

SEMINAR

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

Prof.dr.sc. Zvonimir Klaić
FERIT Osijek

Sadržaj

1. UVOD - Utjecaji na kvalitetu električne energije - posljednjih 50 godina
2. Utjecaj OIE na KEE u distribucijskoj mreži
 - Bioplinske elektrane
 - Fotonaponske elektrane
 - Zaključak
3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži
 - Analiza mjerenja - Slučaj 1
 - Analiza mjerenja - Slučaj 2
 - Analiza mjerenja - Slučaj 3
4. Zaključak

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

1. UVOD - Utjecaji na kvalitetu električne energije - posljednjih 50 godina

Prvi val utjecaja - 80-tih godina 20. stoljeća

- nagli rast **uporabe elektronike** u kućanstvima (video playeri, recorderi, linije, TV...) - isti utjecaj i u industriji i uslužnim djelatnostima

Drugi val utjecaja - Početak 21. stoljeća - traje i danas...

- brzi porast priključivanja **distribuiranih izvora** el. energije u distribucijsku mrežu - fotonaponske elektrane (**FNE**), vjetroelektrane (**VE**) - priključuju se putem pretvarača (elektronika) - proizvodnja ovisna o vremenskim uvjetima

Treći val utjecaja? - Sadašnjost

- porast broja **el. automobila** i **punionica**, dodatni porast priključenja **FNE** u RH, mikromreže...



2. Utjecaj OIE na KEE u distribucijskoj mreži

Bioplinске elektrane

- Glavne sirovine za pogonsko gorivo - uzgoj farme (pretežno farme krava)
- Elektrane izgrađene u ruralnim područjima.
- Za distribucijske mreže u ruralnim područjima karakteristično je da su „slabije“, - uglavnom ne postoji značajna potrošnja.



2. Utjecaj OIE na KEE u distribucijskoj mreži

Bioplinске elektrane

- Uz pažljivo podešenu zaštitu, mogu očekivati problemi s regulacijom napona - potrebno je voditi računa da napon, uz priključenu elektranu, **ne bude previsok**.
- Do sada se ovaj izazov rješavao uglavnom ručnom regulacijom napona na transformatoru.
- U normalnom radu ovakvih elektrana, ne očekuju se problemi s ostalim pokazateljima kvalitete električne energije.



Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

Rezultati mjerenja: Svi pokazatelji u svim BPP bili su u skladu sa zahtjevima
EN 50160 i Mrežnim pravilima.

Od 2008. do 2018. - 10 godina

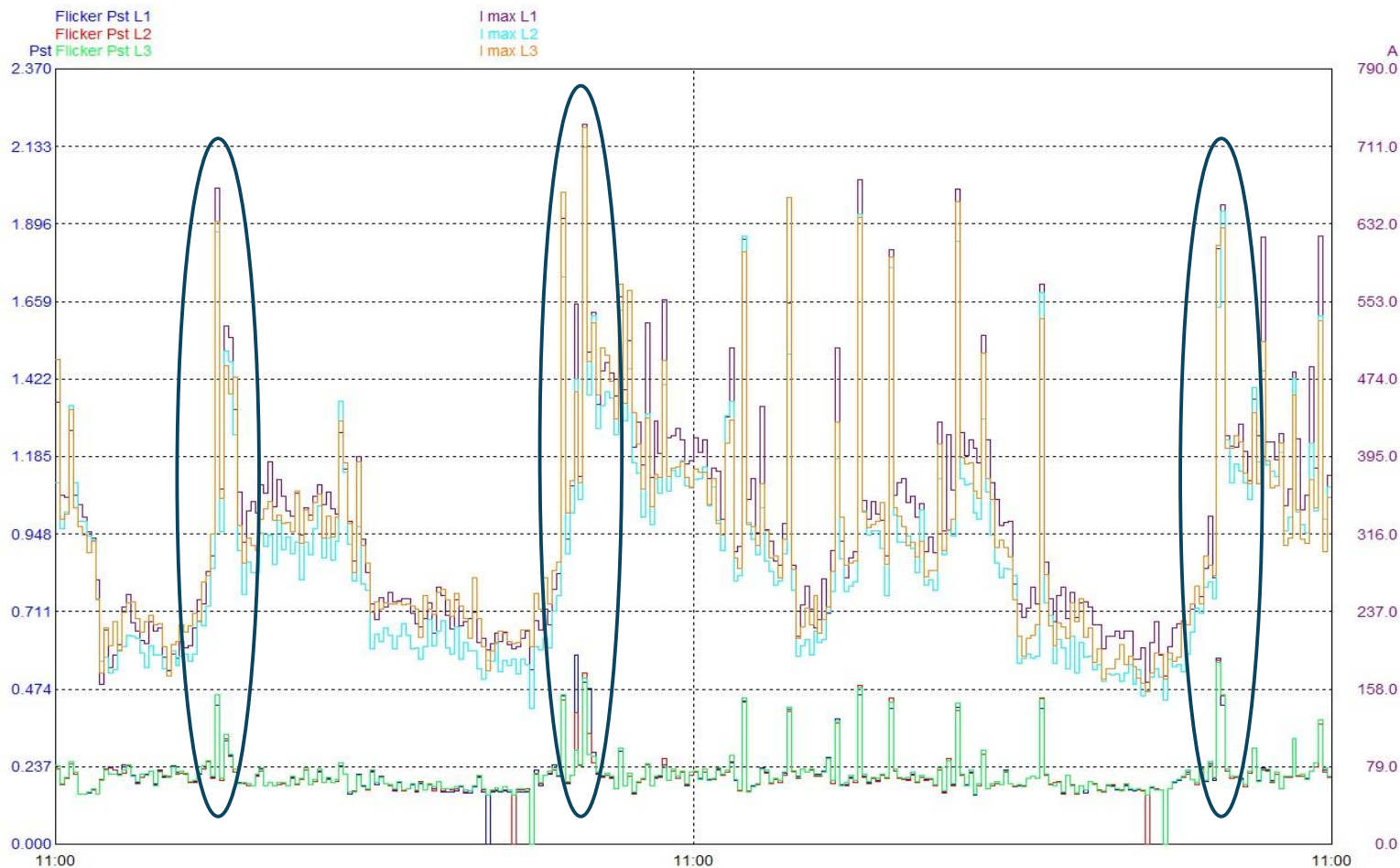
Analiza mjerenja KEE prilikom
integracije 9 BPP u
distribucijsku mrežu u Slavoniji

TABLICA I. REZULTATI MJERENJA KEE - Bioplinске elektrane

Facility name	Nom. Power [kW]	Voltage variation	Events	Voltage harmonics	Flicker	Unbalance	Line frequency
BPP1	1000	+	+	+	+		
BPP2	1000		X		X		
BPP3	300		+	X	X		
BPP4	1400	+	+		X		
BPP5	1700	X	+	+	+		
BPP6	1000	+	+	+	+		
BPP7	1000						
BPP8	1000	+		+	+	+	
BPP9	1000			+	X	X	

Primjer – flikeri nakon priključenja BPP9

- Istovremenost: Skokovi struja i flikera, - povezanost struja generatora i flikera
- Dozvoljen doprinos elektrane
- Razni režimi rada (npr. probni)



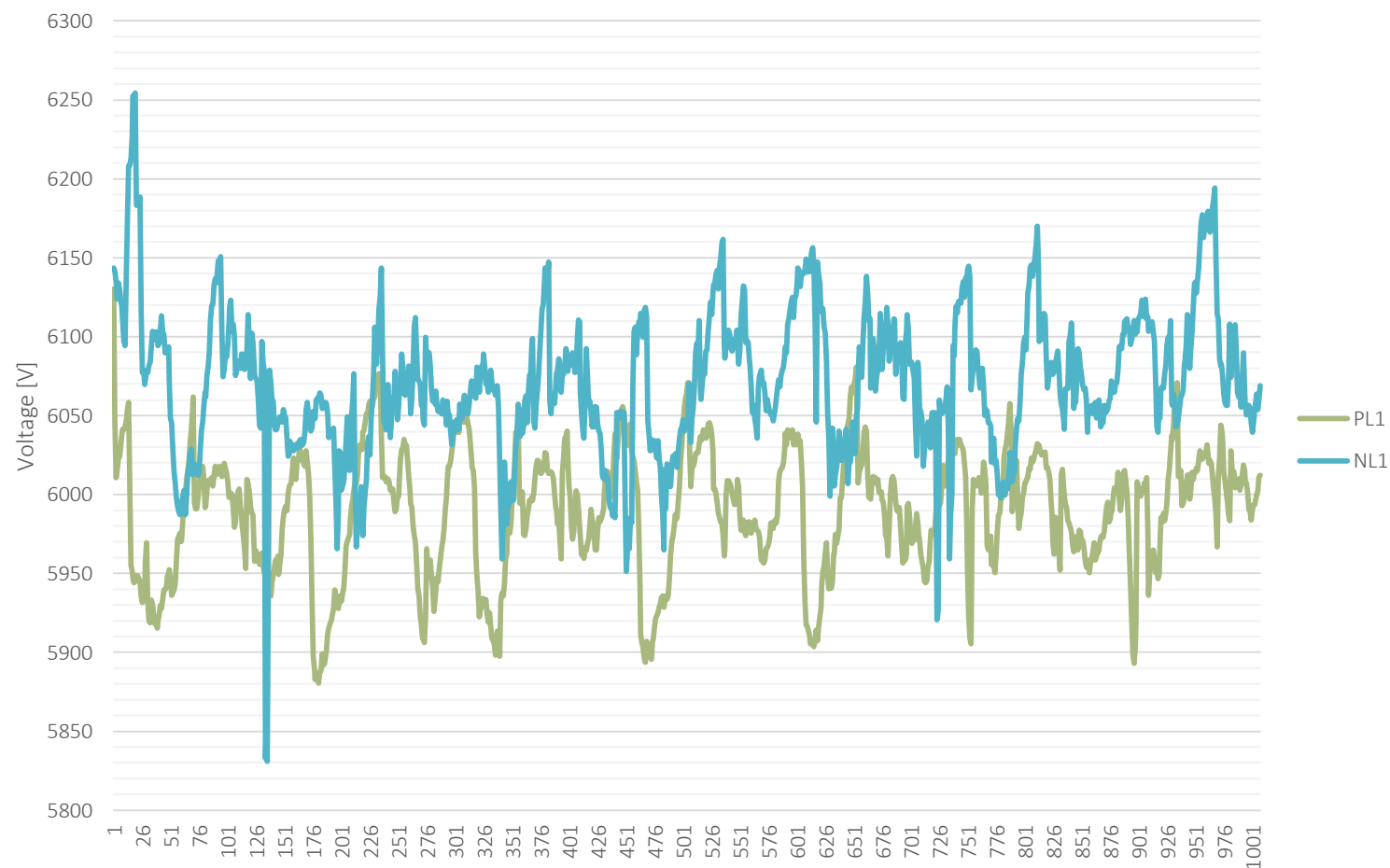
Kratkotrajni flikeri Pst i maksimalne vrijednosti struja I_{max} nakon spoja BPP9

Porast napona nakon priključenja BPP5

Vrijednosti napona nakon priključenja (NL1) u mjernom tjednu su većinom više nego prije priključenja (PL1).

Najviši porast napona je **5,18 %**

Sve snimljene vrijednosti unutar ograničenja norme EN 50160 i Mrežnih pravila $\pm 10\% U_c$



Napon faze L1 prije i nakon spoja
BPP5

Porast napona nakon priključenja BPP5

Takav porast napona predviđen je u proračunskom dijelu Studije utjecaja bioplinske elektrane BPP5 na elektroenergetsku mrežu - u jednom scenariju očekivani porast - **5,7 %**.

Zabilježen je porast napona na mjestu priključka elektrane - unutar zahtjeva norme EN 50160 i Mrežnih pravila.

Prilikom spajanja dodatnog distribuiranog izvora u blizini spomenutog mjesta priključka, vrijednosti napona mogu **biti blizu graničnih vrijednosti ili čak i više**.

2. Utjecaj OIE na KEE u distribucijskoj mreži

Fotonaponske elektrane

Istosmjerna struja

Izmjenjivači (inverteri) kao sučelja prema distribucijskoj mreži

Izmjenjivači + promjenjiva proizvodnja FNE = harmonici u izlaznoj struji FNE.



Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

Rezultati mjerenja: Svi pokazatelji u svim FNE bili su u skladu sa zahtjevima EN 50160 i Mrežnim pravilima.

Od 2011. do 2018. - 7 godina

Analiza mjerenja KEE prilikom integracije 7 FNE u distribucijsku mrežu u Slavoniji

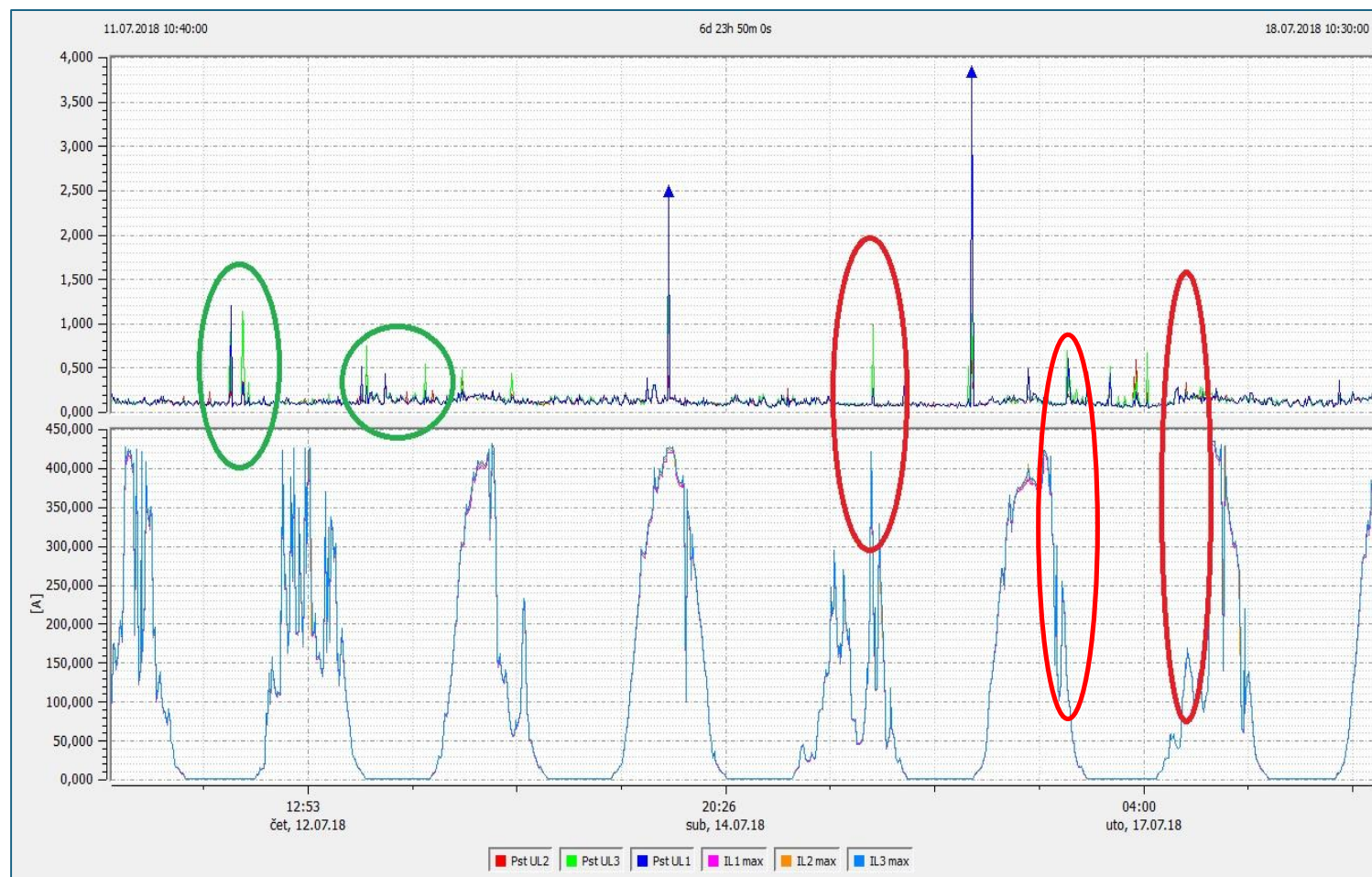
TABLICA II. REZULTATI MJERENJA KEE - Fotonaponske elektrane

Facility name							
	Nom. Power [kW]	Voltage variation	Events	Voltage harmonics	Flicker	Unbalance	Line frequency
PV1	30				X		
PV2	10	+	+	+	+		
PV3	200				X		
PV4	10		+		+		
PV5	30	X					
PV6	30				+		
PV7	300				X		

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

Primjer – flikeri nakon priključenja 300 kW FNE PV7

- Većina vrijednosti flikera $< 0,2$
- Neke vršne vrijednosti izazvane promjenama proizvodnje FNE
- Većina skokova flikera se dogodila kada FNE nije proizvodila



Kratkotrajni flikeri Pst i maksimalne vrijednosti struja Imax nakon
priključenja PV7

Elektroenergetski sustav u uvjetin Izazovi u održavanju kvalitete

- Utjecaj FNE na harmonike?
- Fotonaponska elektrana – utjecaj na kvalitetu el. energije
- Utjecaj 10 kW FNE na NN distribucijsku mrežu u HR
- Mjerenja na 1. FNE



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene



Expansion of the residential photovoltaic systems and its harmonic impact on the distribution grid

Q2  Kresimir Fekete*,  Zvonimir Klaić,  Ljubomir Majdandžić 

Faculty of Electrical Engineering, J.J. Strossmayer University of Osijek, K. Trpimira 2B, 31000 Osijek, Croatia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 April 2011

Accepted 20 November 2011

Available online xxx

Keywords:

Photovoltaic systems

Power converters

Harmonics

Distribution grid

Computer model

ABSTRACT

As photovoltaic systems incorporate power converters, which are harmonic generating devices, they will have an influence on power quality of supply network. This paper investigates the impact of the first 10 kW residential photovoltaic (PV) system connected to the low-voltage distribution network in Croatia. The harmonic impact of such a PV plant is measured in two periods: winter and summer. Analysis of the recorded data is done regarding harmonic content of the PV current. Based on the measured data, a computer model of the plant and local distribution network is made. The model is used to simulate several scenarios of residential PV plant expansion. In the first scenario it is assumed that one third of the households that are connected to the local grid will install 10 kW PV plants. The second scenario assumes that all the households will install 10 kW PV plants. However, the PV plants are not the only harmonic sources in a distribution grid. The grid usually supplies many nonlinear loads, which absorb distorted current. To consider that influence, another harmonic current source is modeled. Mutual influence of PV and grid harmonics is also analyzed. The results of the simulations and conclusions are given at the end of the paper.

© 2011 Published by Elsevier Ltd.

1. Introduction

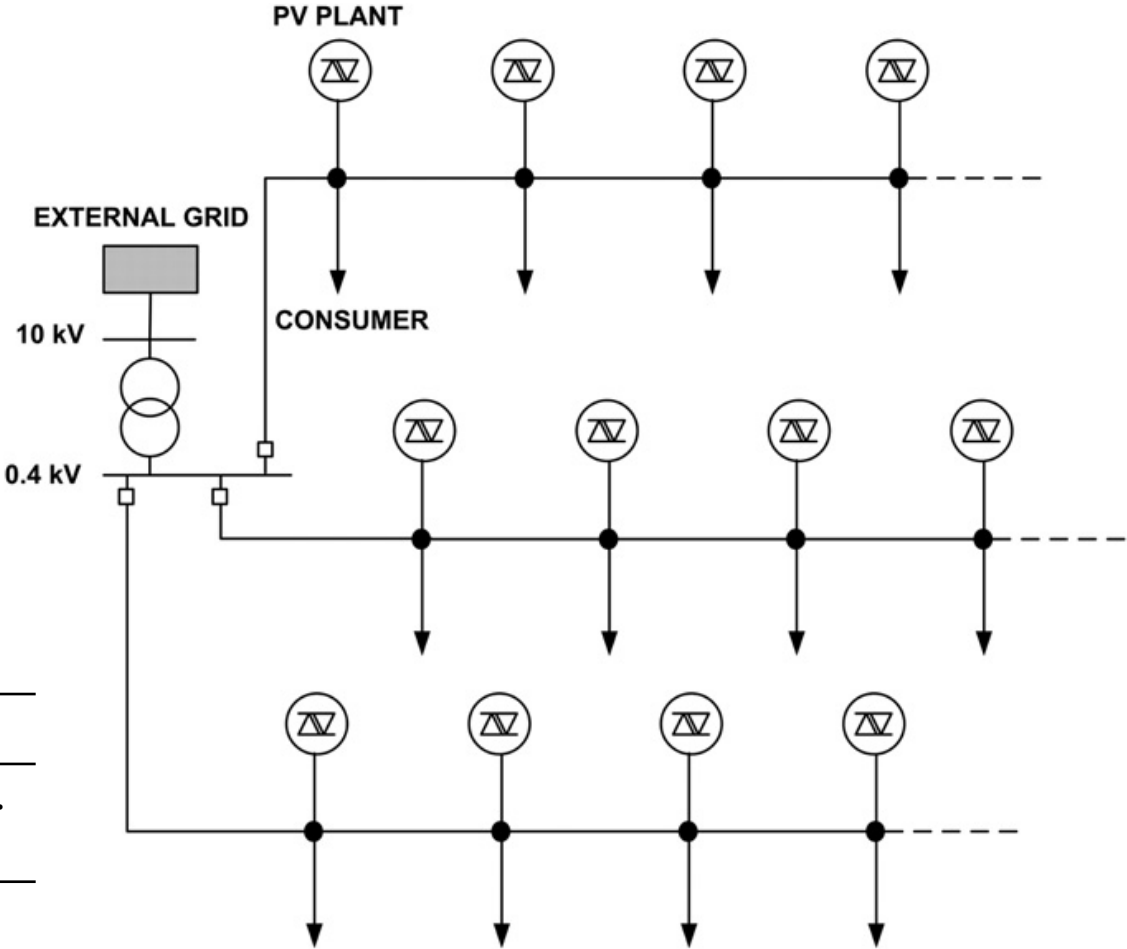
The use of PV systems is increasing in many countries (Croatia included) as a result of technology improvements, decreasing technology costs, active government policies for renewable energy sources, environmental concerns etc. The presence of a large number of grid-connected PV systems creates new problems related to safety and protection systems, the grid interface and especially power quality [1]. From the power quality point of view, the goal is to obtain a sinusoidal current as the output of the grid-connected PV plant. However, harmonics are presented in the output PV current because of the use of power converters and variable power flow of

There is extensive available literature concerning the design and economics of the PV systems [4,5]. The practical interaction of already installed PV plant and distribution grid is also subject of research papers [1,6]. Power quality disturbances and especially the contribution of PV system to utility grid harmonic level are discussed in literature [2,3,6–10]. The level of harmonic distortion in grid currents and voltages caused by grid-connected PV systems is the subject of several international standards [11,12]. The European standard EN50160 [12] provides a limit for the total voltage harmonic distortion (THD) equal to 8%, including up to the 40th harmonics. As an example, in Croatia, harmonic limits are given by considering only the THD factor. Moreover, in Croatia, when con-

Model - za predviđanje scenarija utjecaja porasta priključenja kućanskih FNE:

- 1. Scenarij – 1/3 kućanstava ima 10 kW FNE
- 2. Scenarij – sva kućanstva imaju 10 kW FNE
- 3. Scenarij – dodani i već postojeći harmonici

	Scenario/Variant			
	Sc. 1	Sc. 2	Sc. 3/Var. 1	Sc. 3/Var. 2
THD _U at PCC (%)	1.00	2.71	2.46	3.66



Utjecaji bioplinskih i fotonaponskih (FN) elektrana na harmonike u distribucijskoj mreži

- bioplinske elektrane - sinkroni generator
- FN elektrane – inverter
- kućanstva

IET Renewable Power Generation

Research Article

Impact of photovoltaic and biogas power plant on harmonics in distribution network

Zvonimir Klaić[✉], Goran Knežević¹, Mario Primorac¹, Danijel Topić¹

¹Department of Power Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek, Kneza Trpimira 2b, Osijek, Croatia

[✉]E-mail: zvonimir.klaic@ferit.hr

Abstract: Here, the impacts of biogas power plants and photovoltaic (PV) power plants on the power quality in the distribution network are presented and analysed. The biogas power plant's influence on the current harmonics is explored, as a synchronous generator powers the biogas power plant, and the PV plants are connected to the distribution network via the inverter. All the analyses are based on actual measurements that are performed in the last 10 years. Results of the analysis of these numerous measurements were a challenge for investigation how large share of PV systems in distribution network with non-linear loads influence on THD from one side and how biogas power plant with a synchronous generator can improve THD from the other side. In order to investigate interaction of the biomass power plant and PV power plants on the power quality in distribution network, computer model was developed in DigSILENT Power Factory where PV power plant and household were modelled as a source of current harmonic injections and biomass power plant was modelled as synchronous machine, as a source of voltage harmonics. Analysis of harmonic behaviour in different scenarios is examined through the performed simulations.

1 Introduction

Installed capacity of the renewable energy sources (RES) is increasing every day. According to [1] total installed capacity of renewable power at the end of 2017 was 1081 GW. Among all RES technologies PV systems have largest yearly increase in installed power. New installed capacity of PV system in 2017, according to REN21 was 99 GW, which means that total installed capacity of PV systems at the end of 2017 was 402 GW.

RES power plants, especially PV systems and biogas power plants, are very often connected to the distribution network. PV systems are connected to the distribution grid through the power converters. Along with variability of power generation of PV systems power converters become new sources of harmonics [2]. The integration of RES power plants in terms of maintaining the power quality in the existing distribution network becomes an additional challenge [3]. Biogas power plants have synchronous generator which usually does not affect power quality, especially in terms of THD.

Effects of PV system on power quality are described in [4–8]. In [4], authors investigated how power output variations caused by cloud shadows affect voltage and current at the point of common coupling and consequently, power quality of the system and fluctuations of a PV system due to a cloud shadow are simulated. In the performed simulation effects on total harmonic distortion (THD) and individual harmonic distortion (IHD) during the period in which the cloud shadow passes over the PV system are studied. Results in [4] showed that decrease in received irradiance caused

operating conditions are investigated in [6], while in [7], a dynamic power quality analysis on a grid-connected PV system in a distribution system subjected to different weather conditions is presented. Different grid-codes regarding influence of PV systems on power quality are presented in [8].

According to [10], several low-order harmonic amplitudes increase when the PV inverter output power decreases. The current THD becomes higher at a low power output level, especially for generated power below 20% of the rated power. It is concluded that the DC-link voltage variation due to the maximum power point tracking is the major cause of the harmonic amplitude increase. According to [11], measurements show that currents of higher harmonics are injected by the power plant mainly in the morning after the power plant is connected to the grid and in the evening before the disconnection of the power plant. The harmonics are also present in times of severe falls in production (changes in sunlight).

Some ways how to improve power quality, especially the THD is presented in [12–14]. Usage of DSTATCOM (Distribution STATic COMPensator) for improvement of the power quality indicators is presented in [12] and in [13]. In [14], study on a scheme to reduce the current harmonics from a PV power plant using power conditioner unit placed parallel with the power plant and works in feed-forward mode, and behaves to compensate the PV power plant's output current distortion is presented. Majmuder *et al.* in [15] shows that distributed generation can help in improvement unbalance and non-linearity of the local loads. Furthermore, they proposed control strategy for the microgrids in

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike

Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

- Ispitana su tri različita scenarija:
- 1. Prvi scenarij - maksimalno harmonijsko izobličenje struje iz fotonaponske elektrane,
 - 2. Drugi scenarij - maksimalno harmonijsko izobličenje struje iz kućanstva,
 - 3. Treći scenarij - najveće vrijednosti harmonijskog izobličenja za FN sustav, kućanstvo i bioplin istovremeno.

Čak i u trećem scenariju, elektrana na bioplin smanjuje vrijednost THDi s 3,76 na 3,31.

Zaključak:

Elektrana na bioplin poboljšava kvalitetu električne energije u smislu THD-a u sva tri scenarija.

Table 6 Voltage harmonics for biomass power plant, 30.05.2018 at 08:10				
Number of scenario	Measurement period at which model input data for PV power plants, households, biomass power plant are taken		THDu%	
			Biomass power plant is offline	Biomass power plant is online
1	PV power plants – max. THDi	27.05.2018., 14:20	3.74	2.54
	households			
2	biomass power plant			
	PV power plants	27.05.2018., 15:00	2.98	2.56
3	households– max. THDi			
	biomass power plant			
	PV power plants – max. THDi	27.05.2018., 14:20	3.76	3.31
	households – max. THDi	27.05.2018., 15:00		
	biomass power plant – max. THDi	30.05.2018., 08:10		

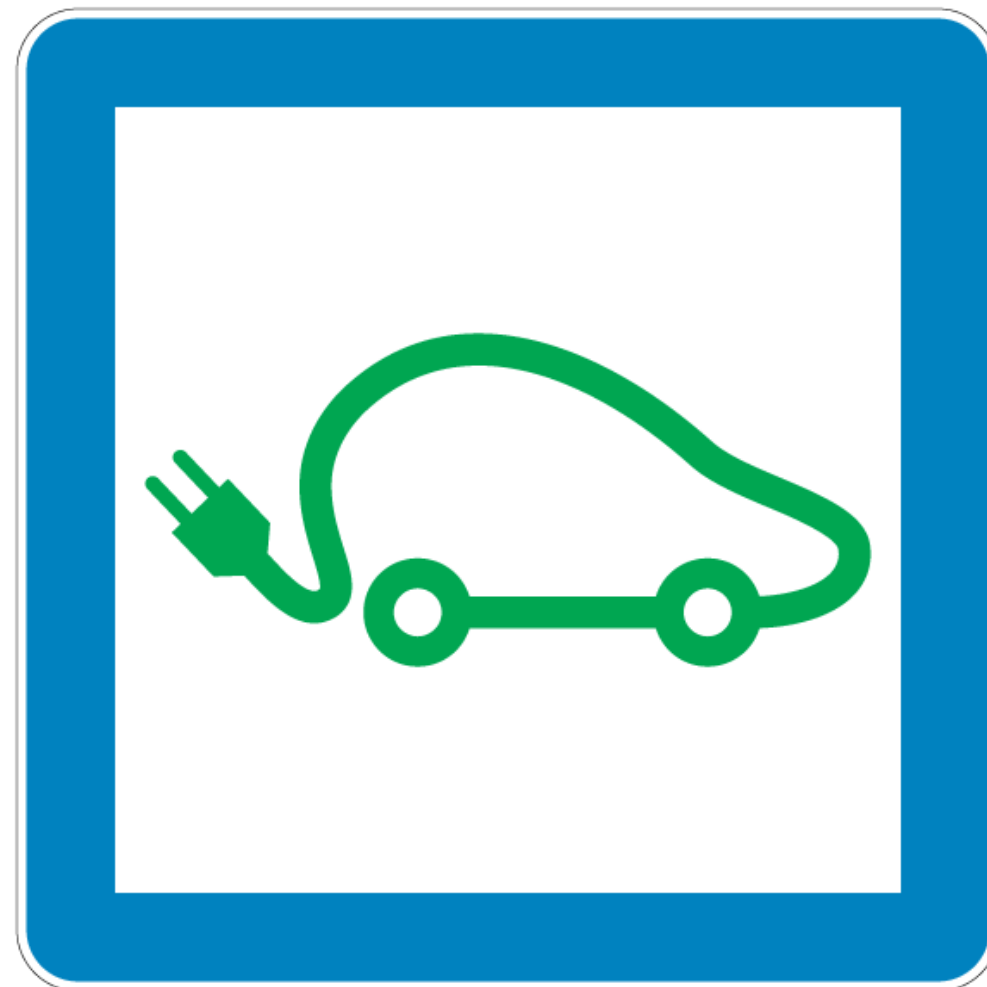
2. Utjecaj OIE na KEE u distribucijskoj mreži

Zaključak

- U usporedbi s fotonaponskim elektranama, **bioplinske elektrane imaju veći utjecaj** na distribucijske mreže.
- Neke bioplinske elektrane spojene su na slabu mrežu gdje je **opterećenje vrlo nisko** i to je razlog zašto doprinose povećanju flikera.
- Problemi se mogu očekivati tijekom **budućih priključaka**; ako se nove (bioplinske) elektrane spoje na iste priključne točke kao i već postojeći distribuirani izvori.
- Bioplinska elektrana može pozitivno utjecati na sadržaj harmonika u mreži.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

- Rast primjene električnih vozila (EV) - povećana potražnja za punionicama električnih vozila (EVCS).
- Tehnologija brzog punjenja istosmjernom strujom - novi izazovi za kvalitetu el. energije NN mreža.
- Punjenja u obiteljskim kućama?
- Punjenje EV na punionici - harmonici u elektroenergetskoj mreži.



3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 1**

- Dva punjača za električna vozila - smještene na odmorištu, na autocesti.
- Punionice su u vlasništvu HEP-a, a proizvela ih je tvrtka EVTRONIC.
- Mjerenje je provedeno tijekom 7 dana 2022. godine



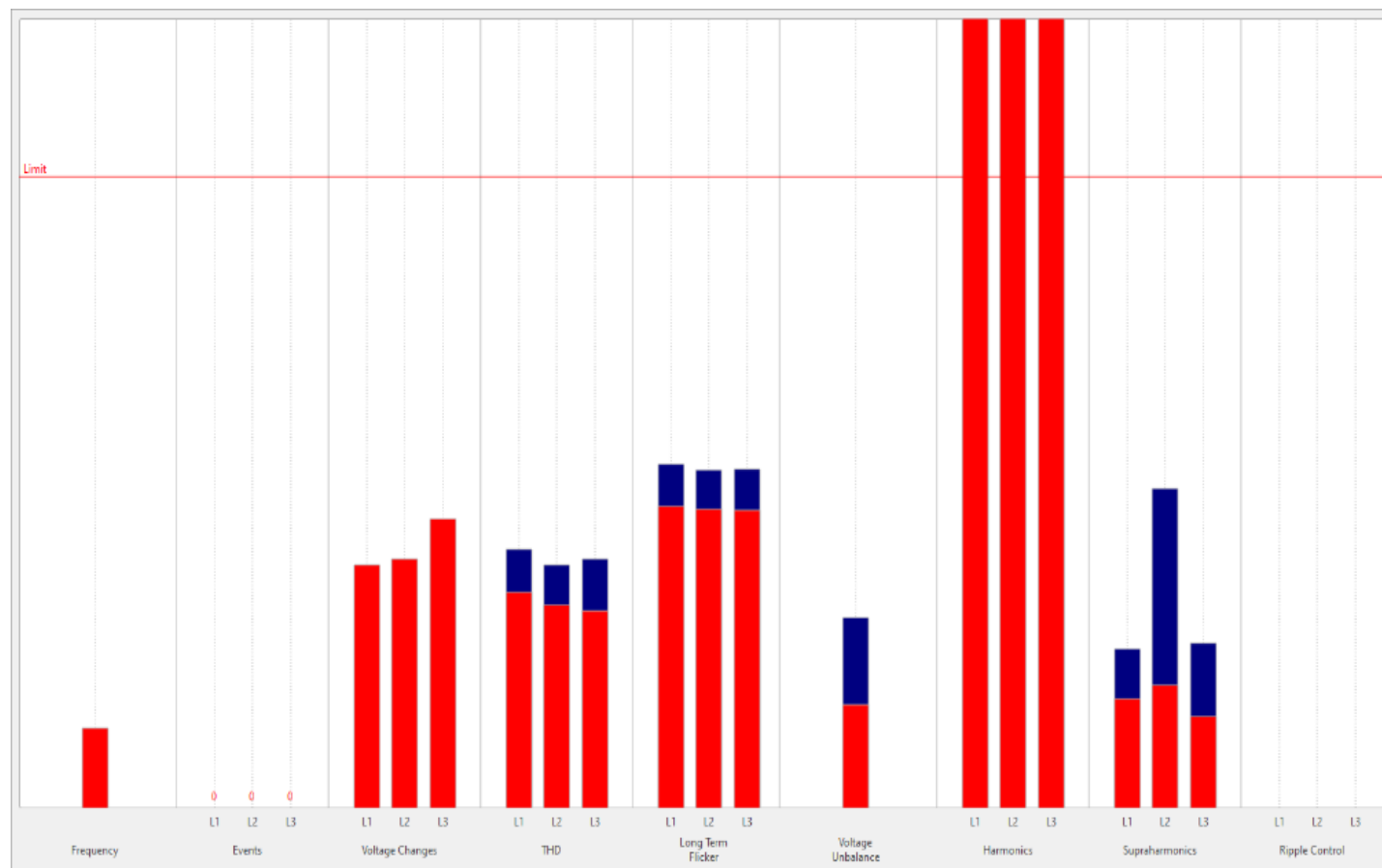
1. punjač (lijevo) - DC 178 kW

2. Punjač (desno) - DC 50 kW, AC 22 kW

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Slučaj 1

- Svi pokazatelji KEE - osim harmonika - u skladu su sa zahtjevima norme EN 50160.

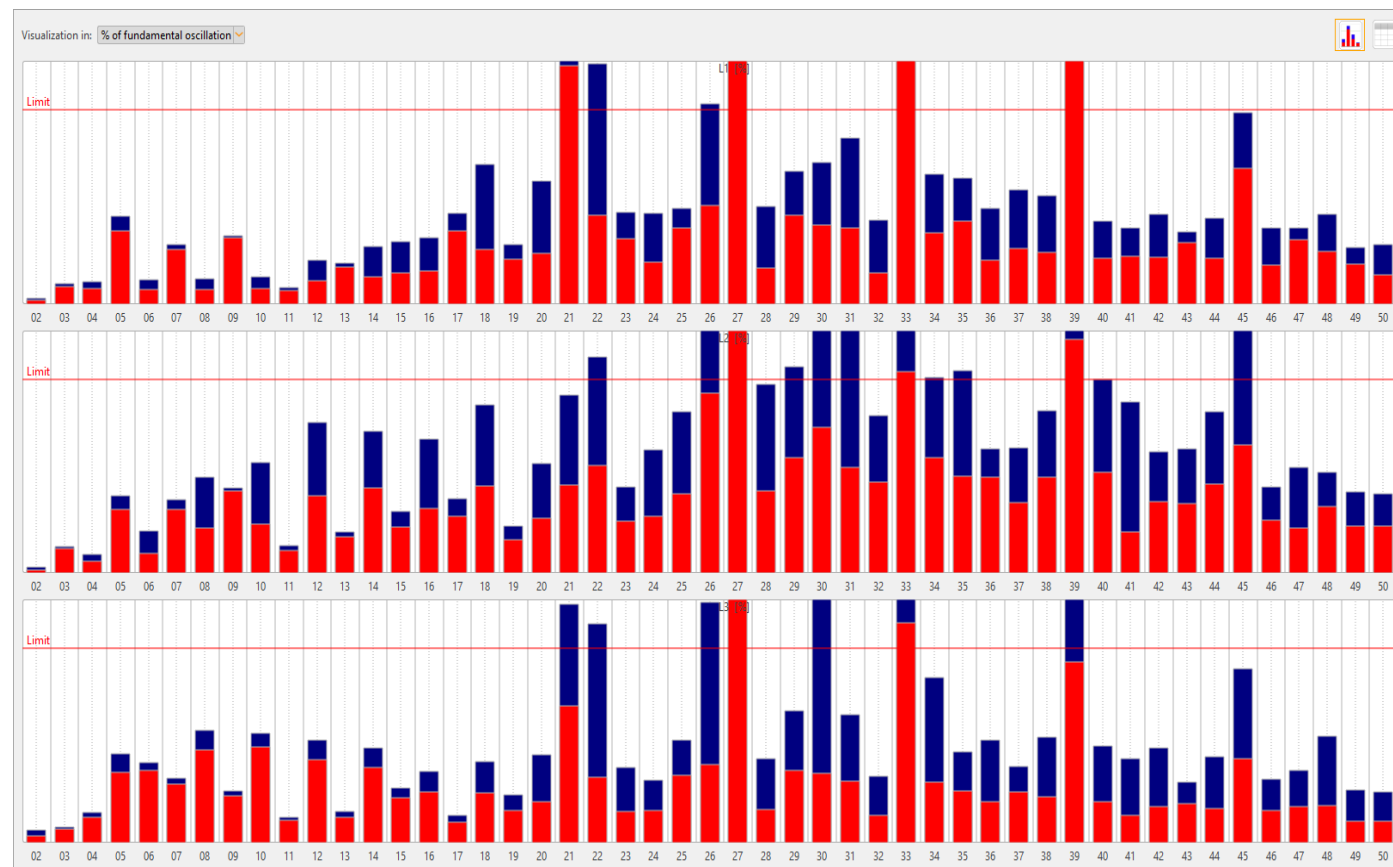


Sažeti rezultati mjerenja.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Slučaj 1

- Naponi 21., 27., 33. i 39. harmonika su previsoki!



Relativne vrijednosti pojedinačnih redova harmonika.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Slučaj 1

- Odnos između struja i napona 27. harmonika.
- Naponski harmonici su svakodnevno previsoki čak i u razdobljima kada nema struja punjača.
- Za $h = 27$, $U_h = 0,20 \%$
(EN 61000-2-2)



Naponi i struje 27. harmonika.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Slučaj

- 1
• Struje viših harmonika punionice za električna vozila uzrokovale su prekoračenje vrijednosti naponskih harmonika.
- Postoji **dodatni primarni izvor** snimljenih harmonika - vjerojatno javna rasvjeta, koja je svakodnevni stalni izvor harmonika.
- Sesije punjenja bile su **relativno rijetke** tijekom tjedna mjerenja (oko 2 sesije punjenja dnevno) - punionica je trenutno sekundarni izvor harmonika.
- Povećanjem broja sesija punjenja (posebno tijekom dnevnog svjetla), punionica za električna vozila mogla bi postati primarni izvor harmonika.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 2**

- Utjecaj ultrabrze punionice (360 kW) u RH na kvalitetu električne energije s naglaskom na harmonijsko izobličenje.
- Mjerenje kvalitete električne energije - 27 dana.



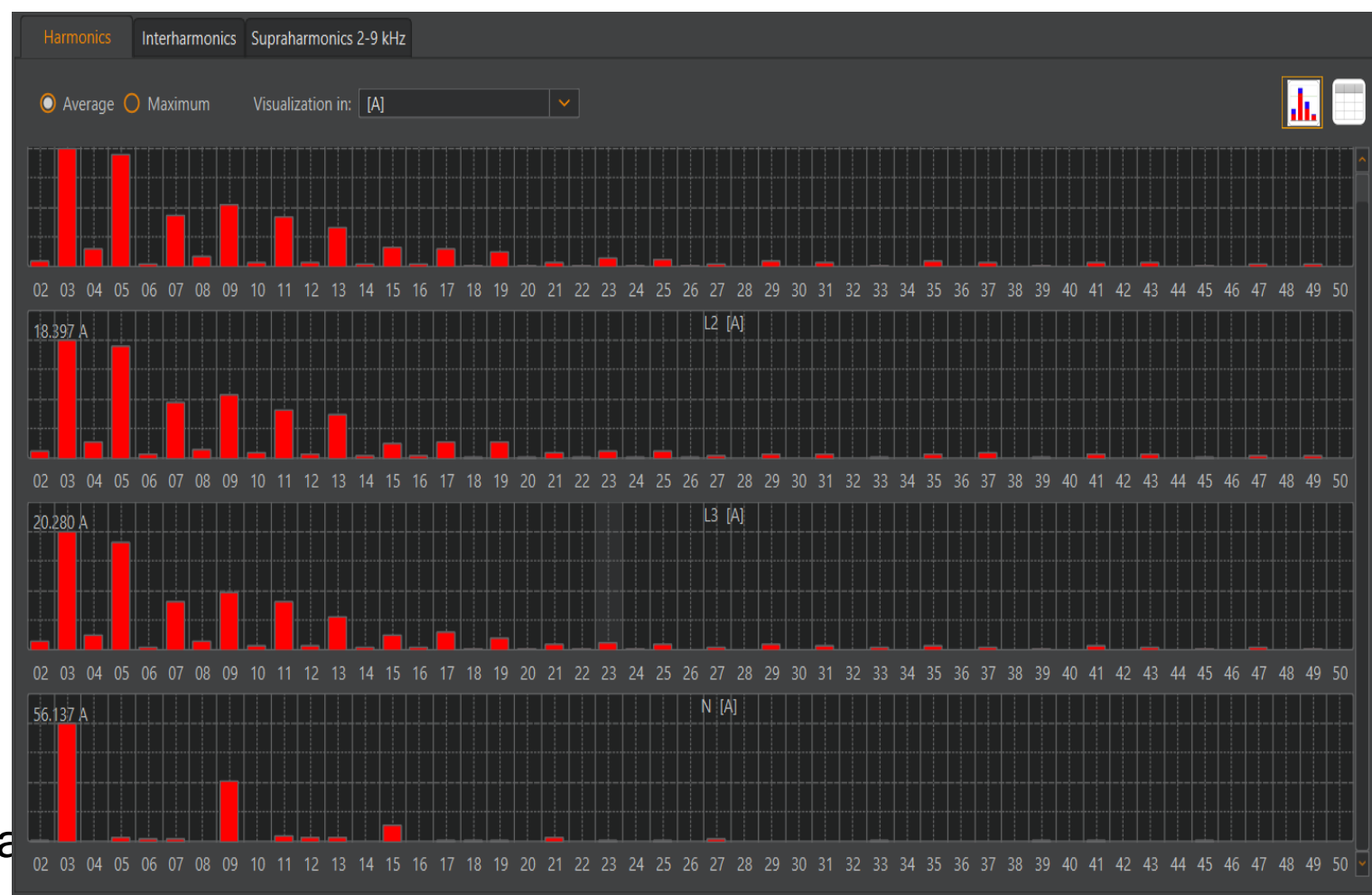
Ultrabrzi punjač

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 2**

- Svi pokazatelji KEE u skladu sa zahtjevima EN 50160.
- Ističu se: 3., 5., 7., 9., 11. i 13. harmonici u faznim vodovima
- Ističu se: 3., 9. i 15. harmonici u neutralnom vodu

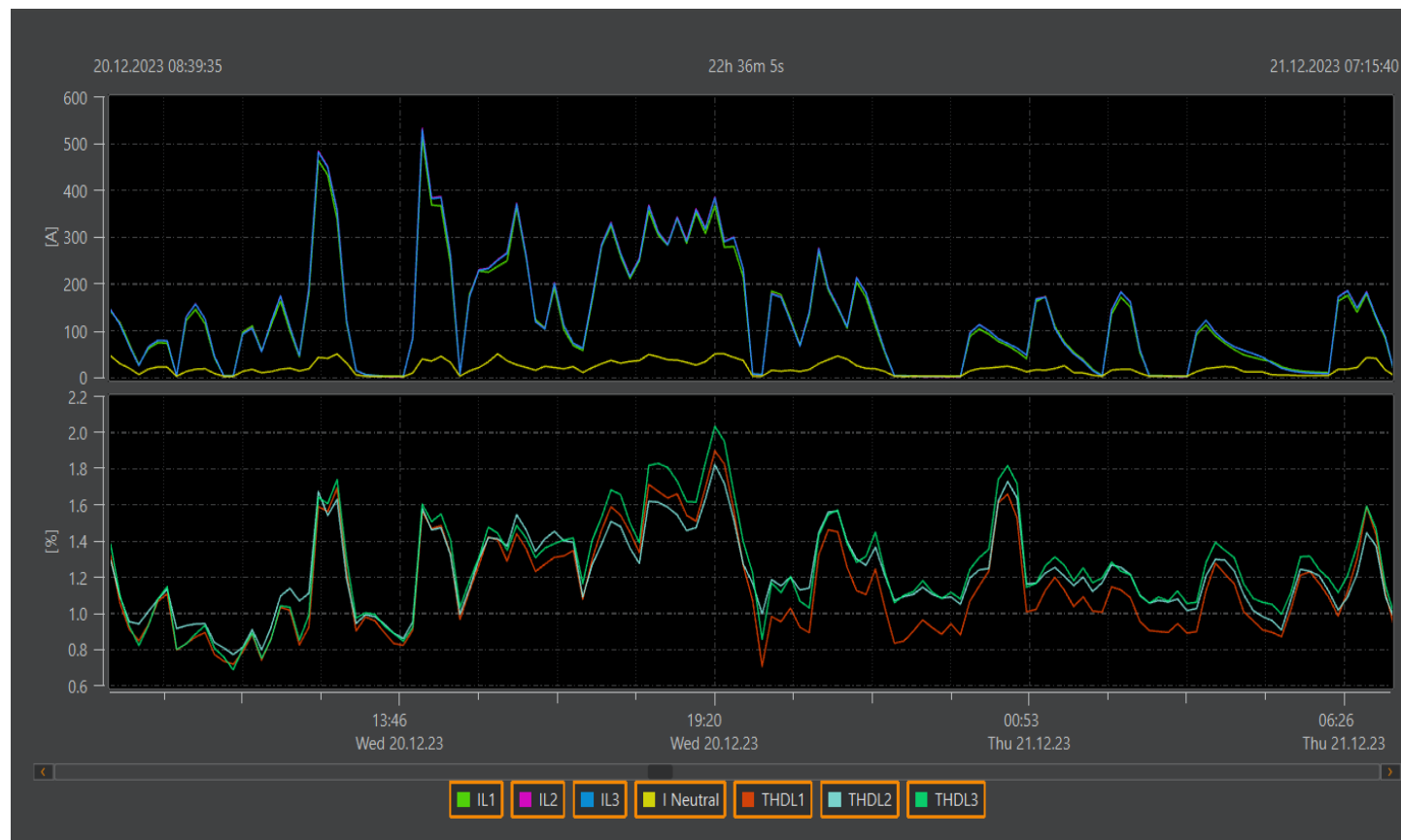
Spektar strujnih harmonika



3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 2**

- Zbog sličnosti oblika krivulja: struje promatranog ultrabrzog punjača za EV izravno utječu na THD napona ili naponske harmonike.



Struje punjača (gornje) i THD napona (donje krivulje)

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 3**

- Dva mjerenja: 3f i 1f punjenje na kućnom punjaču
- Kapacitet baterije EV 75 kWh
- Prema uputama proizvođača –
baterija se punila od 20 % do 80 % SoC (45 kWh)

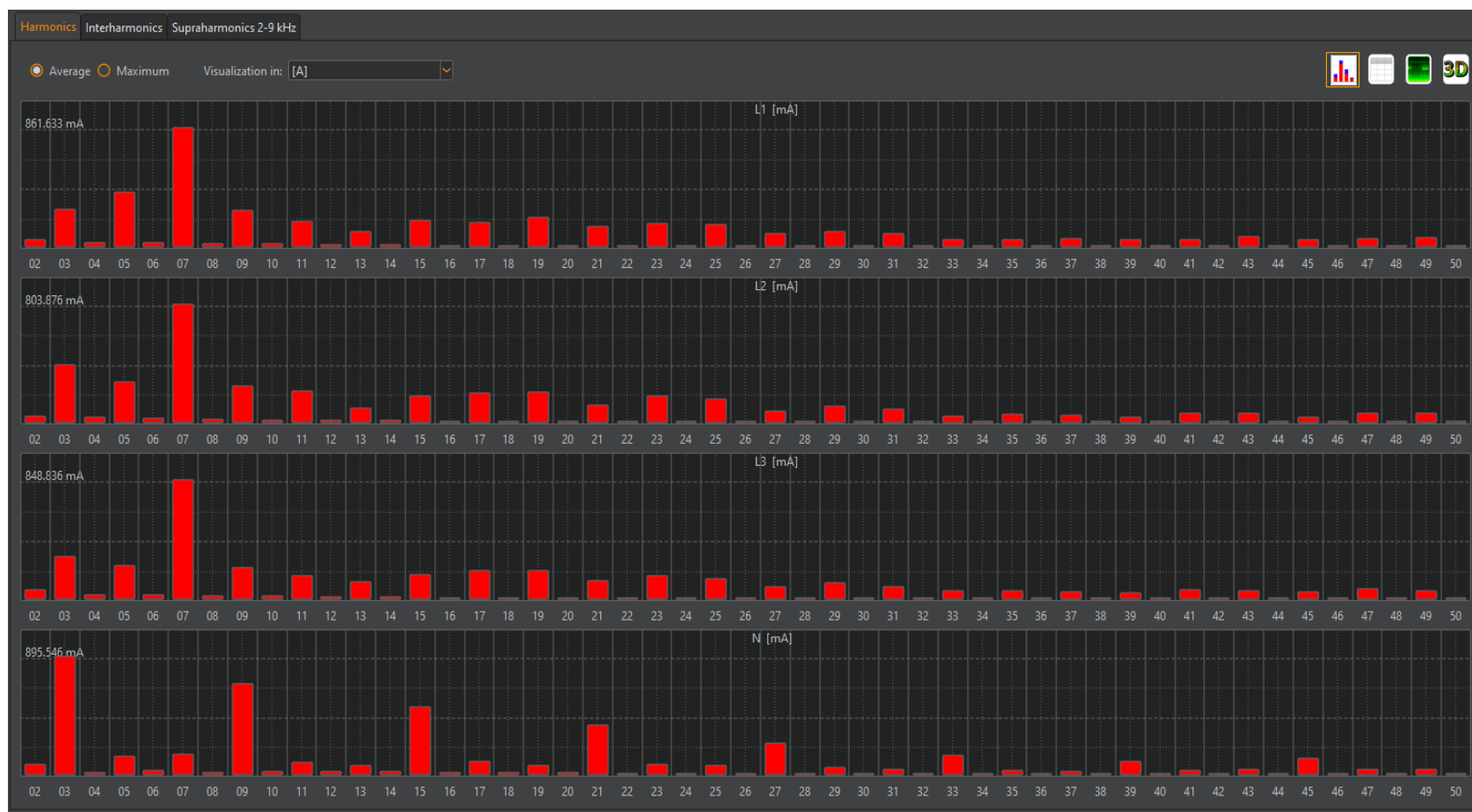


3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 3**

3f punjenje

- Trajanje oko 5 sati
- Snaga punjenja 11,4 kW
- Ističu se 3., 5. i 7. harmonici
- U neutralnom vodiču 3. harmonik!

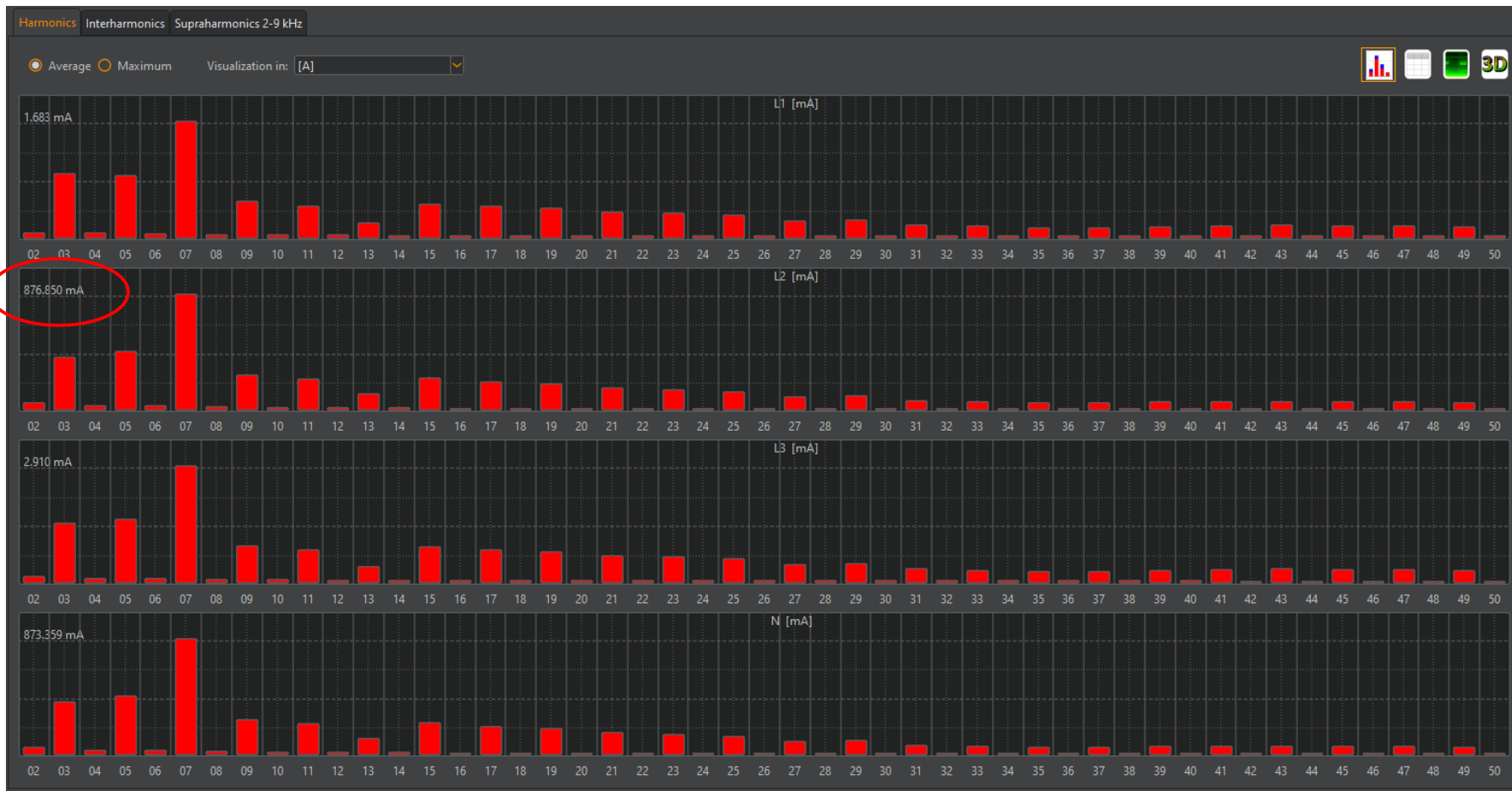


3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – **Slučaj 3**

1f punjenje

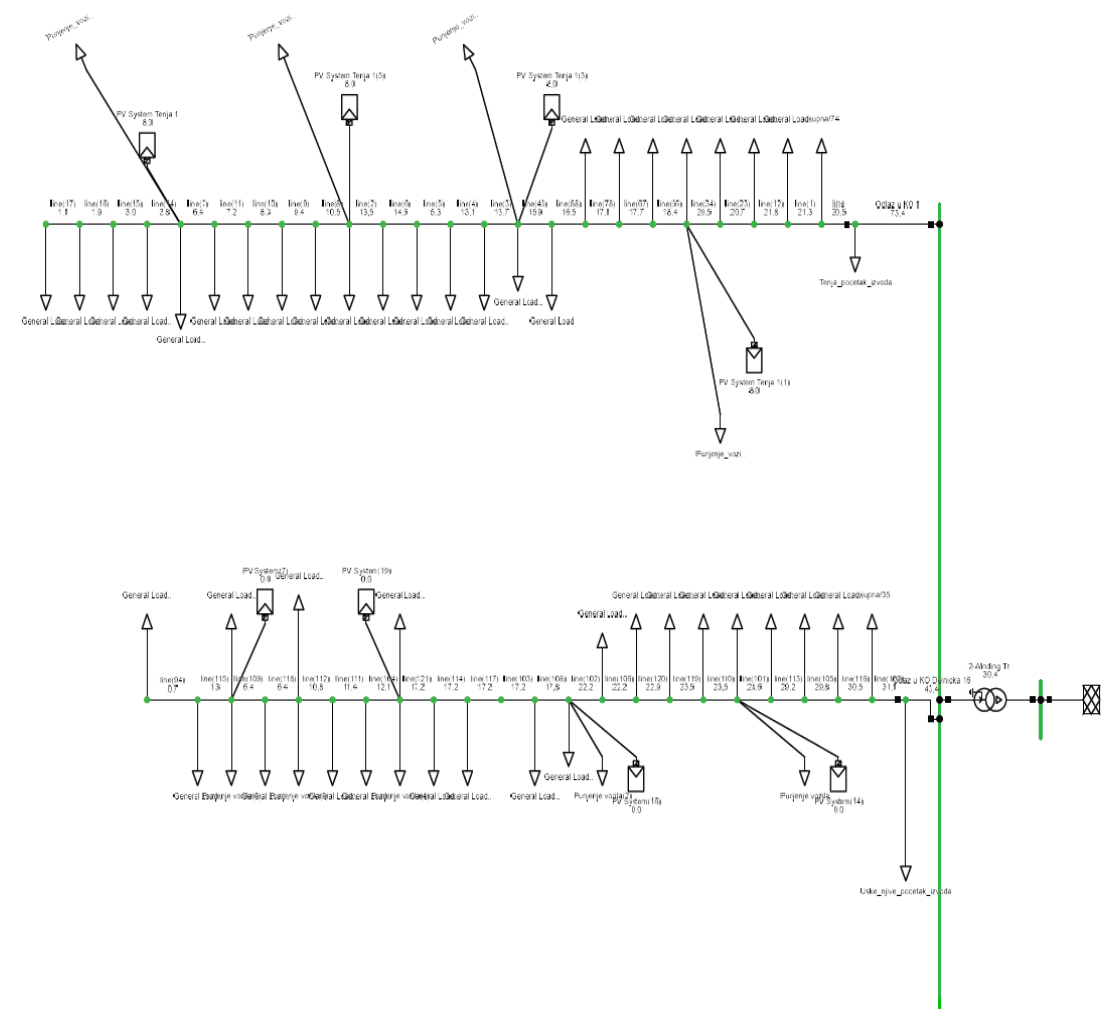
- Trajanje oko 15 sati
- Snaga punjenja 3,8 kW
- Punjenje na L2
- Najviše se ističe 7. harmonik, 3. i 5. značajni



3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Analiza mjerenja – Slučaj 3

- Simulacijski model – za istraživanje utjecaja punjača za električna vozila na KEE u NN distribucijskoj mreži.
- Dio NN distribucijskog sustava: TS 10/0,4 kV i 2 izvoda
- Oba izvoda - 38 različitih kućanstava, koja mogu imati FNE i punjače za EV.
- Svi ulazni podaci o potrošnji kućanstava, proizvodnji FNE i potrošnji punjača za EV - vlastita mjerenja.



3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Simulacija je provedena u 4 različita scenarija za dnevno punjenje.

1. scenarij (Sc 1), nema punjenja EV niti proizvodnje iz FNE. Prisutni su samo harmonici koje generiraju uobičajeni kućanski aparati - ovaj scenarij služi za usporedbu.
2. scenarij (Sc 2) EV se pune, a FNE proizvode energiju u svakoj 10. kući,
3. scenarij (Sc 3) EV se pune, a FNE proizvode energiju u svakoj 5. kući,
4. scenarij (Sc 4) EV se pune, a FNE proizvode energiju u svakoj 3. kući.

Svi električni automobili pune se istovremeno.

3. Utjecaj punionica EV na KEE u distribucijskoj mreži

Iako je ograničenje u europskoj normi EN 50160 za naponski THD = **8 %**, prema ENA ER G5, Engineering Recommendation of the Energy Networks Association (ENA ER): Planning levels for voltage harmonic distortion, maksimalno ograničenje THD-a na distribucijskom transformatoru iznosi **5 %**.

Vrijednosti veće od 5 % zabilježene su samo u fazi A, scenarij 4. Rezultati mjerenja općenito pokazuju neravnomjerno opterećenje faza, pa bi simetriranje po fazama vjerojatno pomoglo u smanjenju THD u fazi A.

Tradicionalni načini za smanjenje harmonika - **aktivni filteri** pružaju najbolje rezultate.

Scenario s	THD A %	THD B %	THD C %	THD TOTAL %
Sc 1	2,9%	2,0%	1,5%	2,2%
Sc 2	3,7%	2,1%	1,5%	2,6%
Sc 3	4,5%	2,2%	1,5%	3,0%
Sc 4	5,4%	2,6%	1,6%	3,6%

4. Zaključak

- Pregled različitih pogleda na probleme optimalne alokacije aktivnih filtera
- Promjenjivosti harmonijskog spektra kao funkcije vremena.
- Istraživanje na stvarnim radijalnim NN izvodima - na svakom čvoru varijabilnost proizvodnje i/ili potrošnje, koja se dobiva na temelju stvarnih mjerenja.
- Položaj i dimenzioniranje aktivnih filtera (APF) ovisi o rasponu opterećenja unutar 24-satnog intervala na svim čvorovima u promatranom vremenskom intervalu.



Article

Co-Simulation Model for Determination of Optimal Active Power Filters Settings in Low-Voltage Network

Mario Primorac ^{*}, Zvonimir Klaić, Heidi Adrić and Matej Žnidarec

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek, 31000 Osijek, Croatia; zvonimir.klaic@ferit.hr (Z.K.); heidi.margus@ferit.hr (H.A.); matej.znidarec@ferit.hr (M.Ž.)

* Correspondence: mario.primorac@ferit.hr

Abstract: Current trends in the use of energy storage, electric mobility, and the integration of a large number of distributed generations at the distribution level can have positive effects on reducing loads and losses in the network. An excessive and uncontrolled level of integration of the above trends leads to various problems related to the power quality. Distortion of the voltage and current waveforms caused by nonlinear loads is manifested through harmonics and can be classified as one of the most essential parameters of electricity quality. Reducing harmonics thus becomes the primary goal for improving the quality of electricity at the distribution level. This paper, along with a detailed analysis of the literature, provides an overview of different views on the problems of optimal allocation of active filters and emphasizes the importance that the problem of optimal allocation of active filters should be based on the variability of the harmonic spectrum as a function of time. Installing devices for reducing harmonics in the network, in terms of improving the quality of electricity, is one of the essential elements from both a technical and an economic point of view and can solve these challenges. Therefore, it is necessary to develop methods for solving the problem of determining the position, size and parameters of filters, as well as the number of buses on which such devices can be integrated. Applying optimization techniques enables the development of more realistic models for applying active power filters. The research in this paper is directed toward developing a co-simulation optimization model to determine optimal settings of the parallel APF due to harmonic reduction in a real low-voltage network using particle swarm optimization for 24 h intervals. The research in this paper was conducted on a real radial low-voltage feeder, where at each node, the variability of production and/or consumption is taken, which is obtained on the basis of real measurements and tests. Based on this, the position and dimensioning of the shunt active power filters (APFs) depend on the load range within a 24 h interval at all nodes in the observed time interval. Furthermore, the paper emphasizes the importance of observing Voltage Total Harmonic Distortion (THD_V) on the busbars in the depth of the



Academic Editor: Paweł Szczęśniak

Received: 26 November 2024

Revised: 30 December 2024

Accepted: 2 January 2025

Published: 6 January 2025

Citation: Primorac, M.; Klaić, Z.;

4. Zaključak

Rast priključenja OIE u distribucijsku mrežu

Povećanje broja punjača EV (javni i kućni punjači)

Za sprječavanje previsokih harmonika, metode poboljšanja potrebno je razmatrati i **globalno i lokalno** u svakom dijelu distribucijske mreže

Dostupne suvremene metode poboljšanja: simetriranje faza, aktivni filteri i, u novije vrijeme, upravljanje opterećenjem i dinamičke tarife električne energije (punjači)

Pametne mreže

Elektroenergetski sustav u uvjetima povećanog udjela uređaja energetske elektronike Izazovi u održavanju kvalitete električne energije u aktivnim mrežama – 2. dio

Hvala na
pažnji!