

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Kuzminski

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

prof.dr.sc. Tomislav Staroveški, dipl.ing.

Student:

Filip Kuzminski

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Iskreno se zahvaljujem svom mentoru, prof. dr. sc. Tomislavu Staroveškom, na strpljenju, stručnosti i neizmjernoj podršci tijekom izrade ovog rada. Njegovi savjeti, detaljna objašnjenja i uloženo vrijeme bili su od ključne važnosti za uspješno završavanje ovog rada.

Zahvaljujem se i njegovim asistentima s Katedre za alatne strojeve Luki Drobilu i Dori Bagarić na pomoći i savjetima tijekom pisanja.

Posebno se zahvaljujem majci Džeraldini i ocu Damiru na podršci u svim mojim kreativnim, socijalnim i poduzetničkim pothvatima tijekom cijelog trajanja studija.

Na kraju bih se zahvalio sestrama Neri i Maji, djevojci Tei, bakama i široj obitelji te prijateljima i kolegama iz Udruge mehatroničara što su bili uz mene i učinili ovo studiranje jedinstvenim iskustvom.

Filip Kuzminski



Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Filip Kuzminski**

JMBAG: 0035219953

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Revitalizacija CNC glodalice**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Retrofitting of CNC milling machine**

Opis zadatka:

Predmet ovog rada je revitalizacija 3-osne numerički upravljane (CNC) glodalice s izmjenjivom orijentacijom glavnog prigona (tip WF3, švicarskog proizvođača Mikron). Imajući u vidu kako se radi o glodalici starije generacije s potencijalno dotrajalim mehaničkim i upravljačkim komponentama, za pretpostaviti je da će u slučaju provedbe projekta biti potrebno nadograditi postojeći upravljački sustav, te zamijeniti ili prilagoditi mehaničke komponente stroja.

Stoga je u radu potrebno:

1. Izvršiti uvid i opisati zatečeno stanje stroja, s posebnim osvrtom na elemente glavnog prigona i posmičnih prigona.
2. Na osnovi utvrđenog stanja i pogonskih karakteristika stroja, te dostupne (već nabavljene) opreme, projektirati i odabrati sve potrebne elemente nužne za nadogradnju upravljačkog sustava stroja. Elementi trebaju biti odabrani tako da se upravljački sustav može temeljiti na otvorenom upravljačkom softveru LinuxCNC.
3. Izraditi elektro spojne sheme stroja.
4. Izraditi i pripremiti 3D model stroja na način da se može isti koristiti za simulaciju gibanja u upravljačkom softveru LinuxCNC.
5. Dati zaključke rada.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

26. rujna 2024.

28. studeni 2024.

5., 6. i 9. prosinca 2024.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Staroveški

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ilica Garašić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	i
POPIS SLIKA	iii
POPIS TABLICA	vi
POPIS KRATICA	vii
POPIS OZNAKA	viii
SAŽETAK	ix
SUMMARY	x
1 UVOD	1
2 ZATEČENO STANJE STROJA	2
2.1 Specifikacije	2
2.2 Prigon pomoćnog gibanja	4
2.3 Glavni prigon	7
2.4 Sustav za centralno podmazivanje	14
3 REVITALIZACIJA	16
3.1 Upravljački sustav za numeričko upravljanje	16
3.1.1 LinuxCNC	17
3.2 Odabir sigurnosnog sustava stroja	18
3.2.1 EN ISO 13849-1 Sigurnost strojeva - Sigurnosni dijelovi sustava za nadzor	20
3.2.2 EN 60204-1 Sigurnost strojeva - Električna oprema strojeva . . .	21

3.2.3	Odabrani sigurnosni sustav	23
3.3	Odabir upravljačke elektronike	30
3.4	Odabir pogonskih motora posmičnog prigona	32
3.4.1	Sila rezanja	34
3.4.2	Izračun sile trenja	34
3.4.3	Izračun inercijskih sila	37
3.4.4	Izračun sile uslijed težine prigona	39
3.4.5	Aksijalna sila u navojnom vretenu	40
3.4.6	Izračun potrebnih momenata motora posmičnog prigona	40
3.4.7	Izračun minimalne frekvencije vrtnje motora posmičnog prigona	40
3.4.8	Odabir motora posmičnog prigona	41
3.4.9	Pogonski motor posmičnog prigona X osi	43
3.4.10	Pogonski motor posmičnog prigona Y osi	43
3.4.11	Pogonski motor posmičnog prigona Z osi	43
3.4.12	Prihvatni elementi motora posmičnog prigona	46
3.5	Elektroničko sklopovlje reduktora glavnog vretena	48
4	ZAŠTITNE KOMPONENTE	50
4.1	Zaštita prigona glavnog gibanja	51
4.2	Zaštitni elementi regulatora posmičnih prigona	52
4.2.1	Zaštita ostalih elemenata izvršnog djela sustava	54
4.3	Napajanje logičkih sustava	55
5	3D MODEL I ELEKTRO SPOJNA SHEMA	58
6	ZAKLJUČAK	62
	LITERATURA	63
	PRILOZI	66

POPIS SLIKA

Slika 1	Glodalica Mikron WF3 [1]	2
Slika 2	Dimenzije stroja WF3 SA odgovaraju dimenzijama WF3 DCM izuzev radnog stola [1]	3
Slika 3	Shematski prikaz sklopa prigona X osi: 1 - remenski prijenos i radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 2 – pogonski motor sa zupčanim reduktorom, 3 - limena zaštita, 4- kuglično navojno vreteno i matica [1]	5
Slika 4	Shematski prikaz sklopa Y osi: 1 - kuglično navojno vreteno, 2 – pogonski motor, 3 - radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 4- zupčani prijenos [1]	6
Slika 5	Shematski prikaz sklopa Z osi: 1 - kuglično navojno vreteno, 2 - pogonski motor, 3 - radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 4- zupčani prijenos [1]	6
Slika 6	Prikaz vijaka za podešavanje zračnosti kliznih staza osi X, Y i Z [1]	7
Slika 7	Granični prekidač s dva stanja (lijevo) i kombinacija graničnog i referentnog prekidača s tri stanja (desno)	8
Slika 8	Shematski prikaz sklopa prihvata motora na tijelo glodalice: 1 - zaštitni poklopac, 2 - vijak, 3 - V remen, 5 - remenice, 6 - matice za podešavanje napetosti remena, 7 - matica [1]	9
Slika 9	Shematski prikaz sklopa reduktora glavnog vretena s označenim dijelovima [1]	11
Slika 10	Pločica s karakteristikama asinkronog motora za prigon glavnog gibanja	12
Slika 11	Shematski prikaz osnovnih dimenzija držača alata ISO 40 s trnom DIN 2080 [1]	12
Slika 12	Hidraulički agregat [1]	13
Slika 13	Pumpa za centralno podmazivanje proizvođača "VOGEL" [1]	14
Slika 14	Set dozirnih ventila za podmazivanje kliznih staza Y osi i matice kugličnog vretena Y osi	14

Slika 15	Shema sustava sigurnosne kategorije 1[23]	21
Slika 16	Shema sustava sigurnosne kategorije 2[23]	21
Slika 17	Shema sustava sigurnosne kategorije 3[23]	22
Slika 18	Shema sustava sigurnosne kategorije 4[23]	22
Slika 19	Primjer sustava koji zadovoljava sigurnosnu kategoriju 4[23] . . .	22
Slika 20	Sigurnosni relej SRB-E-201LC-CC proizvođača SCHMERSAL[21]	24
Slika 21	Referentna shema spajanja Schmersal SRB-E-201LC-CC releja; kanali S11-S12 i S21-S22 su redundantni i imaju uzajamno nadziranje; X3 služi kao izlazni signal spremnosti za uključivanje; na X2 spaja se START tipka; Q1 i Q2 su izlazi za releje, odnosno kontaktore[21] . . .	25
Slika 22	Elektro spojna shema novog sigurnosnog kruga stroja Mikron WF3 baziranog na sigurnosnom releju	26
Slika 23	Elektro spojna shema spajanja udarnih tipkala na sigurnosni relej .	27
Slika 24	Shema strujnog kruga distribucije napajanja izvršnom i logičkom djelu električnog sustava	28
Slika 25	24V DC releji koji aktiviraju sigurnosne releje radi uključivanja 220V AC kontaktora	29
Slika 26	1- Relej K24 za indicaciju rotacije pogonskog motora glavnog prigona; 2 - Prekid napajanja aktuatoru reduktora; 3 - Prekid napajanja ventilu za otpuštanje alata	30
Slika 27	FPGA kartica MESA 5i24-25 s ukupno 72 ulazno-izlaznih <i>pin</i> - ova[22]	31
Slika 28	<i>Daughter board</i> -ovi MESA 7i47S i 7i42TA za kondicioniranje i pojačavanje signala te zaštitu FPGA pinova[22]	32
Slika 29	Pretvornik diferencijalnih signala u jednostruke signale s tri kanala	32
Slika 30	Izračun pritisne sile na klizne vodilice X osi u ravnini XZ	36
Slika 31	Izračun pritisne sile na klizne vodilice Y osi u ravnini XZ	37
Slika 32	Izračun pritisne sile na klizne vodilice Z osi	38
Slika 33	Dimenzije servo motora T3D proizvođača HLTNC snage 750W[20]	41
Slika 34	Dimenzije servo motora T3D proizvođača HLTNC snage 1000W[20]	42

Slika 35	Prihvatni element servo motora X osi	46
Slika 36	Prihvatni element servo motora Y osi	47
Slika 37	Prirubnica Z osi	47
Slika 38	Aktuatori reduktora glavnog vretena - koračni motor i dva istosmjerna motora	48
Slika 39	Elektroničko sklopovlje s izvučenim napajanjem i 9 izlaza senzora magnetnog polja spojenih na JST-XH konektor s 11 izvodnica	48
Slika 40	RS-485 pretvornik baziran na AM26LS31 integriranom krugu	49
Slika 41	Elektro spojna shema sklopa za očitavanje vrijednosti senzora položaja reduktora glavnog vretena	49
Slika 42	Motorna zaštitna sklopka s područjem podešavanja 6A-10A	52
Slika 43	Razvod napajanja logičkog djela sustava	56
Slika 44	Prikaz modela revitaliziranog stroja Mikron WF3	59
Slika 45	Nacrt, tlocrt i bokocrt stroja Mikron WF3	60
Slika 46	Prikaz koordinatnog sustava glavnog vretena u vertikalnoj konfiguraciji	60
Slika 47	Prikaz kako je sustav podijeljen u elektro spojnim shemama: razvodni ormari 1 i 2 (RO1, RO2), upravljački ormar (UO1), radni stroj (RS), upravljačko računalo (PC) i NC pult (NCP)	61

POPIS TABLICA

Tablica 1	Tehničke specifikacije servo motora [20]	42
Tablica 2	Tehničke specifikacije reduktora TG90-G3 [25]	45
Tablica 3	Specifikacije transformatora TT2 proizvođača Trafo.hr	54
Tablica 4	Struje i snage trošila sustava	57

POPIS KRATICA

AC Alternating Current

CNC Computer Numerical Control

DAC Digital-to-Analog Converter

DC Direct Current

EMI Electromagnetic Interference

FPGA Field Programmable Gate Array

GUI Graphical User Interface

HAL Hardware Abstract Layer

ISO International Standard Organisation

NML Neutral Messaging Language

OACS Open Architecture Control System

PID Proportional Integral Derivative

PLB Programmable Logic Block

PLC Programmable Logic Controller

SHIP Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
i	-	Prijenosni omjer
T	Nm	Moment
P	mm	Korak navojnog vretena
d_1	mm	Mali nazivni promjer navojnog vretena
L	mm	Duljina
F	N	Sila
μ	-	Faktor trenja
m	kg	Masa
a	m/s^2	Akceleracija
v_f	mm/min	Posmična brzina
v	m/s	Brzina
t	s	Vrijeme
J	m^2kg	Moment tromosti
ρ	kg/m^2	Gustoća
n	s^{-1}	Frekvencija vrtnje
S	-	Faktor sigurnosti
φ	$^\circ$	Fazni kut
η	-	Učinkovitost
I	A	Struja
U	V	Napon
P	W	Radna snaga
Q	W	Jalova snaga
S	W	Prividna snaga

SAŽETAK

U sklopu ovog diplomskog rada provedena je revitalizacija glodalice Mikron WF3. Naglasak je stavljen na odabir elemenata upravljačkog sustava i integraciju komponenti koje su zatečene u ispravnom stanju u cilju nadogradnje stroja suvremenim sustavom numeričkog upravljanja. Kao središnji dio upravljačkog sustava korišten je softver otvorene arhitekture LinuxCNC. U prvom djelu rada predstavljeno je zatečeno stanje stroja. Opisane su tehničke karakteristike i kinematska struktura, prigon za pomoćno i glavno gibanje. Opisan je način rada sustava za centralno podmazivanje i sustava za otpuštanje alata. U nastavku je detaljnije opisan upravljački sustav, sigurnosni sustav i ostali elementi upravljačkog sustava koji su iskorišteni za cjelovitu revitalizaciju stroja. Dimenzionirani su pogonski motori pomoćnog gibanja i zaštitne komponente električnog sustava. Na kraju su izrađene elektro instalacijske sheme i 3D model stroja.

Ključne riječi: numerički upravljani alatni strojevi (CNC), revitalizacija alatnih strojeva, Mikron WF3, LinuxCNC

SUMMARY

As part of this thesis, the retrofit of the Mikron WF3 milling machine was carried out. The focus was placed on selection of control system components and integration of parts that were found to be in working condition, with the goal of upgrading the machine with a modern computer numerical control system. The open-architecture software LinuxCNC was used as the central part of the control system. In the first part of the thesis, the initial state of the machine is presented. The technical characteristics, kinematic structure and feed and spindle drives are described. Additionally, the operation of the central lubrication system and the tool release system is explained. The subsequent sections provide a more detailed description of the control system, the safety system, and other elements of the control system utilized for the retrofit of the machine. Feed drive motors and protective components of the electrical system were dimensioned. Finally, electrical installation diagrams and a 3D model of the machine were presented.

Keywords: Computer Numerical Control (CNC), milling machine retrofit, Mikron WF3, LinuxCNC

1 UVOD

Alatni strojevi predstavljaju temelj industrijske proizvodnje te su ključni za obradu različitih vrsta materijala u svrhu dobivanja proizvoda. Njihov razvoj prati tehnološki napredak kroz povijest, od jednostavnih ručnih strojeva do suvremenih numerički upravljanih obradnih sustava visokog stupnja autonomije. Danas su numerički upravljani alatni strojevi postali standard u industriji radi svoje sposobnosti višeosne simultane obrade i automatizacije procesa obrade odvajanjem čestica. Numeričko upravljanje omogućava smanjenje proizvodnih troškova i visok stupanj iskorištenja radnog vremena te oslobađa operatera monotonog i opasnog posla.

Revitalizacija CNC alatnih strojeva predstavlja proces modernizacije starijih strojeva uvođenjem suvremenih sustava upravljanja i zamjenom zastarjelih mehaničkih i elektroničkih komponenti. Ovaj postupak je značajan u industriji jer omogućuje produženje životnog vijeka strojeva i njihovo prilagođavanje novim proizvodnim zahtjevima, bez potrebe za značajno većim investicijama u nove strojeve.

Prvi dio ovog rada opisuje zatečeno stanje i osnovne karakteristike glodalice Mikron WF3. Opisana je kinematska struktura, posmični i glavni prigoni, sustav centralnog podmazivanja, sustav za recirkulaciju sredstva za hlađenje, ispiranje i podmazivanje (SHIP-a) te sustav za otpuštanje alata. U drugom djelu rada predstavljene su osnovne komponente numeričkog upravljanja i upravljački sustav LinuxCNC, a zatim je odabran sigurnosni sustav stroja. Opisan je postupak odabira odgovarajućih pogonskih motora posmičnog i glavnog prigona stroja. Uz to su izabrane i ostale komponente nužne za cjelovitu revitalizaciju stroja.

Zatim su objašnjeni i odabrani elementi zaštitne instalacije izvedene automatskim osiguračima, zaštitnim sklopkama i transformatorima. Izrađene su elektro instalacijske sheme u programskom paketu EPLAN i 3D model stroja u programskom paketu SOLIDWORKS.

2 ZATEČENO STANJE STROJA

Mikron WF3 je numerički upravljana glodalica švicarske proizvodnje iz 1985. godine. Otvorene je kinematske strukture i ima mogućnost postavljanja (gonjenog dijela) glavnog prigona u horizontalan ili vertikalni položaj. Rekonfiguracija iz horizontalne u vertikalnu kinematsku strukturu moguća je montažom odgovarajuće vertikalne glave. Uz osi X, Y i Z, u glodalica zatečenom stanju ima okretni stol s rotacijom u vertikalnoj osi, odnosno oko Z osi u slučaju vertikalne kinematske strukture. Okretni stol originalno je namjenjen za indeksiranje, no nije zatečen u funkcionalnom stanju.

U zatečenom stanju nisu bili prisutni niti originalni istosmjerni (mehanički komutirani) motori kao niti ostali elementi upravljačkog sustava stroja.

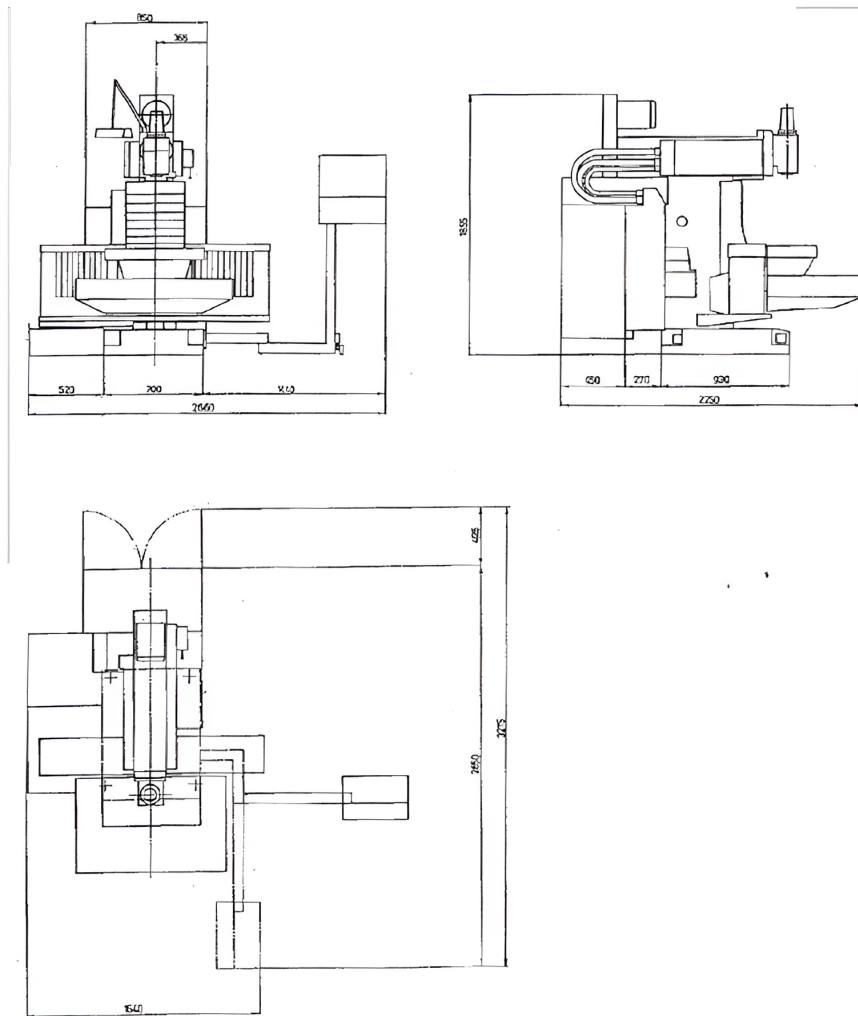
Od originalnih komponenata, prisutna je pumpa za centralno podmazivanje, hidraulički sustav za otpuštanje alata i pumpa za recirkulaciju SHIP-a. Također je prisutan cjeloviti sustav prigona glavnog gibanja: reduktor s automatskom izmjenom 18 brzina i asinhroni izmjenični motor s remenskim prijenosom.



Slika 1: Glodalica Mikron WF3 [1]

2.1 Specifikacije

Mikron je u vrijeme proizvodnje serije WF3 na tržište plasirao više inačica stroja, poput WF3 (Slika 1), WF3 SA, WF3 DCM i WF3 S, koje su se imale vrlo slične karakteristike. Serija se proizvodila od 1970 do 1989 [2]. Originalna uputstva od stroja Mikron WF3 DCM nisu prisutna uz stroj i nisu dostupna na internetu. Pronađena su uputstva od stroja Mikron WF3 SA koji ima gotovo identičnu konstrukciju, što je utvrđeno uvidom



Pet

Slika 2: Dimenzije stroja WF3 SA odgovaraju dimenzijama WF3 DCM izuzev radnog stola [1]

u uputstva i usporedbom sa strojem u zatečenom stanju. Karakteristike u originalnoj izvedbi bile su sljedeće[1]:

Raspon broja okretaja glavnog prigona od 40 do 4000 okr/min

Snaga glavnog prigona: 3.3 / 4 kW

Broj brzina reduktora glavnog prigona: 21 prema katalogu, 18 + prazan hod prema zatečenom stanju

Držać alata: ISO 40 + DIN 2080 trn

Vertikalni pomak glave: 90mm

Brzina obrade osi X, Y i Z: do 2000 mm/min

Brzina brzog hoda osi X i Y: 4000 mm/min

Brzina brzog hoda osi: 3500 mm/min

Hod X osi (os radnog stola): 560 mm

Hod Y osi (os horizontalnog vretena): 400 mm

Hod Z osi (os vertikalnog vretena): 400 mm (utvrđeno 380 mm)

Najveći mogući razmak između držača alata vertikalne glave i radnog stola: 450 mm

Gabaritne dimenzije (D x Š x V): 2850 mm x 2660 mm x 1855 mm (Slika 2)

Masa s vertikalnom glavom i nagibnim stolom: 2540 kg

Zapremnina SHIP-a: 100L

Potrebna snaga električnog priključka(380V): 10 kW

Utvrđeno je da navedene karakteristike odgovaraju i modelu WF3.

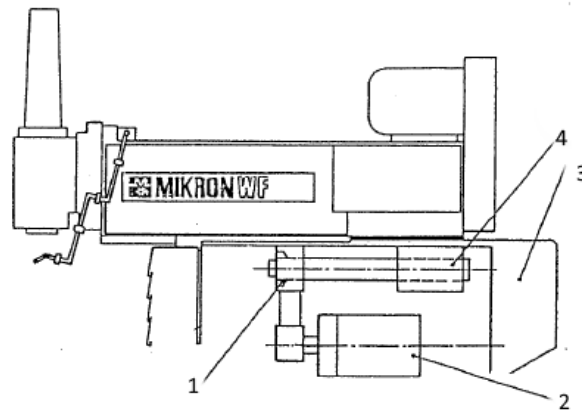
2.2 Prigon pomoćnog gibanja

Prigon pomoćnog gibanja (posmični prigon) osi X, Y i Z u originalnoj izvedbi sastojao se od istosmjernog motora s odgovarajućim prijenosnikom. Odgovarajući prijenosni omjer X osi ostvaren je jednim stupnjem zupčanog prijenosa i jednim stupnjem remenskog prijenosa (slika 3). Prijenosnik Y osi izveden je jednim stupnjem zupčanika (slika 4), kod Z osi dvostupanjskim zupčanim prijenosom (slika 5).

Prijenosni omjer ostvaren zupčanicima s ravnim ozubljenjem kod posmičnog prigona nije idealno rješenje za numerički upravljanu glodalicu radi zračnosti koje unosi u sustav. Zračnost izravno utječe na točnost pozicioniranja osi tijekom rada stroja.

Svi posmični prigoni izvedeni su kugličnim vretenom za pretvorbu rotacijskog u pravocrtno gibanje. Kuglično vreteno prigona X, Z i Y osi je istog tipa, ali različite duljine. Radi se o jednovojnom kugličnom vretenu NSK 3206C-23D-P 8SX-01 koraka 6mm s prednapregnutom maticom [6].

U nastavku rada izračunate su potrebne specifikacije pogonskih motora. Pri tome su u obzir uzeta opterećenja uslijed inercijskih sila, težine prigona, sile trenja i procijenjene sile rezanja.



Slika 3: Shematski prikaz sklopa prigona X osi: 1 - remenski prijenos i radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 2 – pogonski motor sa zupčanim reduktorom, 3 - limena zaštita, 4- kuglično navojno vreteno i matica [1]

Povezivanje pokretnih dijelova stroja Mikron WF3 s postoljem izvedeno je upotrebom kliznih hidrodinamskih vodilica. Na stroju su prisutni klinasti i plosni oblici vodilica (slika 6).

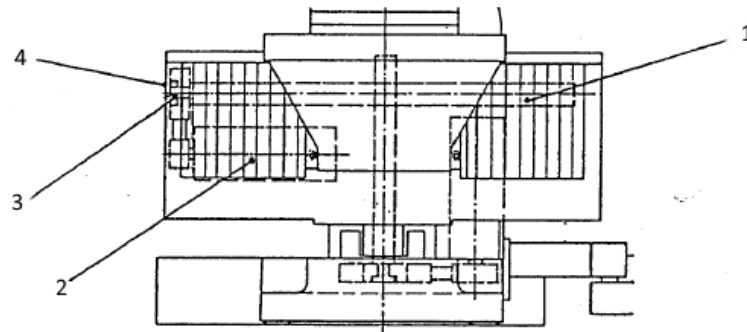
Kod hidrodinamskih kliznih vodilica alatnih strojeva karakteristično je hidrodinamičko trenje. Hidrodinamičko trenje odnosi se na stanje kada su površine potpuno odvojene slojem ulja i ne dolazi do kontakta između površina. U hidrodinamičkom stanju, mazivo preuzima svo opterećenje, što rezultira znatno sniženim koeficijentom trenja i minimalnim trošenjem kliznih površina. Tijekom obradnog procesa odvajanjem čestica, uslijed prekidne obrade svojstvene glodanju, učestalih promjena smjera i uslijed sila rezanja i vibracija, uz hidrodinamičko trenje pojavljuju se i izmjenjuju granično i mještovito trenje.

Utvrđeno je da ulogu podmazivanja dodirnih površina vrši centralni sustav za podmazivanje koji dovodi ulje direktno između dodirnih površina.

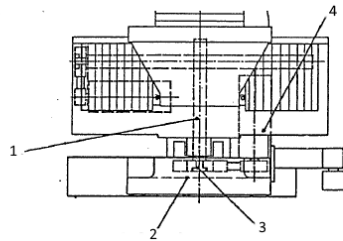
Podešavanje zračnosti nastale uslijed trošenja u normalnom radu kod stroja Mikron WF3 postiže se korištenjem klinova koji se stezanjem vijaka primiču se kliznim površinama i eliminiraju zračnost (slika 6).

Svaka os posmičnog gibanja ima dva granična i jedan referentni prekidač.

Granični prekidači koriste se za sprječavanje kretanja osi stroja izvan predviđenih mehaničkih granica, čime se štite komponente sustava. Ukoliko se granični prekidači



Slika 4: Shematski prikaz sklopa Y osi: 1 - kuglično navojno vreteno, 2 – pogonski motor, 3 - radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 4- zupčani prijenos [1]



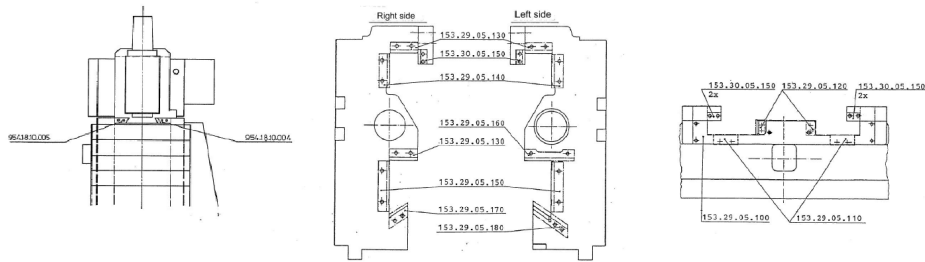
Slika 5: Shematski prikaz sklopa Z osi: 1 - kuglično navojno vreteno, 2 - pogonski motor, 3 - radijalno-aksijalno ležajno mjesto, 4- zupčani prijenos [1]

istovremeno ne koriste kao referentni prekidači, ne aktiviraju se u normalnom radu stroja, već u iznimnim situacijama.

Referentni prekidači koriste se u procesu iznalaženja nul-točke mjernog sustava stroja. Najčešće se koriste u kombinaciji s indeksnim pulsom na enkoderima kako bi se osigurala sljedljivost u pronalasku ishodišnog sustava.

Kod glodalice Mikron WF3, na svakoj osi nalaze se dva prekidača. Jedan ima dva položaja (ne pritisnuto i pritisnuto) koji se koristi kao granični prekidač, a drugi tri položaja (ne pritisnuto, djelomično pritisnuto i u potpunosti pritisnuto), koji se koristi kao prekidač za referenciranje i granični prekidač. Oba prekidača imaju mirne kontakte.

Navedeni prekidači prikazani su na slici 7. Udovoljavaju standardu IP65 jer su položeni na djelu stroja koji može doći u kontakt s odvojenom česticom i SHIP-om. IP65 standard označava potpunu zaštitu od prašine i zaštitu od mlaza vode pod niskim pritiskom iz svih pravaca.



Slika 6: Prikaz vijaka za podešavanje zračnosti kliznih staza osi X, Y i Z [1]

2.3 Glavni prigon

Prigon glavnog gibanja konstrukcijski je povezan s pomičnim dijelom X osi. Pomični dio X osi služi kao kućište reduktora glavnog prigona i horizontalnog vretena (slika 9) te je na njemu montiran pogonski motor glavnog prigona. Glavni prigon stroja pogonjen je izmjeničnim (*Alternating Current* - AC) kaveznim indukcijskim motorom sa sustavom za podešavanje napetosti remena (slika 8). Na gonjenoj strani prigona nalazi se prihvat alata za slučaj rada u horizontalnoj konfiguraciji (oznaka 21, slika 9). Iznad prihvata alata nalazi se kandžasta spojka za prijenos momenta vertikalnoj glavi u slučaju kada se koristi vertikalna konfiguracija (oznaka 20, slika 9).

Dno kućišta reduktora služi kao uljna kada ulja za podmazivanje. Zupčanici smješteni u donjem dijelu reduktora djelomično su uronjeni u ulje te svojom rotacijom prenose ulje do ostalih zupčanika i ležajnih mjesta. Za podmazivanje reduktora koristi se ulje 30 cST/40° C (ISO-VG 32).

Izmjena brzina unutar reduktora vrši se pomoću tri prijenosnika s pomičnim blokom zupčanika. Svaki pomični blok ima aktuator montiran na vanjskoj strani kućišta. Svaki prijenosnik može zauzeti tri pozicije, odnosno ostvariti tri različita prijenosna omjera. Prijenos gibanja od pogonskog motora glavnog prigona do držača alata horizontalnog vretena, odnosno vertikalne glave, ostvaruje se u ukupno 7 stupnjeva (slika 9). Stupnjevi redukcije su:

1. Remenski prijenos s elektromotra (oznaka 3, slika 9) do ulaznog vratila reduktora (oznaka 1, slika 9), $i = 1$
2. Zupčani prijenos od ulaznog vratila (oznaka 1, slika 9) do drugog vratila reduktora (oznaka 2, slika 9), $i = \frac{37}{31}, \frac{45}{23}$ ili $\frac{41}{27}$
3. Zupčani prijenos od drugog vratila (oznaka 2, slika 9) do trećeg vratila reduktora

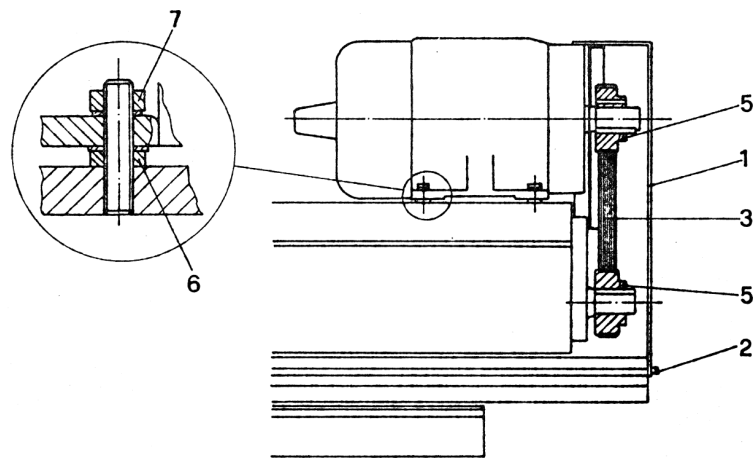


Slika 7: Granični prekidač s dva stanja (lijevo) i kombinacija graničnog i referentnog prekidača s tri stanja (desno)

(oznaka 4, slika 9), $i = \frac{39}{33}, \frac{27}{45}$ ili $\frac{51}{21}$

4. Zupčani prijenos od trećeg vratila (oznaka 4, slika 9) do četvrtog vratila reduktora (oznaka 5, slika 9), $i = \frac{1}{2}$
5. Zupčani prijenos od četvrtog vratila (oznaka 5, slika 9)) do petog vratila reduktora (oznaka 6, slika 9), $i = \frac{1}{1}, 0$ ili $\frac{53}{19}$
6. U slučaju vertikalne konfiguracije:

Zupčani prijenos od petog vratila reduktora(oznaka 6, slika 9)) do vratila za vertikalnu glavu s kandžastom spojkom za prijenos momenta(oznaka 20, slika 9), $i = 1$



Slika 8: Shematski prikaz sklopa prihвата motora na tijelo glodalice: 1 - zaštitni poklopac, 2 - vijak, 3 - V remen, 5 - remenice, 6 - matice za podešavanje napetosti remena, 7 - matica [1]

U slučaju horizontalne konfiguracije:

- (a) Prijenos spojkom od petog vratila reduktora (oznaka 6, slika 9) do vratila za vertikalnu glavu (oznaka 20, slika 9), $i = 1$
- (b) Zupčani prijenos od vratila za vertikalnu glavu (oznaka 20, slika 9), do horizontalnog vretena (oznaka 21, slika 9), $i = \frac{52}{43}$

Karakteristike pogonskog motora za prigon glavnog gibanja prikazane su na slici 10.

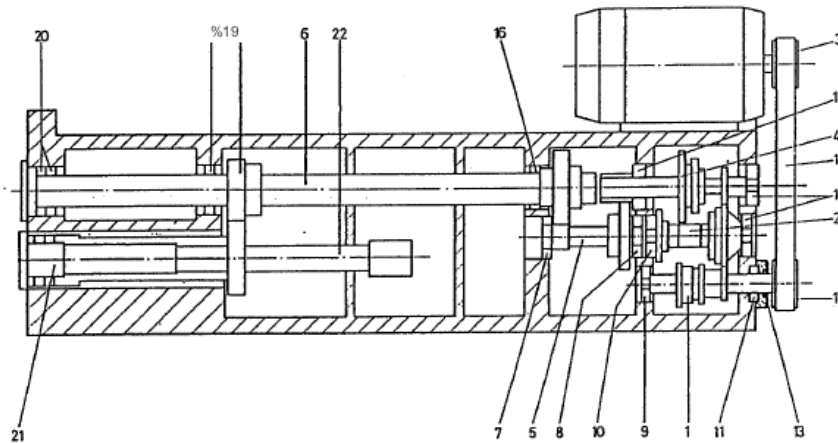
Motor je vizualno u dobrom stanju te je ispitivanjem otpora faza namotaja utvrđeno da nije došlo do proboja izolacije.

Glavno vreteno u obje kinematske konfiguracije ima prihvat držača alata tipa ISO 40 (Slika 11). Ovaj prihvat ima konusni oblik kuta 8° , što osigurava precizno centriranje držača alata i stabilnost tijekom rada. Broj "40" označava promjer osnove konusa od 40 mm, što ga čini srednjom veličinom u ISO standardu, pogodnom za širok raspon primjena. [3]

Sustav za otpuštanje i stezanje držača alata sastoji se od hidrauličkog agregata radnog pritiska 180 bara (Slika 12), ventila tipa 3/2 koji se aktivira pomoću 24V istosmjerne struje (*Direct Current* - DC), dva hidraulička cilindra te seta tanjurastih opruga unutar horizontalnog i vertikalnog vretena.

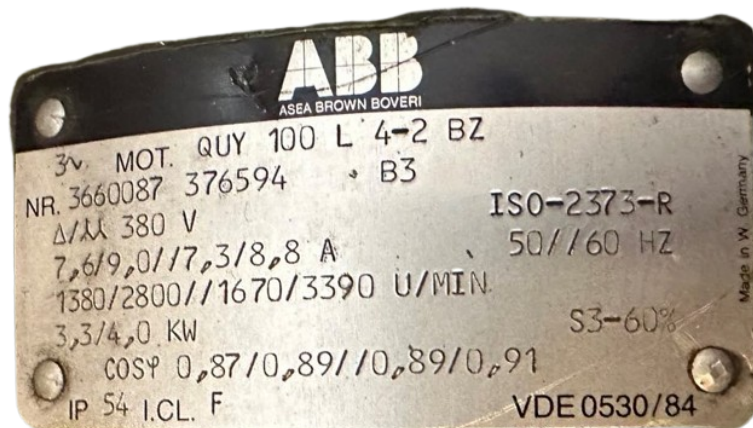
Dva hidraulična cilindra služe za otpuštanje držača alata horizontalnog i vertikalnog vretena. Upravljeni su istim ventilom, a spajaju se paralelno na izlaz ventila. U neaktiviranom stanju ventila 3/2, omogućen je povrat hidrauličkog ulja iz cilindra u spremnik, a alat je stegnut.

Aktivacijom ventila dovodom 24V DC napajanja, cilindri se spajaju na izlaz hidrauličkog agregata. Cilindri tlače tanjuraste opruge unutar vretena i tako otpuštaju alat. Po završetku otpuštanja alata prekida se napajanje ventilu, ventil se oprugom vraća u inicijalni položaj, a zbog pritiska na cilindre uslijed tanjurastih opruga u vretenu, ulje se vraća u spremnik, a držač alata se steže u vreteno.

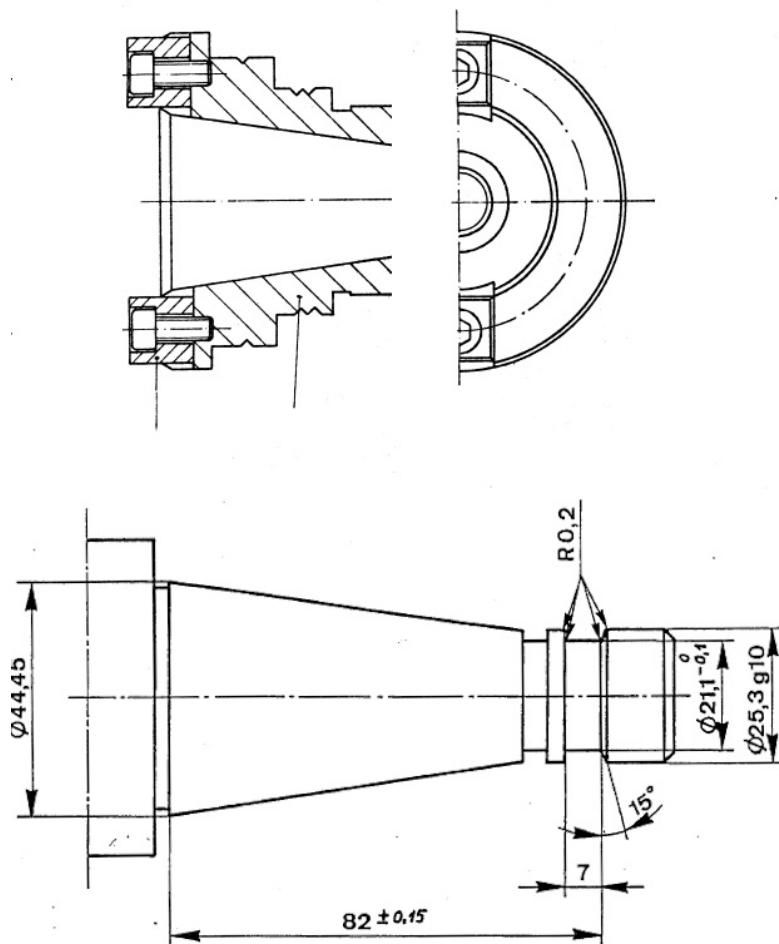


poz.	Oznaka	Članak br.	MI
1	Klizni blok	154.30.02.20/	1
2	Međuvratilo	154.30.02.30/	1
3	Poly-V remenica 50 Hz	153.29.02.022	1
3	Poly-V remenica 60 Hz	153.29.02.170	1
4	Klizni blok	154.30.02.40/1	1
5	Međuvratilo	154.30.02.50/1	1
6	pogonsko vratilo	153.14.02.020	1
7	Kuglični ležaj 6207 35/72 x 17	953.21.00.107	1
8	Kuglični ležaj 6306 RD 30/72 x 19	953.21.00.186	1
9	Kuglični ležaj 6404 RD 17/62 x 17	953.21.00.261	3
10	Kuglični ležaj 6404 RD 20/72 x 19	953.21.00.261	3
11	Kuglični ležaj 6206 2RSR RD 30/62 x 16	953.21.00.346	1
12	Kuglični ležaj ZW 4207 RD 35/72 x 23	953.25.20.008	1
13	Kuglični ležaj 6007 RSR RD 35/72 x 23	953.25.20.367	1
14	Kuglični ležaj 6009 RD 45/75 x 16	953.21.00.039	1
15	Kuglični ležaj 6009 C3 RD 45/75 x 16	953.25.00.749	1
16	cyl. Valjkasti ležaj RNU 207 43,8/72 x 17	953.22.30.927	1
17	Poly-V remenica RD 82	153.30.02.35/	1
18	Poly-V remen	953.75.40.056	1
19	Zupčanik z = 41	153.33.02.10/	1
20	Sp. ležaj B 7009E. TPA. P4	153.25.10.208	2
21	Jedinica vretena	154.30.82.000	1
22	Aktiviranje stezaljke alata	154.30.83.001	1

Slika 9: Shematski prikaz sklopa reduktora glavnog vretena s označenim dijelovima [1]



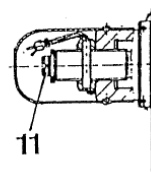
Slika 10: Pločica s karakteristikama asinkronog motora za prigon glavnog gibanja



Slika 11: Shematski prikaz osnovnih dimenzija držača alata ISO 40 s trnom DIN 2080 [1]

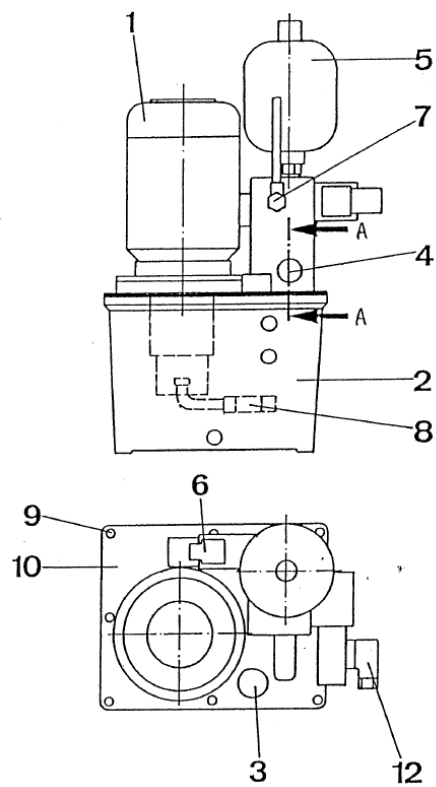
4.7 Hidraulička jedinica

Ventil za oslobađanje tlaka



11

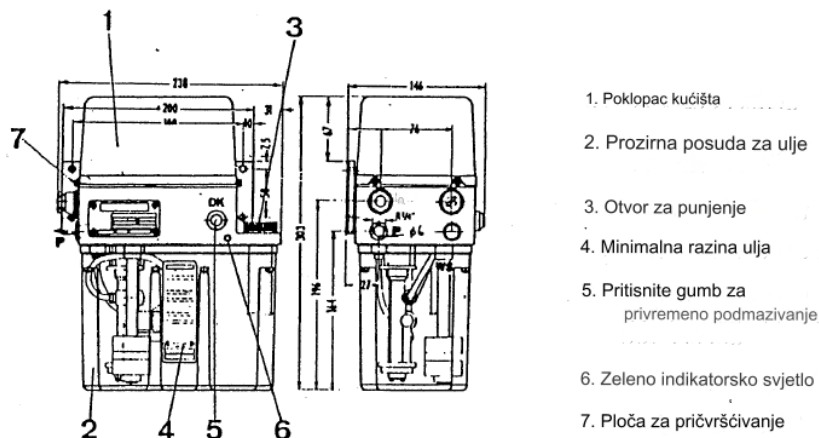
Izrez A-A



Slika 12: Hidraulički agregat [1]

2.4 Sustav za centralno podmazivanje

Ulogu podmazivanja u originalnoj izvedbi vrši sustav za centralno podmazivanje njemačkog proizvođača "VOGEL" (slika 13), cijevi za razvod ulja i niza dozirnih ventila (slika 14). Dozirni ventili dovode ulje do matice kugličnih vretena, kliznih vodilica osi X, Y i Z te ležajeva horizontalnog i vertikalnog vretena. Prema uputstvima proizvođača, kao mazivo potrebno je koristiti ulje 64 cSt/40C (ISO-VG 68).



Slika 13: Pumpa za centralno podmazivanje proizvođača "VOGEL" [1]



Slika 14: Set dozirnih ventila za podmazivanje kliznih staza Y osi i matice kugličnog vretena Y osi

Centralni sustav podmazivanja uključuje se kod prvog pokretanja stroja i tijekom rada u vremenskim intervalima ili intervalima koji ovise o prijašnjem putu pojedine osi. Kako bi se izbjeglo prekomjerno trošenje maziva, u originalnoj izvedbi stroja Mikron WF3, pumpa se uključivala nakon 10 metara prijašnjeg puta u smjeru pomoćnog gibanja

ili nakon 50 promjena smjera pomoćnog gibanja. Upravljački sustav pratio je vrijeme, pređeni put i broj promjena smjera pojedine osi, a nakon uspješno izvršenog ciklusa podmazivanja, resetirao je navedene uvjete [5].

Dozirni ventili osiguravaju da svako od mjesta za podmazivanje dobije točno određenu količinu ulja. Unutar svakog razdjelnika nalazi se sustav klipova koje pritisak ulja pomiče, istiskujući ulje u predodređenoj količini. Kada se istisne potrebna količina ulja, dozirni ventil se zatvara i ne dopušta daljnji prolazak ulja. Dozirni ventili paralelno su povezani čeličnim cijevima, a nakon što se svi zatvore potrebno je isključiti pumpu. Isključenjem pumpe pritisak ulja padne, dozirni ventili se vraćaju u inicijalnu poziciju te sustav spreman za idući ciklus. [17]

3 REVITALIZACIJA

Kako bi se razmatrani alatni stroj doveo u radno stanje, bilo je potrebno odabrati komponente sustava koje nedostaju, odnosno nadograditi ili modificirati postojeće sustave. Elementi stroja koji su detaljnije razmotreni u revitalizaciji su:

- Upravljački sustav
- Sigurnosni logički krug
- Sučelje između LinuxCNC-a i hardverskih komponenti
- Odabir pogonskih motora prigona X, Y i Z osi
- Mehanički spoj prigona X, Y i Z osi
- Elektroničko sklopovlje reduktora glavnog prigona
- Zaštitne komponente sustava

Kod odabira komponenata bilo je potrebno zadržati sve funkcije stroja te ostvariti pogonske karakteristike iz izvornog stanja, koje su navedene u poglavlju 2.1. Uz to, osigurano je da sustav zadovoljava sigurnosnu kategoriju 4 prema International Standard Organisation (ISO) 13849-1 normi, pošto se radi o stroju čije gibanje može prouzročiti teške ozlijede ili smrt operatera [23].

3.1 Upravljački sustav za numeričko upravljanje

Upravljački sustav u kontekstu revitalizacije alatnih strojeva mora osigurati traženu funkcionalnost, sigurnost, proširljivost te prilagodljivost stroju i korisniku. Pri odabiru upravljačkog sustava bitno je u obzir uzeti trenutno stanje stroja i željeni ishod revitalizacije, ali i osigurati mogućnosti proširenja, npr. ugradnju sustava automatske izmjene alata.

Za potrebu ove revitalizacije, korišten je upravljački sustav otvorene arhitekture (*Open Architecture Control System* - OACS). Takav sustav omogućuje fleksibilnu integraciju komponenata od različitih proizvođača te podržava različite kinematske sustave. OACS sustavi temelje se na modularnoj arhitekturi koja omogućuje jednostavno dodavanje ili zamjenu pojedinih komponenti na hardverskoj i softverskoj razini.

Jedna od najvažnijih karakteristika OACS-a je uporaba softvera otvorenog koda. Otvoreni kod korisnicima omogućuje pristup već razvijenim rješenjima i mogućnost prilagodbe istih, te jednostavnu integraciju dodatnih modula.

Sustavi otvorene arhitekture često dolaze s ugrađenom podrškom za različite kinematske modele, uključujući podršku za serijsku (otvorenu) i paralelnu (zatvorenu) kinematičku strukturu. Dodatna prednost je da ne ovise o hardveru i softveru jednog proizvođača. Time se smanjuju ukupni troškovi implementacije i održavanja, budući da je moguće odabrati cjenovno pristupačnije komponente, a servisiranje i otklanjanje grešaka pri eksploataciji je moguće obaviti bez angažiranja specijaliziranih servisa [7].

Među dostupnim OACS sustavima za CNC glodalice na tržištu, najzastupljeniji su LinuxCNC, Mach3 i Mach4 i GRBL. LinuxCNC ističe se fleksibilnošću i podrškom za rad u stvarnom vremenu, čineći ga pogodnim za industrijske primjene [8]. Mach3 i Mach4 nude intuitivno korisničko sučelje i jednostavniju konfiguraciju, ali dolaze uz ograničenja u proširivosti broja ulaza i izlaza [9]. GRBL je ekonomično rješenje za hobističke strojeve poput malih graverki [10].

3.1.1 LinuxCNC

LinuxCNC je modularan upravljački sustav otvorene arhitekture i otvorenog koda. Ima mogućnost simultanog vođenja do 9 osi, a primarno je namijenjen za numerički upravljanje alatne strojeve poput glodalica, tokarilica, laserskih i plazma rezača i drugih. Arhitektura LinuxCNC-a podijeljena je na četiri osnovna modula [8]:

- **Graphical User Interface (GUI):** LinuxCNC nudi različita korisnička sučelja za interakciju korisnika i sustava, poput *Axis*, *Gmoccapy* i *Touchy*, koja podržavaju klasične monitore i monitore osjetljive na dodir. Osim standardnih sučelja, moguća je izrada vlastitih korisničkih sučelja prilagođenih specifičnim potrebama.
- **EMCTASK:** EMCTASK je koordinirajući modul i interpreter G-koda (RS-274) koji upravlja slijedom izvršavanja naredbi. Nadzira stanje podređenih modula EMCMOT i EMCIO, analizira pristigle naredbe te ih potom šalje u obliku NML (neutral messaging language) poruka modulima EMCMOT, EMCIO ili samome sebi.
- **EMCMOT:** Modul za upravljanje gibanjem EMCMOT izvršava se u stvarnom vremenu. Njegove glavne funkcije uključuju planiranje trajektorija, proračun

direktne i inverzne kinematike i generiranje referentnih pozicija pojedinih osi na osnovi izmjerene pozicije.

- **EMCIO:** Diskretni logički kontroler upravlja svim pomoćnim funkcijama stroja, poput upravljanja glavnim vretenom, SHIP-om i perifernim sustavima. Pruža mogućnost definiranja vlastitih konfiguracijskih datoteka i omogućuje integraciju dodatnih funkcionalnosti pomoću programabilnog logičkog kontrolera (*Programmable Logic Controller* - PLC) modula Classic ladder ili posebnih komponenti hardverskog apstrakcijskog sloja (*Hardware Abstraction Layer* - HAL).

Uz osnovne module, HAL omogućuje povezivanje svih internih virtualnih signala koje NC jezgra LinuxCNC-a šalje i prima od vanjskih uređaja. Sastoji se od:

- Komponenti – crnih kutija koje imaju definirano ponašanje, ulaze i izlaze,
- Parametara – podesivih ulaznih vrijednosti i konstantnih izlaznih vrijednosti pojedine komponente
- *Pin*-ova – softverskih reprezentacija fizičkih izvodnica komponenti sustava, i
- Signala – ekvivalentima žica, koje spajaju *pin*-ove unutar HAL prostora

Povezivanje modula dostupnih u LinuxCNC-u kao što su PID (*Proportional Integral Derivative*) regulatori i generatori signala omogućuje korisnicima mogućnost slobodnog konfiguriranja sustava. Uz to omogućuje integraciju vlastitih HAL komponenti, unaprijed definiranih ili prilagođenih kodova čiji se ulazi i izlazi mogu povezivati sa signalima unutar HAL prostora.

LinuxCNC, kao sustav otvorenog koda, ima široku zajednicu korisnika i dostupnost tehničke podrške i dodatnih resursa.

3.2 Odabir sigurnosnog sustava stroja

Na razini Europske unije, sigurnost strojeva regulirana je Direktivom o strojevima (2006/42/EC), koja određuje osnovne sigurnosne zahtjeve za dizajn i uporabu strojeva. Ova direktiva obvezuje proizvođače da strojevi budu sigurni tijekom svih faza rada, od montaže do održavanja. Dodatno, EN ISO 12100 pruža opće smjernice za procjenu rizika i redukciju opasnosti, dok su standardima EN ISO 13849-1 i IEC/EN 62061 definirani sigurnosni zahtjevi za kontrolne sustave strojeva. [23]

Tri su ključna principa za postizanje sigurnosti strojeva [23]:

1. **Inherentno siguran dizajn:** Eliminacija rizika već u fazi dizajna stroja.
2. **Tehničke mjere zaštite:** Ugradnja zaštitnih sustava kao što su pregrade, svjetlosne barijere i sigurnosni prekidači.
3. **Organizacijske mjere:** Edukacija radnika, znakovi upozorenja i primjena osobne zaštitne opreme.

Sigurnost sustava može se ostvariti različitim uređajima koji su prilagođeni zahtjevima stroja, procjeni rizika i operativnom okruženju. Za to se koriste [23]:

1. **Mehanički sigurnosni sustavi:** obuhvaćaju fiksne i pokretne zaštitne pregrade, prekidače i uređaje za sprječavanje pristupa opasnim dijelovima stroja. Na primjer, vrata sa prekidačem onemogućuju pokretanje stroja dok su vrata otvorena.
2. **Električni sigurnosni sustavi:** koriste električne komponente poput sigurnosnih releja, sigurnosnih PLC-ova (Programabilnih logičkih kontrolera) i senzora za nadzor kritičnih funkcija. Ovi sustavi omogućuju integraciju različitih sigurnosnih uređaja i osiguravaju trenutačnu reakciju u slučaju otkrivanja opasnosti.
3. **Sustavi za otkrivanje prisutnosti:** uključuju svjetlosne zavjese, sigurnosne skenerne i podloge osjetljive na pritisak koje prepoznaju prisutnost osobe u opasnoj zoni i automatski isključuju stroj ili zaustavljaju opasne pokrete.
4. **Sustavi za zaustavljanje u nuždi:** predviđeni su za brzo i sigurno isključivanje stroja u slučaju nužde. To uključuje udarna tipkala i ostale sigurnosne sklopke koje omogućuju brzo reagiranje operatera.
5. **Sustavi za zaključavanje i označavanje (eng. *lockout/tagout*):** Osiguravaju da se stroj u potpunosti isključi i ostane u sigurnom stanju tijekom održavanja ili servisiranja. Ovi sustavi sprječavaju nenamjerno pokretanje stroja.
6. **Kontrolni sustavi s visokim razinama integriteta:** Omogućuju kontinuirani nadzor sustava i dijagnostiku kvarova. Takvi sustavi često se koriste u primjenama s visokim razinama rizika i kompleksnim sustavima kako bi se osigurala otpornost na kvarove sigurnosnog sustava.

Različiti sustavi mogu se kombinirati kako bi se postigla odgovarajuća razina sigurnosti, uzimajući u obzir specifične operativne zahtjeve i karakteristike stroja. Projektiranje i implementacija ovih sustava mora biti u skladu s važećim normama kako bi se osigurala njihova učinkovitost i pouzdanost.

3.2.1 EN ISO 13849-1 Sigurnost strojeva - Sigurnosni dijelovi sustava za nadzor

Norma EN ISO 13849-1 opisuje sigurnosne zahtjeve za dijelove upravljačkih sustava koji obavljaju sigurnosne funkcije. Cilj je osigurati pouzdanost i odgovarajuću razinu sigurnosti u upravljanju strojevima, uzimajući u obzir rizike koji proizlaze iz mogućih kvarova tih sustava. U normi su propisane kategorije od 1 do 4 koje definiraju različite razine otpornosti na kvarove unutar sigurnosnog sustava i stupanj sigurnosti koji se postiže u slučaju kvara u sigurnosnom sustavu[23] [11]:

1. **KATEGORIJA B (Osnovni zahtjevi):** Kategorija B obuhvaća osnovne zahtjeve za sigurnosne sustave strojeva. Predstavlja temelj za sve ostale kategorije, osiguravajući sigurnost kroz osnovna pravila dizajna i kvalitetu komponenti. Iako ne uključuje nadzor ili redundanciju, svi sustavi moraju zadovoljiti minimalne standarde sigurnosti definirane ovom kategorijom.
2. **KATEGORIJA 1 (Povećana pouzdanost):** Kategorija 1 podrazumijeva sigurnosne sustave koji se oslanjaju na kvalitetne i pouzdane komponente za osiguranje osnovne funkcionalnosti. U slučaju kvara, sigurnosna funkcija može biti izgubljena, ali bez ozbiljnih posljedica. Ova kategorija prikladna je za strojeve s niskim razinama rizika, gdje je mogućnost opasnih situacija minimalna. Slika 15.
3. **KATEGORIJA 2 (Periodični nadzor):** U kategoriji 2 sigurnosni sustavi podrazumijeva periodične provjere kako bi potencijalni kvarovi bili otkriveni na vrijeme, bilo tijekom rada ili pokretanja stroja. Sustavi nisu potpuno redundantni, pa kvar koji nije prepoznat može rezultirati gubitkom sigurnosne funkcije. Ipak, dijagnostika omogućava otkrivanje problema prije nego što postanu kritični. Ova kategorija primjenjiva je na strojeve s umjerenim razinama rizika. Slika 16.
4. **KATEGORIJA 3 (Redundantni sustavi):** Sigurnosni sustavi kategorije 3 sadrže redundanciju, omogućujući nastavak sigurnosne funkcije čak i u slučaju pojedinačnog kvara. Komponente rade paralelno, a sustavi vrše kontinuirano praćenje i detekciju kvarova kako bi se spriječile opasne situacije. Sigurnost se mora osigurati prije nego što dođe do drugog kvara. Kategorija 3 koristi se za strojeve s višim razinama rizika, gdje je potrebna dodatna zaštita. Slika 17.
5. **KATEGORIJA 4 (Najviša razina sigurnosti):** Kategorija 4 pruža najvišu razinu sigurnosti i otpornosti, osiguravajući sigurnost čak i u slučaju višestrukih kvarova. Sustavi vrše kontinuirani nadzor svih dijelova, a niti jedan pojedinačni kvar ne smije dovesti do gubitka sigurnosne funkcije. Redundantni dizajn i izuzetno visoka

pouzdanost ključne su značajke, s vrlo niskom vjerojatnošću opasnih kvarova. Ova kategorija prikladna je za strojeve s visokim razinama rizika, poput CNC glodalica i industrijskih robota. Slika 18.

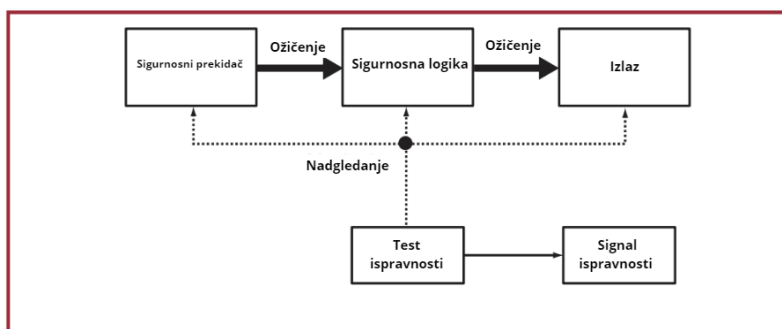


Slika 15: Shema sustava sigurnosne kategorije 1[23]

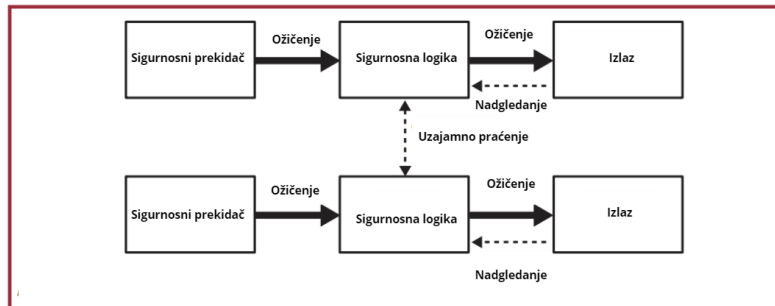
Pri projektiranju sigurnosnog sustava glodalice Mikron WF3, bilo je potrebno osigurati najvišu kategoriju sigurnosti, kategoriju 4. Primjer dijagrama spajanja koja zadovoljava kategoriju 4 prikazan je na slici 19. Sigurnosno stanje aktivira se otvaranjem sigurnosnih vrata, pri čemu se otklanja opasnost, odnosno isključuje napajanje motoru. Otvaranje vrata detektiraju dva prekidača s radnim kontaktima. Aktivacijom sigurnosnog stanja, kontaktori K1 i K2 isključuju napajanje motoru. Dva kontaktora osiguravaju redundanciju pri isključivanju motora: ukoliko jedan zakaže, drugi će osigurati da se isključiti napajanje. Redundancija u detekciji otvorenosti vrata postiže se upotrebom dva prekidača vrata. Sigurnosni relej kontinuirano prati stanje sigurnosnih senzora, u ovom primjeru prekidača vrata, kako bi detektirao greške poput kratkog spoja ili prekida u njihovim vodovima.

3.2.2 EN 60204-1 Sigurnost strojeva - Električna oprema strojeva

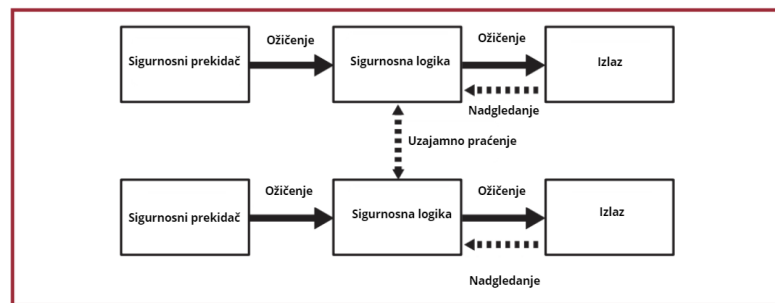
Norma EN 60204-1 uspostavljena je s ciljem osiguravanja sigurnosti i pouzdanosti električnih sustava strojeva. Definiira sigurnosne kategorije zaustavljanja koje speci-



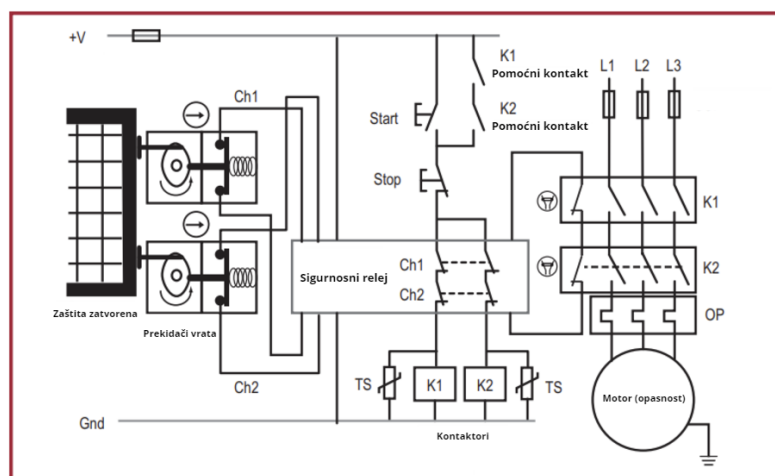
Slika 16: Shema sustava sigurnosne kategorije 2[23]



Slika 17: Shema sustava sigurnosne kategorije 3[23]



Slika 18: Shema sustava sigurnosne kategorije 4[23]



Slika 19: Primjer sustava koji zadovoljava sigurnosnu kategoriju 4[23]

ficiraju kako se sustav zaustavlja u situacijama u nuždi. Zaustavljanja se dijele u tri kategorije[23]:

1. **Stop kategorija 0:** Trenutno uklanjanje napajanja iz aktuatora stroja, što dovodi do nekontroliranog zaustavljanja. Ova kategorija često se koristi za zaustavljanje u slučaju nužde zbog svoje brzine.
2. **Stop kategorija 1:** Kontrolirano zaustavljanje pri kojem napajanje aktuatora ostaje uključeno tijekom zaustavljanja kako bi se osigurao siguran proces zaustavljanja. Nakon što se zaustavljanje završi, napajanje se uklanja.
3. **Stop kategorija 2:** Kontrolirano zaustavljanje pri kojem napajanje aktuatora ostaje uključeno i nakon zaustavljanja, omogućujući dodatne sigurnosne funkcije poput zadržavanja položaja.

Bitno je napomenuti da se napajanje ne odnosi samo na električno napajanje, već bilo koju vrstu napajanja koja napaja dijelove stroja koji mogu prouzrokovati opasnu situaciju. Na primjer, kod hidrauličkih preša, izvor napajanja je hidraulički, a kod automata u serijskoj proizvodnji može biti pneumatski.

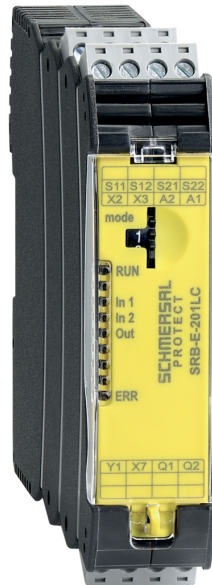
Za zaustavljanje alatne glodalice Mikron WF3 u slučaju nužde, korištena je kategorija 0. Kako se radi o lakoj glodalici, pri isključenju napajanja pogonskih osi doći će do brzog zaustavljanja uslijed trenja u sustavu.

3.2.3 Odabrani sigurnosni sustav

U slučaju nužde, ostvarenje stop kategorije 0 ostvareno je istovremenim isključivanjem dovoda električne energije regulatorima pogonskih motora posmičnog prigona, frekvenzijskom pretvaraču pogonskog motora glavnog prigona te sustavu za otpuštanje držača alata i SHIP pumpi.

Najviša kategorija sigurnosti, kategorija 4, ostvarena je upotrebom sigurnosnog releja. Sigurnosni relej certificiran za upotrebu u sustavima kategorije 4 osigurava da u slučaju aktivacije udarnih tipkala predviđena sekvenca zaustavljanja bude izvršena. Ova sekvenca obuhvaća trenutno odspajanje napajanja glavnom i posmičnom prigonom te sustavu za otpuštanje alata i SHIP pumpi, sigurno zaustavljanje pokretnih dijelova te onemogućavanje ponovnog pokretanja stroja dok se uzrok aktivacije u potpunosti ne otkloni. Odabrani sigurnosni relej, tip SRB-E-201LC-CC proizvođača SCHMERSAL, prikazan je na slici 20.

Referentna shema za spajanje sigurnosnog releja prikazana je na slici 21.



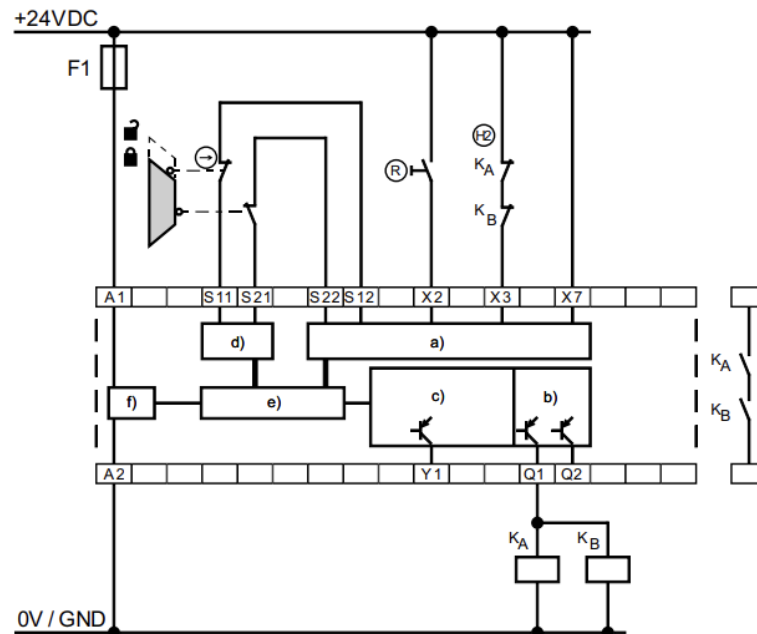
Slika 20: Sigurnosni relej SRB-E-201LC-CC proizvođača SCHMERSAL[21]

Sigurnosni krug primijenjen za stroj Mikron WF3 prikazan je na slici 22. Stanje nužde operater aktivira pritiskom na jedno od tri udarna tipkala. Svako udarno tipkalo ima par mirnih kontakata, a tipkala su međusobno serijski povezana. Stanje nužde aktivira i NC jezgra kada dođe do greške unutar LinuxCNC-a ili ako sustav nije spreman za rad. Iz LinuxCNC-a izveden je signal koji u stanju spremnosti zatvori preklopne kontakte releja K4 te tako zatvori strujni krug između kanala 1 i 2 (izvodnica 11/12 i 21/22 na sigurnosnom releju) kada udarna tipkala nisu pritisnuta (slika 23). Sigurnosni relej vrši uzajamno nadziranje između navedenih kanala kako bi u bilo kojem trenutku detektirao prekid ili kratki spoj koji bi mogao dovesti do gubitka sigurnosne funkcije.

Kada sigurnosni krug nije aktiviran (aktiviran se odnosi na stanje u nuždi) omogućeno je pokretanje sustava pritiskom na tipku START na NC pultu, spojenu na izvodnicu X2. Za pokretanje sustava, pomoćni kontakti zaštitnih sklopki F1-F6 moraju biti zatvoreni, što označava da nije došlo do aktivacije strujne zaštite uslijed kratkog spoja ili greške u nekoj od grana sustava (slika 22).

Kada su svi uvjeti zadovoljeni i pritisnuta tipka START, pomoću releja K124 i K224 koji rade na 24V DC, uključuju se glavni kontaktori K1 i K2 koji rade na 220V AC i time se dovodi napajanje navedenim dijelovima stroja (slike 25 i 24).

Udarno tipkalo mora biti u realnom doseg operatera, odnosno kod većih strojeva ih



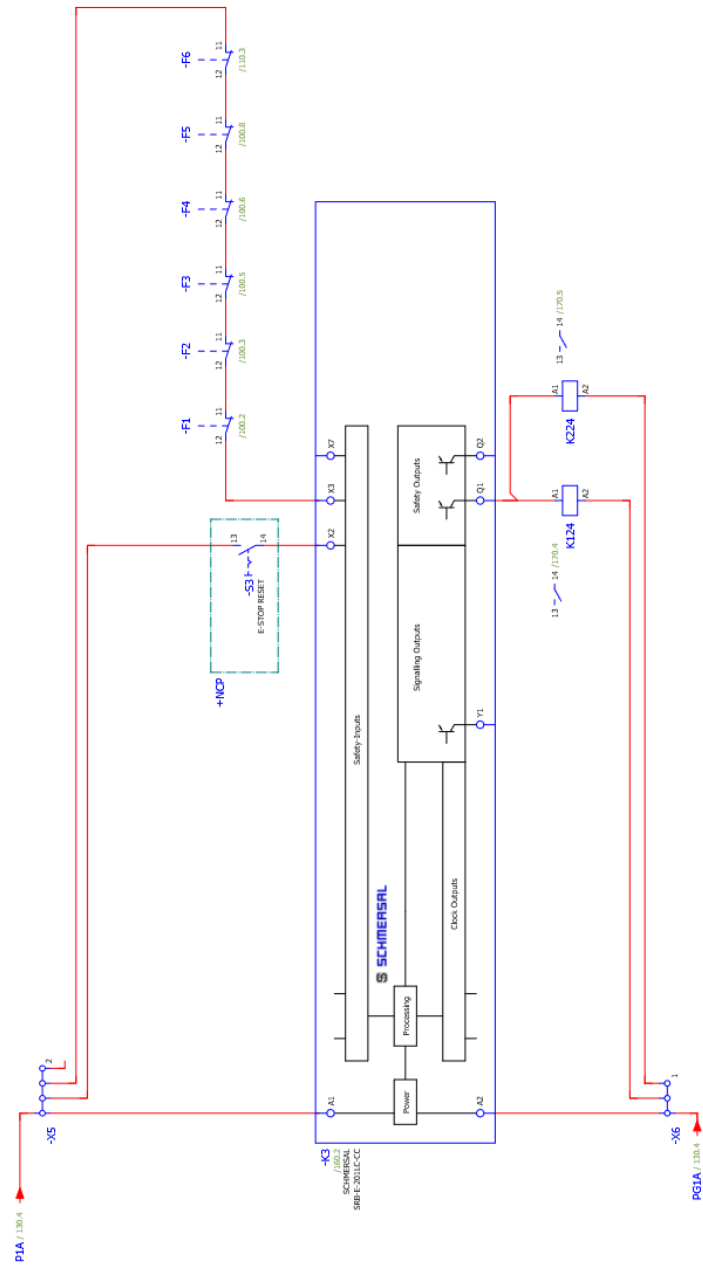
Slika 21: Referentna shema spajanja Schmersal SRB-E-201LC-CC releja; kanali S11-S12 i S21-S22 su redundantni i imaju uzajamno nadziranje; X3 služi kao izlazni signal spremnosti za uključivanje; na X2 spaja se START tipka; Q1 i Q2 su izlazi za releje, odnosno kontaktore[21]

mora biti više. Za Mikron WF3, postavljena su tri udarna tipkala: jedno na NC pultu, jedno pored glave za vertikalnu obradu i jedno na elektro ormaru. Iz serijskog spoja prekidača, izveden je signal (IN11) kao povratna veza o aktivnom stanju sigurnosnog sustava prema NC jezgri (slika 23).

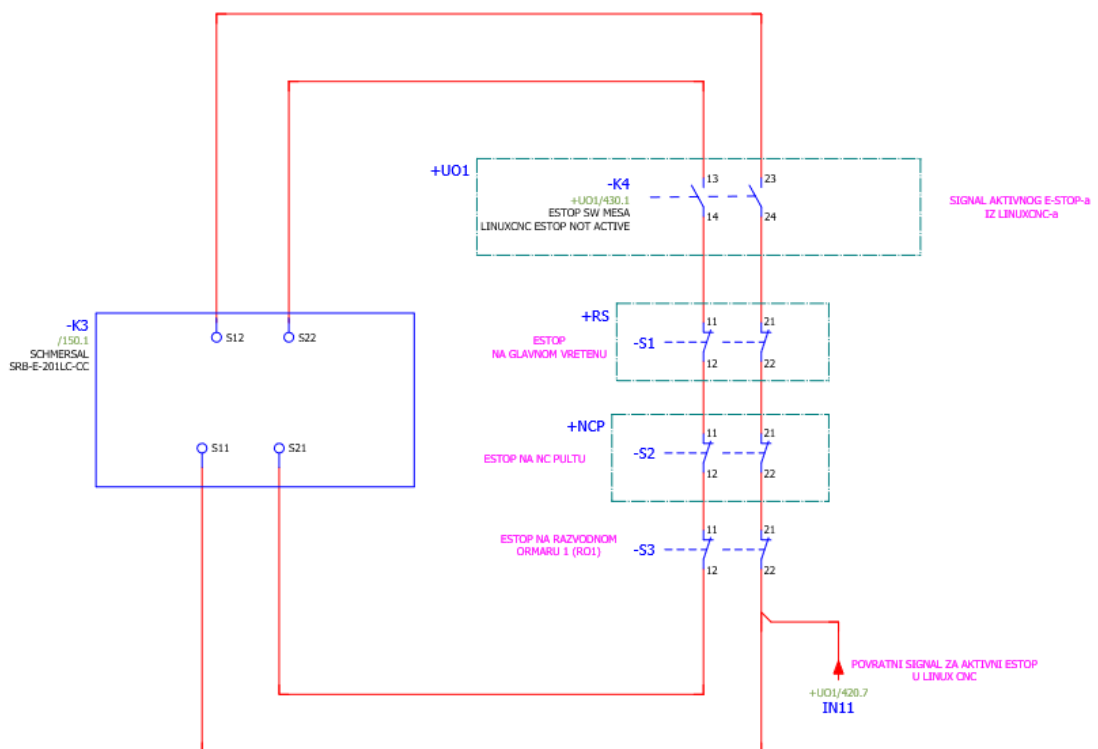
Udarni prekidači smatraju se komplementarnom zaštitnom opremom i ne spadaju u primarne zaštitne uređaje [23]. Razlog tome je što ne sprječavaju pristup opasnim zonama niti otkrivaju prisutnost u tim zonama. Njihova učinkovitost u potpunosti ovisi o ljudskoj intervenciji. Kao primarni zaštitni uređaj kod alatnih strojeva ističe se zatvoreni radni prostor s prekidačima koji onemogućuju rad stroja u slučaju otvorenih vrata te zahtijevaju potvrdu o sigurnosti nastavka rada nakon zatvaranja vrata.

Glodalica Mikron WF3 nije isporučena sa zaštitnim vratima radnog prostora. Predviđena je njihova naknadna ugradnja ostavljanjem prostora u elektro-ormaru te pozicioniranjem elemenata na samom stroju na način da dozvoljavaju ugradnju vrata, kako bi se postigao siguran dizajn za operatera.

Uz navedeno, bilo je potrebno onemogućiti otpuštanje alata tijekom rotacije glavnog vretena, što je jedna od opasnih situacija do koje može doći nepažljivim rukovanjem. Također je bilo potrebno onemogućiti rad automatskog reduktora tijekom rotacije glav-

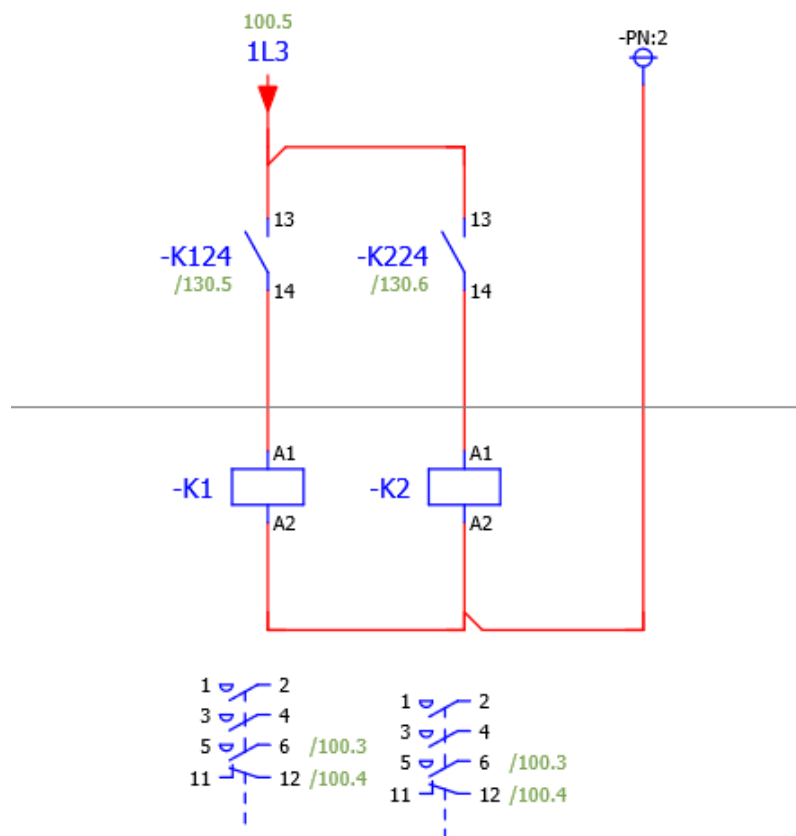


Slika 22: Elektro spojna shema novog sigurnosnog kruga stroja Mikron WF3 baziranog na sigurnosnom releju

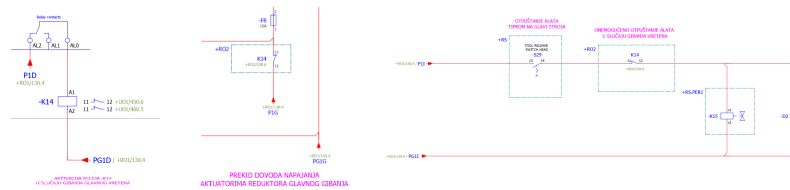


Slika 23: Elektro spojna shema spajanja udarnih tipkala na sigurnosni relej

AKTIVACIJA GLAVNIH KONTAKTORA K1 I K2
PREKO POMOĆNIH NA 24V



Slika 25: 24V DC releji koji aktiviraju sigurnosne releje radi uključivanja 220V AC kontaktora



Slika 26: 1- Relaj K24 za indikaciju rotacije pogonskog motora glavnog prigona; 2 - Prekid napajanja aktuatoru reduktora; 3 - Prekid napajanja ventilu za otpuštanje alata

nog vretena kako ne bi došlo do havarije u reduktoru. Navedeno je postignuto istovremenim isključenjem napajanja aktuatoru reduktora glavnog prigona i napajanja ventilu za otpuštanje alata (oznake 2 i 3, slika 26). Dovod napajanja isključuju kontakti releja K24 kojeg aktivira frekvencijski pretvarač glavnog gibanja (oznaka 1, slika 26).

Za potpuno razumijevanje opasnosti, ali i za certifikaciju proizvoda kod nadležnih tijela i ustanova, potrebno je izraditi detaljnu procjenu rizika [12]. Detaljna procjena rizika nije obrađena u sklopu ovog rada.

3.3 Odabir upravljačke elektronike

LinuxCNC za rad zahtjeva računalni hardver na kojem se može instalirati operacijski sustav u stvarnom vremenu temeljen na Linux jezgri. Za povezivanje podređenih elemenata upravljačkog sustava s upravljačkim računalom s LinuxCNC-om koriste se sučelja kompatibilna s LinuxCNC-om koja mogu biti izvedena u obliku kartica ugrađenih u upravljačko računalo (na PCI ili PCIe sabirnice) ili se povezuju putem vanjskih priključaka (eng. *port*). [8]

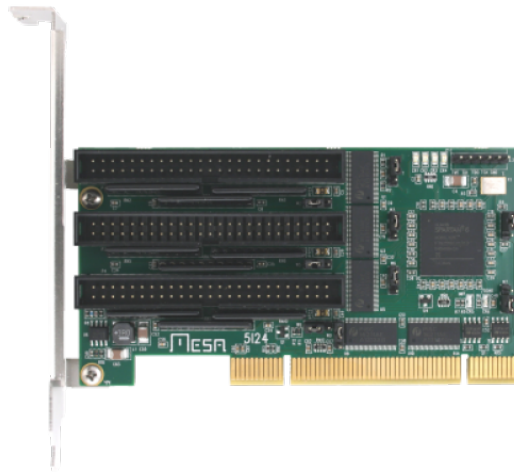
Sučelja su nužna kako bi se informacije iz LinuxCNC-a prenjele od i do podređenih elemenata upravljačkog sustava, poput servo regulatora, graničnih prekidača, frekvencijskih pretvarača i ostalih elemenata. Neka od sučelja direktno kompatibilnih s LinuxCNC su paralelni port, Ethernet, EtherCAT, PCI i PCIe-SPI i USB. Izuzev USB-a, navedena sučelja imaju mogućnost rada u stvarnom vremenu.

Uz prethodno dostupno računalo HP Z620 Workstation s PCI i PCIe sučeljima na matičnoj ploči, odabrana je kartica MESA 5i24-25. MESA 5i24-25 bazirana je na FPGA (*Field Programmable Gate Array*) integriranom krugu.

FPGA je integrirani krug koji se sastoji od niza programabilnih logičkih blokova (PLB) i veza među njima koje se mogu proizvoljno konfigurirati. Konfiguriranje FPGA-a provodi se učitavanjem bitstream datoteke u kojoj su definirane specifične funkcije

i logički sklopovi, odnosno njihove veze. Za upotrebu 5i24-25 kao sučelja između LinuxCNC-a i podređenih uređaja, mogu se koristiti već dostupne bitstream datoteke proizvođača MESA ili izraditi vlastite. Fizičke izvodnice FPGA integriranog kruga (eng. *pin*) služe za povezivanje s vanjskim hardverom.

MESA 5i24-25 ima 72 ulazno-izlaznih *pin*-ova raspoređenih na tri DB-50 konektora.



Slika 27: FPGA kartica MESA 5i24-25 s ukupno 72 ulazno-izlaznih *pin*-ova[22]

Za proširenje funkcionalnosti FPGA integriranog kruga 5i24-25 kartice, na DB-50 konektore mogu se spojiti podređene kartice sučelja FPGA (eng. *daughter board*). *Daughter board*-ovi mogu generirati ili obrađivati različite vrste signala kako bi ih pretvorile u format kompatibilan s FPGA integriranim krugom.

Na primjer, zadavanje reference brzine frekvencijskom pretvaraču motora glavnog prigona može biti u obliku analognog signala napona između 0V i +10V. FPGA integrirani krugovi uglavnom nemaju mogućnost obrade analognih signala, kako je slučaj i kod Xilinx Spartan6 X25 FPGA integriranog kruga na 5i24-25 kartici. Za zadavanje analognog signala, potrebno je povezati digitalno-analogni pretvarač (*Digital-to-Analog Converter* - DAC) na 5i24-25 karticu.

FPGA integrirani krug Xilinx Spartan6 X25 nije kompatibilan s diferencijalnim signalima, niti s digitalnim signalima čiji napon nije razine 3.3V ili 5V. Za spajanje uređaja koji se u ovoj revizalizaciji koriste na 5i24-25 karticu, korišteni su *daughter board*-ovi.

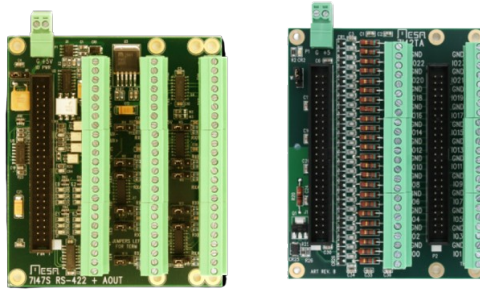
Odabrani su komercijalno dostupni *daughter board*-ovi MESA 7i47S i MESA 7i42TA (slika 28). 7i47S i 7i42TA zajedno koriste 48 od 72 *pin*-a 5i24-25.

MESA 7i47S kartica ima 12 ulaznih i 8 izlaznih kanala namijenjenih spajanju enkodera i servo regulatora. Uz to ima analogni izlaz (0V do +10V) namijenjen za zadavanje reference brzine. Izvorno je namijenjena je za spajanje na MESA FPGA kartice s DB-50 konektorom.

MESA 7i42TA služi za zaštitu FPGA pin-ova od prenapona i elektrostatskog pražnjenja.

Preostala 24 *pin*-a rezerviraju se za 8 kartica pretvornika diferencijalnih signala u jednostruke signale (slika 29), primarno namijenjenih za spajanje enkodera s tri kanala na *pin*-ove FPGA. Osim za spajanje enkodera, u sklopu ove revitalizacije, koriste se za spajanje senzora položaja reduktora glavnog vretena.

Ukoliko se pokaže naknadna potreba za dodatnim ulazima i/ili izlazima, u sustav će se instalirati dodatna FPGA kartica i po potrebi pripadajući *daughter board*.



Slika 28: *Daughter board*-ovi MESA 7i47S i 7i42TA za kondicioniranje i pojačavanje signala te zaštitu FPGA pinova[22]



Slika 29: Pretvornik diferencijalnih signala u jednostruke signale s tri kanala

3.4 Odabir pogonskih motora posmičnog prigona

Proračunom potrebnog momenta i minimalne frekvencije vrtnje definirani su uvjeti za odabir motora posmičnog prigona, s ciljem osiguravanja kontinuiranog rada tijekom obradnog procesa i usklađenosti s izvornim specifikacijama stroja.

Na glodalici su instalirana kuglična navojna vretena NSK 3206C na osima X, Y i Z. Tehničke specifikacije za model u pitanju više nisu dostupne, pa su vrijednosti potrebne za proračun utvrđene mjerenjem:

$P = 6 \text{ mm}$ - korak kugličnog navojnog vretena

$d_1 = 32 \text{ mm}$ - promjer kugličnog navojnog vretena

$L_{kvx} = 500 \text{ mm}$ - duljina kugličnog navojnog vretena x osi

$L_{kvy} = 630 \text{ mm}$ - duljina kugličnog navojnog vretena y osi

$L_{kvz} = 420 \text{ mm}$ - duljina kugličnog navojnog vretena z osi

Proračun čvrstoće vretena nije proveden uz pretpostavku da je proizvođač inicijalno ispravno dimenzionirao vretena.

Prijenosni omjer ostvaren zupčanicima s ravnim ozubljenjem kod posmičnog prigona X i Y osi je uklonjen radi zračnosti koje unosi u sustav. To je ostvareno direktnim spajanjem vratila motora s kugličnim vretenom, čime je ostvaren prijenosni omjer $i_{x,y} = 1$.

Radi složene i nepristupačne konstrukcijske izvedbe pripadajućeg reduktora Z osi, koji je smješten između prihvata motora i kugličnog vretena, nije bilo moguće montirati motor u alternativni položaj bez opsežnih zahvata na postojećoj konstrukciji. Zadržan je originalni prijenosni omjer $i_z = 2$.

Proračun prigona četvrte osi nije proveden jer okretni stol nije zatečen u mehanički ispravnom stanju. Umjesto toga je privremeno mehanički blokirana mogućnost rotacije stola kako bi isti služio kao klasični radni stol stroja.

Potreban moment motora ovisan je o prijenosnom omjeru:

$$T_{mot} = \frac{T}{i} \quad (1)$$

$$T_{motx} = \frac{T_x}{i_x}; T_{moty} = \frac{T_y}{i_y}; T_{motz} = \frac{T_z}{i_z} \quad (2)$$

Za izračun momenta potrebnog za okretanje vretena, slijedi:

$$T = \frac{F_a \times P}{2 \times \pi \times \eta} \quad (3)$$

Pri čemu je sila u vretenu:

$$F_a = F_{obr} + F_{tr} + F_i + F_g \quad (4)$$

F_a - aksijalna sila u navojnom vretenu

F_{obr} - sila strojne obrade u smjeru osi

F_{tr} - sila trenja u kliznim vodilicama

F_i - inercijska sila

F_g - sila uslijed težine prigona (prisutna kod Z osi)

3.4.1 Sila rezanja

Silu rezanja F_{obr} moguće je odrediti analitički za zadane parametre obrade. Za potrebu proračuna, iz [13], preuzeta je sila rezanja $F_{obr} = 500N$ izračunata za parametre:

$a_p = 10 \text{ mm}$ - dubina rezanja

$a_e = 3 \text{ mm}$ - širina rezanja

$S = 2000 \text{ rpm}$ - frekvencija vrtnje glavnog vretena

$f_z = 0.05 \text{ mm}$ - posmak po zubu

Materijal: aluminij 2618-T6

Glodalo: $\Phi 16$, od tvrdog metala

Navedena sila korištena je pri proračunu svih tri osi.

3.4.2 Izračun sile trenja

Gibanje osi uležištenih hidrodinamskim kliznim vodilicama podložno je nezanemarivom iznosu sile trenja uslijed mješovitog trenja, koje nastupa prije postizanja tekućeg trenja.

[4] Sila trenja određena je uz poznavanje pritisne sile i faktora trenja:

$$F_{tr} = F_N \times \mu \quad (5)$$

pri čemu je

$\mu = 0.1$ - faktor trenja za podmazano stanje sivi lijev - sivi lijev [19]

Pritisna sila kod X osi jednaka je sili uslijed momenta koji uzrokuje težina X konstrukcije i vertikalne glave. Proračunata je za najnepovoljniju poziciju u ravnini XZ, u kojoj je X os najviše izvučena.

Pritisna sila kod Y osi jednaka je sili uslijed momenta koji uzrokuje težina konstrukcije Y osi, okretnog stola, steznih naprava i obratka. Proračunata je u ravnini XZ.

Pritisna sila kod Z osi jednaka je sili uslijed momenta koji uzrokuje težina konstrukcije Z osi i Y osi, okretnog stola, steznih naprava i obratka. Proračunata je u ravnini XZ.

Masa je određena pomoću Solidworks programskog paketa u kojem je izrađen 3D model, a utvrđene su sljedeće vrijednosti:

$$m_{x \text{ konstr}} = 300 \text{ kg}$$

$$m_{y \text{ konstr}} = 190 \text{ kg}$$

$$m_{z \text{ konstr}} = 45 \text{ kg}$$

$$m_{stol} = 160 \text{ kg}$$

$$m_{v \text{ glava}} = 56 \text{ kg}$$

Za stezanje obratka pomoću dva strojna škripca pretpostavljeno je:

$$m_{stez} = 100 \text{ kg}$$

$$m_{obr} = 100 \text{ kg}$$

Uslijed sprega sila oko točke X' na slici 30 prouzrokovanog masom vertikalne glave i masom konstrukcije X osi izračunata je pritisna sila u X osi te sila trenja:

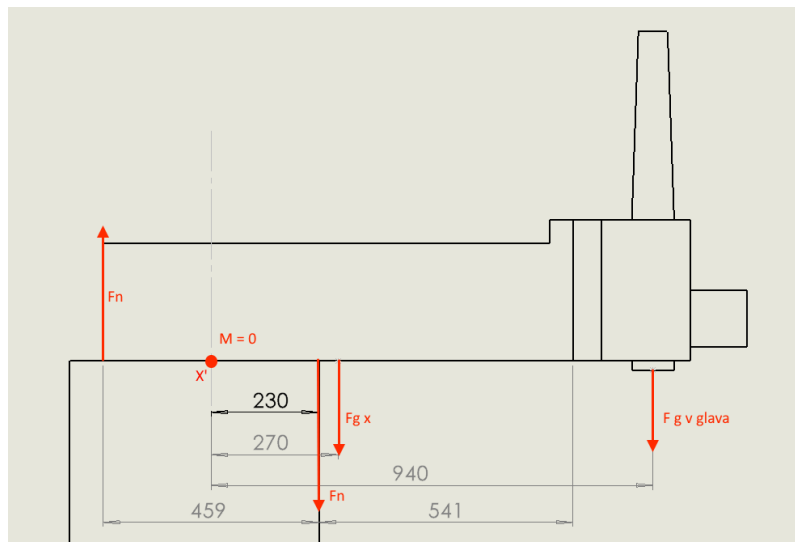
$$F_{N,x} = g \frac{m_x \times l_x + m_{v \text{ glava}} \times l_{v \text{ glva}}}{l_{spreg,x}} \quad (6)$$

$$F_{N,x} = 9.81 \times \frac{300 \times 270 + 56 \times 940}{230} = 5700N \quad (7)$$

$$F_{tr,x} = F_{N,x} \times \mu = 5700 \times 0.1 = 570N \quad (8)$$

Klizne vodilice Y osi zaokrenute su 45° u odnosu na horizontalnu os. Uslijed sprega sila oko točke Y' na slici 31 prouzrokovanog masom radnog stola s obratkom i steznim napravama, izračunata je pritisna sila:

$$F_{N,y} = g \frac{(m_{stol} + m_{stez} + m_{obr}) \times l_{stol}}{l_{spreg,y}} + g \frac{\frac{m_y \text{ konstr}}{2}}{\cos 45^\circ} \quad (9)$$



Slika 30: Izračun pritisne sile na klizne vodilice X osi u ravnini XZ

$$F_{N,y} = 9.81 \frac{(160 + 100 + 100) \times 309}{88} + 9.81 \frac{\frac{190}{2}}{\cos 45^\circ} = 13718 N \quad (10)$$

Uz poznate vrijednosti izračunata je sila trenja:

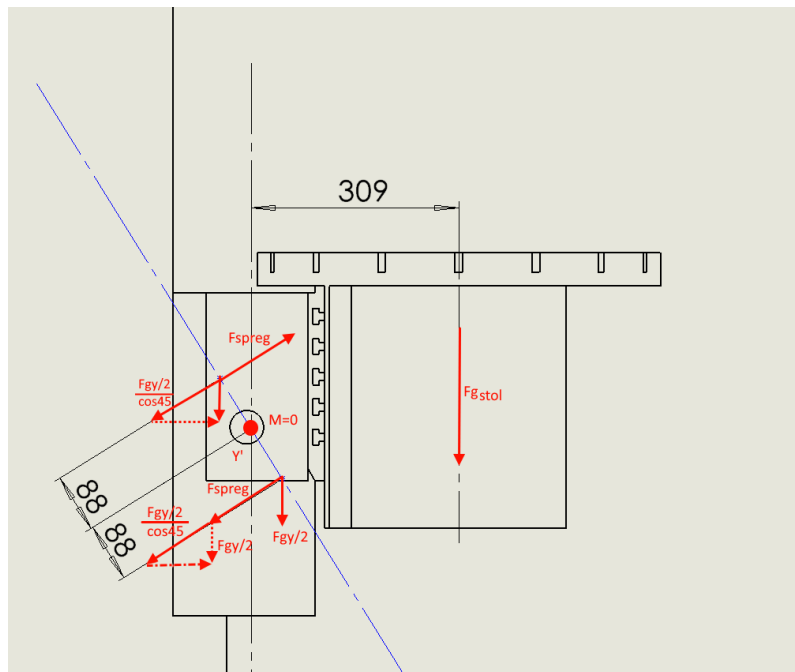
$$F_{tr,y} = F_{N,y} \times \mu = 13718 \times 0.1 = 1372 N \quad (11)$$

Na pritisnu silu vodilica Z osi utječu masa radnog stola s obratkom i steznim napravama te masa Z i Y konstrukcije, kao što je prikazano na slici 32, izračunata je sila trenja:

$$F_{N,z} = g \frac{(m_{stol} + m_{stez} + m_{obr}) \times l_{stolz} + (m_y konstr + m_z konstr) \times l_y konstr}{l_{spreg,z}} \quad (12)$$

$$F_{N,z} = 9.81 \frac{(160 + 100 + 100) \times 426 + (190 + 45) \times 116}{240} = 7382 N \quad (13)$$

$$F_{tr,z} = F_{N,z} \times \mu = 7169 \times 0.1 = 738 N \quad (14)$$



Slika 31: Izračun pritiskne sile na klizne vodilice Y osi u ravni XZ

3.4.3 Izračun inercijskih sila

Pri izračunu inercijskih sila potrebno je poznavati masu pokretnih dijelova te akceleraciju. Mase dijelova su poznate, odnosno za pojedine osi iznose:

$$m_{i_x} = m_{x\text{ konstr}} + m_{v\text{ glava}} = 356\text{ kg} \quad (15)$$

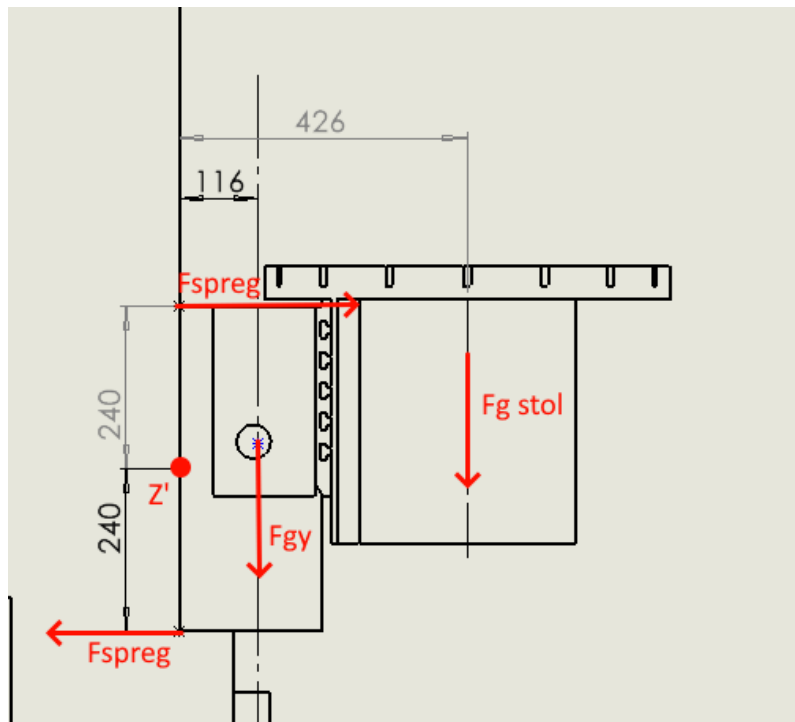
$$m_{i_y} = m_{y\text{ konstr}} + m_{stol} + m_{stez} + m_{obr} = 550\text{ kg} \quad (16)$$

$$m_{i_z} = m_{i_y} + m_{z\text{ konstr}} = 595\text{ kg} \quad (17)$$

Akceleracija pojedine osi iz originalne izvedbi nije poznata, već su poznate samo radne i maksimalne posmične brzine. [1]. Željena akceleracija izračunata je uz zahtjev da se maksimalna posmična brzina obrade u iznosu od $v_f = 2000\text{ mm/min}$, odnosno $v_f = 0.03\text{ m/s}$ postigne u vremenu od $t = 0.1\text{ s}$ te je zahtjev primijenjen na sve 3 osi:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0.03}{0.1} = 0.3\text{ m/s}^2 \quad (18)$$

Inercijske sile uslijed pravocrtnog ubrzanja za pojedine osi iznose:



Slika 32: Izračun pritisne sile na klizne vodilice Z osi

$$F_{i,x} = m_{i,x} * a = 356 \times 0.3 = 106 \text{ N} \quad (19)$$

$$F_{i,y} = m_{i,y} * a = 550 \times 0.3 = 165 \text{ N} \quad (20)$$

$$F_{i,z} = m_{i,z} * a = 595 \times 0.3 = 179 \text{ N} \quad (21)$$

Za izračun momenta inercije $T_{\omega'}$ uslijed kutnog ubrzanja ω' kugličnog vretena, potrebno je uz kutno ubrzanje poznavati moment tromosti vretena.

$$T_{\omega'} = J \cdot \omega' \quad (22)$$

Za vreteno je, radi pojednostavljenja, pretpostavljen oblik valjka gustoće $\rho_{\varepsilon} = 7850 \text{ kg/m}^3$, promjera d i momenta tromosti:

$$J_z = \frac{1}{2}mr = \frac{\pi}{32}d^4h\rho \quad (23)$$

Kutno ubrzanje izračunato je iz prethodno postavljenih uvjeta akceleracije (izraz 18) i poznatog koraka vretena P .

$$\omega' = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (24)$$

$$\omega' = \frac{\frac{\Delta V}{P} * 2\pi}{\Delta t} = \frac{\frac{0.03}{0,006} * 2\pi}{0.1} = 314.2 \text{ rad/s}^2 \quad (25)$$

Za pojedine osi, momenti tromosti kugličnog vretena promjera $d_1 = 32 \text{ mm}$ iznose:

$$J_{z,x} = \frac{\pi}{32} d_1^4 \times L_{kvx} \times \rho = \frac{\pi}{32} \times 0.032^4 \times 0.5 \times 7850 = 4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ kg} \quad (26)$$

$$J_{z,y} = \frac{\pi}{32} d_1^4 \times L_{kvy} \times \rho = \frac{\pi}{32} \times 0.032^4 \times 0.63 \times 7850 = 5.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ kg} \quad (27)$$

$$J_{z,z} = \frac{\pi}{32} d_1^4 \times L_{kvz} \times \rho = \frac{\pi}{32} \times 0.032^4 \times 0.63 \times 7850 = 3.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ kg} \quad (28)$$

Izračunat je moment inercije uslijed ubrzanja rotacijske mase kugličnog vretena za svaku od osi:

$$T_{\omega',x} = J_{z,x} \times \omega' = 4.0 \times 10^{-4} \times 314.2 = 0.13 \text{ Nm} \quad (29)$$

$$T_{\omega',y} = J_{z,y} \times \omega' = 5.1 \times 10^{-4} \times 314.2 = 0.16 \text{ Nm} \quad (30)$$

$$T_{\omega',z} = J_{z,z} \times \omega' = 3.4 \times 10^{-4} \times 314.2 = 0.11 \text{ Nm} \quad (31)$$

Dobiveni momenti pribrojani su momentu uslijed aksijalnih sila na vreteno pri dimenzioniranju motora. Moment inercije rotora motora je zanemaren, a njegov utjecaj uračunat je u sigurnosni faktor.

3.4.4 Izračun sile uslijed težine prigona

Sila uslijed težine prigona prisutna je kod Z osi koja u najnepovoljnijem slučaju (tijekom podizanja radnog stola) radi suprotno sili teže. Kod osi X i Y gravitacijska sila nije prisutna u smjeru kretanja.

$$F_{g,x} = F_{g,y} = 0 \text{ N} \quad (32)$$

$$F_{g,z} = m_{i,z} * g = 595 \times 9.81 = 5836 N \quad (33)$$

3.4.5 Aksijalna sila u navojnom vretenu

Za izračun aksijalne sile u vretenu zbrojene su prethodno izračunate komponente:

$$F_a = F_{obr} + F_{tr} + F_i + F_g \quad (34)$$

$$F_{a,x} = 500 + 570 + 106 + 0 = 1176 N \quad (35)$$

$$F_{a,y} = 500 + 1372 + 165 + 0 = 2037 N \quad (36)$$

$$F_{a,z} = 500 + 738 + 179 + 5836 = 7268 N \quad (37)$$

3.4.6 Izračun potrebnih momenata motora posmičnog prigona

Iz izraza:

$$T_{mot} = \frac{\sum T}{i}; T = \frac{F_a \times P}{2 \times \pi \times \eta}; T_{\omega'} \quad (38)$$

slijedi:

$$T_{mot} = \frac{F_a \times P}{2 \times \pi \times \eta \times i} + \frac{T_{\omega'}}{i} \quad (39)$$

Za učinkovitost kugličnog navojnog vretena odabrana je vrijednost $\eta = 0.9$ iz [18].

Korak kugličnog navojnog vretena sve tri osi iznosi $P = 6 \text{ mm} = 0.006 \text{ m}$. Slijedi:

$$T_{mot,x} = \frac{F_{a,x} \times P}{2 \times \pi \times \eta \times i_x} + \frac{T_{\omega',x}}{i_x} = \frac{1176 \times 0.006}{2 \times \pi \times 0.9 \times 1} + 0.13 = 1.37 \text{ Nm} \quad (40)$$

$$T_{mot,y} = \frac{F_{a,y} \times P}{2 \times \pi \times \eta \times i_y} + \frac{T_{\omega',y}}{i_y} = \frac{2037 \times 0.006}{2 \times \pi \times 0.9 \times 1} + 0.16 = 2.32 \text{ Nm} \quad (41)$$

$$T_{mot,z} = \frac{F_{a,z} \times P}{2 \times \pi \times \eta \times i_z} + \frac{T_{\omega',z}}{i_z} = \frac{7268 \times 0.006}{2 \times \pi \times 0.9 \times 2} + \frac{0.11}{2} = 3.91 \text{ Nm} \quad (42)$$

3.4.7 Izračun minimalne frekvencije vrtnje motora posmičnog prigona

Za postizanje brzine brzog hoda od 4000 mm/min kod X i Y osi, odnosno 3500 mm/min kod Z osi, postavljen je uvjet da odabrani motor mora ostvariti frekvenciju vrtnje:

$$n = \frac{v \times i}{P} \quad (43)$$

Pri čemu je:

n - frekvencija vrtnje u okretajima po minuti, min^{-1}

v - posmična brzina, mm/min

P - korak vretena, mm/okr

i - prijenosni omjer

$$n_{min,xy} = \frac{v_{xy} \times i_{xy}}{P} = \frac{3500}{6} = 583 \text{ min}^{-1} \quad (44)$$

$$n_{min,z} = \frac{v_z \times i_z}{P} = \frac{2500 \times 2}{6} = 833 \text{ min}^{-1} \quad (45)$$

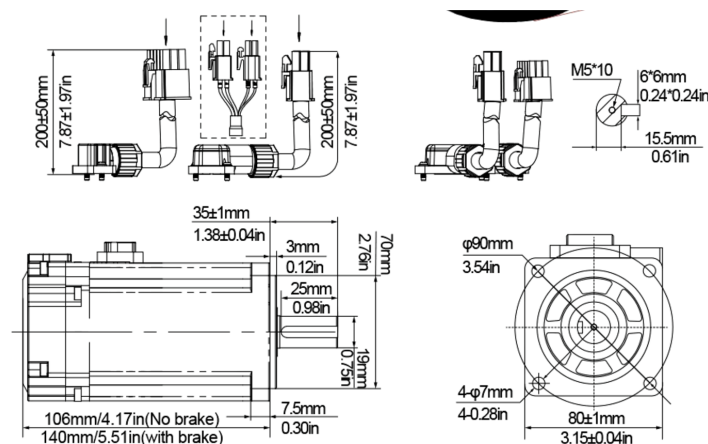
3.4.8 Odabir motora posmičnog prigona

Za prigon posmičnog gibanja glodalice, odabrani su sinkroni servomotori s permanentnim magnetima (eng. *Permanent magnet synchronous motor* - PMSM).

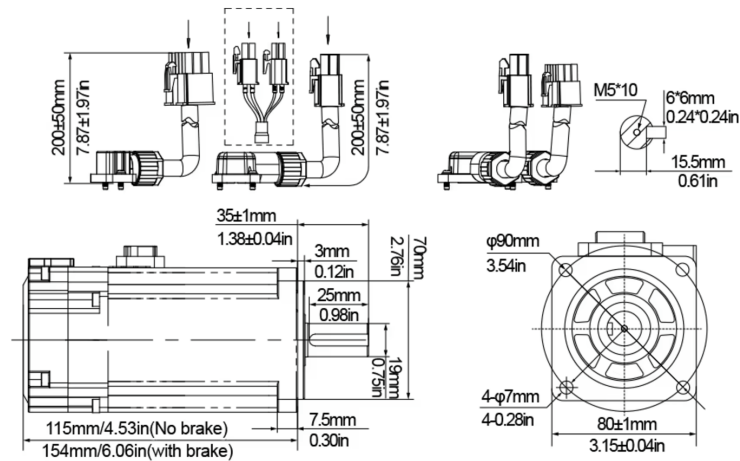
Odabrani su servo motori s odgovarajućim regulatorima kineskog proizvođača HL-TNC serije T3D. Regulatori motora napajaju se jednofazno pomoću 220V AC.

Uz servo motore instalirani su dodatni inkrementalni rotacijski enkodери za osi X, Y te inkrementalna mjerna letva za Z os, kako bi se regulacijska petlja pozicije mogla zatvoriti unutar NC jezgre.

Dimenzije servo motora T3D serije snage 750W i 1000W prikaze su redom na slikama 33 i 34, a njihova svojstva u tablici 1.



Slika 33: Dimenzije servo motora T3D proizvođača HLTNC snage 750W[20]



Slika 34: Dimenzije servo motora T3D proizvođača HLTNC snage 1000W[20]

Tablica 1: Tehničke specifikacije servo motora [20]

Svojstvo	750W servo	1000W servo
Radni napon (V)	220	220
Snaga (W)	750	1000
Broj pari polova rotora (P)	5	5
Nazivni oment (Nm)	2.4	3.8
Moment kratkotrajnog preopterećenja (Nm)	7.2	11.4
Nazivna/maksimalna brzina (rpm)	3000/5000	2500/3000
Nazivna struja (A)	4.8±10%	4.8±10%
Struja kratkotrajnog preopterećenja (A)	14.4±10%	14.4±10%
Koeficijent momenta (Nm/A)	0.5±10%	0.93±10%
Koeficijent elektromotorne sile (× 10 V/rpm)	33.2±10%	56±10%
Otpor (Ω)	1.6±10% (20)	3±10% (20)
Induktancija (mH)	9.5±20% (20°C)	19±20% (20°C)
Moment tromosti (X10V/rpm)	1.72 [1.77] ±10%	2.4 [2.45] ±10%
Dopušteno radijalno opterećenje (N)	245	392
Dopušteno aksijalno opterećenje (N)	74	147
Masa (kg)	2.2 [3]±10%	2.71 [3.36]±10%

Za odabrane servo motore potrebno je za svaku os osigurati da je radno opterećenje manje od nazivnog momenta pogonskog motora uz faktor sigurnosti:

$$S \geq 1.2 \quad (46)$$

Osigurano je da brzina vrtnje potrebna za ostvarivanje željenih brzina iz izraza 44 i 45 bude manja od nazivnih brzina motora iz tablice 1. Ukoliko se ne koristi dodatni reduktor na motoru, taj je uvjet zadovoljen.

3.4.9 Pogonski motor posmičnog prigona X osi

Za prigon osi X odabran je servo motor snage 750W bez kočnice. Uz poznati potrebni moment za pokretanje X osi (izraz 40) te nazivni moment i moment kratkotrajnog preopterećenja iz tablice 1, izračunat je faktor sigurnosti:

$$S_{x,nazivno} = \frac{T_{750,nazivno}}{T_{mot,x}} = \frac{2.4}{1.37} = 1.75 \quad (47)$$

$$S_{x,kratkotrajno} = \frac{T_{750,kratkotrajno}}{T_{mot,x}} = \frac{7.2}{1.37} = 5.25 \quad (48)$$

Prema izrazima 47 i 48, zaključeno je da odabrani servo motor zadovoljava uvjet iz izraza 46.

3.4.10 Pogonski motor posmičnog prigona Y osi

Za prigon osi Y odabran je servo motor snage 1000W bez kočnice. Uz poznati potrebni moment za pokretanje Y osi (izraz 41) te nazivni moment i moment kratkotrajnog preopterećenja za 1000W motor iz tablice 1, izračunat je faktor sigurnosti:

$$S_{y,nazivno} = \frac{T_{1000,nazivno}}{T_{mot,y}} = \frac{3.8}{2.32} = 1.64 \quad (49)$$

$$S_{y,kratkotrajno} = \frac{T_{1000,kratkotrajno}}{T_{mot,y}} = \frac{11.4}{2.32} = 4.91 \quad (50)$$

Prema izrazima 47 i 48, zaključeno je da odabrani servo motor zadovoljava uvjet iz izraza 46.

3.4.11 Pogonski motor posmičnog prigona Z osi

Za prigon osi Z osi odabran je servo motor nazivne snage 1000W s kočnicom. Kočnica je potrebna jer korišteno kuglično vreteno nije samokočno pa je potrebno osigurati da ne može doći do neplaniranog spuštanja radnog stola kada je motor isključen. Uz poznati

potrebni moment za pokretanje Z osi (izraz 42) te nazivni moment i moment kratkotrajnog preopterećenja za razmatrani motor iz tablice 1, izračunat je faktor sigurnosti:

$$S_{z,nazivno} = \frac{T_{1000,nazivno}}{T_{mot,z}} = \frac{3.8}{3.91} = 0.97 \quad (51)$$

$$S_{z,kratkotrajno} = \frac{T_{1000,kratkotrajno}}{T_{mot,z}} = \frac{11.4}{3.91} = 2.92 \quad (52)$$

Odabrani motor ne zadovoljava uvjet iz izraza 46. Kako bi se spriječile opasne situacije za stroj i operatera, koje mogu nastati uslijed greške u radu pogonskog motora Z osi, ponovljen je postupak odabira motora radi ostvarenja zadovoljavajućeg sigurnosnog faktora.

Do greške u radu može doći kada motor predugo radi u preopterećenju ili kada motor nije u mogućnosti izvršiti traženo gibanje pa dolazi do greške slijeđenja. Grešku uslijed preopterećenja motora detektira regulator servo motora i javlja NC jezgri. Grešku slijeđenja javlja servo regulator ukoliko je regulator pozicije realiziran unutar servo regulatora. Ukoliko je regulator pozicije realiziran unutar NC računala, NC jezgra detektira grešku slijeđenja.

U oba slučaja, NC jezgra mora pratiti je li došlo do greške u radu regulatora servo motora. Kod T3D regulatora, stanje greške signalizira digitalni izlaz „ALARM“.

Opasna situacija može nastati i ako zakaže kočnica motora, za što postoji povećani rizik ukoliko je i ona u preopterećenju.

Kako je u ovom slučaju motor već pribavljen, provjereno je može li se na isti dodati redukciju kako bi se zadovoljili uvjeti željenih brzina brzog hoda i traženog momenta. Najveći stupanj redukcije i (koji ne uključuje već razmatranu redukciju iz izraza 45), moguće je izračunati preko nazivne brzine:

$$i_{max,motz} = \frac{n_{v,nazivna,1000W}}{n_{min,z}} = \frac{2500}{833} = 3.00 \quad (53)$$

Odabran je planetarni reduktor TG90-G3 proizvođača STEPPERONLINE (specifikacije u tablici 2) stupnja redukcije $i = 3$, predviđen za direktnu montažu na motor s prirubnicom promjera 70 mm. Ponovno je izračunat potreban moment motora Z uz dodatnu redukciju:

Tablica 2: Tehničke specifikacije reduktora TG90-G3 [25]

Specifikacija	Vrijednost
Vijek trajanja (h)	20000
Vodootpornost	IP54
Radna temperatura (°C)	-20 - 150
Nazivna ulazna brzina (RPM)	6000
Duljina ulaznog vratila prijenosnika (mm)	22 - 41
Maks. aksijalno opterećenje vratila (N)	800
Maks. dopušteni okretni moment (Nm) [lb-in]	60.00 [531.04]
Maks. kratkotrajni okretni moment (Nm) [lb-in]	120.00 [1062.08]
Zračnost bez opterećenja (arcmin)	≤ 10
Učinkovitost	96%
Maks. radijalno opterećenje osovine (N)	1000
Maks. ulazna brzina (RPM)	6000
Razina buke (dB)	≤ 55
Prijenosni omjer	3

$$T_{mot,z'} = \frac{F_{a,z} \times P}{2 \times \pi \times \eta \times i_z \times i_{z2}} + \frac{T_{\omega',z}}{i_z \times i_{z2}} = \frac{7268 \times 0.006}{2 \times \pi \times 0.9 \times 2 \times 3} + \frac{0.11}{2 \times 3} = 1.30 \text{ Nm} \quad (54)$$

Ponovno se izračunava sigurnosni faktor:

$$S_{z',nazivno} = \frac{T_{1000,nazivno}}{T_{mot,z'}} = \frac{3.8}{1.30} = 2.92 \quad (55)$$

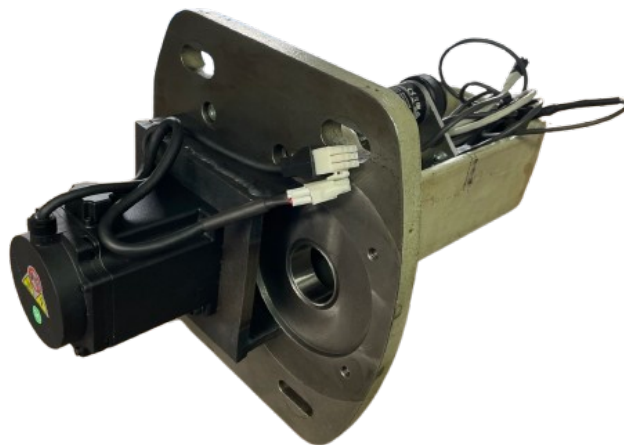
$$S_{z',kratkotrajno} = \frac{T_{1000,kratkotrajno}}{T_{mot,z'}} = \frac{11.4}{1.30} = 8.77 \quad (56)$$

Uz navedeni reduktor, pogonski motor prigona Z osi neće raditi u preopterećenju, već uz zadovoljavajući faktor sigurnosti. Uvođenjem reduktora u sustav unaša se zračnost, no radi utjecaja gravitacije na Z os i velike mase elemenata koji kontinuirano naprežu maticu kugličnog vretena, pretpostavlja se da zračnost neće doći do izražaja osim u ekstremnom režimima obrade.

3.4.12 Prihvatni elementi motora posmičnog prigona

Motore posmičnog prigona X i Y osi nije bilo moguće montirati u isti položaj kao u originalnoj izvedbi radi uklonjenog stupnja redukcije. Montirani su u poziciju u kojoj se os vratila motora poklapa s osi izlaznog vratila jednostupanjske zupčane redukcije iz originalne izvedbe. Spoj vratila motora s izlaznim vratilom izveden je pomoću spojke s elastičnim čeličnim prstenima.

Prihvat motora osi X prikazan je na slici 35. Za montažu motora na ploču od sivog lijeva izrađen je prihvatni element te je izrađen provrt za prolazak spojke na ploči od sivog lijeva. Na vratilu je montiran inkrementalni enkoder koji mjeri rotacijski položaj vratila s prijenosnim omjerom $i = 1$.



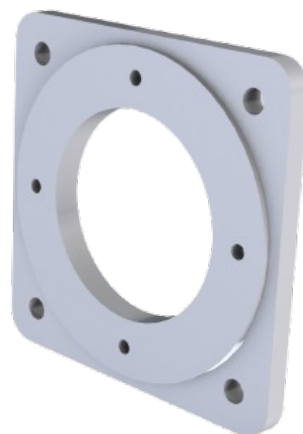
Slika 35: Prihvatni element servo motora X osi

Izlazni zupčanik jednostupanjske redukcije u originalnoj izvedbi Y osi nalazio se na kugličnom navojnom vretenu. Izrađen je prihvatni element za motor kako bi se vratilo motora moglo postaviti u os s produžetkom vretena (slika 36). Vreteno i vratilo motora spojeni su spojkom s elastičnim čeličnim prstenima. Na suprotnu stranu kugličnog vretena montiran je inkrementalni enkoder i povezan kandžastom spojkom.

Za montažu motora Z osi izrađena je prirubnica za direktnu montažu motora, odnosno motora s reduktorom (slika 37). Očitavanje pozicije Z osi ostvareno je inkrementalnom mjernom letvom montiranom na za to predviđeno mjesto iz originalne izvedbe.



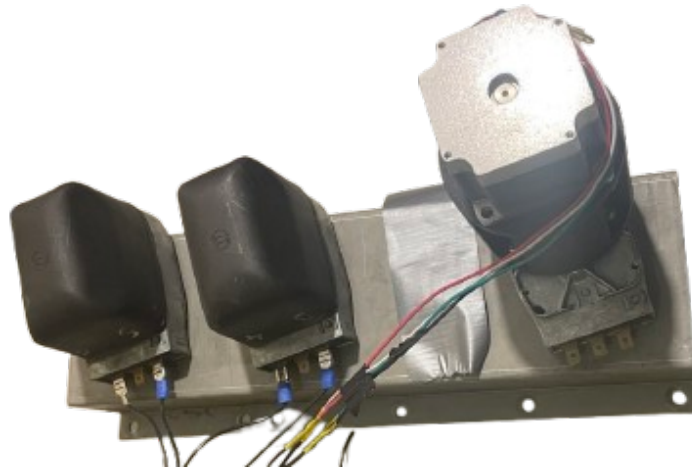
Slika 36: Prihvatni element servo motora Y osi



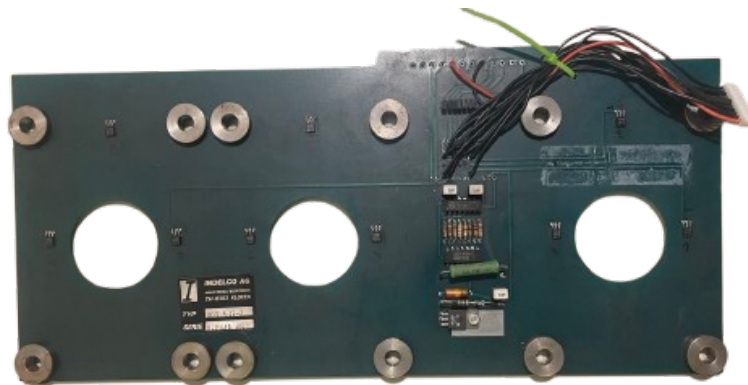
Slika 37: Prirubnica Z osi

3.5 Elektroničko sklopovlje reduktora glavnog vretena

Reduktor glavnog vretena sastoji se od mehaničkog djela (pomičnih blokova zupčanika) te električnog djela (senzora položaja i aktuatora). Mehanički dio nije bilo potrebno modificirati radi utvrđene ispravnosti. Od tri aktuatora, 24V DC motora, jedan je zatečen u neispravnom stanju pa je zamijenjen koračnim motorom (slika 38). Postojeće elektroničko sklopovlje za očitavanje položaja pomičnih blokova reduktora je zadržano, kako ne se ne bi trebalo izrađivati novo (slika 39).



Slika 38: Aktuatori reduktora glavnog vretena - koračni motor i dva istosmjerna motora



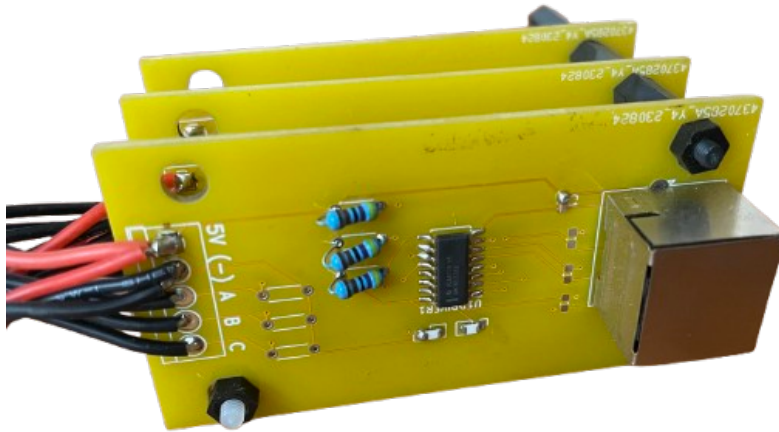
Slika 39: Elektroničko sklopovlje s izvučenim napajanjem i 9 izlaza senzora magnetnog polja spojenih na JST-XH konektor s 11 izvodnica

Elektronička pločica sadrži 9 senzora magnetnog polja tipa UGN3120U koji se napajaju pomoću istosmjernog napajanja napona najmanje 4V, a najviše 24V. Digitalni senzori tipa UGN3120U imaju izlaz konfiguriran kao otvoreni kolektor (eng. *open-*

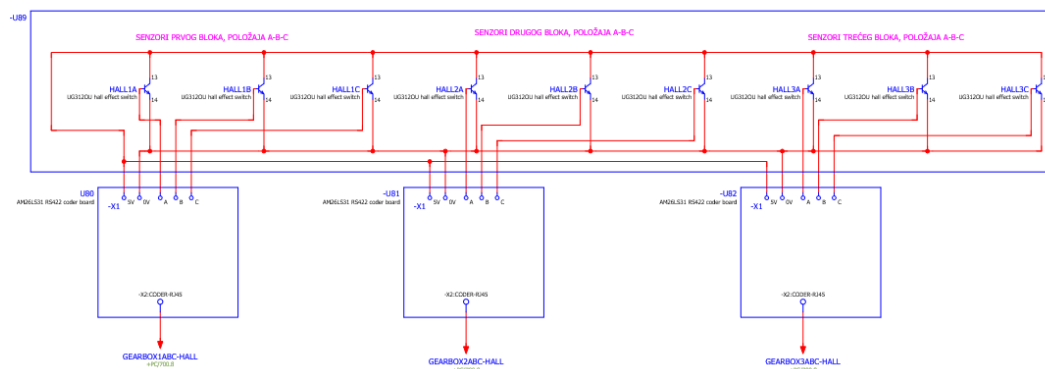
collector) [15], što znači da tranzistor dovodi izlaz na potencijal uzemljenja kada je u aktivnom stanju (logička nula), dok u neaktivnom stanju izlaz ostaje u stanju visoke impedancije (eng. *high-impedance state*).

Primjenom pull-up otpornika na izlazu, u aktivnom stanju (kada je tranzistor provodan), izlaz i dalje predstavlja logičku nulu. U neaktivnom stanju (kada je tranzistor neprovodan), pull-up otpornik dovodi izlaz na napon napajanja, čime se uspostavlja logička jedinica.

Zajedničko napajanje i izlaz svakog od senzora elektroničke pločice se spaja na pretvornik jednostrukih signala u diferencijalne (slika 40, slika 41). Signali se FTP Cat6 kablom prenose do pretvornika diferencijalnih u jednostruke signale u elektro ormaru (slika 29) te se tako kondicionirani spajaju na FPGA karticu 5i24-25.



Slika 40: RS-485 pretvornik baziran na AM26LS31 integriranom krugu



Slika 41: Elektro spojna shema sklopa za očitavanje vrijednosti senzora položaja reduktora glavnog vretena

4 ZAŠTITNE KOMPONENTE

Upravljački sustav treba biti izveden na način da štiti komponente od preopterećenja i kratkih spojeva koje mogu ugroziti sigurnost ili funkcionalnost pri radu.

Zaštita od preopterećenja motora i zaštita od kratkog spoja obično se ostvaruje kombiniranjem više uređaja. Kod niskonaponskih sustava, takvu zaštitu moguće je ostvariti upotrebom motorne zaštitne sklopke. Motorna zaštitna sklopka funkcionira tako da štiti motor od preopterećenja i kratkih spojeva kombinacijom termalne zaštite, koja reagira na dugotrajna preopterećenja, i magnetske zaštite, koja trenutno isključuje struju u slučaju kratkog spoja. Motorne zaštitne sklopke imaju mogućnost podešavanja nazivne struje. Obično se podešavaju na 100–115% nazivne struje motora, kako bi se osigurala zaštita od dugotrajnih preopterećenja bez nepotrebnog isključenja pri kratkotrajnim preopterećenjima. [16]

Motorna zaštitna sklopka osjetljiva je na prividnu snagu trošila, stoga je bitno razlikovati prividnu od radne i jalove snage.

Radna snaga je snaga koju uređaj pretvara u korisni rad:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (57)$$

Jalova snaga je potrebna za održavanje elektromagnetnih polja i ne doprinosi korisnom radu:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (58)$$

Prividna snaga označava ukupno opterećenje na električnu mrežu, a iznosom je jednaka vektorskom zbroju radne i jalove snage:

$$S = U \times I \quad (59)$$

Kod induktivnih trošila struja zaostaje za naponom, odnosno fazni kut postaje pozitivan. Porastom faznog kuta povećava se opterećenje na električnu mrežu i gubitci uslijed veće struje za istu radnu snagu.

Kod trofaznih asinkronih motora, faktor snage $\cos \varphi$ je izražen na pločici, a iznosi manje od 1. Pri upravljanju asinkronim motorom pomoću frekvencijskog pretvarača, faktor snage na strani motora je specifičan za motor (odnosno manji od 1), ali na strani napajanja frekvencijskog pretvarača faktor snage je uobičajeno bliži 1, radi prirode rada

frekvencijskog pretvarača[16]. U proračunu u nastavku će se pretpostaviti da je faktor snage na strani napajanja frekvencijskog pretvarača idealan, odnosno da je $\cos \varphi = 1$.

Upravljački sustav stroja Mikron WF3 podijeljen je na dva djela:

1. Izvršni dio: podrazumijeva sva trošila kojima u slučaju nužde mora biti isključen dovod napajanja
2. Logički dio: podrazumijeva upravljačko računalo, napajanja za logičke krugove (kojima se napaja i sigurnosni relej) te ostala trošila.

Prije dijeljenja sustava na izvršni i logički dio u električnom ormaru, postavljen je niskonaponski rastalni osigurač karakteristike gG. Kućište osigurača ima detekciju gubitka faze, a prije njega u strujnom krugu je postavljena grebenasta sklopka za fizičko isključivanje stroja s mreže (oznake F1 i Q1 na slici 24).

4.1 Zaštita prigona glavnog gibanja

Pogonski motor glavnog prigona je trofazni asinkroni kavezni motor, a upravlja se pomoću frekvencijskog pretvarača.

U svrhu zaštite motora pri korištenju frekvencijskog pretvarača, određena je odgovarajuća zaštitna motorna sklopka. Zaštitna motorna sklopka prikladan je izbor za strujnu zaštitu frekvencijskog pretvarača jer omogućava kratkotrajno preopterećenje prisutno kod uključivanja ili kratkotrajnog preopterećenja u radu.

Motor će raditi u Y spoju na 60 Hz, pri čemu razvija snagu iznosa 4.0 kW i brzinu vrtnje 3390 okretaja u minuti(slika 10).

Nazivnu struju moguće je izračunati pomoću izraza:

$$I_{RMS} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \quad (60)$$

$$I_{RMS,gg} = \frac{4000}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} = 6,07A \quad (61)$$

Za odabir motorne zaštite, nazivna struja uvećana je za 10%:

$$I_{mzs,gg} = I_{RMS,gg} \times 1.1 = 6,68A \quad (62)$$

Odabrana je motorna zaštita proizvođača Schneider electric tipa GZ1E-10,0 s mogućnosti podešavanja nazivne struje u rangu od 6A do 10A (slika 42) s mirnim pomoćnim kontaktom.

Motorna zaštita napajanja glavnog gibanja postavljena je u strujni krug nakon glavnih kontaktora pogonskog kruga. Na nju je spojen samo pripadajući frekvencijski pretvarač, kao što je prikazano na slici 24.



Slika 42: Motorna zaštitna sklopka s područjem podešavanja 6A-10A

Proizvođač Hitachi preporučuje ugradnju AC prigušnice i filtra elektromagnetskih smetnji (*Electromagnetic Interference - EMI*) na ulaznoj strani frekvencijskog pretvarača. AC prigušnica smanjuje harmonike i prenapone na ulaznoj strani, dok EMI filter uklanja visoke frekvencije iz sustava, čime se smanjuju elektromagnetske smetnje prema mreži kako bi se zadovoljili standardi elektromagnetne kompatibilnosti. [24]

Radi ograničenog budžeta, AC prigušnica i EMI filter nisu inicijalno postavljeni, no osigurano je dovoljno mjesta u elektro-ormaru za njihovu naknadnu instalaciju.

4.2 Zaštitni elementi regulatora posmičnih prigona

Servo motori, odnosno njihovi regulatori, također su dio izvršnog djela strujnog kruga. Odabrani regulatori motora posmičnih prigona napajaju se izmjeničnim izvorom od 220V te je preporuka proizvođača galvanski ih odvojiti od ostalih trošila transformatorom [20]. Uz galvansku izolaciju, potrebno je odabrati i zaštitnu motornu sklopku kako bi se do-

pustio kratkotrajni rad u preopterećenju.

Za galvansku izolaciju odabran je trofazni transformator napona primara 380V i delta spoja na primaru i 380V i zvijezda spoja na sekundaru. Spajanjem pojedine faze sekundara s neutralnim vodičem (N) sekundara, ostvaruje se jednofazni napon od 220V. Na temelju ukupne potrošnje servo regulatora određena je odgovarajuća nazivna snaga transformatora.

Kada je svaki servo regulator spojen na jednu od tri faze sekundara, pojednostavljenjem uz pretpostavku simetričnosti trošila - da je svaki servo regulator snage 1000W, odnosno da čine trofazni sustav snage 3000W (iako je u stvarnosti servo regulator X osi snage 750W):

$$P_{tr} = \frac{P_{uk}}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (63)$$

pri čemu je

P_{tr} - snaga transformatora, VA

$\eta = 0.95 - 0.98$ - učinkovitost transformatora

$\cos \varphi$ - faktor snage, obično 0.9-1 za servo regulatore

$$P_{uk} = 3 \times 1000 = 3000 \text{ W} \quad (64)$$

$$P_{tr} = \frac{3000}{0.95 \times 0.95} = 3324 \text{ VA} \approx 3.3 \text{ kVA} \quad (65)$$

Transformator snage 3.3 kVA ili više osigurao bi da servo motori mogu kontinuirano raditi pri nazivnom opterećenju. Ipak, uzevši u obzir sigurnosne faktore momenta motora pojedinih osi izračunatih u poglavlju 3.4.8, koji redom iznose 1.93, 1.76 i 2.96 za X, Y i Z os, potrebna snaga transformatora u normalnom radu biti će manja od izračunatih 3.3 kVA. Uz faktor sigurnosti $S = 1.1$:

$$P_{tr,min} = \frac{P_{tr} \times S}{\min(1.93, 1.76, 2.96)} = \frac{3.3 \times 1.1}{1.76} = 2.06 \text{ kVA} \quad (66)$$

Za galvansku izolaciju odabran je tofazni transformator Dy5 TTO 2 proizvođača Trafo, čije su specifikacije prikazane u tablici 3.

Tip zaštitne motorne sklopke odabrana je prema nazivnoj struji motora (tablica 1) iznosa 4.8A, uvećanoj za 10%:

Tablica 3: Specifikacije transformatora TT2 proizvođača Trafo.hr

Svojstvo	Vrijednost
Nazivna snaga [kVA]:	2
Nazivni napon [V]:	do 1000
Frekvencija [Hz]:	50 / 60
Grupa spoja:	Dy5
Temperaturna klasa:	F
Temperatura okoline [°C]:	40
Stupanj mehaničke zaštite:	IP00
Hlađenje:	AN
Priključak:	Redne stezaljke
Gubici [W]:	125
Masa [kg]:	24

$$I_{servo,gg} = I_{RMS,servo} \times 1.1 = 5.28A \quad (67)$$

Odabrana je trofazna motorna zaštitna sklopka proizvođača Telemecanique tipa LRD 10 s pomoćnim mirnim kontaktom, s područjem podešavanja nazivne struje 4.0-6.3A.

4.2.1 Zaštita ostalih elemenata izvršnog djela sustava

Među trošila koja su dio izvršnog djela sustava koji se iskapča u slučaju nužde, osim pogonskih motora glavnog i posmičnog gibanja, spadaju i sustav za otpuštanje alata i pumpa za SHIP.

Hidraulički agregat je trofazno trošilo (AC kavezni asinkroni motor) koje se preko motorne zaštite može spojiti direktno na trofaznu mrežu. Prema nazivnoj snazi motora hidrauličkog agregata od 300W, radnom naponu 380V i faktoru snage 0.87 koji se očitavaju s pločice s karakteristikama, izračunata je nazivna struja:

$$I_{RMS,hydr} = \frac{300}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.87} = 0.52A \quad (68)$$

Za odabir motorne zaštite, nazivna struja uvećana je za 10%:

$$I_{mzs,hydr} = I_{RMS,hydr} \times 1.1 = 0.52 \times 1.1 = 0,57A \quad (69)$$

Odabrana je motorna zaštitna sklopka proizvođača ABB tipa MS116-0.63 s pomoćnim mirnim kontaktom, s područjem podešavanja nazivne struje 0.4-0.63A.

Pri odabiru motorne zaštite pumpe za SHIP upravljane pomoću frekvencijskog pretvarača, s pločice s karakteristikama pumpe je očitana struja 0.27A pri Y spoju i 380V naponu.

$$I_{mzs,ship} = I_{RMS,ship} \times 1.1 = 0.27 \times 1.1 = 0.30A \quad (70)$$

Odabrana je motorna zaštitna sklopka proizvođača ABB tipa MS116-0.4 s pomoćnim mirnim kontaktom, s područjem podešavanja nazivne struje 0.25-0.4A.

4.3 Napajanje logičkih sustava

Logički sustavi stroja napajaju se sve dok je glavni prekidač stroja uključen. Time se osigurava neprestani rad sigurnosnog releja, upravljačkog računala i drugih komponenti kritičnih za sigurnost sustava.

Napajanje logičkih sustava stroja galvanski je izolirano od mreže pomoću jednofaznog transformatora 380/220V. Izolacija osigurava zaštitu logičkih i upravljačkih elemenata od elektromagnetnih smetnji koje generiraju pogonski uređaji. Minimalna snaga transformatora, određena je zbrajanjem individualnih snaga svih trošila u logičkom dijelu sustava iznosi:

$$P_{log} = P_{DC24+5} + P_{DC24} + P_{DC12} + P_{PC} + P_{ekran} + P_{rezerva} \quad (71)$$

$$P_{log} = 400 + 100 + 100 + 300 + 80 + 350 = 1330W \quad (72)$$

$$P_{tr,log} = \frac{1330}{0.95 * 1} = 1400 VA \quad (73)$$

Odabran je transformator nominalne snage 2.0 kVA kako bi se omogućilo proširenje sustava u budućnosti.

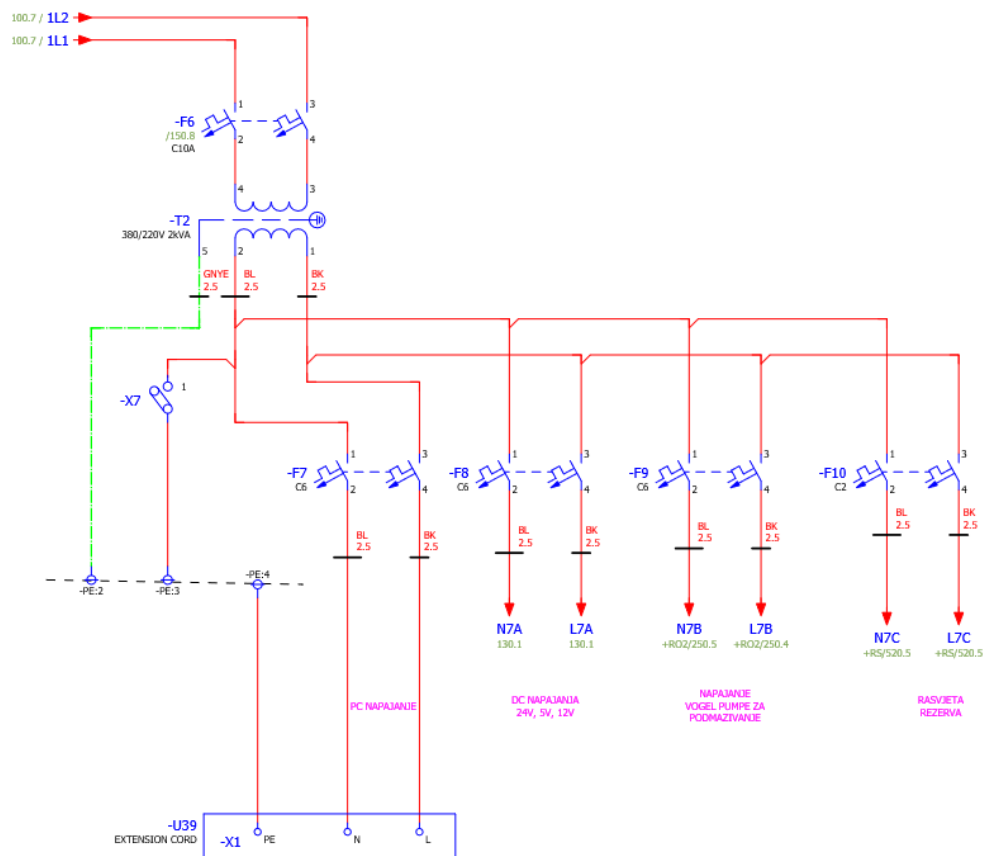
Svaki izvor istosmjernog (DC) napajanja u logičkom dijelu sustava zaštićen je vlastitim automatskim osiguračem, čime se osigurava zaštita od kratkih spojeva i preopterećenja u pojedinim granama sustava. Osigurači su dimenzionirani prema nazivnoj struji pojedinog trošila, što omogućuje brzo iskapčanje u slučaju greške.

Kočnica motora na prigonu Z osi ima posebno 24 V DC napajanje, kako tranzijenti pri njenom ukapčanju i iskapčanju ne bi radili smetnje na zajedničkoj 24V sabirnici[16].

Dvije od tri faze opterećene su trošilima logičkog sustava ukupne snage 2000W. Uzevši u obzir radni napon od 380V na ulazu u transformator, izračunata je nazivna struja:

$$I_{RMS,log,380} = \frac{P}{U} = \frac{2000}{380} = 5.26A \quad (74)$$

Razvod napajanja logičkog kruga prikazan je na slici 43.



Slika 43: Razvod napajanja logičkog djela sustava

Komponente električnog sustava prikazane su u tablici 4.

Napajanje 220V logičkog sustava preko jednofaznog transformatora nesimetrično opterećuje faze trofaznog sustava. Naknadnom ugradnjom servo regulatora 4. osi će sve tri faze biti približno jednako opterećene.

Uz poznatu nazivnu struju tri faze, odabrani su gG rastalni osigurači struje 20A kao zaštitni element na ulazu. Rastalni osigurači će radi svojih karakteristika dopustiti visoke ulazne struje i kratkotrajna preopterećenja uz zaštitu od kratkog spoja u sustavu.[16]

Tablica 4: Struje i snage trošila sustava

Trošilo	Jakost struje faze L1	Jakost struje faze L2	Jakost struje faze L3	Snaga
Glavno vreteno	6.07	6.07	6.07	4000
Servo motori	4.80	4.80	4.80	3000
Hidraulika	0.52	0.52	0.52	300
SHIP pumpa	0.27	0.27	0.27	150
<i>Rezerva 4. os</i>	0.00	0.00	4.80	1000
Ukupno izvršni dio	11.66	11.66	16.46	8450
Ukupno logički dio	5.26	5.26	0.00	2000
Ukupno	16.92	16.92	16.46	10450

Grebenasta sklopka odabrana je prema uvjetu da može izdržati struju od barem 20A.

Vodiči od ulaznog voda do individualnih trošila moraju biti presjeka 4mm^2 . Nakon toga je moguće koristiti žice presjeka 2.5mm^2 , odnosno do 1mm^2 za napajanje, sustav za otpuštanje alata i SHIP pumpu.

Uz ukupnu struju izvršnog djela sustava i faktora sigurnosti 1.5, odabrani su kontaktori K1 i K2 (slika 24) proizvođača Siemens, nazivne struje 30A.

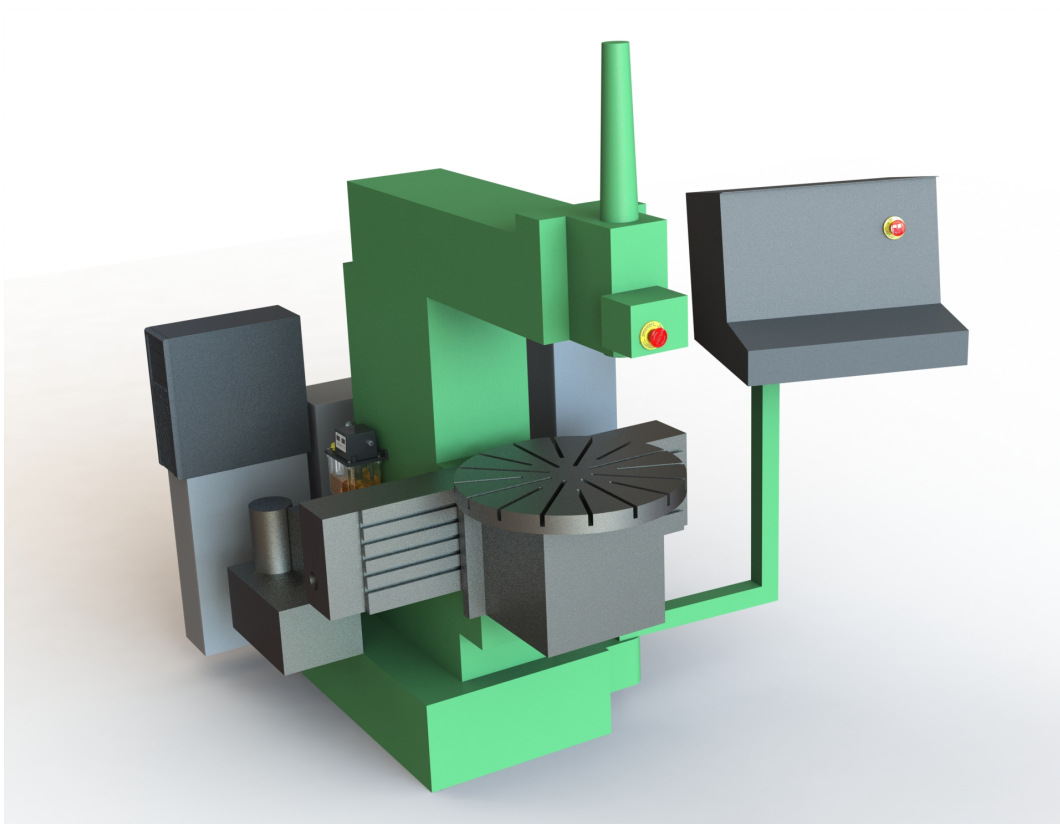
5 3D MODEL I ELEKTRO SPOJNA SHEMA

U programskom paketu SOLIDWORKS izrađen je 3D model razmatranog stroja. Model se sastoji od pomičnih i nepomičnih sklopova. Nepomični dio konstrukcije uključuje postolje i bazu stroja, električne ormare, upravljačko računalo (PC), NC pult, hidraulički agregat i pumpu za podmazivanje. Model je prikazan na slikama 44 i 45. Na slici 46 prikazan je karakteristični koordinatni sustav vretena u vertikalnoj kofiguraciji stroja.

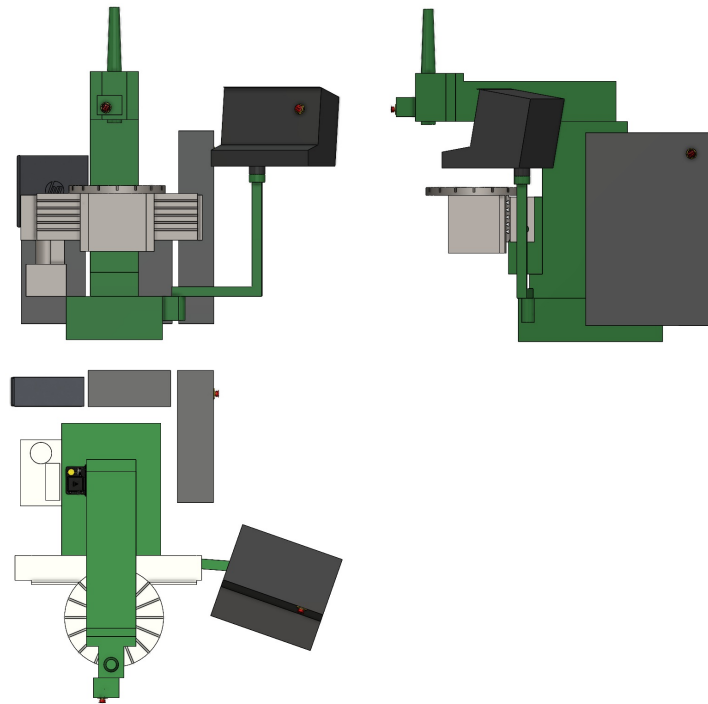
Pomični dijelovi konstrukcije su prigoni osi X, Y i Z, a imaju slobodu gibanja u istoimenoj osi. Dijelovi stroja modelirani su na način da se mogu izvesti u *.stl* format u koordinatnom sustavu stroja na isti način kako će biti postavljene u završnoj LinuxCNC konfiguraciji.

Pomoću Vismach alata i navedenih *.stl* datoteka, moći će se testirati konfiguracija stroja u virtualnom okruženju prije testiranja i puštanja u pogon. Vismach je alat unutar LinuxCNC-a koji omogućuje 3D vizualizaciju i simulaciju kinematike strojeva.

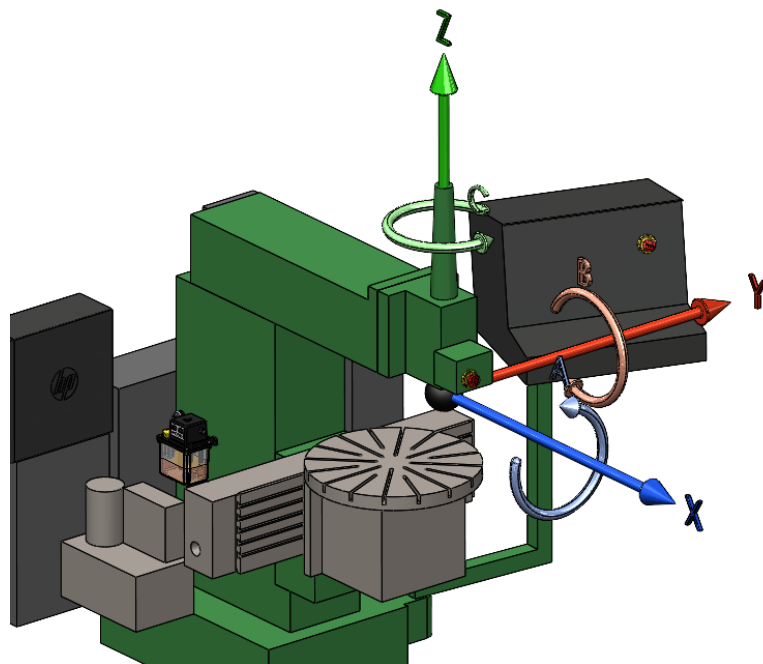
U programskom paketu EPLAN izrađena je elektro instalacijska shema, odnosno elektro spojna shema. Shema je podijeljena na sustave kao što je prikazano na slici 47. Cjelovita shema nalazi se u prilogu rada.



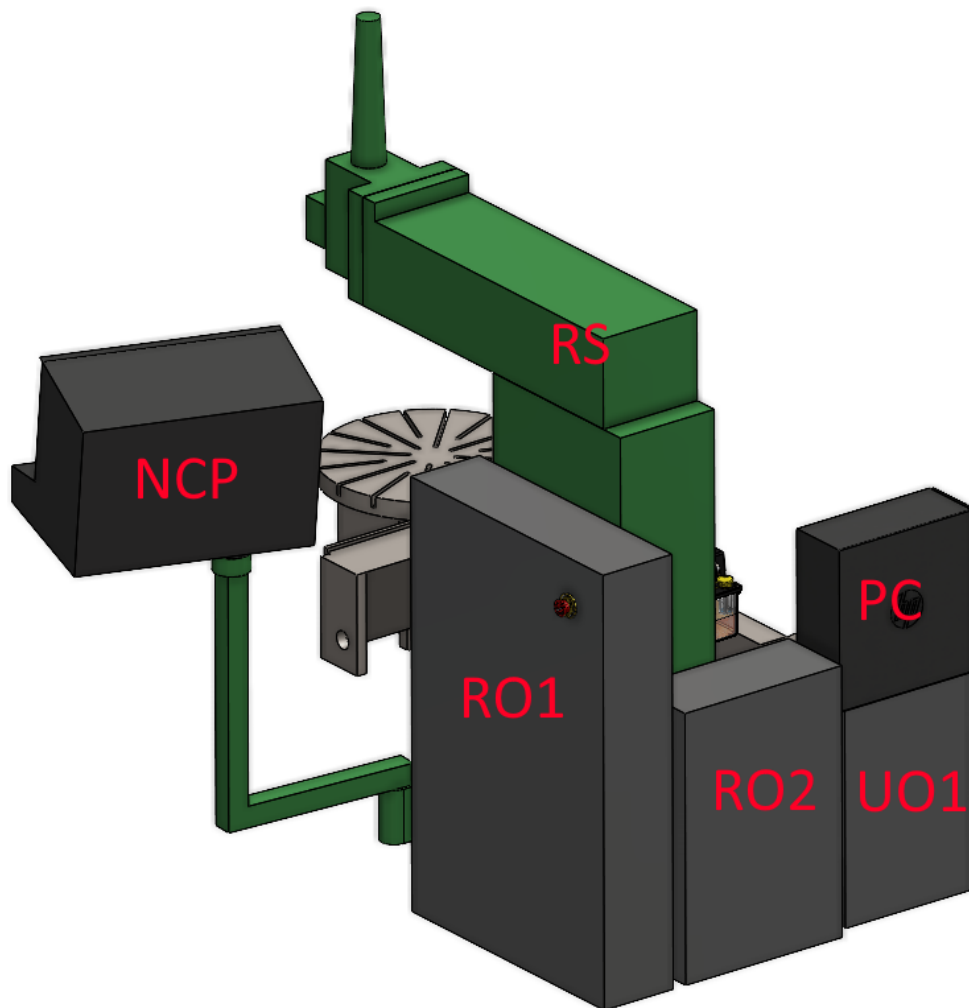
Slika 44: Prikaz modela revitaliziranog stroja Mikron WF3



Slika 45: Nacrt, floct i bokocrt stroja Mikron WF3



Slika 46: Prikaz koordinatnog sustava glavnog vretena u vertikalnoj konfiguraciji



Slika 47: Prikaz kako je sustav podijeljen u elektro spojnim shemama: razvodni ormari 1 i 2 (RO1, RO2), upravljački ormar (UO1), radni stroj (RS), upravljačko računalo (PC) i NC pult (NCP)

6 ZAKLJUČAK

Umjesto značajnih ulaganja u nove strojeve, revitalizacija omogućava zadržavanje postojećih mehaničkih dijelova uz implementaciju suvremenih tehnologija, čime se može povećati preciznost, učinkovitost i fleksibilnost proizvodnih procesa. Ovaj pristup pridonosi održivom poslovanju jer smanjuje potrebu za zamjenom dotrajalih sustava, uz pozitivan utjecaj na okoliš, istovremeno osiguravajući usklađenost s modernim proizvodnim standardima.

U radu je bilo potrebno izvršiti uvid i opisati zatečeno stanje stroja Mikron WF3, te odabrati elemente nužne za nadogradnju upravljačkog sustava uz korištenje softvera otvorene arhitekture LinuxCNC.

Opisana su sučelja za povezivanje LinuxCNC-a s hardverskim komponentama. Sigurnost je bila ključni aspekt tijekom svih faza revitalizacije. Posebna pažnja posvećena je implementaciji sigurnosnih mjera, uključujući modernizaciju sigurnosnog logičkog kruga u svrhu zaštite operatera. Ostvareno je da sigurnosni sustav stroja ostane funkcionalan i u slučaju softverske ili hardverske greške.

Dimenzionirani su i odabrani pogonski motori posmičnog prigona uz izračun sile trenja u sustavu, inercijskih sila, sile teže te uz pretpostavku sile strojne obrade. Odabrane su zaštitne motorne sklopke i rastalni osigurači za zaštitu od kratkih spojeva i preopterećenja, kao i elementi galvanske izolacije.

Na poslijetku su izrađeni 3D model stroja i detaljne elektro instalacijske sheme.

Proces revitalizacije pokazao se vrlo opsežnim i složenim zadatkom jer zadire u područja mehaničkog, električnog i računalnog inženjerstva pri čemu je bilo potrebno zadovoljiti stroge industrijske standarde radi prirode procesa strojne obrade. Poseban izazov predstavila je integracija automatskog reduktora glavnog prigona, iza koje je bio dugotrajan proces mapiranja stupnjeva redukcije, kao i povezivanje postojećeg elektroničkog sklopovlja s ostatkom upravljačkog sustava. Većina originalnih dijelova stroja uspješno je zadržana, čime je osigurana funkcionalnost stroja u skladu s izvornim specifikacijama.

Sljedeći koraci u realizaciji uključuju završetak izrade elektro-ormara, što podrazumijeva ožičenje i integraciju svih odabranih komponenti. Nakon toga slijedi parametrisiranje upravljačkog sustava LinuxCNC i testiranje sustava. Ovo uključuje provjeru funkcionalnosti svih regulacijskih petlji, ocjenu odziva sustava i simulaciju različitih radnih uvjeta kako bi se osigurala potpuna spremnost stroja prije puštanja u rad.

LITERATURA



- [1] Mikron WF31SA Operating instructions number 152.36.74.101, 1989, Mikron AG Biel, CH-2501 Biel/Switzerland
- [2] Mikron WF Milling Machines – Anglo-Swiss Tools [Internet]. Dostupno na: <https://anglo-swiss-tools.co.uk/mikron-wf-milling-machines/>. Pristupljeno 19. rujna 2024.
- [3] International Organization for Standardization. Tool shanks with 7/24 taper for automatic tool changers – Part 1: Dimensions and designation of shanks of forms A, AD, AF, U, UD and UF. Ženeva: ISO; 2007.
- [4] Smith GT. CNC Machining: Handbook of Turning and Machining Centres. London: Springer-Verlag; 1993. ISBN-13: 978-3-540-19586-3. DOI: 10.1007/978-1-4471-1748-3.
- [5] Mwinterm. GitHub - mwinterm/Mikron_WF_x1C [Internet]. GitHub. Dostupno na: https://github.com/mwinterm/Mikron_WF_x1C Pristupljeno 10.9.2024.
- [6] NSK. Ball Screw [Internet]. Dostupno na: <https://www.bdiexpress.com/ca/en/Linear-Motion-Products/Complete-Assemblies/Ball-Screw-Assemblies/W3206SS-5Z-C5Z8/p/1196363>. Pristupljeno 10. 11. 2024.
- [7] Pritschow G, Altintas Y, Jovane F, Koren Y, Mitsuishi M, Takata S, et al. Open Controller Architecture – Past, Present and Future. CIRP Annals. 2001;50(2):463–470. doi:10.1016/S0007-8506(07)62998-5.
- [8] LinuxCNC Documentation Release 2.9.2. [Internet]. Dostupno na: <https://linuxcnc.org/docs/2.9/html/> Pristupljeno 16.11.2024.
- [9] Mach3 CNC Control Software. [Internet]. Dostupno na: <https://www.machsupport.com/software/mach3/>. Pristupljeno 16.11.2024.
- [10] GRBL - An open source, high performance G-code interpreter for CNC milling. [Internet]. Dostupno na: <https://github.com/gnea/grbl>. Pristupljeno 16.11.2024.
- [11] EN ISO 13849-1:2008. Sigurnost strojeva – Sigurnosni dijelovi sustava za nadzor. Hrvatski zavod za norme; 2008.

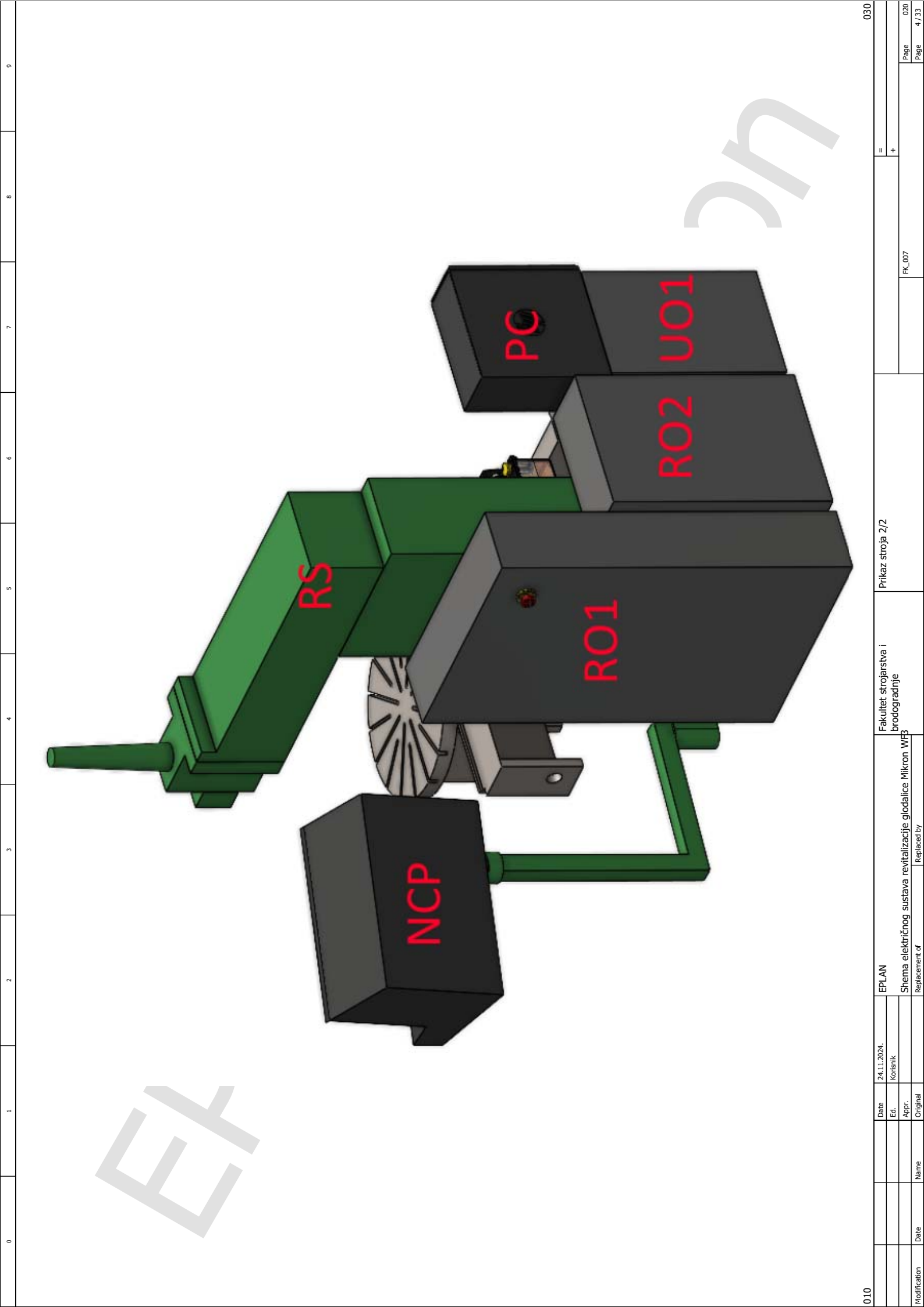
- [12] EN 60204-1:2018. Sigurnost strojeva – Električna oprema strojeva. Hrvatski zavod za norme; 2018.
- [13] Zhang W, Wan M. Cutting Forces in Milling Processes. U: Cutting Mechanics and Advanced Processes. 1. izd. 2016. str. 1-69. doi:10.1002/9781119262893.ch1.
- [14] Suh SH, Kang SK, Chung DH, Stroud I. Theory and Design of CNC Systems. London: Springer-Verlag; 2008. ISBN: 978-1-84800-335-4. DOI: 10.1007/978-1-84800-336-1.
- [15] UGN 3113 ALLEGRO. Alldatasheet. Dostupno na: <https://alldatasheet.com> Pristupljeno 12.11.2024.
- [16] IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems (IEEE Std 242-2001). American National Standard (ANSI). IEEE-SA Standards Board; 2001.
- [17] VOGEL centralised lubrication systems [Internet]. https://lubemec.grouphe.com/wc/lubemec/vogel/dateien/us/pdf/izs_pdf/1-0002-us.pdf Willy Vogel AG, Motzener Strasse 35/37, 12277 Berlin, Germany, P.O. Box 970444, 12704 Berlin. Pristupljeno 3. studenog 2024.
- [18] THK. Ball Screw Selection and Calculation. Dostupno na: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_b15_069.pdf Datum pristupa: 5. studenog 2024.
- [19] Kraut B. Strojarski priručnik. deveto izdanje. Tehnička knjiga, Zagreb;
- [20] T3D servo EN manual [Internet]. HLTNC Servo. Dostupno na: <https://drive.google.com/file/d/1DCaxE-NgR5tttd72Pqx9VvDztfbHzH349/view?spm=a2g0o.detail.1000023.21.e0fc4PeP4PePaI>. Pristupljeno 15. studenog 2024.
- [21] Schmersal. SRB-E-201LC-CC [Internet]. Dostupno na: https://products.schmersal.com/en_GB/srb-e-201lc-cc-103016570.html Pristupljeno 30.9.2024.
- [22] Mesa Electronics. FPGA kartice [Internet]. Dostupno na: <http://www.mesane.com/fpgacardinfo.html> Pristupljeno 30.9.2024.
- [23] Rockwell Automation. Machinery Safebook 5: Safety Related Control Systems for Machinery. Milwaukee: Rockwell Automation; 2020.

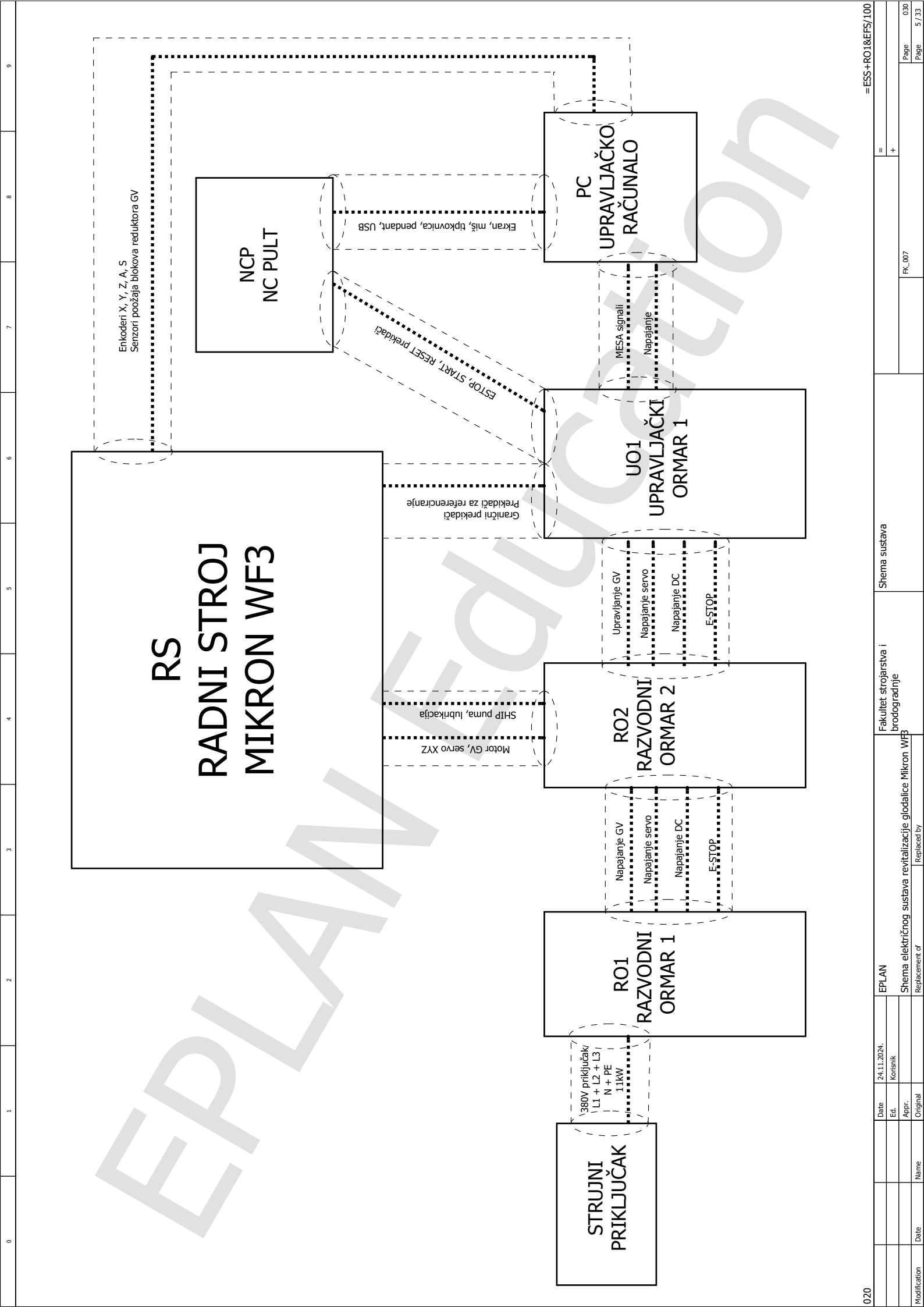
- [24] Hitachi. SJ100 series inverter instruction manual. Manual number: NB585XD. Tokyo: Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd.; Dostupno na: <https://cdn.automationdirect.com/static/manuals/sj100/sj100.pdf>
- [25] STEPPERONLINE. TG Series 90mm 3:1 Planetary Gearbox Backlash 10arc-min for Servo Motors TG90-G3. Dostupno na: <https://www.omc-stepperonline.com/> Pristupljeno 5.11.2024.

PRILOZI

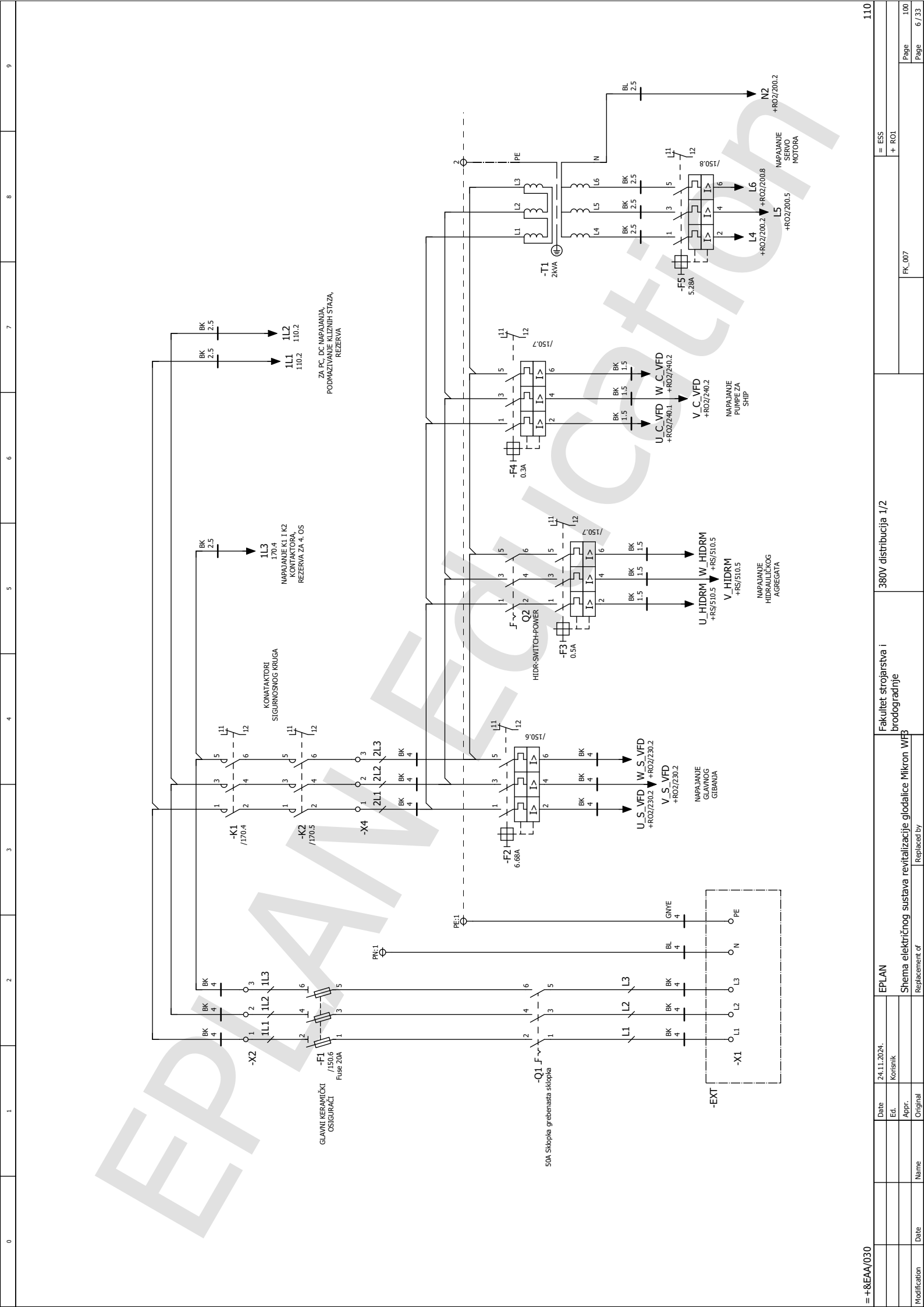
I. Elektro spojne sheme

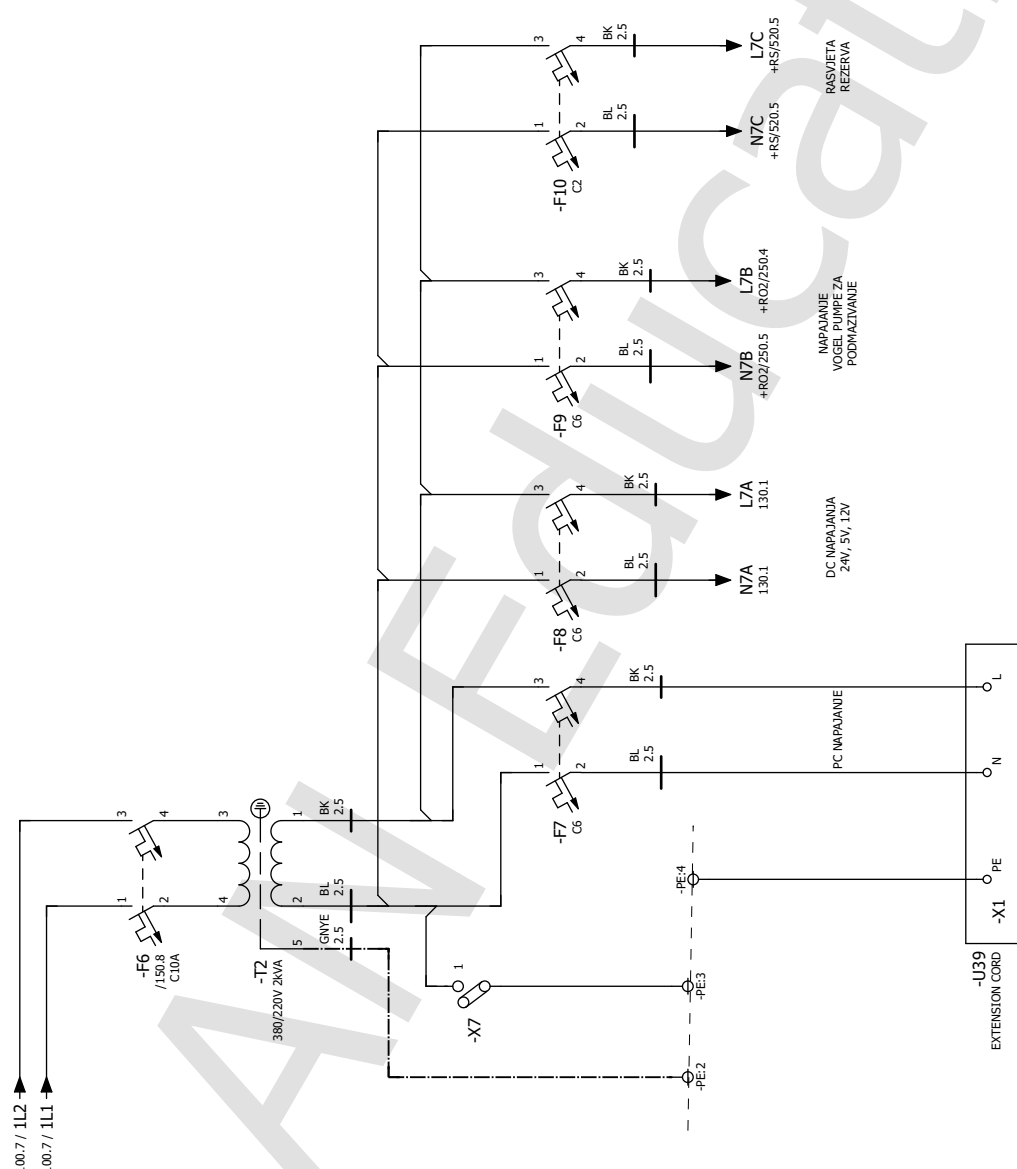
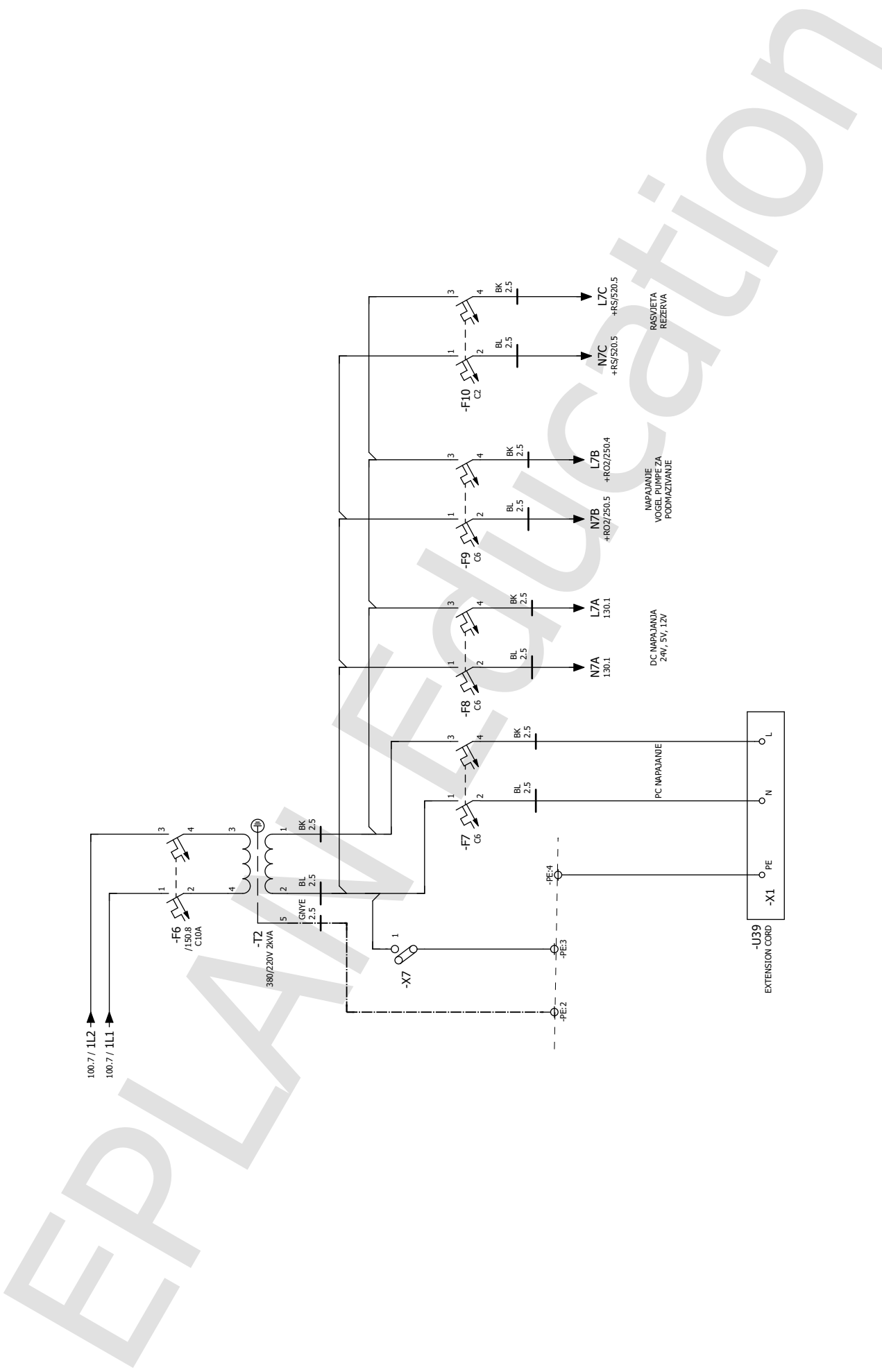
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																																																												
Title:WF3																																																																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje Ivana Lučića 5 10000 Zagreb</p> </div> </div>																																																																					
<h1 style="color: lightgray; opacity: 0.5;">UNIVERSITY OF ZAGREB Education</h1>																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Naziv</td> <td colspan="7">Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Vrsta</td> <td colspan="7">Diplomski rad</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Oznaka</td> <td colspan="7">FK_007</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10"> </td> </tr> <tr> <td>Izrađeno datuma:</td> <td colspan="3">10.10.2024.</td> <td colspan="3">Izradio: Filip Kuzminski</td> <td colspan="3">Number of pages</td> </tr> <tr> <td>Zadnje promjene datuma:</td> <td colspan="3">24.11.2024.</td> <td colspan="3"></td> <td colspan="3">33</td> </tr> </table>										Naziv	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3									Vrsta	Diplomski rad									Oznaka	FK_007																			Izrađeno datuma:	10.10.2024.			Izradio: Filip Kuzminski			Number of pages			Zadnje promjene datuma:	24.11.2024.						33		
Naziv	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3																																																																				
Vrsta	Diplomski rad																																																																				
Oznaka	FK_007																																																																				
Izrađeno datuma:	10.10.2024.			Izradio: Filip Kuzminski			Number of pages																																																														
Zadnje promjene datuma:	24.11.2024.						33																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Date</td> <td>24.11.2024.</td> <td>EPLAN</td> <td>Fakultet strojarstva i brodogradnje</td> <td>Naslovna stranica</td> <td>=</td> </tr> <tr> <td>Ed.</td> <td>Konisnik</td> <td>Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3</td> <td></td> <td></td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Appr.</td> <td></td> <td>Replacement of</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Original</td> <td></td> <td>Replaced by</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Naslovna stranica	=	Ed.	Konisnik	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3			+	Appr.		Replacement of				Original		Replaced by																																							
Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Naslovna stranica	=																																																																
Ed.	Konisnik	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3			+																																																																
Appr.		Replacement of																																																																			
Original		Replaced by																																																																			
002																																																																					
Page 001																																																																					
Page 1 / 33																																																																					

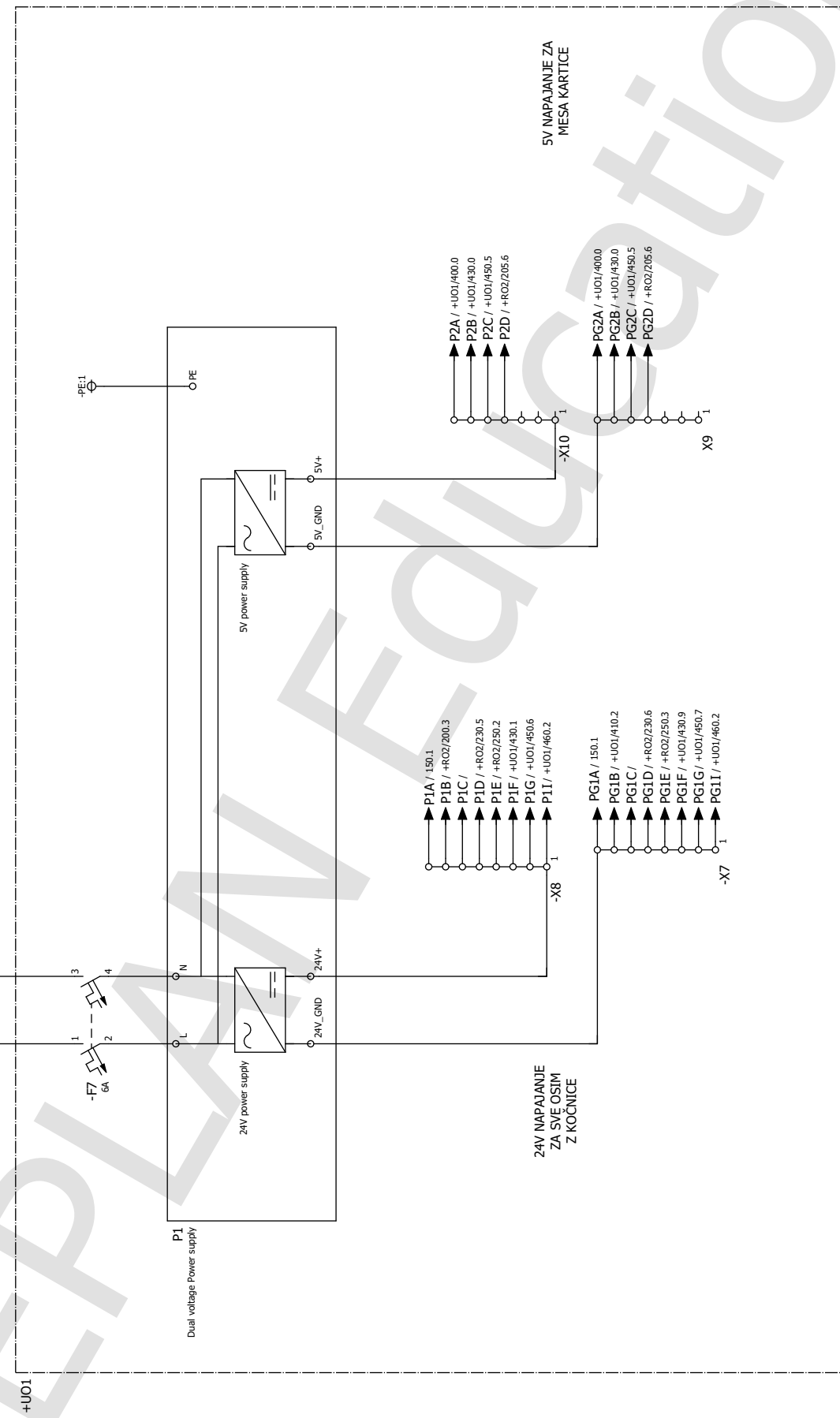
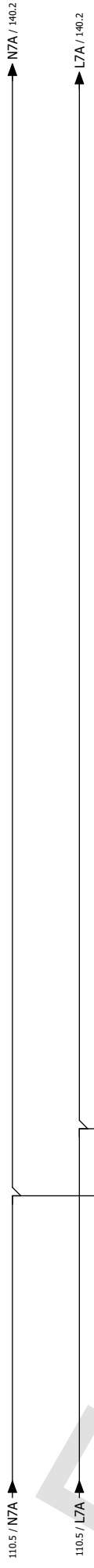


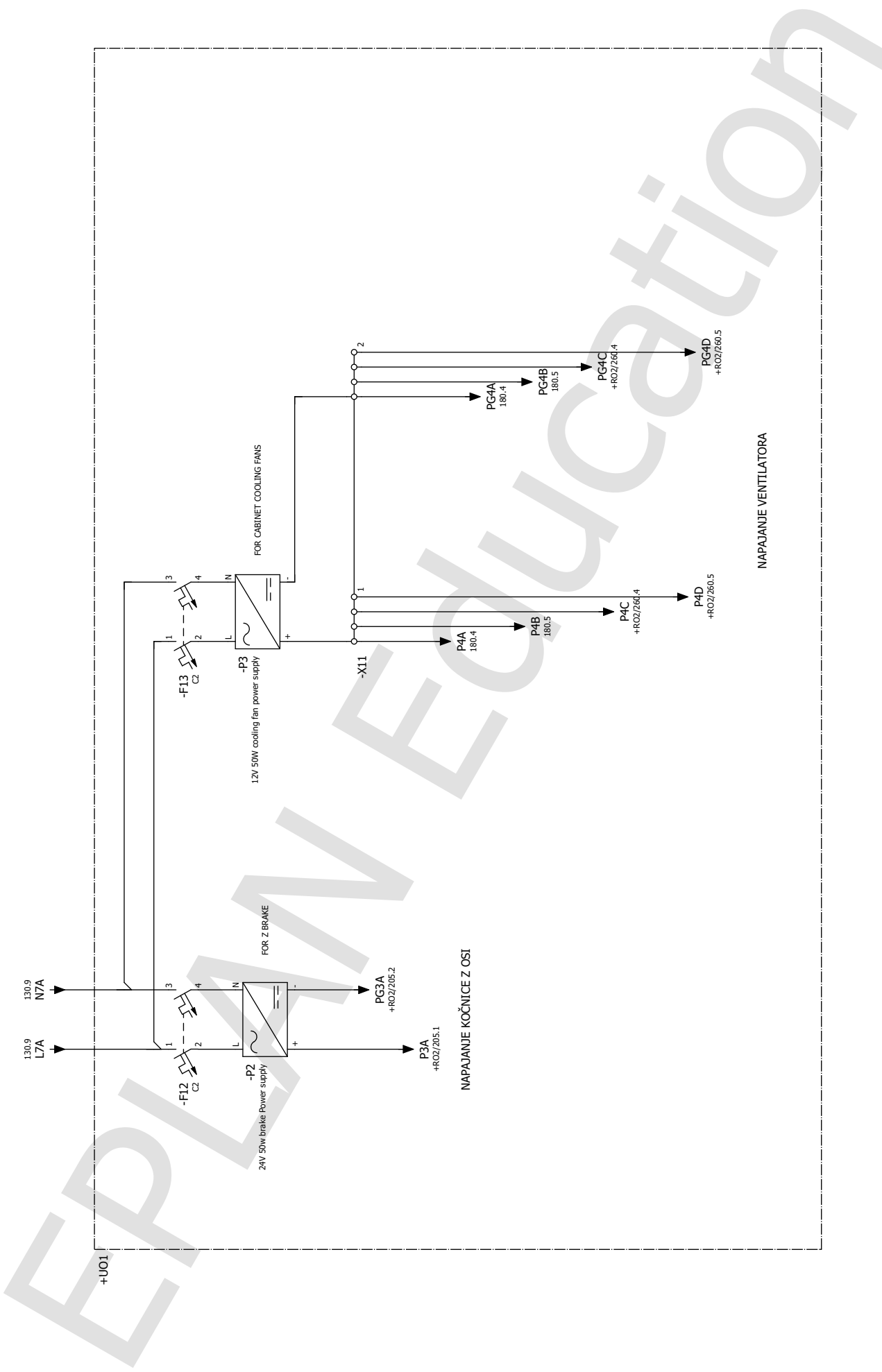
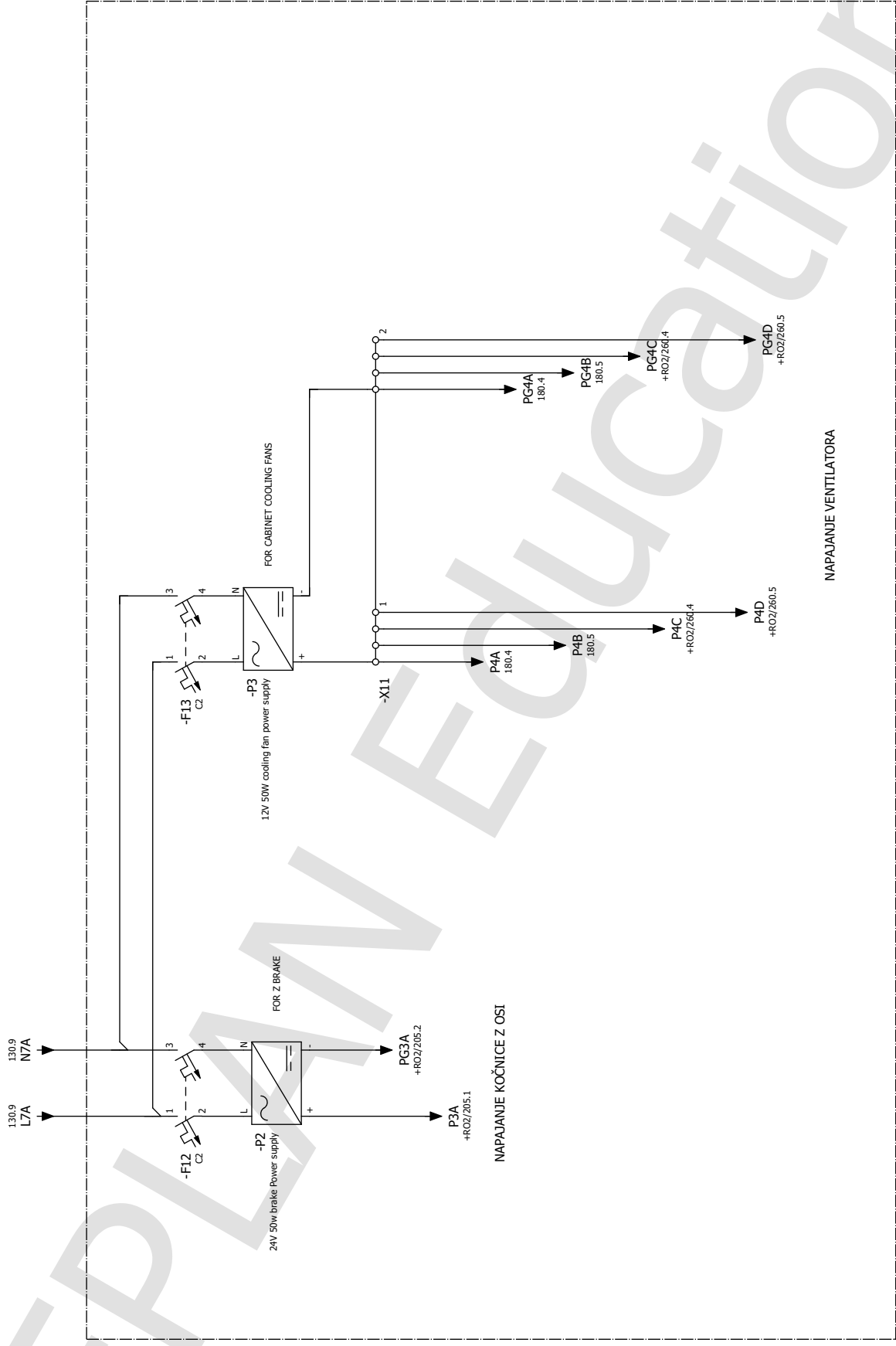


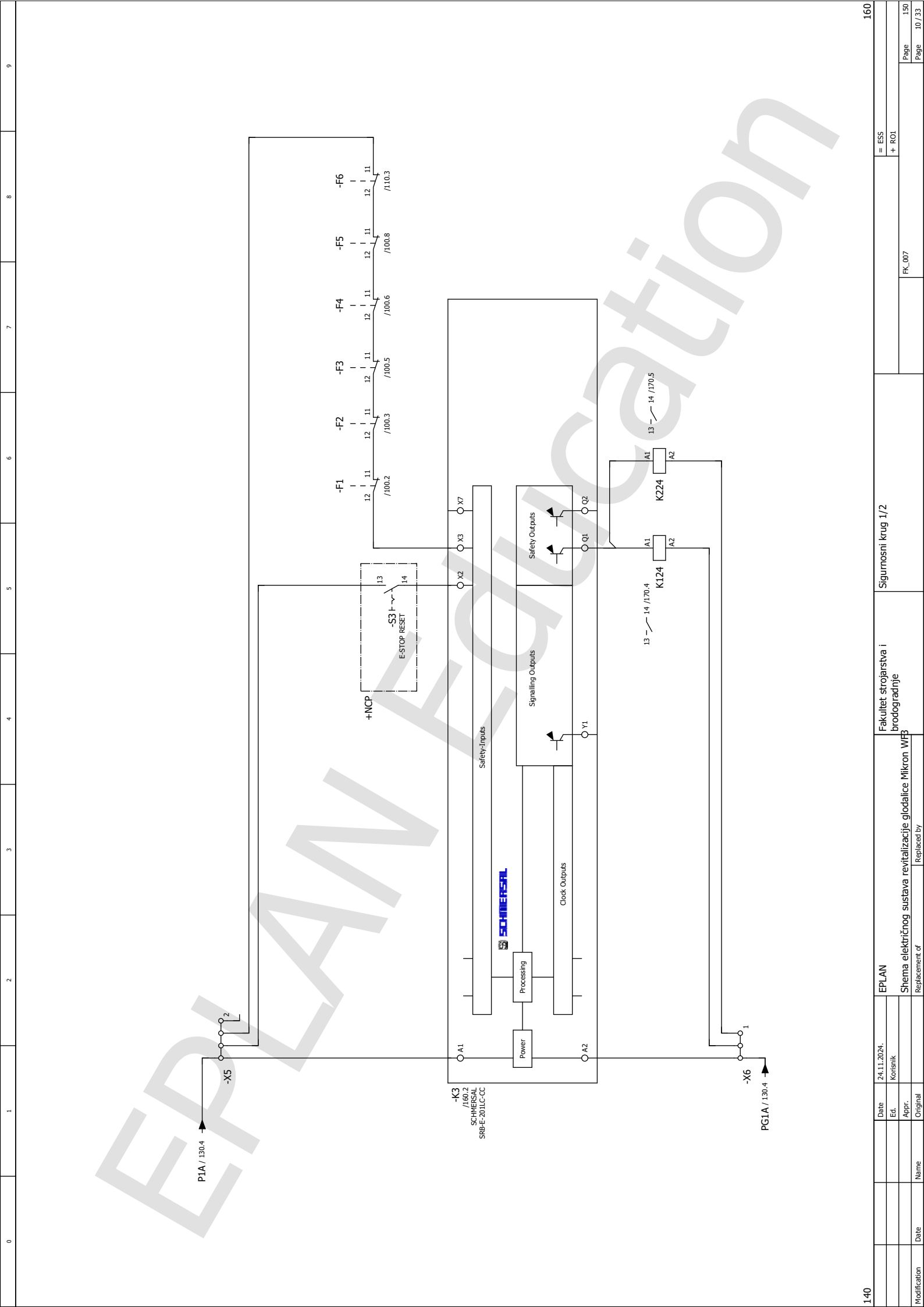
Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Schema sustava	=
Ed.	Konisnik	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WF3			+
Appr.		Replacement of			
Name		Replaced by			
Page	030	FK_007			
Page	5 / 33				

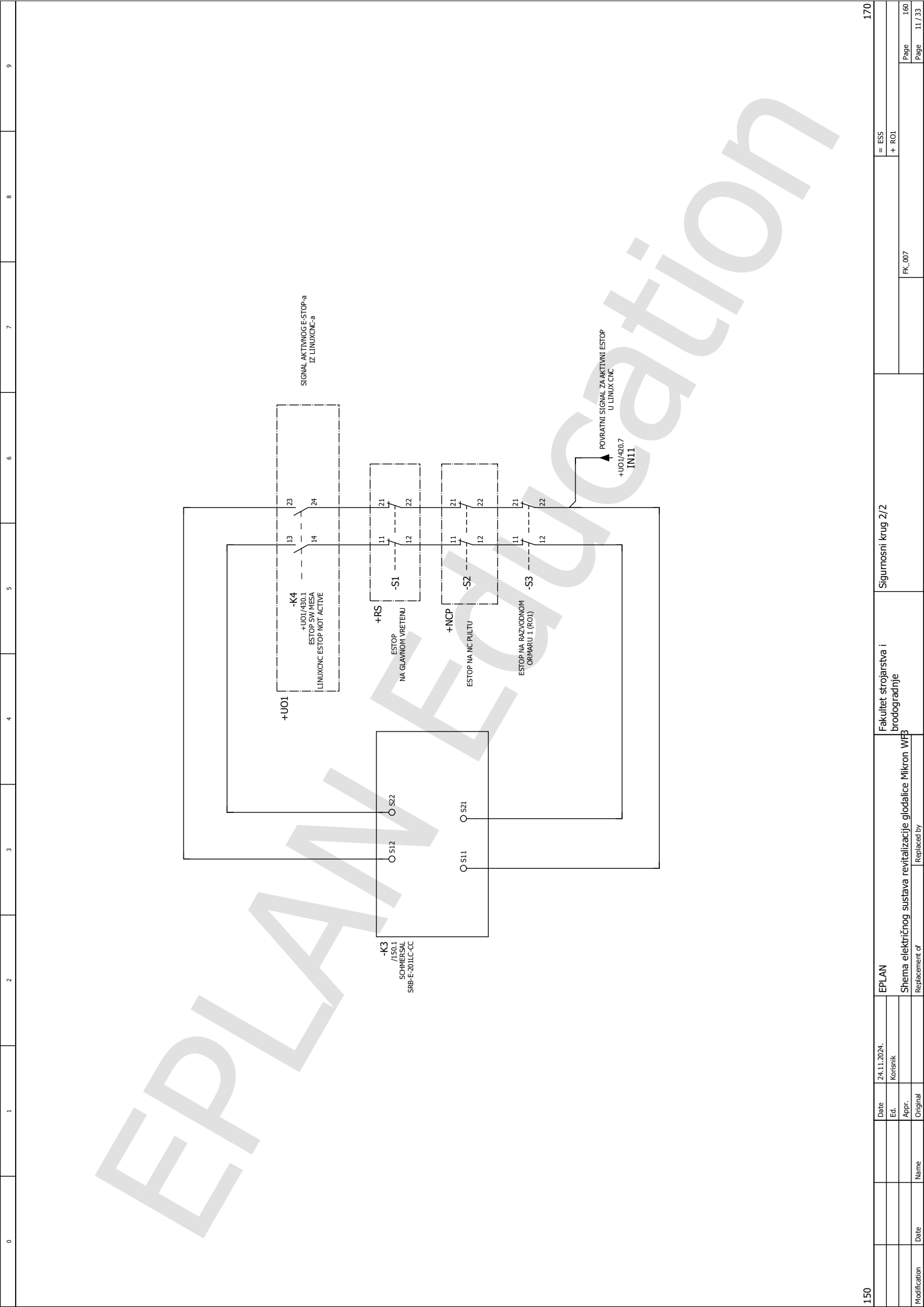




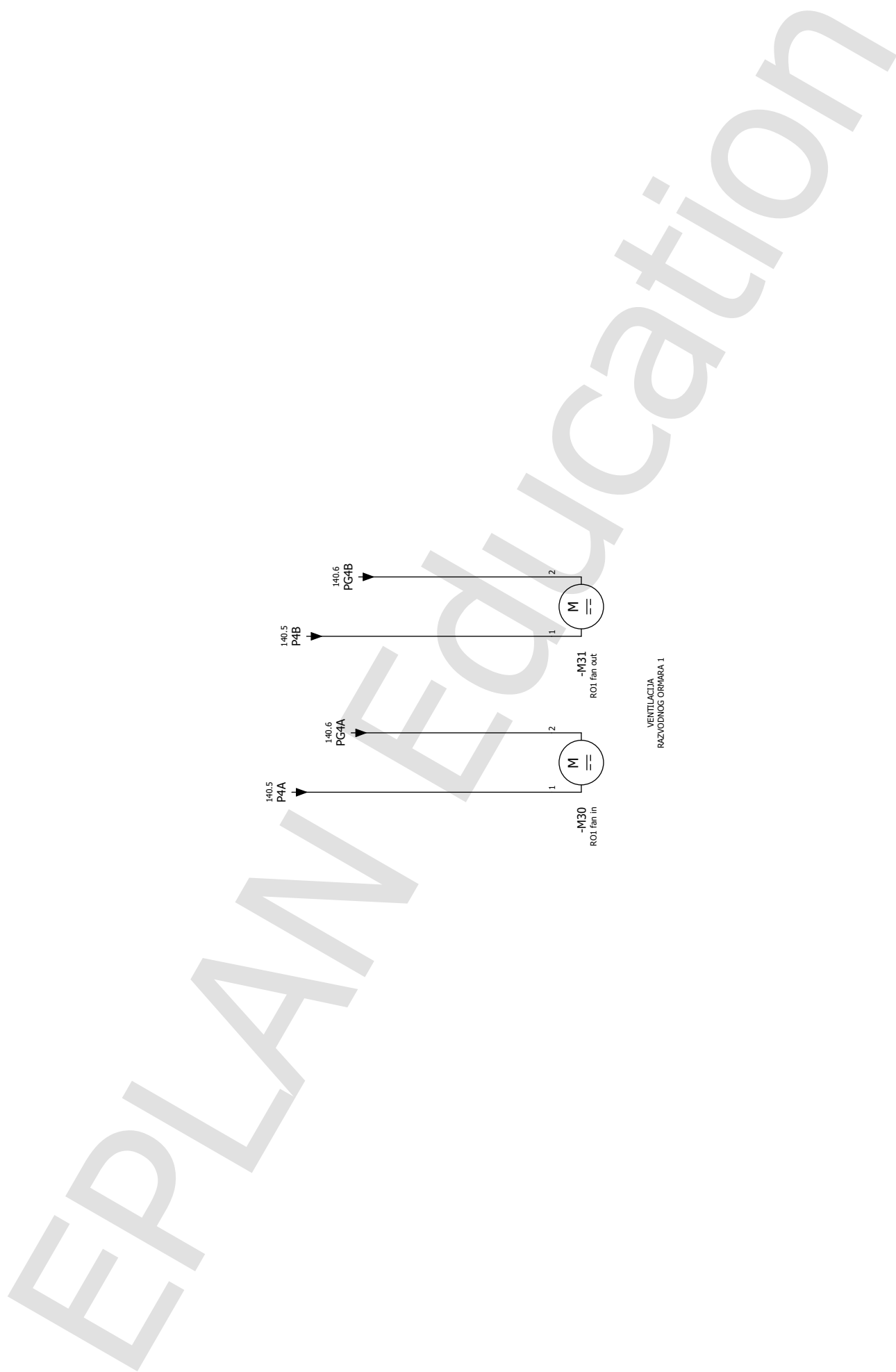




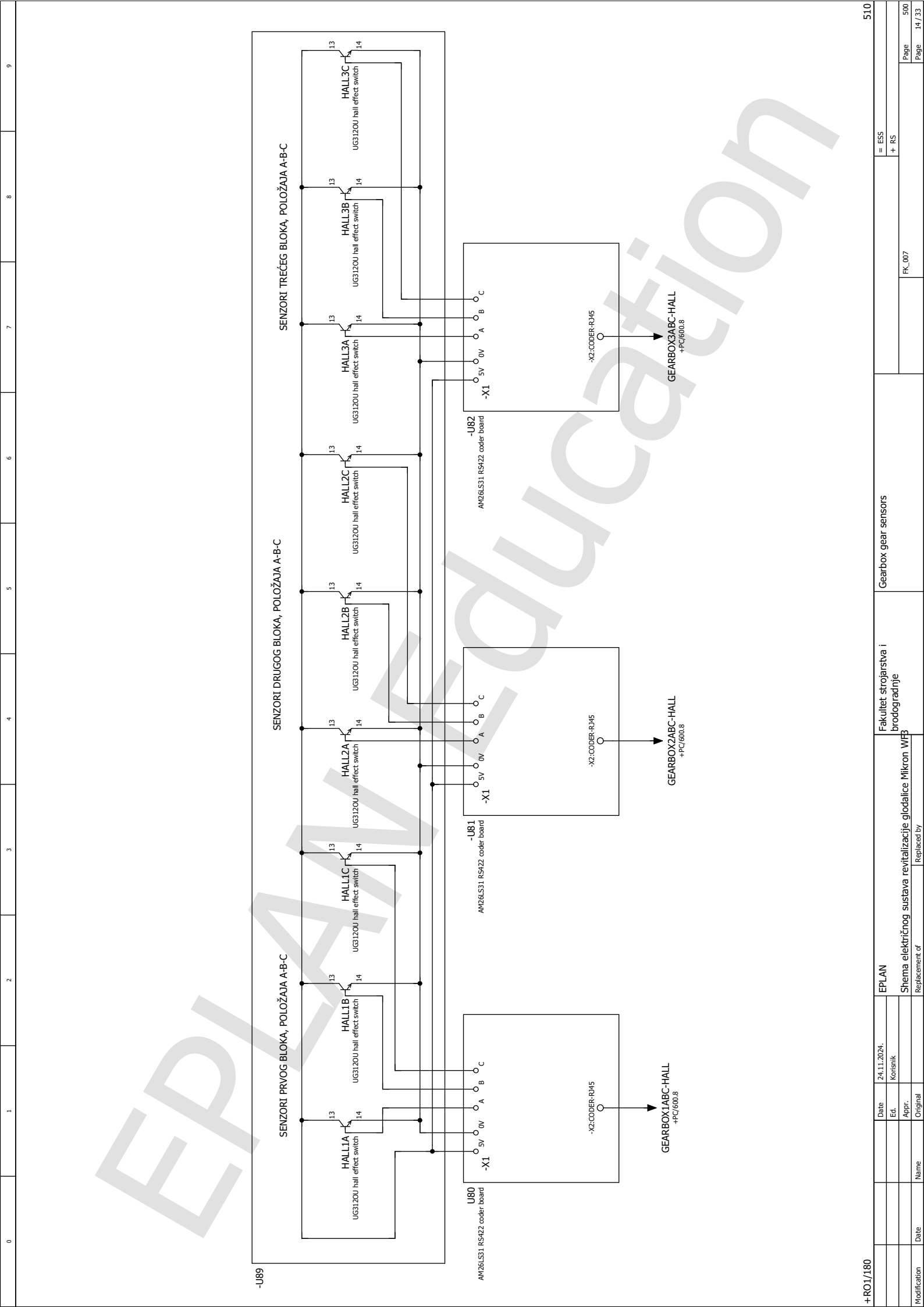


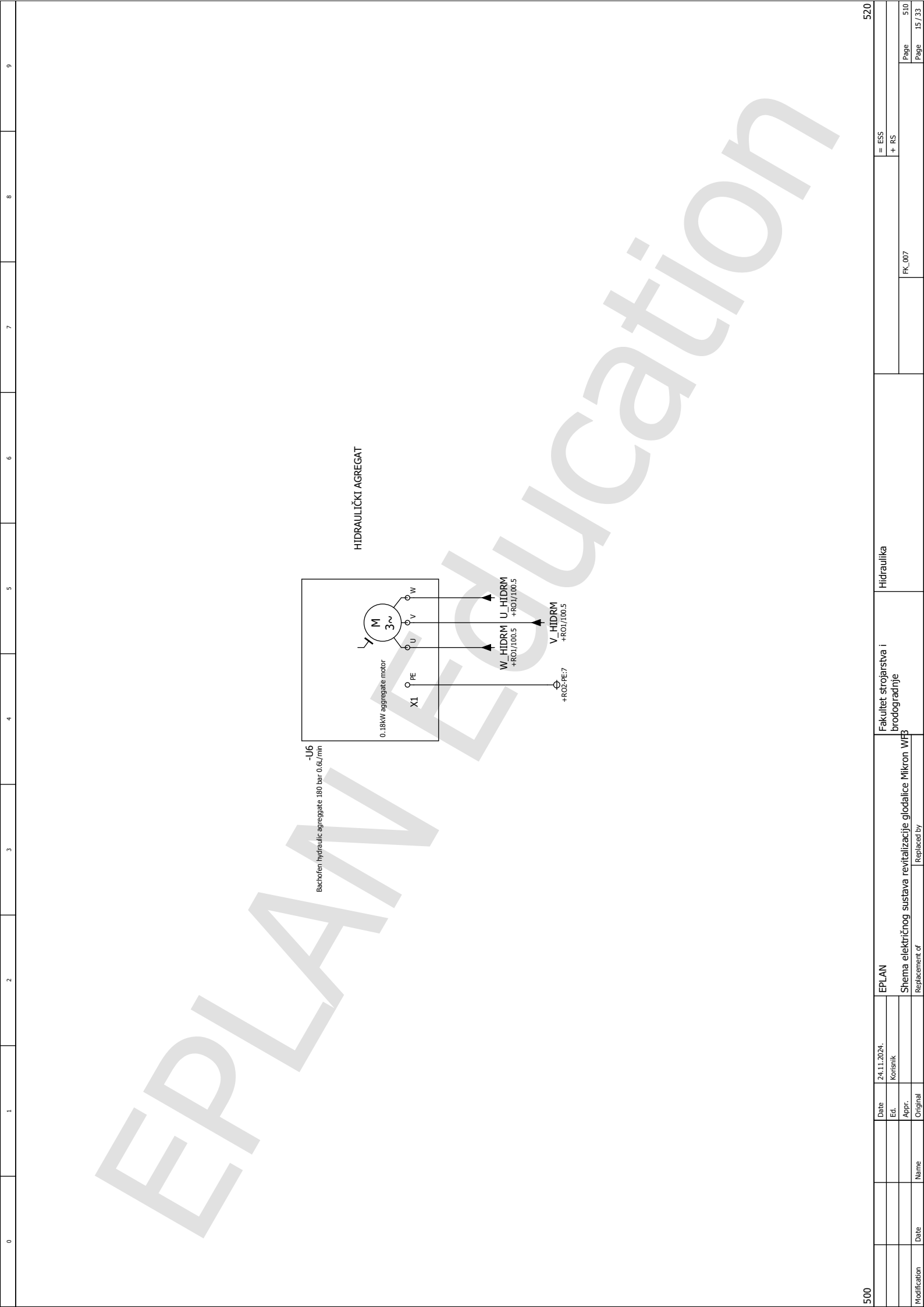


Date	24.11.2024.	EPLAN	170
Ecd.	Konšnik		= ESS
Appr.			+ RO1
Original			
Modification			
Name			
Replaced by			
Replacement of			
		Fakultet strojarstva i brodogradnje	
		Sigurnosni krug 2/2	
		FK_007	
		Page 11 / 31	
		Page 100	



Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Ventilacija RO1	= ESS + RO1
Ecl.	Konisnik	Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB	brodogradnje		
Appr.		Replacement of		FK_307	
Original		Replaced by			
Modification					
Date					
Name					
Page	180				
Page	13 / 33				

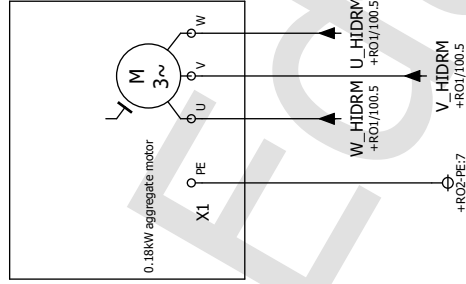




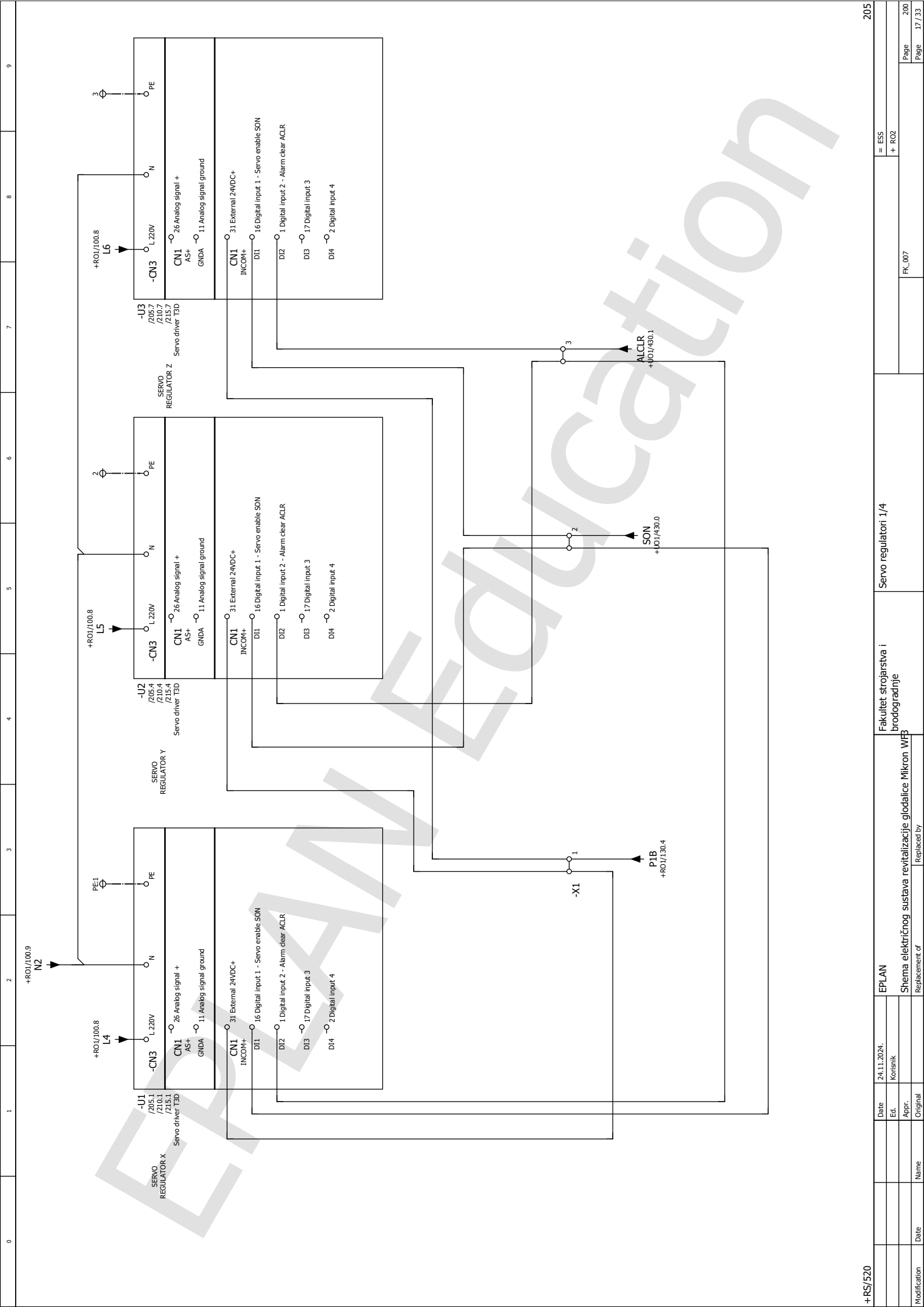
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

-U6
Bachofen hydraulic aggregate 180 bar 0.6l/min

HIDRAULIČKI AGREGAT



modification	Date	Name	Original	Appr.	Ed.	Date	EPLAN	24.11.2024.	Konstnik	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Hidraulika	= ESS + RS
							Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB					
							Replacement of					
							Replaced by					
							FK_307					
							Page 510					
							Page 15 / 33					

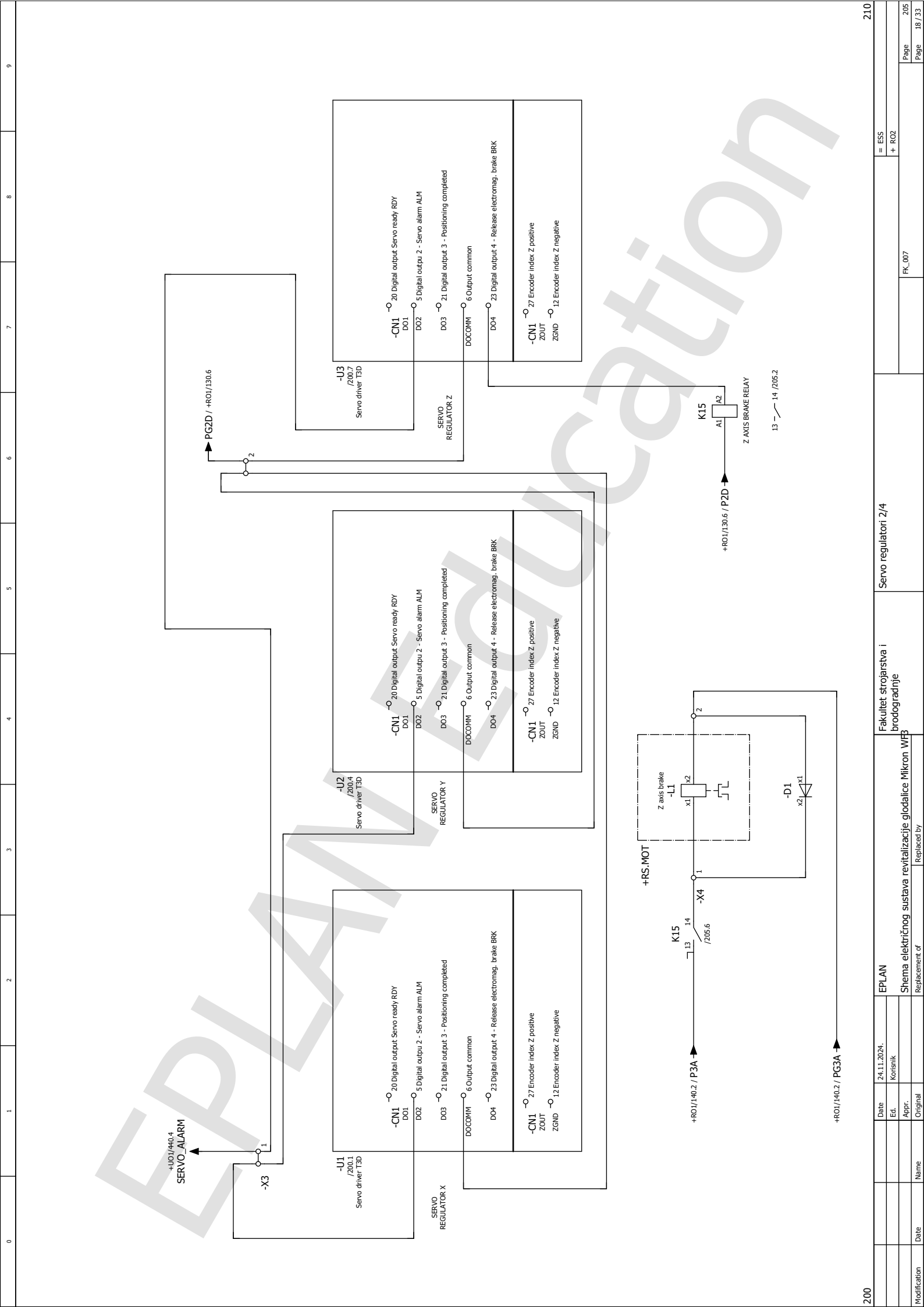


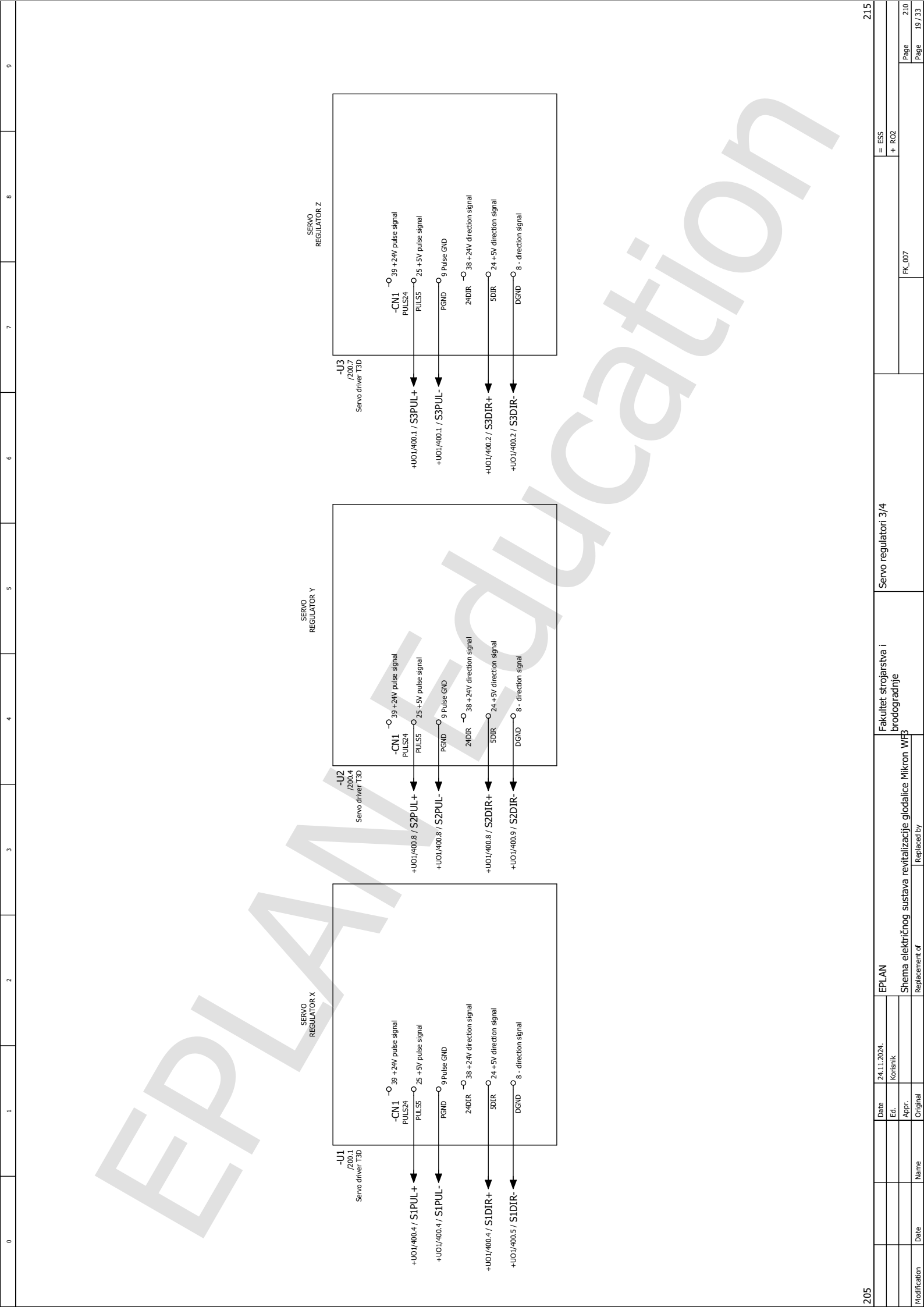
Modification	Date	Name	Original	Replacement of
	24.11.2024.	Konšnik		

Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Servo regulatori 1/4

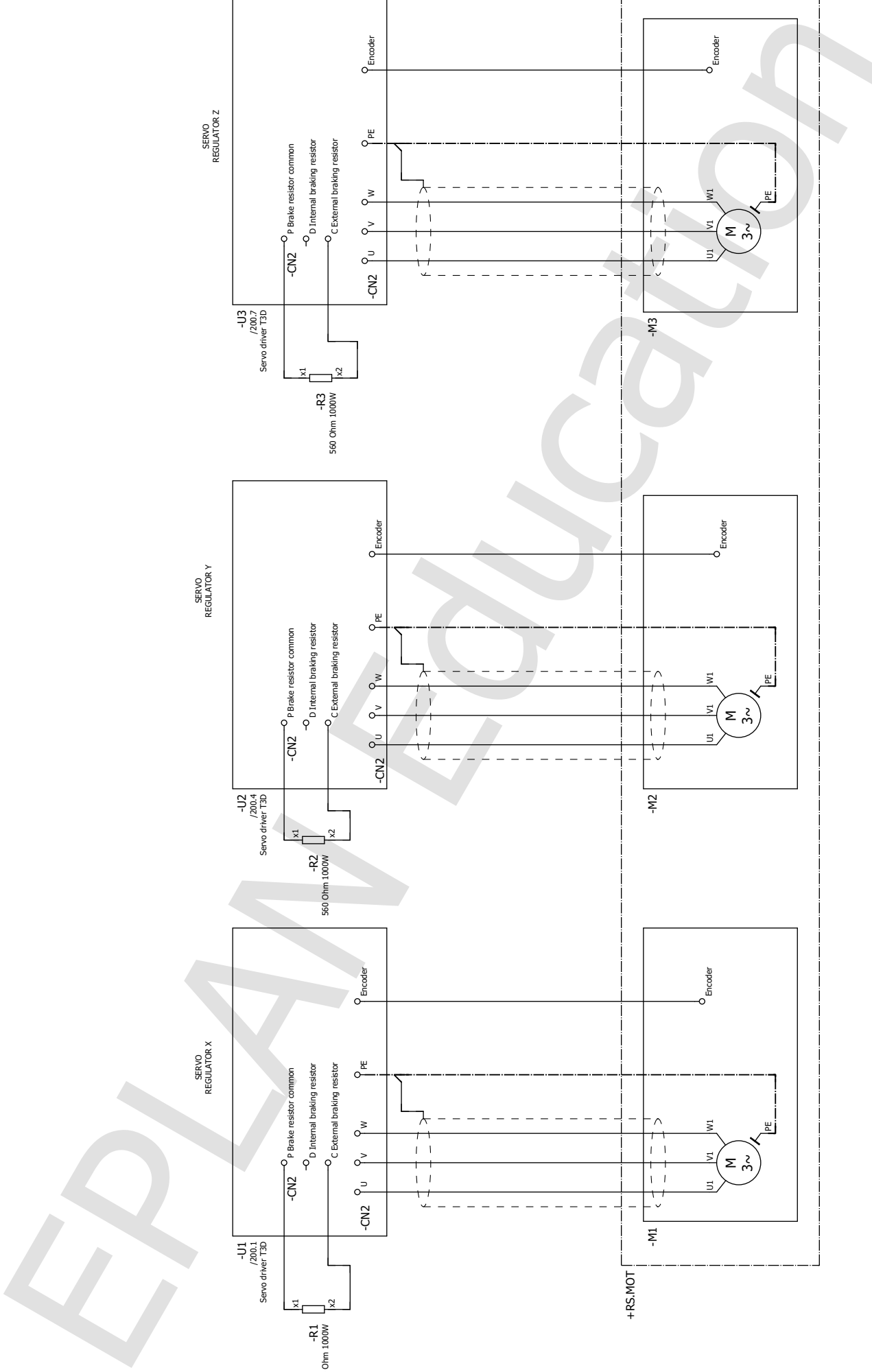
FK_007
Page 200
Page 17/33

= ESS
+ RO2

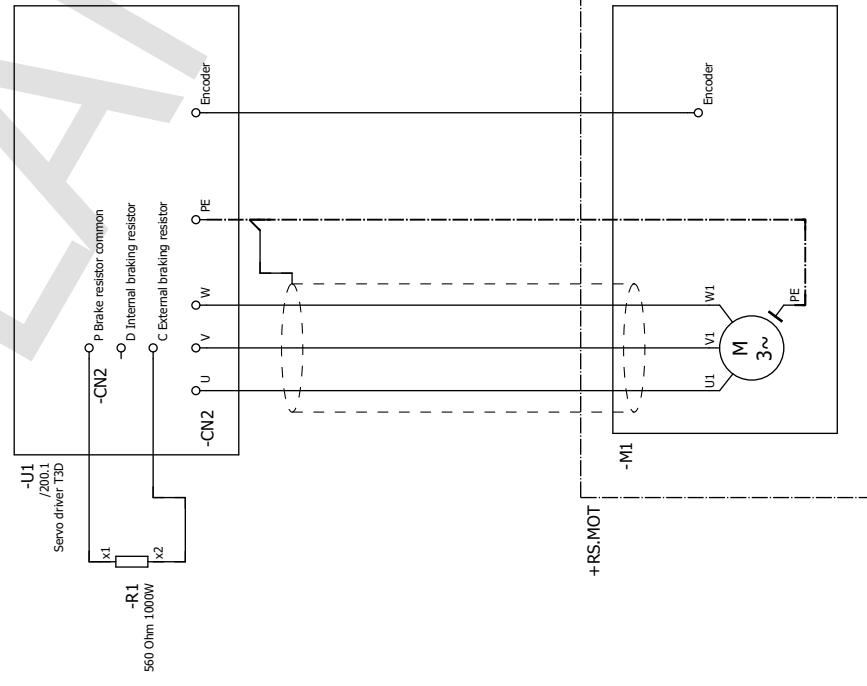




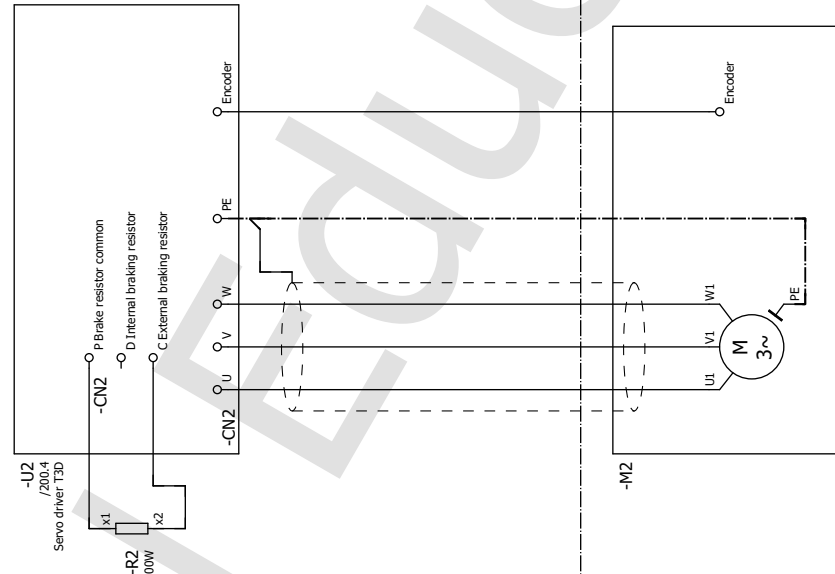
Date	24.11.2024.	EPLAN	Servo regulatori 3/4	= ESS
Ed.	Konisek	Fakultet strojarstva i brodogradnje		+ ROZ
Appr.		Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB	FK_007	
Name		Replacement of		
Date				
Modification				
Page	210			
Page	19 / 33			



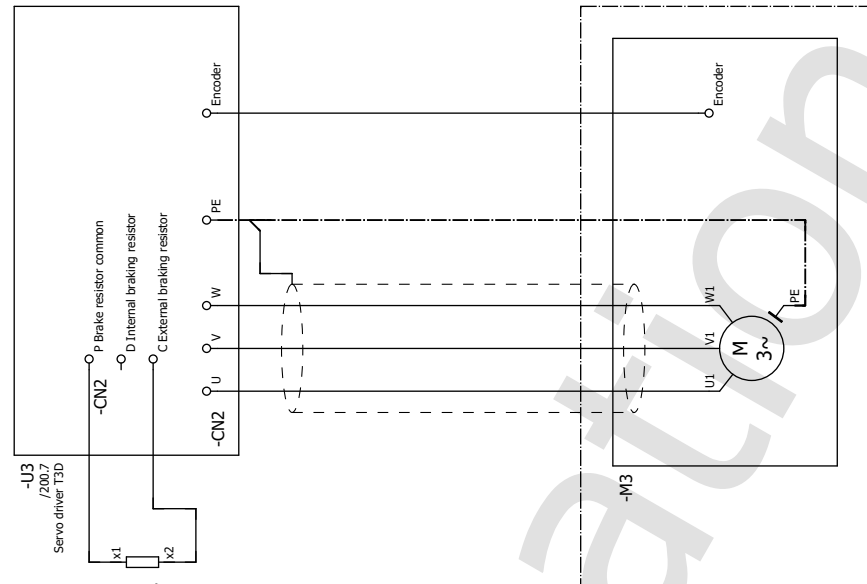
SERVO
REGULATOR X

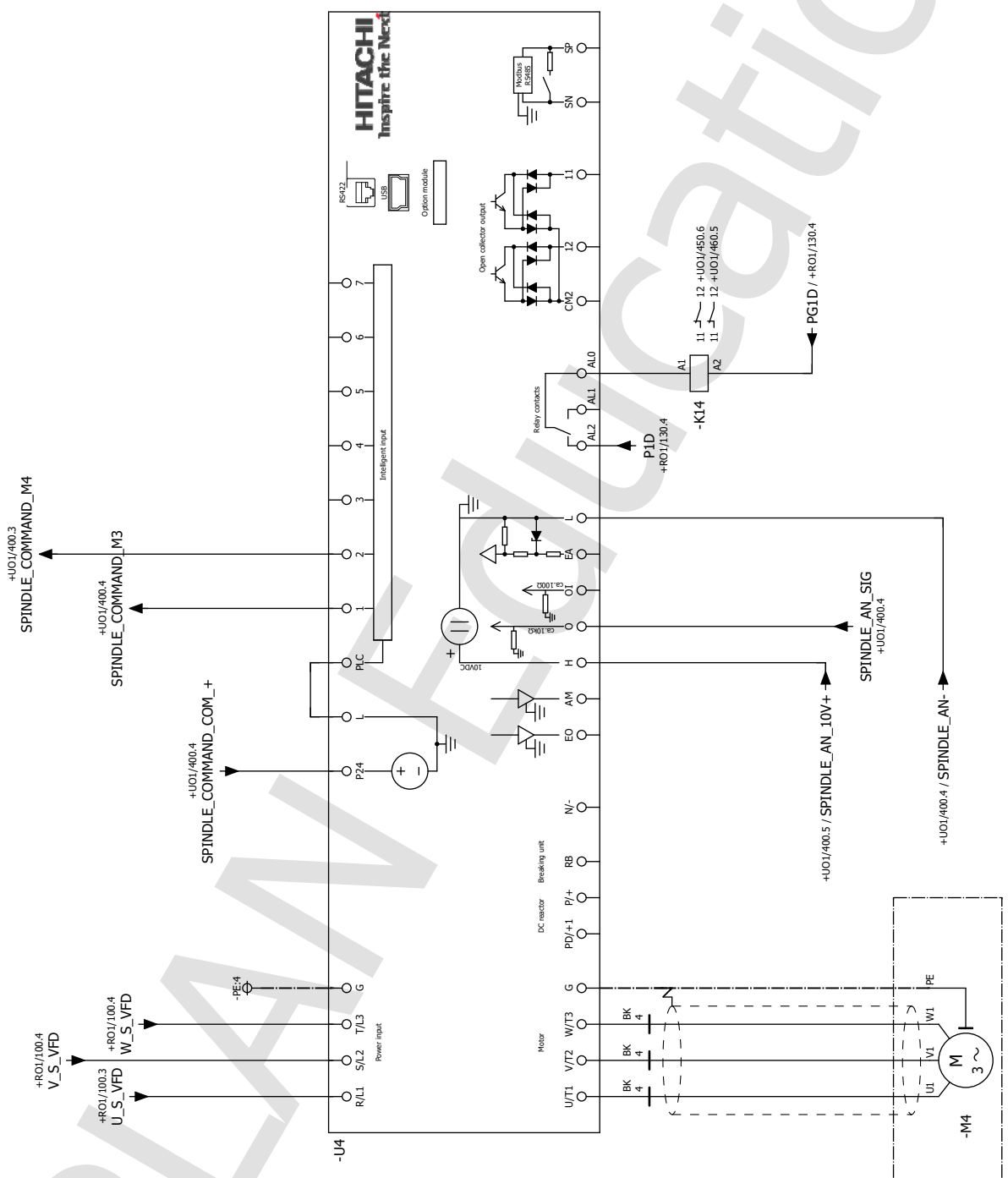
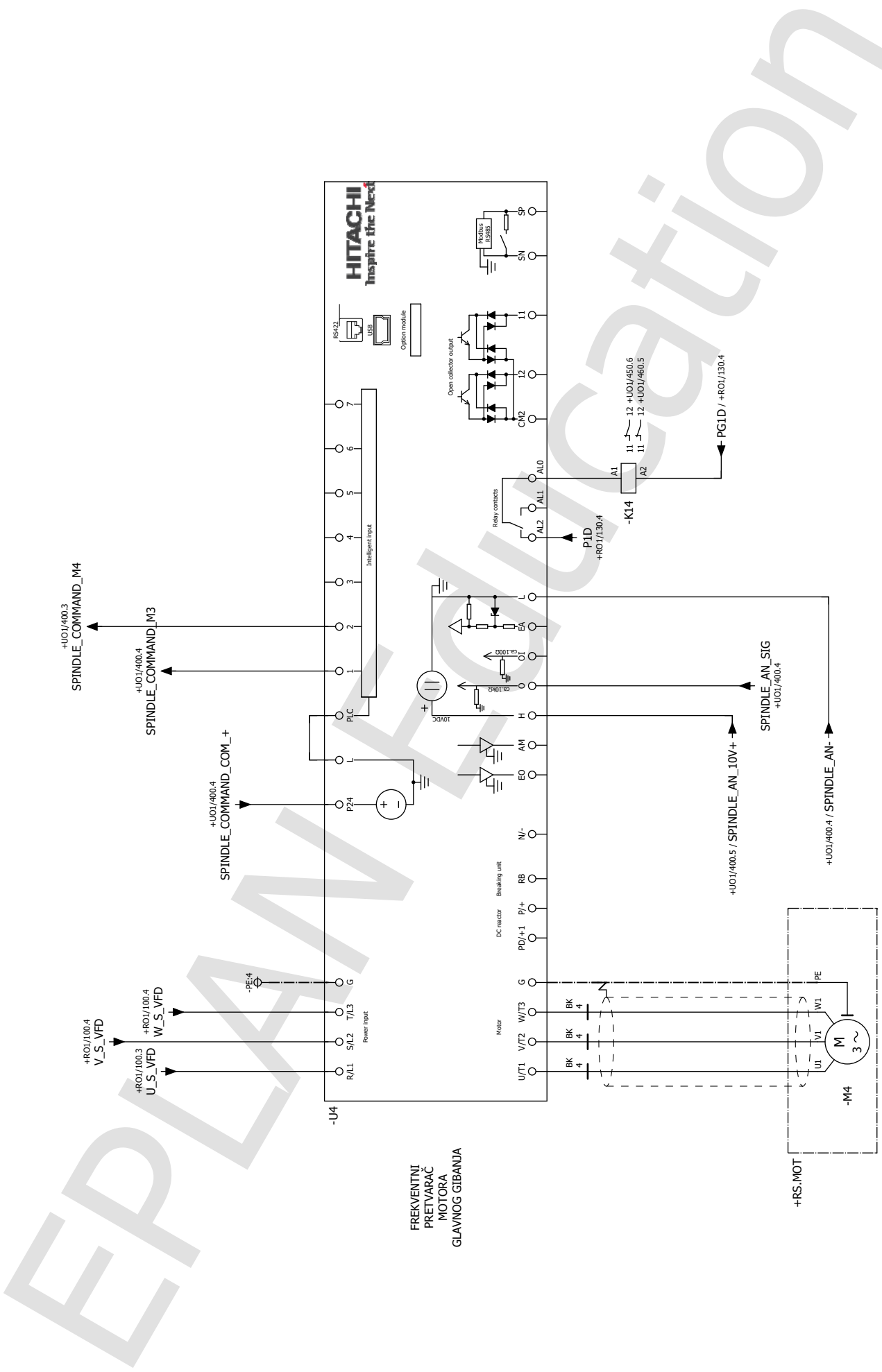


SERVO
REGULATOR Y

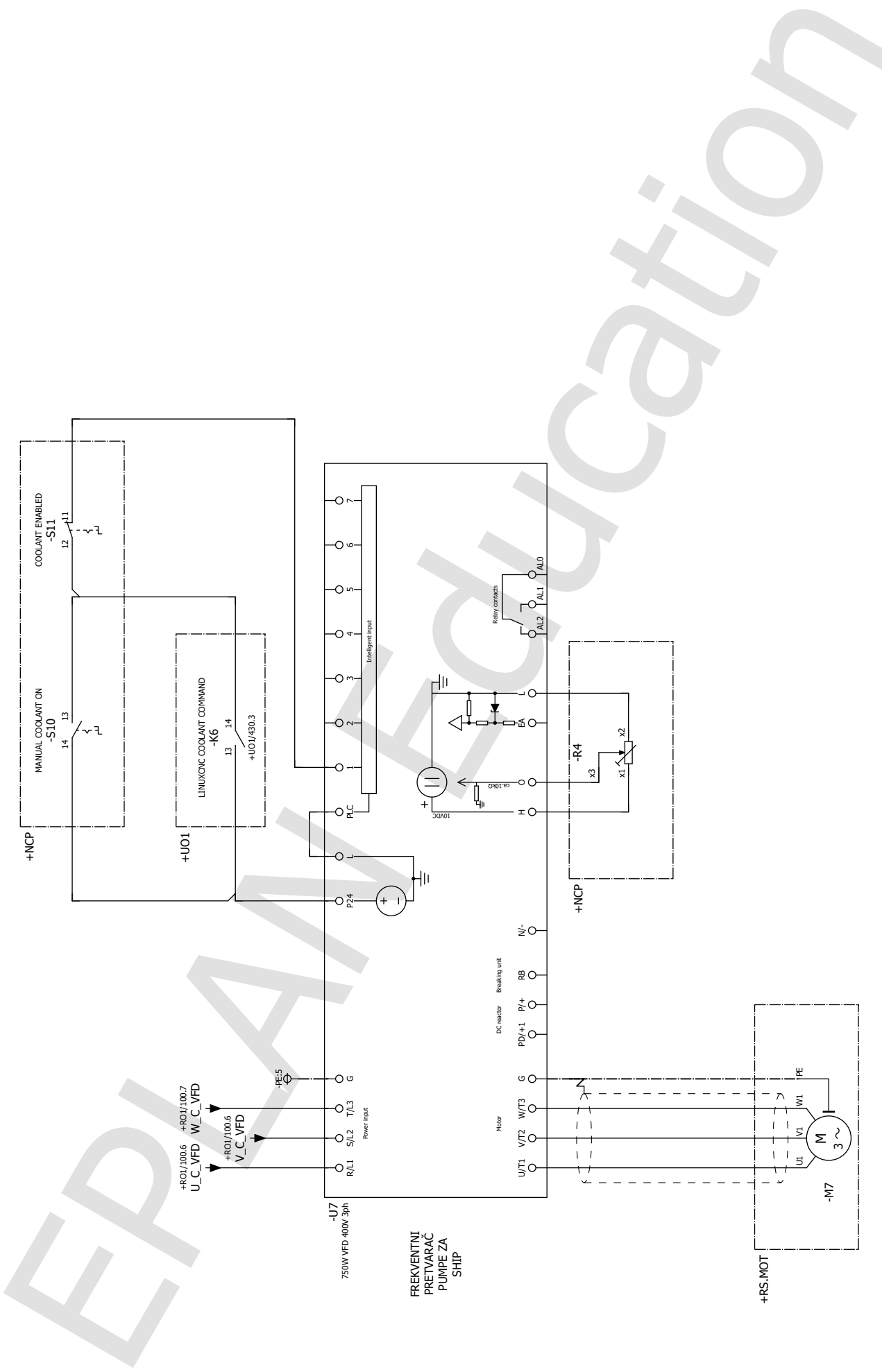


SERVO
REGULATOR Z



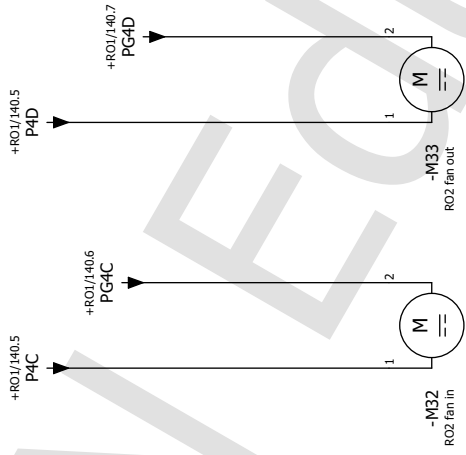


FREKVENTNI
PRETVARAČ
MOTORA
GLAVNOG GIBANJA



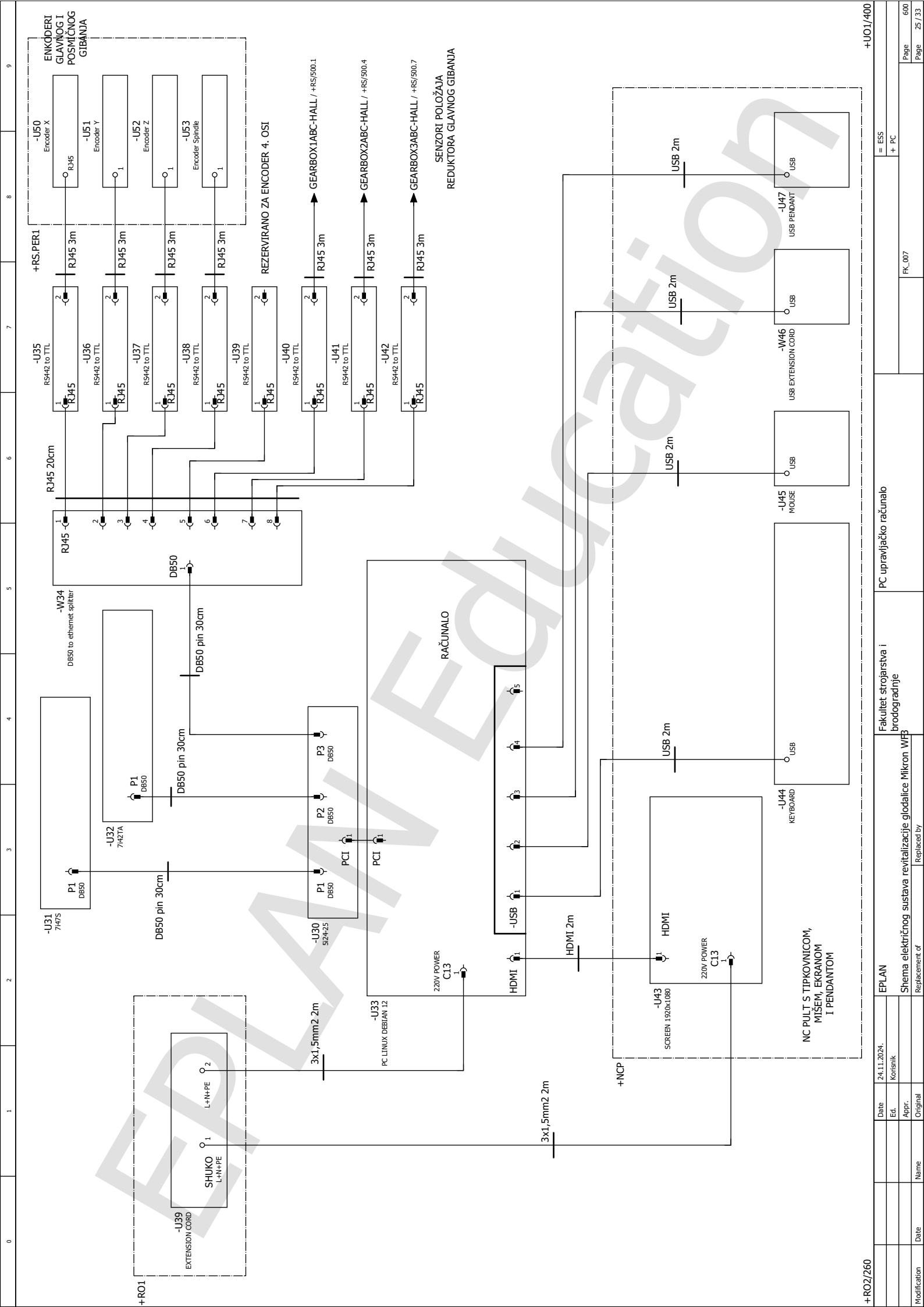
FREKVENTNI
PRETVARAAČ
PUMPE ZA
SHIP

EPLAN EDUCATION



VENTILACIJA
RAZVODNOG ORMARA 2

Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	Ventilacija RO2	= ESS
Ed.	Konšnik				+ RO2
Appr.		Shema električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB		FK_007	
Modification	Date	Name	Original	Page	280
			Replaced by	Page	24 / 33



ENKODERI GLAVNOG I POSMIČNOG GIBANJA

-U50 Encoder X
-U51 Encoder Y
-U52 Encoder Z
-U53 Encoder Spindle

+RS.PER1
-U35 RS422 to TTL
-U36 RS422 to TTL
-U37 RS422 to TTL
-U38 RS422 to TTL
-U39 RS422 to TTL

RJ45 20cm
RJ45 3m
RJ45 3m
RJ45 3m
RJ45 3m

-W34 DB50 to ethernet splitter
-U32 7/162TA
P1 DB50
DB50 pin 30cm
DB50 pin 30cm

-U31 7/1475
P1 DB50
DB50 pin 30cm
-U30 524-25
P1 DB50
P2 DB50
P3 DB50
PCI
PCI

+RO1
-U39 EXTENSION CORD
SHUKO
L+N+PE
L+N+PE

SENZORI POLOŽAJA REDUKTORA GLAVNOG GIBANJA

GEARBOX1ABC-HALL / +RS/500.1
GEARBOX2ABC-HALL / +RS/500.4
GEARBOX3ABC-HALL / +RS/500.7

REZERVIRANO ZA ENCODER 4. OSI
-U40 RS422 to TTL
-U41 RS422 to TTL
-U42 RS422 to TTL

RJ45 3m
RJ45 3m
RJ45 3m

RAČUNALO
HDMI
-USB
HDMI 2m
HDMI 2m

-U33 PC LINUX DEBIAN 12
220V POWER C13
3x1,5mm2 2m
3x1,5mm2 2m

+NCP
-U43 SCREEN 1920x1080
HDMI
220V POWER C13
NC PULT S TIPKOVNICOM, MISEM, EKRANOM I PENDANTOM

USB 2m
USB 2m
USB 2m

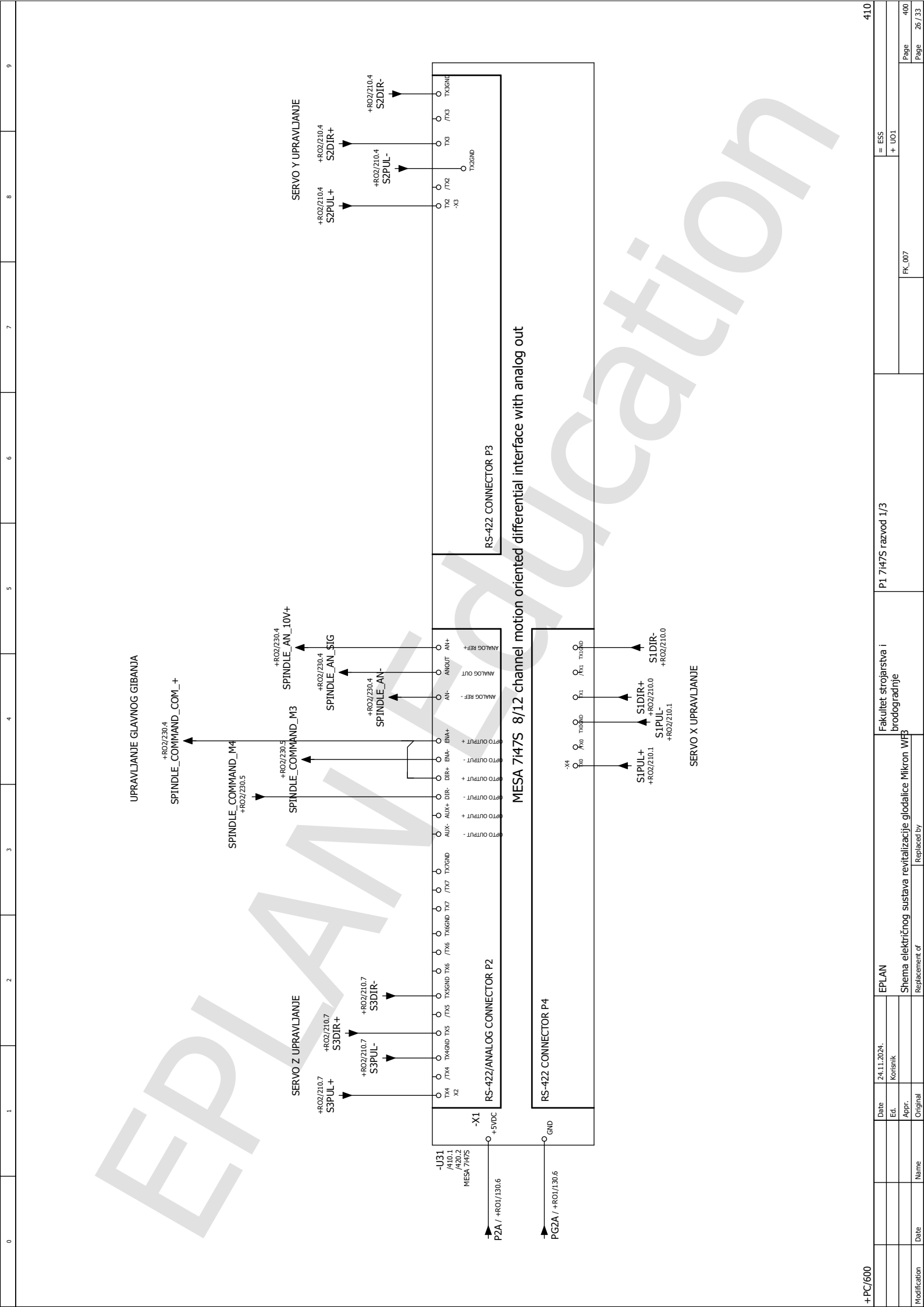
-U47 USB PENDANT
-W46 USB EXTENSION CORD
-U45 MOUSE

PC upravljačko računalo
Fakultet strojarstva i brodogradnje

PC električnog sustava revitalizacije glodalice Mikron WFB
Replacement of

EPLAN
24.11.2024.
Konisnik
Appr.
Original

+RO2/260
Date
Ecd.
Appr.
Original
Name
Date
Modification



UPRAVLJANJE GLAVNOG GIBANJA

+RO2/230.4
SPINDLE_COMMAND_COM_+

+RO2/230.5
SPINDLE_COMMAND_M4

+RO2/230.5
SPINDLE_COMMAND_M3

+RO2/230.4
SPINDLE_AN_10V+

+RO2/230.4
SPINDLE_AN_SIG

+RO2/230.4
SPINDLE_AN-

SERVO Z UPRAVLJANJE

+RO2/210.7
S3PUL+

+RO2/210.7
S3DIR+

+RO2/210.7
S3DIR-

+RO2/210.7
S3PUL-

SERVO Y UPRAVLJANJE

+RO2/210.4
S2PUL+

+RO2/210.4
S2DIR+

+RO2/210.4
S2DIR-

+RO2/210.4
S2PUL-

SERVO X UPRAVLJANJE

+RO2/210.1
SIPUL+

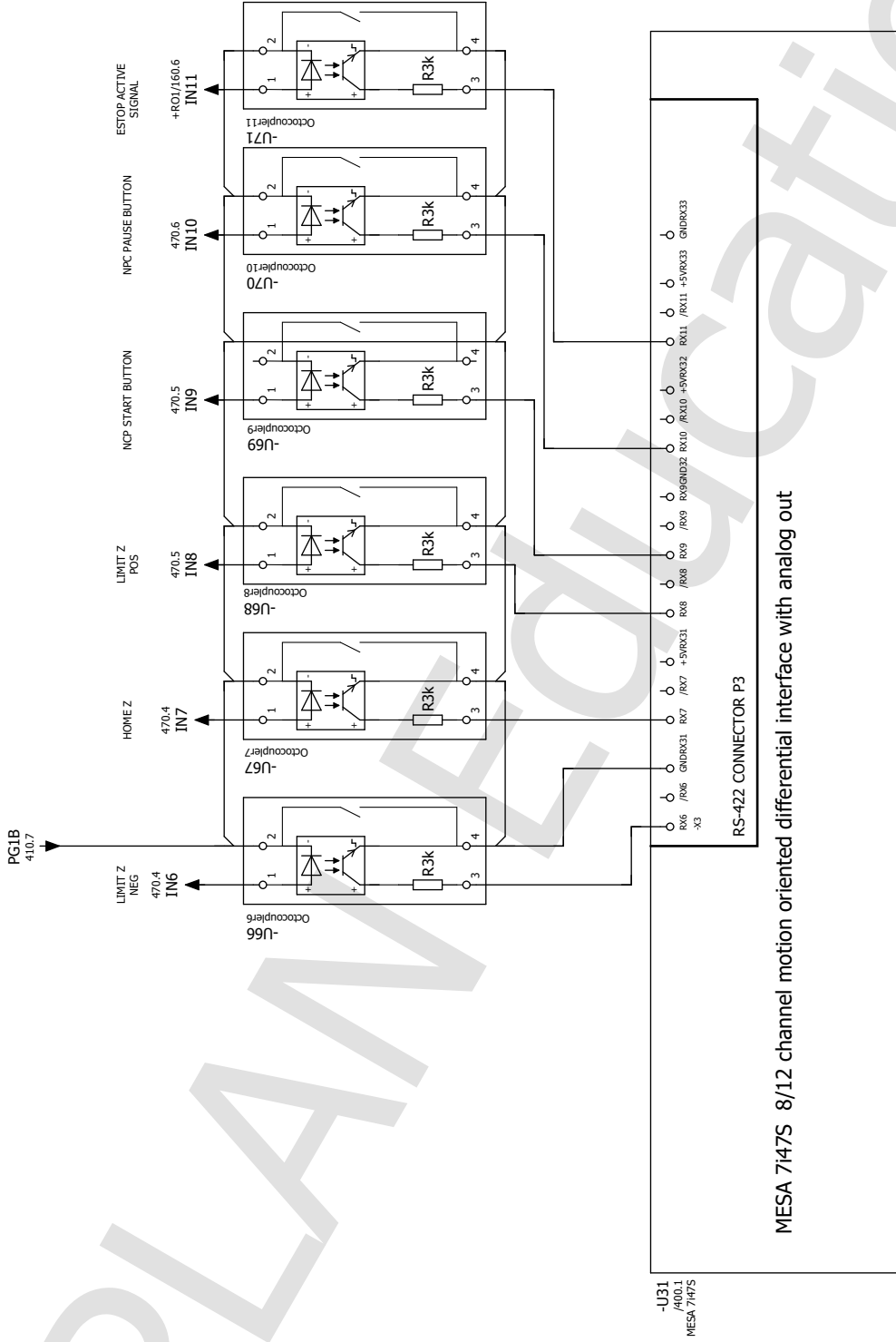
+RO2/210.1
SIDIR+

+RO2/210.1
SIPUL-

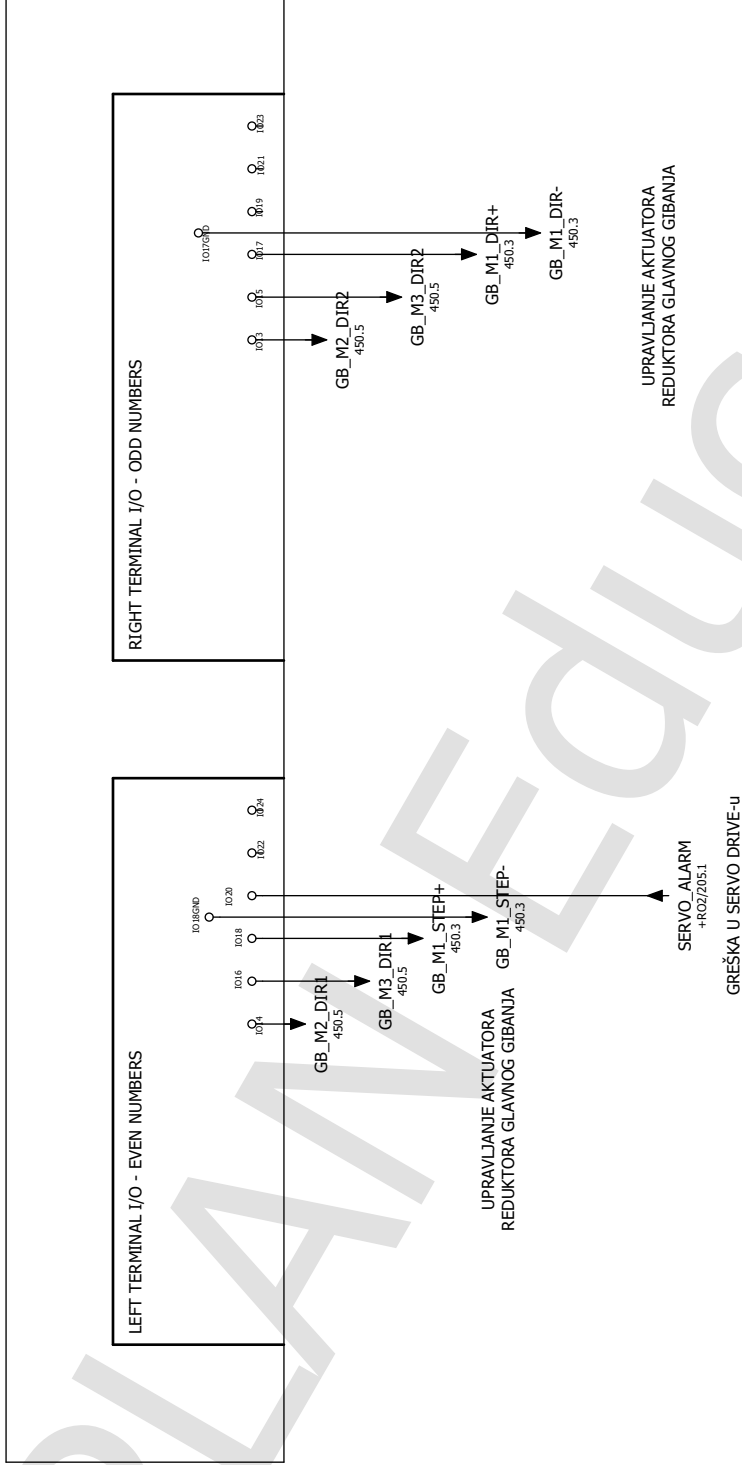
+RO2/210.1
SIDIR-

MESA 7147S 8/12 channel motion oriented differential interface with analog out

Date	24.11.2024.	EPLAN	Fakultet strojarstva i brodogradnje	P1 7147S razvod 1/3	= ESS
Ecl.	Konisnik				+ U01
Appr.					
Original					
Name					
Replacement of					
FK_007					
Page	400				
Page	26 / 33				



-U32
/430.1
MESA 7421a



UPRAVLJANJE AKTUATORA
REDUKTORA GLAVNOG GIBANJA

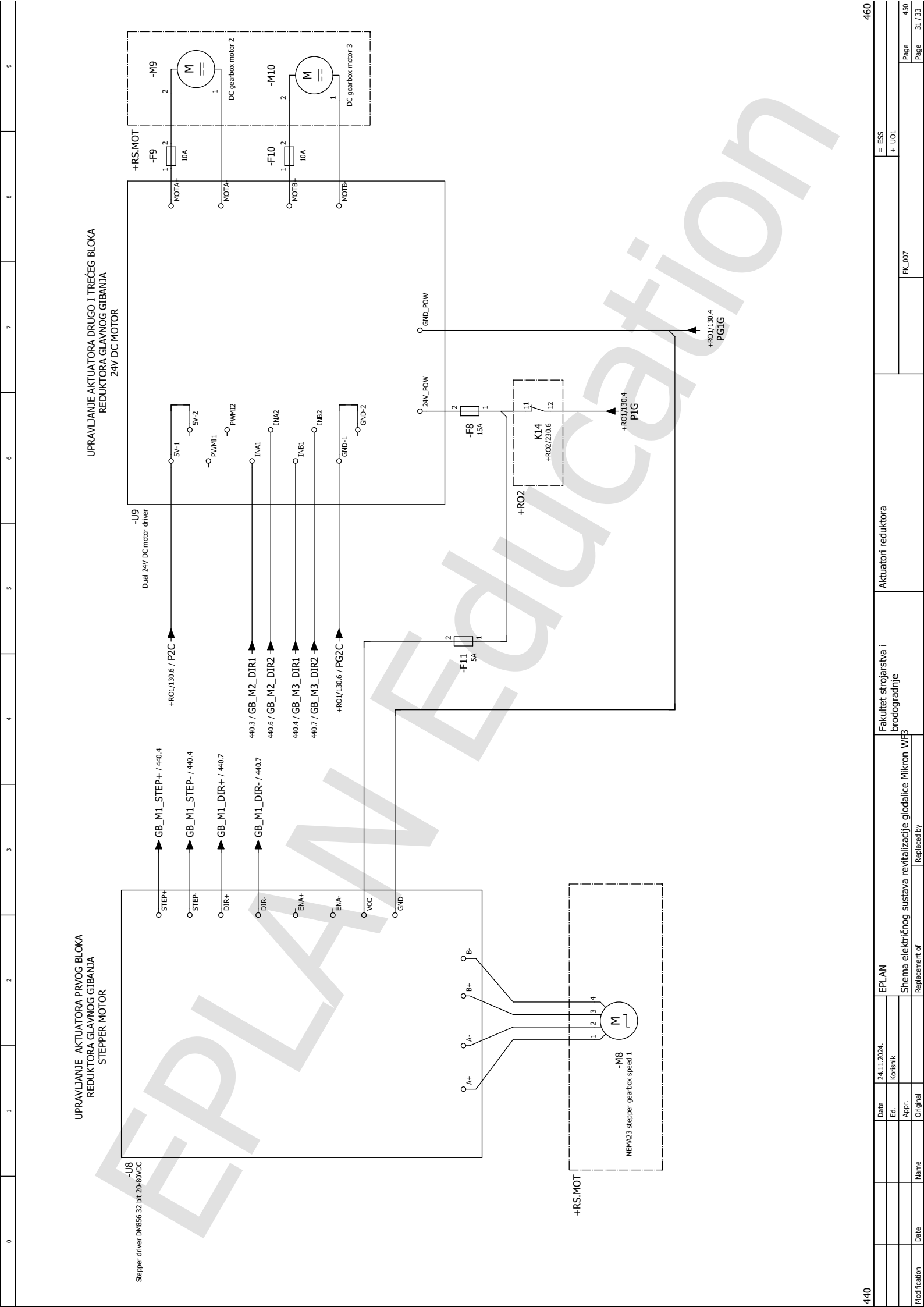
UPRAVLJANJE AKTUATORA
REDUKTORA GLAVNOG GIBANJA

SERVO_ALARM
+R02/205.1

GRESKA U SERVO DRIVE-U

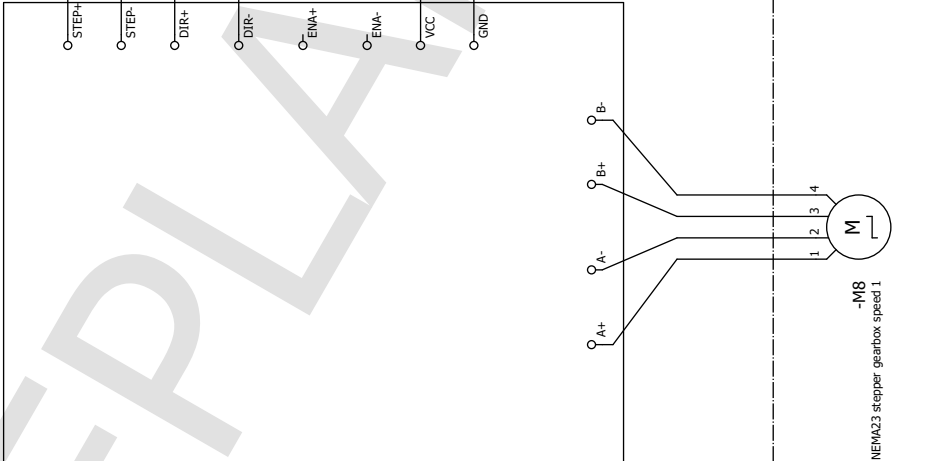
RIGHT TERMINAL I/O - ODD NUMBERS

LEFT TERMINAL I/O - EVEN NUMBERS

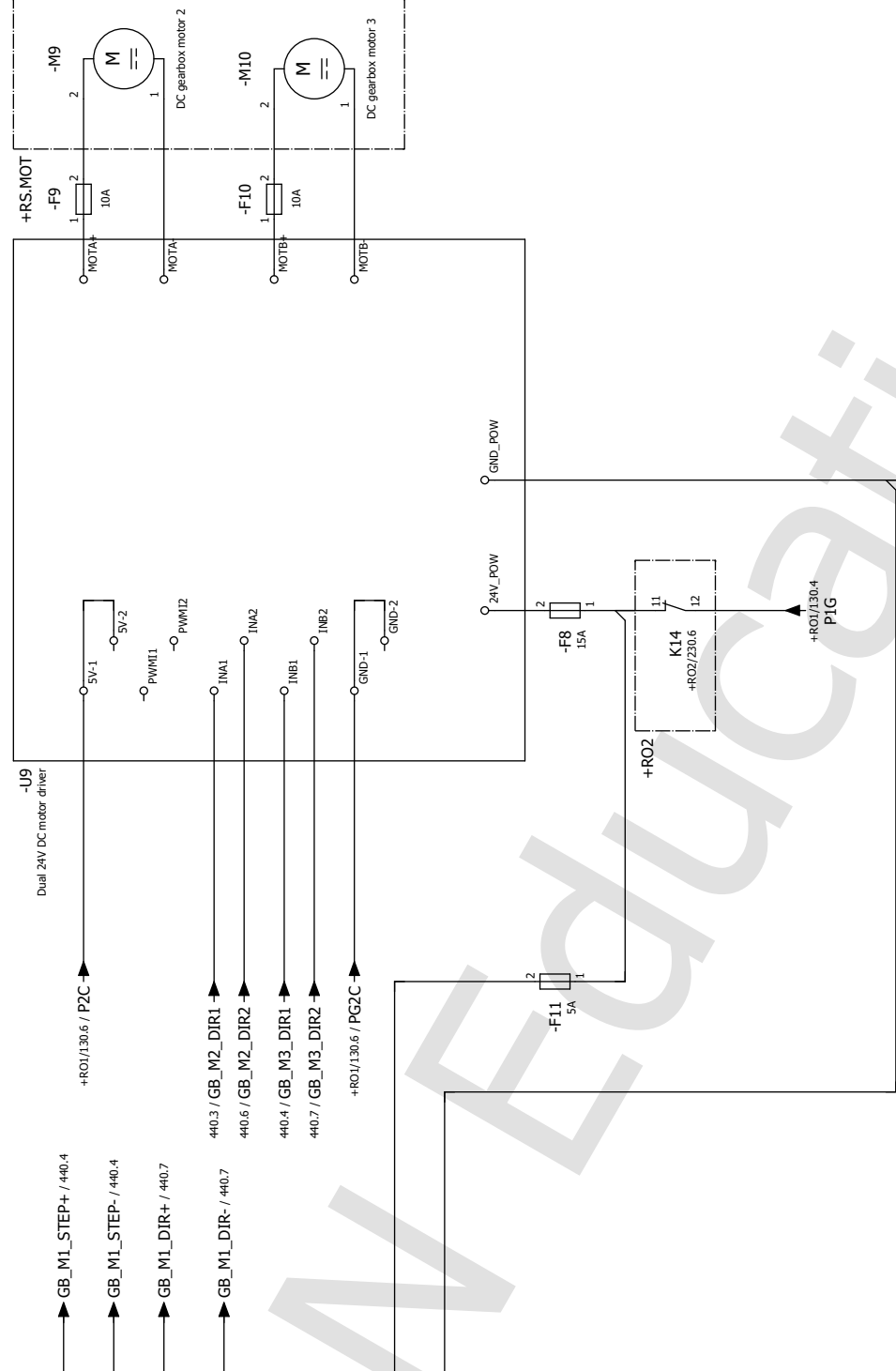


UPRAVLJANJE AKTUATORA PRVOG BLOKA
REDUKTORA GLAVNOG GIBANJA
STEPPER MOTOR

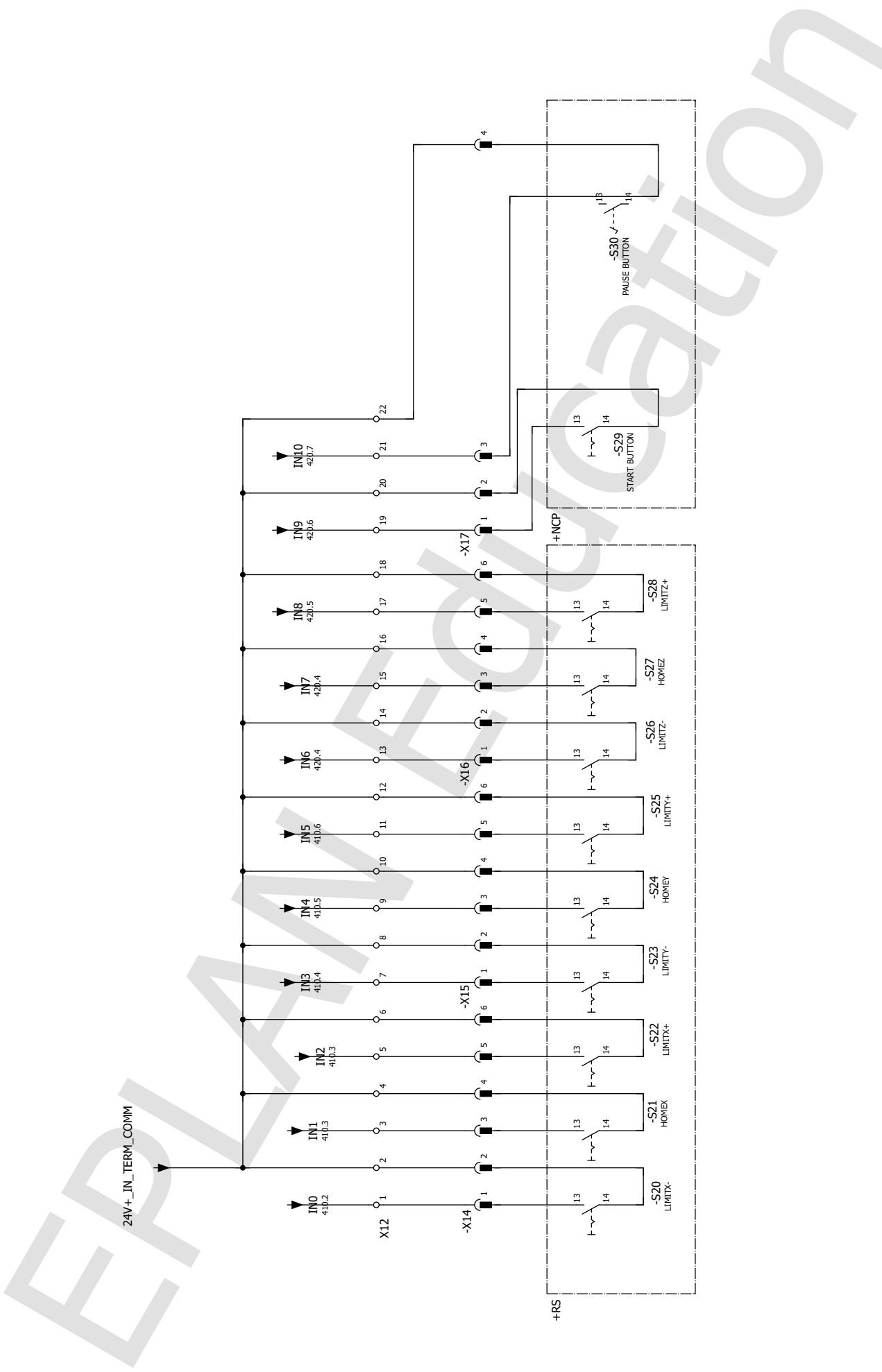
-U8
Stepper driver DM856 32 bit 20-80VDC



UPRAVLJANJE AKTUATORA DRUGO I TREĆEG BLOKA
REDUKTORA GLAVNOG GIBANJA
24V DC MOTOR



-U9
Dual 24V DC motor driver



24V+_IN_TERM_COMM

