



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

ACX580-07 SAGEDUSMUUNDURITE TESTSÜSTEEMI ARENDAMINE

DEVELOPMENT OF TEST SYSTEM FOR ACX580-07 FREQUENCY CONVERTERS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Ivo Nigul

Üliõpilaskood 211257AAVB

Juhendaja: Madis Leinakse, nooremteadur

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 202.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Ivo Nigul

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „ACX580-07 sagedusmuundurite testsüsteem“, mille juhendaja on Madis Leinakse.

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

14.05.2021

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Autor: Ivo Nigul

Lõputöö liik: Bakalaureusetöö

Töö pealkiri: ACX580-07 sagedusmuundurite testsüsteemi arendamine

Kuupäev: 18.05.2021

95 lk

Ülikool: Tallinna Tehnikaülikool

Teaduskond: Inseneriteaduskond

Instituut: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

Töö juhendaja(d): Madis Leinakse

Töö konsultant (konsultandid):

Sisu kirjeldus:

Käesoleva töö eesmärk on arendada välja sagedusmuundurite testimiseks kasutatav funktsionaalne testsüsteem. Selle eelis manuaalse testimise ees on muuta testimise protsess rohkem läbipaistvaks, elimineerida inimvigade tekkimise võimalus ja koguda testimisprotsessi tulemusandmeid.

Käsitlevate teemade hulka kuulub sagedusmuunduri testimisetappide ja elektriskeemi testitavate sõlmpunktide kaardistamine. Nii tarkvaralise kui ka riistvaralise lahendus väljatöötamine, mis toetaks sagedusmuunduri automatiseeritud testimist. Kriitiliste mõteseadmete ja komponentide valiku teostamine, nende sobivuse ja tarkvaralise ühilduvuse hindamine. Mehaanilise disaini osas süsteemi lahendamine viisil, kus sobivus on tagatud nii ehituslikult kui väljavalitud seadmete poolelt, nimelt nende mahtumine testkäru raami.

Suurimaks väljakutseks osutus süsteemi automaatse juhtimise ja katsepersonalitöö omavahel sidumine. Seejuures on tarvis katsepersonalile anda piisav ülevaade testimisprotsessis käigust ja süsteemi olekust, et tagada ohutus.

Märksõnad: ACX580-07, automatiseeritud funktsionaalne testimine, Gage R&R, mõõte- ja juhtseadmed, testsüsteem, verifitseerimine

ABSTRACT

Author: Ivo Nigul

Type of the work: Bachelor Thesis

Title: Development of test system for ACX580-07 frequency converters

Date: 18.05.2021

95 pages

University: Tallinn University of Technology

School: School of Engineering

Department: Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

Supervisor(s) of the thesis: Madis Leinakse

Consultant(s):

Abstract:

The aim of this work is to develop a functional test system for automated frequency converters. Its advantage over manual testing is that it makes the testing process more transparent, eliminates the possibility of human error and collects data on the results of the testing process.

Topics covered include mapping of the test stages of the frequency converter and nodes to be tested in the wiring diagram. Development of both a software and a hardware solution to support automated testing of the frequency converter. Selection of critical measuring devices and components, assessing their suitability and software compatibility. In terms of mechanical design, solving the system in a way that suitability is ensured both on the construction side and on the side of the selected equipment, namely their fit in the frame of the test trolley.

The biggest challenge proved to be creating the link between the automatic software management of the system and the work of the test staff. It is necessary to provide the test personnel with a sufficient overview of the progress of the test process and the status of the system to ensure safety.

Keywords: ACX580-07, automated functional testing, Gage R&R, measurement and control devices, test system, verification

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema: **ACX580-07 sagedusmuundurite testsüsteemi arendamine**

Lõputöö teema inglise keeles: **Development of test system for ACX580-07 frequency converters**

Üliõpilane: **Ivo Nigul, 211257AAVB**

Eriala: **Elektroenergeetika**

Lõputöö liik: **bakalaureusetöö**

Lõputöö juhendaja: **Madis Leinakse**

Lõputöö kaasjuhendaja:
(ettevõtte, amet ja kontakt)

Lõputöö ülesande
kehtivusaeg: **2020/2021**

Lõputöö esitamise tähtaeg: **18.05.2021**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Õppekava juht (allkiri)

Kaasjuhendaja (allkiri)

1. Teema põhjendus

Töö on ajendatud ABB sisest soovist automatiseerida kabinettide funktsionaalset testimist ja seondub laiema Industry 4.0 ehk targa tootmise temaatikaga. Enne lõputöös käsitletud automaatse testsüsteemi arendamist ja töösse viimist teostati funktsionaalne testimine manuaalselt operaatori poolt. Automaatse süsteemi kasutamisel on mitmeid eeliseid manuaalsete testimise ees: testimisprotsess on läbipaistvam, tagatakse täpsem testimise spetsifikatsiooni täitmine, elimineeritakse inimvigade tekkimise võimalus, protsessi käigus kogutud andmed salvestatakse automaatselt hilisemaks analüüsiks ja lüheneb testimisaeg.

2. Töö eesmärk

Töö eesmärk on välja arendada sagedusmuundurite ACX580-07 katsetamisel kasutatava testri tarkvaraline ja riistvaraline lahendus, mis toetab automaatset kabinettide testimist.

3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- kaardistada toote testimise meetodid ja oodatav testimise kulg
- süsteemi elektriahela koostamine
- mehaanika osa koostamine
- tarkvaraline lahendus

4. Lähteandmed

Lõputöö koostamisel kasutavad lähteandmed saadakse ABB AS sisedokumentidest, varasematest projektitöödest ja erinevatest kirjandusallikatest.

5. Uurimismeetodid

Esmaseks meetodiks on katsetatava sagedusmuunduri elektriskeemil välja selgitada, millised on toote testimise tähtsad mõõte- ja toitesõlmpunktid. Leida sobilik mõõtemeetod ja tuvastada tarvilik juhtimisloogika. Mõõte- ja juhtseadmete valiku tegemisel lähtuda nende sobivusest testimise kriteeriumitega, ning nende töökindlusest ja kvaliteedist.

Skeemi koostamiseks on kasutusel EPLAN tarkvara.

6. Graafiline osa

Tekstijoonised, elektriskeem ning vajadusel täiendavad joonised ja tabelid lisades.

7. Töö struktuur

1 TESTITAV SAGEDUSMUUNDUR ACX580-07

1.1 ACS580-07 tehnilised andmed

1.1 Funktsionaalses testimist mõjutavad toote lisad (+koodid)

2 TESTSÜSTEEMI KIRJELDUS

- 2.1 Testimisetappide kirjeldus
- 2.2 Testsüsteemile esitatavad nõuded
- 2.3 Vastavus standarditele
- 2.4 Testsüsteemi kontseptsioon

3 RIISTVARA VALIK

- 3.1 Mõõte- ja juhtseadmed valik
- 3.2 Mehaaniline ehitus

4 TARKVARA

- 4.1 Kasutajaliides
- 4.2 SQL server ja andmebaas

5 TESTSÜSTEEMI VERIFITSEERIMINE

- 5.1 Elektripaigaldise kasutuselevõtu audit
- 5.2 Tarkvara validerimine
- 5.2 Mõõtesüsteemi analüüs

8. Kasutatud kirjanduse allikad

- ABB Drives, ACx580-07 Testing Specification, 3AXD10000555909, 20.2.2018, I.Korhonen
- ABB Drives, ACS580-07 Hardware manual, 3AXD50000695317, 01.03.2021
- ABB Drives, ACS580 standard control programm FM manual, 3AXD0000016097, 15.02.2018
- Elektripaigaldiste käit. Osa 1: Üldnõuded, EVS-EN 50110-1:2013, 09.12.2013
- Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 4, 5, 6, 8, EVS-HD 60364-4-41:2017, 04.09.2017

9. Töö etapid ja ajakava

Juhendaje esmane versioon 05.05.2021

Töö lõplik versioon esitamiseks 18.05.2021

SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE	4
ABSTRACT	5
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE	6
EESSÕNA	11
Lühendite ja tähiste loetelu	12
SISSEJUHATUS	13
1 TESTITAV SAGEDUSMUUNDUR ACX580-07	14
1.1 ACS580-07 tehnilised andmed	17
1.2 Funktsionaalset testimist mõjutavad toote lisad (+koodid)	19
2 TESTSÜSTEEMI KIRJELDUS	21
2.1 Testimisetappide kirjeldus	22
2.2 Vastavus standarditele	23
2.3 Testsüsteemi kontseptsioon	24
3 RIISTVARA VALIK	26
3.1 Mõõte- ja juhtseadmete valik	26
3.1.1 Lekkevoolu ja isolatsioonitakistuse tester Kikusui TOS9200	26
3.1.2 Andmekogumis süsteem Keysight 34970A	27
3.1.3 I/O kaart Advantech PCI-1758UDIO	30
3.1.4 LEM LV25-1200 pingemuundur	32
3.1.5 AF52 – peakontaktor	33
3.2 Mehaaniline ehitus	35
4 TARKVARA ÜLESEHITUS	37
4.1 Kasutajaliides	38
4.2 Testi järjestus	39
4.3 SQL Server ja andmebaas	41
5 TESTSÜSTEEMI VERIFITSEERIMINE	42
5.1 Elektripaigaldise kasutuselevõtu audit	42
5.2 Tehase aktsepteerimise test	43
5.3 Mõõtesüsteemi analüüs	44
5.3.1 Katsemeetodi kirjeldus	44
5.3.2 Analüüsi tulemused	46
KOKKUVÕTE	48
LISAD	50

L.1. ACX580-07 elektriskeemi kaardistamine ja testimise ahelad	51
L.2. Süsteemi protsess	63
L.3. Tehase aktsepteerimis testi kontrollnimekiri	64
L.4. Gage R&R analüüsi tulemused graafiliselt	65
L.5. ACX580-07 sagedusmuunduri testsüsteemi skeem	66

EESSÕNA

Bakalaureusetöös käsitletud teema on ajendatud ABB sisemisest soovist siseneda kabinettide testimisega Industry 4.0 ehk targa tootmise temaatikasse, mille keskseks ideeks on parem ja kiirem testimine. Seejuures peab väljatöötatav lahendus olema ka tulevikus teistele kabinetttoodetele rakendatav.

Lõputöö põhiliseks teoreetiliseks aluseks on ABB teiste testsüsteemide ülesehitus ja pakutavad lahendused.

Soovin tänada praktiliste nõuannete eest ABB FIDRI tehase testimisspetsialisti Tomi Taipale.

Lühendite ja tähiste loetelu

ACX580-07 - kabinet ajamite tooteseeria

HVAC – kütte-, ventilatsioon- ja kliimaseade (ingl k *Heating, Ventilation and Air Conditioning*, HVAC)

MCCB – võimsuslüliti (ingl k *Molded Case Circuit Breaker*, MCCB)

STO - ohutu pöördemoment väljas (ingl k *Safe Torque Off*, STO)

ATEX - plahvatusohtlikud keskkonnad (pran k *ATmosphères EXplosives*, ATEX)

OEM SW - originaal seadme tootja tarkvara

DUT - testitav seade (ACx580-07) (ingl k *Device Under Test*, DUT)

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

HiPot – pingetaluvus test (ingl k *High potential test*, HiPot)

DAQ - andmekogumissüsteem (ingl k *data acquisition system*, DAQ)

DMM - digitaalne multimeeter (ingl k *digital multimeters*, DMM)

ODBC - andmebaasi ühenduvus (ingl k *Open Database Connectivity*, ODBC)

SISSEJUHATUS

Sagedusmuundur on võimsuse muundamise seade, mis teisendab fikseeritud sageduse ja fikseeritud pingega vahelduvvoolu muutuva sagedusega ja muutuva pingega vahelduvvooluks, mida kasutatakse asünkroonmootorite kiiruse reguleerimiseks. Sagedusmuunduri peamine ülesanne on energiasäästu pakkumine. Energiasääst võib olla märkimisväärne kui reguleerida mootori kiirust. Näiteks võib kiiruse vähendamine 20% pakkuda 50% suurust energiasäästu. Lisaks energiasäästule pikeneb ka ühendatud mootorite laagrite ja pumba tihendi eluiga. Rahaline sääst on märkimisväärne: tasuvusaeg mootori juhtimisel läbi sagedusmuunduri võib-olla kuni aasta.

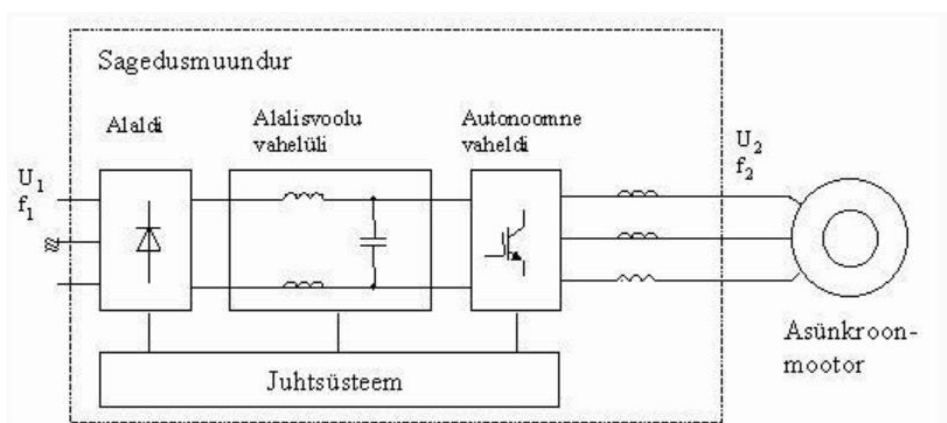
Sagedusmuundur ACX580-07 on mõeldud üldotstarbeliseks rakenduseks, näiteks pumpadeks, ventilaatoriteks ja konveierite juhtimiseks. Tehniliste probleemide avastamiseks ja lahendamiseks, ning toote üldise kasutatavuse, jõudluse, turvalisuse ja ühilduvuse tagamiseks on nõutud põhjalik funktsionaalne testimine enne seadme klientidele edastamist.

Varasemalt viidi toote testimine läbi manuaalselt katsetuspersonali poolt. Inimfaktori tõttu esines juhtumeid, kus toode ei vastanud nõutud kvaliteedile ja puudusid ülevaatlikud katsetuse andmed. Samuti oli toote testimisele kuluv tööjõukulu suurem: automaatne testsüsteem tõstis testimise kiirust ning vähendas testimiseks tarviliku tööjõukulu.

Lõputöö eesmärk on välja arendada ACX580-07 sagedusmuunduri automatiseeritud funktsionaalne testimissüsteemi tarkvaraline ja riistvaraline lahendus. Bakalaureusetöö koosneb viiest peatükist, millest esimeses selgitatakse testitava sagedusmuunduri olemust, tema kasutusrakendust ja tehnilisi omadusi. Teises peatükis testimissüsteemile esitatavaid nõudmisi ja vastavust elektripaigaldise standardile. Lisaks toote testimisetappide sisu ja toiminguid. Kolmas peatükk selgitab riistvaralisi lahendusi, millised mõõte- ja juhtseadmeid sai valitud ja nende kasutamist. Neljas peatükk käsitleb kasutatava tarkvara platvormi, selle ülesehitust ja kasutajaliidest, testijärjestuse kirjeldust ja testimis andmete salvestamist. Viimane peatükk selgitab valminud testsüsteem verifitseerimise meetodeid. Lõputöö lisades on toodud testsüsteemi skeem, Gage R&R analüüsi graafiline tulemus ja testimisprotsessi voogdiagramm.

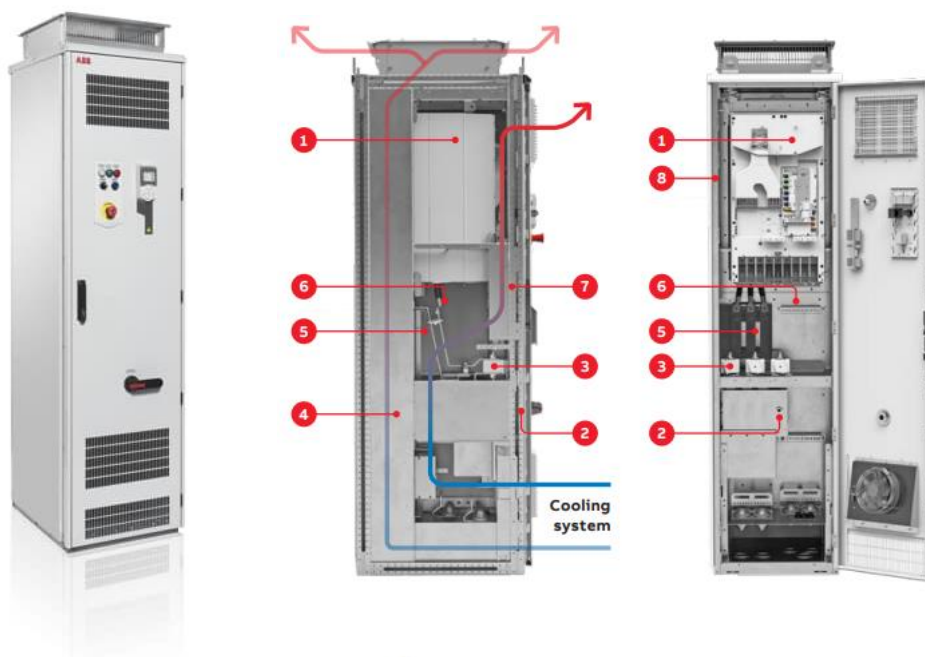
1 TESTITAV SAGEDUSMUUNDUR ACX580-07

Sagedusmuundur ehk muutuva sagedusega ajam (VFD – variable frequency drive) - on elektriline seade, mis muudab ühe sagedusega voolu teise sagedusega vooluks. Pinge on tavaliselt sama enne ja pärast sageduse teisendamist. Sagedusmuunduri peamine ülesanne on lühisrootoriga asünkroonmootori juhtimine ja kaitsmine. Asünkroonmootori pöörlemiskiirus sõltub eelkõige toite sagedusest, mille muutmisega saavutatakse sujuv mootori pöörlemiskiiruse juhtimine. Pöördemomenti juhitakse pingega. Sagedusmuundur alaldab toitepinget dioodsilla abil, kasutades kondensaatoreid puhvrina ja IGBT transistore väljundis annab vajaliku sagedust ja pinget. Mootorit juhitakse mõlema (pinge ja sageduse) parameetri reguleerimisega ning jälgides töövoolu tagasisidena, mis on kujutatud joonisel 1.1. [1]



Joonis 1.1 Sagedusmuunduri elektriskeem [1]

Sagedusmuunduri eelis on energiasäästlikkus, sest mootori kiiruse reguleerimine saavutatakse ilma mehaaniliste lülideta. Sagedusmuundur välistab sellised otsekäivitusega seotud probleemid nagu mehaaniline tõuge, hüdroloog jne, [1]. Sagedusmuundureid kasutatakse tavaliselt pumpade ja ventilaatorite käitamiseks kasutatavate mootorite kiiruse reguleerimiseks. Kasutusala on kujutatud joonisel 1.3.



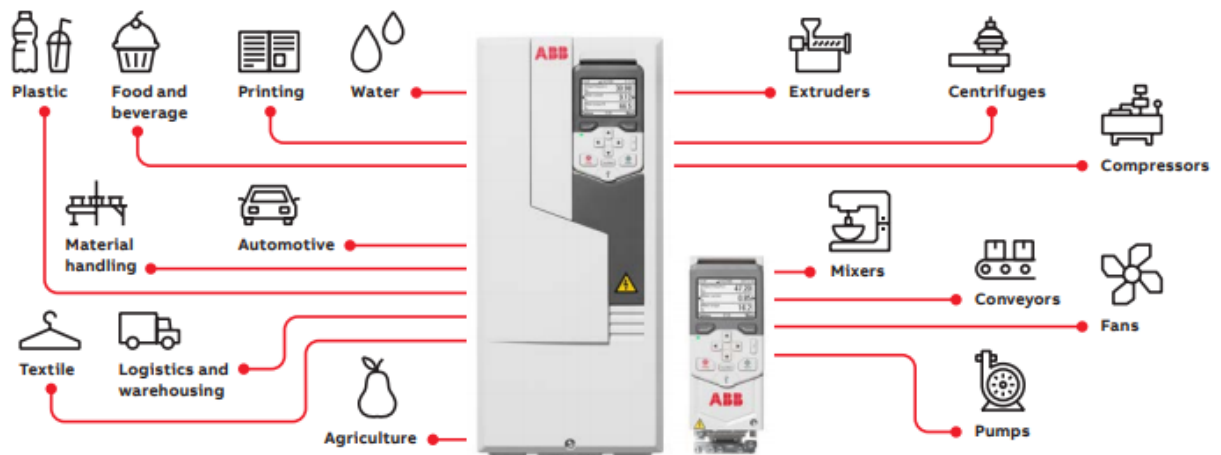
Joonis 1.2 ACS580-07 ja kabineti komponendi [2]

Kabineti komponentide loetelu joonise 1.2 selgituseks

1. Moodul
2. Pea lüliti või MCCB, lisa +F289
3. Sularid
4. Ruum lisavarustusse kuuluva du/dt -filtri jaoks
5. Ruumi liinikontaktori valiku jaoks +F250
6. RFI filter
7. Ruumi turvalisuse, ATEX-i või välise toiteallika jaoks
8. Ruum lisa +M600 jaoks

ACS580-07 on ABB viimase põlvkonna õhkjahutusega kappi paigaldatud sagedusmuundur. Kappi ehitatud ajamid on saadaval IP21-ga kaitseklass standardvarustuses ning IP42 lisatellimusena. Ajamil on ainulaadne jahutussüsteem isegi karmi keskkonda ja globaalse kapidisaini kõrge kvaliteediga. Võimsusvahemik on 75 kW kuni 250 kW ja pingevahemik on 3-faasiline 380–480 V.

Toode on kasutatav erinevates tööstusharudes: materjalide käitlemises, trükikodades, toidu- ja tekstiilitööstuses, saekaatrites, vee käitlemisel, põllumajanduses ja autotööstuses. Joonis 1.3 on kujutatud toode töös erinevates konveierites, pumpades, puhurites, pressides, ventilaatorites jne.



Joonis 1.3 580 seeria toote kasutus [2]

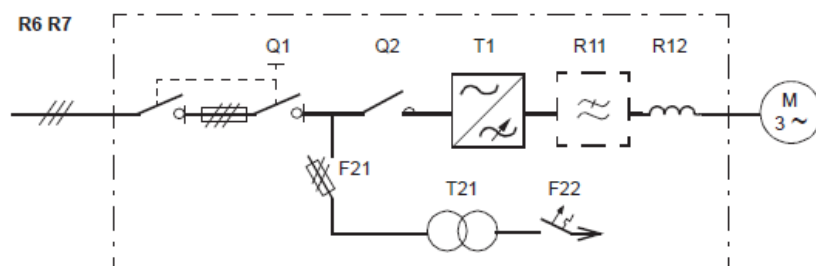
ACX580-07 sagedusmuunduri olulised omadused:

- Kahetsooniline jahtus lahendus
- Saadaval rakenduspõhised lisad, tabel 1.2
- Integreeritud ohutu pöördemoment väljalülitus
- USB-liides arvuti tööriista ühendamiseks
- Integreeritud EMC-filter

Saadaval on 3 tüüpi ajameid (edaspidi käsitleme neid ACX580 nime all):

- ACS580 – standard kabinetajam
- ACH580 – ajam HVAC süsteemile
- ACQ580 – ajam vee ja reovee süsteemile

Joonisel 1.4 on näidatud ACS580 kabinetajami blokk skeem ja tabelis 1.1 on selgitatud joonisel kasutatud tähised.



Joonis 1.4 ACX580-07 kabinetajami ühejooneline skeem [2]

Tabel 1.1 Joonisel 1.4 kasutatud tähised [2]

Q1	Sulariga kaitse või MCCB (lisa +F289)
Q2	Peakontaktor (lisa +F250)
T1	Sagedusmuundur
R11	RFI filter (lisa +E208)
R12	du/dt filter (lisa +E205)
F21	Abitoite ahela sularid
T21	Abipinge trafo, 24 V ja 230V juhtpingele nt kapi ventilaator(id), juhtimisseadmed ja sisend- / väljundadapteri moodul
F22	Abitoite ahela kaitselüliti

1.1 ACS580-07 tehnilised andmed

Tabelis 1.2 on välja toodud ACX580-07 tooteseeria tehnilised andmed, võimsused ja pingeklass. Tabel 1.3 selgitab lahti toote tüüpkoodi tekkimise loogika.

Tabel 1.2 ACX580-07 kabinetajami tehnilised andmed ja tähendus [2]

Pea toide	
Sisendpinge ja väljundvõimsuse vahemik	3-faasi, U_N 380 to 480 V, +10%/-15% 75 kuni 250 kW
Sagedus	alates 47 kuni 63 Hz
Võimsustegur	$\cos\varphi = 0.98$
Efektiivsus (nimivõimsusel)	98%
Mootori ühendus	
Pinge	3-faasi, alates 0 kuni toite pingeni
Sagedus	0 kuni 500 Hz
Mootori kontroll	Skalaar või vektorkontroll
Pöördemomendi kontroll	Pöördemomendi sammu tõusuaeg: <10 ms nimipöördemomendil Mitte lineaarne: $\pm 5\%$ nimipöördemomendil
Maksimaalne soovitatav mootor kaabli pikkus	300 meetrit
Toote vastavus	
CE Madalpinge direktiivid 2014/34/EU, EN 61800-5-1: 2007 Masina direktiivid 2006/42/EC, EN 61800-5-2: 2007 EMC direktiiv 2014/30/EU, EN 61800-3: 2004 + A1: 2012 RoHS direktiiv 2011/65/EU Kvaliteedi tagamise süsteem ISO 9001 ja Keskkonnasüsteem ISO 14001	

Elektri- ja elektroonikaseadmete jäätmete direktiiv (WEEE) 2002/96/EC	
RoHS direktiiv 2011/65/EU	
UL, EAC, RCM, UL, cUL	
TÜV Nord (õhtutus funktsioonid)	
Sisendid ja väljundid (standard konfiguratsioon)	
2 analoogsisendit	Voolu / pinge sisendrežiimi valik on kasutaja programmeeritav.
Pinge signaal	0 (2) kuni 10 V, R >200 kΩ
Voolu signaal	0 (4) kuni 20 mA, R = 100 Ω
Potentsiomeeter kontrollväärtus	10 V ±1% max. 20 mA
2 analoogväljundit	AO1 on kasutaja poolt programmeeritav voolu või pinge. AO2 on vool
Pinge signaal	0 kuni 10 V, R koormus: >100 kΩ
Voolu signaal	0 kuni 20 mA, R koormus: <500 Ω
Sisemine abipinge	24 VDC ±10%, max. 250 mA
6 digitaalset sisendit	12 kuni 24 VDC, 24 VAC, PTC ühenduvus andurid, mida toetab üks digitaalne sisend. PNP- või NPN-ühendus (5 DI koos NPN-ga ühendus).
3 relee väljundit	Maksimaalne lülituspinge 250 VAC/30 VDC. Maksimaalne pidev vool 2 A RMS
Keskkonna piirid	
Ümbritsev õhutemperatuur töötades	0 kuni +40 °C. Pakane pole lubatud
Suhteline niiskus	5 kuni 95%, kondenseerumine pole lubatud
Kaitseaste	IP21 standardvarustuses. IP42 ja IP54 valikuna
Funktsionaalne ohutus	STO according EN 61800-5-2 IEC 61508 ed2: SIL 3. IEC 61511: SIL 3. IEC 62061: SIL CL 3. EN ISO 13849-1: PL e
Kaitsefunktsioonid	
Üle- ja alapinge kontroll Mootori ja mootorikaabli maalühis jälgimine Mootori ja mootorikaabli lühisekaitse Mootori ülekuumenemiskaitse Mootori ülekoormuse kaitse Faasikao tuvastamine (nii mootor kui toite) Ülekoormuse järelevalve Seiskumise kaitse	

1.2 Funktsionaalset testimist mõjutavad toote lisad (+koodid)

Tabelis 1.4 on välja toodud funktsionaalset testimist mõjutavad toote +koodid ehk toote lisad [3]. Antud koodid on tootele täiendavat funktsionaalsust lisavad osad, mida klient ostab juurde toote baasosale ja need omavahel ei mõjuta teineteise tööd ega funktsionaalsust.

Tabel 1.3 Toote tüüpkoodi koostamise loogika [3]

Kood	Kirjeldus
ACX580	Toote seeria
Tüüp	
Kood	Kirjeldus
-07	Kui lisa pole valitud: kappi paigaldatud ajam, IP21, pealüliti, vahelduvvoolu kaitsmed, sisendventiil, kaetud tahvlid, ACS580 standard juhtimisprogramm, RS-485 välibussi pistik, ohutu pöördemomendi väljalülitamise funktsioon, kaablite altpoolt sisenemine ja väljumine, mitmekeelne seadme sildikleebis, kõiki kasutusjuhendeid sisaldav USB-mälu.
Suurus	
-xxxxA-	Vaata tabel 1.1
Pinge piirkond	
4	380...480V

Tabel 1.4 Tellitavate lisade koodid [3]

Kood	Kirjeldus
E205	Du/dt filter
F250	Peakontaktor
F289	MCCB kaitselüliti
G300	Kabineti ja mooduli seondus element
G307	Väline kontroll toiteallikas (230V)
G327	Ready, uksevalgus – valge
G328	Run, uksevalgus – roheline
G329	Fault, uksevalgus – punane
K451	FDNA-01 DeviceNet adapter moodul
K454	FPBA-01 PROFIBUS DP adapter moodul
K457	FCAN-01 CANopen adapter moodul
K458	FSCA-01 RS-485 adapter moodul
K469	FECA-01 EtherCat adapter moodul
K470	FEPL-02 EtherPOWERLINK adapter moodul
K475	FENA-21 Ethernet adapter moodul
K490	FEIP-21 Ethernet adapter moodul
L500	FIO-11 analog I/O laiendus moodul
L501	FIO-01 digital I/O laiendus moodul
L504	Lisa I/O terminal blokk
M600	Mootor kaitse lüliti
Q951	Hädaseiskamine (Kat 0) koos ohtusreleega, avab peakontaktori või lüliti
Q963	Hädaseiskamien (Kat 0) koos ohtusreleega, aktiveerib STO funktsiooni
Q971	ATEX-sertifitseeritud ohutu väljalülitamise funktsioon

- +Exx koodiga lisad tähistavad eri tüüpi filtreid. ACX580-07 tootel on ainult lisana saadavad du/dt filter
- +Fxx on erinevad lülitid või kaitselülitid
- +G30x on kütteseadmed või abijuhtpinge valikud
- +G32x erinevad indikatsiooni või kontroll lambid
- +K4xx erinevad Filelbus adaptrid välise seadme kontrollimiseks ja/või ühendamiseks
- +M60x mootor ventilaatori juhtimine ja kaitselüliti
- +Qxx erineva ohutusfunktsioonid. Kategooria 0 hädaseiskamine või ATEX-sertifitseeritud funktsiooniga

2 TESTSÜSTEEMI KIRJELDUS

Kvaliteetse toote tagamise nõude põhimõttest lähtuvalt on ABB AS nõutud, et iga valmistatud toode peab läbi põhjaliku testimise. Testimise saab jagada kaheks osaks: kombineeritud visuaalseks ja mehaaniliseks kontrolliks ning funktsionaalseks testimiseks. Sellega tagatakse, et kliendile saadetud toode vastab nõutud töökindlusele ja tellitud toote dokumentatsioonile.

Visuaalne ja mehaaniline kontroll kujutab endast kokkupandud toote vastavuse hindamist lähtuvalt kliendi dokumentatsioonist: komponendid on õiged ja paigaldatud ettenähtud asukohta, toode on mehaaniliselt komplektne, kaablid ja juhtmed on kinnitatud õige momendiga, toode vastab ettenähtud IP-klassile, kleebised on paigaldatud, õhuvahed on õiged, jne.

Kabinettide funktsionaalne testimine on elektriline test erinevate ahelate pingete mõõtmiseks, signaaliahelate töö oleku kontrolliks, tagasiside ahelate takistuse mõõtmiseks. Lisaks nõutud tarkvara ja parameetrite laadimine, ohutusahela kontroll ja toote tühijooksul käivitamist. Kuna tootesse paigaldatud komponendid on eelnevalt läbinud põhjaliku testimise (näiteks muundur, releed, kontaktorid, toiteplokid jne), siis on vaja ainult testida koostatud toote erinevate ahelate koostöötamist. See tähendab, et puudub vajadus toote koormustestimiseks ja ahelate päriselus töötamise simuleerimist.

Toote tervikuna testimine tagab nõutud kvaliteedi ja töökindluse. Selle täitmiseks on paika pandud kindlad testimise kriteeriumid, mis on detailselt lahti kirjeldatud toote testimise spetsifikatsioonis. Testsüsteemi loomise või automatiseeritud testimise eesmärkideks on:

- vähendada testimiseks kuluvat aega
- tagada, et testimine toimuks vastavalt testi spetsifikatsioonis seatud nõuetele
- tagada testimise jälgitavus – testi tulemuste salvestamine ja hiljem analüüsimise võimalus
- elimineerida inimtekkeliste vigade olemasolu

Testsüsteemile esitatavad nõuded:

1. Toote testimise ja testri kasutuse ohutus
2. Kasutusmugavus – nii operaatorile kui tehnikule hilisemaks hoolduseks või remondiks
3. Kompaktsus – etteantud testimiskäru perimeetrid
4. Pikaajaline töökindlus

5. Ühilduvus tehase testsüsteemide SQL server andmebaasiga
6. Maksimaalne ABB enda toodete kasutamise testsüsteemi loomisel
7. Nõuetekohane testimine

2.1 Testimisetappide kirjeldus

Käesolevas töös ja testimise automatiseerimisel on vaatluse all ainult funktsionaalne testimine. Visuaalne ja mehaaniline kontroll jätkub ka edaspidi katsetuspersonali poolt manuaalsel viisil, kuna selle protsessi automatiseerimine on tunduvalt raskem ja vajab juba keerulisemat lähenemist. Manuaalse funktsionaalse testimise protsess on paika pandud testimis spetsifikatsioon alusel. Kuna automatiseeritud testimine peab sisaldama samasid etappe ja vastama samadele kriteeriumitele, siis see on kohandatav testsüsteemi loomiseks.

Testimise etappide järjestus sai konkreetsemalt määratletud ning on valitud loogikat ja ohutust silmas pidades:

HiPot test – elektriohutuskaitse test, mõeldud toote isolatsiooni kontrollimiseks

1. Isolatsiooni takistuse ja lekkevoolu test (400 V peaahelele, 230 V abiahelele, soojenduselemendile ja 24 VDC ahelale)

Pingevaba test – selle etapi ajal vaja teha manuaalne lülitamine

2. M600 – ahela faasi järjestuse kontroll

Pingealused testid – teostatakse toote pingestamine, tarkvara ja parameetrite laadimine

3. 230 VAC ja 24 VDC ahela pingestamine ja pinge mõõtmine
4. Tarkvara laadimine (OEM SW vastavalt kapi tüübile ja võimsusele)
5. Parameetrite laadimine (muudetakse toote tarkvara parameetrid, mis mõjuvad konkreetse ahela tööd)
6. Kxxx ja Lxxx – erinevate lisa kaartide tarkvaraline aktiveerimine ja oleku tagasiside kontroll
7. F250 ja F289 – seadmete lülitamise ja tagasiside ahelate kontroll ja pingestamine
8. G300 – soojenduselemendi oleku test ja elemendi soenemise kontroll
9. G327/G328/G329 – indikatsiooni lampide töötamise kontroll
10. L504 – digitaal sisendi ja analoog sisendi ja väljundi kontroll

Käivitus testid

11. Käivitus (sagedusmuunduri tühijooksul käivitamine)

12. Funktsionaal ohutus ahelate test – kontrollida hädaseiskamise ja reset nuppu õiget töötamist ja muunduri rakendumist

Testimise automatiseerimise saab jagada kaheks osaks – tarkvaraline ja riistvaraline. Tarkvaraline on programmiline ettekirjutatud testi järjestuse (*sequence*) järgimine. Selles on detailselt lahti kirjeldatult kuidas kogu testimine peab toimima, seadme sisse või väljalülitamine, tagasiside kontroll, sagedusmuunduri tarkvara parameetri laadimine või kontroll jne.

Riistvaraliselt toote elektriliste sõlmpunktid testimine. Kas seal toimub konkreetne pinge, voolu, takistuse või temperatuuri mõõtmine ja/või vajaliku toitepinge lülitamine. Nende punktide teadasaamiseks kaardistati toote elektriskeem. Selle jaoks sai genereeritud toote maksimaalne lisadega (+koodidega) elektriskeem. Lisa 1 on kaardistatud ja peale kantud toote elektriskeemi sõlmpunktid ehk terminalid. Erinevatel lehekülgedel on kujutatud toote erinevad lisad ja testimise toimingud. Lisa 2 on esitatud testimise süsteemi struktuur. Kirjeldab, mis testi etapist alustatakse ja millega lõpetatakse, millal andmed liiguvad andmebaasi ja kui mingi etapp ei läbi testi, siis mis protseduur sellele järgneb.

2.2 Vastavus standarditele

Elektriohutusseadus sätestab nõuded inimesele, varale ja keskkonnale elektrist tulenevate ohtude ja elektromagnetiliste häirete vältimise ja vähendamise eesmärgil. Elektripaigaldised jaotatakse elektrist tuleneva ohu järgi esimese, teise ja kolmanda liigi elektripaigaldisteks. Liigitus on vajalik käidukorraldaja kohustuslikkuse ning korralise tehnilise kontrolli intervallide. Antud töö elektripaigaldis kuulub kolmandasse liiki, mille peakaitsme nimivool on 35 amprit. Standardis esitatud täpsed määratlused võimaldavad vältida arusaamatusi, eksitusi ja ühtsed nõuded võimaldavad vältida vigu koostu ehitamisel. Testsüsteemi vaadeldakse kui elektripaigaldist ja selle disainimisel ning ehitamisel peab alljärgnevalt järgima vastavate standardite sisu täitmist.

Käidu- ja elektritööd elektripaigaldises - EVS-EN 50110-1:2013.

Standard kehtib elektripaigaldiste käidul ja elektripaigaldistes, nende juures või lähedal sooritatavate kõigi töötoimingute kohta. Nimetatud elektripaigaldis on ette nähtud elektrienergia jaotamiseks ja kasutamiseks. See standard sätestab elektripaigaldiste ohutu käidu ja elektripaigaldistes, nende juures või lähedal sooritatavate töötoimingute ohutusnõuded. Need nõuded kehtivad operatiiv-, töö- ja hooldetoimingute kohta. [4]

Madalpingelised elektripaigaldised - EVS-HD 60364-1.

See standard määrab elektripaigaldise projekteerimise, ehitamise ja kontrolli juhised. Selle eesmärk on kaitsta inimest ja vara ohtude ja kahjustuste eest, mis võivad tekkida elektriseadmete mõistlikul kasutamisel [5].

Ohutusnõuded elektrilistele seadmetele - EVS-EN 61010-1:2010

Sätetab ohutuse üldnõuded elektrilistele katsetus- ja mõõteseadmetele. Need on seadmed, mis elektromagnetilisel teel katsetavad, mõõdavad, näitavad või registreerivad ühte või mitut elektrilist või füüsikalist suurust. [6]

2.3 Testsüsteemi kontseptsioon

Testsüsteemi disainimisel on võetud ka arvesse tootmisliini poolt seatud kaks eeltingimust: kärudisain ja tootmisprotsess. See tähendab, et ette on antud testri (käru) mehaanilised perimeetrid, maksimaalne testi kestvus ja ettekirjutatud testimiseprotsess. On tarvis luua kompaktne ja hästi läbimõeldud komponentide ja seadmete paigutus. Samas peab olema tagatud hea kasutusmugavus ja ergonoomika. Joonis 2.2 kirjeldab testsüsteemi lahendust.

Testsüsteemi disaini loomisel on võetud aluseks tehase teiste testimissüsteemide ehitus. Riistvaraline lahendus sisaldab nii elektrilist kui mehaanilist disaini kui ka selle juhtimiseks on vajalikku tarkvaralist lahendust. Vajalike mõõtetimingute tegemiseks on vajalik isolatsiooni- ja lekkevoolu tester ja multimeeter voolude, pingete ja takistuste mõõtmiseks. Ahelate sisse ja välja lülitamiseks erinevate releede ja kontaktorite maatriksit ning nende juhtimist. Katsetuspersonalile testimisprotsessi jälgimiseks/juhtimiseks ja testri staatuse kuvamiseks on puutetundlik monitor (kasutusmugavuse suurendamiseks) ja erinevad signaallambid ja pinge indikaator.

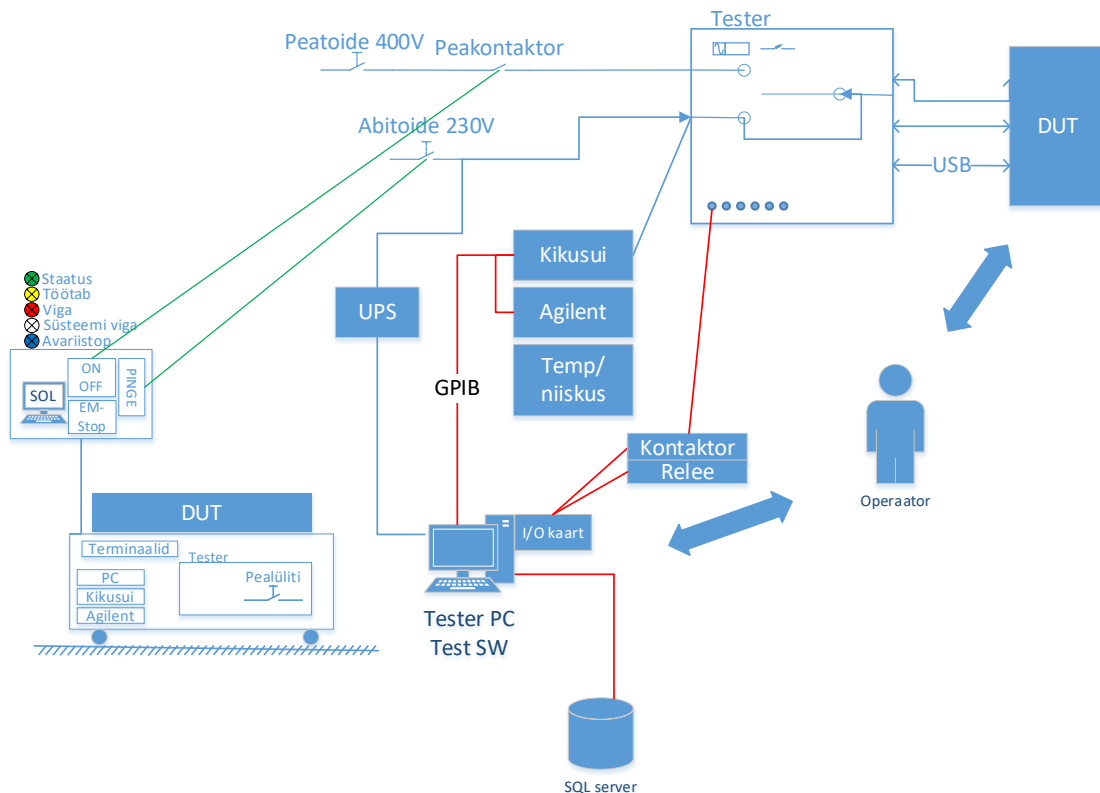
Testiprogrammiks on valitud tehase teistes testsüsteemides pikaldaselt kasutuses olnud programm „ABB SOL2.0” ehk „Global SOL”. ABB SOL2.0 testimissüsteem kasutab testijärjestuse keelt, mis võimaldab testide disaineritel arendada teste madala taseme käskudega (ehk sequence). Testijärjestused on salvestatud ASCII-vormingus failidesse. Testijärjestuste failid on salvestatud TXT-vormingus, mida saab redigeerida Notepad's või testisüsteemi kasutajaliideses. Programm on seadistatud vajalike testi toimingute juhtimiseks. Vajalikud andmed laadimiseks ja salvestamiseks on kättesaadavad testsüsteemi oma andmebaasis „ACX580_07”, mis asub tehase SQL Serveris.

Andmeside ühenduse loomiseks testri ja DUT juhtkaardi vahel toimub läbi kontrollpaneeli (joonis 2.1) mini USB kaabli. Süsteemi keskseks seadmeks nii riistvara ja tarkvara juhtimisel on arvuti.



Joonis 2.1 Assistant control panel, ACS-AP-S [3]

Ohutuse poolelt on lisatud hädaseiskamise nupp, mille aktiveerimine lülitab välja välise toite ja seiskab ohutult testimise. On/Off nupp peatoite manuaalseks sisse- ja väljalülitamiseks, et lisaks toite tarkvaralisele juhtimisele anda kontroll katse personalile.



Joonis 2.2 Testsüsteemi kontseptsioon

3 RIISTVARA VALIK

Testsüsteemi disainimisel on kaks tähtsat osa: mehaaniline disain ja elektriskeem. Viimane koosneb allpool kirjeldatud mõõte- ja juhtseadmetest ning elektriskeemi disainist. Elektriskeemi koostamisel lähtutakse elektripaigaliste kehtivatest standarditest ja nõuetest.

3.1 Mõõte- ja juhtseadmete valik

Mõõte- ja juhtseadmed on valitud vastavalt ACX580-07 testimise parameetritele. Valitud seadmed on tuntud oma töökindluse ja kvaliteedi osas. Lisaks on osad seadmed, mis on tehases laialdaselt kasutusel, tõestanud oma töökindlusega teistes töötavates testseadmetes. Määravaks kriteeriumiks lõppvalikul oli ka seadme turustamine, tarneaeg ja pakutav hooldus/remontteenuse olemasolu Euroopa regioonis. Alljärgnevalt on toodud komponentide ja seadmete kirjeldused ja parameetrid.

3.1.1 Lekkevoolu ja isolatsioonitakistuse tester Kikusui TOS9200

Kikusui TOS9200 on kaks funktsiooni ühes, isolatsioonitakistuse ja lekkevoolu mõõtmiseks. Kikusui väiksem seeria TOS6000 on võimeline ainult lekkevoolu mõõtmiseks, mis tähendab ühe lisa seadme olemasolu. Kikusui TOS9200 pingetaluvus tester kujutatud joonisel 3.1.



Joonis 3.1 Isolatsiooni ja pingetaluvus tester Kikusui TOS9200 [7]

Pingetaluvus test on komponendi või toote elektriline katse, et teha kindlaks selle isolatsiooniline efektiivsus. Antud katse on toote kvaliteedi üks tähtsamaid teste ja peab tagama vastavuse IEC, UL, CSA, CCC ohutus standarditele.

TOS9200 maksimaalne väljund lekkevoolu mõõtmiseks on 5 kVAC/110 mA ja 30minutit, 50 Hz või 60 Hz juures. Isolatsiooni takistuse mõõtmiseks maksimaalne väljund 1000 VDC/9,99 GΩ. Seadme mõõtetäpsus on esitatud tabelis 3.1. Kikusui TOS9200 kaugjuhtimiseks saab kasutada GPIB või IEEE-488 liidest. Võrreldes RS-232 liidesega on see kiirem ja andmeid edastatakse paralleelrežiimis.

Tabel 3.1 Kikusui TOS9200 mõõtmistäpsus [7]

Tüüp	Mõõtetäpsus
HiPot testi voltmeeter	± (1% lugemist 30V)
HiPot testi ampermeeter	± (3% lugemist +20μA)
Isolatsiooni takistuse testi voltmeeter	± (1% lugemist +1V)
Isolatsiooni takistuse meeter	± (2% lugemist)

Tabel 3.2 ACX580-07 pingetaluvus testi parameetrid [8]

Ahel	Isolatsiooni takistus		Lekkevool		Isolatsiooni takistus	
	Testi pinge	Limiit	Testi pinge / kestvus	Limiit	Testi pinge	Limiit
400 V peaahel	1,0 kVdc	10 MΩ	2,4 kVac / 1 s	30 mA	1,0 kVdc	10 MΩ
230 V ahel	500 Vdc	10 MΩ	2 kVac / 1 s	20 mA	500 Vdc	10 MΩ
24 V ahel	100 Vdc	10 MΩ	0,6 kVac / 1 s	10 mA	100 Vdc	10 MΩ

Mõõteseade oma tehniliste parameetritega (max 5 kVAC/110 mA ja 1000 VDC/9,99 GΩ) on sobilik kasutamiseks ACX580-07 pingetaluvustesti sooritamiseks, mis on välja toodud tabelis 3.2.

3.1.2 Andmekogumis süsteem Keysight 34970A

Keysight 34970A mõõteseade on kompaktne, kulutõhus, ökonoomne ja turul laialt kasutusel olev toode. Varasemalt nimega Agilent 34970A. See on ühe kasti juhtimislahendus andmete logimiseks, andmete hankimiseks ning üldotstarbeliste lülituste ja juhtimise rakenduste jaoks. Keysight valik sai tehtud kuna turul teine pakkuja Keithley ei oma piisavalt laia toote sortimenti.

Toote sortimendis on pakkuda kahte seadet vajalike mõõte sisendsignaalide ja piirkondade jaoks - 34979A ja 34972A. 34970A valik sai tehtud sobiva andmesideliidese poolest GPIB vs USB. GPIB pakub kiiremat ja kindlamat andmeside ühendust tabel 3.3.

Tabel 3.3 34970A ja 34972A võrdlus [9]

	34970A	34972A
LabView driverid	•	•
IVI-C, IVI-COM driverid	•	•
BenchLink andmelogger	•	•
Graafiline veebiliides	•	•
Gigabit LAN		•
USB 2.0		•
USB mälu port		•
GPIB	•	
RS-232	•	

Mõõtekaart 34901A pakkus lisaks põhikanalitele ka 2x lisa kanalit voolu mõõtmiseks, tabel 3.4. 34970A on kolm ühenduskaardi pesa, mis sisaldab sisseehitatud 6,5-kohalist DMM-i. See võib töötada iseseisva andmeloggerina, millel on 50 000 sisseehitatud mälunäitu. DAQ-kontroller sisaldab arvutiga ühendamiseks GPİB ja RS-232-liideseid. Joonisel 3.2 on esitletud 34970A ja lülituskaart 34901A.

Tabel 3.4 Multiplexer 34901A, 34902A, 34908A valik [9]

	34901A	34902A	34908A
Kanalite arv	20 + 2	16	40
Max skaneerimis kiirus	60 CH/s	250 CH/s	60 CH/s
Kontaktide arv	2 või 4	2 või 4	1
Termopaarid	•	•	•
2-juhtmega RTD	•	•	•
4-juhtmega RTD	•	•	
Termistor	•	•	
DC ping	•	•	•
AC ping	•	•	•
2-juhtmega Ohm	•	•	•
Sagedus	•	•	•
Period	•	•	•
DC vool	•		
AC vool	•		



Joonis 3.2 Keysight 34970A ja Keysight 34901A [10]

34970A mõõdab ja teisendab 11 erinevat sisendsignaali: termopaaride temperatuur, RTD ja termistorid; alalispinge/vahelduvpinge; 2- ja 4-juhtmeline takisti; sagedus ja periood; alalis- ja vahelduvvool. Seadme maksimaalselt skäneerimis kiirus on 250 kanalit/sekundis ja kuni 800 lugemit/sekundis (*GPIB andmesidega). Testsüsteemi jaoks on vajalik üks põhiseade ja kaks mõõtekaarti, kokku 32 kanali jaoks.

Tabel 3.5 Keysight 34970A mõõtevead [10]

	Piirkond	Sagedus, jne	24h (23±1°C) (% lugemist + % piirkonnast)
Takistus	100.0000 Ω	1 mA voolu allikas	0.0030 + 0.0035
	1.000000 kΩ	1 mA	0.0020 + 0.0006
	10.00000 kΩ	100 μA	0.0020 + 0.0005
	100.0000 kΩ	10 μA	0.0020 + 0.0005
	1.000000 MΩ	5.0 μA	0.002 + 0.001
	10.00000 MΩ	500 nA	0.015 + 0.001
	100.0000 MΩ	500 nA 10 MΩ	0.300 + 0.010
DC pinge	100,0000 mV		0,0030 + 0,0035
	1,000000 V		0,0020 + 0,0006
	10,00000 V		0,0015 + 0,0004
	100,0000 V		0,0020 + 0,0006
	300,000 V		0,0020 + 0,0020
RMS AC pinge	100.0000 mV kuni 100.0000 V	3 Hz – 5 Hz	1.00 + 0.03
		5 Hz – 10 Hz	0.35 + 0.03
		10 Hz – 20 kHz	0.04 + 0.03
		20 kHz – 50 kHz	0.10 + 0.05
		50 kHz – 100 kHz	0.55 + 0.08
		100 kHz – 300 kHz	4.00 + 0.50

Tabelis 3.5 on esitatud testsüsteemi disainimisel vajaminevad mõõte funktsioonid. Mõõtevead on antud %-des (multiplikatiivne ja additiivne komponent täisskaalast).

3.1.3 I/O kaart Advantech PCI-1758UDIO

Süsteemi releede, kontaktorite, tulede ja seadmete juhtimiseks on kasutusel digitaalne sisend/väljund kaart. Erinevalt controllerist, mis vajab eelnevat loogikaskeemi loomist, on I/O kaarti lihtne kasutada ja võimaldab süsteemi ka hilisemalt kergemini muuta.

Digital I/O käsud on lihtsalt käsitsi sisestavad testijärjestusse, peab teadma kanali asukohta ja käsurida. Näited:

- DIO_WRITE_ON 0, 1, 2. See käsk lülitab sisse kanali 1 ja 2, esimesel digitaal väljundi kaardil
- DIO_TEST 0, 1, 0. Loeb kanali 0, esimesel digitaal sisend kaardil ja kontrollib vastavust OFF staatusele
- DIO_READ 0, 1. Loeb kanali 1 staatust, esimesel digitaal väljund kaardil

Advantech PCI-1758UDIO joonisel 3.3 on juba programmiselt ühilduv ja ruumi kokkuhoiu mõttes paigaldatav arvuti PCI-pessa. UDIO laiend tähendab, et kaart sisaldab juhtimiseks 64x digitaalset isoleeritud väljundkanalit ja 64 digitaalset isoleeritud sisendkanalit. Toote kataloogis oli pakkuda ka 16 või 32 sisend või väljund kanaliga kaarte, kui vastavalt tabelile 3.7 toodud kanalite vajadusele ei ole need sobivad.

Valitud PCI kaart iga eraldatud digitaalne sisendkanal laia 5~25VDC pinge vahemiku ja saab rakendada positiivse või negatiivse pinge sisendit. Lisaks Kõik eraldatud väljundkanalid on varustatud Darlingtoni transistoriga. Grupeeritud 16 väljundkanalit jagab ühist kollektorit ja integreeritud summutamist diodid induksioonmähiste koormuste jaoks.

Tabel 3.6 ja 3.7 kirjeldab sisend/väljund kanalite juhtimist süsteemis



Joonis 3.3 - PCI-1758UDIO 128-ch Isolated Digital Input/Output Card [11]

Tabel 3.6 PCI-1758UDIO digitaal sisendkanalid

Kanal	Juhitav rele	Nimetus
CH0	V200	Peakontaktor Q20
CH1	V203	Kontaktor Q22
CH2	V204	G300 toide K11
CH3	V205	HiPot 400V ahel K71
CH4	V206	HiPot 400V ahel K70.1
CH5	V207	HiPot 400V ahel K70.2
CH6	V208	HiPot 400V ahel K70.3
CH7	V209	HiPot 230V ahel K72
CH8	V210	HiPot 230V +G300 K73
CH9	V211	HiPot 24V ahel K74
CH10	V212	400V Kikusui K43
CH11	V213	230V Kikusui K44
CH12	V214	24V Kikusui K45
CH13	V215	M600 faasikontroll K79
CH14	V216	M600 faasikontroll K80
CH15	V217	OESA tagasiside Q10
CH16	V218	Sulari valvur A101
CH17	V219	RESERV
CH18	V220	RESERV
CH19		ProfiBUS
CH20		ProfiBUS
CH21		ProfiBUS
CH22	V221	ATEX
CH23	V222	ATEX
CH24	V223	ATEX
CH25	V224	ATEX
CH26	V225	ATEX
CH27	V226	Sisend pinge mõõtmine K81
CH28	V227	DC pinge mõõtmine K82
CH29		SOL start S21

Tabel 3.7 PCI-1758UDIO digitaal väljundkanalid

Kanal	Juhitav rele	Nimetus
CH0	V100	Peakontaktor Q20
CH1	V101	Kontaktor Q22
CH2	V102	G300 toide K11
CH3	V103	HiPot 400V K71, K70.1, K70.2, K70.3
CH4	V104	HiPot 230V K72
CH5	V105	HiPot 230V +G300 K73
CH6	V106	HiPot 24V K74
CH7	V107	400V Kikusui K43
CH8	V108	230V Kikusui K44

CH9	V109	24V Kikusui K45
CH10	V110	M600 faasikontroll K79, K80
CH11	KH1	Roheline tuli
CH12	KH2	Punane tuli
CH13	KH3	Kollane tuli
CH14	KH4	Valge tuli
CH15	KH5	Sinine tuli
CH16	KH6	Lilla tuli
CH17	V111	+L504 DI/ Relee
CH18	V112	
CH19	V113	
CH20	V114	
CH21	V115	
CH22	V116	
CH23	V117	
CH24	V118	
CH25	V119	
CH26	V120	Profibus
CH27	V121	
CH28	V122	
CH29	V123	ATEX kontroll
CH30	V124	
CH31	V125	
CH32	V126	
CH33	V127	
CH34	V128	RESERV
CH35	V129	RESERV
CH36	V130	Hooldus
CH37	V131	Hooldus
CH38	V132	Sisend pinge mõõtmine K81
CH39	V133	DC pinge mõõtmine K82
CH40	V134	RESERV

3.1.4 LEM LV25-1200 pingemuundur

Vahelduvpinge mõõtmiseks on kasutusel LEM LV25-1200 pingemuundur. Mõõtepiirkond 0-1200V. Sisend ja väljundahel on galvaaniliselt isoleeritud ja sobilik AC, DC, pulss signaalide mõõtmiseks. Peaahela mõõtepiirkond on 0 ... ±1800 V. Sekundaar ahela mõõtepiirkond on 25mA. Seega pöörete suhe on 1200 V / 25 mA. Teisendamaks voolumõõtepiirkond Keysight multimeetri pingemõõtmise jaoks sobivaks on testri mõõteahelale pandud vahele 100Ohm takisti. Tekkiv skaleerimise faktor korrutatakse programmis läbi, et saada tegelik mõõteväärtus.

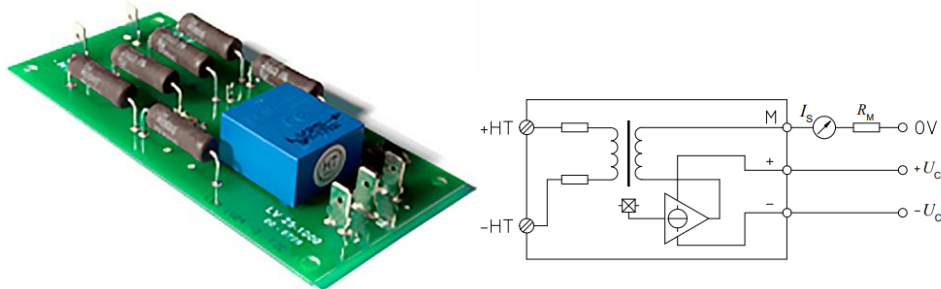
$$R_m = 100\Omega$$

$$I_{sn} = 25mA$$

$$U_{pn} = 1200V$$

$$\text{Skaleerimis arv} = \frac{U_{np}}{I_{ns} * R_m} = \frac{1200V}{25mA * 100\Omega} = 480$$

Joonisel 3.4 on LEM LV25-1200 pingemuundur ja elektri ühendusskeem.



Joonis 3.4 LEM LV25-1200 pingemuundur ja mõõteskeem [12]

Lineaarsuse viga on <0,8%, mis on piisav süsteemi pinge mõõtmiseks. LEM eelisteks on madal temperatuuri triivimine ja kõrge immuunsus väliste häirete suhtes. Toitepinge on $\pm 12-15V$.

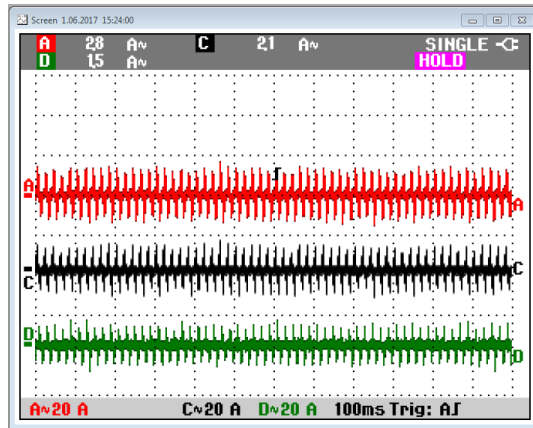
Alternatiivina oli valikus ka LEM CV3-1000, kuid seda ei valitud selle kõrge hinna ja mitte sobiva pinge mõõtepiirkonna pärast.

3.1.5 AF52 – peakontaktor

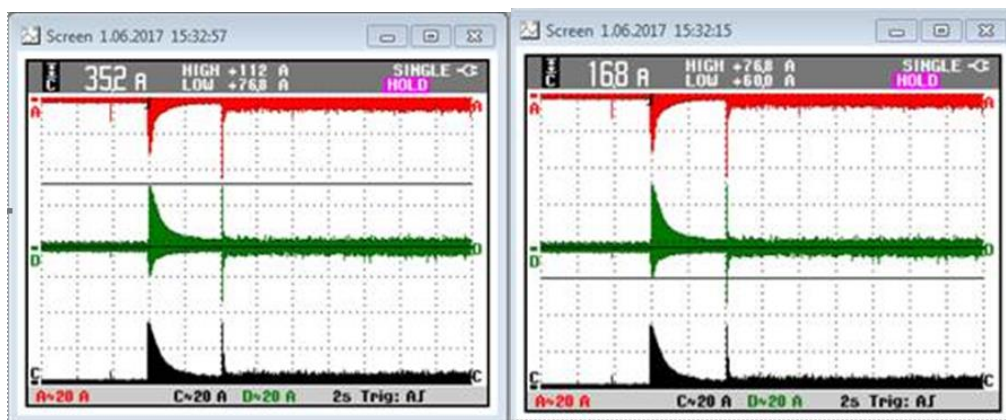
Sagedusmuunduri peatoite sisse ja väljalülitamiseks on kasutusel ABB kontaktor. Kontaktor on automaat- või kaugjuhitav lülitusseade, mis on ette nähtud sisse või välja lülitama normaalset talitlusvoolu ja ka ülekoormusvoolu peamiselt elektriagamite ja võimsate valgustusseadmete toiteahelais. [13]

Kasutatavas manuaaltestimise toitekilbist on peatoite kaitselahutuseks 32A gG 400V sularid. Kontaktori valiku määramisel on vajalik teada sagedusmuunduri käivitusvoolu. Käivitusvoolu mõõtmiskatsel kasutati tooteseeria ühte võimsamat muundurit ACS580-07-0870A-4. See määrab ära maksimaalse võimaliku voolu.

Sagedusmuunduri moduleerimisel tarbitav vool juures on $\sim 3A$ joonisel 3.5 ja käivitamisel maksimaalne piikvool olenevalt kondensaatorite laetusest või käivitus hetkest $\sim \max 35A$ joonisel 3.6. Ride-through testi ajal aga on voolu piik isegi $\sim 100A$.



Joonis 3.5 ACS580-07-0870A-4 moduleerimine



Joonis 3.6 ACS580-07-0870A-4 käivitus, laadimisvoolu piik

Vahelduvvooluseadmete (koormuste) puhul, mille võimsustegur on vähemalt 0,95 (koormustakisti, jaotamine), võtta kasutuskategooriaks AC-1. Valikul lähtuda maksimaalsest voolust ja temperatuuri vahemik $<40^{\circ}\text{C}$, siis saame olla kindel, et ei toimuks kontakti klemmide vananemine, joonisel 3.7

Contactor types	AC / DC operated	AF40	AF52
Standards		IEC 60947-1 / 60947-4-1	
Rated operational voltage U_e max.		690 V	
Conventional free-air thermal current I_{th} acc. to IEC 60947-4-1, open contactors, $\theta \leq 40^{\circ}\text{C}$		105 A	105 A
With conductor cross-sectional area		35 mm ²	35 mm ²
AC-1 Utilization category			
For air temperature close to contactor			
I_e / Rated operational current AC-1	$\theta \leq 40^{\circ}\text{C}$	70 A	100 A
	$\theta \leq 60^{\circ}\text{C}$	60 A	80 A
	$\theta \leq 70^{\circ}\text{C}$	50 A	70 A

Joonis 3.7 AF52 tehniline data [14]

3.2 Mehaaniline ehitus

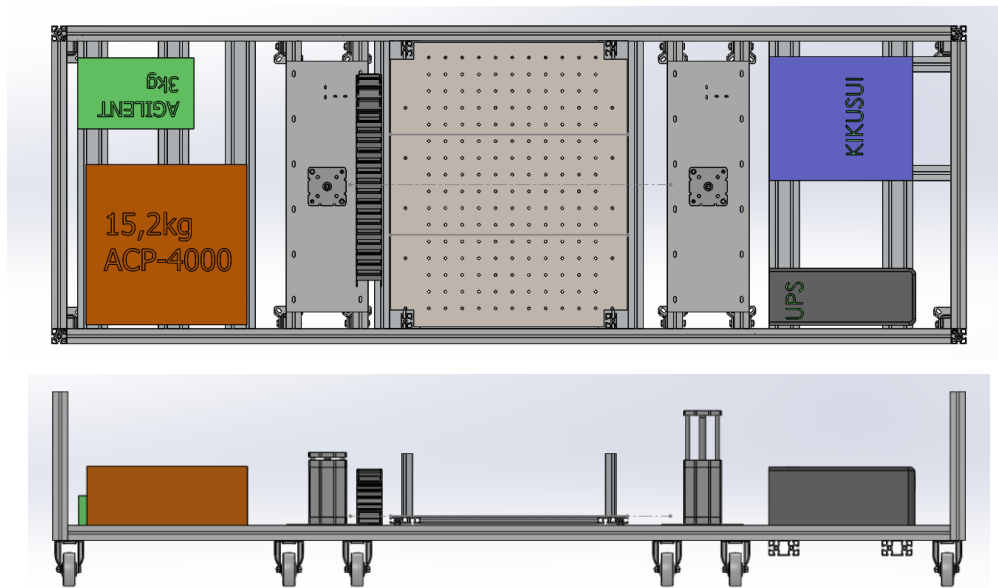
Testsüsteemi raam on ehitatud MiniTec alumiiniumprofiilile mõõtudega: pikkus 2940mm, laius 964mm, kõrgus min 500mm ja max 625. Välja ulatuv juhtpaneel monitori ja klaviatuuriga on kõrgusel 1500mm. Raami sisse on paigaldatud kaks hüdrosilindrit, mis võimaldab parema töökoha ergonoomika eesmärgil langetada ja tõsta töötasapind 125mm. Sagedusmuundur on koostatakse tootmisliinil horisontaalasendis ja juba pakkimise aluse peal. Testimisse tuleb toode kujundatud viisil joonisel 3.8, mööda rull konveierit ja liigub järgmisesse etappi, pakkimisse.



Joonis 3.8 Testsüsteemi raam ja ACX580-07 testimisasendis

Kõik testsüsteemiga seotud seadmed ja komponendid asetsevad käru alumisel platvormil töötasapinna all ja kuvari laiendusel. Elektriohutuse ja ennetava hoolduse jaoks on süsteemi alumine platvorm ümbritsetud külgedelt ja pealt pleksiklaasiga, puutekaitse, tolmu ja lahtiste osakeste kukkumise eesmärgil.

Elektrilised komponendid, mõõte- ja juhtseadmed on paigaldatud võttest arvesse võimalikku optimaalset ruumikasutust, minimaalset kaabeldust ja häirete minimeerimist. Seadmed on paigaldatud tasapinna nurkadesse ja keskmine osa hüdrosilindrite vahel on vajalik koostatud elektriskeemile, seda illustreerib joonis 3.9.

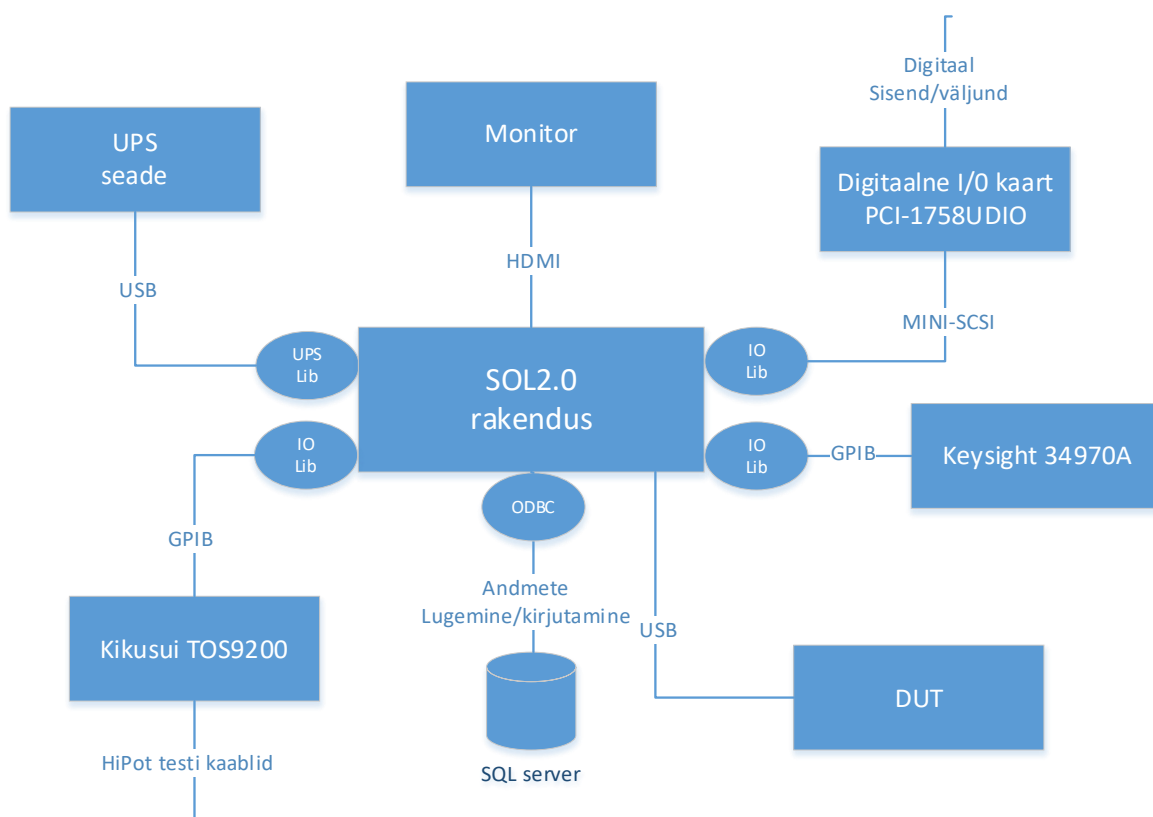


Joonis 3.9 Testsüsteemi seadmete paigutus pealt ja eesvaade

Aluse nurkades on Keysight mõõtesead, PC (ACP-4000), Kikusui TOS9200 ja UPS (seadmete puhvertoiteallikas elektrivõrgu võimalike rikete ja häirete puhuks).

4 TARKVARA ÜLESEHITUS

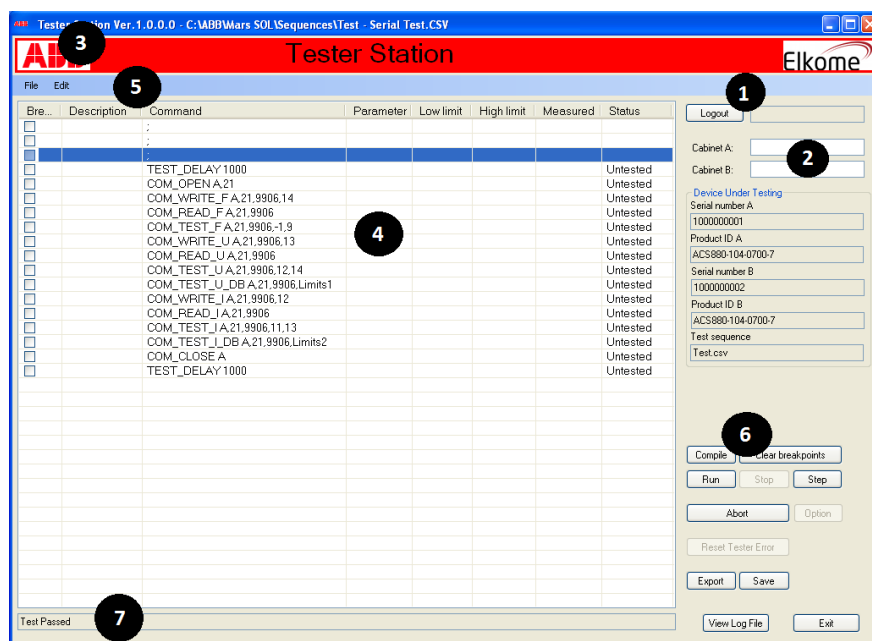
Testsüsteem kasutab ABB SOL2.0 tarkvara platvormi. Programm on mõeldud testprotsessi läbiviimiseks, järgib kirjutatud testijärjestust, juhib käskude kaudu ühendatud seadmeid ja elektrikomponente ning salvestab testi tulemusi andmebaasi. Testjärjestuse faili struktuur sarnaneb testi spetsifikatsiooni dokumendiga. Kõige kõrgemal tasemel test hõlmab suurt hulka sagedusmuunduri rikete kontrolli. Iga test koosneb erinevast hulgast mõõtmistest, mis on testsüsteemi viis tagada, et sagedusmuundur läbib kvaliteediatribuutidele seatud sobivuskriteeriumid. Testi spetsifikatsiooni dokumendis kirjeldatakse teste loomulikus keeles, kasutades insenerimõisteid, samas kui testijärjestuse fail kirjeldab, kuidas väljundsignaale genereeritakse ja sisendsignaale mõõdetakse sagedusmuundurite katsetamiseks väliseadmete abil, joonis 4.1 kirjeldab seotud liideseid.



Joonis 4.1 SOL2.0 testprogrammi liideseid ja nende vahelised ühendused

4.1 Kasutajaliides

Testsüsteemi tarkvara graafiline kasutajaliides (GUI) eesmärk on kuvada operaatorile testiprotsessi käiku. Programm kuvab info GUI kasutajaliidese kaudu, millest saab välja lugeda hetkelise testi staatuse ja vajalike toimunute info. Tegevuste info salvestatakse ka logi faili *.txt. Joonisel 4.2 on kujundatud programmi kasutajaliides.



Joonis 4.2 SOL2.0 graafiline liides. 1 - kasutaja ja administraatori režiimide vahetamiseks nupud, sisselogimine ja väljalogimine. 2 - seerianumbri käsitsi sisestamine. 3 - testjärjestuse faili nimi. 4 - katse järjestus. Näitab testimisjärjestuse käsku, tulemusi ja käsku, mis on protsessis. 5 - staatus. Viimane informatiivne teade, näiteks testimine õnnestus või ebaõnnestus või tõrketeadete. [15]

Testide järjestus on kuvatud joonisel 4.2 punkt 4, loendivaates, rida vastab ühele testijada käsule. Testjärjestuse käsu kohta kuvatav teave on jagatud mitmesse veergu. Kuvatud veerud on järgmised:

- Breakpoint. Näitab, et käsku ei käivitata ja selle asemel testjärjestuse täitmine enne käsku peatub
- Description. Näitab käsu sisu. See võib viidata testi spetsifikatsioonile
- Command. Näitab käsku, mis on täidetav antud testi järjestuses
- Parameter. DUT või seadmesse laetav testi parameeter
- Low limit. Kui käsk võrdleb mõõdetud väärtust andmebaasi piirväärtustega, siis kuvatakse selles veerus low limit
- High limit. Kui käsk võrdleb mõõdetud väärtust andmebaasi piirväärtustega, kuvatakse selles veerus high limit

- Measured. Kui käsk teostab mõõtmist või arvutamist, siis kuvatakse tulemus selles veerus
- Status. Siin kuvatakse käsu tulemuse hinnang: testimise etapp, test läbitud, test ebaõnnestunud, tõrge.

Administraatorrežiimis on kasutatavad juhtnupud - alumises nurgas (joonisel kujutatud nr 6). Nupud on aktiivsed ainult administraatori režiimis ja lubavad toote käsitsi testimist või debuggimist:

- Compile. Kontrollib testijärjestuse faili käskude õigsust
- Clear brakepoints. Eemaldab kõik murdepunkti markerid
- Run. Alustab testijärjestuse käivitamist valitud kohas
- Stop. Peatab testijärjestuse peale etapi lõppu
- Step. Läbib ainult ühe käsu rea
- Abort. Peatab jooksva testijärjestuse peale etapi lõppu
- Reset Tester Error. Võimaldab kasutajal pärast tõrke ilmumist tarkvara kasutamist jätkata
- Export. Kirjutab praeguse testijärjestuse faili ja tulemused Exceli *.csv-faili.
- Save. Salvestab muudetud andmebaasi parameetrid ja piirväärtused andmebaasi

4.2 Testi järjestus

Testi järjestus (sequence) on *.txt fail, mis sisaldab testi stringi. Iga string sisaldab ühte käsku. SOL2.0 programm loeb järjestuskäskude alates algusest ja toimib vastavalt käsule Iga järjestuse string sisaldab „kommentaari“ ja „käsku“. „Käsk“ mõjutab testi, „kommentaar“ mitte. „Kommentaar“ on vabakirje valik, mis aitab selgitada käsu olemust. „Käsk“ kirjeldab testi protsessi läbiviimist, mis tehase vastavalt etteantud kasutusjuhendile.

```

"" , "" 1
"Insulation Resistance Test 1.1", "" 2
"Check the door", ";DIO_TEST 0,1,1" 3
"Select Hipot workplace", "DIO_SELECT_CABINET_DB 0,6,7,12,DB_Cabinet" 4
"" , "OPC_READ_DUT Par_3_2,INT" 5

```

Joonus 4.3 Testijärjestuse näide [16]

Joonis 4.3 on testijärjestuse erinevad näited:

1. Kommentaari ja käsku väli on tühi. Kasutatakse visuaalselt eraldada testijärjestuse osi, ei mõjuta testimist.
2. Kommentaar on täidetud, käsk on tühi. Kasutatakse järjestusosadele üldnimede andmiseks. Ei mõjuta testimist.
3. Nii kommentaar ja käsk on täidetud, kuid käsk kommenteeritakse välja (; pannakse enne käsku). Kui; pannakse enne käsku, siis see osa jäetakse testimises vahele. Ei mõjuta testimist.
4. Nii kommentaar ja käsk on täidetud. Käsk töötab, mõjutab testimist.
5. Kommentaar on tühi, kuid käsk on täidetud. Käsk töötab, mõjutab testimist.

Järjestuse käsk suhtleb sageli testisüsteemi osade või testitava tootega. Baaskäskud:

- DIO - käsk suhtleb digitaalse sisend/väljundkaardiga. Lülitab sisse/välja kontaktoreid, releesid ja loeb tagasiside käsku
- GPIB - käsk suhtleb Keysight (või sarnase seadmega). Kõik mõõtmised tehakse läbivad juhitava seadme
- COM - käsk suhtleb testitava tootega. Kõik parameetrid, mis on sisalduvad püsivaras
- WRITE - kirjutab väärtuse toote parameetrisse või testsüsteemi seadmesse
- READ - loeb mingit väärtute, ilma kontrollita. Väärtus kuvatakse SOL2.0 kasutajaliideses. Kasutatakse lihtsalt lisateabe saamiseks operaatori jaoks.
- TEST - loeb väärtuse testisüsteemist või tootest ja võrdleb seda etteantud limiitidega. Katse ebaõnnestub, kui väärtus on väljaspool testi limiite
- SAVE - loeb väärtuse ja salvestab selle SQL'i andmebaasi, ilma igasuguse kontrollita
- DB - käsk on seotud SQL andmebaasiga. See vajab SQL'i limiite või parameetreid ja salvestab tulemuse tagasi SQL andmebaasi
- BIT - tegeleb mitte kogu parameetriga, vaid ainult selle ühe osaga. Näide - üks bit binaarväärtusest – 000100**1**0
- DIFF/PDIFF - käsk arvutab kahe mõõtmise absoluutse või protsentuaalse erinevuse

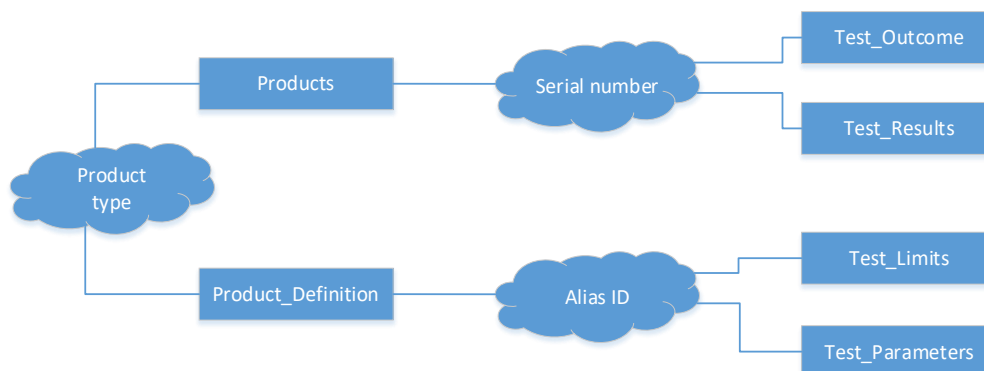
4.3 SQL Server ja andmebaas

Testeri arvuti asub DMZ - "demilitarized zone" võrgu osas, mis asub tule müüri taga, see lubab luua ainult spetsiifilise ühenduse. Seda tehakse turvalisuse kaalutlustel, et välistada muud mitte turvalised ühendused (näiteks internet).

Testi programm kasutab andmete salvestamiseks ja lugemiseks tehase SQL serveri andmebaasi. Andmebaasi võib vaadelda kui tabelite kogu. Igal andmefailil on struktuur, mis sisaldab informatsiooni selles failis sisalduvatest andmetest.

Andmebaasi tähtsamad tabelid on kujutatud joonisel 4.4. Andmebaasitabelid kujutatud kastidena. Mõisted, mis ühendavad kahte tabelit, on kujutatud pilvedena. Järgnevas kirjeldatakse ühendavaid mõisteid:

- Serial number. Seerianumbrid seovad testitulemused sagedusmuunduriga, millele on omistatud seerianumber. Seerianumbril võib olla seonduvaid tulemusi mitme katse käigus. Neid eristatakse järjekorranumbrite abil
- Product type. Sagedusmuundur rakendab sagedusmuunduri tooteliigi omadusi. Samaaegselt võib olla palju üheselt identifitseeritud sagedusmuundureid, mis kuuluvad samasse tootegruppi
- Alias ID. Sagedusmuunduri tooteliigid rühmitatakse alias ID-de abil
- Product_Definition. Sagedusmuunduri tüüp teisendatakse programmile loetavaks alias ID
- Test_Results. Iga mõõdetud või "käsk _DB" kirjutatakse andmebaasi
- Test_Outcome. Testi tulemus salvestatakse konkreetse vääringuga - test läbinud, test vigane
- Test_Limits. Määratleb sagedusmuunduri tüübi kombinatsiooni mõõtelimiidid
- Test_Parameters. Määratleb sagedusmuunduri tüübi kombinatsiooni parameetri väärtused



Joonis 4.4 Andmebaasi tabelid

5 TESTSÜSTEEMI VERIFITSEERIMINE

Testsüsteemi verifitseerimine on vajalik tagamaks, et disainitud toode oleks ohutu kasutamiseks katsetus personalile, testimine toimub vastavalt testimise spetsifikatsioonis seatud nõuetele ja oleks tagatud mõõtesüsteemi täpsus. Nende kriteeriumite kindlaks tegemiseks on ülesehitatud erinevate etapid, mis kõik peavad saama täielikult läbitud ja heakskiidu.

5.1 Elektripaigaldise kasutuselevõtu audit

Elektripaigaldise audit on tehniline kontroll, mille eesmärk on tuvastada seadme tehniline korrasolek ning ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamise ohutus ning võimalikud olulised puudused. Selle jaoks on tellitud kolmas osapool, kes viib läbi auditi, väljastab valdajale protokoll, mille järeldusotsuse kohaselt on seade tehniliselt korras ja seadme ettenähtud otstarbel ja viisil kasutamine on ohutu. Auditi tegija on EAK poolt akrediteeritud inspekterimisasutus.

Auditi käigus hindab auditi tegija visuaalselt elektripaigaldise olukorda, tutvub paigaldise elektriskeemiga, kas komponendid omavad CE-tähistust ja on sobilikud kasutamiseks, kas on täidetud erinevate ahelate kaitsefunktsioonid ja valitud õige kaablite ristlõige. Teeb paigaldises täiendavaid kontrollmõõtmisi, vastav nimekiri on nähtav joonisel 5.1. Hindamise alusnormid on: SeOS, EVS-EN 50110-1, EVS-HD 60364 (osad 1, 4, 5, 6, 8), EVS-EN 61140.

1	Ehitaja deklaratsioon	V	17	Elektriseadmete/install. materjalide valik	V
2	Visuaalkontrolli protokoll	V	18	Madalpingejuhistikud	V
3	Kontrollmõõtmised	V	19	Generaatorseadmed	X
4	Projektdokumentatsioon	X	20	Turvatoitesüsteemid/ EXIT valgustus	X
5	Projekti ekspertiis	X	21	Kaabelküte	X
6	Paigalduse vastavus projektile	X	22	Jaotlad ja jaoturid	V
7	Käetud tööde aktid, joonised	V	23	Maanduspaigaldis, kaitsejuhid	V
8	Seadistustööd	V	24	Kõrgepingepaigaldise maandus	X
9	Seadmed, materjalid	V	25	Õhuliinid kuni 1000V	X
10	Käidukorraldus	V	26	Mastalajaamad	X
11	Kaitse otsepuute eest	V	27	Üle 1000V jaotlad ja alajaamad	X
12	Kaitse kaudpuute eest	V	28	Õhuliinid üle 1000V	X
13	Kaitse kuumustoime eest	V	29	Kõrgepingejuhistikud	X
14	Liigvoolukaitse	V	30	Elektromagnetiline ühilduvus	X
15	Liigpingekaitse	X	31	Muu kontrollitav osis	X
16	Välisloime arvestamine	X	32	Eripaigaldised	V

Joonis 5.1 Elektripaigaldise kasutusvõtule eelnev audit kontrollnimekiri. Tähistused: V – vastab nõuetele, MV – mittevastavus, O – oluline puudus, OO – otsene oht, X – nõuet ei rakendata.

[17]

Lisaks visuaalsele auditile teostati ka katselabori poolt järgmised elektrotehnilised kontrollmõõtmised. Elektrotehnilised mõõtmised annavad ülevaate elektripaigaldise seisukorrast ja peavad veenma kontrollijat paigaldise kasutamise ohutuses. Selleks tehakse mitu erineva iseloomuga mõõtmist:

- Isolatsioonitakistuse mõõtmine. Isolatsioonitakistust mõõdetakse kõigi tööjuhtide ja neutraali ning neutraali ja kaitsejuhtide vahel.
- PEN-, kaitse- ja potentsiaaliühtlustusjuhtide katkematus kontroll. Elektripaigaldise voolu juhtivad, kuid normaalolukorras pingestamata metallkorpused, -tarindid ja muud voolu juhtivad elektriseadmetega kokkupuutuvad osad on avariiolukorras võimaliku pinge alla sattumise vältimiseks maandatud kaitsejuhi abil.
- Rikkesilmuse näivtakistuse mõõtmine. Rikkesilmuse näivtakistuse mõõtmine koos liigvoolukaitseseadme rakendusaja määramisega teostatakse TN-süsteemi toidetavate, PE- või PEN juhiga ühendatud vooluahela kõige kaugematel elektriseadmetel. Rikkesilmuse näivtakistus mõõdetakse koormamata ahelas.
- Rikkevoolukaitseseadme rakendamise kontroll. Rikkevoolukaitseseadmeid valmistatakse rikkevoolude kiireks väljalülitamiseks ja nad rakenduvad erinevusvoolu suurenemisel üle etteantud väärtuse, lülitub välja vähemalt nimirikkevoolu juures ja IEC 1008 kohaselt rakenduma nimirikkevoolu juures enamalt 0,3 s jooksul.

Otsus: elektripaigaldis või selle osa vastab kehtestatud ohutusnõuetele ja seda võib ettenähtud otstarbel kasutada. Auditi raames elektripaigaldise ehituses, seisundis, montaažis ja projekteerimisel mittevastavusi ei tuvastatud.

5.2 Tehase aktsepteerimise test

Tehase aktsepteerimise test ehk Factory acceptance test (FAT) on protsess, mille käigus hinnatakse seadet enne ja peale montaažiprotsessi, kontrollides, kas see on ehitatud ja töötab vastavalt projekti spetsifikatsioonidele. Kui FAT on tehtud ja heaks kiidetud, aktsepteerib ABB katseseadet oma tootmisprotsessi osana ja võtab üle seadme hooldusvastutuse.

FAT peab soovitavalt tegema tooteinsener ja testsüsteemi insener koos. Testi eesmärk on kontrollida ja veenduda, et seadmed on heas korras ja ohutult kasutatavad nii katsetus personalile kui ka testitavate toodete jaoks. Sisuliselt on testimisprotseduur

kontrollnimekirja läbimine (Lisa 3). Kontrollnimekiri on jaotatud erinevatesse kategooriatesse:

- Dokumentide saadavus. Kas testsüsteemi disaini dokumendid on kättesaadavad, kinnitatud ja üleslaetud dokumendi hoiustamise keskkonda. Kas eksisteerib hooldus- ja kalibreerimisplaan, ja tagavara komponentide loetelu.
- Testsüsteemi sisemine ja välimine seisund hindamine. Kas montaaž on tehtud õigesti ja järgitud tehase montaaži juhendeid.
- Funktsionaalsus. Kas testsüsteem töötab nõutud spetsifikatsiooni alusel, testi tulemused on salvestatakse andmebaasi, sagedusmuunduri testid on esimese korraga läbitavad ja korratavad testid on samade tulemustega. Gage R&R uuring on tehtud ja dokument saadaval.
- Ohutus. Testsüsteemi on ohtu kasutamiseks katsetuspersonalile. Maandused, turvalukud ja kaitsekatted on paigaldatud.
- Koolitused ja protsessijuhendid. Läbitud on vastavad koolitused nii katsepersonalile, kui seotud inseneridele ja töödejuhatajatele. Testsüsteemile on saadaval kasutus juhend.

Tulemus: tehase aktsepteerimise testi kontrollnimekiri on täidetud ja mittevastavusi või ohtlike vigu ei tuvastatud. Antud dokumendi allkirjastamisega tehase testsüsteemide omaniku pool, läheb testsüsteem projekti meeskonnalt üle tootmise käsutusse ja võetakse käiku igapäevaseks kasutuseks.

5.3 Mõõtesüsteemi analüüs

Mõõtesüsteemi analüüs tehakse Gage R&R analüüsi nime all. Gage R&R (repeatability & reproducibility) – mõõteriista korratavuse ja reprodutseerivatusse analüüs. See on MSA (mõõtesüsteemi analüüs) tüüp, mis võimaldab võrrelda mõõtesüsteemi kehtestatud varieeruvust kogu varieeruvusega, sealhulgas erinevate tootenäidiste kogumiga. Seetõttu saab kindlaks teha, kas mõõtevahendil on piisavalt täpsust ühe toote (proovi) eristamiseks teisest ja määratleda, kas mõõdetud parameeter on spetsifikatsiooni piirides.

5.3.1 Katsemeetodi kirjeldus

Kasutati ühe operaatori ja kuue prooviga Gage R&R meetodit. Neli ACS580-07 ja kahte ACQ580-07 kappi testiti kokku kolm korda, vaata tabelit 5.1. See katsemeetod võimaldab määrata korratavust (ühe inimese juhitava mõõtesüsteemi variatsioon), kuid

mitte reprodutseeritavust (variatsioon erinevatelt operaatoritelt), kuna kasutatakse ainult ühte operaatorit. Operaatorid jäeti välja seetõttu, et nad ei osale mõõtmisprotsessis (seda tehakse automaatrežiimis).

Tulemusi analüüsiti ANOVA meetodil, kasutades tarkvara Minitab-17.

Tabel 5.1 Gage R&R jaoks kasutatud kapi seerianumbrid

Nº	Seeria number
1	1111111114
2	8174502435
3	8174601297
4	8174601298
5	8174602409
6	8174601862

Analüüsist saadud väärtused ja aktsepteerimise kriteeriumid:

- %Tolerance - täpsuse ja tolerantsi suhe näitab, kuidas mõõtesüsteemi täpsus mahub spetsifikatsiooni limiitide vahele. Kriitiliste parameetrite puhul (ranged piirid on määratletud testimise spetsifikatsioonis) on lubatud tolerants <30%. Kui kriteeriumid on täidetud, saab testisüsteem määratleda, kas toote mõõdetud omadus on kindlaksmääratud limiitides.
- % Study Var - uuringu variatsioon, mõõtesüsteemi täpsuse ja kogu variatsiooni suhe (osade variatsioon erinevate proovide vahel + mõõtesüsteemi variatsioon). See väärtus näitab, kas testisüsteem suudab eristada ühte ("hea*") toodet teisest. %Study Var <30% peetakse vastuvõetavaks. Kui %Study Var on üle 30%, saab testimissüsteem ikkagi määratleda, et toode vastab spetsifikatsiooni limiidile, kui % Tolerance on <30%.
- NDC (number of distinct categories) - eristatav kategooriate arv, näitab mõõtesüsteemi võimet tuvastada mõõdetud karakteristiku erinevust. NDC tähistab kattuvate usaldusvahemike arvu (intervall, mille piires asuvad teatud valimi mõõtmised), mis ulatuvad toote varieerumise vahemikku. Osade variatsioone ja mõõtesüsteemi variatsioone võrreldakse NDC kaudu. $NDC \geq 5$ näitab, et testimis süsteem suudab mõõtmised jagada vähemalt 5 rühma, nii et see võib eristada ühte („hea*“) toodet teisest.

NDC võib olla väiksem kui 5 ja %Study Var võib olla üle 30% järgmistel põhjustel:

1. Mõõteseadme täpsus ei ole piisav ühe hea toote eristamiseks teisest
2. Ümbritsevad tingimused (enamasti niiskus ja temperatuur) mõjutavad mõõtmisi ja lisavad variatsioone ühe kapi piires
3. Kappide erinevused on väikesed - kapid on väga sarnased

4. Mõõdetud omadus pole toote poolt täielikult määratletud (testimissüsteem mõjutab seda ise).

„Hea“ tähendab siin „spetsifikatsiooni piires“. Valdaval enamikul testitud toote omadused olid limiitides, seetõttu on toodete variatsioonivahemik Gage R&R-s kasutatavate kappide piirides.*

%Tolerance võib olla üle 30% ülalnimetatud põhjustel 1, 2 ja 4 või seetõttu, et spetsifikatsioonipiirid on liiga kitsad.

5.3.2 Analüüsi tulemused

Saadud %Tolerance, %Study Var ja NDC väärtuste põhjal määrati iga mõõdetud omaduse jaoks väljundid (OK või NOK) (vt tabel 5.2 ja Lisa 4).

%Tolerance on väljundi määratlemisel peamine roll, kuna testimissüsteemi peamine eesmärk on määratleda, kas toote omadused (mida tähistavad parameetrite nimed) jäävad spetsifikatsioonide piiridesse. Kontrolli väljund (Ins. Output) määratleti %Tolerance kasutamisega.

%Study Var ja NDC väärtused näitavad, kas testsüsteemi praeguses olekus (keskkonnatingimustest mõjutatud) saab konkreetse vara üksikasjalikuks analüüsimiseks ja täiustamiseks kasutada. Protsessi parendamise väljund (PI Output) põhines %Study Var ja NDC.

Tabel 5.2 Gage R&R analüüsi tulemused

Parameter name	%Tolerance	%Study Var	NDC	PI Output	Ins. Output
'IR_230V_R_2'	2,21	2,75	51	OK	OK
'IR_230V_R_1'	3,09	4,04	34	OK	OK
'IR_Main_R_2'	1,52	3,46	40	OK	OK
'IR_Main_R_1'	10,34	21,04	6	OK	OK
'HV_230V_I'*	0,15	0,04	3585	OK	OK
'HV_Main_I'	0,56	1,07	32	OK	OK
'230V_Voltage_F22_on'	14,71	54.16	2	NOK	OK
'DC_Voltage'	17,81	67,75	1	NOK	OK
'Speed'	0,15	21,40	6	OK	OK

Järeldus: testimissüsteem suudab määratleda, kas toote kriitilised omadused ja ka täiendavad mõõtmised jäävad piiridesse või mitte. Seetõttu on süsteem sobiv mõõtmisprotsessi jaoks, milles seda kasutatakse.

KOKKUVÕTE

Valmistatava toote kvaliteedi tagamiseks on nõutud selle põhjalik funktsionaalne testimine, mis tagaks toote seatud üldise kasutatavuse, jõudluse, turvalisuse ja ühilduvuse. Lõputöö ülesandeks oli välja arendada testimissüsteem, mis toetaks valmistatava toote, ACX580-07 sagedusmuunduri funktsionaalset automaatset testimist.

Antud bakalaureusetöö raames arendas autor välja testsüsteemi ACX580-07 sagedusmuunduri testimiseks. Vaja oli disainida nii tarkvaraline ja riistvaraline lahendus. Selle käigus toimus põhjalik mõõte- ja juhtseadmete ja skeemi komponentide valik, elektriskeemi ja komponentide osaloetelu koostamine. Lisaks oli vaja leida lahendus mehaanilisele disainile seadmete paiknemise osas. Tarkvara platvormile oli vaja testijärjestuse kirjutamine ja andmebaasi tabelistruktuuri loomine.

Testsüsteemi disainimine läbis karmi projektijuhtimise protsessi, mille raames toimus riskide kaardistamine ja võimalike rikete ja mõjude analüüs. Autori poolt on leitud lahendus elektrilisele, mehaanilisele ja tarkvaralisele disainile. Välja pakutud disaini sobivus sai kinnituse testsüsteemi verifitseerimise protsessi käigus, kus kontrolliti süsteemi sobivust testimise spetsifikatsioonis seatud nõuetele, toote ja katsetus personali ohutuse tagatust.

Bakalaureusetöö raames on läbi viidud järgmised toimingud:

- Testimismeetodite kaardistamine ja testimisele kuuluvate ahelate analüüs
- Mõõte- ja juht seadmete valik
- Elektriskeemi arendamine ja komponentide osaloetelu loomine
- Mehaanilise disaini loomine
- Tarkvara lahenduse arendamine
- Testri dokumentatsiooni loomine

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] R. Lahtmets, „Elektrotehnika alused,” 2001. [Võrgumaterjal]. Saadaval: http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro_alused/Saateks.pdf. [Kasutatud Mai 2021].
- [2] ABB Oy, ABB general purpose drives ACS580, 3AUA0000145061, Helsingi, 22.6.2017.
- [3] ABB, ACS580-07 Hardware manual, 3AXD50000045815, Helsingi, 22.Okt.2020.
- [4] „Elektripaigaldiste käit. Osa 1: Üldnõuded”. Eesti Patent EVS-EN 50110-1:2013, 09 Dets 2013.
- [5] „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 1: Põhialused, üldiseloomustus, määratlused”. Eesti Patent EVS-HD 60364-1:2008+A11:2017, 03 Okt 2017.
- [6] „Ohutusnõuded elektrilistele mõõtmis-, juhtimis- ja laboratooriumiseadmetele. Osa 1: Üldnõuded”. Eesti Patent EVS-EN 61010-1:2010/A1:2019, 01 Märts 2019.
- [7] Kikusui, "Withstanding voltage/insulation resistance tester TOS9200 series, Operation manual," Jul 2018. [Saadaval]. Available: https://manual.kikusui.co.jp/T/TOS9200_01_EC.pdf. [Kasutatud Mai 2021].
- [8] I.Korhonen, ACx580-07 Testing Specification, 3AXD10000555909, Helsingi: ABB Drives, 20.2.2018.
- [9] Keysight Technologies, "Data Acquisition/Switch Unit Family," 30 Mai 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.keysight.com/Web/Downloads/_t/ds/Keysight-34970A-Series_eng_tds.pdf. [Kasutatud Mai 2021].
- [10] Technologies, Keysight, "34970A Data Acquisition / Data Logger Switch Unit, Highlight," 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.keysight.com/zz/en/product/34970A/34970a-data-acquisition-control-mainframe-modules.pdf>. [Kasutatud Mai 2021].
- [11] Advantech, "PCI-1758UDIO-AE Specification," 26 Okt 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://advdownload.blob.core.windows.net/productfile/PIS/PCI-1758/file/PCI-1758UDI_UDO_UDIO_DS\(102620\)20201222161317.pdf](https://advdownload.blob.core.windows.net/productfile/PIS/PCI-1758/file/PCI-1758UDI_UDO_UDIO_DS(102620)20201222161317.pdf). [Kasutatud Mai 2021].
- [12] LEM, "Voltage Transducer LV 25-1200," 11 Aug 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/lv_25-1200.pdf. [Kasutatud Mai 2021].
- [13] Kontaktor, 11 Nov 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://et.wikipedia.org/wiki/Kontaktor>. [Kasutatud Mai 2021].
- [14] ABB, Motor protection and Control catalog, 1SBC100214C0202, Helsingi, Soome, 03.2020.
- [15] J. Lindgren, Blue3 - Reference manual, Helsingi, 2018.
- [16] J. Lindgren, ABB Global SOL test sequence manual, Helsingi, 2017.
- [17] A. Morel, „Elektripaigaldise kasutuselevõttule eelnev audit,” Tallinn, 2017.
- [18] V. Krupin, „ACX580 Hopi tester Gage R&R analysis report,” Jüri, 2018.

LISAD

L.1. ACX580-07 elektriskeemi kaardistamine ja testimise ahelad

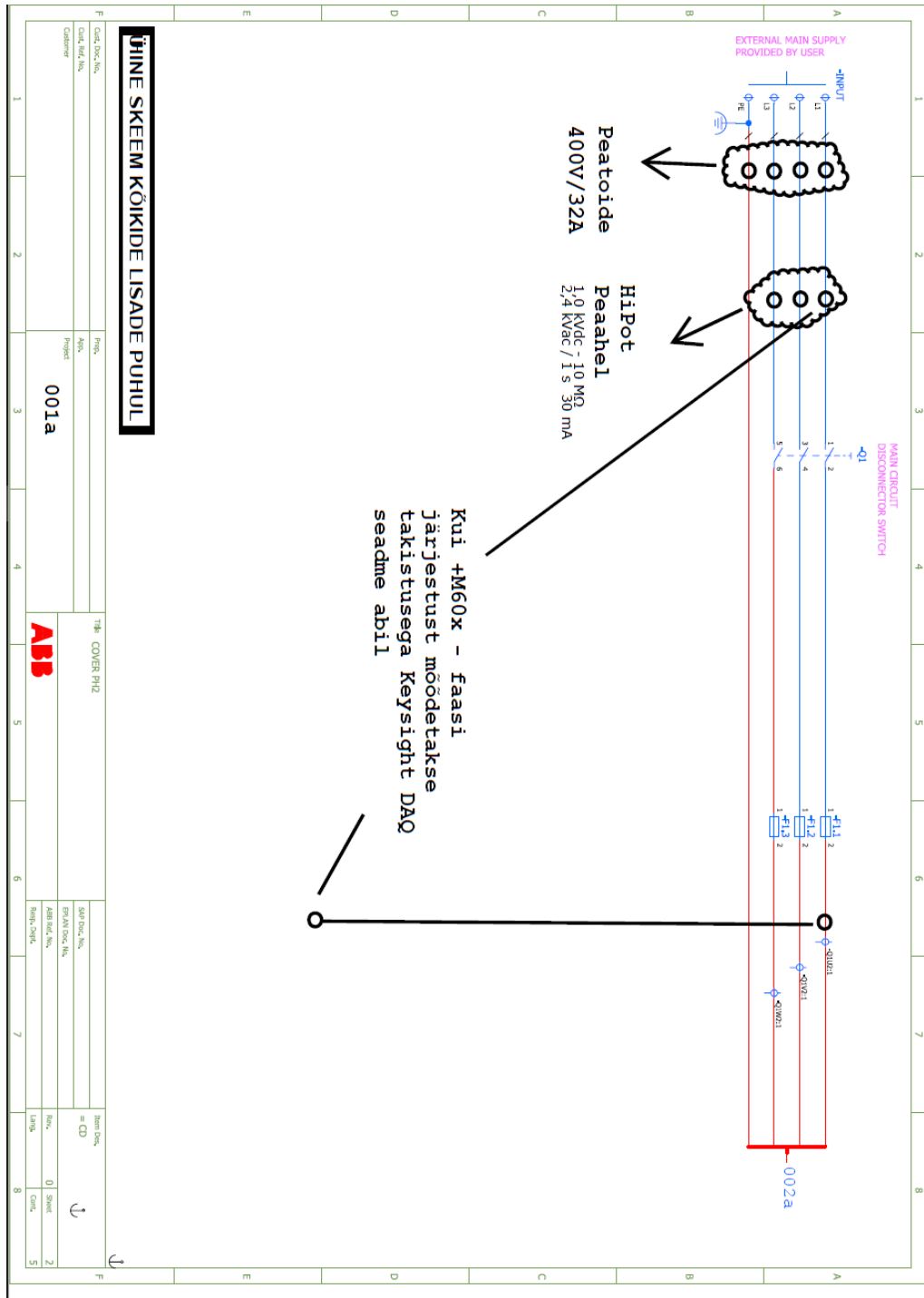
L.2. Süsteemi protsess

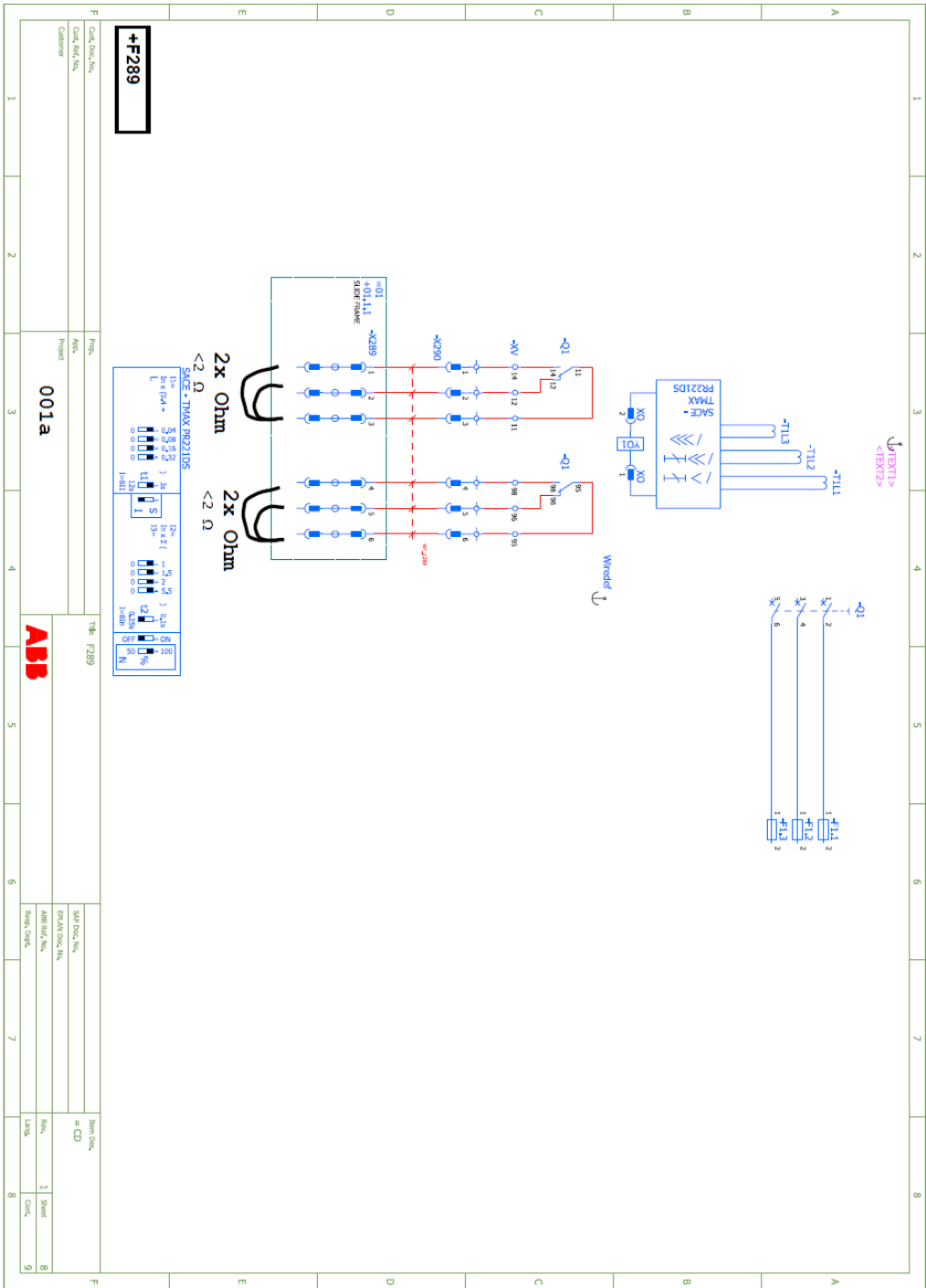
L.3. Tehase aktsepteerimis testi kontrollnimekiri

L.4. Gage R&R analüüsi tulemused graafiliselt

L.5. ACX580-07 sagedusmuunduri testsüsteemi skeem

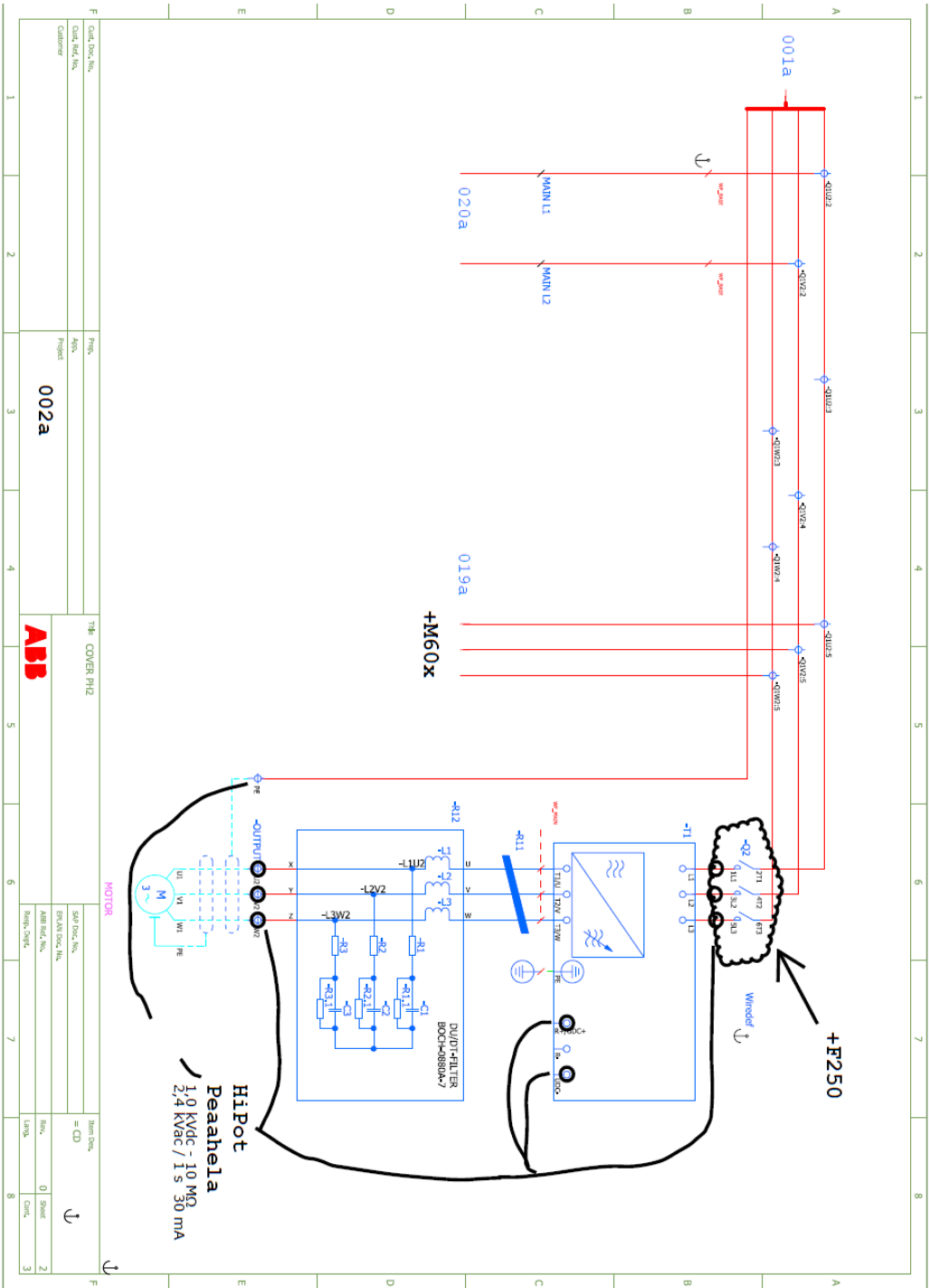
L.1. ACX580-07 elektriskeemi kaardistamine ja testimise ahelad



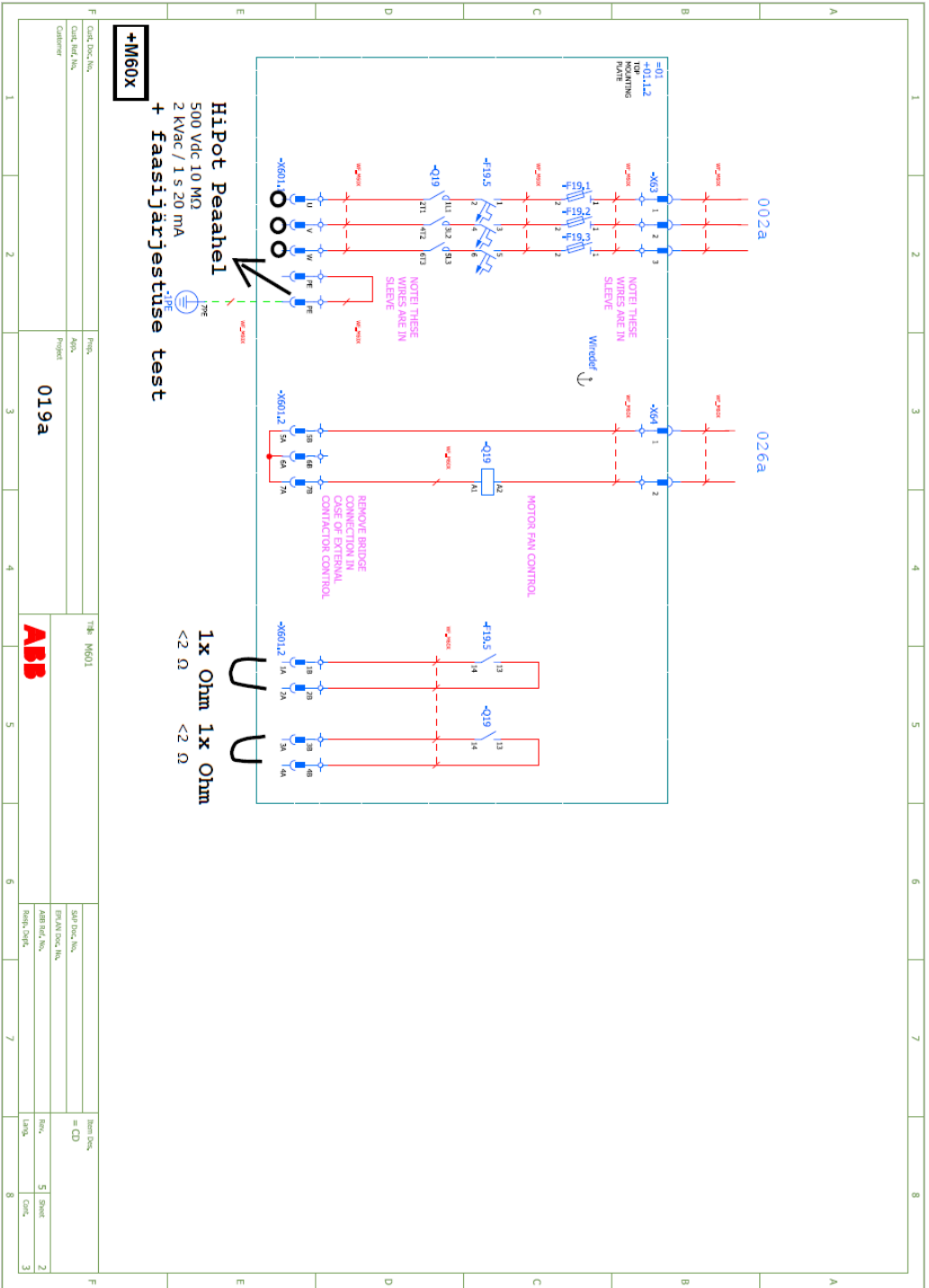


+F289

Order Doc. No.	Proj. No.	Order Doc. No.	Item Doc. No.
Customer	Project	ABB Doc. No.	Rev. / Date
	001a	ABB	1 / 01.08.2010

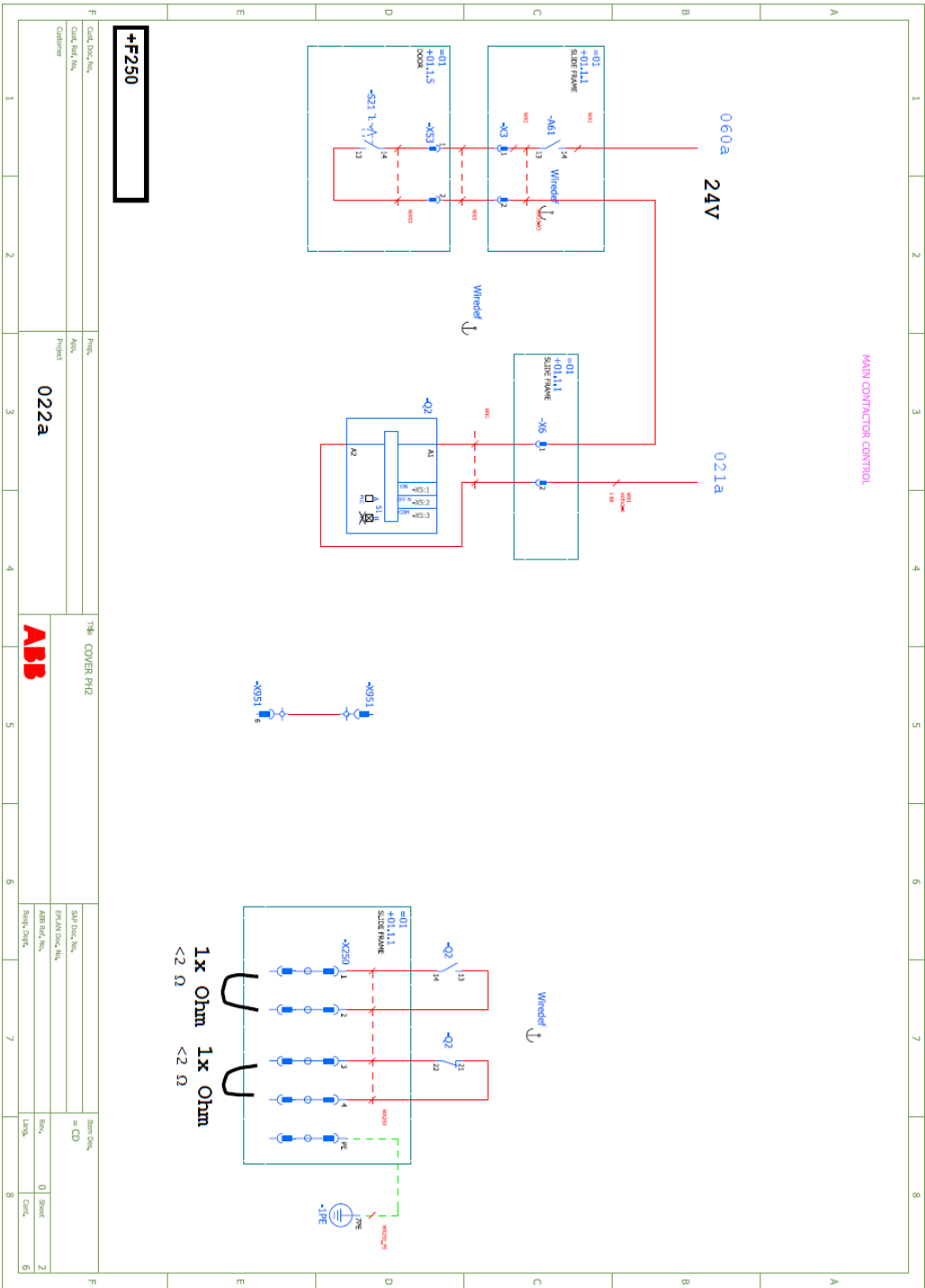


DATA DOC. No.	Rev.	TYPE COVER PH2	DATA DOC. No.	Rev.
Customer	Project	002a	ABB	
1	2	3	4	5
6	7	8		



Doc. No.	Proj.	Rev.	Issue Date
Customer	Project	019a	= CD
			Rev. 5 Sheet 2
			Page 3

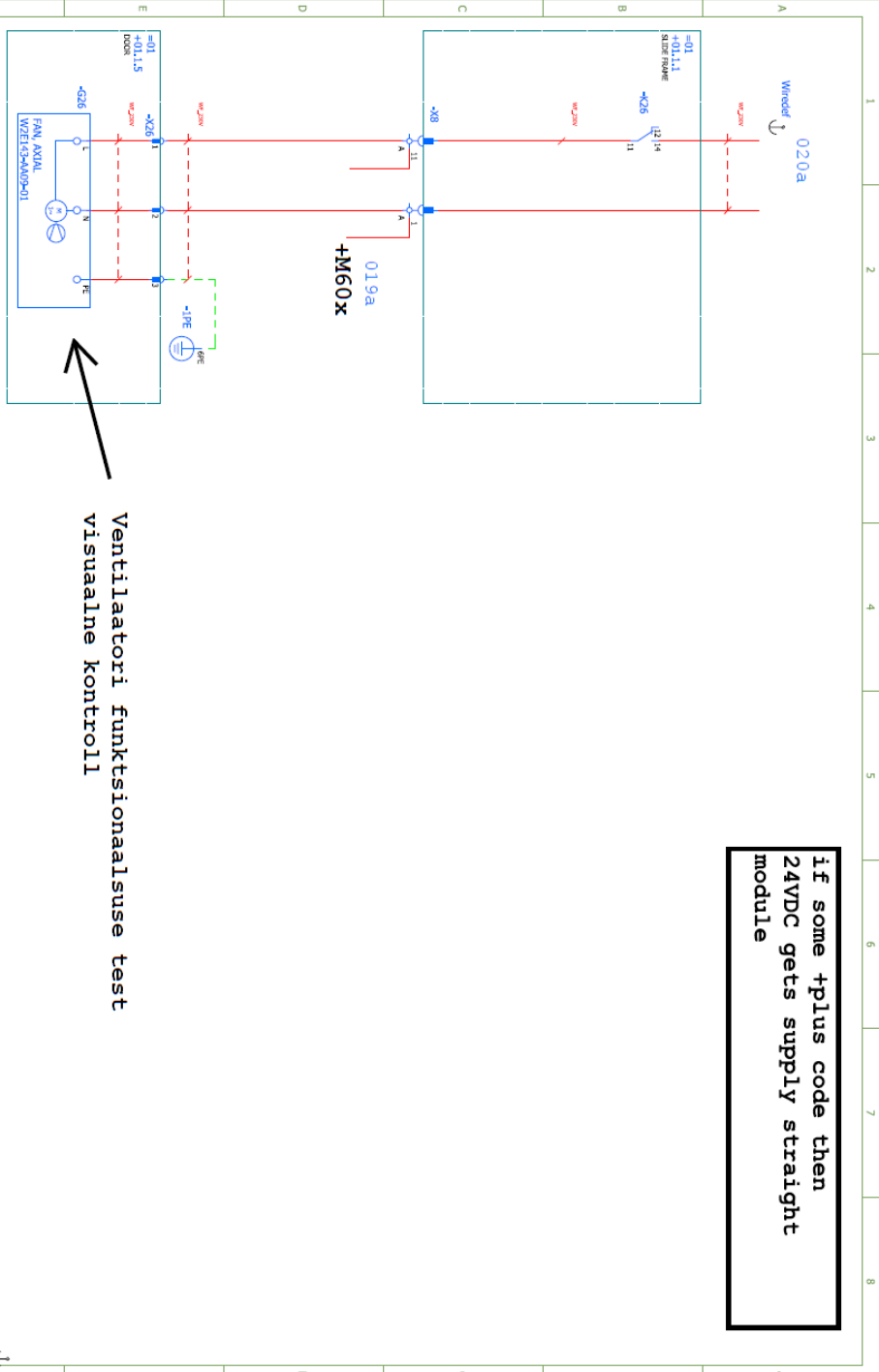




+F250

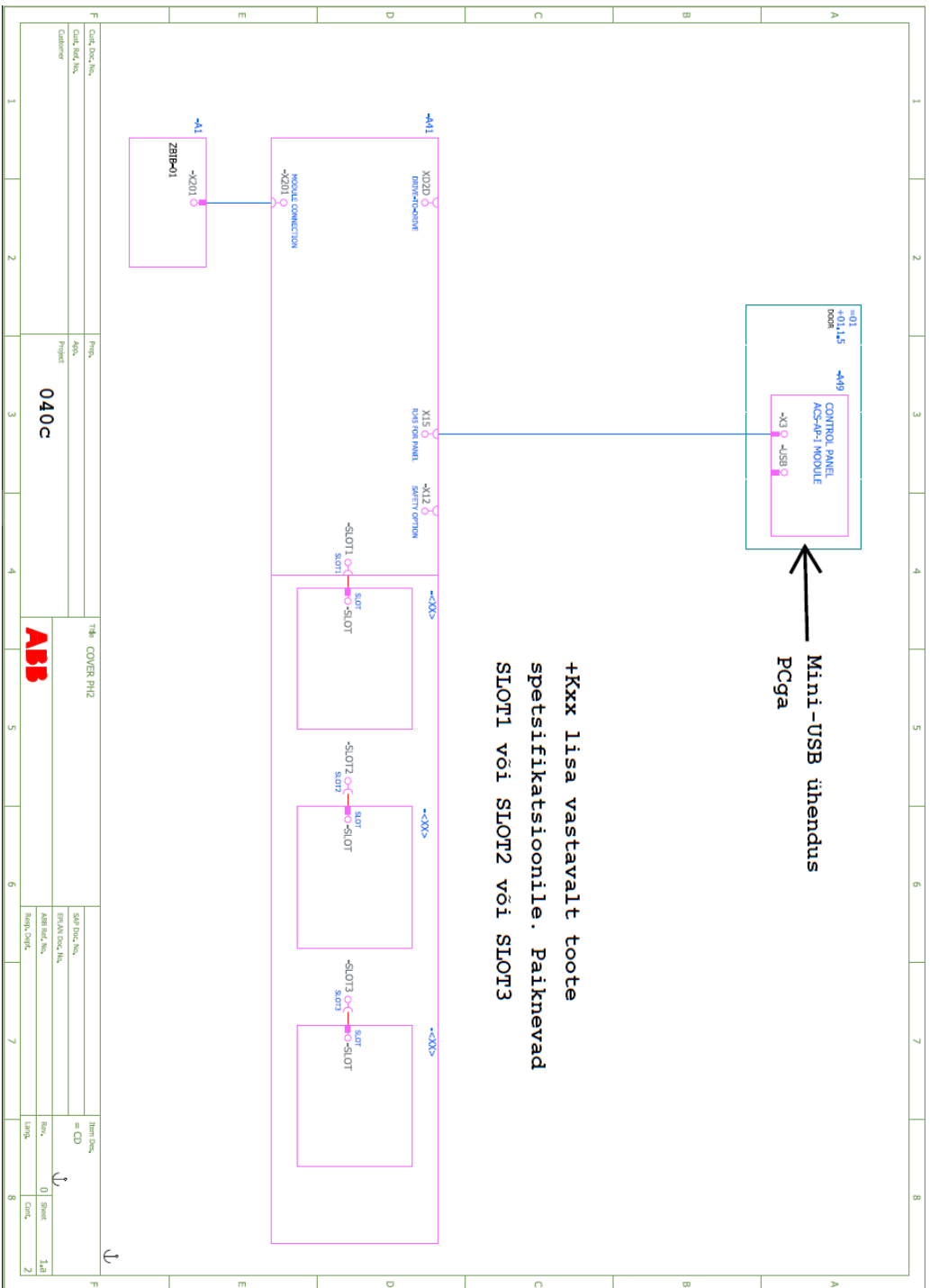
Doc. Doc. No.	Proj.	TR: COVER PH2	Inst. Doc. No.	= CD
Doc. Ed. No.	Proj.	022a	Inst. Doc. No.	0
Customer	Project	ABB	Inst. Cont.	2

if some +plus code then
24VDC gets supply straight
module



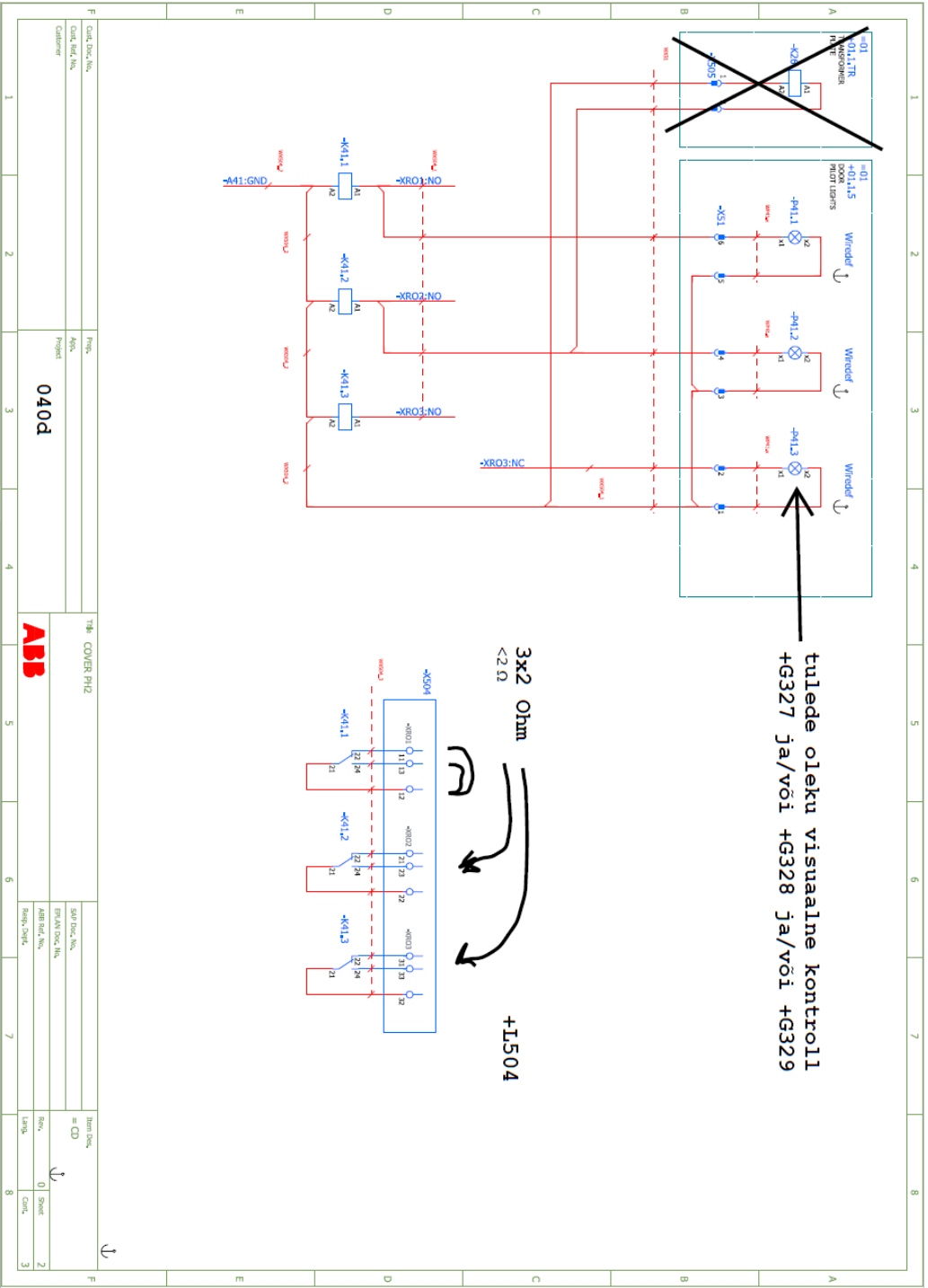
Ventilatori funktsionaalsuse test
visuaalne kontroll

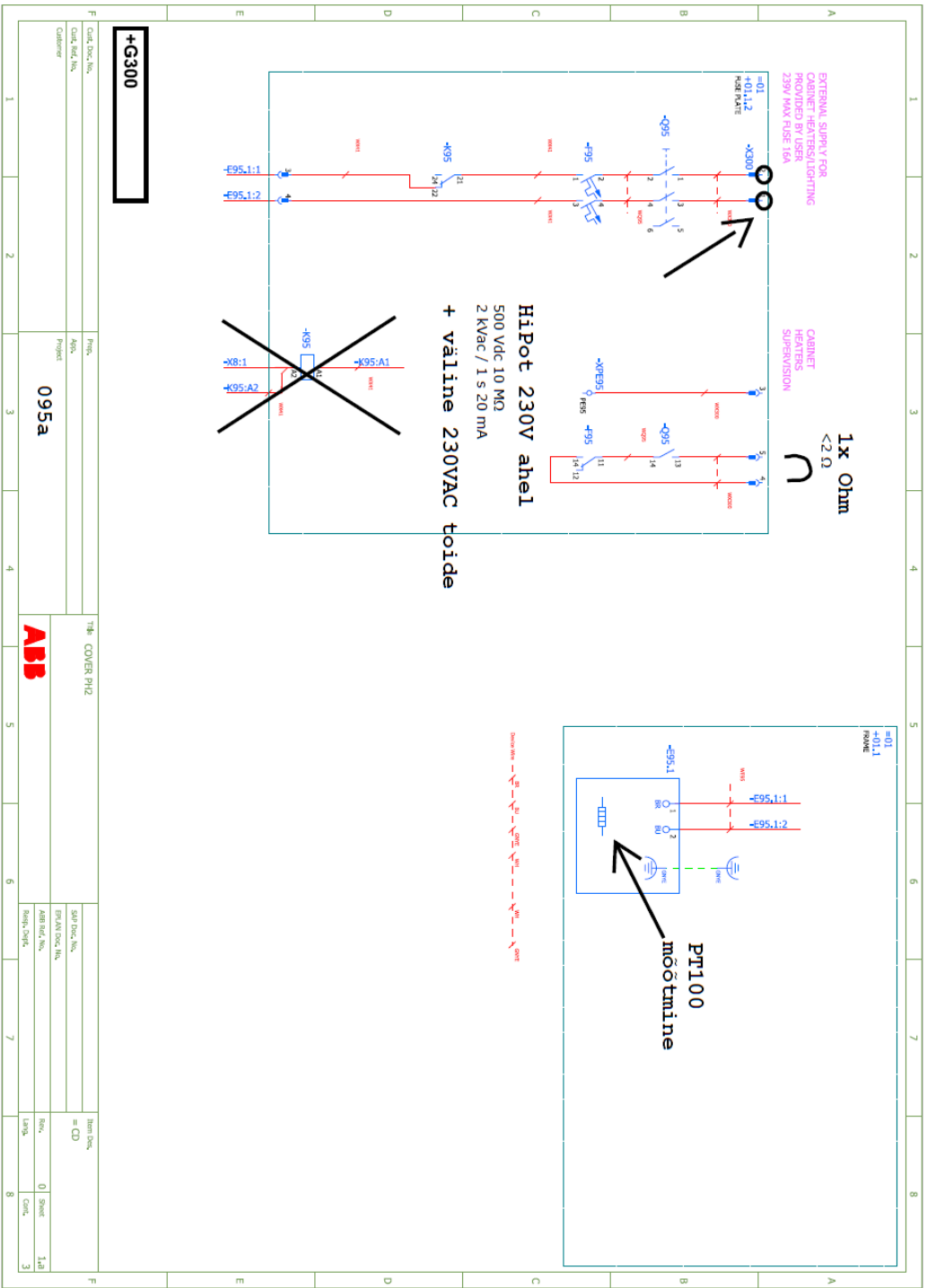
Code Doc. No.	Proj.	Titl	SD Doc. No.	Item Doc.
Code Ref. No.	400	CONVER PH2 RS-49	= CD	↻
Customer	Project	026a	SPAN Doc. No.	Rev.
			ABB Ref. No.	0
			Rev./Chgt.	Spec
				1.0
			Link	1.0



Mini-USB ühendus
PCga

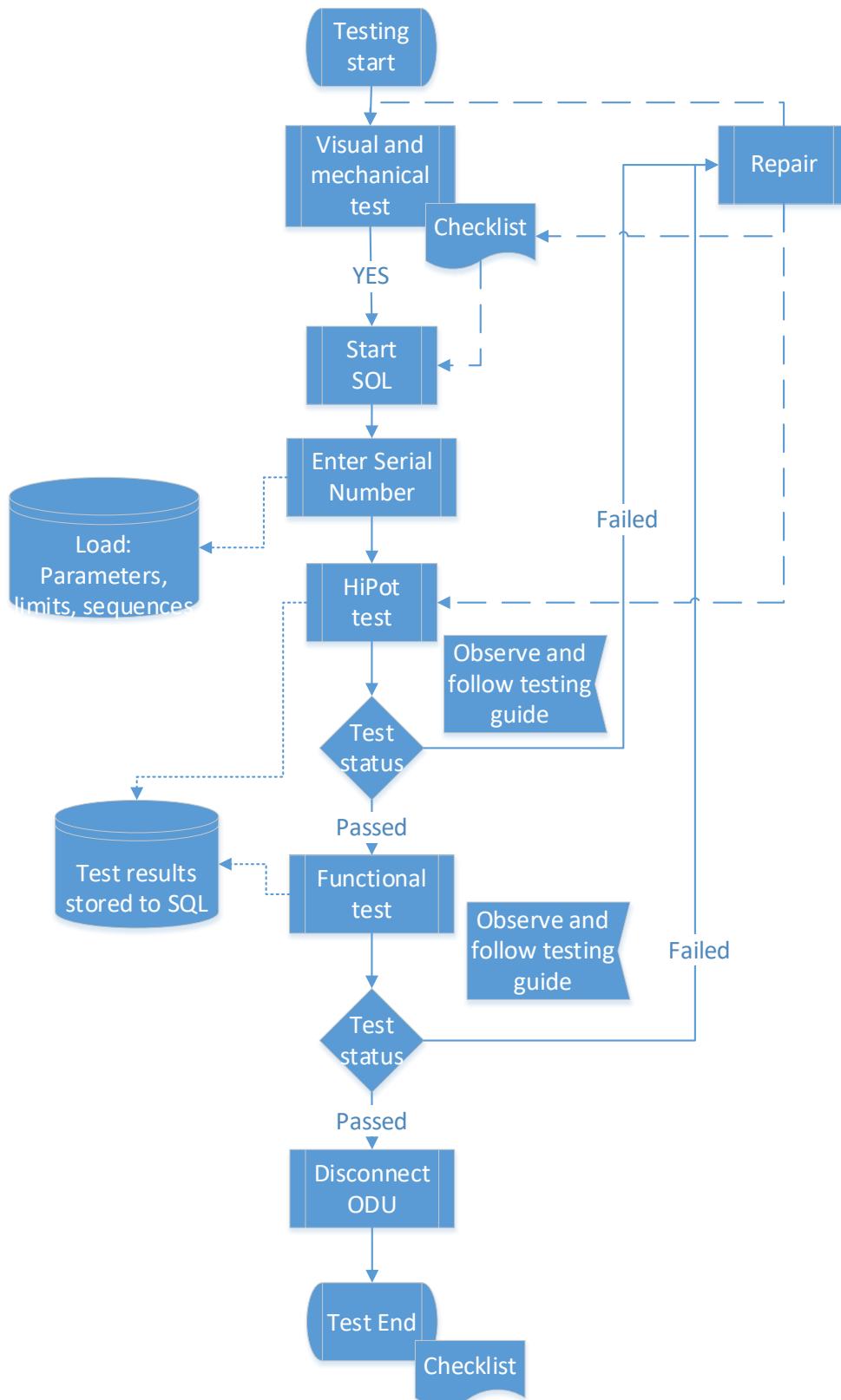
Doc. Desc. No.	Proj.	TIK COVER PH2	Item Desc.
Doc. Ref. No.	Proj.		= CD
Customer	Project	040C	Rev. 0
		ABB	Sheet 1/8
			Cont. 2





Doc. No.	Rev.	Drawn By	Checked By
095a	0		
Customer	Project	Drawn Date	Checked Date
	095a		
Title: COVER PH2		Drawn Date	Checked Date
ABB			
Sheet	Count	Drawn Date	Checked Date
1/3	3		

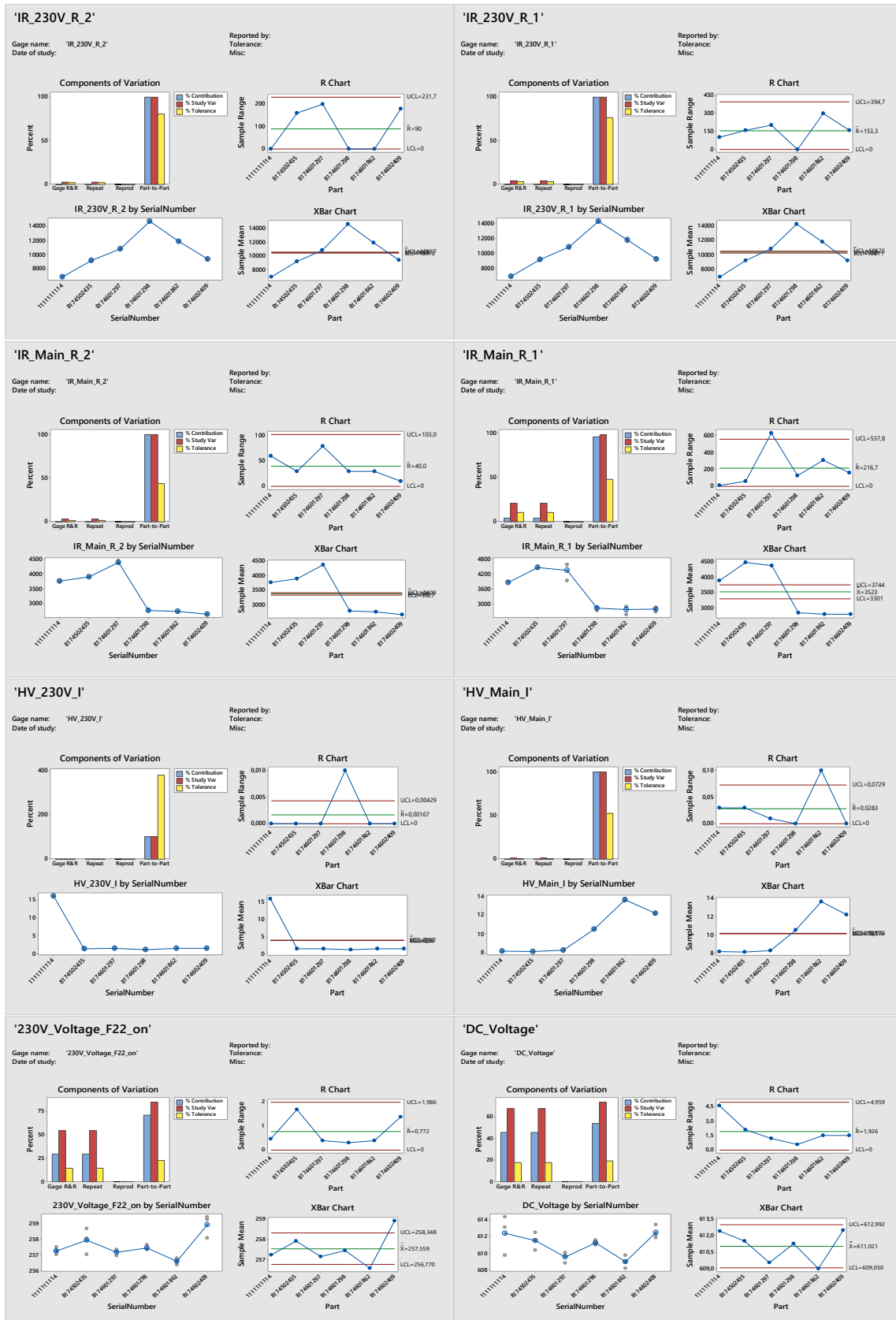
5.4 L.2. Süsteemi protsess



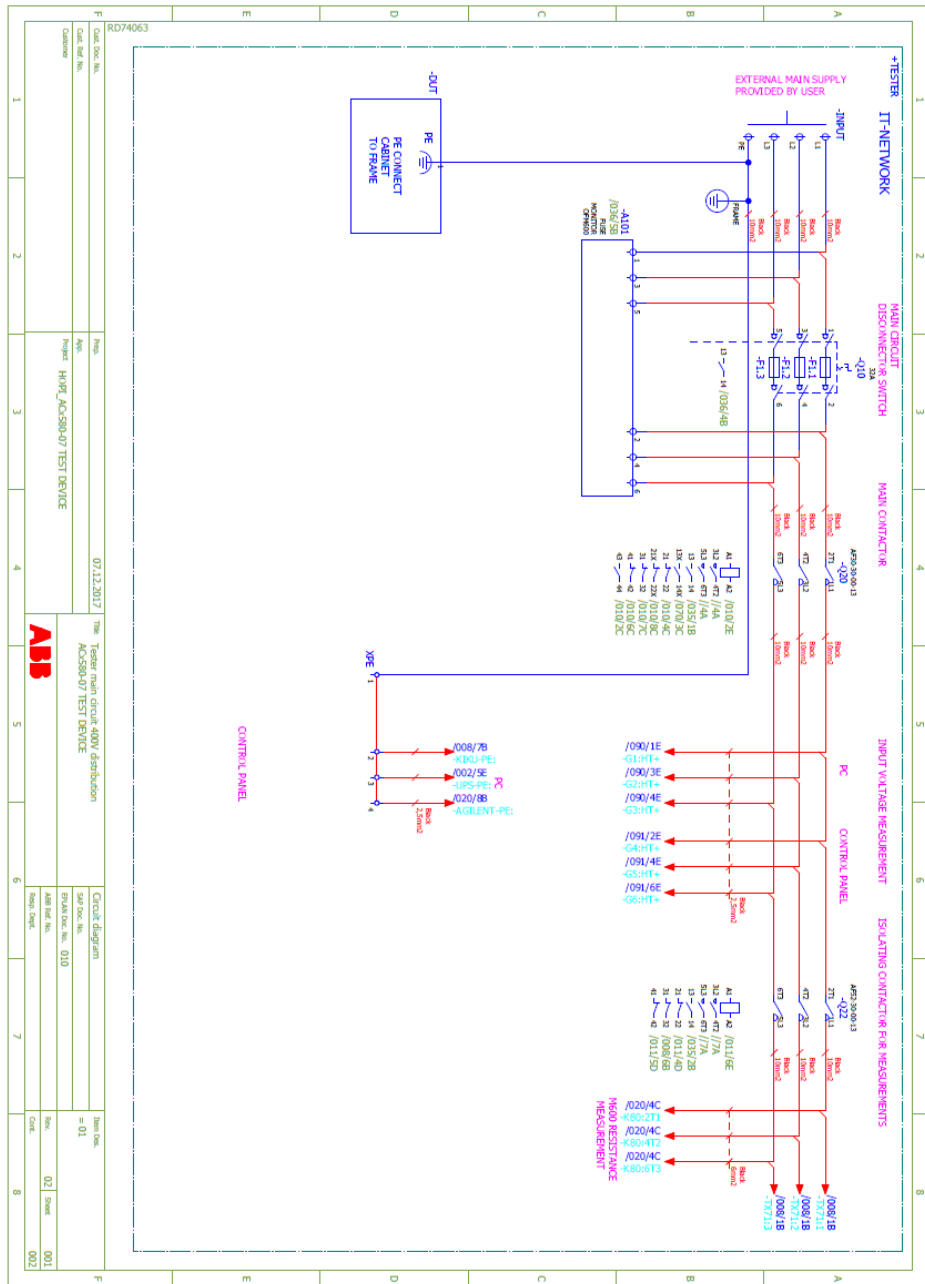
L.3. Tehase aktsepteerimis testi kontrollnimekiri

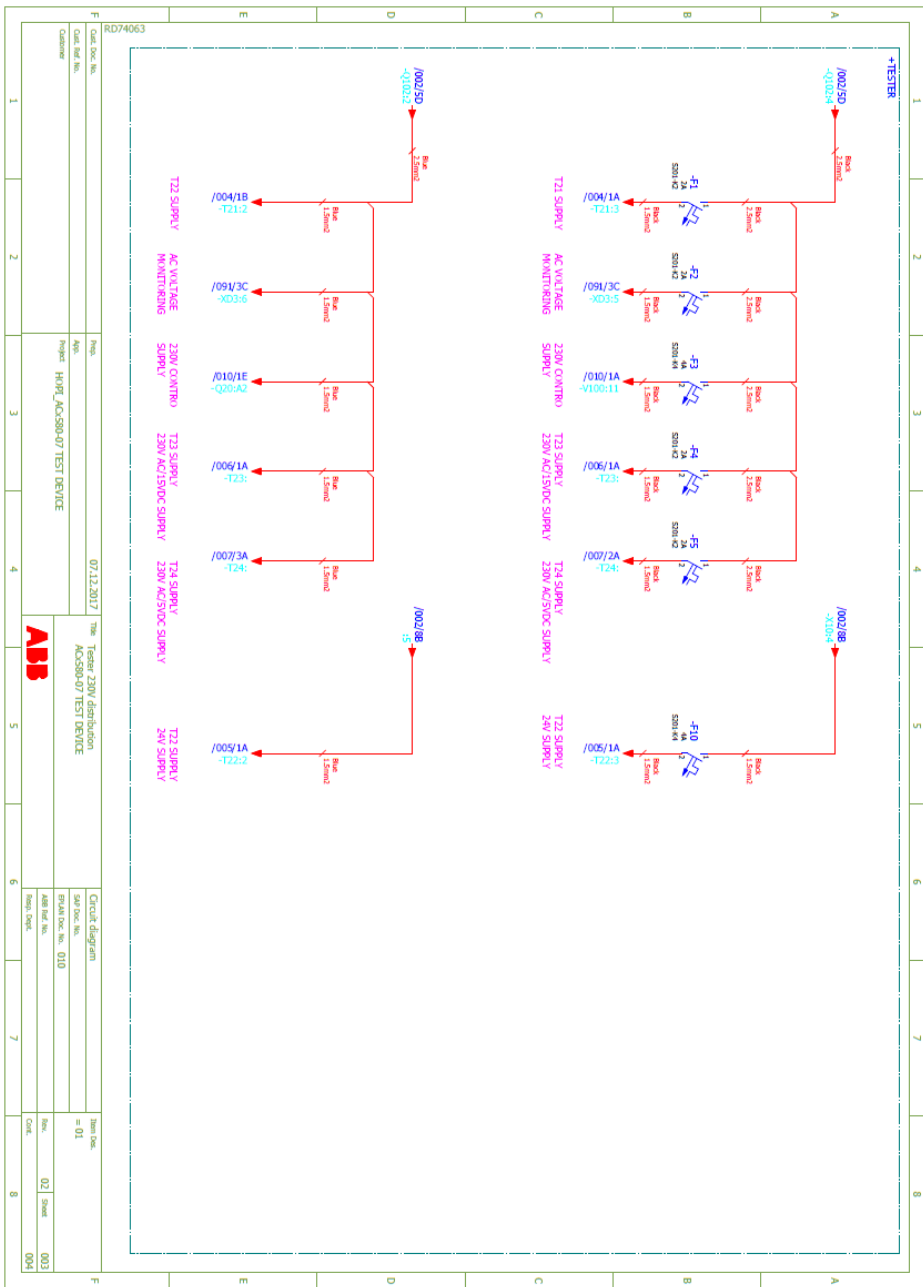
Checklist			
ID	Item	OK/NG/NA	Comments
1	Delivery package		
1.1	SW is delivered and correct revision		
1.2	Tester design documentation has been delivered: at least BOM, circuit diagram, mechanical drawings		
1.3	Maintenance instructions and maintenance plan have been delivered and reviewed by EMS/ABB		
1.4	Spare part list is available		
1.5	Critical spare parts are available		
1.6	FAT has been approved and document is included		
1.7	Test specification has been delivered		
1.8	ID/serial number label and ABB asset label are pasted on the tester		
1.9	Calibration certificates were delivered		
2	External condition		
2.1	Tester is in good condition visually from the outside, including interface connectors and cables		
3	Internal condition		
3.1	Internal wiring is connected and in good condition		
3.2	No loose components inside, all equipment is in good condition		
4	Functionality		
4.1	Test run of golden sample DUT three times, all must be PASS		
4.2	Test run of 10 DUTs from production series, all must be PASS		
4.3	Light beacon is working		
4.4	Tester is linked to factory routing system		
4.5	Test results are stored in correct format (see 3AXD00000584744) and location. Automatic sending of results to ABB is set up.		
4.6	Gage R&R study has been done. If it was done in FAT, document must be available		
5	Safety		
5.1	Safety interlocks are working – test cannot be started with open cover		
5.2	Cover cannot be opened during test, or if it can be opened, then power will be shut down		
5.3	ESD protection is taken care of. Tester is grounded.		
5.4	Virus protection has been installed on all tester PCs		
6	Training and EMS/ABB process instructions		
6.1	Operators have received training how to operate the equipment		
6.2	Work instructions for operators are available		
6.3	Engineers/technicians have received training how to use and maintain the equipment		
6.4	All relevant documentation is stored in EMS/ABB document management system		

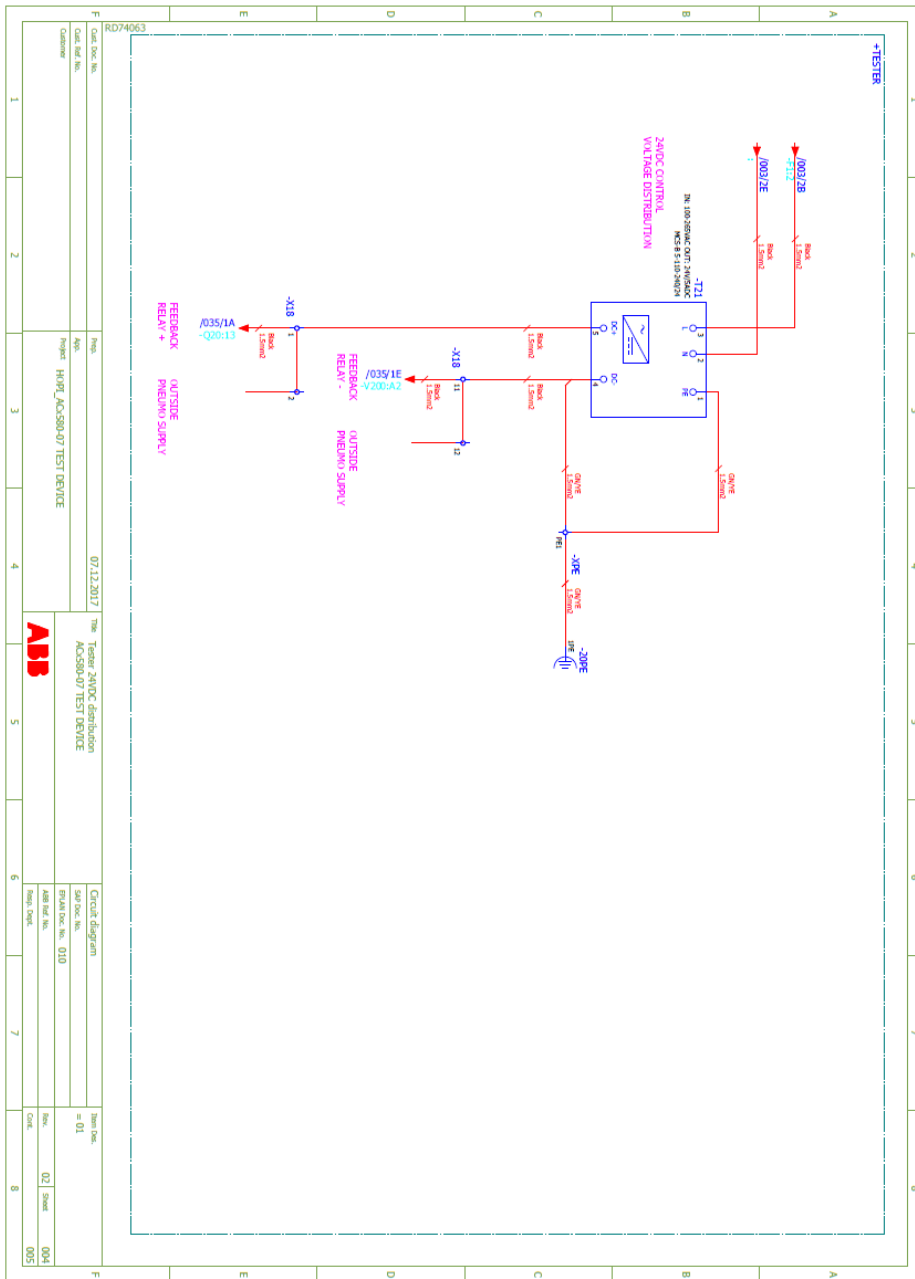
L.4. Gage R&R analüüsi tulemused graafiliselt



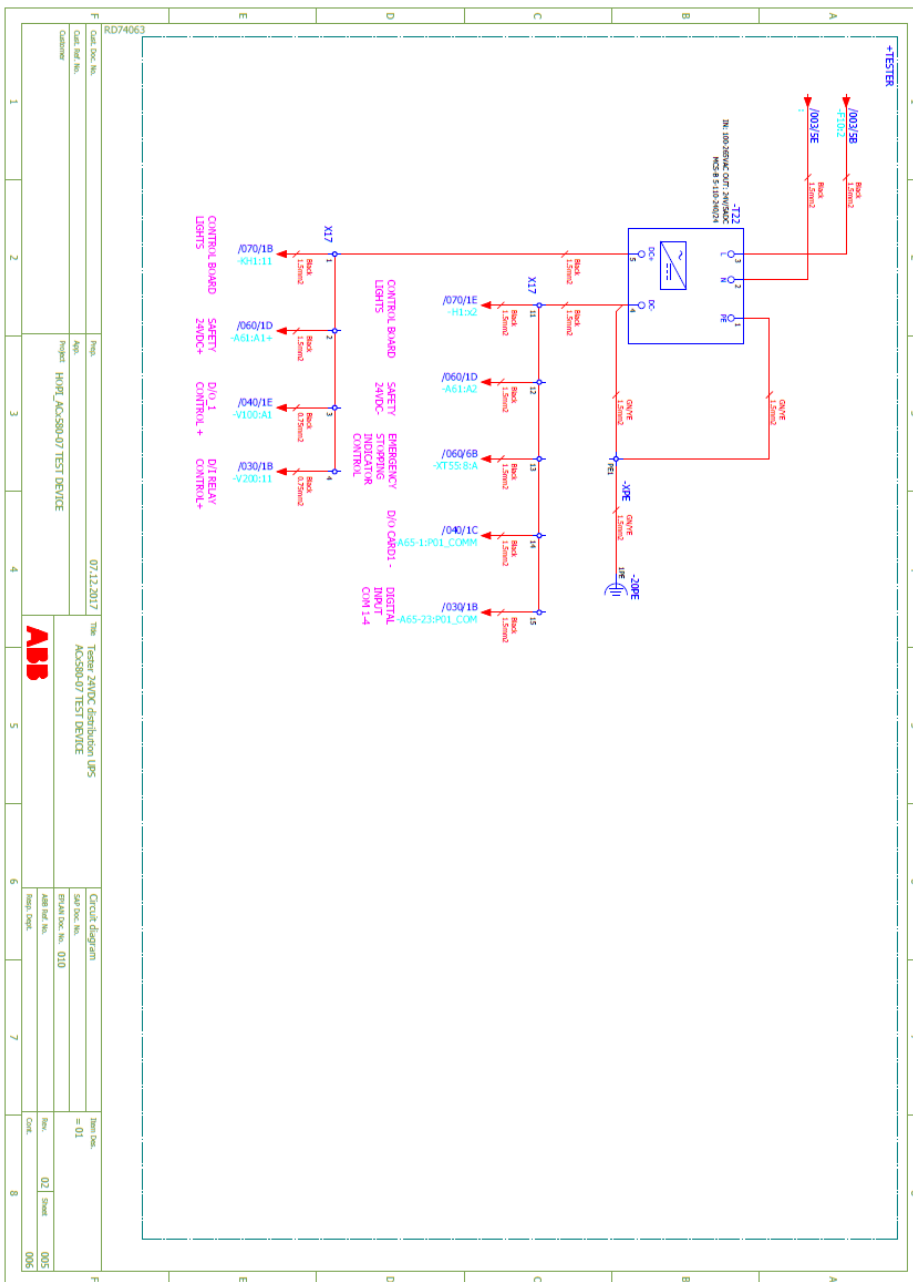
L.5. ACX580-07 sagedusmuunduri testsüsteemi skeem





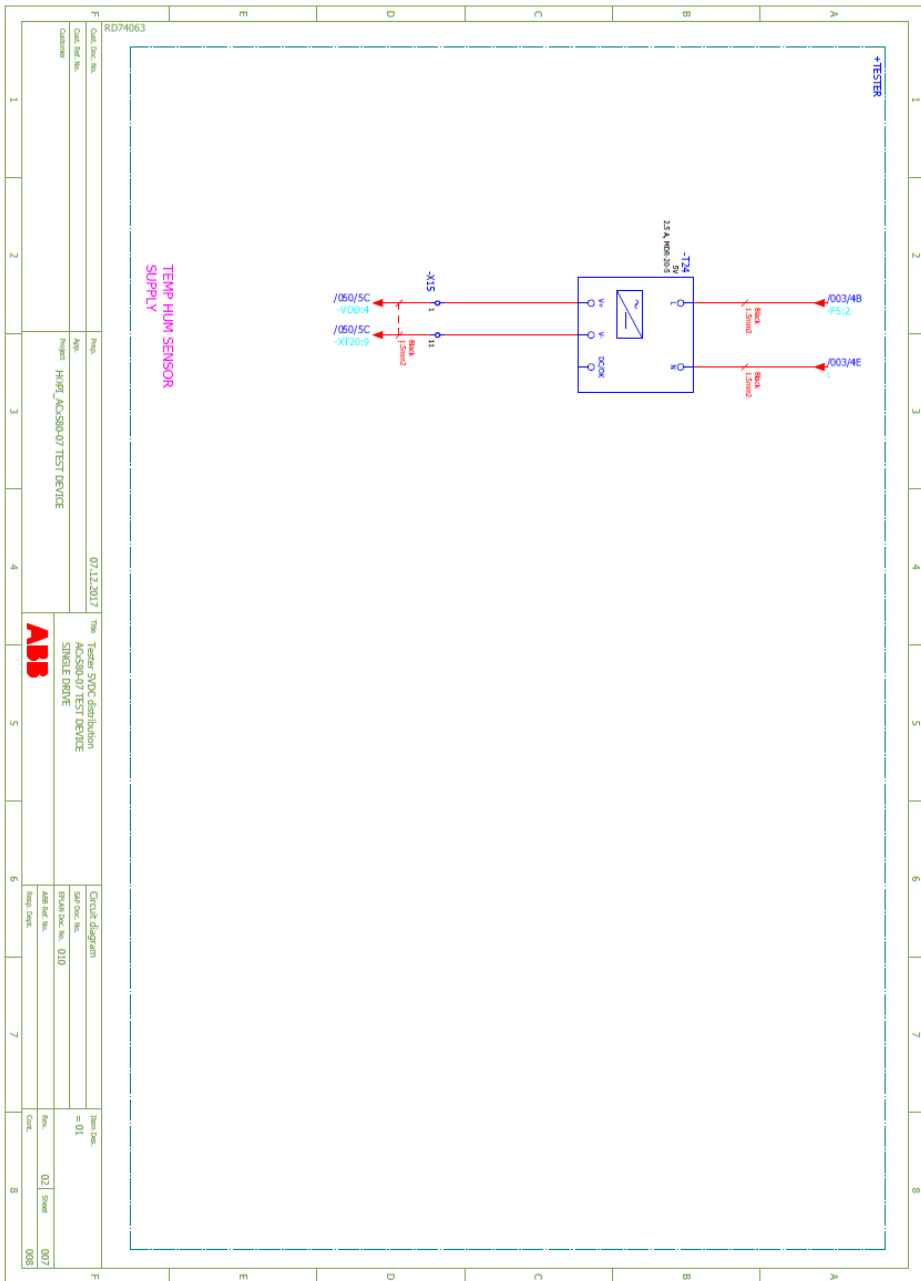


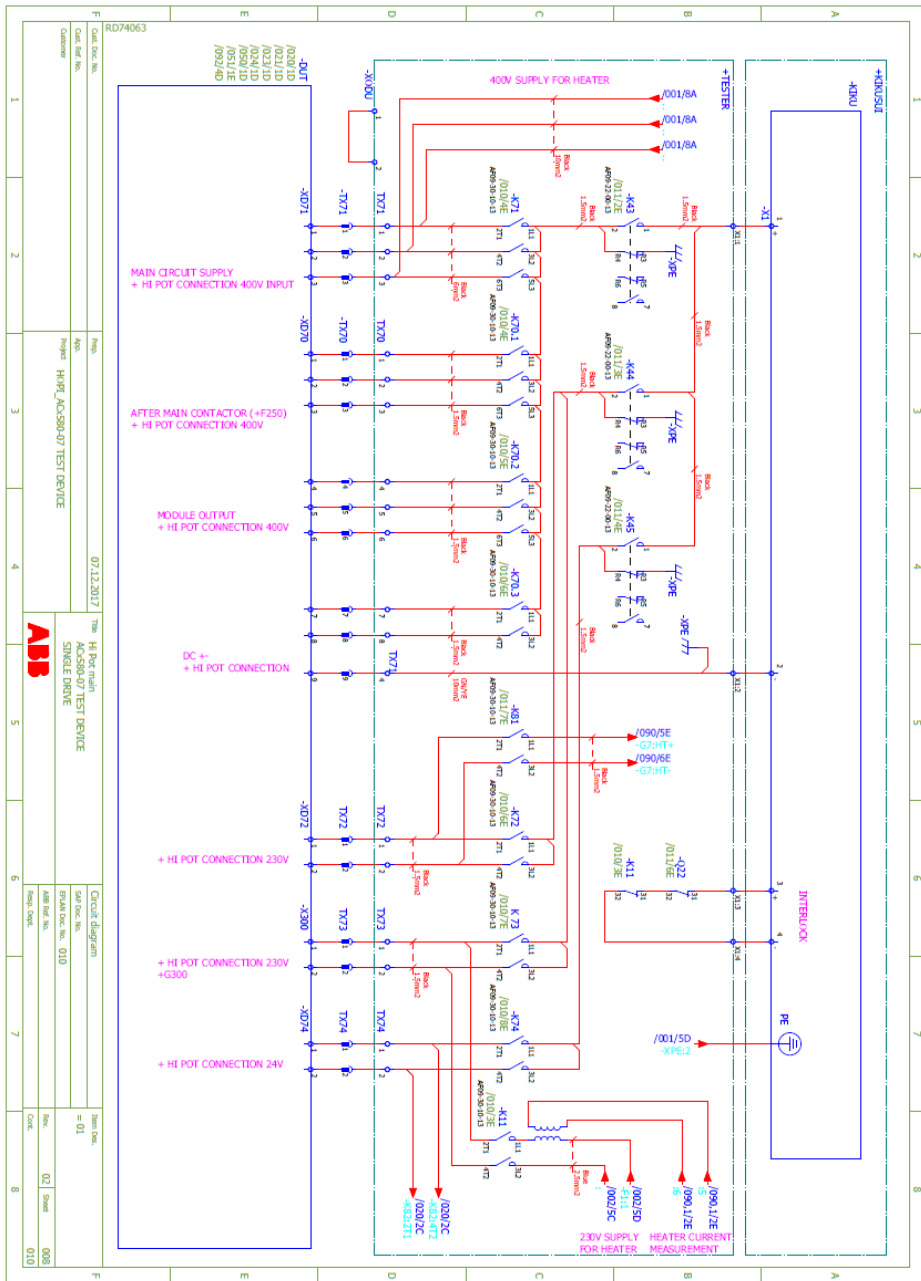
RD74063	07/12/2017	The	2000V Distribution	01	004
Client Ref. No.	Project	Rev.	Drawn Date	Issue	Drawn Date
	HMR_A0280-07 TEST DEVICE		07/12/2017	01	004
Customer	Project	Rev.	Drawn Date	Issue	Drawn Date
	HMR_A0280-07 TEST DEVICE		07/12/2017	01	004
			Issue	02	005
Circuit diagram Drawn Date: 07/12/2017 Issue: 01			Issue	02	005

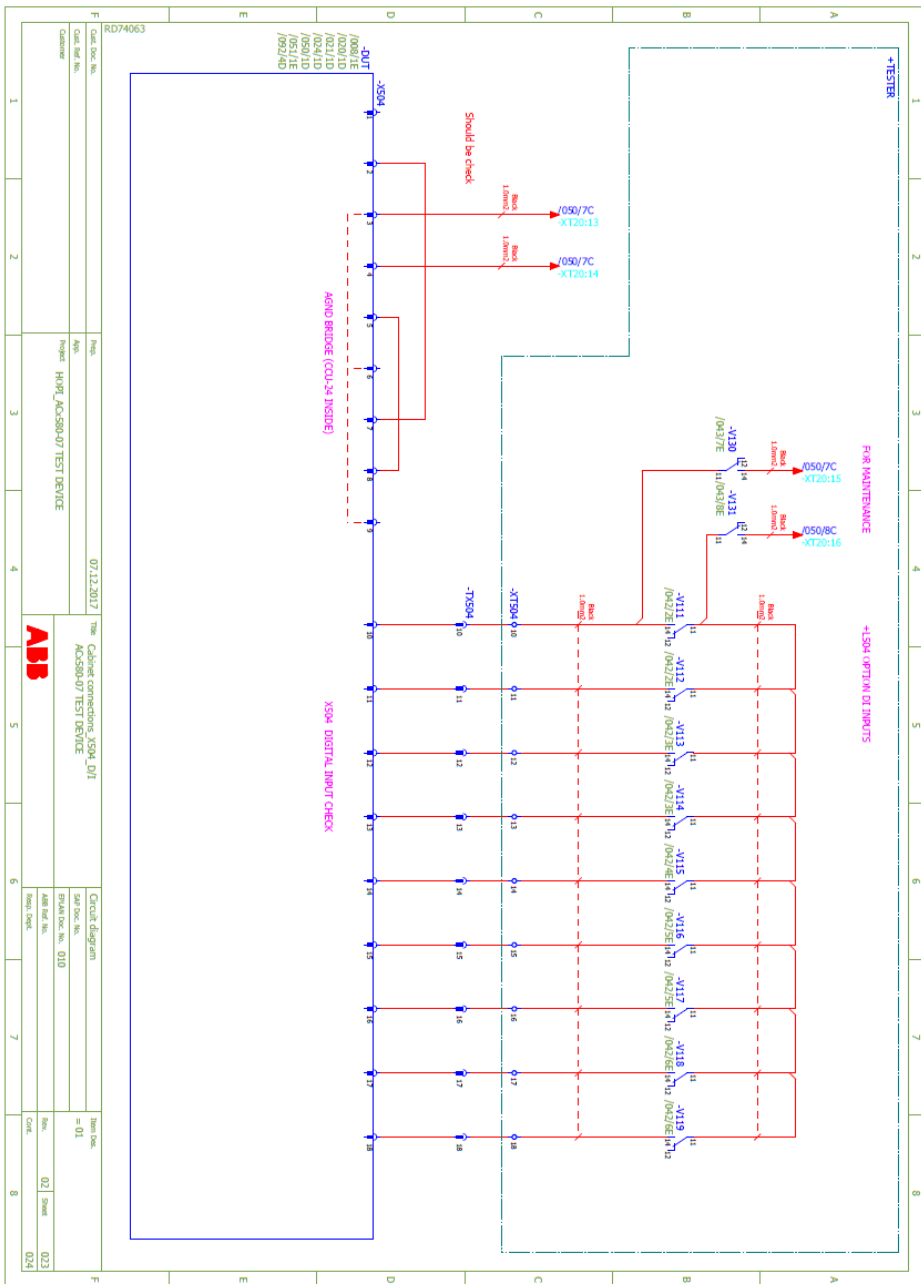


Circle No. / Rev.	07/12/2017	The Test 24VDC Distribution UPS	Circle diagram	Sheet No.	01
Customer	Project	ABB ACS800-07 TEST DEVICE	Sheet No.	02	Sheet
			Rev.	02	Sheet
			Code	005	005
			Rev.	02	Sheet
			Code	005	005

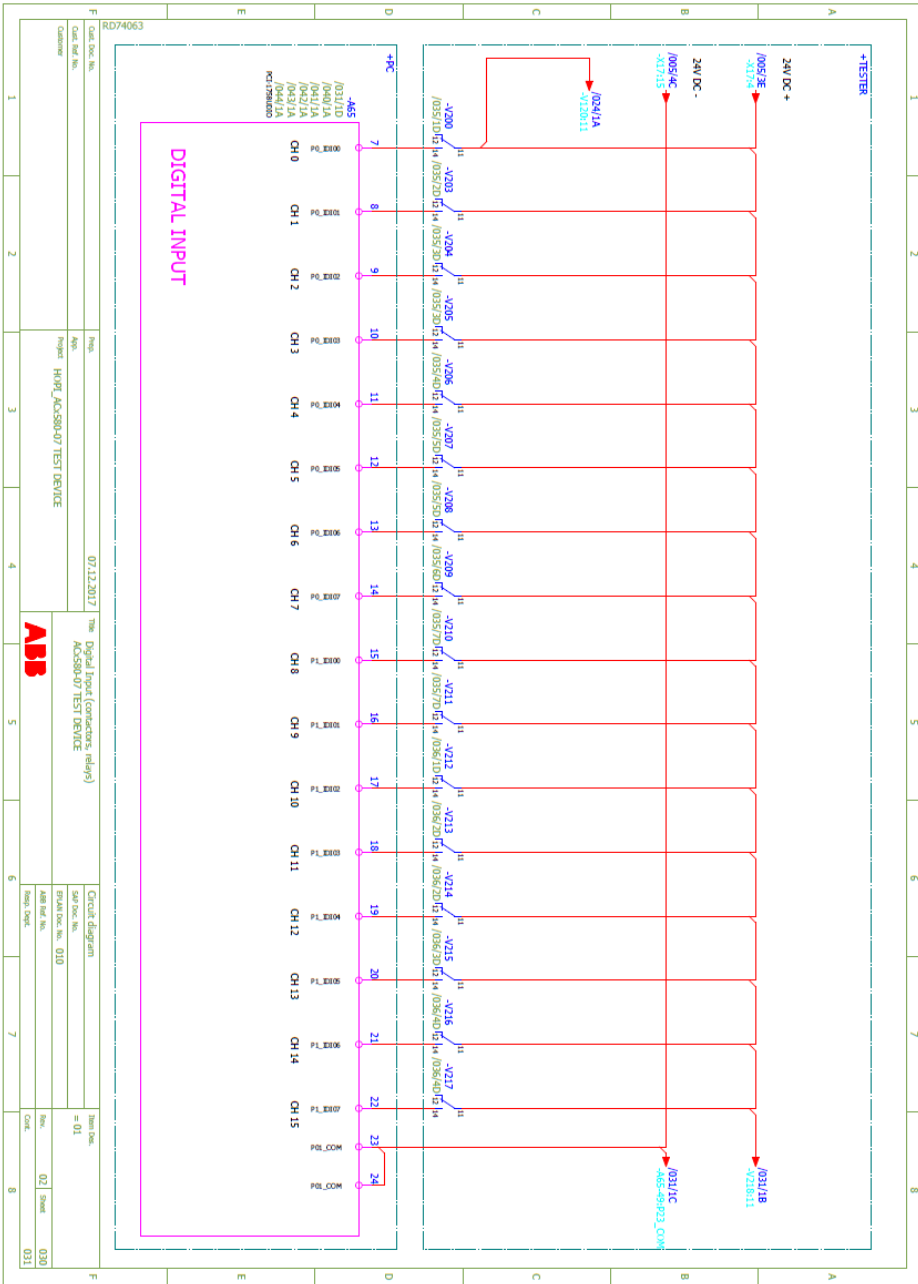




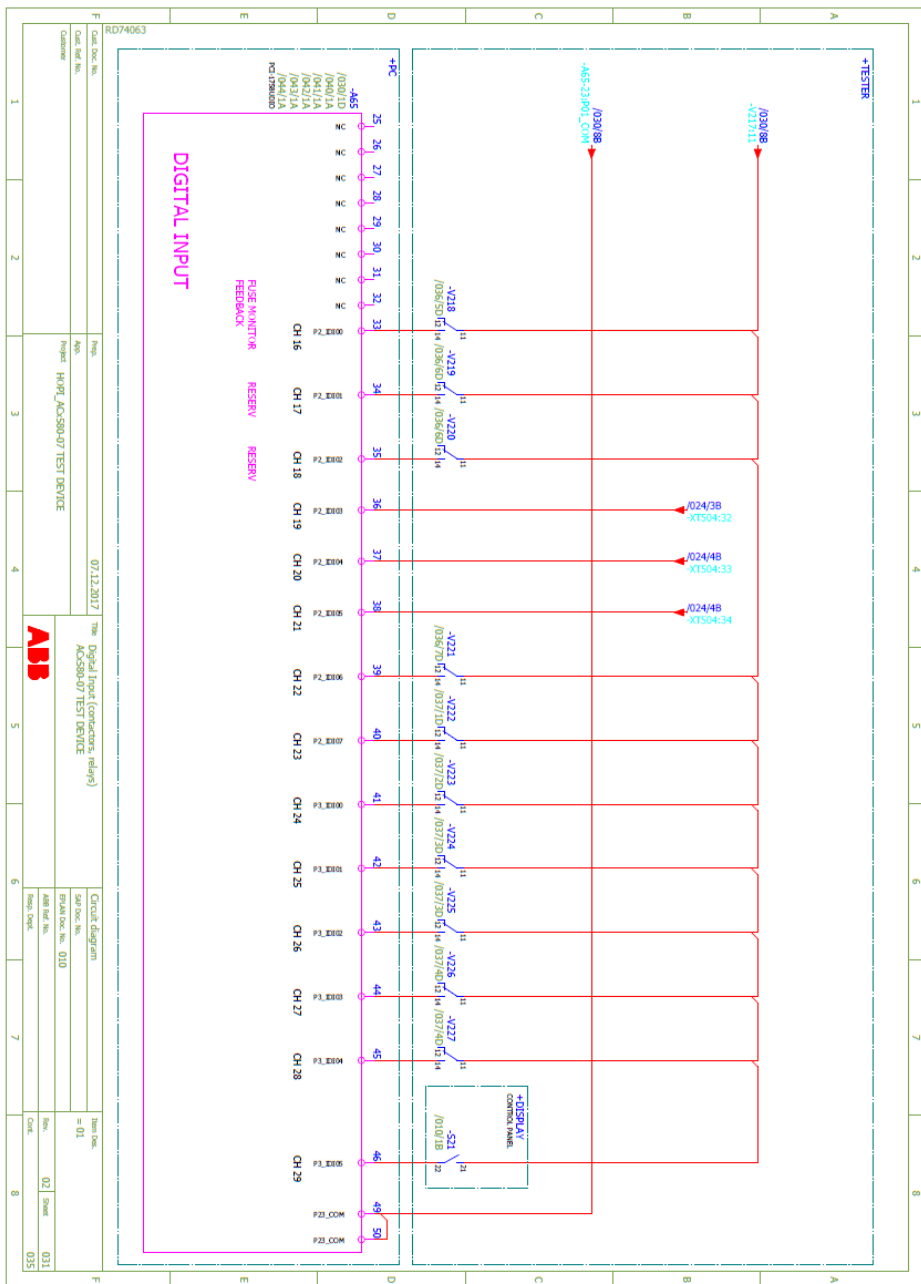


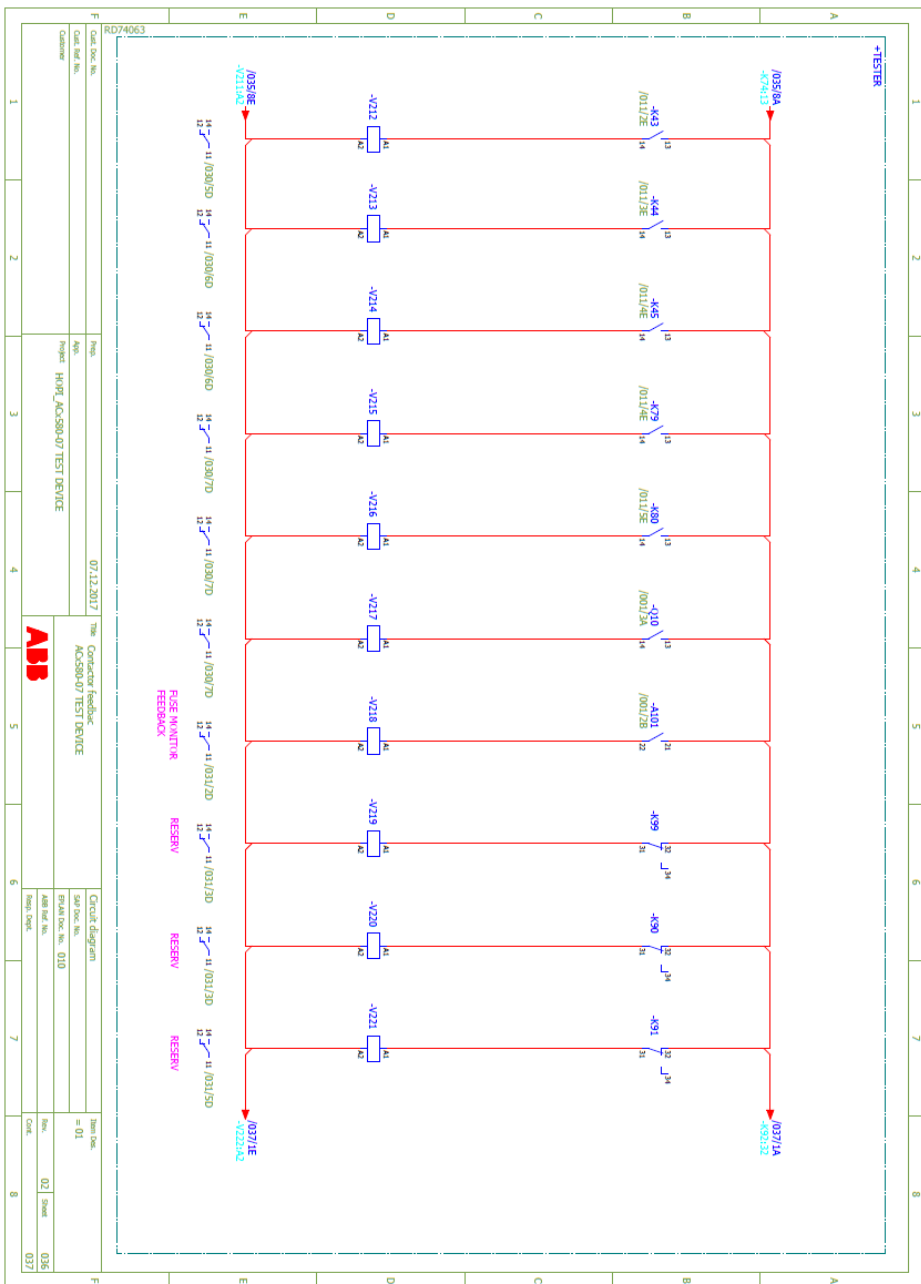


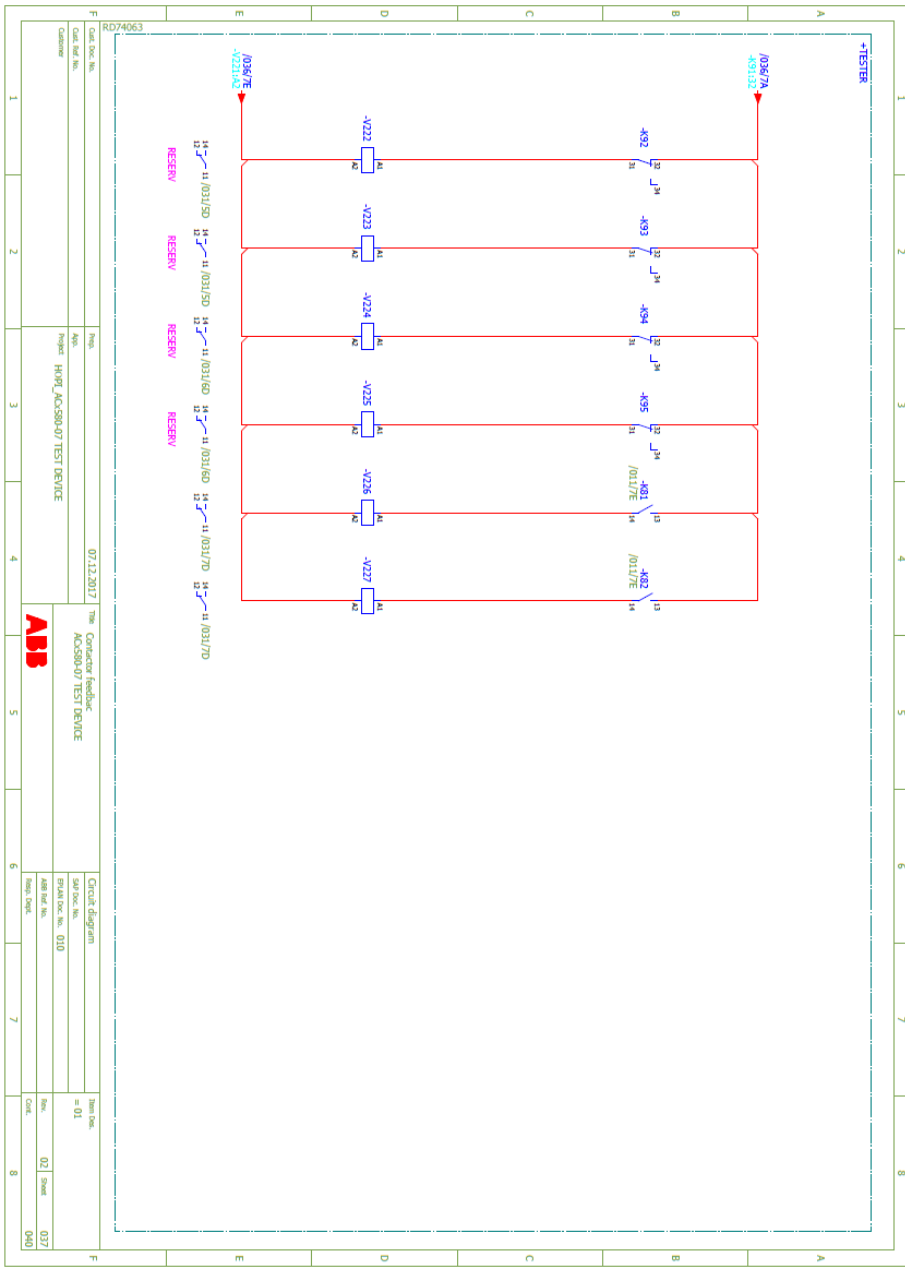
RD74063		Date Doc. No.		07.12.2017		Title		Cabinet connections, X504, DI1	
Customer		Appr.		Project		Type		ACS800-07 TEST DEVICE	
/000/1E		/020/1D		/050/1D		/051/1E		/092/4D	
1		2		3		4		5	
6		7		8		9		10	
11		12		13		14		15	
16		17		18		19		20	
21		22		23		24		25	
26		27		28		29		30	
31		32		33		34		35	
36		37		38		39		40	
41		42		43		44		45	
46		47		48		49		50	
51		52		53		54		55	
56		57		58		59		60	
61		62		63		64		65	
66		67		68		69		70	
71		72		73		74		75	
76		77		78		79		80	
81		82		83		84		85	
86		87		88		89		90	
91		92		93		94		95	
96		97		98		99		100	



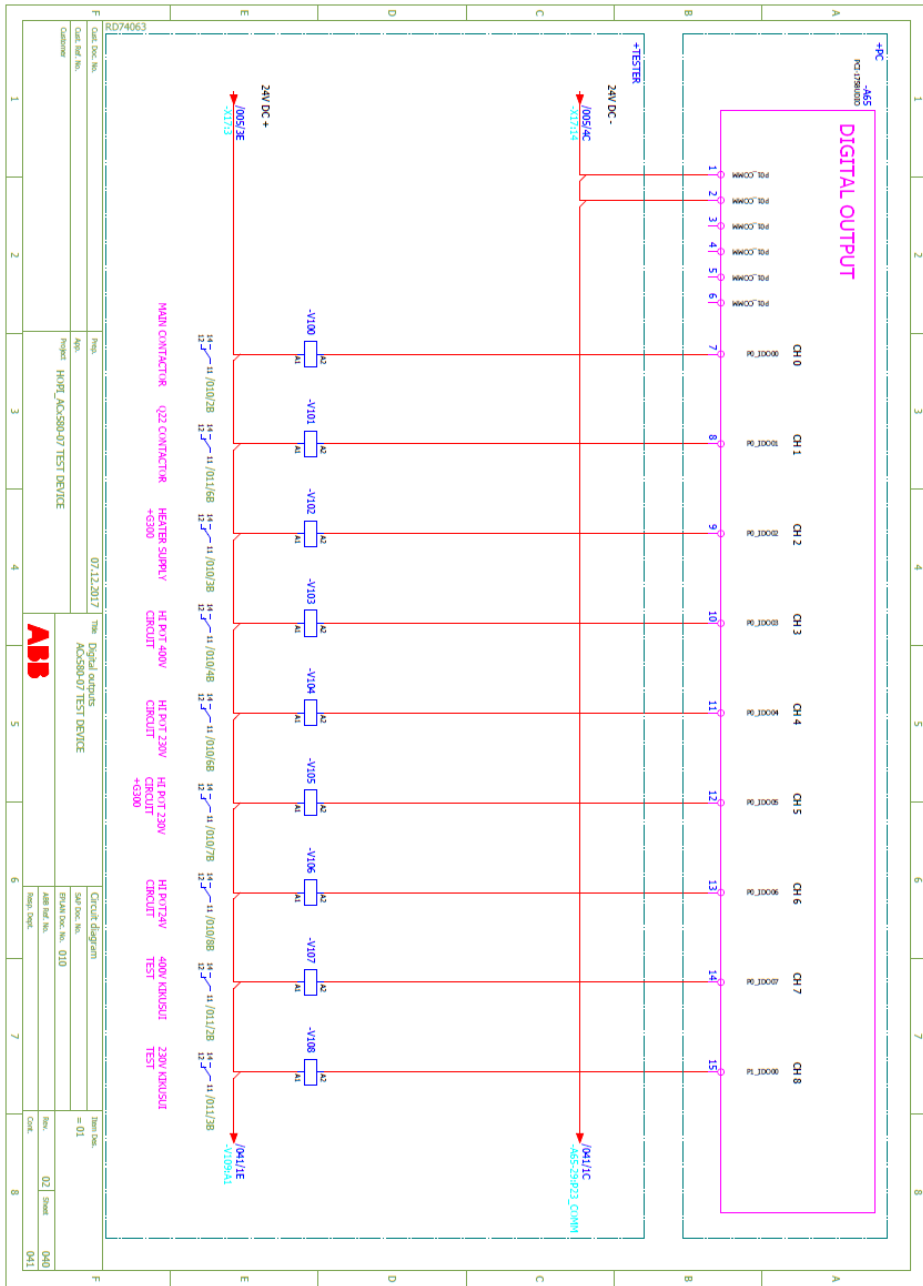
RD74063		07.12.2017		Title: Digital Input (connectors, relays)	
Client Ref. No.	Rev.	Project	AC580U7 TEST DEVICE		
Contract	Project		H08E AC580U7 TEST DEVICE		
Date: 07.12.2017		Rev.		01	
Sheet		02		030	
Total Sheets		02		031	







Code Doc. No.	Proj.	07.12.2017	The	Conductor feedback
Code Ref. No.	App.			ACS508-07 TEST DEVICE
Customer	Project			ABB ACS508-07 TEST DEVICE
ABB				
Code Doc. No.	Proj.	07.12.2017	The	Conductor feedback
Code Ref. No.	App.			ACS508-07 TEST DEVICE
Customer	Project			ABB ACS508-07 TEST DEVICE
ABB				
Code Doc. No.	Proj.	07.12.2017	The	Conductor feedback
Code Ref. No.	App.			ACS508-07 TEST DEVICE
Customer	Project			ABB ACS508-07 TEST DEVICE
ABB				



RD74063	Rev: 07/12/2017	The Digital Output ACS880-07 TEST DEVICE	Rev: 01
Client Doc. No.	App: H-PT ACS880-07 TEST DEVICE	Rev: 02	Sheet: 040
Customer: H-PT	Project: H-PT ACS880-07 TEST DEVICE	Rev: 01	Sheet: 041

