smart City (ICITBS)*. Changsha, Kina, 12-13 januari 2019. IEEE.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8669626> (Hämtad: 2026-04-02).

[3] Landskrona Miljöforum. (2026). *BorgWarner Sweden AB*. Landskrona Miljöforum.

<https://www.landskronamiljoforum.se/borgwarner-sweden-ab/> (Hämtad: 2026-01-09).

[4] Zhou, G., Lou, Y., Chen, Y., Hu, Y., Huang, J. & Wang, C. (2023). Development of Multi-Interface Tester for Controllers: *2023 5th International Conference on Internet of Things, Automation and Artificial Intelligence*. Nanchang, Kina, november 2023. ACM.

<https://dl.acm.org/doi/fullHtml/10.1145/3653081.3653142> (Hämtad: 2026-04-11)

[5] Saxena, A., Ali, A. & Abdulsada, Z. R. (2023). Integration of PLC and Robotic Operating System for Enhanced Automation Efficiency: *2023 2nd International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*. Belagavi, Karnataka, Indien, 24-24 november 2023.

IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10425707>

(Hämtad: 2026-04-11)

[6] Jarvis, J. & Jarvis, D. (1996). Life Cycle Support for PLC Controlled Manufacturing Systems. I: Storr, A. et al. (red.), *Software Engineering for Manufacturing Systems*. Springer Science+Business Media Dordrecht, s 15-26.

https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-0-387-35060-8_2?pdf=chapter+toc

(Hämtad: 2026-04-12)

[7] Beckhoff. (u.å.). *TE1000 Twincat 3 Engineering*. Beckhoff Automation.

<https://www.beckhoff.com/sv-se/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te1000.html> (Hämtad: 2026-04-19)

- [8] EtherCAT Technology Group. (u.å.). *Why use EtherCAT?*. EtherCAT Technology Group. https://www.ethercat.org/en/why_use_ethercat.htm (Hämtad: 2026-04-19)
- [9] Beckhoff. (u.å.). *TwinCAT 3 Product overview*. Beckhoff Information System. https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_overview/4275768971.html&id= (Hämtad: 2026-04-22)
- [10] Neuron Team. (2023). *TwinCAT: Evolution, Architecture, and Its Synergy with MQTT*. EMQX. <https://www.emqx.com/en/blog/twincat-protocol#what-is-twincat> (Hämtad: 2026-04-22)
- [11] Beckhoff. (u.å.). *TE2000 TwinCAT 3 HMI Engineering*. Beckhoff Automation. <https://www.beckhoff.com/sv-se/products/automation/twincat/texxxx-twincat-3-engineering/te2000.html> (Hämtad: 2026-04-22)
- [12] Kumar, P. (u.å.). *What is Bitbucket: Definition, Importance & How It Works?*. DevTools. <https://devtools.in/blog/bitbucket/> (Hämtad: 2026-04-26)
- [13] Mascot. (u.å.). *Power Supplies*. Mascot. <https://www.mascot.no/products/power-supplies> (Hämtad: 2026-04-26)
- [14] Beckhoff. (u.å.). *EL1859 EtherCAT Terminal, 8-channel digital input + 8-channel digital output, 24 V DC, 3 ms, 0.5 A*. Beckhoff Automation. <https://www.beckhoff.com/sv-se/products/i-o/ethercat-terminals/el-ed1xxx-digital-input/el1859.html> (Hämtad: 2026-04-30)
- [15] Beckhoff. (u.å.). *EL3174 EtherCAT Terminal, 4-channel analog input, multifunction, $\pm 10\text{ V}$, $\pm 20\text{ mA}$, 16 bit*. Beckhoff Automation. <https://www.beckhoff.com/sv-se/products/i-o/ethercat-terminals/el-ed3xxx-analog-input/el3174.html> (Hämtad: 2026-05-02)

[16] Beckhoff. (u.å.). *EL4012 EtherCAT Terminal, 2-channel analog output, current, 0...20 mA, 12 bit*. Beckhoff Automation.

<https://www.beckhoff.com/sv-se/products/i-o/ethercat-terminals/el-ed4xxx-analog-output/el4012.html> (Hämtad: 2026-05-02)

[17] KiCad. (u.å.). *About KiCad*. KiCad EDA. <https://www.kicad.org/about/kicad/>

(Hämtad: 2026-05-02)

[18] Seetronic. (2025). *Vad är en XLR-kontakt: Din kompletta guide till ljudanslutningar*.

Seetronic. <https://seetronic.com/sv/blog/what-is-an-xlr-connector/#:~:text=XLR%2Dkontakter%20%C3%A4r%20viktiga%20komponenter%20i%20professionell%20ljudutrustning,att%20minimera%20st%C3%B6rningar%20%C3%A4ven%20> (Hämtad: 2026-05-12)

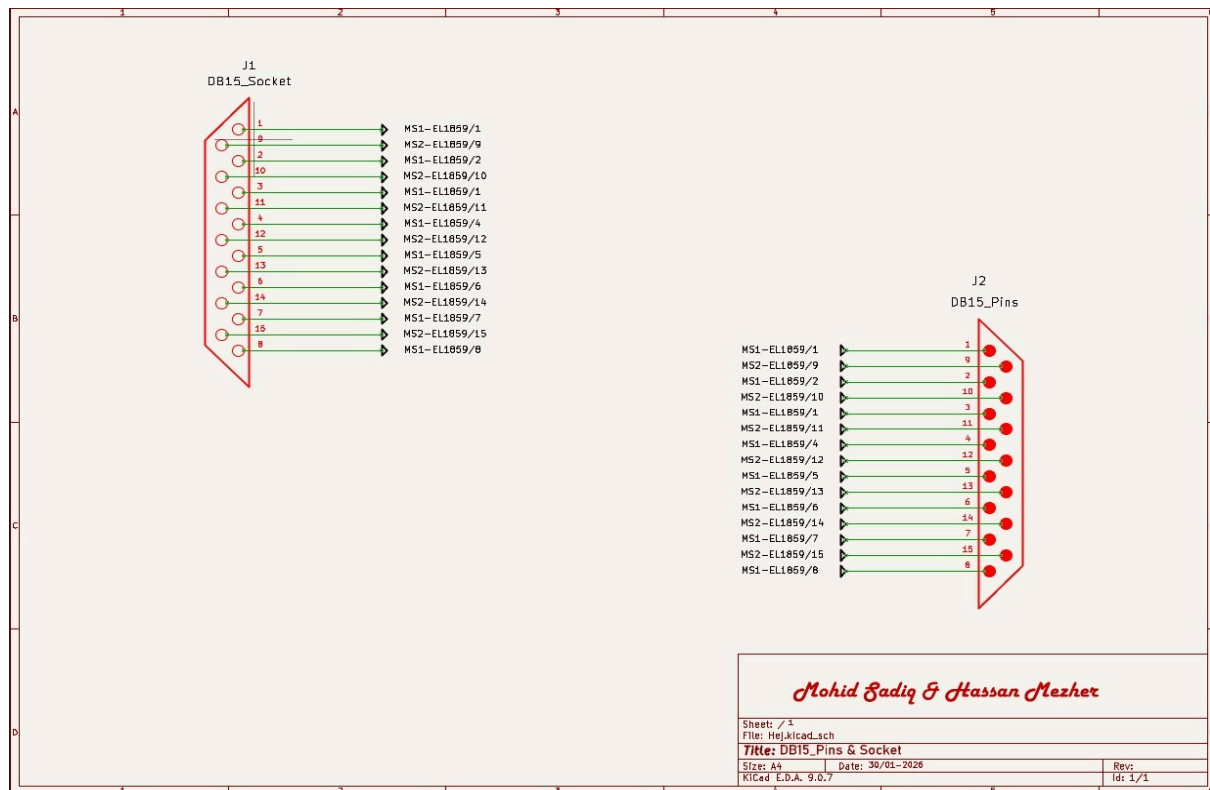
[19] Beckhoff. (u.å.). *EL4134 EtherCAT Terminal, 4-channel analog output, voltage, $\pm 10 V$, 16 bit*. Beckhoff Automation.

<https://www.beckhoff.com/sv-se/products/i-o/ethercat-terminals/el-ed4xxx-analog-output/el4134.html> (Hämtad: 2026-05-12)

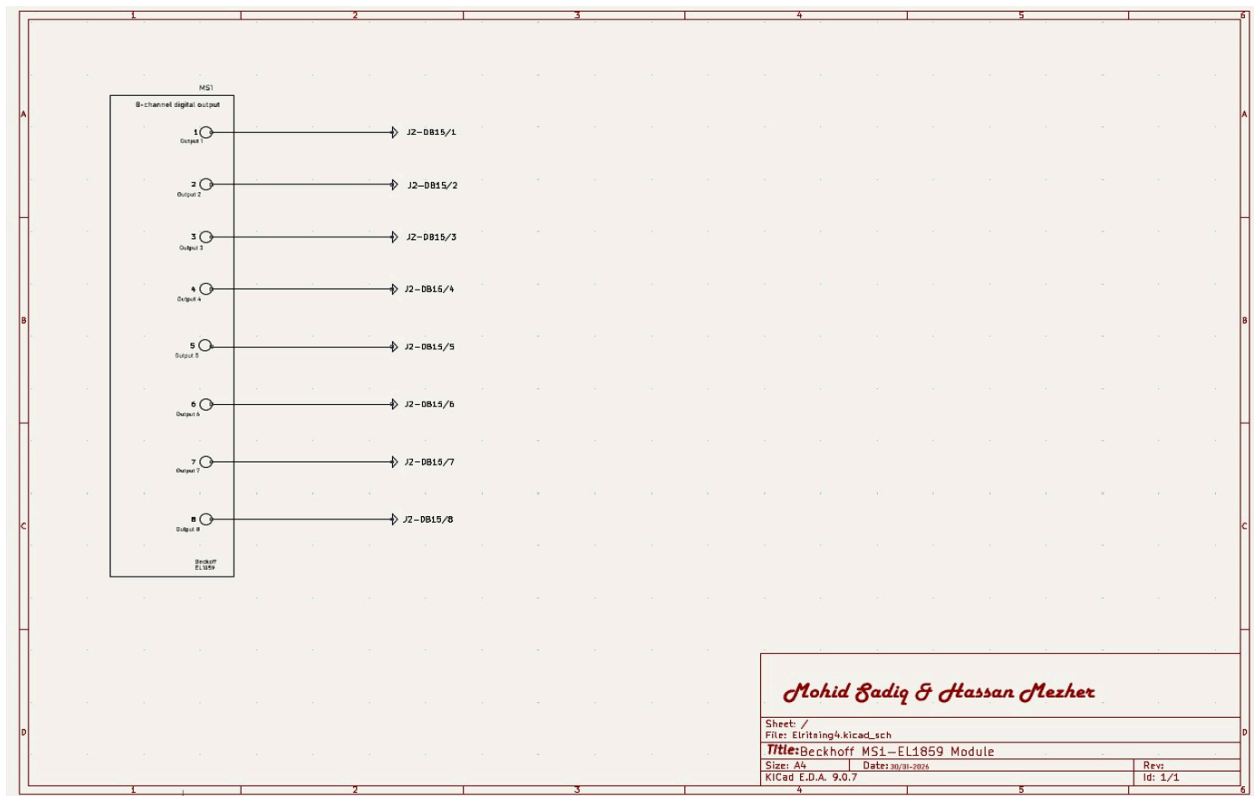
[20] Beckhoff. (u.å.). *ELM2744-0000 EtherCAT Terminal, 4-channel solid state relay output, multiplexer, 48 V AC/DC, 1 A, potential-free, 1x4*. Beckhoff Automation.

<https://www.beckhoff.com/sv-se/products/i-o/ethercat-terminals/elmxxxx-measurement-technology/elm2744-0000.html> (Hämtad: 2026-06-16)

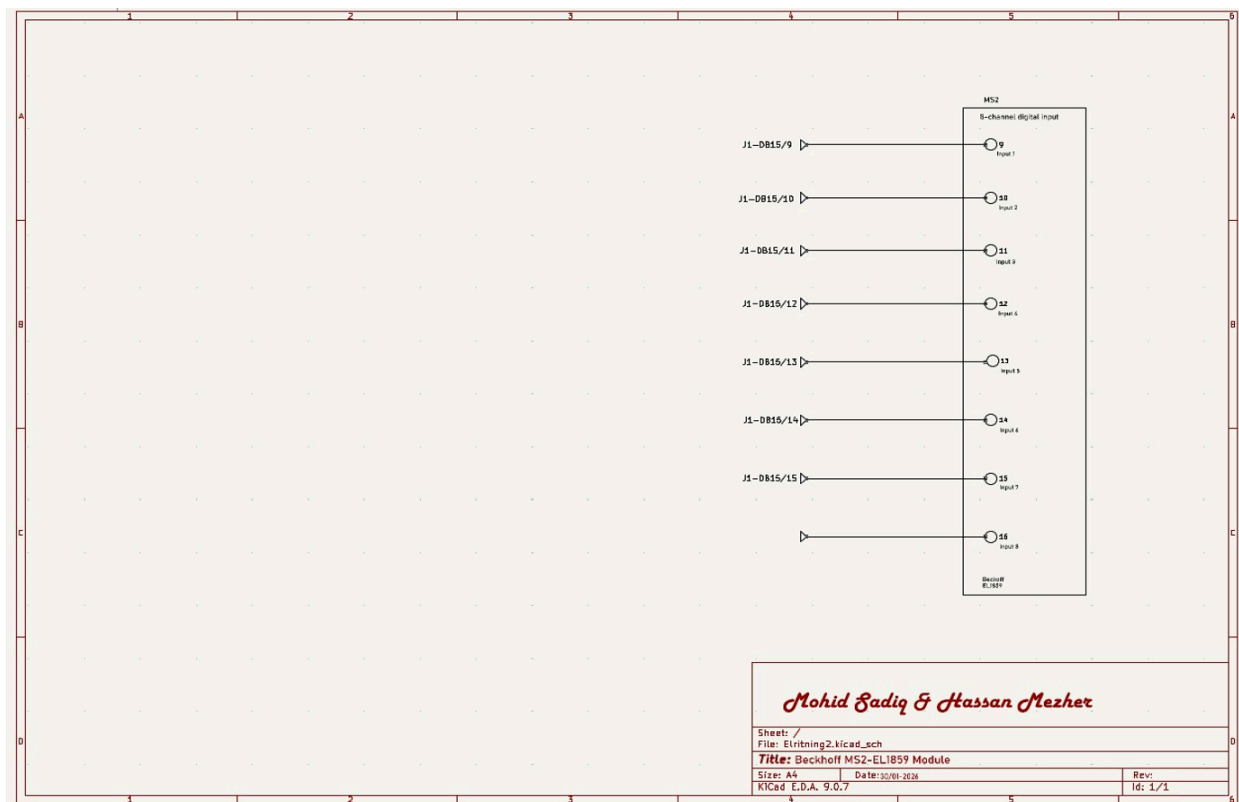
9.Bilagor



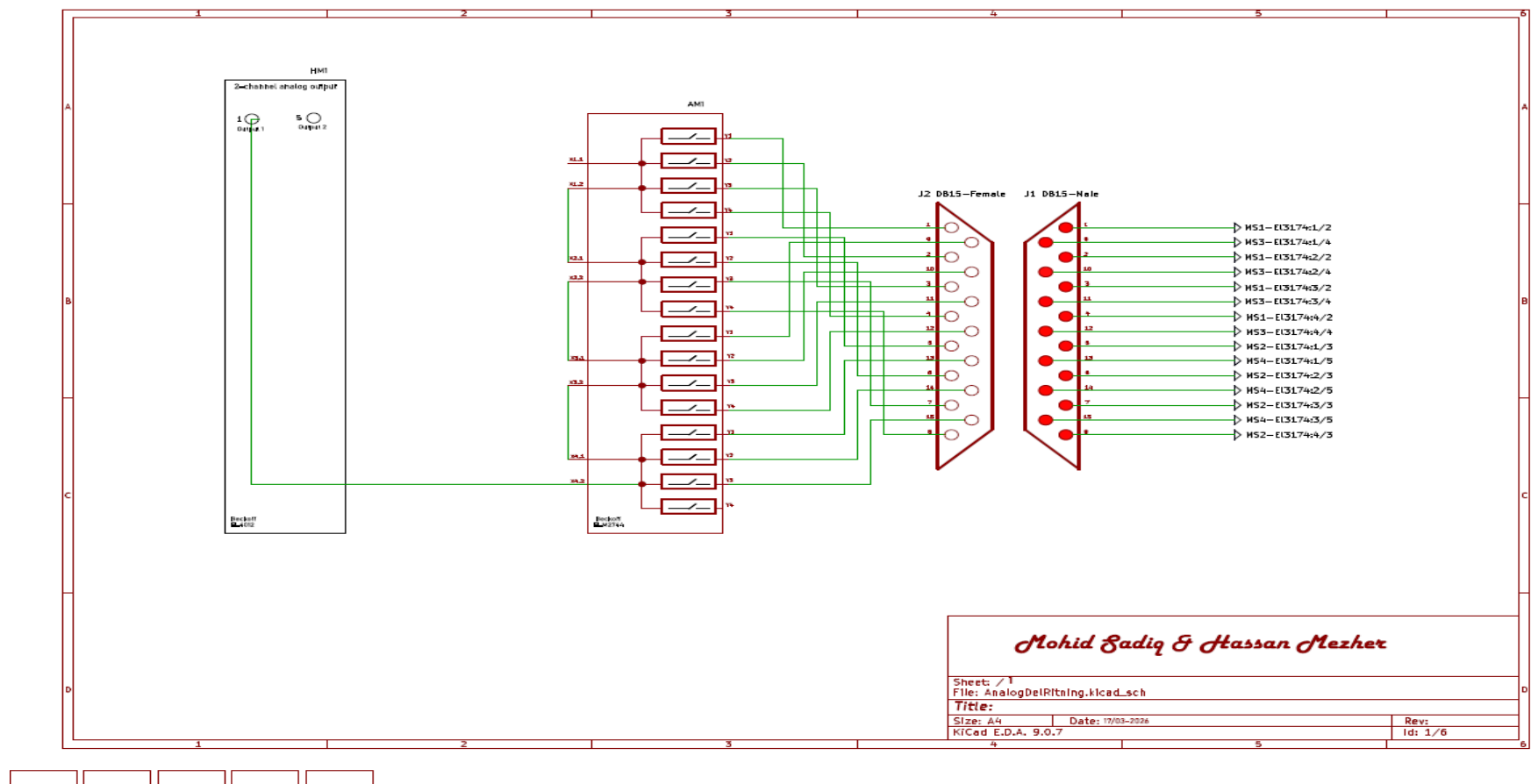
Bilaga A: Huvudritning över kontakterna för digital version. Ritningen representerar kopplingen mellan kontakterna och modulerna EL1859. Kontakten till höger representerar honan och till höger hanen.



Bilaga B: Första ritningen över MS1, den första EL1859 modulen som användes för den digitala delen, figuren är ritad på vänster sida för att representera en utgång. Liknande ritning utfördes till samtliga utgångar för MS1.



Bilaga C: Andra ritningen över MS2, figuren ritades på högra sidan för att föreställa sig en ingång. Likadan ritning utfördes till resterande ingångar för MS2.



Bilaga D: Huvudritning över den analoga delen, till vänster visas en utgångskoppling mellan HMI som representerar modulen EL4012 och multiplexern som kopplades vidare till honan J2. Hanen J1 kopplades till fyra EL3174 ingångsmoduler.

10. Appendix

Appendix A:

```
function ColourConverter(value){  
  if ( Value == false){  
    return {“color” : rgba(255, 0, 0, 1)” };  
  } else {  
    return {“color” : rgba(0, 128, 0, 1)” };  
  }  
}
```