

# Izrada stanice za upravljanje/pokretanje električnih motora pomoću frekventog pretvarača, Soft-startera, sklopnika, te mjerenje poteznih struja motora

---

Miholček, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:225278>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

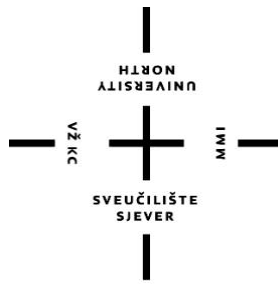
Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-14**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

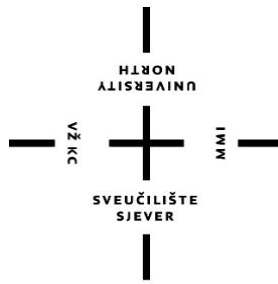
Završni rad br. 546/EL/2024

## Izrada stanice za upravljanje/pokretanje električnih motora pomoću frekventog pretvarača, Soft-startera, sklopnika, te mjerenje poteznih struja

Karlo Miholček, 0336020427

Varaždin, listopad 2024. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel Elektrotehnike

Završni rad br. 546/EL/2024

## **Izrada stanice za upravljanje/pokretanje električnih motora pomoću frekventog pretvarača, Soft-startera, sklopnika, te mjerenje poteznih struja motora**

### **Student**

Karlo Miholček, 0336020427

### **Mentor**

Josip Srpak, dipl. ing. el.

Varaždin, listopad 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Elektrotehnike		
PRISTUPNIK	Karlo Miholček	MATIČNI BROJ	0336020427
DATUM	09.09.2024.	KOLEGIJ	Automatizacija strojeva i uređaja
NASLOV RADA	Izrada stanice za upravljanje/pokretanje električnih motora pomoću frekventog pretvarača, Soft-startera, sklopnika, te mjerenje poteznih struja motora		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Creation of a station for controlling/starting electric motors using a frequency converter, Soft-starter, switch, and measurement of motor traction currents		
MENTOR	Josip Srpak	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Dunja Srpak 2. dr. sc. Josip Nađ predavač 3. Josip Srpak, viši predavač 4. Miroslav Horvatić, viši predavač 5.		

## Zadatak završnog rada

BROJ	546/EL/2024
OPIS	

Potrebno je izraditi ispitnu stanicu koja će mjeriti potezne struje elektromotora. Pri tome je potrebno:

- opisati korišteni hardware i software za realizaciju procesa
- izraditi električne sheme za upravljački ormar
- napisati program za upravljanje procesom
- izraditi upravljački ormar i testirati sustav.

ZADATAK URUČEN

10.09.2024



Josip Srpak

# **PREDGOVOR**

Ovim putem zahvaljujem se mentoru dipl. ing. Josipu Srpak i doc. dr. sc. Dunji Srpak na pomoći prilikom izrade ovog završnog rada, savjetima te sveukupnom prenesenom znanju. Zahvaljujem se Sveučilištu Sjever na opremi koja se koristila za izradu ovog završnog rada, te ujedno se zahvaljujem svim djelatnicima Sveučilišta Sjever na prenesenom znanju tokom studiranja.

Također ovim putem se zahvaljujem obitelji, prijateljima i svim bliskim osobama na podršci tokom mog studiranja na Sveučilištu Sjever.

# SAŽETAK

Završni rad opisuje kompletnu izradu ispitne stanice za ispitivanje tj. mjerenje poteznih struja kod zaleta, te daljnjeg rada elektro motora. Cilj zadatak je bio da se pomoću ispitne stanice utvrde kako određeni sustavi za pokretanje elektro motora djeluju na elektro motor i ostale komponente koje služe za upravljanje motorom.

U ovom projektu radom ispitne stanice upravlja PLC (eng. Programmable Logic Controller) Delta Model TP20P-22XA1R koji ujedno služi i kao upravljačko sučelje za ispitnu stanicu. Za programiranje koristi se programski alat WPLSoft 2.52.

Ispitna stanica se koristi za mjerenje struja kroz 4 vrste upravljanje elektromotorima

Vrste upravljanja:    -Frekventni pretvarač  
                          -Soft-starter 2F  
                          -Soft-starter 3F  
                          -Sklopnici

Svaka vrsta upravljanja je povezana na utičnice na koje se priključuje elektromotor koji želimo ispitati. Odabirom moda na upravljačkom sučelju započinje ispitivanje elektromotora u željenom modu, te se rezultati mjerenja prikazuju na upravljačkom sučelju. Svaka vrsta upravljanja mjeri struje po fazi koju se zajedno prikazuju na upravljačkom sučelju pomoću grafa.

Ključne riječi završnog rada :        -PLC sustav  
  -mjerenje  
  -upravljanje  
  -struje  
  -motori

## SUMMARY

The final paper describes the complete development of a test station for measuring inrush currents during the startup and subsequent operation of electric motors. The goal of the task was to use the test station to determine how certain motor starting systems affect the electric motor and other components used to control the motor.

In this project, the test station is controlled by a PLC (Programmable Logic Controller), specifically the Delta Model TP20P-22XA1R, which also serves as the control interface for the test station. The programming tool used is WPLSoft 2.52.

The test station is used to measure the currents across four types of motor control systems:

- Frequency converter
- Soft-starter 2F
- Soft-starter 3F
- Contactors

Each control type is connected to sockets to which the motor to be tested is attached. By selecting a mode on the control interface, the motor testing begins in the desired mode, and the measurement results are displayed on the control interface. Each control type measures phase currents, which are displayed together on the control interface using a graph.

Key terms of the thesis:

- PLC system
- measurement
- control
- currents
- motors



## Popis korištenih kratica

AC	(Alternating Current)	Izmjenična struja
CPU	(Central processing unit)	Centralna procesorska jedinica
DC	(Direct current)	Istosmjerna struja
FBD	( Function Block Dijagram )	Dijagram funkcijskog bloka
HMI	( Human Machine Interface )	Sučelje čovjek-stroj
LAD	( Ladder Logic )	Relejna logika
PLC	( Programmable Logic Controller )	Programabilni logički kontroler
STL	( Statement Table )	Tablica naredbi
VFD	(Variable Frequency Drive)	Pogon promjenjive frekvencije

# Sadržaj

SUMMARY .....	7
1. UVOD .....	10
2. OPIS ISPITNE STANICE .....	11
2.1. GLAVNE KOMPONENTE ISPITNE STANICE.....	11
2.1.1. Elektromotor.....	11
2.1.2. Frekventni pretvarač .....	12
2.1.3. Soft-starter na dvije faze.....	13
2.1.4. Soft starter na 3 faze.....	14
2.1.5. Spoj zvijezda-trokut (Y- $\Delta$ spoj) .....	16
2.1.6. Mjerni senzori i oprema: .....	16
2.1.7. Kontrolni panel: .....	17
3. IZRADA ELEKTRO SHEME .....	19
4. IZRADA ELEKTRO ORMARA .....	20
4.1. Elektro ormar .....	20
4.2. Raspored komponenata.....	20
4.3. Postupak izrade Elektro ormara.....	20
4.3.1. Priprema i postavljanje DIN šine .....	20
4.3.2. Priprema i postavljanje kabel kanalice .....	21
4.3.3. Postavljanje komponenti.....	21
4.3.4. Povezivanje komponenti sa vodičima .....	22
5. PLC SUSTAV .....	23
5.1. Opis PLC-a.....	23
5.2. Osnovni elementi PLC kontrolera .....	23
5.3. Princip rada.....	25
5.4. PLC Delta TP70P-22XA1R.....	27
5.5. Program PLC-a.....	27
5.5.1. Kreiranje projekta .....	28
5.5.2. Pisanje programskog koda .....	28
5.5.3. Prijenos programa na PLC .....	29
5.6. Zaslou .....	30
6. Ispitivanje i analiza podataka .....	31
6.1. Mjerenja kod pokretanja frekventnim pretvaračem .....	31
6.1.1. Mjerenje osciloskopom .....	31
6.1.2. Mjerenje PLC-om .....	32
6.2. Mjerenja kod soft startera na dvije faze.....	33
6.2.1. Mjerenje osciloskopom .....	33
6.2.2. Mjerenje PLC-om .....	34
6.3. Mjerenja kod soft startera na tri faze .....	35
6.3.1. Mjerenje osciloskopom .....	35
6.3.2. Mjerenje PLC-om .....	36
6.4. Mjerenja kod spoja zvijezda-trokut .....	36
6.4.1. Mjerenje osciloskopom .....	36

6.4.2. Mjerenje PLC-om .....	37
6.5. Analiza mjerenja i zaključci .....	38
7. Zaključak .....	40
Literatura .....	41
Popis slika .....	42
Prilozi .....	43

# 1. UVOD

U današnjem industrijskom okruženju, pouzdano i precizno upravljanje elektromotorima ključno je za optimalno iskorištavanje energije, povećanje efikasnosti i smanjenje troškova održavanja. Elektromotori su temeljni dio mnogih industrijskih pogona i strojeva, a njihovo ispravno pokretanje i regulacija izravno utječu na performanse cijelog sustava. Potezne struje, koje se javljaju tijekom pokretanja motora, mogu uzrokovati značajna mehanička i električna opterećenja, što potencijalno vodi do habanja, smanjenja vijeka trajanja opreme i povećanja operativnih troškova.

Razvijene su različite metode za kontrolu pokretanja i rada elektromotora kako bi se minimizirali ovi štetni učinci, uključujući frekventne pretvarače, soft startere na 2 i 3 faze, te spoj zvijezda-trokut. Svaka od ovih metoda ima specifične karakteristike i koristi se u različitim aplikacijama, ovisno o zahtjevima sustava i radnim uvjetima.

Cilj ovog završnog rada je projektiranje i izrada ispitne stanice za mjerenje poteznih struja elektromotora kada se njima upravlja pomoću frekventnog pretvarača, soft startera na 2 faze, soft startera na 3 faze te pomoću spoja zvijezda-trokut. Ispitna stanica će omogućiti precizno praćenje i usporedbu poteznih struja koje se javljaju pri različitim metodama pokretanja, pružajući vrijedne podatke za analizu performansi i učinkovitosti svakog od sustava.

Rad će obuhvatiti teorijski pregled svake metode upravljanja, opis principa rada ispitne stanice, detalje o dizajnu i komponentama sustava te analizu dobivenih rezultata. Na taj način, ovaj rad doprinosi boljem razumijevanju dinamike poteznih struja i pruža smjernice za optimizaciju postupaka upravljanja elektromotorima u industrijskim aplikacijama. Kroz detaljnu analizu mjernih podataka, bit će moguće odabrati optimalnu metodu pokretanja za specifične radne uvjete, što će omogućiti efikasniji rad elektromotora i smanjiti operativne troškove.

## 2. OPIS ISPITNE STANICE

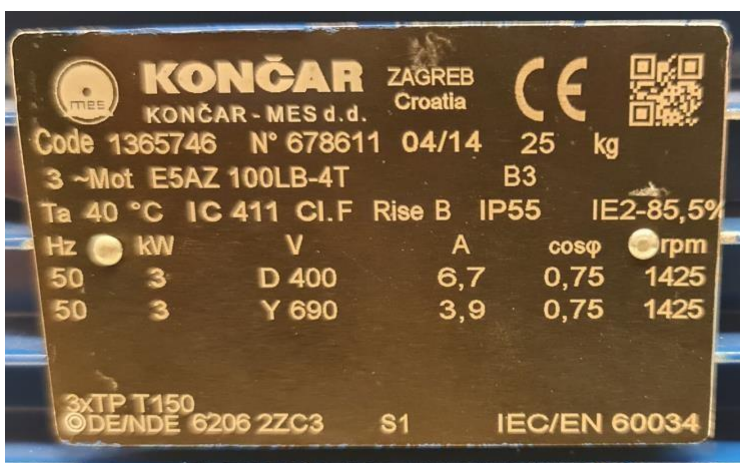
Ispitna stanica dizajnirana za mjerenje poteznih struja elektromotora omogućuje detaljno praćenje i analizu performansi elektromotora pod različitim metodama upravljanja. S obzirom na ciljeve završnog rada, ispitna stanica je razvijena kako bi podržala mjerenja poteznih struja pri korištenju frekventnog pretvarača, soft startera na 2 faze, soft startera na 3 faze i spoja zvijezda-trokut. Ovaj opis će detaljno prikazati glavne komponente i funkcionalnosti ispitne stanice.

### 2.1. GLAVNE KOMPONENTE ISPITNE STANICE

Ispitna stanica se sastoji od nekoliko ključnih komponenti koje se koriste kod mjerenja struja kod elektromotora, u nastavku su navedene komponente koje se koriste, te kratki opis i način rada.

#### 2.1.1. Elektromotor

Motor je komponenta ispitne stanice na kojoj se vrše mjerenja. Elektromotor se povezuje na to predviđena mjesta ovisno o željenom načinu upravljanja. Kada želimo obaviti mjerenja na elektromotoru potrebno je pripremiti motor za testiranje, što uključuje spajanje kratko spojnika na krajevima namotaja elektromotora ili spajanje dodatnog kabla na krajeve namotaja elektromotora kod upravljanja spojem zvijezda-trokut. Te podešavanje parametara na frekventnom pretvaraču. Podaci elektro motora proizvođača Končar vidljivi su na slici 2.1.



Slika 2.1- Natpisna pločica elektromotora



strane, vektorsko upravljanje omogućuje precizniju kontrolu momenta i brzine motora putem izračunavanja magnetskog toka i momenta u stvarnom vremenu, pružajući veću dinamičku reakciju i točnost, što je posebno korisno u aplikacijama gdje je potrebna brza promjena brzine ili precizna kontrola pozicije.

Frekventni pretvarači također pružaju mogućnost smanjenja poteznih struja koje se javljaju prilikom pokretanja motora, što smanjuje mehaničke naprezanja i produžava vijek trajanja motora i povezane opreme. Ova sposobnost frekventnih pretvarača da omoguće glatko pokretanje i zaustavljanje motora, kao i njihova sposobnost za energetska uštedu i optimizaciju rada, čini ih neizostavnim alatom u suvremenim industrijskim procesima.

### 2.1.3. Soft-starter na dvije faze

Soft starter na dvije faze je uređaj koji se koristi za smanjenje poteznih struja i mehaničkih naprezanja tijekom pokretanja elektromotora. Za razliku od konvencionalnih metoda pokretanja motora, gdje se motor pokreće izravnim spajanjem na pun napon, soft starter na dvije faze postupno povećava napon na dva od tri terminala motora, omogućujući time glatko i kontrolirano pokretanje. Ovaj uređaj kontrolira početnu struju i ubrzanje motora putem regulacije napona, što smanjuje visoka mehanička naprezanja i habanje komponenata, a također pomaže u sprečavanju električnih preopterećenja u sustavu napajanja. U ovom završnom radu korišten je soft-starter proizvođača Schrack [2], model LAK34255 za motore maksimalne nominalne snage 14,7kW, na slici 2.3 može se vidjeti njegov izgled.



Slika 2.3 – Soft-starter na dvije faze, model LAK34255[2]

Soft starter na dvije faze radi na principu kontrole faze, koristeći tiristore ili triake koji se nalaze na dva od tri fazna vodiča koji dovode napon do motora. U početku, kada se motor pokreće, tiristori se uključuju s odgodom, koja se postupno smanjuje tijekom unaprijed postavljenog vremenskog perioda. Kako se smanjuje odgoda uključivanja tiristora, napon koji se isporučuje motoru polako raste od nule do nominalnog napona, omogućujući tako postupno povećanje brzine motora i smanjenje poteznih struja. Na taj način se kontrolira napon na motoru, smanjuje visoka početna struja koja bi se inače javila pri direktnom spajanju na mrežu, i omogućuje glatko pokretanje motora bez naglih skokova u struji. Soft starteri na dvije faze često dolaze s ugrađenim funkcijama za zaštitu motora, kao što su zaštita od pregrijavanja, preopterećenja i podnapona, što dodatno osigurava siguran rad motora i produžava njegov vijek trajanja.

Iako je soft starter na dvije faze jednostavniji i jeftiniji od soft startera na tri faze, njegov način rada može uzrokovati neuravnoteženje struja u motoru zbog nejednakog napona na sve tri faze. Ovo neuravnoteženje može rezultirati dodatnim toplinskim opterećenjem i smanjenjem učinkovitosti u određenim aplikacijama. Unatoč ovim ograničenjima, soft starteri na dvije faze idealni su za aplikacije gdje je potrebno jednostavno i ekonomično rješenje za kontrolu pokretanja motora bez visokih zahtjeva za preciznost ili učestalost promjene brzine.

#### **2.1.4. Soft starter na 3 faze**

Soft starter na tri faze je uređaj dizajniran za kontrolirano pokretanje elektromotora u trofaznim sustavima, smanjujući početne struje i mehanička naprezanja koja nastaju pri pokretanju motora. Za razliku od soft startera na dvije faze, koji upravlja samo sa dva od tri fazna vodiča, soft starter na tri faze omogućuje ravnomjerno upravljanje naponom na svim tri faze motora. Ovo pruža bolju ravnotežu struja i smanjuje neželjeno opterećenje na sustavu.

Princip rada soft startera na tri faze temelji se na faznoj kontroli uz pomoć tiristora ili triaka, koji se nalaze u sklopu uređaja. Soft starter regulira napon dostavljen motoru tako da se postupno povećava od nule do punog napona tijekom definiranog vremenskog razdoblja. Ovaj postupni porast napona omogućuje motoru da se pokrene na kontroliran način, smanjujući početne struje koje bi mogle uzrokovati visoka mehanička naprezanja i potencijalno oštetiti



motor i druge komponente sustava. U ovom završnom radu korišten je soft-starter proizvođača Schrack [2], model LATB4355 za motore maksimalne nominalne snage 29,4kW, (Slika 2.4).



Slika 2.4 – Soft-starter na dvije faze, model LATB4355[2]

Soft starter na tri faze koristi sofisticirane algoritme za kontrolu napona u svim fazama, osiguravajući da napon na svakom od tri terminala motora raste ravnomjerno. Ovaj uravnotežen pristup smanjuje probleme kao što su neuravnoteženje struja i nejednaki rad motora, što može rezultirati boljom učinkovitošću i duljim vijekom trajanja motora. Uz to, soft starteri na tri faze često dolaze s dodatnim funkcijama zaštite, uključujući zaštitu od pregrijavanja, preopterećenja, i naponskih skokova, čime dodatno osiguravaju sigurnost i pouzdanost u radu.

Soft starteri na tri faze su idealni za aplikacije koje zahtijevaju preciznu kontrolu pokretanja motora u trofaznim sustavima, gdje je važna ravnoteža struja i smanjenje početnih napreznja. Iako su skuplji i složeniji od soft startera na dvije faze, njihova sposobnost da ravnomjerno kontroliraju napon na sve tri faze čini ih prikladnim za složenije industrijske aplikacije s visokim zahtjevima za performanse i pouzdanost.

### **2.1.5. Spoj zvijezda-trokut (Y- $\Delta$ spoj):**

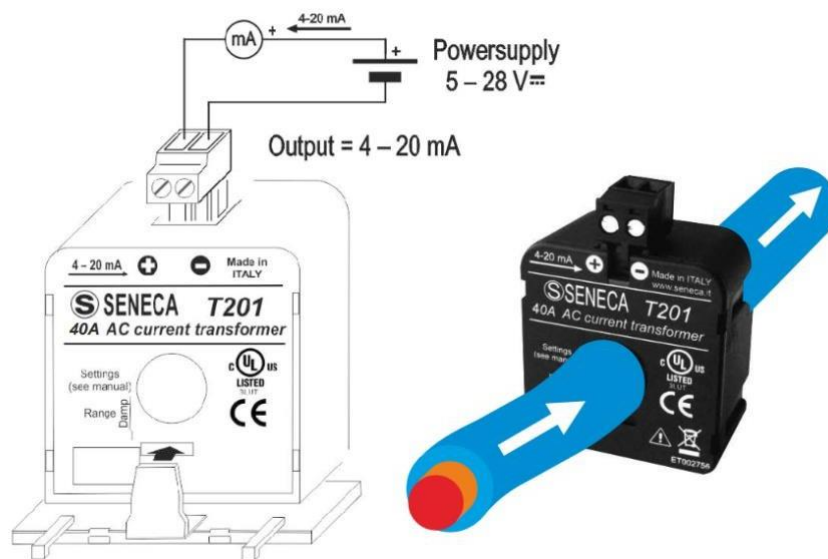
Spoj zvijezda-trokut je metoda pokretanja trofaznih elektromotora koja se koristi za smanjenje poteznih struja i mehaničkih opterećenja pri pokretanju. Ova metoda temelji se na korištenju dvaju različitih načina spajanja namota motora—u početku, motor je spojen u zvijezdu, a nakon što dostigne određenu brzinu, prebacuje se u trokut spoj.

Pri pokretanju motora u zvijezda spoju, napon koji se primjenjuje na svaki namot motora je manji (oko 58% od nominalnog napona), što rezultira smanjenjem početne struje na približno jednu trećinu od struje koja bi se pojavila kod izravnog pokretanja u trokut spoju. Nakon što motor postigne oko 80% svoje nominalne brzine, upravljački sklop prebacuje spoj namota u trokut. U tom trenutku motor dobiva puni napon, omogućujući mu da razvije punu snagu i nastavi raditi pri nominalnim uvjetima [3].

Spoj zvijezda-trokut posebno je koristan u situacijama gdje je važno smanjiti električna i mehanička opterećenja na početku rada, poput velikih motora u industrijskim postrojenjima. Iako je ovaj način pokretanja jednostavniji i jeftiniji u usporedbi s nekim modernijim metodama, poput frekventnih pretvarača ili soft startera, njegova glavna mana je beznaponsko stanje prilikom prebacivanja iz zvijezde u trokut, što može izazvati mehanička naprezanja i smanjiti životni vijek motora u dugoročnom korištenju [4]. Zbog toga je spoj zvijezda-trokut prikladniji za motore s laganim opterećenjem ili u aplikacijama gdje se ovaj prijelaz može obaviti bez štetnih posljedica.

### **2.1.6. Mjerni senzori i oprema:**

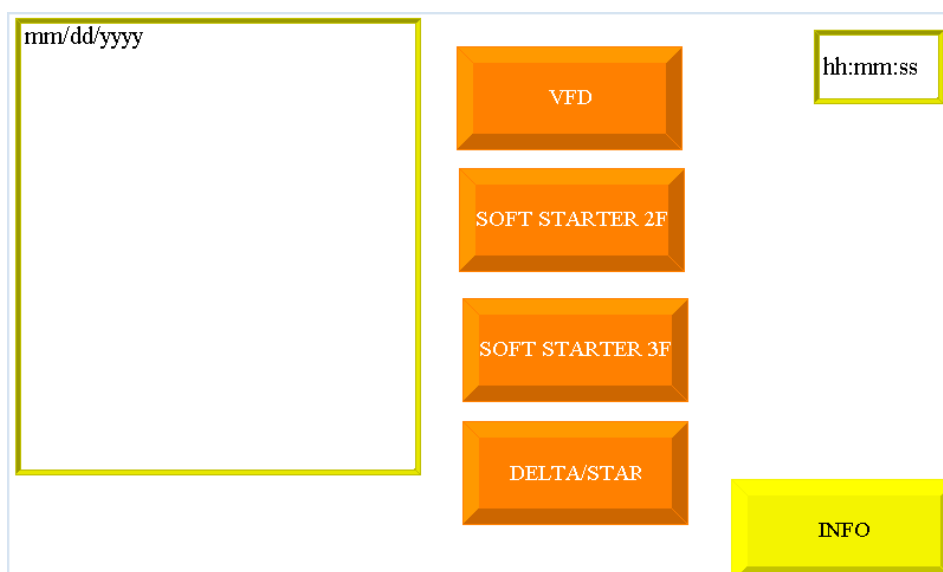
Stanica je opremljena strujnim transmiterima omogućuju točno mjerenje poteznih struja tijekom pokretanja i rada elektromotora. Ovi transmitera su povezani s PLC-om koji bilježi promjene u realnom vremenu. Maksimalna struja koju mogu mjeriti iznosi 40A, također potrebno je napajanje od 5-28V DC, a izlazni strujni signal je od 4-20mA, (Slika 2.5)



Slika 2.5 – Način spajanja transmitera [5]

### 2.1.7. Kontrolni panel:

Kontrolni panel se sastoji od PLC-a proizvođača Delta, model TP70P-22XA1R pomoću kojeg se upravlja ispitnom stanicom, te sigurnosnu gljivu za isključivanje u nuždi. Na zaslonu PLC-a moguće je odabrati jedan od 4 ponuđenih načina ispitivanja kao što se može vidjeti na slici 2.6.



Slika 2.6 – Početni zaslon PLC-a

Odabirom jednog od ponuđenih režima otvara se novi ekran čiji izgled je moguće vidjeti na slici 2.7 na kojem se nalaze tipke za pokretanje i zaustavljanje, te graf koji prikazuje vrijednost struje koju mjere strujni transponderima spojeni na analogne ulaze PLC-a.



*Slika 2.7 – Prikaz na panelu prilikom mjerenja*

### 3. IZRADA ELEKTRO SHEME

Izrada elektro sheme je ključni korak u projektiranju, izgradnji i održavanju električnih sustava, te je u ovom slučaju za izradu elektro sheme bio korišten program SEE electrical [6]. Elektro shema predstavlja vizualni prikaz svih električnih komponenata i njihovih međusobnih veza unutar sustava, pružajući jasnu sliku o načinu na koji će sustav funkcionirati. Ova dokumentacija je od izuzetne važnosti iz nekoliko razloga:

1. **Preciznost u dizajnu i izvedbi:** Elektro sheme omogućuju precizno planiranje i implementaciju električnih instalacija. Bez sheme, postoji velika vjerojatnost da će doći do pogrešaka u povezivanju ili izboru komponenata, što može rezultirati neispravnim radom sustava, kvarovima ili čak sigurnosnim rizicima.
2. **Sigurnost:** Ispravno izrađena elektro shema osigurava da svi električni spojevi i komponente budu pravilno postavljeni i zaštićeni. To smanjuje rizik od električnih udara, požara i drugih opasnosti koje mogu proizaći iz nepravilne instalacije ili održavanja.
3. **Održavanje i popravci:** Tijekom životnog vijeka električnog sustava, često su potrebni popravci ili nadogradnje. Elektro shema pruža tehničarima jasne upute o postojećim vezama i komponentama, što olakšava dijagnosticiranje problema i izvođenje potrebnih intervencija brzo i točno.
4. **Zakonski zahtjevi i standardi:** U mnogim zemljama, izrada i pohrana elektro shema obavezna je prema zakonskim propisima i industrijskim standardima. To osigurava da sustav ispunjava sve tehničke i sigurnosne norme, čime se štiti imovina i životi korisnika.
5. **Komunikacija među timovima:** Elektro sheme služe kao univerzalni jezik između inženjera, tehničara i drugih stručnjaka uključenih u projekt. One omogućuju jasnu i učinkovitu komunikaciju među različitim timovima, olakšavajući koordinaciju i smanjujući mogućnost nesporazuma.
6. **Planiranje troškova i materijala:** Izrada elektro sheme omogućuje precizno određivanje količine potrebnog materijala i opreme, čime se smanjuju troškovi i sprječava nepotrebno trošenje resursa. Također, pomaže u planiranju nabave i upravljanju zalihama.

Elektrotehnička shema nalazi se u prilogu A.

## **4. IZRADA ELEKTRO ORMARA**

### **4.1. Elektro ormar**

Za potrebe ovog rada uzeti je elektro ormar dimenzija 500x700x250[mm] u kojem se nalaze sve potrebne komponente, te na njega je montiran i PLC displej koji će ujedno služiti kao upravljačko sučelje.

### **4.2. Raspored komponenata**

Prije samog početka povezivanja komponenti u cjelinu potrebno je bilo odrediti položaje komponenata kao bi se prema zahtjevima proizvođača osiguralo dovoljno prostora između komponenata bez da dođe do zagrijavanja(pregrijavanja) istih.

### **4.3. Postupak izrade Elektro ormara**

Nakon obavljene izrade elektro sheme i isplaniranog rasporeda komponenti, započeta je izrada elektro ormara koja se odvijala sljedećim redoslijedom.

#### **4.3.1. Priprema i postavljanje DIN šine**

DIN šina je posebna vrsta trake koja služi za montažu i pričvršćivanje u razvodnim ormarima.



*Slika 4.1 – DIN šina [2]*

### 4.3.2. Priprema i postavljanje kabel kanalice

Kabel kanalice služi za polaganje vodiča/kabela kako bi osiguralo sigurno mjesto gdje se mogu nalaziti vodiči/kabli kako ne bi ometali rad mehaničkih dijelova komponenti, te kako bi ormar izgledao urednije.



*Slika 4.2 – Kabel kanalice [2]*

### 4.3.3. Postavljanje komponenti

Nakon postavljanja DIN šina i kabel kanalice krećemo sa postavljanjem komponenti na to predviđeno mjesto, neke od komponenti ne mogu se montirati na DIN šinu, te smo te komponente pričvrstili na ploču od ormara, te montirali utičnice i PLC displej na samo kućište ormara zbog sigurnosti korisnika i lakšeg spajanja motora kojeg želimo ispitivati.

#### 4.3.4. Povezivanje komponenti sa vodičima

Nakon postavljanja i montaže komponenti kreće se sa povezivanjem istih prema ranije izrađenoj elektro shemi. Po završetku spajanja svih komponenti na slici 4.3 moguće je vidjeti izgled gotovog elektro ormara. Ormar je tako spreman za testiranje ispravnosti sustava, te prijenos programa na PLC.



Slika 4.3 – Izgled gotovog elektro ormara



## **5. PLC SUSTAV**

### **5.1. Opis PLC-a**

Programirajući logički kontroler (PLC) je specijalizirani industrijski računalni uređaj koji se koristi za automatsko upravljanje procesima u raznim industrijama. PLC-ovi su dizajnirani da rade u teškim uvjetima i da upravljaju različitim elektromehaničkim procesima, poput upravljanja strojevima, proizvodnim linijama, sustavima rasvjete, klimatizacije i drugim industrijskim automatizacijama.

PLC funkcionira na principu kontinuiranog očitavanja ulaznih podataka (npr. signali s prekidača, senzora, tipkala) i, na temelju unaprijed definiranog programa, donosi odluke koje se zatim provode putem izlaznih uređaja (npr. motora, ventila, releja). Program se obično piše u specijaliziranom programskom jeziku poput ladder logike, funkcijskog bloka, ili sekvencijalnog dijagrama funkcija, ovisno o zahtjevima sustava.

Jedna od glavnih prednosti PLC-a je njegova fleksibilnost i jednostavnost programiranja, što omogućuje lako prilagođavanje različitim aplikacijama i procesima. Također, PLC-ovi su vrlo pouzdani, otporni na vibracije, prašinu, vlagu i elektromagnetske smetnje, što ih čini idealnim za industrijske uvjete.

Uz to, PLC-ovi omogućuju brzo i jednostavno održavanje i nadzor sustava, jer je moguće pratiti rad uređaja u stvarnom vremenu, dijagnosticirati kvarove i modificirati programe bez potrebe za zaustavljanjem proizvodnog procesa.

Zbog svoje robusnosti, svestranosti i mogućnosti rada u zahtjevnim uvjetima, PLC-ovi su postali standard u industrijskoj automatizaciji, omogućujući učinkovito i pouzdano upravljanje raznim proizvodnim i tehnološkim procesima.

### **5.2. Osnovni elementi PLC kontrolera**

PLC (Programirajući logički kontroler) [8] sustav sastoji se od nekoliko ključnih elemenata koji zajedno omogućuju njegov rad i funkcionalnost u industrijskoj automatizaciji. Svaki od tih

elemenata ima specifičnu ulogu u obradi podataka, upravljanju procesima i interakciji s drugim sustavima. Evo osnovnih elemenata PLC-a:

#### 1. **Procesorska jedinica (CPU):**

CPU je "mozak" PLC sustava. Odgovoran je za izvršavanje programa koji kontrolira povezane uređaje i procese. CPU upravlja svim operacijama, obrađuje podatke s ulaznih modula i donosi odluke na temelju programiranih instrukcija. Također, komunicira s drugim elementima PLC-a i održava stabilan rad sustava.

#### 2. **Memorija:**

PLC ima dvije glavne vrste memorije: radnu memoriju i memoriju za pohranu. Radna memorija koristi se za izvršavanje programa, dok memorija za pohranu služi za spremanje korisničkog programa, konfiguracija i podataka. Memorija može biti nevolatilna (npr. EEPROM) kako bi se podaci zadržali i nakon isključenja napajanja.

#### 3. **Ulazni moduli (I/O moduli):**

Ulazni moduli omogućuju PLC-u prikupljanje podataka iz vanjskog svijeta. Ovi moduli prihvaćaju signale s različitih senzora, prekidača, tipkala ili drugih uređaja koji šalju digitalne ili analogne signale. Ulazni moduli pretvaraju te signale u oblik koji CPU može obraditi.

#### 4. **Izlazni moduli (I/O moduli):**

Izlazni moduli upravljaju vanjskim uređajima na temelju odluka koje donosi CPU. Oni šalju signale prema aktuatorima, motorima, ventilima, relejima i drugim pogonskim uređajima, izvršavajući zadatke poput uključivanja/isključivanja uređaja, regulacije brzine ili upravljanja smjerom.

#### 5. **Napajanje:**

PLC sustav ima vlastito napajanje koje osigurava potrebnu električnu energiju za rad svih njegovih komponenti. Napajanje mora biti stabilno i pouzdano kako

bi osiguralo neprekinuti rad sustava, s opcijama za rad na različitim naponima (npr. 24 V DC, 230 V AC).

## 6. **Komunikacijski moduli:**

Komunikacijski moduli omogućuju PLC-u povezivanje s drugim uređajima, sustavima ili mrežama. Oni podržavaju različite industrijske protokole, kao što su Modbus, Profibus, Ethernet/IP i drugi, što omogućuje integraciju PLC-a u šire sustave upravljanja i nadzora (SCADA, MES).

## 7. **Programski uređaj (Programator):**

Programski uređaj koristi se za pisanje, testiranje i učitavanje programa u PLC. To može biti računalo s odgovarajućim softverom za programiranje, ili poseban ručni uređaj. Programski jezici koji se koriste uključuju ladder logiku, funkcijske blokove, strukturalni tekst, među ostalima.

## 8. **HMI (Human-Machine Interface):**

HMI nije uvijek nužan dio PLC-a, ali je često integriran za lakši nadzor i interakciju s procesom. HMI omogućuje operaterima pregled stanja sustava, unos komandi i postavki, te praćenje alarma i događaja u realnom vremenu.

### 5.3. **Princip rada**

PLC radi na principu cikličkog izvršavanja programa koji se sastoji od četiri glavne faze: očitavanje ulaza, izvršavanje programa, ažuriranje izlaza i dijagnostika/samo provjera. Ovaj ciklus, poznat kao *scan cycle*, kontinuirano se ponavlja dok je PLC u pogonu, što omogućuje brzu i pouzdanu obradu podataka te kontrolu nad procesima. Evo detaljnog opisa kako PLC funkcionira:

#### 1. **Očitavanje ulaza (Input Scan):**

U ovoj fazi PLC očitava stanje svih ulaznih modula povezanih sa sensorima, prekidačima, tipkalima i drugim uređajima koji šalju informacije sustavu. Ulazni podaci mogu biti digitalni (uključeno/isključeno) ili analogni (kontinuirani signal, poput temperature ili tlaka). Svi očitani podaci spremaju se u memoriju ulaza, gdje su dostupni za daljnju obradu u sljedećoj fazi.

## **2. Izvršavanje programa (Program Execution):**

Nakon očitavanja ulaza, PLC započinje izvršavanje korisničkog programa koji je pohranjen u memoriji. Program se sastoji od logičkih instrukcija koje određuju kako će sustav reagirati na različite ulazne podatke. Tijekom ovog koraka, PLC koristi trenutne vrijednosti ulaza kako bi donio odluke koje utječu na stanje izlaza. Na primjer, ako određeni senzor detektira prekomjernu temperaturu, program može uključiti ventilator ili isključiti grijanje.

## **3. Ažuriranje izlaza (Output Scan):**

Nakon što je program izvršen, PLC ažurira stanje izlaznih modula prema rezultatima obrade. To znači da PLC postavlja izlazne uređaje (poput motora, ventila, svjetala) u odgovarajuće stanje, prema logičkim odlukama donesenim tijekom faze izvršavanja programa. Ovi izlazi tada upravljaju stvarnim procesima u sustavu.

## **4. Dijagnostika i samo provjera (Diagnostics/Housekeeping):**

U ovoj fazi PLC provodi interne provjere kako bi osigurao ispravnost vlastitog rada. Ovdje se nadzire rad hardvera, provjerava se napajanje, memorija i komunikacijski kanali te se otkrivaju i prijavljuju eventualne greške. Ako se otkriju problemi, sustav može aktivirati alarm ili izvršiti korektivne radnje.

Nakon završetka svih ovih koraka, PLC ponovo započinje ciklus očitavanjem novih ulaznih podataka. Cijeli ciklus obično traje nekoliko milisekundi, ovisno o složenosti programa i brzini PLC-a, što omogućuje brzu reakciju na promjene u sustavu i osigurava kontinuiranu kontrolu.

Zahvaljujući ovom cikličkom načinu rada, PLC može pouzdano nadzirati i kontrolirati složene industrijske procese, prilagođavajući se promjenama u stvarnom vremenu i osiguravajući stabilan i siguran rad sustava.

#### **5.4. PLC Delta TP70P-22XA1R**

Delta PLC TP70P-22XA1R [7] je PLC integriran s HMI (Human-Machine Interface) ekranom, što ga čini svestranim rješenjem za industrijsku automatizaciju. Ovaj model kombinira funkcionalnost PLC-a i HMI-a, omogućujući ne samo upravljanje i kontrolu procesa, već i interaktivni prikaz podataka i jednostavan unos komandi kroz 7-inčni dodirni ekran.

PLC TP70P-22XA1R ima 8 digitalnih ulaza i 8 digitalnih izlaza, uz dodatna 4 analogna ulaza i 2 analogna izlaza. To ga čini pogodnim za upravljanje različitim uređajima u industrijskim aplikacijama, poput motora, ventila, senzora i drugih automatiziranih sustava. Njegova fleksibilnost omogućava jednostavno povezivanje i integraciju s drugim industrijskim sustavima putem komunikacijskih protokola kao što su Modbus i RS-485, što je standardno u industriji.

S obzirom na ugrađeni HMI, ovaj PLC model pruža operaterima jasan pregled stanja sustava i omogućuje brzu prilagodbu parametara, bez potrebe za dodatnim uređajima. To značajno pojednostavljuje rad i smanjuje vrijeme potrebno za konfiguraciju i održavanje sustava.

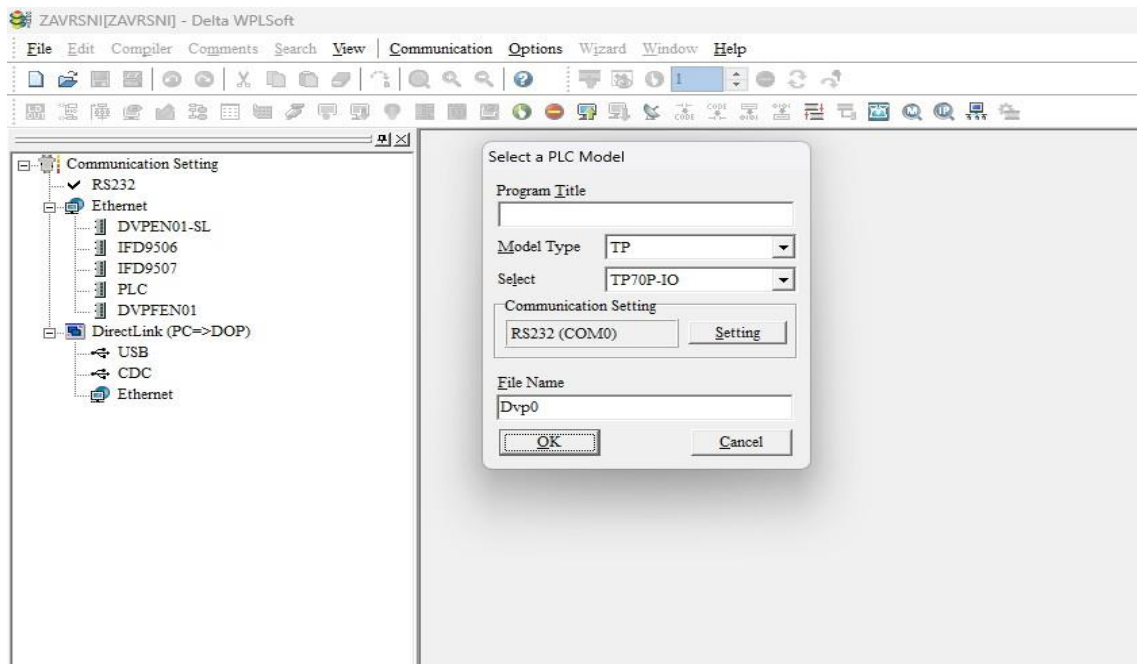
TP70P-22XA1R je posebno prikladan za manje i srednje industrijske aplikacije koje zahtijevaju učinkovito upravljanje procesima, uz jednostavno praćenje i interakciju s operaterima. Zahvaljujući svojoj kompaktnosti i svestranosti, ovaj model nudi optimalno rješenje za automatizaciju u različitim industrijama, uključujući proizvodnju, pakiranje i upravljanje energijom.

#### **5.5. Program PLC-a**

Program upravljanja ispitnom stanicom rađen je u WPLSoft-u od tvrtke Delta, program je pisan u programskom jeziku LAD "Ladder diagram" u njemu se koriste simboli poput konakata i relejnih namota [8]. Vrlo je jednostavan za čitanje i razumjevanje.

### 5.5.1. Kreiranje projekta

Na početku svakog programiranja kreira se projekt u kojem se postavlja model PLC-a kojeg programiramo, te ujedno taj projekt se sprema na računalo gdje se kasnije prema potrebi mogu raditi izmijene ili korekcije ukoliko je dio koda neispravan. Slika 5.1 prikazuje kreiranje projekta u programu WPLSoft.

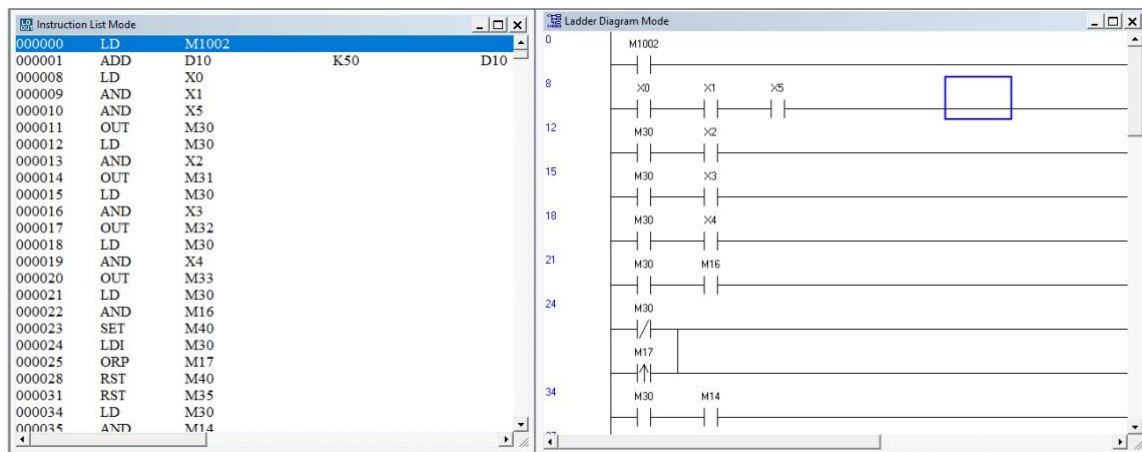


Slika 5.1 – Kreiranje projekta

### 5.5.2. Pisanje programskog koda

Nakon kreiranja projekta može se krenuti sa pisanjem programskog koda za PLC, WPLSoft daje mogućnost ranije navedenog LAD jezika, te također postoji mogućnost pisanja koda u INL “Instruction List Mode“. Neovisno o izboru jezika za pisanje koda, nakon kompiliranja LAD se prevađa u INL te se kod prijenosa programa šalje INL na PLC. Slika 5.2 prikazuje usporedbu LAD i INL koda.

Kompletan kod nalazi se u prilogu B.



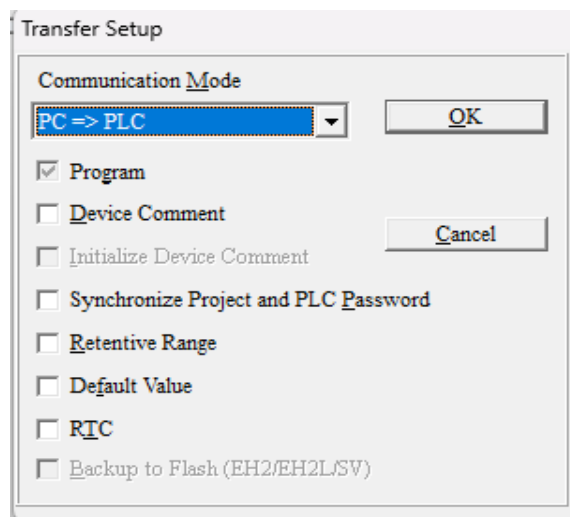
Slika 5.2 – Usporedba LAD i INL koda

### 5.5.3. Prijenos programa na PLC

Povezivanjem PLC-a pomoću komunikacijskog kabla sa računalom, može se započeti prijenos programa na PLC. U ovom slučaju koristi se USB kabel sa tipom A za spajanje na računalo s jedne strane, sa druge strane koristi se tip B za spajanje na PLC. Slika 5.3 prikazuje USB kabel koji služi za povezivanje računala i PLC-a, dok Slika 5.4 prikazuje prozor koji se pojavi u programu WPLSoft prilikom prenošenja programa sa računala na PLC.



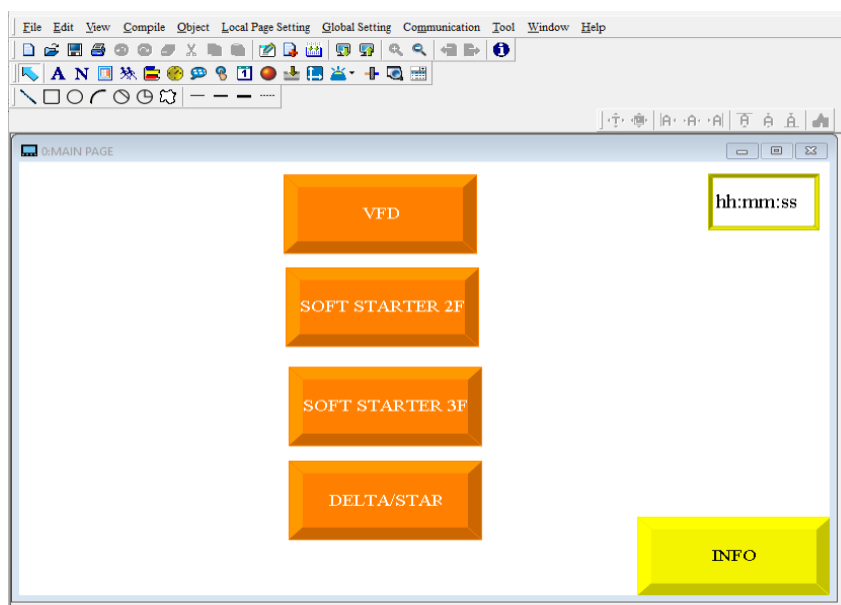
Slika 5.3 – USB tip A i tip B



Slika 5.4 – Prijenos programa na PLC

## 5.6. Zaslون

Delta TP70P-22X1R ima integrirani zaslon na dodir koji se može koristiti za vizualizaciju[9]. Njegovo programiranje vrši se unutar programa TPEditor od tvrtke Delta. Princip programiranja je vrlo sličan kao kod programiranja PLC-a, Implementacijom gumba na ekranu te povezivanje sa M funkcijom PLC-a (zastavice) možemo zamijeniti potrebe za vanjskim prekidačima kolji bi zauzimali mjesto na upravljačkoj ploči , te zauzimali mjesta na digitalnim ulazima PLC-a. Slika 5.5 prikazuje programsko sučelje za izradu zaslona na PLC-u.



Slika 5.5 – Programsko sučelje TPEditor



## 6. Ispitivanje i analiza podataka

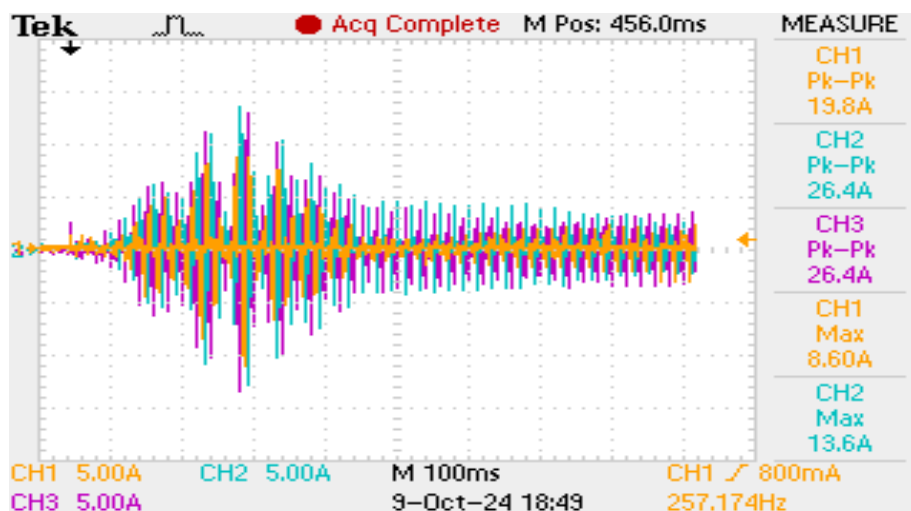
Puštanjem u probni rad provjerava se ispravnost samog sustava te točnost mjerenja strujnih transpondera i prikaza na zaslonu PLC-a. Dobiveni rezultati se uspoređuju sa mjerenjima obavljenih osciloskopom, te vrijednostima prikazanim na zaslonu PLC-a.

U nastavku slijede slike 6.1 do 6.12 gdje će se vidjeti mjerenja odrađena pomoću osciloskopa i strujnih transpondera spojenih na analogni ulaz PLC-a, te njihov međusobni odnos. Za mjerenje koristilo se osciloskop Tektronix TDS2014B, te je motor bio bez opterećenja i spojen u zvijezdu kod mjerenja frekventnim pretvaračem, soft starterom na dvije faze, te soft starterom na tri faze. Na osciloskop su bila spojena strujna kliješta Tektronix A622 koja su služila za mjerenje struje.

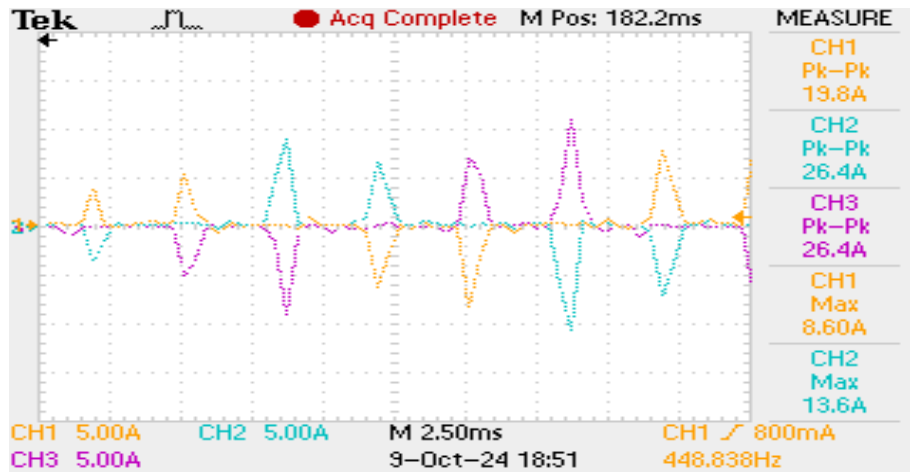
### 6.1. Mjerenja kod pokretanja frekventnim pretvaračem

#### 6.1.1. Mjerenje osciloskopom

U nastavku slijede rezultati dobiveni pomoću osciloskopa. Potezne struje su vrlo male zbog nedostatka opterećenja na motoru kako je navedeno na početku poglavlja 6. Rezultati koji su dobiveni odgovaraju očekivanim vrijednostima.



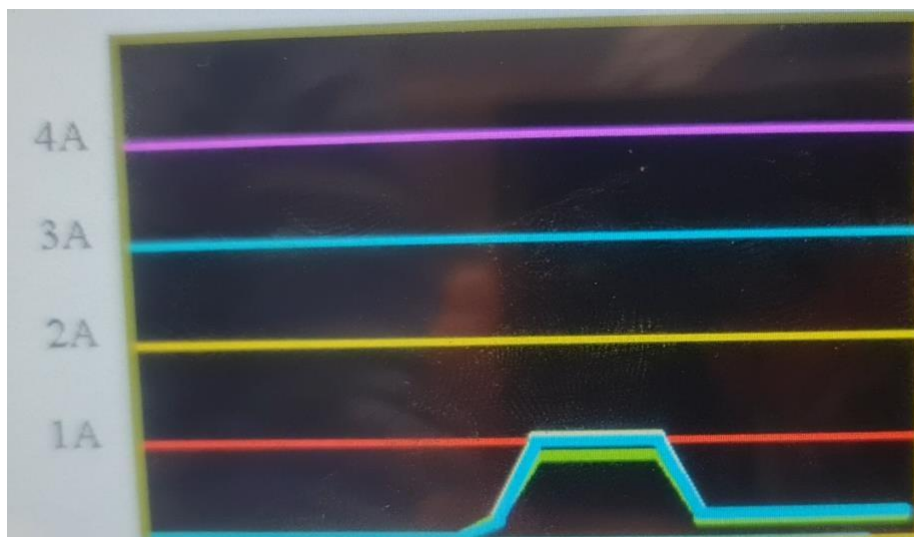
Slika 6.1 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja VFD-om



Slika 6.2 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja VFD-om

### 6.1.2. Mjerenje PLC-om

Rezultati dobiveni mjerenjem pomoću strujnih transmitera spojenih na analogne ulaze daju vrlo slične rezultate dobivene mjerenjem osciloskopom što se može vidjeti na sljedećoj slici 6.3 (iznos struje po vremenu, tijekom zaleta). Kao dodatak potvrde pouzdanog mjerenja na slici 6.4 možemo vidjeti da strujna kliješta prikazuju približno jednaku maksimalnu vrijednost. Ukupna vrijdnost vremena prikazana na grafu iznosi 2.20 sekundi



Slika 6.3 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja VFD-om

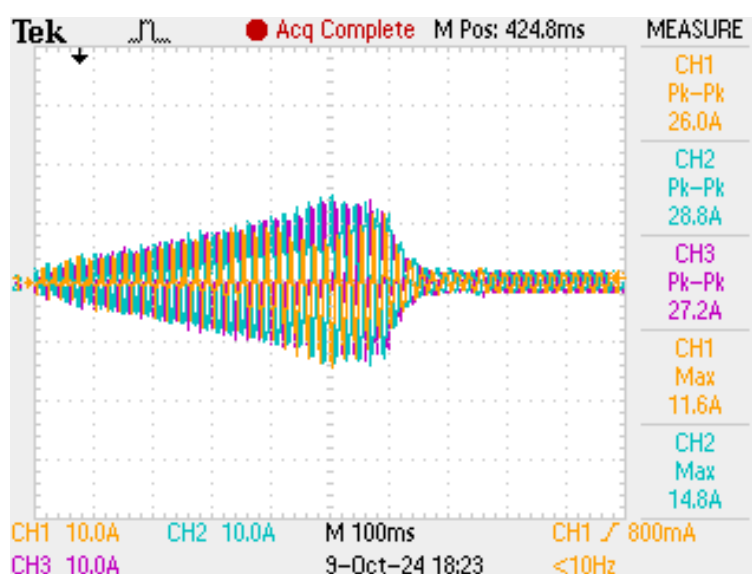


Slika 6.4 – Mjerenje strujnim kliještima kod pokretanja VFD-om

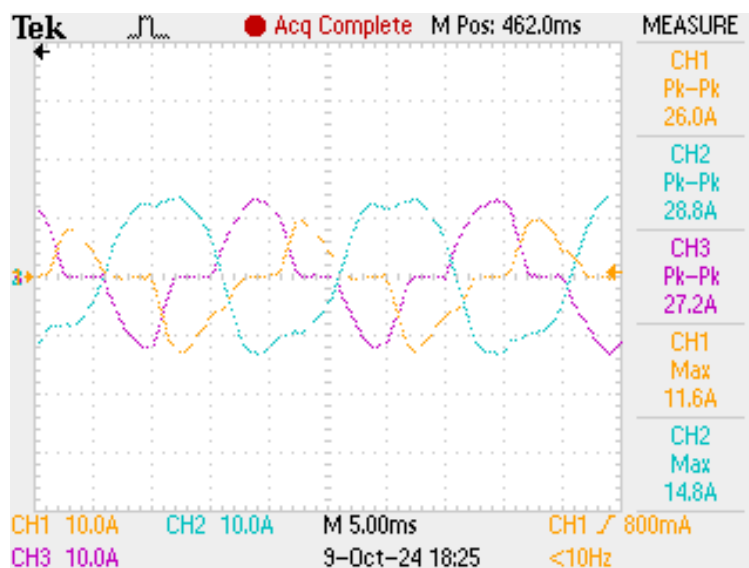
## 6.2. Mjerenja kod soft startera na dvije faze

### 6.2.1. Mjerenje osciloskopom

Mjerenje soft startera na dvije faze pokazuje postupno ubrzavanje motora koje se može vidjeti na sljedećoj slici 6.5, kod slike 6.6 može se vidjeti regulacija dviju faza, dok treća faza ostaje ne regulirana.



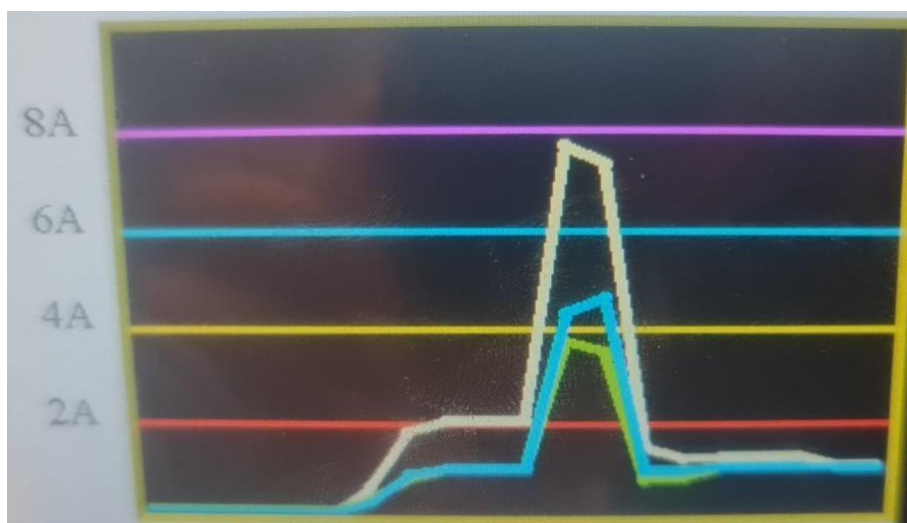
Slika 6.5 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze



Slika 6.6 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze

### 6.2.2. Mjerenje PLC-om

Na slici 6.7 (iznos struje po vremenu, tijekom zaleta) se može jasnije vidjeti odnos dviju reguliranih faza u odnosu na ne reguliranu fazu. Također može se vidjeti ne podudaranje sa vrijednostima dobivenih kod osciloskopa, zbog vremena čitanja analognog ulaza PLC-a koje iznosi u prosjeku 20 milisekundi.

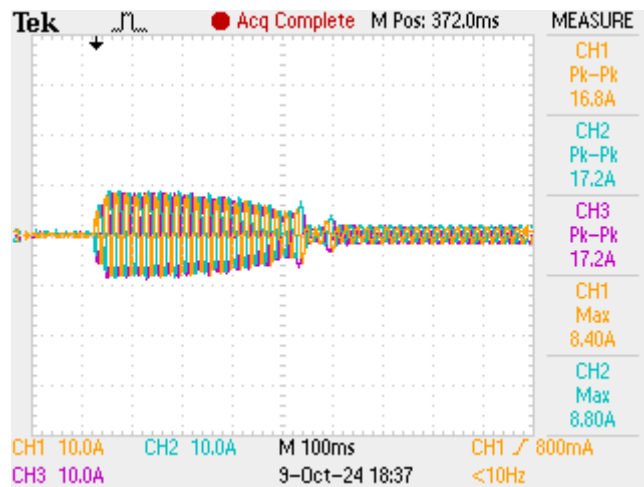


Slika 6.7 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze

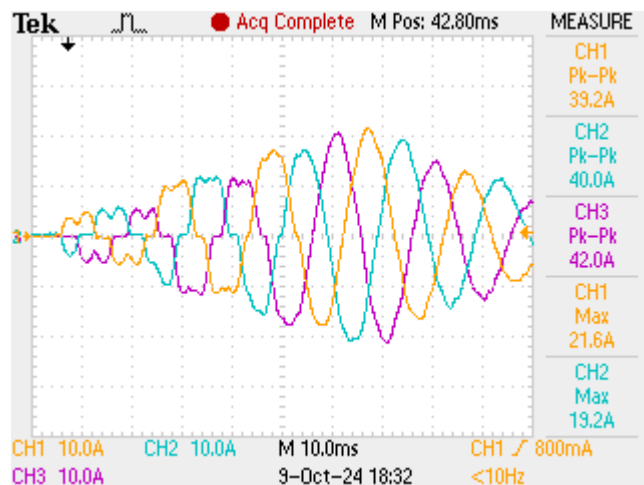
## 6.3. Mjerenja kod soft startera na tri faze

### 6.3.1. Mjerenje osciloskopom

Potezne struje motora kod soft startera na tri faze su manje u odnosu na soft starter na dvije faze, regulacijom svih faza smanjuju se potezne struje što se može vidjeti na slici 6.8. dok slika 6.9 detaljno prikazuje regulaciju svih faza.



Slika 6.8 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na tri faze



Slika 6.9 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na tri faze

### 6.3.2. Mjerenje PLC-om

Kao kod slučaja sa soft starterom na dvije faze, na slici 6.10 (iznos struje po vremenu, tijekom zaleta) jasno se vidi regulacija svih triju faza što odgovara principu rada samog soft startera, ono na što treba ukazati je mogućnost odstupanja tj. tolerancije kod strujnih transmitera.

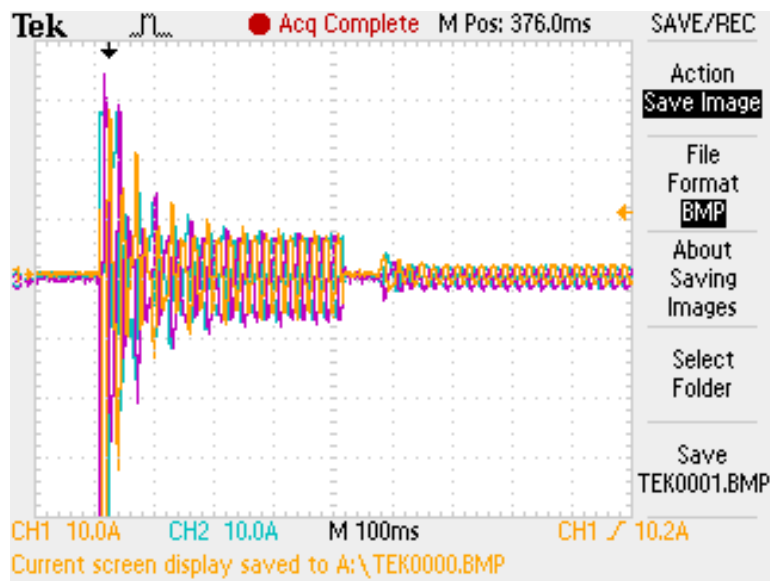


Slika 6.10 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja Soft-starterom na tri faze

## 6.4. Mjerenja kod spoja zvijezda-trokut

### 6.4.1. Mjerenje osciloskopom

Najjednostavnije rešenje za pokretanje velikih motora sa ciljem smanjenja poteznih struja je spoj zvijezda-trokut. Kod ovakvog pokretanja javlja se najveća potezna struja, znatno veća nego kod pokretanja pomoću soft-startera ili pomoću frekventnih pretvarača. Kako se može vidjeti na slici 6.11, potezna struja iznosi preko 20A što može vrlo loše utjecati na motor, ali i ostale komponente sustava. Prednost je u tome što ipak da tako velika struja teče vrlo kratko, čime se izbjegavaju veće posljedice po cjelokupni elektroenergetski sustav.



Slika 6.11 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja spojem zvijezda-trokut

#### 6.4.2. Mjerenje PLC-om

Kako je ranije navedeno sami vrh potezne struje je vrlo kratak te zbog vremena učitavanja PLC-a nije se uspjela snimiti maksimalna vrijednost kako se može vidjeti na slici 6.12 (iznos struje po vremenu, tijekom zaleta), neovisno o tome ostatak grafa odgovara mjerenju dobivenim pomoću osciloskopa.



Slika 6.12 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja spojem zvijezda-trokut

## 6.5. Analiza mjerenja i zaključci

Iako mjerenje PLC-om nema takvu preciznost i mogućnosti kao što ima osciloskop, mjerenja su pokazala dovoljno sličnosti i pouzdanosti, te da se pomoću njih mogu odraditi neka jednostavnija mjerenja i analize dobivenih podataka tj. utjecaje poteznih struja elektromotora.

Nakon provedenih mjerenja za različite metode pokretanja elektromotora, kao što su frekventni pretvarač, soft-starteri na dvije i tri faze te spoj zvijezda-trokut, može se donijeti nekoliko ključnih zaključaka:

Učinkovitost i kontrola pokretanja: Metoda upravljanja pomoću frekventnog pretvarača pokazala se kao najučinkovitija u smislu smanjenja početnih struja pri pokretanju. Zbog mogućnosti precizne regulacije frekvencije i napona, frekventni pretvarač omogućuje glatko i kontrolirano pokretanje motora bez naglih skokova struje i napona, čime se značajno smanjuju mehanička naprezanja na motoru i produžuje njegov vijek trajanja. To potvrđuju mjerenja izvedena osciloskopom i PLC-om, koja pokazuju ravnomjerno povećanje struje tijekom faze pokretanja.

Performanse soft-startera: Soft-starteri na dvije i tri faze omogućuju smanjenje poteznih struja prilikom pokretanja elektromotora, ali rezultati mjerenja ukazuju na određena ograničenja. Soft-starter na dvije faze uzrokuje neuravnoteženost struja u motoru, što može dovesti do dodatnih toplinskih opterećenja. Soft-starter na tri faze pruža bolje rezultate u smislu ravnoteže struja, ali ne može ponuditi jednaku razinu kontrole kao frekventni pretvarač.

Spoj zvijezda-trokut: Ova metoda upravljanja pokazala se kao najslabija u smislu kontrole i stabilnosti pokretanja. Iako omogućuje značajno smanjenje početnih struja prilikom pokretanja motora u zvijezda spoju. Prelazak na trokut spoj uzrokuje kratko beznaponsko stanje, te blagi porast struje i momenta zbog beznaponskog stanja, što može uzrokovati dodatna mehanička naprezanja. Mjerenja su potvrdila skokove u struji prilikom prijelaza iz zvijezde u trokut, koje se može vidjeti na slici 6.11, što ovu metodu čini manje poželjnom za aplikacije koje zahtijevaju glatko pokretanje motora. Dodatno ukoliko se uzme u obzir direktno pokretanje elektro motora, ovisno o spoju kratko spojnika na krajevima namotaja, potezne struje bile biti iste kao na slici 6.11 ako je motor u spoju zvijezde, tj. do jedne trećine manje nego kod pokretanja u spoju trokuta.



Usporedba metoda: Analizom dobivenih mjerenja, frekventni pretvarač pokazuje se kao najprikladnija metoda za pokretanje elektromotora u aplikacijama koje zahtijevaju preciznost i fleksibilnost. Soft-starteri su korisni za smanjenje troškova i jednostavniju implementaciju, ali imaju ograničenu primjenu u uvjetima gdje je potrebna visoka dinamička kontrola. Spoj zvijezda-trokut, iako ekonomičan, nije idealan za aplikacije gdje je potrebna stabilnost i kontrola momenta prilikom pokretanja.

Zaključno, frekventni pretvarač je najbolji izbor za aplikacije s visokim zahtjevima za kontrolu, dok su soft-starteri i spoj zvijezda-trokut prikladniji za manje zahtjevne aplikacije ili kao privremena rješenja. Ovi rezultati mjerenja pomažu u boljem razumijevanju dinamike pokretanja elektromotora te pružaju smjernice za odabir optimalne metode pokretanja ovisno o specifičnim zahtjevima sustava.

## 7. Zaključak

Upravljanje elektromotorima predstavlja ključni aspekt suvremenih industrijskih i tehnoloških sustava. Ujedno što je i ovaj završni rad rađen sa mogućnošću testiranja pojedinih metoda upravljanja u stvarnim industrijskim uvjetima, potaknulo me da pokušam taj slučaj razraditi samostalno.

Izradom ovog završnog rada uspio sam spojiti znanja stečena kroz praksu, te znanje stečeno tijekom školovanja, što mi je u cjelini dalo sveukupno sliku o mogućim preprekama i problemima koji se mogu naći tokom izrade nekog drugog projekta.

Prilikom pisanja ovog završnog rada, privuklo mi je pažnju da iako posjedujem vrlo dobre vještine izrade popratne dokumentacije poput elektro shema, razumijevanje logike kod programiranja PLC-a, da imam potrebe za poboljšanjem vještine pisanja stručnog ili znanstvenog pisanog rada kojim bi svoje praktične vještine prezentirao drugima.

Smatram da znanje stečeno tijekom studiranja na Sveučilištu Sjever u Varaždinu pomoglo mi je u shvaćanju i razradi ovog problema. Jednako tako me uvelo po prvi put u kompletnu izradu jednog manjeg ali svako vrijednog projekta koji mi je postavio temelje za sve nadolazeće projekte s kojima ću se susretati.

## Literatura

- [1] <https://proelektronika.hr/proizvodi/frekventni-pretvaraci/delta-vfd-e/>, listopad 2024.
- [2] <https://www.schrack.hr/>, listopad 2024.
- [3] Neven Srb: Elektromotori i Elektromotorni pogoni s katalogom elektrotehničkih tvrtki, GRAPHIS, Zagreb siječanj 2007.
- [4] Dunja Sprak, Ivan Stanković, Josip Huđek : Modernizacija postrojenja ugradnjom frekventnih pretvarača, Tehnički glasnik, Vol. 4, No. 1-2, 2010.
- [5] <https://www.seneca.it/media/2547/mi00139-7-en.pdf>
- [6] <https://www.ige-xao.com/en/us/see-electrical/>, listopad 2024.
- [7] <https://www.deltaww.com/en-US/index>, listopad 2024.
- [8] doc.dr.sc.Dunja Srpak dipl. ing. el.  
Josip Srpak dipl. ing. el., v.pred. : PLC sustavi upravljanja, materijali sa predavanja, 2022.
- [9] doc.dr.sc.Dunja Srpak dipl. ing. el.  
Josip Srpak dipl. ing. el., v.pred. : Nadzor i vizualizacija tehnoloških procesa, materijali sa predavanja, 2022.

## Popis slika

Slika 2.1- Natpisna pločica elektromotora

Slika 2.2 – Frekventni pretvarač Delta CP2000

Slika 2.3 – Soft-starter na dvije faze, model LAK34255

Slika 2.4 – Soft-starter na dvije faze, model LATB4355

Slika 2.5– Način spajanja transmitera

Slika 2.6 – Početni zaslon PLC-a

Slika 2.7 – Prikaz na panelu prilikom mjerenja

Slika 4.1 – DIN šina

Slika 4.2 – Kabel kanalice

Slika 4.3 – Izgled gotovog elektro ormara

Slika 5.1 – Kreiranje projekta

Slika 5.2 – Usporedba LAD i INL koda

Slika 5.3 – USB tip A i tip B

Slika 5.4 – Prijenos programa na PLC

Slika 5.5 – Programsko sučelje TPEdior

Slika 6.1 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja VFD-om

Slika 6.2 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja VFD-om

Slika 6.3 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja VFD-om

Slika 6.4 – Mjerenje strujnim kliještima kod pokretanja VFD-om

Slika 6.5 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze

Slika 6.6 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze

Slika 6.7 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja Soft-starterom na dvije faze

Slika 6.8 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na tri faze

Slika 6.9 – Povećani prikaz mjerenja osciloskopom kod pokretanja Soft-starterom na tri faze

Slika 6.10 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja Soft-starterom na tri faze

Slika 6.11 – Mjerenje osciloskopom kod pokretanja spojem zvijezda-trokut

Slika 6.12 – Mjerenje PLC-om kod pokretanja spojem zvijezda-trokut

## **Prilozi**

A. ELEKTRIČNA SHEMA ORMARA

B. PROGRAM PLC SUSTAVA



### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski/specijalistički rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, KARLO MIHOVIĆEK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/specijalističkog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom IZJAVA O AUTORSTVU (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

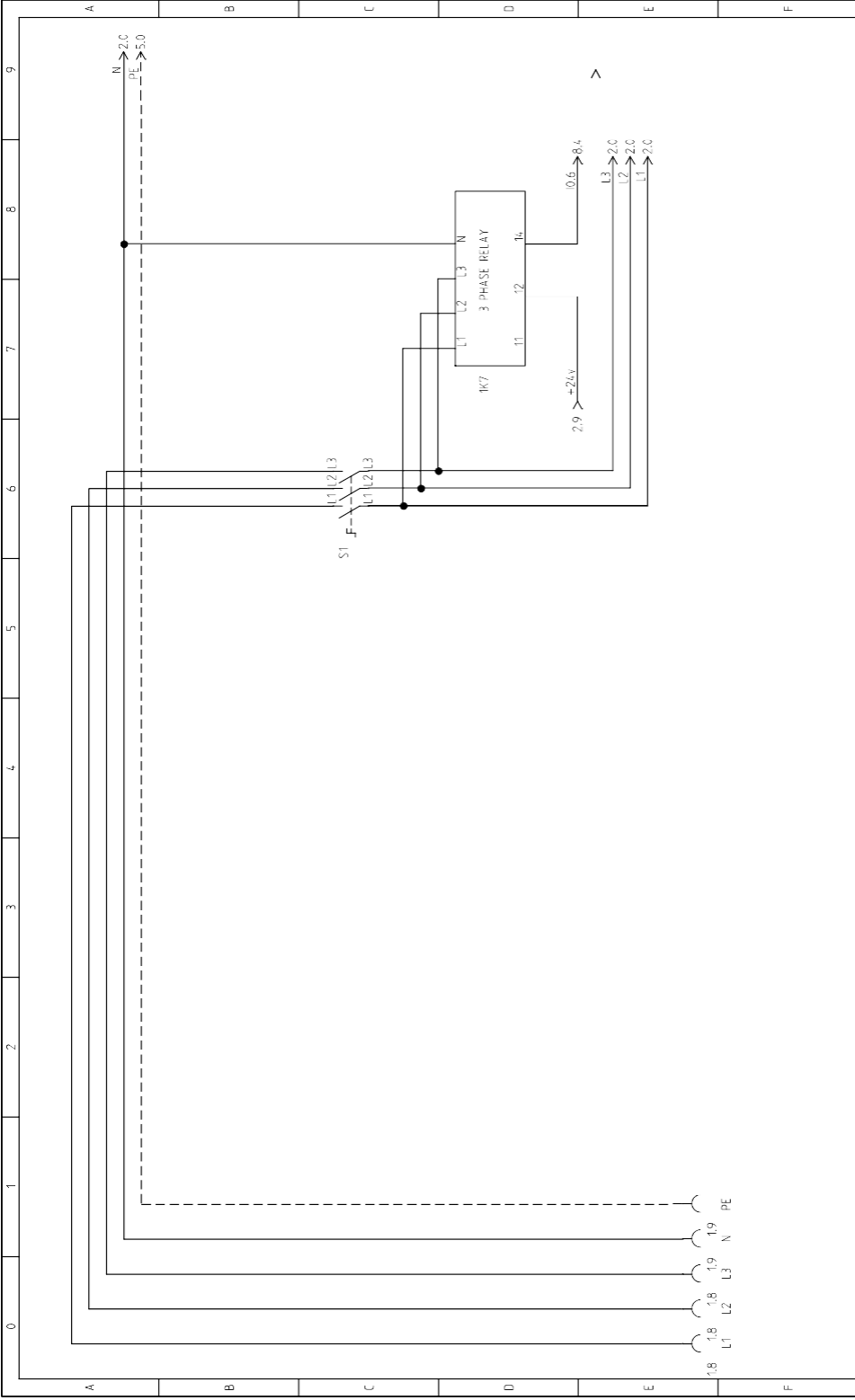
Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Mihović

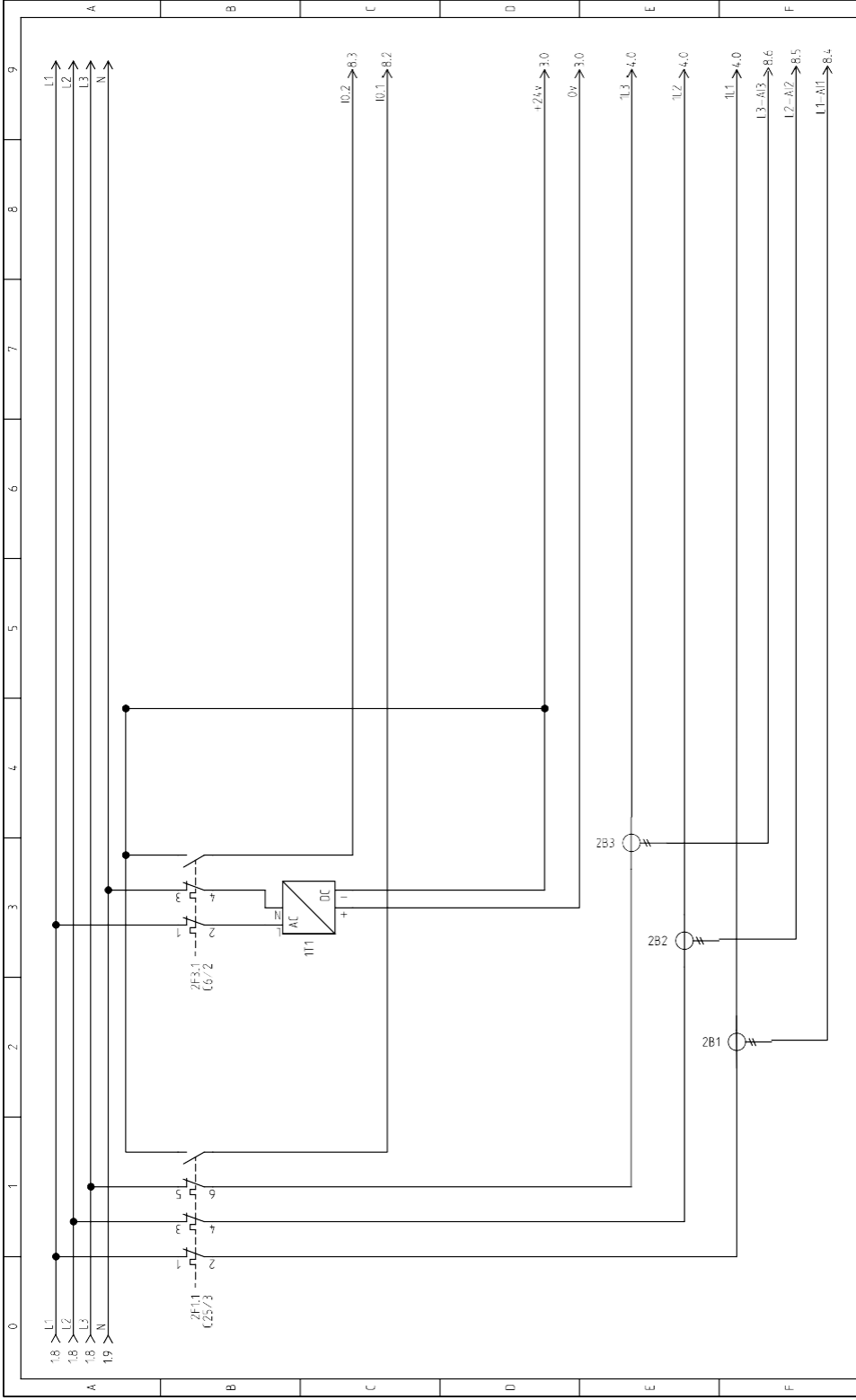
(vlastoručni potpis)

Sukladno članku 58., 59. i 61. Zakona o visokom obrazovanju i znanstvenoj djelatnosti završne/diplomske/specijalističke radove sveučilišta su dužna objaviti u roku od 30 dana od dana obrane na nacionalnom repozitoriju odnosno repozitoriju visokog učilišta.

Sukladno članku 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

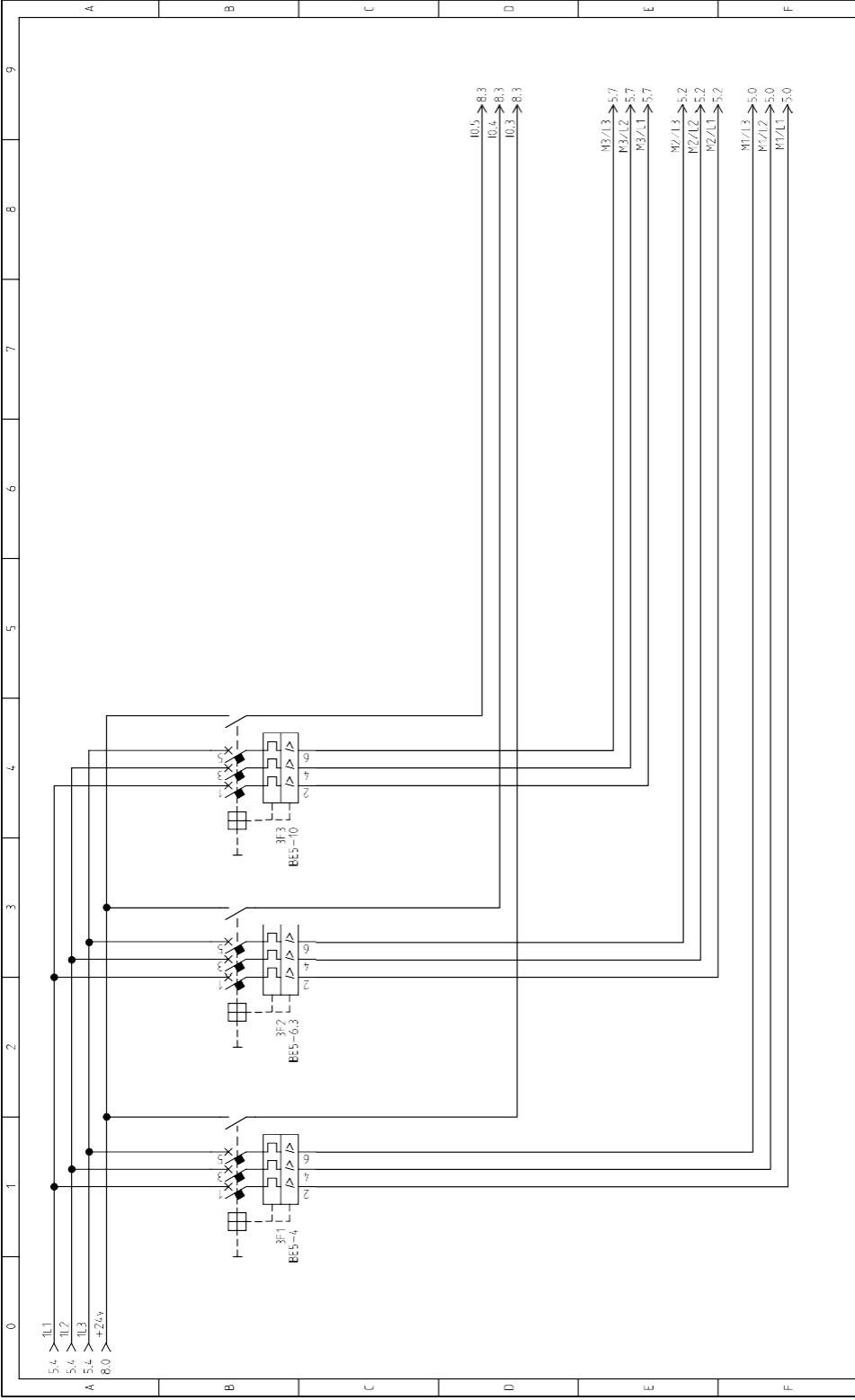


<b>IGET XAO</b>	Project: Zayson		Drawing no.:		Rev.: 1		Sheet: 1		
	Date: 24.4.2024		Function:		Location:		Total sheets: 8		
								Next sheet: 2	

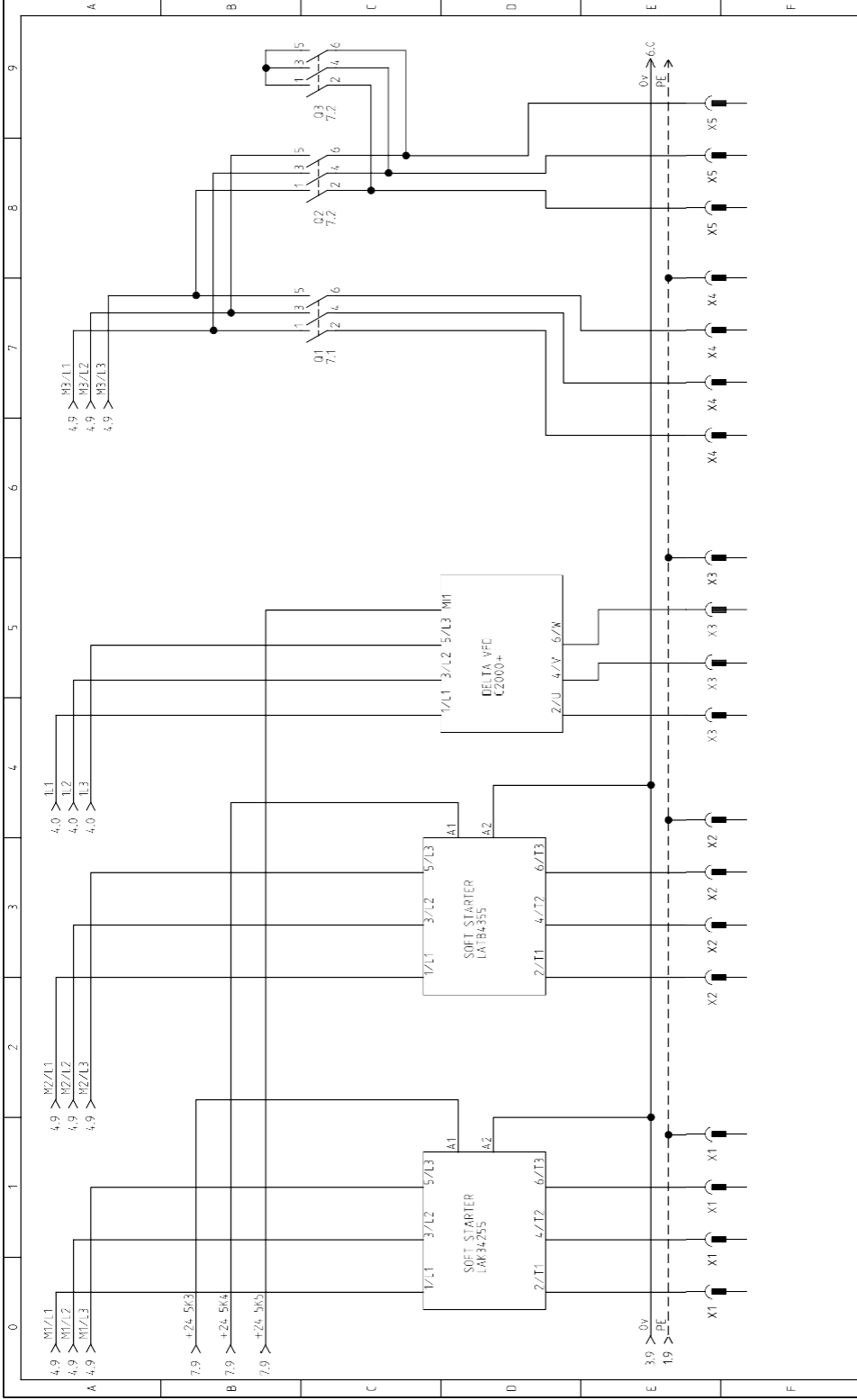


<b>IGET XAO</b>	Project: Zayson		Drawing no.:		Rev.: 2	
	Date: 28.4.2024		Function:		Total sheets: 8	
					Next sheet: 3	

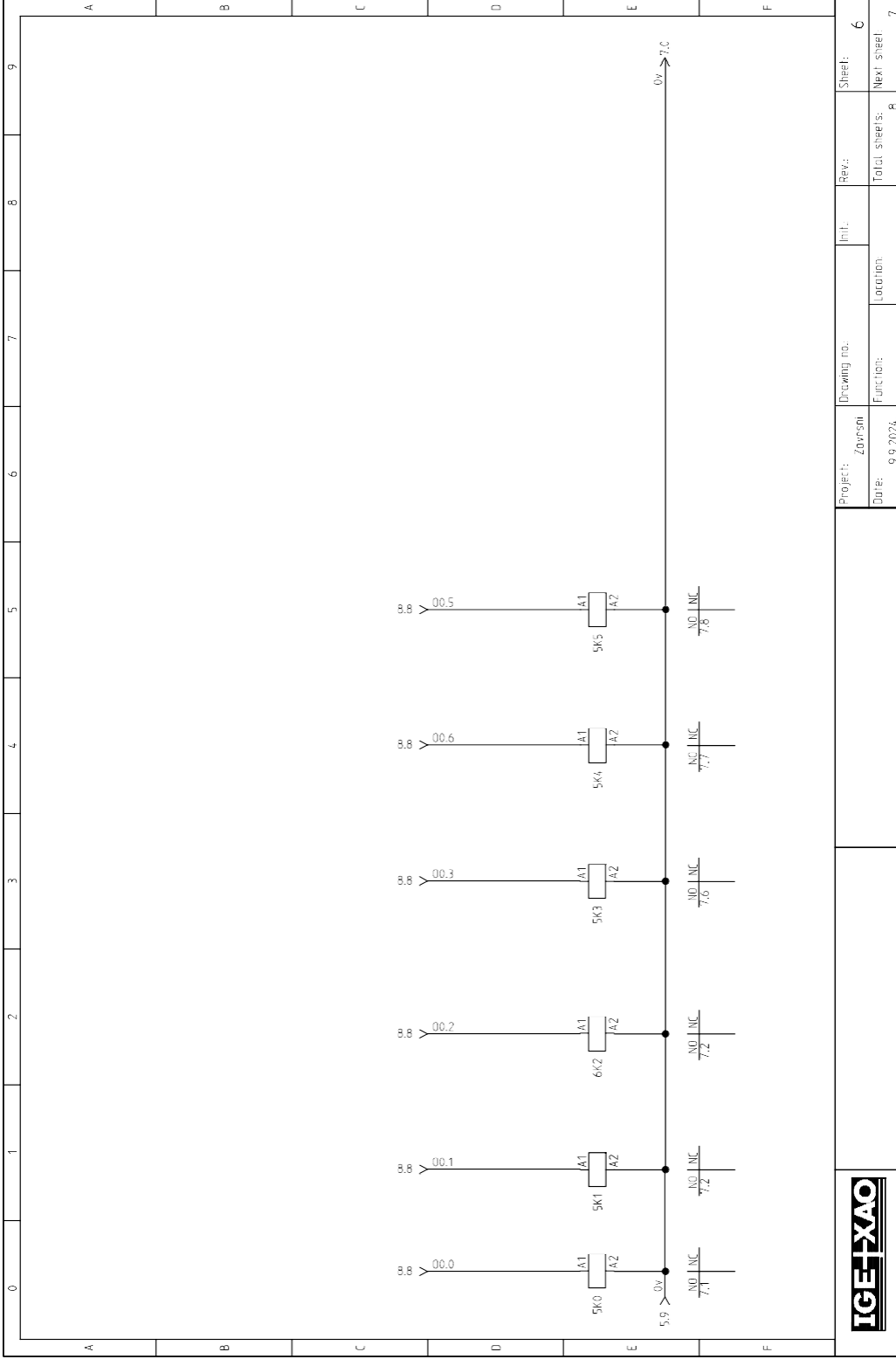




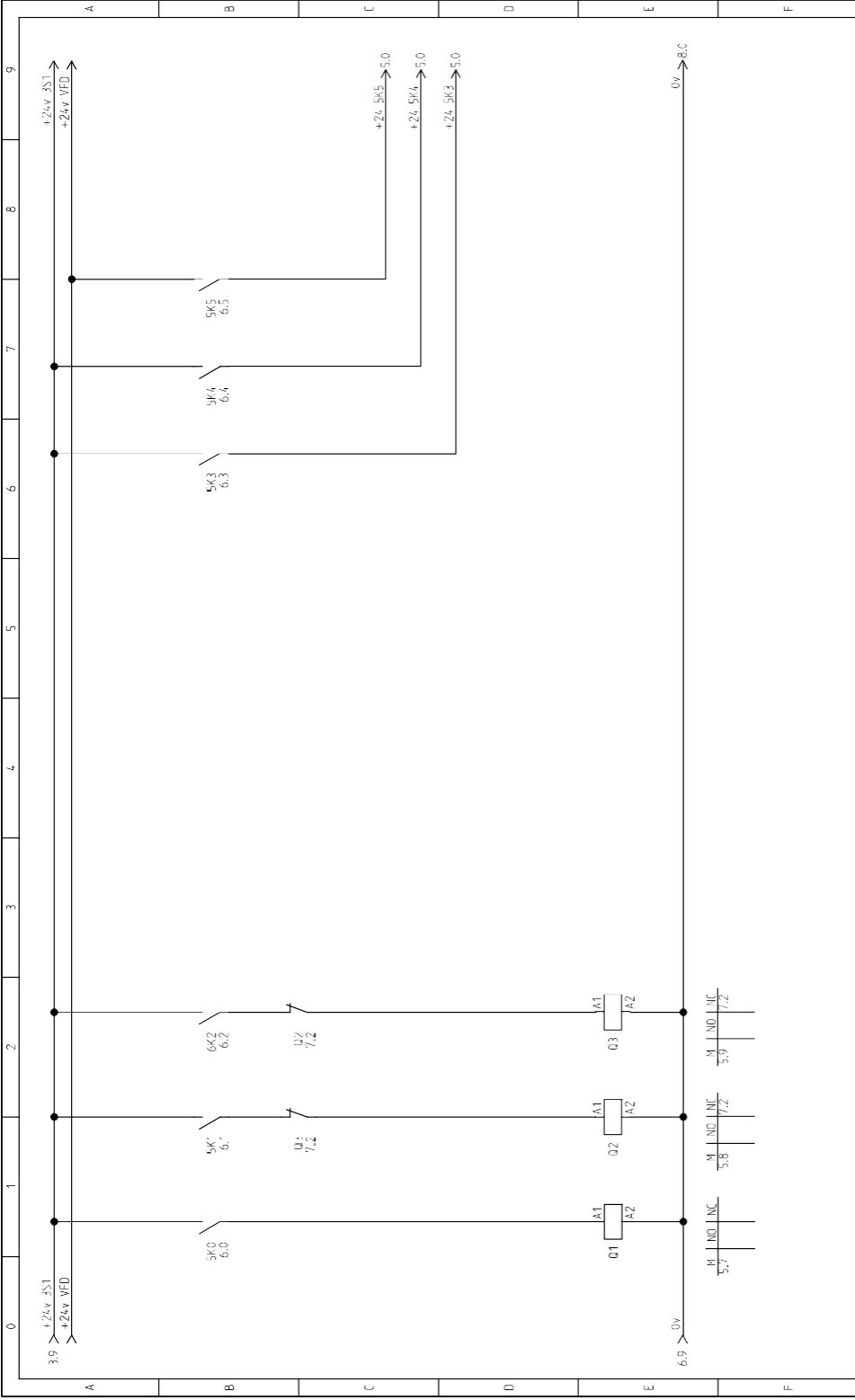
<b>IGET XAO</b>	Project: Zayson		Drawing no.	Rev:	Sheet: 4
	Date: 28.4.2024		Function:	Location:	Total sheets: 8
					Next sheet: 5



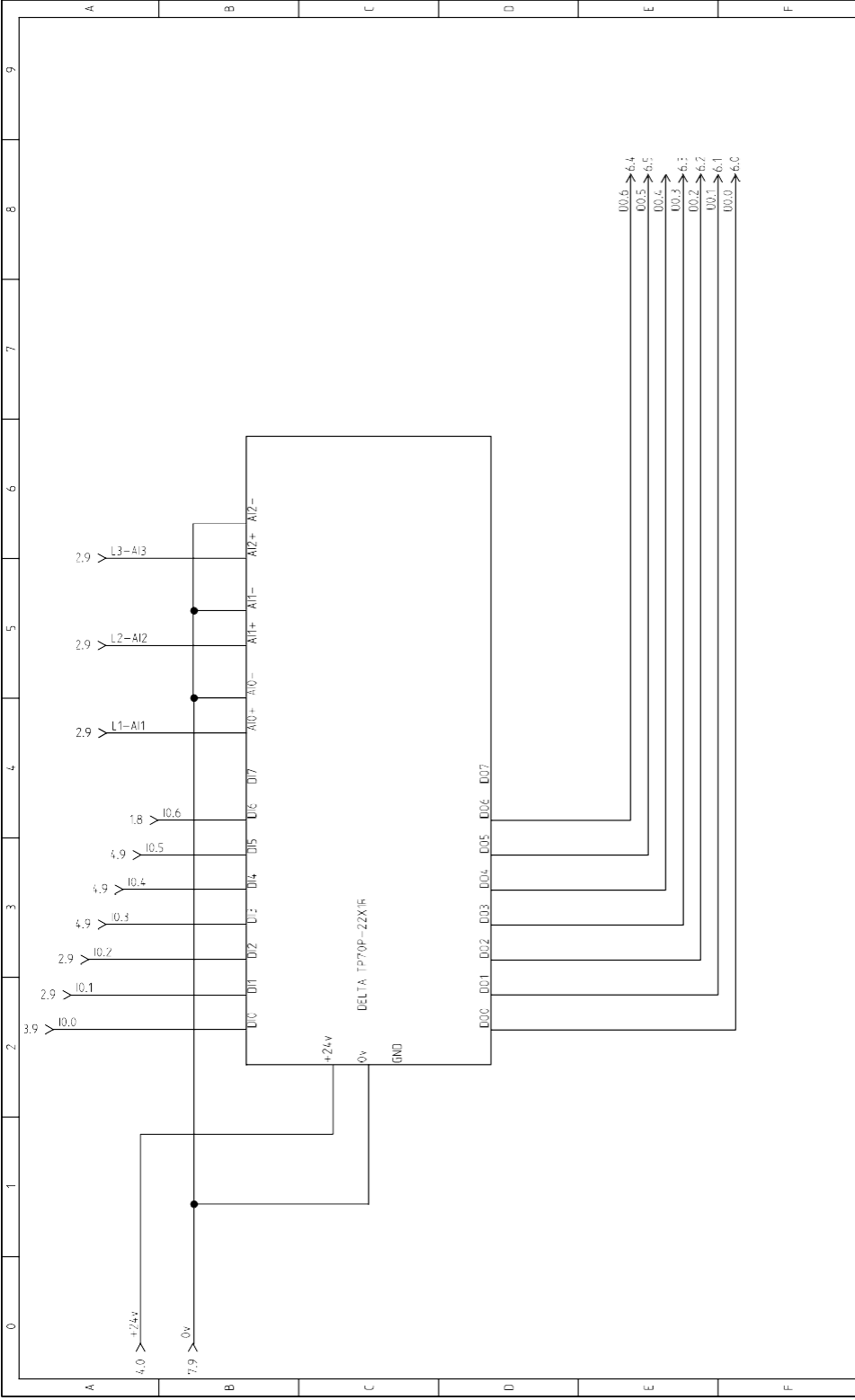
		Project: Zovrsn	Drawing no.:	Int.:	Rev.:	Sheet: 5
		Date: 24.4.2024	Function:	Location:	Total sheets: 8	Next sheet: 6



PROJECT: Zayn'm		Drawing no.:	Rev.:	Sheet: 6
Date: 9.9.2024.		Function:	Total sheets: 8	Next sheet: 7
		Location:		



		Project: Zayson		Drawing no.:		Rev.:		Sheet: 7	
		Date: 11.9.2024		Function:		Init.:		Total sheets: 8	
								Next sheet: 8	



<b>IGET XAO</b>	Project: Zayson		Drawing no.:	Init.:	Rev.:	Sheet: 8
	Date: 24.4.2024		Function:	Location:	Total sheets: 8	Next sheet:

0  
11  
15  
17  
23  
31  
38  
47  
54  
63  
70  
79  
81  
83  
85  
93  
96  
109  
149

