Analiza kvalitete električne energije na farmi muznih krava

Tukera, Vedran

Master's thesis / Diplomski rad

2016

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:013470

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

ANALIZA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE NA FARMI MUZNIH KRAVA

Diplomski rad

Vedran Tukera

Osijek, 2016.

SADRŽAJ:

1. UVOD..... 1

2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE 2

2.1. Standardi kvalitete električne energije 2

2.2 Norma EN 5016..... 2

2.2.1. Obilježja niskog i srednjeg napona 3

2.3. Pokazatelji kvalitete električne energije 6

2.3.1. Padovi napona i prekidi napajanja..... 6

2.3.1.1. Uzroci naponskih propada 8

2.3.1.2. Uzroci kratkih prekida opskrbe 8

2.3.1.3. Posljedice naponskih propada i prekida napajanja 8

2.3.1.4. Ublažavanje smetnji 9

2.3.2. Kolebanje napona i treperenje 9

2.3.2.1. Izvori..... 11

2.3.2.2. Posljedice..... 12

2.3.2.3. Smanjenje utjecaja kolebanja napona i flikera 12

2.3.3. Nesimetrija napona..... 12

2.3.3.1. Izvori..... 14

2.3.3.2. Posljedice..... 14

2.3.3.3. Smanjenje nesimetrije 15

2.3.4. Prenaponi..... 15

2.3.5. Izvori prenapona..... 16

2.3.5.1. Posljedice prenapona..... 17

2.3.5.2. Smanjenje rizika od prenapona 17

2.3.6. Strujni i naponski harmonici 17

2.3.6.1. Izvori strujnih i naponskih harmonika..... 21

2.3.6.2. Utjecaji strujnih i naponskih harmonika 24

2.3.6.3. Ublažavanje smetnji uzrokovanih harmonicima 29
2.4. Praćenje kvalitete električne energije 29
2.4.1. CBEMA i ITIC krivulje 29
3. DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE 32
3.1. Fotonaponski sustav 34
3.1.1. Utjecaj fotonaponskog sustava na kvalitetu električne energije 35
3.2. Fotonaponska elektrana Topolik 35
4. ANALIZA MJERENJA NA FARMI MUZNIH KRAVA TOPOLIK 38
4.1. Općenito o farmi Topolik 38
4.2. Mjerni instrument FLUKE 1745 38
4.2.1. Program za analizu mjerenja PQ Log 40
4.3. Rezultati mjerenja kvalitete napona 40
4.4. Sažet prikaz rezultata 50
ZAKLJUČAK 51
LITERATURA 52
SAŽETAK 53
SUMMARY 53
ŽIVOTOPIS 54

1. UVOD

Kako je električna energija postala sastavni dio našeg života ujedno je i njena kvaliteta postala od velike važnosti. Danas se električna energija promatra kao proizvod s određenim karakteristikama koje se mogu izmjeriti, predvidjeti i poboljšati.

U posljednjih nekoliko godina, korisnici mreže uočili su sve veći broj nedostatka uzrokovanih zbog loše kvalitete električne energije. Ti nedostaci su bili prisutni oduvijek u elektroenergetskom sustavu, ali su tek posljednjih godina počeli uzrokovati ozbiljne probleme zbog povećane osjetljivosti opreme i uređaja s nelinearnim karakteristikama, a uzrokuju izobličenje napona i smetnje unutar sustava koji se koriste od strane korisnika mreže.

Da bi se udovoljilo potražnji električne energije te zbog očuvanja okoliša, sve se više počinju uvoditi obnovljivi izvori energije poput energije vjetra i solarne energije kod kojih se uglavnom koristi energetska elektronika u različitim fazama za pretvorbu ili inverziju u iskoristivi oblik. Energetska elektronika uzrokuje izobličenje napona i značajno utječe na normalno funkcioniranje distribucijske mreže.

Dakle problem nastaje kako kod kupca tako i kod proizvođača koji zbog napretka tehnologije sve više koriste uređaje na bazi energetske elektronike koju su osjetljivi na lošu kvalitetu električne energije a ujedno i stvaraju probleme loše kvalitete zbog nelinearnih karakteristika.

Za utvrđivanje i opisivanje osobina opskrbnog napona na mjestu predaje potrošaču u javnim niskonaponskim i srednjenaponskim mrežama koristi se europska norma EN 50160. Pokazatelje kvalitete električne energije možemo podijeliti na naponske propade i prekide, kolebanje napona i treperenje, prenaponi, harmonici, nesimetrija napona, valovitost, promjene osnovne frekvencije mreže, prisutnost signalnih napona i prisutnost istosmjernog napona u izmjeničnom. Norma EN 50160 radi nadzor prethodno navedenih pokazatelja kvalitete tako da izračunavanjem definira njihove dozvoljene granice te ih uspoređuje sa izmjerenim vrijednostima.

Loša kvaliteta električne energije uzrok je visokih troškova koji su u postupnom porastu. Najviše trpi industrija zbog ozbiljnih financijskih gubitaka koje uzrokuju prekidi napona dulji od 3 minute i loša kvaliteta napona. Praćenje kvalitete može pomoći u utvrđivanju uzroka poremećaja i osnovnih problema na sustavu prije nego što dođe do prekida i poremećaja. Praćenje se sastoji od identificiranja, analiziranja i ispravljanja problema loše kvalitete napona.

U okviru ovoga rada izvedeno je mjerenje kvalitete električne energije u trajanju od sedam dana na automatiziranoj farmi muznih krava u Topoliku, dobiveni rezultati su analizirani po pojedinim pokazateljima kvalitete.

2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

2.1 Standardi kvalitete električne energije

Kako su ljudi shvatili da poremećaji kvalitete električne energije utječu na kvalitetu života i proizvodnju materijalnih dobara u industriji, počele su na snagu stupati mnoge norme koje se bave definiranjem tih poremećaja.

Uvjete za rad električnim uređajima određuje elektromagnetska kompatibilnost. Norme koje se najčešće koriste za definiranje parametara elektromagnetske kompatibilnosti su:

- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineer)
- IEC (International Electrotechnical Commission's)
- CENELEC (European Committe for Electritechnical Standardization)

IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineer) - spada u najveću profesionalnu organizaciju na svijetu. Udružuje članove iz 150 zemalja. Sudjeluju u razvoju standarda svih vrsta industrija koje se bave proizvodnjom električne opreme i uređaja te razvoju standarda kvalitete električne energije.

IEC (International Electrotechnical Commission's) - Međunarodna elektrotehnička komisija koja priprema i izdaje međunarodne standarde za sve električne i elektroničke tehnologije.

CENELEC (European Committe for Electritechnical Standardization) – nacionalni elektrotehnički odbor kojem je misija priprema dobrovoljnih elektrotehničkih standarda. On je razvio standard EN 50160 koji su prihvatile zemlje Europske unije.

2.2 Norma EN 5016

Europsku normu EN 5016 izradila je organizacija CENELEC, a norma je prihvaćena u Hrvatskoj pod nazivom HRN EN 50160. Definira i opisuje bitne značajke razdjelnog napona na mjestu predaje potrošaču u javnim niskonaponskim, srednjenaponskim i visokonaponskim mrežama pri normalnim pogonskim uvjetima [1, str.2]. Među pokazateljima kvalitete električne energije ističe se osam osnovnih parametara električnog napona:

- kolebanje napona i treperenje
- harmonici,
- signalni naponi
- frekvencija opskrbnog napona,
- nesimetričnost napona,
- naponski propadi, previsoki naponi i

- prekid opskrbe

Mjerenje se izvodi tijekom sedam dana uređajem za mjerenje kvalitete električne energije, a dobivene vrijednosti se prikazuju i analiziraju primjenom programskog alata.

Tablica 2.1. *Definicije u vezi sa normom EN 50160.*

Definicije za normu EN 50160	Objašnjenje
Potrošač	Kupac koji nabavlja električnu energiju od isporučitelja
Isporučitelj električne energije	Dobavljač električne energije preko javne razdjelne mreže
Mjesto predaje	Mjesto na kojem je priključen potrošač na javnu mrežu
Opskrbni napon	Vrijednost napona na mjestu predaje
Nazivni napon Un	Nazivnim naponom neka se mreža prepoznaje i označuje
(Dogovoreni) Opskrbni napon Uc	U normalnom slučaju jednak nazivnom naponu, može zbog dogovora između isporučitelja i kupca odstupati od nazivnog napona na mjestu predaje
Srednji napon	Napon (razdjelni) čija je efektivna vrijednost između 1 kV i 35 kV
Niski napon	Napon (razdjelni) čija je efektivna vrijednost najviše 1 kV
Smetnje prenesene vodovima	Elektromagnetska pojava prenesena vodovima u mreži
Frekvencija napona	Broj ponavljanja osnovnog harmonika ospkrbnog napona u jedinici vremena
Polagane promjene napona	Sniženje ili povišenje efektivne vrijednosti napona
Brze promjene napona	Brze promjene efektivne vrijednosti napona između dvaju naponskih razina
Treperenje napona	Vidom uočljivo prekidanje svjetlosnog toka
Kolebanje napona	Niz promjena napona
Jakost treperenja	Intenzitet smetnje zbog svjetlosnog treperenja
Naponski propad	Smanjenje opskrbnog napona najmanje 10 %
Prekid napajanja	Napon na mjestu predaje potrošaču manji od 1 %
Previsoki napon	Previsoki napon (prenapon) na djelu mreže
Tranzijentni previsoki napon	U pravilu prigušeni kratkotrajni titrajni ili netitrajni prenapon (traje nekoliko milisekundi)
Viši harmonici napona	Frekvencija koja je cjelobrojni višekratnik frekvencije osnovnog harmonika (50 Hz)
Međuharmonici napona	Frekvencija koja nije cjelobrojni višekratnik osnovnog harmonika (50 Hz)
Nesimetrija napona	Nastaje u trofaznoj mreži kada nisu jednake efektivne vrijednosti napona i kutova između njih
Signalni naponi	Signal koji služi za prijenos informacija u razdjelnoj mreži

2.2.1 Obilježja niskog i srednjeg napona

Potrošači koji se opskrbljuju na naponskoj razini do 1000 V pripadaju u grupu potrošača nižeg napona, a oni koji prelaze navedenu vrijednost opskrbljuju se na srednjem naponu (1-35 kV). U tablici 2.1. navedeni su glavni pokazatelji kvalitete električne energije i njihova obilježja na niskom i srednjem naponu prema normi EN 50160

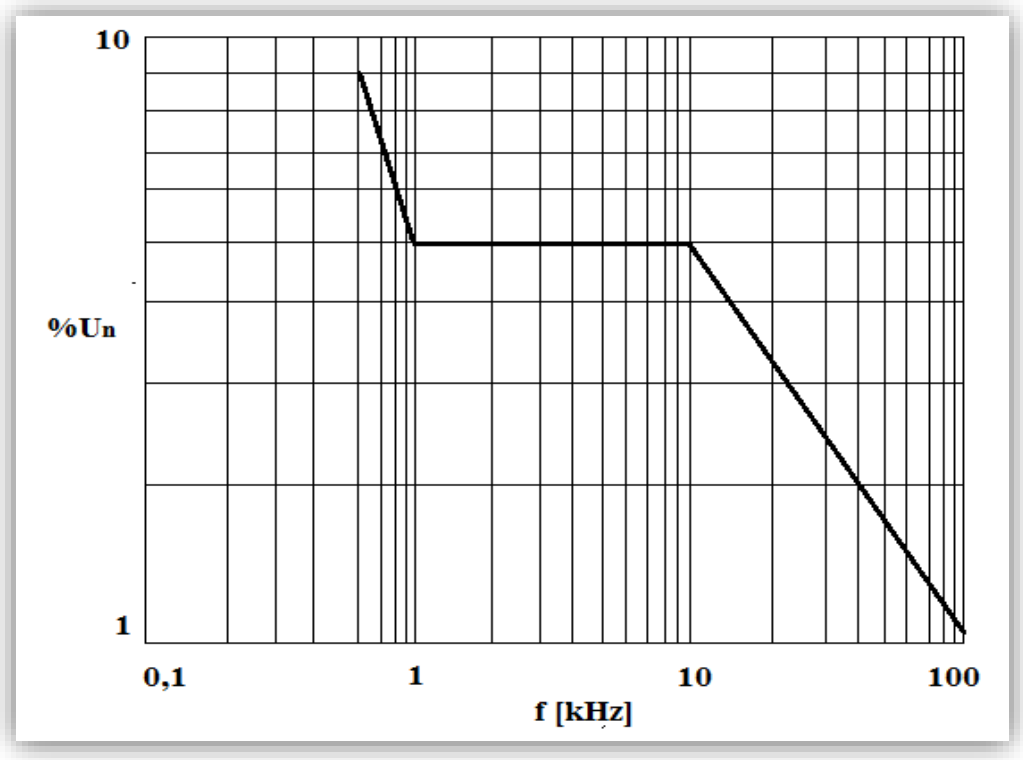
Tablica 2.2. *Obilježja niskog i srednjeg napona prema normi EN 50160.*

<table>
<tr><th colspan="7">EN 50160</th></tr>
<tr><th rowspan="4">Pokazatelji kvalitete</th><th rowspan="4">Mjerna veličina</th><th colspan="2">NIŽI NAPON</th><th>SREDNJI NAPON</th><th rowspan="4">Promatran -o razdoblje</th><th rowspan="4">Period mjerenja</th><th rowspan="4">Granica</th></tr>
<tr><th colspan="2">f= 50 Hz</th><th>f= 50 Hz</th></tr>
<tr><th>Fazni</th><th>U_n=230 V</th><th rowspan="2">U_c – definira se ugovorom o isporuci električne energije</th></tr>
<tr><th>Linijski</th><th>U_n=400 V</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Promjene napona</td><td rowspan="2">V</td><td colspan="2">Normalni pogonski uvjeti, prekid napajanja se ne uzima u obzir
U_n ±10 %.
(253V-207 V)</td><td>Normalni pogonski uvjeti, prekid napajanja se ne uzima u obzir
U_c ±10 %.</td><td rowspan="2">1 tjedan</td><td rowspan="2">10 min</td><td>95 %</td></tr>
<tr><td colspan="2">Normalni pogonski uvjeti, prekid napajanja se ne uzima u obzir
U_n +10 % / -15%
(253V - 199,5V)</td><td>Normalni pogonski uvjeti, prekid napajanja se ne uzima u obzir
U_c +10 % / -15%</td><td>5 %</td></tr>
<tr><td>Kratki prekidi</td><td>Broj</td><td colspan="3">Trajanje ≤ 3 min, 10 do 100 godišnje</td><td>1 godina</td><td>10 ms</td><td>100 %</td></tr>
<tr><td>Dugi prekidi</td><td>Broj</td><td colspan="3">Trajanje > 3 min, 10 do 50 godišnje</td><td>1 godina</td><td>10 ms</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>Padovi napona</td><td>Broj</td><td colspan="3">Većina ih je kraća od 1 s, dubine su od 60 % U a mogu biti i dužih trajanja i dubina, očekivani broj od 10 do 1000</td><td>1 godina</td><td>10 ms</td><td>100 %</td></tr>
<tr><td>THD napona</td><td>%U_n</td><td colspan="3"><8%U_n</td><td>1 tjedan</td><td>10 min</td><td>95 %</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Treperenje</td><td>P_{lt}</td><td colspan="3">P_{lt} ≤ 1</td><td rowspan="2">1 tjedan</td><td>10 min</td><td rowspan="2">95 %</td></tr>
<tr><td>P_{st}</td><td colspan="3">Nije točno definirana vrijednost</td><td>2 h</td></tr>
<tr><td>Nesimetrija</td><td>%U_n</td><td colspan="3"><2% U_n</td><td>1 tjedan</td><td>10 min</td><td>95 %</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Frekvencija</td><td rowspan="2">Hz</td><td colspan="3">50 Hz ± 1% (49,5 Hz-50,5 Hz)
Otočni rad
50 Hz +2 % (49 Hz-51 Hz)</td><td rowspan="2">1 godina</td><td rowspan="2">10 s</td><td>99,5 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">50 Hz +4 % /-6 %
(47 Hz-52 Hz)
Otočni rad
50 Hz +15% (42,5 Hz- 57,5 Hz)</td><td>0,5 %</td></tr>
<tr><td>Signalni naponi</td><td>%U_n</td><td colspan="3">do 500 Hz: < 9%
1-10 kHz: < 5%
Slika 2.1.</td><td>1 dan</td><td>3 s</td><td>99 %</td></tr>
</table>

Tablica 2.3. *Granične vrijednosti viših harmonika napona U_h u odnosu na nazivni napon u srednjenaponskoj i niskonaponskoj mreži [1, str.14].*

Neparni harmonici				Parni harmonici	
Nisu višekratnici broja 3		Višekratnici su broja 3			
Red harmonika	U_h u %U_n	Red harmonika	U_h u %U_n	Red harmonika	U_h u %U_n
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 do 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Na slici 2.1 prikazane su granične vrijednosti signalnih napona izražene u postotcima nazivnog napona U_n. Možemo primijetiti kako se porastom frekvencije smanjuju signalni naponi izraženi u postotcima nazivnog napona dok se smanjenjem frekvencije povećavaju.

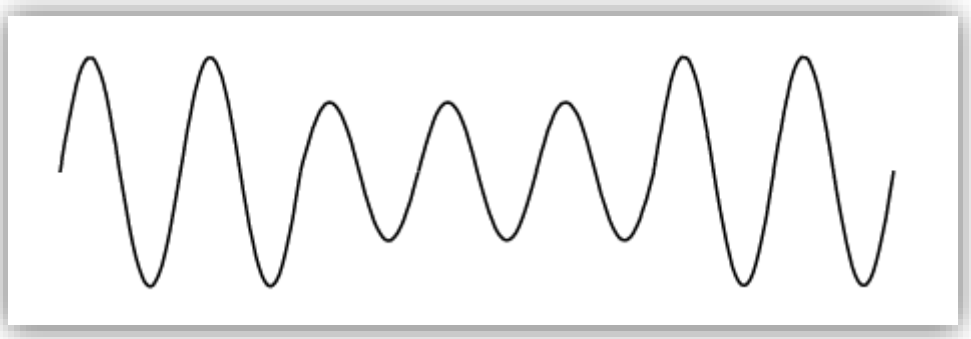


Slika 2.1. *Granične vrijednosti signalnih napona u srednjenaponskoj i niskonaponskij mreži izražene u %U_n.*

2.3 Pokazatelji kvalitete električne energije

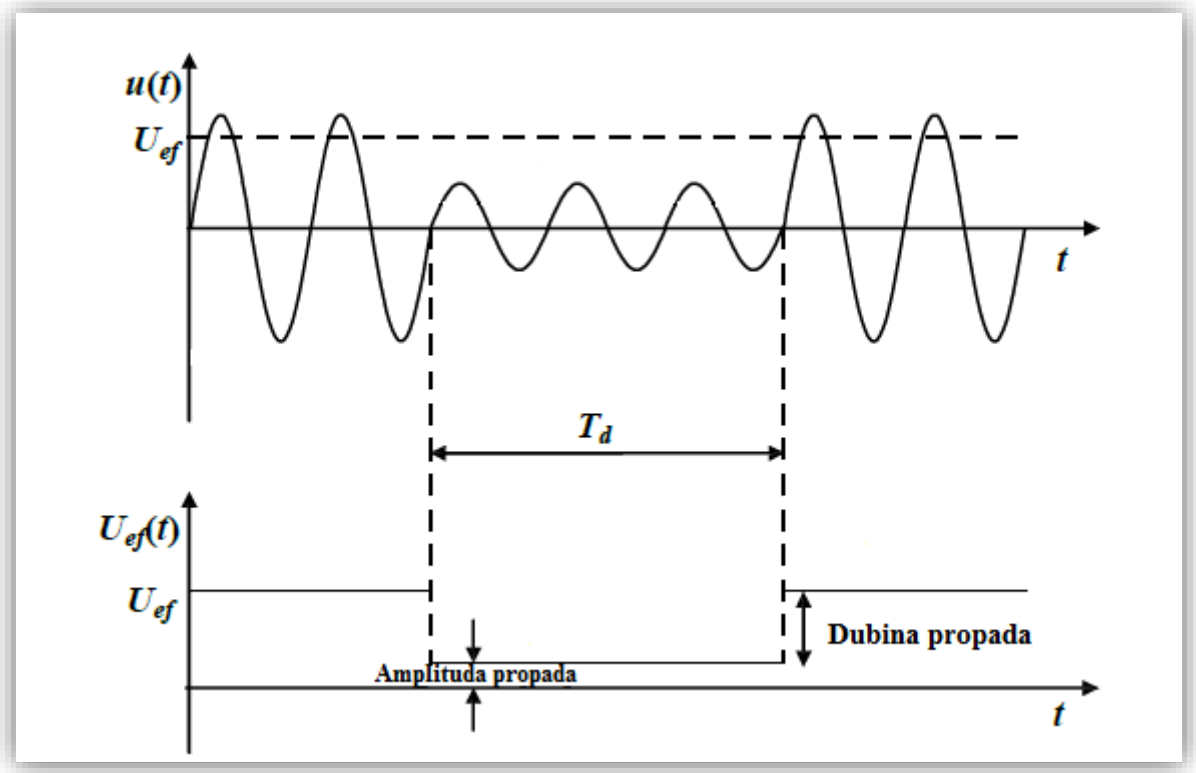
2.3.1 Padovi napona i prekidi napajanja

Pad napona se definira kao smanjenje napona u određenom dijelu elektroenergetskog sustava unutar perioda kraćeg od 10 ms, praćen oporavkom nakon kratkog intervala (Slika 2.2.).



Slika 2.2. *Naponski propad.*

Na slici 2.3. prikazana je karakteristika naponskog propada koja je određena dubinom propada, amplitudom naponskog propada i vremenom trajanja T_d. Gornja slika predstavlja valni oblik napona a donja efektivnu vrijednost napona računatu kroz neko vrijeme.



Slika 2.3. *Karakteristika kratkotrajnog naponskog propada.*

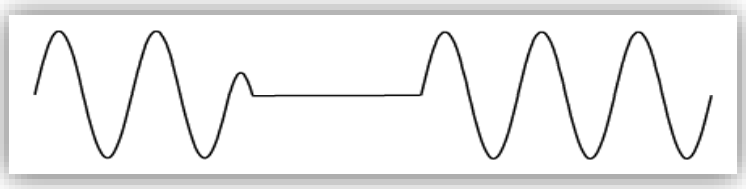
Dubina propada predstavlja razliku vrijednosti efektivnog napona za vrijeme naponskog propada i efektivnog napona kada nema propada. Vrijeme trajanja propada T_d je vremenski interval između trenutka nastanka propada i trenutka kada se napon vrati na efektivnu vrijednost. Amplituda propada je vrijednost sniženog efektivnog napona za vrijeme trajanja propada. Na primjer amplituda naponskog propada od 80 % u 230 V mreži smanjuje napon na 184 V.

Prekide opskrbnog napona može se podijeliti prema vremenu trajanja na:

- kratak prekid opskrbe i
- dugi prekid opskrbe

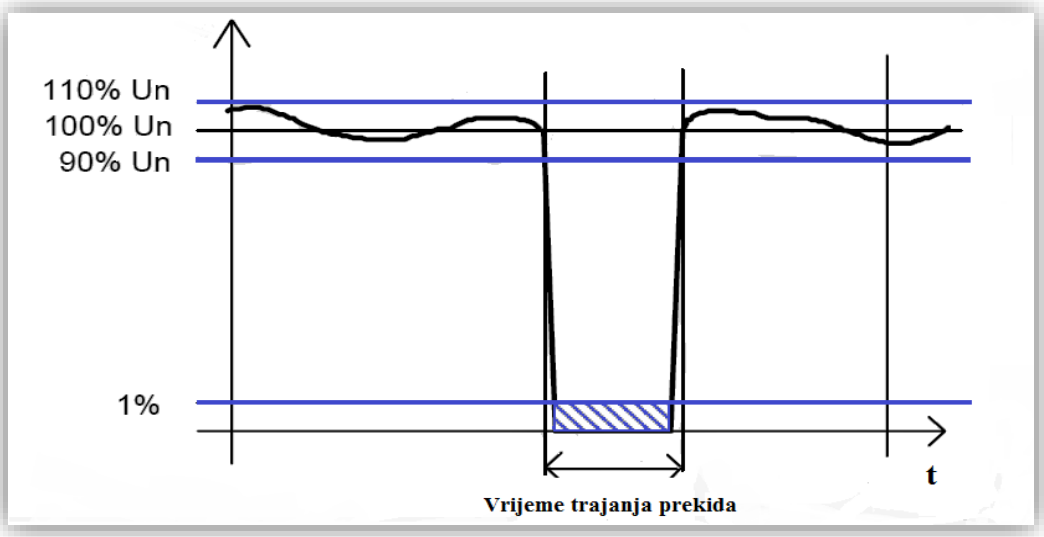
Kratak prekid opskrbe je poseban slučaj naponskog propada. Predstavlja smanjenje napona na svim fazama u određenoj točki elektroenergetskog sustava ispod 1% nazivnog napona, popraćen oporavkom nakon kratkog intervala (Slika 2.4.).

Kada prekid opskrbnog napona traje dulje od tri minute govorimo o dugom prekidu napajanja.



Slika 2.4. *Kratki prekid opskrbe.*

Karakteristika kratkog prekida opskrbe prikazana je na slici 2.5. Određena je vremenom trajanja prekida i dubinom pada napona ispod 1% nazivnog napona.



Slika 2.5. *Karakteristika kratkog prekida opskrbe.*

2.3.1.1 Uzroci naponskih propada

Kratki spoj u sustavu napajanja glavni je uzrok naponskih propada jer izaziva struje velikog iznosa koje uzrokuju velike propade napona u dijelovima mreže. Postoji mnogo uzročnika kratkih spojeva i oni su neizbježna pojava u radu sustava. Jedan od glavnih uzroka je popuštanje izolacije izravno prenaponima zbog naponskih pražnjenja ili rada prekidača. Pojni sustavi se radi zaštite od kratkog spoja opskrbljuju zaštitnim uređajima koji isključuju kratki spoj. Istog trenutka kada dođe do isključenja, napon se oporavlja i postiže nazivnu vrijednost u svim dijelovima mreže osim u isključenom. Neke vrste kvarova su samouklanjajuće te kratki spoj nestane prije nego li reagiraju zaštitni uređaji i napon postigne nazivnu vrijednost. Osim kratkog spoja, velike promjene struja koje mogu biti uzrok naponskim propadima javljaju se:

- uključivanjem velikih potrošača,
- uključivanjem velikih motora spojenih na dugačak vod,
- velikim kolebanjima snage (posebice jalove) koje su karakteristične za neke kategorije opterećenja i instalacija, kao što su pogoni sa podesivom brzinom, lučne peći, oprema za varenje.

2.3.1.2 Uzroci kratkih prekida opskrbe

Rad prekidača koji otklanjaju kratke spojeve u sustavu, najčešće su vezani za kratke prekide opskrbe. Njihova svrha je odvajanje dijelova sustava od izvora električne energije. Ako je u pitanju radijalna mreža, opskrba će se prekinuti u svim dijelovima sustava koji su na nižoj naponskoj razini. U slučaju isprepletene mreže, zbog otklanjanja kvarova potrebno je isključiti prekidače u više dijelova mreže. Oni potrošači koji se nalaze u isključenom dijelu mreže ostat će nakratko bez opskrbe električne energije. Normalan rad uz minimalno zakašnjenje prilikom prolaznog kvara uspostavlja se automatskim ponovnim uklopom. U svrhu smanjenja broja potrošača koji je zahvaćen prekidom opskrbe vrši se dodatno uklapanje i isklapanje, automatski ili ručno. Stoga prilikom jednog kvara može doći do kompleksnog niza uklapanja i isklapanja koje korisnik vidi kao prekide opskrbe različitog trajanja.

2.3.1.3 Posljedice naponskih propada i prekida napajanja

Smanjenjem ili gubitkom napona dobivamo manjak potrebne električne energije za rad te će za vrijeme kvara trošila raditi neispravno ili uopće neće raditi. Drugim riječima dolazi do smanjenja učinkovitosti opreme i u ekstremnim slučajevima do potpunog zatajenja. Kada napon postigne vrijednost koja je ispod prihvatljive granice ili je trajanje propada predugo, zaštita isključuje opremu od napajanja ili može raditi neispravno. U takvim slučajevima dolazi do prestanka proizvodnje, povećavaju se troškovi zbog ponovnog pokretanja proizvodnog procesa,

oštećenja opreme i materijala, isporuka kasni itd. Dolazi do gašenja računala, kvarova kod indukcijskih i sinkronih motora i neželjenog djelovanja osjetljivih kontrolera.

2.3.1.4 Ublažavanje smetnji

Rješenja za sprječavanje štete uzrokovane naponskim propadima mogu se kategorizirati u tri skupine:

- rješenje pri samom proizvodnom procesu,
- rješenje između proizvodnog procesa i javne električne mreže,
- rješenja u mreži

Standardni pristup elektromagnetskoj kompatibilnosti sastoji se od koordinacije emisija i ograničenja otpornosti. S jedne strane pokušava se spriječiti elektromagnetske smetnje do određene mjere, a s druge strane, osigurati zaštitu opremi i instalacijama do one mjere koja im osigurava adekvatan rad. Neke opreme i instalacije imaju inherentno povećan imunitet prema naponskim propadima zbog inertnosti kapaciteta skladištenja električne energije. Ovo svojstvo se može osigurati u fazi projektiranja.

Spomenuli smo već kako je kratki spoj jedan od glavnih uzroka kratkih prekida opskrbe i naponskih propada. Kratki spoj se ne možeu potpunosti eliminirati već postoje metode za smanjenje njihovog broja a samim time i smanjenje naponskih propada i kratkih prekida. Metode kojima se može smanjiti broj kratkih spojeva:

- zamjena nadzemnog voda kabelima,
- upotreba izoliranih vodiča na nadzemnim vodovima,
- redovito rezanje raslinja na području dalekovoda,
- ograde protiv životinja
- povećana izolacijska razina,
- povećano održavanje itd.

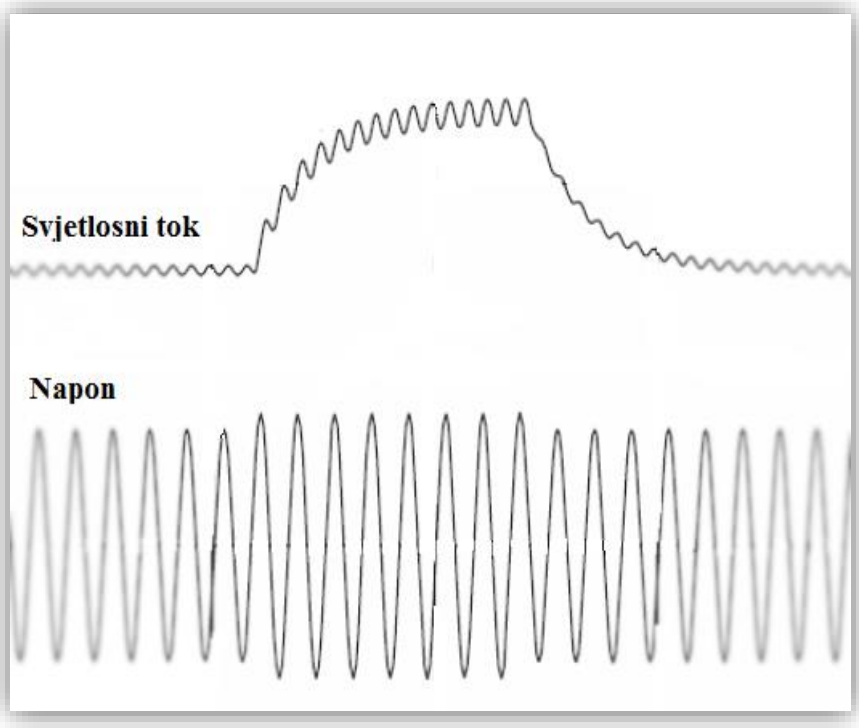
Ostali uzroci kratkih prekida opskrbe i naponskih propada mogu se eliminirati uz pomoć uređaja za besprekidno napajanje, uvođenjem rezervnih izvora napajanja.

2.3.2 Kolebanje napona i treperenje

Kolebanja napona i treperenje predstavljaju povezan problem iako se ovi izrazi koriste kako bi se opisali drugačiji efekti. Mogu se vrlo često dogoditi u isto vrijeme. Naponsko kolebanje je odstupanje efektivne od stacionarne vrijednosti kroz neki vremenski interval (Slika 2.6).

Slika 2.6. Kolebanje napona.

Naponska kolebanja definirana su kružnim promjenama napona čija amplituda ne prelazi 10 % U_n. Na električnoj opremi uglavnom se ne događaju problemi prilikom ovog poremećaja jer je opseg promjena uobičajeno puno niži od praga osjetljivosti većine oprema. Glavni negativni povratni utjecaj kolebanja napona je taj što proizvodi promjene intenziteta svjetlosnog izvora to jest treperenje. Na slici 2.7 prikazana je ovisnost svjetlosnog toka o promjeni napona (kolebanju).



Slika 2.7. *Promjena inteziteta svjetlosnog toka izazvana kolebanjem napona.*

Treperenje se javlja kao neugodan osjećaj koji se osjeti prilikom izlaganja ljudskog vizualnog sustava promjenama intenziteta svjetlosti. Definira se na slijedeći način: Ako u nekoj prostoriji boravi 100 ljudi pod jednakim uvjetima, i ako se intenzitet svjetla promijeni toliko da to opazi 50 od ukupno 100 nazočnih ljudi, kaže se da treperenje (fliker) ima intenzitet 1 [1,str.17]. Dijele se na:

- Kratkotrajni fliker P_{st} unutar desetominutnog intervala.

$$P_{st} = \sqrt[3,2]{\frac{\sum t_f}{T_p}} \tag{2-1}$$

gdje je:

t_f- vrijeme treperenja

T_p- vremenski interval (10 min)

- Dugotrajni fliker P_{lt} dobiva se u 120 minutnom intervalu. Izračunava se na temelju izmjerenih dvanaest vrijednosti kratkotrajnog flikera. Vrijednost dugotrajnog flikera mora biti manja ili jednaka 1 u 95 % tjedna prema normi EN 50160.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^{\ 3}}{12}} \tag{2-2}$$

gdje je:

P_{sti} - vijednost kratkotrajnog flikera

2.3.2.1 Izvori

Izvore flikera predstavljaju uređaji povezani sa elektroenergetskim sustavom koji proizvode brza naponska kolebanja koja su uglavnom uzrokovana pri promjenama u potrošnji energije. Neki važni izvori su:

- Industrijska opterećenja - spadaju u glavni izvor naponskih promjena. Povezana su sa visokonaponskim i niskonaponskim mrežama što može imati utjecaj na ostale potrošače koju su povezanu na tu istu mrežu.
- Lučne peći - koriste se u industriji za proizvodnju čelika od recikliranog željeza. Spadaju u velika industrijska opterećenja između nekoliko MVA do iznad 100 MVA. Ubrajaju se u najveće izvore smetnji povezanih sa visokonaponskom mrežom.

- Zavarivači - za zavarivanje koriste toplinu koja se stvara prolaskom električne struje što zahtjeva vrlo visoku vrijednost struje. Naponske promjene koje se događaju prilikom uključivanja i isključivanja zavarivača mogu uzrokovati smetnje u susjednim uređajima.
- Električni bojler
- Kondenzatorska baterija
- Pokretanje visokonaponskih motora
- Kratki spojevi u mreži
- Energetska elektronika

2.3.2.2 Posljedice

Posljedice koje se javljaju zbog flikera uglavnom pogađaju rasvjetu, elektroničke uređaje, televizore, radije, računala itd. tako da im smanjuju životnu dob i uzrokuju smetnje pri radu.

2.3.2.3 Smanjenje utjecaja kolebanja napona i flikera

Utjecaj kolebanja napona i flikera mogu se smanjiti ograničavanjem struje kratkog spoja, smanjenjem struje pokretanja visokonaponskih motora, većim presjekom vodova i paralelnim granama te primjenom poprečnih i serijskih kondenzatora za „glačanje“ napona.

2.3.3 Nesimetrija napona

Vekotrski sustav gdje su naponi na fazama generatora jednaki i međusobno odmaknuti za 120° čini simetrični sustav. Do neuravnoteženosti takvog stanja može doći na primjer za vrijeme nesimetričnog kratkog spoja. U praksi, nije moguće dobiti potpunu simetriju na svim čvorovima elektroenergetskog sustava.

Naponska nesmetrija u trofaznom sustavu je stanje u kojem tri fazna napona nisu jednaka po veličini ili ako su kutovi između njih različiti od 120° (Slika 2.5.).

Slika 2.8. *Nesimetrija napona prikzana u vremenskoj domeni.*

Metoda simetričnih komponenti primjenjuje se za analizu nesimetrije. Njena glavna ideja je zamjena trofaznog nesimetričnog vektorskog sustava napona ili struja zbrojem trofaznih direktnih, inverznih i nultih simetričnih komponenti (Slika 2.9.). Napon simetričnih komponenti kao funkcije faznih napona mogu se odrediti iz jednadžbi:

$$U_0 = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C) \tag{2-3}$$

$$U_1 = \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2U_C) \tag{2-4}$$

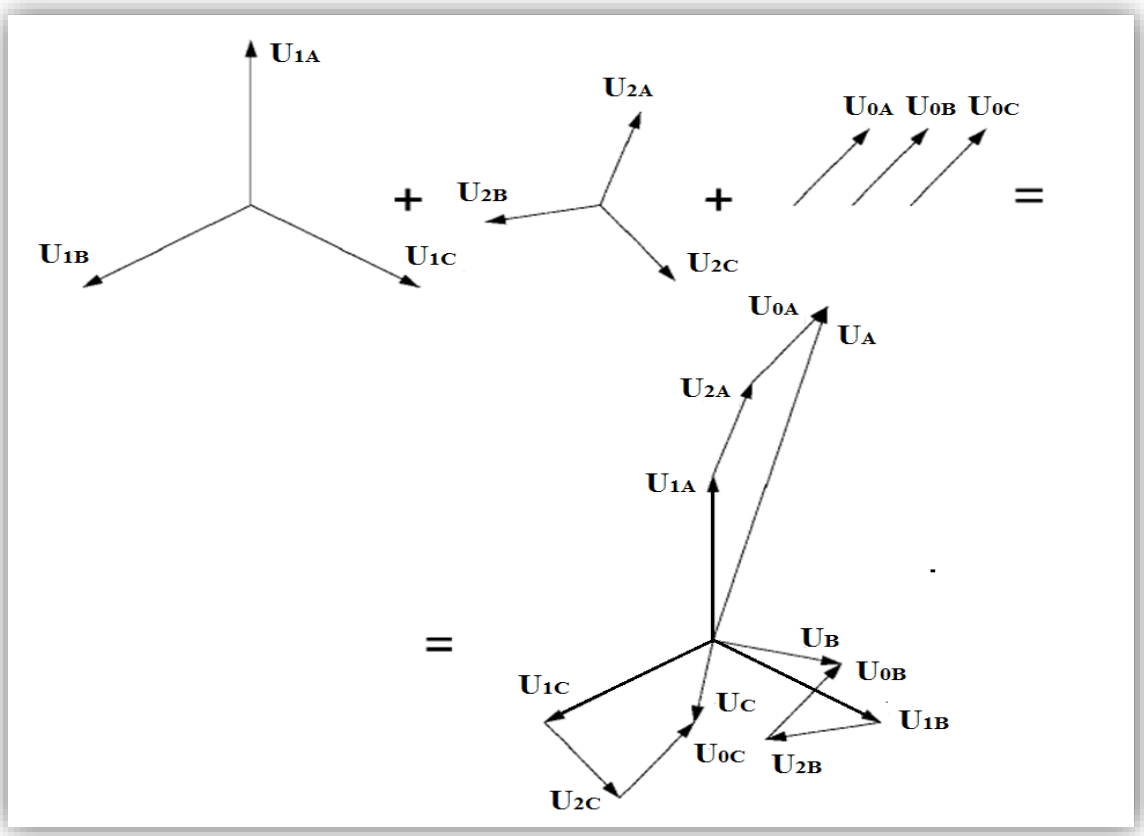
$$U_2 = \frac{1}{3}(U_A + a^2U_B + aU_C) \tag{2-5}$$

gdje su:

U_A, U_B i U_C - fazni naponi

U_0, U_1, U_2 – nulta, direktma i inverzna komponenta napona

a – koeficijent transformacije $a = e^{(j2\pi/3)}$



Slika 2.9. *Nesimetričan vektorski sustav i njegove simetrične komponente [2].*

2.3.3.1 Izvori

Nesimetrični pogonski uvjeti u mreži elektroenergetskog sustava uzrokovani su uglavnom djelovanjem nesimetričnih opterećenja. Većina niskonaponskih i srednjenaponskih tereta kao što su jednofazni električni vučni motori. Stoga rad kod ovakvih strojeva u trofaznim sustavima stvara nesimetričnost kod strujnih opterećenja što rezultira padovima napona na pojedinim fazama opskrbnog sustava te napon na čvorovima mreže postaje neuravnotežen. Od trofaznih trošila koja mogu uzrokovati nesimetričnost u elektroenergetskom sustavu spadaju lučne peći. Koriste relativno velike snage (desetke do stotine MW) pa nesimetrično opterećenje izazvano od peći može doprinijeti značajnim naponskim nesimetrijama u sustavu. Poremećaj nastaje zbog različitih impedancija u električnom luku uz pomoć kojega se tali metal te zbog toga se stvara razlika u faznim opterećenjima. Nadzemni trofazni vodovi isto tako mogu biti izvori neravnoteže.

2.3.3.2 Posljedice

Inverzna i nulta komponenta struja u EES-u rezultiraju dodatnim gubicima snage i energije, dodatna zagrijavanja te naponsku nesimetriju u čvorovima mreže. Napon nesimetrije negativno utječe na rad trošila. Najosjetljivija trošila u tom pogledu su:

- Asinkroni motori: na rad motora utječe samo direktna i inverzna komponenta jer su mu namoti obično spojeni u trokut ili zvijezdu sa izoliranim zvjezdištem. Kod inverzne komponente struja dolazi do stvaranja toka koji se rotira u suprotnom smjeru od rotora. Zbog tog toka dolazi do: povećanja zagrijavanja namota statora, dodatni moment djeluje u suprotnom smjeru od momenta proizvedenog od strane toka direktne komponente, dolazi do dodatnih gubitaka zbog uvođenja dodatnih struja u namotima i rotoru te željezu motora. Zbog nesimetrije, struja motora može biti nekoliko puta veća od nazivne. Dugotrajna nesimetrija može uzrokovati brže propadanje motora i skratiti mu vijek trajanja. Motori se mogu opremiti nadstrujnom zaštitom koja detektira poremećaj i isključuje motor. Dodatni gubici zbog nesimetrije opskrbnog napona smanjuju maksimalnu snagu motora u opsegu koji ovisi o stupnju nesimetrije, vrsti motora i njegovoj konstrukciji. U slučaju nesimetrije napona napajanja dolazi do dodatnih vibracija koje mogu rezultirati skraćenju životnog vijeka motora. Laboratorijski testovi su pokazali da ako nesimetrija iznosi do 2% da asinkroni motori neće biti pogođeni smetnjama.
- Sinkroni generator: Analiza učinka nesimetrije opterećenja na sinkroni generator ograničena je samo inverznom komponentom zato što su generatori povezani na sustav sa transformatorom, u kojem su s jedne strane namoti spojeni u trokut te je tako spriječena nulta komponenta struje da uđe u generator. Inverzna komponenta struje u stroju stvara

magnetski tok koji će se rotirati u suprotnom smjeru od toka koji stvara direktna komponenta struje. Ovaj tok će slično kao i kod asinkronog motora utjecati na rotor i stator generatora uzrokujući vrtložne struje te povećavajući zagrijavanje i gubitak snage. Inverzan tok stvara i dodatne mehaničke sile koje djeluju na rotor i stator generatora, koji su opasni za snagu strukturnih komponenti. U principu, nesimetrična opterećenja nisu veliki problem za rad sinkronog generatora, nesimetrija može uzrokovati ozbiljne opasnosti za vrijeme poremećaja kao što su nesimetrični kratki spojevi.

- Pretvarači: pretvaračka oprema u većini slučajeva se napaja iz tri faze, stoga na njegov rad može utjecati samo inverzna komponenta napona.
- Ostala trošila: nesimetrija može utjecati na rad ostalih trofaznih trošila, mijenjajući električnu snagu i smanjujući vijek trajanja. Nesimetrija napona može imati i utjecaj na rad jednofaznih trošila. Neki od njih mogu biti pod utjecajem napona koji je previsok ili prenizak. Mogu se pojaviti i prekidi rada opreme te poremećaji u funkcioniranju sustava upravljanja.

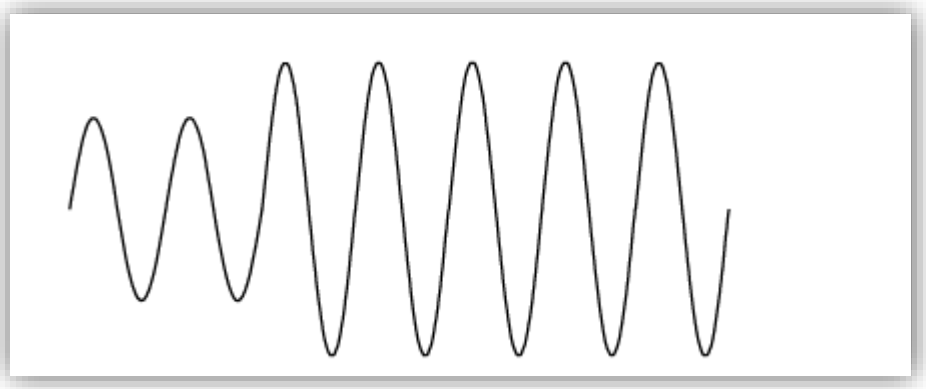
2.3.3.3 Smanjenje nesimetrije

Kako se velike nesimetrije ne bi pojavljivale često, obično zna biti dovoljna metoda za ublažavanje nesimetrije zvana balansiranje opterećenja. Balansiranjem se opterećenje ravnomjerno raspoređuje na svaku fazu. U slučaju velikih jednofaznih trošila gdje su značajne nesimetrije opterećenja neizbježne, koristi se posebna oprema za balansiranje. Svrha njegovog rada je obično uklanjanje ili ograničavanje inverzne i nulte komponente struje.

2.3.4 Prenaponi

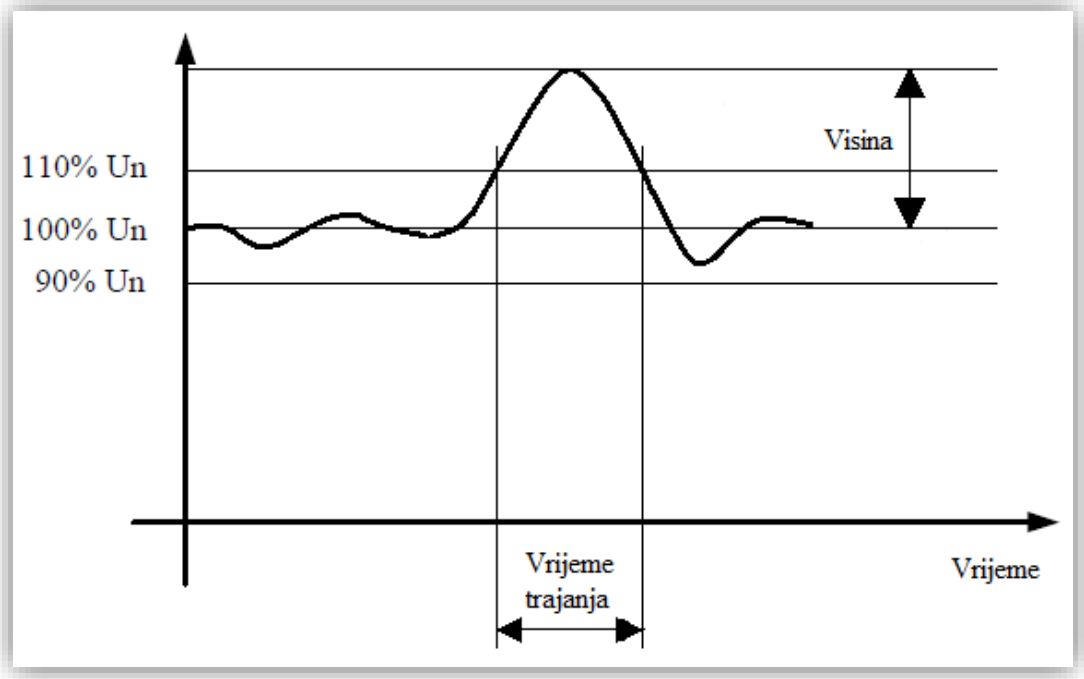
Prenaponi su pojave prilikom kojih vrijednost napona između faznog vodiča i uzemljenja ili između dva fazna vodiča prelazi prihvatljivu vrijednost propisanu instaliranom opremom (Slika 2.10.). Postoje više vrsta prenapona prema obliku i vremenu trajanja:

- Neprekidni
- Trenutni
- Prolazni
- Kombinirani



Slika 2.10. *Prenapon.*

Na slici 2.11. prikazana je karakteristika prenapona koja je određena visinom i vremenom trajanja prenaponskog poremećaja. Prenaponom se smatra svaka vrijednost napona koja prelazi granicu prekoračenja od 10 % Un.



Slika 2.11. *Karakteristika prenapona.*

2.3.5 Izvori prenapona

Izvore prenapona s obzirom na uzrok možemo podijeliti na:

- Unutarnji uzrok prenapona
- Vanjski uzrok prenapona

Unutarnji uzrok nastaje od pojava koje su vezane uz rad i nagle promjene stanja sustava. Uglavnom se mogu generirati iz neočekivanih smanjenja opterećenja, samouzbudnih generatora, pojave rezonancije, kvarova na fazama te uklapanjem i isklapanjem.

Vanjski uzroci nastaju zbog atmosferskih pražnjenja, elektromagnetskom ili elektrostatskom indukcijom voda te izravnim udarom groma koji se ubraja u najgori slučaj.

2.3.5.1 Posljedice prenapona

Kod pojava prenapona dolazi do kvara dielektrika, sloma ili električnog luka koji mogu dovesti do okidanja zaštitnih uređaja, uništenje opreme, smetnje u radu svaki puta kada nastane kvar. Na primjer u visokonaponskoj mreži prilikom ovih kvarova može doći do nedostatka opskrbe koja može imati utjecaj na cijeli grad, cijelu regiju ili na neku tvornicu (željezara ili čeličana). Potencijalne posljedice su rizik za destabilizaciju mreže, u bolnicama rizik za ljude, gubljenje računalnih podataka, gubitci u proizvodnji i industrijskim potrošačima, financijski gubici uslijed neisporučene električne energije.

U SN mrežama, posljedice probijanja izolacije su gotovo jednakih razmjera, čak i u manjoj mjeri, stoga, posljedice kvarova mogu biti ozbiljne i za distributera, industrijske potrošače i ljudstvo.

2.3.5.2 Smanjenje rizika od prenapona

Zaštita od prenapona. može se podijeliti na:

- Preventivnu zaštitu – ovom zaštitom ograničavaju se unutarnji prenaponi ili implus groma uz pomoć zaštitnog užeta, nulovanjem, regulatorima, zaštitnim relejima itd.
- Represivnu zaštitu – posebna oprema koja usmjerava prenapon u zemlju

Električna oprema od prenapona se štiti:

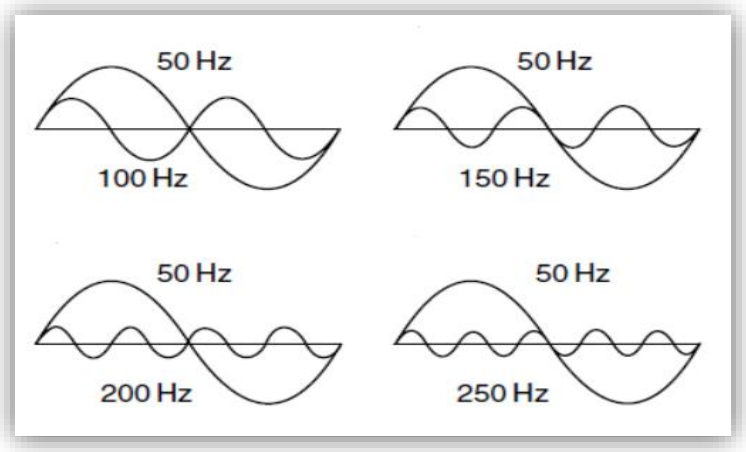
- Ograničavanjem napona zbog osjetljive izolacije.
- Smanjenjem ili sprječavanjem udarne struje.
- Usmjeravanjem udarne struje što dalje od potrošača.
- Uzemljavanjem opreme.
- Stvaranjem niskopropusnog filtra.

Za svaku novu instalaciju potrebno je provesti detaljnu analizu da bi se osigurala konstantna i optimalna zaštita od rizika i da bi se izbjegli incidenti. Već se u fazi projektiranja instalacija mogu predvidjeti rješenja raznih prenapona.

2.3.6 Strujni i naponski harmonici

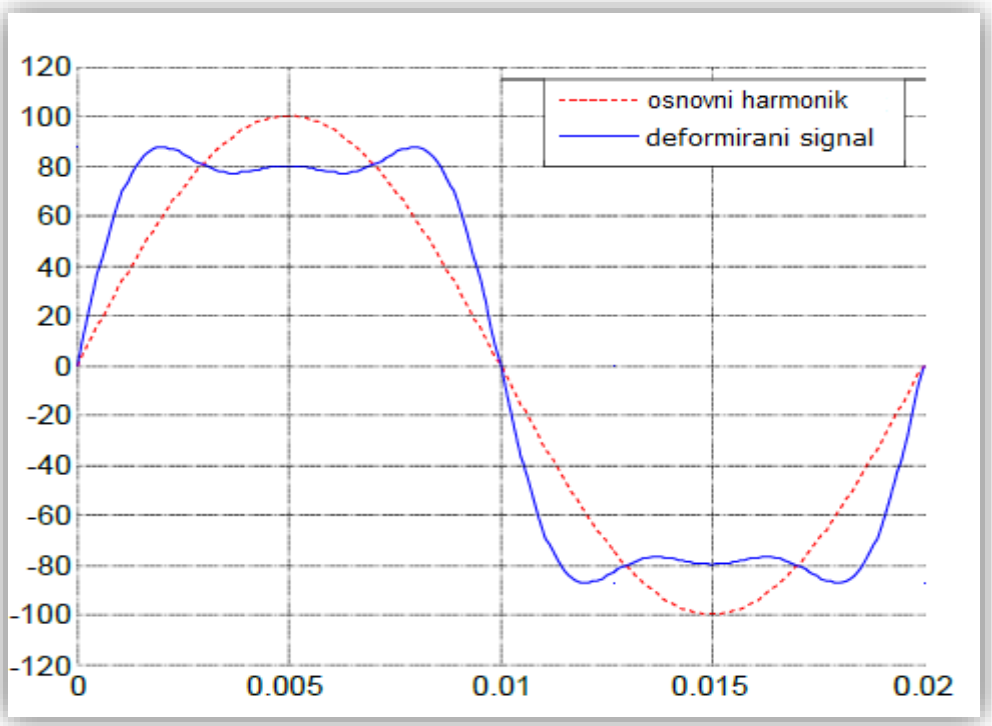
Harmonik se može definirati kao komponentu s frekvencijom koja je cijeli višekratnik temeljne frekvencije. Ako se ne dobije cijeli višekratnik govori se o međuharmonicima. Temeljna

frekvencija od 50 Hz predstavlja prvi harmonik, komponenta s frekvencijom dva puta većom od temeljne (100 Hz) predstavlja drugi harmonik, treći harmonik je komponenta s frekvencijom tri puta većom od temeljne (150 Hz), i tako dalje (Slika 2.12.).



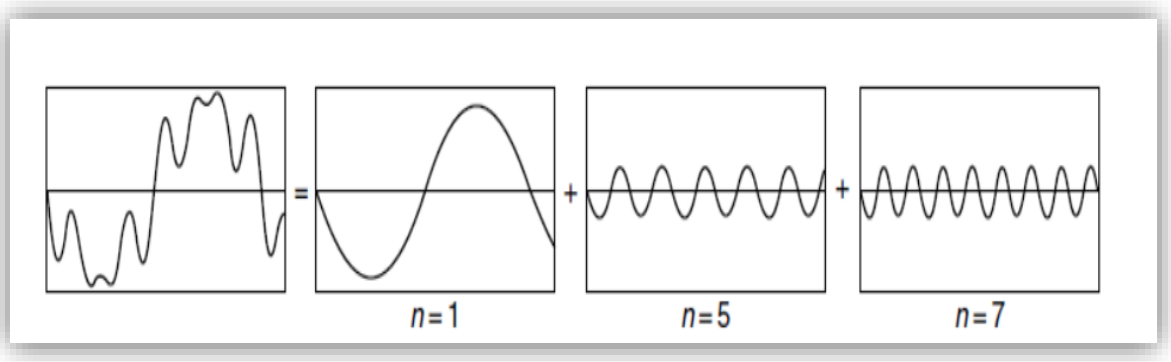
Slika 2.12. *Prikaz komponente frekvencije harmonika u odnosu na temeljnu frekvenciju [2,str.188]*

Iskrivljen valni oblik napona ima proizvoljan oblik koji se dobije superpozicijom sinusnih valnih oblika različite frekvencije i amplitude prikazano na slici 2.13. Na slici je prikazan deformirani valni oblik dobiven zbrojem osnovnog, trećeg i petog harmonika.



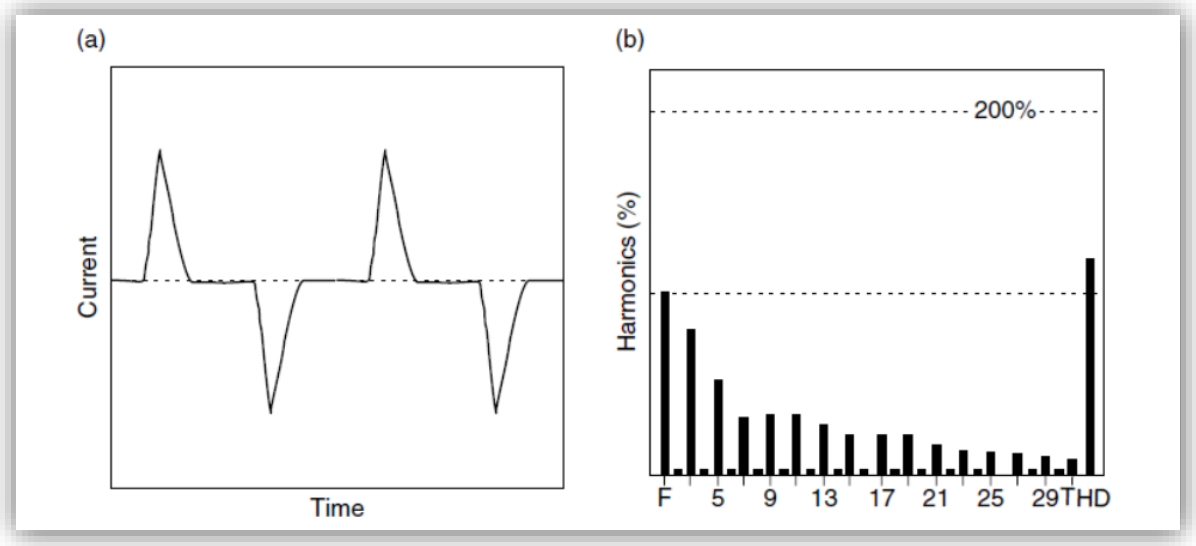
Slika 2.13. *Prikaz osnovnog valnog oblika i deformiranog signala* [3, str.35].

Dekompenzacijom iskrivljenog valnog oblika, rastavljamo ga na harmonijske komponente što je prikazano na slici 2.14. Na slici možemo uočiti rastavljen izobličeni valni signal koji se sastojao od prvog, petog i sedmog harmonika.



Slika 2.14. *Dekompenzacija iskrivljenog valnog oblike u harmonisjke komponente[2,str.189].*

Ova analiza omogućuje da se prikaže odvojeno svaka komponenta iskrivljenog valnog oblika. Autorom ove tehnike se smatra Francuski matematičar Jean Bapiste Joseph Fourier. Na slici 2.15. prikazan je deformirani strujni valni oblik fluorescentne lampe i njegov harmonički spektar. Možemo primijetiti da su prisutni samo neparni harmonici od 3. do 35. među kojima je treći najprisutniji.



Slika 2.15. *Strujni valni oblik fluorescentne lampe a) i njegov spektar b) [str.190].*

S porastom primjenjivanja energetske elektronike u elektroenergetskom sustavu došlo je do povećanja viših harmonika te su oni postali problem u instalacijama uzrokujući smetnje.

Nastaju uglavnom od opreme koja ima nelinernu karakteristiku struje/napona a danas se rijetko mogu pronaći linearna trošila. Nelinearna trošila u sustav injektiraju više harmonijske komponente struje čije proticanje kroz impedanciju sustava deformira napon napajanja (Slika 2.16.). Porast ekvivalentne impedancije, od izvora napajanja (stezaljke generatora) do krajnjeg korisnika, uzrokuje povećanje razine koeficijenta ukupnog harmoničkog izobličenja koji se računa prema izrazu (2-6) i (2-7). Ukupno harmonijsko izobličenje ne smije prelaziti 8% vrijednosti U_n prema normi EN 50160.

$$THDU = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \frac{100\%}{U_1} \tag{2-6}$$

gdje su:

THDU - Ukupno harmoničko izobličenje napona.

$\sum_{h=2}^{40} U_h^{\ 2}$ - Zbroj vrijednosti napona svakog od 2 do 40 harmonika.

U_1 - Nazivni napona ($U_1 = U_n$)

$$THDI = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (I_h)^2} \frac{100\%}{I_1} \tag{2-7}$$

gdje su:

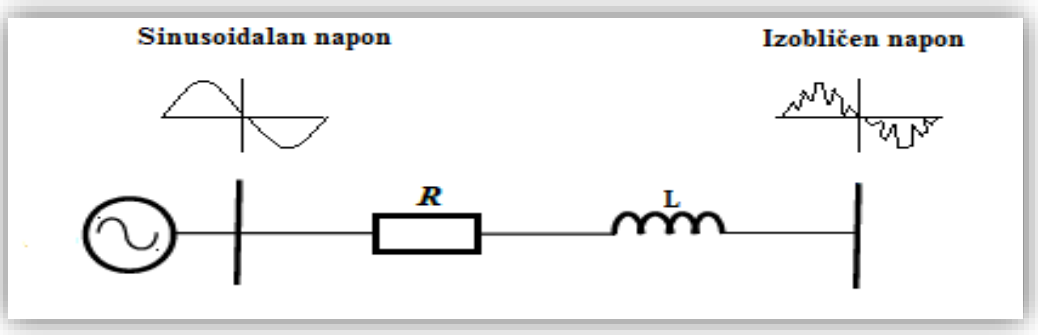
THDI I- Ukupno harmoničko izobličenje struje.

$\sum_{h=2}^{40} I_h^{\ 2}$ - Zbroj vrijednosti struja svakog od 2 do 40 harmonika.

I_1 - Nazivna struja ($I_1 = I_n$)

Porastom ukupnog harmoničkog izobličenja napona *THDU*, rastu i problemi kod raznih uređaja i komponenta mreže:[5]

- *THD* do 5% - mali i rijetki problemi
- *THD* od 5% do 7% - sve češće javljanje problema
- *THD* do 7% do 10% - vjerojatnost pojave problema se povećava
- *THD* viši od 10% - vjerojatnost pojave problema je visoka



Slika 2.16. *Izobličenje napona nelineranim trošilom.*

Preko tjedna THD poprima maksimalnu vrijednost na kraju vikenda [2, str. 209]. Promjene ovoga faktora događaju se redovno za određene dane u tjednu. Većinu vremena, ove vrijednosti koreliraju spromjenama struje. Najveći proizvođači harmonika nisu industrijski potrošači nego kućanstva, posebice napajanja električnih i elektroničkih uređaja. Kumulativni negativni utjecaj na pojnu mrežu osobito postaje vidljiv tijekom večernjeg vrha opterećenja. Ovakvi uređaji se jednako koriste i u kućanstvima i u industrijama. To su: TV-i, računala, printeri, mikrovalne pećnice, VF fluorescentna rasvjeta, mali UPS-ovi itd. Njihova pojedinačna snaga nije velika ali ih ima puno. Neparni harmonici su uvijek dominantni, doprinos trećeg harmonika je zanemariv.

2.3.6.1 Izvori strujnih i naponskih harmonika

U elektroenergetskom sustavu postoje razne vrste oprema koji su izvori strujnih i naponskih harmonika. Možemo ih podijeliti na:

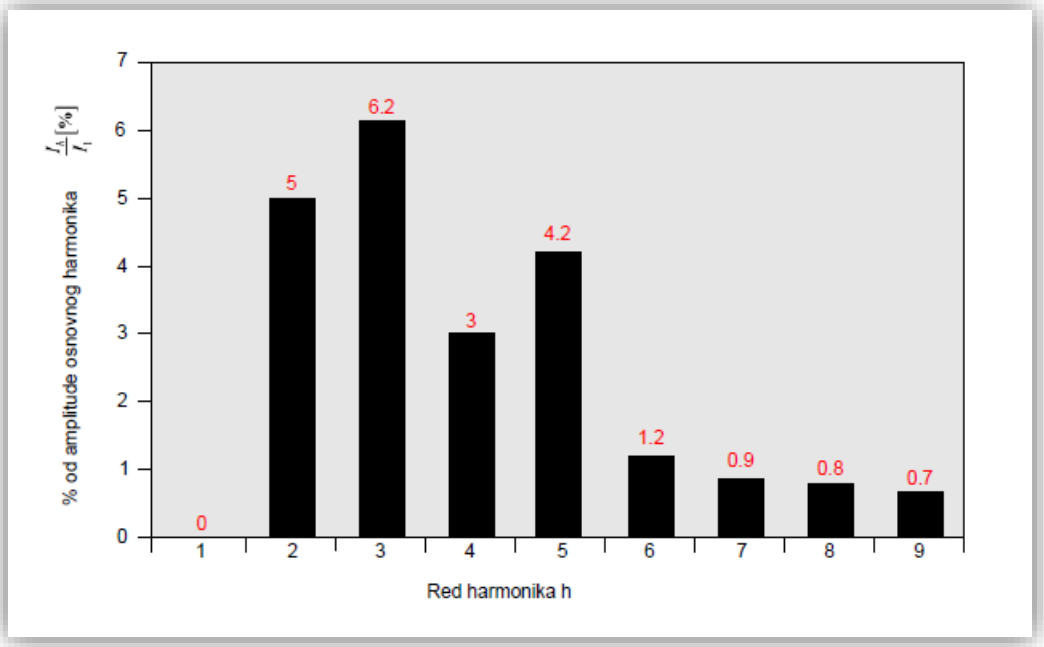
- Uređaje s magnetskom jezgrom:
  - Transformatori
  - Elektromotori
  - Generatori
- Visokotlačne žarulje s izbojem, lučni zavrivači, lučne peći
- Elektronička i energetska oprema

Transformatori su povijesno prvi izvori harmonika u elektroenergetskom sustavu. Oni su dizajnirani tako da struje magnetiziranje ne prelaze 1-2 posto nazivne vrijednosti. Nazivna radna točka tada se nalazi ispod koljena krivulje magnetiziranja u okviru vlastitog linearnog područja. Stoga čak i ako veliki broj tansformatora radi u elektroenergetskom sustavu neće biti značajan izvor harmonika u normalnim radnim uvjetima. Ako unutar područja zasićenja dođe do čak i malog porasta napona iznad nazivne vrijednosti dolazi do velikog porasta struje magnetiziranja te također harmonički sadržaj značajno raste. S obzirom na veliki broj transformatora u sustavu i činjenicu

da mnogi od njih rade na niskom opterećenju, efekt toga može biti značajan porast izobličenja napona THDU.

Motori i generatori slično kao i transformatori mogu generirati harmonijske struje zbog magnetskog polja. Njihov doprinos je međutim vrlo mal. Karakteristika magnetiziranja kod motora zbog prisutnosti zračnog raspora mnogo je linearnija u odnosu karakteristiku magnetiziranja kod transformatora. Namoti kod motora tipično imaju 5-7 utora po polu što rezultira generiranje petog ili sedmog harmonika. Unatoč tome što su neusporedivo mali u odnosu na visoke harmonike kod pretvarača, njihova prisutnost je vidljiva u slučaju vrlo velikih motora.

Lučne peći uzrokuju izobličenje struja a posljedično i napona, važan je problem zbog svoje opće uporabe. Osim toga zbog tehnoloških razloga lučne peći se trenutno rade sa nižim faktorom snage nego u prošlosti. Jedna od posljedica toga, kao i stroži zahtjevi o naknadi jalove snage, je povećanje nazivne snage dobivenih kondenzatora. To rezultira smanjenju rezonantne frekvencije a može doći do povećanja harmonika opskrbnog napona.

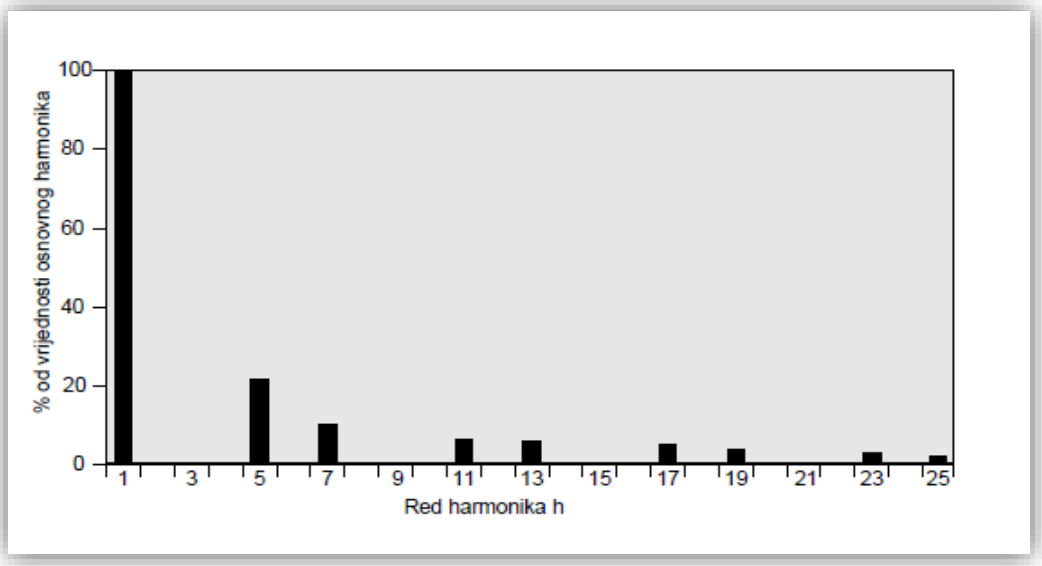


Slika 2.17. *Harmonički spektar strujnog harmonika lučne peći.*

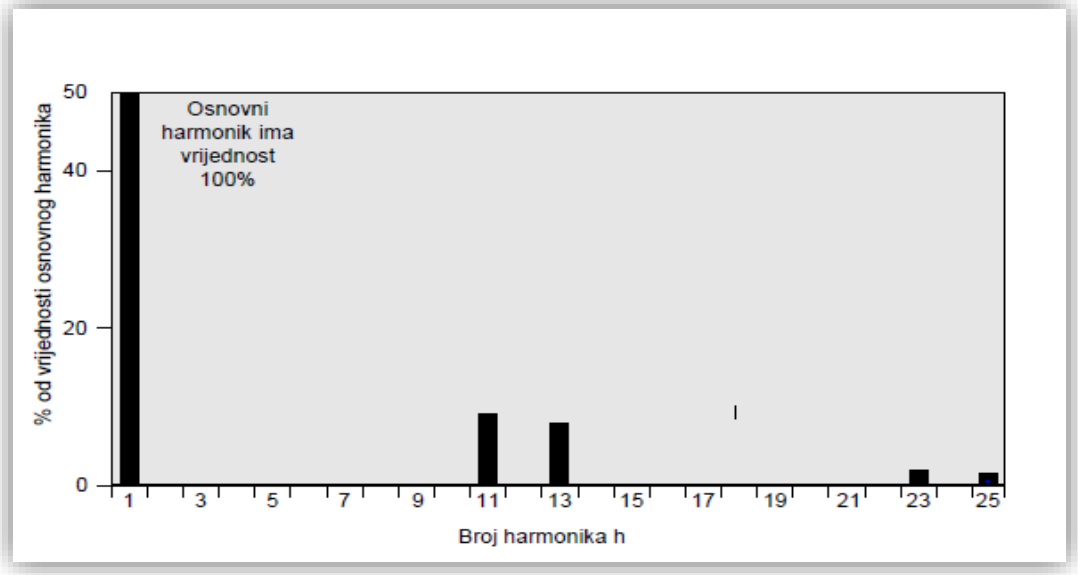
Fluorescentna rasvjeta postala je popularna u posljednje vrijeme, zbog veće učinkovitosti. Glavna prednost je produljen životni vijek trajanja. Imaju veliki nedostatak jer stvaraju harmonike u opskrbnoj struji. Tipičan harmonijski strujni spektar za ove uređaje prikazana je na slici 2.15.

Sva oprema koja sadrži statičke konvertere, kao varijabilne upravljače brzinom, UPS jedinice te AC/DC i DC/AC pretvarače općenito, temeljeni su na trofaznom mostu, još znanom i

kao šestpulsni most jer postoji šest impulsa napona po ciklusu (jedan po polovici ciklusa po fazi) na istosmjernom izlazu. Harmonički spektar struje šestopulsnog mosnog spoja prikazan je na slici 2.18. Teoretski, opseg svakog harmonika trebao bi biti jednak recipročnoj vrijednosti broja harmonika, tako da bi bilo 20 % petog harmonika, 9% jedanaestog harmonika itd. Magnituda harmonika znatno je smanjena korištenjem dvanaestpulsnog pretvarača (Slika 2.19.).



Slika 2.18. *Harmonički spektar strujnog harmonika šestpulsnog mosta.*



Slika 2.19. *Harmonički spektar strujnog harmonika dvanaestpulsnog mosta.*

2.3.6.2 Utjecaji strujnih i naponskih harmonika

Najmanje osjetljiviji na harmoničke smetnje su grijači bilo kojega oblika. Elektronička oprema koja je predviđena za rad u gotovo idealnim sinusoidalnim naponima spada u najosjetljiviju opremu na harmonike.

Utjecaj strujnih i naponskih harmonika najviše se osjeti na:

- motorima i generatorima,
- transformatorima,
- kondenzatorima,
- rasvjeti,
- neželjenom okidanju prekidača,
- struji kvara uzemljenja,
- pretvaračima i elektroničkoj opremi,
- pregrijavanju faze i nultog vodiča,
- skin efektu,
- relejima i sklopnim zaštitnim sustavimai
- telekomunikacijskim smetnjama.

Pregrijavanje faznog i nultog vodiča: posljedice prisutnosti harmonika u struji mogu dovesti do problema vezanih uz preopterećenje faznog, a posebno nultog vodiča. Pod uvjetima izobličenja struje, deformacije izazvane toplinom (Jouleovi gubici) su znatno veće u usporedbi s idealnim uvjetima što dovodi do smanjenja prijenosne moći voda. Čak i kada se uzme u obzir da se nulti vodiči dimenzioniraju kao i fazni, svejedno može doći do preopterećenja bez da struja pređe nazivnu vrijednost. Ovo pitanje je posebice važno kod niskonaponskih sustava gdje prisutnost harmonicima izaziva ozbiljan problem jednofaznim opterećenjima. Struje trećeg harmonika aritmetički se zbrajaju u nultom vodiču za razliku od struja osnovnog harmoničkog reda gdje one daju nulu. Rezultat su znatno veće struje kroz nulti vodič koje su, obično do 170 % iznosa faznih struja. U trofaznom sustavu zvijezda spoja, struja kroz nulti vodič je vektorski zbroj struja faza. Valni oblik napona pojedine faze označava pomicanje zvjezdišta za 120° pri jednakom opterećenju faza, zbroj struja koje prolaze kroz nulti vodič je nula. Ako su opterećenja neuravnotežena, struja teče kroz nulti vodič kao rezultat vektorske sume trofaznih struja koja se sad razlikuje od nule. Važno je napomenuti da u trofaznom elektroenergetskom sustavu koji napaja jednofazna trošila, struja u nultom vodiču rijetko je nula jer su opterećenja na pojedinim fazama različita. Najčešće su razlike male i u bilo kojem slučaju, struje su puno manje od faznih. Pri

napajanju nelinearnih potrošača, čak i kad je opterećenje relativno pravilno raspoređeno po fazama, i dalje postoji mogućnost struje znatnog iznosa kroz nulti vodič.

Skin efekt je tendencija izmjenične struje da teče što bliže vanjskoj površini vodiča. Efekt je izraženiji pri visokim frekvencijama, iznad 350 Hz (sedmi harmonik ili viši), izaziva dodatne gubitke i pregrijavanje.

Motori i generatori: Glavna posljedica strujnih i naponskih harmonika u rotirajućim električnim strojevima (sinkronim i asinkronim) je porast radne temerature koja je izazvana gubicima. To je dodatan stres na izolaciju kojoj se, ako do toga dođe, skraćuje životni vijek trajanja. Do gubitaka većinom dolazi u jezgri i namotima. Povećanje gubitaka u namotima statora i rotora izazvano je povećanjem efektivne vrijednosti struje, zbog izobličenja, i povećanjem otpora namota uslijed skin efekta. Kod električnih motora, povećanje gubitaka u jezgri, statoru i rotoru (posebice trofaznih asinkronih motora) čak i malo harmoničko izobličenje napona doprinosi povećanju dodatnog magnetskog toka te se zbog toga pojavljuju dodatne struje u namotima jezgre rotora. Ove dodatne struje, koje u slučaju znatnog izobličenja napona mogu imati iznos reda magnetizirajućih struja. Uzrok su dodatnih aktivnih gubitaka, povećanju temperature i učestalosti kvarova stroja. Dodatni gubici zbog vrtložnih struja ovise o dizajnu jezgre stroja, od punog materijala ili laminirana, i njegove krivulje magnetiziranja. Kod sinkronog motora dodatni gubici vezani uz harmonike višeg reda nastaju uglavnom u namotima statora i prigušnom kavezu. Uglavnom, gubici statora su znatno manji. Najbitniji su harmonici koji formiraju negativni slijed, npr, peti, jedanaesti, sedamnaesti, dvadesettreći. Kod visokonaponskih asinkronih motora, gubici rotora i statora su gotovo jednaki. Klizno-kolutni asinkroni motori dozvoljavaju veće gubitke na rotoru od kaveznih motora. Dodatni harmonički momenti posljedica su interakcije između toka u zračnom rasporu i toka stvorenog harmoničkim strujama rotora. Njihov utjecaj na rezultantni prosječni moment motora je mali. Štoviše, imaju tendenciju međusobnog poništenja. Harmonici pozitivnog slijeda stvaraju rotirajuće polje koje se zbraja sa momentom i pridonosi vrtnji motora, dok drugi harmonici (peti, jedanaesti, sedamnaesti, dvadesettreći, itd.) imaju suprotan efekt. Harmonički moment utječe na trenutnu vrijednost rezultantnog toka i izaziva kolebanja.

Transformatori: utjecaj harmonika na transformatore manifestira se na dva načina:

- Gubici zbog vrtložnih struja, koje se mogu procijeniti na oko 10 % ukupnih gubitaka, povećavaju se kvadratom reda harmonika. Na primjer, za potpuno opterećeni transformator koji napaja nekakvu IT opremu, ukupni gubici bili bi dvostruki u usporedbi s ekvivalentnim linearnim opterećenjem. Ovi dodatni gubici mogu izazvati mnogo veću radnu temperaturu i kraći radni vijek, dakle ove posljedice treba uzeti u obzir pri izradi transformatora.

- Struje trećeg reda harmonika, kada se reflektiraju natrag na namot spojen u trokut, sve su u fazi tako da mogu cirkulirati u namotu. Ove komponente su apsorbirane u namotima i ne propagiraju se u napajanje te su zbog ovoga transformatori spojeni u trokut korisni kao izolirajući transformatori. Ova cirkulirajuća struja mora uzeti u obzor pri izradi transformatora.

Kondenzatori su uređaji na koje elektromagnetska izobličenja utječu najviše. Izloženi su strujnim preopterećenjiam, naponskim i preopterećenjima snage. Dugotrajan rad pod preopterećenjem znatno skraćuje životni vijek. Porast vršne vrijednosti napona zbog visokih harmonika predstavlja dodatan stres na dielektrik. Može izazvati djelomičan proboj izolacije, kratki spoj i uzrokovati trajnu štetu na kondenzatoru. Dozvoljeni faktor prenapona kondenzatora normalno ne prelazi 110 % nazivne vrijednosti.

Rasvjeta: povećanje vršne vrijednosti napona izvora može skratiti životni vijek žarulja sa žarnom niti. Fluorescentne i visokotlačne živine žarulje imaju prigušnicu za ograničavanje struje koja paralelno spojena sa kondenzatorom čini rezonantni krug. Stanje blisko rezonanciji dodatni je uzvor gubitaka.

Neželjeno okidanje prekidača: harmoničko izobličenje struje utječe na sposobnost prekidanja prekidača samo pri prekidanju malih struja, a uopće ne utječe na prekidanje struja kratkog spoja. Visoki harmonici mogu povećati vrijednost derivacije struje *di/dt* u sjecištu sa nulom (u usporedbi sa sinusoidom), što sprječava proces prekidanja struje. Prekidači struja rade na način da zbroje struju faze i nule i otvaraju strujni krug kada je razlika izvan dopuštene. U okolišu gdje ima puno harmonika, glavni problem do kojeg može doći je neželjeno okidanje zbog dva razloga. Prvo, strujne sklopke, koje su elektromehanički uređaji, mogu krivo zbrojiti visokofrekventne komponente i greškom proraditi. Drugi razlog je što vrsta opreme koja stvara harmonike, također stvara i šum koji mora biti filtriran na mjestu spajanja. Filteri koji se koriste za ovu primjenu inače imaju kondenzator između faze, nule i uzemljenja, koji propušta malu količinu u zemlju. Ova vrijednost struje je propisana standardima na manje od 3,5 mA, ali kada je uređaj spojen na jedan strujni krug, ukupna propusnost može biti dostatna da proradi strujni prekidač. U slučaju malih prekidača, neželjeno okidanje je obično izazvano tokom struje kroz strujni krug koja je veća od vrijednosti dobivene proračunima ili jednostavnim mjerenjima, a izazvana je harmoničkim strujama.

Struje kvara uzemljenja: u elektroenergetskim sustavima, uglavnom srednjenaponskim, sa izoliranim ili rezonantno uzemljenim zvjezdištem, u kojem je napon izobličen, struje kvara mogu postići vrlo velike vrijednosti. Ova pojava se ne razmatra u čvrsto uzemljenim sustavima i sustavima uzemljenim preko impedancije, jer je impedancija kratkog spoja induktivnog karaktera

i vrijednosti harmonika ograničene su frekvencijom prirodnim putem. U izoliranim ili kompenziranim sustavima, impedancija kratkog spoja unutar uobičajenog spektra harmoničkih frekvencija ima kapacitivan karakter koji opada sa frekvencijom. Struje kratkog spoja, određene kapacitetom prema zemlji može, zbog naponskih harmonika i međuharmonika, postići vrijednosti koje ne osiguravaju samostalno gašenje strujnog luka izazvanog kvarom.

Pretvarači i elektronička oprema: sustavi pretvarača smatraju se glavnim izvorom visokih harmonika.. Međutim, ovakva vrsta uređaja , kao i većina elektroničkih uređaja, osjetljiva je na razne poremećaje, uključujući harmonike. Nepravilnosti u radu koji slijede vezani su za sljedeće:

- Kod ispravljačkih sustava, sinkroniziranim sa prolaskom napona napajanja kroz nulu, izobličenje napona oko nule može izazvati nejednakost u kontrolnim kutevima poluvodičkih uređaja. Posljedica toga je stvaranje nekarakterističnih harmonika od strane pretvarača, uključujući harmonike trećeg reda, međuharmonike i, u posebnim slučajevima, istosmjernu komponentu. Također može doći i do grešaka kod sinkronizacije u slučaju usporedbe dva valna oblika. Nepravilno prekidanje poluvodičkih uređaja posebice je opasno kada radi kao inverter.
- Kvar komponenti zbog povećanja maksimalne vrijednosti napona napajanja izazvanog harmoničkim izobličenjima.
- Greške kod ulaznog signala sondi u upravljačkim sustavima (npr. greške kod SVC mjerenja jalove snage, feedback strujne petlje kod električnih pogona itd.) i smetnje u pretvaračkim digitalnim upravljačkim sustavima.
- Poremećen rad dijagnostičkih i zaštitnih uređaja.
- Štetni utjecaj na kondenzatore u sustavima energetske elektronike (kao i u drugoj elektroničkoj opremi), u sustavima prenaponske zaštite, EMC filterima, itd.

IT oprema, kao i programabilni logički kontroleri, zahtijevaju da THD faktor, kao i relativne vrijednosti pojedinih harmonika prisutnih u pojnoj mreži, ne prijeđu određene vrijednosti. Velike količine izobličenja mogu izazvati nepravilan rad, greške, gubitak podataka, karakterističan „šum“ itd. Ovo može dovesti do opasnih posljedica, posebno na zdravstvo, bankarstvo, zračni promet itd. Zbog svega navedenog kritična oprema napaja se preko posebnih uređaja napajanja s poboljšanim parametrima rada. Većina elektroničke opreme također je pogođena zračenjima uzrokovanim harmoničkim frekvencijama.

Relejni i sklopni zaštitni sustavi: većina objavljenih istraživanja o relejima i sklopkama koji rade pod utjecajima izobličenja tiče se njihove elektromehaničke strukture i, nešto manje, elektronička rješenja. Te publikacije opravdavaju sljedeće zaključke:

- Rad sklopke ili releja može se znatno razlikovati pri prisustvu harmoničkih smetnji, Odziv zavisi, ne samo o vrsti uređaja i proizvođaču, nego varira za svaki testirani primjerak, kao i sa promjenama u karakterističnim svojstvima spektra.
- Osjetljivost sklopke/releja smanjuje se povećanjem reda harmonika.
- Na većinu sklopki/releja ne utječu naponska izobličenja koja ne prelaze 20 %. Do nepravilnosti u radu može doći iznad ove vrijednosti, pod normalnim i nenormalnim uvjetima rada za zaštićenu opremu.

Strujni releji okidaju pri velikim strujama, npr. kratkog spoja, kada vrijednost struje postane puno veća od nazivne. U takvim slučajevima harmonici ne utječu na njihov rad jer je njihov doprinos struji kratkog spoja veoma mali. U određenim slučajevima, u normalnim uvjetima rada elektroenergetskog sustava, harmonička izobličenja mogu izazvati nepravilan rad zaštitnih uređaja.

Telekomunikacijske smetnje: ova vrsta smetnji je najranije otkrivena i najranije shvaćena kao problem vezan uz prisutnost visokih harmonika u opskrbnim mrežama. Tijekom 1920-ih, kada su po prvi puta u industriji bili korišteni statički ispravljači, njihovi kablovi su nerijetko bili položeni odmah uz telefonske kablove. Smetnje u telefonskim krugovima izazvale su nelagodu kod korisnika. Visoka razina buke ozbiljno je ometala prijenos, ponekad izazivajući potpun prekid komunikacije. Također, poboljšanje kvalitete prijenosa zahtijeva neprekidnu analizu smetnji koje se događaju u telefonskim linijama koje se nalaze u blizini elektroenergetskih sustava. Međutim, rizik od smetnji je mali. Postoje tri glavna faktora koja izazivaju smetnje kod telefonskih linija:

- *Utjecaj elektroenergetskog kruga.* Utjecaj elektroenergetskih krugova na telekomunikacijske krugove ovisi u položaju izvora harmonika u odnosu na telekomunikacijske krugove, kao i amplitude i frekvencije komponenti koje izazivaju smetnje.
- *Vrsta i razina parice u telekomunikacijskom krugu*. Mehanizam utjecaja vanjskih faktora koji izazivaju smetnje (harmoničke struje i/ili naponi) u telekomunikacijskim krugovima može biti izazvan elektromagnetskom ili elektrostatskom indukcijom ili provođenjem.
- *Osjetljivost telekomunikacijskih krugova na vanjske smetnje*.

2.3.6.3 Ublažavanje smetnji uzrokovanih harmonicima

Izvor smetnje, primatelj (trošilo) i prijenosni put, tri su komponente koje su uključene u međusobnu interakciju u elektromagnetskoj okolini:

- Izvor smetnje, u slučaju harmoničke interakcije, nelinearno je trošilo koje je izvor harmonika;
- Trošilo podvrgnuto vanjskim smetnjama koje mogu smanjiti učinkovitost;
- Parica, ili prijenosni put, između izvora i trošila; za smetnje općenito, većinom prijenosne, nalaze se u pojnoj mreži.

Smanjenje amplitude naponskih harmonika, i tako njegovog utjecaja, uključuje opsežne tehničke mjere, koje se tiču svake od gore navedenih komponenti elektromagnetske okoline. Pogrešno je držati isključivo krajnje korisnike odgovornima za lošu kvalitetu električne energije i prisiljavati ih da ograniče opseg stvorenih harmonika. Također, opskrbljivač električne energije bi trebao, između ostaloga, neprekidno nadzirati razinu naponskog izobličenja da bi spriječio povećanje naponske rezonancije

2.4 Praćenje kvalitete električne energije

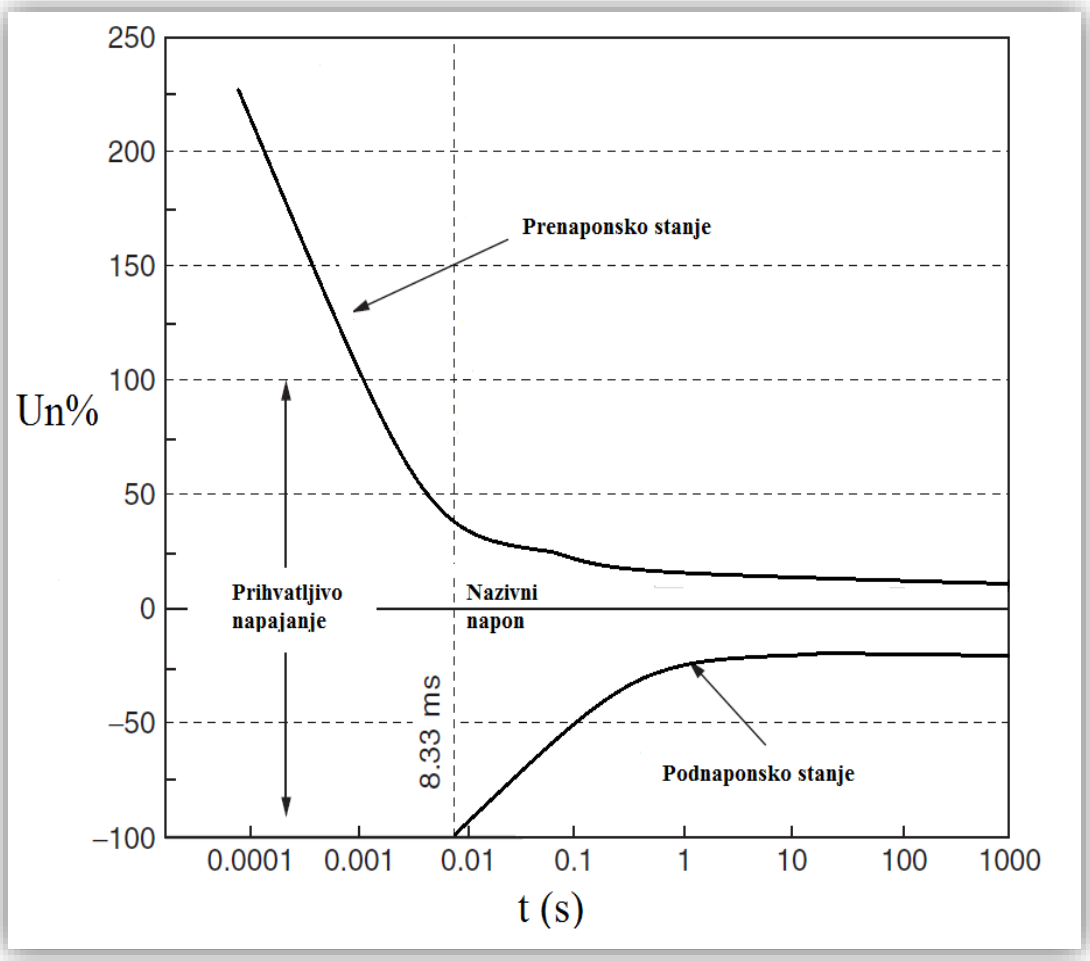
Zbog sve većeg problema koji nastaju kako u industrijskim postrojenjima tako i u kućanstvima radi loše kvalitete električne energije, praćenje je postalo korisno kako bi se utvrdio uzrok loše kvalitete te smanjili gubici vezani za proizvodnju. Poremećaji kvalitete električne energije spadaju u fizičke fenomene koji se u mnogim slučajevima pojavljuju i nestaju proizvoljno. Njihovo praćenje ne predstavlja jednostavno mjerenje električnih parametara nego ih je tijekom određenog vremenskog intervala potrebno snimiti, zahtjeva ulaganje u opremu, vrijeme i obrazovanje. Znanje je najvažniji alat postupku uklanjanja problema, ako se gleda dugoročno.

Na tržištu postoje različite vrste instrumenta za nadzor ali se ponekad njihove karakteristike ne mogu lako usporediti. Na pitanje kako odabrati pravi instrument, potrebno je analizirati vrstu poremećaja koji se nadzire, razdoblje u kojem će se pratiti poremećaj i potrebna točnost instrumenta. Za mjerenje kvalitete napona na farmi muznih krava korišten je instrument Fluke 1745. Više informacija o instrumentu i tehnički podaci nalaze se u poglavlju 4.

2.4.1 CBEMA i ITIC krivulje

CBEMA (engl. Computer Business Equipment Manufacturers Association) krivulju je sedamdesetih godina prošlog stoljeća razvilo Udruženje Proizvođača Poslovne Računalne Opreme tako što je iskoristila povijesne podatke koji prikazuju opseg prihvatljivih napona za računalnu opremu. Sastoji se od skupa krivulja koje predstavljaju izdržljivost računala u pogledu amplitude

i trajanja naponskog poremećaja (Slika 2.20.). Postala je bitan standard za mjerenje performansi svih vrsta opreme i napajanja. Uz pomoć nje može se odrediti trajanje tolerancije i veličina odstupanja napona za sve tipove opreme. U industriji je našla široku primjenu za određivanje dozvoljenog odstupanja napona za električne uređaje koji su osjetljivi na promjene. Na slici 2.20. vidimo da CBEMA-u čine dvije krivulje od kojih gornja predstavlja prenaponsko stanje i vrijednosti iznad nje predstavljaju zabranjeno podruučje rada električne opreme, dok donja krivulja predstavlja podnaponsko stanje te sve vrijednosti ispod nje predstavljaju područje bez kvara. Površina koju omeđuju ove dvije krivulje predstavlja prihvatljivo napajanje za uređaje.

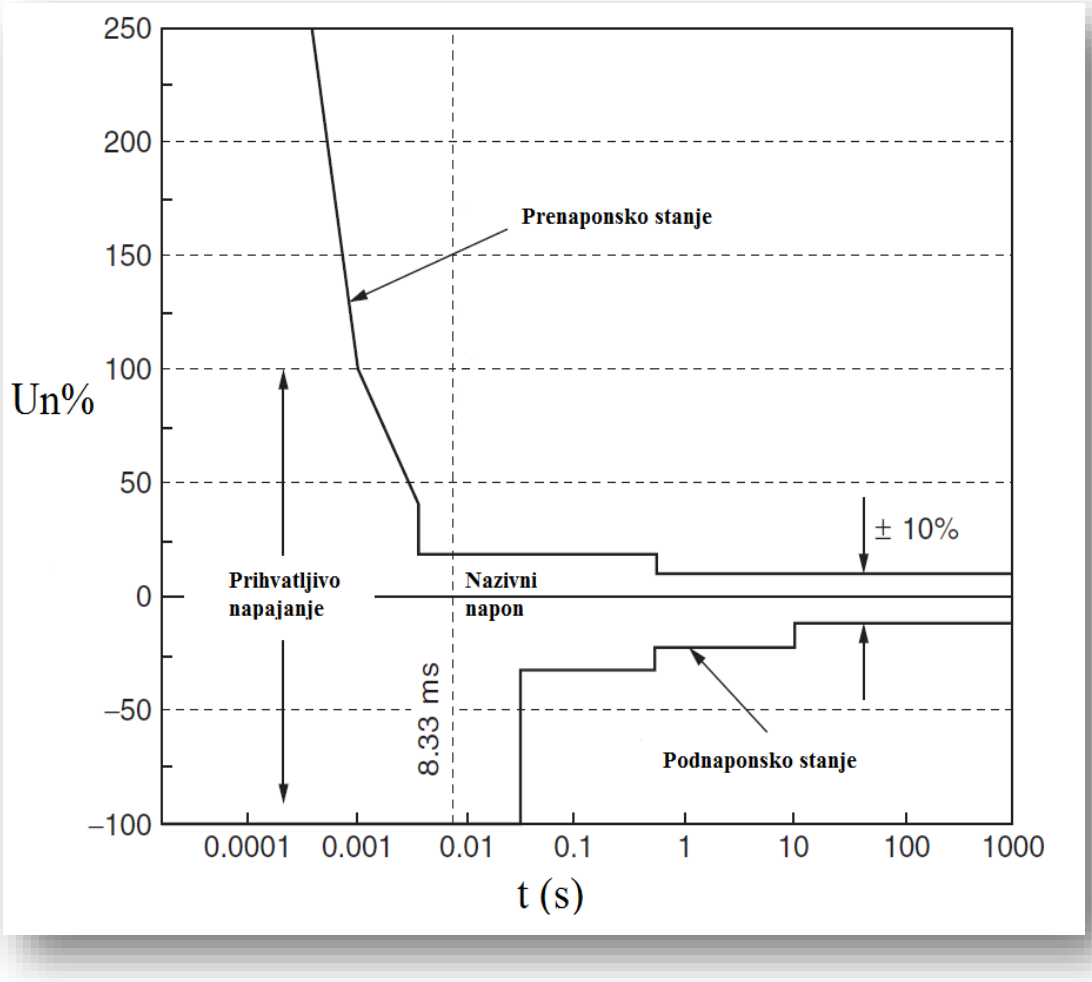


Slika 2.20. *CBEMA krivulja [7, str19].*

CBEMA je zamijenjena Industrijskim Vijećem Informacijske tehnologije (engl. ITIC, Information Technology Industry Council) te je tako i razvijena nova krivulja ITIC prikazana na slici 2.21. Koncept je ostao isti. Namjera ITIC krivulje je bolje odražavanje učinka naponskih smetnji na računala i drugih objekta informacijske tehnologije kao što su fotokopirni uređaji, faks

uređaji itd. Također, koristi se kao referenca za definiranje izdržljivosti raznih opterećenja i uređaja za zaštitu od problema izazvanih kvalitetom električne energije.

Ako na krivuljama prikazanim na slici 2.21. dođe do događaja koji se nalazi ispod donje ili iznad gornje krivulje dolazi do prestanka normalnog rada računalne, komunikacijske mreže,rečunalne mreže itd).

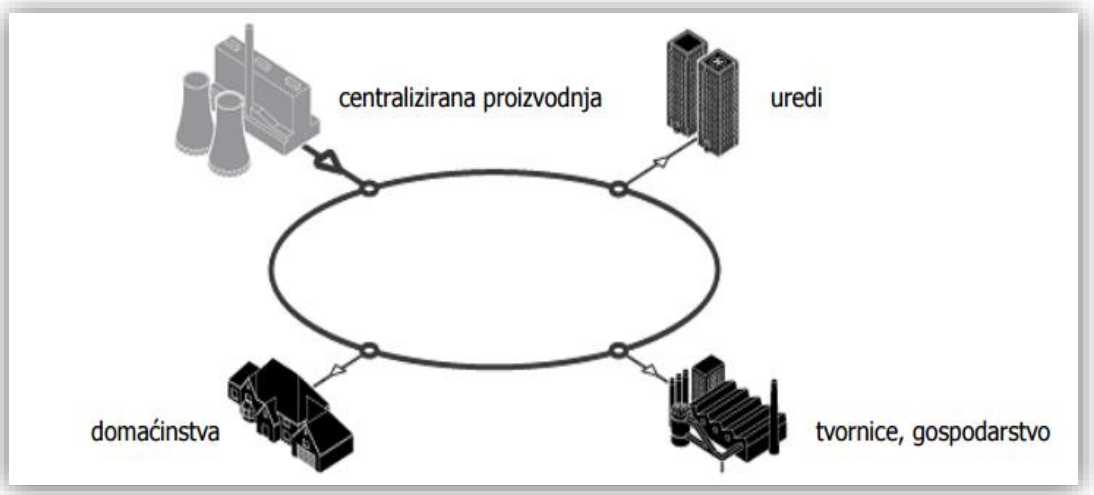


Slika 2.21. *ITIC krivulja [7, str.19].*

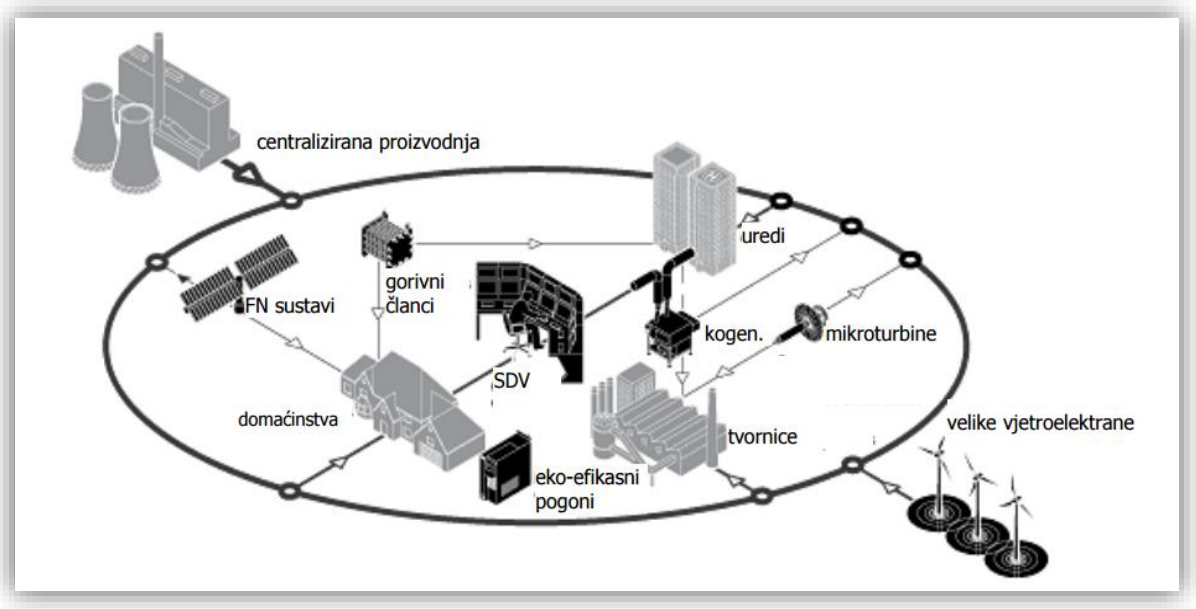
3. DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Distribuirana proizvodnja (DG) predstavlja manje elektrane raspoređene u cijelom elektroenergetskom sustavu u blizini potrošača, a čija snaga ne prelazi 10 MW. Na slici 3.1. prikazana je klasična konfiguracija elektroenergetskog sustava gdje postoji centralizirana proizvodnja koja napaja potrošače prenoseći energiju na velike udaljenosti putem dalekovoda. Zbog prevelike udaljenosti od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje povećavaju se gubitci i pouzdanost opskrbe se smanjuje. Elektroenergetski sustav s priključenim distribuiranim izvorima električne energije koji su smješteni u blizini potrošača prikazan je na slici 3.2. Smanjenjem udaljenosti od proizvodnje do potrošnje, troškovi prijenosa se drastično smanjuju. Ovakav način proizvodnje električne energije gdje su proizvodne jedinice smještene u neposrednoj blizini opterećenja koristi se sve više te se smatra da će u narednih 20 godina iznositi 20% do 30% ukupne proizvodnje. Može se zaključiti kako se zajedničkom opskrbom električne enegije iz distribuiranih izvora i centralizirane proizvodnje značajno povećava sigurnost opskrbe [13]. Elektrane koje se najčešće koriste za distribuiranu proizvodnju su:

- Fotonaponska elektrana
- Vjetroelektrana
- Bioplinska elektrana
- Male hidroelektrane
- Mikroturbine
- Gorivni članci



Slika 3.1. *Klasična konfiguracija EES-a.*



Slika 3.2. *Konfiguracija EES-a sa priključenim distribuiranim izvorima.*

Distribuirana proizvodnja ima svoje prednosti i mane koje se pojavljuju prilikom njihovog rada. Prednosti DG-a su :

- Niži investicijski troškovi
- Obnovljivi izvori energije (smanjuje se zagađenje okoliša)
- Moguće potpore zbog čiste tehnologije
- Veća isplativost
- Neznatni gubici pri prijenosu električne energije
- Pogonski troškovi smanjeni (visoka učinkovitost)
- Neposredna blizina potrošača

Problem kod DG-a nastaje zbog toga što mreža nije bila projektirana za dvosmjerne tokove snaga te uslijed toga dolazi do raznih posljedica na zaštitne uređaje, problema s kvalitetom električne energije itd. Obnovljivi izvori energije za spajanje na mrežu koriste energetsku elektroniku koja ima veliki utjecaj na distribucijsku mrežu uzrokujući izobličenje napona. Poremećaji koji nastaju uslijed distribuirane proizvodnje su:

- Kolebanje napona i flikeri
- Povišenje napona
- Propad napona
- Harmonici
- Nesimetija

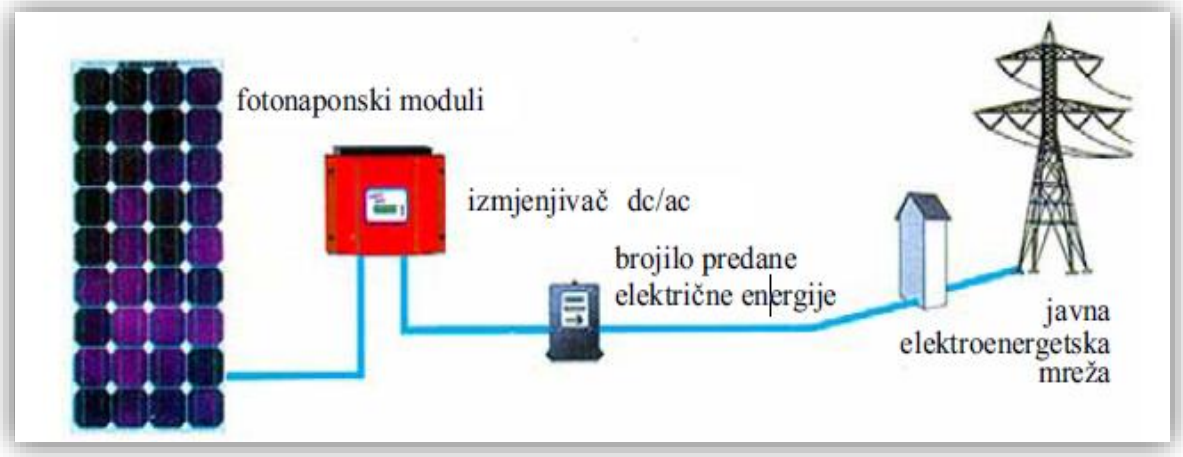
3.1 Fotonaponski sustav

Zbog sve veće potrebe za električnom energijom i sve većeg onečišćenja okoliša, Europska Unija i druge zemlje potiču na korištenje obnovljivih izvora energije među koje spadaju i fotonaponske elektrane. One za svoj rad ne zahtijevaju gorivo te na taj način pridonose zaštiti okoliša. Fotonaponski moduli proizvode električnu energiju putem sunca. Dobivena struja je istosmjerna te se uz pomoć invertera pretvara u izmjeničnu struju koja mora biti sinkronizirana snaponom mreže i frekvencijom. Fotonaponski sustav može biti on-grid gdje je spojen sa mrežom (Slika 3.3.) ili off-grid takozvani otočni sustav gdje je u potpunosti odvojen od mreže. Glavni dijelovi fotonaponskog sustava su:

- Fotonaponski moduli
- Izmjenjivač DC/AC (inverter)
- Kutija sa zaštitnom opremom
- Glavna sklopka za odvajanje
- Kabeli istosmjernog razvoda
- Kabeli izmjeničnog razvoda

Prednosti fotonaponske elektrane kao izvora distribuirane proizvodnje:

- nema onečišćenja okoliša,
- pouzdana opskrba,
- blizina mjesta potrošnje,
- pri prijenosu i distribuciji smanjeni gubici,
- smanjeni troškovi održavanja i
- brza instalacija i puštanje u pogon



Slika 3.3. *Fotonaponska elektrana izravno priključena na mrežu*

3.1.1 Utjecaj fotonaponskog sustava na kvalitetu električne energije

U pogledu kvalitete električne energije fotonaponska elektrana mora zadovoljiti uvjete vezane uz odstupanje frekvencije, odstupanje napona, valni oblik napona, nesimetriju napona te harmonike prema normi EN 50160 i mrežnim pravilima.. Neki od poremećaja fotonapona su:

- fotonaponski sustav zbog energetske elektronike koja je sastavni dio izmjenjivača proizvodi struje viših harmonika,
- promjena snage kod fotonaponskih modula uzrokovana kretanjem oblaka može uzrokovati kolebanje napona i flikere,
- fotonaponski sustavi malih snaga mogu uzrokovati nesimetriju

Tablica 3.1. *Dozvoljenje vrijednosti pokazatelja prma mrežnim pravilima uzrokovanih priključenjem pojedinih fotonaponskih elektrana*

POKAZATELJI KVALITETE	DOZVOLJENE VRIJEDNOSTI
THDU	Na razini 0,4 kV, <2,5%
Treperenje napona	Kratkotrajni: 0,7 ; Dugotrajni: 0,5
Nesimetrija	<1,3% Un

3.2 Fotonaponska elektrana Topolik

Fotonaponska elektrana nalazi se na krovu farme Topolik (Slika 3.4). Sastoji se od 800 fotonaponskih modula ukupne vršne snage 196 kW. Ugrađeni su fotonaponski moduli SV60- 245 (Slika 3.5.) proizvođača SOLVIS čija je nazivna snaga 245 W. Karakteristike modula SV-245 prikazane su u tablici 3.2.

Slika 3.4. *Fotonaponska elektrana Topolik.*

Slika 3.5. *Fotonaponski modul SV60-245.*

Tablica 3.2. *Karakteristike fotonaponskog modula SV60-245 [11].*

MODEL SV60-245		
Vršna snaga	**[W]**	245
Dozvoljeno odstupanje snage	**[W]**	-0 /+4,9
Struja kratkog spoja	**[A]**	8,56
Napon praznog hoda	**[V]**	37,5
Nazivna struja	**[A]**	8,06
Nazivni napon	**[V]**	30,4
Dozvoljeno odstupanje napona i struje	**[%]**	+- 10%
Temperaturni koeficijent		
Normalna radna temperatura ćelije	**[°C]**	48,2 ± 2
Temperaturni koeficijent snage	**[%K]**	-0,41
Temperaturni koeficijent struje	**[%K]**	0,05
Temperaturni koeficijent napona	**[%K]**	-0,29
Mehanički podaci		
Dimenzije	**mm]**	1663 x 998 x 35
Masa	**[kg]**	21,5
Broj i vrsta ćelija		60 ćelija, polikristalični Si, 156 x 156 mm
Enkapsulacija ćelija		Etilen-vinil acetat (EVA)
Staklo		4 mm kaljeno sunčano staklo
Pozadina		Višeslojna poliesterska folija
Okvir		Okvir od anodiziranog aluminija sa dvostrukom stjenkom i otvorima za drenažu
Priključna kutija		Tyco SOLARLOK sa 3 zaštitne diode, IP65
Priključni kablovi		Kabel 4 mm , dužine 1000 mm, SOLARLOK priključnice
Radni uvjeti		
Temperaturno područje	**[°C]**	-40 to +85
Maksimalni napon sustava	**[V]**	1000
Maksimalno opterećenje	**[Pa]**	Ispitano do 5400 Pa (opterećenje snijegom)
Otpornost na udar		Tuča promjera 25 mm pri brzini 23 m/s

Na fotonaponsku elektranu ugrađen je inverter DEIHL 22000 TL prikazan na slici 3.6. Tehnički podaci o inverteru nalaze se u tablici 3.3.

Slika 3.6. *Inverter DEIHL 22000 TL.*

Tablica 3.3. *Karakteristike invertera DEIHL 22000 TL.*

ULAZNE KARAKTERISTIKE	
Maksimalna PV snaga	24,000 Wp
Maksimalna istosmjerna snaga	21.600 W
PV - naponska razina	351 – 710 V
Maksimalni istosmjerni napon	880 V
Maksimalna ulazna struja	3 x 21.0 A
Broj ulaznih stringova	9
Zaštita baterije	DA
IZLAZNE KARAKTERISTIKE	
Nazivna izmjenična snaga	20,700 W
Nazivna izmjenična struja	30.0 A
Maksimalna izmjenična snaga	20,700 W
Maksimalna izmjenična struja	30.0 A
Mrežni raspon izlaznog napona	3AC 230 V / 400 V + N (+/-20%)
Frekvencija	50 Hz (+/-5%)

4. ANALIZA MJERENJA NA FARMI MUZNIH KRAVA TOPOLIK

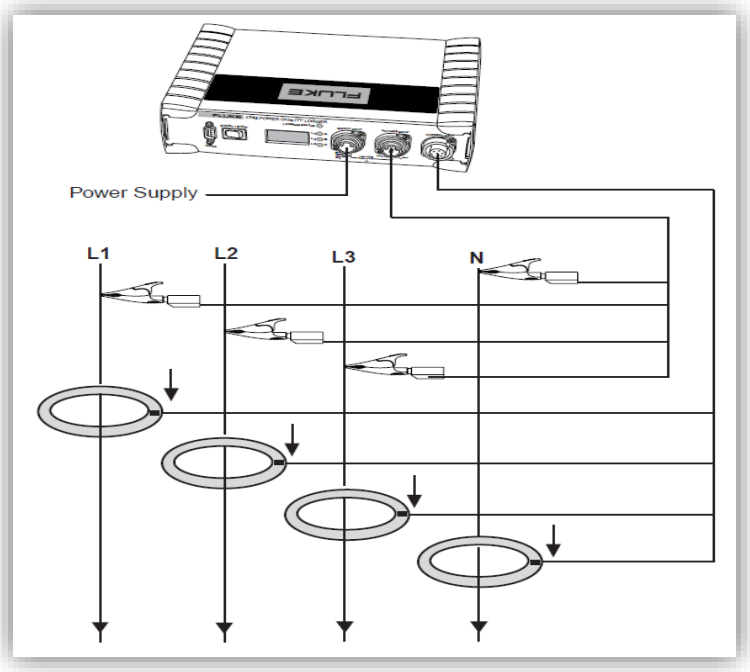
4.1 Općenito o farmi Topolik

Frama Topolik ima ukupan kapacitet od 500 grla i spada u najveću robotiziranu farmu u Europi sa ukupno 6 robota za mužnju. Prostire se na 4,23 ha. Sustavom takozvanih pametnih vrata regulirano je kretanje krava. Hranidba se također vrši automatski tako da se računalno dozira količina hrane i koncentrata prema individualnim potrebama svake krave. Šest potpuno automatiziranih robota obavlja mužnju svake krave 3 puta u 24 sata. Mužnja uz pomoć robota se vrši na način da se laserom očitava položaj vimena svake krave te nakog toga roboti postavljaju muznu čašu. Dobiveno mlijeko robot automatski analizira i prepoznaje njegovu kvalitetu te se na taj način razvrstava mlijeko različitih kvaliteta u posebne tankove. U sklopu farme nalazi se i fotonaponska elektrana ukupne snage 200 kW opisana u poglavlju 3.

4.2 Mjerni instrument FLUKE 1745

Mjerni instrument Fluke 1745 spada u seriju 1740. Od uobičajenih parametara može mjeriti struju, napon, djelatnu, jalovu i prividnu snagu, faktor snage, energiju, treperenje, naponske događaje, THD kao i većina instrumenata za kvalitetu električne energije. Strujne i naponske harmonike mjeri do 50. reda.. Njegovi osnovni podaci nalaze se u tablici 4.1.

Spajanje instrumenta u trofaznom četverožičnom sustavu prikazano je na slici 4.1.



Slika 4.1. *Spajanje instrumenta Fluke 1745 u trofaznom četvero žičanom sustavu*

Tablica. 4.1. *Karakteristike uređaja Fluke 1745 za mjerenja kvalitete električne energije.*

MJERENJA	
Mjerne veličine	A Kvaliteta i snaga
Srednja, maksimalna i najmanja vrijednost napona	x
Srednja, maksimalna i najmanja vrijednost struja L1, L2 i L3	x
Srednja, maksimalna i najmanja vrijednost struje nul vodiča	x
Promjene napona	x
Snage (P,Q,S, srednja,maksimalna i najmanja vrijednost,cosφ)	x
Zbroj ukupnih snaga (P,Q,S)	x
Treperenje	x
Energija	x
Naponi harmonika	x
THD I	x
THD U	x
Tjemeni faktor	x
Međuharmonici - naponski	x
Signalni naponi	x
Nesimetričnost	x
Frekvencija	x
GENERALNI PODACI	
Dimenzija	170mm x 125mm x 55 mm
Težina	0.9 kg
Display	LED+LCD
Radna tenperatura	-10°C do +55°C
Temperatura skaldištenja	-20°C do +60°C
Vlažnost	10 do 90% bez kondenzacije
Zaštita	IP 50
Ispitni napon	5.2 kV, 50 Hz / 60 Hz
Kapacitet memroije	8 MB
Napajanje	88V do 660 V AC efektivne vrijednosti napona, 50 Hz / 60 Hz, 100 V do 350 V DC
Snaga	5 W
Događaji	> 13 000
Software	PQ Log
Prijenos podataka i komunikacija	Kabel RS232 sučelje i RS232-USB adapter
Dubina memorije	1/2/4 MB
Broj naponskih ulaza	3
Broj strujnih ulaza	4

Područje uporabe:

- 3-fazni mjerač/snimač naponskih, strujnih i parametara snage
- studija opterećenje sistema
- Analiza kvalitete električne energije
- provjeravanje sukladnosti s standardom EN50160

Komplet sadrži:

- Fluke 1745 analizator
- 4 × 15A/150A/1500A/3000A gibljivi (flex) kliještni adapter
- naponski mjerni kablovi i krokodilke
- Fluke PQ Log programski paket
- RS-232 kabel i RS-232/USB adapter
- Kalibracijski certifikat
- Torbica za instrument i pribor
- upute za upotrebu

4.2.1 Program za analizu mjerenja PQ Log

Dobiveni rezultati mjerenja mogu se pogledati u programu PQ Log. Ima jednostavno sučelje za korištenje. Mjerenja se mogu prikazati u grafičkom obliku, tabelama ili generirati u profesionalni izvještaj. Mogućnosti programa PQ Log:

- analizirati uzrok problema,
- mjerenja kao što su treperenje i naponske promjene možemo prikazati u isto vrijeme pomažući da se brzo utvrdi uzrok premećaja,
- Omogućen je jednostavan prikaz 8 parametara kvalitete na jednoj ploči prema normi EN 50160, po najnovijim standardima međunarodne kvalitete električne energije,
- Statička analiza naponskih i strujnih harmonika u određenom vremenskom intervalu.

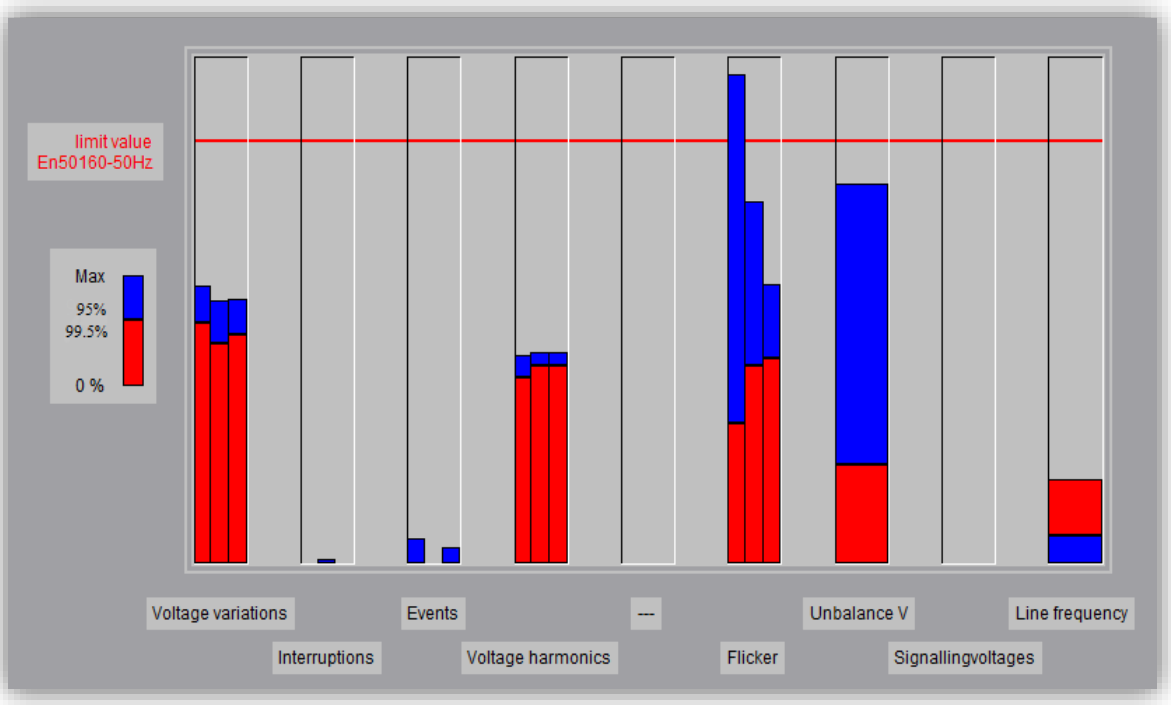
4.3 Rezultati mjerenja kvalitete napona

Nadzor kvalitete napona izvršen je uređajem Fluke 1745 prema normi HRN EN 50160. Instrument smo spojili na trofazni četverožični sustav u glavnom razvodnom ormaru GRO (vršna snaga P_v = 196 kW i nazivne struje I_n = 400A / 320A) fotonaponske elektrane (Slika 4.2.). Mjerenje naponskih karakteristika obavljeno je u periodu od 10.6.2016. u 9:30 do 17.6.2016. 9:30 u iznosu od 7 dana.

Slika 4.2. *Uređaj Fluke 1745 spojen u GRO fotonaponske elektrane.*

Na slici 4.3. možemo vidjeti sumaran prikaz vrijednosti pokazatelja kvalitete električne energije prema normi HRN EN 50160. Svaki poremećaj prikazan je za sve tri faze (L1,L2 i L3) u tri stupca. Crvena boja stupca označava da navedeni poremećaj ne zadovoljava tijekom 95% tjedna odnosno plavi stupac da ne zadovoljava tijekom manje od 5% tjedna. Vrijednosti zadovoljavaju ako se ne prekorači limit koji definira norma EN 50160 označen crvenim pravcem. Prema slici svi pokazatelji su u skladu prema ograničenjima koje je zadala norma osim treperenja koje u fazi L1 prelazi graničnu vrijednost stupcem plave boje. Kako treperenja zadovoljava graničnu vrijednost od 95% tjedna mjernog razdoblja, svi su pokazatelji napona bili u skladu sa normom.

Na slikama 4.4. i 4.5 dana su maksimalne i 95 % -tne vrijednosti svih pokazatelja kvalitete električne energije. Možemo zaključiti kako su snimljene vrijednosti svih pokazatelja unutar graničnih vrijednosti norme HRN EN 50160



Slika 4.3. *Ukupan prikaz pokazatelja kvalitete električne energije.*

Parameter			Maximum value			x%-value		
	Unit	En50160-50Hz.gwd	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Voltage variations		230V					95%-value	
Maximum 100% / 95%	% [Vn]	+10 / +10	6.57	6.24	6.29	5.70	5.20	5.43
Minimum 100% / 95%	% [Vn]	-15 / -10	-0.36	-0.24	-0.09	-0.36	-0.24	-0.09
Interruptions < 0%	Number of	100	0	1	0		-	
Events	Number of	100	6	0	4		-	
Voltage harmonics							95%-value	
7. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	5 / 5	2.35	2.50	2.50	2.20	2.35	2.35
21. Harm. 100% / 95%	% [Vh1]	0.5 / 0.5	0.25		0.25	0.10		0.10
Current harmonics	A			No			95%-value	
Flicker Plt 100% / 95%	Plt	1 / 1	1.159	0.860	0.661	0.333	0.471	0.488
Unbalance V 100% / 95%	%	2 / 2		1.80			0.47	
Signallingvoltages	% [Vn]			No			99%-value	
frequency		50 Hz					99.5%-value	
Maximum 100% / 99.5%	%	+4 / +1		0.20			0.20	
Minimum 100% / 99.5%	%	-6 / -1		-0.40			-0.20	

Max value above limit value

x% (95% / 99.5% / 99%)-value above limit value

Slika 4.4. *Ukupan prikaz svih maksimalnih i 95% -tnih vrijednosti rezultata mjerenja.*

Parameter			Measurement value			Deviation from limit value		
	Unit		L1	L2	L3	L1	L2	L3
Voltage variations	V	230.00V +/- 10%						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	V	253.00	243.12	241.97	242.49	-	-	-
Min	V	207.00	229.18	229.44	229.80	-	-	-
Voltage variations	V	230.00V +10 / -15%						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	V	253.00	245.12	244.35	244.47	-	-	-
Min	V	195.50	229.18	229.44	229.80	-	-	-
short Interruptions	Number/ Meas.p.	< 0% of V n < 3 min.						
	Number/ Meas.p.	100	0	1	0	100	99	100
long Interruptions	Number/ Meas.p.	< 0% of V n >= 3 min.						
	Number/ Meas.p.	100	0	0	0	100	100	100
Events	Number/ Meas.p.	> Vn +10% or < V n-10% > 0% V n						
	Number/ Meas.p.	100	6	0	4	94	100	96
3. Harmonic	% [Vh1]	5.00						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	% [Vh1]		1.00	0.55	0.75	4.00	4.45	4.25
3. Harmonic	% [Vh1]	5.00						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	% [Vh1]		1.15	0.65	0.85	3.85	4.35	4.15
5. Harmonic	% [Vh1]	6.00						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	% [Vh1]		2.15	2.00	2.15	3.85	4.00	3.85
5. Harmonic	% [Vh1]	6.00						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	% [Vh1]		2.40	2.30	2.45	3.60	3.70	3.55
7. Harmonic	% [Vh1]	5.00						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	% [Vh1]		2.20	2.35	2.35	2.80	2.65	2.65
7. Harmonic	% [Vh1]	5.00						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	% [Vh1]		2.35	2.50	2.50	2.65	2.50	2.50
9. Harmonic	% [Vh1]	1.50						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	% [Vh1]		0.10	0.10	0.05	1.40	1.40	1.45
9. Harmonic	% [Vh1]	1.50						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	% [Vh1]		0.20	0.15	0.15	1.30	1.35	1.35
THD V	%	8.00						
Within tolerance	%	95	100.00	100.00	100.00	5.00	5.00	5.00
Max	%		3.06	2.96	3.10	4.94	5.04	4.90
THD V	%	8.00						
Within tolerance	%	100	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Max	%		3.48	3.35	3.50	4.52	4.65	4.50
Flicker	Plt	1.000						
Within tolerance	%	95	100.20	100.00	100.00	5.20	5.00	5.00
Max	Plt		0.333	0.471	0.488	0.667	0.529	0.512
Flicker	Plt	1.000						
Within tolerance	%	100	100.20	100.00	100.00	0.20	0.00	0.00
Max	Plt		1.159	0.860	0.661	-0.159	0.140	0.339
Unbalance V	%	2.00						
Within tolerance	%	95		100.00			5.00	
Max	%			0.47			1.53	
Unbalance V	%	2.00						
Within tolerance	%	100		100.00			0.00	
Max	%			1.80			0.20	
frequency 99.5%	Hz	50Hz +/- 1%						
Within tolerance	%	99.5		100.00			0.50	
Max	Hz	50.50		50.10			-	
Min	Hz	49.50		49.90			-	
frequency 100%	Hz	50Hz +4 / -6%						
Within tolerance	%	100		100.00			0.00	
Max	Hz	52.00		50.10			-	
Min	Hz	47.00		49.80			-	

Slika 4.5. *Ukupan prikaz svih maksimalnih i 95% -tnih vrijednosti rezultata mjerenja*

Na slici 4.6. prikazani su svi zabilježeni događaji u razdoblju od sedam dana mjerenja. Zabilježeno ih je ukupno 11 od čega 10 naponskih propada i jedan kratki prekid opskrbe.

Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20...< 100 ms	100...< 500 ms	0.5...< 1 s	1...< 3 s	3...< 20 s	20...< 60 s	>= 1 min
Swell > 10.00%								
Dip > 10.00%								
10...< 15 %	1	6						
15...< 30 %								
30...< 60 %		1	1					
60...< 99 %						1		
Interruption					1			

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage
Dip according to UNIPEDE measurement guide

Number of swells	0
Number of Dips	10
Number of short interruptions (<3 min)	1
Number of long interruptions (>=3 min)	0
Number of interruptions	1
Total events and interruptions	11
Total number of allowed events	100
Total number of allowed interruptions	100

Slika 4.6. *Prikaz svih zabilježenih naponskih događaja.*

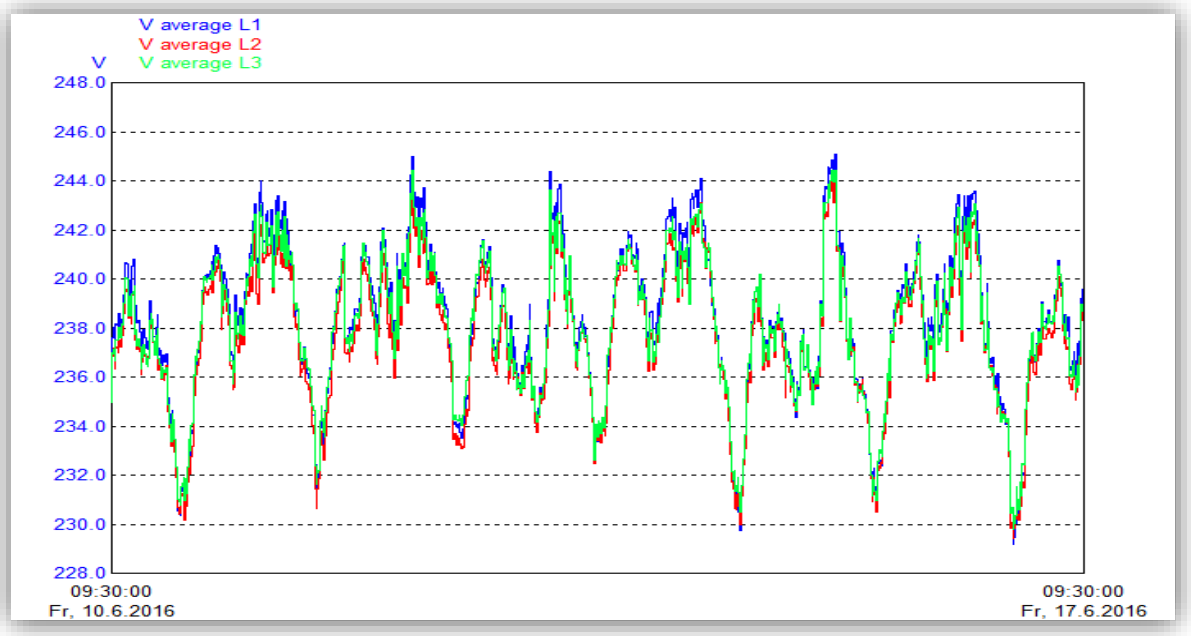
Detaljan prikaz svih događaja vidimo na slici 4.7. Možemo uočiti kako se najveći propad sa amplitudom od 2,7 V dogodio u fazi L3 što je vrlo blizu granične vrijednosti ispod 1% U_n da bi se smatrao prekidom opskrbe. Kratak prekid opskrbe se dogodio u fazi L2.

Events and interruptions (short: < 3min., long: >= 3 min.)				
Date and time	Duration	Phase L1	Phase L2	Phase L3
10.06.2016 09:30:07,760	0,00:00:07,450			2.7 V
10.06.2016 09:30:09,830	0,00:00:02,960		< 3 min.	
11.06.2016 04:54:37,920	0,00:00:00,070	123.9 V		
12.06.2016 17:49:26,150	0,00:00:00,010			205.5 V
12.06.2016 17:49:26,170	0,00:00:00,050			202.6 V
15.06.2016 12:12:26,670	0,00:00:00,110			146.4 V
15.06.2016 12:12:26,710	0,00:00:00,070	200.1 V		
15.06.2016 15:58:12,920	0,00:00:00,030	205.2 V		
15.06.2016 15:58:51,360	0,00:00:00,060	204.7 V		
15.06.2016 16:00:23,100	0,00:00:00,050	205.4 V		
15.06.2016 16:01:41,970	0,00:00:00,050	204.0 V		

Slika 4.7. *Detaljan prikaz svih zabilježenih naponskih događaja.*

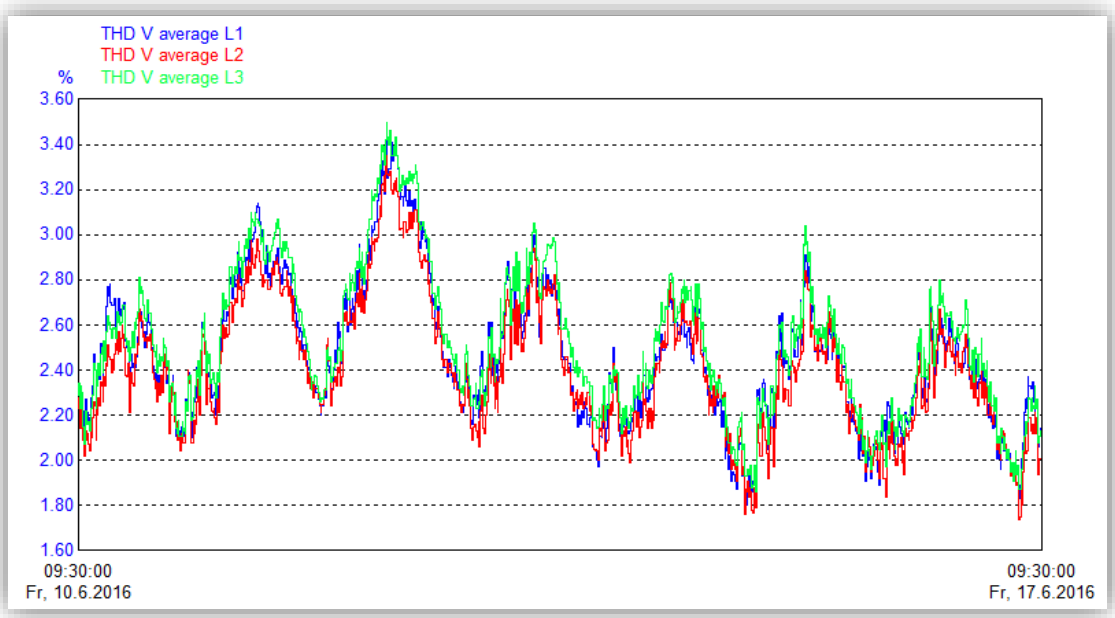
U daljnjoj analizi prikazani su najvažniji pokazatelji kvalitete električne energije. Srednje desetminutne efektivne vrijednosti napona prikazane su na slici 4.8. Prema normi EN 50160

granična odstupanja iznose ±10 % (253V - 207V). Sa slike se vidi kako se većina vrijednosti kreće između 230 V i 244 V te su u skladu sa normom EN 50160.



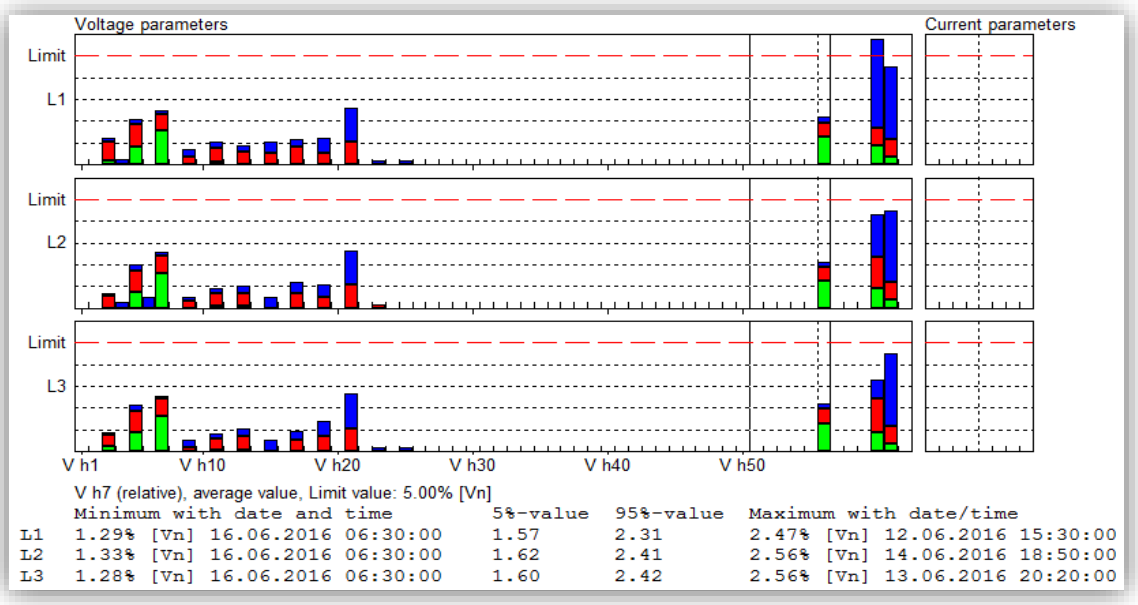
Slika 4.8. *Srednje desetminutne efektivne vrijednosti napona u mjernom razdoblju.*

Ukupno harmoničko izobličenje prema normi EN 50160 ne smije prelaziti 8% U_n. Izmjerene vrijednosti pokazuju da je najveća vrijednost THDU iznosila 3,49 % U_n u fazi L1 te je ukupno harmoničko izobličenje u skladu sa normom (Slika 4.9.).



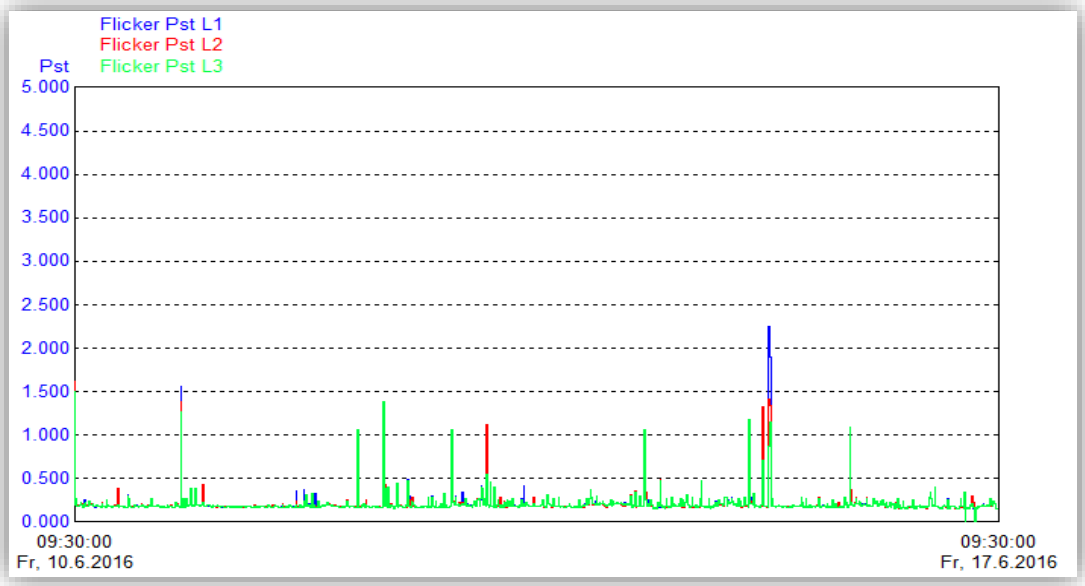
Slika 4.9. *Ukupno harmoničko izobličenje napona THDU u mjernom razdoblju.*

Na slici 4.10. vidimo vrijednosti napona viših harmonika. Uočavamo kako maksimalne vrijednosti napona viših harmonika ne prekoračuju graničnu vrijednost i u skladu su prema normi EN 50160.



Slika 4.10. *Naponi viših harmonika u mjernom razdoblju.*

Na slici 4.11. prikazane su vrijednosti kratkotrajnog naponskog trepterenja (flikera). Slika 4.12. prikazuje prekoračenja koja su se dogodila na dane 10.6.2016. i 15.6.2016.



Slika 4.11. *Kratkotrajni naponski flikeri u mjernom razdoblju.*

a)

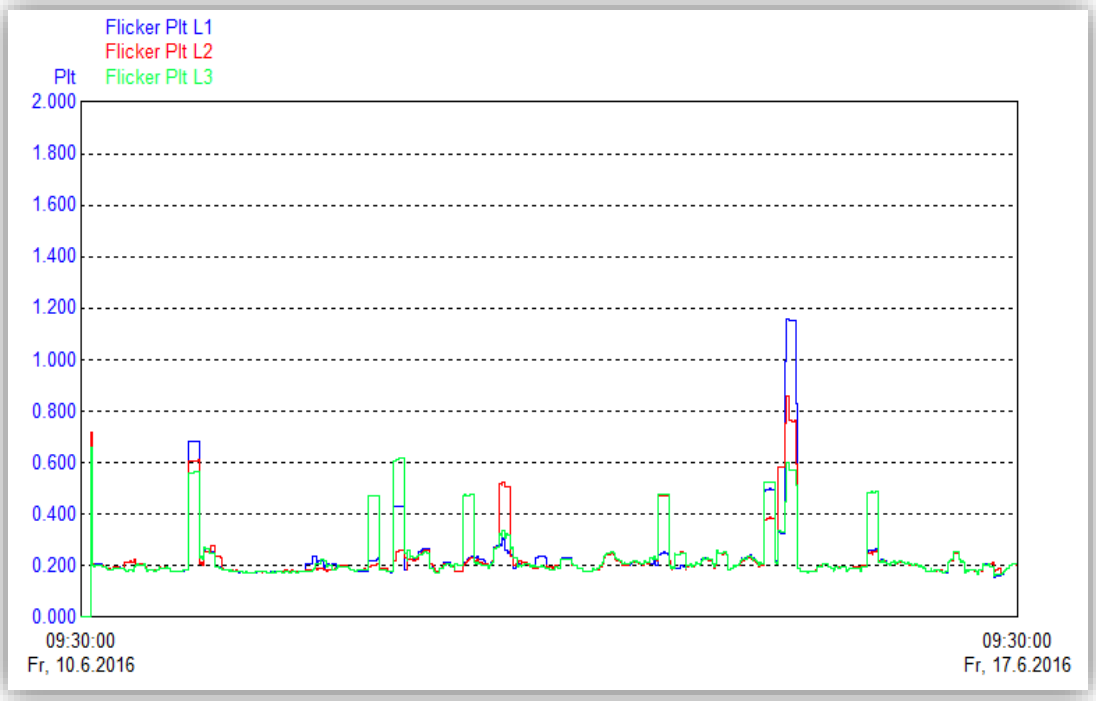
Date and time	Flicker Pst L2 Pst	Flicker Pst L3 Pst	Flicker Pst L1 Pst
10.06.2016 09:40:00	1.627	1.500	0.216
10.06.2016 09:50:00	0.199	0.197	0.203
10.06.2016 10:00:00	0.270	0.268	0.270
10.06.2016 10:10:00	0.182	0.182	0.186
10.06.2016 10:20:00	0.191	0.188	0.191
10.06.2016 10:30:00	0.179	0.178	0.178
10.06.2016 10:40:00	0.199	0.195	0.200
10.06.2016 10:50:00	0.231	0.227	0.229
10.06.2016 11:00:00	0.207	0.202	0.202
10.06.2016 11:10:00	0.174	0.174	0.172
10.06.2016 11:20:00	0.183	0.182	0.182
10.06.2016 11:30:00	0.207	0.206	0.252
10.06.2016 11:40:00	0.226	0.224	0.227
10.06.2016 11:50:00	0.193	0.190	0.191
10.06.2016 12:00:00	0.185	0.183	0.183
10.06.2016 12:10:00	0.179	0.179	0.176
10.06.2016 12:20:00	0.244	0.239	0.243

b)

Date and time	Flicker Pst L2 Pst	Flicker Pst L3 Pst	Flicker Pst L1 Pst
15.06.2016 12:20:00	0.831	1.174	1.104
15.06.2016 12:30:00	0.214	0.221	0.220
15.06.2016 12:40:00	0.206	0.207	0.212
15.06.2016 12:50:00	0.245	0.207	0.280
15.06.2016 13:00:00	0.206	0.203	0.206
15.06.2016 13:10:00	0.329	0.326	0.335
15.06.2016 13:20:00	0.175	0.175	0.175
15.06.2016 13:30:00	0.187	0.192	0.189
15.06.2016 13:40:00	0.184	0.188	0.188
15.06.2016 13:50:00	0.185	0.187	0.187
15.06.2016 14:00:00	0.176	0.177	0.180
15.06.2016 14:10:00	0.176	0.179	0.177
15.06.2016 14:20:00	0.170	0.173	0.174
15.06.2016 14:30:00	0.188	0.192	0.193
15.06.2016 14:40:00	0.226	0.228	0.228
15.06.2016 14:50:00	1.322	0.713	0.696
15.06.2016 15:00:00	0.204	0.199	0.201
15.06.2016 15:10:00	0.187	0.188	0.189
15.06.2016 15:20:00	0.181	0.186	0.186
15.06.2016 15:30:00	0.181	0.183	0.184
15.06.2016 15:40:00	0.169	0.177	0.173
15.06.2016 15:50:00	0.172	0.175	0.174
15.06.2016 16:00:00	1.409	0.867	2.253
15.06.2016 16:10:00	1.348	1.153	1.896

Slika 4.12. *Detaljan prikaz kratkotrajnih treperenja koji prelaze vrijednost 1; a) Dana 10.06.2016., b) Dana 15.06.2016.*

Dugotrajno treperenje u razdoblju od 7 dana prikazano je na slici 4.13. Prema normi, vrijednost dugotrajnih flikera ne smije prelaziti $P_{lt} = 1$. Možemo uočiti da se pojavilo odstupanje od granične vrijednosti što je detaljno vidljivo na slici 4.14. Odstupanje se pojavilo dana 15.06.2016. samo u fazi L1 u trajanju od 110 minuta. Kako u više od 95 % tjedna nije bilo flikera koji prelaze graničnu vrijednost $P_{lt} = 1$, vrijednosti su u granicama norme EN 50160.

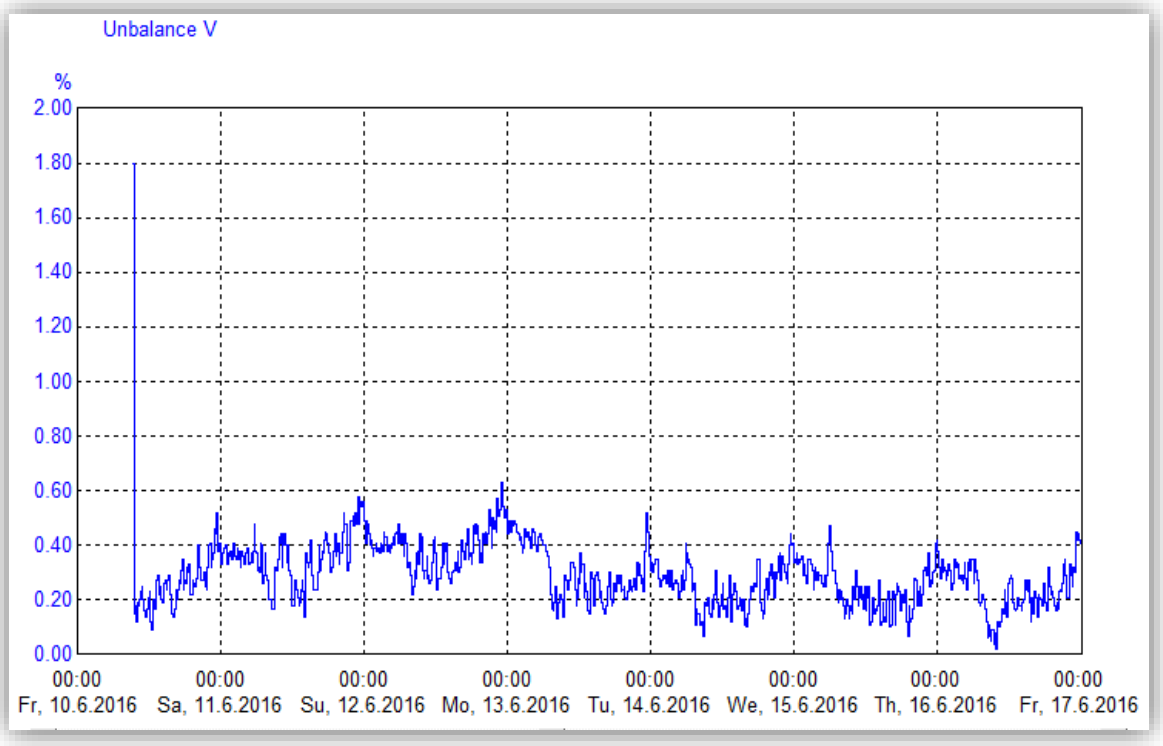


Slika 4.13. *Dugotrajni naponski flikeri u mjernom razdoblju.*

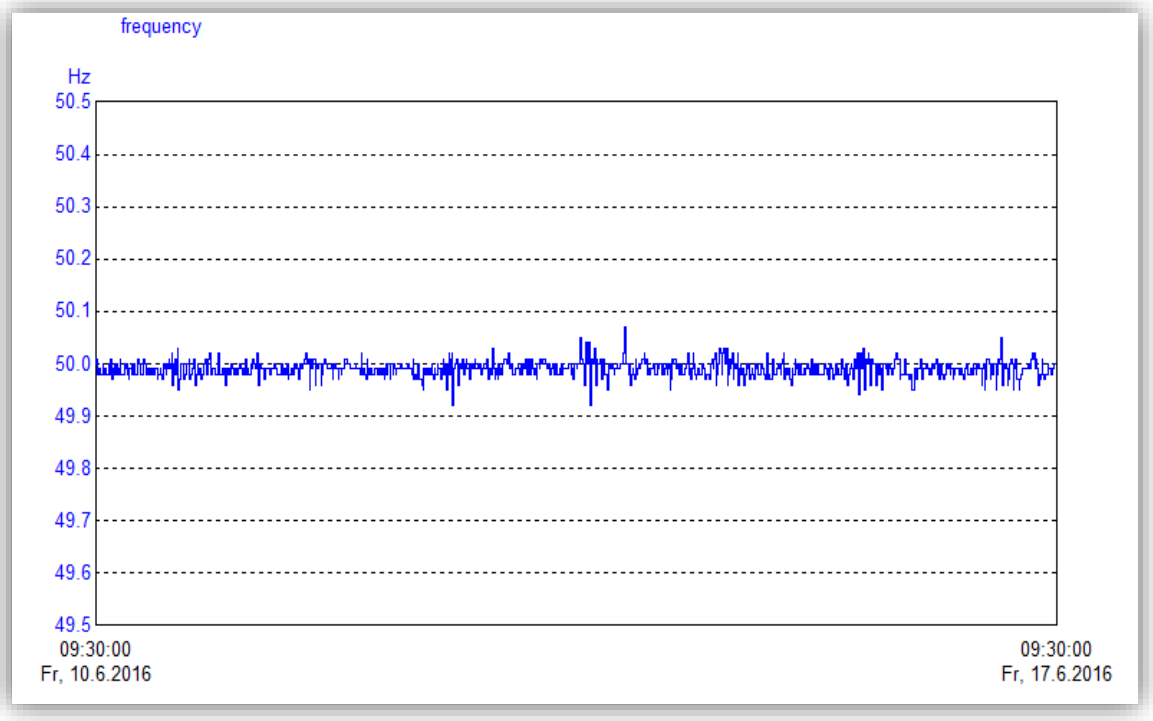
Date and time	Flicker Plt L1 Plt	Flicker Plt L2 Plt	Flicker Plt L3 Plt
15.06.2016 15:50:00	0.325	0.583	0.331
15.06.2016 16:00:00	0.996	0.755	0.448
15.06.2016 16:10:00	1.158	0.859	0.601
15.06.2016 16:20:00	1.158	0.860	0.602
15.06.2016 16:30:00	1.158	0.860	0.601
15.06.2016 16:40:00	1.159	0.860	0.602
15.06.2016 16:50:00	1.152	0.763	0.573
15.06.2016 17:00:00	1.152	0.763	0.573
15.06.2016 17:10:00	1.152	0.762	0.573
15.06.2016 17:20:00	1.152	0.762	0.573
15.06.2016 17:30:00	1.152	0.762	0.573
15.06.2016 17:40:00	1.152	0.763	0.573
15.06.2016 17:50:00	1.152	0.763	0.573
15.06.2016 18:00:00	0.832	0.595	0.512
15.06.2016 18:10:00	0.195	0.194	0.194
15.06.2016 18:20:00	0.190	0.191	0.191

Slika 4.14. *Detaljan prikaz dugotrajnog treperenja koji prelaze vrijednost 1, dana 15.06.2016.*

Prema slici 4.15. i 4.16. nesimetrija napona i pogonska frekvencija su unutar granične vrijednosti prema normi EN50160.



Slika 4.15. *Nesimetrija napona u mjernom razdoblju.*



Slika 4.16. *Pogonske frekvencije u mjernom razdoblju.*

4.4 Sažet prikaz rezultata

POKAZATELJI KVALITETE	OPSEG	IZMJERENA VRIJEDNOSTI (max. i min.)	GRANICA	ZADOVOLJAVA PREMA NORMI EN 50160
Odstupanje napona	230 V ± 10% (253 – 207) V	243,23 – 229,18	95,0 %	DA
	230 V +10%/-15 % (253 – 195,5) V	225,12 – 229,18	100,0 %	DA
Nesimetrija	< 2% Un	0,47	95,0 %	DA
THD napona	<8% Un	3,10 – 2,96	95,0 %	DA
Odstupanje frekvencije	50 Hz ± 1%	50,50 – 49,50	99,5 %	DA
	50 Hz +4%/-6%	52 - 47	100,0 %	DA
Dugotrajni flikeri	<1	0,488 – 0,333	95,0 %	DA
		1,159 – 0,661	100,0 %	DA
Signalni naponi	do 500 Hz: < 9% 1-10 kHz: < 5%	-	99,0 %	DA
Kratki prekidi	10 do 100	1	100,0 %	DA
Dugi prekidi	10 do 50	-	100,0 %	DA
Događaji	Max 100	11	100,0 %	DA

ZAKLJUČAK

Liberalizacijom tržišta električna energija se počela promatrati kao i svaka roba te je njena kvaliteta postala od velikog značaja u današnje vrijeme. Proizvođači, su zbog konkurencije prisiljeni održavati visoku kvalitetu električne energije jer u protivnom mogu ostati bez dijela kupaca. Kupcima je bitna kvaliteta, kako industrijskim potrošačima tako i manjim potrošačima, kao što su kućanstva. U industriji loša kvaliteta napona može uzrokovati brojne kvarove na opremi te zaustavljanje proizvodnje zbog naponskih propada i prekida opskrbe napajanja što ujedno dovodi do povećanih troškova koji na godišnjoj razini mogu prelaziti pozamašne cifre. Kod manjih potrošača loša kvaliteta uzrokuje nepravilan rad, veću potrošnju te smanjenje životnog vijeka električnih uređaja i opreme pošto su oni konstruirani i napravljeni za rad uz određene naponske prilike.

Često se postavlja pitanje tko je kriv za lošu kvalitetu? Potrošači ili proizvođači? Pišući ovaj diplomski rad shvatio sam da je krivnja obostrana, uglavnom zbog povećanog korištenja elektroničkih komponenti i energetske elektronike kako u elektranama i postrojenjima tako i u kućanstvima i industriji. Ali ako pogledamo činjenicu da je danas teško pronaći čisto omska trošila linearne karakteristike od kojih je možda kao jedini primjer ostala žarulja sa žarnom niti, potrošač upravo zbog te ograničenosti nema moć utjecaja na smanjenje poremećaja. Glavnu odgovornost trebali bi preuzeti proizvođači električne energije i proizvođači električnih uređaja na način da uz prikupljene podatke od dosadašnjih godina nađu praktične odgovore za rješavanje problema s kvalitetom napona. Ako gledamo dugoročno, problemi se mogu riješiti jedino znanjem i modernizacijom.

Istraživanja su pokazala da su od poremećaja najzastupljenije brze naponske promjene (treperenje), zatim slijedi nesimetrija napona, veličina opskrbnog napona, naponski propadi, kratki prekidi napajanja te na zadnjem mjestu promjene frekvencije. Mjerenjem kvalitete električne energije sedam dana na Farmi muznih krava Topolik prema normi EN 50160 i analiziranjem mjernih podataka vidjeli smo da se u promatranom razdoblju dogodilo ukupno jedanaest događaja (deset propada napona i jedan kratak prekid opskrbe). Svi pokazatelji kvalitete električne energije bili su u granicama prema normi HRN EN 50160. Fotonaponska elektrana ne izaziva probleme u kvaliteti opskrbnog napona na farmi Topolik.

LITERATURA

[1] Z. Novinc, “Kakvoća električne energije”, GRAPHIS, Zagreb, 2003.

[2] Angelo Baggini, “Handbook of Power Quality”, John Wiley & Sons Ltd, England, 2008.

[3] Dr.sc. Amir Tokić, “Uvod u kvalitet električne energije ”, Fakultet u Tuzli, 2008.

[4] Predavanja: Kvaliteta napona u elektroenergetskom sustavu, Doc.dr.sc. Zvonimir Klaić

[5] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, Surya Santoso, H. Wayne Beaty “Electrical Power Systems Quality ”“, The McGraw-Hill Companies, USA, 2004.

[6] Ph. Ferracci, “Cahier technique no. 199, Power Quality”, Schneider Electric, 2000.

[7] Alexander Kusko, Marc T.Thompson, “ Power Quality in Electrical Systems ”The McGraw-Hill Companies, USA, 2007.

[8] Z. Klaić, S. Nikolovski: Mjerenje i analiza kvalitete električne energije prema Europskoj normi EN 50160 u Slavoniji; 7. savjetovanje HO CIGRE, Cavtat, 2005., R. C6-07.

[9] Z. Klaić, S. Nikolovski: KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE – MJERENJA PREMA NORMI EN 50160; 6. savjetovanje Cavtat, 2003., C4-14.

[10] SOLVIS Fotonaponski moduli, Tehnički list za module SV60

[11] FLUKE, 1745 Power Quality Logger, User Manual, USA, 2006.

[12] Doc.dr.sc. Zvonimir Klaić, dipl.inž.el., ELABORAT: UTJECAJ SUNČANE ELEKTRANE ETFOS 1, NA DISTRIBUCIJSKU MREŽU HEP ODS-a DP „ELEKTROSLAVONIJA“ OSIJEK, Elektrotehnički fakultet Osijek, svibanj 2014.

[13] Dr. sc. Ljubomir Majdandžić, Nikola Vištica, dipl. ing., DISTRIBUIRANA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKIM SUSTAVOM, Hrvatska stručna udruga za Sunčevu energiju, Šibenik, 18.-21. svibnja 2008.

SAŽETAK

Povećanjem broja trošila nelinearnih karakteristika koji u mrežu unose više harmonike te uz ostale poremećaje kvalitete električne energije (naponske propade, kolebanje napona, prekidi opskrbe, povišenje napona, signalni naponi itd.) dolazi do negativnog utjecaja na kvalitetu električne energije kako u industriji tako i u kućanstvima. Praćenjem pokazatelja kvalitete napona i njihovim analiziranjem pokušavaju se pronaći rješenja za suzbijanje poremećaja. U prvom dijelu diplomskog rada opisani su svi glavni pokazatelji kvalitete električne energije i njihove važne karakteristike. U drugom dijelu prikazani su i analizirani rezultati mjerenja kvalitete napona na farmi muznih krava Topolik prema normi HRN EN 50160 u trajanju od sedam dana. Za mjerenje korišten mrežni analizator Fluke 1745 koji spojen na glavni razvodni ormar GRO fotonaponske elektrane Topolik.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, norma EN 50160, pokazatelji, naponske promjene, mreža, trošila, distribuirana proizvodnja

SUMMARY

By increasing the number of consumers with non-linear characteristics that input the network with higher harmonics and with other disorders of power quality (voltage dips, voltage fluctuation, supply interruptions, increase of voltage, signal voltages, etc.) comes the negative impact on the electrical opposition both in industry and in households. By monitoring the voltage quality indicators and by analyzing them, we are trying to find a problem and solutions for them to be suppressed. The first part of thesis describes all the main indicators of the quality of electricity and their essential characteristics. The second part presents and analyzes the results of measurements of voltage quality on a dairy farm Topolik under standard EN 50160 for a period of seven days. For measuring we used network analyzer Fluke 1745 which was coupled to the main distribution bord MD photovoltaic power Topolik.

Key words: electric power quality, norm EN 50160, indices, voltage variations, network, loads, distributed generation

ŽIVOTOPIS

Vedran Tukera rođen je 22.09.1991. na Supetru, mjestu koje se nalazi na otoku Braču. Osnovnu školu pohađao je u Osnovnoj školi Čeminac nakon koje upisuje Prvu srednju školu Beli Manastir smjer Elektrotehničar. Po završetku srednje škole upisuje se na Elektrotehnički fakultet Osijek koji mijenja ime te se danas zove Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Odabire Stručni studij smjera Elektroenergetika u trajanju od tri godine koji završava 2013. Nakon završetka stručnog studija upisuje razlikovnu godinu za diplomski studij u trajanju od jedne godine te završava 2014.