

Primjena industrijskih računalnih mreža u nastavi sa energetske pretvaračima

Danijel Maršić, Goran Malčić i Veselko Tomljenović
Tehničko veleučilište u Zagrebu/Elektrotehnički odjel, Zagreb, Hrvatska
danijel.marsic@tvz.hr

Sažetak - Energetski pretvarači napona i frekvencije za upravljanje elektromotornim pogonima temeljenim na asinkronim motorima dio su obavezne nastave na stručnim studijima elektrotehnike. Njihovo povezivanje na više tipova industrijskih računalnih mreža je nadogradnja koja je nužna za primjenu u industriji. U radu je prikazana konfiguracija i primjena takvih sklopova koja se koristi na laboratorijskim vježbama iz područja industrijskih računalnih mreža. Prikazan je energetski pretvarač tvrtke ABB u pogonu s mrežama Profibus, EtherNet/IP i PROFINET I/O kako bi se studentima pokazale mogućnosti konfiguracije uređaja različitih proizvođača na različitim tipovima mreže s različitim programskom podrškom.

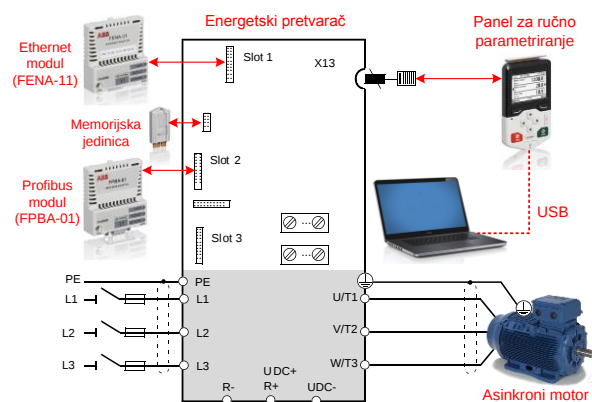
I. UVOD

U okviru kolegija Industrijske računalne mreže koji se predaje na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu izvode se laboratorijske vježbe na kojima se pokazuje konfiguracija i rad sa više tipova mreža koje su najčešće u upotrebi. Kao krajnji objekt upravljanja na mreži koristi se energetski pretvarač napona i frekvencije koji je spojen na trofazni asinkroni motor čijim radom upravljamo. Prilikom svake vježbe, krajnji je cilj, naučiti studenta konfigurirati energetski pretvarač za rad na mreži, konfigurirati upravljačku mrežu preko osobnog računala te isprogramirati PLC računalo kao glavni upravljački element. Student se kroz ove vježbe susreće s više programskih i konfiguracijskih editora, kao i s problemom njihovog međusobnog povezivanja.

Na početku svake vježbe konfigurira se pretvarač napona i frekvencije i to ili preko ručnih komandi na samom pretvaraču ili preko programske podrške tvrtke ABB. Nakon konfiguracije uređaja, podešava se rad odabrane mreže i testira komunikacija između pretvarača i PLC uređaja. Kao zadnja stavka ostaje izrada upravljačkog programa za PLC računalo gdje se i testira rad sustava. Ovim vježbama se pokazuje koliko široko stručno znanje treba imati inženjer koji se bavi industrijskom automatizacijom, kao i koji mogući problemi mogu nastupiti kod upotrebe raznih tehnologija. Cilj vježbi je osim samoga rada na mrežama i njihovom sklopovskom opremom i programskom podrškom, pokazati i kako je poštivanjem mrežnih specifikacija moguće upogoniti opremu raznih proizvođača na istoj mreži što je ovdje slučaj. Za izvođenje vježbi su pripremljeni pisani materijali i izrađeni posebni laboratorijski modeli na kojima moraju zajedno raditi dvojica studenata da bi vježba bila uspješno izvedena.

II. KONFIGURACIJA ENERGETSKOG PRETVARAČA

Početni korak koji treba napraviti na vježbi je konfiguracija objekta upravljanja. Na ovim vježbama to je energetski pretvarač napona i frekvencije tvrtke ABB tip ACS880 za asinhronne motore snage do 2,5 kW na 400 VAC. Pretvarači su opremljeni ručnim upravljačkim komandama preko jednostavnog panela s tipkama i zaslonom na kojemu se vide parametri pretvarača u radu. Pregled energetskih i upravljačkih priključaka energetskog pretvarača prikazan je na sljedećoj slici.



Slika 1. Osnovni dijelovi energetskog pretvarača ACS880 (ABB)

Studentima se na vježbama tumači kako se pretvarač može konfigurirati ručno, ali se konfiguracija ipak pokazuje preko namjenske programske podrške *Drive Composer Entry* tvrtke ABB koja se izvršava na osobnom računalu spojenom na pretvarač preko USB sučelja. Preko istoga student mora:

- upravljati pogonom: start, stop, smjer, referentna brzina / moment / frekvencija referenca,
- pratiti rad i stanja pogona,
- pregledati i podešavati pogonske parametre,
- pratiti signale u numeričkom i grafičkom obliku,
- stvoriti korisnički specifične radne prostore za prilagodbu parametara,
- rukovati radnim prostorom.

Na početku je potrebno u pretvarač unijeti parametre motora kako bi uređaj znao koje su njegove nazivne vrijednosti te s kojim modom upravljati njime, kako ne bi došlo do nedozvoljenih prekoračenja nazivnih vrijednosti.

Sve vrijednosti koje su potrebne za podešavanje pretvarača nalaze se na natpisnoj pločici elektromotora i opisu tehnološkog procesa gdje se ugrađuje kao pogonski stroj.

Index	Name	Value	Offline value	Unit	Min	Max	Default
(0)(3)Par.99.3	Motor type	Asynchronous motor		NoUnit	0	1	Asynchronous motor
(0)(3)Par.99.4	Motor control mode	Scalar		NoUnit	0	1	DTC
(0)(3)Par.99.6	Motor nominal current	1,1		A	0,0	6400,0	0,0
(0)(3)Par.99.7	Motor nominal voltage	400,0		V	0,0	800,0	0,0
(0)(3)Par.99.8	Motor nominal frequency	50,0		Hz	0,0	500,0	0,0
(0)(3)Par.99.9	Motor nominal speed	660		rpm	0	30000	0
(0)(3)Par.99.10	Motor nominal power	0,22		kW	-10000,00	10000,00	0,00
(0)(3)Par.99.11	Motor nominal cost	0,60		NoUnit	0,00	1,00	0,00

Slika 2. Izgled programske podrške za podešavanje parametara

Drugi dio koji se mora podesiti na energetskom pretvaraču je mrežna komunikacija. Kako bi se spojio pretvarač na mrežu potreban je odgovarajući mrežni adapter. Svaki pretvarač opremljen je s dva mrežna adaptera i to Profibus adapter te ethernet adapter koji se upotrebljava za EtherNet/IP i PROFINET protokole. Njih je potrebno konfigurirati preko programske podrške Drive Composer Entry ili ručno preko panela da bi energetski pretvarač bio vidljiv i upravljiv preko mreže.

FPBA-01 Profibus DP adapterski modul je opcijski uređaj za ABB-ove pretvarače koji omogućuje spajanje pretvarača na Profibus DP mrežu. Pretvarač se u tom slučaju na Profibus mreži ponaša kao *slave* tj. kao podređeni uređaj. FENA-11 modul je kompatibilan sa svim trenutno važećim ethernet mrežnim standardima i podržava tri komunikacijska protokola: Modbus/TCP, EtherNet/IP i PROFINET IO. FENA-11 modul podržava 10 Mb/s i 100 Mb/s brzine prijenosa podataka te automatski detektira korištenu brzinu u mreži.

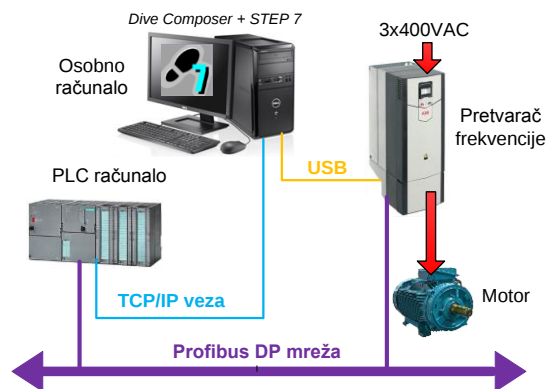
Preko adaptera tj. mrežnog modula moguće je upravljati pretvaračem dajući mu naredbe za npr. start, stop. Preko modula je moguće uspostaviti referencu za brzinu i moment elektromotora, te način zaustavljanja. Adapter također šalje stvarne vrijednosti stanja energetskog pretvarača, tako da se može upravljati povratnom vezom, mijenjati vrijednosti parametara pretvarača te prema potrebi resetirati grešku.

III. KONFIGURACIJA PREKO PROFIBUS MREŽE

Profibus je serijski komunikacijski standard koji omogućuje razmjenu podataka između komponenti na mrežnoj sabirnici. Profibus komunikacija se ostvaruje na razini polja gdje distribuirane jedinice kao što su ulazno/izlazni moduli, pretvarači napona i frekvencije, uređaji za analizu, mjerni sustavi, nadzorni terminali mogu komunicirati sa sustavom automatizacije u realnom vremenu [1]. Programirajući logički kontroler (eng. Programmable Logic Controller, skraćeno PLC), koji radi kao nadređeni uređaj, čita ulazne podatke s podređenog uređaja te natrag šalje izlazne upravljačke veličine [5]. Vrijeme ciklusa Profibus sabirnice ovisi o broju čvorova na mreži i to vrijeme mora biti barem dva puta kraće od vremena ciklusa programa PLC računala što je važno i neophodno za vremenski kritičan prijenos podataka.

U okviru praktičnog dijela laboratorijskih vježbi uspostavlja se komunikacija između PLC uređaja serije S7-300 (Siemens) i pretvarača frekvencije serije ACS880 (ABB) spojenog preko FPBA-01 adapterskog modula na

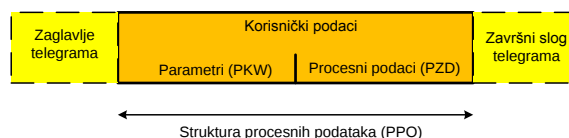
Profibus DP mrežu. Osobno računalo je spojeno preko ethernet mreže na komunikacijsku procesorsku jedinicu PLC računala i preko njega se konfigurira Profibus mreža i programira PLC računalo. Također, preko osobnog računala se konfiguriraju postavke mreže na energetskom pretvaraču tako da ga se spoji preko USB kabela (Slika 3.)



Slika 3. Principijelna blok shema sustava – Profibus DP

Preko programske podrške Drive Composer Entry potrebno je podesiti tzv. komunikacijske profile i adresu pretvarača na Profibus mreži. Komunikacijski profili su načini prenošenja upravljačkih naredbi tj. upravljačke riječi, statusne riječi, reference i stvarne vrijednosti između nadređenog uređaja i pretvarača. Za ove vježbe koristi se PROFIdrive profil koji se odnosi na strukturu procesnih podataka tj. PPO (eng. *Parameter Process data Object*). On definira strukturu podataka kojom *master* (hrv. nadređena stanica) može pristupiti *slave* (hrv. podređenoj stanici) uređaju, tj. pretvaraču koristeći metodu cikličkog prijenosa podataka. Podatkovna struktura PPO za ciklički prijenos podataka podijeljena je na dva dijela:

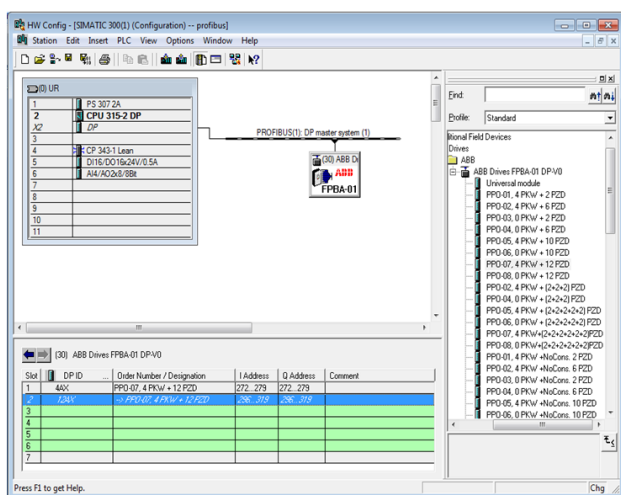
- PKW = Parametarsko područje za čitanje i mijenjanje parametara u pretvaraču. Parametarsko područje osigurava korisniku pristup i mijenjanje svih parametara pretvarača frekvencije. Može se koristiti i za čitanje dijagnostičkih poruka te poruka o greškama.
- PZD = Prikazuje procesne podatke, upravljačke riječi, informacije o statusu pretvarača i aktualne vrijednosti. Procesni podaci se stalno prenose i to najvišim prioritetom prijenosa. Koriste se za upravljanje pretvaračem frekvencije na DP mreži, njegovo pokretanje i zaustavljanje, postavljanje referentnih vrijednosti i slično.



Slika 4. Podatkovna struktura PPO za ciklički prijenos podataka

U nastavku vježbi studenti u programskom paketu SIMATIC Manager konfiguriraju i programiraju i PLC uređaj, kako bi omogućili komunikaciju s energetskim pretvaračem. Prvo je potrebno u alatu za izradu sklopovske konfiguracije definirati virtualnu Profibus DP mrežu koja je u stvarnosti jednim krajem spojena na DP

sučelje procesorske jedinice PLC uređaja, a s druge strane na adapterski modul za komunikaciju pretvarača frekvencije. Isto tako, u sklopovsku konfiguraciju je potrebno upisati adresu prevarača na mreži koja je već prethodno odabrana u parametrima pretvarača. Profibus DP mreža se definira unutar sklopovske konfiguracije dvostrukim klikom na X2 koji predstavlja DP sučelje. Nakon uspješnog definiranja Profibus DP mreže i odabira adrese, na radnoj površini student vidi konfiguraciju PLC računala s pripadajućom DP mrežom koje je prethodno kreirana (Slika 5.). Za konfiguraciju nadređene stanice potrebna je GSD vrsta datoteka. Za komunikaciju sa DP-V0 Profibus protokolom postoji GSD datoteka imena proizvođača ABB. Kada je PPO struktura procesnih podataka jednom ubačena u komunikacijski modul tada je u konfiguracijskoj tablici moguće uočiti i zapamtiti adrese procesnih podataka (PZD) koje je potrebno znati prilikom izrade ljestvičastog dijagrama za nadzor i upravljanje pretvaračem frekvencije.



Slika 5. Podešena sklopovska konfiguracija u programu STEP 7

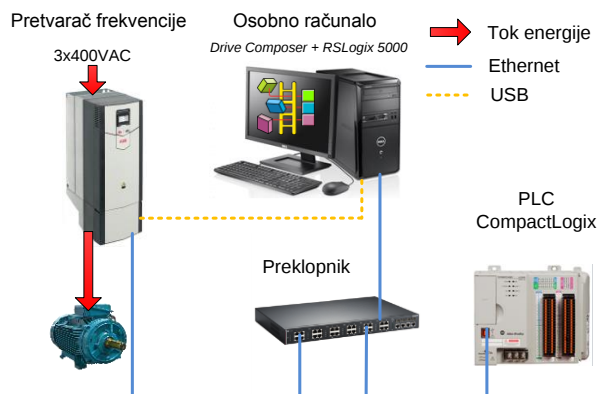
Zadnji dio vježbe je izrada upravljačkog programa upotrebom pripadajućih adresa procesnih riječi. Tek nakon što je konfiguracija, kako energetskog prevarača tako i PLC uređaja, provjerena od strane voditelja vježbi studenti mogu energetski pretvarač pustiti u pogon. Studenti koji prije predviđenog vremena prođu kroz obavezni dio vježbi, u okviru dodatnog zadatka provjere i Profibus komunikaciju upotrebom naprednijih struktura procesnih podataka (PPO).

IV. KONFIGURACIJA PREKO ETHERNET/IP MREŽE

EtherNet/IP (eng. IP – Industrial Protocol) je jedna od tehnologija ethernet mrežnih rješenja u industriji bazirana na otvorenoj tehnologiji, koristeći aplikacijski nivo – Common Industrial Protocol (CIP). EtherNet/IP se koristi s TCP/IP za slanje eksplicitnih poruka te se u svakom tom paketu osim aplikacijskog podatka nalazi i značenje podatka i servis odnosno zadatak koji se treba obaviti nad njime [4]. EtherNet/IP također zadovoljava i standard UDP/IP (User Datagram Protocol/Internet Protocol) koji je zbog svojih performansi i višekorisničke funkcionalnosti pogodan za potrebe rada s podacima u realnom vremenu – još poznato kao slanje implicitnih poruka (slanje poruka od jednog uređaja na mreži prema jednom ili više

korisnika). Zbog toga što zadovoljava TCP/IP i UDP/IP protokole, EtherNet/IP proširuje mogućnosti rada na mreži i korisnici ga mogu upotrebljavati kako za prijenos podataka tako i za nadzor sustava (SCADA).

Laboratorijske vježbe se temelje na uspostavi komunikacije između PLC uređaja serije CompactLogix (Allen Bradley) i pretvarača frekvencije serije ACS880 (ABB) opremljenog FENA-11 adapterskim modulom. Na taj način su osobno računalo (ethernet kartica), PLC uređaj (integrirani ethernet priključak) i energetski pretvarač (FENA -11 adapter) međusobno povezani preko ethernet mrežnog preklopnika (Slika 6.).



Slika 6. Principijelna blok shema sustava – EtherNet/IP

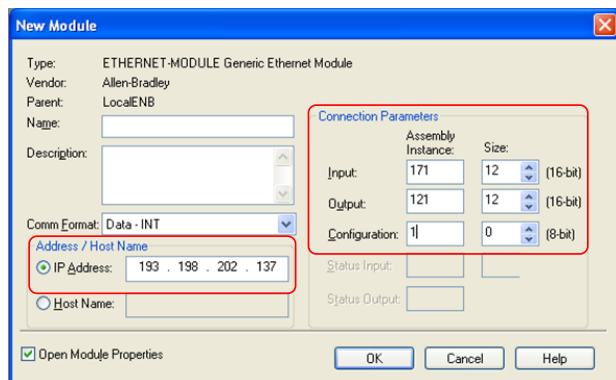
U prvom dijelu vježbi se preko USB kabela podešavaju postavke pretvarača za komunikaciju preko EtherNet/IP komunikacijskog protokola. Potrebno je unijeti IP adresu pretvarača na ethernet mreži i podesiti jedan od više različitih načina komunikacije koje podržava EtherNet/IP protokol. U ovom slučaju se koriste eksplicitne poruke kojima se zapisuju podaci na pretvarač i čitaju informacije s pretvarača. PLC uređaj obavlja ovu funkciju samostalno i direktno upisuje podatke i naredbe u parametre pretvarača i čita povratne informacije s pretvarača. Za upravljanje pretvaračem putem EtherNet/IP pretvarač mora zaprimiti upravljačku riječ koja određuje status pretvarača i reference kojima se pojedini parametri pretvarača mijenjaju. Povratne informacije koje se čitaju s pretvarača su trenutna vrijednost upravljačke riječi koja se naziva statusna riječ i trenutne vrijednosti pojedinih referenci. Za bolje i lakše upravljanje pretvaračem koriste se različite vrste poruka, tzv. Instance od kojih je svaka namijenjena za određeni tip upravljanja [2].

U ovoj vježbi studenti odabiru izlaznu instancu 121 koja omogućuje poboljšane mogućnosti upravljanja pretvaračem i podešavanje parametara pretvarača posredstvom programa iz PLC računala. Isto tako, koristi se ulazna instanca 171 u kojoj PLC računalo prima statusne informacije o smjeru vrtnje, greške i upozorenje, radna stanja, trenutnu brzinu pretvarača i sl. (Slika 7.).

Bajt	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0	Dostignuta referenca			Pogon spreman	Vrtnja unazad	Vrtnja unaprijed	Upozorenje
1							Greška
2	Trenutna brzina (niži bajt)						
3	Trenutna brzina (viši bajt)						
4...24	Ulazni podaci 1...10						

Slika 7. Struktura ulazne komunikacijske instance 171

U drugom dijelu vježbe studenti koriste programsku podršku RSLogix 5000 namijenjenu konfiguriranju, programiranju i praćenju rada PLC računala tvrtke Allen Bradley. Prvo je potrebno u postavkama ethernet sučelja PLC uređaja unijeti IP adresu pretvarača i ulaznu (171) odnosno izlaznu (121) instancu komunikacijskih poruka (Slika 8.).



Slika 8. Konfiguracija ethernet modula u RSLogix 5000

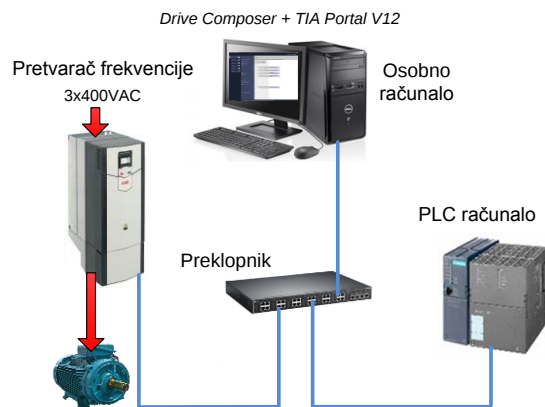
Nakon toga studenti upotrebom pojedinih adresa navedenih instanci izrađuju ljestvičastu logiku (eng. Ladder logic) za nadzor i upravljanje radom pretvarača frekvencije preko Ethernet/IP mreže. Zadnji dio vježbe je puštanje energetskog pretvarača u pogon i provjera ostalih komunikacijskih instanci za naprednije studente.

V. KONFIGURACIJA PREKO PROFINET IO MREŽE

PROFINET (*Process Field NETwork*) je otvoreni standard tvrtke Siemens za industrijsku komunikaciju temeljenu na Ethernet tehnologiji. PROFINET pruža dva različita komunikacijska protokola: PROFINET CBA i PROFINET IO. Za komunikaciju PLC računala s energetskim pretvaračem uređaja na laboratorijskim vježbama, koristimo PROFINET IO protokol koji općenito omogućava komunikaciju u realnom vremenu između distribuiranih jedinica na industrijskoj ethernet mreži. Uz standardne mrežne topologije (zvijezda, stablo, prsten). Profinet I/O podržava linijsku topologiju karakterističnu za sabirničke industrijske mreže, a to je ostvareno preko preklopnika integriranog u UI uređaj [3].

U ovoj laboratorijskoj vježbi koristi se nadređeno PLC računalo serije S7-300 (Siemens) sa zasebnim komunikacijskim modulom (CP 343-1 Advanced) koji upravlja radom pretvarača napona i frekvencije ACS880 (ABB) preko industrijske računalne mreže PROFINET I/O. Slika 9. prikazuje idejno rješenje konfiguracije sustava.

Kako bi PLC uređaj mogao komunicirati preko zasebnog komunikacijskog ethernet modula s pretvaračem frekvencije u upravljačkom programu potrebno je koristiti komunikacijske blokove FC11 „PNIO_SEND“ (za slanje podataka) i FC12 „PNIO_RECV“ (za primanje podataka). Zadaća komunikacijskoga bloka FC11 je prenositi podatke iz korisničkog programa odnosno centralne procesorske jedinice u ethernet modul CP343-1 Advanced. Funkcijski blok FC12 prima podatke iz modula CP343-1 Advanced i upisuje ih u korisnički program.

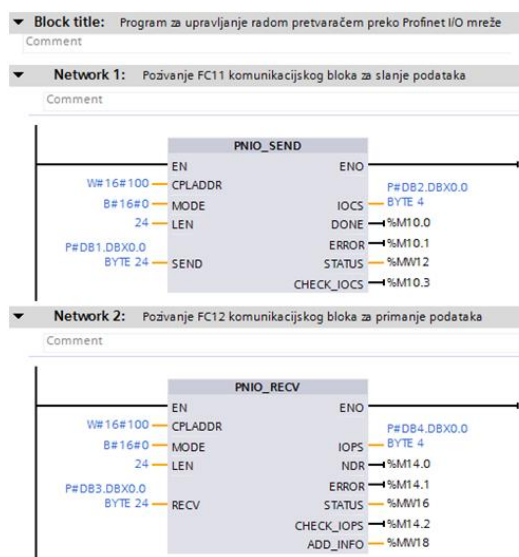


Slika 9. Principijelna blok shema sustava – PROFINET IO

Nastava se provodi korištenjem programskog paketa TIA Portal V12, tvrtke Siemens, pa su u sklopu vježbi objašnjene i osnove rada u tom paketu. TIA Portal V12 je novija generacija programske podrške za rad s PLC računalima tvrtke Siemens, koja je uvedena s namjerom da u potpunosti zamjeni programsku podršku STEP 7, koja se koristi već dugi niz godina.

U prvom dijelu vježbi se preko USB kabela podešavaju postavke pretvarača za komunikaciju preko PROFINET IO komunikacijskog protokola. Odabire se IP adresa pretvarača na mreži i strukturu procesnih podataka (u ovom slučaju PPO 7), s obzirom da PROFINET IO tehnologija koristi jednake komunikacijske profile kao i Profibus DP. U drugom dijelu vježbe studenti unutar programskog okruženja TIA Portal V12 definiraju virtualnu PROFINET IO mrežu te unose IP adresu i komunikacijske profile koji su već prethodno podešeni u parametrima pretvarača.

U zadnjem dijelu vježbe studenti izrađuju upravljački program upotrebom komunikacijskih blokova FC 11 i FC12, te puštaju energetski pretvarač u pogon nakon provjere ispravnosti sustava od strane voditelja vježbi.



Slika 10. Prikaz primjene FC11 i FC12 komunikacijskih blokova

VI. ZAKLJUČAK

Razlog za uvođenje upravljanja energetskim pretvaračima unutar kolegija Industrijske računalne mreže je potreba za ovakvim specifičnim stručnim znanjima ne samo studenata, već i zaposlenih ljudi u industriji. Procesna industrija ne može opstati na tržištu bez kontinuiranog uvođenja novih tehnologija, a kako je razvoj računalnih mreža u industriji jedno od područja koje stalno napreduje, potreba za ovom nastavom se nametnula sama po sebi.

Kako bi se nastava izvodila što kvalitetnije, zbog obima i kompleksnosti vježbi, studenti rade u paru na jednom laboratorijskom modelu. Konstruktivistički pristup učenju, gdje studenti zajedničkim radom izrađuje mrežnu strukturu uređaja, podešavaju i programiraju uređaje na njoj, pokazao se kao najbolji za proučavanje takve tematike.

Kod ove vrste laboratorijskih vježbi, nastavnik je samo voditelj, a nikako predavač. Naime student mora naučiti da će se u svom budućem poslu na ovakvim sustavima svakodnevno susretati s potrebom čitanja tehničkih priručnika za rad s određenom opremom te uputstva za njihovo programiranje i konfiguraciju. Tako i u ovim vježbama studenti sami moraju pročitati detaljne upute i rukovoditi se njima da bi uspješno završili vježbu te ujedno se naučili koristiti tehnologijom. U radu nije navedeno da uz nastavne materijale, studenti na stolu i u računalu imaju originalne priručnike opreme na kojoj rade. Ispitivanje naučenog gradiva ne postoji, već samo to da su nakon vježbi koje traju tri školska sata uspjeli podesiti i isprogramirati uređaje smatra se prolaznom ocjenom.

Nastavni materijali su radi jednostavnijeg praćenja prepuni slika, ali uz ograničenu količinu teksta tako da studenti sami moraju shvatiti i povezati kako vježbu izvesti uspješno. Kako bi se na slikama mogli raspoznati detalji, potrebno je nastavne materijale tiskati u boji.

Problem na koji ćemo sigurno naići je činjenica da je zbog brzog razvoja tehnologije potrebno stalno nadopunjavati i osuvremenjivati nastavne materijale. Drugi problem je taj što su tehničke inovacije često popraćene novim stranim riječima koje je teško točno prevesti pa se je lakše služiti originalnom riječi.

U ovom radu, koji obiluje tehničkim detaljima, a koji su samo dio problema koje student mora riješiti na ovim vježbama željelo se pokazati koliko je ovo kompleksna tematika i zašto se takve vrste vježbi rijetko izvođe na visokoškolskim institucijama. Naime često se potcjenjuje rad na laboratorijskim vježbama u odnosu na predavanja, no ovim se pokazuje da to često neopravdano.

LITERATURA

- [1] Danijel Uremović: *Primjena industrijske računalne mreže Profibus DP u radu sa ABB pretvaračem serije ACS880*, završni rad - preddiplomski studij, Elektrotehnički odjel Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, 12.07. 2012
- [2] Roman Mešić: *Upravljanje pretvaračem ACS 880 sa PLC uređajem CompactLogix preko Ethernet/IP mreže*, završni rad - preddiplomski studij, Elektrotehnički odjel Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, 03.12. 2012
- [3] Julije Čučuk: *Upravljanje pretvaračem ACS880 preko ProfiNet I/O mreže sa PLC uređajima tvrtke Siemens*, završni rad - diplomski/integralni studij, Elektrotehnički odjel Tehničkog veleučilišta u Zagrebu, 18.12. 2013
- [4] Goran Malčić: *Ethernet/IP - industrijski Ethernet.*, časopis Elektro. 8 (2004) , 4; 48-51 (članak, stručni).
- [5] Goran Malčić, Danijel Maršić: *Programirajući logički kontroleri*, skripta za kolegij Procesna računala, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel, Zagreb, 2009