



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАџМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



# ELABORAT

NOVOG TEHNIČKOG REŠENJA POD NAZIVOM:

## Ispitna stanica za višefazne elektromotorne pogone i pretvarače

Autori tehničkog rešenja: doc. dr Boris Dumnić, doc. dr Dragan Milićević, Msc Bane Popadić, doc. dr Dejan Reljić, prof. dr Vladimir Katić, doc. dr Evgenije Adžić, doc. dr Zoltan Čorba, struk. inž. Petar Gajić, MSc Nikola Vukajlović, MSc Aleksandar Stanisavljević.

U Novom Sadu, novembar 2017.

---

## Sadržaj:

1. Uvod.....	3
2. Opis realizovanog tehničkog rešenja.....	4
2.1 Razvodni orman =E01.....	6
2.2 Razvodni orman =E02.....	11
2.4 Frekventni pretvarači.....	13
2.5 Prilagodni – rek ormar.....	15
2.6 Prilagodna strujna merna kartica.....	15
2.7 Prilagodna PWM kartica .....	16
2.8 Prilagodna kartica digitalnih signala .....	17
2.9 dSPACE modularni sistem za razvoj i testiranje aplikacija u realnom vremenu.....	18
2.10 Emulator distributivne mreže - Grid emulator .....	27
3. Prilozi .....	34

---

## 1. UVOD

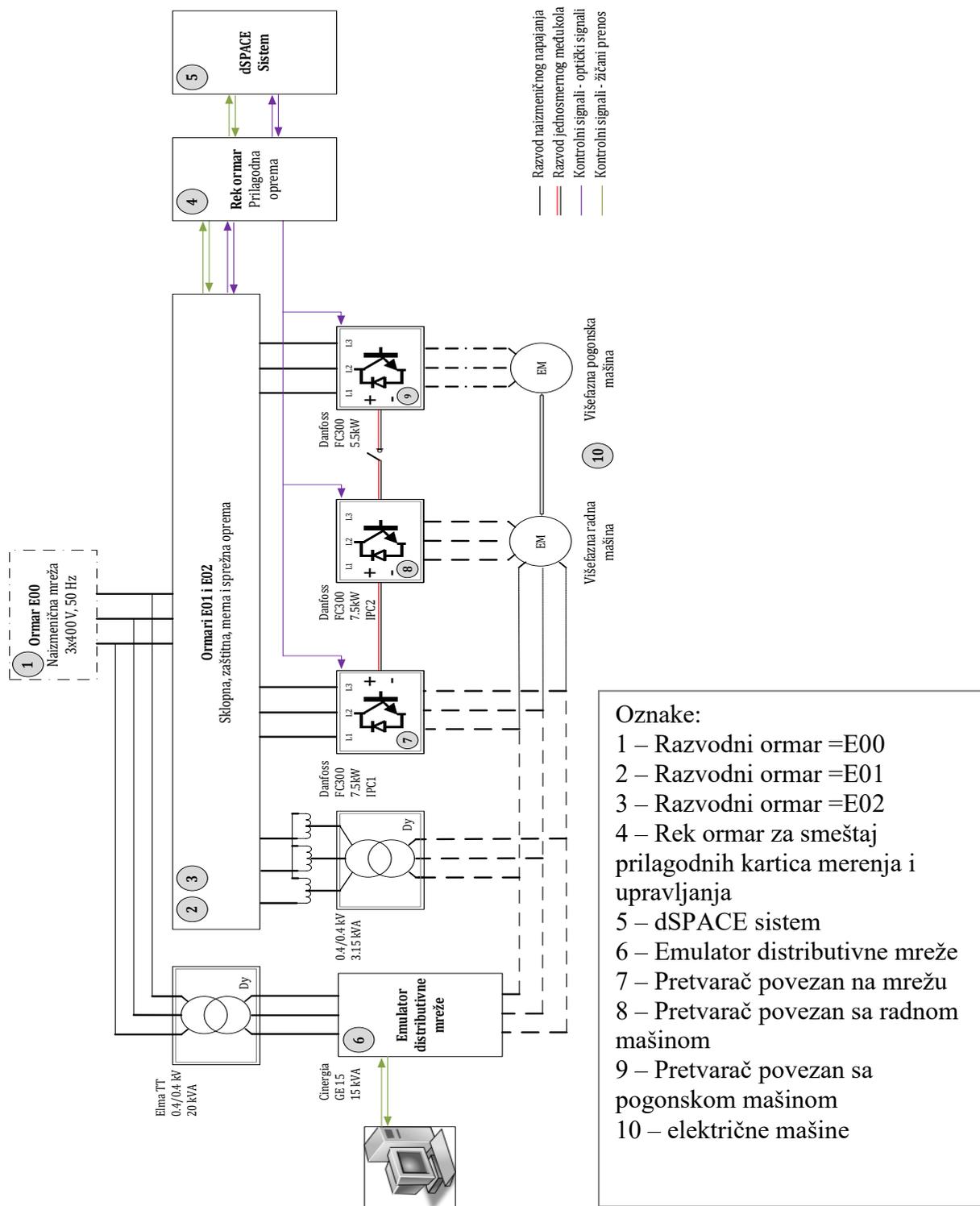
U sklopu naučno-istraživačkih aktivnosti na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i potrebe za sprovođenjem različitih praktičnih provera i eksperimenata na višefaznim elektromotornim pogonima i pretvaračima energetske elektronike, javila se potreba za realizacijom savremene (modularne) ispitne stanice. Jedan od uočenih problema, prilikom izvođenja različitih eksperimenata i praktičnih provera, bio je taj što je za svaku različitu konfiguraciju (tip) objekta testiranja (električne mašine, pretvarača energetske elektronike, strategije upravljanja, načina njihovog povezivanja na električnu mrežu i sl.) bilo neophodno konfigurisati, pripremati i povezivati novu ispitnu postavku (stanicu). Ovo je zahtevalo značajne materijalne resurse i zahtevalo je dugo vreme za pripremu svakog pojedinačnog testiranja. Dodatno, ukoliko se tokom eksperimenata uočavala potreba za još nekim dodatnim proverama, koje unapred nisu bile planirane, vreme izvođenja ogleada se značajno produžavalo.

U cilju prevazilaženja prethodno uočenih problema pristupilo se osmišljavanju, razvoju i realizaciji novog tehničkog rešenja pod nazivom „**Ispitna stanica za višefazne elektromotorne pogone i pretvarače**“. Realizovano tehničko rešenje predstavlja savremenu modularnu istraživačku stanicu potpuno otvorenu za različita istraživanja u oblasti digitalne kontrole elektromotornih pogona, električnih mašina kako trofaznih tako i više – faznih (peto, šesto – faznih) mašina, pretvarača energetske elektronike (u invertorskom, ispravljačkom režimu rada, povezanih na distributivnu „krutu“ elektroenergetsku mrežu, mikro – mrežu, elektroenergetsku mrežu za proizvoljnim (željenim) talasnim oblicima i vrednostima napona, različitim odstupanjima od nominalnih naponskih prilika, ostrvskom režimu rada i sl.), testiranje uticaja različitih parametara na kvalitet isporučene/preuzete električne energije, različitih upravljačkih strategija i sl. Realizovano tehničko rešenje osmišljeno je kao višefunkcionalno. Bez bilo kakvih adaptacija i dodavanja novih elemenata na realizovanom tehničkom rešenju moguće je sprovesti oglede iz oblasti nereguliranih i reguliranih trofaznih i višefaznih elektromotornih pogona. U nastavku će najpre biti opisano realizovano tehničko rešenje a potom će biti dati i odgovarajući tehnički crteži kao i neki od radova u kojima su prikazni rezultati praktičnih provera sprovednih na predmetnoj ispitnoj stanici.

Autori novog tehničkog rešenja su nastanici i saradnici Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu: Boris Dumnić, Dragan Milićević, Bane Popadić, Dejan Reljić, Vladimir Katić, Evgenije Adžić, Zoltan Čorba, Petar Gajić, Nikola Vukajlović, Aleksandar Stanisavljević.

## 2. OPIS REALIZOVANOG TEHNIČKOG REŠENJA

Blok šema realizovanog tehničkog rešenja data je na slici 2.1. a izgled tehničkog rešenja prikazan je na slici 2.2. Jednopolne i tropolne šeme date su u prilogu ovog elaborata.



Slika 2.1: Blok šema realizovanog tehničkog rešenja.



**Slika 2.2:** Izgled realizovanog tehničkog rešenja: 1 – Razvodni ormar =E00, 2 – Razvodni ormar =E01, 3 – Razvodni ormar =E02, 4 – rek ormar za smeštaj prilagodnih kartica merenja i upravljanja, 5 – dSPACE sistem, 6 – emulator distributivne mreže, 7 – pretvarač povezan na mrežu, 8 – pretvarač povezan sa radnom mašinom, 9 – pretvarač povezan sa pogonskom mašinom, 10 – električne mašine.

---

## 2.1 RAZVODNI ORMAN =E01

Ormar =E01, pod oznakom 1 na slici 2.2, namenjen je za smeštaj sklopne, merne i zaštitne opreme neophodne za realizaciju aplikacija vezanih za povezivanje pretvarača na mrežu. Spoljašnji i unutrašnji izgled ormara =E01 sa naznačenim osnovnim elementima prikazan je na slici 2.3. Tropolna šema ormara =E01 data je u prilogu ovog rada. Napajanje, odnosno povezivanje ormara =E01 na napojnu mrežu obezbeđeno je iz ormara =E00 napojnim vodom PP/F-Y 5x6 mm<sup>2</sup>. Kablovski vod se iz napojnog ormara =E00 vodi direktno u ormar =E01.

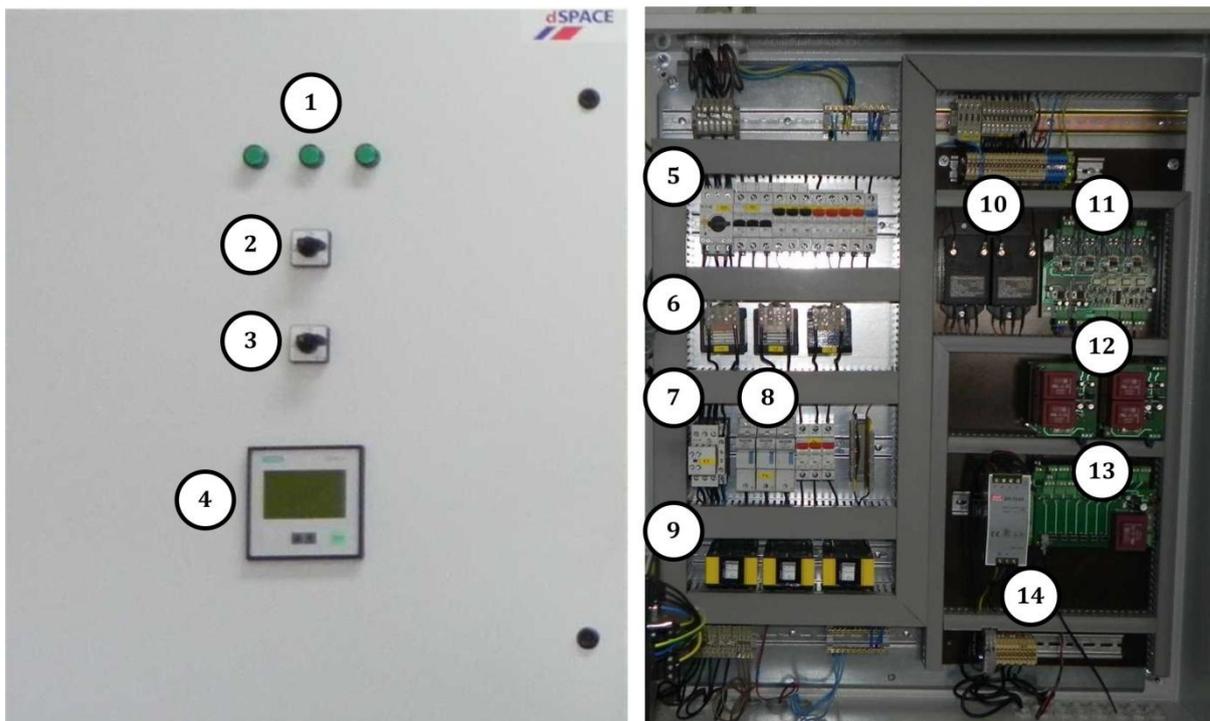
Isključenje ormara =E01 sa mreže obezbeđeno je teretnom trofaznom sklopkom –Q<sub>1</sub>, pod oznakom 2 na slici 2.3, nazivne struje 25 A, dok je obezbeđenje opreme i mogućnost daljinskog isključenja omogućeno postavljanjem zaštitnog prekidača –QT<sub>1</sub>, pod oznakom 5 na slici 2.3. Izabran je kompaktni prekidač opsega podešavanja od 4 A do 6.3 A.

Usklađivanje nivoa napona generisanog pretvaračem prema mreži i mreže, ostvaruje se redno vezanom grupom od tri jednofazna autotransformatora –AT<sub>1</sub>, –AT<sub>2</sub> i –AT<sub>3</sub> i trofaznog energetskog transformatora –T<sub>1</sub>. Autotransformatori (proizvođača kompanije *Clairtronic*, tip 10535, nominalnih podataka: ulaz 240 V, izlaz 0 V do 240 ili 0 V do 270 V, 8 A) pod oznakom 10 na slici 2.1, spregnuti su u zvezdu i omogućavaju kontinualnu promenu prenosnog odnosa faznog napona u opsegu od 0 V do 270 V.

Energetski transformator, pod oznakom 9 na slici 2.2, nazivnih podataka Dy5, 3.15 kVA, 4.5 A, 50 Hz, ima mogućnost izbora prenosnog odnosa 400 V/ 400 – 350 – 300 – 250 V.

Postavljanje redno vezanih autotransformatora i energetskog transformatora daje mogućnost ispitivanja različitih tehnika upravljanja i kontrole pretvarača povezanog na mrežu, kao i ispitivanje tehnika upravljanja i kontrole pretvarača pri asimetričnim uslovima rada mreže.

Podešavanje željenog prenosnog odnosa grupe autotransformatori – energetski transformator, odnosno kontinualno praćenje podešene vrednosti napona na sekundaru energetskog transformatora, omogućeno je postavljanjem trofaznog mernog instrumenta, *SimeasP*, pod oznakom 4 na slici 2.3. Instrument je postavljen na vrata ormara =E01. Pošto instrument ima mogućnost merenja i izračunavanja i ostalih parametara električne energije, u instrument su dovedene redukovane vrednosti struje distribuirane iz pretvarača prema mreži.

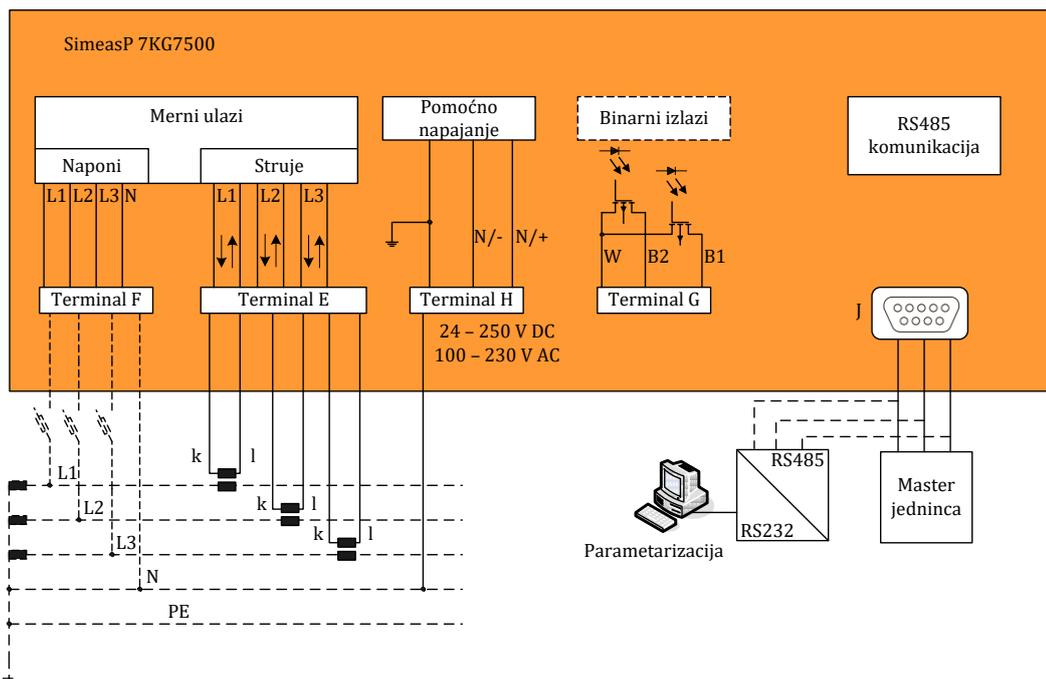


**Slika 2.3:** Spoljašnji i unutrašnji izgled ormara =E01: 1 – Optička signalizacija prisustva faznih napona, 2 – rastavna sklopka - mreža, 3 – rastavna sklopka – pretvarač, 4 – merni uređaj, 5 – zaštitni prekidač, 6 – induktivnosti, 7 – spojni kontaktor, 8 – brzi osigurači, 9 – strujni merni transformatori, 10 – naponske LEM sonde, 11 – naponska merna kartica, 12 – kartice napajanja, 13 – kartica daljinske kontrole i nadzora, 14 – odvojna kartica analognih signala.

Strujni reduktori, pod oznakom 9 na slici 2.3, prenosnog odnosa 25 A/5 A su na šemama u prilogu ovog rada označeni  $-CT_1$ ,  $-CT_2$  i  $-CT_3$ . Veličine koje *SimeasP* može da meri su: efektivne vrednosti napona (fazne i linijske) i struja, aktivna, reaktivna i prividna snaga, faktor snage, fazni stav, harmonici struje i napona, ukupno harmonijsko izobličenje po fazi, zajedno sa frekvencijom i faktorom simetrije. *SimeasP* opremljen je i sa dva binarna izlaza koja se mogu konfigurisati da prikazuju pulseve energije, prekoračenje limita ili signal o trenutnom statusu. Komunikacija sa uređajem moguća je upotrebom *PROFIBUS-DP* ili *MODEBUS RTU/ASCII* komunikacionih protokola. Podešavanje se vrši preko panela ili *RS485* portom. Prikaz merenih veličina moguć je na nekoliko različitih tipova ekrana:

- ekrani sa 2, 3, 4 ili 6 merenih veličina po ekranu,
- ekran sa listom minimalnih, srednjih i maksimalnih vrednosti,
- ekran sa osciloskopskom funkcijom (trenutne ili efektivne vrednosti),
- ekran sa prikazom fazora.

Maksimalno 20 tipova ekrana može biti isprogramirano, dok prelaz sa jednog ekrana na drugi može biti ručni ili automatski. Blok šema trofaznog mernog instrumenta – *SimeasP* prikazana je na slici 2.4.

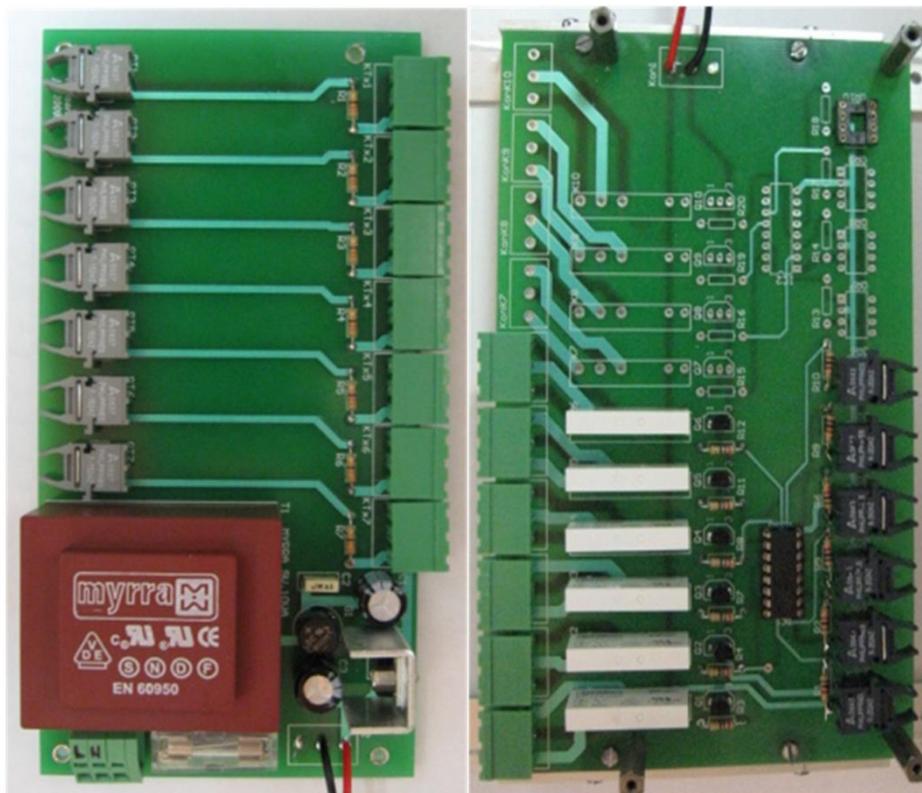


**Slika 2.4:** Blok šema trofaznog mernog instrumenta – *SimeasP*.

Povezivanje pretvarača na naizmeničnu mrežu tj. na sekundarnu stranu energetskog transformatora ostvaruje se spojnim kontaktorom –K1, pod oznakom 7 na slici 2.3. Kontaktor je trofazni. Upravljanje kontaktorom vrši se isključivo komandnim signalom iz dSPACE razvojnog sistema.

Daljinsko uključenje kontaktora –K1, kao i dojava stanja sklopne opreme ostvarena je upotrebom kartice daljinske kontrole i nadzora, pod oznakom 13 na slici 2.3. Prenos signala dSPACE sistem – razvodni ormar =E01 vrši se optički. Kartica daljinske kontrole i nadzora sastoji se od dve pločice. Na gornjoj pločici smešteni su optički predajnici i napajanje kartice. Svaki predajnik povezan je sa po jednim konektorom (KTx<sub>1</sub> do KT<sub>x7</sub>) na koji se dovodi signal sa nadzirane sklopne opreme. Na donjoj pločici postavljeni su optički prijemnici i relei. Na pločici je realizovano deset identičnih relejnih kanala. Obzirom na trenutne potrebne, iskorišćeno je šest kanala dok su ostali kanali ostavljeni kao rezerva. Izgled gornje i donje pločice kartica za daljinsku kontrolu i nadzor prikazan je na slici 2.5.

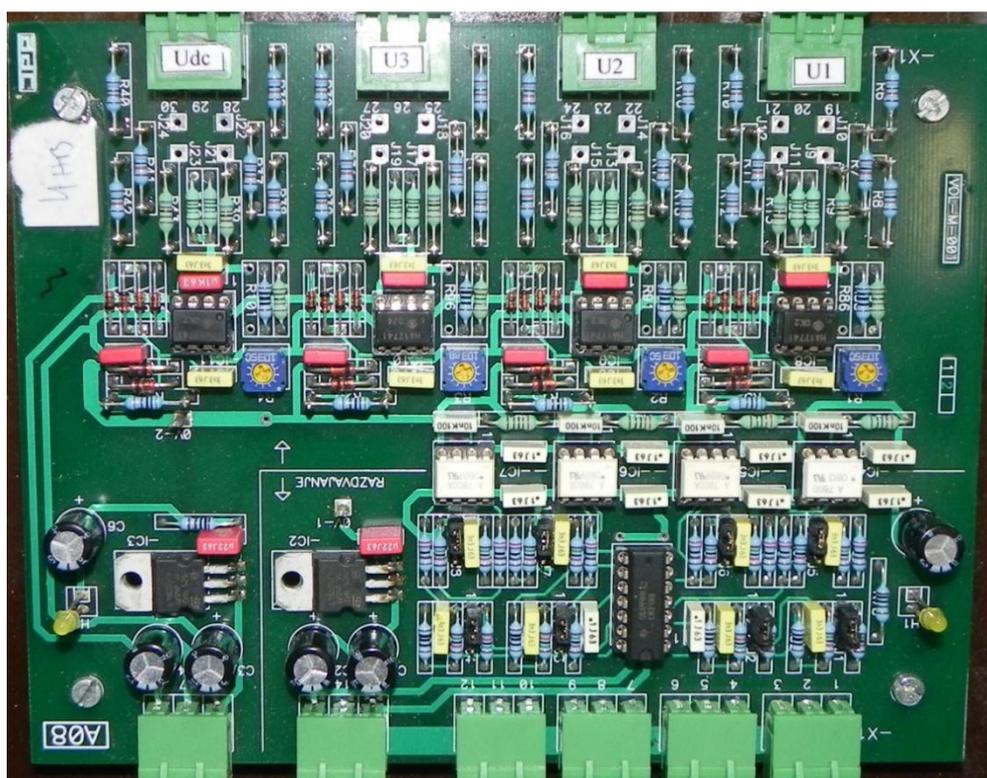
Provera usaglašenosti napona generisanog na izlazu pretvarača i napona distributivne mreže vrši se merenjem razlike ova dva napona. Merenje je obezbeđeno naponskom sondom LV – 100 proizvođača LEM, pod oznakom 10 na slici 2.3. LEMLV – 100 su naponske kartice u zatvorenoj petlji, koje rade na principu *Holovog* efekta.



**Slika 2.5:** Izgled kartice daljinske kontrole i nadzora - donje pločica (levo) i gornja pločica (desno).

Ove kartice imaju mogućnost merenja AC, DC, pulsirajućeg napona i sl. Primarno kolo ovih kartica galvaniski je odvojeno od sekundarnog kola. Naponski opseg primara merne kartice je od 100 do 2500 V. U cilju merenja napona, struja proporcionalna naponu, mora biti propuštena kroz spoljnu otpornost.

Merenje faznih napona mreže, neophodnih za rad PLL jedinice za sinhronizaciju sa mrežom, vrši se pomoću naponske merne kartice, pod oznakom 11 na slici 2.3. Istom karticom meri se i napon jednosmernog međukola dvostrukog pretvarača. Izgled kartice za merenje napona prikazan je na slici 2.6. Kartica sadrži četiri u potpunosti jednaka, galvaniski odvojena kanala za merenje napona, sa prenosnim odnosom 600V/10V, koji omogućavaju merenje faznih ili linijskih napona u standardnoj nisko naponskoj mreži nazivnog napona 3x230/400V. Četvrti kanal se koristi za merenje napona jednosmernog međukola dvostrukog pretvarača. Jedan kanal kartice za merenje napona sadrži dva diferencijalna pojačavača spregnuta međusobno preko izolacionog pojačavača tipa *HCPL-7800*. Ovaj tip izolacionog pojačavača prevashodno je predviđen za prenos strujnih signala, odnosno pretvaranje naponskog signala u opsegu od -200mV do +200mV u standardni naponski opseg od -10V do +10V. Funkcija galvaniskog razdvajanja izolacionog pojačavača izvršena je naponsko/frekventnim pretvaračem, optokoplerskim razdvajanjem, a rekonstrukcija frekventno/naponskim pretvaračem. Propusni opseg izolacionog pojačavača je 85kHz što u potpunosti zadovoljava zahteve ove primene.



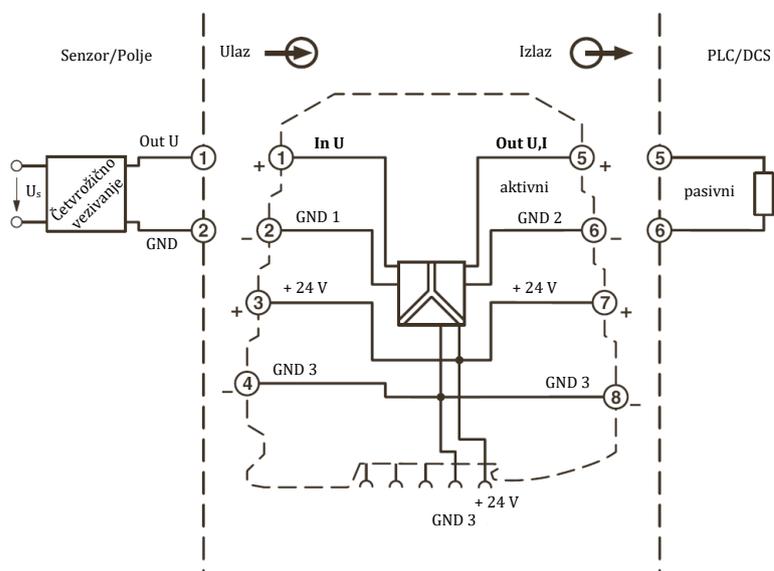
Slika 2.6: Izgled kartice za merenje napona.

Prvi diferencijalni pojačavač ima funkciju slabljenja ulaznog napona na vrednost koju prihvata izolacioni pojačavač, odnosno 200mV, a drugi pojačanje izlaznog napona izolacionog pojačavača na potreban naponski nivo, odnosno 10V. Pri ovome se diferencijalni pojačavači moraju napajati iz dva posebna, takođe galvanski razdvojena izvora napajanja. Grubo podešavanje prenosnog odnosa prvog diferencijalnog pretvarača sa 600V/10V na 60 V/10V izvodi se parom kratkospajanja kojima se smanjuje ulazna otpornost. Fino podešavanje prenosnog odnosa, odnosno kalibracija izvodi se potenciometrom. Dodatno, kratkospajanjem u povratnoj grani drugog diferencijalnog pojačavača može se njegovo pojačanje smanjiti dva puta, odnosno izlazni napon smanjiti sa 10V na 5V.

Obezbeđenje tranzistorskih grana pretvarača od tranzijentnih struja ostvareno je postavljanjem prigušnica  $-L_1$ ,  $-L_2$  i  $-L_3$ , pod oznakom 6 na slici 2.3, sa redno vezanim tropolnim osiguračem  $-F_1$ , pod oznakom 8 na slici 2.3, sa topljivim umetcima  $aR$  karakteristike. Tip osigurača izabran je u skladu sa preporukama proizvođača frekventnih pretvarača.

Tropolnom teretnom sklopkom  $-Q_2$ , pod oznakom 3 na slici 2.3, nazivne struje 25 A obezbeđeno je „odvajanje” ormara =E01 od pretvarača.

Galvanskog odvajanje komandnih signala (npr. referenca momenta konverzije pogonske mašina – emulator vetroturbine ili opteretna mašina) za standardni industrijski pretvarač *Danfoss FC302* izvršeno je odvojnomo karticom *MCR-SL-U-U /-SP* proizvođača *Phoenix Contacts*, pod oznakom 14 na slici 2.3. Blok šema odvojne kartice prikazana je na slici 2.7.

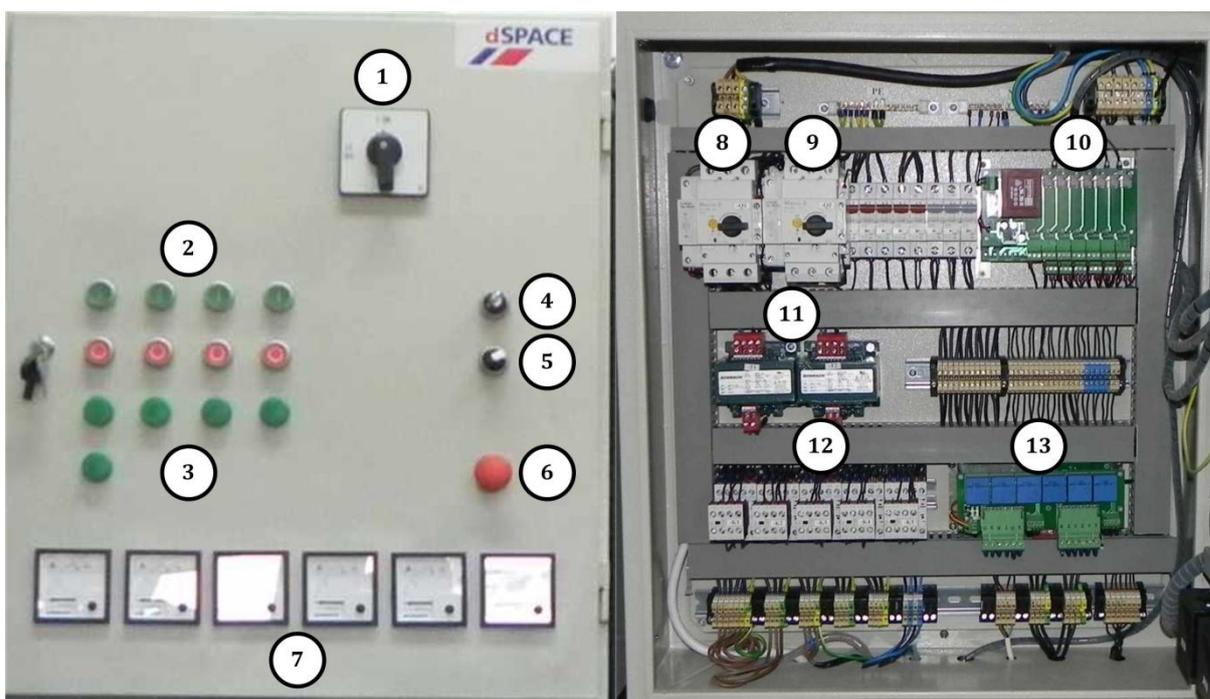


**Slika 2.7:** Blok šema odvojne kartice *Phoenix Contacts*.

*Phoenix* odvojna kartica je podesivi izolacioni pojačavač sa tri pristupa, koji se koristi da galvanski izoluje, prilagodi, pojača i filtrira standardne signale. Sa ulazne strane, signali od 0 – 24 V i od 0 – 30 V se mogu obrađivati. Galvanski izolovani signali 0 – 20 mA, 4 – 20 mA, 0 – 10 V, 2 – 10 V, 0 – 5 V i 1 – 5 V su mogući na izlazu iz kartice. Dvopoložajni linijski prekidači koriste se za podešavanje opsega ulaznih i izlaznih signala. Napajanje za karticu (19.2 – 30 V) dovedi se na terminale 3/4 ili 7/8.

## 2.2 RAZVODNI ORMAN =E02

Ormar =E02, pod oznakom 2 na slici 2.2, namenjen je za smeštaj sklopne, merne i zaštitne opreme neophodne za realizaciju eksperimenata vezanih za ispitivanje regulisanih i neregulisanih trofaznih i višefaznih (do 6 faza) elektromotornih pogona, kao i ispitivanja dvostrukog punoupravljivog pretvarača povezanog na distributivnu mrežu. Spoljašnji i unutrašnji izgled ormara =E02 sa naznačenim osnovnim elementima prikazan je na slici 2.8. Napajanje ormara =E02 obezbeđeno je sistemom ulaz – izlaz iz ormara =E01 napojnim vodom PP/F-Y 5x6mm<sup>2</sup>. Isključenje ormara =E02 sa mreže obezbeđeno je teretnom trolnom sklopkom –QG, pod oznakom 1 na slici 2.8, nazivne struje 25 A. Obezbeđenje opreme i mogućnost daljinskog isključenja ostvareno je postavljanjem zaštitnog prekidača –Q<sub>1</sub>, pod oznakom 8 na slici 2.8, opsega podešavanja struje 24 A do 32 A. U cilju daljeg proširenja funkcionalnosti ormara, u ormar je postavljen i rezervni prekidač –Q<sub>2</sub>, pod oznakom 9 na slici 2.8, koji je identičan prekidaču –Q<sub>1</sub>.



**Slika 2.8:** Spoljašnji i unutrašnji izgled ormara =E02: 1 – rastavna sklopka, 2 – tasteri za izbor ispitne postavke, 3 – signalizacija stanja ispitne postavke, 4 – preklopka uključivanja kontrolnog napona, 5 – selektor lokalno/daljinski, 6 – total stop, 7 – ampermetri, 8 – zaštitni prekidač, 9 – zaštitni prekidač – rezerva, 10 – kartica daljinske kontrole i nadzora, 11 – odvojni transformatori, 12 – kontaktori, 13 – strujna merna kartica.

Pošto je za realizaciju različitih eksperimenata neophodno merenje struja oba frekventna pretvarača, razvijena je šesto – kanalna strujna merna kartica, pod oznakom 13 na slici 2.8. Upotrebene su strujne merne sonde LA 25-NP proizvođača LEM. Sonde su povezane na način da se obezbedi prenosni odnos 5 A/ 25 mA. Izgled realizovane strujne merne kartice prikazan je na slici 2.9.



**Slika 2.9:** Izgled realizovane strujne merne kartice.

Izlaz oba pretvarača je preko strujne merne kartice vezan na ulazne stezaljke dva kontaktora i to pretvarač –FP<sub>1</sub> na ulaze kontaktora –K<sub>1</sub> i –K<sub>3</sub>, a pretvarač –FP<sub>2</sub> na ulaze

---

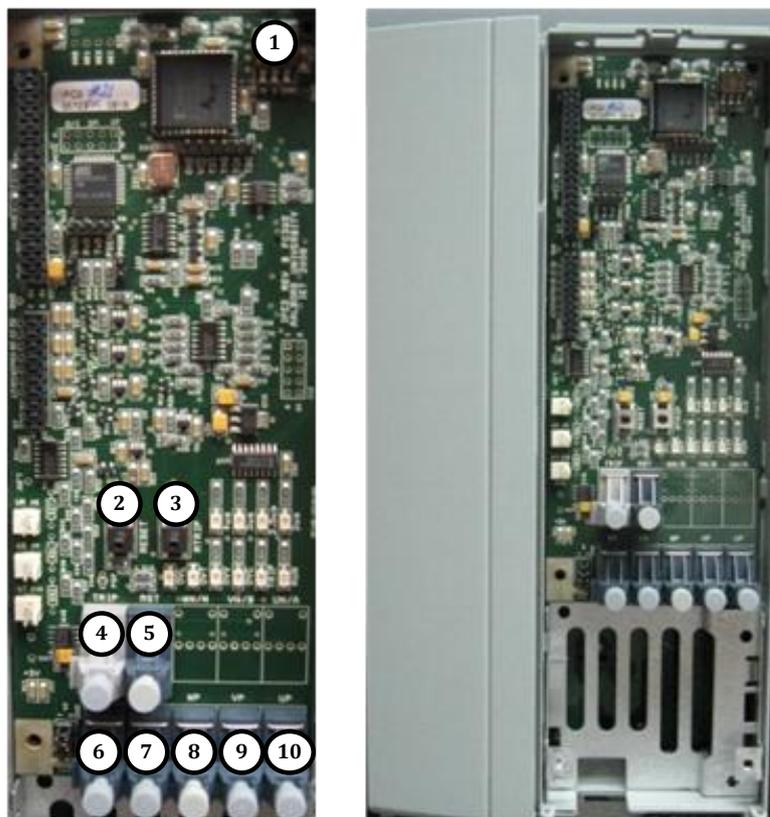
kontaktora  $-K_2$  i  $-K_4$ . U zavisnosti od vrste eksperimenta koji se izvodi na realizovanom tehničkom rešenju potrebno je aktivirati određeni kontaktor ili grupu kontaktora, pod oznakom 12 na slici 2.8. Pojedine kombinacije istovremenog uklopa kontaktora nisu dozvoljene. Istovremeno, uslovljavanje uklopa kontaktora vezano je i za stanje (isključen/uključen) zaštitnog prekidača  $-Q_1$ . Postavljanje kontaktora u odgovarajuće stanje omogućeno je u lokalnom i daljinskom režimu. Izbor režima ostvaruje se preklopnim tasterom koji je postavljen na vratima ormara  $=E02$ . U lokalnom režimu postavljanje kontaktora u ispitnu vezu se ostvaruje tasterima postavljenim na vrata ormara  $=E02$ , pod oznakom 2 na slici 2.8, dok se u daljinskom režimu kontrola uključivanja kontaktora sprovodi iz dSPACE razvojnog sistema preko kartice daljinske kontrole i nadzora, pod oznakom 10 na slici 2.8, koja je identična kartici upotrebljenoj u ormaru  $=E01$ .

## 2.4 FREKVENTNI PRETVARAČI

Preko zaštitnog prekidača  $-Q_1$  izvršeno je napajanje frekventnog pretvarača  $-FP_1$ , pod oznakom 7 na slici 2.2. Pretvarač  $-FP_2$ , pod oznakom 8 na slici 2.2, nije povezan na naizmeničnu mrežu nego se njegovo napajanje obezbeđuje preko jednosmernog međukola prvog pretvarača. Oba pretvarača su identična i reč je o industrijskim pretvaračima serije *FC300* renomiranog proizvođača *Danfoss*.

Kako bi se omogućio razvoj sopstvenih algoritama upravljanja pretvaračima, standardna kontrolna kartica ovih pretvarača zamenjena je kontrolnom karticom - *IPC2*. Zamenom standardne upravljačke kartice omogućen je pristup upravljačkim kolima IGBT tranzistora invertora, kao i upravljačkom kolu kočionog tranzistora. Ugradnjom *IPC2* kartice postojeća fabrička zaštita invertora je zadržana i po hijerarhijskoj strukturi je najvećeg prioriteta. To znači da eventualne greške u kontrolnom algoritmu neće prouzrokovati kvar pretvarača. Takođe, generisanje mrtvog vremena nije prepušteno upravljačkom algoritmu nego je i ono implementirano na kartici *IPC2*. Na ovaj način omogućena je bezbedna kontrola i upravljanje pretvaračem uz istovremeno zadržavanje robusnosti kakvu pružaju industrijski pretvarači. Izgled *IPC2* kartice i jednog pretvarača sa montiranom *IPC2* karticom prikazan je na slici 2.10.

Signali sa dSPACE razvojnog sistema na *IPC2* karticu dovode se optičkim kablovskim vezama. Na kartici *IPC2* postavljeno je šest optičkih prijemnika, pod oznakom 5 do 10 na slici 2.10, i jedan optički predajnik, pod oznakom 4 na slici 2.10. Na ulaze pod oznakom 8, 9, 10 na slici 2.10, dovode se PWM upravljački signali sa prilagodne kartice. Ovim signalima se vrši upravljanje gornjim prekidačkim elementima u granama invertorskog modula energetskog pretvarača *FC 300*. Signali za upravljanje donjim prekidačkim elementima se generišu na samoj kartici na osnovu dovedenih signala za gornje prekidače uz usvajanje podešenog mrtvog vremena. Iznos mrtvog vremena podešava se mikro prekidačima, pod oznakom 1 na slici 2.10, a bira se u skladu sa snagom energetskog pretvarača na koji je kartica postavljena. Potencijalne vrednosti mrtvog vremena su 2  $\mu$ s, 2,5  $\mu$ s, 3  $\mu$ s i 4  $\mu$ s. Na optički prijemnik pod oznakom 7 na slici 2.10, dovodi se signal dozvole rada pretvarača.



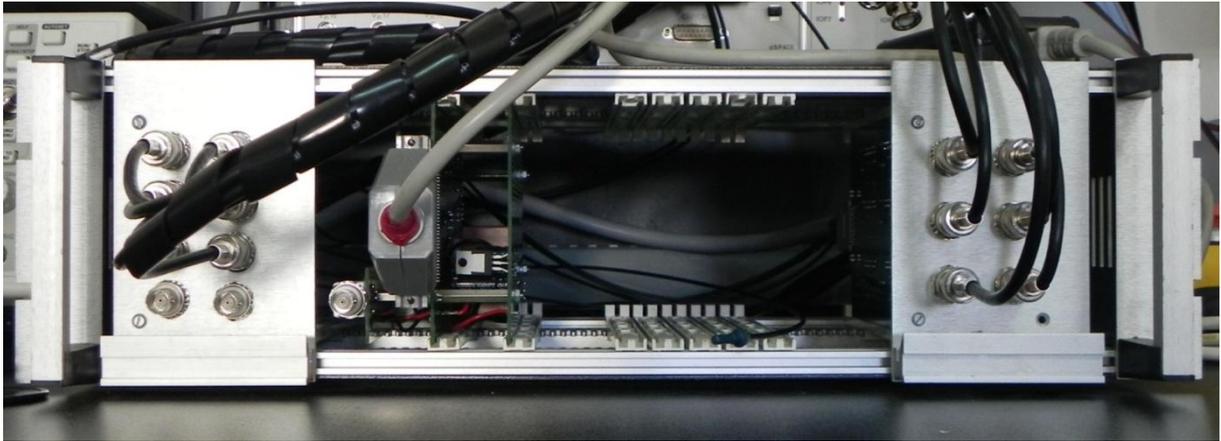
**Slika 2.10:** Izgled IPC2 kartice (levo) i pretvarača sa montiranom IPC2 karticom (desno):  
 1 – selektor mrtvog vremena, 2 – ručni reset taster, 3 – ručni trip taster, 4 – izlaz za dojavu stanja greške, 5 – reset ulaz, 6 – ulaz aktivacije kočionog tranzistora, 7 – ulaz dozvole rada, 8 – ulaz za kontrolu grane W, 9 – ulaz za kontrolu grane V, 10 – ulaz za kontrolu grane U.

Ovaj signal mora biti aktivan da bi pretvarač radio. U slučaju neaktivnog signala dozvole, i pored dovođenja upravljačkih PWM signala, pretvarač ostaje u blokiranom stanju. Na ulaz pod oznakom 6 na slici 2.10 dovodi se signal za uključenje otpornika za kočenje. U slučaju da dođe do nedozvoljenog stanja u radu pretvarača, pretvarača se zaustavlja, a na optičkom predajniku pod oznakom 4 na slici 2.10, pojavljuje se signal greške dostupan za daljinsku dijagnostiku. Optičkim prenosom je obezbeđena signalizacija ovog stanja na dSPACE razvojnom sistemu. Poništavanje ove greške takođe može biti ostvareno daljinski upotrebom ulaza pod oznakom 5 na slici 2.10. Mikro tasterima pod oznakom 2 i 3 na slici 2.10, pretvarač se može ručno uvesti u takozvano *TRIP* stanje i izvesti iz njega.

Na *IPC2* kartici su postavljene i signalne LED diode, koje služe za signalizaciju sledećih radnih stanja pretvarača: struje priključenog motora/struje prema mreži premašuju 250% nominalne vrednosti pretvarača (proveravaju se sve tri faze), napon jednosmernog među-kola premašuje 140% nominalne vrednosti, temperatura hladnjaka premašuje vrednost od 90 °C, vrednost napona napajanja kartice izlazi iz opsega 4.75 V – 5.25 V.

## 2.5 PRILAGODNI – REK ORMAR

Kako bi se mereni, upravljački i kontrolni signali iz dSPACE sistema prilagodili energetske uređajima i obrnuto, razvijene su odgovarajuće elektronske prilagodne kartice. Prilagodne kartice smeštene su u rek ormar, pod oznakom 4 na slici 2.2, čiji je uvećan izgled prikazan na slici 2.11.

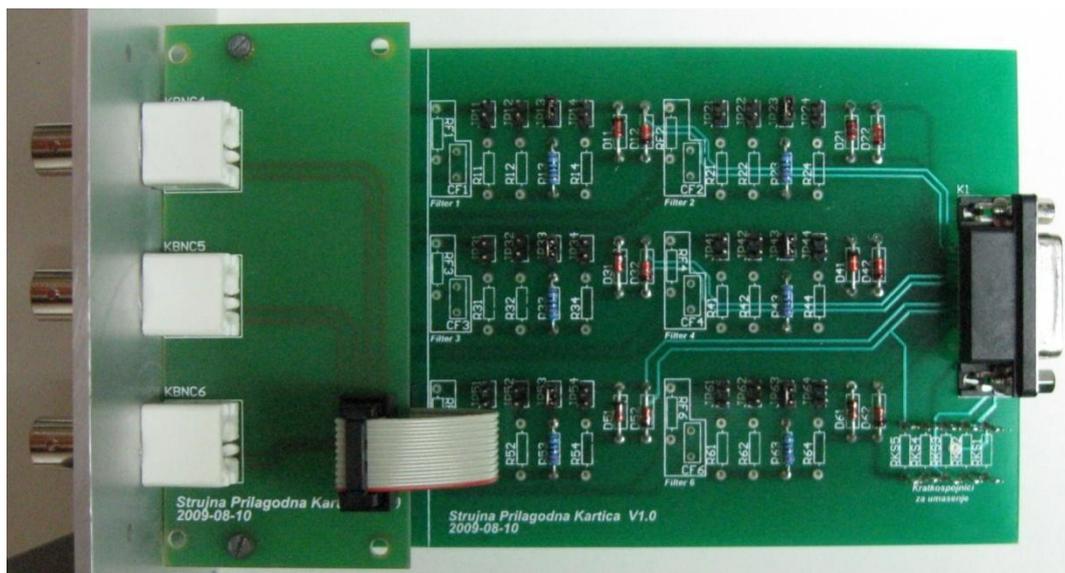


Slika 2.11: Izgled prilagodnog rek ormara.

## 2.6 PRILAGODNA STRUJNA MERNA KARTICA

Kao što je prethodno navedeno, za merenje struja pretvarača iskorišćene su strujne LEM sonde. Pošto dSPACE sistem prihvata isključivo naponske signale u opsegu  $\pm 10$  V, postavljanjem analogne prilagodne kartice obezbeđeno je pretvaranje strujnih signala na izlazu LEM sonde u naponske. Pretvaranje strujnog merenog signala u naponski signal ostvaruje se na otporniku stabilne otpornosti. Pad napona koji se dobija na ovom otporniku predstavlja ulazni naponski signal koji se pomoću BNC konektora vodi na konektor panel CP2004, koji predstavlja interfejs ka analognim ulazima kartice DS2004 koja će biti opisana u nastavku. Da bi se dobila stvarna vrednost merene struje u Simulink okruženju (koji predstavlja programsko okruženje pri radu sa dSPACE sistemima), izlaz iz bloka koji predstavlja A/D konvertor se mora korigovati prenosnim odnosom LEM sonde ( $5 \text{ A}/25 \text{ mA}$ ) i prenosnim odnosom A/D konvertora (opseg ulaznih napona A/D konvertora koji iznosi  $\pm 10$  V se automatski skalira na opseg  $\pm 1$  na izlazu iz Simulink bloka), te podeliti sa vrednošću otpornosti korišćenog otpornika.

Prilagodna kartica strujnih signala, čije izgled je prikazan na slici 2.12 realizovana je na dve pločice. Na donjoj pločici se nalaze pojedinačna prilagodna kola za izlaze svih šest LEM sonde, kao i tri BNC konektora za povezivanje sa konektor panelom CP2004. Na gornjoj se nalaze preostala tri BNC konektora.

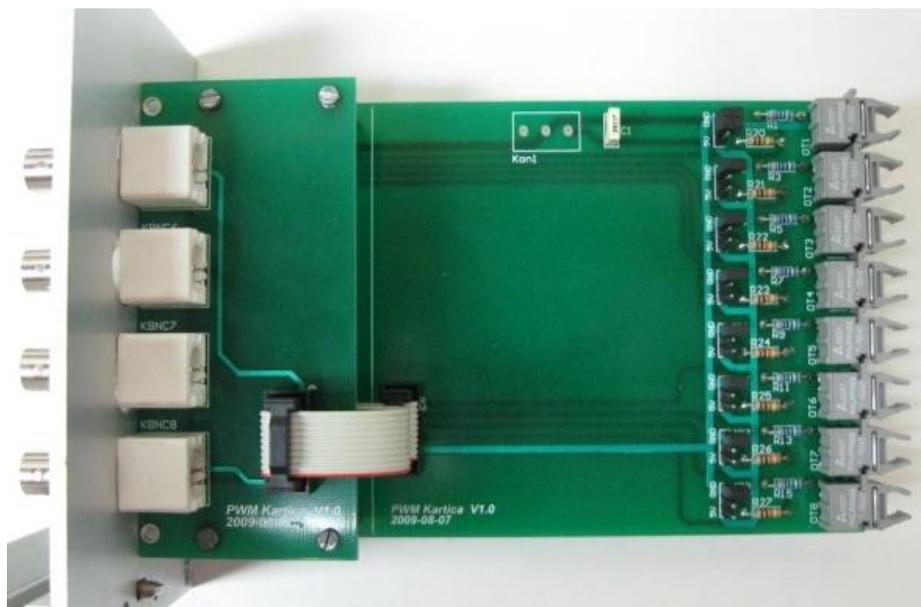


**Slika 2.12:** Izgled prilagodne strujne merne kartice.

## 2.7 PRILAGODNA PWM KARTICA

Kao i prilagodna kartica strujnih signala, i prilagodna kartica PWM signala realizovana je na dve pločice. Na donjoj pločici se nalazi osam pojedinačnih prilagodnih kanala, kao i četiri BNC konektora za povezivanje sa konektor panelom CP5101. Preostala četiri BNC konektora se nalaze na gornjoj pločici.

PWM signali se generišu putem dSPACE kartice DS5101, koja će detaljno biti opisana u nastavku, a dostupni su na BNC konektor panelu CP5101. Kako bi se obezbedila zaštita od pojave šuma, PWM signali se do frekventnih pretvarača prenose optičkim putem. Na prilagodnim kolima ostavljena je mogućnost povezivanja *pull-up* i *pull-down* otpornika. Potreba za izborom logike povezivanja otpornika objašnjava se potrebom za usklađivanje logike IPC2 kartice i rada PWM kartice DS5101 odnosno njene inicijalizacije po uključanju. Naime, po uključanju dSPACE sistema, kartica DS5101 signale na svim svojim digitalnim izlazima postavi na visok logički nivo. Ovo bi značilo da se sva tri gornja prekidača u granama invertorskog modula energetskog pretvarača nalaze u uključenom stanju. Ovakvo stanje prekidačkih elemenata bi dovelo do postavljanja sva tri namotaja priključene mašine na pozitivan potencijal jednosmernog među-kola. Situacija je alarmantnija po pitanju aktivacije kočionog tranzistora jer bi inicijalno visok signal na izlazu PWM kanala dSPACE-a značio njegovo aktiviranje pri svakom uključanju dSPACE sistema, što nije poželjno. Povezivanjem *pull-down* otpornika, uključuju se donji tranzistori u invertorskim granama, čime se sprečava da namotaji mašine budu spojeni na pozitivan kraj jednosmernog među-kola, a takođe izbegava se aktiviranje kočionog tranzistora. Izgled prilagodne PWM kartice je prikazan na slici 2.13.

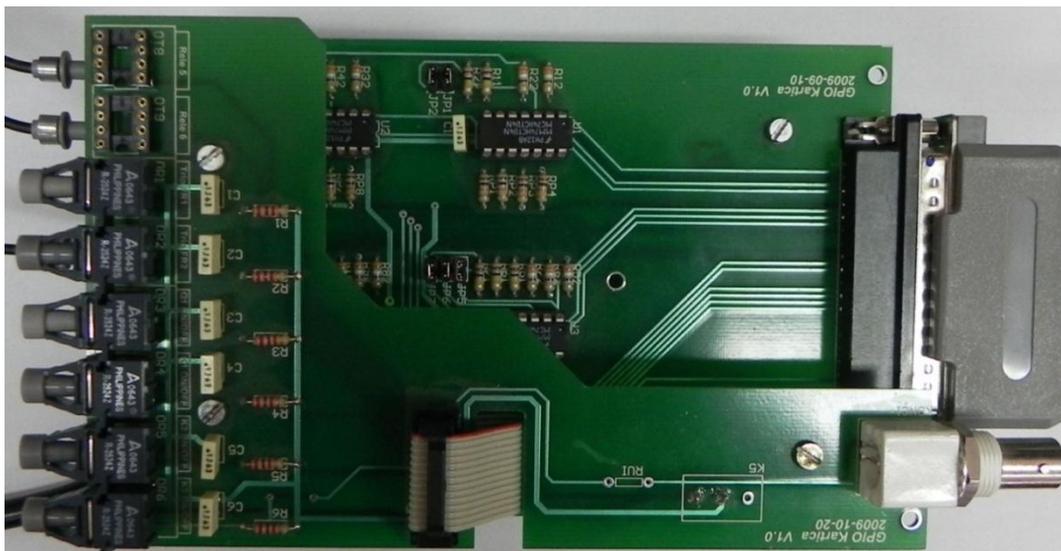


Slika 2.13: Izgled prilagodne PWM kartice.

## 2.8 PRILAGODNA KARTICA DIGITALNIH SIGNALA

Upravljanje i nadzor pretvarača i sklopne opreme postavljene u ormarima =E01 i =E02 obezbeđeno je preko prilagodne kartice digitalnih signala. Kartica je preko konektor panela CP2201 povezana na karticu DS2201 dSPACE razvojnog sistema.

Prilagodna kartica digitalnih signala sastoji se od dve elektronske pločice. Donja pločica je namenjena za upravljanje pretvaračima (*ENABLE* i *RESET* signali) i sklopnom opremom u ormarima =E01 i =E02. Slanje kontrolnih signala ka upravljanim uređajima ostvaruje se optičkom vezom. Gornja kartica pored dva optička kanala za upravljanje sklopnom opremom u ormarima, poseduje dva prijemna kanala za nadzor stanja pretvarača (*TRIP* signali) i četiri prijemna kanala za nadzor stanja sklopne opreme (prekidača i kontaktora). Takođe, na kartici je ostavljen BNC konektor za sinhronizaciju analognih kanala (sinhronizovan početak A/D konverzije) sa ostatkom dSPACE sistema. Izgled prilagodne kartice digitalnih signala prikazan je na slici 2.14.



**Slika 2.14:** Izgled prilagodne kartice digitalnih signala.

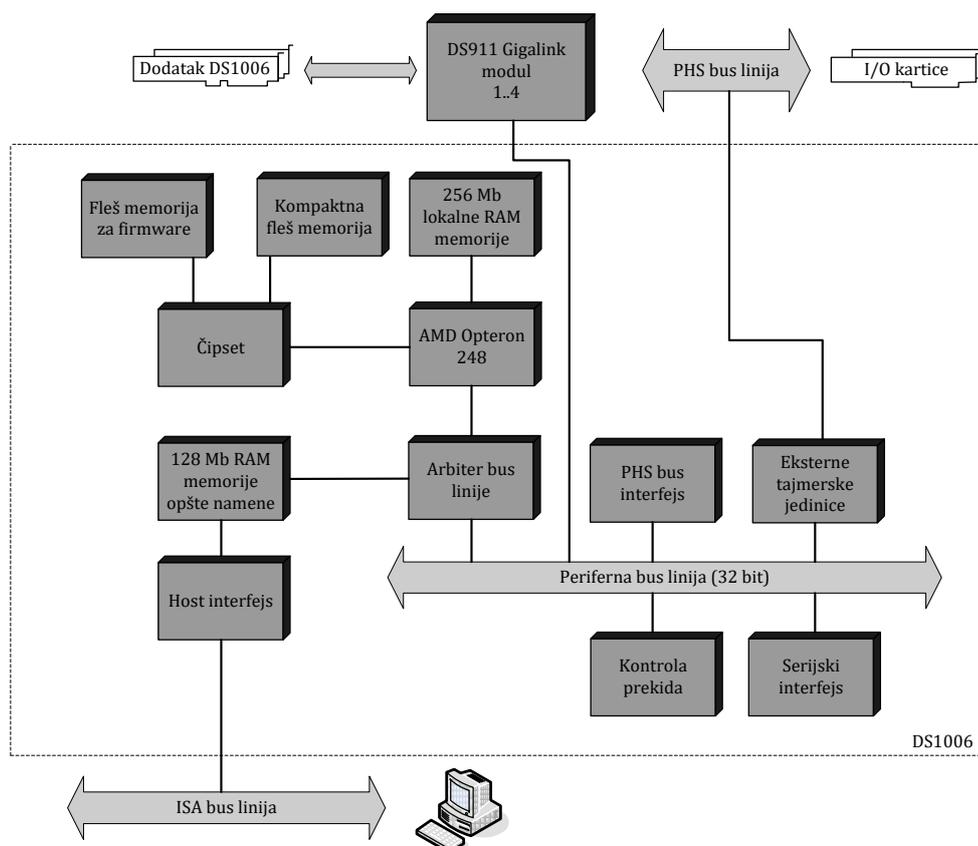
## **2.9 DSPACE MODULARNI SISTEM ZA RAZVOJ I TESTIRANJE APLIKACIJA U REALNOM VREMENU**

Kao što je prethodno izneto, realizovano tehničko rešenje opremljeno je naprednim dSPACE modularnim sistemom namenjenim za razvoj i testiranje aplikacija u realnom vremenu. Osnovna prednost ovog sistema u odnosu na druga rešenja za razvoj aplikacija u realnom vremenu, jeste njegova značajno veća efikasnost. Ova konstatacija zasniva se na činjenici da je sam sistem modularan, ali i da se zasniva na grafičkom modelovanju sistema upravljanja uz upotrebu MATLAB/Simulink softverskog okruženja. Na ovaj način sistem upravljanja moguće je razvijati u nekoliko nezavisnih etapa, a svaku od njih proveriti i simulacijom, pre prelaska na objekat upravljanja. Druga prednost ovakvog sistema, jeste da se C kod potreban za kontrolu, automatski generiše iz grafičkog modela. Sam sistem, u zavisnosti od objekta upravljanja, se sastoji od niza dSPACE kartica, od kojih svaka ima svoju ulogu u upravljačkom nizu.

### **dSPACE procesorska kartica – DS1006**

DS1006 procesorska kartica zasnovana je na AMD procesoru, i poseduje pristup modularnim ulazno/izlaznim (I/O) karticama preko sopstvene periferne linije za prenos podataka velikom brzinom (PHS bus linija). Procesorska kartica koristi AMD Opteron™ kao procesor u realnom vremenu (RTP). Ovaj procesor poseduje sledeće karakteristike: memorija za podatke: 64 KB, memorije za instrukcije: 64 KB, 1024 KB interne memorije, HyperTransport™ tehnologija povezivanja za visokopropusan pristup I/O uređajima sa malim kašnjenjem, ugrađen memorijski kontroler za brzi pristup memoriji. Kartica poseduje tajmere pod oznakom A i D za periodične događaje kao i tajmer B za periodične ili asinhronne događaje. Tajmeri A i D su 32-bitni brojači naniže, koji generišu prekid svaki put kada

dostignu nulu, a zatim se automatski ponovo napune. Tajmer B je 32-bitni brojač naviše, sa pre-skaliranjem i programabilnom uporednom jedinicom. Ovaj tajmer generiše prekid kada dostigne uporednu jedinicu, a zatim nastavlja da broji. Da bi se generisao sledeći prekid uporedna jedinica mora da se postavi na sledeću vrednost. Prekidi generisani od strane A i B tajmera u višeprocorskim sistemima mogu biti prosleđeni na druge DS1006 kartice koristeći *Gigalink* vezu. Ovo nije slučaj za D tajmer. Kao odrednica apsolutnih vremenskih intervala koristi se *Time-Stamp* jedinica. To je zapravo 64-bitni brojač naviše sa brzim pristupom, koji radi na procesorskom *clock-u* (CPUCLK=2.2, 2.6 ili 3.0 GHz). Ova jedinica se koristi za merenje vremenskih intervala i kao vremenski pečat. Teorijska, hardverska rezolucija za CPUCLK=2.2 GHz je oko 0.5 ns, međutim, zbog softverskih ograničenja, efektivna rezolucija koja se postiže iznosi 20 ns. Kod višeprocorskih sistema ovaj brojač nije pogodan za korišćenje, te je iz tog razloga DS1006 kartica opremljena jedinicom za sinhronizovanje vremenskih baza. DS1006 poseduje 1 GB lokalne memorije za izvršavanje modela u realnom vremenu, 128 MB globalne memorije za razmenu podataka sa računarom na koji je povezana (eng. *host PC*) kao i 2 MB memorije za automatsko pokretanje aplikacija u realnom vremenu nezavisno od računara na koji je kartica povezana. Na slici 2.15 može se videti pregled funkcionalnih jedinica kartice DS1006.



**Slika 2.15:** Pregled funkcionalnih jedinica procesorske kartice DS1006.

---

DS1006 poseduje kontrolu prekida kojom se upravlja različitim prekidima koji se mogu javiti. Prekidi imaju svoje prioritete, a takođe mogu biti i maskirani. Upravljanje prekidima i operacijama koje se izvršavaju kao posledica istih lako se implementira upotrebom blokova iz biblioteke za povezivanje sa aplikacijama u realnom vremenu (RTI biblioteka).

Kontrola modularnih I/O kartica izvedena je sa PHS bus linijom, koja je 32-bitna I/O bus linija. PHS bus linija potpuno podržava sve kartice koje se rade na PHS-bus linijama, uključujući i one koje podržavaju unapređeni PHS++ standard. Interfejs PHS bus linija pruža sledeće:

- maksimalna brzina prenosa podataka od 20 MB/s (za PHS++ i više),
- 8 linija za prekide od strane I/O kartica,
- do 8 hardverskih prekida od strane I/O kartica po jednoj liniji za prekid.

DS1006 kartica opremljena je sa serijskim interfejsom za komunikaciju sa standardnim RS232 uređajima. Interfejs servis DS1006 kartice se sastoji od osam 16-bitnih I/O portova. On opslužuje podešavanje DS1006, učitava programa na karticu i prenosi podatke u toku rada.

#### **dSPACE kartica za A/D konverziju – DS2004**

DS2004 je kartica velike brzine za analogno/digitalnu (A/D) konverziju koja se koristi u modularnom dSPACE sistemu baziranom na procesorskoj kartici DS1006. Kartica DS2004 ima mogućnost diferencijalnog prenosa tako da je moguće pretvaranje analognog u digitalni signal sa visokom periodom odabiranja. Na slici 2.16 može se videti pregled funkcionalnih jedinica kartice DS2004.

Osnovne komponente DS2004 A/D kanala za konverziju su:

- jedinica za prilagođenje signala koja vrši prilagođenje analognog ulaznog signala prema zahtevima jedinice za konverziju,
- jedinica za A/D konverziju koja se sastoji iz kola za odabiranje (eng. *sample and hold*) i konvertera za digitalizaciju signala,
- trigger jedinica koja vrši procenu podešenog moda za trigerovanje, reaguje na trigger za sukcesivnu konverziju, te na trigger za A/D konverziju signala,
- registar sa višestrukom memorijom (eng. *swinging buffer*) koji se sastoji od registra za upis, čitanje i slobodnog registra. Upis i čitanje se vrši nezavisno i može biti simultano, dok slobodni registar služi kao intermediarni registar,
- jedinica za kontrolu registara koja kontroliše registar sa višestrukom memorijom, zamenjuje slobodni sa registrom za upis te postavlja odgovarajući bit (eng. *flag bit*) da ukaže da postoje novi rezultati konverzije,
- ADC jedinica koja poseduje tajmer visoke rezolucije, koji se može koristiti kao izvor trigeru za A/D konverziju.

Kartica sadrži 16 A/D kanala sa mogućnošću diferencijalnog prenosa. Svaki kanal sadrži kolo za odabiranje i sopstevni A/D konverter. Rezolucija je 16-bitna, a maksimalno trajanje

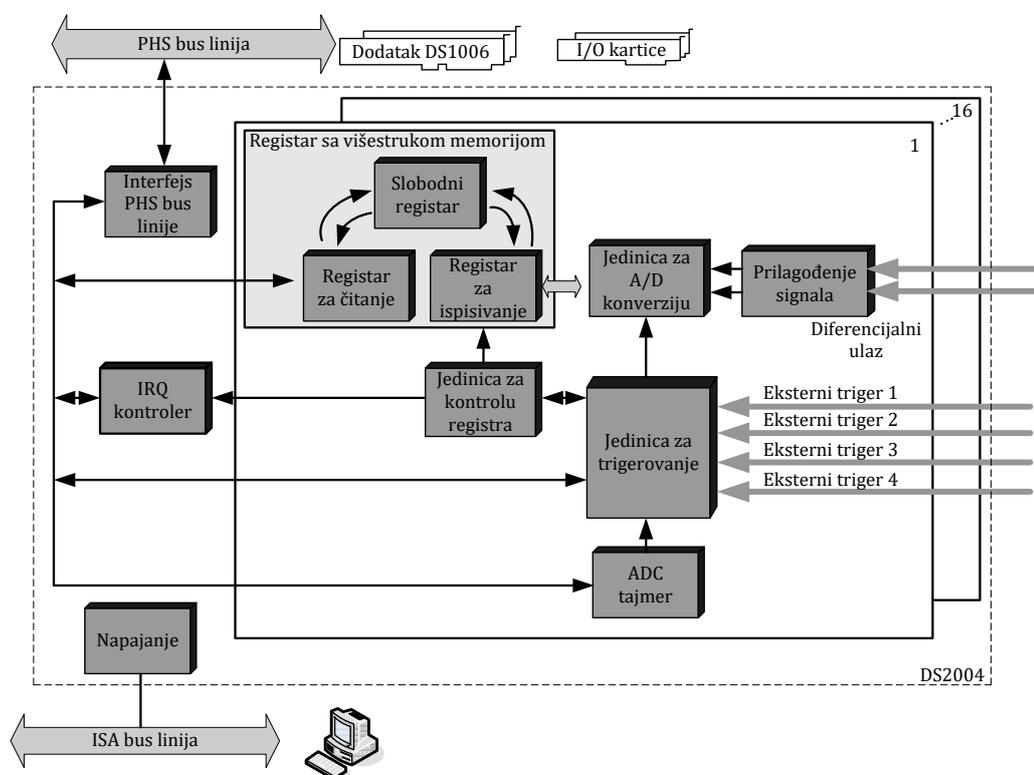
konverzije je 800 ns. Moguće vrednosti ulaznih napona su +5 V i +10 V. Moguće je generisati četiri nezavisna hardverska prekida a takođe moguće je raditi pojedinačnu konverziju kao i sukcesivnu konverziju. Sukcesivna konverzija može biti trigerovana i kontinualna, sa maksimalno 16384 analognih vrednosti po jednoj konverziji. Kao triger se može koristiti eksterni signal, tajmer kanala konverzije i softverski triger. Eksterni triger ulazi mogu imati maksimalnu frekvenciju od 1.25 MHz zbog toga što vreme konverzije traje 800 ns.

Povezivanje DS2004 kartice sa izvorom analognog signala vrši se preko konektor ploče CP2004, koja omogućava uspostavljanje veze upotrebom BNC konektora. Svaki ADC kanal poseduje registar sa višestrukom memorijom za odvajanje registra za čitanje i registra za upis.

Podešavanje trigerovanja A/D konverzije zahteva podešavanje dva tipa trigera :

- triger za sukcesivnu konverziju (eng. *burst trigger*) – označava početak sekvence A/D sukcesivnih konverzija. Izbor ovog trigera se vrši povezivanjem izvora trigera na kanal za konverziju.
- triger za konverziju – započinje svaku pojedinačnu konverziju, sa jednim rezultatom za jedan triger. Izbor ovog trigera vrši se povezivanjem izvora trigera na kanal za konverziju.

Prekidi koje generiše DS2004 koriste se za upravljanje zadacima koji se izvršavaju na procesorskoj kartici. Prekidi se prosleđuju putem PHS bus linija za prekide.



Slika 2.16: Pregled funkcionalnih jedinica A/D kartice DS2004.

---

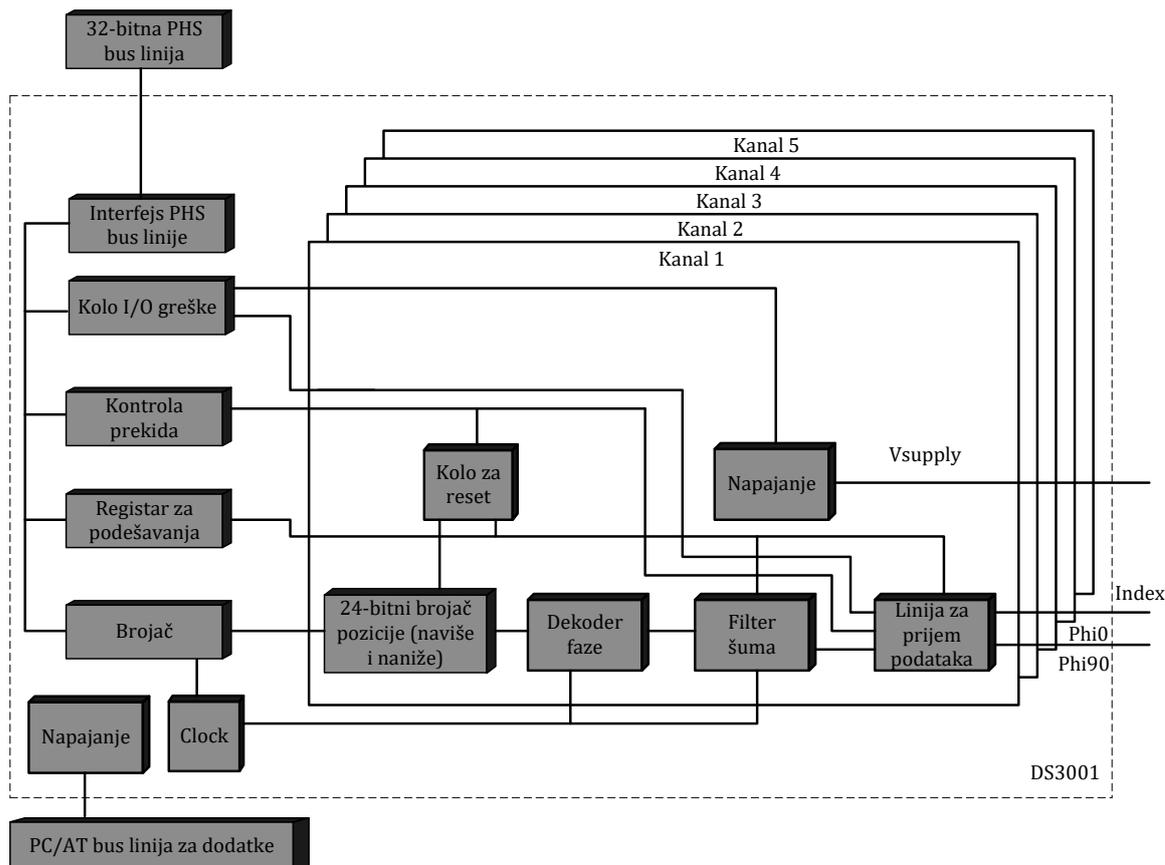
Da bi prekid bio korišten prethodno mora biti i odobren (eng. *interrupt enable*). Prekidi koji DS2004 može generisati su:

- prekid prilikom početka sukcesivne konverzije koji pokazuje da je započela sukcesivna konverzija. Ovaj prekid generiše jedinica za A/D konverziju pa postoji jedan za svaki kanal A/D konverzije.
- prekid koji pokazuje da su rezultati konverzije spremni za čitanje a koji generiše jedinica za A/D konverziju, pa postoji jedan za svaki kanal. Kod pojedinačne konverzije ovaj prekid ukazuje da je konverzija završena i da su podaci spremni za čitanje, dok kod sukcesivne konverzije ukazuje da je sukcesija završena i da su svi rezultati spremni za preuzimanje. Ukoliko se sukcesivna konverzija završi pre nego što dostigne naznačeni broj konverzija, prekid će biti generisan sa nepotpunim rezultatima.
- prekid koji pokazuje da su neki podaci izgubljeni koji takođe generiše jedinica za A/D konverziju pa postoji jedan za svaki kanal A/D konverzije. Ovaj prekid se može javiti kada se slobodni registar kod registra sa višestrukom memorijom ne isčita pre nego što se u njega upišu novi rezultati konverzije. Ovo se može desiti ukoliko se sukcesivna konverzija startuje brže nego što se vrši čitanje rezultata.
- Prekid koji pokazuje da je došlo do preklapanja dve konverzije koji generiše jedinica za A/D konverziju, pa postoji jedan po kanalu. Ovaj prekid se javlja ukoliko se trigger za konverziju javi pre nego što se završila prethodna konverzija. U ovom slučaju se generiše prekid, a novi trigger za konverziju se ignoriše. Prekid se dešava ukoliko je period između dva trigera manji od trajanja konverzije, ili ukoliko imamo signal koji zahteva više vremena za konverziju (npr. signal sa dosta šuma).

### **dSPACE enkoderska kartica – DS3001**

DS3001 je kartica modularnog sistema namenjena za interakciju sa inkrementalnim enkoderom. Ona poseduje pet paralelnih 24-bitnih enkoderskih ulaznih kanala. Takođe poseduje i mogućnost učetrovostručavanja signala. Način prenosa signala može biti diferencijalni ili sa jednim krajem. Linije poseduju filtre za digitalne šumove. Kartica može da napaja enkoder sa regulisanih 5V, a takođe poseduje i liniju koja registruje prisustvo zasebnog izvora napajanja. Maksimalna frekvencija pri kojoj kartica može da registruje pristigle signale je 5 MHz. Veza kartice DS3001 sa PHS bus linijom ostvaruje se upotrebom seta 32-bitnih registara sa nasumičnim pristupom.

Svaki kanal za povezivanje inkrementalnog enkodera poseduje 24-bitni registar brojača pozicije (eng. *PCR - Position Counter Register*) koji pretvara pulseve naviše i naniže brojača kvadrarnog dekodera u 24-bitnu paralelnu informaciju o poziciji. Njima se pristupa pomoću *bus linije* sa zadržkom, koja preuzima stvarnu vrednost brojača na početku operacije čitanja i zadržava je tokom čitave operacije. Omogućeno je nasumično čitanje pozicije čitača, bez obzira na to da li je brojač aktivan, i pri tome nema čitanja tranzijentih podataka i nema gubitka podataka. Na slici 2.17 može se videti pregled funkcionalnih jedinica kartice DS3001.



**Slika 2.17:** Pregled funkcionalnih jedinica enkoderske kartice DS3001.

### dSPACE DWO (PWM) kartica – DS5101

Kartica digitalnih izlaza talasnog oblika (DWO kartica) je dizajnirana tako da generiše brze kompleksne signale visoke rezolucije. Kartica može generisati veliki broj signala na različitim frekvencijama uključujući signale inkrementalnog enkodera kao i talasne oblike impulsno širinske modulacije (PWM). Moguće je menjati širine signala u toku rada a upotrebom različitih mehanizama okidanja i prekida ostvariti visok nivo fleksibilnosti.

Kartica DS5101 ima okruženja za povezivanje na modularne sisteme i eksterne jedinice. Komunikacija između procesorske kartice i I/O modula odvija se preko *bus linije* sa velikom brzinom prenosa (PHS bus linija). Postoje dva načina povezivanja spoljnih uređaja na DS5101. Da bi se pristupilo I/O jedinicama DS5101 kartice potrebno je povezati spoljašnji uređaj preko BNC konektora na ploči za povezivanje. Kartica DS5101 se sastoji iz 8 modula, gde svaki modul poseduje dva kanala za generisanje signala.

Kartica može da generiše standardne DWO signale, za koje postoje unapred pripremljene DWO aplikacije, ali i sopstvene DWO signale koje je moguće isprogramirati. DS5101 omogućava različite izvore trigera:

- softverski triger na jednom ili više izlaznih kanala,
- svaki kanal može biti podešen kao ulazni za signale trigera, koje se kasnije softverski prosleđuju na ostale izlazne kanale.

---

Postoji niz standardnih DWO aplikacija koji se mogu koristiti:

- jednofazni PWM signal (PWM1) kojim se generiše jednofazni PWM na najviše 16 kanala. Kanali nisu sinhronizovani. Moguće je podesiti PWM period u opsegu od 500 ns do 26 s, individualno za svaki PWM kanal, a faktor ispunje može uzeti vrednosti od 0 do 100 %.
- trofazni PWM signali (PWM3) kojim se generiše trofazni PWM i to najviše četiri nezavisna signala istovremeno. Da bi se izlazni signali sinhronizovali potrebno je da se generiše *master clock* signal na dodatnom kanalu. Ova aplikacija ukupno zahteva 4 kanala. Polaritet PWM kanala je takav da je kod njih jedinica aktivna (eng. *active high polarity*). Moguće je podesiti PWM period u opsegu od 500 ns do 26 s, individualno za svaki PWM kanal. Faktor ispunje može uzeti vrednosti od 0 do 100 %.
- trofazni PWM signali sa invertovanim i neinvertovanim izlazima (PWM6) koji generiše trofazni šestokanalni PWM signal sa tri invertovana i tri neinvertovana izlaza. Da bi se izlazni signali sinhronizovali potrebno je da se generiše *master clock* na dodatnom kanalu (ukupno zahteva 7 kanala), tako da je moguće generisati najviše 2 trofazna šestokanalna PWM signala istovremeno. Vreme kašnjenja uključivanja invertovanih izlaza je moguće podesiti. Moguće je podesiti PWM period u opsegu od 500 ns do 26 s, individualno za svaki (invertovani i neinvertovani) PWM kanal, a faktor ispunje se može definisati kao  $0 < d < 1$  za neinvertovane signale. Invertovani i neinvertovani kanali su simetrični prema sredini PWM perioda.
- simulacija inkrementalnog enkodera koji simulira signale PHI0 i PHI90 inkrementalnog enkodera koji imaju međusobni fazni pomeraj od  $-90^\circ$  i  $+90^\circ$ . Brzina može da se menja u toku rada. Simulacija inkrementalnog enkodera zahteva 2 kanala (PHI0 i PHI90). Kartica može simulirati do 7 enkodera istovremeno. Pri ovom radu kanali 15 i 16 se ne koriste.

DS5101 omogućava i pisanje sopstvenog DWO koda. Napisani DWO kod se kompajlira putem DWO kompajler. Ovaj kompajler generiše izvorni C fajl. Generisani C kod uključuje kod aplikacije i upućva za učitavanje fajla na karticu. Može uključivati i gotove funkcije za ažuriranje vrednosti kašnjenja. Napisani C fajl treba dodati u sopstveni model da bi bio pokrenut sa procesorske kartice. Vrednosti kašnjenja mogu biti ažurirane i tokom rada aplikacije (eng. *running mode*). Ukoliko se DWO aplikacija nalazi u simulink modelu, funkcija za ažuriranje mora biti data u formi S funkcije.

DS5101 kartica pruža mogućnost generisanja različitih hardverskih prekida koji potiču od uređaja koji se nalaze na DS5101. Postoje dva tipa prekida i to su :

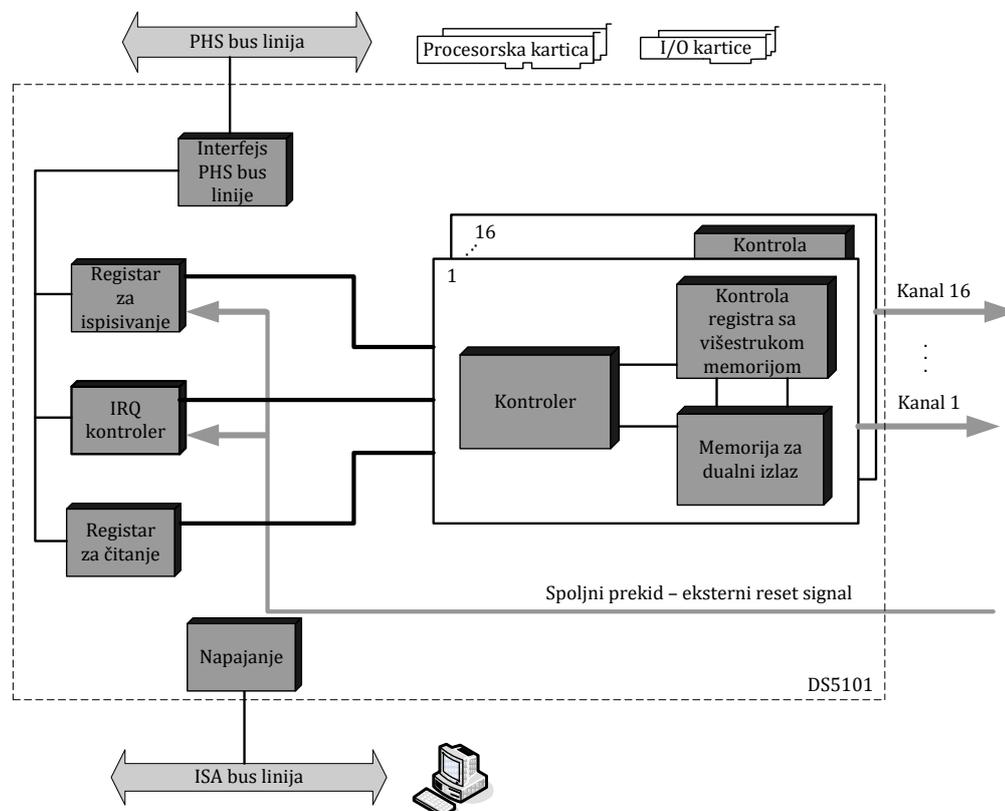
- prekid prilikom generisanja signala koji je specifičan prema nameni:
  - PWM3 i PWM6 za koje *clock* generiše prekid u  $0.5 \cdot t_p - T_{intshift}$  gde pomeraj trenutka generisanja prekida zavisi od PWM signala i podešavanja,
  - monoflop za koji se prekid generiše na padajućoj ivici signala aktivnog u jedinici (eng. *high active*),

- monoflop sa kašnjenjem za koji se prekid generiše na rastućoj ne invertovanoj ivici i rastućoj ivici invertovanog signala,
  - sopstveni DWO signali za koje je moguće generisati prekid na svakom od 16 DWO kanala. Da bi ovo bilo ispunjeno potrebno je uključiti direktive prekida u sopstvenu DWO aplikaciju.
- spoljašnji reset koji je u stvari prekid od eksternog uređaja. Može se koristiti kao triger u aplikacijama u realnom vremenu. Eksterni reset signal mora biti povezan na DS5101 I/O konektor.

Na slici 2.18 moguće je videti pregled funkcionalnih jedinica kartice DS5101.

Postoji niz hardverskih i softverskih ograničenja kartice DS5101. Neki od najbitnijih su:

- minimalna dužina pulsa je 250 ns,
- nije moguće generisati signale koji su konstantno nula ili jedan. Uvek postoji preostali puls minimalne dužine. Ovo se dešava iz razloga što je jednoj naredbi potrebno 250 ns da se izvrši.
- generisanje signala je jedino ostvarivo unutar limita od 25 ns vremenske baze vremenskog I/O modula, koji dovodi do efekta kvantizacije. Ovo znači da je moguće generisati signale na frekvencijama koje su na celobrojnim umnošcima od 25 ns.
- svaki od 16 kanala može biti korišten isključivo za generisanje jednog tipa signala. Nemoguće je u isto vreme na istom kanalu generisati dve različite DWO aplikacije.



**Slika 2.18:** Pregled funkcionalnih jedinica DWO kartice DS5101.

---

## dSPACE kartica sa više I/O kanala – DS2201

Kartica DS2201 pruža mogućnost korištenja mnogih tipova I/O portova. Kartica ima 20 kanala za A/D konverziju, 8 paralelnih kanala za D/A konverziju i 16 paralelnih linija za digitalne ulaze i izlaze. Takođe pruža mogućnost merenja na maksimalno 4 kanala, a generisanje signala na maksimalno 6 kanala. Uključena je mogućnost generisanja PWM i pravougaonog signala, kao i mogućnost merenja istog. Na slici 2.19 dat je pregled funkcionalnih jedinica kartice DS2201. Kartica takođe poseduje i *slejev* DSP jedinicu koja je zadužena za digitalnu I/O jedinicu, vremensku bazu za generisanje signala I/O jedinice i univerzalnih asinhroni prenos i primanje podataka. Takođe, kartica može da generiše osam prekida. Kada se kartica integriše, ona preuzima operacije sa ulazima i izlazima, dok procesorska kartica preuzima kontrolu aplikacije u realnom vremenu. Komunikacija između procesorske kartice i I/O kartice vrši se prifernom linijom visoke brzine. Povezivanje spoljašnjih uređaja na DS2201 karticu vrši se putem panela koji pruža mogućnost povezivanja BNC konektorima i poseduje LED niz za indikaciju stanja digitalnih ulaza ili izlaza.

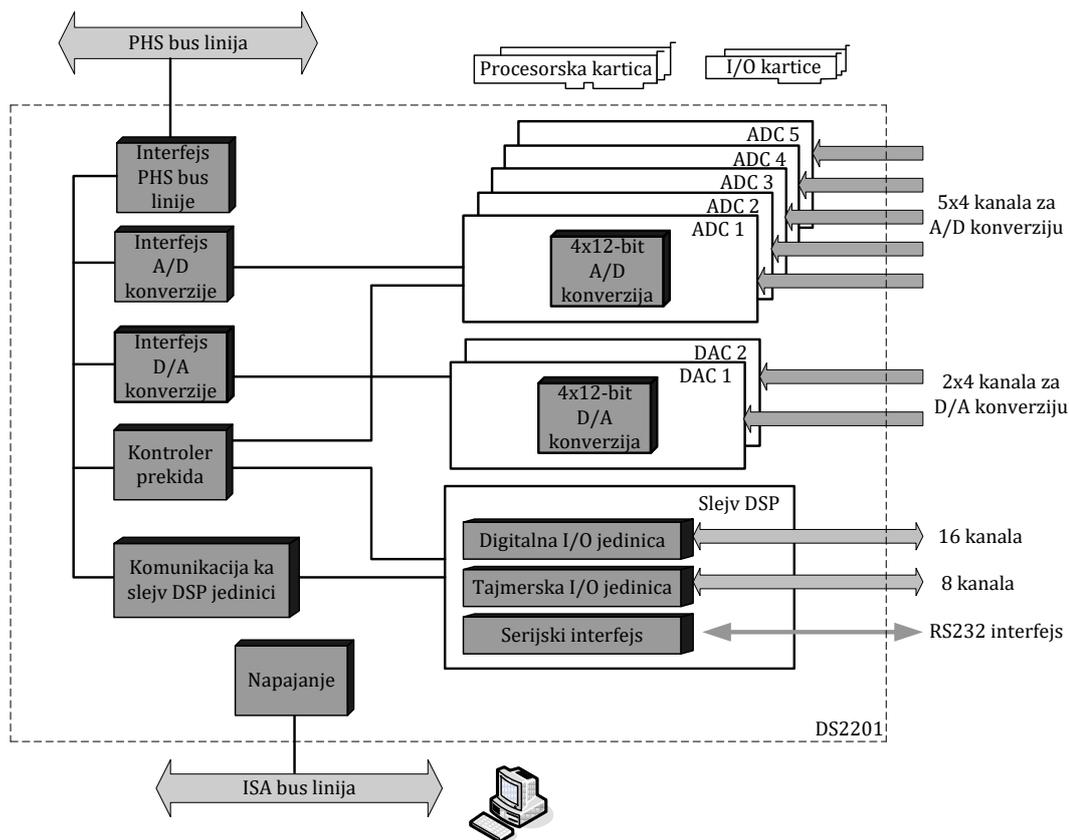
Analogni ulazni kanali poseduju jedinicu za A/D konverziju. Kartica poseduje ukupno pet jedinica za A/D konverziju signala koji su multipleksirani svaki na 4 kanala. Svaki kanal poseduje kolo za odabiranje, rezolucija jedinice za konverziju je 12-bitna, a ulazni nivo je +10 V.

Analogni izlazni kanali poseduju jedinicu za D/A konverziju. DS2201 poseduje dve jedinice za D/A konverziju sa 4 izlazna kanala za svaku jedinicu (ukupno 8). Rezolucija D/A jedinica za konverziju je 12-bitna, izlazni nivo je +10 V, i moguća su dva načina rada transparentni i sa zadržavanjem (eng. *transparent i latched*). Za transparentni mod vrednost koja je konvertovana odmah se prosleđuje na izlaz, dok kod moda sa zadržavanjem vrednost konverzije se prosleđuje na izlaz teko po dobijanju komande za ispis. Ovo omogućava simultani upis vrednosti na više kanala.

Kartica DS2201 pruža mogućnost korištenja različitih prekida, koji su generisani bilo sa uređaja na kartici, bilo sa spoljašnjih uređaja povezanih na DS2201. Dostupni su sledeći prekidi:

- kraj A/D konverzije – pruža informaciju o statusu A/D konverzije za svaku od pet A/D jedinica. Ovaj prekid se generiše kada je A/D jedinica završila konverziju.
- *slejev* DSP spreman – označava da je *slejev* DSP jedinica spremna da primi nove naredbe od DS2201 kartice (nova naredba se ne može izvršavati dok se ne završi izvršavanje prethodne naredbe),
- korisnički prekidi – pružaju mogućnost trigerovanja prekida spoljnim uređajem, prema potrebama korisnika.

Svaki I/O port DS2201 kartice može da se podesi slobodno, ali port se može koristiti samo kao ulazni ili izlazni tokom aplikacije.



Slika 2.19: Pregled funkcionalnih jedinica I/O kartice DS2201.

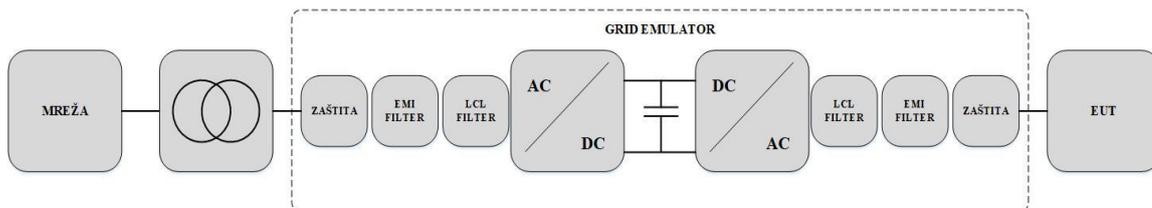
## 2.10 EMULATOR DISTRIBUTIVNE MREŽE - GRID EMULATOR

Emulacija mreže je tehnika testiranja rada stvarnih aplikacija preko „virtualne“ elektroenergetske mreže. Namenski uređaj za ovu tehniku je emulator mreže (eng. *grid emulator* - GE), koji predstavlja specijalno dizajniran uređaj za oponašanje elektroenergetske mreže kao i različitih poremećaja u mreži. Svi tipovi GE-a poseduju programabilne parametre koji omogućavaju emuliranje različitih scenarija koji se mogu javiti u stvarnim mrežama. Uređaji mogu generisati različite poremećaje i greške mreže, kao i normalan rad, te zbog toga ovakva oprema ima sposobnost potrošnje, proizvodnje ili skladištenja energije u zavisnosti od potreba.

GE koji se koristi u datom tehničkom rešenju može da emulira trofaznu električnu mrežu ( $3N \sim 0 - 480 \text{ V}$ ) promenljive frekvencije (40 – 400 Hz). Osim nominalnih naponskih prilika GE može da generiše različite poremećaje u električnoj mreži i to: flikere, prenapone, podnapone, propade napona, fluktuacije frekvencije, kao i promenljivu impedansu mreže.

Osnovna funkcionalnost GE-a je da pretvara AC ulaz u kontrolisani AC (DC) izlaz korišćenjem mikroprocesorski upravljanih pretvarača, sa IGBT-ovima kao prekidačkim komponentama. Pretvarač ima back-to-back topologiju, odnosno sa strane mreže ponaša se kao aktivni ispravljač koji obezbeđuje povlačenje (predaju) sinusoidalne struje iz (u) mreže.

Jednosmerno međukolo je dimenzionisano za napon od 850 V, čime je obezbeđana margina za tranzijentne procese. Zahvaljujući ovoj topologiji omogućena je regulacija protoka reaktivne snage. Sa druge strane inverter generiše tri nezavisna naizmenična napona na svom izlazu sa odgovarajućom amplitudom, faznim stavom i harmonijskim sadržajem. Topologija pretvarača omogućava protok energije u oba smeru, te na taj način i uštedu energije tokom testiranja. Blok šema GE-a povezanog na mrežu, sa priključenom opremom koja se testira (eng. *equipment under test* - EUT) prikazana je na slici 2.20.



**Slika 2.20:** Funkcionalna blok šema GE-a.

GE sadrži sklopnu i zaštitnu opremu, koja sa strane mreže štiti uređaj, dok sa druge strane obezbeđuje izolaciju od EUT-a. Takođe, integrisani su EMI filtri, koji obezbeđuju željenu elektromagnetnu kompatibilnost samog uređaja. Smanjenje harmonijske distorzije, kao i smanjenje izobličenja struje omogućeno je LCL filtrom, dok je smanjenje distorzije izlaznog napona omogućeno LC filtrom.

Za realizovano tehničko rešenje iskorišćen je GE snage 15 kVA prikazan na slici 2.21.



**Slika 2.21:** Izgled emulatora distributivne mreže GE 15.

---

Osnovne tehničke karakteristike uređaja GE 15 su:

▪ **Ulaz:**

Broj faza: 3,

Ulazni napon: 3x400 V (+15%, -20%), 50 Hz,

Prividna snaga: 15 kVA,

Aktivna snaga: 13,5 kW,

Ulazna struja: 20A (kontinualno),

Faktor snage: Kontrolisan u opsegu od -1 do +1 (kapacitivno/induktivno),

Efikasnost pri nazivnom opterećenju: > 92 %,

Preopteretivost: 125 % u trajanju od 10 min. / 150 % u trajanju od 60 s.

▪ **Izlaz:**

Broj faza: 3,

Opseg promene izlaznog naizmeničnog napona: 0 do 450 V (ili više mereno međufazno),

Opseg promene izlazne naizmenične struje: 0 do 20 A,

Izlazna frekvencija: 40 do 400 Hz,

Red harmonika koji se može kontrolisati: 1,2,3,4,5,6,7,9,11,12,13,15.

▪ **Funkcionalnost uređaja:**

Programabilno PQ opterećenje,

Programabilnost harmonijskog sastava struja opterećenja do 15-og harmonika,

Programabilno nesimetrično trofazno opterećenje,

Generisanje propada napona i flikera,

Merenja: Ulazni napon (RMS) i struja (RMS), aktivna i reaktivna snaga, harmonici struje od 1 do 15 člana, izlazni napon i struja, izlazna snaga, temperatura,

Korisnički interfejs: ekran osetljiv na dodir dijagonale >3", 3 analogna ulaza/izlaza ( $\pm 10$  V), 3 relejna izlaza, bezbedonosni total stop ulaz, računarski program sa pratećom hardverskom podrškom za daljinsko upravljanje uređajem.

▪ **Zaštita:**

Zaštita od prekomernih struja preopterećenja,

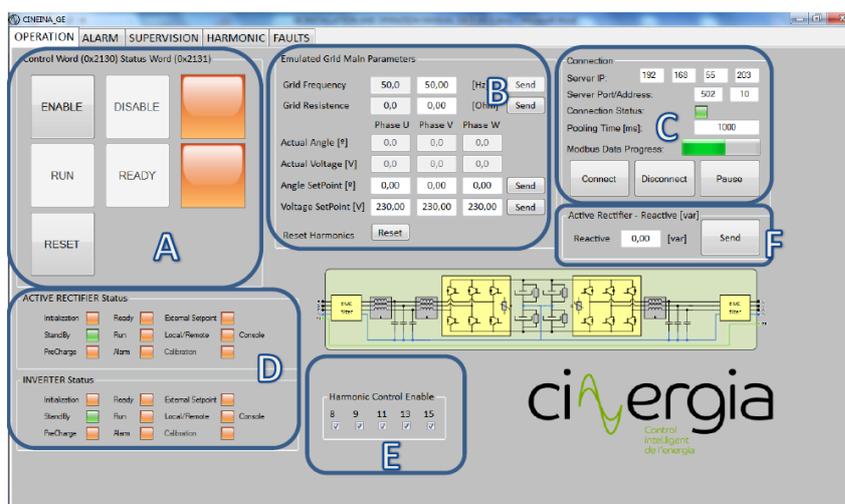
Zaštita od struja kratkog spoja,

Zaštita od prenapona,

Zaštita od pregrevanja.

GE 15 je poseduje korisnički softver koji sa računarom sa koga se upravlja radom emulatora komunicira koristeći MODBUS protokol. Softver je baziran na Tab Dialog-u, kao što je prikazano na slici 2.22, i svaki od tabova ima odgovarajuću namenu:

- Izvršavanje operacija,
- Alarmi,
- Nadzor nad radom,
- Generisanje viših harmonika napona,
- Generisanje poremećaja.



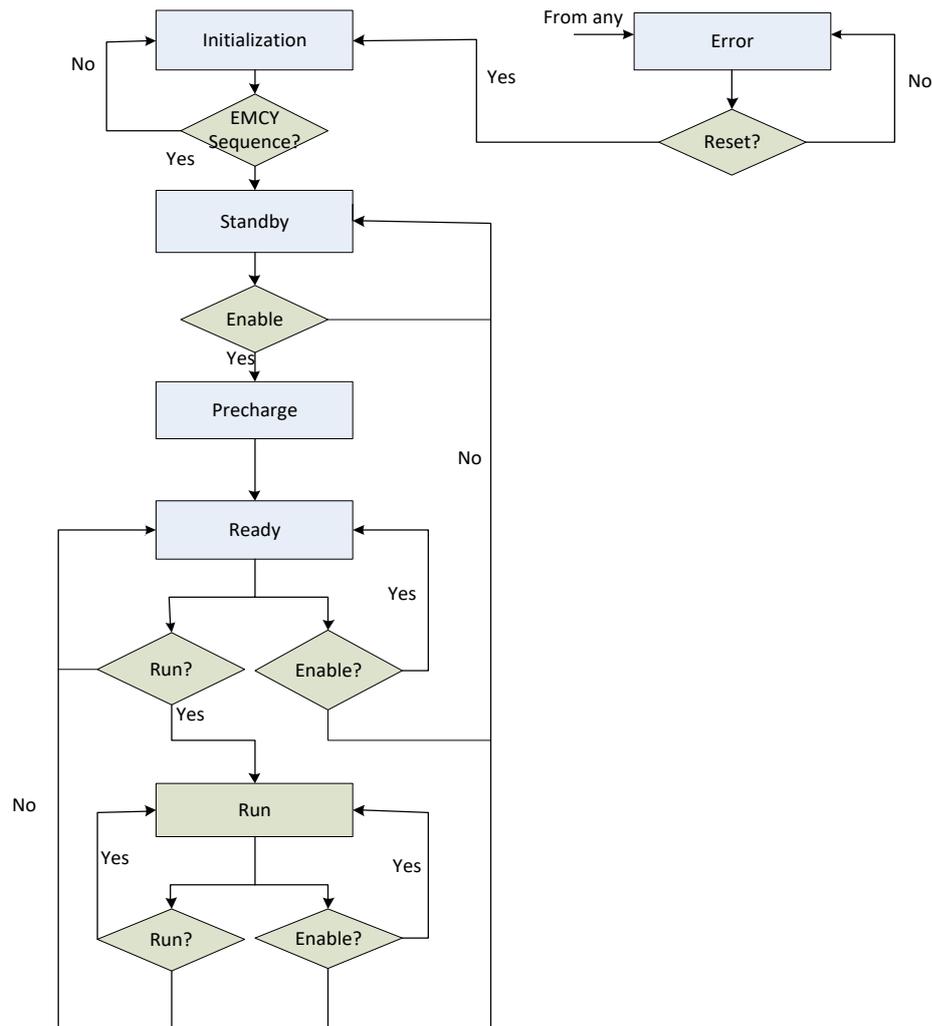
**Slika 2.22:** Prikaz jednog otvorenog taba HMI softvera.

Pored HMI softver i analognih ulaza, moguće je kontrola rada GE 15 i pomoću lokalnog ekrana, čiji je prikaz dat na slici 2.23.



**Slika 2.23:** Izgled lokalnog ekrana i akcije koje se mogu preduzeti sa njega.

Rad GE 15 realizovan je pomoću šest stanja i šest prelaznih procesa, koji omogućavaju ispravan rad uređaja i takođe štite ga u slučaju bilo kakvih poremećaja. Na slici 2.24 prikazana su sva stanja, kao i procesi koji omogućavaju promenu stanja.



**Slika 2.24:** Blok šema algoritma stanja uređaja (stanje-pravougaonik, proces-romb).

Akcije koje uređaj izvršava u stanjima prikazanih na blok šemi su:

- Inicijalizacija - tokom inicijalizacije, kontrolni sistem proverava prisustvo svih internih komponenti, dok se na PC-iju učitava upravljački program. U ovom stanju jednosmerno međukolo nije pod naponom i nema upravljačkih signala za tranzistore. Nakon završene provere omogućen je prelaz na sledeće stanje, samo ukoliko sigurnosni stop (eng. *emergency stop* – EMCY) nije aktivan. Ovo je ujedno i prvi prelazni proces.
- Standby - ovo stanje održava napajanje samo unutrašnjih komponenti sve do trenutka kada se izvrši prihvatanje signala dozvole (eng. *enable signal*), što podrazumeva da nema napona u jednosmernom međukolu, kao ni izlaznog napona (struje). Prelazak u drugo stanje se realizuje prihvatom enable signala, gde se prelazi se u Precharge stanje, dok se u slučaju signala greške prelazi u Alarm stanje.
- Precharge - u ovom stanju dolazi do postepenog punjenja jednosmernog međukola i prelaz na sledeće stanje (Ready) se realizuje ukoliko napon dostigne željenu vrednost za period od najviše 10 s. U suprotnom prelazi se u Alarm stanje.

- Ready - u ovom stanju uređaj je spreman za rad, ali i dalje nema kontrolnih signala za tranzistore. Sada je jednosmerno kolo napunjeno, ali nema napona na izlazu pretvarača. Kada kontrolna jedinica uspešno izvrši prihvatanje signala rada (eng. *run signal*), prelazi se u Run stanje. Ukoliko se ukine signal dozvole vrši se prelazak u Standby stanje, dok kao i u svakom prethodnom stanju, u slučaju signala greške, prelazi se u Alarm stanje.
- Run - uređaj je u potpunosti spreman za rad i izvršavanje kontrolnih algoritama, odnosno slanja upravljačkih signala ka tranzistorima. U slučaju pojave *not enable* signala vrši se prelazak u Standby stanje, pri ukidanju run signala u Ready stanje, a u slučaju signala greške u Alarm stanje.
- Alarm - uređaj može dostići ovo stanje u slučaju bilo koje greške tokom normalno rada npr. kada se aktivira sigurnosni stop. Tada dolazi do pražnjenja jednosmernog međukola i deaktivacije kontrolnih signala za tranzistore i uređaj se vraća u stanje inicijalizacije. Kada se uređaj nađe u Alarm stanju, neophodno je da se aktivira reset signal nakon uklanjanja greške. Ukoliko greška nije uspešno uklonjena uređaj ostaje u ovom stanju.

Kako GE 15 ima mogućnost oponašanja poremećaja u mreži, omogućena su dva osnovna režima rada i to:

- Emulacija distributivne mreže konstantnog napona,
- Emulacija distributivne mreže sa odgovarajućim poremećajima.

U drugi režim rada, gde GE 15 predstavlja generator poremećaja, moguće je preći samo iz prvog režima. Takođe, za pravilan rad u pojedinim režimima potrebno je da se pravilno definišu vrednosti odgovarajućih parametara unutar dozvoljenih opsega vrednosti. Kada uređaj emulira mrežu konstantnog napona, vrednosti odgovarajućih parametara se mogu podešavati u skladu sa tabelom 2.1.

PARAMETRI	DOZVOLJEN OPSEG VREDNOSTI
Frekvencija mreže	40 – 400 Hz
Amplituda faznog napona	400 V
Maksimalna efektivna vrednost faznog napona	280 V ( $f_0 \leq 200$ Hz) / 120 V ( $f_0 \geq 200$ Hz)
Maksimalna efektivna vrednost međufaznog napona	480 V ( $f_0 \leq 200$ Hz) / 210 V ( $f_0 \geq 200$ Hz)
Impedansa mreže	0 – 0.5 $\Omega$
Fazni stav osnovnog harmonika	0 – 360°
Efektivna vrednost osnovnog harmonika napona	0 – 280 V

\* $f_0$  – frekvencija osnovnog harmonika

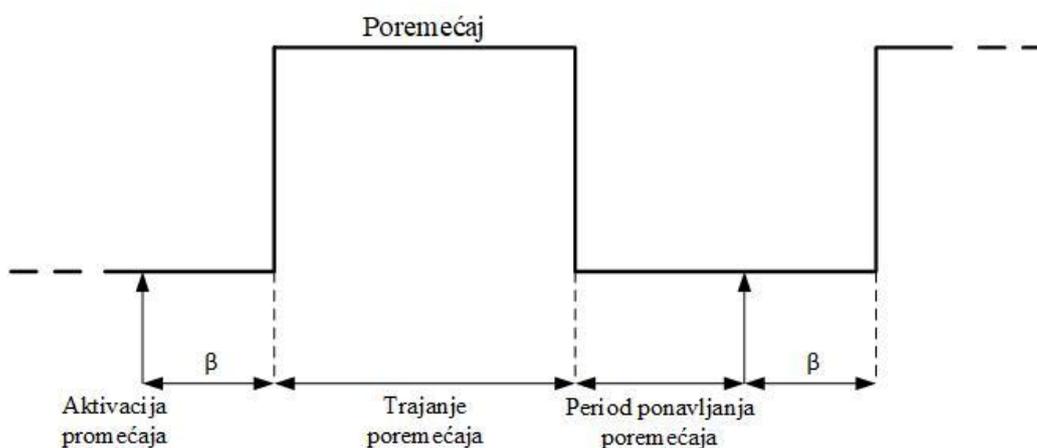
**Tabela 2.1:** Tabelarni prikaz dozvoljenih opseg vrednosti parametara za pravilan rad u režimu konstantnog napona.

U slučaju kada GE generiše neki poremećaj (prenapon, podnapon, fliker, harmonijski spektar, propad napona, varijaciju frekvencije) u prethodno definisanu mrežu konstantnog napona postoji mogućnost podešavanja i sledećih parametara prikazanih u tabeli 2.2.

PARAMETAR	DOZVOLJEN OPSEG VREDNOSTI
Trajanje poremećaja	1 ms – 24 h
Perioda ponavljanja poremećaja	Minimum 1 s
Kašnjenje poremećaja ( $\beta$ )	0 – 360°

**Tabela 2.2:** Tabela prikaz dozvoljenih opseg vrednosti parametara za pravilan rad u režimu konstantnog napona.

Procedura generisanja poremećaja započinje nakon prihvata signala za aktivaciju, kao što je prikazano na slici 2.25.



**Slika 2.25:** Postupak generisanja poremećaja u GE 15.

---

### 3. PRILOZI

Prilog 1. Električne šeme tehničkog rešenja

**Publikacije u kojima su prikazana neka od ispitivanja (eksperimenata) koji se sprovode na realizovanom tehničkom rešenju:**

Prilog 2. Advanced laboratory setup for control of electrical drives as an educational and developmental tool, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Bane Popadic, Vladimir Katic, Zoltan Corba, IEE EuroCon 2013, 1-4 July 2013, Zagreb, Croatia.

Prilog 3. Sophisticated research and development station for control of grid connected distributed energy sources, Bane Popadic, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Vladimir Katic, Corba Zoltan, X International Symposium on Industrial Electronics – INDEL 2014, 6-8 November 2014, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina.

Prilog 4. Laboratory test bench for multi-phase machines and power electronics in electrical vehicle applications, B. Dumnic, B. Popadic, D. Milicevic, V. Katic, I. Subotic, N. Bodo, E. Levi, 18th International Symposium on Power Electronics - Ee 2015, 28-30 October 2015, Novi Sad, Serbia.

Prilog 5. Overview of fast on-board integrated battery chargers for electric vehicles based on multiphase machines and power electronics, Ivan Subotic, Nandor Bodo, E. Levi, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Vladimir Katic, IET Electric Power Applications, 2016, Vol. 10, Iss. 3, pp. 217–229.

Prilog 6. Artificial Intelligence Based Vector Control of Induction Generator without Speed Sensor for Use in Wind Energy Conversion System, Boris Dumnic, Bane Popadic, Dragan Milicevic, Vladimir Katic, Djura Oros, International journal of Renewable Energy Research, Vol.5, No.1, 2015.

Prilog 7. Overview of the six phase VSI control techniques for the dual three-phase induction machine drive, Dragan Milicevic, Boris Dumnic, Bane Popadic, Vladimir Katic, Djura Oros, PCIM Europe 2015, 19-21 May 2015, Nuremberg, Germany.

Prilog 8. Control of grid connected converter with improved power quality characteristic, Boris Dumnic, Bane Popadic, Dragan Milicevic, Vladimir Katic, Zoltan Čorba, PCIM Europe 2015, 19-21 May 2015, Nuremberg, Germany.

Prilog 9. Speed-sensorless control strategy for multi-phase induction generator in wind energy conversion system, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Bane Popadic, Vladimir Katic, Zoltan Corba, Thermal Science, 2016, Vol. 20, Suppl. 2, pp 481-943.

---

Prilog 10. Synchronization Method for Grid Integrated Battery Storage Systems during Asymmetrical Grid Faults, Bane Popadic, Vladimir Katic, Boris Dumnic, Dragan Milicevic, Zoltan Čorba, Serbian journal of Electrical Engineering, Vol. 14, no. 1, February 2017, pp. 113-131.



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАЏМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: \_\_\_\_\_  
Ваш број: \_\_\_\_\_  
Датум: 2017-09-28

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду на 42. редовној седници одржаној дана 27.9.2017. године, донело је следећу одлуку:

*-непотребно изостављено-*

### *Тачка 11.2. Верификација нових техничких решења и именовање рецензента*

*Тачка 11.2.1.: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:*

1. Др Стеван Грабић, ванр. проф. Факултет техничких наука у Новом Саду
2. Др Александар Николић, виши научни сарадник, Институт Никола Тесла

Назив техничког решења:

### **“ИСПИТНА СТАНИЦА ЗА ВИШЕФАЗНЕ ЕЛЕКТРОМОТОРНЕ ПОГОНЕ И ПРЕТВАРАЧЕ”**

Аутори техничког решења: Борис Думнић, Драган Милићевић, Бане Попадић, Дејан Рељић, Золтан Чорба, Владимир Катић, Петар Гајић, Никола Вукајловић, Евгеније Ацић, Александар Станисављевић.

*-непотребно изостављено-*

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:  
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Проф. др Раде Дорословачки



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Датум:

## ИЗВЕШТАЈ О РЕЦЕНЗИЈИ

Страна /  
укупно страна:

Предато на рецензију:

Рецензирано:

20.11.2017.

### ПОДАЦИ О РЕЦЕНЗИМА

### ПОДАЦИ О ТЕХНИЧКОМ РЕШЕЊУ

#### Рецензенти:

(име и презиме, ужа научна област,  
адреса, телефон, факс, E-mail)

1. др Александар Николић, виши научни сарадник

Електротехнички институт „Никола Тесла“

Косте Главинића 8, 11000 Београд

E-mail: anikolic@ieent.org

2. др Стеван Грабић, ванр.проф. \_\_\_\_\_

ужа н.обл.: Енергетска електроника, машине и  
погони и обновљиви извори електричне енергије

Факултет техничких наука у Новом Саду

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад

Тел.: 021/4852556, Факс: 021/4750572 \_\_\_\_\_

E-mail: grabics@uns.ac.rs

#### Аутор(и):

др Борис Думнић, доц.

др Драган Милићевић, доц.

мс инж. Бане Попадић, асистент

др Рељић Дејан, доц.

др Золтан Чорба, доц.

др Владимир Катић, ред.проф.

стр. инж. Петар Гајић,

мс инж. Никола Вукајловић, сар. у наст.

др Евгеније Аџић, доц.

мс инж. Александар Станисављевић, асистент

#### Наслов ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА:

„ИСПИТНА СТАНИЦА ЗА ВИШЕФАЗНЕ  
ЕЛЕКТРОМОТОРНЕ ПОГОНЕ И ПРЕТВАРАЧЕ“



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Датум:

## ИЗВЕШТАЈ О РЕЦЕНЗИЈИ

Страна /  
укупно страна:

### Став рецензента\*:

Основна намена предложеног техничког решења „Испитна станица за вишефазне електромоторне погоне и претвараче“ је да обезбеди универзално испитно окружење за широк опсег практичних провера и експеримената на електромоторним погонима и претварачима енергетске електронике. Универзалност решења се огледа у могућности да испита рад погона различитог броја фаза, различитих топологија и примена, различитог профила оптерећења, да оцини рад претварача енергетске електронике по различитим параметрима (квалитет електричне енергије, рад у називним приликама у напону на мрежним прикључцима, рад при несиметричним и изобличеном напону на мрежним прикључцима), према захтевима који одговарају раду у дистрибутивној мрежи и микромрежи. Поставка омогућује тестирање разноврсних управљачких алгоритама уграђених у испитиван уређај, почевши од нерегулисаног режима рада до најсложенијих управљачких структура. Испитна станица је остварена као модулarna поставка. У њу су уграђена нека од најсавременијих решења из области енергетске електронике и дигиталног управљања као што су *dSpace* модулари системи за развој и тестирање у реалном времену, индустријски фреквентни претварач *Danfoss* посебно прилагођен да омогући сва потребна испитивања и емулатор дистрибутивне мреже *Cinergija GE 15*. Уграђена је сва потребна мерна, склопна и заштитна опрема која обезбеђује правилан и безбедан рад у свим условима, прикупљање и обраду резултата мерења. Испитна станица се по потреби може проширити и прилагодити тако да омогући додатна испитивања. Аутори су потврдили и приказали рад и особине испитне станице кроз више научних радова и студија.

Мишљење рецензента је да техничко решење „Испитна станица за вишефазне електромоторне погоне и претвараче“, развијено од стране групе аутора са Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, представља оригинално решење које је проистекло из практичних потреба. Корисници техничког решења су Факултет техничких наука и друге заинтересоване стране које имају потребу за датим испитивањима на опреми коју пројектују или тестирају. Стога предлагем да се предложена испитна станица прихвати као техничко решење.

Рецензент

Др Александар Николић, дипл.инж.ел.  
Виши научни сарадник



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

Датум:

## ИЗВЕШТАЈ О РЕЦЕНЗИЈИ

Страна /  
укупно страна:

### Став рецензента\*:

Описано техничко решење је у функцији подизања ефикасности испитивања вишефазних електромоторних погона и енергетских претварача и архивирања свих релевантних мерених вредности при тестирању електричне машине, енергетског претварача или стратегије управљања.

На основу приложене техничке документације може се стећи јасан увид у реализовано и примењено техничко решење савремене модуларне испитне станице за област електромоторних погона и претварача енергетске електронике. Развијена испитна станица је модуларна, вишефункционална и не захтева адаптације и додавање нових елемената да би се вршила различита испитивања.

Очигледно је такође да аутори овог решења владају овом проблематиком и да имају доста практичног искуства у области мерно-регулационих и рачунарских система.

Оцена је да је реч оригиналном и сврсисходном техничком решењу које ће унапредити постојећу праксу истраживања у области електромоторних погона и енергетских претварача, посебно код нових решења дистрибуиране производње електричне енергије, микро мрежа и све веће примене обновљивих извора енергије.

### Резиме (од 200 до 400 словних места)\*:

Значај реализованог техничког решења огледа се у подизању ефикасности истраживања у области дигиталног управљања вишефазним електромоторним погонима и енергетским претварачима у разним савременим апликацијама.

Сматрам да приказано техничко решење има све потребне елементе (сврсисходност, оригиналност, применљивост, значај) за позитивну оцену.

Рецензент

Др Стеван Грабић

Име и презиме, потпис



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАЏМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број: \_\_\_\_\_

Датум: 2017-12-05

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 47. редовној седници одржаној дана 29.11.2017. године, донело је следећу одлуку:

*-непотребно изостављено-*

### **ТАЧКА 12.3. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената**

Тачка 12.3.1.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М 83) под називом:

#### **“ИСПИТНА СТАНИЦА ЗА ВИШЕФАЗНЕ ЕЛЕКТРОМОТОРНЕ ПОГОНЕ И ПРЕТВАРАЧЕ”**

Аутори техничког решења: Борис Думнић, Драган Милићевић, Бане Попадић, Дејан Релић, Золтан Чорба, Владимир Катић, Петар Гајић, Никола Вукајловић, Евгеније Аџић, Александар Станисављевић.

*-непотребно изостављено-*

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:  
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Проф. др Раде Дорословачки