

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Nataša Hribar

**Avtomatizacija krmiljenja male
hidroelektrarne**

DIPLOMSKO DELO
[NA VISOKOŠOLSKEM STROKOVNEM ŠTUDIJU]

Mentor: pred. mag. Igor Škraba

Ljubljana, 2010



Št. naloge: 00473/2009

Datum: 15.10.2009

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **NATAŠA HRIBAR**

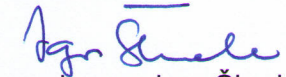
Naslov: **AVTOMATIZACIJA KRMILJENJA MALE HIDROELEKTRARNE
AUTOMATIC CONTROL OF SMALL HYDROPOWER PLANT**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija

Tematika naloge:

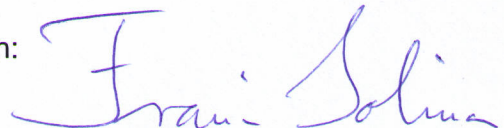
V nalogi na kratko predstavite problematiko malih elektrarn. Načrtajte strojno in programsko opremo za avtomatsko krmiljenje turbin male elektrarne Krajcova žaga.

Mentor:


pred. mag. Igor Škraba



Dekan:


prof. dr. Franc Solina

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .

Namesto te strani **vstavite** original izdane teme diplomskega dela s podpisom mentorja in dekana ter žigom fakultete, ki ga diplomant dvigne v študentskem referatu, preden odda izdelek v vezavo!

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a Nataša Hribar,

z vpisno številko 63050255,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

Avtomatizacija krmiljenja male hidroelektrarne

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom pred. mag. Igorja Škrabe
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 15.04.2010

Podpis avtorja/-ice:

Zahvala

Na tem mestu bi se rada zahvalila mentorju pred. mag. Igorju Škrabi za strokovno svetovanje, usmerjanje in pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Zahvalila bi se tudi Sabini Zalokar, ki je lektorirala mojo diplomsko nalogo.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1 Male hidroelektrarne	4
1.1 Princip delovanja male hidroelektrarne	4
1.2 Načini obratovanja MHE	5
1.3 Vodne turbine	6
1.4 Generatorji	7
2 Obnova male hidroelektrarne - "Krajcova žaga"	8
2.1 Kratka zgodovina	8
2.2 Obstoječe stanje	8
2.3 Upravljanje elektrarne	9
2.4 Oprema	11
2.4.1 Francisovi turbini	11
2.4.2 Asinhronski elektromotor - generator	11
2.4.3 Asinhronski elektromotor z reduktorjem	12
2.4.4 Ultrazvočni merilnik nivoja vode	14
2.4.5 Končna stikala	14
2.4.6 Krmilnik - Allen Bradley SLC 500	15
2.4.7 RSLogix 500	16
3 Avtomatsko krmiljenje vodilnih lopatic turbine	18
3.1 Mehanizem za odpiranje vodilnih lopatic	19
3.2 Začetne nastavitve senzorjev in krmilnika	20
3.2.1 Namestitev merilnika nivoja vode	20
3.2.2 Nastavitve krmilnika	22
3.2.3 Programske nastavitve	24
3.2.4 Signali	26

3.3	Krmiljenje	28
3.3.1	Diagram poteka krmiljenja vodilnih lopatic	28
4	Zaključek	32
A	Priključitev v distribucijsko elektroenergetsko omrežje	33
A.1	Vklop nizkonapetostnih generatorjev v nizkonapetostno omrežje	34
A.1.1	Tipska shema A:	34
A.1.2	Tipska shema B:	34
A.2	Vključitev nizkonapetostnih generatorjev v srednje-napetostno distribucijsko omrežje	35
A.2.1	Tipska shema C:	35
A.2.2	Tipska shema D:	35
A.3	Vključitev srednje-napetostnih generatorjev v srednje-napetostno distribucijsko omrežje	36
A.3.1	Tipska shema E:	36
A.3.2	Tipska shema F:	36
A.4	Prikaz osnovnih načinov vključevanja v distribucijsko omrežje .	37
B	SLC 500 manual	38
B.1	Naslavljanje vhodov in izhodov	38
B.2	Naslavljanje statusne datoteke (Status File S2)	39
B.3	Naslavljanje bitne datoteke (Bit Data File B3)	40
B.4	Naslavljanje časovnika (Timer Data File T4)	41
B.5	Naslavljanje seštevalnika (Counter Data File Elements C5) . . .	42
B.6	Naslavljanje kontrolne datoteke (Control Data File R6)	43
B.7	Naslavljanje datoteke celih števil (Integer Data File N7)	44
B.8	Naslavljanje datoteke racionalnih števil (Float Data File F8) . .	45
B.9	Inicializacija vhodov	46
B.10	Vrednosti podatkovneda formata Inženirske enote (Engineering Unit)	46
B.11	Specifikacije in vezja Vhodnega digitalnega modula - 1746-IB16	47
	Seznam slik	47
	Seznam tabel	51
	Literatura	52

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

EES: Elektroenergetski sistem Slovenije

Elektrarna: Energetski objekt za proizvodnjo električne energije z enim ali več agregati, ne glede na vrsto primarne energija in način pretvorbe.

MHE: Mala hidroelektrarna

NN: Nizko napetostno omrežje

SN: Srednje napetostno omrežje

Omrežje: Skupek medsebojno galvansko povezanih vodov, ki so namenjeni za prenos in razdelitev električne energije. Po napetosti razlikujemo visokonapetostna, srednje napetostna in nizkonapetostna omrežja

Povzetek

V diplomskem delu je predstavljena izvedba avtomatizacije male hidroelektrarne, natančneje avtomatizacija krmiljenja vodilnih lopatic na turbini. Osnovni namen avtomatizacije je zagotavljanje optimalnega izkoristka turbine, hkrati pa se močno zmanjša oziroma odpravi potrebo po ročnem upravljanju.

V uvodnem delu je opisana sestava malih hidroelektrarn in njihov način delovanja. V nadaljevanju je predstavljena mala hidroelektrarna "Krajcova žaga". V prvi polovici prejšnjega stoletja je na tej lokaciji obratovala žaga, ki je imela svoj vir napajanja z električno energijo. Iz tistega časa sta v kompleksu še vedno vgrajeni dve Francisovi turbini, ki sta bili obnovljeni za potrebe male hidroelektrarne.

Mala hidroelektrarna je trenutno v fazi obnavljanja infrastrukture in opreme ter pridobivanja obratovalnih dovoljenj.

Razvit je bil model za izvedbo avtomatskega krmiljenja vodilnih lopatic na obeh turbinah. Za potrebe avtomatizacije je bilo potrebno izbrati senzorje za merjenje fizikalnih količin in krmilnik, ki bo glede na podatke senzorjev ustrezno krmilil vzvod za odpiranje in zapiranje vodilnih lopatic na posamezni turbini. Obstoječemu vzvodu je bil dodan merilec lege vodilnih lopatic. Merilec poleg boljše preglednosti lege lopatic omogoča tudi preklapljanje varnostnih senzorjev. Izdelan je bil diagram poteka, ki natančno opisuje postopke krmiljenja vodilnih lopatic na turbini.

Ključne besede:

mala hidroelektrarna, avtomatsko upravljanje, industrijski krmilnik, vodilne lopatice turbine, merilec nivoja vode

Abstract

The diploma thesis presents the implementation of small hydropower plant automation, to be precise control automation on the turbine guide vanes. The basic purpose of automation is to provide optimum turbine efficiency while significantly reducing or eliminating the need for manual management.

At the beginning the composition of small hydropower plants and their mode of action is described. Later on a small hydropower plant "Krajcova žaga" is presented. At this location a saw, which had its own source of electricity supply, operated in the first half of previous century. Since then there are two Francis turbines still built in the complex, which have been reconstructed for the needs of the small hydropower plants.

A model was developed to implement automatic control on the turbine guide vanes. For the purpose of automation is necessary to provide sensors for measuring physical quantities, and a controller. Controller will control a lever for opening and closing the guide vanes on each turbine, as response to sensor data. A gauge was added to the existing lever, to measure position of the guide vanes. In addition to improving the transparency of the guide vanes position, the gauge enables switching the security sensors. A flow chart was developed that precisely describes the control of the turbine guide vanes procedures.

Key words:

small hydropower plant, automatic control, industrial controller, turbine guide vanes, the water level gauge

Uvod

Tako v EU kot tudi v Sloveniji prihaja do čedalje večjega povpraševanja po zeleni energiji. Zelena energija predstavlja električno energijo iz okolju prijaznih in obnovljivih virov. Največji vir te energije so male hidroelektrarne. V Sloveniji imajo male hidroelektrarne velik, vendar slabo izkoriščen potencial. Težava so zaostrene razmere na tržišču, zato je kljub nacionalnim interesom in najsodobnejši tehnologiji, ki je na voljo, še vedno malo investitorjev, ki bi se lotili postavitve male hidroelektrarne. Najpomembnejši tržni segment za proizvajalce tako predstavlja prenova že obstoječih malih elektrarn.

Sama postavitve ali obnovitev male elektrarne še ne pomeni, da bo elektrarna obratovala. Anketa, katere rezultate je v svojem diplomskem delu [6] predstavil Luka Selak, je pokazala, da operaterji malih hidroelektrarn elektrarno nadzorujejo vsaj enkrat do dvakrat dnevno. To opravilo jim vzame veliko časa, elektrarno pa je potrebno vzdrževati skozi vse leto. Na tej točki pridemo do avtomatizacije elektrarne. Avtomatizacija prinese veliko prednosti, zmanjša čas vzdrževanja, hidroelektrarna pa obratuje bolj optimalno. Del avtomatizacije hidroelektrarne predstavlja avtomatizacija krmiljenja vodilnih lopatic na turbinah, ki jo bom v diplomski nalogi natančneje opisala.

Poglavje 1

Male hidroelektrarne

1.1 Princip delovanja male hidroelektrarne

V skupino malih hidroelektrarn spadajo vse hidroelektrarne, ki imajo proizvodno moč do 10 MW. Male hidroelektrarne (v nadaljevanju MHE) niso zgolj pomanjšana različica velike elektrarne. Potrebna je posebna oprema za zagotavljanje osnovnih zahtev, kot so enostavnost, visok izkoristek, maksimalne zanesljivosti in preprosto vzdrževanje tudi za nestrokovnjake. MHE je splošno sestavljena iz zajetja z vtokom v dovodni kanal, dovodnega objekta, zgradbe strojnice in odvodnega objekta. V strojnici se nahaja agregat, ki je sestavljen iz turbine, generatorja, upravljalnega sistema in povezave z distribucijskim omrežjem [4]. Osnovni pogoj za izrabo vodne energije je ustrezen umetno ustvarjen vodni tlak, na primer z nivoja zaježitve do mesta turbine, med katerima vodi tlačni cevovod. Pri MHE gre načelno za prosti vodni tok reke, pri katerem izgradnja večjih rezervoarjev in jezov ni potrebna [2]. MHE deluje tako, da je del rečnega toka speljan po kanalu ali ceveh do turbine. Voda poganja turbino, ki vrti generator. Generator proizvaja električno energijo. Izstopna voda se nato vrača v rečno strugo. MHE so po navadi zasnovane tako, da je del struge speljan v elektrarno, glavni tok reke pa neovirano teče naprej. To je izredno pomembno iz vidika ekologije, saj ne naredimo bistvenega posega v reko. S tem ne spreminjamo vodostaja in režima na reki ter ne onemogočamo normalnega vodnega življenja. Za tak sistem zaježitve reke potrebujemo malo sredstev za izgradnjo. Pridobimo tudi boljšo zanesljivost zaradi preprostega sistema. Pridobljeno električno energijo lahko direktno pošiljamo v omrežje ali pa jo skladiščimo v akumulatorjih. Če električne energije ne oddajamo v omrežje in če nimamo nameščenih akumulatorjev, v katerih jo shranjujejo, lahko nastane problem tam, kjer so izrazita sušna in deževna obdobja. V sušnih obdobjih je

zagotovljene premalo električne energije, v deževnih pa je presežek električne energije izgubljen.

1.2 Načini obratovanja MHE

Male hidroelektrarne lahko obratujejo v štirih režimih:

- otočno obratovanje,
- paralelno obratovanje z omrežjem EES brez oddaje,
- paralelno obratovanje s stalno ali občasno oddajo energije v omrežje,
- kombinirano otočno obratovanje.

Pri otočnem obratovanju so agregati za stalno in rezervno napajanje porabnikov na ločenem delu omrežja. Paralelno obratovanje z omrežjem EES (Elektroenergetski sistem Slovenije) ni predvideno, oz. je z ustreznimi stikalnimi aparati ali z ločenimi napajalnimi tokokrogi zanesljivo preprečeno.

Pri paralelnem obratovanju z omrežjem EES brez oddaje energije v omrežje so vključeni agregati, ki proizvajajo energijo izključno za potrebe tehnološkega procesa proizvajalca. Oddaja energije v distribucijsko elektroenergetsko omrežje ni predvidena in je tudi preprečena.

Pri paralelnem obratovanju z omrežjem EES s stalno ali občasno oddajo energije v omrežje agregati stalno obratujejo paralelno z distribucijskim elektroenergetskim omrežjem in proizvedeno energijo oddajajo v omrežje v celoti ali jo delno porabijo v lastnih tehnoloških procesih proizvajalca, viške pa oddajajo v omrežje.

V kombinirano otočno ali paralelno delovanje so vključeni agregati, ki so opremljeni za otočno in za paralelno obratovanje [10].

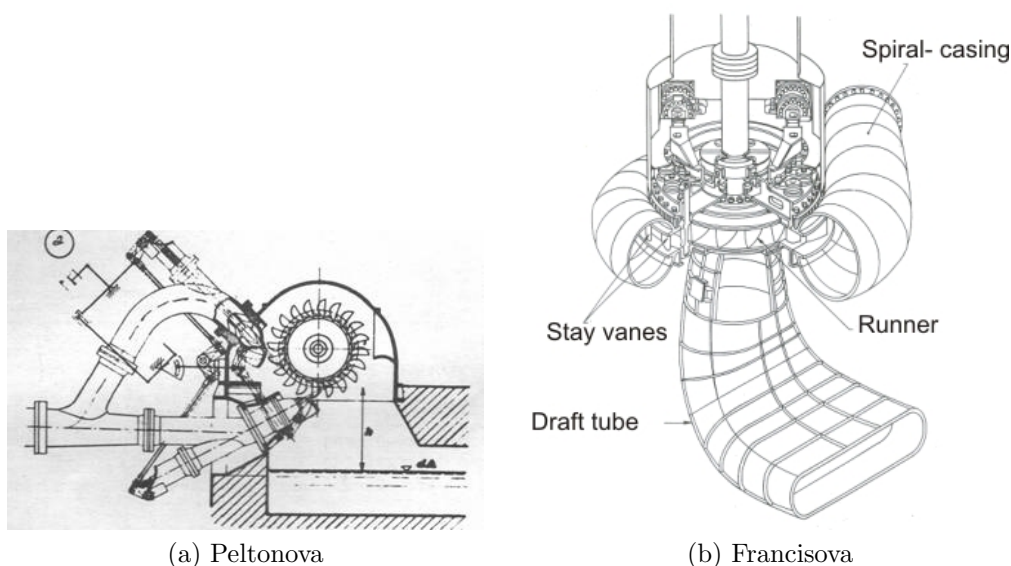
1.3 Vodne turbine

Turbina je pogonski stroj, pri katerem se potencialna energije vode pretvarja v mehansko energijo.

Če želimo dobiti električno energijo, povežemo turbino z generatorjem. Turbina in generator tvorita turboagregat. Glede na pretvorbo energije ločimo dva osnovna tipa turbin; enakotlačne (impulzne) in nadtlačne (reakcijske) turbine.

Primer enakotlačne je Peltonova turbina, ki je prikazana na sliki 1.1a. Tu vodni curek z veliko hitrostjo izstopa iz šobe in udarja v lopatice. Na njih spremeni smer in odda kinetično energijo. Pretok vode, in s tem moč Peltonove turbine, se uravnava s premikanjem igle v šobi. Ta tip turbine je primeren za majhne pretoke in velike padce od 60 do 2000 m.

Primer reakcijske turbine sta Francisova, prikazana na sliki 1.1b, in Kaplanova turbina. Pri teh vrstah turbin je gonilnik v celoti napolnjen z vodo. Ustvarijo se hidrodinamične "dvižne sile", ki poganjajo lopatice. Moč turbine se uravnava s pretokom vode in smerjo toka glede na lopatice gonilnika. Takšen tip turbine je primeren za srednje in majhne vodne padce in srednje pretoke, kakršne ima večina virov vodne energije.



Slika 1.1: Primer enakotlačne in nadtlačne turbine

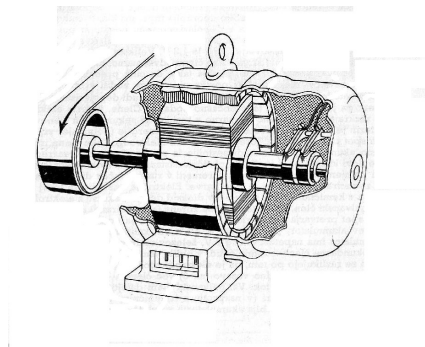
1.4 Generatorji

Generator je naprava, ki pretvarja mehansko energijo v električno. Mehansko energijo običajno dovajamo z vrtenjem osi. Električna napetost nastane, ko tokovodnik seka silnice magnetnega polja (električna indukcija).

Za oddajanje električne energije v omrežje lahko uporabimo dve vrsti generatorjev; sinhronski ali asinhronski generator. Lahko uporabimo tudi statične elektroenergetske pretvornike.

Glede na napetostni nivo vključitve v distribucijsko energetska omrežje delimo generatorje še na nizkonapetostne in sredjenapetostne. Nazivna medfazna napetost nizkonapetostnih generatorjev je do 1 kV, srednje napetostnih pa nad 1 kV (praviloma 3,15 kV; 5,25 kV, 6,3 kV in 10,5 kV). Primeri vključitev v distribucijsko elektroenergetska omrežje so opisani v Dodatku A.

Sinhroni generatorji so primerni za paralelno obratovanje z omrežjem in samostojno otočno obratovanje. Pri paralelnem delovanju reguliramo delovno moč s turbinskim regulatorjem, jalovo moč pa z regulatorjem vzbujanja. Za samostojno otočno obratovanje moramo frekvenco regulirati s turbinskim regulatorjem, napetost pa z regulatorjem vzbujanja. Asinhronski generatorji brez vzporednih kondenzatorjev so uporabni le za paralelno obratovanje z omrežjem, iz katerega dobimo jalovo moč za vzbujanje. V takem obratovanju ne potrebujemo niti hitrostnega regulatorja, ker frekvenco in napetost vzdržuje omrežje samo. Delovno moč je potrebno prirejati spremenljivemu vodnemu dotoku. Zato je potrebna turbinska regulacija vodnega pretoka. To je lahko predturbinska zapornica ali loputa [4].



Slika 1.2: Tehnična izvedba generatorja

Poglavje 2

Obnova male hidroelektrarne - ”Krajcova žaga”

2.1 Kratka zgodovina

”Krajcova žaga” je bila zgrajena v prejšnjem stoletju. Stala je ob Mlinščici, na kateri je bil zgrajen jez. Mlinščica je iz glavnega toka potoka izpeljan rokav, ki teče skozi elektrarno in se kasneje zopet priključi glavnemu toku. V času po prvi svetovni vojni je bila prenovljena tako, da je bila vanjo vgrajena Kaplanova turbina. Služila je predvsem za poganjanje krožnih žag za obdelavo lesa [3]. Kaplanovo turbino sta nadomestili dve Francisovi, ki še vedno delujeta.

2.2 Obstoječe stanje

Slika 2.2 prikazuje obstoječe stanje elektrarne. Voda iz Mlinščice priteče v jez (1), ki je prikazan na sliki 2.1a. Nivo vode v jezu lahko reguliramo s tremi zapornicami. Zapornici (5) in (6) spuščata vodo v ločena prostora s turbinama, zapornica (8) spušča vodo v novo strugo, ki se priključi glavni strugi. Zapornici (5) in (6) sta v normalnem obratovanju odprti. Zapre se ju, kadar želimo imeti suh prostor, kjer sta turbini. To je v primeru vzdrževanja ali morebitnega popravila turbin. Zapornica (8) je v normalnem obratovanju zaprta, odpremo jo le v primeru, če je preveč vode ali če hočemo očistiti jez. Pred vhom vodotoka v turbine so vgrajene čistilne rešetke. Njihov namen je, da listje in veje ne uhajajo v prostor, kjer sta turbini. Listje iz rešetak je potrebno ročno čistiti. V prostoru (2) in (3) sta turbini, ki sta z osjo jermensko povezani z generatorjem (4), vidno na sliki 2.4. V istem prostoru - strojnici je tudi vzvod

za krmiljenje lopatic na turbinah, ki je na sliki 2.1b. Trenutna postavitev že omogoča proizvodnjo električne energije za lastno rabo.

2.3 Upravljanje elektrarne

Elektrarno se trenutno upravlja ročno. Če želi upravljavec doseči maksimalni izkoristek iz turbine, mora vsak dan opazovati vodostaj vode v jezu in glede na nivo vode krmiliti lopute na turbini. Lopute se krmili s posebnim vzvodom, ki je prikazan na sliki 2.1b. Tak način krmiljenja vzame upravljavcu veliko časa in ni najbolj natančen. Ročno težko določimo najbolj optimalno lego loput, zato turbine ne oddajajo maksimalne količine energije. Zaradi želje po optimalnem krmiljenju hidroelektrarne bom v tej diplomski nalogi avtomatizirala krmiljenje loput.

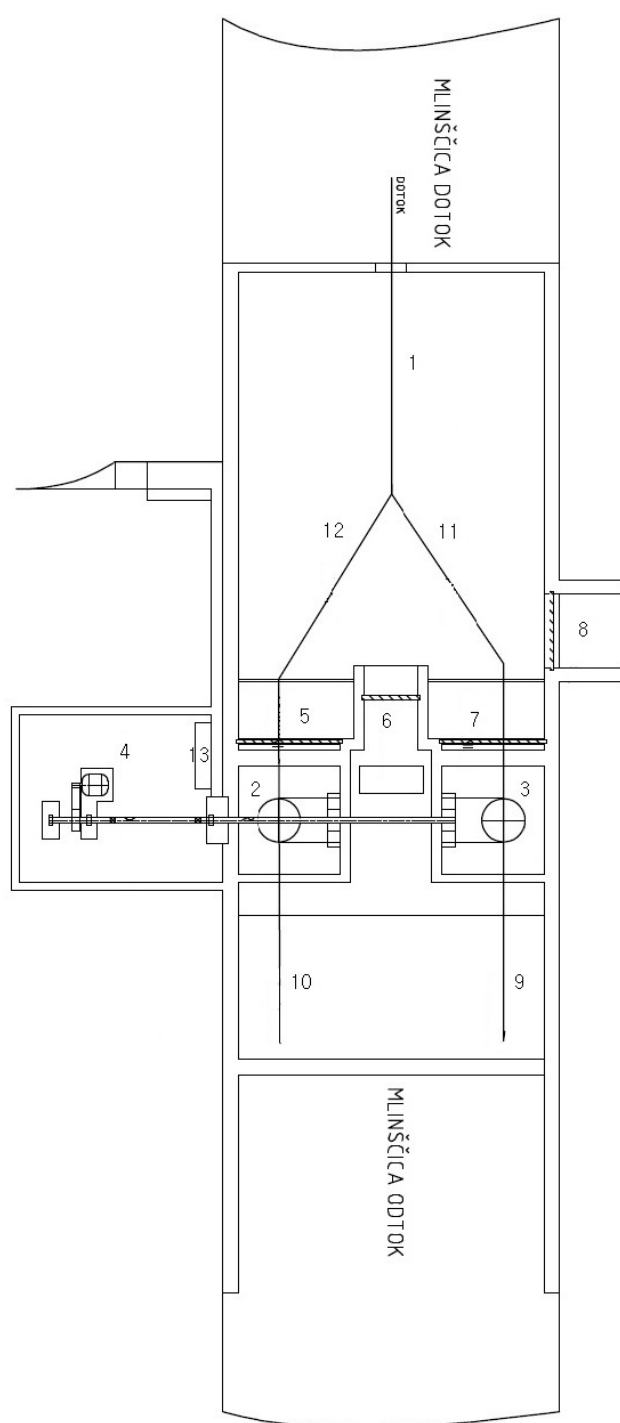


(a) Jez



(b) Vzvod za ročni premik lopatic

Slika 2.1: Obstoječe stanje



LEGENDA:

1. Jez
2. Turbina 1
3. Turbina 2
4. Generator 11kW
5. Zapornica 1
6. Zapornica 2
7. Zapornica 3
8. Zapornica 4
9. Odtok 1
10. Odtok 2
11. Vtok 1
12. Vtok 2
13. Elektro krmiljenje

Slika 2.2: Tloris elektrarne - obstoječe stanje

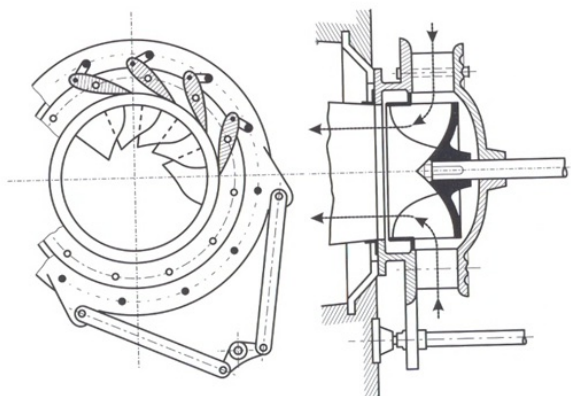
2.4 Oprema

2.4.1 Francisovi turbini

Francisova turbina je primerna za srednje velike padce in srednje močne pretoke. Sestavljena je iz venca vodilnih lopatic, ki jih je mogoče med obratovanjem pripirati, in venca gonilnih lopatic, ki so togo pritrjene na gred gonilnika. Vodilne lopaticice so vgrajene odprto v betonskem jašku. Tako je tok vode bolj enakomerno razporejen po celotnem obodu.

Pretok vode in smer toka glede na lopaticice gonilnika ter s tem moč Francisove turbine se uravnava s premikanjem vodilnih lopatic turbine, ki so prikazane na sliki 2.3.

Francisova turbina dosega maksimalne izkoristke do približno 90% (pri starejših napravah do 80%).



Slika 2.3: Francisova turbina - lopaticice

2.4.2 Asinhronski elektromotor - generator

Vgrajen je Severjev asinhronski elektromotor, ki bo uporabljen kot generator. Elektromotor ima 11 kW nazivne moči. Nazivna napetost je 380 V. V minuti naredi 725 obratov. S turbino je povezan z jermenico, kot prikazuje slika 2.4. Za izkoriščanje druge turbine bo potrebno vgraditi še en generator.



Slika 2.4: Izvedba pogona: povezava turbine in generatorja z jermenico

2.4.3 Asinhronski elektromotor z reduktorjem

Za pogon vzvoda za krmiljenje loput turbine je uporabljen asinhronski elektromotor, kot je prikazano na sliki 2.10. Na elektromotor je pritrjen reduktor z navojnim vretenom. Ko bo elektromotor odvijal navoj, bo potiskal vzvod v smeri odpiranja loput in obratno. Motor se vrti z 1415 obrati na minuto. Za 12 obratov reduktorja je potrebno 1415 obratov motorja, se pravi da reduktor naredi 12 obratov na minuto. Korak navoja na vretenu je 4 mm, zato vsak obrat vretena premakne vzvod za 4 mm.

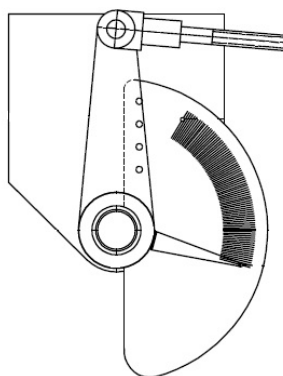


Slika 2.5: Elektromotor z reduktorjem

Merilo odpiranja in zapiranja

Za lažjo predstavo pozicije lopatic je bilo izdelano merilo, ki je na sliki 2.6. Kazalec je pritrjen na vzvod za krmiljenje lopatic. Slika prikazuje pozicijo kazalca, ko so lopatice maksimalno odprte.

Merilo je dolgo 145 mm in je razdeljeno na 58 enot. Razdalja med sosednjima enotama je 2,5 mm. Ročno je izmerjeno, da je za premik ene enote potrebno 2,4 obrata vretena.



Slika 2.6: Merilec pozicije lopatic

Izračun časa odpiranja in zapiranja

Krmilnik bo krmilil elektromotor s pomočjo časovnika. Časovnik bo vključeval elektromotor za toliko časa, kolikor le ta potrebuje za premik zelenega števila enot. Izračunati je potrebno koliko časa potrebuje elektromotor, da odpre vzvod za eno enoto. Za izračun potrebujem obrate reduktorja in izmerjeno število obratov vretena, da se vzvod premakne za eno enoto.

$$\text{Obrati reduktorja} = 12 \text{ obr/min}$$

$$\text{Obrati vretena za premik 1 enote} = 2,4 \text{ obr}$$

$$\text{Čas vrtenja reduktorja za 1 obrat vretena} = \frac{60s \times 1obr}{12obr} = 5s$$

$$\text{Čas vrtenja reduktorja za 1 enoto} = 5s \times 2,4obr = 12s$$

Za premik vzvoda za 1 enoto moramo vključiti elektromotor za 12 s.

2.4.4 Ultrazvočni merilnik nivoja vode

Ultrazvočni oddajnik (senzor) usmeri ultrazvočni signal skozi zrak do površine vode. Signal se odbije od površine, senzor, ki se sedaj obnaša kot sprejemnik, zazna odbiti signal.

Čas med oddajo in sprejemom signala (time of flight) je proporcionalen razdalji med senzorjem in površino. ProsonicT je ultrazvočni oddajnik za nenehno brezkontaktno merjenje višine vode ali trdne podlage. Na izhod posreduje signal v obliki toka od 4 do 20 mA. Tok 4 mA pomeni najnižji, tok 20 mA pa najvišji vodostaj. Vmesne vrednosti lahko izračunamo z linearno interpolacijo.



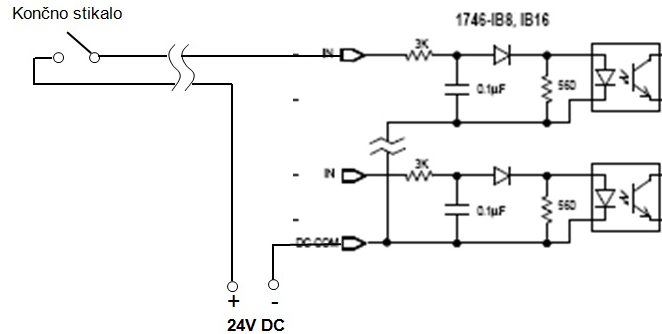
Slika 2.7: Ultrazvočni merilnik globine

2.4.5 Končna stikala

Za omejitev pomika vzvoda za premikanje vodilnih lopatic je na obeh končnih položajih montirano končno stikalo, ki je vezano na vhod krmilnika. Uporabljeni sta končni stikali SND4111-SP 1NO+1NC. Model tega stikala je prikazan na sliki 2.8.



Slika 2.8: Končno stikalo SND4111-SP 1NO+1NC.



Slika 2.9: Priključitev končnega stikala na vhodni digitalni modul

2.4.6 Krmilnik - Allen Bradley SLC 500

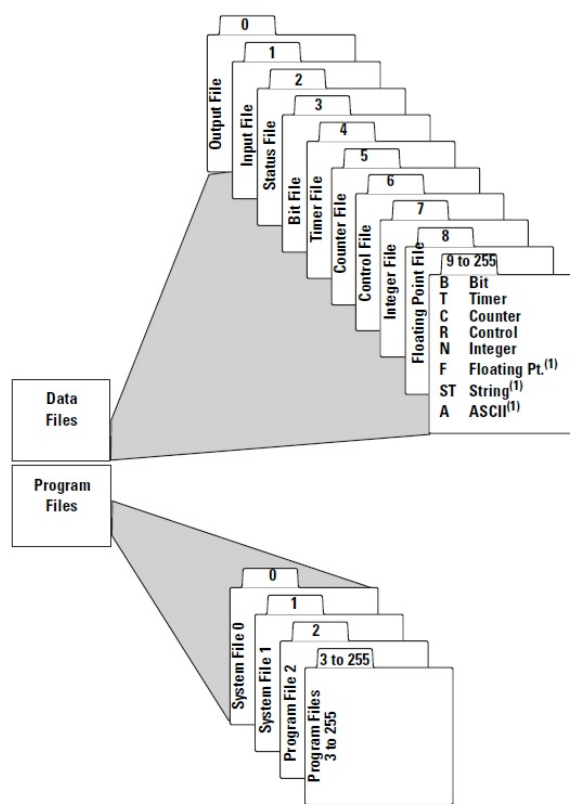
Za družino krmilnikov SLC 500 je značilno, da jih lahko poljubno dograjujemo z različnimi moduli. Krmilnik, ki ga bom uporabila v diplomski sestavi, sestavljajo naslednji moduli:

- napajalni modul,
- procesor SLC 5/03 L532 s 16KB programskega pomnilnika,
- vhodni analogni modul s 4 vhodi (analog input module 1746-NI4),
- vhodni digitalni modul s 16 vhodi (digital input module 1746-IB16),
- izhodni digitalni modul z 8 izhodi (digital output module 1746-OW8).



Slika 2.10: Allen-Bradley SLC 500

Uporabniški pomnilnik, krmilnikov SLC 500, vsebuje podatkovne (Data Files) in programske (Program Files) datoteke, prikazane na sliki 2.11. Tipi podatkovnih datotek od 3 do 8 so privzete vrednosti. Datoteke od 9 do 255 pa lahko poljubno nastavimo. Tipi nastavitvev so vidni na sliki 2.11. Podatkovni datoteki 0 in 1 predstavljata zunanje izhode in vhode, vsakega posebej. V podatkovni datoteki 2 se nahaja statusna datoteka (Status File). Vanjo ne moremo pisati ali iz nje brisati podatkov. Informacije o naslavljanju posameznih datotek so v Dodatku B.



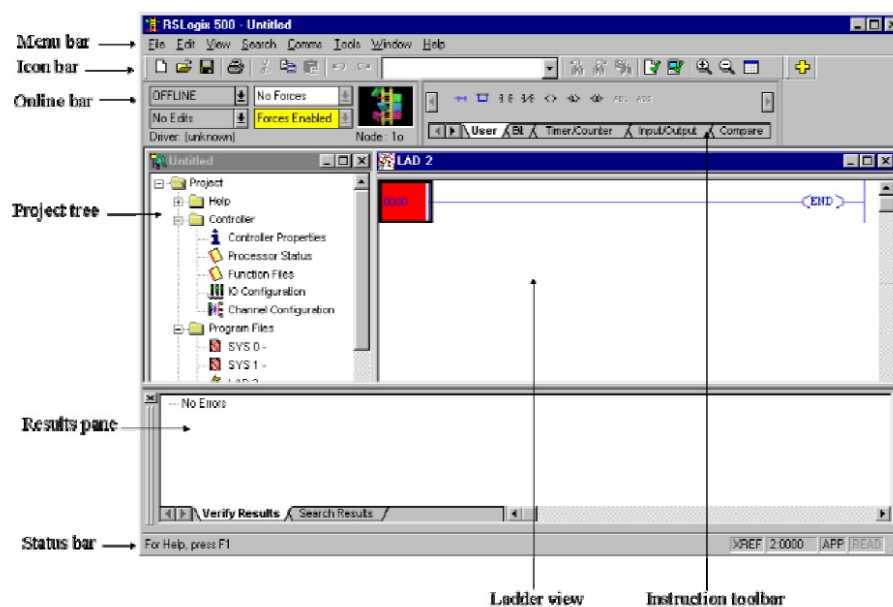
Slika 2.11: Procesorske datoteke

2.4.7 RSLogix 500

RsLogix 500 je programsko okolje za krmilnike družine SLC 500 prikazano na sliki 2.12. Za programiranje krmilnika se uporablja grafični jezik v obliki lestvičnega diagrama, kjer gradnike programa dodajamo na prečke lestve,

vidno na sliki 2.13. Grafični jezik imenovan lestvični diagram izhaja iz relejnih shem, ki so se dolga leta uporabljale za risanje elektromehanskih krmilnikov. Tak način programiranja naj bi olajšal prehod iz elektromehanskih relejnih krmilnikov na programabilne krmilnike.

Za programiranje bom uporabila RSLogix 500 Starter for 10pt MicroLogix 1000, ki ga lahko brezplačno prenesemo iz Allen-Bradleyeve spletne strani [8]. Ta verzija je zelo podobna profesionalnemu programskemu okolju RSLogix 500. Podpira tudi RSLogix Emulate, ki nam omogoča, da simuliramo delovanje programa, ne da bi ga prenesli na krmilnik.



Slika 2.12: RSLogix programsko okolje.



Slika 2.13: Programiranje v obliki lestvičnega diagrama

Poglavje 3

Avtomatsko krmiljenje vodilnih lopatic turbine

Za avtomatsko krmiljenje lopatic na obeh turbinah potrebujemo robusten industrijski krmilnik, ki glede na vhodne signale odloča kako bo krmilil lopatice.

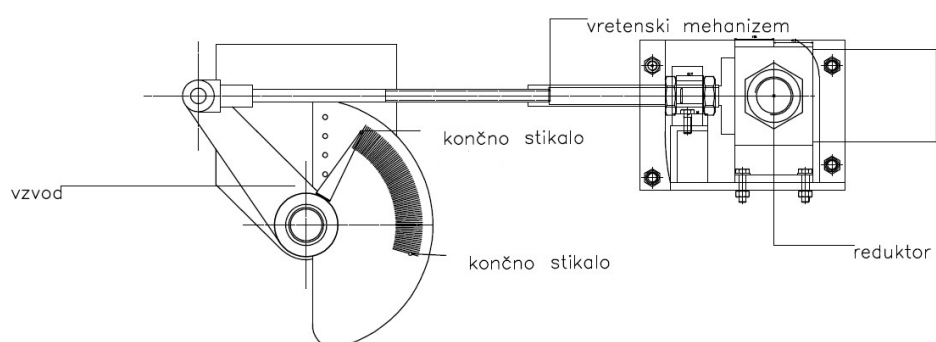
Če hočemo optimalno krmiliti lopatice turbine, moramo dobro opazovati nivo vode v jezu. Idealno je, da je nivo vedno enak. To pomeni, da skozi turbine odteče toliko vode, kolikor je priteče v jez. Tako dosežemo največji padec oz. največjo potencialno energijo. Nivo vode bomo merili z merilnikoma nivoja vode, katera bosta vgrajena v prostore s turbinami.

Krmilnik vklaplja asinhronske motorje za krmiljenje vodilnih lopatic na obeh turbinah glede na višino vode in trenutni položaj vodilnih lopatic. Merilnika za merjenje nivoja vode bosta stalno odčitavala vodostaj in podatke pošiljala krmilniku. Za varnost asinhronskega elektromotorja potrebujemo še štiri stikala za določanje minimalne in maksimalne lege vzvoda.

3.1 Mehanizem za odpiranje vodilnih lopatic

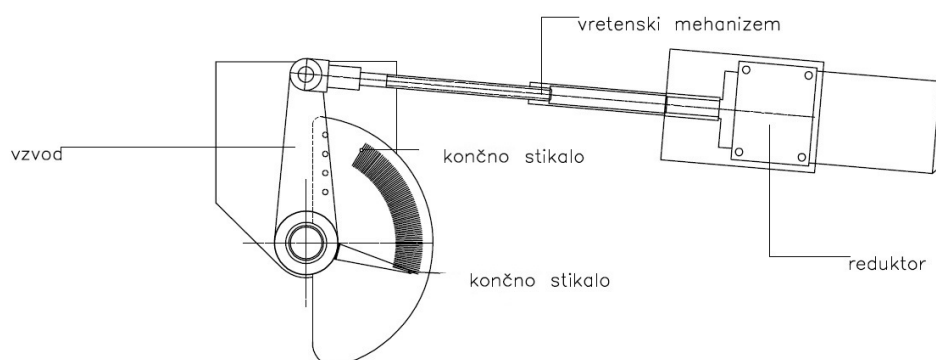
Asinhronski elektromotor z reduktorjem je z vretenskim mehanizmom pritrjen na vzvod za krmiljenje vodilnih lopatic.

Slika 3.1 prikazuje začetno stanje mehanizma. Lopatice na turbini so zaprte in kazalec sklence končno stikalo za začetni položaj. Elektromotor ne sme več dobiti ukaza za zapiranje, dokler se vodostaj ne poveča in lahko prične odpirati vodilne lopatice in s tem dotok vode na turbino.



Slika 3.1: Začetno stanje - lopatice zaprte

Slika 3.2 prikazuje končno stanje mehanizma. Vodilne lopatice so maksimalno odprte in elektromotor ne sme več dobiti ukaza za odpiranje. V tem stanju čaka dokler se vodostaj ne zmanjša in lahko začne zapirati vodilne lopatice.

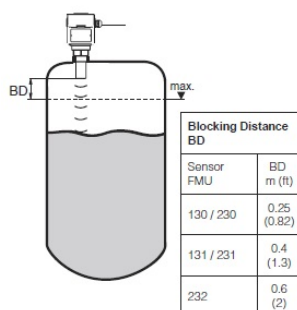


Slika 3.2: Končno stanje - Lopatice maksimalno odprte

3.2 Začetne nastavitve senzorjev in krmilnika

3.2.1 Namestitev merilnika nivoja vode

Merilnik bo nameščen v prostoru kjer se nahajajo turbine, to sta prostora številka 2 in 3 na sliki 2.2. Valovanje vode bo minimalno, posledično tudi napaka merjenja in merilnik bo zaščiten pred vremenskimi vplivi. Merilnik mora biti nameščen 0,6 m nad maksimalno vodno gladino, kot je vidno na sliki 3.3. To je najmanjša blokirna razdalja (Blocking Distance - BD), ker merilnik na razdalji manjši od 0,6 m ne more zaznati odbitega signala.



Slika 3.3: Postavitev merilnika

Nastavitve

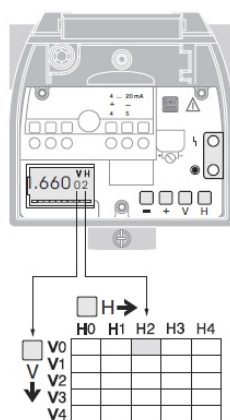
Merilnik moramo kalibrirati, linearizirati in nastaviti izhodni tok. To storimo s pomočjo Endress+Hauser-jeve uporabniške matrike 10 x 10 na sliki 3.4.

Kalibriranje

Nastaviti moramo minimalni (element V0H1 v uporabniški matriki) in maksimalni (element V0H2) nivo vode. V elementu matrike V8H2 določimo enoto meritve (0: metri, 1:čevlji). Izbrala bom metrični zapis. V elementu V0H3 nastavimo vrsto aplikacije. Na izbiro imamo 5 možnih aplikacij, tri za merjenje tekočin in dve za merjenje trdnih snovi. Izbrala bom aplikacijo pod št. 1: Merjenje nivoja vode, kjer se nivo hitro spreminja.

Linearizacija

Z linearizacijo dosežemo, da lahko izhodne podatke predstavimo v različnih merskih enotah. Linearizacijska funkcija, na slikah 3.5a in 3.5b, mora biti po-



Slika 3.4: Uporabniška matrika

dana v enakih enotah kot pri kalibriranju. Funkcija je naraščajoča in ima lahko največ 11 točk. V element matrike V2H1 vstavimo točko, katero opišemo v elementu matrike V2H2 (nivo vode).

Primer iz slike 3.5a: Za točko 7, $V2H1 = 7$, $V2H2 = 4.000$ m. Ko vnesemo vse točke, aktiviramo tabelo z $V2H1=1$. Ta postopek uporabljamo samo v primeru, ko želimo podatek o volumnu tekočine v prostoru ali cisterni, ki nima konstantnega preseka. V svoji diplomski nalogi volumna ne bom potrebovala, zato bom merilnik linearizirala samo z dvema točkama, to sta minimalni in maksimalni vodostaj. Ostale vrednosti se enostavno izračuna po formuli za linearno funkcijo:

$$y = mx + b$$

Kjer je :

y = izhodna vrednost (v m)

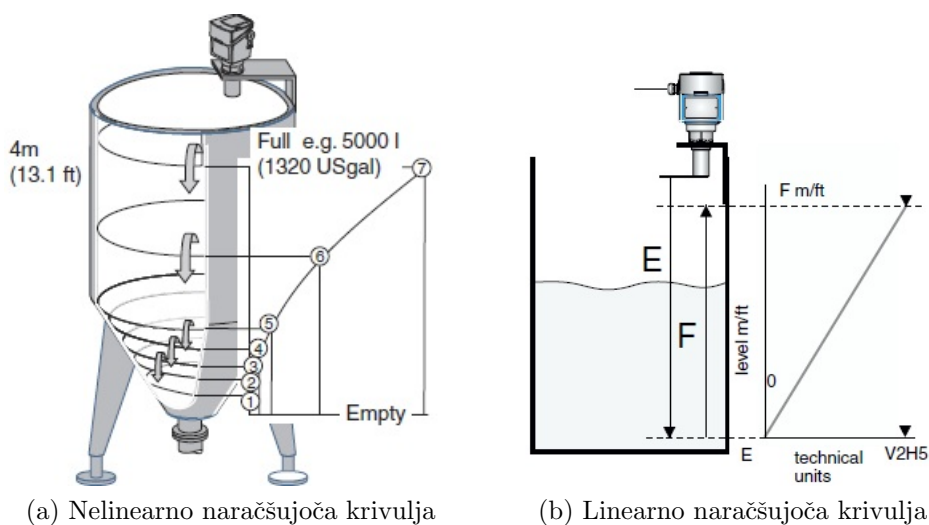
$m = (y(\max) - y(\min)) / (x(\max) - x(\min))$

x = vhodna vrednost (v mA)

$b = \text{odmik absolutno}(y(\min) - x(\min))$

Nastavitev izhodnega toka

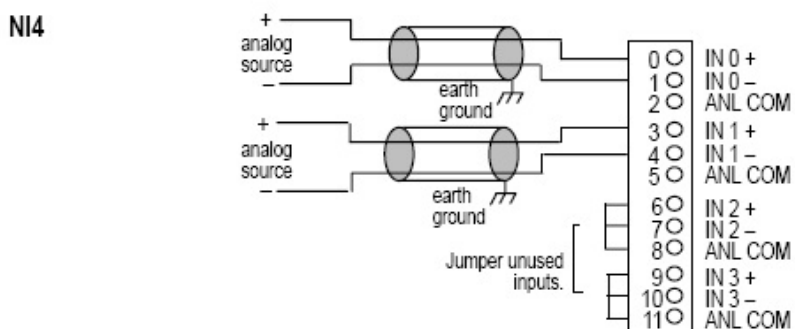
Po linearizaciji moramo za vsako točko nastaviti izhodni tok, ki ga lahko nastavimo tudi v procentih. Tok 4 mA predstavlja minimalni, tok 20 mA pa maksimalni nivo vode. Iz tega lahko za vsak izhodni tok izračunamo nivo vode.



Slika 3.5: Linearizacijski krivulji

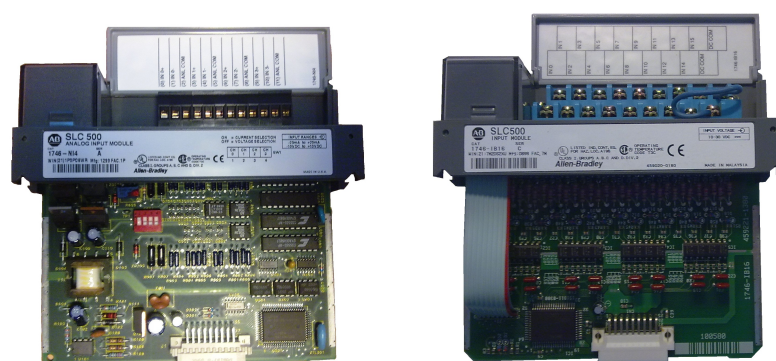
3.2.2 Nastavitve krmilnika

Merilnik nivoja na izhodu oddaja tok od 4 mA do 20 mA. Da bo krmilnik znal prepoznati te vrednosti, bom uporabila analogni modul z štirimi vhodi (analog input module 1746-NI4), prikazan na sliki 3.7a. Modul ima na vezju vgrajena 4 stikala, s katerimi lahko za vsakega od 4 vhodov izberemo ali bo deloval kot napetostni ali kot tokovni vhod. Če je stikalo v stanju "ON" vhod zaznava tok v območju od -20 mA do +20 mA, stikalo v stanju "OFF" pa določa, da vhod zaznava napetost v območju od -10V DC do +10V DC.



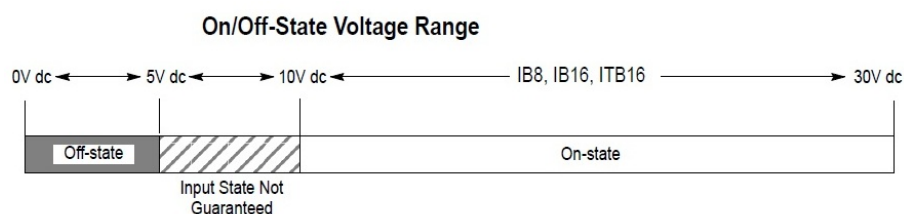
Slika 3.6: Priključitev analognih vhodov na analogni vhodni modul 1746-NI4

Prva dva vhoda bom nastavila na "ON" (zaznavanje toka).

(a) Analogni modul z vhodi-
1746-NI4(b) Digitalni modul z vhodi -
1746-IB16

Slika 3.7: Analogni in digitalni vhodni modul

Štiri končna stikala so priključena na digitalni vhodni modul (input module 1746-IB16). Tega modula ni potrebno predhodno nastavljati, poskrbeti moramo samo za pravilno napetost na vhodu, ko je stikalo sklenjeno. Da vhod zanesljivo detektira stanje 0 (off) mora biti na vhodu napetost od 0 do 5 V, za stanje 1 (on) pa napetost v od 10 do 30 V, kot je prikazano na sliki 3.8. Vsako od končnih stikal je sklenjeno, ko je ročica v končnem položaju.

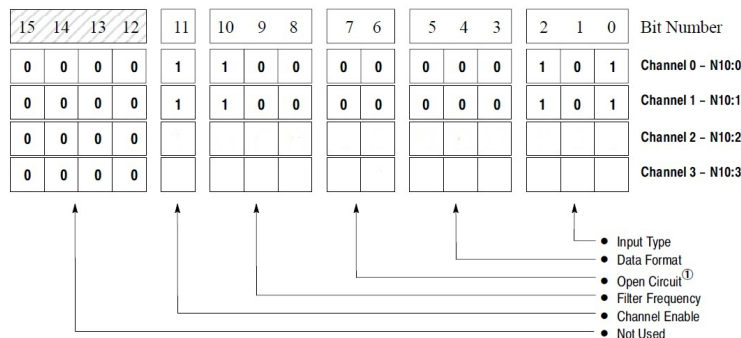


Slika 3.8: Mejne napetosti za stanji 1 in 0

3.2.3 Programske nastavitve

Programsko je potrebno nastaviti 5 parametrov, za vsak analogni vhodni signal. Vsak vhodni kanal je potrebno inicializirati s 16 bitno vrednostjo, ki je shranjena v celoštevilski datoteki (N10). V 16-bitni konfiguracijski besedi lahko določimo:

- omogočimo ali onemogočimo vhod
- izberemo napetostno ali tokovno območje (odvisno ali je vhod definiran kot napetostni ali tokovni)
- oblika podatkov (inženirske enote, PID, . . .)
- stanje pri odprtih sponkah na vhodu
- frekvenco digitalnega filtra na vhodu, ki iz vhodnega signala izloči visokofrekvenčni šum
- omogočimo ali onemogočimo avtokalibracijo



Slika 3.9: Nastavitve vhodov analognega modula

Pomen bitov je na sliki B.9 v dodatku B. V projektu potrebujem 2 analogna vhoda, ki sta oba definirana kot tokovna vhoda. Za podatkovni format sem izbrala inženirske enote (engineering units). Format deluje tako, da dejanski razpon vhodnega signala, ki je od 3,5 mA do 20,5 mA, pomnoži s 1000. Dobimo enote med 3500 in 20500, vsaka enota pomeni 1 μ A. Podrobnejši opis formata v dodatku B.

Ostale parametre sem izbrala privzete, ker nimajo večjega pomena pri pisanju programa. Nastavitve so razvidne na sliki 3.9. Programsko nastavimo vhode z

ukazom COP, ki je prikazan na sliki 3.10. Parametre shranjene v celoštevilski datoteki N10:0, shranimo v nastavitveno tabelo vhoda 0 in 1 (O:1.0 - channel 0 configuration word). S parametrom length nastavljammo koliko vhodov želimo aktivirati. V mojem primeru je vrednost parametra length enaka 2.

COP	
Copy File	
Source	#N10:0
Dest	#O:1.0
Length	2

Slika 3.10: Ukaz COP - Copy File

Branje analognega signala

Merilca nivoja bosta povezana na vhoda 0 (I:1.0) in 1 (I:1.1) analognega vhodnega modula. Signal bo pretvorjen v inženirske enote, ki so opisane v razdelku Programske nastavitve. Merilec nivoja meri nivo vode od 0 do 3700 mm in na analogni modul oddajala signal od 4 do 20 mA glede na vodostaj. Krmilnik bo ta signal prepoznal in pretvoril z ukazom SCP (Scale with Parameters), ki je za prvi merilec prikazan na sliki 3.11. (SLIKA) V ukaz moramo vnesti naslednje parametre:

- Input: naslov vhoda, I:1.0 za prvi globinomer in I:1.1 za drugi globinomer,
- Input Min. : uporabljam inženirske enote, za to je vhodni minimum 3500,
- Input Max. : pri inženirskih enotah je 20500,
- Scaled Min. : minimalna merjena enota, v mojem primeru 0 kar predstavlja 0 mm,
- Scaled Max. : maksimalna merjena enota, v mojem primeru 3700 mm,
- Output: rezultat, številko med 0 in 3700, shrani v celoštevilsko datoteko (N7:0).

Ukaz SCP pretvori inženirske enote v metrični sistem po naslednji enačbi:

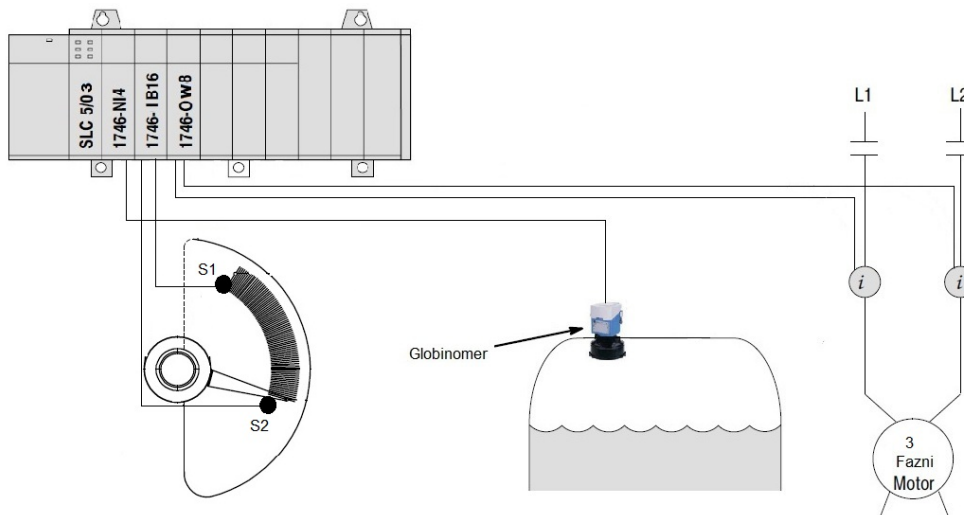
$$\text{Globina v mm} = \text{vhodna vrednost v inženirskih enotah} \times 1 \mu\text{A} \times \left(\frac{3700\text{mm} - 0\text{mm}}{20\text{mA} - 4\text{mA}} \right)$$

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	I:1.0
	0 <
Input Min.	3500
	3500 <
Input Max.	20500
	20500 <
Scaled Min.	0
	0 <
Scaled Max.	3700
	3700 <
Output	N7:0
	0 <

Slika 3.11: Ukaz SCP - Scale with Parameter

3.2.4 Signali

Slika 3.12 prikazuje naprave, ki so priključene na module krmilnika. Na sliki so prikazane povezave za prvo turbino. Povezave za drugo turbino so enake kot na prvi turbini.



Slika 3.12: Vhodni, izhodni signali

Vhodni signali

1. Končni stikali S1 in S2 za prvo turbino in S2 in S3 za drugo turbino. Stikala bodo označevala minimalno in maksimalno lego vzvoda za posamezno turbino. Ta stikala preprečujejo preobremenitev elektromotorja v obeh končnih položajih vodilnih lopatic. Nastavitve za krmilnik:
 - Vhodni digitalni modul 1746-IB16
 - vhodi: 0, 1, 2, 3
 - zaprto stikalo 0 - 5 V
 - odprto stikalo 10 - 30 V
2. Senzorja za merjenje nivoja vode. Informacijo o vodostaju bosta pošiljala krmilniku. Nastavitve za krmilnik:
 - Vhodni analogni modul 1746-NI4
 - Vhoda: 0, 1
 - Inženirske enote
 - Vhodni tip: 4 - 20 mA

Izhodni signali

3. Krmilnik bo elektromotorju poslal signal za vklop v eno ali drugo smer. Nastavitve za krmilnik:
 - Izhodni digitalni modul 1746-OW8
 - Izhoda: 0, 1
 - Čas vklopa

3.3 Krmiljenje

Lopaticice na turbinah so na začetku zaprte, kot je prikazano na sliki 3.1. Krmilnik sprejema podatke globinomera. Čaka, da vodostaj doseže idealno višino. Idealna višina vode se giblje od 2,30m do 2,36m. Pri tem vodostaju je največji padec vode, s tem tudi največja moč turbine. Ko pride do zelenega vodostaja, pošlje krmilnik asinhronskemu motorju ukaz, da začne odpirati Lopaticice na prvi turbini. Krmilnik ves čas spremlja spremembe vodostaja in glede nanj odpira ali zapira lopaticice.

Druga turbina ostane zaprta, dokler ni prva turbina maksimalno odprta in vodostaj še vedno raste. Takrat začne krmilnik odpirati tudi drugo turbino.

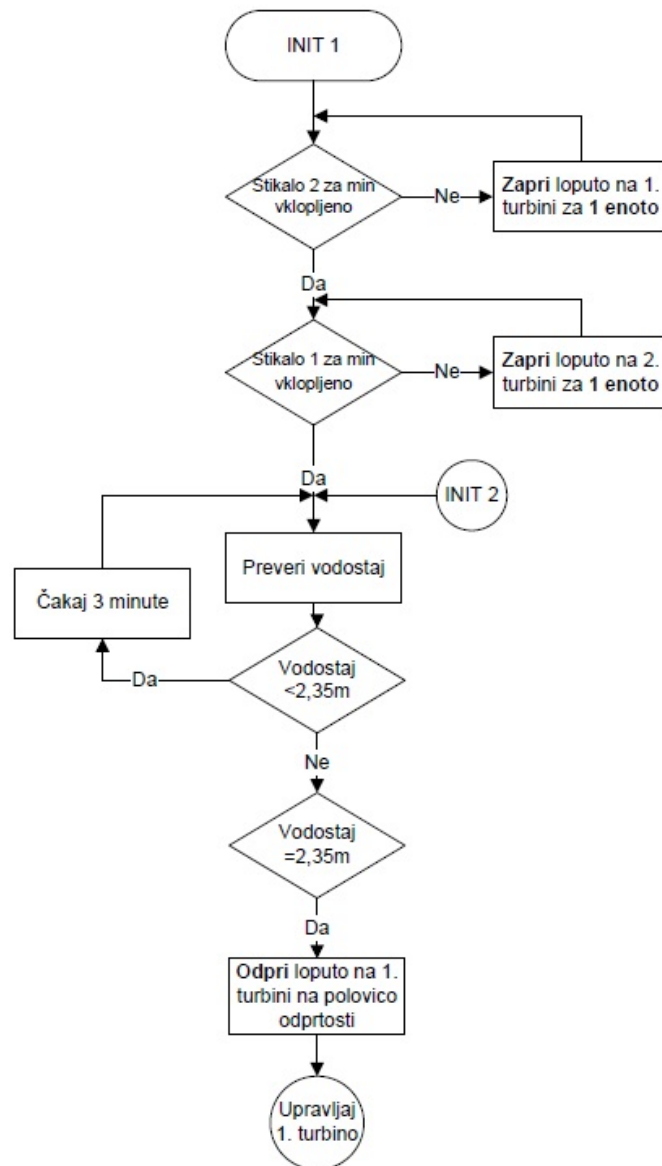
V času poplav, ko je lahko preveč vode tudi pri drugi turbini je potrebno ročno odpreti zapornico, ki je na sliki 2.2 pod številko 8. Kasneje bi se tudi to lahko avtomatiziralo.

3.3.1 Diagram poteka krmiljenja vodilnih lopatic

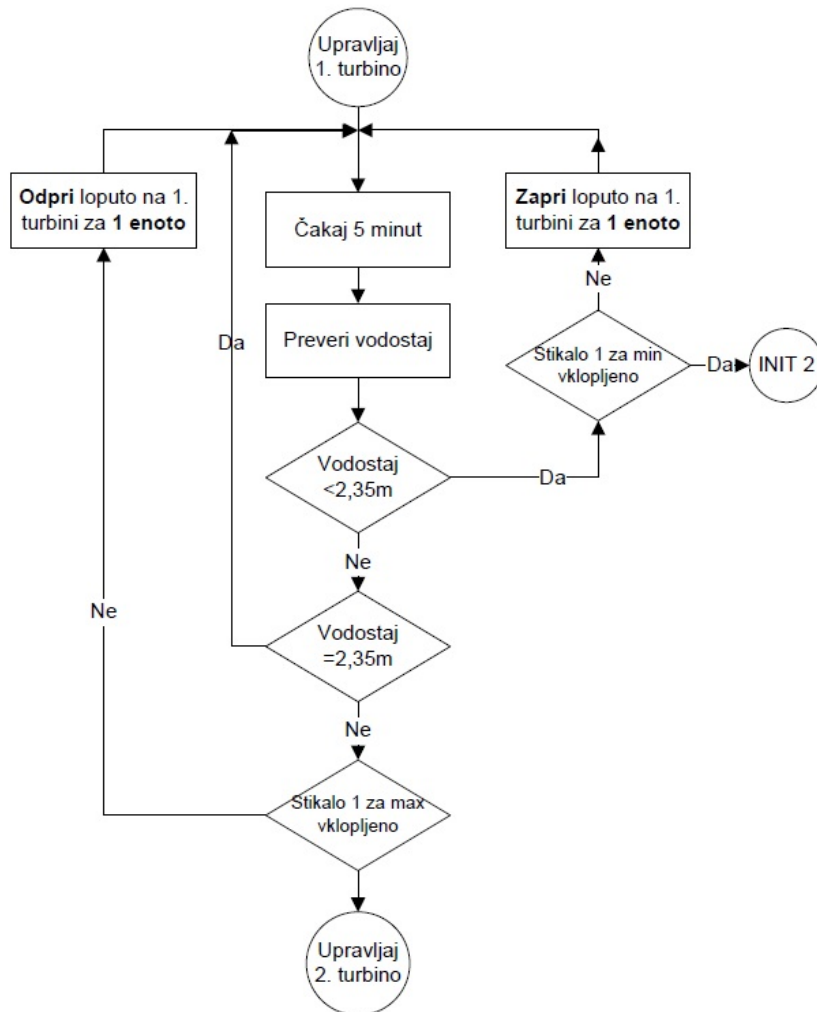
Diagram poteka 3.13 ponazarja zapiranje vodilnih lopatic na obeh turbinah. Procedura se izvede samo na začetku delovanja ali, če se sistem resetira. Motor zapira vodilne lopaticice dokler niso popolnoma zaprte in sta končni stikali za zaprte lopaticice vklopljeni.

Diagram poteka od INIT 2 naprej je začetna inicializacija programa. Izvede se vedno po tem, ko so lopaticice na obeh turbinah zaprte. Program čaka dokler vodostaj ne zraste na 2,35 m. Pri tej višini dobimo največji padec. Zaradi napake merjena vzamemo idealen vodostaj v meji od 2,30 do 2,36 m. Ko vodostaj doseže ta rang, odpremo lopaticice na polovico. Lopaticice odpremo na polovico zato, ker je ta lega najbližje idealne, pri povprečnem letnem vodostaju.

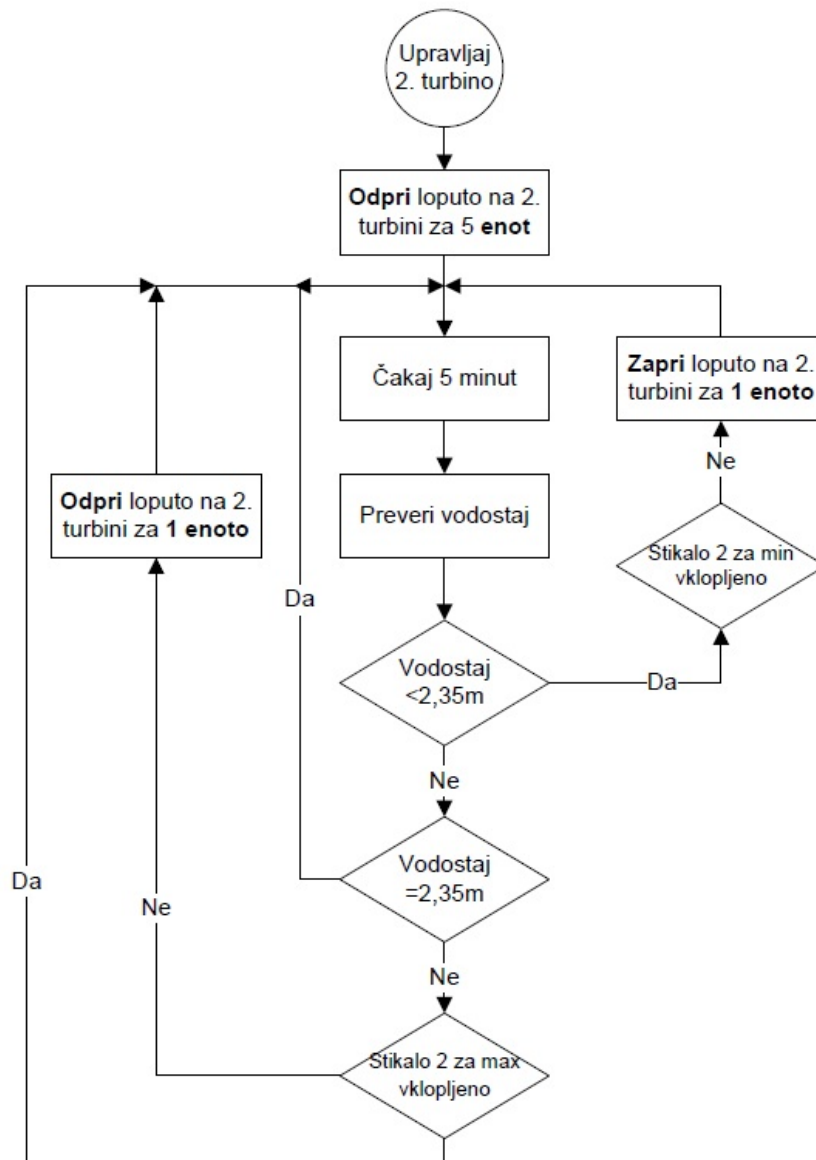
Diagrama poteka 3.14 in 3.15 predstavljata krmiljene vodilnih lopatic na prvi in drugi turbini. Ob vstopu v proceduro so lopaticice vedno na pol odprte. Lopaticice se tu pozicionira na idealno lego glede na vodostaj. Ko je idealen položaj dosežen, lopaticice več ne premikamo dokler se vodostaj ne spremeni. V primeru, če je vodostaj previsok, se odpre lopaticice še na drugi turbini. Na drugi turbini je procedura zelo podobna, le da na začetku odpre za 5 enot in nato zopet izravnava, dokler ne doseže idealne lege.



Slika 3.13: Diagram poteka - inicializacija



Slika 3.14: Diagram poteka - 1. turbina



Slika 3.15: Diagram poteka - 2. turbina

Poglavje 4

Zaključek

V diplomskem delu je predstavljen model avtomatskega krmiljenja vodilnih lopatic, za konkreten primer male hidroelektrarne "Krajcova žaga". Model je zasnovan za krmiljenje vodilnih lopatic na dveh turbinah. Ker trenutna oprema tega še ne omogoča, jo bo potrebno pred zagonom dopolniti z dodatnim generatorjem in ločenim vzvodom za drugo turbino. Obstaja pa tudi opcija, da se v začetni fazi model prilagodi za krmiljenje ene turbine.

Mala hidroelektrarna je v postopku pridobivanja dovoljenj za obratovanje. Ko bo model vgrajen v sistem, bo mala hidroelektrarna pričela s testnim obratovanjem. V tem času se bodo spremljali dejanski izkoristki hidroelektrarne ter iskale in sanirale pomanjkljivosti pri infrastrukturi ali pri neoptimalno zasnovani avtomatizaciji.

Potrebno bo očistiti Mlinščico v njenem toku pred jezom in popraviti ter prilagoditi jez. Programsko bo potrebno testirati različne nastavitve parametrov in najti najbolj optimalne nastavitve. V času testnega obratovanja bo mala hidroelektrarna proizvajala električno energijo samo za lastnikove potrebe. Ko se bo pričelo električno energijo oddajati v javno omrežje, bo potrebno izdelati sistem za sinhronizacijo generatorja z javnim omrežjem. Ko bo sistem dobro deloval, se lahko implementira tudi mobilno upravljanje male hidroelektrarne in izdelava programske opreme za vodenje statistike in analizo njenega delovanja. Sistem bi bil zasnovan tako, da bi operaterja mobilno obveščal o delovanju hidroelektrarne. S tem bi imel le-ta boljši vpogled v delovanje hidroelektrarne in zelo olajšano vzdrževanje.

Dodatek A

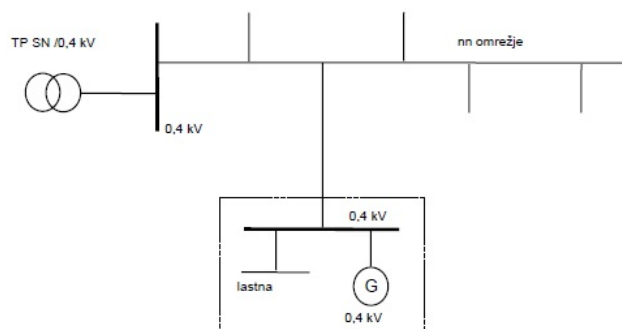
Priključitev v distribucijsko elektroenergetsko omrežje

Prikaz osnovnih načinov priključevanja generatorjev in elektrarn v interno omrežje in načinov vključevanja elektrarn v distribucijsko elektroenergetsko omrežje. Opisi veljajo smiselno za elektrarne z enim ali več generatorji. [10]

A.1 Vklon niskonapetostnih generatorjev v niskonapetostno omrežje

A.1.1 Tipška shema A:

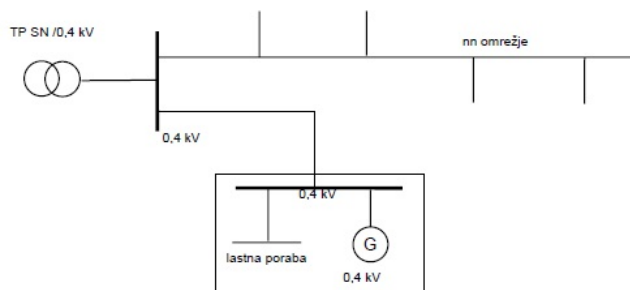
Stično mesto elektrarne je hišni priključek do voda 0,4 kV na katerega so priključeni tudi drugi odjemalci.



Slika A.1: Shema A

A.1.2 Tipška shema B:

Priključitev elektrarne je izvedena s samostojnim vodom na izvod nn razdelilca Tp SN/0,4 kV.

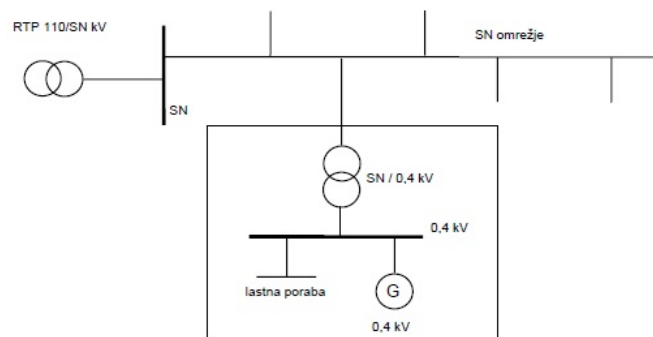


Slika A.2: Shema B

A.2 Vključitev nizkonapetostnih generatorjev v srednje-napetostno distribucijsko omrežje

A.2.1 Tipška shema C:

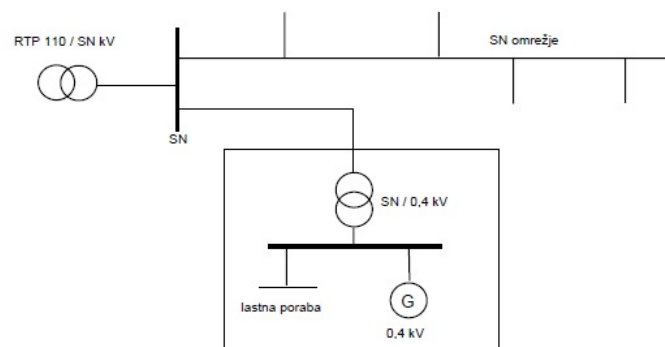
Elektrarna 0,4 kV je priključena na izvod nn razdelilca transformatorske postaje SN/0,4 kV, ki pripada proizvajalcu. Vključitev v distribucijsko omrežje je priključek na SN vod na katerega so priključene tudi druge transformatorske postaje.



Slika A.3: Shema C

A.2.2 Tipška shema D:

Priključitev transformatorske postaje SN/0,4 kV proizvajalca vključno z elektrarno je izvedena s samostojnim SN vodom v SN celico RTP 110 / SN kV.

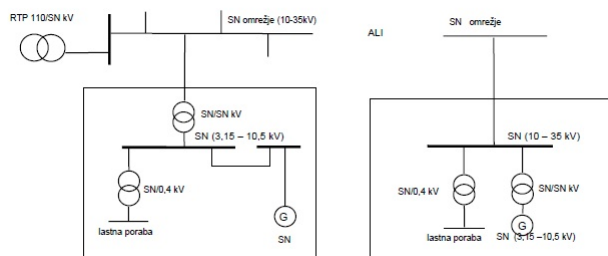


Slika A.4: Shema D

A.3 Vključitev srednje-napetostnih generatorjev v srednje-napetostno distribucijsko omrežje

A.3.1 Tipska shema E:

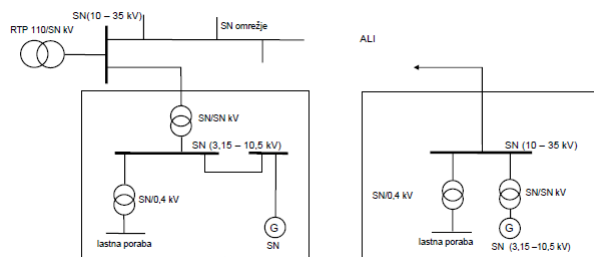
Elektrarna je priključena v SN celico SN postroja proizvajalca direktno, ali preko svoje transformacije, odvisno od nazivne napetosti generatorja in od konfiguracije enopolne sheme elektrarne. Vključitev v distribucijsko omrežje je priključen na SN vod na katerega so priključene tudi druge transformatorske postaje.



Slika A.5: Shema E

A.3.2 Tipska shema F:

Elektrarna je priključena v SN celico SN postroja proizvajalca direktno, ali preko svoje transformacije, odvisno od nazivne napetosti generatorja in od konfiguracije enopolne sheme elektrarne. Vključitev v distribucijsko omrežje je samostojni SN vod od zbiralk oziroma SN celice razdelilne transformatorske postaje 110 / SN kV.



Slika A.6: Shema F

A.4 Prikaz osnovnih načinov vključevanja v distribucijsko omrežje

Prikaz osnovnih načinov vključevanja v distribucijsko omrežje glede na moč elektrarne, vrsto in napetostne nivoje generatorjev in omrežna, ne podana v Tabeli A.1.

INSTALIRANA MOČ GENERATORJA	VRSTA		NAPETOST		VKLJUČITEV V OMREŽJE					
	GENERATORJA		GENERATORJA		SPLOŠNA SHEMA					
	AG	SG	NN	VN	A	B	C	D	E	F
do 36 kVA	X	X	XX		X	(X)				
36 do 125 kVA	X	X	XX		(X)	X	(X)			
125 do 250 kVA	X	X	XX			(X)	X			
250 do 1.000 kVA	(X)	X	XX	X			(X)	X	(X)	
1000 do 5.000 kVA		X	(X)	X				(X)	X	(X)
5000 do 10.000 kVA		X		X					(X)	X
Pomen oznak v tabeli										
x	označen podatek velja praviloma									
(x)	označen podatek velja pogojno, če tehnične in ekonomske analize pokažejo izvedljivost in smotrnost izvedbe									
AG	asinhronski generator									
SG	sinhronski generator									
A,B,C,D,E,F	oznake splošnih shem									

Tabela A.1: Načini priključevanja MHE

Dodatek B

SLC 500 manual

B.1 Naslavljanje vhodov in izhodov

Table 1.1 Output and Input Data File Addressing Formats

Format	Explanation		
O:e.s/b I:e.s/b	O	Output	
	I	Input	
	:	Element delimiter	
	e	Slot number (decimal)	Slot 0, adjacent to the power supply in the first chassis, applies to the processor module (CPU). Succeeding slots are I/O slots, numbered from 1 to a maximum of 30.
	.	Word delimiter.	Required only if a word number is necessary as noted below.
	s	Word number	Required if the number of inputs or outputs exceeds 16 for the slot. Range: 0-255 (range accommodates multi-word "specialty cards")
	/	Bit delimiter	
	b	Terminal number	Inputs: 0-15 Outputs: 0-15
Examples:			
O:3/15	Output 15, slot 3		
O:5/0	Output 0, slot 5		
O:10/11	Output 11, slot 10		
I:7/8	Input 8, slot 7		
I:2.1/3	Input 3, slot 2, word 1		
O:5	Output word 0, slot 5		
O:5.1	Output word 1, slot 5		
I:8	Input word 0, slot 8		
Default Values: Your programming device will display an address more formally. For example, when you assign the address O:5/0, the programming device will show it as O:5.0/0 (Output file, slot 5, word 0, terminal 0).			

Tabela B.1: Naslavljanje vhodov in izhodov

B.2 Naslavljanje statusne datoteke (Status File S2)

Table 1.1 Output and Input Data File Addressing Formats

Format	Explanation	
O:e.s/b I:e.s/b	0	Output
	1	Input

Table 1.2 Status File Addressing Format

Format	Explanation		
S:e/b	S	Status file	
	:	Element delimiter	
	e	Element number	Ranges from 0 to 15 in a fixed or SLC 5/01 controller, 0 to 32 in an SLC 5/02, 0 to 82 in an SLC 5/03 and 0 to 82 in an SLC 5/05, 0 to 96 in an SLC 5/04 OS400, and 0 to 163 in an SLC 5/04 OS401 processors. These are 1-word elements. 16 bits per element.
	/	Bit delimiter	
	b	Bit number	Bit location within the element. Ranges from 0 to 15.
Examples:			
S:1/15	Element 1, bit 15. This is the "first pass" bit, which you can use to initialize instructions in your program.		
S:3	Element 3. The lower byte of this element is the current scan time. The upper byte is the watchdog scan time.		

Tabela B.2: Naslavljanje statusne datoteke

B.3 Naslavljanje bitne datoteke (Bit Data File B3)

Table 1.3 Bit File Addressing Format

Format	Explanation		
Bf:e/b	B	Bit type file	
	f	File number. Number 3 is the default file. A file number between 9-255 can be used if additional storage is required.	
	:	Element delimiter	
	e	Element number	Ranges from 0-255. These are 1-word elements. 16 bits per element.
	/	Bit delimiter	
	b	Bit number	Bit location within the element. Ranges from 0-15.
Bf/b	B	Same as above.	
	f	Same as above.	
	/	Same as above.	
	b	Bit number	Numerical position of the bit within the file. Ranges from 0-4095.
Examples:			
B3:3/14	Bit 14, element 3		
B3:252/00	Bit 0, element 252		
B3:9	Bit 62		
B3/62	Bit 62		
B3/4032	Bit 4032		

Tabela B.3: Naslavljanje bitne datoteke

B.4 Naslavljanje časovnika (Timer Data File T4)

Table 1.5 Timer Addressing Format

Explanation		
T	Timer file	
f	File number. For SLC 500 processors the default is 4. A file number between 9 to 255 can be used for additional storage.	
:	Element delimiter	
e	Element number	These are 3-word elements. The range is 0 to 255.
.	Word Delimiter	Range 0 to 2
s	Word Number	
/	Bit delimiter	
b	Bit Number	Range 0 to 15
Examples		
T4:0/15 or T4:0/EN	Enable bit	
T4:0/14 or T4:0/TT	Timer timing bit	
T4:0/13 or T4:0/DN	Done bit	
T4:0.1 or T4:0.PRE	Preset value of the timer	
T4:0.2 or T4:0.ACC	Accumulated value of the timer	
T4:0.1/0 or T4:0.PRE/0	Bit 0 of the preset value	
T4:0.2/0 or T4:0.ACC/0	Bit 0 of the accumulated value	

Tabela B.4: Naslavljanje časovnika

B.5 Naslavljanje seštevalnika (Counter Data File Elements C5)

Table 1.7 Counter File Addressing Format

Explanation		
C	Counter	
f	File number. For SLC 500 processors the default is 5. A file number between 9 to 255 can be used for additional storage.	
:	Element delimiter	
e	Element number	These are 3-word elements. The range is 0 to 255.
.	Word Delimiter	
s	Word Element	0 to 2
/	Bit delimiter	
b	Bit Number	0 to 15
Examples		
C5:0/15 or C5:0/CU	Count up enable bit	
C5:0/14 or C5:0/CD	Count down enable bit	
C5:0/13 or C5:0/DN	Done bit	
C5:0/12 or C5:0/OV	Overflow bit	

Tabela B.5: Naslavljanje seštevalnika

B.6 Naslavljanje kontrolne datoteke (Control Data File R6)

Table 1.9 Control File Addressing Format

Format	Explanation	
Rf:e	R	Control file
	f	File number. Number 6 is the default file. A file number between 9 and 255 can be used if additional storage is required.
	:	Element delimiter
	e	Element number Ranges from 0 to 255. These are 3-word elements. See figure above.
Rf:e.s/b	Rf:e	Explained above.
	.	Word delimiter
	s	Indicates word
	/	Bit delimiter
	b	Bit
Examples:		
R6:2	Element 2, control file 6 Address bits and words by using the format Rf:e.s/b	
R6:2/15 or R6:2/EN	Enable bit	
R6:2/14 or R6:2/EU	Unload Enable bit	
R6:2/13 or R6:2/DN	Done bit	
R6:2/12 or R6:2/EM	Stack Empty bit	
R6:2/11 or R6:2/ER	Error bit	
R6:2/10 or R6:2/UL	Unload bit	
R6:2/9 or R6:2/IN	Inhibit bit	
R6:2/8 or R6:2/FD	Found bit	
R6:2.1 or R6:2.LEN	Length value	
R6:2.2 or R6:2.POS	Position value	
R6:2.1/0	Bit 0 of length value	
R6:2.2/0	Bit 0 of position value	

Tabela B.6: Naslavljanje kontrolne datoteke

B.7 Naslavljanje datoteke celih števil (Integer Data File N7)

Table 1.9 Control File Addressing Format

Format	Explanation	
Rf:e	R	Control file
	f	File number. Number 6 is the default file. A file number between 9 and 255 can be used if additional storage is required.
	:	Element delimiter
	e	Element number

Table 1.10 Integer File Addressing Format

Format	Explanation		
Nf:e/b	N	Integer file	
	f	File number. Number 7 is the default file. A file number between 9 to 255 can be used if additional storage is required.	
	:	Element delimiter	
	e	Element number	Ranges from 0 to 255. These are 1-word elements. 16 bits per element.
	/	Bit delimiter	
	b	Bit number	Bit location within the element. Ranges from 0 to 15.

Examples:

N7:2	Element 2, integer file 7
N7:2/8	Bit 8 in element 2, integer file 7
N10:36	Element 36, integer file 10 (file 10 designated as an integer file by the user)

Tabela B.7: Naslavljanje datoteke celih števil

B.8 Naslavljanje datoteke racionalnih števil (Float Data File F8)

Table 1.9 Control File Addressing Format

Format	Explanation	
Rf:e	R	Control file
	f	File number. Number 6 is the default file. A file number between 9 and 255 can be used

Table 1.11 Float File Addressing Format

Format	Explanation	
Ff:e	F	Integer file
	f	File number. Number 8 is the default file. A file number between 9 to 255 can be used if additional storage is required.
	:	Element delimiter
	e	Element number
Examples:		
F8:2	Element 2, float file 8	

Tabela B.8: Naslavljanje datoteke racionalnih števil

B.9 Inicializacija vhodov

Bit Definitions:					
Bits 0-2	Input Type	000 = $\pm 10V$ dc 001 = 1-5V dc	010 = 0-5V dc 011 = 0-10V dc	100 = 0-20 mA 101 = 4-20 mA	110 = ± 20 mA 111 = 0-1 mA
Bits 3- 5	Data Format	000 = engineering units 001 = scaled-for-PID	010 = proportional counts 011 = 1746-NI4 data format	100 = user defined scaling 101 = user defined scaling	110 = illegal 111 = illegal
Bits 6 and 7	Open Circuit ^①	00 = zero	01 = upscale	10 = downscale	11 = illegal
Bits 8-10	Filter Frequency	000 = no filter 001 = 75 Hz	010 = 50 Hz 011 = 20 Hz	100 = 10 Hz 101 = 5 Hz	110 = 2 Hz 111 = 1 Hz
Bit 11	Channel Enable	0 = channel disabled		1 = channel enabled	
Bits 12-15	Not Used	0000 = always make this setting			

^① The open circuit option is only valid for the 4-20 mA data format.

Tabela B.9: Definicija bitov pri inicializaciji vhodov

B.10 Vrednosti podatkovneda formata Inženirske enote (Engineering Unit)

Channel Data Word Values for Engineering Units			
Input Type	Signal Range	Engineering Units	Engineering Units Scale
$\pm 10V$ dc	-10.25V to +10.25V	-10250 to +10250	1mV/step
0-5V dc	-0.5V to +5.5V	-500 to +5500	1mV/step
1-5V dc	+0.5V to +5.5V	+500 to +5500	1mV/step
0-10V dc	-0.5V to +10.25V	-500 to +10250	1mV/step
0-20 mA	-0.5 mA to 20.5 mA	-500 to 20500	1.0uA/step
4-20 mA	3.5 mA to 20.5 mA	3500 to 20500	1.0uA/step
± 20 mA	-20.5 mA to 20.5 mA	-20500 to 20500	1.0uA/step
0-1 mA	-0.05 mA to 1.05 mA	-50 to 1050	1.0uA/step

Tabela B.10: Vrednosti podatkovneda formata Inženirske enote (Engineering Unit)

B.11 Specifikacije in vezja Vhodnega digitalnega modula - 1746-IB16

Sinking DC Input Modules (1746-IB8, -IB16, -ITB16, -IB32)

Specification	Catalog Number			
	1746-IB8	1746-IB16 (RTB)	1746-ITB16 (RTB) (Fast Response)	1746-IB32 ^①
Voltage Category	24V dc sink			
Operating Voltage	10 to 30V dc sink			15 to 30V dc at 50°C sink 15 to 26.4V dc at 60°C sink
Number of Inputs	8	16	16	32
Points per Common	8	16	16	8
Backplane Current Draw	5V	0.050A	0.085A	0.085A
	24V	0.0A	0.0A	0.0A
Signal Delay (max.)	on = 8 ms off = 8 ms	on = 8 ms off = 8 ms	on = 0.3 ms ^② off = 0.5 ms	on = 3 ms off = 3 ms
Off-State Voltage (max.)	5V dc	5V dc	5V dc	5V dc
Off-State Current (max.)	1 mA	1 mA	1.5 mA	1.6 mA
Nominal Input Current	8 mA at 24V dc			

Tabela B.11: Specifikacije vhodnega digitalnega modula - 1746-IB16

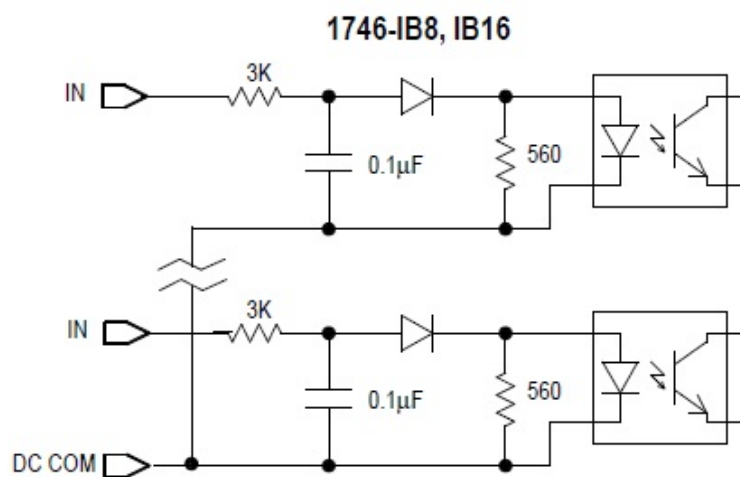


Tabela B.12: Vezje vhodnega digitalnega modula za priključitev vhodov

Wiring Diagram

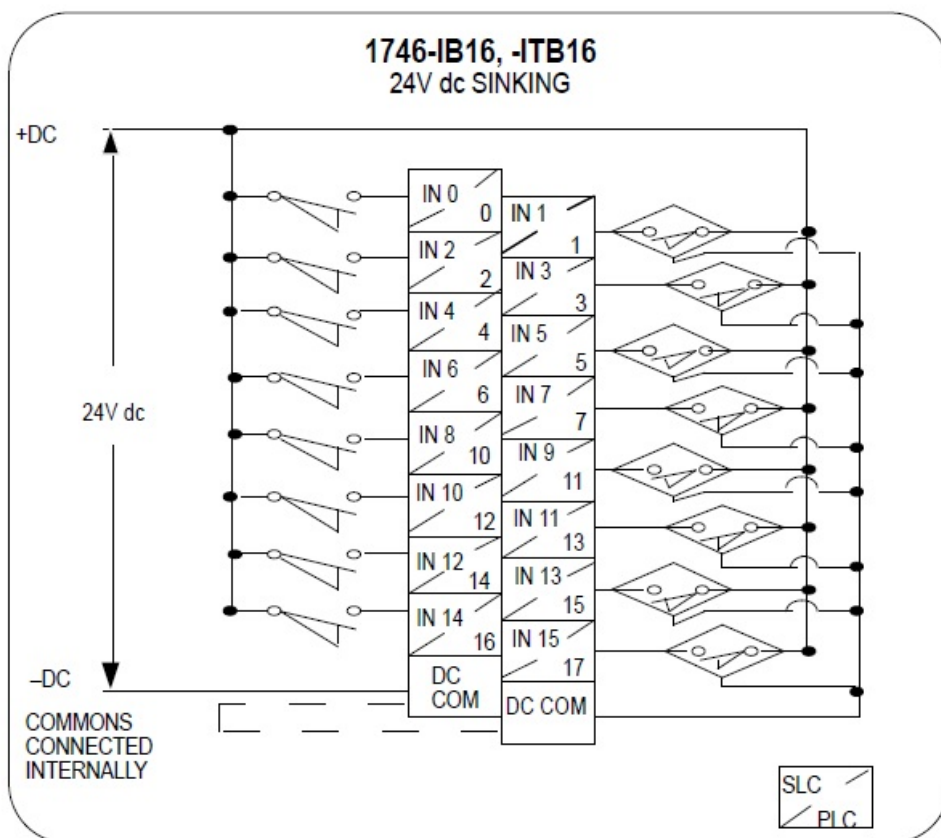


Tabela B.13: Povezave vhodov digitalnega vhodnega modula

Slike

1.1	Primer enakotlačne in nadtlačne turbine	6
1.2	Tehnična izvedba generatorja	7
2.1	Obstoječe stanje	9
2.2	Tloris elektrarne - obstoječe stanje	10
2.3	Francisova turbina - lopatice	11
2.4	Izvedba pogona: povezava turbine in generatorja z jermenico	12
2.5	Elektromotor z reduktorjem	12
2.6	Merilec pozicije lopatic	13
2.7	Ultrazvočni merilnik globine	14
2.8	Končno stikalo SND4111-SP 1NO+1NC.	14
2.9	Priključitev končnega stikala na vhodni digitalni modul	15
2.10	Allen-Bradley SLC 500	15
2.11	Procesorske datoteke	16
2.12	RSLogix programsko okolje.	17
2.13	Programiranje v obliki lestvičnega diagrama	17
3.1	Začetno stanje - lopatice zaprte	19
3.2	Končno stanje - Lopatice maksimalno odprte	19
3.3	Postavitev merilnika	20
3.4	Uporabniška matrika	21
3.5	Linearizacijski krivulji	22
3.6	Priključitev analognih vhodov na analogni vhodni modul 1746-NI4	22
3.7	Analogni in digitalni vhodni modul	23
3.8	Mejne napetosti za stanji 1 in 0	23
3.9	Nastavitve vhodov analognega modula	24
3.10	Ukaz COP - Copy File	25
3.11	Ukaz SCP - Scale with Parameter	26
3.12	Vhodni, izhodni signali	26
3.13	Diagram poteka - inicializacija	29

3.14	Diagram poteka - 1. turbina	30
3.15	Diagram poteka - 2. turbina	31
A.1	Shema A	34
A.2	Shema B	34
A.3	Shema C	35
A.4	Shema D	35
A.5	Shema E	36
A.6	Shema F	36

Tabele

A.1	Načini priključevanja MHE	37
B.1	Naslavljanje vhodov in izhodov	38
B.2	Naslavljanje statusne datoteke	39
B.3	Naslavljanje bitne datoteke	40
B.4	Naslavljanje časovnika	41
B.5	Naslavljanje seštevalnika	42
B.6	Naslavljanje kontrolne datoteke	43
B.7	Naslavljanje datoteke celih števil	44
B.8	Naslavljanje datoteke racionalnih števil	45
B.9	Definicija bitov pri inicializaciji vhodov	46
B.10	Vrednosti podatkovneda formata Inženirske enote (Engineering Unit)	46
B.11	Specifikacije vhodnega digitalnega modula - 1746-IB16	47
B.12	Vezje vhodnega digitalnega modula za priključitev vhodov	47
B.13	Povezave vhodov digitalnega vhodnega modula	48

Literatura

- [1] V. Ambrožič, D. Nedeljković, *Uvod v programirljive krmilne sisteme*, Ljubljana: Založba FE in FRI, 2005
- [2] EREC - European Renewable Energy Council, "Male hidroelektrarne - obetavna tehnologija prihodnosti za čisto in trajno pridobivanje energije" Dostopno na:
http://www.erec.org/fileadmin/erec_docs/Projcet_Documents/RES_in_EU_and_CC/SVhydro.pdf
- [3] France Habe, *Mlini in žage na vodni pogon na Cerkniškem in Loškem polju ter Blokah nekoč in danes*, Ljubljana: Zveza organizacij za tehnično kuljuro Slovenije, 1997
- [4] Darko Koželj, "Obratovanje malih hidroelektrarn" Dostopno na:
www.powerlab.uni-mb.si/Predavanja/Download/Voda/Kozelj.doc
- [5] Endress+Hauser, "Ultrasonic Level Measurment" Dostopno na:
https://portal.endress.com/wa001/dla/50000017904/000/01/KA042FA3_0608.pdf
- [6] Luka Selak, *Mobilno upravljanje malih hidroelektrarn*, Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2007
- [7] (2006) OPET RES-e - WP3, "Male vodne elektrarne" Dostopno na:
http://www.fs.uni-lj.si/opet/knjiznica/majhne_hidroelektrarne.pdf
- [8] Rockwell Automation, "Programmable logic controllers" Dostopno na:
<http://www.ab.com/programmablecontrol/plc/micrologix/downloads.html>
- [9] (2006) Marko Šmit, Aleš Jerot, "Male hidroelektrarne" Dostopno na:
<http://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4200704602.pdf>
- [10] (2001, 18. Maj) "Navodila za priključevanje in obratovanje elektrarn inštalirane električne moči do 10 MW" Dostopno na:
https://213.157.225.5/Acrobat_Reader/Navodila_za_prikl_elektrarn.pdf