



Naziv  
dokumenta:

**Protokol o funkcionalnom ispitivanju  
PWM usmjerivača snage 100 kVA**

Autori:

Mr. Ante Kriletić  
Mr. Mislav Blajić

Rev.

0.0

Datum:

Rujan, 2019.

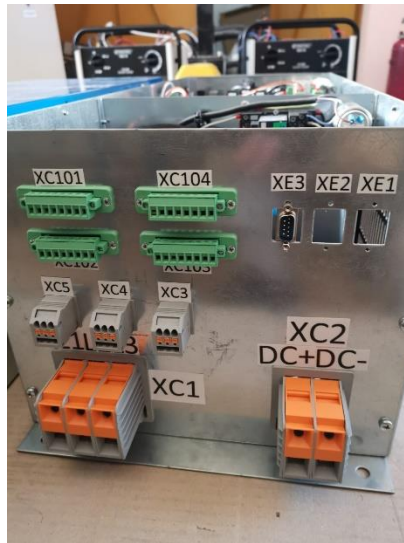
## 1. Vizualna provjera

Br	Stavka	U redu	Nije u redu	Primjedba
1.	Vanjske dimenzije	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.	Raspored komponenata	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3.	Montaža komponenata	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4.	Stupanj mehaničke zaštite	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.	Oznake na vanjskoj strani	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6.	Presjeci vodiča	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7.	Vodiči čvrsto montirani	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



Sl. 1.1. Fotografija dva prototipa usmjerivača snage 100kVA

## 2. Napajanje i mjerenje



Sl. 2.1. Upravljački i energetske konektori

- 2.1. *Provjera rada ventilatora* – Na konektor XC5:1,2 spojiti napajanje 230VAC. Ručno uklopiti relej ventilatora pretvarača i utvrditi da ventilator ispravno djeluje.

*Komentar:* Ventilator se vrti i osigurava protok zraka u ispravnom smjeru

- 2.2. *Provjera krugova istosmjernog napajanja 24VDC* – Ovim testom se provjerava strujna potrošnja pretvarača ( $I_{24VDC_0}$ ) istosmjernog napajanja 24VDC u režimu neuključenost IGBT mosta, te otkriva eventualni kratki spoj na elektroničkim pločicama. Na konektor XC104:7,8 dovodi se napon 24VDC uz strujni limit 0,5A, te se mjeri struja izvora 24VDC.

$$I_{24VDC_0} = 0,31A$$

- 2.3. *Niskonaponska provjera ispravnosti istosmjernog energetskog kruga (DC link) i mjerenja njegovog napona* - Uz prisutno napajanje elektroničkih jedinica 24VDC, na izvode DC link-a (XC2:DC+,DC-) dovesti napon 60VDC uz strujni limit 0,5A. Na konektoru mjerne pločice X1:8 izmjeriti napon koji predstavlja analogni mjerni signal proporcionalan naponu DC linka ( $U_{mj-DClink}$ ). Izmjeriti struju izvora ( $I_{60VDC}$ ).

$$U_{mj-DClink} = 0,3 V$$

$$I_{60VDC} = 1,5 mA$$

*Komentar:* Prijenosni omjer mjerenja napona DC linka je  $k_{DClink} = 0,3/60 = 1/200$ . Struja od 1,5 mA teče kroz dva serijski spojena otpora ( $2 \times 20k\Omega$ ) koji služe za balansiranje napona na serijski spojenim kondenzatorima, što znači da su ispravni kondenzatori u DC linku, kao i otpornici za balansiranje.

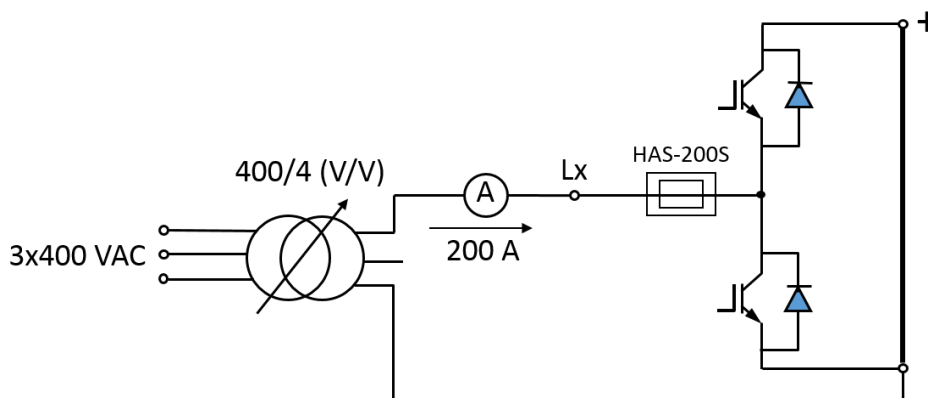
- 2.4. *Visokonaponska provjera ispravnosti istosmjernog energetskog kruga (DC link) i mjerenja njegovog napona* - Uz korištenje trofaznog zakretnog transformatora, trofaznog diodnog mosta i predotpora dovesti istosmjerni napon na izvode DC link-a (XC2:DC+,DC-), tw povećati postupno napon do iznosa vršnog nazivnog napona mreže ( $\sqrt{2} \cdot 400 \text{ VAC} = 564 \text{ VDC}$ ). Na isti način kao u točki 2.2 očitati istosmjernu struju i mjerni napon DC linka. Nakon očitavanja mjernih veličina kondenzatore DC linka treba isprazniti preko otpora.

$$U_{mj-DClink} = 2.82 \text{ V}$$

$$I_{560VDC} = 14,1 \text{ mA}$$

*Komentar:* Prijenosni omjer mjernog kruga je približno jednak kao i kod niskonaponskog mjerenja, a struja koja teče kroz DC link odgovara omjeru narinutog napona i serijski spojenim otporima za simetriranje napona na kondenzatorima.

- 2.5. *Provjera mjerenja izmjeničnih struja* – Pozitivne i negativne stezaljke kruga DC linka (XC2:DC+,DC-) spojiti ukratko. Za svaku fazu ulaznih energetskih priključaka (XC1: L1, L2, L3), uz korištenje izmjeničnog strujnog izvora 200 A, zasebno napraviti test prema sljedećoj shemi. Uključiti ventilator za hlađenje IGBT mosta.



Sl. 2.2. Shema za provjeru točnosti mjerenja struja

Za svaku fazu (L1, L2, L3) podesiti i izmjeriti izmjeničnu struju od 200 A, te odgovarajući mjerni signal na konektoru mjerne pločice X1 (pinovi 4 (L1), 5 (L2) i 6 (L3)). Mjerni signali se mogu izmjeriti i na kondenzatorima mjerne pločice, i to redom C10, C15 i C20. Budući su struje sinusne veličine, mjerni signali su također sinusne veličine, pa su u slijedećoj tablici sve prikazane veličine efektivne vrijednosti koje su izmjerene klasičnim digitalnim instrumentom.

Faza	$I_{L123} [\text{Aac}]$	$U_{mj\_I} [\text{Vac}]$
L1	200	3,98
L2	200	3,98
L3	200	3,98

*Komentar:* Prijenosni omjer mjerenja izmjeničnih struja je  $k_I = 3,98/200 \approx 1/50$

- 2.6. *Provjera mjerenja mrežnih izmjeničnih napona* - Između kućišta i ulaznih stezaljki svake faze na konektoru mjerenja mrežnog napona XC4:EL1,EL2,EL3, zasebno preko zakretnog transformatora i izolacijskog transformatora treba dovesti izmjenični napon polagano podižući iznos na nazivni fazni napon mreže efektivne vrijednosti od 231Vac. Izmjeriti mjerne signale na konektoru X1 (pinovi 1(L1), 2(L2) i 3(L3)), ili na otpornicima na mornoj pločici (redom R47, R62 i R77).

Faze	$U_{L123}$ [Vac]	$U_{mj\_U}$ [Vac]
L1	231	2,38
L2	231	2,38
L3	231	2,38

*Komentar:* Prijenosni omjer mjerenja napona mreže je  $k_U = 2,38/231 \approx 1/97$

### 3. Funkcionalni test

Funkcionalni test provodi se na način da se izmjenična strana pretvarača preko odgovarajućeg LCL filtra i sklopnika/prekidača spoji na mrežu, a također se na mrežu priključi i krug za punjenje DC linka (prekidač, sklopnik, otpori, diodni most). Na istosmjernoj strani pretvarača omogućeno je spajanje radnog tereta snage oko 10 kW. Preko odgovarajućih digitalnih ulaza i izlaza pretvarača osigura se upravljanje sklopnikom za punjenje DC linka i glavnim sklopnikom/prekidačem. Na upravljačku pločicu je spojen i operacijski panel (OP), a odgovarajući softver se upisuje u DSP.

- 3.1. *Ispitivanje digitalnih ulaza (DI) i izlaza (DO)* - Ispitati DI i DO koristeći IDE CCS u Debug Mode
- 3.2. *Provjera mjerenja i proračuna mrežnih linijskih napona* - Dovedi mrežni napon na mjerne stezaljke pretvarača (konektor X1:1,2,3) istovremeno na sve tri faze i očitati s operacijskog panela (OP) vrijednosti linijskih napona. Istovremeno izmjeriti iste napone pomoću digitalnog multimetra. Rezultati su prikazani u tablici.

Linijski napon	Panel [V]	Multimetar [V]
$U_{12}$	407	409
$U_{23}$	408	409
$U_{31}$	408	410

*Komentar:* Podudaranost mjerenih napona pretvarača preko OP-a (određeni su proračunom u DSP-u upravljačke jedinice na temelju očitavanja s mjernog kruga) i multimetra je unutar 0.5%.

- 3.3. *Provjera mjerenja i proračuna napona DC linka* - Povezati upravljanje sklopnikom za punjenje na odgovarajući relejni izlaz pretvarača, te spojiti multimetar za mjerenje napona DC linka. Nakon što je pretvarač sinkroniziran na mrežu izvršiti punjenje DC linka. Istovremeno očitati iznos napona na OP-u i mjerenog napona pomoću multimetra.

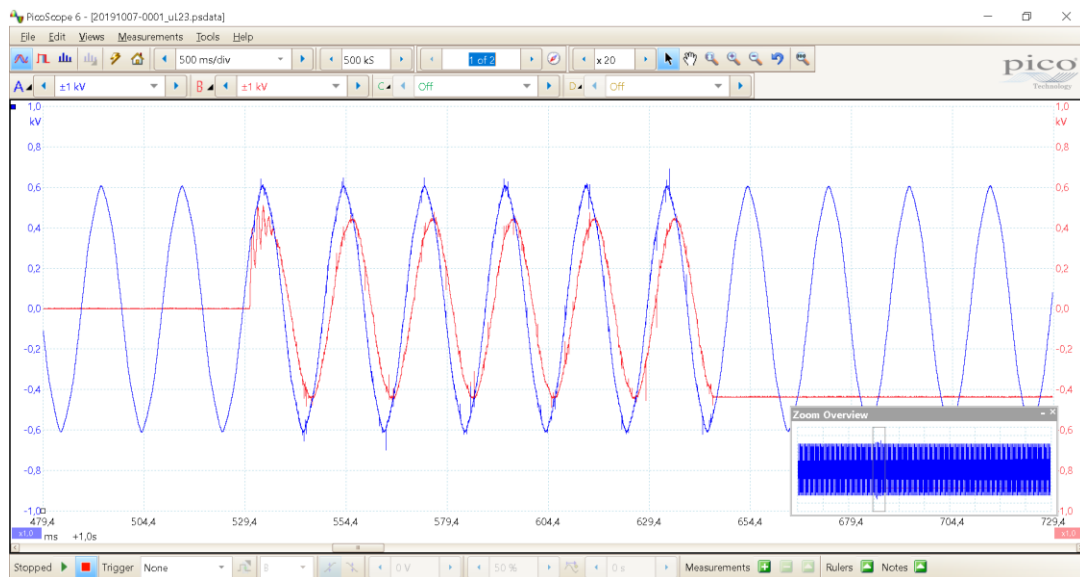
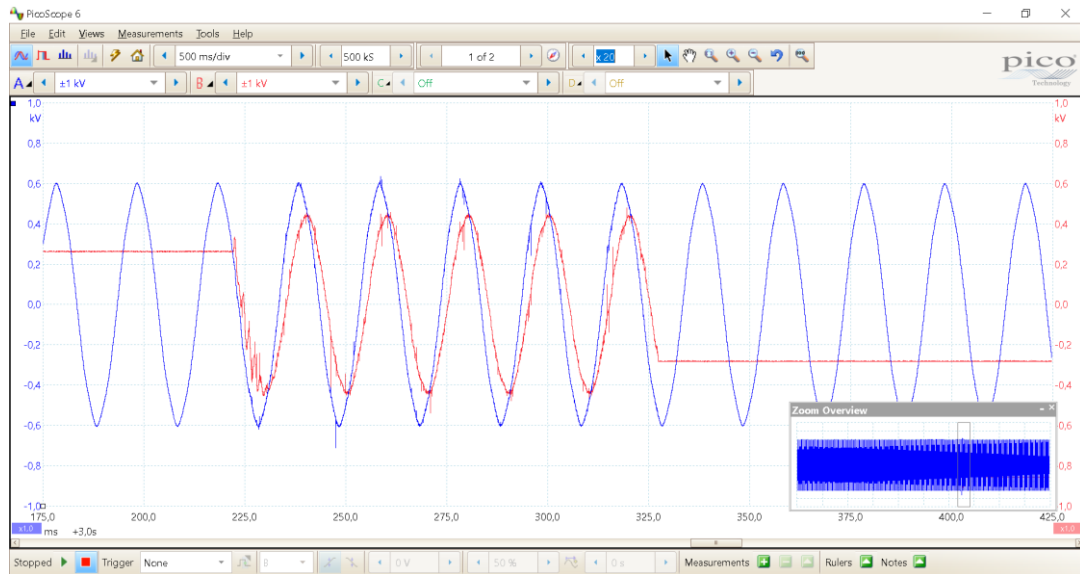
$$U_{DCLink\_Panel} = 598V$$

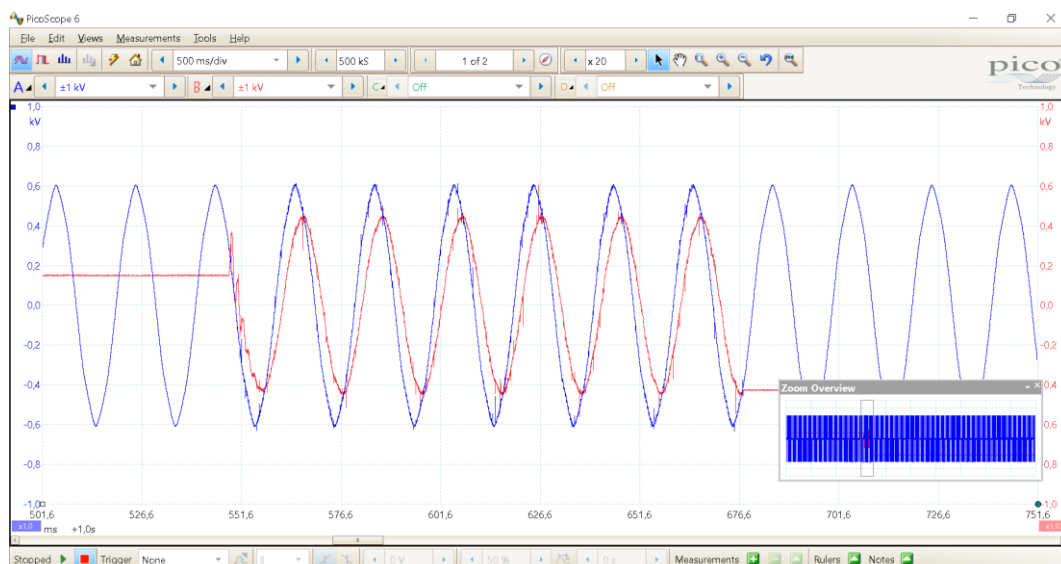
$$U_{DCLink\_Multimetar} = 600V$$

*Komentar:* Podudaranost mjerenog napona DC linka preko OP-a i multimetra je unutar 0.5%.

- 3.4. *Provjera istofaznosti mrežnih napona i napona pretvarača* - Kratkim spajanjem pomoćnog kontakta prekidača/sklopnika daje se signal pretvaraču da je pretvarač/sklopnik uklopio premda nije uklopio. Nakon ovog signala počinje modulacija IGBT mosta čime se na LCL filtru generiraju približno sinusni naponi pretvarača. Upravljački krug glavnog sklopnika/prekidača **nije** spojen na odgovarajući relejni izlaz pretvarača čime je zajamčeno neuklapanje sklopnika/prekidača. Izvršava se punjenje DC linka i nakon toga simulira uklop i isklop glavnog sklopnika/prekidača kratkim spajanjem i odspajanjem njegovog pomoćnog kontakta, uz snimanje istog linijskog napona prije i nakon prekidača. Na temelju valnih oblika istoimenih linijskih napona provjerava se njihova istofaznost. Postupak simuliranja uključenja/isključenja i mjerenja se ponavljaju za sva tri linijska napona. Na slijedećim slikama prikazani su linijski naponi tijekom opisanog postupka, gdje su mrežni naponi plave, a naponi pretvarača crvene boje.

# Protokol o funkcionalnom ispitivanju PWM usmjerivača snage 100 kVA



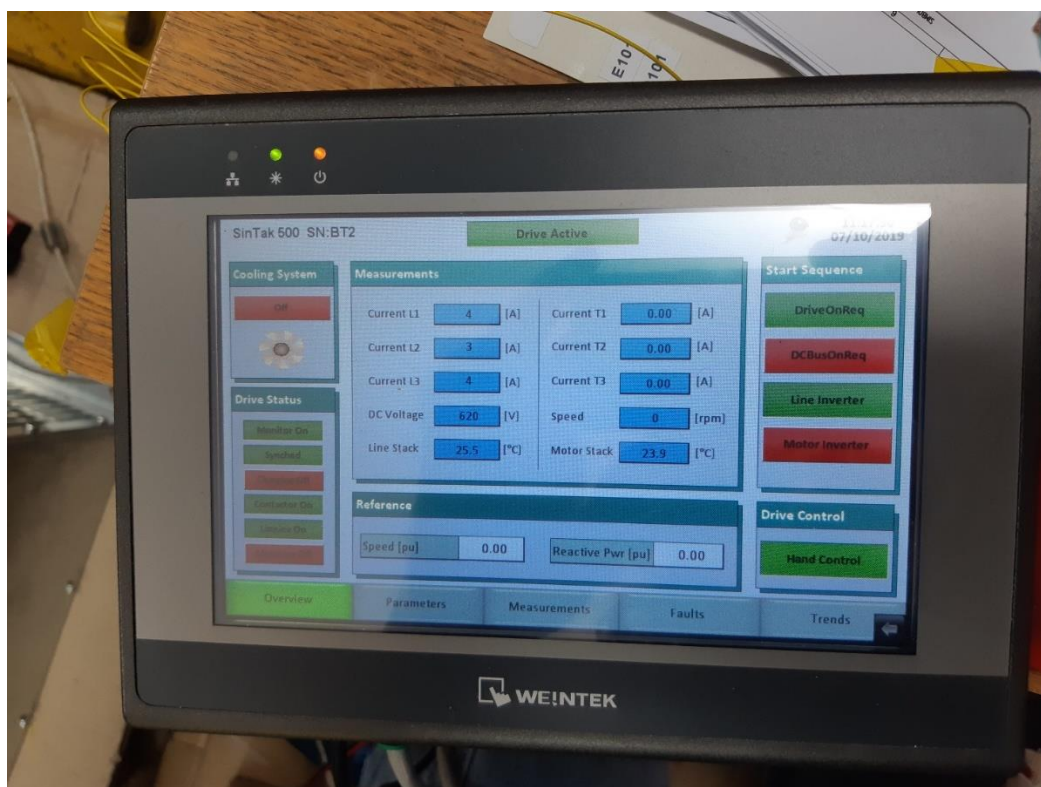


Sl. 3.1. Valni oblici linjskih napona mreže i napona PWM usmjerivača pri testiranju sinhronizacije tijekom uključanja PWM usmjerivača

*Komentar:* Približno podudaranje oba napona u sva tri slučaja potvrđuje istofaznost svih napona

- 3.5. *Provjera ispravnosti sekvence uključanja* - Ožičiti uklopnu špulu i pomoćni kontakt sklopnika/prekidača, te pokrenuti sekvencu normalnog uključanja pretvarača (punjenje DC linka, uklapanje glavnog sklopnika/prekidača, uključanje modulacije IGBT mosta). Frekvencija modulacije IGBT mosta je 7 kHz. Očitati vrijednosti tri struje i napona DC linka na OP-u.





Sl. 3.2. Prikaz na operacijskom panelu za očitavanje faznih struja i napona DC linka tijekom provjere ispravnosti sekvence uključanja

$$U_{DC} = 620 \text{ V}$$

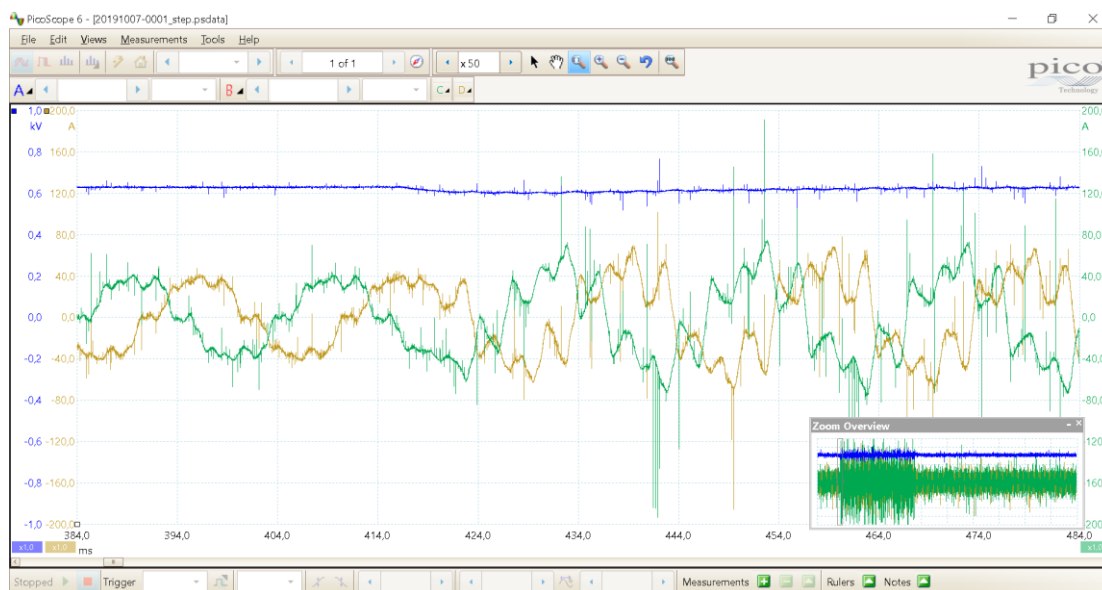
$$I_1 = 4 \text{ A}$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

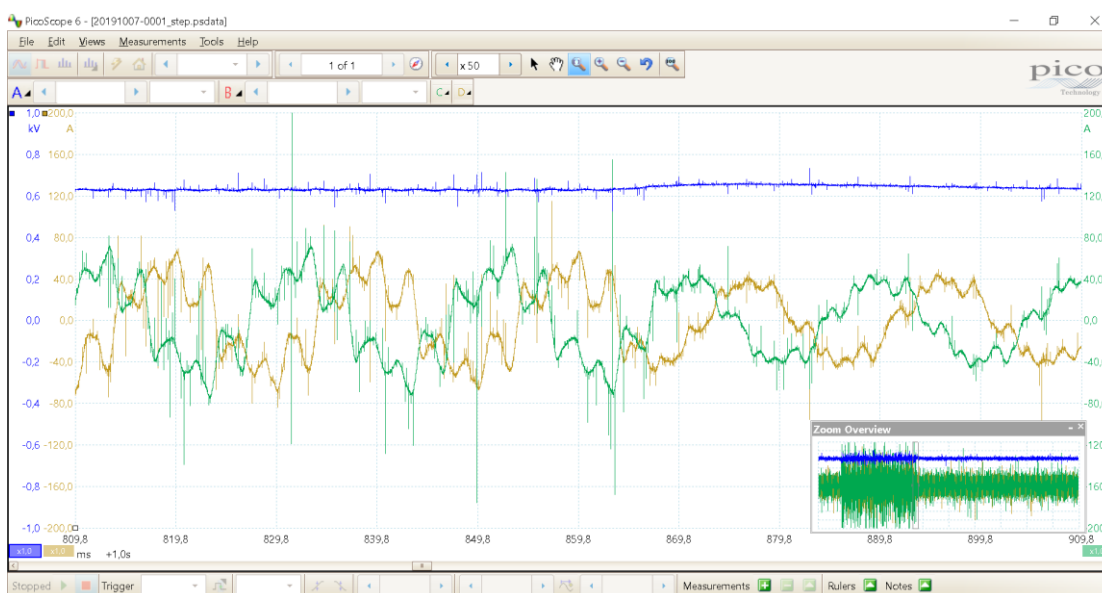
$$I_3 = 4 \text{ A}$$

*Komentar:* Sekvenca uklapanja je uspješno izvedena. Napon DC linka odgovara zadanoj vrijednosti. Očitane male efektivne vrijednosti struje su očekivane jer na istosmjernoj strani nije spojen teret, a zadana vrijednost jalove struje je  $I_Q = 0 \text{ A}$ .

- 3.6. *Opterećenje i rasterećenje s malim radnim teretom (10%)* – Na istosmjernoj strani se na stezaljke DC linka (XC2:DC+,DC-), uključuje i isključuje radno trošilo približne snage 10 kW, što odgovara oprilike 10% nazivne snage pretvarača. Snimaju se valni oblici dvije fazne struje mreže (zeleno i narančasto) i napon DC linka (plavo). Na prvoj slici prikazani su valni oblici tijekom uključanja, a na drugoj tijekom isključenja radnog tereta.



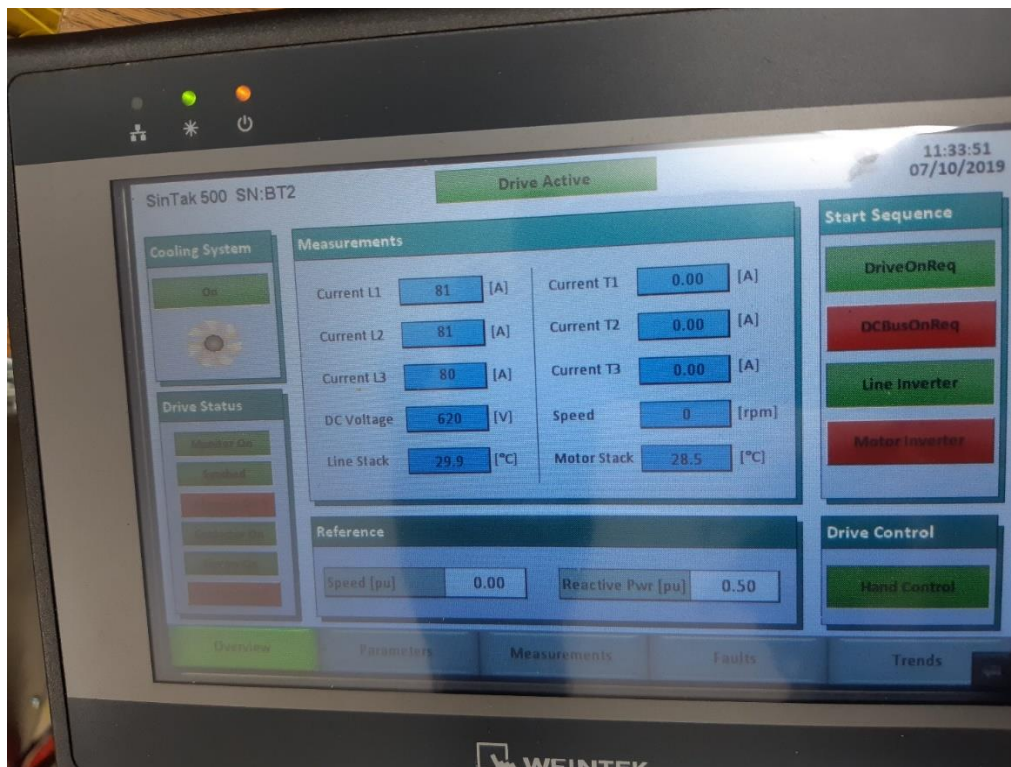
Sl. 3.3. Dvije struje mreže i napon DC linka tijekom opterećenja s malim radnim teretom



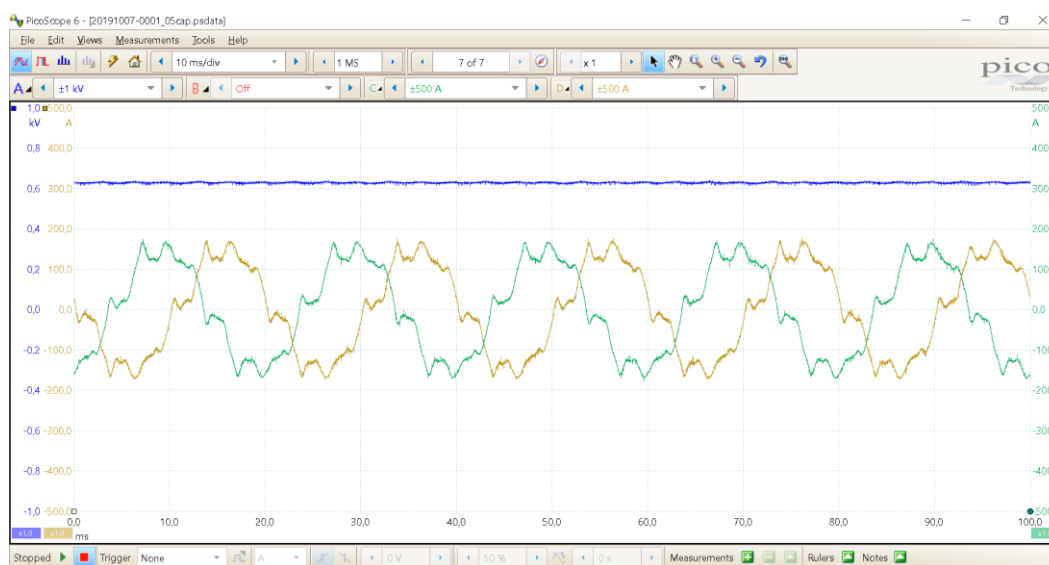
Sl. 3.4. Dvije struje mreže i napon DC linka tijekom rasterećenja s malim radnim teretom

**Komentar:** U strujama se vidi značajan udio viših harmoničkih komponenti nižeg reda, što je posljedica relativno malog opterećenja i neprilagođenosti parametara LCL filtra nazivnoj snazi pretvarača. Također, ovi harmonici se pojavljuju i zbog viših harmonika u naponu mreže.

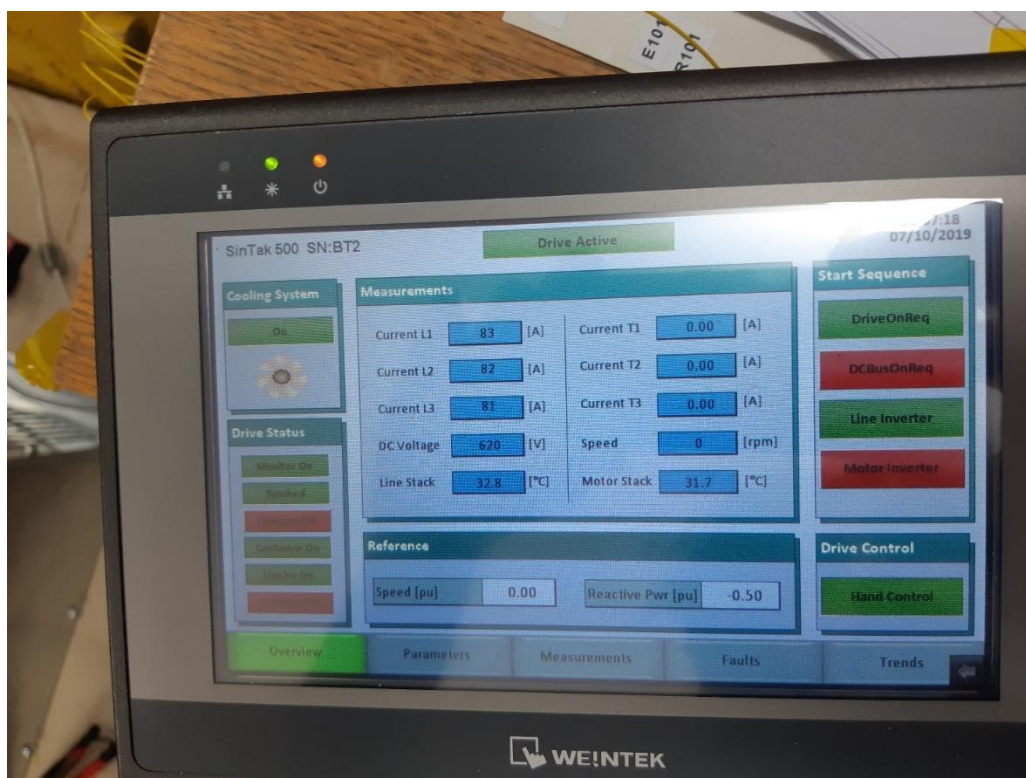
- 3.7. Opterećenje pretvarača s 50% jalove snage – Preko OP-a zadati referentnu jalovu snagu pretvarača +0.5 (p.u.) i u drugom pokusu -0.5 (p.u.). Snimiti valne oblike dvije fazne struje i napona DC linka. Na slijedećim slikama prikazani su ekrani OP-a, te oscilogram struja i napona za oba provedena testa.



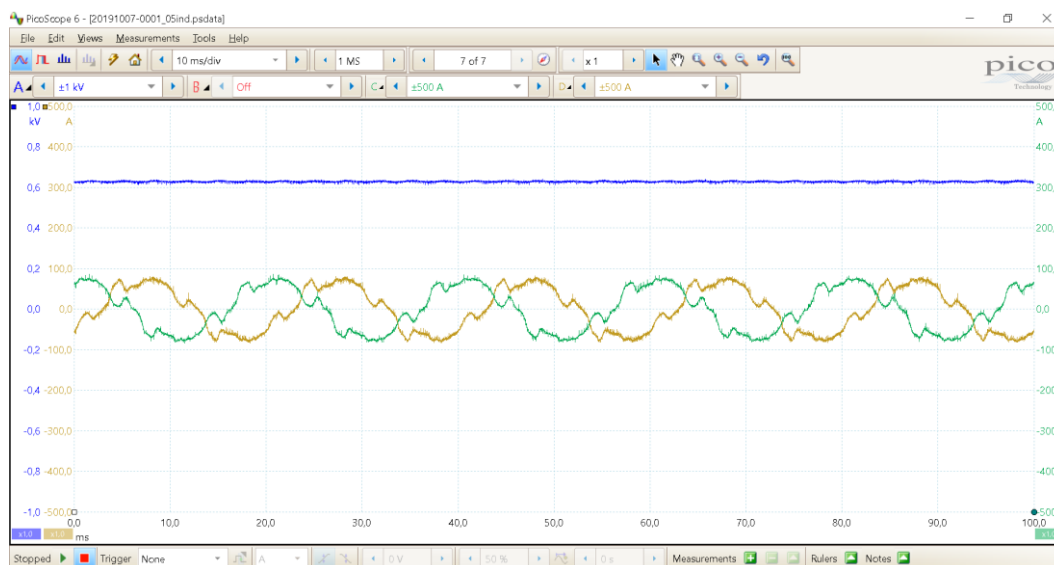
Sl. 3.5. Prikaz na operacijskom panelu za očitavanje faznih struja i napona DC linka tijekom rada pretvarača s 50% pozitivne jalove snage



Sl. 3.6. Dvije struje mreže i napon DC linka tijekom rada pretvarača s 50% pozitivne jalove snage



Sl. 3.7. Prikaz na operacijskom panelu za očitavanje faznih struja i napona DC linka tijekom rada pretvarača s 50% negativne jalove snage



Sl. 3.6. Dvije struje mreže i napon DC linka tijekom rada pretvarača s 50% negativne jalove snage

*Komentar:* Usporedbom valnih oblika struja kod oba pokusa može se procijeniti da je efektivna vrijednost kod prvog pokusa veća od zadane jalove struje (80A), a kod drugog pokusa je manja od te vrijednosti. Tome je razlog činjenica da se upravljanje strujom i jalovom energijom odvija na temelju mjerenja struje između pretvarača i LCL filtra, a na oscilogramima je prikazana struja između mreže i LCL filtra. Spomenuta razlika se odnosi na kapacitivnu komponentu struje filtra koja teče kroz kondenzatore LCL filtra a ne teče kroz pretvarač. U prvom slučaju se ta struja zbraja jalovoj struji pretvarača od 80 A, a u drugom slučaju oduzima, što je razlog različitih iznosa struje mreže u oba pokusa.