

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Artūras VENCKUS

10/0,4 kV ĮTAMPOS TIEKIAMOS ŠIAULIŲ ĮMONĖMS KOKYBĖ IR  
JOS VALDYMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

doc. dr. L. Buivis

ŠIAULIAI, 2016

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS, FIZINIŲ IR BIOMEDICINOS MOKSLŲ FAKULTETAS  
ELEKTRONIKOS IR ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**

Katedros vedėjas

dr. Dainius Balbonas

2016 06

10/0,4 kV ĮTAMPOS TIEKIAMOS ŠIAULIŲ ĮMONĖMS KOKYBĖ IR  
JOS VALDYMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

doc.dr L. Buivis

2016 06

**Atliko**

EM-14 gr. stud.

A. Venckus

**Recenzentas**

ŠU Technologijos, fizinių ir  
biomedicinos mokslų fakulteto

doc. G. Valiulis

2016 06 01

2016 06

ŠIAULIAI, 2016

Venckus, A. (2016). 10/04 kV įtampos tiekiamos Šiaulių įmonėms kokybė ir jos valdymo galimybių tyrimas. Elektros energetikos magistrantūros studijų baigiamasis darbas. Mokslinio darbo vadovas doc. dr. Leonardas Buivis. Šiaulių universitetas, elektronikos ir elektros inžinerijos katedra. - Šiauliai, 2016. – 51 p. (su priedais 55 p.).

## SANTRAUKA

LST EN 50160:2010 standartas suteikia vartotojui didesnę motyvaciją domėtis elektros energijos kokybe. Įtampos charakteristikų matavimai buvo atlikti mažosios galios bendrovės tinkluose: darbo procesų ceche ir grūdų valymo ceche. Šituose cechuose nemažai naujos valdymo įrangos, daugiau nei 25% galingumo sudaro netiesinės apkrovos, susidaranti nuo puslaidininkinių prietaisų. Matavimams atlikti buvo į pagalbą pasitelkta energijos kokybei matuoti skirtas prietaisas MEMOBOX. Buvo matuojamos elektros energijos kokybės charakteristikos: dažnis, įtampos kitimo vertės, įtampos mirgėjimo aštrumas, tiekiamos įtampos pertrūkiai, viršįtampiai, nesimetrija, harmoninės įtampos.

Atlikus matavimus pastebime, kad standarto LST EN 50160:2010 įtampos charakteristikų nurodytos vertės yra realios, ir dėl šių verčių ignoravimo dažniausiai yra kaltas elektros energijos vartotojas. Viršytos mirgėjimo aštrumo vertės yra sukeltos vartotojų. Harmoninių įtampų vertės mažos galios vartotojų tinkluose yra ganėtinai aukštos. Elektros tinkle vyraujančios harmonikos yra 3, 5, 7 ir 9 eilės. Harmoninių įtampų matavimai bendrovės darbo procesų ceche duomenys rodo, kad netiesinių iškreipimų faktorius nesiekia 2% , neatsižvelgiant į aukštą netiesinių apkrovų lygį. Matavimai grūdų valymo ceche parodė, kad ne visuomet netiesinių iškreipimų faktorius gali parodyti tikrąjį netiesinių iškreipimų lygį, dėl šios priežasties vykdant svarbius matavimus reikia peržiūrėti visas harmoninių dedamųjų vertes ir įsitikinti ar jos neviršija leistino lygio. Atlikus ekonominius skaičiavimus matome, kad aukštas harmoninių iškreipimų lygis labai padidina energijos nuostolius pas vartotoją, todėl jas skleidžiantys vartotojai turi imtis priemonių jų reguliavimui, kad nebūtų daroma žala kitiems vartotojams ir sumažintų savo nuostolius. Naudojant harmoninius įtampos filtrus galime žymiai sumažinti harmoninių įtampų daromą žalą.

**Pagrindiniai žodžiai:** Elektros kokybė, netiesinių iškreipimų faktorius.

Venckus, A. (2016). Quality and control feasibility study of 10/0.4 kV voltage electrical power supply for Siauliai companies. Electricity master studies thesis. Research master – doc. dr. Leonardas Buivis. Siauliai city university, electronics and electrical engineering cathedral. – Siauliai, 2016. – 51 pages (with attachments 55 pages).

## SUMMARY

LST EN 50160:2010 standard provides a consumer with higher motivation to be interested in quality of electricity. Measures of voltage characteristics were made in low power company's network; at the work process workshop and at the grain cleaning workshop. In these workshops are a lot of brand new equipment, more than 25% of power include non-linear loads which are formed in devices with semiconductors. In order to do these energy quality measures a MEMOBOX device was used. There were measured characteristics of electric energy quality: frequency, values of voltage difference, sharpness of voltage flickering, interruptions of supplied voltage, surges, asymmetry, harmonic voltages.

With accomplished measurements is noticeable that provided values by voltage characteristics according to standard LST EN 50160:2010 are real and due to ignorance of these values the consumer of electricity needs to be blamed. Too high values of flickering sharpness are caused by consumer. Values of harmonic voltages in low power consumer networks are quite high. Harmonics which are in electrical network are 3, 5, 7, 9 row. Measure data of harmonic voltages at the main work process workshop of the company show that non-linear distortion factor is less than 2% none the less there was high level of non-linear loads. Due to this cause when important measures are taking place all values of harmonic components must be double checked to make sure they are not exceeding the level which was set. From economic calculations we can see that high level of harmonic distortion noticeably increases loss of energy at the consumer site. Due to this fact these consumers must take measures to regulate these distortions that there will be no harm to other consumers and also to reduce their own losses. By using harmonic voltage filters we can significantly decrease the harm of harmonic voltages.

**Key words:** Electrical quality, harmonic distortion.

## TURINYS

ĮŽANGA.....	8
1. ĮTAMPOS KOKYBĘ APIBŪDINANČIŲ CHARAKTERISTIKŲ IR STANDARTŲ APŽVALGA.....	10
1.1 Įtampos kokybės charakteristikų ir standartų ypatumai.....	10
1.1.1 Įtampos kokybės pagrindinių parametru apžvalga.....	11
1.2 Elektros charakteristikos standartuose.....	15
1.2.1 Pagrindiniai terminai ir apibrėžtys.....	16
1.2.2 Įtampai keliami reikalavimai.....	18
1.3. Galimų nuokrypų nuo standarto reikalavimų aprašymas.....	24
2. TYRIMO METODIKA.....	32
2.1 Tyrimo metodų pagrindimas.....	32
2.1.1 Tyrimo organizavimas.....	32
3. ĮTAMPOS KOKYBĖS MATAVIMŲ REZULTATAI ĮMONĖS TINKLE.....	32
3.1 Pagrindinės įmonės charakteristikos.....	32
3.1.1 Tinklo dažnis.....	34
3.1.2 Kitimas ir vertė, tiekiamos įtampos. Pertrūkiai elektros tiekime.....	34
3.1.4 Harmoninės įtampos ypatumai įmonėje.....	39
4. PASIŪLYMAI ĮTAMPOS KOKYBĖS GERINIMUI.....	43
IŠVADOS.....	49
LITERATŪRA.....	50
PRIEDAI.....	51

## LENTELĖS

1.1 Atskirų iki 25 eilės harmonikų įtampų maitinimo punktuose vertės, išreikštos pagrindinės įtampos $u_1$ (proc.).....	20
1.2 Kryžių klasifikavimas pagal liekamąją įtampą ir trukmę.....	23
1.3 Viršįtampių klasifikavimas pagal didžiausiąją įtampą ir trukmę.....	24
1.4 Įtampos nesinusiškumo koeficientai, %.....	26
1.5 Parametrai apytiksliam tinklo įtampos kokybės įvertinimui.....	29
3.1 Mažosios galios vartotojų tinkle, vidutinis dažnis.....	34
3.2 Įtampos reikšmės vartotojų tinkluose.....	35
3.3 Ilgalaikis mirgėjimo aštrumas vartotojų tinkluose.....	36
3.4 Tiekiamos įtampos nesimetrija vartotojų tinkluose.....	38
3.5 Įtampos harmonikos bendrovės tinkluose.....	39
3.6 Bendrovės tinkluose, netiesinių iškreipčių vertės.....	40
4.1 Filtrų parinkimas pagal panaudojimo sritį.....	45

## PAVEIKSLAI

1.1 Dažnio nukrypimas.....	11
1.2 Įtampos svyravimas, pokyčių seka arba periodiškas įtampos gaubtinės kitimas.....	12
1.3 Įtampos kryptis.....	12
1.4 Harmonikų iškreipta įtampa.....	13
1.5 Įtampos lygiai nuo signalo dažnio (proc.), nuo $U_n$ naudojami viešuosiuose žemosios įtampos tinkluose.....	21
1.6 a) Įtampos kreivės nesinusiskumas b) Nesinusiskumui panaikinti filtras.....	25
1.7 Imtuvų srovės formos, harmonikų spektrai ir THDi.....	26
1.8 Invertuojamos nesinusinės srovės forma galios keitikliuose.....	27
1.9 Tinklo įtampos kreivė, maitinanti keitiklį.....	29
1.10 Nulinio laido srovės formavimo procesas esant netiesiniam apkrovimui.....	31
3.1 Įtampos kokybės charakteristikų suvestinė bendrovės gamybos bare.....	33
3.2 Įtampos kokybės charakteristikų suvestinė garo katilinėje.....	33
3.3 Tinklo dažnio kitimas garo katilinėje.....	34
3.4 Įtampos kitimas gamybos bare.....	35
3.5 Įtampos kitimas garo katilinėje.....	36
3.6 Mirgėjimo aštrumas gamybos bare.....	37
3.7 Mirgėjimo aštrumas garo katilinėje.....	37
3.8 Gamybos bare įtampos nesimetrija.....	38
3.9 Garo katilinėje įtampos nesimetrija.....	39
3.10 Harmoninės įtampos gamybos bare.....	40
3.11 Harmoninės įtampos garo katilinėje.....	41
3.12 A ir B vartotojų harmoninių sudėčių palyginimas.....	41
3.13 3 harmonika garo katilinėje.....	42
4.1 Pasyvaus filtro veikimo principas.....	43
4.2 Aktyvaus filtro veikimo principas.....	44
4.3 Hibridinis filtras.....	45
4.4 Elektros energijos kaupimo ir regeneravimo sistemos su superkondensatoriumi blokinė schema.....	47
4.5 Kondensatorių baterijos prijungtos prie pastotės šynų.....	48

## IŽANGA

**Temos aktualumas.** Šių dienų bendrovės yra labai priklausomos nuo kokybiškos elektros energijos ir nenutrūkstamo jos tiekimo. Ji gali būti paverčiama ir vartojama įvairiomis energijos formomis: šilumos, šviesos, mechanine energija ir įvairiomis elektromagnetinėmis, elektroninėmis, akustinėmis ir vizualiomis formomis, sudarančiomis šiuolaikinių telekomunikacijų, informacijos technologijų ir pagrindą. Kad visos šios sistemos ir įrenginiai galėtų patikimai ir nenutrūkstamai dirbti, kad būtų užtikrintos geros darbo sąlygos, elektros energija turi atitikti kokybės reikalavimus. Kadangi elektros kokybė yra parametrų apibūdinančių suderinamumą tarp vartotojų, pramonės įmonių įrangos ir elektros tinklo visuma. Nustatant elektros kokybę atliekami tam tikrų kokybinių parametrų matavimai ir gauti rezultatai lyginami su galiojančiais standartais.

**Tyrimo problema.** Susidomėjimo įtaka elektros kokybiniais parametrais dažniausiai aiškinama priežastimis:

- Elektros energija perkama kaip gaminys, dėl šios priežasties kaip ir kiekvienam perkamam gaminiui turi būti užtikrinti nustatyti kokybės reikalavimai.
- Šiuolaikiški įrenginiai tampa vis labiau priklausomi nuo elektros kokybės. Pramonės bendrovėse labai sparčiai plėtojasi puslaidininkių pagrindu sukurta įvairiausios paskirties įranga: kompiuterinės sistemos, elektronika valdomi įrenginiai, kurie turi galios elektronikos. Šis reiškinys turi dvejopą efektą: vieni įrenginiai turi didesnę trukdantį poveikį, o kiti yra ypač jautrūs tokiems trikdžiams.
- Pramonės bendrovėse labai sparčiai plėtojasi puslaidininkių pagrindu sukurta įvairiausios paskirties įranga: kompiuterinės sistemos, elektronika valdomi įrenginiai, kurie turi galios elektronikos. Šis reiškinys turi dvejopą efektą: vieni įrenginiai turi didesnę trukdantį poveikį, o kiti yra ypač jautrūs tokiems trikdžiams.
- Staigūs įtampos kryčiai ir trūkiai gali sukelti pramonės įmonėms didelius finansinius nuostolius. Pramonės įmonės turi labai principingus reikalavimus elektros kokybei, o ypač jos nenutrūkstumui.
- Kai kuriais atvejais nesikišimas į elektros rinkos valdymą duoda neigiamų rezultatų, kaip mažėjanti investicijų kiekį į elektros tinklą priežiūrą, tai palaiapsniui mažina elektros kokybę.
- Pastaruoju metu Lietuvoje atsiranda nemažai sričių, kur privaloma užtikrinti aukštus elektros energijos kokybės parametrų reikalavimus, pavyzdžiui: bankų, bendrovių, medicinos įstaigų.
- Dėl energijos srauto į įmonių prietaisus susidaro elektros srovės, kurios yra mažiau ar



daugiau proporcingos įmonės poreikiams. Kai srovės teka per įmonės elektros tinklo laidininkus, jos sukelia įtampos kritimus. Individualiam įrenginiui tiekiamos įtampos dydis bet kuriuo momentu yra įtampos kritimų, veikiančių visus tiekimo sistemos komponentus, sumos funkcija. Šį dydį apibūdina ir individualus įrenginių energijos poreikis ir tuo pačiu metu egzistuojantys visų kitų įrenginių poreikiai. Kadangi kiekvieno įrenginio poreikiai keičiasi, atsiranda kelių įrenginių poreikių atsitiktiniai deriniai, veikiantys taip, kad tiekiamoji įtampa įmonėje irgi kinta.

Dar yra keletas kitų charakteristikų, bloginančių darbo sąlygas įmonėje arba gadinančių įmonės įrenginių darbą ar net veikiančią patį įrenginį. Tokias trukdančias savybes pačiame įmonės tinkle sukelia neišvengiami pereinamieji vyksmai, kilę dėl avarijų, įrenginių perjungimo arba dėl atmosferos reiškinių (žaibo). Kitos savybės, žinoma, atsiranda dėl įvairaus elektros naudojimo, tiesiogiai keičiančio tobulą įtampos kreivės formą arba papildomai pridėdamą perduodamą signalizavimo įtampą. Greita didėjančio skaičiaus trukdančių poveikį turinčios šiuolaikinės įrangos, auga ir jautrios tokiems trikdžiams įrangos skaičius. Taigi, norint mažinti sutrikimus pramonės įmonėse būtina įvertinti dabar esančią situaciją, atlikti analizę, įvertinti patiriamus nuostolius ir numatyti galimybes elektros energijos kokybės užtikrinimui.

**Temos iširtumas ir tyrimo naujumas.** Didelės galios vartotojai atlieka pagrindinių parametru monitoringą, ko negalima pasakyti apie vidutinius ir mažos galios vartotojus. Šio darbo tikslas buvo išmatuoti ir išanalizuoti pagrindinius elektros energijos kokybės parametrus, mažos galios vartotojų tinkle kreipiant dėmesį į įtampos harmoninę taršą ir dėl jos atsirandančius nuostolius. Naujai atsiradę ir sparčiai diegiami elektros aparatai pasižymi, aukštesniųjų harmonikų skleidimu į tinklą, todėl aukštesniosios įtampos harmonikos gali tapti aktuali kokybės parametru, jei ne dabar tai artimiausiu laiku.

**Tyrimo tikslas** – išmatuoti ir išanalizuoti 10/04 kV įtampos tiekiamos Šiaulių įmonėms kokybę ir jos valdymo galimybes.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Atskleisti pagrindines įtampos kokybės charakteristikas ir standartus.
2. Išnagrinėti pagrindines elektros charakteristikas ir reikalavimus standartuose .
3. Apibrėžti nuokrypių nuo standarto reikalavimus.
4. Išanalizuoti įtampos tiekiamos Šiaulių įmonėms kokybę, pateikiant jos valdymo tobulinimo galimybes.

# 1. ĮTAMPOS KOKYBĘ APIBŪDINANČIŲ CHARAKTERISTIKŲ IR STANDARTŲ APŽVALGA

## 1.1 Įtampos kokybės charakteristikų ir standartų ypatumai

Nuo 1990 m atsiskyrimo nuo TSRS ir pramonės smukimo Lietuvos energetikos sistema tapo perteklinė, jos energijos gamybos galia 1993 m. siekė apie 6000 MW ir smarkiai viršijo maksimalią apkrovą 3100 MW. Nepaisant galios pertekliaus Lietuvos energetikos sistema sujungta su nepriklausoma valstybių sandrauga Šiaurės vakarų ES ir be jos negali dirbti, nes neturi galimybių savarankiškai reguliuoti dažnį. Jungtis prie vakarų šalių taip pat negalima, nes kol kas nėra elektros perdavimo linijos, kuri turėtų būti su nuolatinės srovės intarpu. Šis intarpas reikalingas dėl to, kad mūsų šalyje dažnis svyruoja labiau nei vakaruose, o intarpas smarkiai padidina linijos kainą.

Norint tinkamai įvertinti elektros kokybę, privalome žinoti tai siejančią terminologiją bei standartus. Specialistai kurie dirba su elektros energijos skirstymu, nustatinėja apsaugas, kokybę apibūdina kaip tiekimo patikimumą, o asmenys kurie dirba elektros įrangos projektavime ir gamyboje kokybę sieja su įtampos charakteristikomis.

Viena iš kelių galimybių, elektros kokybę vertinti pagal LST EN 61000 standartų grupę, t.y. pagal elektromagnetinį suderinamumą. Elektromagnetinis suderinamumas yra įrangos galėjimas normaliai veikti elektromagnetinėje aplinkoje, neskleidžiant trikdžių į tą patį tinklą. Pasakant, kad bet koks įrenginys, įmonės tinkle, neturi trikdyti ar gadinti kitų įrenginių ir atvirkščiai. Tačiau šis požiūris nenusako kaip kokybė turėtų būti matuojama. Kitas elektros kokybės apibūdinimas įmonėje gali būti toks, kad kokybė nusako tarpusavyje elektriškai susijusių įrenginių, sistemų poveikį. Šio poveikio dydis gali būti įvertinamas išmatavus srovę ir įtampą. Žvelgiant į šį požiūrį terminas kaip elektros kokybė, būtų: bet koks iškraipymas yra priežastis įtampos, srovės, arba dažnio svyravimų, kurie sukelia įrangos sutrikimus, gedimus ir pablogina įmonių darbo sąlygas. Šis apibūdinimas yra pakankamas, nes remiamasi įtampa, dažniu ir srove. Pagal šiuos dydžius gali būti įvertinama dauguma kokybės parametrų.

Šiame darbe prisilaikoma nuomonės, kad elektros kokybė turėtų būti vertinama pasitelkiant Lietuvoje galiojančius standartus:

- Viešųjų elektros tinklų įtampos charakteristikos LST EN 50160:2010 [1].
- Bandymų ir elektrinio maitinimo kokybės charakteristikų matavimo metodai LST EN 6100-4-30 [2].
- Ribinės spinduliavimo vertės. Ribinės harmoninių srovių spinduliuojamos energijos vertės LST EN 61000-3-2 [3].
- Bendrasis elektros tiekimo sistemų ir prie jų prijungtų įrenginių harmonikų ir

tarpinių harmonikų matavimo ir aparatūros vadovas LST EN 61000-4-7 [4].

- Mirgėjimo matuoklis. Funkcijų ir projektavimo reikalavimai LST EN 61000-415 [5].

Norint įvertinti elektros kokybę naudojamės dviem standartais: įtampos charakteristikų ir matavimo metodų. Matavimo prietaise įtampos ir srovės kreivės - diskretizuojamos. Iš gautų diskretinių dydžių galime gauti elektros kokybės parametrus, galima naudoti skirtingus metodus, dėl to, gauti rezultatai gali vienas nuo kito skirtis. Dažniausiai tai atsitinka lyginant matavimo rezultatus gautus su skirtingais prietaisais. Yra daug prietaisų kurių skaičiavimo metodika neatitinka standartų, norint gerai suprasti gautus rezultatus reikia žinoti ir būti gerai įsisavinusiam paaiškinti skaičiavimo metodika. Lietuvoje skaičiavimo metodiką apibrėžia standartas: (LST EN 61000-4-30).

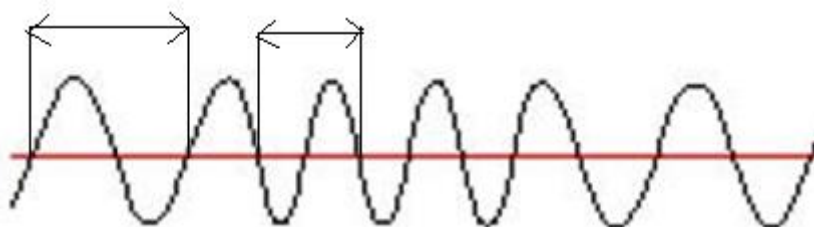
Prietaisu išmatuoti duomenys yra apdirbami su specialia programine įranga. Rezultatai yra pateikiami kreivėmis arba lentelėmis. Elektros kokybės parametrai gali būti skirstomi į *svyravimus ir įvykius*. **Svyravimai** - lėti parametru kitimai (svyravimai, dažnis, įtampos dydis, nesimetrija, įtampos harmonikos ir iškraipymai). **Įvykiai** - greiti įtampos ar srovės kreivių pokyčiai (viršįtampiai, įtampos kryčiai, įtampos trūkiai).

### 1.1.1 Įtampos kokybės pagrindinių parametru apžvalga

#### Dažnis

Tiekiamosios įtampos dažnis - tiekiamosios įtampos pagrindinės harmonikos pasikartojimo per tam tikrą laiką sparta. Vardinis tiekiamosios įtampos dažnis turi būti 50 Hz. Įprastinėmis veikos sąlygomis vidutinis pagrindinės harmonikos dažnis per 10 s turi būti:

- sinchroniškai su jungtine sistema sujungtų sistemų: 1.  $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$  (t.y. 49,5 ... 50,5 Hz) 99,5 % per metus; 2.  $50 \text{ Hz} + 4 \% / -6 \%$  (t.y. 47 ... 52 Hz) 100 % visą laiką.



1.1 pav. Dažnio nukrypimas

**Įtampa.** Vertinant elektros kokybę, įtampa yra vienas iš svarbiausių kokybės parametras. Įtampos nukrypimai yra lėti svyravimai arba įvykiai. Lėtiems svyravimams apibūdinti gali būti

naudojami tokie skaičiavimai: vidutinė kvadratinė vertė laiko arba dažnio atžvilgiu. Įvykiams šie skaičiavimai netinkami, čia reikia fiksuoti labai greitai vykstančius procesus.

*Įtampos gali būti:*

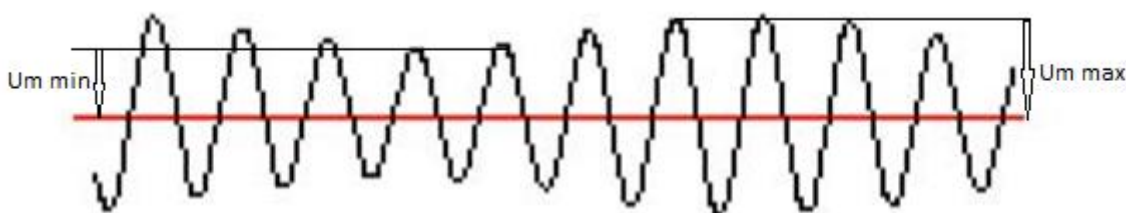
1. Vardinė sistemos įtampa ( $U_n$ ) - įtampa, kuriai tinklas sukonstruotas ir kuriai nurodomos kai kurios darbo charakteristikos.

2. Sutartinė (garantuojamoji) tiekiamoji įtampa ( $U_c$ ) - dažniausiai sutampanti su tinklo vardine įtampa  $U_n$ . Jei susitarus tarp tiek jo ir vartotojo tiekimo taško įtampa nėra vardinė, tai ši įtampa yra sutartinė tiekiamoji įtampa  $U_c$ .

3. Tiekiamoji įtampa - vidutinė kvadratinė tiekimo taško įtampos vertė nustatytu laiku, matuojant per tam tikrą laikotarpį.

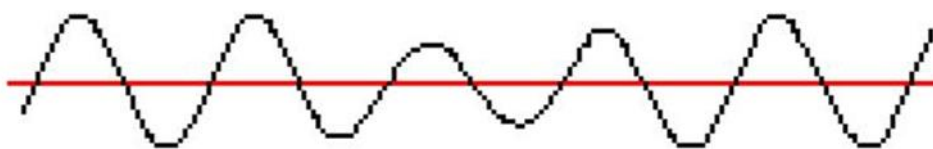
*Standartinė vardinė žemoji įtampa  $U_n$  yra keturlaidėje trijų fazių sistemoje:  $U_n=230$  V tarp fazės ir neutralės, trilaidėje trijų fazių sistemoje:  $U_n= 230$  V tarp fazių.*

Įtampos kitimas - įtampos padidėjimas ar sumažėjimas, kurį dažniausiai sukelia visos ar dalies apkrovų pokytis bendrovės tinklo sistemoje. (žr. 1.2 pav.).



**1.2 pav.** Įtampos svyravimas, pokyčių seka arba periodišką įtampos gaubtinės kitimas

Staigusis įtampos pokytis - vienkartinis staigus įtampos vidutinės kvadratinės vertės pokytis tarp dviejų nustatytų lygių, kurių trukmė nėra reglamentuota. (žr. 1.3 pav.).



**1.3 pav.** Įtampos kryptis

Mirgėjimas - vizualus svyravimo įspūdis, sukeltas šviesos šaltinio, kurio šviesumas arba spektrinė sudėtis kinta laike. Didelės apkrovos (kaip garo generatorius, oro kompresorius, ir kt.) sukelia įtampos svyravimus. Priklausomai nuo jų dažnio ir dydžio jie gali būti pastebimi šviečiant

lempai. Žmogus geriausiai išskiria mirgėjimą kurio dažnis artimas 9kHz.

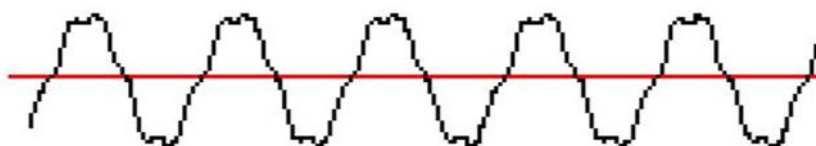
Staigusis tiekiamosios įtampos kryptis - staigus trumpalaikis įtampos sumažėjimas nuo 90% iki 1% sutartinės įtampos  $U_c$ . Staigusis tiekiamosios įtampos kryptis paprastai trunka nuo 10 ms iki 1 min. Šis įtampos kryptis apibrėžiamas kaip skirtumas tarp mažiausios kryčio vidutinės kvadratinės įtampos vertės ir sutartinės įtampos, įtampos pokyčiai, kai tiekiamą įtampa nesumažėja mažiau kaip 90% sutartinės įtampos  $U_c$  vertės, nelaikomi staigiais kryčiais. Elektros tiekimo pertrūkiai - kai tiekiamoji įtampa  $< 1\%$  sutartinės įtampos  $U_c$  vertės. *Elektros tiekimo pertrūkiai skirstomi į keletą grupių:*

- atsitiktinius;
- atsirandančius dėl pastovių ar laikinų gedimų;
- dažniausiai priklausančių nuo išorinių veiksnių, įrenginių gedimų ar jų sąveikos.

Atsitiktiniai pertrūkiai dar skaidomi į:

- ilgalaikius pertrūkius (daugiau kaip 3 min.), sukeltus pastovių gedimų;
- planinius, kai vartotojai iš anksto informuojami prieš atliekant planinius darbus skirstomajame tinkle.

Laikinasis pramoninio dažnio viršįtampis - santykinai ilgos trukmės viršįtampis konkrečioje vietoje. Pereinamasis viršįtampis - trumpalaikis svyruojantysis arba nesvyruojantysis viršįtampis, dažniausiai greitai gęstantis ir trunkantis kelias milisekundes. Harmoninė įtampa - sinusinė įtampa, kurios dažnis lygus pagrindinio įtampos dažnio ir sveikojo skaičiaus sandaugai.



**1.4 pav.** Harmonikų iškreipta įtampa

Elektros sistemoje harmoniniai iškreipimai atsiranda dėl netiesinių apkrovų. Dėl šios priežasties gaunamos srovės kurios yra neproporcingos įtampai. Šios srovės tekėdamos per varžas sukelia įtampos kritimus, dėl šių kritimų gauname įtampų iškreipymą. Harmonikos gali sukelti gedimus, po kurių galime turėti rimtų padarinių. Pavyzdžiui, gali būti trečios eilės harmonikos ir joms kartotinės, keturlaidėje įžemintoje sistemoje. Susumavus fazių šios eilės harmonines sroves nesikompensuoja, dėlto per nulini laidininką gali tekėti labai padidėjusi srovė.

Harmoninė įtampa literatūroje vertinama - kiekviena atskirai, pagal santykinę amplitudę

(U<sub>h</sub>) pagrindinės harmoninės įtampos U, atžvilgiu, čia h - harmonikos eil. Bendrai, pavyzdžiui, pagal netiesinių iškreipiu faktorių (NIF, angl. kalba THD). THD tai harmonikų vidutinės kvadratinės vertės santykis su pagrindine pirmąja harmonika.

$$THD_F = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{he}^2}}{U_{1e}}; \quad (1.1)$$

Dar gali būti skaičiuojama harmonikų vidutinės kvadratinės vertės santykis su pačio signalo vidutine kvadratine verte:

$$THD_R = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{he}^2}}{U_e}; \quad (1.2)$$

Neharmoninė įtampa - sinusinė įtampa, kurios dažnis lygus pagrindinio įtampos dažnio ir nesveikuoja skaičiaus sandaugai. Neharmoninių įtampų lygis auga naudojant dažnio keitiklius ir panašius valdymo įrenginius. Kai kuriais atvejais neharmoninės įtampos, nors jos yra žemo lygio, gali sutrikdyti valdymo sistemas ar sukelti mirgėjimą. Įtampų nesimetrija - tai trifazės sistemos būseną, kai fazių įtampų vidutinės kvadratinės vertės ar fazių tarpusavio kampai yra nelygūs. Fazių įtampos trijų fazių sistemoje išreiškiamos formulėmis:

$$\begin{aligned} u_{L1}(t) &= U_{L1} \sin(\omega t + \beta_{L1}); \\ u_{L2}(t) &= U_{L2} \sin(\omega t + \beta_{L2}); \\ u_{L3}(t) &= U_{L3} \sin(\omega t + \beta_{L3}); \end{aligned} \quad (1.3)$$

Jei trijų fazių įtampų amplitudės ir kampai yra lygūs tai reiškia, kad įtampos simetrinės. Nesimetrinės įtampos gali būti sudalintos į tiesioginės, atvirkštinės ir nulinės sekos dedamąsias. Tiesioginės įtampos dedamosios yra pasiskirsčiusios kas 120° ir sukasi prieš laikrodžio rodyklę. Atvirkštinės sekos dedamosios pasiskirsčiusios irgi kas 120° bet jos sukasi pagal laikrodžio rodyklę. Nulinės sekos įtampos išsidėsčiusios viena kryptimi ir nesisuka. Visų sekų įtampos vadinamos simetrinėmis dedamosiomis.

U<sub>1</sub> - tiesioginės sekos, U<sub>2</sub> - atvirkštinės sekos, U<sub>0</sub> - nulinės sekos. Formulė žemiau leidžia surasti simetrines dedamąsias žinant nesimetrines įtampas U<sub>L1</sub>, U<sub>L2</sub>, U<sub>L3</sub>.

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{L1} \\ U_{L2} \\ U_{L3} \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

Čia:  $a = e^{j120^\circ}$

Nesimetrijos faktorius  $U_U$  suskaičiuojamas iš formulės:

$$u_u = \frac{|U_2|}{|U_1|} 100\%; \quad (1.5)$$

Nesimetriją apskaičiuoti galima ir šiuo būdu:

$$u_u = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} 100\%; \quad (1.6)$$

Čia:

$$\beta = \frac{U_{12}^4 + U_{23}^4 + U_{31}^4}{(U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2)^2} \quad (1.7)$$

Išvada: atliekant tolimesnį įtampos kokybės tyrimą, bus kreipiamas dėmesys į šiame skyriuje pateiktą informaciją.

## 1.2 Elektros charakteristikos standartuose

2010 m. išleistas naujas Europos standartas EN 50160:2010 „Viešųjų elektros tinklų įtampos charakteristikos“. Šis standartas yra Europos elektrotechnikos standartizacijos komiteto (CENELEC) technikos komiteto CLC/TC 8X *System aspects of electrical energy supply* parengto Europos standarto EN 50160:2010 *Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks*, kurį Lietuvos standartizacijos departamentas (LST TK 45 *Elektros energetika*) perėmimo pranešimo būdu perėmė kaip Lietuvos standartą LST EN 50160:2010, angliškosios versijos tapatus vertimas į lietuvių kalbą.

Šio Europos standarto tikslas yra apibrėžti, aprašyti ir tiksliai nurodyti šias maitinimo įtampos charakteristikas:

- dažninę;
- amplitudinę;
- bangos pavidalo;
- linijinių įtampų simetrijos.

Normaliajame elektros tiekimo sistemos režime šios charakteristikos patiria apkrovos kitimus, tam tikro įrenginio sukeltus trikdžius ir atsitikusias pažaidas, kurias daugiausia sukelia

išoriniai įvykiai. Charakteristikos kinta būdu, kuris laikui bėgant, dėl tam tikros maitinimo punktų specifikos ir atsitiktinio išdėstymo, bet kurią duotąja laiko akimirka yra atsitiktinis. Dėl tokių kitimų šiame standarte duotosios charakteristikų vertės, kaip laukiama, retais atvejais gali būti viršytos. Kai kurie įtampą veikiantys reiškiniai yra ypač nenuspėjami. Tai labai apsunkina atitinkamų charakteristikų verčių efektyvios apibrėžties pateikimą. Šiame standarte su tokiais reiškiniais, pavyzdžiui, su įtampos kryčiais ir įtampos pertrūkiais susijusių įtampos charakteristikų pateiktos vertės turi būti atitinkamai interpretuojamos.

### 1.2.1 Pagrindiniai terminai ir apibrėžtys

**Laidininkais sklindantis trikdys** - maitinimo tinklo linijų laidininkais sklindantis elektromagnetinis reiškinys. PASTABA: Kai kuriais atvejais elektromagnetinis reiškinys sklinda skersai transformatoriaus apvijų ir tuo pačiu tarp skirtingų įtampos lygių tinklų. Šie trikdžiai gali sumenkinti įtaiso, įrenginio ar sistemos darbo charakteristiką, arba gali būti pažaidos priežastimi.

**Mirgėjimas** - šviesos dirgiklio skaisčio ar spektro skirstinio (spalvos) laikinio kitimo sukeltas regimojo pojūčio nepatvarumo įspūdis. PASTABA: Įtampos mirgėjimas sukelia lempų skaisčio kitimus, kurie sukelia regėjimo reiškinį, vadinamą mirgėjimu. Virš tam tikro slenksčio mirgėjimas tampa varginančiu. Šiuo metu, kai dideliais tempais atsiranda daug tinklų maitinančių LED šviestuvus.

**Maitinimo įtampos dažnis** - per duotąjį laiko intervalą išmatuotas maitinimo įtampos pagrindinės bangos pasikartojimo greitis.

**Mirgėjimo aštrumas** - mirgėjimo erzino intensyvumas įvertinamas šiais dydžiais:

- **trumpalaikis aštrumas** ( $P_{st}$ ), matuotas 10 min periodu;
- **ilgalaikis aštrumas** ( $P_{lt}$ ), apskaičiuotas iš dvylikos  $P_{st}$  reikšmių per dviejų valandų intervalą pagal šią išraišką.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (1.8)$$

**Harmonikos įtampa** - sinusinė įtampa, kurios dažnis lygus maitinimo įtampos pagrindiniam dažniui, padaugintam iš sveiko daugiklio. PASTABA: Taikymas. Harmonikų įtampos gali būti įvertintos:

- atskirai pagal jų santykinę amplitudę ( $u_h$ ), kuri yra harmonikos įtampos santykis su pagrindine įtampa  $u_1$ , čia  $h$  yra harmonikos eilė;



- apibendrintai, pavyzdžiui, visuminio harmonikų iškreipio faktoriumi THD, apskaičiuotu pagal šią išraišką:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad (1.9)$$

**PASTABA:** Maitinimo įtampos harmonikas daugiausia sukelia tinklo naudotojų netiesinės apkrovos, prijungtos prie visų maitinimo tinklo įtampų lygių. Per tinklo varžas tekančios harmonikų srovės sukelia harmonikų įtampų padidėjimą. Harmonikų srovės ir tinklo varžos ir tuo pačiu harmonikų įtampos maitinimo punktuose kinta laike.

**Aukštoji įtampa** - įtampa, kurios nominalioji efektinė vertė yra  $36 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$ . **PASTABA:** Dėl esančių tinklo struktūrų kai kuriose šalyse riba tarp vidutinės ir aukštosios įtampų gali skirtis.

**Tarpinės harmonikos įtampa** - sinusinė įtampa, kurios dažnis (50 Hz) nėra lygus padaugintam iš sveiko skaičiaus pagrindiniam. Tai galima suprasti, kaip panašių harmonikų kitose fazėse tarpusavio ryšys. **PASTABA:** Artimai gretimų dažnių tarpinių harmonikų įtampos gali būti tuo pačiu metu, sudarydamos platų bangų spektrą.

**Žemoji įtampa** - įtampa, kurios nominalioji efektinė vertė yra  $U_n \leq 1 \text{ kV}$ . Tai plačiausiai sutinkama vartojimo įtampa.

**Vidutinė įtampa** - įtampa, kurios nominalioji efektinė vertė yra  $1 \text{ kV} < U_n \leq 36 \text{ kV}$ .

**Normalusis režimas** - elektros tinklo režimas, kai tenkinami apkrovos ir generavimo poreikiai, sistemos perjungimo veiksmai atlikti, kai pažaidos automatinių apsaugos sistemų dėka pašalintos ir kai nėra išskirtinių aplinkybių, tai yra:

- laikinojo tiekimo susitarimo;
- atvejų, kai elektros tinklo naudotojo įrenginys ar įranga neatitinka susijusių standartų ar techninių prijungimo reikalavimų;
- išskirtinių situacijų, tokių kaip:
  - 1) išskirtinių oro sąlygų ir kitų gamtinių nelaimių;
  - 2) trečiosios šalies įsikišimo;
  - 3) viešųjų įstaigų potvarkių;
  - 4) pramonės poveikių (priklausomai nuo juridinių reikalavimų);
  - 5) nenumatytų aplinkybių (force majeure);
  - 6) išorinių įvykių sukeltų galios stygių.

**Nominalioji įtampa  $U_n$**  - įtampa, kuriai maitinimo tinklas yra skirtas ar susijęs, ir kuriai yra priskirtos tam tikros darbo charakteristikos.

**Maitinimo pertrūkis** - sąlyga, kai maitinimo punktuose įtampa yra žemesnė už atskaitos įtampos 5%. PASTABA: Maitinimo pertrūkis gali būti klasifikuojamas kaip: 1. iš anksto sutartas, kai tinklo naudotojas yra informuotas iš anksto; 2.. atsitiktinis, sukeltas pastovių ar pereinamųjų pažaidų, daugiausia susijusių su išoriniais įvykiais, įrangos gedimais ar trikdžiais. Atsitiktiniai pertrūkiai yra klasifikuojami kaip:

- ilgalaikiai pertrūkiai (ilgesni už 3 min);
- trumpalaikiai pertrūkiai (trumpesni arba lygūs 3 min).

**Įtampos kitimas** - apkrovos kitimų sukeltas efektinės įtampos didėjimas arba mažėjimas.

### 1.2.2 Įtampai keliami reikalavimai

**Reikalavimai įtampos dažnio pastovumui.** Šiuo metu Lietuvai ir kitoms Baltijos valstybėms, esančioms IPS/UPS (Baltijos ir NVS šalių sinchroniškai veikianti elektros energetikos sistema) sistemoje sinchronizacijos dažnį palaiko hidroelektrinės, esančios Volgos upėje, Rusijoje. Vakarų Europos kontinentinės sistemos dažnį palaiko Vokietijos elektrinės, šiaurės Europos šalių – Norvegijos. Šios sistemos tarpusavyje nėra sinchronizuotos.

Maitinimo įtampos tiekimo ir vartojimo tinklams dažnis turi būti 50 Hz. Normaliajame režime per 10 s išmatuota pagrindinio dažnio vidutinė vertė turi būti intervale:

– *sinchroniškai sujungtoms su jungtine sistema sistemoms:*

5 Hz ± 1% (t.y. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) 99,5 % per metus;

50 Hz + 4% / - 6% (t.y. tai yra 47 Hz ... 52 Hz) 100 % per metus.

– *sinchroniškai nesujungtoms su jungtine sistema sistemoms* (pavyzdžiui, tam tikrų salų tiekimo sistemoms):

50 Hz ± 2% (t.y. 49 Hz ... 51 Hz) 99,5 % per metus;

50 Hz ± 15% (t.y. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) 100 % per metus.

**Reikalavimai įtampos pastovumui.** Normaliajame režime, išskyrus pertrūkių periodus, maitinimo įtampos kitimai neturi viršyti nominaliosios įtampos  $U_n \pm 10\%$ . Su perdavimo sistema nesujungtų elektros tinklų atvejais arba dėl tam tikro nuotolio tinklo naudotojų įtampos kitimai neturi viršyti + 10% / - 15%  $U_c$ . Apie sąlygas tinklo naudotojai turi būti informuoti. 1 PASTABA Dabartinis elektros naudojimas, kurio reikalauja atskiri tinklo naudotojai, pagal kiekį ir vienalaikiškumą nėra visiškai nuspėjamas. Kaip to pasekmė, tinklai paprastai yra projektuojami tikimybinio pagrindu. Jei, sekant nusiskundimais, tinklo operatoriaus pagal 4.2.2.2 atlikti matavimai rodo, kad maitinimo įtampos amplitudė nukrypsta už 4.2.2.2 pateiktų ribų, sukeldama tinklo

naudotojui neigiamas pasekmes, tinklo operatorius, bendradarbiaudamas su tinklo naudotoju (-ais), turi imtis skubių veiksmų, skirtų pavojui įvertinti. Laikiniuju laikotarpiu, kurio reikia problemai išspręsti, jei su tinklo naudotojais nebuvo susitarta kitaip, įtampos kitimai turi būti + 10% / - 15%  $U_n$  intervalo ribose.

2 PASTABA Remiantis atitinkamais gaminio ir įrenginio standartais ir taikant IEC 60038, tinklo naudotojų buitiniai prietaisai yra tipiniai sukonstruoti toleruoti maitinimo įtampą sistemos nominaliosios įtampos  $\pm 10\%$  ribose, kurių pakanka apimti nesuskaičiuojamą tiekimo sąlygų daugumą. Bendruoju atveju nebūtina buitinius prietaisus konstruoti taip, kad atlaikytų platesnius įtampos kitimus.

3 PASTABA Tam tikro „nutolusio tinklo naudotojo“ tapatybės nustatymas tarp atskirų šalių gali įvairuoti, atsižvelgiant į skirtingas nacionalinių elektros sistemų tokias charakteristikas, kaip, pavyzdžiui, maitinimo punktų galios apribojimas ir (arba) galios faktoriaus ribos.

**Bandymo metodai.** *Normaliajame režime:*

- kiekviename vienos savaitės trukmės periode 95% visų maitinimo įtampos efektyvių verčių 10 min vidurkių turi būti  $\pm 10\%$   $U_n$  intervale;
- visi efektyvūs maitinimo įtampos 10 min vidurkiai turi būti + 10%  $U_n$  ir - 15%  $U_n$  intervale.

### **Staigieji įtampos pokyčiai.**

- *Pavienis staigusis įtampos pokytis.* Pavienius staigiuosius maitinimo įtampos pokyčius dažniausiai sukelia arba tinklo naudotojų įrenginių apkrovos pokyčiai perjungiant sistemą arba pažaidos. Jei pokyčio metu įtampa pereina įtampos kryčio ir (arba) viršįtampio slenkstį, įvykis priskiriamas įtampos kryčiui ir (arba) viršįtampiui, kitaip staigiam įtampos pokyčiui. *Pastaba. Apibrėžtį galima padaryti pagal EN 61000-2-2; keletą nurodomųjų verčių galima rasti I priede.*
- *Mirgėjimo aštrumas.* Normaliajame režime viso laikotarpio 95% atvejų per kiekvieną vienos savaitės trukmės periodą įtampos svyravimų sukeliama ilgalaikio mirgėjimo aštrumas  $P_{It}$  turi būti mažesnis arba lygus 1. *Pastaba. Reagavimas į mirgėjimą yra subjektyvus ir gali kisti priklausomai nuo mirgėjimo pajautimo priežasčių ir jo nesiliovimo trukmės.*
- *Maitinimo įtampos asimetrija.* Normaliajame režime per kiekvieną vienos savaitės periodą 95% iš visų maitinimo įtampos atvirkštinės sekos (pagrindinės) dedamosios efektyvės vertės 10 min vidurkių tiesioginės sekos (pagrindinės) dedamosios atžvilgiu turi būti 0% iki 2% intervale. *I Pastaba. Kai kuriuose rajonuose, kuriuose elektros naudotojų įrenginiai iš dalies prijungti viena arba dviem fazėmis, trifazio maitinimo*

*punktuose asimetrija pasitaiko iki apie 3%. 2 Pastaba. Šiame Europos standarte yra pateikiama tik atvirkštinės sekos dedamoji, nes ji yra prie sistemos prijungtiems buitiniams prietaisams viena iš galimų trikdžių.*

**Reikalavimai įtampos kreivės formai.** Normaliajame režime per kiekvieną vienos savaitės trukmės periodą 95% iš visų 10 min kiekvienos harmonikos įtampos efektinės vertės vidurkių turi būti mažesni arba lygūs 1.1 lentelėje pateiktoms vertėms. Esant atskirų harmonikų rezonansams gali susidaryti aukštesnės įtampos.

Dar daugiau, maitinimo įtampos visuminio harmonikų iškreipio faktorius THD (apimant iki 40 eilės harmonikas) turi būti mažesnis arba lygus 8%. Pastaba. Apsiribojimas 40 eilės harmonika yra sutartinis.

1.1 lentelė

**Atskirų iki 25 eilės harmonikų įtampų maitinimo punktuose vertės, išreikštos pagrindinės įtampos  $u_1$  (proc.)**

Nelyginės harmonikos				Lyginės harmonikos	
Nekartotinės 3		Kartotinės 3		Eilė h	Santykinė amplitudė $u_h$
Eilė h	Santykinė amplitudė $u_h$	Eilė h	Santykinė amplitudė $u_h$		
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...24	0,5%
13	3,0%	21	0,5%		
17	2,0%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

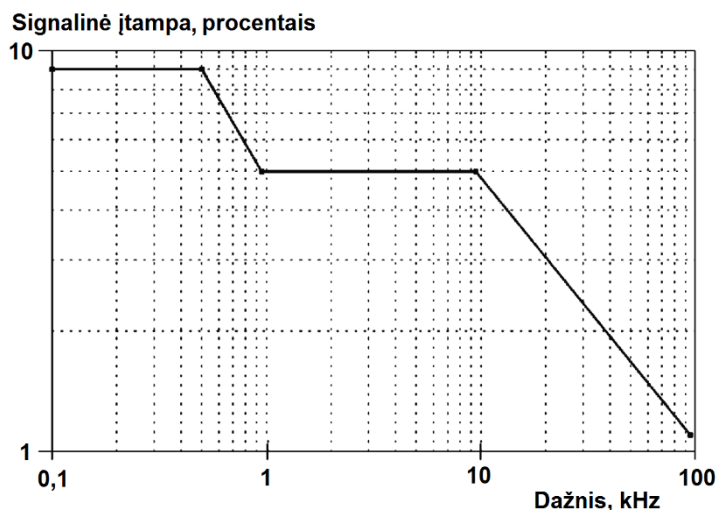
Pastaba. Aukštesnių kaip 25 eilės harmonikų vertės nenurodytos, nes jos paprastai yra mažos, bet dėl rezonansinių efektų gali nenusipėjamai padidėti.

### Tarpinės harmonikos įtampa

Plėtojant dažnio keitiklius ir panašius valdymo įrenginius tarpinių harmonikų įtampų lygiai yra didėjantys. Kaupiant daugiau patirties lygiai yra dar svarstomi. Tam tikrais atvejais netgi mažo lygio tarpinių harmonikų įtampos sukelia mirgėjimą ar yra trikdžių pulsuojančiame valdymo signale priežastimi.

### Tinklo signalinės įtampos

Kai kuriose šalyse viešąjį tinklą tinklo operatoriai gali naudoti signalų perdavimui. 99% dienos laiko signalinės įtampos 3 s vidurkis turi būti mažesnis arba lygus (žr. 1.5 pav.) pateiktoms vertėms.



**1.5 pav.** Įtampos lygiai nuo signalo dažnio, procentais nuo  $U_n$ , naudojami viešuosiuose žemosios įtampos tinkluose

1 PASTABA Elektros linija perduodamo nešlio signalai, kurių dažnis nuo 95 kHz iki 148,5 kHz, gali būti naudojami tinklo naudotojų įrenginiuose. Nors signalų tarp tinklo naudotojų perdavimas viešaisiais žemosios įtampos tinklais yra neleistinas, į šių dažnių iki 1,4 V efektinės įtampos signalus žemosios įtampos tinkluose turi būti atsižvelgiama. Kadangi tarp kaimyninių tinklų naudotojų signalinių sistemų yra abipusės įtakos galimybė, tinklo naudotojai savo signalinėse sistemose turi taikyti apsaugą ar slopinimo priemones 2 PASTABA Elektros linija perduodamam nešliui kai kuriuose tinkluose yra taikomi virš 148,5 kHz dažniai.

**Reikalavimai įtampos kreivės stabilumui. Maitinimo įtampos pertrūkiai** dėl savo prigimties yra labai nuspėjami ir kinta priklausomai nuo vietos ir nuo laiko. Šiuo metu dar negalima duoti visus Europos tinklus apimančių pertrūkių dažnio matavimus atstovaujančių statistinių rezultatų. Tikrų Europos tinkluose užrašytų su pertrūkiais susijusių verčių nuorodos yra pateiktos 1 priede.

**Maitinimo įtampos kryčius ir viršįtampius** sukelia viešuosiuose tinkluose ar tinklo naudotojų įrenginiuose atsitinkančios pažaidos. Tipiška, kad viršįtampius sukelia perjungimo veiksmai ir apkrovų atjungimai. Abu reiškiniai yra nuspėjami ir labai atsitiktiniai. Metinis dažnis kinta daugiausia priklausomai nuo tiekimo sistemos tipo ir nuo stebėjimo taško. Dar daugiau, pasiskirstymas per metų laikotarpį gali būti labai nereguliarus.

**Įtampos kryčių ir viršįtampių matavimas ir aptikimas.** Jei statistika yra kaupiama, įtampos kryčiai ir viršįtampiai gali būti išmatuoti ir aptikti pagal EN 61000-4-30 vietoje atskaitos naudojant nominaliąją maitinimo įtampą. Šiame standarte kreipiamas dėmesys į įtampos kryčių ir viršįtampių charakteristikas: į liekamąją įtampą (viršįtampio atveju į didžiausiąją efektinę įtampą) ir trukmę. Šiame standarte vertės yra išreiškiamos atskaitos įtampos procentinėmis dalimis. Žemosios įtampos keturlaidės trifazės sistemos tinkluose turi būti įvertinama įtampa tarp linijos ir neutralės, trilaidėje trifazėje sistemoje – tarp linijų; vienos fazės prijunginiuose turi būti įvertinama maitinimo įtampa (tarp linijų ar tarp linijos ir neutralės pagal tinklo naudotojo prijungimą). Visuotinai priimta, kad kryčio pradžios slenkstis yra lygus 90% nominaliosios įtampos, viršįtampio pradžios slenkstis yra lygus 110% nominaliosios įtampos. Tipiška, kad histerezė yra 2%, histerezės apibrėžties taisyklės yra duotos 5.4.2.1 EN 61000-4-30:2009. Daugiafaziuose matavimuose yra rekomenduojama kiekvieno įvykio paveiktos fazės numerį išaiškinti ir saugoti.

**Įtampos kryčių įvertinimas.** Įtampos kryčius reikia įvertinti pagal EN 61000-4-30. Įtampos kryčio analizavimo metodas (nagrinėjimas po įvykio) priklauso nuo įvertinimo tikslų.

*Žemosios įtampos tinkluose įprasta:*

– jei yra vertinama trifazė sistema, taikyti daugiafazį duomenų agregavimą; daugiafazis agregavimas susideda iš ekvivalentinio įvykio, kurį charakterizuoja viena trukmė ir viena liekamoji įtampa, nustatymo;

– taikyti trukmės agregavimą; daugialypių nuosekliųjų įvykių atveju trukmės agregavimas susideda iš ekvivalentinio įvykio nustatymo; metodas, kuris naudojamas daugialypiams įvykiams agreguoti, gali būti nustatomas pagal galutinį duomenų panaudojimo tikslą; keletas atskaitos taisyklių pateiktos IEC/TR 61000-2-8.

**Įtampos kryčių klasifikavimas.** Jei statistika yra kaupiama, įtampos kryčius reikia klasifikuoti pagal 1.2 lentelę. Į lentelės skiltis patalpinti skaičiai nurodo ekvivalentinio įvykio numerį. Esantiems matavimo įrenginiams ir (arba) kontrolės sistemoms 2 lentelė yra taikoma kaip rekomendavimas. Ši lentelė atspindi daugiafazio tinklo charakteristiką. Norint apsvarstyti įvykius, pakenkusius atskirai vienfazei įtampai trifazėje sistemoje, reikalinga papildoma informacija. Vėliau skaičiuojant, gali būti taikomi skirtingi įvertinimo metodai.

1.2 lentelė

**Kryčių klasifikavimas pagal liekamąją įtampą ir trukmę**

Liekamoji įtampa $u$ %	Trukmė $t$ ms				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$	$1\,000 < t \leq 5\,000$	$5\,000 < t \leq 60\,000$
$90 > u \geq 80$	CELL A1	CELL A2	CELL A3	CELL A4	CELL A5

$80 > u \geq 70$	CELL B1	CELL B2	CELL B3	CELL B4	CELL B5
$70 > u \geq 40$	CELL C1	CELL C2	CELL C3	CELL C4	CELL C5
$40 > u \geq 5$	CELL D1	CELL D2	CELL D3	CELL D4	CELL D5
$5 > u$	CELL X1	CELL X2	CELL X3	CELL X4	CELL X5

Įtampos kryčiai pagal savo prigimtį yra labai nenuspėjami ir kintantys priklausomai nuo vietos ir nuo laiko. Šiuo metu nėra galimybių gauti pilną statistiką, kuri reprezentuotų įtampos kryčių matavimo rezultatus, apimančius visus Europos tinklus. Nuoroda apie Europos tinkluose užrašytas ir kryčius liečiančias tikrąsias vertes yra pateikiama 1 priede. Turi būti pažymėta, kad priklausomai nuo taikomo matavimo metodo, turi būti įvertintas rezultatus veikiantis matavimų netikrumas: tai ypač svarbu trumpiems įvykiams. Matavimo netikrumas yra adresuojamas į EN 61000-4-30. Įprasta, kad įtampos kryčių trukmė priklauso nuo tinkle pritaikytos apsaugos strategijos, kuri, atsižvelgiant į skirtingų tinklų struktūrą ir neutralės įžeminimą, gali būti skirtinga. Iš to seka, kad tipines trukmes nebūtina derinti prie 2 lentelės stulpelių kraštinių.

**Viršįtampių įvertinimas.** Viršįtampiai turi būti įvertinti pagal EN 61000-4-30. Viršįtampio analizavimo metodas (nagrinėjimas po įvykio) priklauso nuo įvertinimo tikslų. Žemosios įtampos tinkluose įprasta:

- jei yra vertinama trifazė sistema, turi būti taikomas daugiafazis duomenų agregavimas; daugiafazis agregavimas susideda iš ekvivalentinio įvykio, kurį charakterizuoja viena trukmė ir viena didžiausioji efektinė įtampa, nustatymo;
- taikomas trukmės agregavimas; daugialypio nuoseklaus įvykio atveju trukmės agregavimas susideda iš ekvivalentinio įvykio nustatymo; metodas, kuris naudojamas daugialypiui įvykiui agreguoti, gali būti nustatomas pagal galutinį duomenų panaudojimo tikslą; keletas atskaitos taisyklių pateiktos IEC/TR 61000-2-8.

**Viršįtampių klasifikavimas.** Jei statistika yra kaupiama, viršįtampius reikia klasifikuoti pagal šią lentelę. Į lentelės skiltis patalpinti skaičiai nurodo ekvivalentinio įvykio numerį. 1 PASTABA Esantiems matavimo įrenginiams ir (arba) kontrolės sistemoms 1.3 lentelė yra taikoma kaip rekomendavimas.

1.3 lentelė

#### Viršįtampių klasifikavimas pagal didžiausiąją įtampą ir trukmę

Viršįtampio įtampa $u$ %	Trukmė $t$ ms		
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1\,000$
$u \geq 120$	CELL S1	CELL S2	CELL S3
$120 > u > 110$	CELL T1	CELL T2	CELL T3

2 PASTABA Tipiška, kad viešuosiuose žemosios įtampos tinkluose ar tinklo naudotojo įrenginyje susidariusi pažeida sukelia tinklo dažnio laikiną viršįtampį tarp laidininkų su įtampa ir žemės; tokie viršįtampiai išsisklaido, kai pažeida pašalinama. Keletas nurodomųjų verčių yra pateiktos 1 priede. 3 PASTABA Viršįtampių tarp laidininkų su įtampa ir žeme klasifikavimo nuorodas galima padaryti pagal IEC 60364-4-44.

**Pereinamieji viršįtampiai.** Maitinimo punktuose pereinamuosius viršįtampius paprastai sukelia žaibai (indukuodami viršįtampius) arba sistemos perjungimai.

1 PASTABA Kilimo trukmė gali apimti platų intervalą nuo milisekundės iki gerokai trumpiau negu mikrosekundė. Žinome, dėl fizinių priežasčių, ilgesnės trukmės viršįtampiai paprastai yra daug mažesnių amplitudžių. Todėl, didesnės amplitudės ir ilgos kilimo trukmės sutapimas yra nepaprastai neįtikėtinas. 2 PASTABA Pereinamajame viršįtampyje esanti energija, priklausomai nuo priežasties, žymiai kinta. Žaibo indukuotas viršįtampis paprastai yra didelės amplitudės bet turi mažiau energijos negu viršįtampis, kurį sukėlė perjungimas, dėl paprastai ilgesnės tokio perjungimo viršįtampio trukmės. 3 PASTABA Žemosios įtampos įrenginiai ir paskutinio naudotojo buitiniai prietaisai didžiausioje daugumoje atvejų siekiant priešintis pereinamiesiems viršįtampiams yra sukonstruoti pagal IEC 60364-5-53. Jei būtina (žr. IEC 60364-4-44), apsaugos nuo viršįtampių prietaisus reikia parinkti pagal IEC 60364-5-53, atsižvelgiant į faktines situacijas. Tuo yra nutarta aprėpti ir dėl žaibo ir dėl perjungimo indukuotus viršįtampius.

### 1.3. Galimų nuokrypų nuo standarto reikalavimų aprašymas

Šioje dalyje bus aptarta - įtampos asimetrija, įtampos kreivės formos nesinusiškumas, įtampos svyravimai; harmoniniai trikdžiai.

Įtampos dažnis. Vardinis tiekiamos įtampos dažnis turi būti 50 Hz. Normaliomis darbo sąlygomis vidutinis sistemos pagrindinės harmonikos dažnis per 10 s turi būti 50 Hz  $\pm 1\%$  t. y. nuo 49,5 Hz iki 50,5 Hz ir toks dažnis turi būti 99,5 % per metus. Įtampos dažnio vietinės nuokrypos negali būti toleruojamos.

Įtampos asimetrija. Tiekiamos įtampos asimetrija – tai trifazės sistemos būseną, kai fazių įtampų vidutinės vertės arba fazių tarpusavio kampai nelygūs. Kai kuriose vietose, kur vartotojo įrenginiai yra iš dalies vienfaziai arba dvifaziai, trifazė įtampos asimetrija elektros tinklo nuosavybės ar eksploatavimo atsakomybės ribos taškuose gali siekti 3%.

Įtampos nesinusiškumas. Tiekiamos įtampos netiesinių iškraipymų faktorius (įtampos nesinusiškumas) turi būti  $\leq 8\%$  (įskaitant harmonikas iki 40). *Įtampos nesinusiškumo normuojamieji rodikliai [6]:*

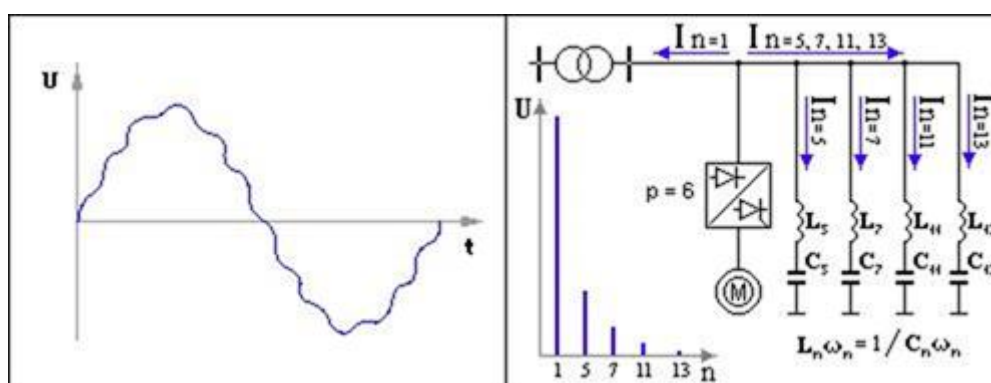


- įtampos kreivės sinusiškumo iškraipymo koeficientas;
- įtampos  $n$  – sios harmoninės dedamosios koeficientas.

*Nenormalių rodiklių priežastys šiuo atveju yra įvairių nelinejinių EI panaudojimas:*

- lygintuviniai keitikliai;
- galios elektros įrenginiai su tiristoriniu valdymu;
- lankinės ir indukcinės krosnys;
- *lankinio ir kontaktinio suvirinimo įrenginiai:*
  - liuminescencinės lempos;
  - buitinė technika (kompiuteriai, televizoriai ir kt.)
  - dažnio keitikliai;

Darbo eigoje šie įrenginiai naudoja pagrindinio dažnio energiją, kuri naudojama ne tik naudingam darbui ir nuostolių išlyginimui, bet ir aukštesniųjų harmonikų srauto sudarymui, kuris atiduodamas išoriniam tinklui (žr. 1.6 pav.).



**1.6 pav.** a) Įtampos kreivės nesinusiškumas b) Nesinusiškumui panaikinti filtras [7]

Įtampos nesinusiškumas charakterizuojamas įtampos kreivės iškraipymo koeficientu  $K_U$ , %, kuris nustatomas aukštesniųjų harmonikų įtampų  $U_v$  santykiu su pagrindinio dažnio įtampa  $U_1$  arba vardine įtampa (žr. 1.10 formulė). [10]:

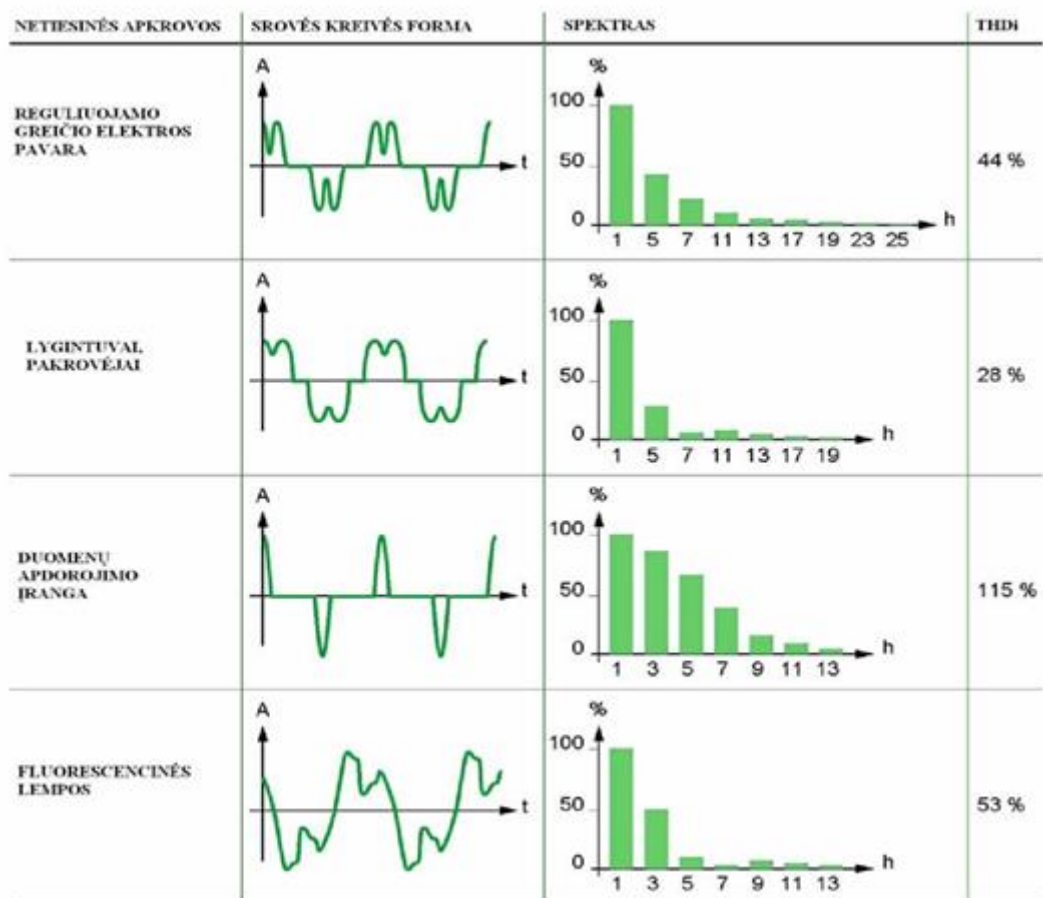
$$K = \frac{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}{U_1^2} \cdot 100 \approx \frac{\sum_{v=2}^n U_v^2}{U_{\text{HOM}}^2} \cdot 100 ,$$

čia  $U_v$  –  $v$ - sios harmonijos įtampos elektrinė reikšmė (V),  
 $n$  - paskutinė įskaitinė harmonika.

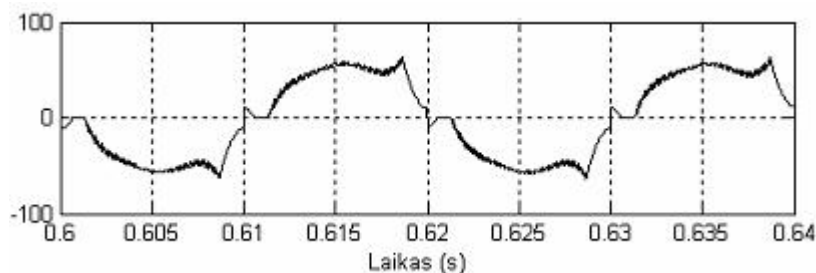
Leistinosios  $K_U$  vertės pateikiamos lentelėje. (žr. 1.4 lentelė).

## Įtampos nesinusishkumo koeficientai, % [9]

Įtampa $U_{var}$ , kV	Leistina reikšmė	Ribinė reikšmė
0,38	8,0	12,0
6-20	5,0	8,0
35	4,0	6,0
110-330	2,0	3,0



1.7 pav. Imtuvų srovės formos, harmonikų spektrai ir THDi



**1.8 pav.** Invertuojamos nesinusinės srovės forma galios keitikliuose

Didėjant daugiafaziams kintamos srovės tinklams atsiranda būtinybė plačiau analizuoti jų nesimetrinius režimus. Dabar nesimetriniai režimai tampa darbiniai. Šie režimai apskaičiuojami naudojant simetrinių dedamųjų metodą [7], su kuriuo galima nustatyti srovės ir įtampas kintamosios srovės mašinose, t.y. tokiuose įrengimuose, kurių įėjimo varžos yra priklausomos nuo maitinimo tinklo fazių sekos. Kad ir nesimetriniams režimams priskiriama daug kitų elektros tinklo parametrų pakitimų, bet populiariuosiuose literatūros šaltiniuose jie yra nagrinėti ir jų atsiradimo priežastis yra aiški.

Įtampos svyravimai. Po 2009 metų elektros tinklo įtampa didinama iki vardinės 230 V reikšmės ir nustatomos leistinos nuo -10% iki +10% darbo įtampos ribos, tai yra nuo 207 V iki 253 V. Dalis energetikos specialistų nevisiškai įsisauganę šio klausimo svarbą. Elektros energija naudojama visose žmogaus gyvybinėse veiklose, kadangi, turėdama aibę specifinių savybių, tiesiogiai dalyvauja produkcijos rūšių kūrime, taip įtakoja jų kokybę. Kiekvienas elektros imtuvas (EI) skirtas darbui su tam tikrais elektros energijos parametrais, t.y. vardiniu dažniu, įtampa ir t.t., todėl jo darbui turi būti užtikrinta reikalinga elektros energijos kokybė (EK). Todėl EK apibūdinama elektros energijos charakteristikų visuma, kurioms esant EI gali normaliai dirbti ir atlikti jiems skirtas funkcijas. EK problemos svarba kyla kartu su į gamybą diegiamais ventiliniais keitikliais ir įvairiais technologiškais įrenginiais: lankinės krosnys, suvirinimo įrenginiai ir t.t. Būityje plačiai naudojami televizoriai, kompiuteriai ir kiti įrenginiai naudojantys nuolatinę srovę per antrinius maitinimo šaltinius ir bloginančius elektros maitinimo tinklo EK. Atsirado tam tikras paradoksas: naujų technologijų, kurios ekonomiškos ir technologiškai efektyvios, gerinančios žmonių gyvenimą naudojimas neigiamai įtakoja elektros tinklų EK. Žalą, kuri atsiranda pas vartotojus ir energetinėje sistemoje dėl pablogėjusios EK, skirstome į technologinę ir elektromagnetinę. *Elektromagnetinės žalos formos yra:*

- generavimo, perdavimo ir vartojimo procesų efektyvumo sumažėjimas dėl nuostolių tinklo elementuose padidėjimo;
- elektros įrenginių gedimai ir tarnavimo laiko sutrumpėjimas dėl nenormalių režimų

ir izoliacijos senėjimo;

- relinės apsaugos, automatikos ir ryšių sistemos gedimai bei normalaus darbo pažeidimai.

Tai iššaukia energijos tiekimo sistemos nepatikimumą. Technologinei žalai priskiriamas gamybos sumažėjimas, technologinės įrangos gedimas, bloginantis produkcijos kokybę ir kiekybę. Įtampos nukrypimai veikia elektros variklių darbą. Esant sumažėjusiai įtampai, mažėja ir įmagnetinimo reaktyvioji galia, prie tos pačios naudojamos galios didėja variklio srovė, dėl šios priežasties perkaista izoliacija. Padidėjęs izoliacijos susidėvėjimas trumpina variklio veikimo laiką. Esant dideliame įtampos sumažėjimui ant asinchroninio variklio gnybtų, galimas jo „pervertimas“ dėl sukimo momento sumažėjimo, rotoriaus sukimosi dažnio sumažėjimo. Įtampos žemėjimas blogina ir paleidimo sąlygas, nes sumažėja variklio paleidimo momentas.

Įtampos svyravimai sukelia kaitrinių lempų mirgėjimą („fliker“ efektas), nemalonų žmogui psichologinį efektą, akių ir viso organizmo nuovargį [11]. Tuo pačiu sumažėja darbo efektyvumas, gali padidėti traumatizmo pavojus. Įtampos svyravimai pažeidžia normalų elektroninės aparatūros darbą, trumpina veikimo laiką. Sugenda telefonai, televizijos ir radijo aparatūra, buitinė technika. Esant dideliems įtampos svyravimams sutrinka normalus elektros variklių darbas bei atsiranda galimybė atsijungti magnetinių paleidėjų kontaktams ir atjungti dirbančius variklius. Įtampos svyravimai (10 – 15) % gali sugadinti kondensatorių baterijas, lygintuvinius keitiklius, indukcinės krosnis, elektrolizinius įrenginius (greičiau sudyla jų anodai) [12].

Įtampų svyravimų kaltininkai yra vartotojai, kurie sukelia staiga kintančią apkrovą. Jos kompensavimui naudojami greitai veikiantys reaktyvinės galios šaltiniai, galintys kompensuoti reaktyvinės galios pakitimus. Greitai kintančios apkrovos įtakos mažinimui jautriems EI naudojamas atskyrimo būdas, kai staiga kintanti ir jautri įtampos svyravimams apkrova prijungiama prie skirtingų transformatorių. Šiam tikslui naudojami transformatoriai su atskirtine apvija ir sudvejinti reaktoriai [11]. Įtampos kitimas dėl reaktoriaus apvijų elektromagnetinio ryšio sumažėja 50-60 %.

### **Harmoniniai trikdžiai.**

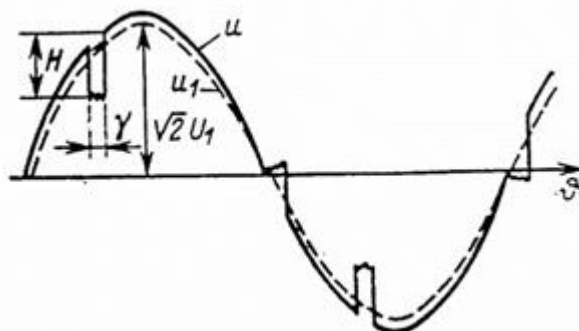
Aukštųjų harmonikų srovės gali turėti poveikį elektros mašinų ir transformatorių perkaitimui. Tai būtina įvertinti projektuojant elektros tinklus, kurie maitina elektros keitiklius, ypatingai, kai šie panašaus galingumo.

Liuminescencinės ir kitos dujinio išlydžio lempų maitinimo schemose yra talpio ir induktyvieji elementai, kurie gali sudaryti rezonansinį kontūrą. Jeigu šio rezonansinio kontūro dažnis sutampa su dažniu vienos iš harmonikų, tai gali įvykti šių elementų perkaitimas ir gedimas.

Aukštosios harmonikos pagreitina elektros mašinų, aparatų ir kabelių izoliacijos senėjimą. Elektros tinkluose, kur reaktyvios galios kompensacijai naudojami kondensatoriai, galimas lygiagretus rezonansas vienos iš harmonikų dažnių srityje tarp kondensatorių talpio ir maitinimo šaltinio induktyviojo elemento. Tai gali sukelti įtampos padidėjimą, apsaugos suveikimą, izoliacijos pramušimą, elektros įrenginių pažeidimą.

Išsivysčiusiosiose šalyse ryšiu su negatyvia harmonikų įtaką elektrotechninėms sistemoms, kreipiamas didelis dėmesys harmonikų tyrimams ir kuriamos priemonės jų panaikinimui. Kuriami ir tobulinami harmonikų prognozavimo ir skaičiavimo metodai pramoniniuose tinkluose. Nagrinėjamos jų plitimo sąlygos dideliais atstumais. Tiriama harmonikų įtaka jėgos įrengimams, komutacinei rėlinei aparatūrai. Projektuojami prietaisai srovės ir įtampos harmonikų matavimui ir kontrolei. Periodiškai daromi kompleksiniai šių harmonikų matavimai pramoniniuose ir energetiniuose tinkluose, vykdomas įvertinimas pagal tarptautines normas.

Tinklo įtampos kokybė nustatoma jos formos nuokrypiu nuo sinusinės ir jos pasikeitimų nuo esamos jos reikšmės. Paveikslėlyje (žr. 1.9 pav.) parodyta tipinė tinklo įtampos kreivė, maitinanti keitiklį.



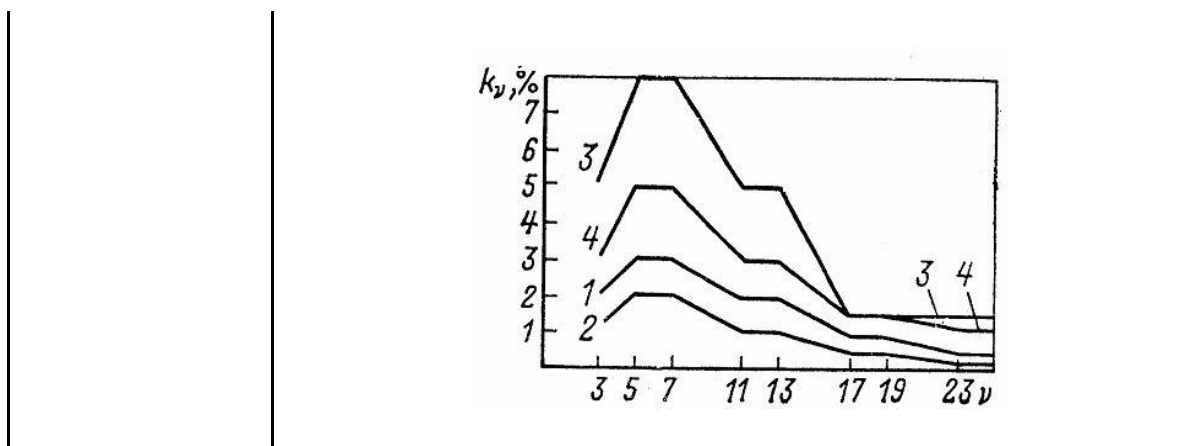
1.9 pav. Tinklo įtampos kreivė, maitinanti keitiklį

Įtampos iškraipymų kreivės pavyzdys dėl komutacijos procesų vykstančių tiristoriuose (vienfaziam lygintuve):  $u$  - iškreiptos įtampos kreivė;  $u_1$  - pagrindinė įtampos harmonika;  $\gamma$  - įtampos dingimo tarpas lygus komutacijos kampui;  $H$  - įtampos sumažėjimas. (žr. 1.5 lentelė).

1.5 lentelė

Parametrai apytiksliam tinklo įtampos kokybės įvertinimui

Parametrai	Maksimali leistina reikšmė, %			
	Bendro naudojimo paskirstymo tinklas		Pramoninis tinklas	
	Žema įtampa	Vidutinė įtampa	Žema įtampa	Vidutinė įtampa
$h(1.5)$	20	20	30	20
$k_h(v \leq 25)(1.7)$	5	4	10	7
$U(1.8)$	5	3	7	5
$k_v(1.6)$	1 kreivė	2 kreivė	3 kreivė	4 kreivė

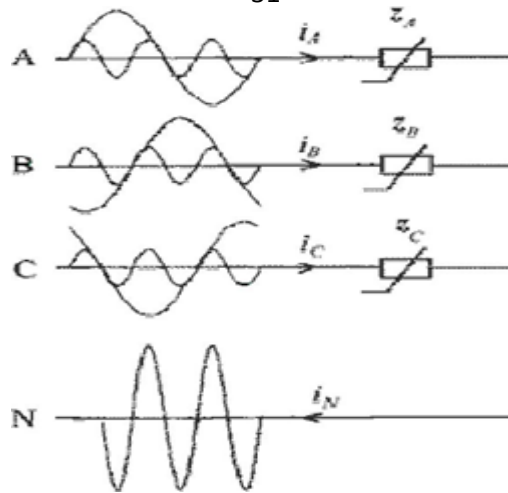


**Efektai , kurie atsiranda dėl srovės ir įtampos aukštųjų harmonikų.** Jie dažniausiai skaidomi į momentinio ir ilgalaikio pobūdžio efektus. Momentinio pobūdžio problemas sudaro:

- maitinimo įtampos formos iškraipymas;
- įtampos kritimas paskirstymo tinklų varžose;
- harmonikų, efektas, kai harmonikų kartotinumas 3 {trifaziuose tinkluose};
- padidėjęs akustinis triukšmas elektromagnetiniuose įrenginiuose;
- vibracija elektromašininėse sistemose;
- šilimas ir papildomi nuostoliai transformatoriuose ir elektros mašinose;
- kondensatorių įkaitimas;
- kabelių įkaitimas paskirstymo tinkluose.

**Harmonikų efektas, kurių kartotinumas trims.** Aukštosios srovės harmonikos, kurių kartotinumas trims (t.y. 3, 9, 15, 21 ir t.t.), kurios turi didelės įtakos amplitudės koeficientui ir generuojamos vienfazės apkrovos, turi ir specifinį poveikį trifazėse sistemose. Subalansuotoje (simetrinėje) trifazėje sistemoje harmoningos (sinusoidinės) srovės visuose trijose fazėse perstumtos  $120^\circ$  viena kitos atžvilgiu, todėl srovių suma nuliniame laide lygi nuliui. Nėra įtampos kritimo neutraliniame kabelio laide. Ši nuostata yra teisinga daugumai harmonikų. Dalis iš jų turi srovės vektoriaus sukimosi kryptį į tą pačią pusę kaip ir pagrindinė (pirmoji, “pagrindinė“, t.y. 50 Hz ), t.y. tiesioginė seka. Kitos sukasi priešinga kryptimi ir turi atbulinę seką. Tai netinka harmonikom, kurių kartotinumą tris:

$$n = 3(2k + 1), \text{ kur } k = 0, 1, 2, \dots \quad (1.11)$$



**1.10 pav.** Nulinio laido srovės formavimo procesas esant netiesiniam apkrovimui

Trifaziuose tinkluose jos nustumtos 360 laipsniu viena atžvilgiu kitos sutampa pagal fazę ir sudaro nulinę seką. Neporinės harmonikos kartotinės trim, sumuojasi neutraliniame laidininke. (žr. 1.10 pav.). Ryšium su tuo, kad tos harmonikos sudaro didžiąją dalį esamos srovės reikšmės, bendra srovė neutralėje gali viršyti fazinės srovės dydį.

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} \quad (1.12)$$

Trifazio tinklo, kurio laidais teka 37 A srovė ir esant 150 Hz dažnumui, neutralės srovė sudaro 55A. Neteisingai suprojektuoti keturlaidžiai kabeliai trifazių tinklų gali perkaisti net užsidegti, tai parodo, kad būtina padidinti skerspjūvį neutralės laidininko keturgysliuose kompiuterinių tinklų maitinimo kabeliuose. Harmonikos, kurių kartotinumai lygūs 3, sudaro įtampos kritimą kaip neutraliame taip ir faziniuose laiduose, sukelia įtampos formos iškraipymus kituose imtuvuose, prijungtuose prie šio tinklo.

**Akustinis triukšmas.** Transformatoriuose, droseliuose ir kitose elektromagnetiniuose elementuose, aukštosios srovės harmonikos, sudarydamos elektrodinaminę jėgą, sukelia papildomus akustinius triukšmus.

**Vibracija elektromašininėse sistemose.** Indukcinių variklių maitinimo įtampoje aukštųjų harmonikų egzistavimas yra ta priežastis, dėl kurios susidaro aukšto dažnio harmonikos magnetiniame lauke, kurios indukuos EVJ rotorius apvijose aukšto dažnio harmonikų sroves. Šios harmonikos sąveikaudamos su pagrindiniu magnetiniu lauku, sudarydamos papildomus mechaninius momentus ant elektros mašinos veleno. Dėl šios priežasties susidaro veleno sukimo momento pulsacijos. Ekstremaliomis sąlygomis gali kilti besisukančios rotorius vibracijos prie rezonansinio dažnio, kuris sukelia metalo nuovargį ir galimas variklio veleno sugadinimą.

**Įkaitimas ir papildomi nuostoliai transformatoriuose ir elektros mašinose.** Papildomi

nuostoliai, sukiantis transformatorių perkaitimą, esant aukštosiom harmonikom, kyla dėl skin – efekto varinėje apvijoje (aktyvinės apvijos varžos padidėjimas didėjant dažniui), o taip pat nuostolių padidėjimas dėl histerizės ir sūkurinių srovių transformatoriaus magnetolaidyje. Elektros mašinos, be analogiškų nuostolių statoriuje ( nuostoliai varėje ir magnetolaidyje) dėl žybaus skirtumo besisukančių magnetinių laukų susidaro papildomi nuostoliai rotoriaus demferio apvijoje ir elektros mašinos magnetolaidyje.

**Kondensatorių įkaitimas.** Papildomi nuostoliai, kai atsiranda aukštųjų harmonikų kondensatoriuose, yra dėl padidėjusio “nuostolių kampo“ dielektrike ir augančios srovės reikšmės kondensatoriuje. Atsirandantis perkaitimas kondensatoriuje gali pramušti dielektriką. Be to, kondensatoriai jautrūs perkrovimams dėl atsiradusių harmonikų.

**Paskirstymo tinklo kabelių išilimas.** Papildomi nuostoliai jėgos tinklų kabeliuose, sukiantis temperatūros pakilimą laidininkuose, esant aukštųjų harmonikų srovėms susidaro dėl sekančių priežasčių: padidėjusi neharmoninės srovės reikšmė; padidėjusi aktyvinė varža dėl skin-efekto; padidėję kabelio izoliacijos dielektriko nuostoliai. Galimi visokie metodai, kad susilpninti aukštųjų harmonikų srovių įtaką, esant apkrovimams aukštai amplitudės koeficiento reikšmei.

## **2. TYRIMO METODIKA**

### **2.1 Tyrimo metodų pagrindimas**

Atliekant įtampos kokybės tyrimą, panaudoti analizatoriai: „ANALYST 3Q“ ir “LEM” – MEMOBOX800. Abu šie prietaisai atitinka IEC standartų keliamus reikalavimus.

#### **2.1.1 Tyrimo organizavimas**

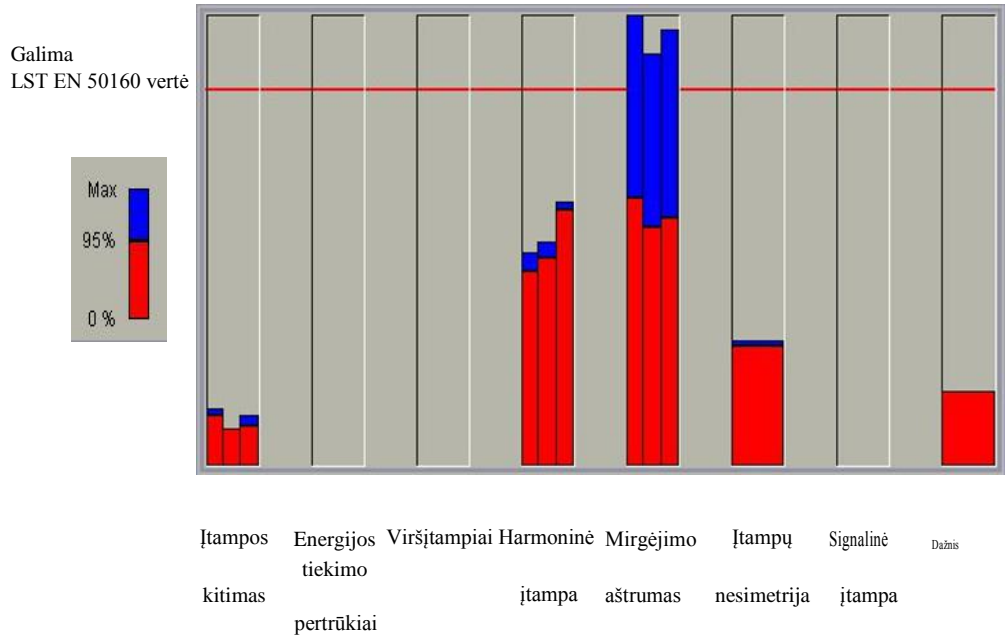
Tyrimas buvo atliekamas įmonėje UAB „Elva“, kurioje dirba 71 darbuotojų. Elektros imtuvų skaičius apie 150, kurių galia 250 W iki 32 KW. Pagal sunaudojamą elektros energijos galią, bendrovę priskiriame prie mažojo vartotojo kadangi  $S < 300 \text{kVA}$ .

## **3. ĮTAMPOS KOKYBĖS MATAVIMŲ REZULTATAI ĮMONĖS TINKLE**

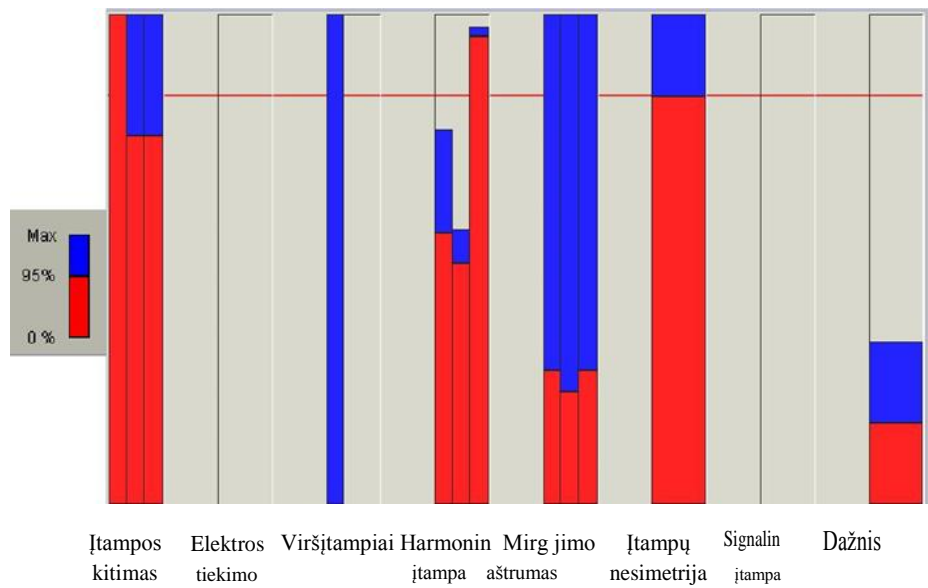
### **3.1 Pagrindinės įmonės charakteristikos**

Pagrindines įtampos charakteristikas matome grafikuose (žr. 3.1 ir 3.2 pav.). Iš abiejų charakteristikų matome, jog vartotojų dalis įtampos charakteristikos neatitinka LST EN 50160 standartų. Tiriant visas įtampos charakteristiką išsamiau, gamybos barą vadiname A vartotoju, o garo katilinę – B vartotoju. Vardinės standarto reikšmės bus idealios ir V yra vartotojas.





**3.1 pav.** Įtampos kokybės charakteristikų suvestinė bendrovės gamybos bare.



**3.2 pav.** Įtampos kokybės charakteristikų suvestinė garo katilinėje

### 3.1.1 Tinklo dažnis

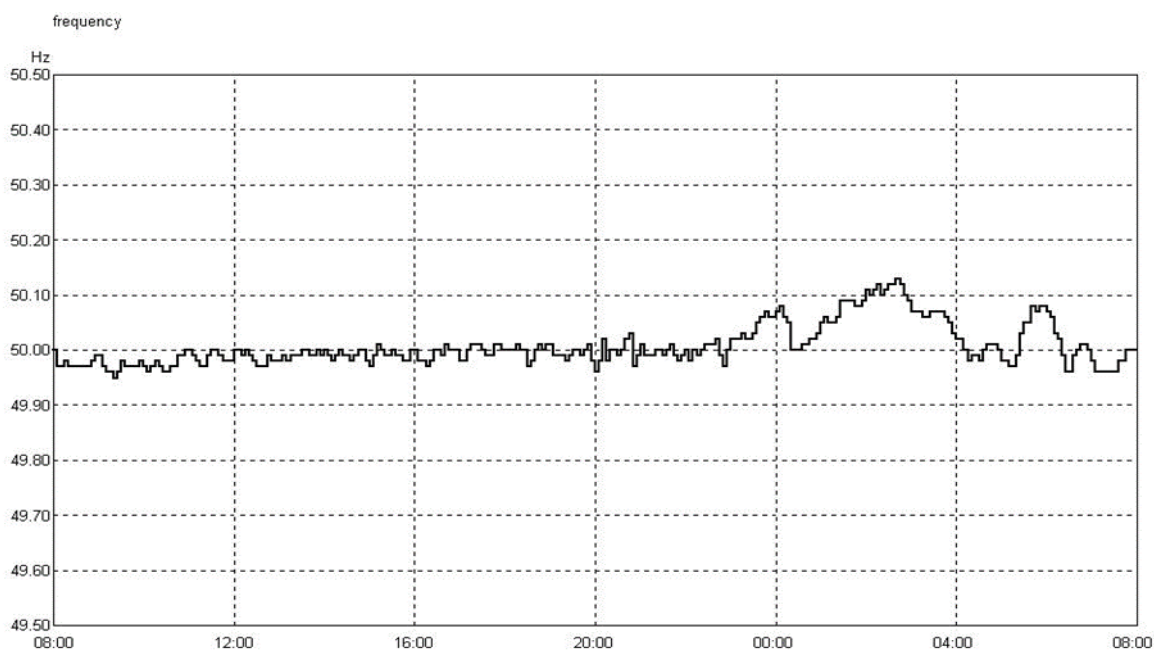
Dažnio tyrimo rezultatai lentelėje 3.1

3.1 lentelė

Mažosios galios vartotojų tinkle, vidutinis dažnis

Vartotojas	V	A	B
Vidutinis dažnis f, Hz	49,5-50,5	49,99	49,99

Žvelgiant į vartotojo B charakteristiką, matome, kad elektros energijos tiekėjas užtikrina nekintantį dažnį įmonei, pastebimas nedidelis dažnio (apie 0,2%) šoktelėjimas nakties metu. Padidėjimą galime pagrįsti dėl mažesnio energijos poreikio.



3.3 pav. Tinklo dažnio kitimas garo katilinėje

### 3.1.2 Kitimas ir vertė, tiekiamos įtampos. Pertrūkiai elektros tiekime

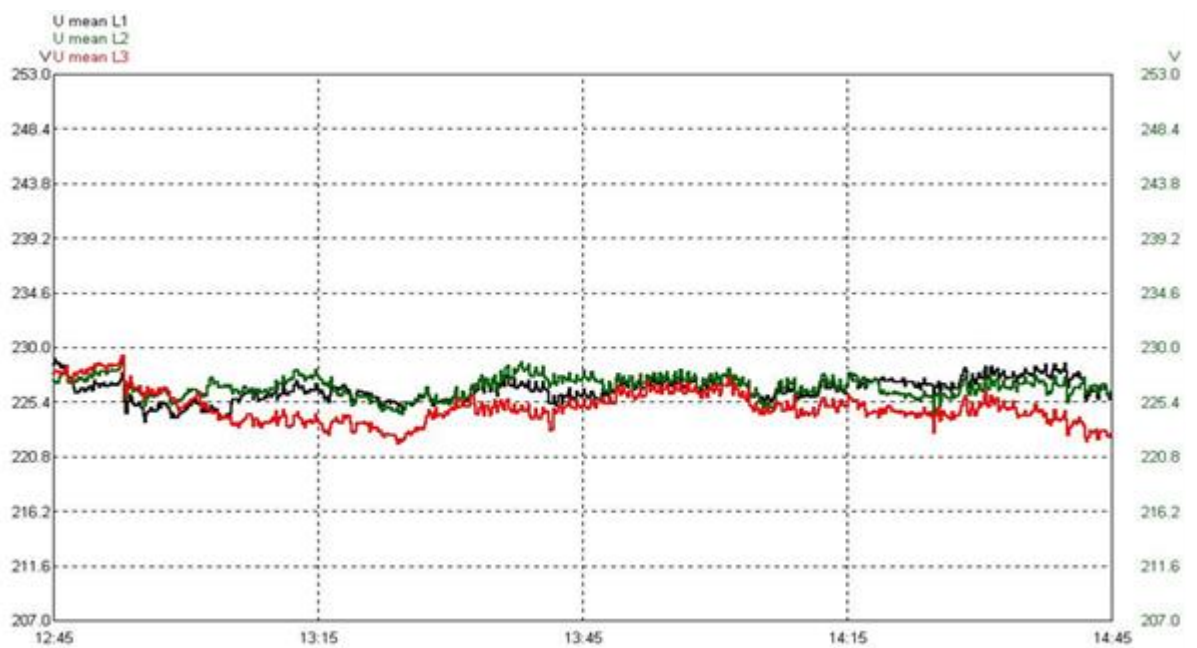
Pagal įtampos reikšmes (žr. 3.2 lentelė) ir įtampos kitimo kreivės (žr. 3.4 ir 3.5 pav.) matome, dvi skirtingas situacijas. Pas A vartotoją nepastebėta įtampos nukrypimų nuo standarto. Mažą įtampos pakitimą įtakoja nepastovus apkrovų būvimas. Pas B vartotoją pastebima atvirkštinė situacija. Matavimų metų prietaisas rodė, jog fazėse - žymiai paaukštinta įtampa. Fazė L1 negalimai viršijama standarto norma ( $U_n > 253V$ ). Informavus įmonės

energetikos skyriaus darbuotoją, pastotėje atlikti įtampos reguliavimo darai, kurių metu apsaugojome elektros įrenginius.

3.2 lentelė

**Įtampos reikšmės vartotojų  
tinkluose**

Vartotojas	V	A			B		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3
<b>U<sub>n</sub>, V</b>	230	226,79	226,85	225,54	251,58	239,17	237,59
<b>U<sub>n max</sub>, V</b>	253	229,93	228,57	229,19	259,68	252,09	252,01
<b>U<sub>n min</sub>, V</b>	207	223,68	224,32	221,41	242,91	231,49	227,88



**3.4 pav.** Įtampos kitimas gamybos bare



3.5 pav. Įtampos kitimas garo katilinėje

Įtampos kokybės stebėjimas kuo toliau, tuo labiau tampa svarbesniu rodikliu, bendrovėms, kurioms jų gaminių kokybiškumas yra susijęs su elektros energijos kokybe, nes didesni nukrypimai sudaro gaminamos produkcijos broką, įrenginių gedimus, visi šie veiksniai įmonei sudaro didelius nuostolius. Elektros tiekimo įtampos pertrūkius ir staigius įtampos kryčius dažniausiai sukelia pažaidos, susidarancios vartotojo įrenginyje ar įmonių skirstomuosiuose tinkluose. Pažaidų skaičius apibrėžia vartotojo ir tiekėjo elektros tinklo kokybę. Norint turėti gerą tinklo kokybę, reikėtų naudotis patikimomis tinklo apsaugos priemonėmis, skirti daugiau dėmesio tinklų priežiūrai, dėl šios priežasties galime numatyti, kad greitai metu, elektros energijos tiekėjas geros kokybės elektros energiją turės galimybę tiekti, už papildomas vartotojo lėšas.

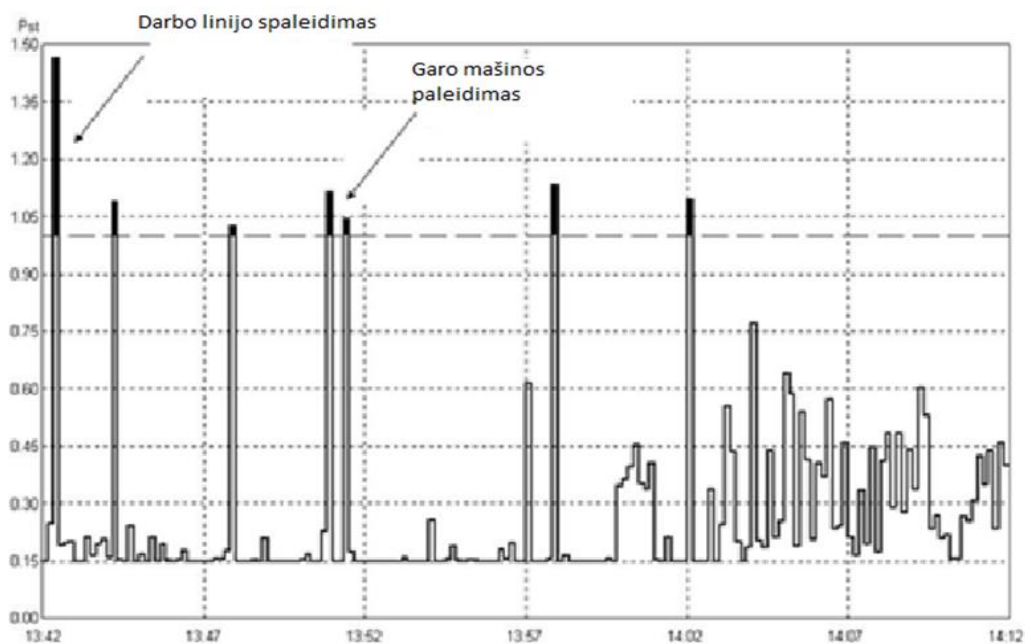
**Mirgėjimo aštrumas.** Pagal ilgalaikes mirgėjimo aštrumo reikšmes  $P_{It}$  (žr. 3.3 lentelė) matome, jog vartotojai nepažeidžia galimų normų ir cechuose esantys negalėtų jausti akių varginimo.

3.3 lentelė

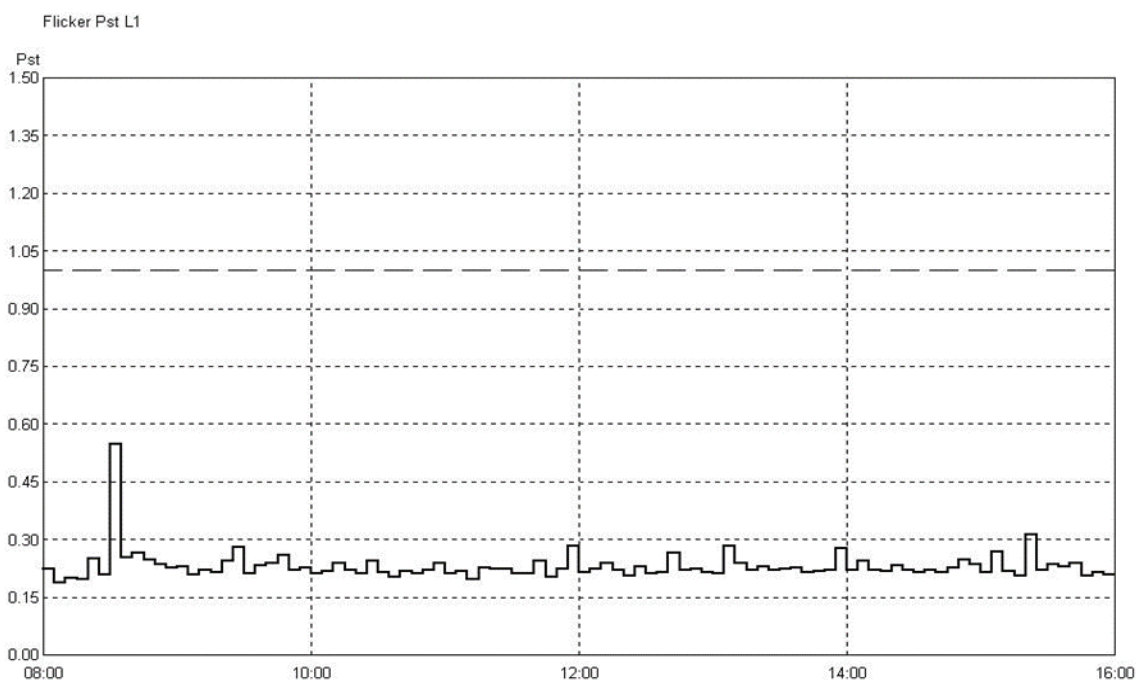
Ilgalaikis mirgėjimo aštrumas vartotojų tinkluose

Vartotojas	V	A	B
Mirgėjimo aštrumas $P_{It}$	<1	0,94	0,28

Kad ir abiejų vartotojų apkrovos beveik vienodos, žiūrint į trumpalaikio mirgėjimo aštrumo reikšmes (žr. 3.6 ir 3.7 pav.) pastebime, kad darbo procesų ceche, reikšmės yra kur kas didesnės. Didelis mirgėjimo aštrumas paleidžiant įrenginius, priklauso nuo staigaus momentinės apkrovos išaugimo, kadangi, nevisi varikliai veikia naudojant dažnio keitiklius. Palyginus, tiesioginio variklio paleidimo ir variklio paleidimą naudojant dažninę pavarą, mirgėjimo reikšmės, susidarome išvadą, kad “minkštas” įrenginio paleidimas labiau gerina mirgėjimų aštrumų rodiklį.



3.6 pav. Mirgėjimo aštrumas gamybos bare



3.7 pav. Mirgėjimo aštrumas garo katilinėje

### 3.1.3 Tiekiamos įtampos nesimetrija

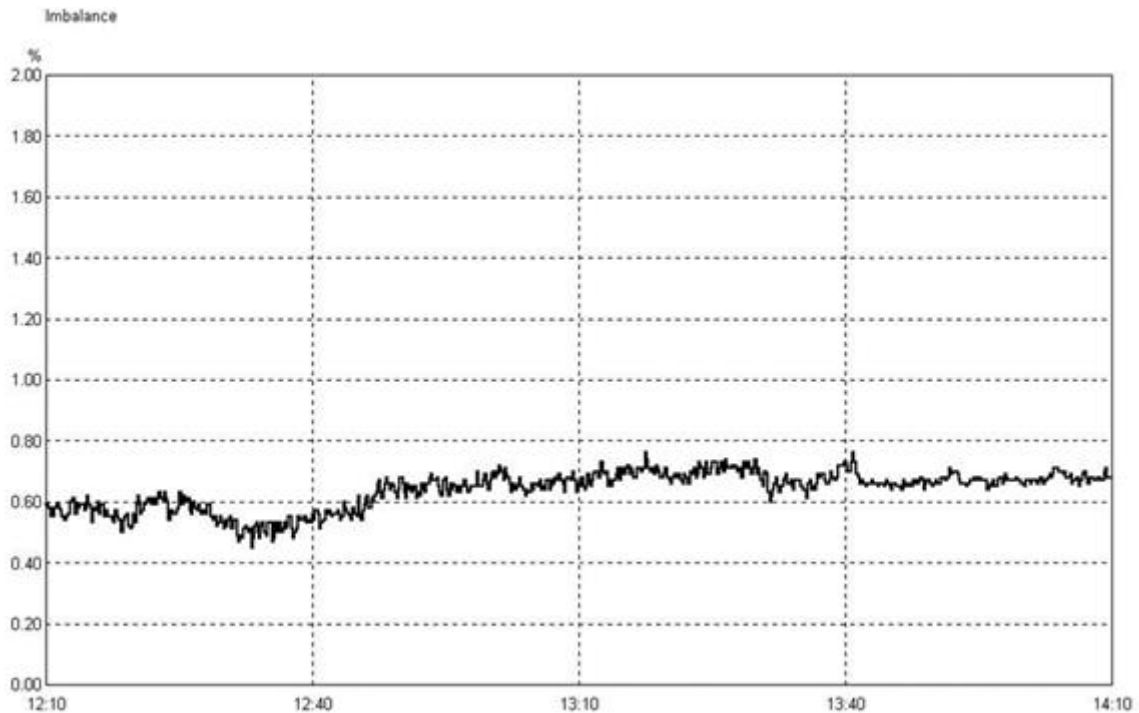
Pagal tiekiamos įtampos nesimetrijų reikšmes (žr. 3.4 lentelė) matome, jog neviršijame leistinų normų.

3.4 lentelė

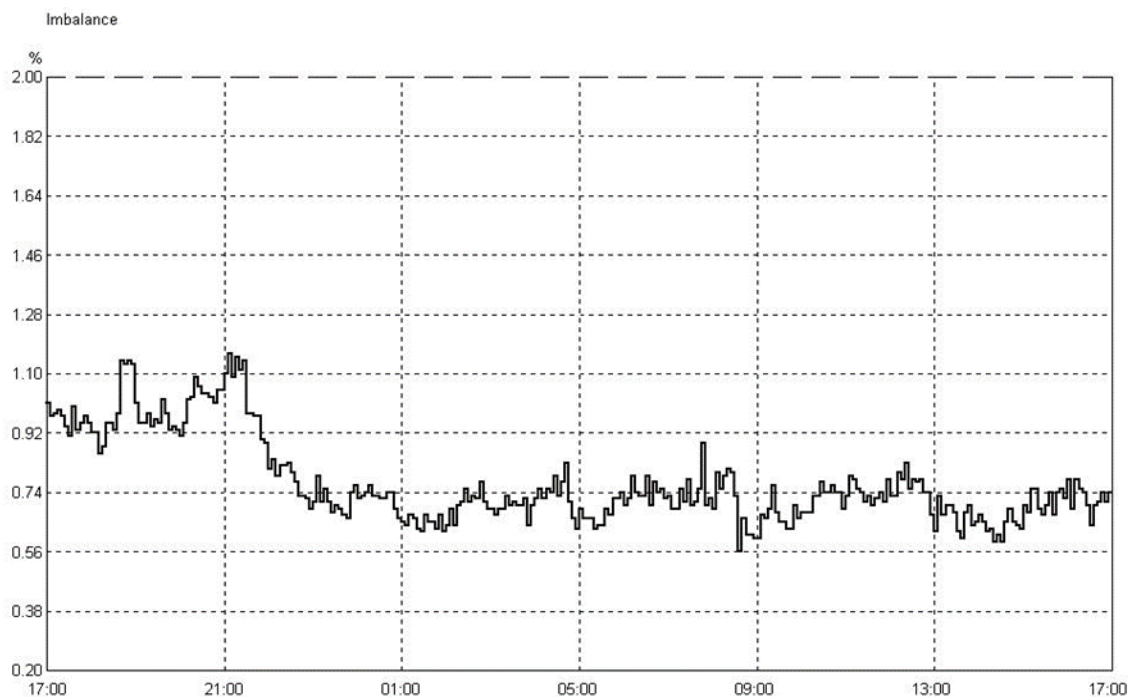
Tiekiamos įtampos nesimetrija vartotojų tinkluose

Vartotojas	V	A	B
Įtampos nesimetrija, %	0-2	0,62	0,94

Vartotojo apkrovos simetriškumas labiausiai įtakoja įtampos nesimetrijos reikšmes. (žr. 3.8 ir 3.9 pav.). Simetrinės apkrovos sudaro vartotojų apkrovų pagrindą, dėl to, teigiame, kad šis reikalavimas įvykdomas, paskirsčius tolygiai apkrovas.



3.8 pav. Gamybos bare įtampos nesimetrija



**3.9 pav.** Garo katilinėje įtampos nesimetrija

### 3.1.4 Harmoninės įtampos ypatumai įmonėje

Pasaulyje, harmonikos daug metų matuojamas industrinių valstybių Studijose atliktose Japonijoje 2000 m. buvo nustatytas netiesinių iškreipų faktorius NIF (angl. THD) 6-7% pramonėje ir 4-5% buityje. Vakarų Europos apžvalgose pranešama, kad NIF augo nuo 3% -1979 iki 5%-1991, tai yra po 1,67% per dešimtmetį. JAV pranešama, kad NIF neviršijo 3% pas bet kurio tipo vartotojus [5].

Lietuvoje tokio pobūdžio matavimai nauji, kadangi tik neseniai atsirado galimybė išmatuoti šias vertes. Iš gautų matavimo rezultatų (žr. 3.5 ir 3.6 lentelė) matome, kad didžiausią vertę, vartotojų tinkluose turi 3, 5, 7, 9 eilės harmonikos. Šių eilių harmonikų didžiausi generuotojai - impulsiniai maitinimo šaltiniai, dažnio keitikliai bei liuminiscencinės lempos. Šios apkrovos vadinamos pagrindinėmis.

3.5 lentelė

#### Įtampos harmonikos bendrovės tinkluose

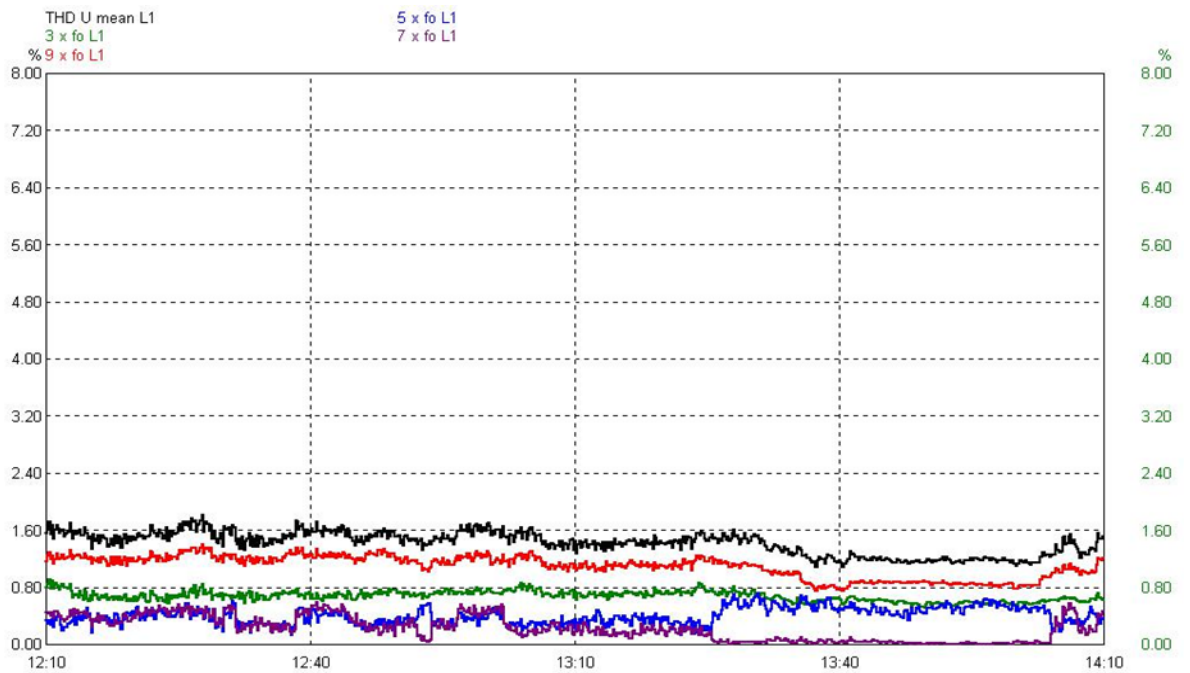
Nelyginės harmonikos								Lyginės harmonikos			
Nekartotinės 3				Kartotinės 3							
Vartotojas	V	A	B	Vartotojas	V	A	B	Vartotojas	V	A	B
Eil h	Santykinė įtampa $U^h$ , %			Eil h	Santykinė įtampa $U^h$ , %			Eil h	Santykinė įtampa $U^h$ , %		

5	6	0,36	1,62	3	5	0,65	5,35	2	2	0,017	0,03
7	5	0,24	0,41	9	1,5	1,09	0,17	4	1	0,003	0,021
11	3,5	0,1	0,22	15	0,5	0,050	0,09	6	0,5	0,014	0,021
13	3	0,093	0,311	21	0,5	0,054	0,15	8	0,5	0,008	0,006
17	2	0,012	0,019					10...24	0,5	0,166	<0,01
23	1,5	0	0,045								
25	1,5	0	0,002								

3.6 lentelė

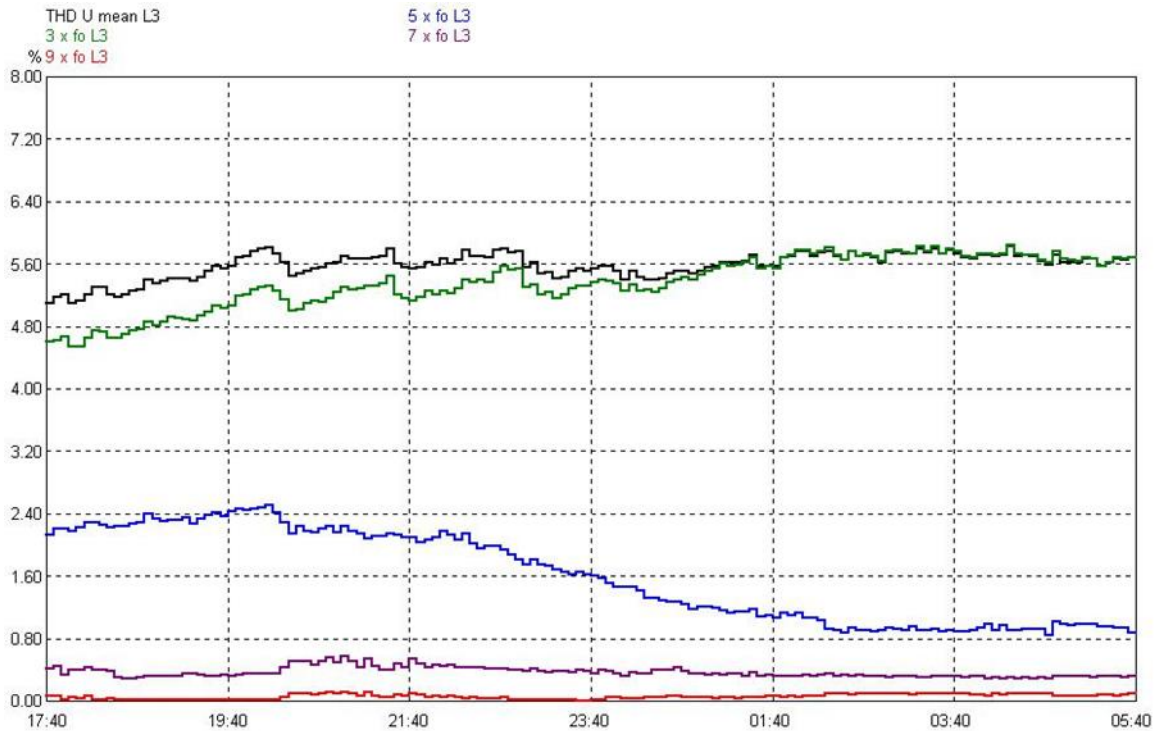
## Bendrovės tinkluose, netiesinių iškreipčių vertės

Vartotojas	V	A	B
Netiesinių iškreipčių faktorius NIF, 100 %	$\leq 8$	1,37	5,51

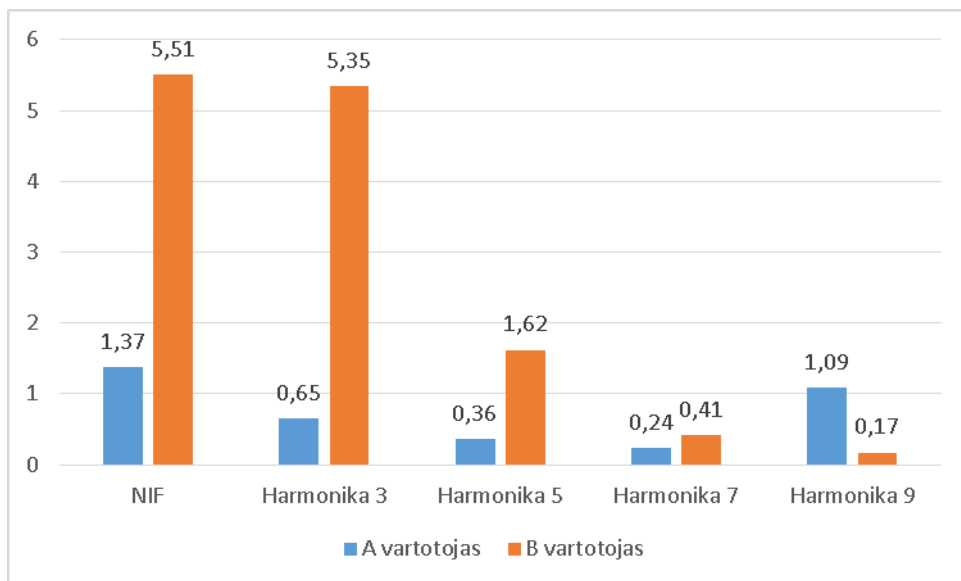


3.10 pav. Harmoninės įtampos gamybos bare





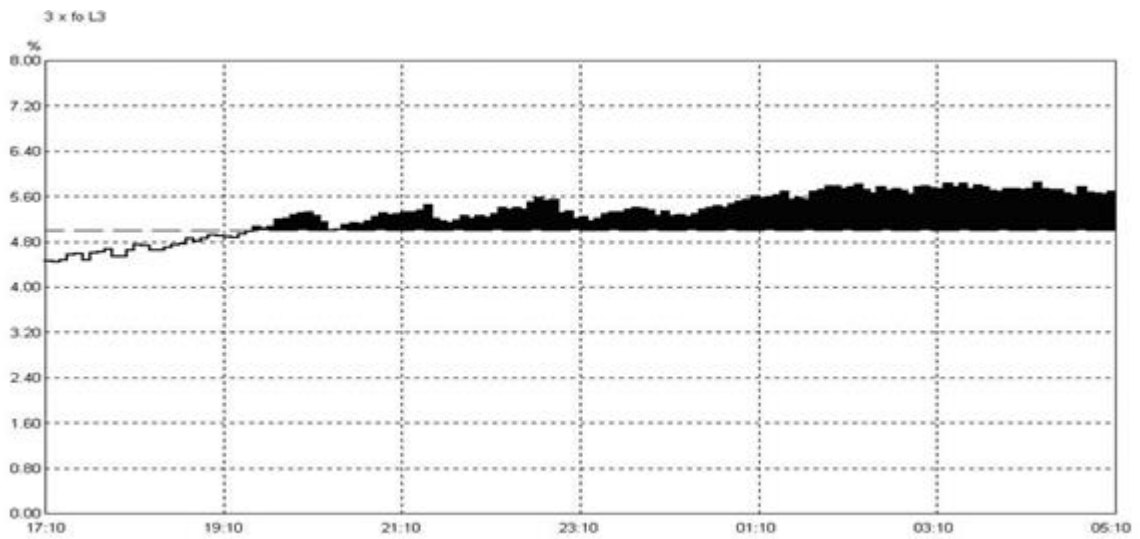
3.11 pav. Harmoninės įtampos garo katilinėje



3.12 pav. A ir B vartotojų harmoninių sudėčių palyginimas

Gamybos bare dominuoja 3 ir 9 harmonika. Bendrovė, prie dažnio pavarų, kurios yra galingesnės turi įrengusi harmonikų filtras. Nors ir 9 - a harmonika yra arti ribinės reikšmės, palyginus su garo katiline (žr. 3.10; 3.11 ir 3.12 pav.), pastebima didelė harmonikų filtrų įtaka harmonikų lygio mažinimui. Didžiausias harmoninės taršos faktorius garo katilinėje - dažnio pavaros. Dažnio pavaros dirba nenaudojant harmoninių filtrų. Didžioji dalis harmonikų taršos susideda iš 5 ir 3 harmonikų, 3 - ioji harmonika viršija leistiną standarto apibrėžtą 5% vertę (žr. 3.13

pav.). Žvelgiant į šiuos duomenis, galime spręsti, kad ne visuomet žiūrint į netiesinius iškreipimo faktorius, galima gauti tikrąjį harmoninės taršos dydį vartotojų tinkluose.



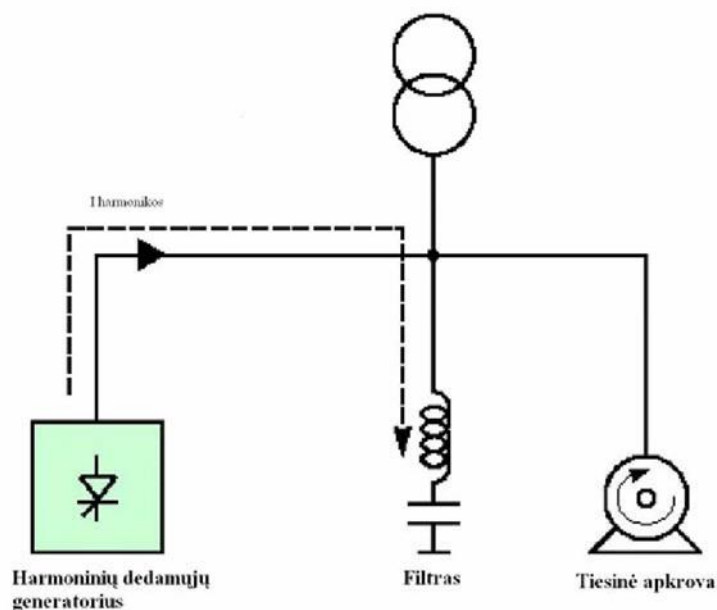
**3.13 pav.** 3 harmonika garo katilinėje

## 4. PASIŪLYMAI ĮTAMPOS KOKYBĖS GERINIMUI

### 1. Pasyvusis filtras. Tipinės panaudojimo sritys:

- Pramoninės instaliacijos, turinčios daug harmonikų dedamųjų generavimo šaltinių, kurių bendroji galia viršija 200 kVA (tai gali būti variklių greičio reguliatoriai arba dažnio keitikliai, lygintuvai nepertraukiamo maitinimo šaltiniai (UPS), ir kt.).
- Instaliacijos, reikalaujančios reaktyviosios energijos kompensacijos.
- Įtampos iškraipymų lygio mažinimas, kurio tikslas yra apsaugoti jautrius imtuvus.
- Srovės iškraipymų lygio mažinimas, kurio tikslas yra išvengti perkrovų.

**Veikimo principas.** Kilpos kontūras (LC) yra suderintas su kiekvienos harmonikos dažniu ir, tuo pačiu metu, su harmonikų dedamosios generatoriumi. Filtro atšakos kontūras sugeria harmonikas ir neleidžia joms cirkuliuoti energijos tiekimo pusės tinkle. (žr. 4.1 pav.)



4.1 pav. Pasyvaus filtro veikimo principas

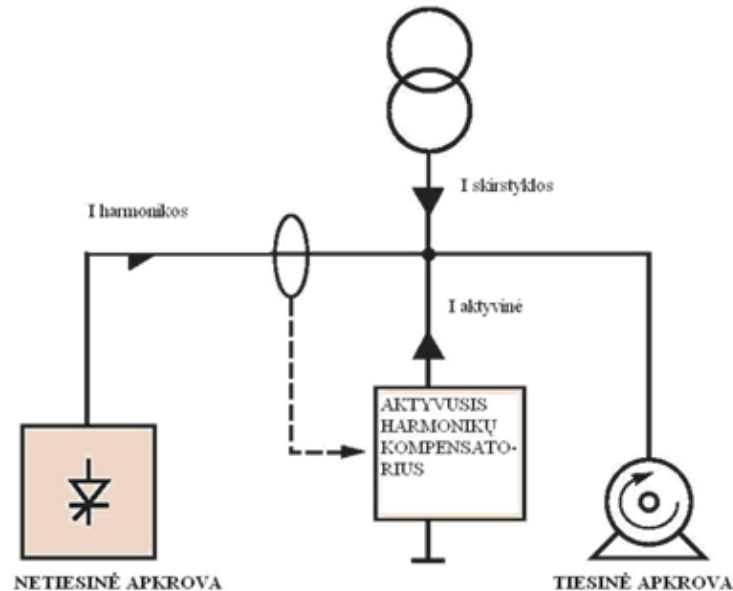
Pasyvus filtras yra dažniausiai suderinamas su tos eilės harmonika, kuri turi būti panaikinta. Jeigu reikia stipriai sumažinti kelių harmonikų dedamųjų keliamą iškraipymų lygį, gali būti naudojami keli filtrų atšakų kontūrai.

### **Aktyvusis filtras.** Tipinės panaudojimo sritys.

- Instaliacijose gyvenamajame sektoriuje, prekybos ir paslaugų sektoriuje (apibendrintai vadinamame "tretiniame" sektoriuje), turinčios daug harmonikų dedamųjų generavimo šaltinių, kurių bendroji galia viršija 200 kVA (tai gali būti variklių greičio reguliatoriai arba dažnio keitikliai, nepertraukiamo maitinimo šaltiniai (UPS), biuro įrenginiai ir kt.).

- Srovės iškraipymo lygio mažinimas, kurio tikslas yra išvengti perkrovų.

**Veikimo principas.** Aktyvųjų filtrą sudaro elektroninė galios sistema, jungiama nuosekliai arba lygiagrečiai su nelinejine apkrova. Jo tikslas yra kompensuoti elektrostatinio lauko stiprį, kurį kelia apkrovos generuojamos harmonikų srovės. (žr. 4.2 pav.).



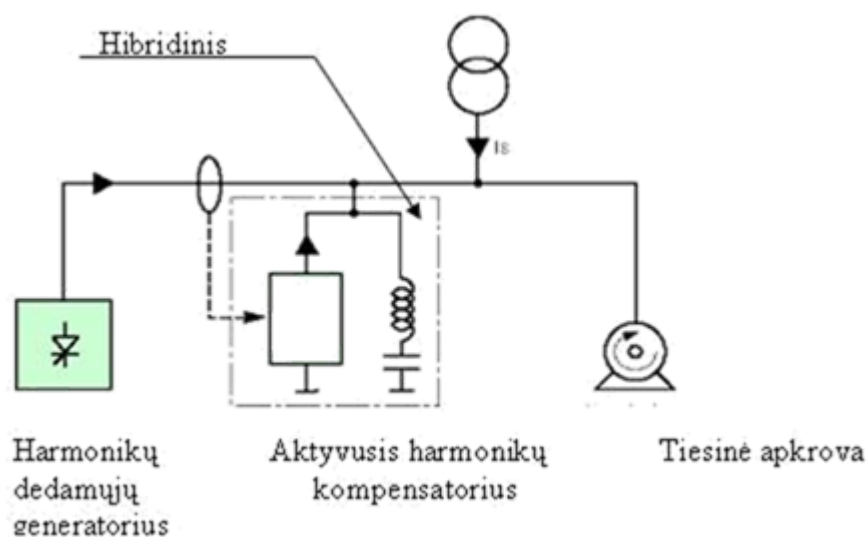
4.2 pav. Aktyvaus filtro veikimo principas

Aktyvusis filtras į apkrovos grandinę įveda tos pačios eilės, tik priešingos fazės, harmonikas ir tokiu būdu panaikina egzistuojančias harmonikas.

**Hibridinis filtras.** Panaudojimo sritys:

- Pramoninės instaliacijos, turinčios daug harmonikų dedamųjų generavimo šaltinių, kurių bendroji galia viršija 200 kVA (tai gali būti variklių greičio reguliatoriai arba dažnio keitikliai, nepertraukiamo maitinimo šaltiniai (UPS), lygintuvai ir kt.).
- Instaliacijos, reikalaujančios reaktyviosios energijos kompensacijos.
- Įtampos iškraipymų lygio mažinimas, kurio tikslas yra apsaugoti jautrius imtuvus.
- Srovės iškraipymų lygio mažinimas, kurio tikslas yra išvengti perkrovų.
- Laikymasis griežtų harmonikų emisijų reikalavimų.

**Veikimo principas.** Žemiau esančiame paveikslėlyje (žr. 4.3 pav.) yra hibridinio filtro, kurį sudaro pasyvus ir aktyvus filtrai, veikimo principas. Naujas harmonikų filtravimo sprendimas pasižymi visais egzistuojančių sprendimų privalumais ir gali būti taikomas plačiam transformatorių galios ir panaudojimo sričių spektrui.



4.3 pav. Hibridinis filtras

#### Filtrų parinkimo kriterijai ir rekomendacijos:

- Pasyvus filtras kompensuoja reaktyviąją energiją ir pasižymi žymiu srovės filtravimo pajėgumu [14,6]. Įrengimas, kuriame turi būti statomas filtras, turi dirbti stabiliai, su labai nedideliais apkrovos svyravimais. Jeigu žymią tiekiamos energijos dalį sudaro reaktyvioji energija, mažos apkrovos laikotarpiais pasyvų filtrą reikia išjungti. Analizuojant galimybę panaudoti pasyvų filtrą, reikia atsižvelgti ir į egzistuojančias kompensacijos kondensatorių baterijas, nes po pasyvaus filtro pastatymo jas gali tekti pašalinti.
- Aktyvus filtras filtruoja harmonikas plačiame dažnių diapazone. Jis tinka naudoti prie visų apkrovų. Tačiau jo apsaugos nuo harmonikų galia yra ribota.
- Hibridinis filtras apjungia pasyvaus ir aktyvaus filtrų privalumus.

4.1 lentelė

#### Filtrų parinkimas pagal panaudojimo sritį

Panaudojimo sritis	Pasyvusis	Aktyvusis	Hibridinis
Pastatas su tarnybinėmis patalpomis (kompiuteriai, oro kondicionavimo sistemos, apšvietimas, liftai)	*	***	**
Popieriaus, kartono, plastmasių pramonė (konvejerių sistemos,	***	*	**

popieriaus vyniojimo ir išvyniojimo mašinos)			
Vandens pramonė (pumpavimo stotys, valymo stotys)	**	***	***
Krovinių kėlimas ir pervežimas, krovininiai liftai	**	*	***

Paaiškinimai:

\*\*\* - Pilnai tinkamas;

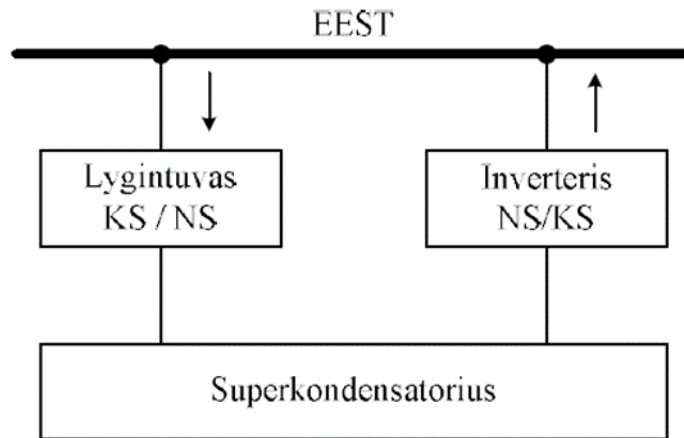
\*\* - Pilnai tinkamas techniškai, tačiau toks sprendimas nėra rentabilus;

\* - Patenkinamas.

Kondensatorių baterijose srovės harmonikos taip pat sukelia papildomus energijos nuostolius. Dėl to kondensatoriai kaista ir gali sugesti. Kondensatoriai gali sugesti, jei tinkle susidarytų harmonikų rezonansas. Harmonikos gali sutrikdyti apsaugos įrenginių darbą ar pabloginti jų charakteristikas. Pažeidimo charakteris priklauso nuo įrenginių darbo principų. Labiausiai paplitę melagingi suveikimai, kurie tikėtini apsaugos sistemose, dirbančiose varžų matavimo principu. Harmonikų poveikis indukciniams prietaisams, skirtiems galios matavimams ir energijos apskaitai taip pat akivaizdus – matavimo rezultatų paklaidas didina. Harmonikos turi įtakos galios grandinėms, ryšio linijų signalams (telefono linijoms).

**Kondensatorių baterijos.** Elektrocheminiai dvigubo sluoksnio kondensatoriai arba superkondensatoriai (EC capacitors, supercapacitors) pasižymi labai didele talpa, siekiančia iki 5000 faradų. Tai vieni iš efektyviausių energijos kaupiklių, kurių viso ciklo nuo elektros energijos sukauptimo iki jos grąžinimo į šaltinį naudingo veikimo koeficientas (angl. roundtripefficiency) viršija 95 %. Šiuo metu jie *turi patį didžiausią galios tankį iš visų elektros energijos kaupiklių* – nuo 1 iki 10 kW/kg. Superkondensatorių baterijose sukauptos *energijos tankis yra nedidelis*, todėl elektros energetikos sistemose plataus tiesioginio pritaikymo jos dar neturi. Manoma, kad ateityje elektromobiliuose ir hibridiniuose automobiliuose jie gali pakeisti akumulatorius. Gaminami didelės iškrovos galios ir trumpo iškrovos laiko superkondensatoriai (nuo 10 kW iki 1-2 MW, iškrovos laikas – apie sekundę), taip pat didelės energijos įkrovos superkondensatoriai (iškrovos laikas – nuo minučių iki valandos, o galia – nuo kelių kW iki ~ 200 kW). Žemiau esančiame

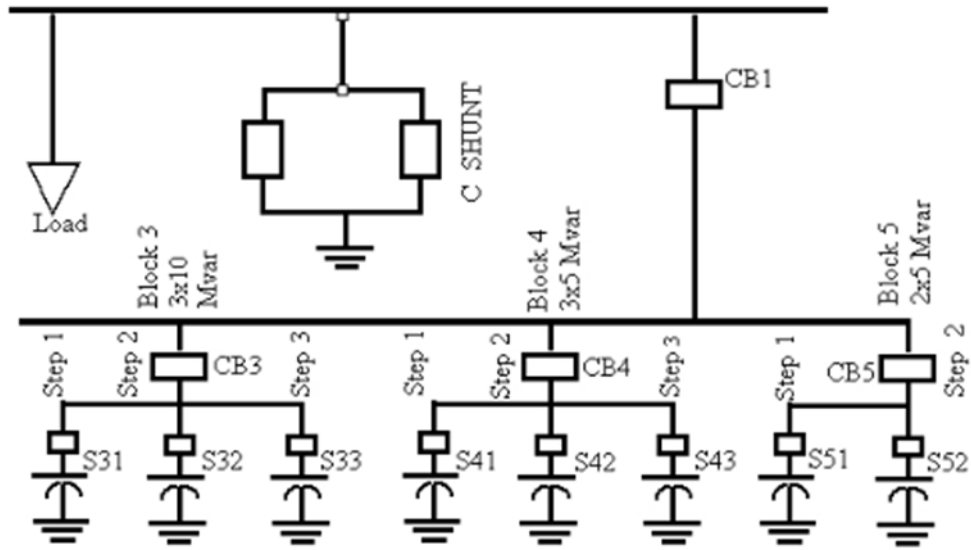
paveiksle (žr. 4.4 pav.) pateikta elektros energijos kaupimo ir regeneravimo blokinė schema su superkondensatoriumi.



**4.4 pav.** Elektros energijos kaupimo ir regeneravimo sistemos su superkondensatoriumi blokinė schema

Kadangi energetikoje naudojami superkondensatoriai įkraunami nuolatine srove, tai, kaip parodyta prieš tai esančiame paveiksle (žr. 4.4 pav.), šioje elektros energijos kaupimo sistemoje reikalingas lygintuvas, kuris kintamąją srovę (*KS*) paverčia nuolatine srove (*NS*). Kai sukauptą elektros energiją reikia gražinti į *EEST*, tai reikalingas inverteris, kuris atlieka atvirkščią veiksmą – nuolatinės srovės energiją paverčia į standartinių ir stabilių parametrų kintamosios srovės energiją, tinkamą tiekti į elektros tinklą.

Dvigubo sluoksnio kondensatorių energijos kaupimo sistemos (*angl.* EDLC) susideda iš dvigubo sluoksnio kondensatoriaus bei nekryptinių DC-DC ir DC-AC keitiklių. Dvigubo sluoksnio kondensatoriai yra saugesni aplinkai ir turi ilgesnį tarnavimo laiką nei įprastos akumuliatorių baterijos, tačiau jų įtampa sąlyginai žema ( $\leq 3$  V), o nuostoliai gana nemaži, todėl tokios sistemos naudojamos rečiau. Šiuo metu viena labiausiai paplitusių priemonių, naudojama reaktyviosios galios kompensavimui ir įtampos kitimo mažinimui yra „paprastos“ kondensatorių baterijos, kurios gali būti tiesiogiai jungiamos prie pastotės šynų (4.5 pav.).



4.5 pav. Kondensatorių baterijos prijungtos prie pastotės šynų

Kondensatorių baterijos talpumas padeda mažinti įtampos staigius pokyčius, tačiau jų trūkumas yra tas, kad mažėjant įtampai mažėja ir reaktyviosios galios generavimas, reikalingas įtampos palaikymui ir ši priklausomybė – kvadratinė. Todėl kondensatorių baterijos gali pagerinti pereinamąjį procesą (esant talpumui, įtampa negali staiga/šuo liu kisti, priklausomai nuo kondensatoriaus talpos), bet negali užtikrinti ilgalaikio pastovaus įtampos palaikymo, nekeičiant talpos t.y. neprijungiant papildomų kondensatorių baterijos sekcijų.

**UNIBLOCK UBT**– technologijos kaina be pastato, su montavimo darbais svyruoja nuo 0,5 iki 1 EUR/W.



## IŠVADOS

*Atlikus matavimus mažos galios įmonėje nustatyta:*

1. Standarto LST EN 50160 įtampos charakteristikų nurodytosios vertės yra techniškai realios.
2. Vardinė žemoji įtampa  $U_n$  atitinka standarto reikalavimus ir neviršija  $230 \pm 10\%$  intervalo ribų.
3. Tolygus apkrovų paskirstymas, leidžia neviršyti įtampos nesimetrijos verčių.
4. Viršytos mirgėjimo aštrumo vertės yra sukeltos vartotojo įrenginių. Dažnio pavaros ir minkšto paleidimo įrenginiai, naudojami variklių paleidimui, žymiai sumažina mirgėjimo aštrumo vertes.
5. Harmoninių įtampų vertės mažos galios vartotojų tinkluose yra pakankamai aukštos. Vyrauja - 3, 5, 7 ir 9 eilės harmonikos.
6. Ne visais atvejais netiesinių iškreipimų faktorius NIF gali parodyti tikrąją harmoninių iškreipimų lygį, todėl vykdant svarbius matavimus reikia peržiūrėti visas harmoninių dedamųjų vertes ir įsitikinti ar jos neviršija leistino lygio. Ypač yra didelė 3-oji harmonika.
7. Harmoniniai įtampos filtrai yra efektyvi, ekonomiškai pagrįsta elektros kokybės gerinimo priemonė, žymiai sumažinanti harmoninių įtampų daromą poveikį, bei tikslinanti elektros energijos didinamą apskaitą.

## LITERATŪRA

1. LST EN 50160: 2010. Viešųjų elektros tinklų įtampos charakteristikos.
2. LST EN 61000-4-30. Bandytų ir elektrinio maitinimo kokybės charakteristikų matavimo metodai.
3. LST EN 61000-3-2. Ribinės harmoninių srovių spinduliuojamos energijos vertės.
4. LST EN 61000-4-7. Bendrasis elektros tiekimo sistemų ir prie jų prijungtų įrenginių harmonikų ir tarpinių harmonikų matavimo ir aparatūros vadovas.
5. LST EN 61000-4-15. Mirgėjimo matuoklis. Funkcijų ir projektavimo reikalavimai.
6. Григорьев, В.О. (2002). Петухов, В. Соколов, И. Красилов. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ. *Новости электротехники*, 6(18). 2002 — 1(19). 2003. (2002).
7. Сидоренко О. А. (2005). О методах определения симметричных составляющих напряжений и токов по результатам измерений. - Сборник трудов Донецкого национального технического университета. Выпуск 4. – Донецк, ДонНТУ Министерства образования и науки Украины.
8. Проблемы технической электродинамики. (1975), вып. 53. – С. 85 – 89.
9. Schneider Electric. *Power factor corrections & harmonic filtering (SISvar International)*. (2009). Kompaktinis diskas komerciniam naudojimui.
10. Дрехслер Р. (2005). Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке. М.: *Энергоатомиздат*, 112.
11. Левин М. С., Лещинская Т. Б. *Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ.* (1999). *Электричество*, 5, р. 18 – 22.
12. Лютий О. П. *Методи оцінювання параметрів несиметрії і несинусоїдальності режимів у системах електропостачання з різкозмінним навантаженням.* Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02. – Інститут електродинаміки Національної Академії наук України, Київ, 2003. – 19 с
13. Isoda, G. *Elektros technologijos.* (2008). *Žinynas. VŠĮ energetikų mokymo centras*, 852
14. Железко Ю. С., Артемьев А. В. Определение симметричных составляющих напряжений с помощью вольтметра. (1985). *Известия вузов. Энергетика*, 2, р. 10 – 15.
15. Кузнецов В. Г., Каплычный Н. Н., Третьяк В. Т. Определение коэффициентов несимметрии и неуравновешенности в трехфазных сетях с нулевым проводом.

## PRIEDAI

### 1 priedas

#### Įtampos įvykių ir pavienių staigiųjų įtampos pokyčių nurodomosios vertės

##### 1.1 Bendrosios pastabos

Šio priedo tikslas yra pateikti skaitytojui tam tikrų žinių apie šiame standarte apibrėžtų ir aprašytų įvykių dabar pasiektų Europoje lygių nurodomąsias vertes. Taip pat šiek tiek žinių pateikiama apie šiame standarte pateiktų verčių panaudojimo ir tolesnių matavimų duomenų kaupimo kelią, sudarant sąlygas lyginti skirtingas sistemas tarpusavyje ir turėti vieningus duomenis visos Europos mastu.

Kadangi įvairiose šalyse yra daug kontrolės sistemų, tolesnės žinios yra gaunamos nacionaliniu lygiu.

Nacionaliniame lygyje gali būti nustatyti labiau tikslūs skaičiai; dar daugiau, gali būti tam tikri nurodymai.

##### 1.2 Maitinimo įtampos ilgalaikiai pertrūkiai

Normaliajame režime ilgesnių kaip 3 minutės įtampos pertrūkių metinis dažnis tarp regionų žymiai skiriasi. Tarp kitų dalykų, tą sukelia sistemų išplanavimas (pavyzdžiui kabelinių sistemų ir oro linijų sistemų skirtumai), aplinkos ir klimato sąlygos. Siekiant sužinoti, ko galima laukti, vietinių tinklų operatorius turi konsultuotis. Skirtingose šalyse yra nacionalinė pertrūkių statistika, kuri pateikia nurodomąsias vertes. Tiekimo kokybės darinių gairių ataskaitose, pateiktose CEER, pateiktas truputis tam tikrų Europos šalių statistikos ir ilgalaikių pertrūkių reguliavimo standartų taikymo apžvalga.

Įvykių agregavimo principai, juos lyginant su ilgalaikių trūkių statistinėmis vertėmis, turi būti apgalvoti.

##### 1.3 Maitinimo įtampos trumpalaikiai pertrūkiai

Daugumos trumpalaikių pertrūkių trukmė gali būti mažesnė negu kelios sekundės. Nurodomąsias vertes, kurios skirtos suteikti skaitytojui visą informaciją apie tikėtinos amplitudės intervalą, galima rasti IEC/TR 61000-2-8 (UNIPEDDE statistikos).

Lyginant trumpalaikių pertrūkių statistines vertes, reikia apsvarstyti šiuos ginčijamus klausimus:

- įvykių agregavimo principus;
- labai trumpų arba pereinamųjų pertrūkių galimą pašalinimą.

Kai kuriuose dokumentuose yra laikoma, kad trumpalaikių pertrūkių trukmė turi neviršyti 1 min. Kartais, siekiant išvengti ilgalaikių įtampos pertrūkių, yra taikomos valdymo schemas, kurioms reikia veikimo trukmės iki 3 min.

#### **1.4 Įtampos kryčiai ir viršįtampiai**

PASTABA. Šiame skyriuje nagrinėjami viršįtampiai yra tarp laidininkų su įtampa.

##### **1.4.1 1.2 lentelės panaudojimas**

Kaip smulkiai išdėstyta gaminių standartuose, įtampos kryčiai ir viršįtampiai, atsižvelgiant į jų sunkumą, gali pakenkti įrangos veikimui.

2 ir 3 klasės yra apibrėžtos EN 61000-4-11 ir EN 61000-4-34.

Nors 1.2 lentelių skiltys tiksliai nesutampa su bandymų lygių lentele, galima laukti, kad pagal atitinkamą gaminio standartą išbandyta įranga turės pakęsti įtampos kryčius, nurodytus skiltyse:

- A1, B1, A2, B2 2 klasės;
- A1, B1, C1, A2, B2, A3, A4 3 klasės.

Palyginamieji pramoninių galios tinklų lygiai apibrėžti EN 621000-2-4.

1.2 lentelių duomenys gali padėti naudotojui nustatyti laukiamas tinklo darbo charakteristikas; siekiant nustatyti galimą prijungto įrenginio funkcionavimą, jo atsparumas turi derėti su tokiais duomenimis.

Atsparumo reikalavimų patikslinimas (apimant bandymų patikslinimą ir darbo charakteristikų kriterijų) yra gaminio komiteto pareiga. Bendrieji elektromagnetinio suderinamumo standartai (EN 61000-6-1 ir EN 61000-6-2) taikomi gaminių veikimui ypatingomis sąlygomis, kurių taikymui esami gaminio arba gaminio šeimos elektromagnetinio suderinamumo standartai nėra skirti. Vis dėlto, ir tik susipažinti, apie darbo charakteristikų kriterijų pranešama toliau.

##### **1.4.2 Darbo charakteristikų kriterijus**

**Darbo charakteristikų A kriterijus:** Aparatas turi tęsti numatytą veiką tiek bandant, tiek po bandymo. Joks darbo charakteristikų pablogėjimas ar funkcijų praradimas nėra leistinas žemiau gamintojo nurodyto darbo charakteristikų kriterijaus, jei aparatas yra naudojamas, kaip skirta. Darbo charakteristikų lygis gali būti pakeistas leistiniu darbu charakteristikų praradimu. Jei gamintojas tiksliai nenurodo mažiausio darbo charakteristikų lygio ar leistino darbo charakteristikų praradimo, bet kuri iš jų gali būti išvesta iš gaminio paskirties ir dokumentacijos ir ko naudotojas pagrįstai gali laukti iš aparato, jei jį naudoja kaip skirta.

**Darbo charakteristikų B kriterijus:** Po bandymo aparatas turi toliau veikti kaip skirta. Joks darbo charakteristikų pablogėjimas ar funkcijų praradimas nėra leistinas žemiau gamintojo nurodyto darbo charakteristikų kriterijaus, jei aparatas yra naudojamas, kaip skirta.

Darbo charakteristikų lygis gali būti pakeistas leistinuoju darbo charakteristikų praradimu. Bandant darbo charakteristikų pablogėjimas, žinoma, yra leistinas.

Jei gamintojas tiksliai nenurodo mažiausio darbo charakteristikų lygio ar leistino darbo charakteristikų praradimo, bet kuri iš jų gali būti išvesta iš gaminio paskirties ir dokumentacijos ir ko naudotojas pagrįstai gali laukti iš aparato, jei jį naudoja kaip skirta.

**Darbo charakteristikų C kriterijus:** Laikinas funkcijų praradimas yra leistinas, tikintis, kad funkcijos yra savaime atsikuriančios arba gali būti atkurtos valdymo veiksmu.

### 1.4.3 Dabar pasiekiamos nurodomosios vertės

Didžioji įtampos kryžių dauguma yra trumpesni už 1 s, o jų liekamoji įtampa viršija 40%. Žinoma, retais atvejais gali atsitikti įtampos kryčiai, kurių trukmė ilgesnė, o liekamoji įtampa žemesnė. Tam tikruose regionuose įtampos kryčiai su liekamąja įtampa tarp 90% ir 85% gal pasitaikyti labai dažnai, kaip tinklo naudotojų įrenginiuose perjungiamų apkrovų pasekmė.

Nurodomosios vertės, kurios yra skirtos supažinti skaitytoją su laukiamos amplitudės intervalu, gali būti rastos IEC/TR 61000-2-8 (UNIPeDE statistika).

### 1.4.4 Matavimo duomenų pranešimo metodai

Tiesiogiai susijusius su įtampos kryčiais iriais duomenis reikia pateikti pagal šiuos nurodymus.

Kaupiamieji įtampos lygių duomenys turi būti vienerūšiai laike. Nors įtampos lygis tas pats, tarp tinklų su dominuojančiais požeminiais kabeliais ar su oro linijomis turi būti padarytas skirtumas. Siekiant apimti visus sezoniškumo padarinius, stebėjimo trukmė turi būti ne mažiau vienerių metų.

Duomenys turi būti kaupiami į 5 ir 6 lenteles panašiose lentelėse; turi būti pranešami šie duomenys:

- kryžių ir viršįtampių dažnumo vidurkis vienam mazgui per metus;
- 90% ar 95% kryžių ir viršįtampių dažnumas vienam mazgui per metus;
- didžiausias kryžių ir viršįtampių dažnumas vienam mazgui per metus.

### **1.5 Viršįtampiai tarp laidininkų su įtampa ir žeme (laikinieji tinklo dažnio viršįtampiai)**

Žemojoje įtampoje, esant tam tikroms aplinkybėms, pažaida, sukurianti priešingos krypties srautą transformatoriuje, gali sukelti laikinuosius viršįtampus vidutinės įtampos pusėje, kurie truks tol, kol tekės pažaidos srovė. Tokie viršįtampiai paprastai nesiekia efektinės 1,5 kV įtampos.

Vidutinėje įtampoje, esant tam tikroms aplinkybėms, tokių viršįtampių laukiamoji vertė priklauso nuo sistemos įžeminimo tipo. Tiesiogiai ar per varžą įžemintose sistemose viršįtampiai paprastai neviršija  $1,5 U_c$ . Izoliuotose ar su rezonansu įžemintose sistemose viršįtampiai paprastai neviršija  $2,0 U_c$ . Įžeminimo tipą turėtų nurodyti tinklo operatorius. Nurodomąsias skirstomojo tinklo viršįtampių vertes galima rasti IEC/TR 6100-2-14. Daugiau žinių apie žemosios įtampos sistemas galima rasti IEC/TR 62066.

### **1.6 Staigiųjų įtampos pokyčių amplitudė**

Normaliajame režime žemojoje įtampoje staigieji įtampos pokyčiai paprastai neviršija 5%  $U_n$ , bet esant tam tikroms aplinkybėms nepertraukiamo lygio trumpalaikiai iki 10%  $U_n$  pokyčiai gali atsitikti keletą kartų per dieną.

Normaliajame režime vidutinėje įtampoje staigieji įtampos pokyčiai paprastai neviršija 4%  $U_c$ , bet esant tam tikroms aplinkybėms nepertraukiamo lygio trumpalaikiai iki 6%  $U_c$  pokyčiai gali atsitikti keletą kartų per dieną.

Šios nurodomosios vertės taikomos staigiųjų įtampos pokyčių reiškiniui, kaip apibrėžta 3.14.

Nacionaliniame lygyje gali būti taikomos papildomos vertės, bet tam tikrais atvejais jos yra nurodytos prie kitos staigiųjų įtampos pokyčių apibrėžties ( $\Delta U_{max}$ , žr. EN 61000-3-3:2008 3.3 poskyrį ir 2 paveikslą.

Aplamai, staigiųjų įtampos pokyčių dažnis ir amplitudė yra susijusi su naudotojų apkrovos kitimu ir su tinklo trumpųjų jungimų galios lygiu.