

# Izdelava laboratorijskega demonstracijskega sistema (Mitsubishi)

Matej Milavec<sup>1</sup>, Goran Andonovski<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana  
E-pošta: <sup>1</sup>mm5723@student.uni-lj.si, <sup>2</sup>goran.andonovski@fe.uni-lj.si

## Production of a laboratory demonstration system (Mitsubishi)

The laboratory demonstration system is designed for presenting the basic operation of programmable logic controllers (PLCs) and other elements of automation in a transparent and practical way. The purpose of this paper is to present the individual components used and the entire process of building the system and moreover, to present a practical usage in a pedagogical/educational manner. We addressed the problem by first finding the necessary components to connected them to each other. Finally, we tested the operation by preparing a test programs on the PLC, on the touch screen display and we tested the functionality of the frequency converter. In conclusion, we have summarized the findings, which mostly relate to the possibility of further work on the system.

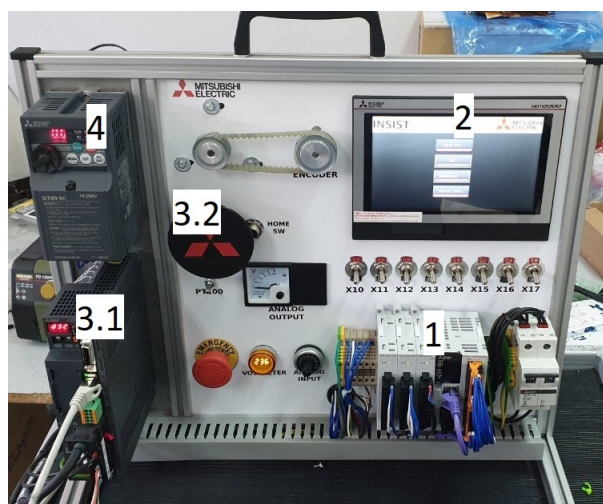
## 1 Uvod

Osnovna ideja tega članka je predstavitev izdelave laboratorijskega demonstracijskega sistema, ki temelji na opremi proizvajalca Mitsubishi. Poleg osnovnega PLC-ja (Programirljivi Logični Krmilnik) in pripadajočih modulov so v sistem vključeni tudi motorji, frekvenčni pretvornik, stikala, zaslon na dotik, itn. Z uporabo tega sistema imamo možnost predstavitve delovanja PLC-jev in ostalih elementov avtomatizacije na praktičen način.

Izdelava sistema je predstavljena kronološko, po posameznih sklopih. Najprej je bilo potrebno pregledati elektro načrt in naročiti vse potrebne elemente. Sledila je razporeditev teh elementov po osnovni plošči, izdelava izvrtin in montaža elementov na ploščo. Predzadnji korak je bila vezava elementov med seboj, kot je to bilo prikazano na električni shemi. Končni, časovno najbolj zahteven korak je bilo testiranje delovanja ter razhroščevanje, kar je vključevalo tudi spoznavanje z zbirko programske opreme Melsoft, proizvajalca Mitsubishi. Nadaljni koraki pa obsegajo predstavitev nekaj tipičnih nalog avtomatizacije za študente, ki bodo del učnega procesa.

## 2 Opis osnovnih gradnikov sistema

V tem poglavju bomo predstavili posamezne komponente in gradniki, ki so del laboratorijskega demonstracijskega sistema. Vsi gradniki so tipično del vsakega avtomatiziranega procesa. Izdelava našega sistema temelji na ob-



Slika 1: Sistem, izdelan na univerzi v Novem Sadu.

stojećem sistemu, ki so ga izdelali na univerzi v Novem Sadu. Njihov sistem je predstavljen na sliki 1. Okviren izgled sistema smo ohranili, določene elemente smo nadomestili s primernejšimi ter nekaj jih odstranili.

V demonstracijskem sistemu so uporabljeni osnovni elementi avtomatizacije, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju<sup>1</sup>:

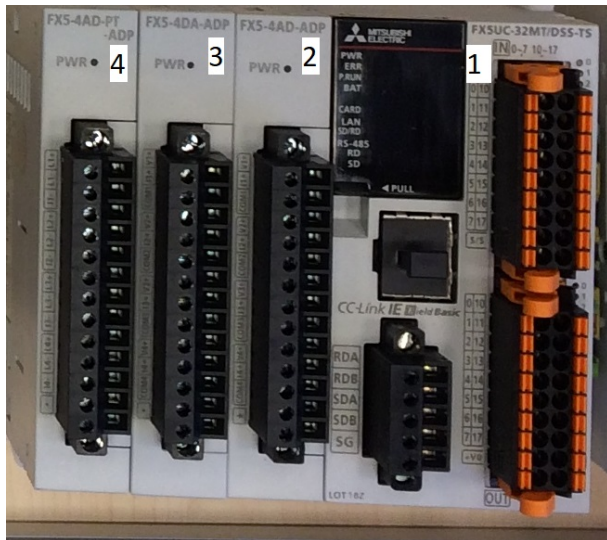
- PLC s pripadajočimi moduli (slika 1, številka 1);
- HMI<sup>2</sup> zaslon na dotik (slika 1, številka 2);
- servo ojačevalnik (slika 1, številka 3.1);
- servo motor (slika 1, številka 3.2); in
- frekvenčni pretvornik (slika 1, številka 4).

### 2.1 PLC

Programirljivi logični krmilnik (PLK) predstavlja osredni in povezovalni del vsakega sistema avtomatizacije. V našem primeru (slika 2) je sestavljen iz centralne procesne enote (ang. CPU-central processing unit) z digitalnimi vhodi in izhodi ter treh analognih modulov.

<sup>1</sup>Na tem mestu je potrebno poudariti, da smo te komponente dobili, kot delno sponzorka sredstva našega industrijskega partnerja Inea Rbt d.o.o. Več v zahvali.

<sup>2</sup>ang. Human Machine Interface



Slika 2: Prikaz uporabljenega PLC-ja.

Centralna procesna enota [1], na sliki 2 označena s številko 1, ima 16 tranzistorskih digitalnih vhodov in 16 tranzistorskih digitalnih izhodov. Uporabili smo CPU s serijsko oznako FX5UC-32MT/DSS-TS.

Prvi analogni modul, na sliki 2 označen s številko 2, je vhodni modul [2]. Namenjen je priklopu največ štirih temperaturnih sond, ki so lahko tipa Pt100 ali Ni100. Uporabili smo analogni modul s serijsko oznako FX5-4AD-PT-ADP.

Drugi analogni modul, na sliki 2 označen s številko 3, je izhodni modul, s štirimi kanali [2]. Vsak kanal omogoča štiri standardna območja napetostnih izhodov in dve standardni območji tokovnih izhodov. Uporabili smo analogni modul s serijsko oznako FX5-4DA-ADP.

Tretji analogni modul, na sliki 2 označen s številko 4, je vhodni modul, s štirimi kanali [2]. Vsak kanal omogoča štiri standardna območja napetostnih vhodov in dve standardni območji tokovnih vhodov. Uporabili smo analogni modul s serijsko oznako FX5-4AD-ADP.

## 2.2 Zaslona na dotik - HMI

V avtomatizaciji se zaslona na dotik uporablja kot vmesnik med strojem oziroma med napravo in človekom. Preko zaslona operater upravlja z napravo te služi za prikaz trenutne vrednosti vhodov/izhodov PLC-ja (npr. temperaturo okolice, ki jo merimo s Pt100 sondo priklopljeno na analogni-vhodni modul). V našem primeru ima zaslon premer 7" in resolucijo 800x460 točk [3]. Na zaslonu prav tako lahko nastavljamo posamezne vrednosti izhodov PLC-ja. Uporabili smo zaslon na dotik s serijsko oznako GT2107-W.

## 2.3 Servo ojačevalnik s servo motorjem

Servomotorji se uporabljajo v veliko industrijskih aplikacijah. Največja prednost napram ostalim vrstam motorjev je velik pospešek, zaradi manjšega vztrajnostnega momenta. Servo motor ima vgrajen enkoder, ki omogoča merjenje trenutnega zasuka, kar v praktični uporabi pomeni možnost natančnega pozicioniranja. Servo motor

krmilimo s servo ojačevalnikom. Glede na zelene odzive je mogoče uporabiti več načinov krmiljenja:

- ohranjanje željene hitrosti,
- ohranjanje željenega navora,
- zasuk za željen kot,
- itn.

V našem primeru na servo ojačevalnik je možno priklopiti servomotor z maksimalno močjo 100W. Uporabili smo servo ojačevalnik s serijsko oznako MR-JE-1C-RJ ter servomotor s serijsko oznako HG-KN13J.

## 2.4 Frekvenčni pretvornik

Motorji, ki delujejo na izmenično napetost (angl. *alternating current* – AC) so najbolj razširjena vrsta motorjev. V industriji se uporabljajo v veliko različnih aplikacijah, na primer za pogon: mešal, črpalk, tekočih trakov itd. Z uporabo frekvenčnih pretvornikov se uporabnost AC motorjev še poveča, saj ti omogočajo krmiljenje hitrosti vrtenja motorja. S frekvenčnim pretvornikom krmilimo hitrost vrtenja motorja. Na frekvenčni pretvornik je možno priklopiti motorje z maksimalno močjo 200W. Uporabili smo frekvenčni pretvornik s serijsko oznako FR-D720S-014 SC-ES.

## 3 Izdelava

Pred začetkom izdelave je bilo potrebno naročiti vse komponente. Na podlagi načrta električnih povezav in slik sistema iz Novega Sada (slika 1) smo izdelali seznam potrebnih oziroma manjkajočih komponent. Za vsako komponento smo vpisali oznako iz električne sheme, serijsko oznako, količino in kratek opis (pri elementih kjer je to bilo potrebno). Potrebne elemente smo poiskali na naslednjih petih spletnih straneh:

- [www.meanwell.si](http://www.meanwell.si),
- [www.si.farnell.com](http://www.si.farnell.com),
- [www.eu.mouser.com](http://www.eu.mouser.com),
- [www.at.rs-online.com](http://www.at.rs-online.com), in
- [www.ic-elect.si](http://www.ic-elect.si).

V seznam komponent smo dodali spletne povezave do izbranih elementov in njihove cene. Dodali smo tudi seštevek povprečnih cen v različnih trgovinah, s čimer smo ugotovili predvideno skupno ceno komponent. Po naročilu in prejemu vseh komponent je sledilo sestavljanje sistema.

## 3.1 Sestava sistema

Komponente smo najprej razporedili po površini, kot je to prikazano na sliki 3. Pri tem smo bili pozorni na to, da imajo komponente, s katerimi upravljamo z rokami dovolj prostora v svoji okolici. Razporeditev je olajšala naslednji korak, ki je bil določitev mest za izvrtine in izreze.



Slika 3: Razporeditev komponent.

Nato smo naredili izvrtine z vrtnim strojem ter izreze z vbodno žago. Za lepši izgled končnega izdelka smo okolice odprtin pobrusili z brusnim papirjem. Ploščo smo vstavili v sestavljiv okvir iz aluminijastih profilov. Sledila je pritrditev komponent. Večina manjših komponent se na ploščo pritrdi z matico na zadnji strani plošče. Zaslona se vstavi v odprtino in privijači iz zadnje strani. Večje komponente (frekvenčni pretvornik, servo ojačevalnik in servo motor) so pritrjene z vijaki skozi ploščo.

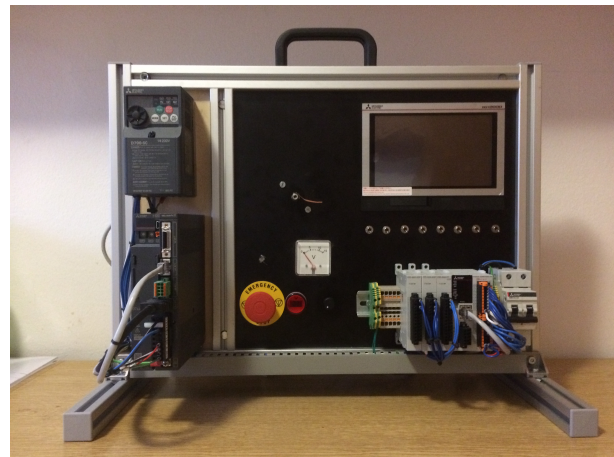
Na obe strani plošče smo dodali DIN letvi, na kateri smo pritrčili še ostale elemente, kot so vrstične sponke, PLK, napajalnik in inštalacijski odklopnik. Na spodnji del okvirja smo dodali kabelski kanal, v katerem bodo skrite žice.

### 3.2 Vezava

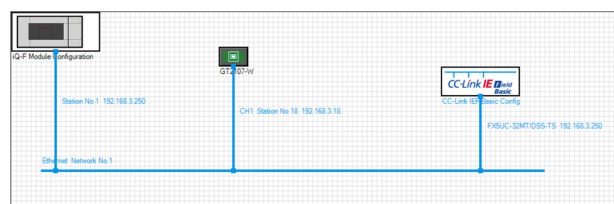
Vezave elementov smo se lotili tako, da smo najprej povežali visoko-napetostni del (260 V izmenična napetost) in nato nizko-napetostni del (24 V enosmerna napetost). Za visoko-napetostni del smo uporabili žice preseka 1,5 mm<sup>2</sup> (črno za fazni vodnik, modro za ničelni vodnik). Za nizko-napetostni del pa smo uporabili žico preseka 0,75 mm<sup>2</sup> (modro za vodnik 24 V in belo za vodnik 0 V). Ker smo uporabili mnogo žične vodnike, smo konce žic zaščitili z votlicami. To smo storili povsod, kjer je bila žica na element pritrjena z vijakom. Na nekaj elementov (stikala, V-meter, ...) smo žice prilotali. Tako povezan sistem je prikazan na sliki 4.

## 4 Preizkus delovanja

Za potrebe testiranja smo v programskem okolju MELSOFT Navigator sestavili konfiguracijo omrežja, prikazano na sliki 5. V omrežje so vključeni: PLK, HMI in servo ojačevalnik. Preko USB kabla smo na zaslon HMI naložili program, za osnovno delovanje zaslona, vključno z delom programa za ethernet komunikacijo. Po prvem prenosu ne potrebujemo več USB kabla, saj se ostali podatki prenašajo preko ethernet kabla. Na PLK-ju in servo ojačevalniku so osnovni programi že naloženi, zaradi česar je mogoča takojšnja komunikacija med komponentami preko ethernet omrežja.



Slika 4: Sestavljen sistem - spredaj.



Slika 5: Konfiguracija omrežja.

S programom MELSOFT GX Works 3 smo programirali PLK. Najprej smo nastavili globalne oznake tipa bit (digitalni vhodi/izhodi). Definirali smo imena 16-ih digitalnih izhodov Y0 do Y7 in Y10 do Y17 ter 16-ih digitalnih vhodov X0 do X7 in X10 do X17.

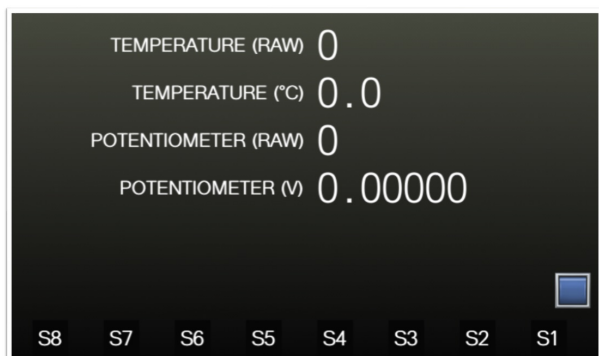
Nastavili smo še globalne oznake tipa double word (analogni vhodi/izhodi), pri tem smo si pomagali z uporabniškimi navodili[4]. Številka vhoda/izhoda je odvisna od tega kateri po vrsti je zaporedni modul. V našem primeru smo nastavili imena in oznake opisane v tabeli 1.

Tabela 1: Osnovni slogi pri oblikovanju prispevka.

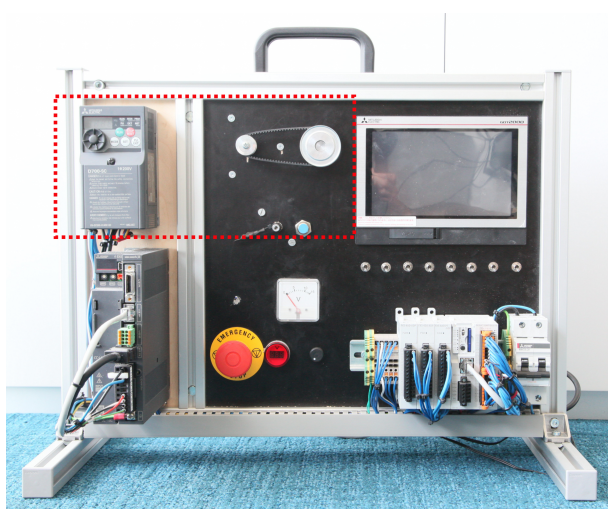
Ime	Oznaka
Analogni vhod za Pt100 sondo	SD6300
Analogni izhod za V-meter	SD6660
Analogni izhod za frekvenčni pretvornik	SD6700
Analogni vhod za potenciometer	SD7020

Za preizkus delovanja smo v programu MELSOFT GT Designer 3 izdelali testni prikaz (slika 6). Prve dve vrednosti na zaslonu (od zgoraj navzdol) se nanašata na analogni vhod za Pt100 sondo (SD6300). Prvi prikaz je vrednost prepisana neposredno z naslova SD6300. Druga vrednost je prejšnja deljena z 10, s čimer dobimo dejansko vrednost temperature okolice v stopinjah celzija. Drugi dve vrednosti se nanašata na analogni vhod za potenciometer (SD7020). Prvi prikaz je vrednost prepisana neposredno z naslova SD7020. Druga vrednost je prejšnja deljena z 10<sup>8</sup>, s čimer dobimo dejansko vrednost napetosti na priklopu potenciometra.

V programu smo vrednost z analognega vhoda za po-



Slika 6: Testni prikaz zaslona na dotik HMI.



Slika 7: Končna verzija sistema.

tenciometer prepisali na analogni izhod za V-meter. Tako je V-meter kazal napetost, ki je bila prikazana na zaslonu in je odražala dejansko vrednost napetosti na priklopu potenciometra.

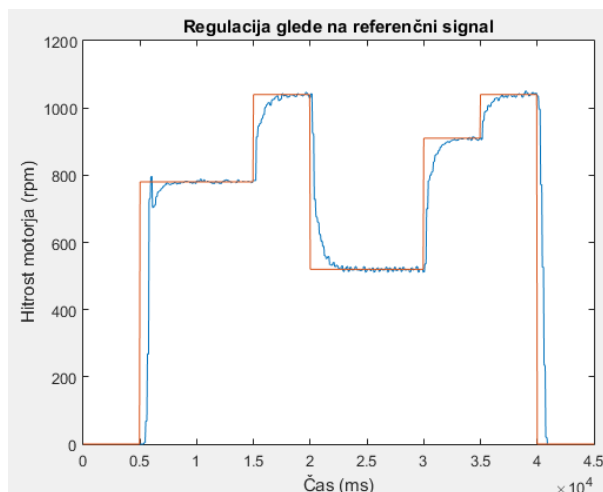
Na dnu zaslona smo dodali osem prikazov od S1 do S8. Kvadrati okoli napisov (S1 do S8) so črne barve, dokler so fizična stikala pod zaslonom izklopljena in se obarvajo zeleno, ko stikala aktiviramo.

## 5 Vodenje AC-motorja

V tem poglavju bomo predstavili vodenje AC-motorja s frekvenčnim pretvornikom. Frekvenčni pretvornik krmlimo z ukazi preko PLK-ja, dokler hitrost vrtenja motorja dobimo preko enkoderja, ki je povezan na motor preko zobatega jermena (slika 7).

Za namene vodenja smo najprej nastavili parametre frekvenčnega pretvornika ter smo pripravili program na PLK-ju za realizacijo PID-regulatorja. Poleg tega smo pripravili tudi novo okno na HMI zaslonu. Preko novega okna na zaslonu lahko nastavljam parametre PID-regulatorja ter izvajamo eksperimente.

Najprej smo izvedli pomerili statično karakteristiko sistema tako, da smo stopničasto povečevali frekvenco na izhodu frekvenčnega pretvornika (vhodna veličina) in opazujemo hitrost motorja (izhodna veličina). Izkazalo



Slika 8: Regulacija hitrosti vrtenja AC-motorja.

se je da je sistem precej linearen in smo nato določili še model v delovni točki. Parametre regulatorja smo najprej izračunali s pomočjo metode Zeigler-Nichols in potem smo jih še ročno spreminjali. Dobljen odziv okoli izbrane reference je prikazan na sliki 8.

## 6 Zaključek

Predstavljen sistem zaradi svojo kompaktnost in prenosljivost nam lahko služi kot platforma za demonstracijo osnovnih gradnikov, ki se uporabljajo na področju avtomatizacije. Poleg tega na enostaven način lahko predstavimo tudi delovanje regulacijskih algoritmov, kot na primer delovanje in lastnosti PID-regulatorja.

Nadaljnji koraki so izdelava učnega gradiva z različnimi nalogami za spoznavanje z vsako komponento posebej, kot tudi izvajanje eksperimentov na celotnem sistemu.

## Zahvala

Zahvaljujemo se industrijskemu partnerju INEA RBT d.o.o. za podporo pri izdelavi projekta.

## Literatura

- [1] „CPU module MELSEC iQ-F series — MITSUBISHI ELECTRIC FA“. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plcf/pmerit/cpu/index.html>. [Pridobljeno: 20-feb-2020].
- [2] „Analog Control module MELSEC iQ-F series — MITSUBISHI ELECTRIC FA“. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plcf/pmerit/analog/index.html>. [Pridobljeno: 20-feb-2020].
- [3] „GT21 Wide model GOT2000 Series Human-Machine Interfaces(HMIs)-GOT— MITSUBISHI ELECTRIC FA“. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/hmi/got/pmerit/got2000/wide/gt21wide.html>. [Pridobljeno: 20-feb-2020].
- [4] „MELSEC iQ-F FX5 User’s Manual (Analog Control - CPU module built-in, Expansion adapter)“ [Pridobljeno: 21-feb-2020].