

# Modeliranje PQ kontrole baterijskog spremnika energije

---

**Damjanović, Antun**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:953118>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-05-17**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET  
ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni diplomski studij**

**MODELIRANJE PQ KONTROLE BATERIJSKOG  
SPREMNIKA ENERGIJE**

**Diplomski rad**

**Antun Damjanović**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	3
1.1.    Zadatak diplomskog rada .....	4
2.    MODELIRANJE U SHEMATIC EDITORU .....	5
2.1.    Shema sustava.....	5
2.2.    Dio za obradu signala .....	11
2.2.1.    Osnovna kontrola .....	11
2.2.2.    Zaštita od preopterećenja baterije.....	21
3. HIL SCADA.....	26
4. SIMULACIJA .....	37
4.1. Scenarij A.....	37
4.2. Scenarij B .....	56
5. ZAKLJUČAK.....	75
LITERATURA.....	76
Sažetak .....	78
Abstract .....	78
ŽIVOTOPIS.....	79

## 1. UVOD

Razvojem obnovljivih izvora energije, mobilnih telefona, električnih automobila i ostalih uređaja u čovjekovoj svakodnevnicu došlo je i do potrebe za razvojem što boljih baterija a samim time i do potrebe da se tim baterijama upravlja što kvalitetnije. S obzirom da je energija u bateriji ograničena, važno je na što ekonomičniji način iskoristiti tu energiju. Pohrana električne energije predstavlja veliki problem što predstavlja temu mnogobrojnih istraživanja. Sve većim razvojem obnovljivih izvora energije, posebice fotonaponskih sustava koji u nekim slučajevima zahtijevaju pohranu uglavnom u baterijske spremnike energije, potrebno je promatrati i analizirati utjecaj ovakvih izvora energije na elektroenergetsku mrežu. Konstantno povećanje potrošnje električne energije i povećanje instalirane snage fotonaponskih sustava uzrokuje ogromne potencijalne probleme za sigurnost elektroenergetskog sustava u cijelom svijetu. Razumna konfiguracija sustava za pohranu energije ne samo da može imati dobar učinak na glaćenje snage i poboljšanje učinkovitosti sustava već može i poboljšati ekonomičnost sustava i smanjiti potrebe mikromreža za energijom iz elektroenergetskog sustava.[1] Kada se govori o mikromrežama, sustav pohrane u baterije može riješiti brojne probleme koji postoje u mikromrežama, kao npr. promjene frekvencije. Također, sustav za pohranu energije koristan je i kao regulator snage, balansirajući proizvodnju i potrošnju u svakom trenutku.[2] Sustavi za pohranu energije imaju mogućnost pružanja naponske podrške ovisno o veličini spremnika baterije i specifikacijama pretvarača. Budući da je snaga dobivena iz obnovljivih izvora energije povremena i nije konstantna važno ju je skladištiti i iskoristiti u odgovarajućem vremenu. Autori u navedenom radu su dokazali simulacijom da fotonaponski sustav uz sustav za pohranu energije spojen na mrežu poboljšava iskorištenje fotonaponskoga sustava i osigurava stabilnu i pouzdanu snagu za opterećenja ili elektroenergetsku mrežu.[3]

U drugom poglavlju rada opisat će se modeliranje u *Schematic Editoru* koji je dio softvera Typhoon Hil-a. Također, поближе će biti opisane sve komponente koje su korištene u svrhu modeliranja PQ kontrole baterijskog spremnika energije.

U trećem poglavlju rada će biti opisano okruženje HIL SCAD kao i svi *widgeti* koji se koriste kako bi se mogla izvršiti simulacija u stvarnom vremenu.

U četvrtom poglavlju rada odrađena je simulacija koja se sastoji od dva dijela. Prvi dio kada je parametar baterije SOC (*State of Charge*) 80%. Simulacija se provodila za nekoliko različitih

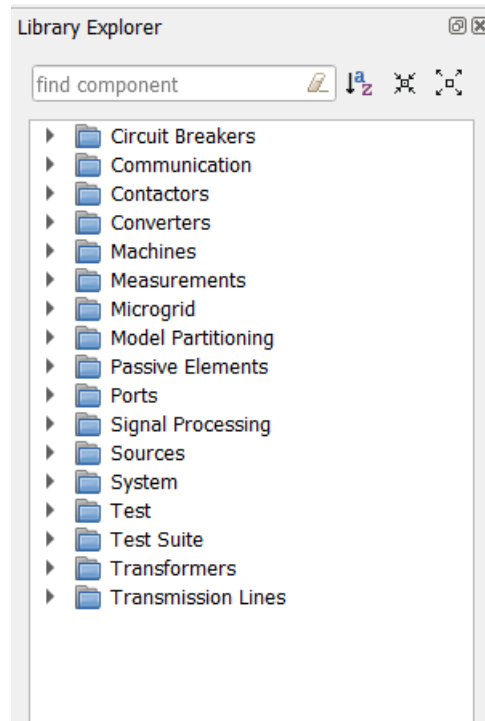
vrijednosti struje punjenja/pražnjenja i reaktivne struje. Također, promatralo se stanje u mreži nakon što se injektiraju harmonici. Drugi dio simulacije je pri  $SOC = 100\%$ , a ostalo se provodila isto kao i za prvi slučaj.

### **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Na temelju dostupnih video tutorijala modelirati sustav PQ kontrole baterijskog spremnika energije te napraviti opis modeliranja. Nakon završenog modeliranja, napraviti simulaciju PQ kontrole baterijskog spremnika za zadane scenarije.

## 2. MODELIRANJE U SHEMATIC EDITORU

*Schematic editor* je dio softverskog alata Typhoon HIL. U njemu se mogu modelirati strujni krugovi, distribucijske mreže kao i upravljačke i komunikacijske mreže. Sve stvorene mreže mogu se simulirati u stvarnom vremenu s vremenskim korakom od 1  $\mu$ s. [4]



**Slika 2.1.** Prikaz knjižnice Schematic Editor-a

Na slici 2.1. prikazana je knjižnica *Schematic Editor*a. U knjižnici se može pronaći velika zbirka elemenata, kao što su strujni i naponski izvori, linearna, nelinearna i vremenski promjenjive pasivne komponente, mjerne komponente, različite transformatore itd. [4]

U nastavku rada opisani su svi elementi koji se koriste u shemi sustava, dijelu za obradu signala, osnovnoj kontroli punjenja baterije kao i u dijelu za zaštitu od preopterećenja baterije. Svi ovi dijelovi tvore jedan model PQ kontrole baterijskog spremnika energije. Također, izvodi se i simulacija promjenom različitih parametara.

### 2.1. Shema sustava

Kako bi mogli simulirati realno punjenje baterije potreban nam je i neki sustav koji će puniti i prazniti bateriju. Taj sustav je prikazan slikom 2.2.

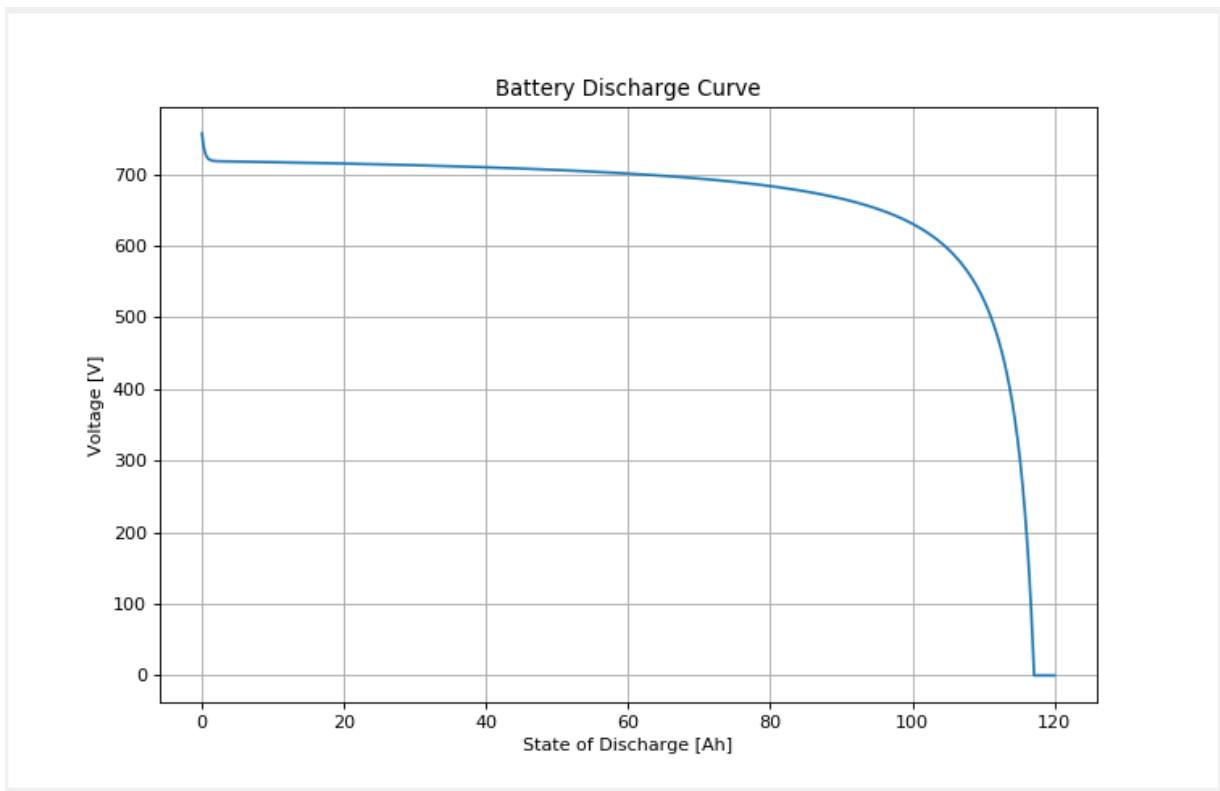


Slika 2.2. prikazuje shematski prikaz baterije i postavke koje će biti korištene u modelu. U postavkama se mogu mijenjati sljedeći parametri: tip baterije, nazivni napon, kapacitet, stanje napunjenosti baterije.

Tip baterija koje se mogu odabrati su:

- olovna,
- litij ionska,
- nikl kadmijska,
- hibridna nikl metalna ili
- korisnik sam definira tip baterije.

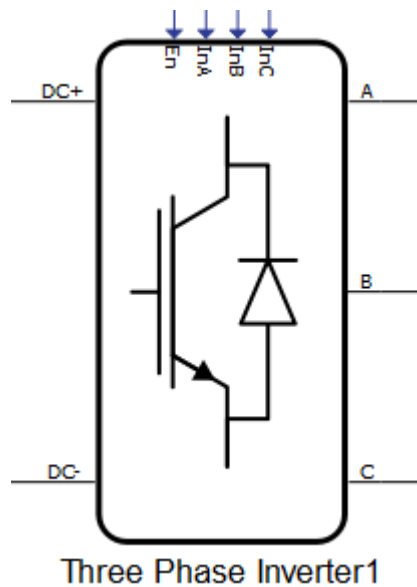
Mogu se odabrati četiri standardna tipa baterije, a ako one ne odgovaraju zahtjevima tada se može odabrati opcija gdje korisnik sam definira parametre baterije koji se kod standardnih tipova ne mogu mijenjati. To će također omogućiti detaljnije definiranje stanja napunjenosti baterije (*SOC, State of charge*).[5]



**Slika 2.3.** SOC krivulja

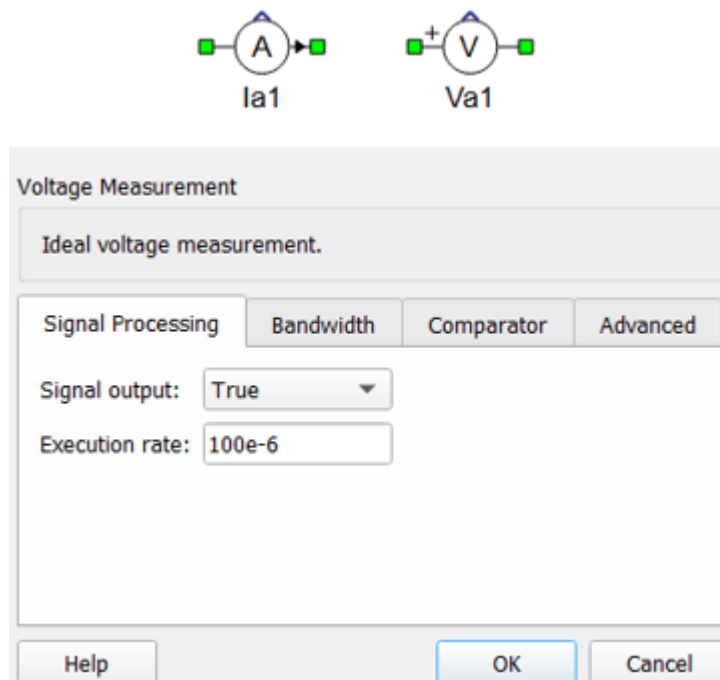


Slika 2.3. prikazuje krivulju pražnjenja baterije. Krivulja prikazuje ovisnost napona baterije o *SOC*-u. Ovisno o odabranoj vrsti baterije, nazivnom naponu baterije, kapacitetu baterije postoje 3 točke koje opisuju krivulju pražnjenja baterije. *SOC* se može mijenjati tijekom simulacije, ali je potrebno je zaustaviti simulaciju kako bi se parametar promijenio.



**Slika 2.4.** Trofazni pretvarač

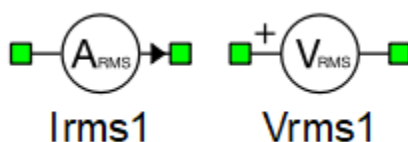
Slika 2.4. prikazuje trofazni dvosmjerni pretvarač koji regulira tokove snaga između DC sabirnice i AC mreže. Na DC stranu trofaznog dvosmjernog pretvarača je spojena baterija, a na AC strani mreža. Pretvarač sadrži još 4 priključnice  $E_n$ ,  $I_{nA}$ ,  $I_{nB}$  i  $I_{nC}$  koje preko dijela za obradu signala upravljaju pretvaračem.



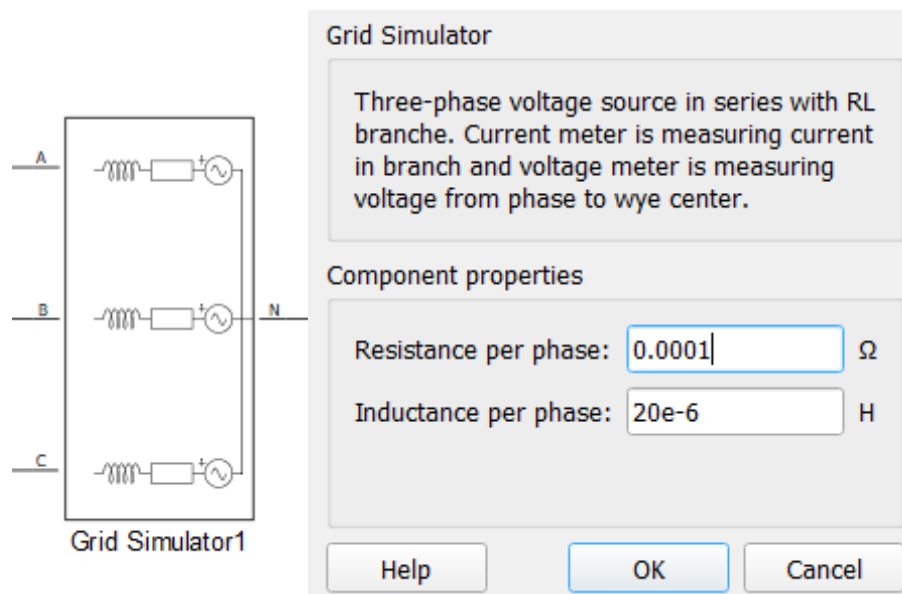
**Slika 2.5.** Strujni i naponski mjerni instrumenti

Kako bi mogli kontrolirati i pratiti struje i napone koriste se strujni i naponski mjerni uređaji prikazani na slici 2.5. Sa svakog mjernog uređaja možemo odvesti signal (ako je postavka „*Signal output*“ postavljena na *True*) na neki drugi element u modelu, u ovom slučaju s naponskih mjernih uređaja odvodi se signal na PLL komponentu, a sa strujnih mjernih uređaja na element za transformaciju s abc sustava na dq sustav. Postavke i za strujne i naponske mjerne uređaje su identične pa iz tog razloga slika 2.5. prikazuje samo postavke strujnog mjernog uređaja.

U shemi sustava mjere se i efektivne vrijednosti napona i struje koji su prikazani slikom 2.6.

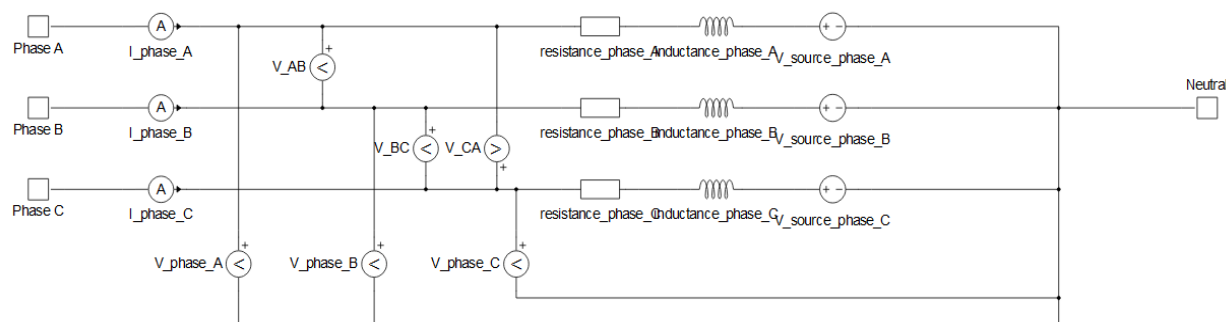


**Slika 2.6.** Uređaji za mjerenje efektivnih vrijednosti napona i struje



**Slika 2.7.** Model mreže

Model mreže prikazan slikom 2.7. je komponenta koja sadrži tri jednofazna naponska izvora, serijske otpore i induktivitete. Simulatoru mreže možemo postaviti otpor po fazi i induktivitet po fazi. Također, slika 2.7. prikazuje vrijednosti otpora i induktiviteta mreže koje će biti korištene u ovom modelu.



**Slika 2.8.** Unutarnja struktura modela mreže

Unutarnja struktura modela mreže je prikazana slikom 2.8. iz koje se vidi da uključuje i mjerenje faznog napona i fazne struje.

**Tablica 2.1.** Interna mjerenja modela mreže

Naziv varijable analognog izlaza	Opis
I_phase_A	Struja faze A
I_phase_B	Struja faze B
I_phase_C	Struja faze C
V_phase_A	Napon faze A
V_phase_B	Napon faze B
V_phase_C	Napon faze C
V_source_phase_A	Napon izvora A
V_source_phase_B	Napon izvora B
V_source_phase_C	Napon izvora C

Simboli mjernih uređaja unutar simulatora mreže kao i mjerenja koja se provode prikazani su tablicom 1.

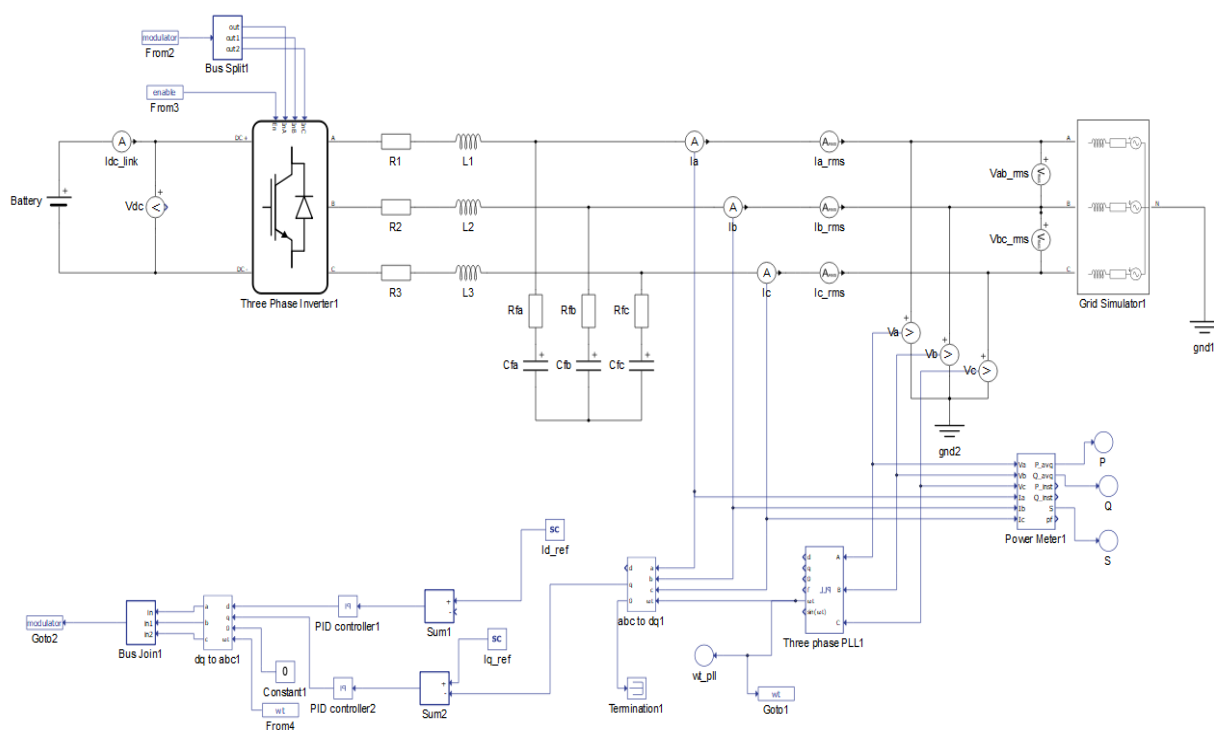
## **2.2. Dio za obradu signala**

Dio za obradu signala je dio modela koji na osnovu dobivenih signala iz mreže upravlja pretvaračem, a pretvarač na osnovi tih podataka puni ili prazni bateriju. Dio za obradu signala možemo razlikovati od ostatka modela po plavoj boji svih komponenti kao i linija koji ih povezuju.

### **2.2.1. Osnovna kontrola**

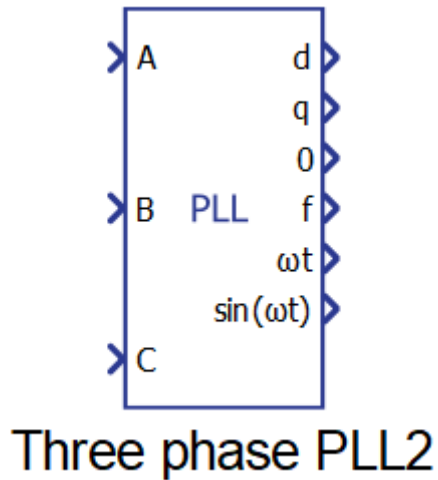
Osnovna kontrola podrazumijeva samo upravljanje punjenjem i pražnjenjem baterije. Kada bi model sadržavao samo ovakvu kontrolu moglo bi lako doći do preopterećenja i pretjeranog pražnjenja baterije, stoga se u sljedećem podpoglavlju razmatraju elementi koji se koriste kako bi se to spriječilo.

Komponente koje se koriste za osnovnu kontrolu baterije detaljno su objašnjeni u nastavku.



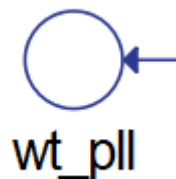
**Slika 2.9.** Prikaz modela nakon spajanja elemenata za osnovno upravljanje

Prvi element koji će se koristiti u dijelu za obradu podataka je PLL (*Phase Locked Loop*) prikazan je Slikom 2.10. PLL ili fazno zatvorena petlja je elektronski sklop koji generira izlazni signal čija je faza povezana s fazom ulaznog signala. Najjednostavnija PLL komponenta se sastoji od oscilatora promjenjive frekvencije i detektora faze u petlji povratne veze. Oscilator generira periodički signal, a fazni detektor uspoređuje fazu tog signala s fazom ulaznog periodičkog signala, podešavajući oscilator kako bi se faze uskladile. Zadržavanje ulazne i izlazne faze zaključanom podrazumijeva održavanje ulaznih i izlaznih frekvencija istim. Kao posljedica toga, pored sinkronizacije signala, petlja s faznim zaključavanjem može pratiti ulaznu frekvenciju ili generirati frekvenciju koja je višestruko veća od ulazne frekvencije.[6]



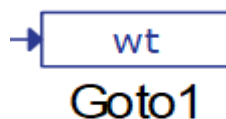
**Slika 2.10.** PLL komponenta

Na ulaze ove komponente dovodimo mjereni napon s naponskih mjernih instrumenata. PLL komponenta ima nekoliko izlaza, ali samo jedan izlaz je potreban za model, a to je  $\omega t$  izlaz. Na izlaz  $\omega t$  spaja se Probe komponenta prikazana slikom 2.11.



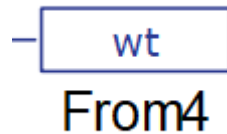
**Slika 2.11.** Probe komponenta

Probe komponenta dodaje signal popisu analognih signala u HIL SCADU. Ako je ulazni signal vektor SCADA će ga podijeliti tako da svaki element vektora bude dodijeljen odvojenom analognom kanalu.[8] Kut  $\omega t$  će se koristiti i za druge blokove u dijelu za obradu signala zato se na isti put spaja i *Goto* blok prikazan slikom 2.12.



**Slika 2.12.** Goto blok

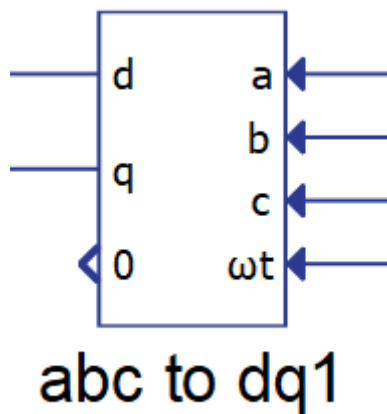
*Goto* blok šalje signal na *From* blok prikazan slikom 2.13. Ukoliko je *From* blok nazvan isto kao i *Goto* blok on će primiti signal. U ovom slučaju imamo nekoliko takvih blokova,  $\omega t$ , *enable* i *modulator*.



**Slika 2.13.** *From* blok

*Goto* i *From* blok su komponente koje služe kako bi pojednostavili model i kako ne bismo morali vući nepotrebno dugačke linije u modelu.

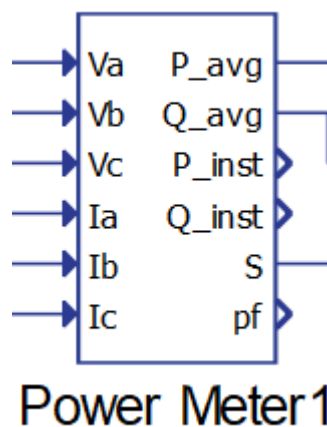
Trebamo i transformaciju iz abc u dq rotirajući sustav, stoga koristimo komponentu prikazanu slikom 2.14.



**Slika 2.14.** Komponenta za transformaciju iz abc u dq sustav

Signal dovodimo sa strujnih mjernih uređaja na blok za transformaciju iz abc u dq rotirajući sustav. Također, za ovaj blok trebamo i kut  $\omega t$  koji dovodimo s bloka PLL.

U modelu će se koristiti aktivna i reaktivna snaga stoga je trebamo izmjeriti. Pomoću bloka Power Meter prikazan slikom 2.15. mjerimo odnosno izračunavamo aktivnu i reaktivnu snagu ( trenutnu i prosječnu), prividnu snagu i faktor snage za sve tri faze.



**Slika 2.15.** Komponenta *Power Meter*

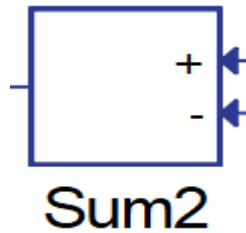
Signal s naponskih mjernih uređaja dovodimo na naponske ulaze, a signal sa strujnih mjernih uređaja dovodimo na stujne ulaze komponente *Power Meter*. Ova komponenta ima nekoliko izlaza, ali za ovaj model će biti korišteni P\_avg (prosječna aktivna snaga), Q\_avg (reaktivna snaga) i S (prividna snaga) izlazi. Izlazne signale ćemo promatrati u HIL SCADI stoga će se koristiti *Probe* komponenta prikazana slikom 2.11. Svaki izlaz koji nam je potreban spajamo na zasebnu *Probe* komponentu.



**Slika 2.16.** Komponenta za uklanjanje signala

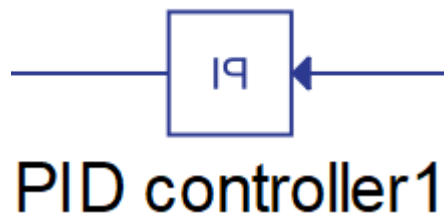
Slikom 2.16. prikazana je Termination komponenta koja uklanja izlazne signala koji se ne koriste. Za ovaj model neće smetati ako izlazni signali koji se ne koriste nisu uklonjeni, tako da se ova komponenta neće koristiti u većini slučajeva.





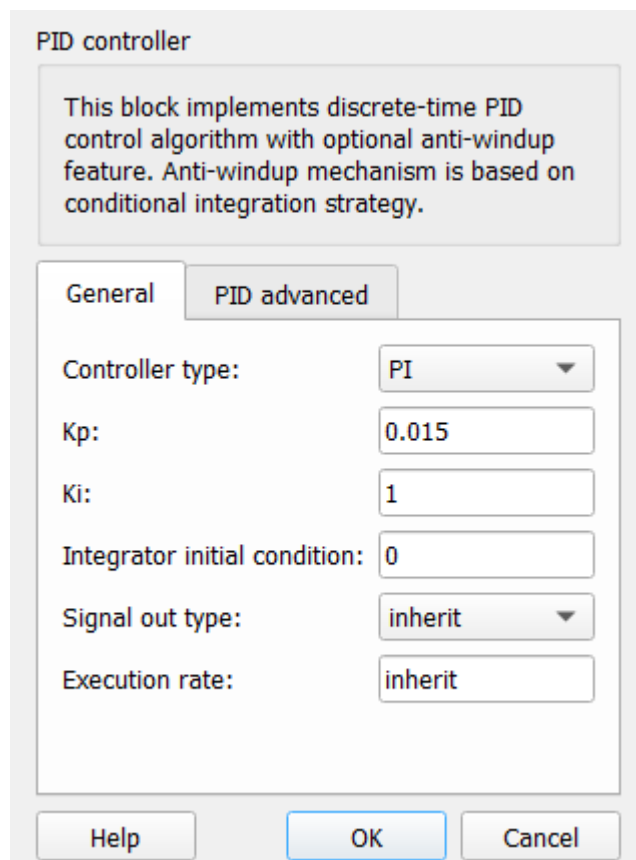
**Slika 2.17.** Sum blok

*Sum* blok prikazan slikom 2.17. je element koji zbraja ili obuzima ulazne signale ovisno o predznaku. Tako npr. ako je predznak „+“ tada će Sum blok zbrajati ulazni signal, a ako je predznak „-“ oduzimati će ulazni signal.



**Slika 2.18.** PI regulator

U modelu će se koristiti PI regulator prikazan slikom 2.18. Slika 2.19. prikazuje postavke PI regulatora pa tako možemo izabrati kakav regulator želimo, PID, P, I, PD i PI. Također možemo promijeniti vrijednosti za P (*proportional gain*) i I (*integral gain*), u ovom modelu P vrijednost će biti 0.015 a I će biti 1. U PID napredim postavkama se mogu uključiti granice i anti-windup. U ovom slučaju se uključuje i jedno i drugo stavljanjem postavki sa *False* na *True*. Gornja granica zasićenja će biti postavljena na vrijednost 1, a donja granica na -1.



**Slika 2.19.** Postavke PID regulatora

Model sadrži 2 PI regulatora koji su spojeni na izlaz Sum komponente. Na „+“ Sum blokova se spaja Scada input komponenta prikazanu slikom 2.20. U modelu imamo 3 ovakve komponente koje su nazvane *id\_ref* i *iq\_ref* i *Enable*.

 SCADA Input1

SCADA Input

Value of SCADA input signal processing source component can be set directly from the SCADA. This value can be changed during simulation runtime.

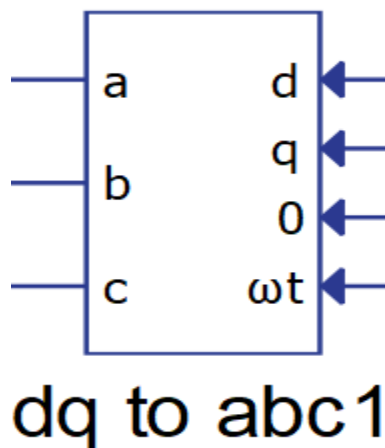
Component properties

Signal type:	uint
Min:	0
Max:	1
Default value:	0
Unit:	
Execution rate:	100e-6

Help OK Cancel

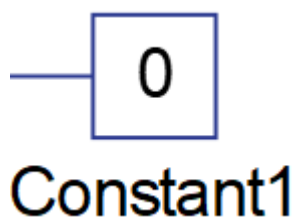
**Slika 2.20.** *Scada* input komponenta

Scada *input* komponenta ispisuje definiranu vrijednost u HIL SCAD-i. U postavkama možemo primijeniti minimalnu i maksimalnu vrijednost koje će biti iste kao na slici 2.20., a zadana vrijednost će biti 10 za *id\_ref* a za *iq\_ref* će biti 0. Ove se vrijednosti mogu mijenjati tijekom simulacije. Ova komponenta automatski dodaje kontrolni *widget* u postavke modela u Hil Scadi. Poslije PI regulatora trebamo transformaciju iz dq u adc pa se koristi komponenta prikazana slikom 2.21.



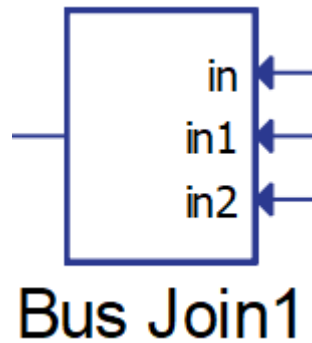
**Slika 2.21.** Komponenta za transformaciju iz dq u abc sustav

Komponenta za transformaciju iz dq u abc trofazni sustav radi suprotno od komponente prikazane slikom 2.13. Ova komponenta također ima ulaz 0 i  $\omega t$ . Ulaz 0 se neće koristiti stoga na taj ulaz spajamo konstantu s vrijednosti 0 prikazanu slikom 2.22.



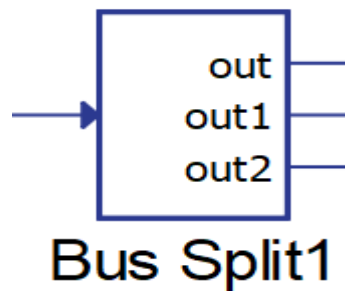
**Slika 2.22.** Konstanta

Ulaz  $\omega t$  spajamo na *From* komponentu prikazanu slikom 2.13. Na izlazu dq u abc imamo referentne vrijednosti koje kontroliraju uključanje trofaznog pretvarača. Izlaze a, b i c možemo staviti u vektor pomoću *Bus join* komponente prikazane slikom 2.23.



Slika 2.23. *Bus join* komponenta

*Bus join* komponenta ulančava ulazne signale u vektor. Ovoj komponenti se može mijenjati broj ulaza ovisno o potrebama, u ovom slučaju su to 3 ulaza. Na izlaz *Bus join* komponente spajamo Goto blok prikazan slikom 2.12. i mijenjamo joj ime u *modulator*. Goto blok šalje signal na From2 komponentu nazvanu *modulator* koja je spojena na Bus split komponentu prikazanu slikom 2.24.

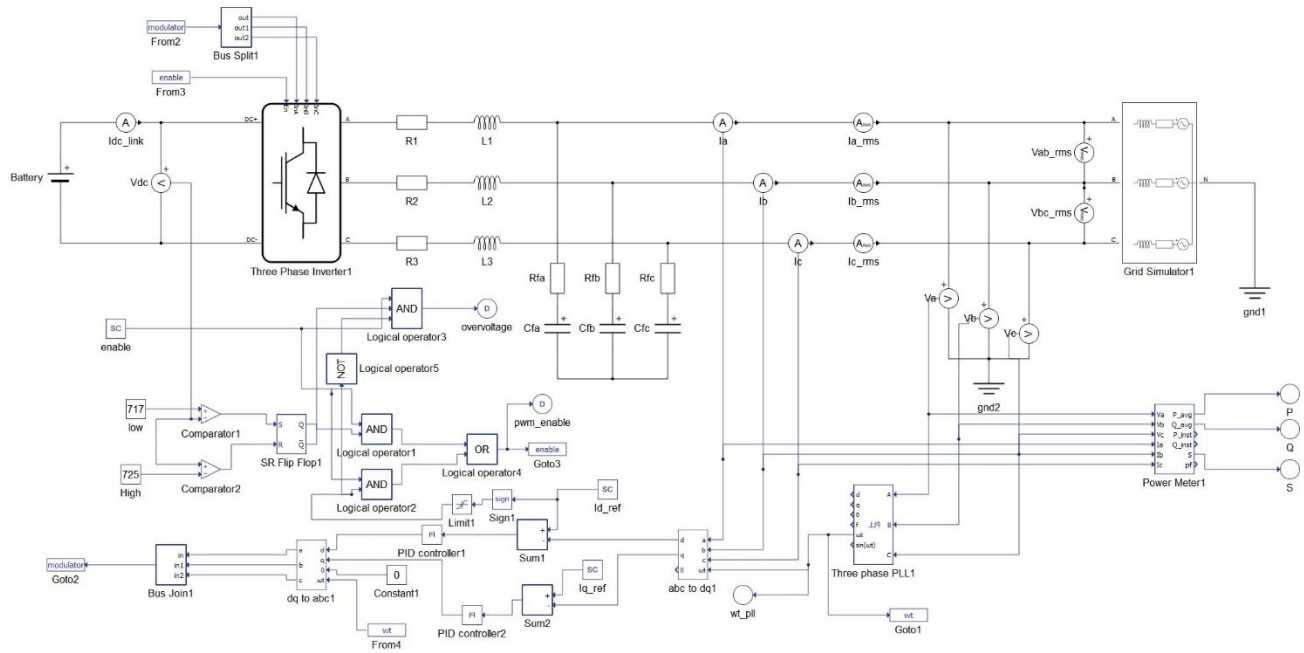


Slika 2.24. *Bus split* komponenta

*Bus split* komponenta razdvaja vektor ulaznih signala u skalar ili u određen izlazni vektor. Također, ovoj komponenti možemo promijeniti broj izlaza, u ovom slučaju koristit će se 3 izlaza koji su spojeni na ulaze  $I_{nA}$ ,  $I_{nB}$  i  $I_{nC}$  pretvarača.

### 2.2.2. Zaštita od preopterećenja baterije

U ovom podpoglavlju će se raditi zaštita od preopterećenja baterije koja se nastavlja na prethodna podpoglavlja. Isto tako elementi za zaštitu od preopterećenja se spajaju na model koji je prikazan slikom 2.7.



Slika 2.25. Konačan model

Slika 2.25. prikazuje gotov model za PQ kontrolu punjenja baterije. U nastavku će biti objašnjene komponente koje su korištene u svrhu zaštite od preopterećenja.

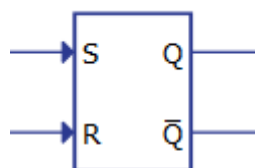
Želimo omogućiti punjenje baterije kada ona nije napunjena i onemogućiti punjenje kada je ona napunjena. Prvi element koji se spaja je komparator prikazan slikom 2.26. Izlazna vrijednost komparatora će biti 0 ili 1 ovisno o invertiranju i neinvertiranju ulaznih signala.



**Comparator1**

## 2.26. Komparator

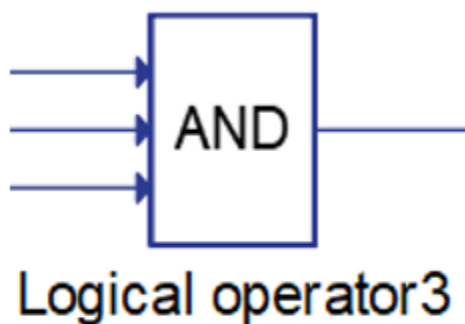
Jedan komparator (comparator1) će uspoređivati nižu razinu napona baterije s izmjerenim naponom, a drugi (comparator2) će uspoređivati višu razinu napona baterije s mjerenim naponom. Nominalna vrijednost napona baterije je 700 V pa tako za nižu razinu napona se stavlja konstanta s vrijednosti 717 V spojenu na „+“ ulaz komparatora. Za višu razinu napona spaja se konstanta s vrijednosti 725 V na „-“ ulaz drugog komparatora. Na preostale ulaze u komparatore se dovodi mjereni napon sa DC strane, odnosno s naponskog mjernog uređaja  $V_{dc}$ . Na izlaz iz oba komparatora se spaja SR Flip Flop komponenta prikazana slikom 2.27.



**SR Flip Flop1**

**Slika 2.27.** *SR Flip Flop* komponenta

Ako je baterija slabo napunjena komparator 1 će okinuti i Q izlaz *SR Flip Flopa* će biti logička 1. a invertirani  $\bar{Q}$  će biti 0. S komparatorom 2 resetiramo stanje tako da invertirani Q bude 1, a Q bude 0. Kako bi to postigli trebao upotrijebiti nekoliko logičkih operatora, a jedan od njih je prikazan slikom 2.28.



**Logical operator**

Applies the selected logical operator to the input signals.

**Component properties**

Operator:

Number of inputs:

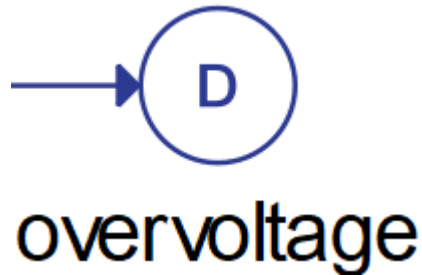
Execution rate:

**Slika 2.28.** Logički operator

Ovisno o potrebi u postavkama logičkog operatora možemo izabrati koji operator želimo i koliko ulaza želimo. Pa tako možemo odabrati između I, ILI, NE, isključivo ILI i sve druge logičke operatore. U ovome modelu će se koristiti tri I, jedan NE i jedan ILI logički operator. Kako bi mogli uključiti odnosno isključiti kontrolnu logiku korsitimo komponentu Scada input spojeno na svaki logički operator I. Ako je Enable (Scada input) ima vrijednost 0 logički operatori neće funkcionirati jer je 0 prisutna na ulazima u njih.

Izlaz OR logičkog operatora će usključivati i isključivati pretvarač pa u tu svrhu koristimo Goto (*enable*) komponentu. Kako bi mogli promatrati neke digitalne veličine koristimo *Digital probe* prikazan slikom 2.29.





**Slika 2.29.** *Digital probe*

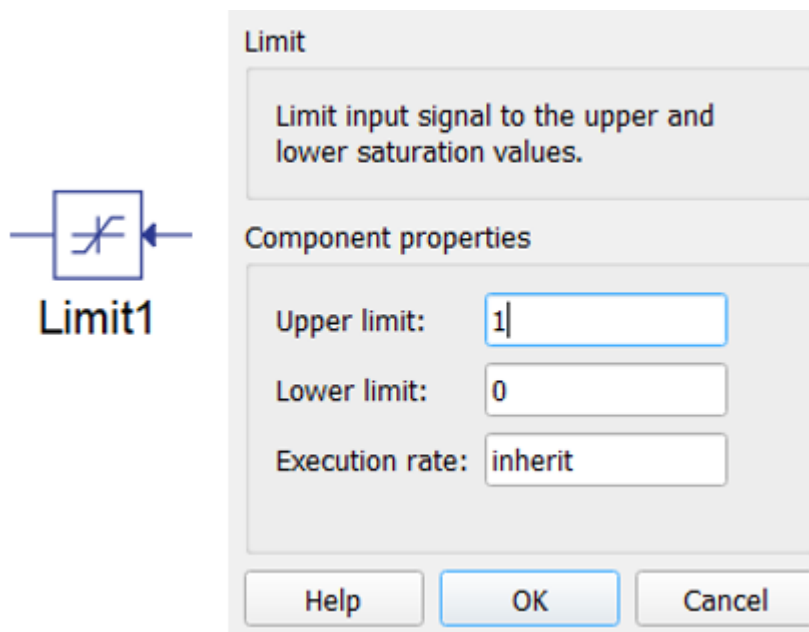
*Digital probe* je komponenta slična komponenti Probe koja je prikazana slikom 2.10. ali razlika je u tome što Digital probe dodaje signal popisu digitalnih signala u HIL SCADU, dok komponenta Probe popisu analognih signala. Ako je ulaz vektor SCADA će razdvojiti signal tako da svaki vektorski element bude dodijeljen zasebnom digitalnom kanalu.

Kako bi vidjeli moramo li napuniti ili isprazniti bateriju koristimo Sign komponentu prikazanu slikom 2.30. spojenu na postojeću referencu, a to je `id_ref`.



**Slika 2.30.** Sign komponenta

Sign komponenta radi tako da ako je signal na ulazu pozitivan na izlazu će biti 1, ako je signal na ulazu negativan na izlazu će biti -1, a ako je ulazni signal 0 i na izlazu će biti 0. U ovom modelu nam ne treba vrijednost -1 stoga koristimo komponentu Limit prikazanu slikom 2.31.



**Slika 2.31.** *Limit* komponenta

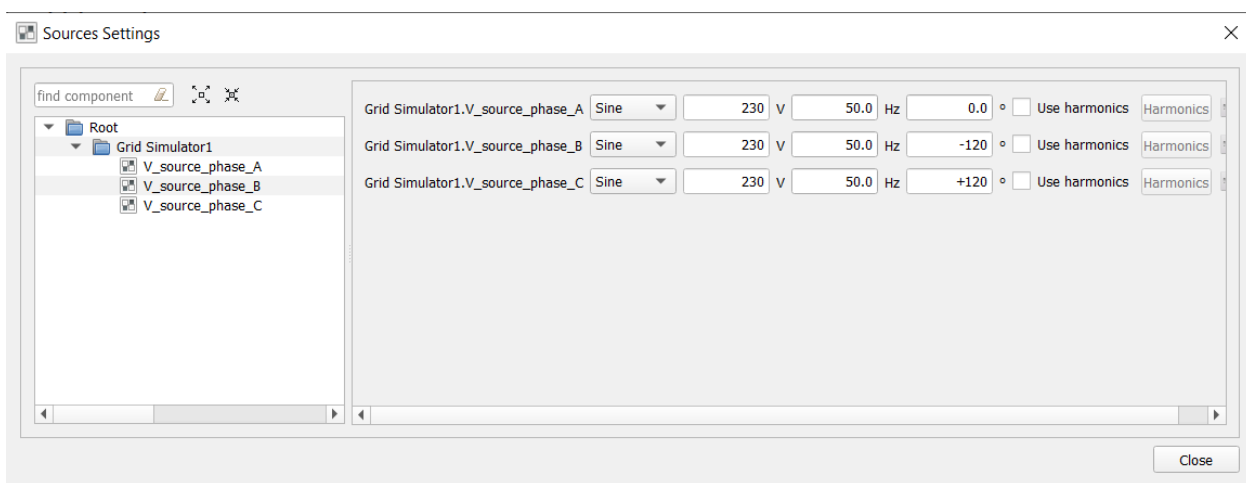
Limit komponenta ograničava gornju i donju vrijednost zasićenja. U ovom slučaju ne treba negativna vrijednost pa je gornja granica 1 a donja 0.

Nakon završenog modeliranja u *Schematic Editor*-u model kompajliramo, ukoliko je sve u redu i nema grešaka model će se automatski učitati u HIL SCADU.

### 3. HIL SCADA

HIL SCADA je programski alat Typhoon HIL-a čije nam relativno jednostavno i lako grafičko okruženje omogućava da stvorimo vlastito sučelje s modelom u stvarnom vremenu. Typhoon HIL koristi programski jezik Python, a unutar same HIL SCADA-e sve *widžete* možemo programirati pomoću ovog programskog jezika.[7]

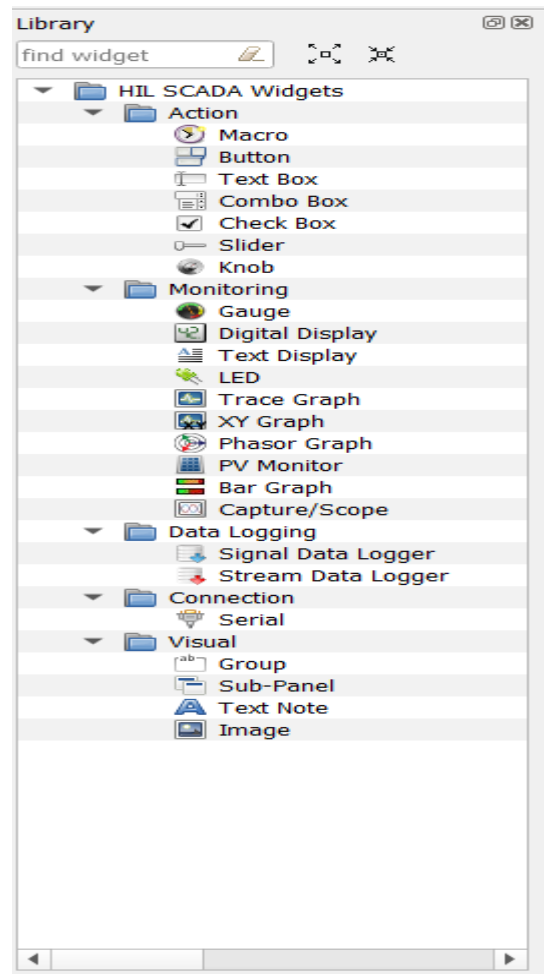
Nakon što se model učitao u HIL SCADU prvo se moraju definirati naponski izvori.



**Slika 3.1.** Definiranje naponskih izvora

Slika 3.1. prikazuje kako se definiraju naponski izvori. Potrebna je sinusna vrijednost napona pa moramo promijeniti vrstu izvora s konstantnog na sinusni. Također, za vrijednost svakog od 3 napona stavljamo 230V, a fazni pomak će za fazu A biti  $0^\circ$ , za fazu B  $-120^\circ$ , a za fazu C  $+120^\circ$ .

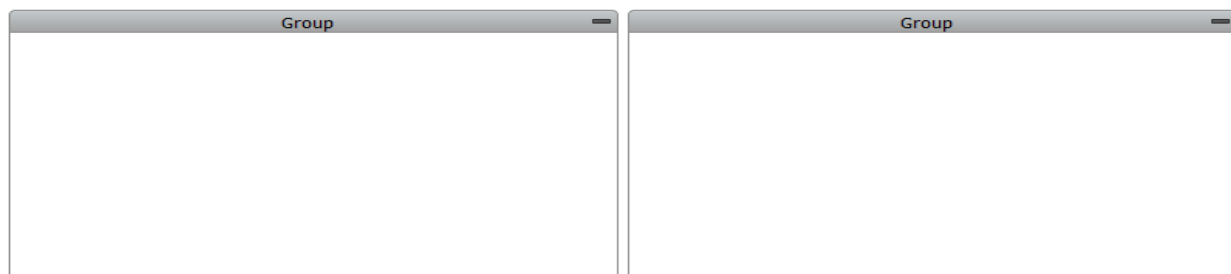
Nakon definiranja izvora stvara se novi panel.



**Slika 3.2.** Knjižnica HIL SCADA

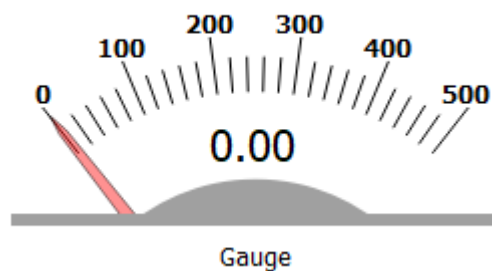
U knjižnici HIL SCADA prikazane slikom 3.2. mogu se pronaći svi dostupni *widgeti* koji su grupirani u nekoliko kategorija, ovisno o njihovoj funkciji.

Radi jednostavnijeg pregleda i kontrole panel HIL SCADA je podijeljen u dvije grupe, pa se u tu svrhu koristi *Group widget* prikazan slikom 3.3.



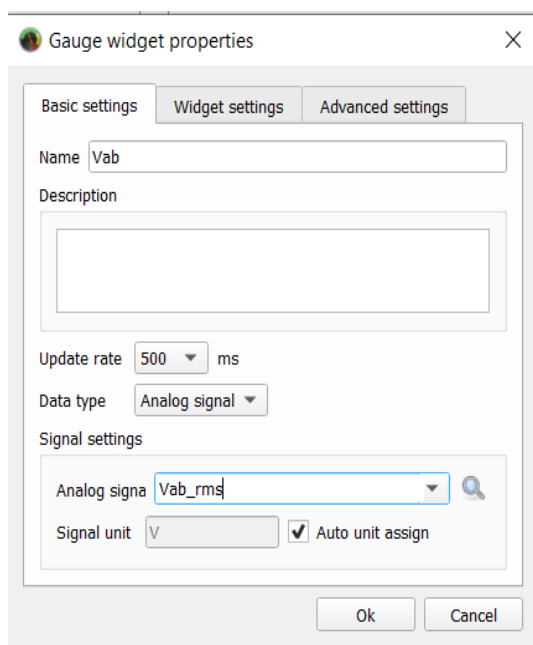
**Slika 3.3.** *Group widget*

Kako bi mogli promatrati struje i napone u mreži koristi se *widget Gauge* (mjerni instrument) prikazan slikom 3.4.



**Slika 3.4.** *Gauge widget*

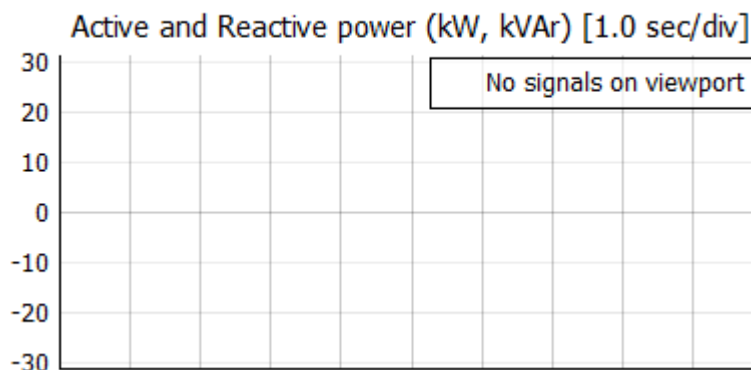
S obzirom da se želi promatrati efektivna vrijednost napona, odnosno napon između faza A i B i između faza B i C koriste se 2 ovakva *widgeta*. Signal koji želimo promatrati je analogan pa stoga u postavama *gauge widgeta* moramo odabrati koji signal želimo promatrati kao što je prikazano slikom 3.5.



**Slika 3.5.** Postavke *gauge widgeta*

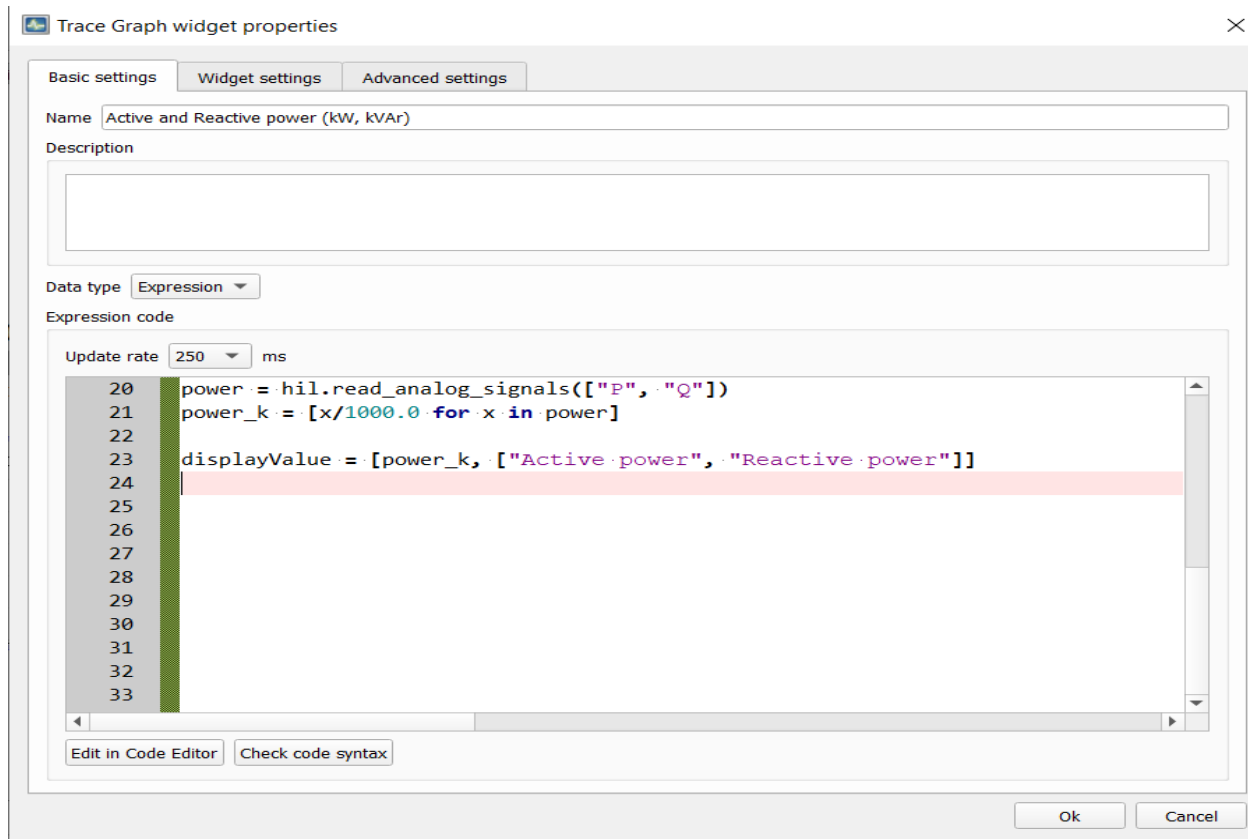
Također, u naprednim postavkama ovog *widgeta* moramo promijeniti skalu mjernog instrumenta na 500. Promatrati će se i struja kroz sve tri faze pa se će se i u tu svrhu koristiti ovi *widgeti*. Skala za strujne mjerne instrumente je postavljena na 50. Ovdje se također promatraju analogni signali pa se mora odabrati za svaku fazu koji signal se želi promatrati.

U svrhu promatranja toka snage u mreži koristi se *widget Trace graph* (grafikon praćenja) prikazan slikom 3.6. Promatrat će se aktivna i reaktivna snaga koju mjerimo s komponentom *Power meter* prikazanu slikom 2.13.



**Slika 3.6.** *Trace graph widget*

U postavkama ovog *widgeta* za tip signala odabiremo *Expression*. Ovim odabirom otvara se prozor u kojeg se zapisuje kod u Pythonu kako je prikazano slikom 3.7.



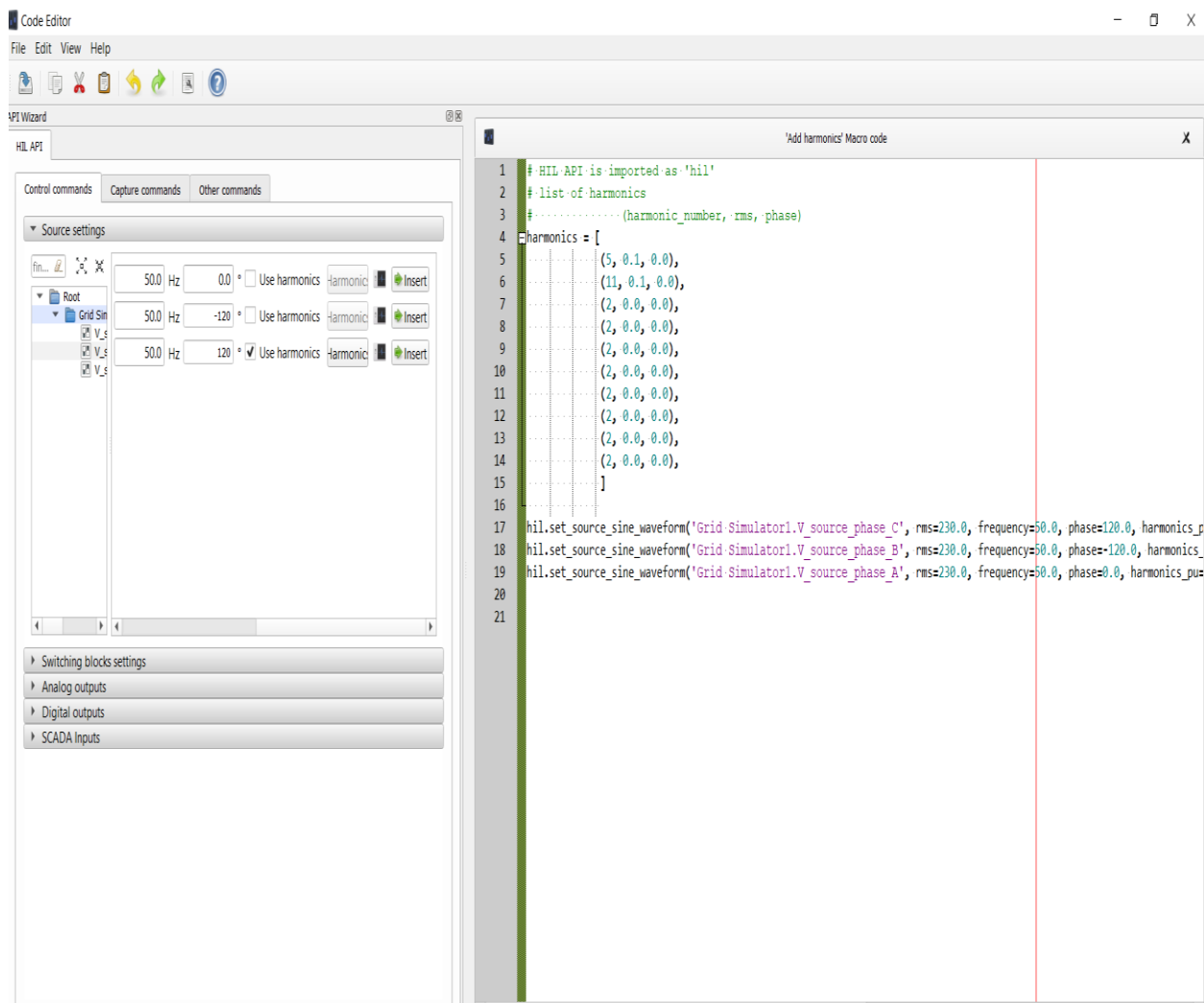
**Slika 3.7.** Postavke *Trace graph widgeta*

U prvoj liniji koda uvodi se nova varijabla nazvana „power“ koja omogućava promatranje aktivne i reaktivne snage. Signali snage su reda nekoliko kW pa ih u drugoj liniji koda dijelimo sa 1000 kako bi ih smanjili. U trećoj liniji koda se upisuju varijable koje će biti prikazane na grafu, kao što se vidi na slici 3.6. Također, u napredam postavkama smo isključili funkciju automatskog skaliranja i promijenili skalu grafa na -30 i 30.



**Slika 3.8.** *Button widget*

Kako bi injektirali harmonike u mrežu koristimo *button widget* prikazan slikom 3.8. Koristiti će se dva ovakva *widgeta*, jedan za injektiranje harmonika a jedan za vraćanje mreže u normalno stanje.



Slika 3.8. Postavke *button widgeta*

Kako bi mogli injektirati harmonike u *code Editoru* u postavkama *button widgeta* pod naponskim postavkama klikom na insert HIL SCADA automatski dodaje Python kod. Harmonici koji će se injektirati su 5. i 11. s vrijednostima 0.1 p.u.

Za kontrolu punjača koriste se *widgeti* u drugoj grupi, odnosno u grupi nazvanoj „*Battery storage unit*“.

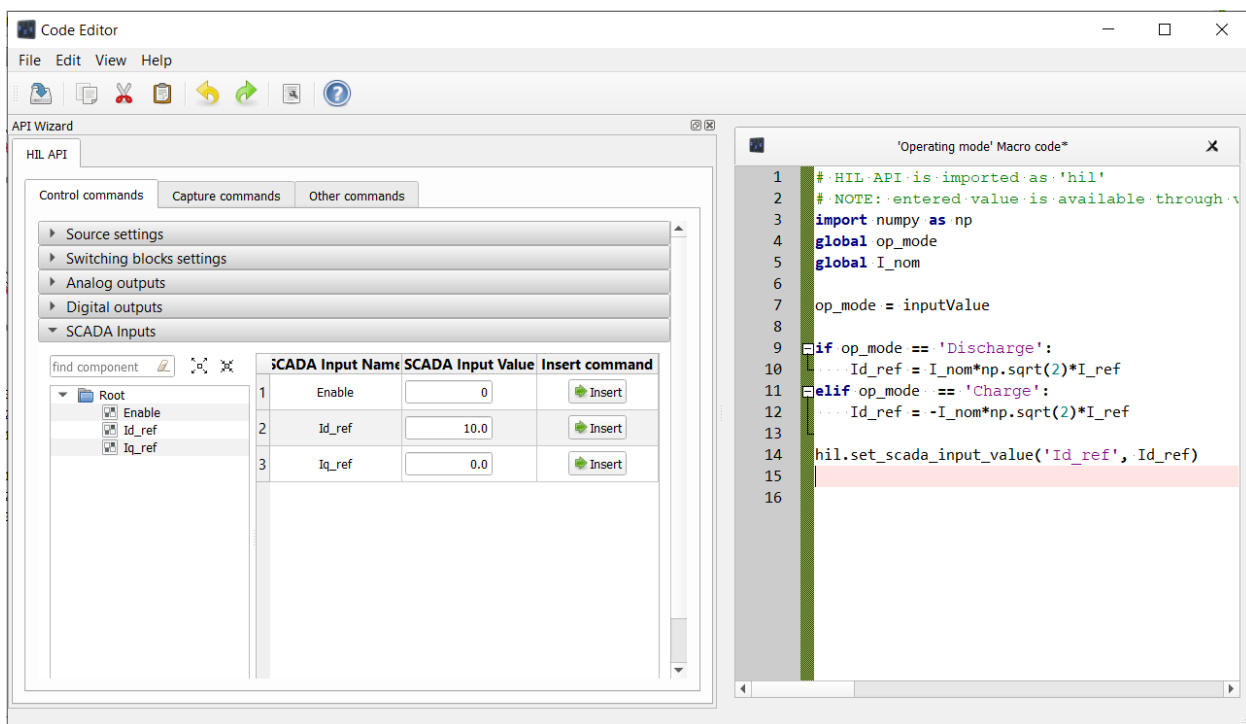
*Widget Combo Box* prikazan slikom 3.9. koristi se za pretvarač, odnosno on će uključivati i isključivati pretvarač.



Combo box Case ▾

Slika 3.8. Combo Box

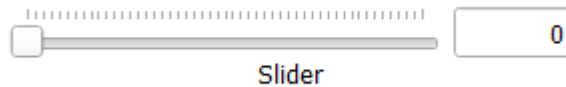
Koristi će se dva ovakva widgeta sa funkcijama *ON* i *OFF* kako bi mogli uključiti i isključiti pretvarač, a drugi s funkcijama *Charge* i *Discharge* s kojima možemo odrediti želimo li puniti ili prazniti bateriju. Kada je na funkciji *Charge* tada je tok snage od mreže prema bateriji, a kada je na *Discharge* tada je tok snage od baterije prema mreži.



Slika 3.9. Postavke Combo Box widgeta

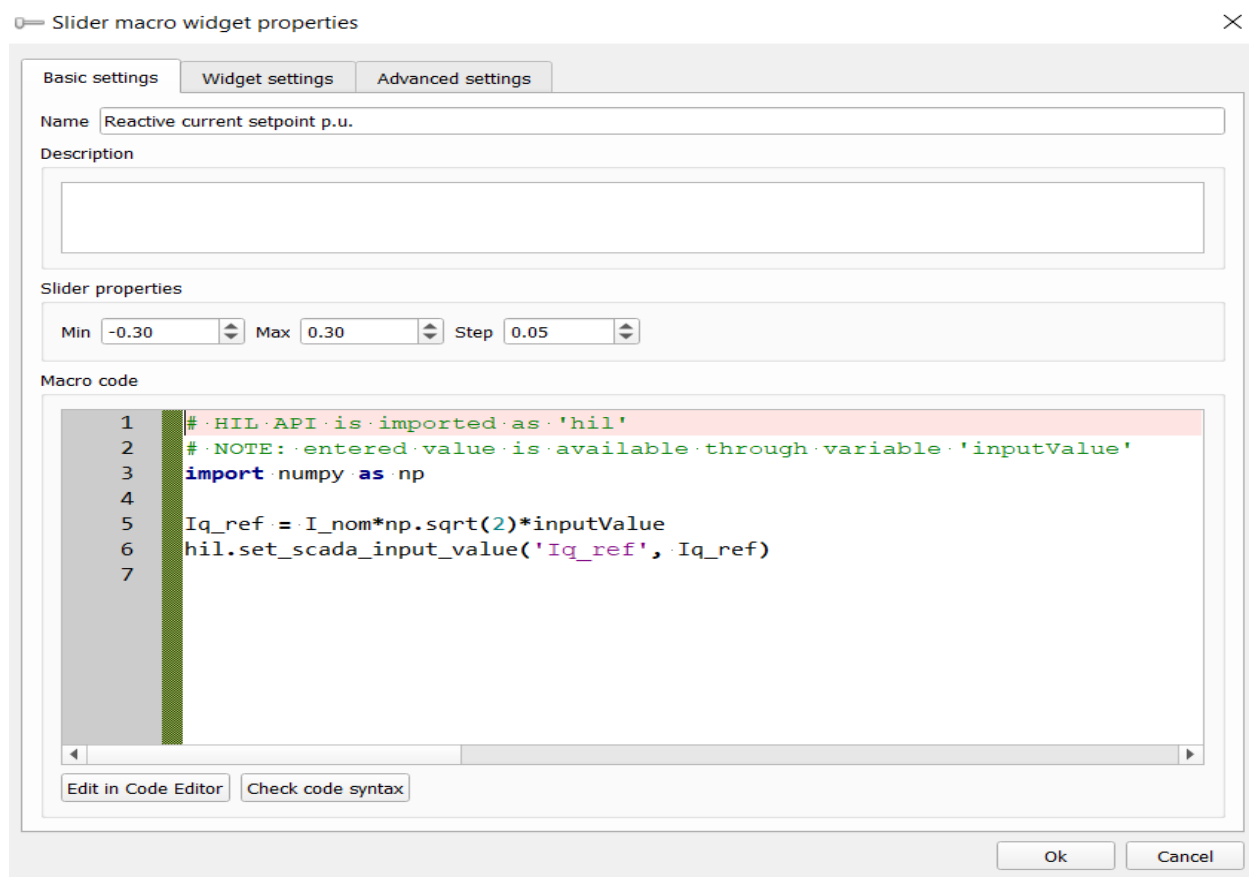
Slika 3.9. prikazuje postavke *Combo Box* widgeta gdje upisujemo kod kako bi uveli nove varijable. S obzirom da smo kod izrade modela koristili komponente *Scada input* koja dodaje signal u HIL SCADU. Prema slici se vidi da su sva tri signala dodana u Scadu. Za promjenu načina rada (*Operating mode*) potrebna je Id referenca, odnosno referenca djelatne snage, stoga se pritiskom na insert automatski unosi Python kod kako bi se ta referenca dodala u *widget*. Kako bi se tok snage mogao mijenjati jedna linija koda mora biti negativna.

Kako bi mogli promijeniti vrijednost snage u mreži koristi se *widget Slider* prikazan slikom 3.10



**Slika 3.10.** *Slider*

Koristiti će se dva ovakva *widgeta*. Jedan kako bi mogli mijenjati vrijednost struje punjenja i pražnjenja i jedan kako bi mogli mijenjati zadanu vrijednost reaktivne struje. Kod koji se koristi za ove *widgete* je gotovo identičan kao za prethodni *widget* prikazan slikom 3.9., osim što se za *widget* koji mijenja vrijednost reaktivne struje koristi Iq referenca.



**Slika 3.11.** Postavke *Slider widgeta*

Svakom se ovom *widgetu* može mijenjati minimalna i maksimalna vrijednost promjene kao i korak između promjene kao što prikazuje slika 3.11.

Kako bi definirali početne vrijednosti  $I_{nom}$  i  $I_{ref}$  koje se koriste za izračun efektivnih vrijednosti  $I_{q\_ref}$  i  $I_{d\_ref}$  koristi se SCADA *Panel Initialization* prikazana slikom 2.12. Efektivna vrijednost

struje punjenja/pražnjenja kao i reaktivna struja mijenjaju se ovisno o pomaku *widgeta Slider*. Stoga, prema formuli iz widgeta:

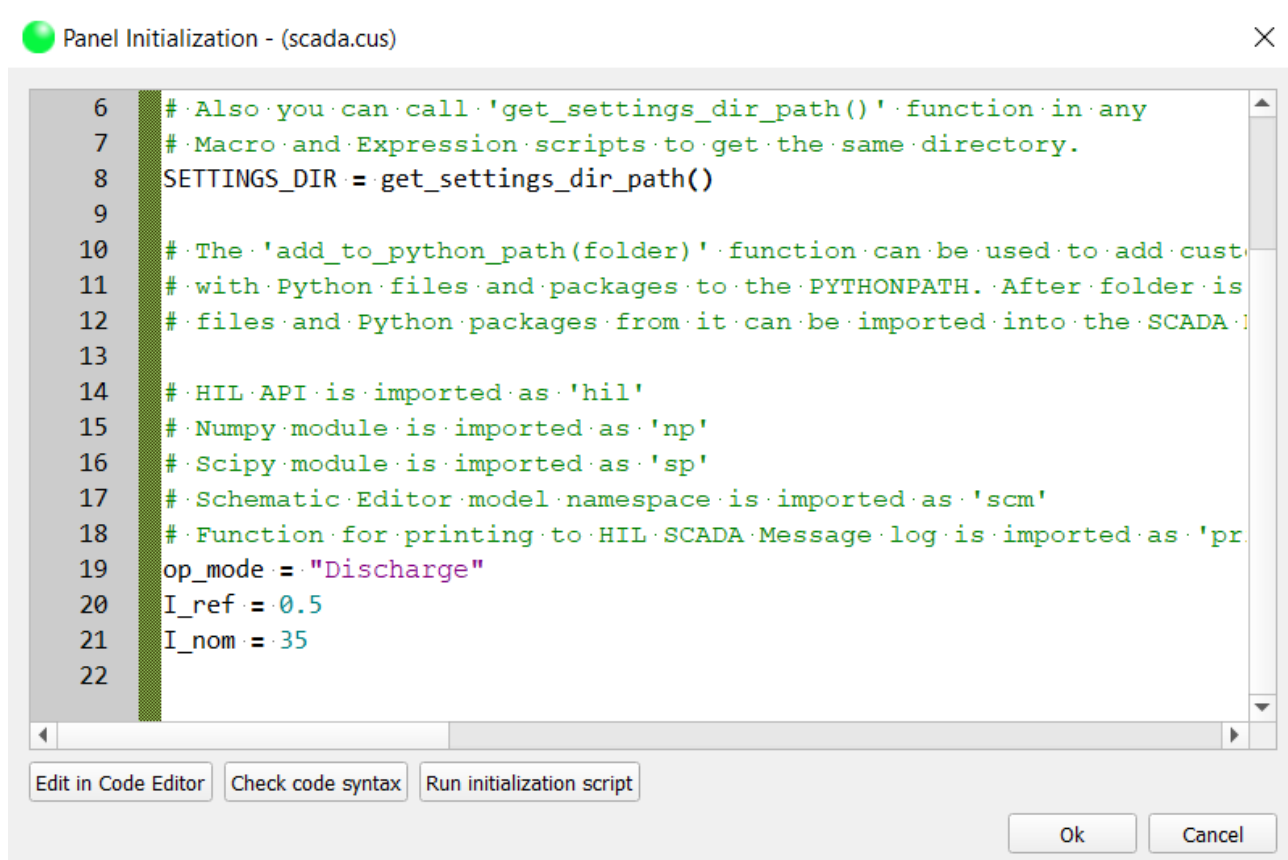
$$I_{q\_ref} = I_{nom} * np.sqrt(2) * inputValue \quad (3-1)$$

Gdje su:

- $I_{q\_ref}$  - referenca reaktivne struje,
- $I_{nom}$  - nominalna vrijednost zadana u *SCADA Panel Initialization*,
- $np.sqrt(2)$ -  $\sqrt{2}$
- $inputValue$  - pomak *widgeta Slider*.

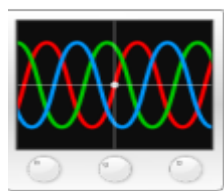
Tako npr. ako *Slider* pomaknemo za 0.1 i uvrstimo sve vrijednosti u formulu, dobit će se vrijednost reference reaktivne struje:

$$I_{q\_ref} = 35 * \sqrt{2} * 0.1 = 4,9497 \quad (3-2)$$



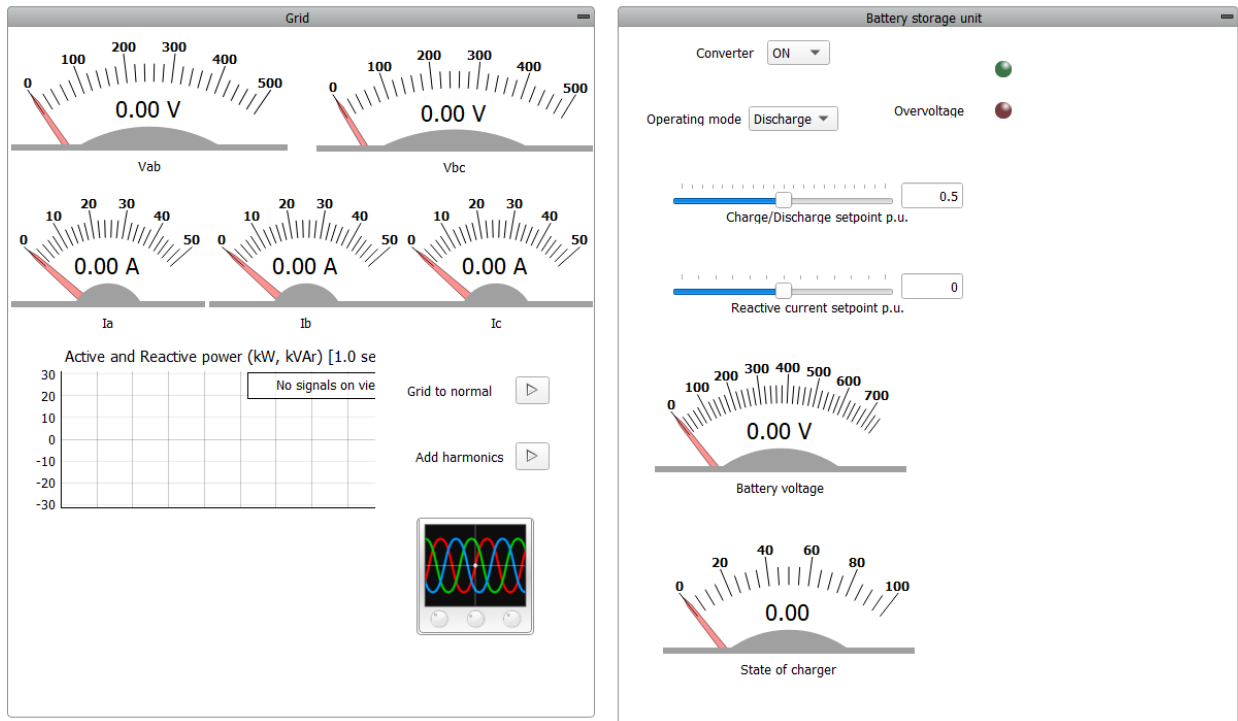
**Slika 3.12.** SCADA Panel *Initialization*

Kako bi mogli uhvatiti željeni prikaz na grafu koristimo komponentu *Capture/Scope* prikazanu slikom 3.13.



**Slika 3.13.** *Capture/Scope* widget

Nakon što su svi *widgeti* postavljeni sve je spremno za simulaciju, a konačan izgleda Panela HIL SCADA prikazan je slikom 3.14.



**Slika 3.14.** Konačan izgled HIL SCADE

## 4. SIMULACIJA

Na modelu koji je obrađen u drugom poglavlju u HIL SCAD-i će se odrediti utjecaj viših harmonika, povećanje struje punjenja/pražnjenja i reaktivne struje na efektivne vrijednosti napona i struje. Također, simulacija će se provoditi uz SOC od 100% i 80%.

### 4.1. Scenarij A

Scenarij A će se provoditi kada je parametar baterije SOC 80%. Simulacija će se provoditi kroz 9. slučajeva pomicanjem *widgeta Slider* odnosno, promjenom struje punjenja/pražnjenja i reaktivne struje. Također, za svaki slučaj promatrat će se efektivne vrijednosti struje i napona u normalnom stanju mreže kao i kada se injektiraju harmonici. Promatrati će se valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  kada u mrežu injektiramo harmonike. Tok struje punjenja/pražnjenja odnosno aktivne snage ovisi o tome dali je pretvarač u stanju punjenja ili pražnjenja. Ako je pretvarač u stanju punjenja tok snage je od mreže prema pretvaraču i imati će negativan predznak, a ako je pretvarač u stanju pražnjenja tok aktivne snage je od pretvarača prema mreži i imati će pozitivan predznak. Tok reaktivne struje ne ovisi o pretvaraču, on može biti pozitivan ili negativan u bilo kojem trenutku. Ako je reaktivna snaga negativnog predznaka tada ima kapacitivni karakter, a kada je pozitivnog predznaka ima induktivni karakter.

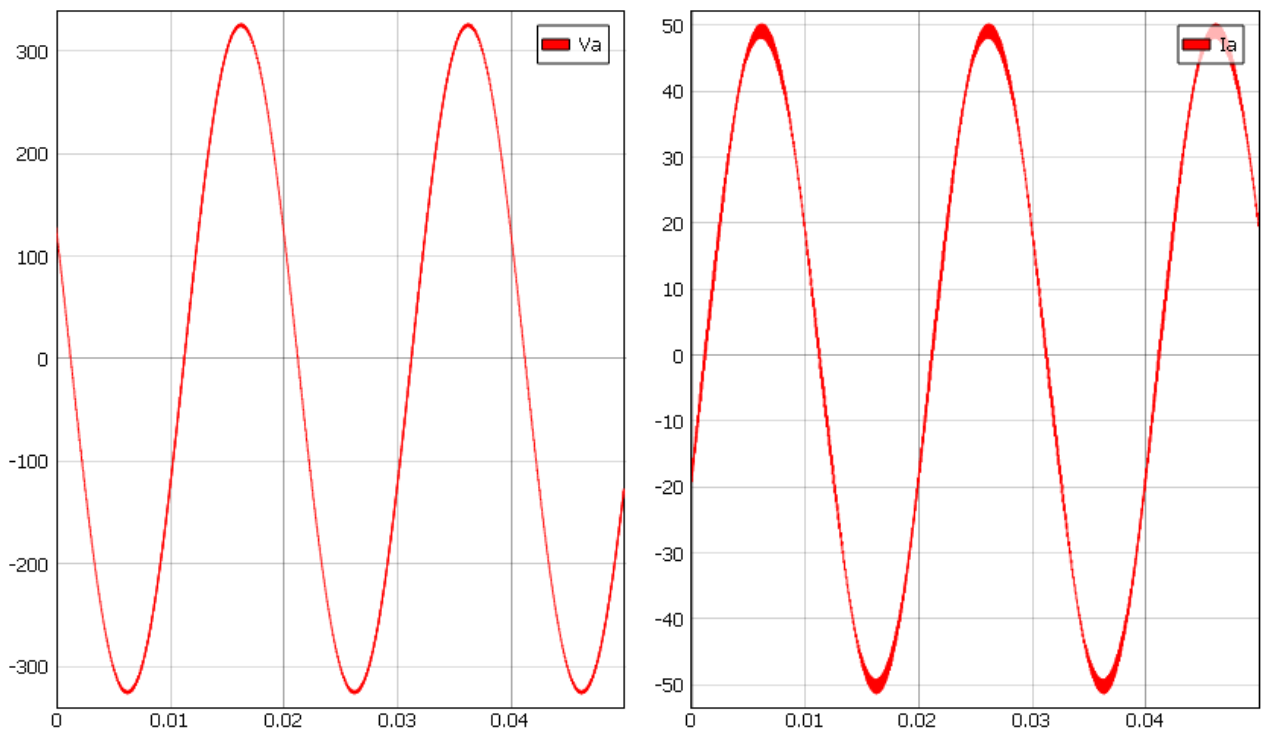
#### 1. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: 0

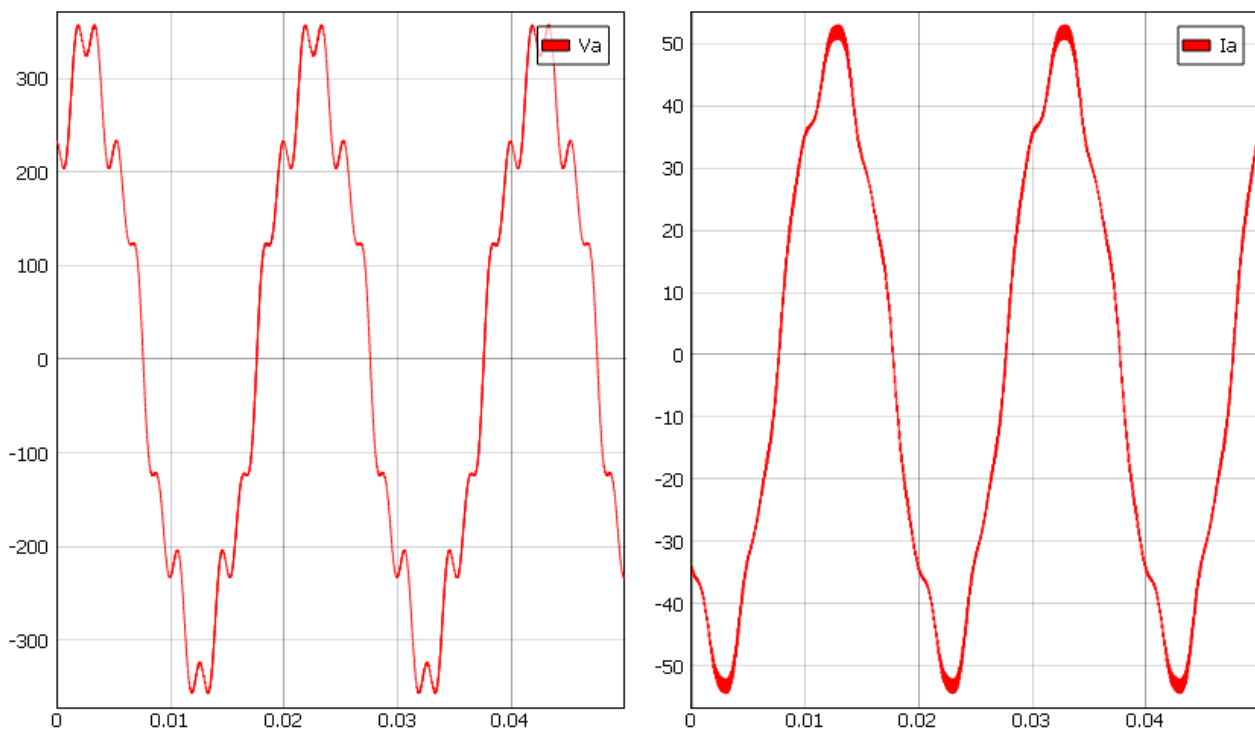
Prvi slučaj provoditi će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0, što predstavlja 0 kVAr reaktivne snage.

**Tablica 4.1.** Promatrane vrijednosti za 1.slučaj

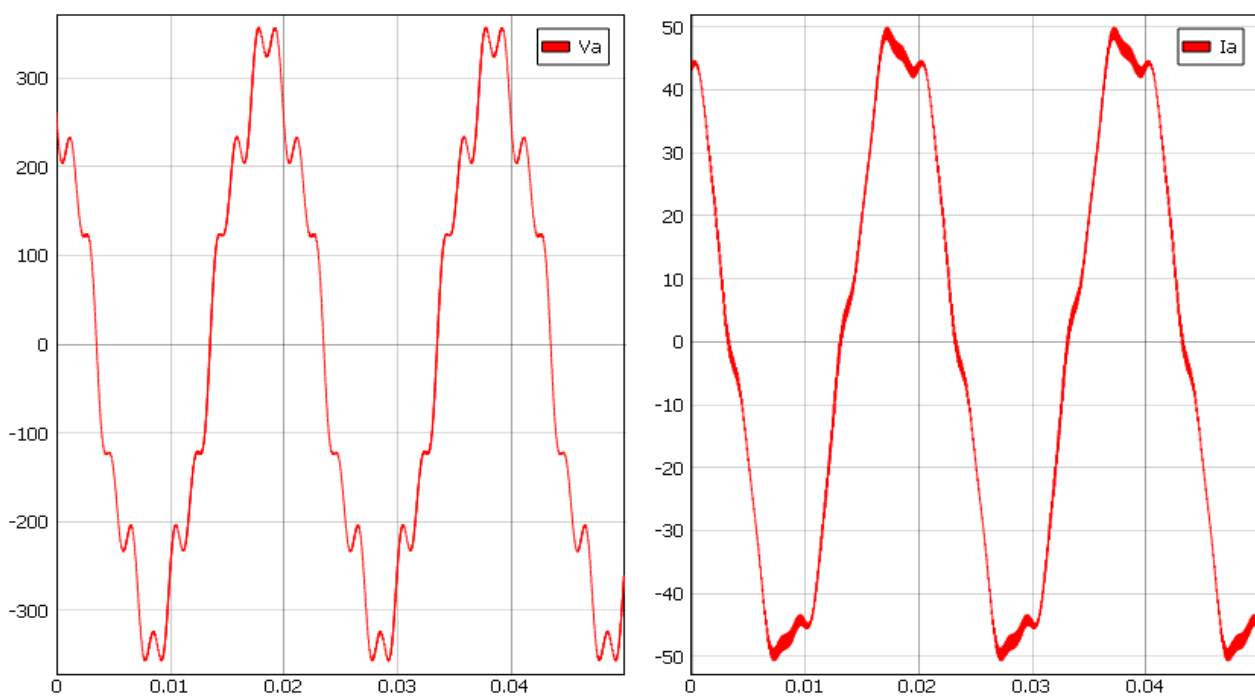
		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,26	398,26	35	35	35
	<b>Harmonici</b>	402,25	402,25	35,11	35,11	35,11
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,36	398,36	35	35	35
	<b>Harmonici</b>	402,28	302,28	35,13	35,13	35,13



**Slika 4.1.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  kada je mreža u normalnom stanju



**Slika 4.2.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.3.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja



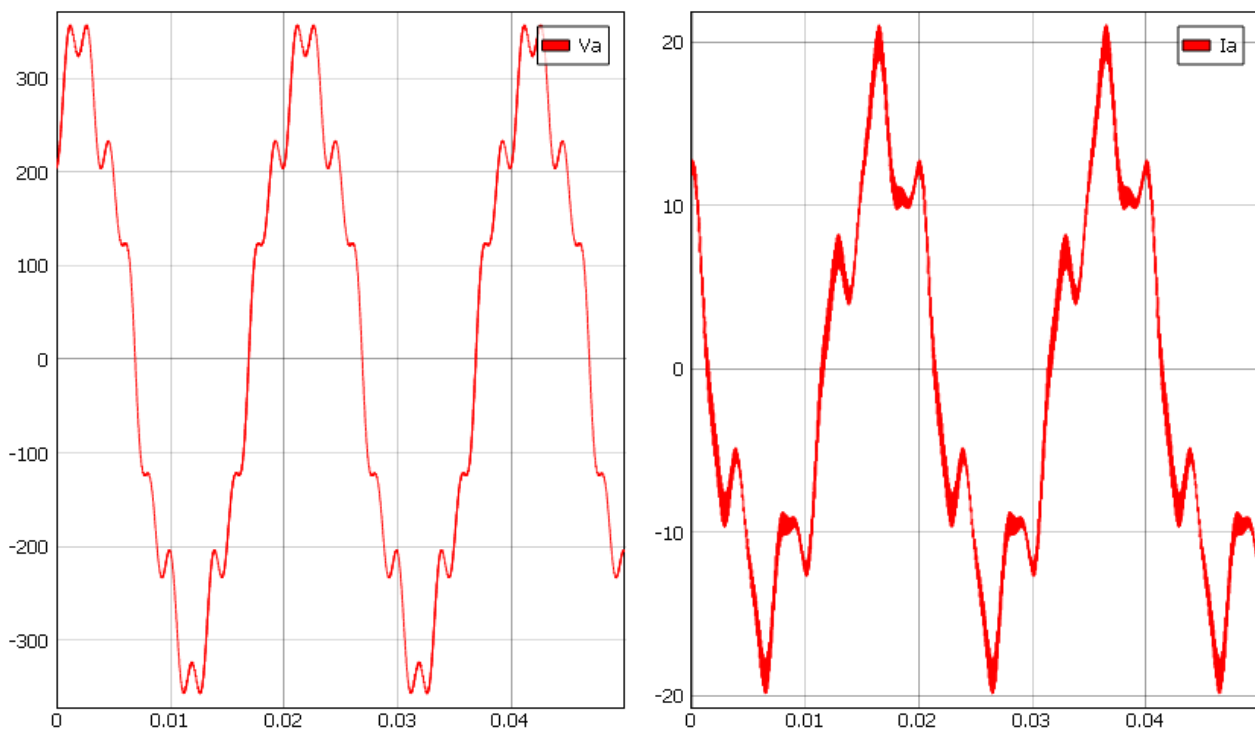
## 2. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0
- Reaktivna struja: 0.3

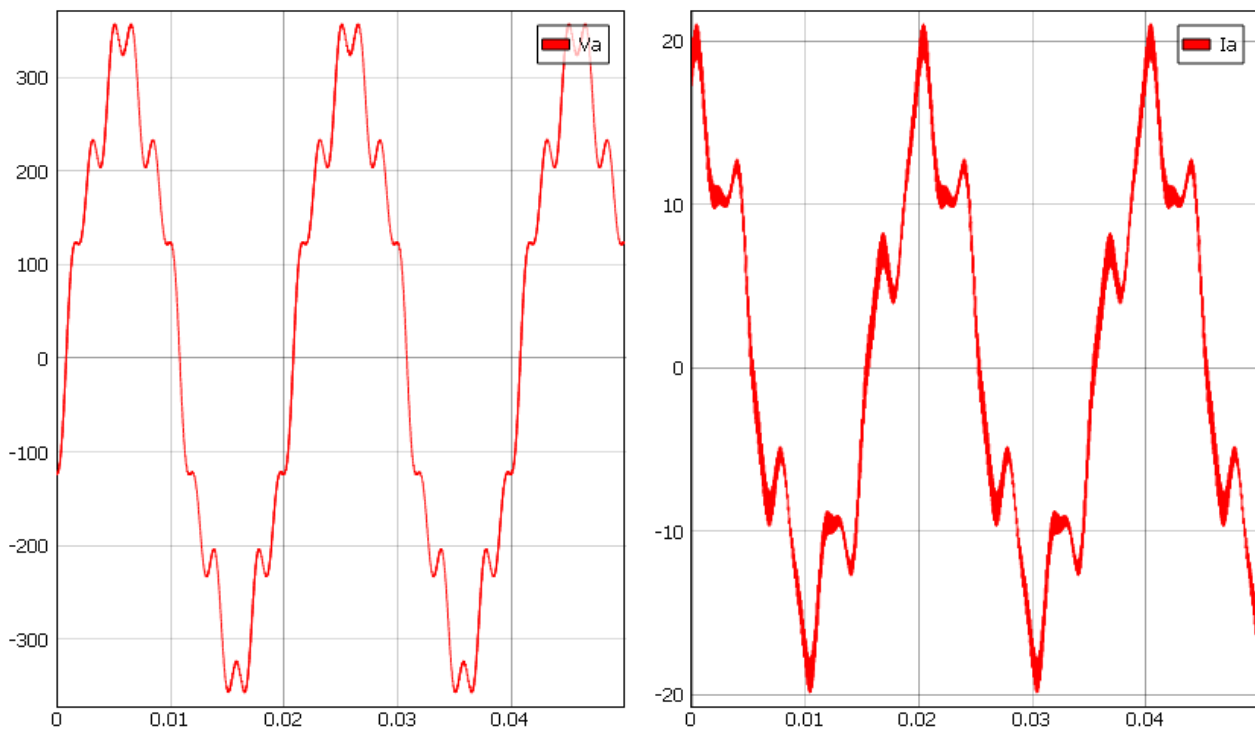
Drugi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0, što predstavlja 0 kW aktivne snage i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.2.** Promatrane vrijednosti za 2.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,12	398,12	10,5	10,5	10,5
	<b>Harmonici</b>	402,1	402,1	10,89	10,89	10,89
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,12	398,12	10,51	10,51	10,51
	<b>Harmonici</b>	402,10	402,10	10,89	10,89	10,89



**Slika 4.4.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.5.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

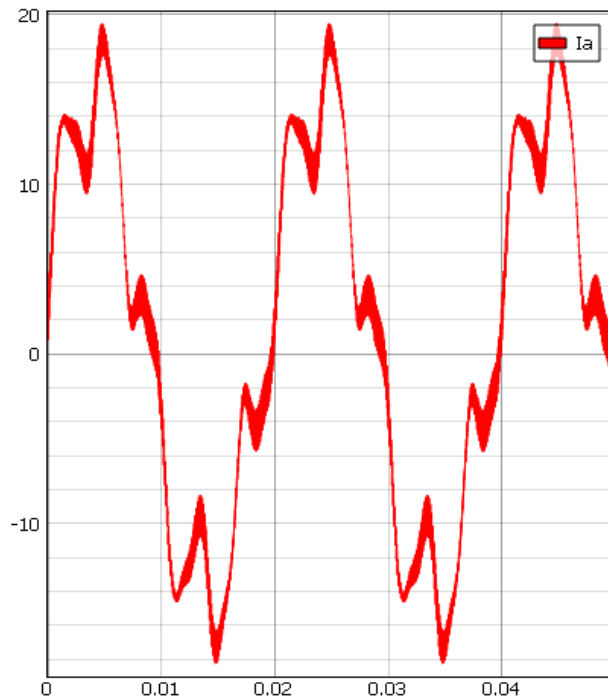
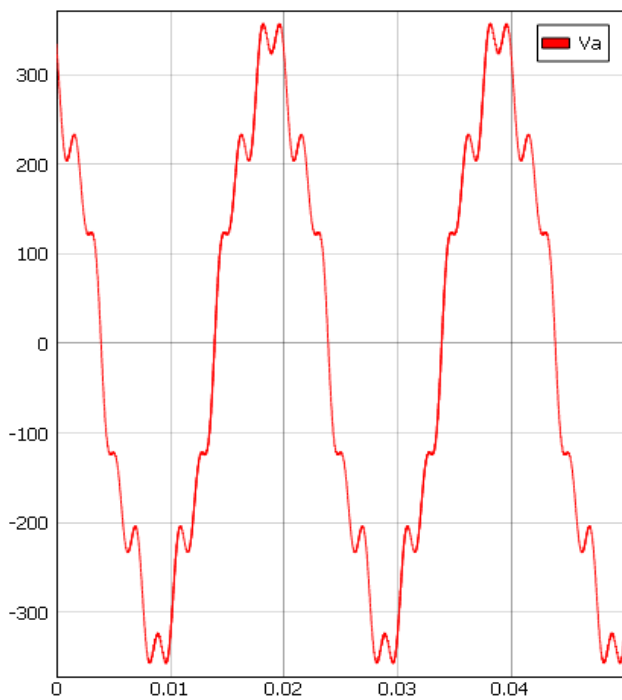
### 3. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0
- Reaktivna struja: -0.3

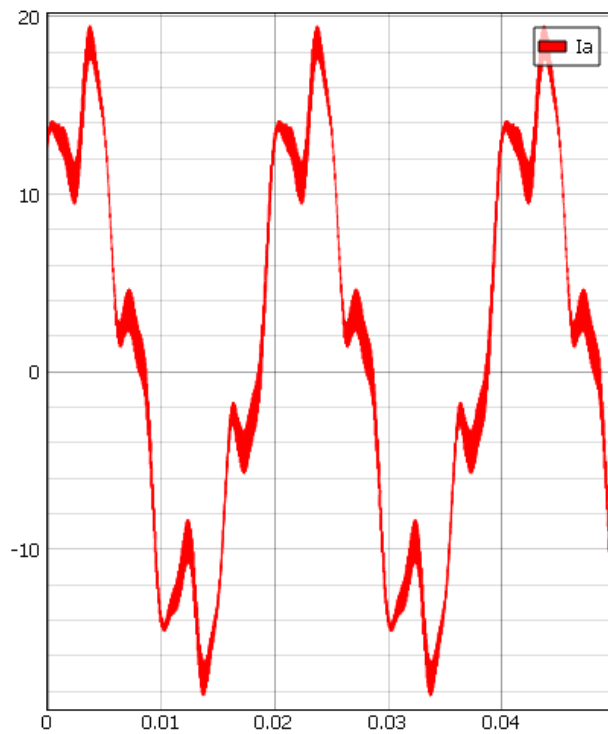
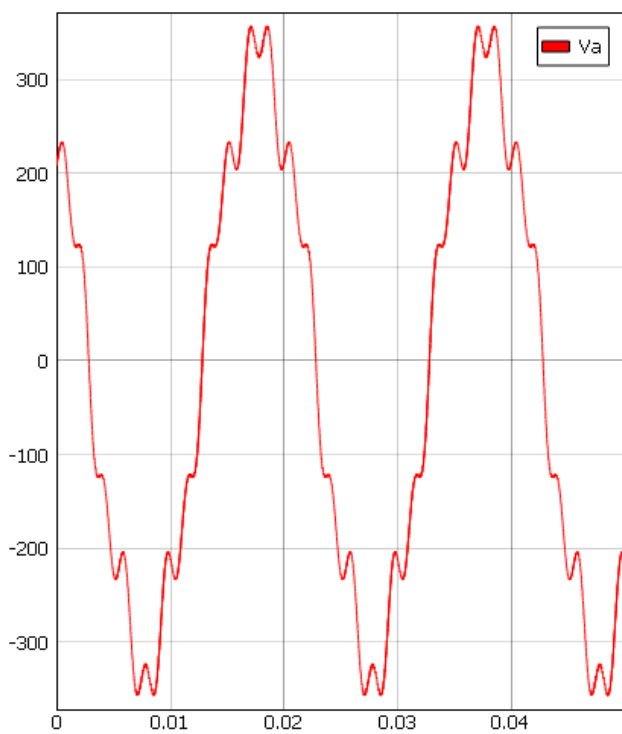
Treći slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0, što predstavlja 0 kW aktivne snage i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.3.** Promatrane vrijednosti za 3.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,47	398,47	10,51	10,51	10,51
	<b>Harmonici</b>	402,35	402,35	10,9	10,9	10,9
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,48	398,48	10,51	10,51	10,51
	<b>Harmonici</b>	402,35	402,35	10,9	10,9	10,9



**Slika 4.6.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.7.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

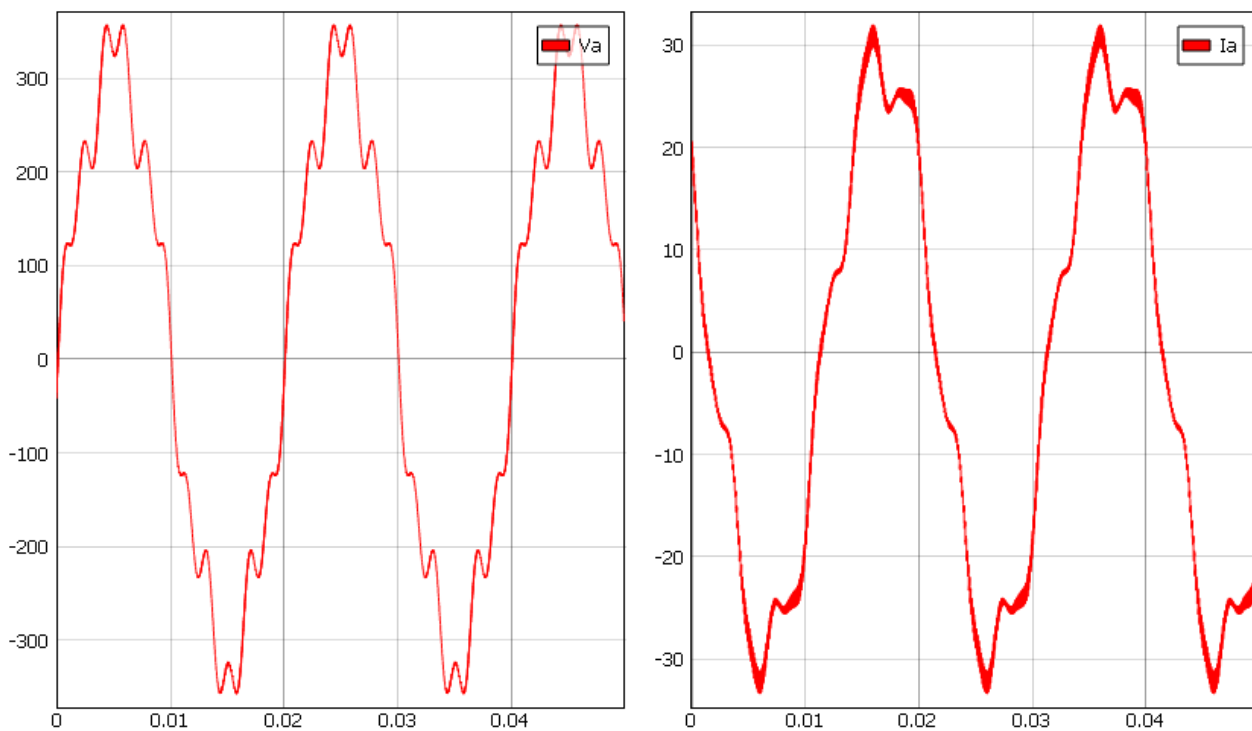
#### 4. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.5
- Reaktivna struja: 0.3

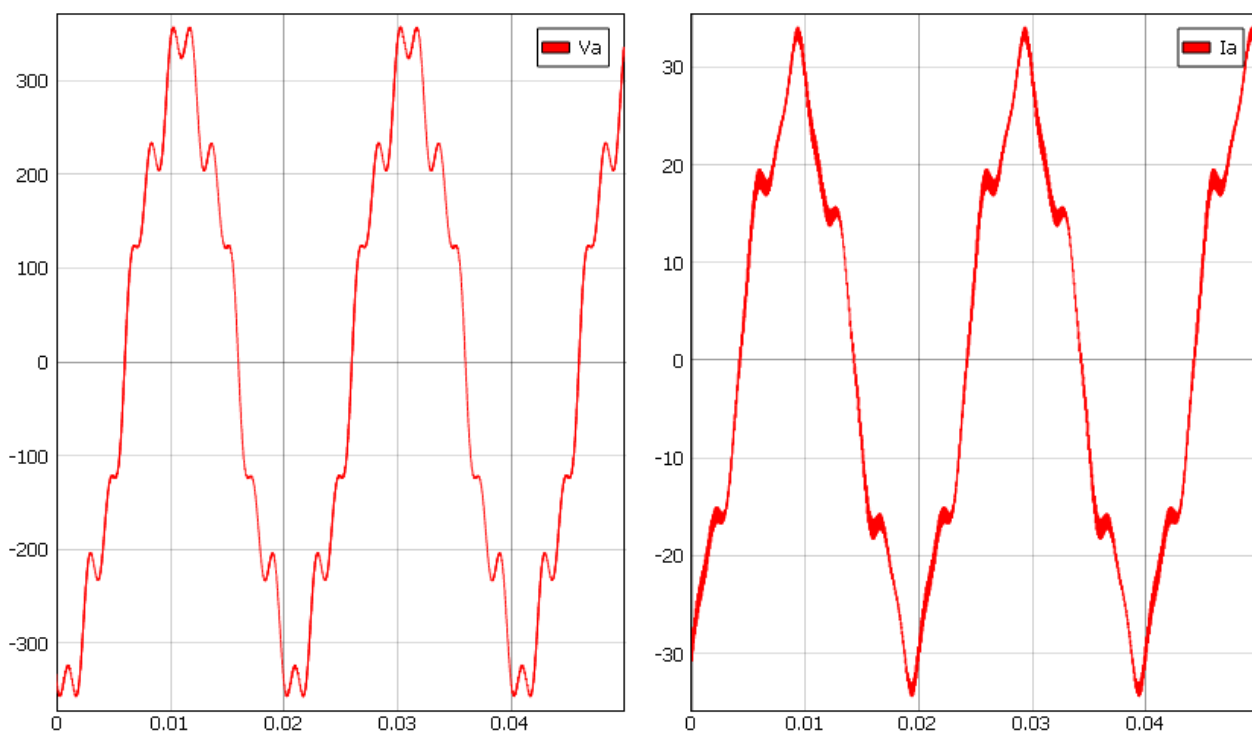
Četvrti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.5, što predstavlja 12 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -12 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.4.** Promatrane vrijednosti za 4.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,10	398,10	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,06	402,06	20,63	20,63	20,63
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,14	398,14	20,4	20,4	20,4
	<b>Harmonici</b>	402,12	402,12	20,6	20,6	20,6



**Slika 4.8.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.9.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

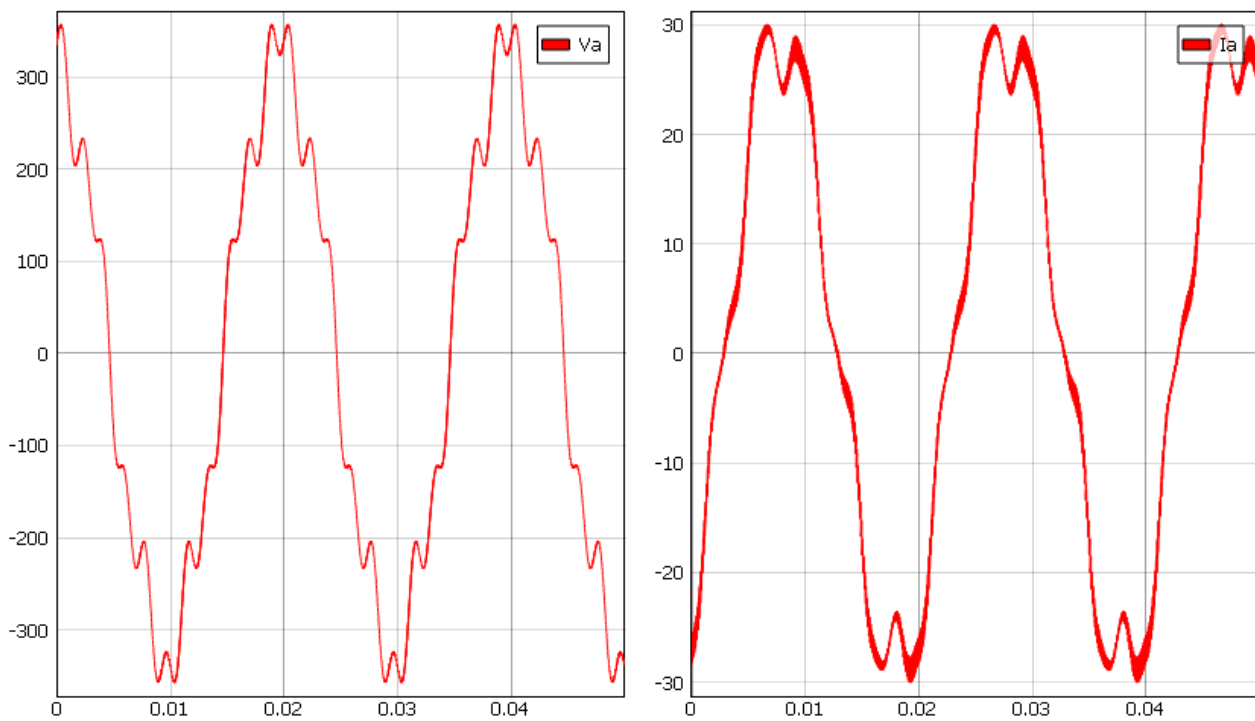
## 5. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.5
- Reaktivna struja: -0.3

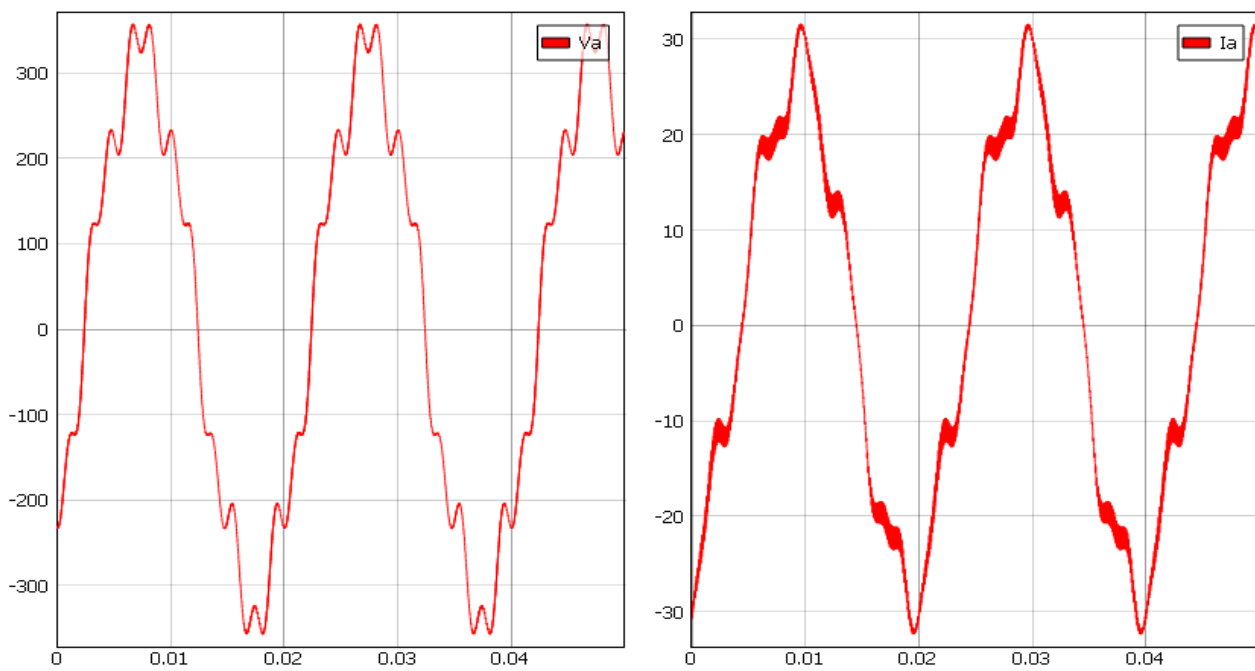
Peti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.5, što predstavlja 12 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -12 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera karaktera.

**Tablica 4.5.** Promatrane vrijednosti za 5.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,45	398,45	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,34	402,34	20,64	20,64	20,64
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,45	398,45	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,34	402,34	19,58	19,58	19,58



**Slika 4.10.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.11.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja



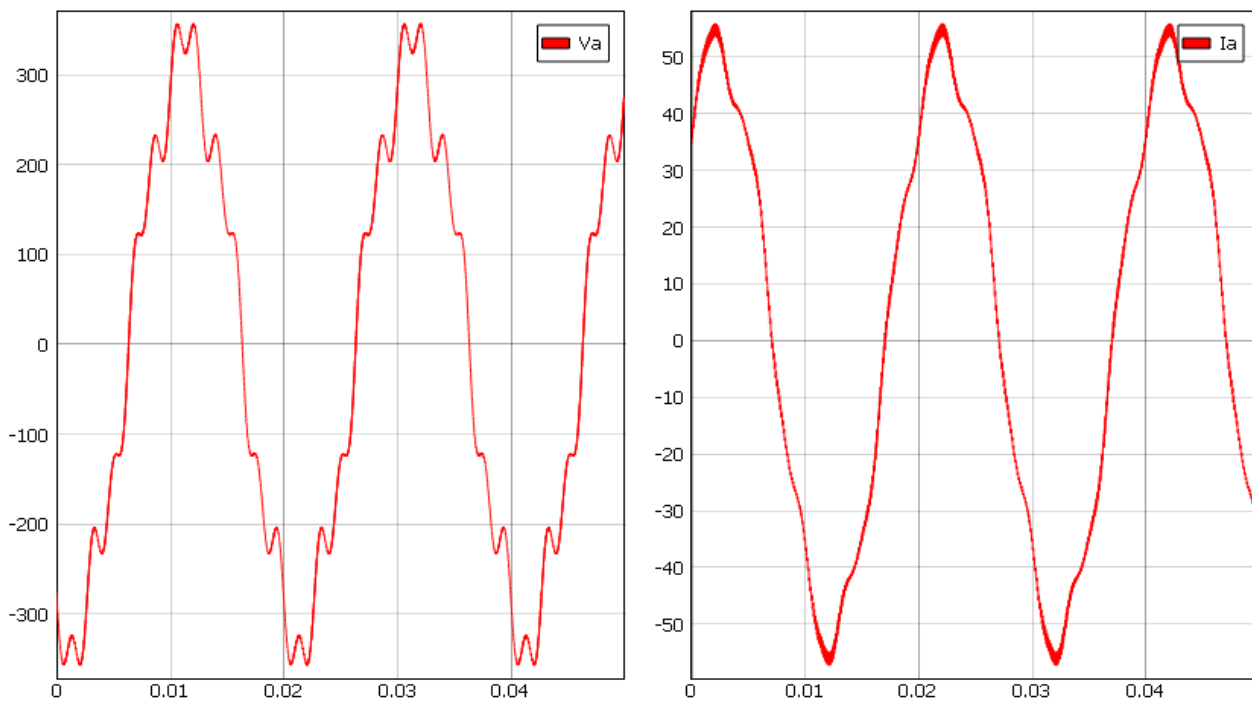
## 6. slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: 0.3

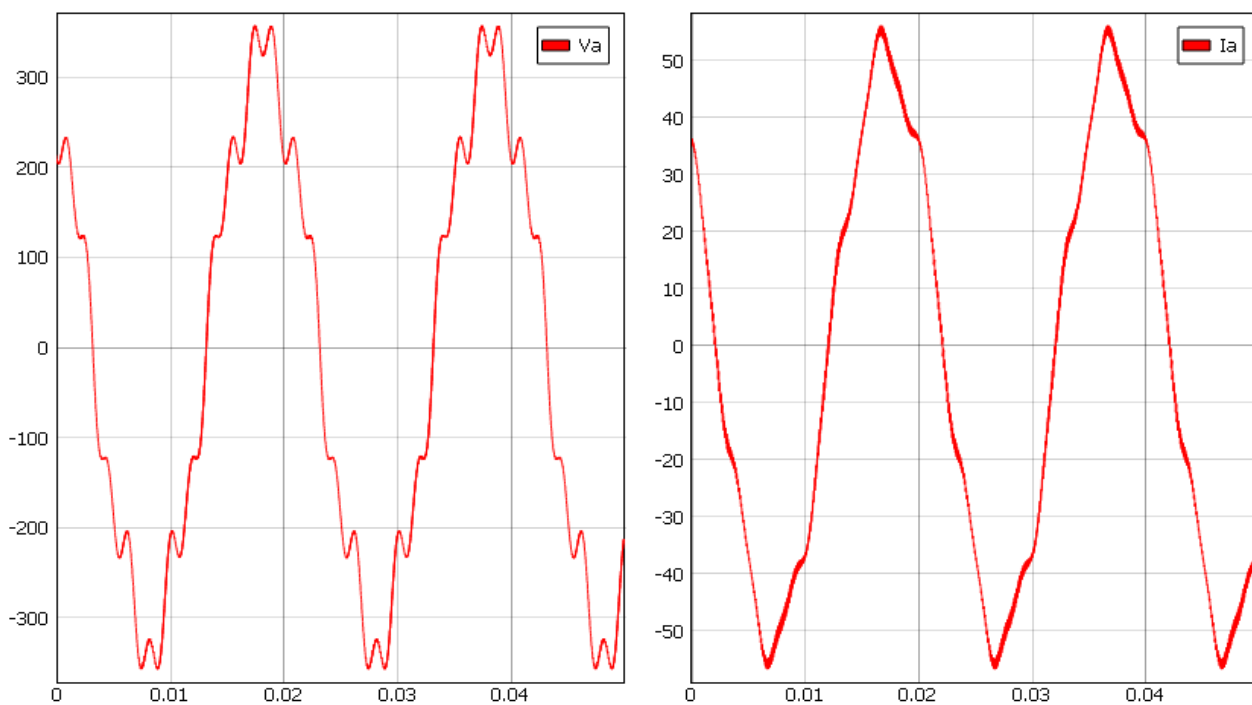
Šesti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.6.** Promatrane vrijednosti za 6.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,09	398,09	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	402,05	402,05	36,66	36,66	36,66
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,17	398,17	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	402,15	402,15	36,66	36,66	36,66



**Slika 4.12.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.13.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

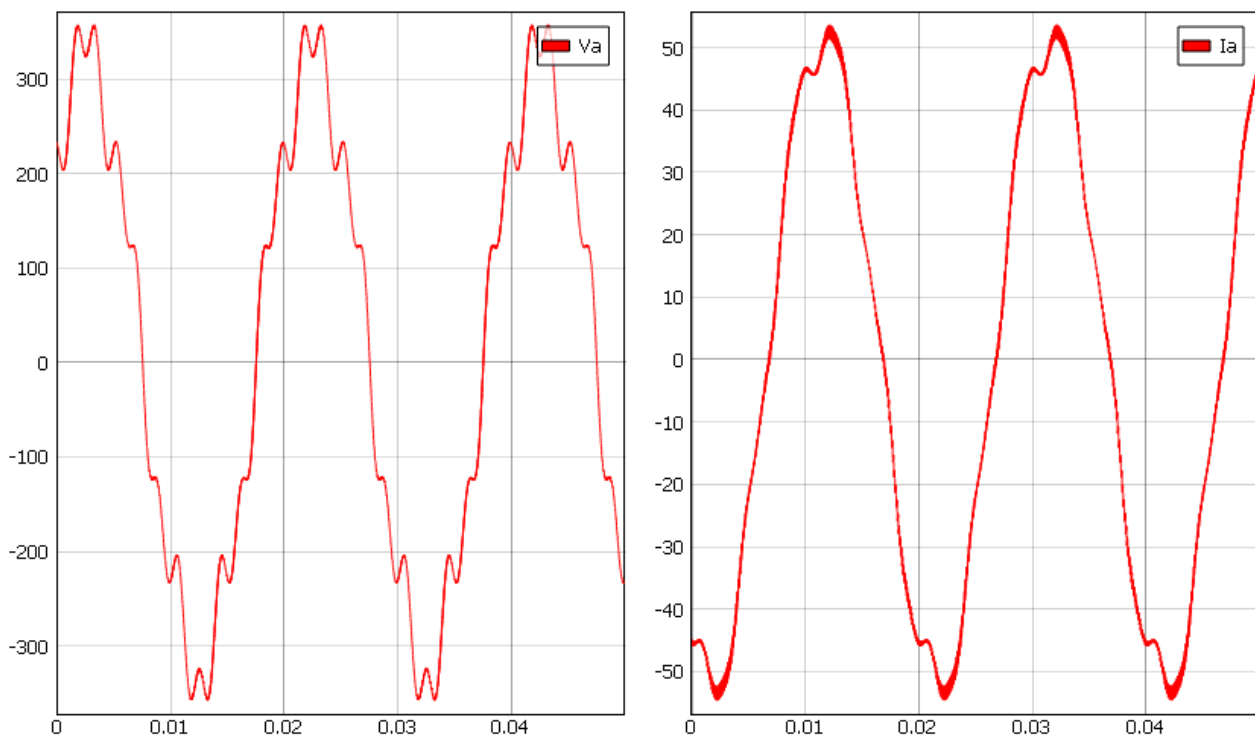
## 7. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: -0.3

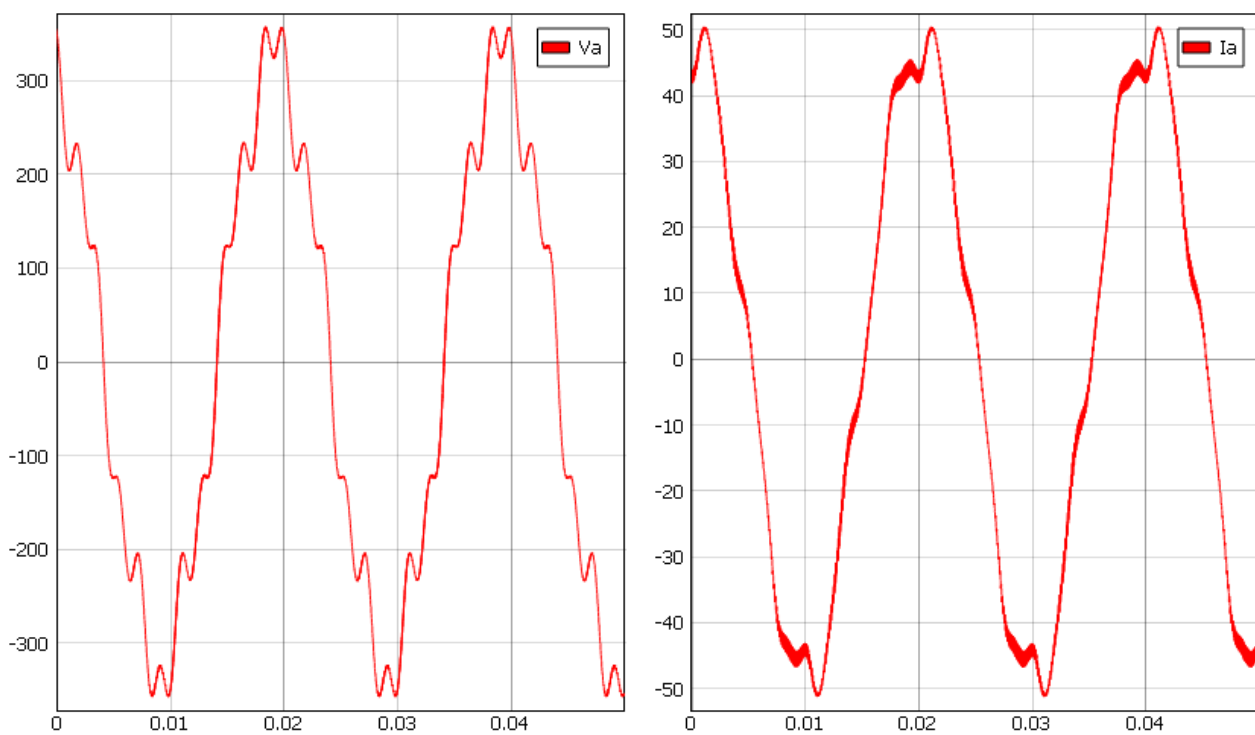
Sedmi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.7.** Promatrane vrijednosti za 7.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,44	398,44	36,55	36,55	36,55
	<b>Harmonici</b>	402,34	402,34	36,66	36,66	36,66
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,48	398,48	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	402,4	402,4	34,66	34,66	34,66



**Slika 4.14.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.15.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

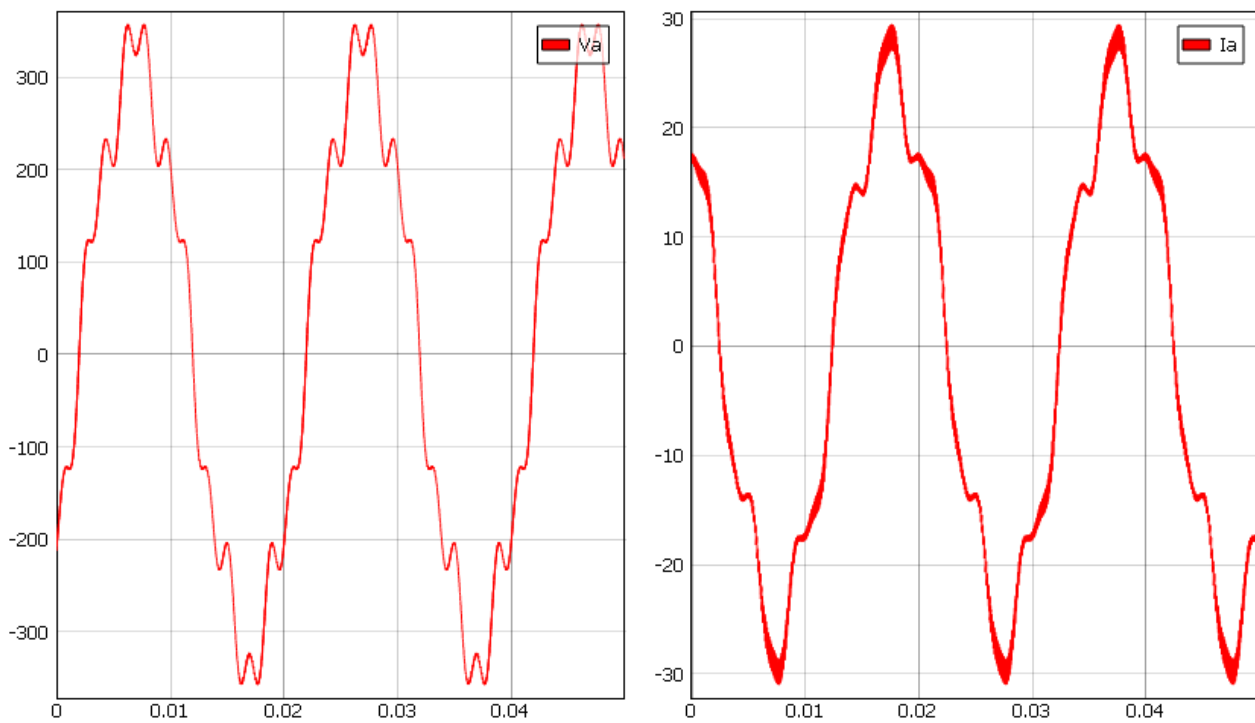
### 8. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.4
- Reaktivna struja: 0.1

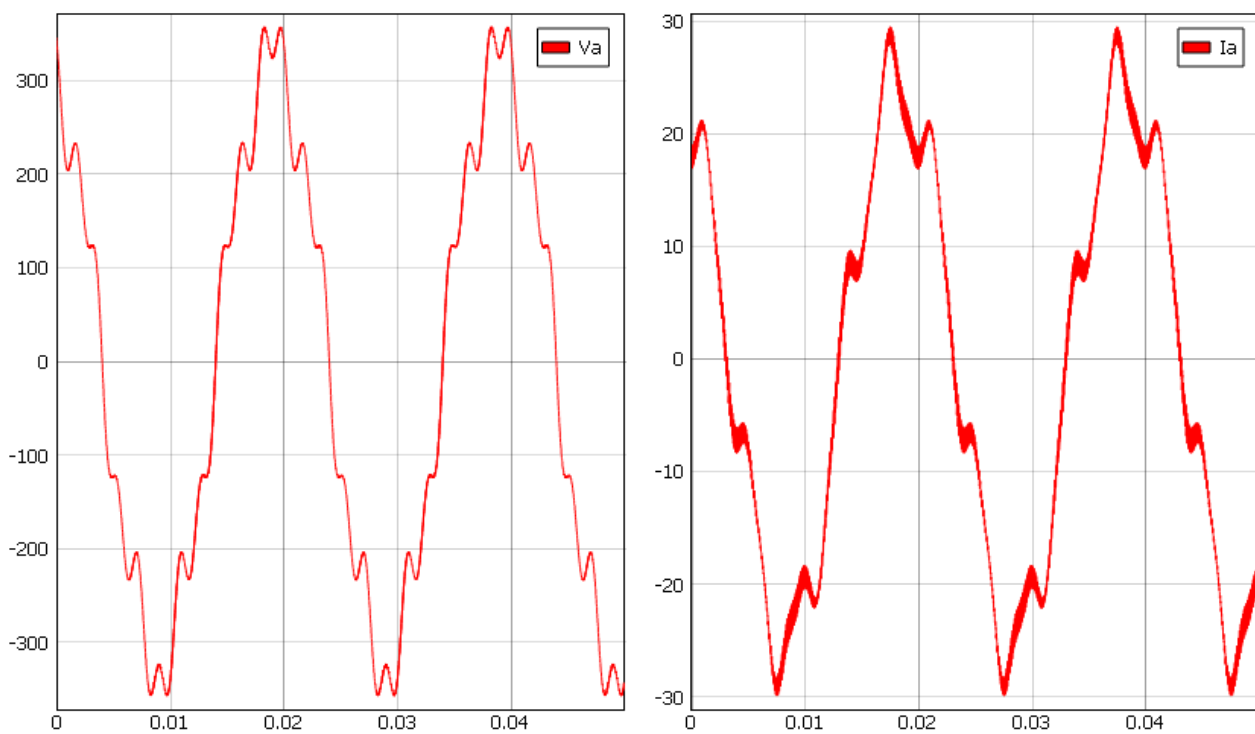
Osmi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.4, što predstavlja 9.6 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -9.6 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.1, što predstavlja -2.4 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.8.** Promatrane vrijednosti za 8.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,2	398,2	17,85	17,85	17,85
	<b>Harmonici</b>	402,19	402,19	18,08	18,08	18,08
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,27	398,27	17,86	17,86	17,86
	<b>Harmonici</b>	402,23	402,23	18,10	18,10	18,10



**Slika 4.16.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.17.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje

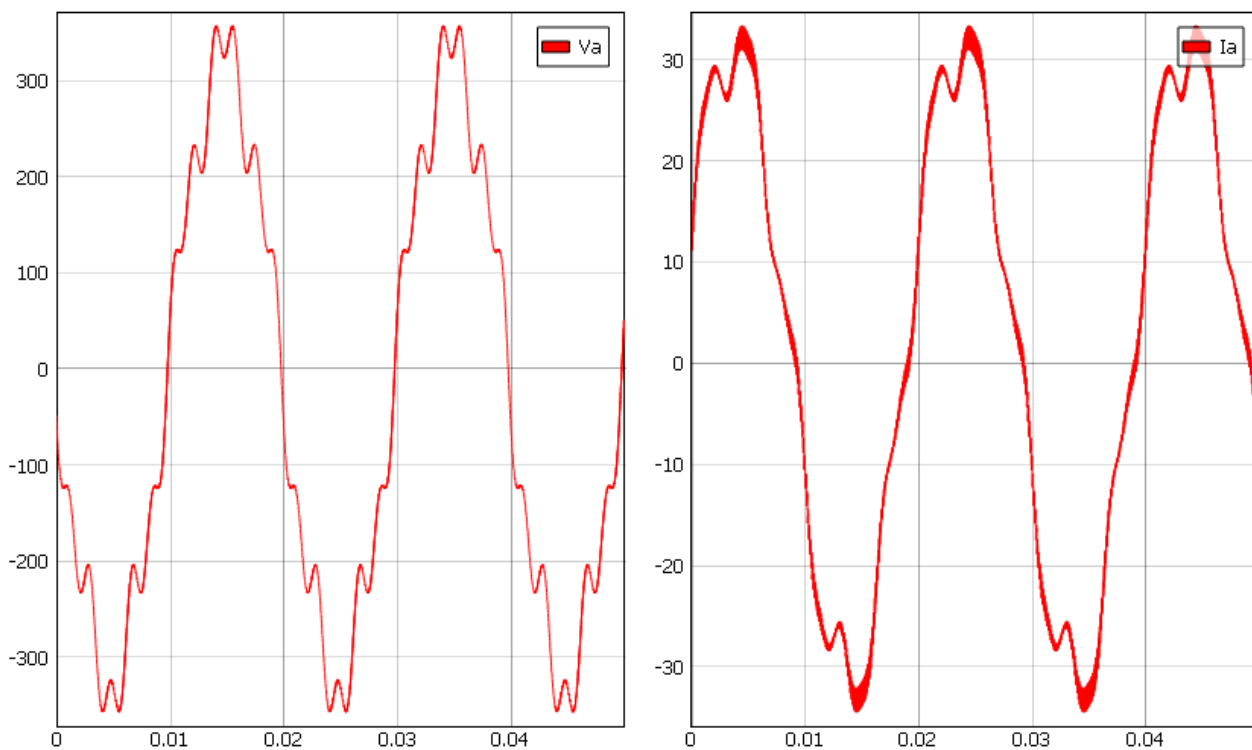
### 9. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.6
- Reaktivna struja: -0.2

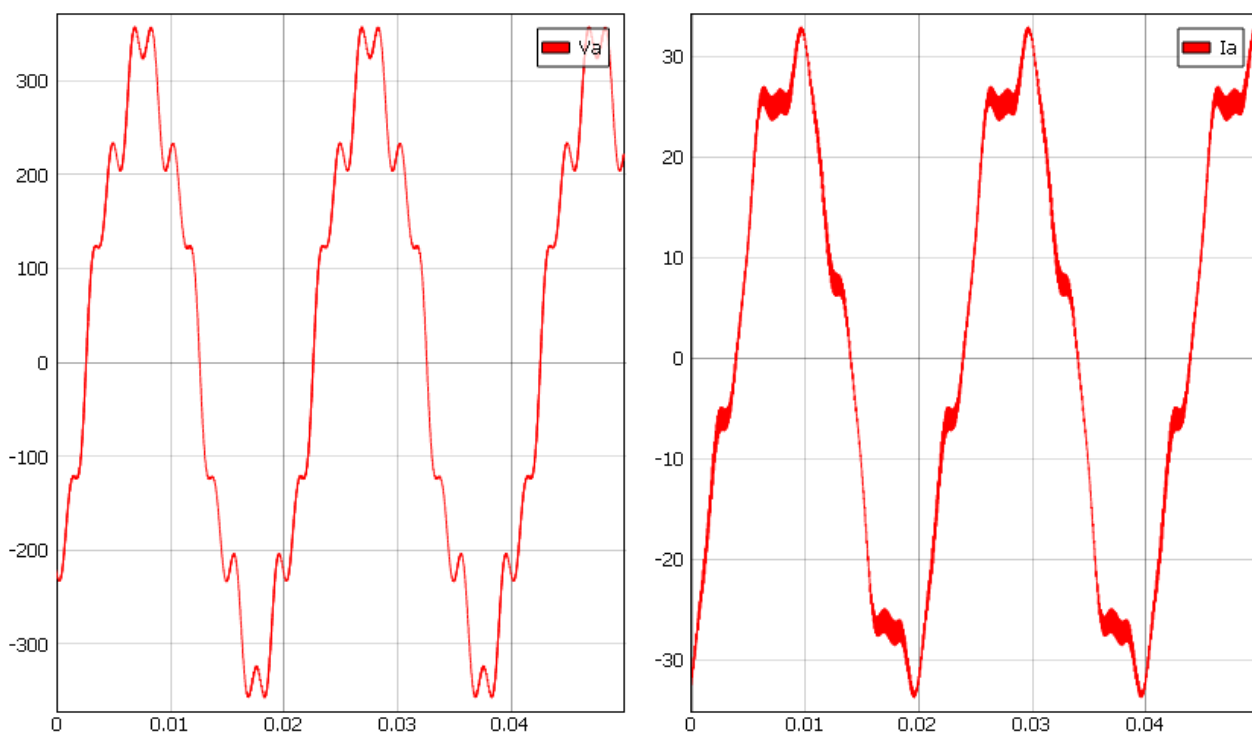
Deveti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 14.5 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -14.5 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja -0.2, što predstavlja 4.8 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.9.** Promatrane vrijednosti za 9.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,4	398,4	22,14	22,14	22,14
	<b>Harmonici</b>	402,32	402,32	22,32	22,32	22,32
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,44	398,44	22,14	22,14	22,14
	<b>Harmonici</b>	402,34	402,34	21,71	21,71	21,71



**Slika 4.18.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.19.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja



Iz grafova i tablica gore može se zaključiti da u gotovo svim slučajevima i struja i napon rastu kada se u mrežu injektiraju harmonici. Kada mreža radi u normalnom stanju struja i napon imaju sinusan valni oblik za sve slučajeve pa je iz toga razloga slika 4.1. prikazana samo u 1.slučaju. Valni oblik napona nakon injektiranja harmonika jednak je u svim slučajevima. Harmonici struje ovise o promjeni struje punjenja/pražnjenja i reaktivne struje. Harmonici se smanjuju kako se struje približavaju maksimalnim vrijednostima. Također, može se uočiti da su 2. i 3. slučaj identični iako se reaktivna struja mijenja iz kapacitivne u induktivnu.

## 4.2. Scenarij B

Drugi dio simulacije se izvodi kada je parametar baterije SOC 100%. Kao i u poglavlju 4.2. simulacija će se izvoditi za stanje punjenja i pražnjenja za iste slučajeve.

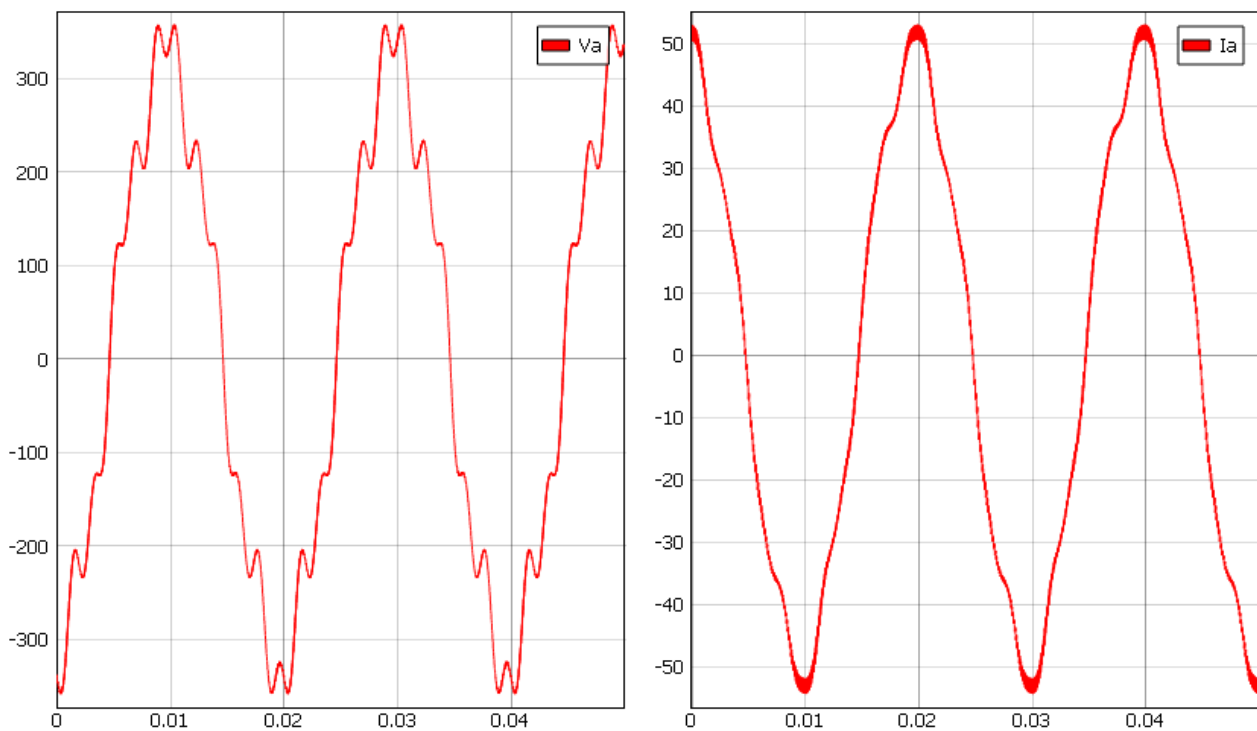
### 1. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: 0

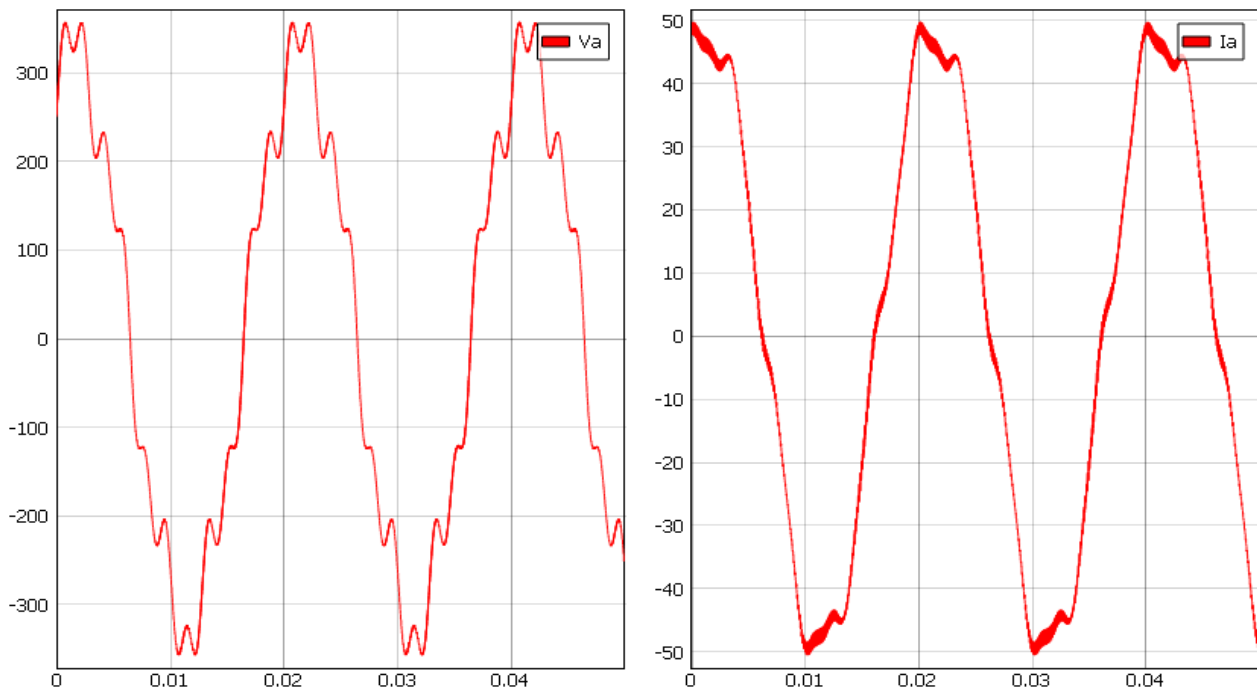
Prvi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0, što predstavlja 0 kVar reaktivne snage.

**Tablica 4.10.** Promatrane vrijednosti za 1.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,13	398,13	35	35	35
	<b>Harmonici</b>	402,07	402,07	35,09	35,09	35,09
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,27	398,27	35,01	35,01	35,01
	<b>Harmonici</b>	402,26	402,26	35,14	35,14	35,14



**Slika 4.20.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.21.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

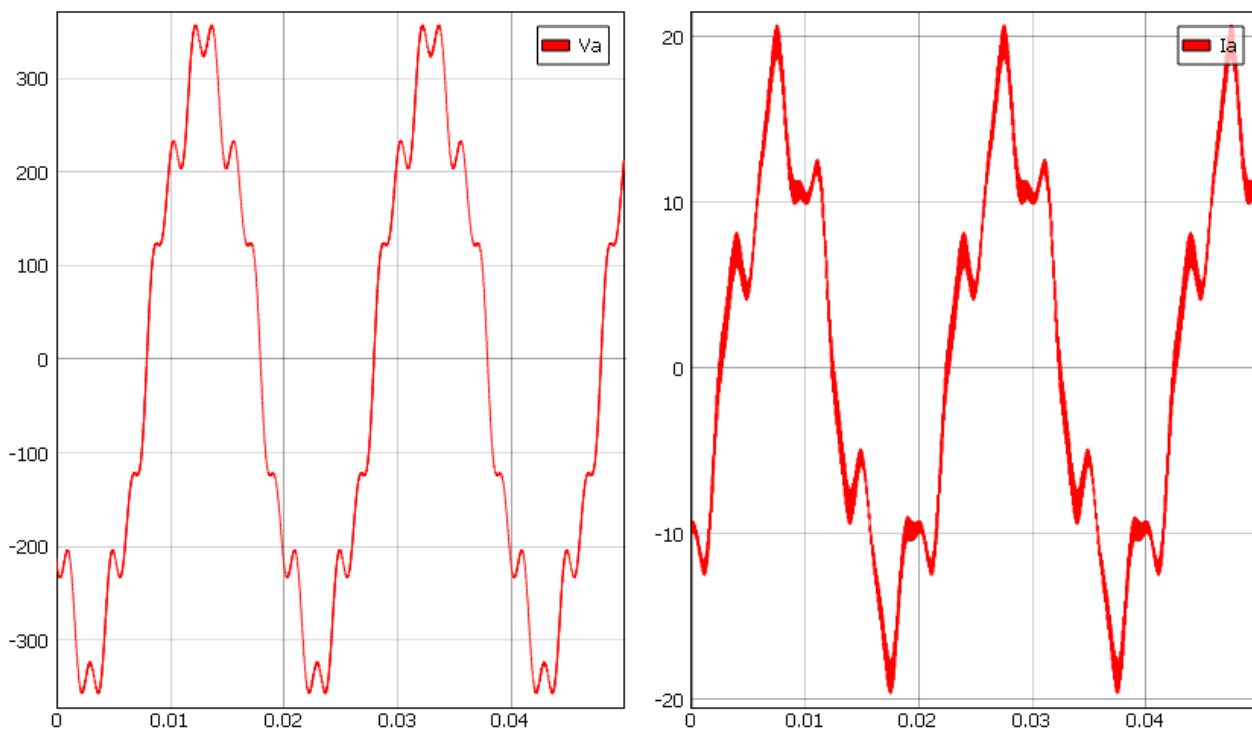
## 2. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0
- Reaktivna struja: 0.3

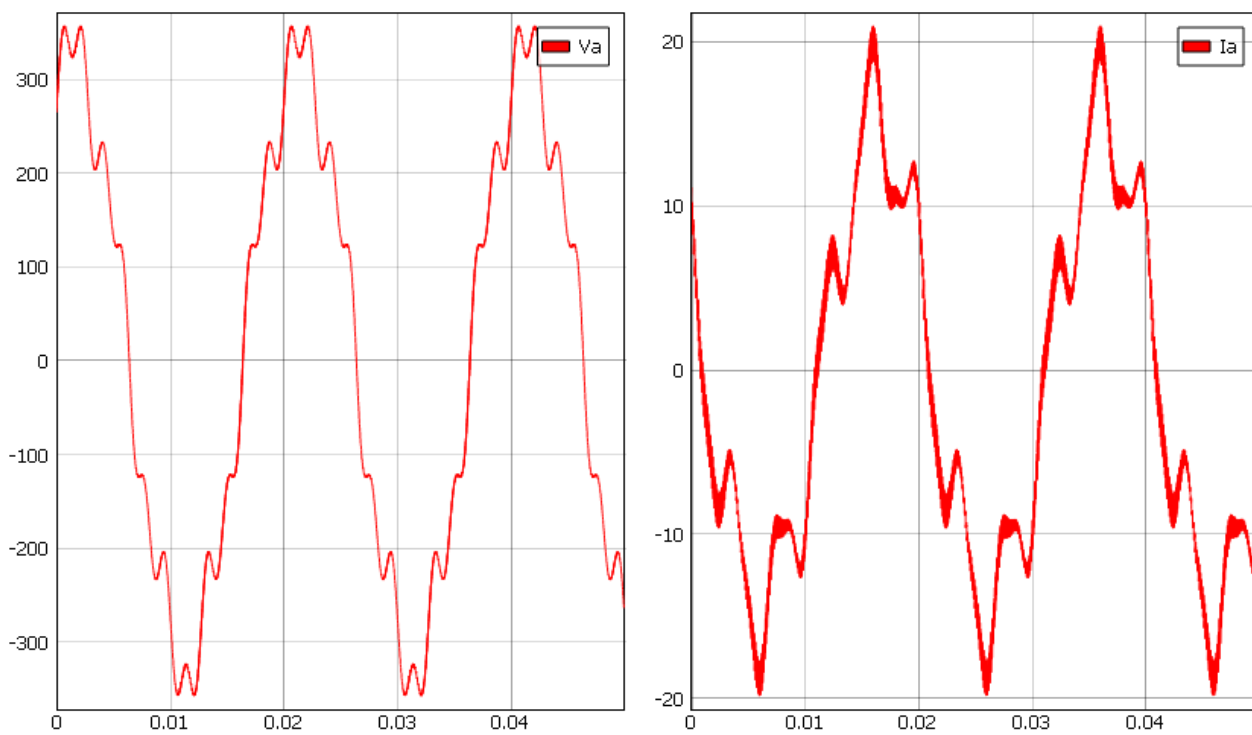
Drugi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0, što predstavlja 0 kW aktivne snage i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.11.** Promatrane vrijednosti za 2.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,03	398,03	10,51	10,51	10,51
	<b>Harmonici</b>	401,99	401,99	10,85	10,85	10,85
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,09	398,09	10,5	10,5	10,5
	<b>Harmonici</b>	402,05	402,05	10,88	10,88	10,88



**Slika 4.22.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje



**Slika 4.23.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje praznjenja

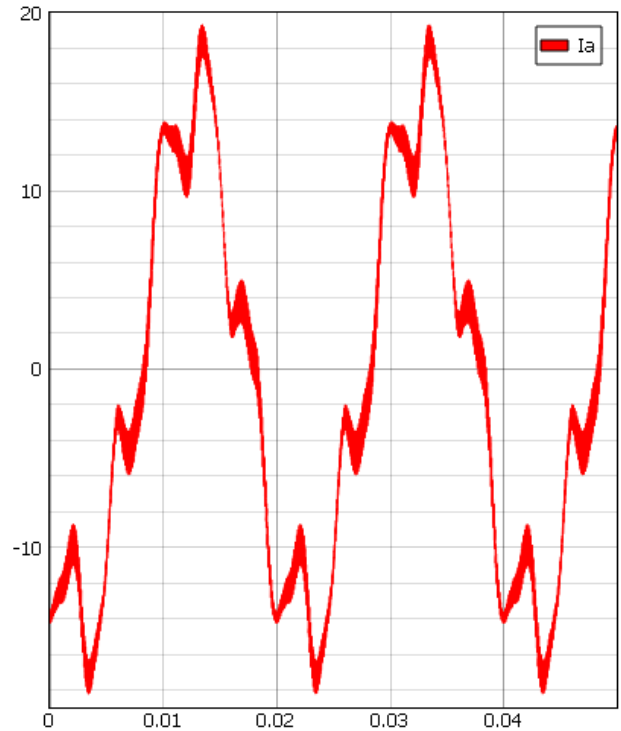
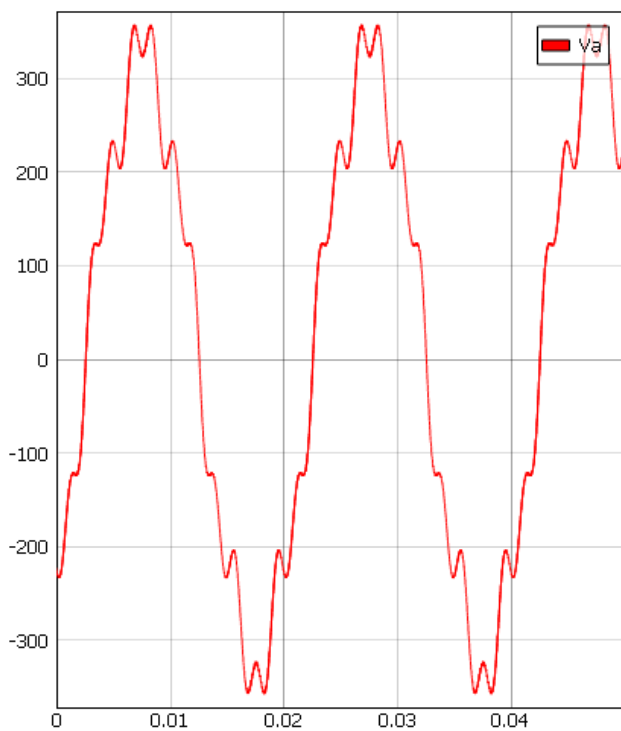
### 3. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0
- Reaktivna struja: -0.3

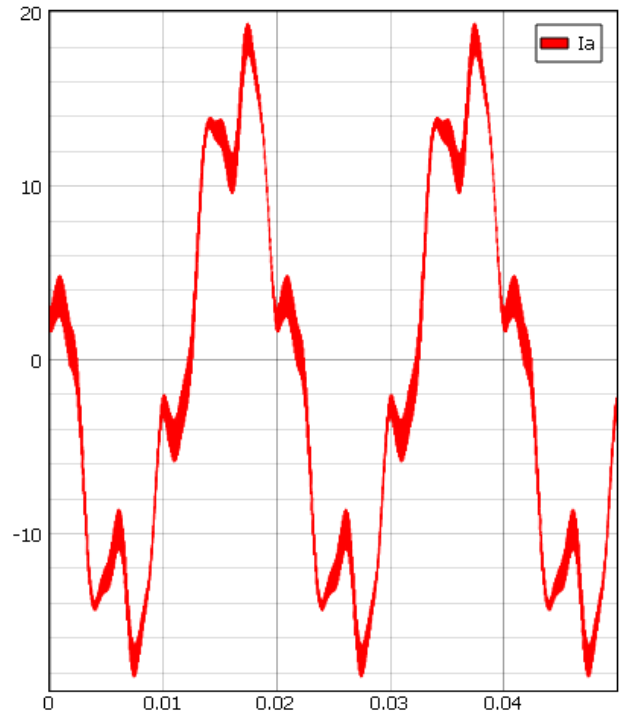
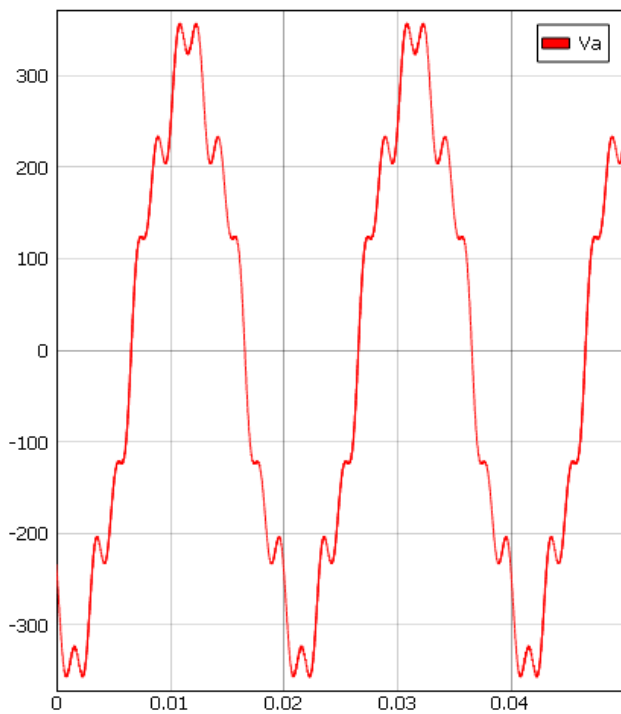
Treći slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0, što predstavlja 0 kW aktivne snage i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.12.** Promatrane vrijednosti za 3.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,32	398,32	10,5	10,5	10,5
	<b>Harmonici</b>	402,26	402,26	10,84	10,84	10,84
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,36	398,36	10,5	10,5	10,5
	<b>Harmonici</b>	402,35	402,35	10,86	10,86	10,86



**Slika 4.24.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.25.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

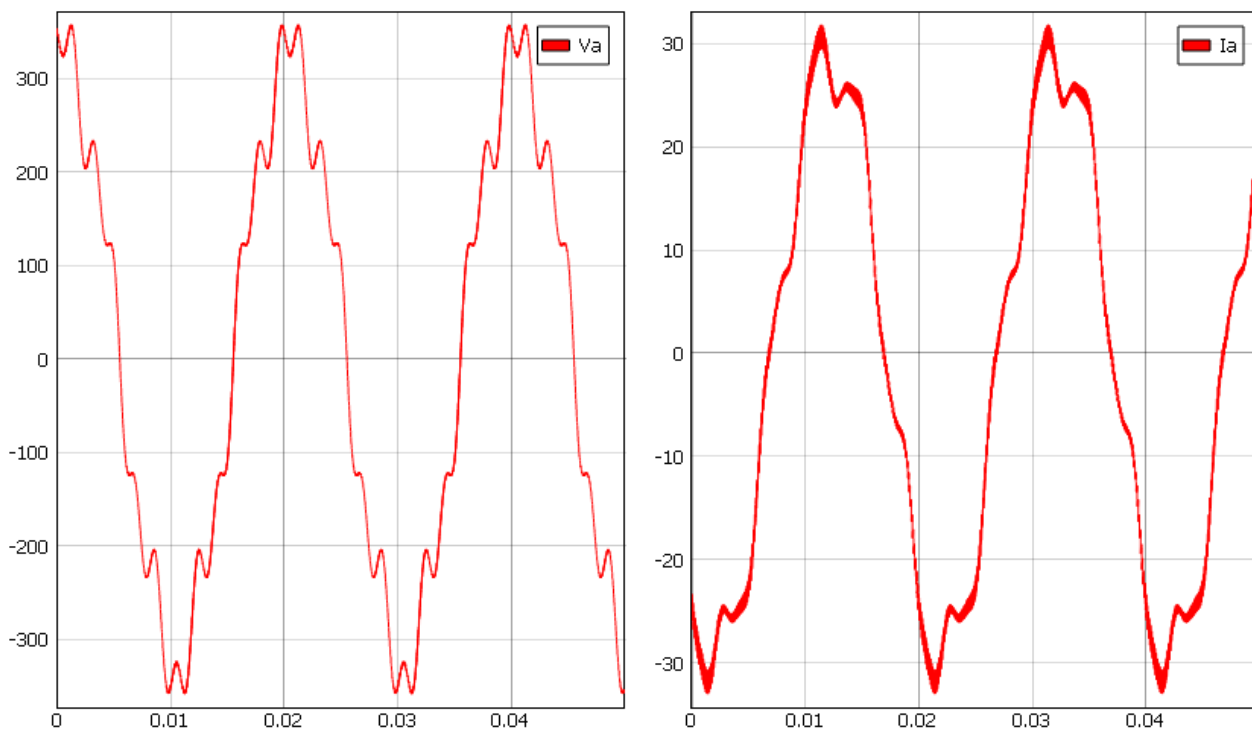
#### 4. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.5
- Reaktivna struja: 0.3

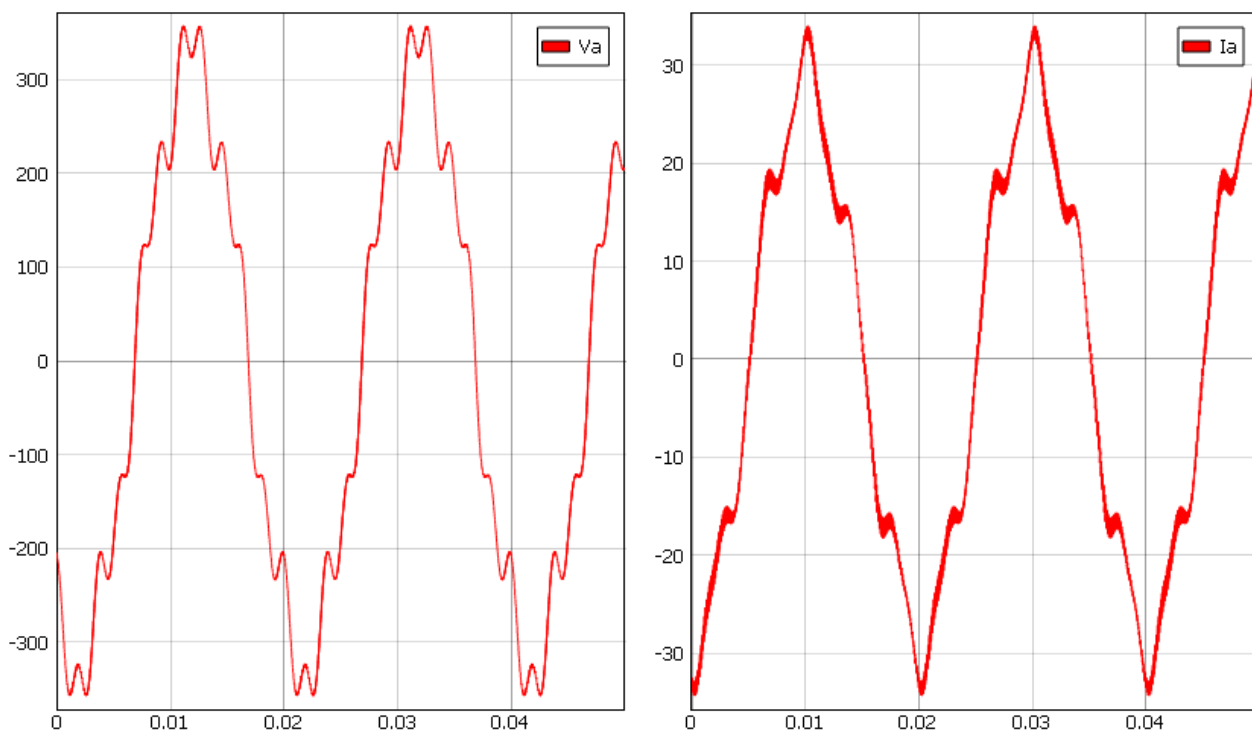
Četvrti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.5, što predstavlja 12 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -12 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.13.** Promatrane vrijednosti za 4.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,05	398,05	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	401,96	401,96	20,59	20,59	20,59
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,08	398,08	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,05	402,05	20,6	20,6	20,6



**Slika 4.26.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.27.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja



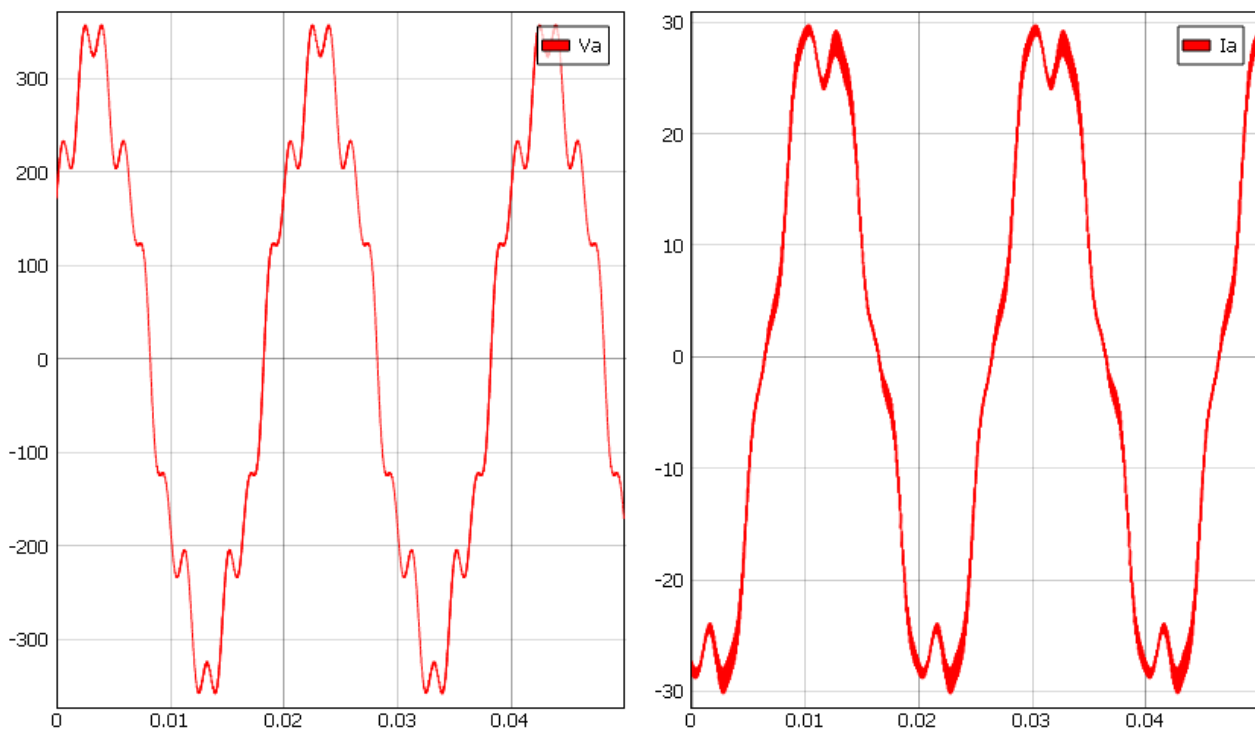
## 5. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.5
- Reaktivna struja: -0.3

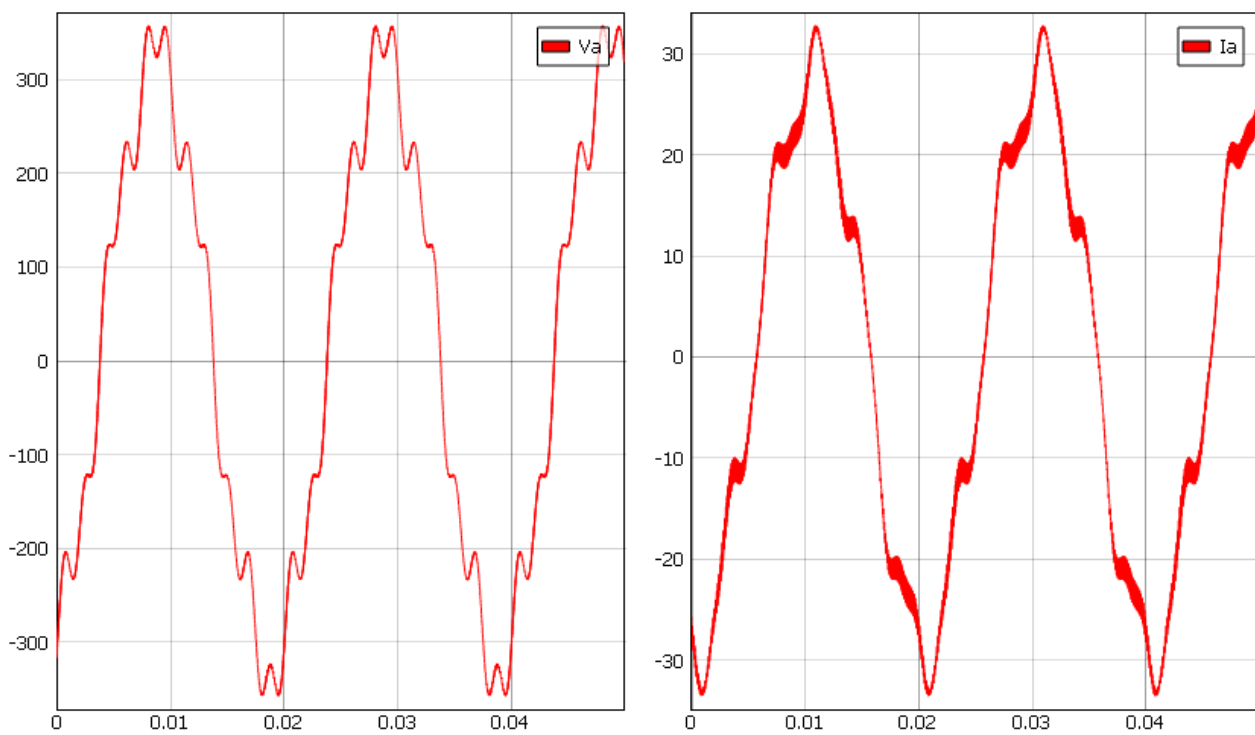
Peti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.5, što predstavlja 12 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -12 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera karaktera.

**Tablica 4.14.** Promatrane vrijednosti za 5.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,23	398,23	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,22	402,22	20,59	20,59	20,59
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,39	398,39	20,41	20,41	20,41
	<b>Harmonici</b>	402,38	402,38	20,6	20,6	20,6



**Slika 4.28.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.29.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

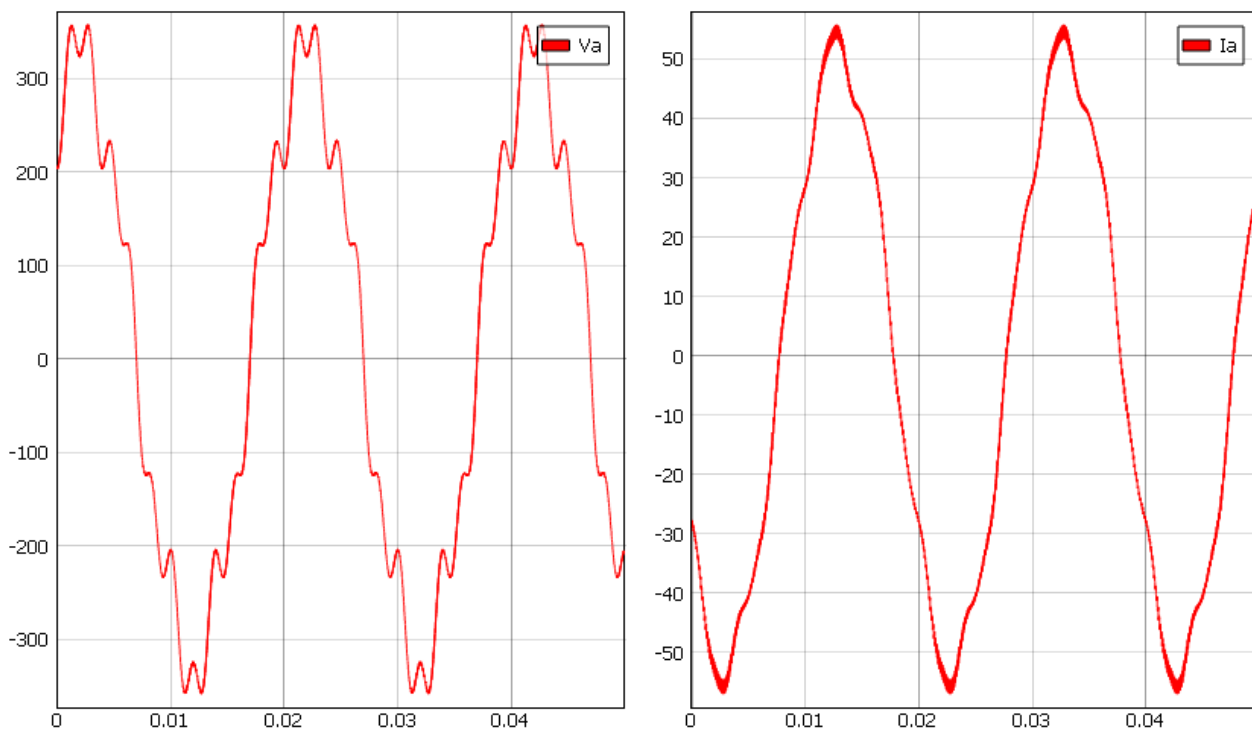
## 6. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: 0.3

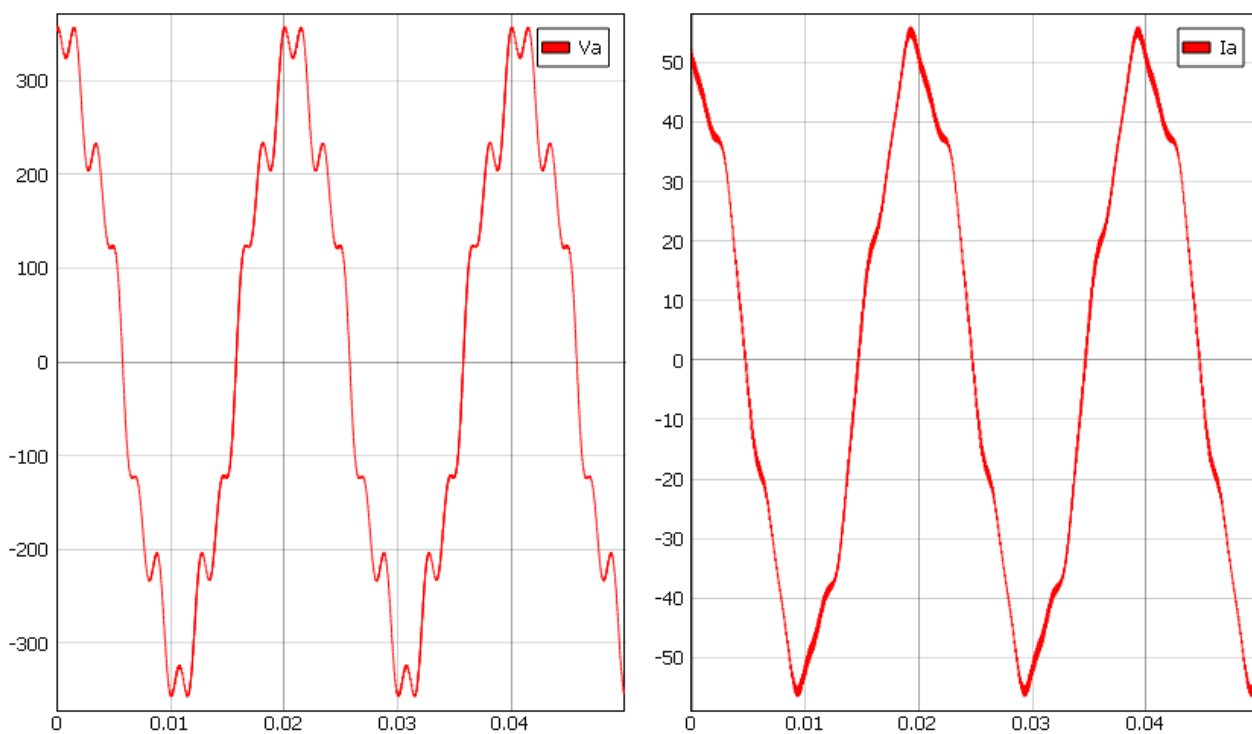
Šesti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja -7.25 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.15.** Promatrane vrijednosti za 6.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,05	398,05	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	401,98	401,98	36,64	36,64	36,64
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,11	398,11	36,55	36,55	36,55
	<b>Harmonici</b>	402,09	402,09	36,66	36,,66	36,66



**Slika 4.30.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.31.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

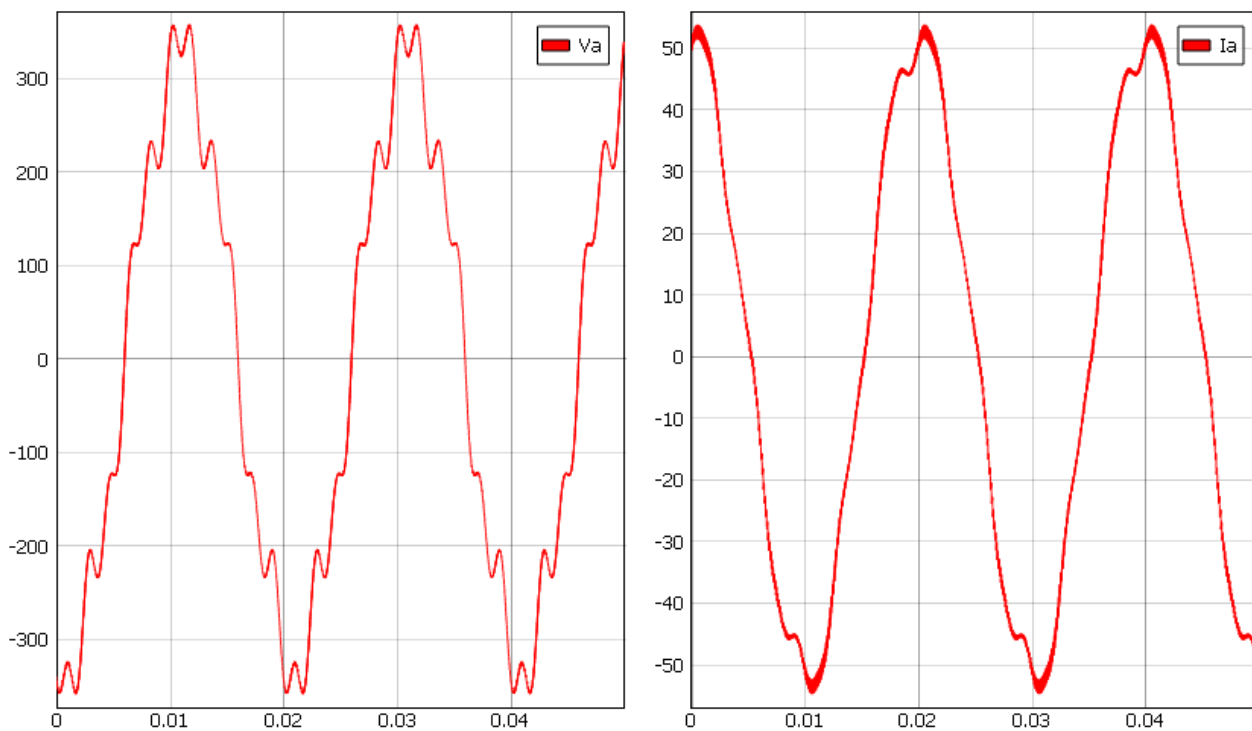
## 7. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 1
- Reaktivna struja: -0.3

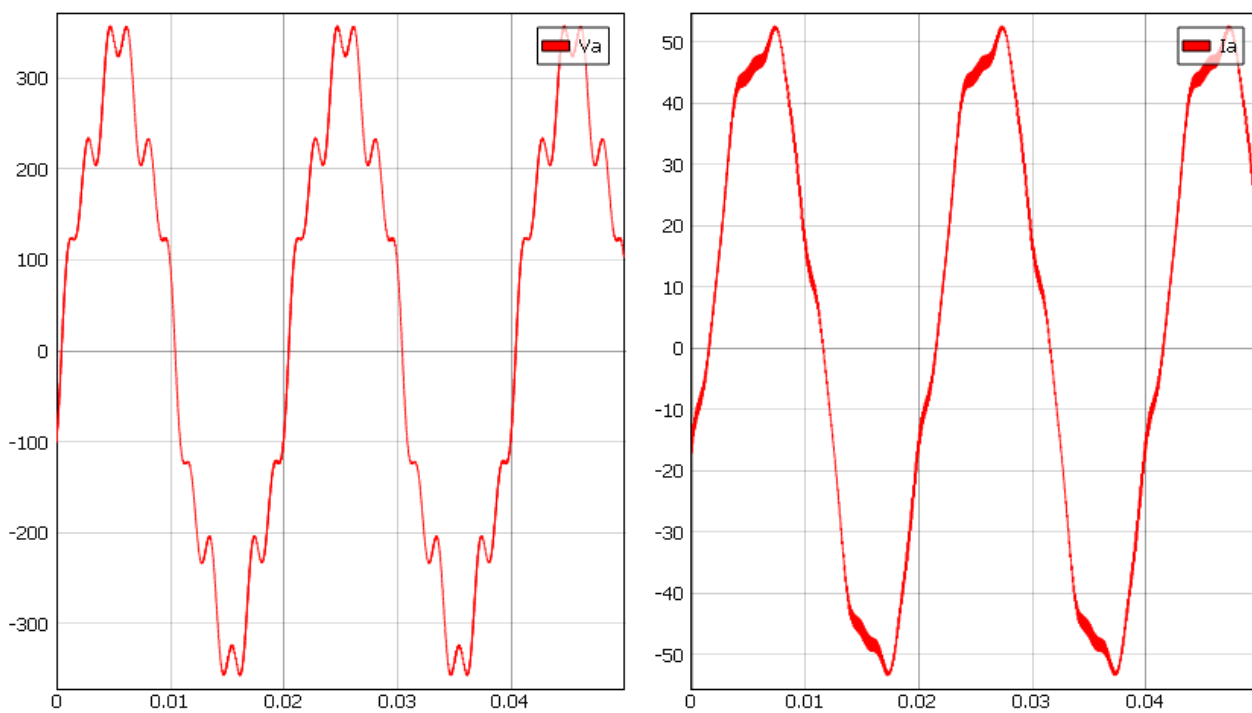
Sedmi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 24 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -24 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.3, što predstavlja 7.25 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.16.** Promatrane vrijednosti za 7.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,33	398,33	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	402,19	402,19	36,63	36,63	36,63
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,45	398,45	36,54	36,54	36,54
	<b>Harmonici</b>	402,39	402,39	36,66	36,66	36,66



**Slika 4.32.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.33.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

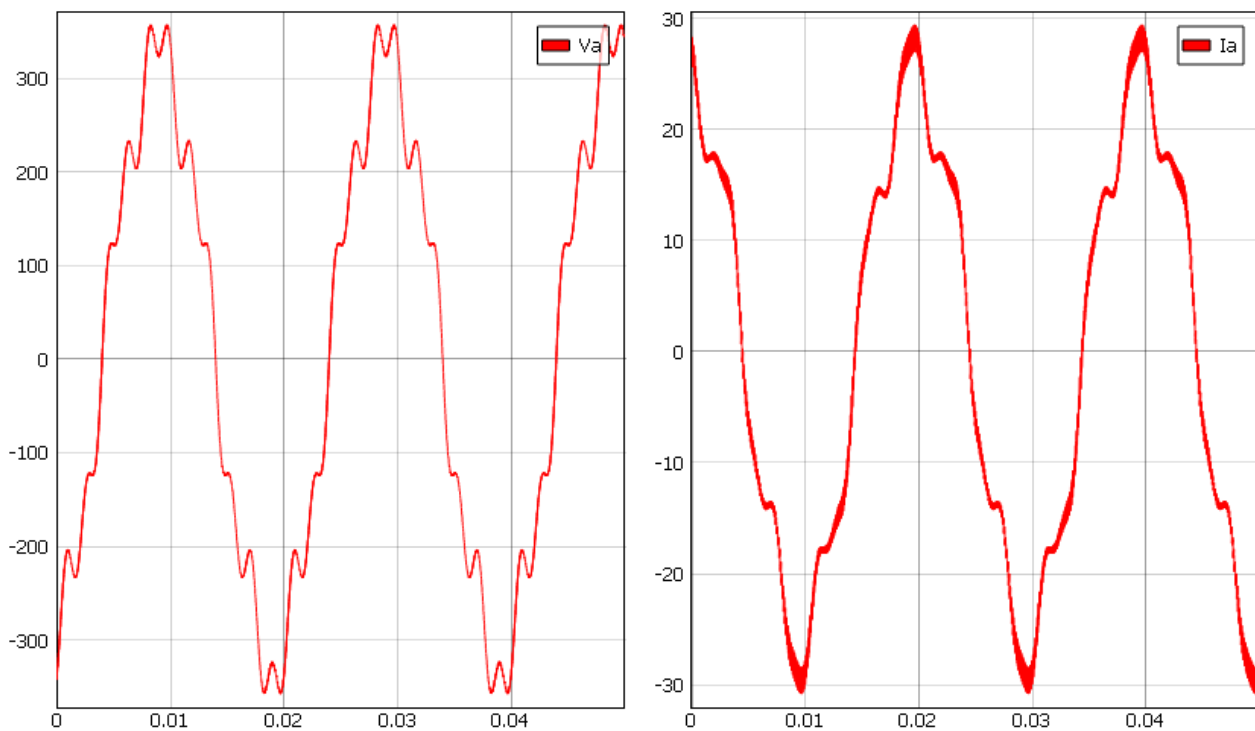
## 8. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.4
- Reaktivna struja: 0.1

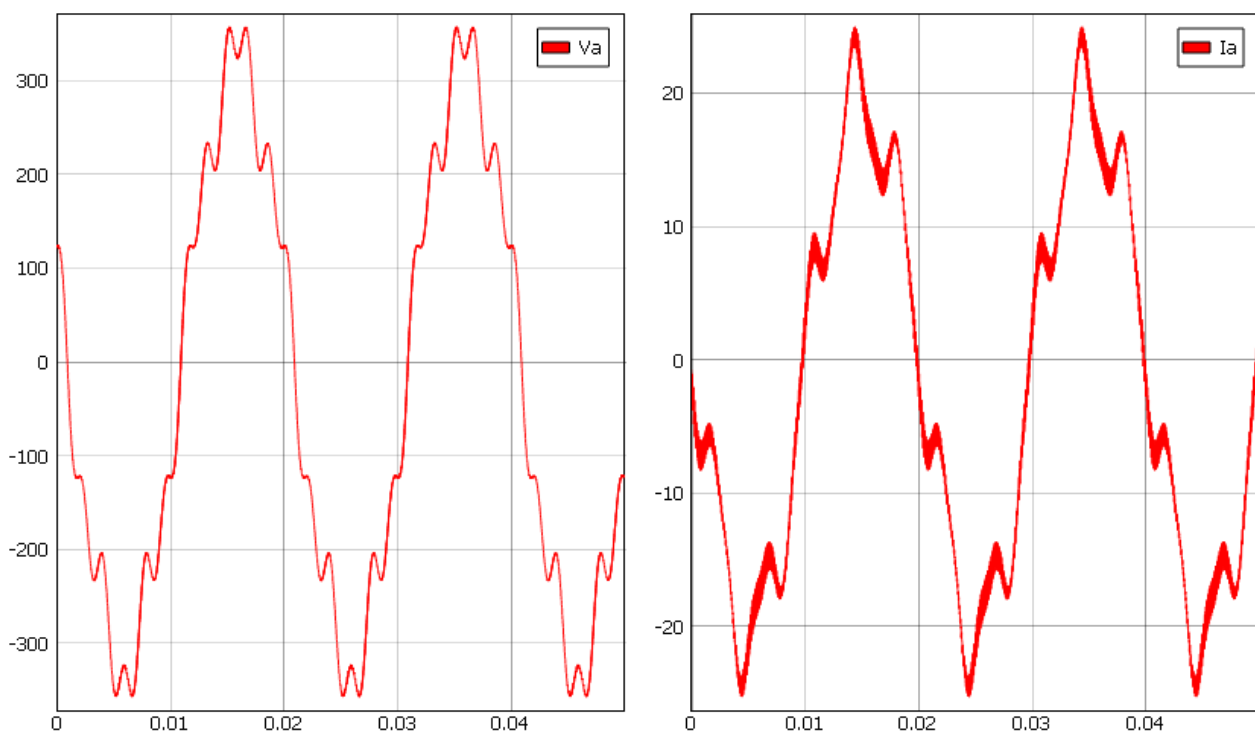
Osmi slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 0.4, što predstavlja 9.6 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -9.6 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja 0.1, što predstavlja -2.4 kVAr reaktivne snage koja je kapacitivnog karaktera.

**Tablica 4.17.** Promatrane vrijednosti za 8.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,15	398,15	14,43	14,43	14,43
	<b>Harmonici</b>	402,06	402,06	14,68	14,68	14,68
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,18	398,18	14,43	14,43	14,43
	<b>Harmonici</b>	402,15	402,15	14,72	14,72	14,72



**Slika 4.34.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.35.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja



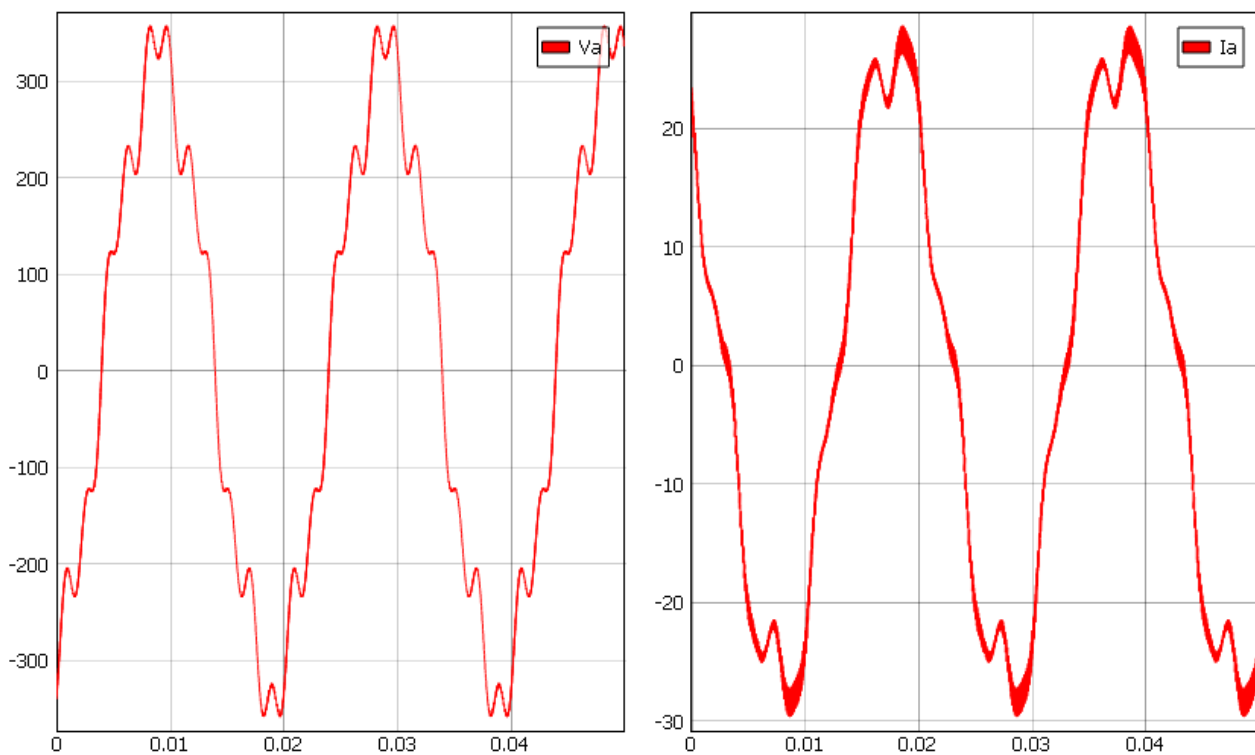
## 9. Slučaj:

- Struja punjenja/pražnjenja: 0.6
- Reaktivna struja: -0.2

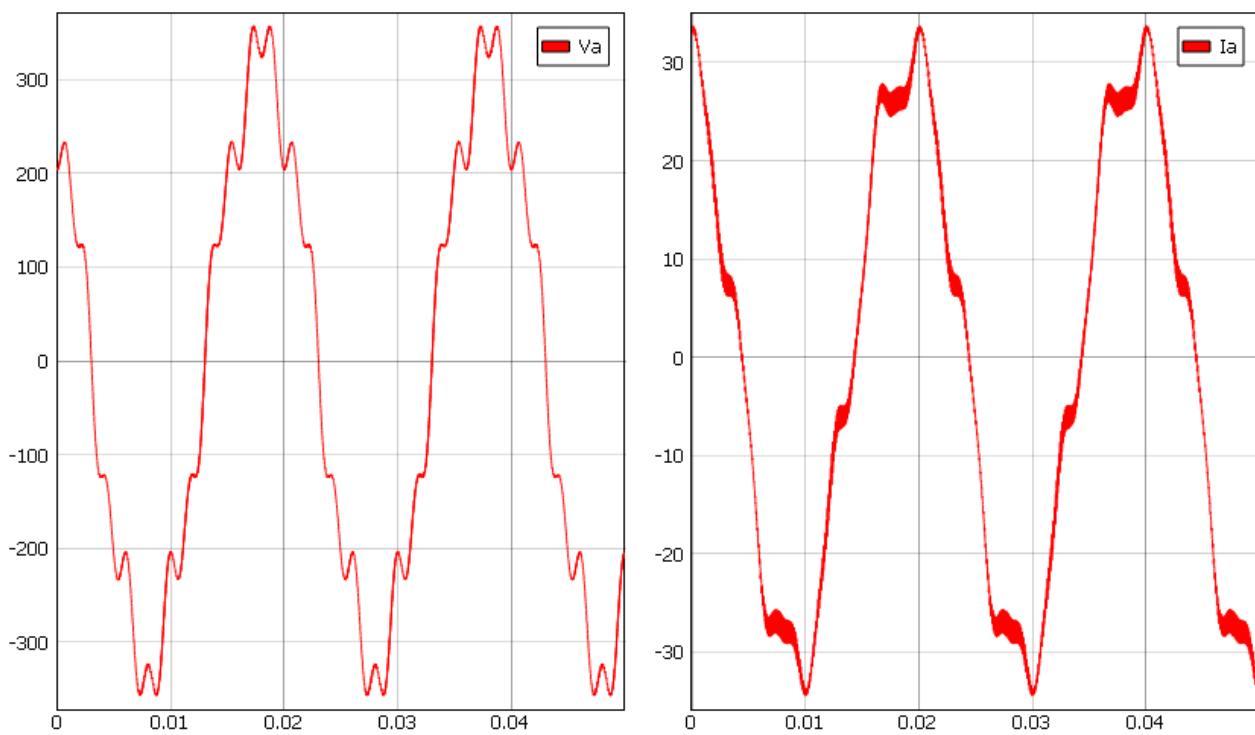
Deveti slučaj provodit će se kada je struja punjenja/pražnjenja 1, što predstavlja 14.5 kW aktivne snage prilikom pražnjenja i -14.5 kW prilikom punjenja i kada je reaktivna struja -0.2, što predstavlja 4.8 kVAr reaktivne snage koja je induktivnog karaktera.

**Tablica 4.18.** Promatrane vrijednosti za 9.slučaj

		$V_{ab}$	$V_{bc}$	$I_a$	$I_b$	$I_c$
		V	V	A	A	A
<b>Punjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,2	398,2	18,84	18,84	18,84
	<b>Harmonici</b>	402,28	402,25	19,04	19,04	19,04
<b>Pražnjenje</b>	<b>Normalno stanje</b>	398,41	398,41	22,41	22,41	22,41
	<b>Harmonici</b>	402,35	402,35	22,34	22,34	22,34



**Slika 4.36.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje punjenja



**Slika 4.37.** Valni oblici napona  $V_a$  i struje  $I_a$  za stanje pražnjenja

Za slučaj kada je SOC 100% razlike u valnim oblicima nema. Jedine promjene koje se događaju su one u promjenama vrijednosti struje i napona. Ako SOC prekorači vrijednost od 100% napon baterije će nastaviti naglo rasti sve do podešene granice preopterećenja.

## 5. ZAKLJUČAK

Zbog povećanja potrebe za električnom energijom i smanjenjem konvencionalnih izvora električne energije, raste i broj obnovljivih izvora energije. Tu se javlja potreba za skladištenjem energije jer električna energija dobivena iz obnovljivih izvora nije stalna. Energija se može skladištiti na razne načine, a to su: kemijski, mehanički, biološki, itd. Bez obzira o kojem se načinu pohrane pričalo svi rade na principu skladištenja energije kada električna energija nije potrebna, a prazne se za vrijeme kada je ona potrebna i to kao podrška elektroenergetskom sustavu. Električna energija se ne može direktno čuvati već se može pretvoriti u neki drugi oblik energije. Kada je potrebna opskrba električnom energijom, pohranjena energija se transformira nazad u električnu energiju. Tehnologije za pohranu električne energije omogućuju elektranama da budu optimalno iskorištene. Višak električne energije koji nastaje kada postoji višak proizvodnih kapaciteta, a cijena električne energije je niža može biti transformiran i skladišten, a zatim kada je opet potreban može se transformirati u električnu energiju.[9]

Simulacijom sustava za pohranu energije s PQ upravljanjem gdje se mijenjalo stanje pretvarača (punjenje i pražnjenje), struja punjenja/pražnjenja i reaktivna struja kao i injektiranje harmonika u mrežu, kroz nekoliko slučajeva došao sam do zaključka da pojava harmonika u mreži ima značajan utjecaj na povećanje napona i struja. Isto tako harmonici izobličuju valni oblik napona i struje.

## LITERATURA

- [1] Y. Liu, J. Li and T. Yuan: The Operation and Control Strategy of Energy Storage System in the Micro-Grid, College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830002, China; China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China College of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830002, China
- [2] C.F. Silva: A Model of a Battery Energy Storage System for Power Systems Stability Studies, MS Student, IST, J.M. Ferreira de Jesus
- [3] Y. Kircicek, A. Aktas, M. Ucar, S. Ozdemir, E. Ozdemir: Modeling and Analysis of a Battery Energy Storage System Supplied from Photovoltaic Power Source, Department of Energy Systems Engineering / Faculty of Technology / Kocaeli University Umuttepe Campus, 41380, Kocaeli Department of Electrical and Electronics Engineering / Faculty of Engineering / Duzce University Konuralp Campus, 81620, Duzce, June 18-20, 2014 Usak, Turkey
- [4] Typhoon HIL: <https://www.typhoon-hil.com/products/hil-software/schematic-editor> (pristup: ožujak 2019.)
- [5] Battery – Modeling and Application, 12 lipanj 2013 (preuzeto sa : <https://subscription.typhoon-hil.com/download/>, travanj 2019)
- [6] The Audiopedia: What is Phase locked loop?, 2. lis 2017., dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=bCASMVstV3Y> (pristup: svibanj 2019.)
- [7] Typhoon HIL: <https://www.typhoon-hil.com/products/hil-software/hil-scada> (pristup: travanj 2019.)

[8] Typhoon HIL Schematic Editor Library

[9] D.Kosić: Sustav pohrane električne energije, diplomski rad, 2016.

Drugo i treće poglavlje ovoga rada zasniva se na video tutorijalima koji su dostupni na linku:

<https://hil.academy/course/view.php?id=23>

## **Sažetak**

Sustavi za pohranu energije danas su u porastu zbog dinamičnog rasta obnovljivih izvora energije a isto tako i potrošnje električne energije. Osim što ima dobru stranu a to je davanje energije kada je ona najpotrebnija ili relativno malen prostor za skladištenje može imati i loše strane, npr. visoka cijena baterija. PQ upravljanje baterijskim spremnikom je samo jedno od mnogih rješenja koja se javljaju kako bi se spremnicima energije upravljalo u skladu s potrošnjom i proizvodnjom.

Ključne riječi: sustavi za pohranu energije, obnovljivi izvori energije, PQ upravljanje

## **Abstract**

Energy storage systems are on the rise today due to dynamic growth of renewable energy as well as electricity consumption. In addition to having a good side, that is, providing energy when it is most needed or relatively small storage space can have downsides, such as high battery costs. PQ battery management is just one of many solutions that emerge to manage energy storage in accordance with consumption and production.

Key words: energy storage system, renewable energy, PQ management

## ŽIVOTOPIS

Antun Damjanović rođen je 03.03.1995. u Osijeku, s prebivalištem u Strizivojnoj. U Strizivojnoj je 2009. godine završio osnovnu školu „Ivana Brlić Mažuranić“ te u Slavonskom Brodu upisuje srednju Tehničku školu koju završava 2013. godine. Na stručni preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku se upisuje 2013. godine. Iste godine, nakon završetka stručnog studija, 2016. godine upisuje razlikovne obveze te nakon završetka, 2017. godine upisuje diplomski studij, smjer Energetika, izborni blok Održiva energetika.

Antun Damjanović

U Osijeku, 2019.

---