

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Gediminas Kazlauskas

LIFTO PAVAROS ELEKTROMAGNETINIO  
SUDERINAMUMO TYRIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

Doc. dr. E. V. Nevardauskas

ŠIAULIAI 2007

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

**TVIRTINU**  
Katedros vedėjas

Doc. T. Šimkevičius

2007-06-

LIFTO PAVAROS ELEKTROMAGNETINIO  
SUDERINAMUMO TYRIMAS

Magistro darbas

**Vadovas**

Doc. E. V. Nevardauskas

2007-06-

**Recenzentas**

**Atliko**

EM5-gr. stud.  
G. Kazlauskas

2007-06-

2007-06-

ŠIAULIAI 2007

Kazlauskas G. The investigation of elektromagnetic compatibility of lift gear: Master thesis of electrical engineer/research advisor Assoc. Prof. E.V.Nevardauskas; Šiauliai University, technology faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2007 – 60 p.

## **SUMMARY**

With the development of power electronics, electromagnetic interference and electromagnetic compatibility issues have become more and more important for both power converter designers and customers. The concept of electromagnetic compatibility that an electrical device should operate as intended with out being disturbed by, or disturbing other electrical devices, has always been an implicit part of every successful industrial control installation.

Harmonic distortion has a harmful effect on both distribution system equipment and on loads that the system supplies. Because of this, harmonic distortion is a main cause of supply quality degradation.

The purpose work of the master – the analysis of a different elevator drives electromagnetic compatibility, by researching harmonic distortion to the network and reviewing methods of harmonic mitigation.

# Turinys

ĮŽANGA.....	8
1. Lifto sandara.....	9
1.1. Lifto paskirtis bei tipai.....	9
1.2. Pagrindinės lifto dalys.....	10
1.3. Pavarų tipai, sandara ir veikimo principai.....	11
2. Lifto pavaros valdymo apžvalga.....	13
2.1. Pavaros greičio reguliavimo metodai.....	13
2.2. Greičio reguliavimas keičiant polių porų skaičių.....	13
2.3. Variklio sukimosi greičio reguliavimas keičiant maitinimo įtampos dažnį.....	14
3. Elektromagnetinis suderinamumas.....	16
3.1. Elektromagnetinio suderinamumo sąvokos.....	16
3.2. Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai.....	17
3.3. Harmoninė įtampa.....	19
3.4. Harmoninių iškraipymų įtaka el. tinklui ir įrengimams.....	20
3.5. Harmonikų efektas, kurios yra kartotinės trims.....	22
4. Elektromagnetinio suderinamumo gerinimo priemonės. Harmonikų minimizacijos principai.....	24
4.1. Atskyrimas ir ekranavimas.....	24
4.2. Įžeminimas.....	25
4.3. Įrenginių sumontavimo kokybė.....	25
4.4. Variklį maitinančio kabelio ekranavimas.....	26
4.5. Kiti el. tiekimo sistemos apsaugos būdai.....	26
4.6. Skiriamojo transformatoriaus panaudojimas.....	27
4.7. Filtrai.....	27
4.8. Linijinių droselių įjungimas.....	28
4.9. Pasyvieji filtrai.....	29
4.10. Aktyvieji harmonikų filtrai.....	29
4.11. Harmonikų minimizacijos principai el. tinkluose kurie maitina keitiklius.....	32
5. Matavimo rezultatai.....	36
5.1. Matavimo priemonės.....	36
5.2. Matavimo objektai.....	36
5.3. Matavimo eiga.....	37
5.4. Atliktų matavimų rezultatai.....	38
5.4.1. Keleivinis liftas Eurolift 1600.....	38
5.4.2. Krovinis liftas Kleeman 2600.....	41
5.4.3. Keleivinio Mogiliov lifto matavimų duomenys.....	44
6. Harmonikų filtrų skaičiavimas.....	49
IŠVADOS IR SIŪLYMAI.....	56
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	57
PRIEDAI.....	58

## **PRIEDAI**

1 priedas. Energijos kokybės matavimo prietaiso Chauvin Arnoux C.A 8334 bendras vaizdas.....	56
2 priedas. Matavimo prietaiso techniniai duomenys.....	57

## LENTELĖS

3.1 Iki 25 eilės harmoninių įtampų vertės, $U_n$ , %	18
3.2 Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai trikdžių spinduliavimui	18
3.3 Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai atsparumui trikdžiams	18
5.1 Srovės harmonikų matavimo duomenys	48
6.1 Skaičiavimų rezultatai	49
6.2 Skaičiavimų rezultatai	49
6.3 Skaičiavimų rezultatai	50
6.4 Skaičiavimų rezultatai	50
6.5 Skaičiavimų rezultatai	51
6.6 Skaičiavimų rezultatai	51
6.7 Skaičiavimų rezultatai	51
6.8 Skaičiavimų rezultatai	51
6.9 Skaičiavimų rezultatai	52
6.10 Skaičiavimų rezultatai	52
6.11 Skaičiavimų rezultatai	52
6.12 Skaičiavimų rezultatai	52
6.13 Skaičiavimų rezultatai	53
6.14 Skaičiavimų rezultatai	53
6.15 Skaičiavimų rezultatai	53
6.16 Skaičiavimų rezultatai	54
6.17 Skaičiavimų rezultatai	54
6.18 Skaičiavimų rezultatai	54
6.19 Skaičiavimų rezultatai	55
6.20 Skaičiavimų rezultatai	55
6.21 Skaičiavimų rezultatai	55

## PAVEIKSLAI

1.1 pav. Lifo sudedamosios dalys. ....	10
1.2 pav. Hidraulinio lifto schema .....	12
2.1 pav. Dviejų greičių AS variklio greičio kitimo diagrama .....	14
2.2 pav. AS variklių maitinamų iš dažnio keitiklių, jungimo schema.....	15
3.1 pav. Elektromagnetinių trukdžių sklaidimo būdai .....	16
3.2 pav. Trikdžių skleidimo (poveikio) būdai .....	17
3.3 pav. Nulinio laido srovės formavimo procesas esant netiesiniam apkrovimui .....	22
4.1 pav. Įrenginių korpusų įžeminimo būdai.....	26
4.2 pav. Nelinijinių apkrovų srovės kreivės: a) kai nėra droselio b) kai nuosekliai įjungtas droselis	28
4.3 pav. Pasyvių filtrų rūšys. ....	29
4.4 pav. Filtrų jungimo pavyzdžiai: a) bendras jungimas; b) individualus jungimas.....	31
4.5 pav. c) lygiagretus jungimas; d) daugiakompensacinis jungimas .....	31
4.6 pav. e) nuoseklus jungimas.....	31
4.7 pav. Siaurajuostis filtras. Vienalinijinė schema. ....	32
5.1 pav. Srovės kitimas važiuojant lifto kabinai žemyn ir aukštyn .....	38
5.2 pav. Srovės bangos forma lifto kabinai leidžiantis žemyn .....	39
5.3 pav. Harmoninių įtampų lygis leidžiantis tuščiai lifto kabinai žemyn .....	39
5.4 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui leidžiantis žemyn esant dalinai pakrautai lifto kabinai.....	40
5.5 pav. Harmonikų lygiai lifto kabinai kylant aukštyn .....	40
5.6 pav. Srovės kitimas važiuojant lifto kabinai aukštyn ir leidžiantis žemyn.....	41
5.7 pav. Harmoninių įtampų lygio kitimas liftui kylant aukštyn esant tuščiai kabinai .....	42
5.8 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui kylant aukštyn esant dalinai pakrautai lifto kabinai.....	42
5.9 pav. Harmonikų lygiai liftui kylant aukštyn, esant dalinai pakrautai lifto kabinai .....	43
5.10 pav. Srovės kitimas lifto kabinai leidžiantis žemyn ir kylant aukštyn .....	44
5.11 pav. Srovės bangos forma 3 fazėse ir neutralėje .....	45
5.12 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui leidžiantis žemyn .....	45
5.13 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui kylant su dalinai pakrauta kabina .....	46
5.14 pav. Harmonikų lygiai liftui leidžiantis.....	46

## IŽANGA

Technikoje egzistuoja ryšiai tarp elementų ar sistemos komponentų, kurie, siekiant išvengti trikdžių, turi būti numatyti iš anksto. Elektromagnetinis suderinamumas yra palyginti naujas dalykas, atsiradęs 60-aisiais JAV, ir būtinas kiekvieno elektrinio ir elektroninio įrenginio ir įtaiso maksimalios apsaugos patikimumui [10]. Jis atsirado dėl poreikio patikimo ir neprikaištingo darbo sudėtingos elektrotechninės bei elektroninės įrangos ir įtaisų, įtakojančių mūsų kasdienybę. Žmonės, gyvenimo išteklių ir taipogi nuosavybė privalo būti apsaugota nuo žalos, sukeltos spinduliavimo, kuri gali sąlygoti kitos priežastys.

Sparčiai plėtojasi puslaidininkių pagrindu sukurti įvairiausios paskirties įrenginiai, kurie naudojami ir pas energijos gamintojus ir pas vartotojus. Vieni įrenginiai turi trukdantį poveikį, o kiti įrenginiai ypač jautrūs trukdžiams. Todėl būtina užtikrinti, kad prieš patenkant į rinką, būtų išbandytas įrengimų atsparumas elektromagnetiniams trukdžiams bei jų pačių kuriami ir spinduliuojami elektromagnetiniai trukdžiai.

Paskutiniu metu gana sparčiai diegiami nauji el. įrengimai į tinklą skleidžia harmonikas, daugelyje iš šių įrengimų yra pastatyti filtrai, kurių tikslas sumažinti harmoninius iškraipymus. Bet pasitaiko atveju, kad tie filtrai nėra pakankamai efektyvūs, todėl reikia rūpintis papildoma apsauga, montuojant papildomus filtrus.

Šio darbo tikslas buvo ištirti lifto pavaros elektromagnetinį suderinamumą, atkreipiant dėmesį į lifto pavaros harmoninę taršą, bei išnagrinėti harmonikų mažinimo priemones.



# 1. LIFTO SANDARA

## 1.1. Lifto paskirtis bei tipai

Liftas – įrenginys su kabina, judančia tarp aukštų standžiomis vertikaliomis ar su horizontalia plokštuma sudarančiomis ne didesnę kaip 15 laipsnių kampą kreipėmis, sustojančia nustatytose vietose, skirtas žmonėms ir (arba) kroviniams kelti [1]. Liftai montuojami gyvenamuosiuose namuose, prekybos centruose, viešbučiuose, biuruose, ligoninėse, gamyklose, oro uostuose, laivuose ir t.t. Tačiau, nepriklausomai, kur jie būtų įrengti, visus lifthus remiantis Europos teisės aktais (Liftų direktyva 95/16/EB) pagal paskirtį galima suskirstyti į tris tipus:

- Keleiviniai liftai skirti žmonėms kelti,
- Keltuvai skirti žmonėms ir kroviniams kelti,
- Kroviniai liftai skirti tik kroviniams kelti.

Kiti liftų tipai tik netiesiogiai paminėti Europos Sąjungos liftų direktyvos išimtinėse sąlygose:

- Sceniniai liftai;
- Statybiniai liftai.

Kitų konstrukcijų tipams šalies viduje naudojami skirtingi pavadinimai:

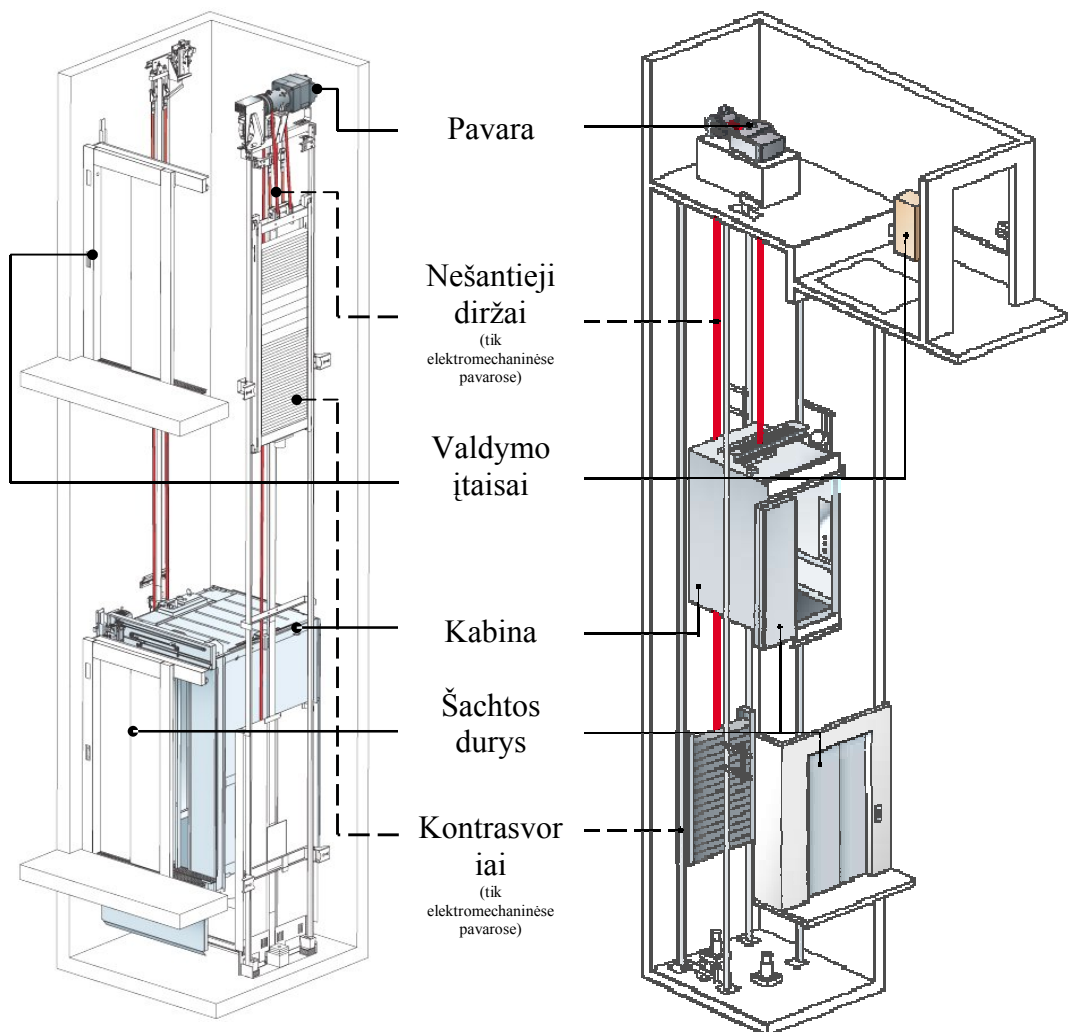
- Žmonių su negalia liftai, naudojami kelti nuožulniai ir vertikaliai;
- Liftai lovoms kelti.

Tiriamajame darbe pasirinkti liftai yra priskiriami keleivinių, keleivinių/krovinių liftų tipams, nes šio tipo liftai dažniausiai sutinkami praktikoje.

## 1.2. Pagrindinės lifto dalys

Visiems liftams yra būdingos šios sudedamosios dalys:

- **Priemonės žmonėms arba kroviniams kelti.** Tai lifto kabina arba platforma.
- **Pavara** skirta kabinos arba platformos pakėlimui ir nuleidimui.
- **Valdymo įtaisai.** Valdymo blokas, lifto krypties valdymo mygtukai. Priklausomai nuo lifto gamintojo, šie įtaisai gali būti sumontuoti durų rėme, šachtoje, lifto mechanizmo patalpoje.
- **Apsauginiai įtaisai.** Jiems priskiriami: sulaikymo įtaisas, greičio apribojimo įtaisas, šachtos durų užraktai.
- **Šachtos durys.**



1.1 pav. Lifto sudedamosios dalys.

### 1.3. Pavarų tipai, sandara ir veikimo principai

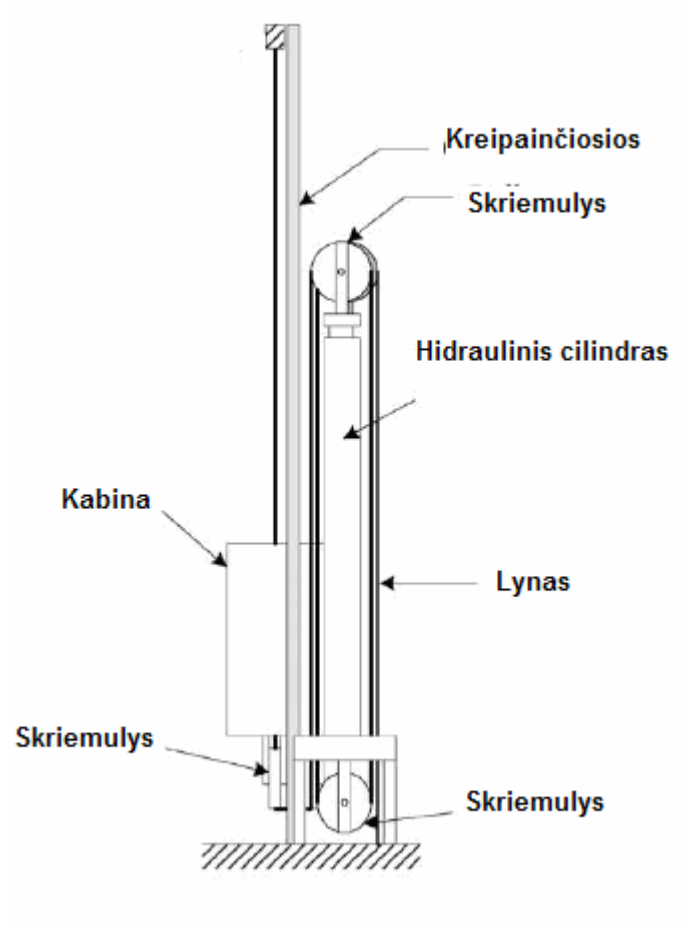
Lifto pavara – viena iš lifto sudedamųjų dalių. Tai mechanizmas, skirtas kabinos ar platformos pakėlimui ir nuleidimui. Liftuose naudojamos kelių tipų pavaros:

**Elektromechaninėje pavaroje** naudojami sinchroniniai ir asinchroniniai varikliai. Elektromechaninės pavaros dar smulkiau skirstomos į reduktorines ir bereduktorines:

1) **Reduktorinėse pavaroje** yra naudojami kintamos arba nuolatinės srovės el. varikliai. Reduktorinės pavaros naudoja sliekinį reduktorių ant kurio ašies uždėtas skriemulys, jis tiesiogiai perduoda mechaninę energiją lynams. Skriemuliuose esančiomis specialiomis žiedinėmis išpjovomis praeina lynai, kurių vienas galas pritvirtintas prie kontrasvorio, o kitas prie kabinos.

2) Naujuose šiuolaikiniuose liftuose naudojamos **bereduktorinės pavaros**, kur skriemulys tiesiogiai (be reduktoriaus) sujungtas su el. variklio ašimi, kuris perduoda sukimo momentą. Bereduktorinės pavaros turi mažo greičio, didelio sukimo momento kintamos arba nuolatinės srovės variklius. Stabdis yra sumontuotas tarp variklio ir skriemulio, kad būtų galima lifto kabiną sustabdyti, ir išlaikyti ją sustojusią. Kabinai judėti padeda kontrasvoris, kurio svoris yra toks pat kiek kabinos keliamoji galia plus 40–50 proc. lifto keliamosios galios. Kontrasvoris yra toje pačioje lifto šachtoje ir juda kreipiamosiomis kaip ir liftas. Liftui kylant į viršų jis važiuoja į apačią ir atvirkščiai. Lifto valdymas atliekamas valdiklio pagalba.

Liftuose su **hidrauline pavara**, kabinos kėlimui naudojamas cilindras. Cilindras yra sujungtas su hidraulinio skysčio pumpavimo sistema, dažniausiai šis skystis būna hidraulinis tepalas. Hidraulinė sistema sudaryta iš trijų dalių: tepalo rezervuaras, siurblys, kuris veikia su variklio pagalba, vožtuvų blokas tarp cilindro ir rezervuaro. Siurblys tiekia hidraulinį tepalą iš rezervuaro į cilindrą. Kada atbulinės eigos vožtuvas yra atidarytas, slėgis nesusidaro ir tepalas suteka atgal į rezervuarą, bet kada šis vožtuvas yra uždaras, slėgiamas tepalas teka į cilindrą ir stumia stūmoklį į viršų, tuo pačiu keliamas ir kabina. Kabinai pasiekus reikiamą aukštą, valdymo sistema siunčia signalus į vožtuvų bloką, kuris uždaro tepalo tiekimą, ir neleidžia jam atgal sugrižti į rezervuarą. Kad liftas pradėtų važiuoti į apačią, valdymo sistemą atidaro atbulinės eigos vožtuvą, kuris leidžia tepalui sugrižti atgal į rezervuarą, stūmoklis veikiamas kabinos ir krovinio masės suspaudžiamas atgal į cilindrą.



1.2 pav. Hidraulinio lifto schema

## 2. LIFTO PAVAROS VALDYMO APŽVALGA

### 2.1. Pavaros greičio reguliavimo metodai

Asinchroninio variklio rotoriaus sukimosi greitis

$$n_2 = \frac{f_1}{p}(1 - s) \quad (2.1)$$

čia  $f_1$  – tinklo dažnis;  
 $p$  – polių porų skaičius;  
 $s$  – rotoriaus slydimas.

Iš šios lygties matome, kad asinchroninio variklio sukimosi dažnį galima keisti keičiant kurį nors iš trijų dydžių: polių porų skaičių, slydimą arba maitinančios įtampos dažnį.

Polių porų skaičius paprastai keičiamas diskretiškai, todėl šiuo atveju rotoriaus sukimosi greitis taip pat kinta šuoliškai. Slydimas  $s$ , taip pat dažnis  $f_1$  gali būti keičiami sklandžiai. Šis sukimosi greičio reguliavimo, naudojant dažnio keitiklius, būdas pastaruoju metu plačiai taikomas.

### 2.2. Greičio reguliavimas keičiant polių porų skaičių

Toks reguliavimo būdas taikomas 2 greičių varikliams. Liftams su šia sistema reikalingas didelis skriemulys, kad sumažinti staigų sukimosi momento kitimą, o keleiviai šio kitimo nepajustų.

Asinchroninio variklio polių poras galima perjungti, esant dviem statoriaus apvijoms su įvairiu polių porų skaičiumi. Toks polių keitimo būdas yra brangus, nes statoriaus apvijoms suvartojama dvigubai daugiau vario. Polių porų skaičių galima perjungti, kai statoriuje suklota ir viena apvija. Paprasčiausias polių porų perjungimas, esant vienai statoriaus apvijai, kai

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1}{2} \quad (2.2)$$

čia  $p$  – polių porų skaičius ;

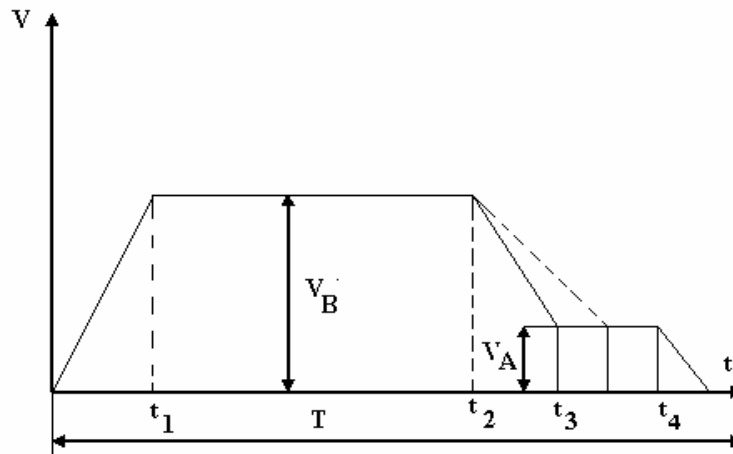
Daugiagreičiai varikliai gaminami dviejų, trijų ir keturių sukimosi greičių. Jų statoriuje gali būti suklota viena arba dvi apvijos.

Perjungiant statoriaus apvijos polių poras, sukimosi greitis reguliuojamas daugiausia variklių su trumpai sujungtu rotoriumi. Trumpai sujungto rotoriaus apvija dėl savo konstrukcijos pakankamai gerai funkcionuoja, esant įvairioms statoriaus apvijos polių poroms. Variklių su faziniu rotoriumi

atveju, perjungiant statoriaus apviją kitam polių porų skaičiui, reikia atitinkamai perjungti ir rotoriaus apviją.

Liftuose naudojami dviejų greičių asinchroniniai trumpai jungtu rotoriumi varikliai su dvejomis nepriklausomomis statoriaus apvijomis, kiekviena iš kurių turi savo polių porų skaičių.

Liftuose su dviejų greičių AS varikliu greičio diagrama, kai kabina kyla į viršų iš apatinio aukšto į vieną iš viršutinių aukštų pateikta 2.1 pav.



2.1 pav. Dviejų greičių AS variklio greičio kitimo diagrama

Kėlimui liftas paleidžiamas vienu metu įjungiant kontaktorius, po išbėgėjimo, nuo laiko momento  $t_1$ , kabina juda nominaliu darbinio lifto greičiu  $V_A$ , o variklis sukasi dažniu  $nd$ . Laiko momentu  $t_2$ , kelio perjungiklio, įtaisyto griežtai nustatytame šachtos taške, kontaktorius perjungia variklį į mažą greitį. To pasėkoje prie tinklo prijungiama apvija su dideliu polių kiekiu (mažo greičio apvija) ir variklis pradeda dirbti stabdymo režimu. Stabdant, kabinos greitis mažėja iki greičio  $V_A$ . Nuo laiko momento  $t_3$  liftas juda mažu greičiu, o laiko momentu  $t_4$ , tikslaus sustojimo jutiklio pagalba atjungiamas kontaktorius, ir liftas sustoja.

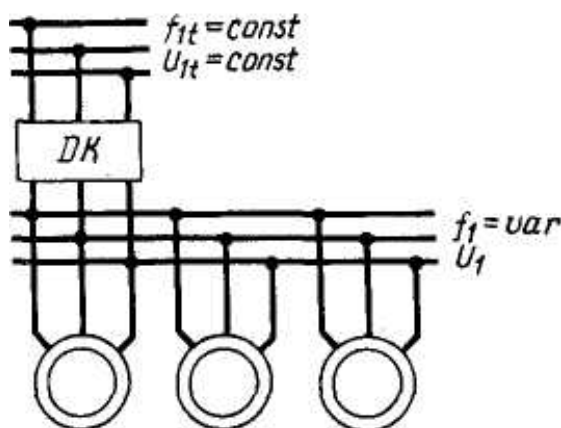
Lifto el. pavara su dviejų greičių AS varikliu, kabina nuleidžiant dirba taip pat, kaip ir ją keliant. Nuleidimo ypatumas yra tas, kad nuleidžiant pakrautą kabiną, sulėtinimas, perjungiant variklį iš didelio dažnio į mažą, mažesnis, nei tuščios kabinos sulėtinimas.

### 2.3. Variklio sukimosi greičio reguliavimas keičiant maitinimo įtampos dažnį

Asinchroninio variklio sukimosi greitį lemia trifazio elektros tinklo dažnis ir variklio polių skaičius, t. y. jei variklis maitinamas iš standartinio elektros tinklo, jis sukasi beveik pastoviu greičiu. Tačiau dažnai variklio sukimosi greitis turi būti reguliuojamas. Reguluojamo sukimosi greičio asinchroninės pavaros leidžia valdyti technologijas bei taupyti elektros energiją.

Dažnio keitikliai, skirti asinchroninių elektros variklių, kurių sūkius apsprendžia tinklo dažnis, valdymui. Šie keitikliai verčia standartinį elektros tinklą į trifazį tinklą su keičiamu dažniu bei įtampa ir leidžia valdyti technologijas, paremtas asinchroninių variklių pavaromis, bei efektingai taupyti elektros energiją.

Liftai taip pat ne išimtis. Asinchroniniai varikliai maitinami ne iš bendro tinklo, o iš dažnio keitiklio DK. 2.2 pav.



2.2 pav. AS variklių maitinamų iš dažnio keitiklių, jungimo schema

Keitiklis maitinamas iš pastovaus dažnio  $f_{1t}$  ir pastovios įtampos  $U_{1t}$  tinklo. Keitiklio išėjime paprastai kinta ne tik dažnis  $f_1$ , bet ir įtampa  $U_1$ . Dažnio keitimui gali būti panaudoti elektromašininiai arba puslaidininkiniai skirtingų veikimo principų ir konstrukcijų įrenginiai.

Asinchroninis variklis, kurio greitis reguliuojamas, keičiant dažnį, bus geriau išnaudojamas, jeigu jo maitinimo įtampa bus keičiama kaip dažnio ir variklio apkrovos funkcija. Įtampą reguliuoti tik kaip dažnio funkciją, įvertinant mechanizmo charakteristikas, galima atvirose dažninio valdymo sistemose. Kaip apkrovos funkciją įtampą reguliuoti galima tik uždaroje sistemose, kuriose grįžtamieji ryšiai panaudoti maitinimo įtampai keisti, kintant variklio apkrovai. Keičiant maitinimo šaltinio dažnį, asinchroninio variklio greitį galima reguliuoti  $\uparrow$  viršų ir  $\downarrow$  apačią nuo pagrindinio greičio. Reguluojant  $\uparrow$  viršų nuo pagrindinio greičio, maitinimo šaltinio dažnis paprastai būna aukštesnis už vardinį ne daugiau kaip 1,5–2 kartus. Nurodytas apribojimas sąlygojamas rotoriaus apvijos įtvirtinimo atsparumu. Be to, aukštėjant dažniui, didėja nuostolių galingumas, išsiskiriantis statoriaus pliene. Greitis mažinamas platesnėse ribose: jo reguliavimo diapazonas siekia 10–15.

Pastaruoju metu dažninis asinchroninių variklių sukimosi greičio reguliavimas taikomas gana plačiai; Minėtosioms pavaroms paleisti būtinas didelis pradinis sukimo momentas, o pavarai įsisukus – variklio galios pastovumas. Todėl asinchroninio variklio dažnio keitiklis turi tenkinti daugelį techninių reikalavimų.

### 3. ELEKTROMAGNETINIS SUDERINAMUMAS

#### 3.1. Elektromagnetinio suderinamumo sąvokos

**Elektromagnetinis suderinamumas** – aparatūros geba veikti nustatytoje elektromagnetinėje aplinkoje, kurioje neblogėtų jai nustatyti darbiniai parametrai, taip pat pačiai neskleisti neleistinų elektromagnetinių trikdžių į aplinką.

**Elektromagnetiniai trikdžiai** – elektromagnetinės prigimties reiškinys, kuris gali bloginti aparatūros veikimą. Elektromagnetiniais trikdžiais gali būti elektromagnetinis triukšmas, nepageidaujamas signalas arba pokytis pačioje sklidimo terpėje.

Nesuderinamumas atsiranda tada, kai vieno įrenginio darbas trukdo kito įrenginio darbui.

**Trikdžiai** – įvairūs trumpalaikiai pašaliniai elektriniai, magnetiniai, elektromagnetiniai ar kitokie virpesiai, sukelti nedidelius pereinamojo ar apdorojamo signalo iškreipimus.

**Trukdžiai** – įvairūs pašaliniai elektriniai, magnetiniai, elektromagnetiniai virpesiai, bloginantys prietaiso, įrenginio sistemos, ryšio arba duomenų perdavimo kanalo veikimą. [5]



3.1 pav. Elektromagnetinių trukdžių sklidimo būdai

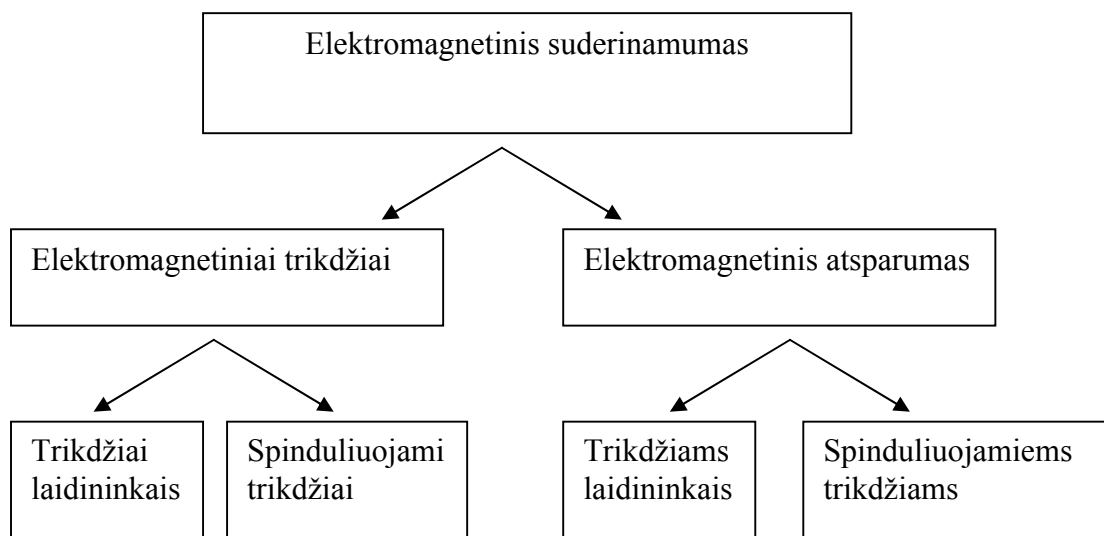
Sistemos lygyje, elektromagnetinių trikdžių perdavimo mechanizmas yra gana su dideliais nuostoliais, ir tik nedidelė dalis energijos yra perduodama trukdžius gaunančiam įrengimui.

Žinoma, jeigu šalia stovintis įrengimas yra labai jautrus trikdžiams pakanka ir nestipraus trikdymo.

**Atsparumas trikdžiams** – aparatūros geba veikti elektromagnetinių trikdžių aplinkoje, nebloginant jai nustatytų darbinių parametru.



Tiek elektromagnetiniai trikdžiai, tiek elektromagnetinis atsparumas yra skirstomi pagal trikdžių sklaidimo (ar poveikio) būdus. [15]



3.2 pav. Trikdžių sklaidimo (poveikio) būdai

Europos Sąjungos Tarybos direktyva 89/336/EEB „Dėl valstybių narių įstatymų, susijusių su elektromagnetiniu suderinamumu, suderinimo“ nusako sekančius reikalavimus:

Gamintojas turi imtis atitinkamų priemonių, kad mažintų sklaidžiamus ir spinduliuojamus trukdžius, ypač aukštus harmonikų reikšmes iki leistinių, pagal nustatytą standartą. Jis turi užtikrinti, kad tiekiamą įrangą skleistų minimalius radijo dažnio trukdžius į pagrindinį tinklą ir atitiktų reikalavimus nurodytus.

Elektrinė ir elektrotechninė aparatūra, atitinkanti direktyvos nuostatas, gali būti pateikta į rinką Europos Sąjungos teritorijoje ir laisvai pervežama bei eksploatuojama, kaip yra numatoma reglamentuotoje elektromagnetinėje aplinkoje.

### 3.2. Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai

Elektromagnetinio suderinamumo lygius nusakančiuose standartuose koordinuojami ir derinami spinduliuavimo ir atsparumo standartai, ir šių standartų tikslas siekti elektromagnetinio suderinamumo.

LST EN61000 serijos standartai nustato elektromagnetinio suderinamumo reikalavimus, kuriuos turi atitikti el. prietaisai ir įrengimai. Taip pat nurodoma, kad bendras įtampos netiesinių iškreipčių faktorius (angl. THD) turi būti mažesnis arba lygus 5 %. Ta pati vertė yra nurodyta ir elektromagnetinio suderinamumo standarte [2], kuris skirtas liftams, eskalatoriams ir judamiesiems takams.

Iki 25 eilės harmoninių įtampų vertės,  $U_n$ , %

Nelyginės harmonikos				Lyginės harmonikos	
Nekartotinės 3		Kartotinės 3			
Eilė, h	Santykinė įtampa, %	Eilė, h	Santykinė įtampa, %	Eilė, h	Santykinė įtampa, %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6..24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
23	1,5				
25	1,5				

## Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai trikdžių spinduliavimui

Laidininkais sklindantys trikdžiai	Trikdžių spinduliuotė
Harmoninių srovių spinduliavimas 50 Hz – 2 kHz	H, E laukų spinduliuotė 150 kHz – 30 MHz
Trikdžiai į maitinimo tinklą 150 kHz – 30 MHz	Elektromagnet. laukų spinduliuotė 30 MHz – 1000 MHz
Trikdžių galia 30 MHz – 300 MHz	Elektromagnet. laukų spinduliuotė 1 GHz – 4 GHz (18 GHz)

## Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai atsparumui trikdžiams

Atsparumas impulsiniams trikdžiams	Atsparumas trikdžių spinduliavimui
Atsparumas elektrostatiniams išlydžiams EN 61000-4-2	Atsparumas spinduliuojamiems elektromagnetiniams RD laukams EN 61000-4-3
Atsparumas el. spartiesiems pereinamiesiems vyksmams EN 61000-4-4	Atsparumas RD laukų indukuotiems laidininkais sklind. tikdžiams EN 61000-4-6
Atsparumas viršįtampiams EN 61000-4-5	Atsparumas įtampos kryčiams, tr. pertrūkiams ir kitimams EN 61000-4-11

### Elektromagnetinio suderinamumo reikalavimai žymėjimui:

Kad būtų supaprastintos laisvos prekybos sąlygos ir užtikrintas tam tikrų produktų saugumas, Europos šalys sukūrė eilę standartų arba taip vadinamų direktyvų. Atitiktis joms yra privaloma. Tai teisinis gamintojo ar jo atstovo įsipareigojimas.

Direktyvų reikalavimai pakeičia atskirus nacionalinius standartus, kadangi jie susiję daugiausia su produktų saugumu.

Produktai, kurie atitinka standartų reikalavimus, yra ženklinami CE ženklu.

Gaminio paženklinimas CE ženklu turi kelias prasmes ir reiškia, jog:

- gamintojas deklaruoja, jog jo pagamintas gaminys atitinka esminius Europos normų reikalavimus dėl sveikatos, naudojimo saugos ir aplinkos apsaugos, kurie yra vadinami bendru „gminių direktyvų“ pavadinimu,
- gaminio ženklavimas CE ženklu valstybinėms rinkos priežiūros institucijoms rodo, jog gaminys tos šalies rinkai yra teikiamas legaliai,
- gaminio ženklavimas CE ženklu užtikrina laisvą tokio gaminio judėjimą Europos Laisvos Prekybos Asociacijos bei Europos Sąjungos vieningoje rinkoje (iš viso 28 valstybėse),
- gaminių ženklavimas CE ženklu suteikia galimybę muitinėms bei nacionalinėms rinkos priežiūros institucijoms pašalinti neturinčius atitikties patvirtinimo gaminius iš rinkos.

### **3.3. Harmoninė įtampa**

Tai sinusinė įtampa, kurios dažnis lygus pagrindinio įtampos dažnio ir sveikojo skaičiaus sandaugai.

Harmoninė įtampa gali būti įvertinta : kiekviena atskirai, pagal santykinę amplitudę ( $U_h$ ) pagrindinės harmoninės įtampos atžvilgiu  $U_1$ , čia  $h$  – harmonikos eilė.

Bendrai, netiesinių iškreipčių faktorius (NIF– angl. THD) apskaičiuojamas pagal tokią išraišką:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2} \quad (3.1)$$

Pagrindinė tiekiamosios įtampos harmonikų priežastis yra vartotojų, prijungtų prie visų tiekimo sistemos įtampos lygių, netiesinės apkrovos. Harmoninė srovė, tenkanti sistemos pilnutinė varža, sukuria harmoninę įtampą. Harmoninė srovė ir sistemos pilnutinė varža, o tuo pačiu ir harmoninė įtampa kinta laike.

**Neharmoninė įtampa**, tai sinusinė įtampa, kurios dažnis lygus pagrindinio įtampos dažnio ir nesveikojo skaičiaus sandaugai. Tam tikrais atvejais neharmoninės įtampos, net jei jos yra žemo lygio, gali sukelti mirgėjimą arba sutrikdyti valdymo sistemas.

Harmoniką nusako amplitudė ir fazė. Amplitudžių spektras parodo harmonikos amplitudės priklausomybę nuo harmonikos dažnio, o fazinis spektras parodo harmonikos priklausomybę nuo harmonikos dažnio

### **3.4. Harmoninių iškraipymų įtaka el. tinklui ir įrengimams**

Pagrindinė įtampos ir srovės harmonikų įtaka el. pavaroms tai padidėjęs įšilimas, dėl vario ir plieno nuostolių. Taipogi, harmonikos įtakojančios mašinų darbo efektyvumą, gali įtakoti ir jų sukimosi momentą. [7]

#### **Problemos kurias sukelia harmonikos el. maitinimo sistemose:**

- variklio perkaitimas dėl 3 kartotinių harmonikų, kurios nesužadina sukimo momento variklyje, o tik priverčia išilti apviją ir šerdį,
- nuostoliai el. energijos perdavimo sistemoje paveiks reikalingos apkrovos perdavimo režimą,
- reguliuojamų variklių darbas gali tapti nestabilus,
- sumažina avarinio el. generatoriaus darbą,
- indukcinį variklių perkaitimas,
- energijos nuostoliai transformatoriuose,
- nemalonūs girdimi triukšmai, trikdžiai veikia medicininę aparatūrą, kompiuterius, radijo ir televizijos aparatūrą,
- įtampos kritimas paskirstymo tinkluose,
- maitinimo įtampos formos iškraipymas.

Vienas iš didžiausių harmonikų padarinių yra padidėję transformatoriaus šerdies nuostoliai, transformatoriaus kaitimas. Harmonikų įtaka transformatoriams yra dviguba. Pirma, srovės harmonikos didina vario nuostolius, o įtampos harmonikos didina plieno nuostolius, ko pasekoje didėja transformatoriaus įšilimas.

Harmonikos taip pat gali priversti perkaisti nulinių laidų. Tai įvyksta tada, kai srovės nuliniame laide tampa žymiai didesnės nei faziniuose laiduose.

Aukštosios harmonikos gali veikti elektromagnetinę įrangą. Tokia, kuri turi variklius, balastus, transformatorius. Ši įranga yra jautri papildomai šilumai, kurią sukuria sukurinės srovės. Ši įranga taip pat jautri ir didelėms srovėms.

Tose vietose, kur harmoninių įtampų lygio slopinimu nesirūpinama, jų vertės artimos ribai arba net neviršija standarto rekomendacijas.

Vartotojų tinkluose didžiausią vertę turi 3, 5, 7, 9 eilės harmonikos. Tokios eilės harmonikų pagrindiniai šaltiniai yra dažnio keitikliai, impulsiniai maitinimo šaltiniai ir liuminiscencinės

lempos. Jeigu nekreipsime dėmesio į jas skleidžiančius šaltinius sukursime galimybę harmonikų rezonansui.

5-tos eilės įtampos harmonika gali sukelti rimtas problemas trifaziams varikliams. 5 eilės harmonika yra neigiamos eilės harmonika, ir patekusi į variklį sukelia neigiamą sukimosi momentą, tai lėtina variklio sukimosi greitį. Rezultatas toks, kad variklyje atsiranda viršsroviai, nuo kurių įtakos variklis gali perkaisti ir sugesti. Todėl 5 eilės harmonikos panaikinimas ir trifazio tinklo yra vienas iš prioritetų.

5-ta, (11-ta, 17-ta ir tt.) harmonikos turi neigiamą fazių seką, tokiu būdu yra sukuriamas priešingas sukimo momentas, todėl sumažėja variklio sukimo momentas. Tik 7-ta (13-ta, 19-ta ir tt.) sukuria teigiamą sukimo momentą ir sužadina sukimo momentą, ta pačia kryptimi, koks yra pagrindinis sukimo momentas.

Esant dideliame harmonikų kiekiui, įtampos kritimas kabeliuose ir laiduose būna didesnis negu leistina, o tipiniuose paskirstymo tinkluose ilgesniuose negu 100m gali vykti dideli įtampos iškraipymai apkrovimo grandinėse.

### 3.5. Harmonikų efektas, kurios yra kartotinės trims

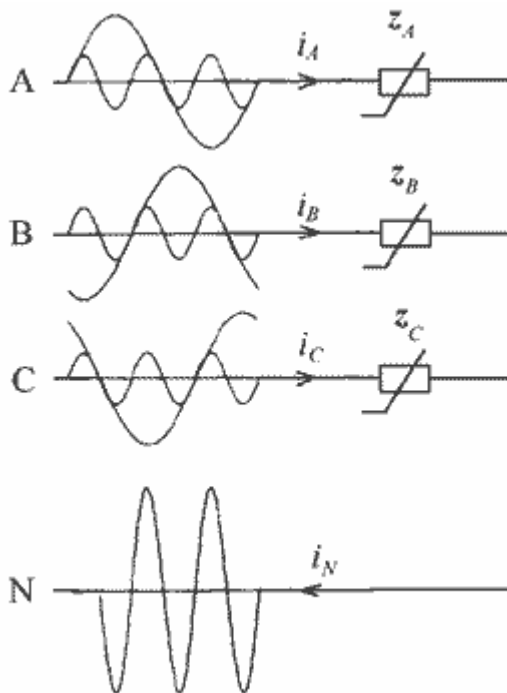
Aukštosios srovės harmonikos, kurios yra kartotinės trims ir yra generuojamos vienfazės apkrovos, turi didelę įtaką amplitudės koeficientui. Subalansuotoje (simetrinėje) trifazėje sistemoje harmoningos srovės visuose trijuose fazėse perstumtos  $120^\circ$  viena kitos atžvilgiu, todėl srovių suma nuliniame laide lygi nuliui. Nėra įtampos kritimo neutraliajame kabelio laide.

Ši nuostata yra teisinga daugumai harmonikų. Dalis iš jų turi srovės vektoriaus sukimosi kryptį į tą pačią pusę kaip ir pirmoji (t.y 50 Hz) ir turi tiesioginę seką. Kitos sukasi priešinga kryptimi ir turi atbulinę seką. Tai netinka harmonikoms, kurių kartotinumai yra lygus trims:

$$n=3(2k+1) \quad (3.2)$$

kur  $k=0,1,2,\dots$

Trifaziuose tinkluose jos nustumtos  $360$  laipsnių viena atžvilgiu kitos sutampa pagal fazę ir sudaro nulinę seką. Neporinės harmonikos kartotinės trims, sumuojasi neutraliajame laidininke.



3.3 pav. Nulinio laido srovės formavimo procesas esant netiesiniam apkrovimui

Kadangi, šios harmonikos sudaro didžiąją dalį esamos srovės reikšmės, bendra srovė neutralėje gali viršyti fazinės srovės dydį.

$$I_N = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + \dots} \quad (3.3)$$

Neteisingai suprojektuoti keturlaidžiai kabeliai trifaziuose tinkluose, gali perkaisti net užsidegti, todėl būtina didinti maitinimo kabelių neutralės laidininko skerspjūvį. Harmonikos, kurių kartotinumai lygūs 3, sudaro įtampos kritimą neutraliame ir faziniuose laiduose, bei sukelia įtampos formos iškreipimus kituose imtuvuose, prijungtuose prie šio tinklo. [8]

### **Vibracija**

Dėl aukštųjų harmonikų egzistavimo indukciniai varikliai maitinimo įtampoje, susidaro aukšto dažnio harmonikos magnetiniame lauke, kurios indukuoja EVJ rotorius apvijose aukšto dažnio harmonikų sroves. Šios harmonikos sąveikaudamos su pagrindiniu magnetiniu lauku, sudaro papildomus mechaninius momentus ant elektros mašinos veleno. Dėl šios priežasties susidaro veleno sukimo momento pulsacijos. Esant ekstremalioms sąlygoms, gali kilti besisukančio rotoriaus vibracijos prie rezonansinio dažnio, kuris sukelia metalo nuovargį, netgi galimas variklio veleno sugadinimas.

### **Įšilimas ir papildomi nuostoliai transformatoriuose ir elektros mašinose**

Papildomi nuostoliai, sukiantis transformatorių perkaitimą, esant aukštosios harmonikos, kyla dėl skin-efekto (kai srovė teka laidininko paviršiumi) varinėje apvijoje (aktyvinės apvijos varžos padidėjimas didėjant dažniui), o taip pat nuostolių padidėjimas dėl histerezės ir sukurinių srovių transformatoriaus magnetolaidyje.

Elektros mašinose, be analogiškų nuostolių statoriuje (nuostoliai varijuoja ir magnetolaidyje) dėl žymaus skirtumo besisukančių magnetinių laukų susidaro papildomi nuostoliai rotoriaus dempferio apvijoje ir elektros mašinos magnetolaidyje. [8]

## **4. ELEKTROMAGNETINIO SUDERINAMUMO GERINIMO PRIEMONĖS. HARMONIKŲ MINIMIZACIJOS PRINCIPAI**

Vienos iš pagrindinių triukšmų ir trukdžių mažinimo priemonių yra įrenginių įžeminimas, ekranavimas ir filtrų statymas.

### **4.1. Atskyrimas ir ekranavimas**

Suderinamumo klausimą jau galima pradėti spręsti dar projektavimo stadijoje. Projektuojant svarbu, kad jautrūs el. komponentai, ypatingai matavimo įranga, būtų kiek įmanoma toliau nuo aukštų įtampų ir galios elektronikos (pvz. dažnio keitikliai). Triukšmų sumažinimui taip pat įtakos turi ir kabelių ekranavimas.

Ekranavimo tikslas yra neleisti bet kokiems radijo trukdžiams patekti ar išeiti iš sistemos. Pirma, apsaugomi signalai, einantys kabeliu, nuo išorinių trikdžių. Antras, yra svarbu apsaugoti išorinius įrenginius nuo nepageidaujamų elektromagnetinių triukšmų spinduliavimo.

Spintos, kuriuose sumontuoti įrengimai, taip pat turi atlikti ekranavimo funkciją kaip ir kabeliai. Pavara su perjungimo elementais yra pagrindiniai trukdžių šaltiniai, taigi spinta atlieka pirmą apsauginę funkciją. Taip pat būtina, kad kabelis iš valdymo spintos į variklį būtų ekranuotas. Variklio korpusas yra gana solidi ir efektyvi apsauga. Šie trys ekranavimai – valdymo spinta, kabelio šarvas ir variklio korpusas turi būti sujungti kartu, kad suformuotu vieningą ekraną.

Ekranuojant valdymo ir variklio galios kabelį yra išsprendžiamas optimalus EM suderinamumas. Svarbu tai, kad ekranas būtų jungiamas prie įžeminimo kontaktų. Tvirtas sujungimas gali padėti išvengti skleidžiamų triukšmų problemos. Prijungimas prie įžeminimo kontaktų abiejuose kabelio galuose, taip pat gali sumažinti skleidžiamų triukšmų lygį. Aišku, svarbu atkreipti dėmesį, kad gali iškilti saugumo problemų, jeigu abiejuose įžeminimo galuose yra skirtingas potencialų lygis. Faktiškai, gaunasi taip, kad ekranas tampa laidininku, kuriuo teka srovė.

Įsigaliojus elektromagnetinio triukšmo spinduliavimo standartui LST EN 50081-1:1995, požiūris į ekranavimą tapo dar labiau svarbus. Šis standartas apima aukšto dažnio (nuo 30 MHz iki 1 GHz) spektrą, todėl labai svarbu naudoti kokybišką, pintą ekranavimą visuose kabeliuose, netgi žemos įtampos kabeliuose, nes dėl smulkių įplėšimų ir trūkumų, atsirandančių kabeliuose ekranuotose folija, nėra efektyvu naudoti šį ekranavimo būdą prie aukštų dažnių.



## 4.2. Įžeminimas

Įžeminimo sistema turi būti suprojektuota, kad užtikrinti asmeninę apsaugą ir instaliacijos apsaugą nuo pažeidimų. Tai vienas iš svarbių elementų, sprendžiant elektromagnetinių triukšmų mažinimo problemas, jis šiek tiek skiriasi nuo įprasto įžeminimo.

Įžeminimo vienas iš pagrindinių uždavinių užtikrinti personalinę apsaugą, tuo pačiu potencialų skirtumas tarp dviejų taškų turi būti kiek galima mažesnis. Vietinės techninės normos tiksliai apibrėžia įžeminimą, tiek, kiek tai apsprendžia asmeninę saugumą, bet retai tinkamai apibrėžia įžeminimą aukšto dažnio sistemose.

Antras uždavinys yra apsaugoti jautrią elektroniką ir el. sistemą, įžeminimas turi būti suprojektuotas, kad minimalizuoti srovės generuojamus įtampos triukšmus.

Suprojektuotas įžeminimas taip pat turi sekančius minimalius reikalavimus:

- apsaugoti personalą ir įrangą nuo el. pavojų;
- sumažinti potencialą į sistemos neutralę;
- sumažinti ar eliminuoti elektrostatinis ir elektromagnetinius trukdžius kylančius sistemos viduje.

Gerą saugumą ar įžeminimą galima užtikrinti su laidu ar mažo ploto kontaktiniu sujungimu.

Kad pasiekti reikiamą efektyvumą prie aukštų dažnių, įžeminimas reikalauja plataus sujungimo ar pintos juostos. Paprastas laidas tinkamas tik prie radijo dažnių. Todėl, taip pat labai svarbi yra pati montavimo kokybė, tvirtinimo vietose pašalinant dažus.

Elektrinių įrenginių prijungimas prie gero įžeminimo tinklo, duoda saugaus ir patikimo darbo garantiją. Įžeminimo kokybė nustatoma išmatavus įžeminimo kontūro elektrinę varžą.

Savaime aišku, kad įžeminimas visu pirma turi atitikti reikalaujamas technines normas.

## 4.3. Įrenginių sumontavimo kokybė

Trikdžių lygis labai priklauso nuo aukštos el. instaliacijos kokybės. Yra priimta, kad kintamos srovės filtras ir keitiklis turi gerą įžeminimą prie spintos korpuso, bei abu kabelio galai ekranuoti [18]. Gamintojas, taip pat prisiima gaminio surinkimo kokybės atsakomybę, ir turi daryti patikrinimus, prieš išleidžiant į rinką. Kada įrengime yra sumontuojama daug įvairių el. sudėtinių dalių, spinduliuojamo ir praleidžiamą triukšmo sklaidos lygis gali būti didesnis arba mažesnis už vieno komponento lygį. Atskirų komponentų atsparumo lygis čia neturi reikšmės.

#### 4.4. Variklį maitinančio kabelio ekranavimas

Daugelis spinduliuojamų radijo dažnio trukdžių srautų atkeliauja variklį maitinančiu kabeliu. Todėl svarbu naudoti ekranuotus kabelius. Kad būtų laikomasi standarte LST EN50081-1:1995 (Elektromagnetinis suderinamumas. Bendrasis spinduliavimo standartas. 1-oji dalis. Gyvenamųjų namų, prekybos ir lengvosios pramonės statiniai) nurodytų spinduliavimo reikšmių, būtina, kad variklį maitinantis kabelis būtų praveistas pro izoliuojančius vamzdžius.

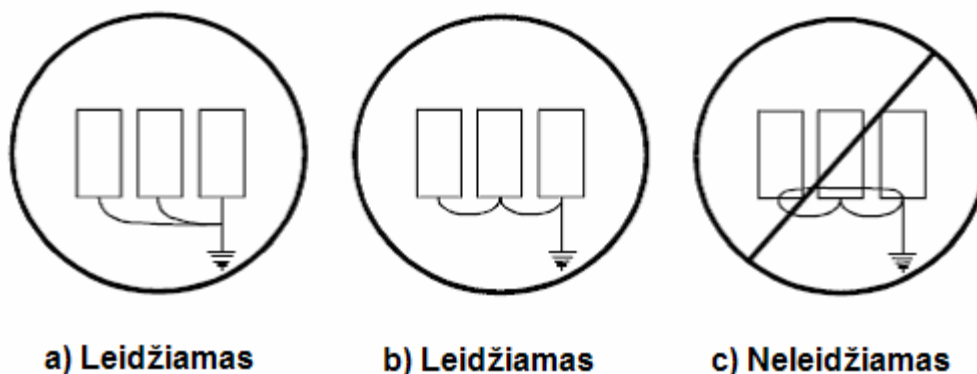
Be įžeminimo ir ekranavimo, papildomai gali būti naudojami feritiniai žiedai.

#### 4.5. Kiti el. tiekimo sistemos apsaugos būdai

Įtampą reguliuojantys transformatoriai patikimai saugo nuo viršįtampių ir el. triukšmo.

Aplinkose, kuriose yra RD trukdžiams jautrių įrenginių (pvz. ligoninėse) būtina naudoti skiriamąjį transformatorių. Skiriamasis transformatorius sumažina harmoninius iškraipymus linijoje, atskirdamas pavarą ir maitinimo tinklą sumažina RD trukdžių poveikį.

Įrenginių korpusai turi būti įžeminti nuosekliai arba kiekvienas atskirai.



4.1 pav. Įrenginių korpusų įžeminimo būdai

Maitinimo kabelių izoliaciniai vamzdžiai neturėtų būti naudojami įžeminimui.

#### 4.6. Skiriamojo transformatoriaus panaudojimas

Skiriamojo transformatoriaus apvijos turi būti sujungtos „trikampis žvaigždė“. Šis metodas naudojamas praktikoje. Daroma prielaida, kad transformatorius nepraleidžia harmonikų kurių kartotinumai lygūs trimis. Kadangi pirminėje apvijoje neutralaus laido nėra, todėl ir nėra įtampos kritimo neutralėje. Subalansuotos, kartotinės trimis, harmonikos indukuoja atitinkamus magnetinius laukus transformatoriaus šerdyje, ir jeigu jie lygūs pagal dydį ir sutampa pagal fazę, tai įtampos indukuotos pirminėje grandinėje bus kompensuotos. [8]

#### 4.7. Filtrai

Elektromagnetiniai triukšmai neigiamai veikia netoliese dirbančius kitus pramoninius elektroninius įrenginius. Elektromagnetinis trukdžius slopinantys filtrai, kintamos srovės linijoms, efektyviai padeda slopinti triukšmus ateinančius iš maitinimo tinklo ir tuos, kuriuos generuoja elektroninė įranga.

Trečioji harmonika yra dominuojanti pagal savo nepalankų poveikį vienfaziuose tinkluose. Įjungus į schemą filtrą, kuris turi mažą pilną varžą šios harmonikos dažnių srityje, sumažina nelineines apkrovos generuojamą įtampą. Tokių filtrų panaudojimas nepertraukiamo maitinimo sistemose yra naudinga nesubalansuotų apkrovų atveju, kurios turi tendenciją generuoti aukšto lygio harmonikas.

Filtrai turi būti sumontuoti prie pavarų įėjimo ir išėjimo. Įėjimo pusėje kondensatorių panaudojimas yra efektyvus būdas slopinti elektromagnetinius triukšmus. Išėjimo pusėje kondensatorių panaudojimas paprastai yra neleidžiamas dėl poveikio pavaros darbui, dažniausiai išėjimo pusėje yra įrengiami mažų verčių droseliai.

Svarbiausiai yra parinkti tinkamą filtrą ir teisingai jį sumontuoti. Yra svarbu, kad filtro korpusas būtų užemintas su valdymo spinta.

#### 4.8. Linijinių droselių įjungimas

Į vidinį tinklą nuosekliai įjungtas linijinis droselis yra pats paprasčiausias būdas sumažinti generuojamų aukšto dažnio srovės harmonikų lygį į vidinį tinklą. Toks droselis turi mažą induktyvinę varžą esant 50 Hz tinklo įtampai, ir didelę varžą, kuri slopina harmonikas.

Todėl mažėja amplitudės koeficientas  $K_a$  ir įeinančios įtampos iškraipymų koeficientas  $K_i$

$$K_a = \frac{I_{im}}{I} \quad (4.1)$$

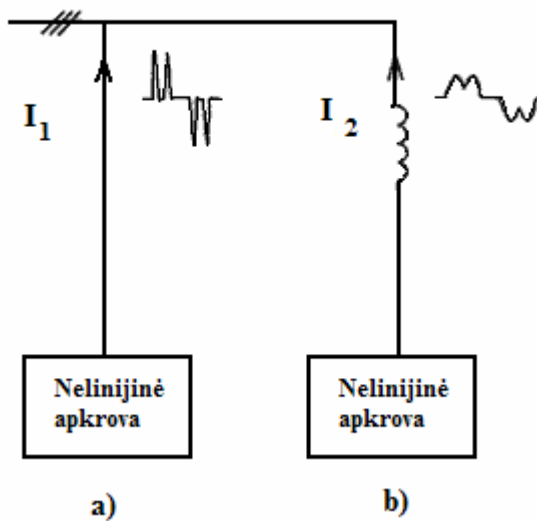
čia:  $I_{im}$  – srovės impulso amplitudė  
 $I$  – nesinusinė srovė

$$I = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n \geq 2} I_n^2} \quad (4.2)$$

čia:  $I_1$  – pirmos srovės harmonikos reikšmė  
 $I_n$  – „n“ tosios srovės harmonikos reikšmė

Įeinančios įtampos iškraipymų koeficientas  $K_i$

$$K_i = \frac{\sqrt{\sum_{n \geq 2} I_n^2}}{I_1} \quad (4.3)$$



4.2 pav. Nelinijinių apkrovų srovės kreivės: a) kai nėra droselio b) kai nuosekliai įjungtas droselis

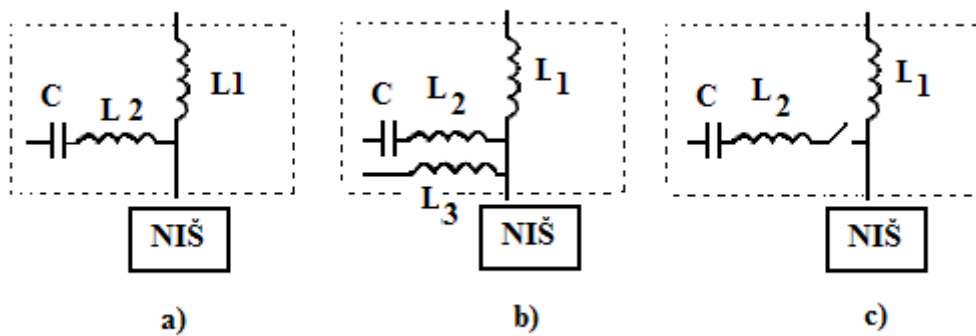
## 4.9. Pasyvieji filtrai

Suprojektuoti efektyvų, pasyvų filtrą trečiai harmonikai yra gana sudėtinga. Bet koks pasyvus filtras yra panaudojamas tik toms harmonikoms, kurioms buvo suprojektuotas, todėl kitiems dažniams bus reikalingi individualūs filtrai atitinkamiems dažniams. Bet kokiu atveju keičiantis harmonikų sudėčiai, pasyvūs filtrai turi būti keičiami arba papildomi.

Linijiniai droseliai ne visada padeda sumažinti srovės harmonikas iki norimo lygio. Todėl galima naudoti pasyvius LC filtrus, kurie suderinti tam tikros eilės harmonikai. Šio tipo filtrai sėkmingai panaudojami sistemose su nepertraukiamais maitinimo šaltiniais

Išskiriamos 3 filtrų rūšys:

- nesubalansuotas LC filtras,
- subalansuotas LC filtras,
- nesubalansuotas LC filtras su valdymu.



4.3 pav. Pasyvių filtrų rūšys.

- a) Nesubalansuotas LC filtras; b) Subalansuotas LC filtras; c) Subalansuotas LC filtras su valdymu

## 4.10. Aktyvieji harmonikų filtrai

Šių filtrų panaudojimas labai paprastas. Jėgos elektronika panaudojama harmoninių srovių generavimui būtinu maitinti nelinejines apkrovas tokiu metodu, kad srovė išlaikytų maksimalią taisyklingą sinusoidės formą.

Apkrovimo srovė matuojama rite-transformatoriumi. Pagal išmatuotus duomenis srovės generatorius į tinklą išduoda tokias harmonines sroves (pagal amplitudę, formą ir fazę), kuri būtina, kad kompensuoti apkrovos iškraipymus sekančiame srovės cikle. Praktiškai harmoninė srovė sumažėja 90 %. [9]

Šis filtras valdomas pagal gautus davinius dinamiškai reaguoja į harmonikų kaitas apkrovoje. Analizės procesai ir generavimas yra kontroliuojami programinės įrangos pagalba, todėl įrenginį lengva programuoti atskiroms harmonikoms išlaikant maksimalų naudingumo koeficientą įrenginio galimų charakteristikų ribose.

Yra išskiriami šie aktyvių harmonikų filtrų pajungimo būdai:

- individualus
- lygiagretus
- bendras
- nuoseklus
- daugiakompensacinis

Nuosekliai jungiami filurai. Šis filtrų jungimo tipas, sujungtas nuosekliai paskirstymo tinkle, kompensuoja kaip generuojamos apkrovos harmoninės srovės taip ir įtampos iškreipimus jau esančius maitinimo sistemoje. Šis sprendimas iš techninės pusės primena linijinį filtrą ir turi būti parinktas pagal pilną apkrovą. Nuoseklus jungimo panaudojimas, leidžia išvengti filtrų tarpusavio įtakos. Vienas filtras gali apsaugoti nuo didelės galios aukštų nelinejinių apkrovų harmonikų, o kitas filtras gali vykdyti mažos galios nelinejinių apkrovų harmonikų. Šis jungimo būdas padidina harmonikų kompensavimo lygį, kai apkrova yra nepastovi.

Lygiagrečiai jungiami filurai. Sujungiami lygiagrečiai kintamos srovės linijoms ir turi būti parinkti tik srovėms harmonikoms susidariusioms nelinejiniame apkrovoje. Kai reikalinga padidinti filtravimo patikimumą, galima filtrą jungti lygiagrečiai, jeigu vienas iš filtrų sugestų, tai pasiliktu dirbti likusieji filurai.

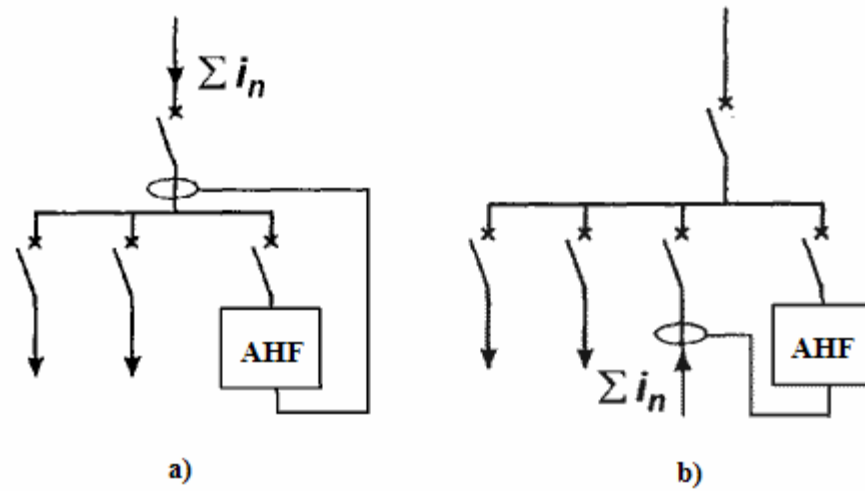
Hibridinis filtrų jungimas. Šis sprendimas, sujungiantis aktyvų ir pasyvų filtrą, gali būti nuoseklus arba lygiagretaus tipo. Pasyvus filtras vykdo pagrindinę filtraciją (pvz. 5-osios harmonikos), o aktyvus aprėpia kitas harmonikų eiles.

Individualus filtro pajungimo būdas naudojamas, tada, kai yra padidintas harmonikų lygis, kurias skleidžia nelinejiniame apkrova. Šiuo atveju stengiamasi pajungti filtrą, kuo arčiau trukdžių šaltinio.

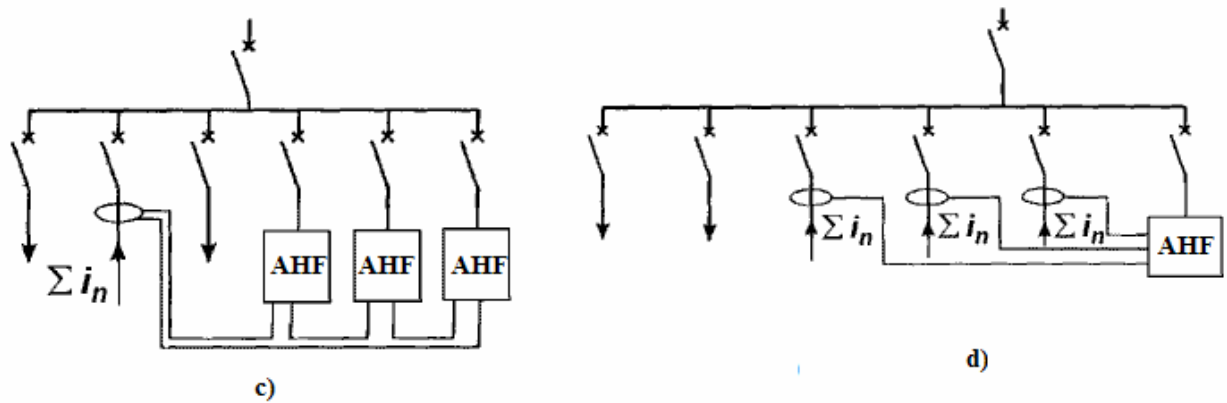
Kai įrenginiai prijungti prie vieno maitinimo kabelio ir išdėstyti skirtingose pastato vietose, naudojamas bendras jungimas, t.y. filtras jungiamas el. skydinėje bendrai visiems įrengimams.

Esant nelinejinių apkrovų grupei, tikslinga yra naudoti daugiakompensacinį pajungimo būdą. Šiuo atveju vienas filtras gali kompensuoti trijų nelinejinių apkrovų harmonikas.

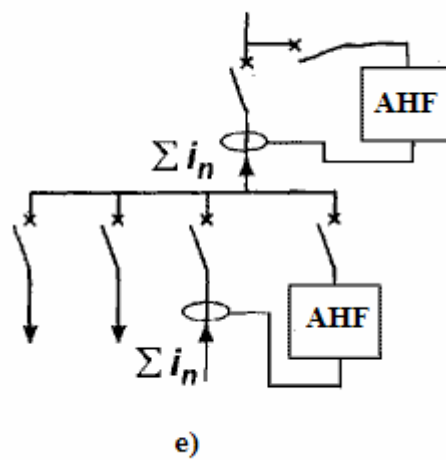
Žemiau yra pateikti filtrų jungimo pavyzdžiai:



4.4 pav. Filtrų jungimo pavyzdžiai: a) bendras jungimas; b) individualus jungimas



4.5 pav. c) lygiagretus jungimas; d) daugiakompensacinis jungimas



4.6 pav. e) nuoseklus jungimas

#### 4.11. Harmonikų minimizacijos principai el. tinkluose kurie maitina keitiklius

Paprasčiausia filtro schema, tai kondensatorių baterija, pajungta tiesiogiai prie tinklo. Pagrindinė kondensatorių paskirtis – reaktyvios galios kompensacija keitiklio prijungimo prie tinklo vietoje. Kondensatoriai taip pat yra aukštų srovės harmonikų filtrai, kadangi jų varža mažėja augant dažniui. Išnaudoti šią natūralią kondensatorių varžos charakteristiką galima tik esant atitinkamoms sąlygoms. Žinoma, kad maitinančio tinklo dažnio charakteristika, kondensatorių prijungimo prie tinklo vietos atžvilgiu, turi lygiagreto rezonanso išraišką (tarp kondensatorių talpio ir induktyviojo imtuvo).

Sąlyginis rezonansinis dažnumas (SRD) šiam kontūrai apskaičiuojamas pagal formulę

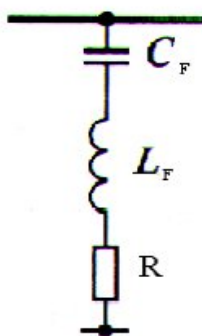
$$SRD = \frac{\sqrt{S_{tr.j}}}{Q_k} \quad (4.4)$$

čia  $S_{tr.j}$  – trumpo jungimo galia, KVA  
 $Q_k$  – kondensatorių galia, kvar

Jeigu santykinis rezonansinis dažnis sutampa su vienos stipriausiai pasireiškiančios srovės harmonika, kurią generuoja keitiklis, įvyksta srovės ir įtampos rezonansinis sustiprinimas maitinimo tinkle, kuris sumažina šio rezonanso srovės ir įtampos sinusinės kreivės iškraipymus.

Šio rezonanso srovės ir įtampos sinusinės kreivės iškraipymų sumažinimui, yra pageidautina turėti kontūrą kitų harmonikų srityje, neviršijančių pagal numerį kanoninės eilės žemiausios harmonikos.

Parenkant kondensatorių galią, keitiklio reaktyvios galios kompensavimui, tai rezonansinis dažnis būna tarp 5–13 harmonikų, t.y stiprių srovės harmonikų srityje. Norint išvengti tinklo įtampos iškraipymų ir kondensatorių perkrovimų, tenka riboti pajungiamų keitiklių galią. Populiariausios schemas su vienos grupės filtru, yra siaurajuosčiai filtrai, suderinti vienai iš keitiklio harmonikų.



4.7 pav. Siaurajuostis filtras. Vienalinijinė schema.



Reaktyvių filtrų galia turi būti nustatyta pagal reaktyvios galios kompensacijos sąlygas, keitiklio prijungimo prie tinklo vietoje. Kiti filtrų parametrai paskaičiuojami pagal formules: Filtrų talpa paskaičiuojama pagal formulę:

$$C_f = \frac{s^2 - 1}{s^2} \frac{Q_f}{\omega U^2} \quad (4.5)$$

čia  $s$  – derinamo filtro dažnis (harmonikos numeris)  
 $Q_f$  – reaktyvinis filtro galingumas prie pagrindinio dažnio, kvar  
 $\omega$  – pagrindinės harmonikos kampinis dažnis  
 $U$  – veikianti nominali tinklo įtampos reikšmė, V

Filtro induktyvumas paskaičiuojamas pagal formulę:

$$L_f = \frac{1}{\omega_s C_f} \quad (4.6)$$

čia  $\omega_s$  – derinamo filtro kampinis dažnis  
 $C_f$  – filtro talpa

Filtro induktyvioji varža paskaičiuojama pagal formulę:

$$x_{fs} = \omega_s C_f = \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \quad (4.7)$$

čia  $\omega_s$  – derinamo filtro kampinis dažnis  
 $C_f$  – filtro talpa  
 $L_f$  – filtro induktyvumas

Filtro kokybė paskaičiuojama pagal formulę:

$$d = \frac{x_{fs}}{r} \quad (4.8)$$

čia  $r$  – aktyvioji filtro varža pagal derinamą dažnį  
 $x_{fs}$  – filtro induktyvioji varža

Praktiškai filtras retai būna tiksliai suderintas harmonikos dažniui, kurią jis turi nuslopinti, kadangi:

1. maitinimo tinklo dažnis gali kisti, o tai proporcingai sukelia dažnio pakitimus
2. kondensatoriaus talpinė reikšmė ir reaktoriaus induktyvumas gali proporcingai kisti eksploatacijos procese.

Šių parametru nukrypimai įvertinami pagal lygtį:

$$\delta = \frac{\Delta\omega}{\omega_s} + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta L}{L_f} + \frac{\Delta C}{C_f} \right) \quad (4.9)$$

čia  $\Delta\omega, \Delta L_f, \Delta C_f$  – absoliutinės kampinio dažnio, induktyvumo, talpumo, nukrypimo reikšmės nuo idealių parametru.

Iš formulės matome, kad induktyvumas ir talpinis nukrypimas 1% atitinka dažnio nukrypimą 0,5%, todėl bendrą parametru pasikeitimą galima vertinti ekvivalentiniam dažnio nukrypimui.

Iš 4.10 išraiškos galima nustatyti optimalią filtro kokybės reikšmę, pagal kurią filtro varža bus minimali, esant maksimaliam dažnio nukrypimo laipsniui. Filtro išderinimo įtakos varžos dydžiui įvertinimui, dažnio charakteristika parodoma, kaip pilnos filtro varžos dydžio priklausomybė nuo ekvivalentinio nukrypimo.

$$|Z_f| \approx r\sqrt{1+4\delta^2 d^2} = x_{fs}\sqrt{d^2+4\delta^2} \quad (4.10)$$

Iš 4.10 išraiškos galima rasti filtro kokybės optimalią reikšmę, esant maksimaliam dažnio nukrypimo laipsniui, kuriam esant filtro varža bus minimali. Ši kokybės reikšmė priklauso nuo maitinančio tinklo parametru.

Siaurajuostis filtras sumažina šoninių dažnių harmonikų įtaką, jo praleidimo juosta sąlyginai apsiriboja dažniais, kuriems esant pilnoji varža  $Z = \sqrt{2r}$ . Praleidimo juosta padidėja didėjant filtro reaktyviajai galiai.

Jeigu filtras prijungtas nuolatinės srovės variklio pavaros reguliatoriaus, su aukšto stabilumo koeficientu, keitiklio įėjime, rekomenduojama optimalų rezonansinį dažnį suderinti taip, kad viršytų pagrindinės harmonikos dažnį 3,85 – 4,15 kartų, nes tai padeda išvengti nestabilaus pavaros darbo. Šis tikslas yra pasiekiamas keičiant filtrų talpi.

Plačiajuosčių filtrų parametrai skaičiuojami pagal analogiškas formules, kaip ir siaurajuosčių filtrų. Skiriasi tik filtro kokybės paskaičiavimo formulė:

$$d = \frac{r}{x_{fs}} \quad (4.11)$$

Ši formulė tarytum priešprieša 4.8 formulei, tampa pilnai paaiškinama, jeigu nagrinėtumėme filtro kokybės sąvoką, kaip dažnio charakteristikos nukrypimą nuo idealios. Idealiu filtro dažnio charakteristikos požymiu galime vadinti jo pilną varžos dydį lygu 0, filtro derinimo taške.

Siaurajuosčiams filtrams tai pasiekama esant  $R=0$ , o plačiajuosčiuose, kai  $R \rightarrow \infty$ , kadangi pagal formules 4.8 ir 4.11 abejais atvejais kokybės reikšmė eina prie begalybės. Plačiajuosčio filtro

darbo zona yra dažnio sritis nuo derinamo dažnio iki begalybės. Siaurajuosčio ir plačiajuosčio filtro charakteristikų kokybės skirtumai paaiškinami tuo, kad filtravimo savybės pasiekiamos skirtingais techniniais sprendimais.

Jeigu pirmu atveju naudojama nuoseklaus rezonanso savybė, kuri leidžia filtro derinamo dažnio srityje šuntuoti mažesnės varžos grandinę, tuo sudarant apėjimo kelią aukštų harmonikų srovei, tai antru atveju šią funkciją atlieka šuntuojantis filtro rezistorius.

Plačiajuosčiai filtrai nejautrūs dažnių nukrypimams, todėl plačiajuosčio filtro kokybė parenkama ne pagal jo darbo stabilumo išlaikymo sąlygas, esant maksimaliam išderinimui, bet pagal reikalavimą, kad harmonikų filtravimo efektyvumas turi apimti visas dažnio juostas, esančias virš rezonansinio dažnio. Praktiškai plačiajuosčiu filtrų kokybės reikšmės lygios 0,5–2.

Be pagrindinių siaurajuosčių ir plačiajuosčių žinomų filtrų schemas su sudėtingesne struktūra: siaurajuosčiai filtrai su dvigubu derinimu, trečios eilės filtrai su demferiu, dvigubi filtrai su demferiu. Pagrindinis šių filtrų privalumas – mažesni nuostoliai, negu bazinių schemų, trūkumas – sudėtingas derinimas.

Jeigu vienos grandies filtravimo kompensavimo įrenginiai negali užtikrinti reikalaujamo įtampos sinusinės kreivės iškraipymo koeficiento reikšmės keitiklio pajungimo prie tinklo vietoje, naudojami daugiagrandžiai filtravimo kompensavimo įrenginiai.

Daugiagrandžio filtro schema paprastai turi atitinkamą kiekį lygiagrečių siaurajuosčių filtrų, suderintų kanoninės eilės harmonikoms. Bendras grandinių skaičius yra nuo 1 iki 8, priklausomai, nuo sistemos parametrų ir harmonikų filtracijos reikalavimų.

Geriausias filtras aukštiesiems dažniams yra kondensatorius, kadangi jo varža, didėjant dažniui, mažėja.

## **5. MATAVIMO REZULTATAI**

### **5.1. Matavimo priemonės**

Matavimai buvo atliekami prancūzų kompanijos Chauvin Arnoux C.A 8334 tinklo kokybės analizatoriumi. Tai kompaktiškas ir smūgiams atsparus trijų fazių elektros energijos kokybės analizatorius. Prietaiso pagalba galima ne tik akimirksniu išgauti elektros energijos tinklo principines kreives (5.2 pav.), bet ir stebėti jų kaitą laiko intervale. Be to išmatuotus duomenis galima perkelti į kompiuterį programinės įrangos pagalba. Pasinaudojus perkeltais duomenimis buvo brėžiamos šio darbo histogramos. Prietaiso bendras vaizdas ir charakteristikos pateikti prieduose.

Šio matavimo prietaiso privalumas yra tas, kad jo matavimo verčių tikslumas atitinka IEC standartų keliamus reikalavimus tokiems matavimams, el. kokybė vertinama pagal EN 50160 standarto reikalavimus. Kadangi LST EN 50160 standartas yra atitikmuo EN 50160, galima teigti, kad šis prietaisas tinka atlikti matavimus.

### **5.2. Matavimo objektai**

Matavimams atlikti buvo pasirinkti trys skirtingi liftai su skirtingomis pavaromis, skirtingais valdymais, skirtinga keliamąja galia ir skirtingais gamybos metais. Sustojimų skaičius šiuose liftuose vienodas – 4 sustojimai.

Keleivinis liftas Eurolift 1000 ir krovininis liftas Kleeman 2600 – tai liftai pagaminti 2006 metais, Europos sąjungoje. Šie liftai sumontuoti neseniai atsidariusiame Šiaulių prekybos centre „Saulės miestas“. Trečias objektas – tai keleivinis, Mogiliov gamyklos liftas, kuris pagamintas Baltarusijoje 1997 metais. Jis sumontuotas Šiaulių ligoninėje.

Šie liftai pasirinkti, todėl, kad tai dažniausiai pasitaikantys liftų tipai. Liftai su pavaromis, kurias valdo dažnio keitikliai dažniausiai montuojami naujai statomuose daugiaaukščiuose gyvenamosios ar komercinės paskirties pastatuose. Hidrauliniai liftai montuojami rečiau, dėl riboto jų galimo aukštingumo, bet išlieka populiarūs žemuose pastatuose, ar ten kur reikalinga didelė keliamoji galia. Trečiasis pasirinktas liftas sumontuotas ligoninėje, prieš 10 metų. Tokio tipo liftai jau nebemontuojami, nes jie neturi reikalingų sertifikatų, neatitinka Europos sąjungos numatytų standartų [1]. Gydytojų įstaigose esanti aparatūra yra jautri pašaliniais trukdžiais ir reikalauja ypatingo dėmesio, todėl būtina užtikrinti jų apsaugą.

Liftų pavarų techniniai duomenys:

**1. Keleivinis liftas Eurolift 1000 su bereduktorine pavara ir dažnio keitikliu. Lifto keliamoji galia 1000 kg**

Sinchroninis variklis SM250.60-20 su nuolatiniais magnetais statoriuje, vardinė variklio galia  $P= 10,5 \text{ Kw}$ , nominali srovė  $I_n=29 \text{ A}$ . Variklio greitis 86 aps/min. Nominalus sukimo momentas 1200Nm. Saugumo klasė IP20. Variklis valdomas dažnio keitiklio Variodyn VF33 BR pagalba, kurio maitinimo įtampa yra 400V, maitinimo įtampos dažnis 50Hz. Išėjimo įtampa 340V, išėjimo įtampos dažnis nuo 0,5 iki 120 Hz.

**2. Krovinis liftas Kleeman 2600 su hidrauline pavara. Lifto keliamoji galia 2500 kg**

Sinchroninis variklis S462A16. Vardinė variklio galia  $P= 16\text{KW}$ , nominali srovė  $I_{nom}=34\text{A}$ .  $\cos\varphi=0,87$ . Variklio greitis  $n=2780 \text{ aps/min}$ . Saugumo klasė IP00

**3. Keleivinis Mogiliov gamyklos liftas su reduktorine pavara. Lifto keliamoji galia 450 kg.**

Dviejų greičių asinchroninis variklis, AOH180M 6/24. Didelis variklio greitis  $n_1=205 \text{ aps/min}$ , mažas variklio greitis  $n_2= 91 \text{ aps/min}$ . Vardinė galia  $P_{n1}=1,12 \text{ kW}$ ,  $P_{n2}=4,5 \text{ kW}$ , nominali srovė  $I_{n1}= 19 \text{ A}$ ,  $I_{n2}= 11 \text{ A}$ .

### 5.3. Matavimo eiga

Matavimai buvo atliekami pajungus matavimo prietaiso įtampos matavimo gnybtus ir srovės matavimo reles prie įvadinio automatinio išjungiklio, iš vartotojo pusės.

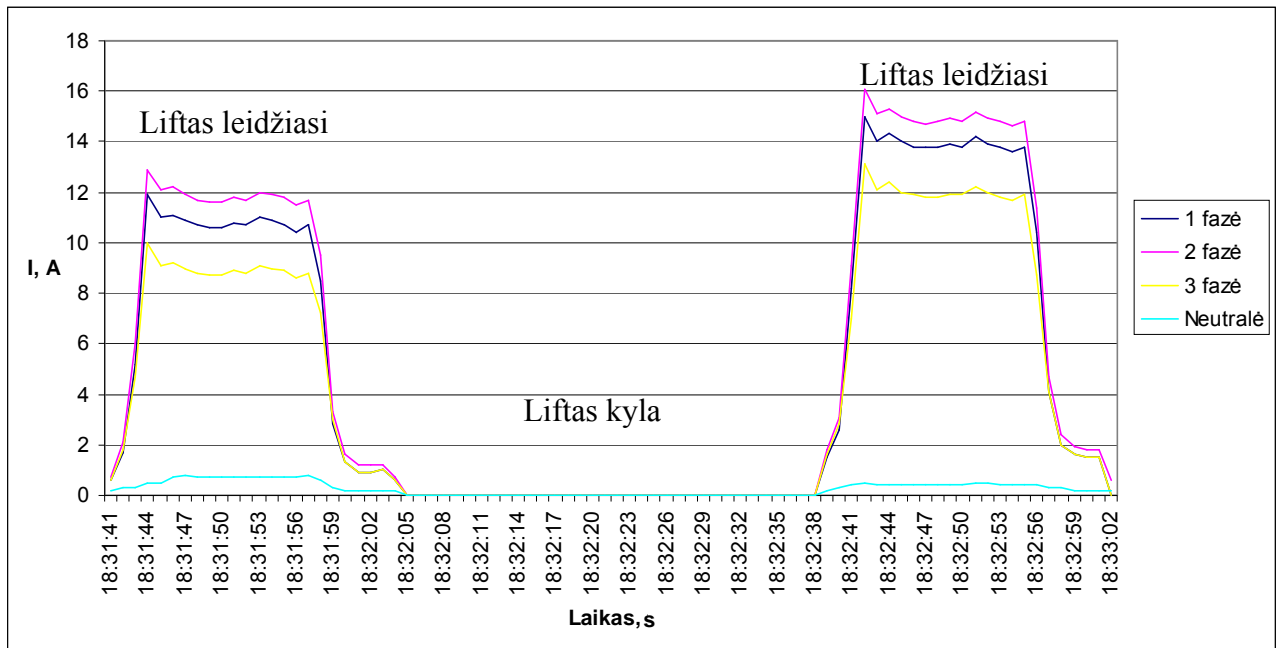
Buvo atliekamas nepertraukiamas matavimas lifto kabinai važiuojant žemyn ir aukštyn, esant tuščiai ir dalinai apkrautai kabinai. Tyrimo metu buvo fiksuojami šie rodikliai:

- Kintamos srovės efektinės vertės,
- Kintamo įtampos efektinės vertės,
- El. tinklo įtampos dažnis,
- Įtampos ir srovės harmoniniai iškraipymai.

## 5.4. Atliktų matavimų rezultatai

### 5.4.1. Keleivinis liftas Eurolift 1600

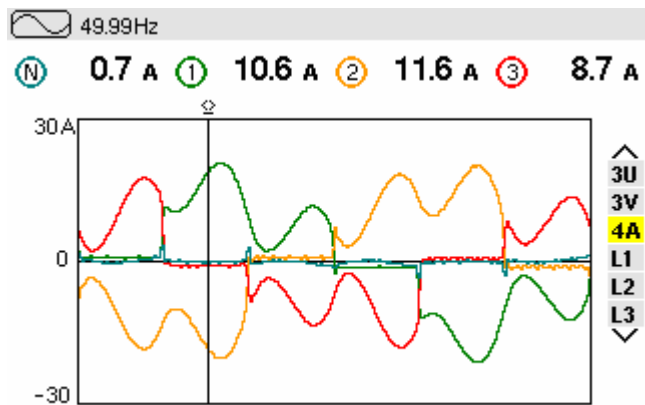
Matavimas buvo pradėtas lifto tuščiai kabinai pradėjus važiuoti žemyn į pirmo aukšto sustojimą, ir kylant aukštyn į 4 aukštą. Antro važiavimo ciklo metu liftas važiavo su žmonėmis, lifto valdymo kompiuteris rodė, kad liftas pakrautas 40 % savo keliamosios galios (5.1 pav.).



5.1 pav. Srovės kitimas važiuojant lifto kabinai žemyn ir aukštyn

Analizuojant srovės kitimą 5.1 pav. matome, kad liftui leidžiantis žemyn (18 val. 31 min. 41 s.) srovė yra naudojama, o liftui kylant (18 val. 32 min. 06 s.) srovė visiškai nenaudojama, tai vyksta todėl, kad lifto kabinai pakelti yra naudojamas kontrasvoris, kuris, atleidus variklio stabdį, „užkelia“ lifto kabiną į viršų. Dalinai pakrautai lifto kabinai leidžiantis žemyn (18 val. 32 min. 38s.) pastebimai išauga naudojamos srovės reikšmės, nes variklis dirba labiau apkrautas.

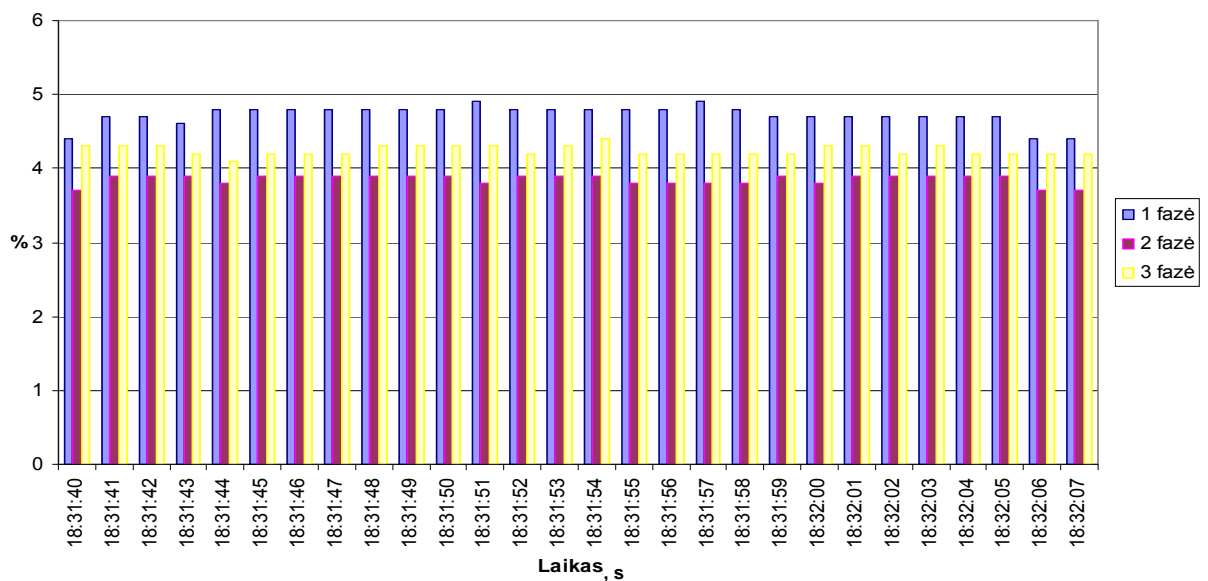
Šių procesų metu, kai liftas leidžiasi, srovės bangos forma geriausiai iliustruoja harmoninių trukdžių efektą. Nagrinėjant srovės sinusoidės formą galime pastebėti, kad ji akivaizdžiai iškraipyta ir ištęsta, dėl sklaidžiamų harmonikų 5.2 pav.



5.2 pav. Srovės bangos forma lifto kabinai leidžiantis žemyn

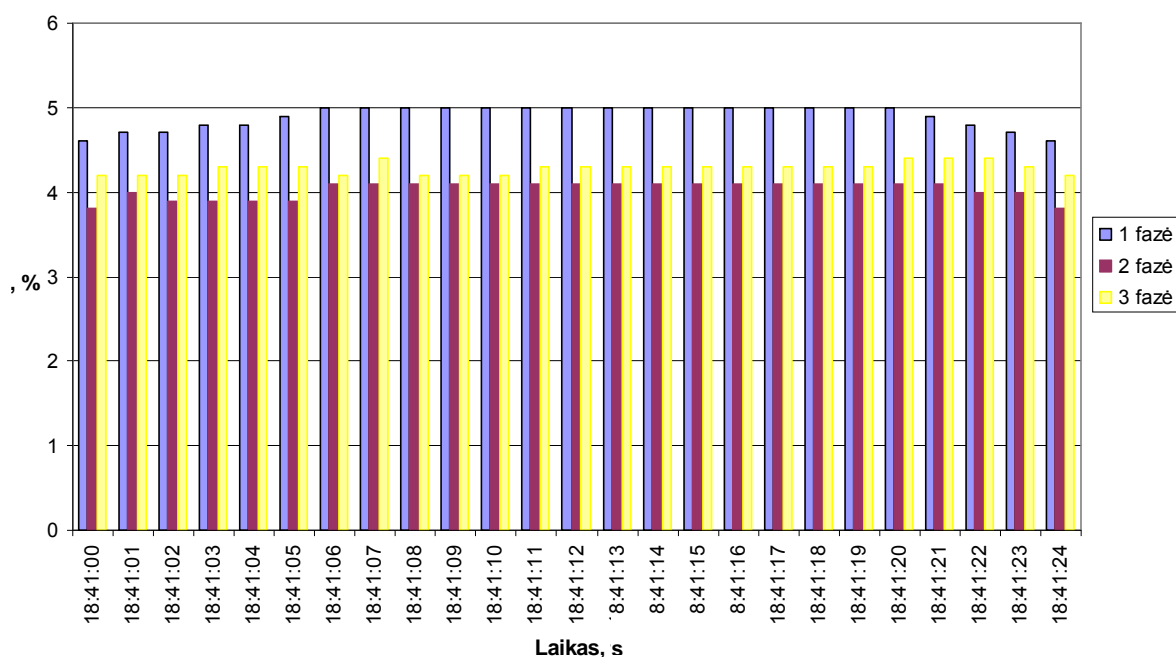
- čia N – neutralė, mėlyna spalva  
 1 – pirmą fazė, žalia spalva  
 2 – antra fazė, geltona spalva  
 3 – trečia fazė, raudona spalva

Lifto kabinai pirmą kartą leidžiantis žemyn **Error! Reference source not found.** pav., harmoniniai iškreipymai 1 fazėje padidėja nuo 4,3% iki 4,8 %, tačiau neviršija standarte apibrėžtos leistinos vertės 5 %. [1]



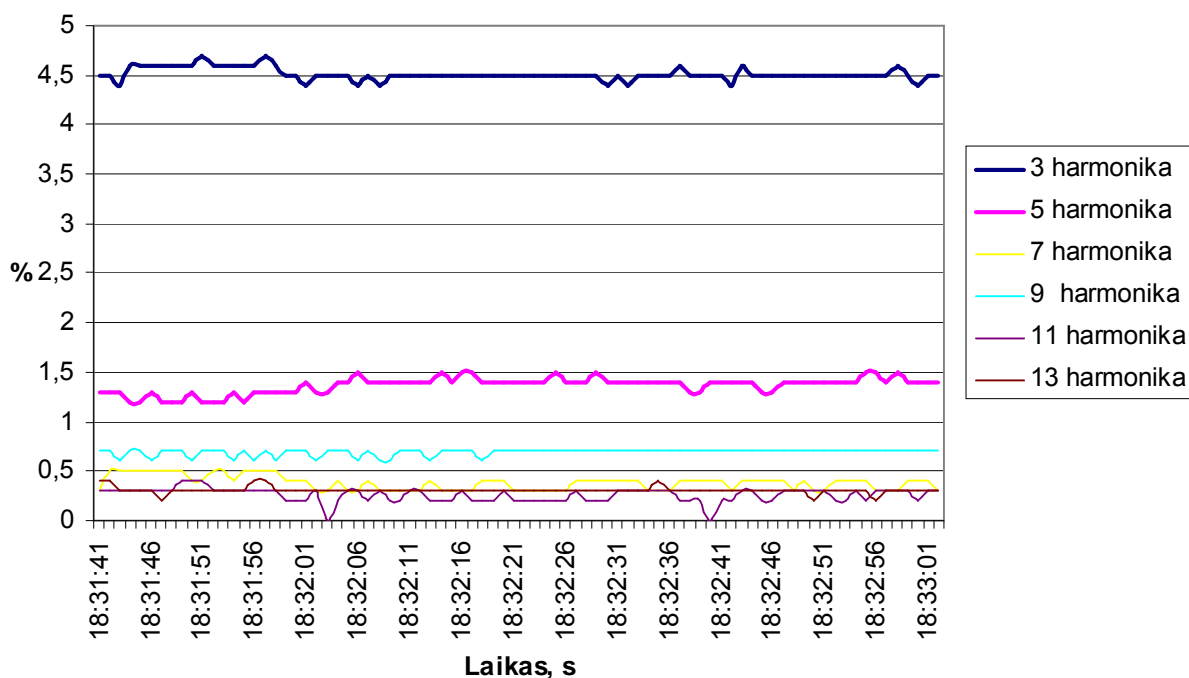
5.3 pav. Harmoninių įtampų lygis leidžiantis tuščiai lifto kabinai žemyn

Lifto kabinai leidžiantis dalinai pakrautai 5.4 pav., pasikeitus variklio apkrovai, harmoninės įtampos lygis priartėja iki standarte [2] numatytos leistinos 5% vertės. Netiesinių iškreipių faktoriaus vertė neviršijama, nors yra pakankamai aukšta.



5.4 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui leidžiantis žemyn esant dalinai pakrautai lifto kabinai

Analizuojant, kokios eilės harmonikų sklaidžia lifto pavara, **Error! Reference source not found.** pav. matome, kad harmoninės taršos dalį daugiausiai sudaro 3 ir 5 eilės harmonikos. Lyginant su kitomis harmonikomis labiausiai išsiskiria 3-ios eilės harmonika.

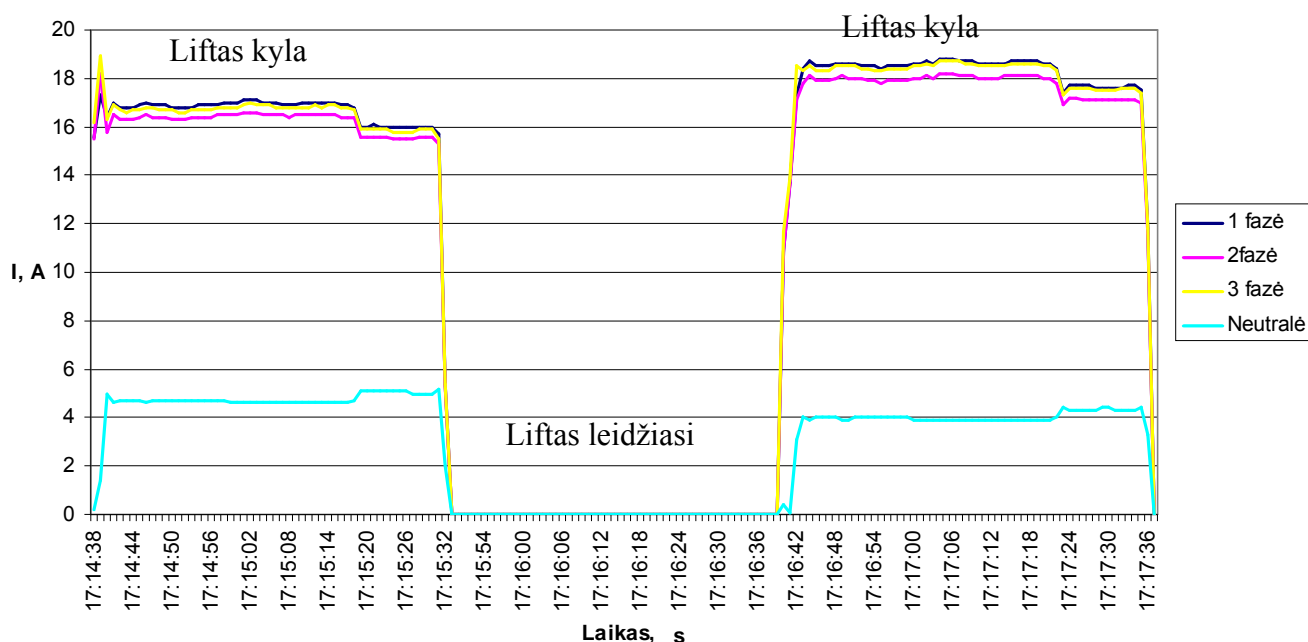


5.5 pav. Harmonikų lygiai lifto kabinai kylant aukštyn



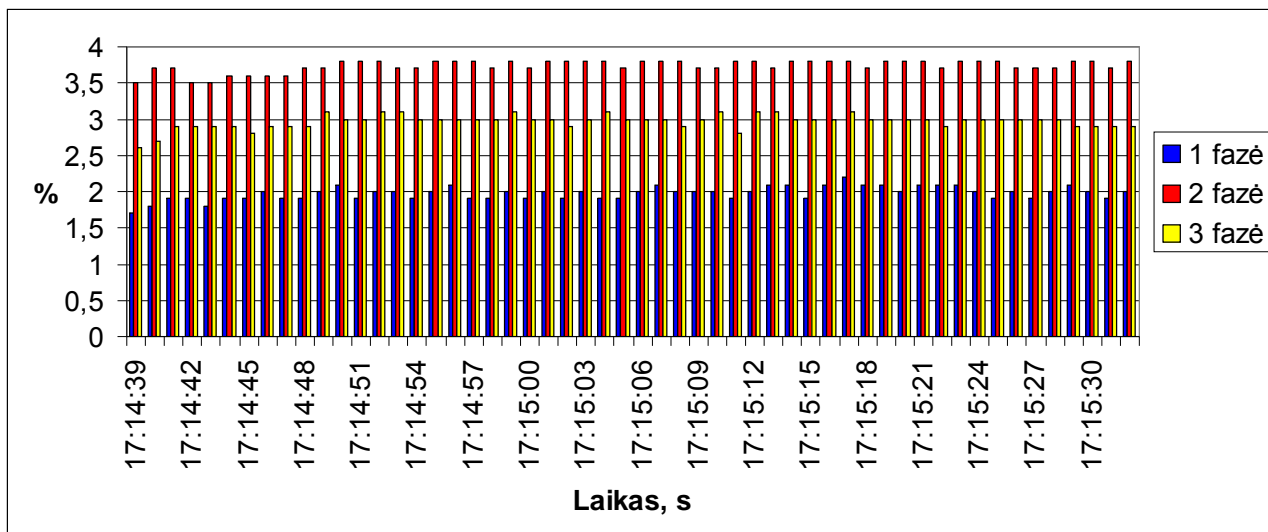
#### 5.4.2. Krovinis liftas Kleeman 2600

Matavimas buvo pradėtas lifto tuščiai kabinai pradėjus važiuoti aukštyn į ketvirto aukšto sustojimą, ir leidžiantis žemyn į 1 aukštą. Antro važiavimo ciklo metu liftas važiavo su kroviniu, lifto valdymo kompiuteris rodė, kad liftas pakrautas 34% savo keliamosios galios. Priešingai nei keleiviniame lifte Eurolift 1000, analizuojant srovės kitimą 5.6 pav. matome, kad lifto kabinai kylant aukštyn (17 val. 14 min. 38 s.) srovė yra naudojama, o lifto kabinai leidžiantis žemyn (17 val. 15 min. 342 s.) srovė visiškai nenaudojama, kaip ir aukščiau aprašytame keleiviniame lifte. Galima sakyti, kad kabinos nuleidimui variklis visiškai nereikalingas, nes pro atidarytą vožtuvą tepalas iš cilindro subėga atgal į baką, o kabina nuleidžiama žemyn. Kaip ir Eurolift lifte, srovė pastebimai išauga, kai lifto kabina yra dalinai pakrauta, nes varikliui reikia didesnės jėgos, kad sukelti didesnę slėgį tepalo pumpavimui į cilindrą.



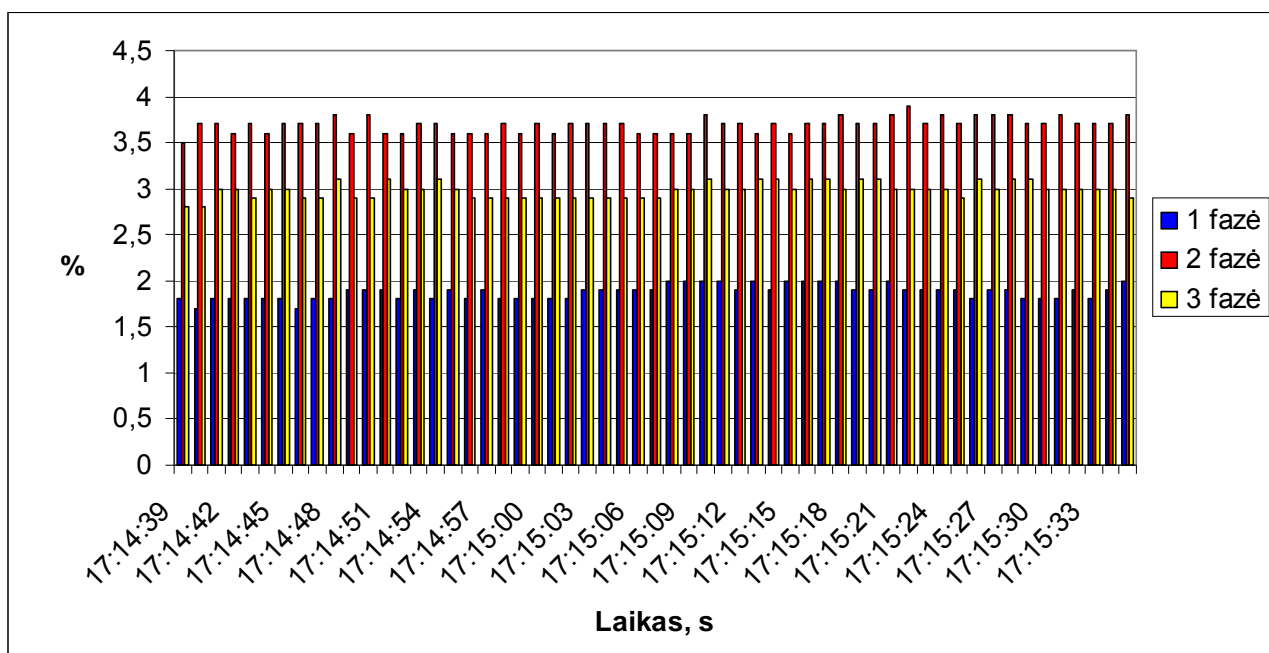
5.6 pav. Srovės kitimas važiuojant lifto kabinai aukštyn ir leidžiantis žemyn

Analizuojant harmoninių įtampų lygį **Error! Reference source not found.** pav., matome, kad lifto pavara, be dažnio keitiklio, neskleidžia tokios didelės harmoninės taršos, lyginant su pirmojo tiriamojo lifto pavara. Kabinai kylant aukštyn harmoninių iškreipymų lygis nežymiai keičiasi, tačiau net nepriartėja iki 4%.



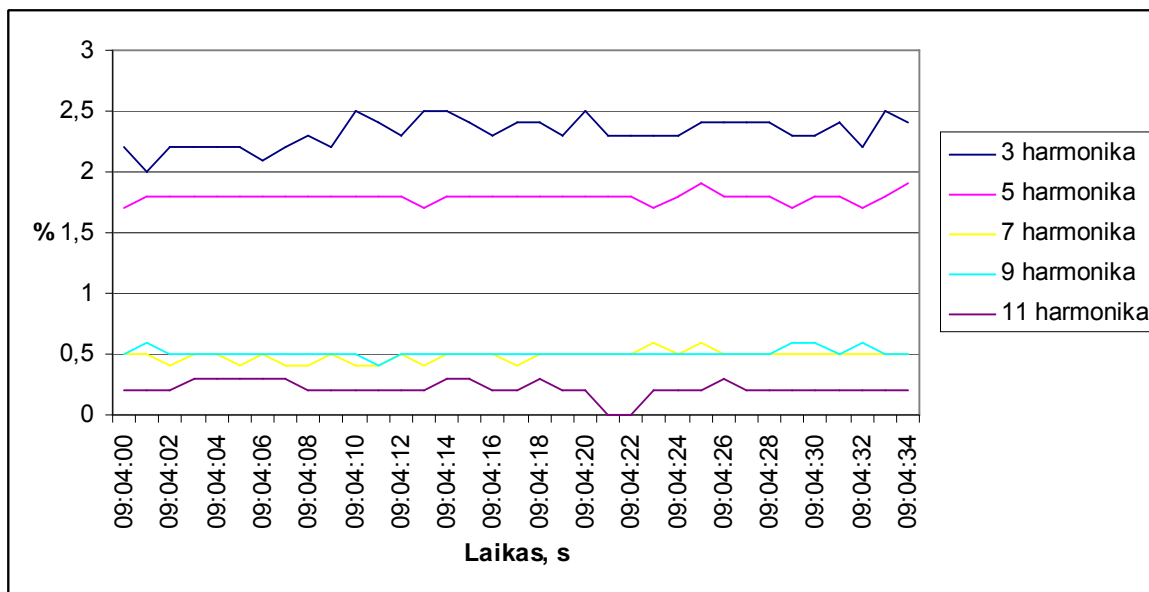
5.7 pav. Harmoninių įtampų lygio kitimas liftui kylant aukštyn esant tuščiai kabinai

Lyginant harmoninės taršos lygį, padidėjus lifto apkrovai, su prieš tai važiavusiu tuščiu liftu žymių pakitimų nepastebėta. Harmoninių įtampų lygio pokyčio, lifto kabinai kylant dalinai pakrautai, neužfiksuota (**Error! Reference source not found.** pav.).



5.8 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui kylant aukštyn esant dalinai pakrautai lifto kabinai

Analizuojant, kokios eilės harmonikų skleidžia lifto pavara, **Error! Reference source not found.** pav. matome, kad harmoninės taršos dalį daugiausiai sudaro 3 ir 5 eilės, bet standarto apibrėžtų verčių jos nesiekia. Vertės mažesnės, nei lifto, kurio pavara valdoma dažnino keitiklio pagalba.

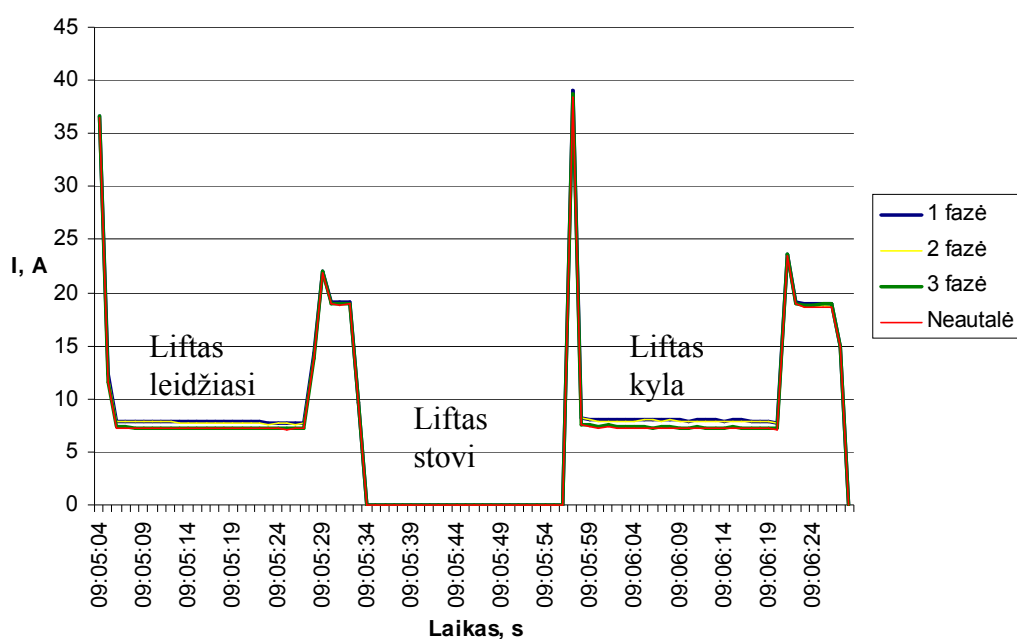


5.9 pav. Harmonikų lygiai liftui kylant aukštyn, esant dalinai pakrautai lifto kabinai

### 5.4.3. Keleivinio Mogiliov lifto matavimų duomenys

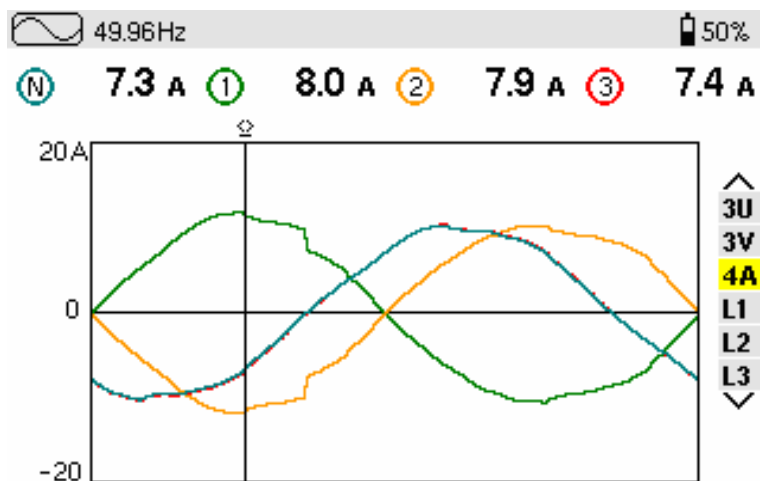
Atliekant šio lifto matavimus, bandymo, kada liftas važiuoja tuščias, padaryti nebuvo įmanoma. Kadangi liftas yra ne su automatinėmis durimis, todėl jo kabinoje visada važiuoja liftininkas, kuris valdo liftą. Todėl visi užfiksuoti rezultatai yra su dalinai pakrauta kabina.

Šio lifto pavara su dviejų greičių asinchroniniu varikliu, kabiną nuleidžiant į 1 aukšto sustojimą dirba taip pat kaip ir ją keliant į viršutinį sustojimą, naudojamos srovės lygis nepasikeičia. Analizuojant srovės kitimą, liftui leidžiantis ir kylant aukšty, **Error! Reference source not found.** pav. matomi srovės šuoliai, kuriuos įtakoja paleidimo srovė, varikliui pradedant dirbti (09 val.05 min.04 s.) ir kai variklis persijungia į mažą greitį (09 val. 05 min. 30 s.).



5.10 pav. Srovės kitimas lifto kabinai leidžiantis žemyn ir kylant aukšty su dalinai pakrauta kabina

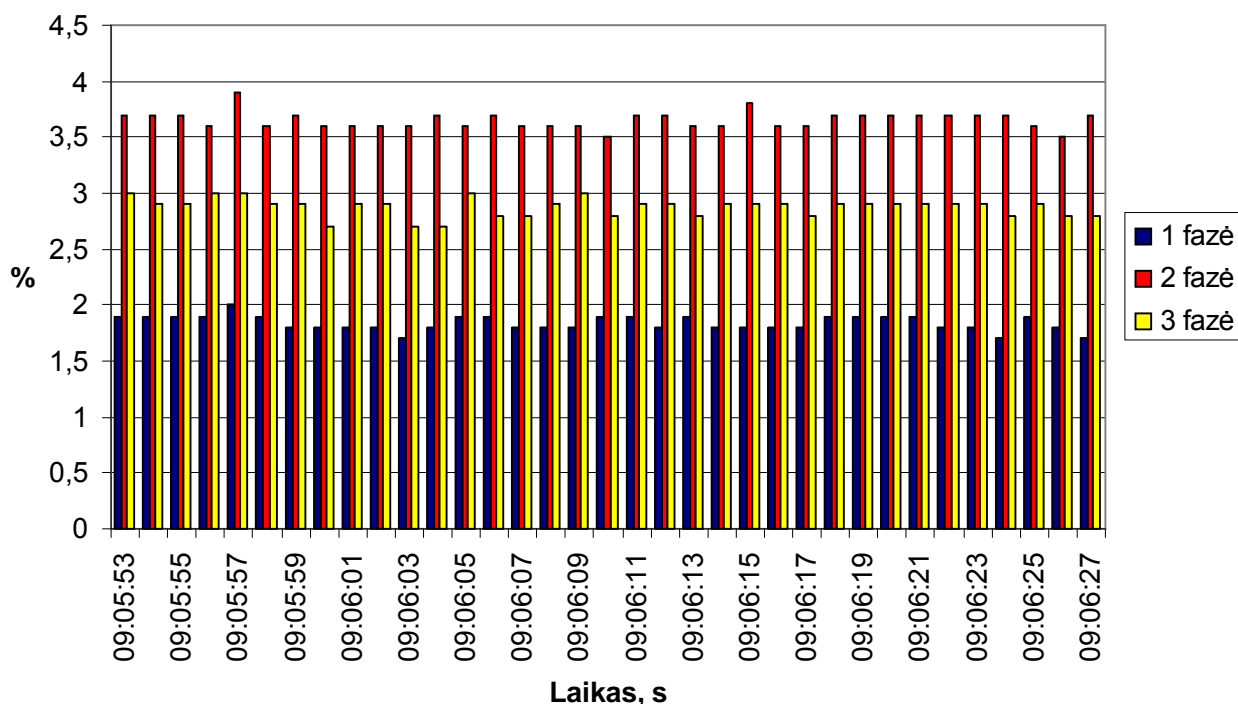
Srovės bangos forma 5.11 pav. geriausiai iliustruoja, harmoninių trukdžių efektą. Nagrinėjant srovės sinusoidės formą galime pastebėti, kad jos, dėl skleidžiamos harmoninės taršos, šiek tiek išsitęsusios viršuje ir šonus apačioje.



5.11 pav. Srovės bangos forma 3 fazėse ir neutralėje

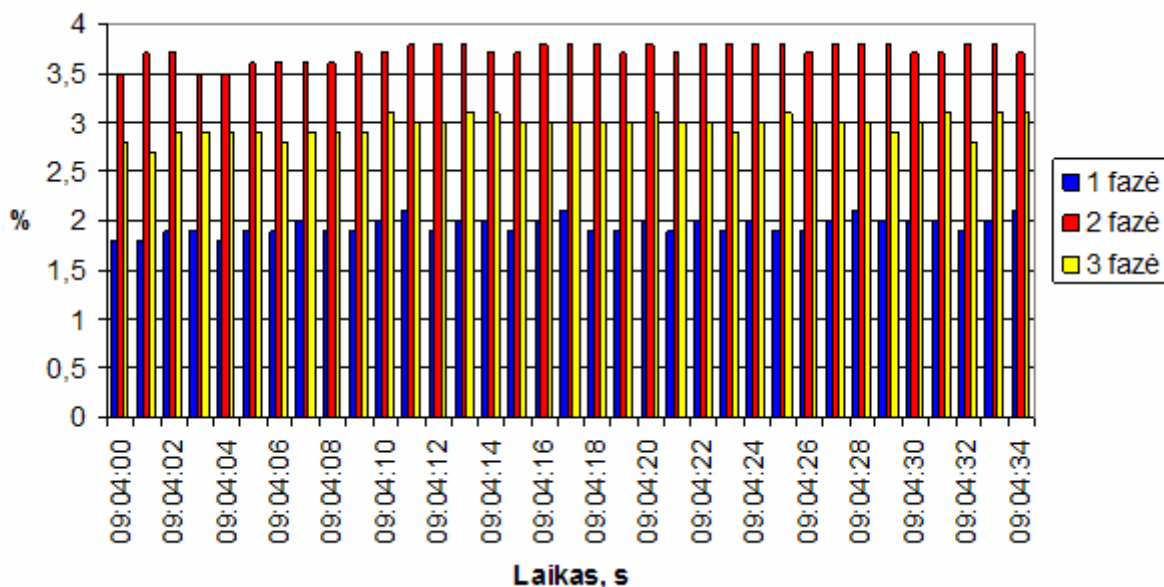
- čia N – neutralė, mėlyna spalva  
 1 – pirma fazė, žalia spalva  
 2 – antra fazė, geltona spalva  
 3 – trečia fazė, raudona spalva

Šios lifto pavaros, išmatuotų harmoninių įtampų lygis nėra didelis, kaip ir hidrauliniame lifte. Harmoninių įtampų vertė siekia tik 3,7 %. (5.12 pav.)



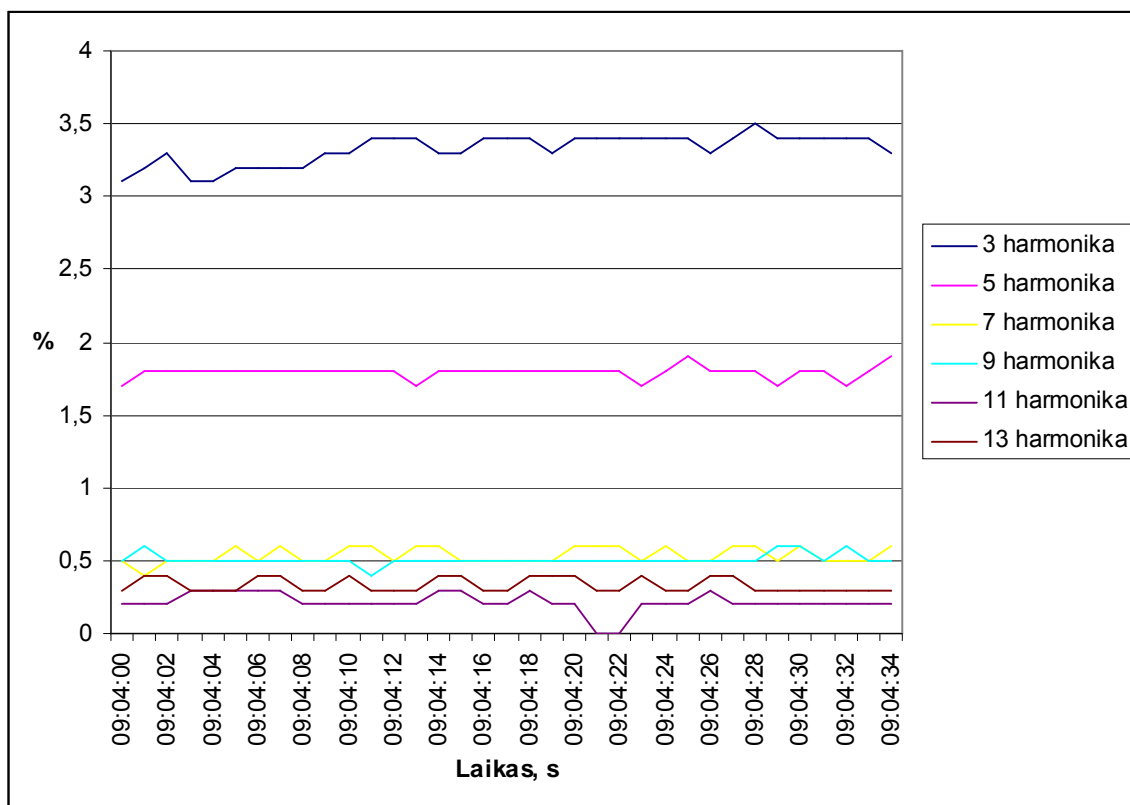
5.12 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui leidžiantis žemyn su dalinai pakrauta kabina

Analizuojant rezultatus, kurie buvo matuojami liftui kylant, su į kabina įlipusiais žmonėmis, kurių bendras svoris sudarė ~70% lifto nominalios keliamosios galios, nepastebėta jokių žymių pakitimų harmoninių įtampų lygio kitimo grafike 5.13 pav.



5.13 pav. Harmoninių įtampų lygis liftui kylant su dalinai pakrauta kabina

Analizuojant, kokios eilės harmonikų lifto pavara skleidžia daugiausiai, buvo nustatyta, (5.14 pav.), kad į tinklą skleidžiamų harmonikų tarpe, didžiausios yra 3 ir 5 eilės harmonikos.



5.14 pav. Harmonikų lygiai liftui leidžiantis

Kaip ir ankščiau atliktuose, kitų liftų matavimuose, ribinių verčių, apibrėžtų standarte, jos nesiekia. Galime pastebėti, kad 3-ios ir 5-os eilės harmonikos yra didesnės už antrojo lifto ir mažesnės už pirmojo. Likusios harmonikos yra panašaus lygio.

Apibendrinus matavimo rezultatus, matome, kad nei vienos lifto pavaros harmoninių įtampų lygis neviršija standartuose apibrėžtos 5% vertės, todėl nedaro žymios įtakos įtampos kokybei.

Lifto Eurolift 1000, su dažnine pavara, skleidžiamų harmonikų reikšmės yra didesnės, nei kitų liftų, dėl dažnio keitiklio įtakos. Taip pat pastebimas nedidelis, 0,1 % - 0,2 %, harmoninių įtampų lygio padidėjimas, pasikeitus apkrovai, kituose liftuose, tokio pokyčio užfiksuoti nepavyko.

Naujai įrengiamuose pastatuose, dauguma įrengiamų liftų yra su dažnio keitikliais. Pastatuose, kur yra įrengta daug liftų, pvz. viešbučiuose, administraciniuose pastatuose problema dėl atsirandančių harmoninių iškraipymų yra aktualesnė dėl didesnio įrenginių skaičiaus.

Bendras, liftų pavarų, skleidžiamų harmoninių iškraipymų lygis gali viršyti standartuose numatytas ribas. Todėl sumontavus liftu būtina atlikti matavimus, kad sužinoti, ar yra reikalinga įrengti papildomus filtrus harmonikų filtravimui.

Matavimo metu gauti, keleivinio lifto Eurolift 1000, su dažnine pavara, srovės ir įtampos harmonikų duomenys pateikti 5. 1 lentelėje.

5.1 lentelė

**Srovės harmonikų matavimo duomenys**

Srovės harmonikos	Fazės		
	A	B	C
H3	5,3 A	12,1 A	7,1 A
H5	7,2 A	6,4 A	6,5 A
H7	10,1 A	10 A	5,4 A
H9	2,5 A	3,7 A	2,7 A
H11	3,6 A	2,6 A	3,5 A
H13	1,5 A	1,4 A	0,9 A
Įtampos harmonikos	Fazės		
	A	B	C
H3	4,4 V	3,8 V	5,5 V
H5	2,3 V	2,3 V	1,8 V
H7	2,1 V	1,6 V	2,43 V
H9	2,2 V	2,25 V	2,28 V
H11	1,2 V	0,7 V	0,8 V
H13	0,44 V	0,25 V	0,21 V

Išanalizavus duomenis matome, kad didžiausios srovės vertės yra H3=12,1A; H5=7,2 A; H7=10,1A; H9=3,7A; H11=3,6A; H13=1,5 A. Pagal šias reikšmes yra skaičiuojami filtrai harmonikų filtravimui.



## 6. HARMONIKŲ FILTRŲ SKAIČIAVIMAS

Darome prielaidą, kad administraciniame pastate, kuriame yra aštuoni liftai su dažninėmis pavaromis, liftų pavarų skleidžiamos harmonikos gali viršyti leistinus harmoninių iškraipymų lygius, todėl būtina, apsaugoti maitinimo tinklą, nuo liftų pavarų skleidžiamų trukdžių, kiekvienam parenkant filtravimo įrenginius, sudarytus iš RLC elementų. Filtrų įrenginiai parenkami kiekvienai harmonikai atskirai. Kaip pavyzdį paskaičiuosiu filtrų įrenginius 3, 5, 7, 9, 11 ir 13 harmonikai.

Priimame, kad trumpo jungimo galia ant pastotės šynų yra  $S_{tr,j}=12,5$  MVA. Šynų vardinė įtampa  $U_s=0,4$  kV. Nominalinė kondensatorių įtampa  $U_{nk}=0,4$  kV. Pilna kondensatorių baterijos galia reaktyvios galios kompensavimui  $Q_k=94$  kvar

Srovės harmonikų skaičiuojamieji dydžiai  $I_v$ , A

$$I_3=12,1\text{ A}$$

$$I_5=7,2\text{ A}$$

$$I_7=10,1\text{ A}$$

$$I_9=3,7\text{ A}$$

$$I_{11}=3,6\text{ A}$$

$$I_{13}=1,5\text{ A}$$

### Kondensatorių baterijos parinkimas filtrams

Apytikslė kondensatorių baterijos galia filtrams, kuri nustatoma pagal srovės harmonikas:

$$Q_A = \sqrt{3} \cdot 1,3U_s I_v \quad (6.1)$$

6.1 lentelė

$Q_{A3}$	$Q_{A5}$	$Q_{A7}$	$Q_{A9}$	$Q_{A11}$	$Q_{A13}$
10,89 kvar	6,48 kvar	9,09 kvar	3,33 kvar	3,24 kvar	1,35 kvar

Priimta filtro kondensatoriaus galia, kvar

6.2 lentelė

$Q_{S3}$	$Q_{S5}$	$Q_{S7}$	$Q_{S9}$	$Q_{S11}$	$Q_{S13}$
12 kvar	9 kvar	12 kvar	4 kvar	4 kvar	4 kvar

Paskaičiuojame harmonikų slopinimo efektyvumo koeficientą priimtai kondensatoriaus galiai sąlyginiais vienetais;

$$k_p = \frac{Q_s}{S_{tr.j}} \quad (6.2)$$

6.3 lentelė

$k_{p3}$	$k_{p5}$	$k_{p7}$	$k_{p9}$	$k_{p11}$	$k_{p13}$
$0,96 \cdot 10^{-2}$	$0,72 \cdot 10^{-2}$	$0,96 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-2}$	$0,32 \cdot 10^{-2}$

Koeficientas, kuris charakterizuoja įtampos padidėjimą kondensatoriams, skaičiuojamas esant darbiniam dažniui lyginant su nominaline švny įtampa sąlyginiais vienetais:

$$\alpha_p = \frac{v^2}{v^2 - 1} \quad (6.3)$$

čia  $v$  – harmonikos numeris

6.4 lentelė

$\alpha_{p3}$	$\alpha_{p5}$	$\alpha_{p7}$	$\alpha_{p9}$	$\alpha_{p11}$	$\alpha_{p13}$
1,125	1,042	1,021	1,013	1,008	1,006

Koeficiento, kuris charakterizuoja kondensatorių baterijas pagal įtampos atsargą, įvertinant baterijos nominalinę ir tinklo įtampą, skaičiavimas:

$$k_{ats} = \frac{U_s}{\sqrt{3}U_{nom.b}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,58 \quad (6.4)$$

Kondensatorių baterijos patikrinimas pagal viršįtampius, nusistovėjusiame režime:

$$\alpha_p k_{ats} \leq 1$$

$$H3 = 0,65 \leq 1;$$

$$H5 = 0,6 \leq 1;$$

$$H7 = 0,59 \leq 1;$$

$$H9 = 0,58 \leq 1;$$

$$H11 = 0,58 \leq 1;$$

$$H13 = 0,58 \leq 1;$$

Koeficientas, kuris įvertina dažnio charakteristikos netiesiškumą, filtrų įtaka jos deformacijai ir nuokrypis filtro parametrų įtakai, dydžiui atitinkančiam rezonansiniam suderinimui:

$$\eta_v = \frac{\alpha}{k_1 k_p v^2} \quad (6.5)$$

H3, H5 ir H7 harmonikoms  $k_1=1$ ,  $\alpha=-0,02$

H9, H11, H13 harmonikoms  $k_1=2$ ,  $\alpha=-0,01$

6.5 lentelė

$\eta_3$	$\eta_5$	$\eta_7$	$\eta_9$	$\eta_{11}$	$\eta_{13}$
-1,85	-0,89	-0,34	-1,54	-0,9	-0,74

Apkrovimo koeficiento nustatymas pagal v-tos eilės harmoniką.

$$k_{iv} = \frac{1}{1 + \eta_v} \quad (6.6)$$

6.6 lentelė

$k_{i3}$	$k_{i5}$	$k_{i7}$	$k_{i9}$	$k_{i11}$	$k_{i13}$
-1,1	9,09	1,52	-1,85	10	3,85

Kondensatorių baterijos galią patikriname pagal sąlygą, kuri padeda išvengti kondensatorių perkrovimo pagal srovę, kvar

$$Q_{pa} = \frac{3U_{nom.b} I_v k_{iv}}{1,6 - (\alpha_p k_{ats})^2} \quad (6.7)$$

6.7 lentelė

$Q_{pa3}$	$Q_{pa5}$	$Q_{pa7}$	$Q_{pa9}$	$Q_{pa11}$	$Q_{pa13}$
-13 kvar	61,6 kvar	14,68 kvar	-6,4 kvar	34,3 kvar	5,1 kvar

Reaktyvi galia, kuri sukuria filtrų kondensatorių baterijos, kvar.

$$Q_{su} = Q_{pri} (\alpha_p k_{ats.})^2 \quad (6.8)$$

6.8 lentelė

$Q_{su3}$	$Q_{su5}$	$Q_{su7}$	$Q_{su9}$	$Q_{su11}$	$Q_{su13}$
5 kvar	3,29 kvar	4,21kvar	1,38kvar	1,37 kvar	1,36 kvar

Paskaičiuojame filtro reaktoriaus parametrus

Nustatome kondensatorių baterijos vienos fazės talpinės varžą,  $\Omega$

$$x_{cv} = \frac{3U_{nom.b}^2}{Q_{pri.}} \quad (6.9)$$

6.9 lentelė

$x_{cv\ 3}$	$x_{cv\ 5}$	$x_{cv\ 7}$	$x_{cv\ 9}$	$x_{cv\ 11}$	$x_{cv\ 13}$
40 $\Omega$	53,3 $\Omega$	40 $\Omega$	120 $\Omega$	120 $\Omega$	120 $\Omega$

Nustatome reaktoriaus induktyviają varžą pagal rezonanso sąlygas,  $\Omega$

6.10 lentelė

$x_{rv\ 3}$	$x_{rv\ 5}$	$x_{rv\ 7}$	$x_{rv\ 9}$	$x_{rv\ 11}$	$x_{rv\ 13}$
4,4 $\Omega$	2,13 $\Omega$	0,82 $\Omega$	1,48 $\Omega$	0,99 $\Omega$	0,71 $\Omega$

Skaičiuojame nominalią reaktoriaus srovę, A

$$I_{r.nom} \geq \frac{Q_{pri.}}{\sqrt{3}U_{\xi}} \quad (6.10)$$

6.11 lentelė

$I_{r.nom\ 3}$	$I_{r.nom\ 5}$	$I_{r.nom\ 7}$	$I_{r.nom\ 9}$	$I_{r.nom\ 11}$	$I_{r.nom\ 13}$
17 A	2,13A	0,82 A	1,48 A	0,99 A	0,71 A

Reaktoriaus reaktyvioji reikšmė, %

$$x_r = \frac{\sqrt{3}I_{r.nom}x_{r.v}}{10U_{r.nom}} \quad (6.11)$$

6.12 lentelė

$x_{r\ 3}$	$x_{r\ 5}$	$x_{r\ 7}$	$x_{r\ 9}$	$x_{r\ 11}$	$x_{r\ 13}$
32,6%	12%	6%	3,8%	2,6%	1,8%

Reaktoriaus induktyvumas, mH

$$L_v = \frac{x_v}{2\pi f v} \quad (6.12)$$

6.13 lentelė

$L_3$	$L_5$	$L_7$	$L_9$	$L_{11}$	$L_{13}$
4,7 mH	1,4 mH	0,4mH	0,5mH	0,3mH	0,2mH

Ritės vijų skaičius

$$n = \sqrt{\frac{L_v}{\lambda D \cdot 10^{-4}}} \quad (6.13)$$

6.14 lentelė

$n_3$	$n_5$	$n_7$	$n_9$	$n_{11}$	$n_{13}$
262	143	76	85	66	54

Laido skerspjūvio plotas, mm<sup>2</sup>

$$S_v = \frac{I_{r.nom}}{\rho} \quad (6.14)$$

6.15 lentelė

$S_3$	$S_5$	$S_7$	$S_9$	$S_{11}$	$S_{13}$
11 mm <sup>2</sup>	9 mm <sup>2</sup>	11 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>

Randame eilių skaičių. Tarpas tarp eilių  $c = 4,5 \cdot 10^3$  m

$$r = \frac{h + c}{c} \quad (6.15)$$

$$r = 23$$

Vijų skaičius horizontalioje plokštumoje:

$$k_v = \frac{n_v}{r} \quad (6.16)$$

6.16 lentelė

$k_3$	$k_5$	$k_7$	$k_9$	$k_{11}$	$k_{13}$
11	6	3	4	3	2

Ritės apvijų laidų išdėstymas. Atstumas tarp gretimų vijų eilių  $a = 3,5 \cdot 10^{-3}$  m

$$b_v = a \cdot k_v \quad (6.17)$$

$$D_1 = D - b_v \quad (6.18)$$

$$D_2 = D + b_v \quad (6.19)$$

6.17 lentelė

$b_3$	$D_1$	$D_2$	$b_5$	$D_1$	$D_2$	$b_7$	$D_1$	$D_2$	$b_9$	$D_1$	$D_2$
0,04	0,06	0,14	0,02	0,08	0,12	0,01	0,09	0,11	0,014	0,086	0,114

6.18 lentelė

$b_{11}$	$D_1$	$D_2$	$b_{13}$	$D_1$	$D_2$
0,01	0,09	0,11	0,007	0,093	0,107

## Paskaičiuojame filtrų kokybę

Vidutinis apvijos ilgis

$$l = \pi D = 3,14 \cdot 0,1 = 0,314 \text{ m} \quad (6.20)$$

Bendras vijų ilgis atskiroms harmonikoms, m

$$L_v = l \cdot n_v \quad (6.21)$$

6.19 lentelė

$L_3$	$L_5$	$L_7$	$L_9$	$L_{11}$	$L_{13}$
82m	45 m	24 m	27 m	21 m	17 m

Aktyvioji filtro varža pagal harmonikos dydį. Vario tankis  $\rho = 0,018 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

$$R_v = \rho \frac{L_v}{S_v} \quad (6.22)$$

6.20 lentelė

$R_3$	$R_5$	$R_7$	$R_9$	$R_{11}$	$R_{13}$
0,15	0,08	0,04	0,12	0,09	0,08

Skaičiuojame filtrų kokybę

$$d_v = \frac{x_{rv}}{R_v} \quad (6.23)$$

6.21 lentelė

$d_3$	$d_5$	$d_7$	$d_9$	$d_{11}$	$d_{13}$
30	26	21	12	11	9

Filtro kokybę lemia jo reguliavimo tikslumas. Filtras, su aukšta kokybės reikšme nuo 30 iki 60 yra nustatomas tiksliam harmonikos dažniui, pvz., 5-ai. Filtras su mažesnėmis kokybės reikšmėmis turi mažą pasipriešinimą plačiame dažnių diapazone. Pavyzdyje paskaičiuotų filtrų kokybė tenkina literatūroje rekomenduotinas reikšmes. [4]

## IŠVADOS IR SIŪLYMAI

1. Atliktas tyrimas parodė, kad visų tirtų liftų pavarų skleidžiamų harmoninių iškraipymų lygiai neviršiją leistinų, standarte [2] nurodytų reikalavimų.
2. Liftu su dažnio keitikliu, skleidžiamos harmoninės taršos lygis užfiksuotas didžiausias, lyginant su kitais liftais. Matavimuose išsiskiria 3-ios, 5-os ir 9-os eilės harmonikos.
3. Naujuose pastatuose, kur yra daug liftų, kurių pavaros maitinamos dažnio keitiklio pagalba, yra galima harmoninių iškraipymų tikimybė. Todėl labai svarbu tai įvertinti projektuojant pastato el. tinklą.
4. Išnagrinėtos elektromagnetinio suderinamumo gerinimo priemonės, bei harmonikų minimizavimo principai.
5. Pateiktas, harmonikų filtravimui paskaičiuotų siaurajuosčių filtrų, kurie suderinti atskirai kiekvienos harmonikos dažniui, skaičiavimo pavyzdys. Pasirinktas šio tipo filtras, kadangi, lyginant su plačiajuosčiu filtru, šiam filtrui reikia mažiau elementų, lengvesnis derinimas, nei plačiajuosčių filtrų.
6. Išnagrinėti ir pasiūlyti filtravimo kompensavimo įrenginiai, taip pat yra reaktyvinės galios šaltiniai, bei naudoja minimalų aktyvios galios kiekį. Šių filtrų privalumas yra minimalūs filtravimo įrenginio nuostoliai, schemos paprastumas derinimui ir panaudojimas konkrečios harmonikos sumažinimui.
5. Harmonikų filtrai yra efektyvi, ekonomiškai pagrįsta priemonė, žymiai sumažinanti harmoninių įtampų daromą poveikį.



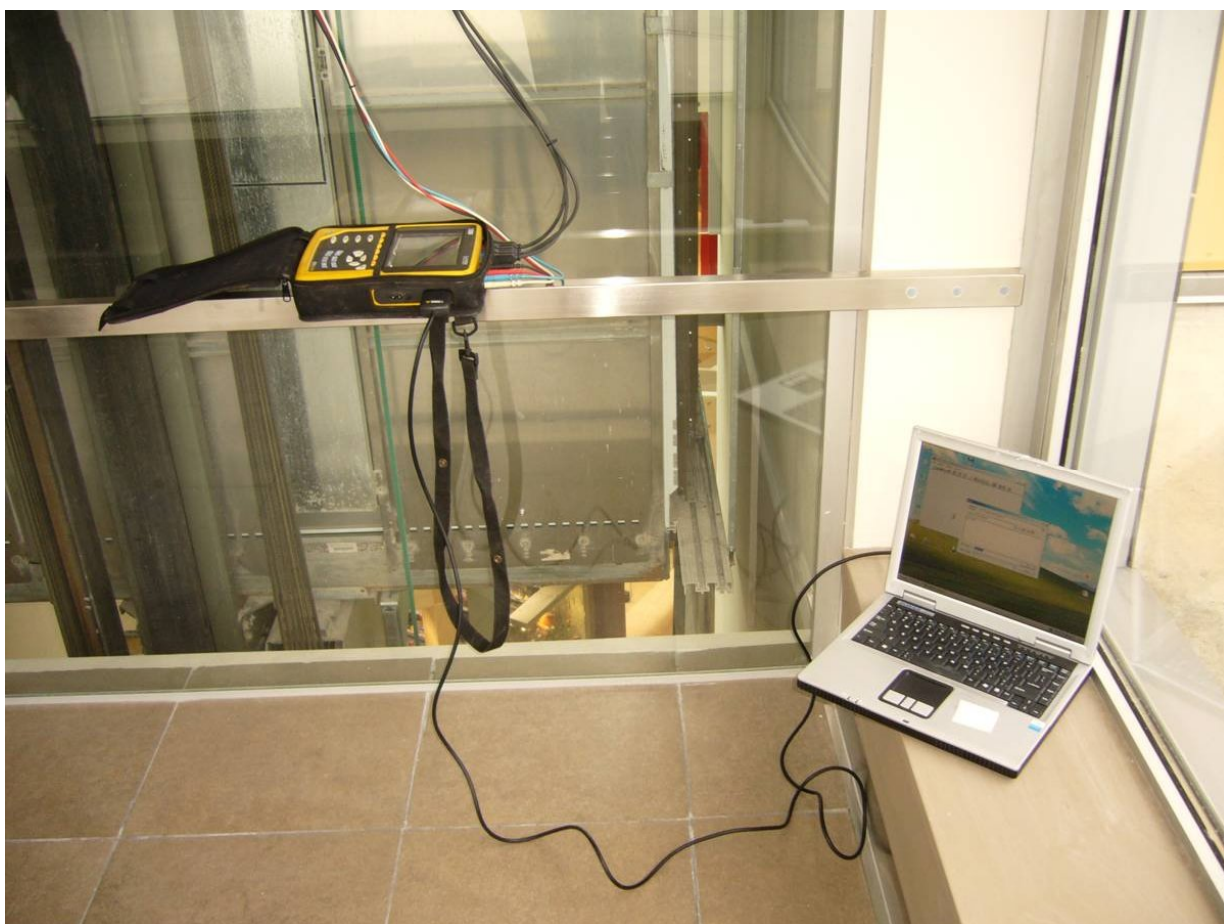
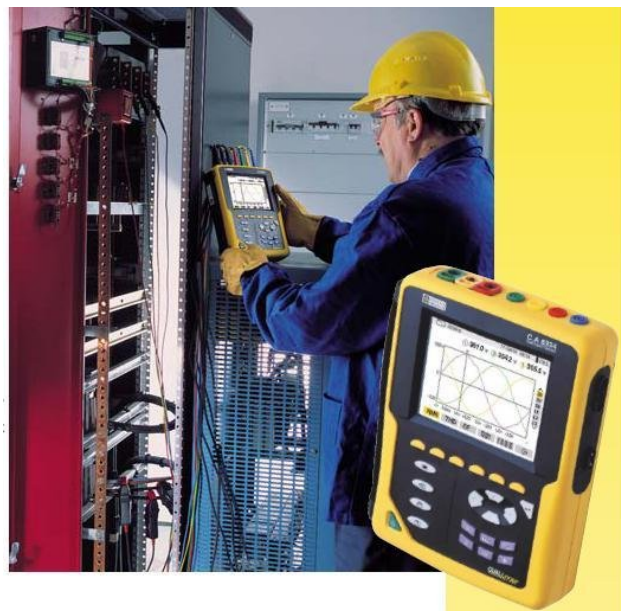
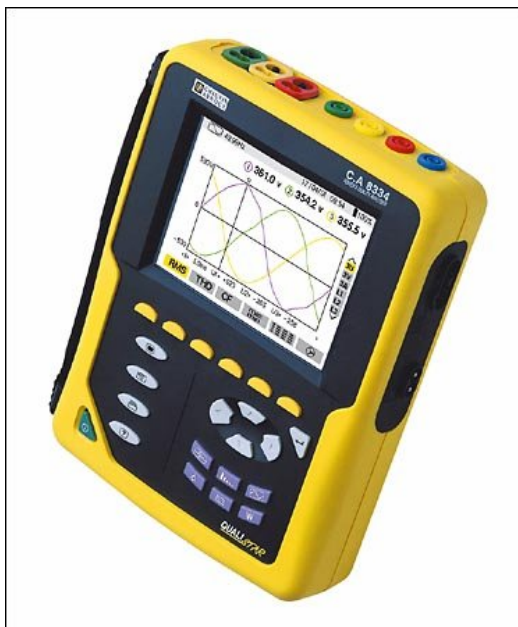
## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. LST EN 81-1+AC:2002 Liftų projektavimo, įrengimo ir saugaus naudojimo taisyklės. 1-oji dalis. Elektriniai liftai. Vilnius 2002. Galioja nuo 2002 m
2. LST EN 12015:2005+AC:2005 Elektromagnetinis suderinamumas. Liftams, eskalatoriams ir judamiesiems takeliams skirtų gaminių šeimos standartas. Vilnius 2005. Galioja nuo 2005m.
3. Shri K. Harmonics. Active harmonic conditioners // MGE UPS Systems Ltd. March 2001.
4. Добрусин Л.А. Филтро-компенсирующие устройства для преобразовательной техники. Москва 2003
5. Palenskis V. Trikdžiai, Trukdžiai ir Triukšmai // V.Palenskis, V.Valiukėnas // Fizikų žinios, 1997 m. Nr.12. p.18
6. Kostrauskas P. Asinchroninės elektros mašinos. Kaunas 2004 115p. ISBN 9986-13-425-0
7. Cummings, P. G., "Estimating Effect of System Harmonics on Losses and Temperature Rise of Squirrel-Cage Motors," *IEEE transactions on Industry Ap*
8. Климов В.П., Москалев А.Д. Проблемы высших гармоник в современных системах электропитания // Практическая силовая электроника. Науч.-техн.сб. АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002.
9. Климов В.П., Москалев А.Д. Способы подавления гармоник тока в системах электропитания// Практическая силовая электроника. АОЗТ "ММП-Ирбис", 2002.
10. Yasamini R. Power System Harmonics. Part 3 - Problems caused by distorted supplies // *Power Engineering Journal*, Oct., 1995. *IEEE transactions on Industry Ap*
11. Jaekel B. Disturbances in low voltage industrial supply networks // *Proceedings of the XII international conference on electromagnetic disturbances EMD 2003.Kaunas 2004.*
- 12.Иляшов В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. Москва, 1983.153с
13. Olesz M. The influence of the motor filters on harmonic current emissions in protective connection of driving systems // Marek Olesz, Stanislaw Witkowski // *Proceedings of the XII international conference on electromagnetic disturbances EMD 2003.Kaunas 2004.*
14. Olesz M. EMC disturbances in connection of driving system // Marek Olesz, Stanislaw Witkowski // *Proceedings of the XII international conference on electromagnetic disturbances EMD 2003.Kaunas 2004.*
15. Лабунцова В.А. Энергитическая электроника.Москва, 1987.464с
- 16.Gelžinis S. Elektrinių ir elektroninių įrenginių elektromagnetinio suderinamumo bandymai // S.Gelžinis, A.Giedraitis, A.Visockas // *Elektronika–1997:konferencijos pranešimų medžiaga.*[Kaunas, 1997m.balandžio 25d.,gegužės 14–16 d.] Kauno technologijos universitetas, 1997 202p. ISBN 9986-13-477
17. Бырибина Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. Москва, 1986.576с
18. Olesz M. EMC disturbances in connection of driving system // Marek Olesz, Stanislaw Witkowski // *Proceedings of the XII international conference on electromagnetic disturbances EMD 2003.Kaunas 2004*
19. Elektrotechnikos terminų žodynas. Kaunas 1999 871p.
20. Русско-английский политехнический словарь. Москва 1980 724с.

# PRIEDAI

## 1 PRIEDAS

### ENERGIJOS KOKYBĖS MATAVIMO PRIETAISO CHAUVIN ARNOUX C.A 8334 BENDRAS VAIZDAS



## MATAVIMO PRIETAISO TECHNINIAI DUOMENYS

## 6.1 Reference conditions

Influence parameter	Reference conditions
Ambient temperature	23°C ± 3K
Humidity	45% RH
Atmospheric pressure	860 to 1060 hPa
Phase voltage	230 V rms and 110 V rms ±2% without DC
Current circuit input voltage other than AmpFlex	0.03 V ≤ I ≤ I <sub>n</sub> = 1 V rms without DC (< 0.5%)
AmpFlex current circuit input voltage	11.8mV ≤ I ≤ I <sub>n</sub> = 118 mV rms without DC (< 0.5%)
Frequency of electricity network	50 and 60 Hz ±0.1 Hz
V/I phase shift	0 degree or 90 degrees
Harmonics	< 0.1%

The uncertainties given for power and energy measurements are maximum for  $\cos \varphi = 1$  or  $\sin \varphi = 1$  and are typical for the other phase shifts.

## 6.2 Electrical specifications

Sampling frequency: 12.8 kHz per channel at 50 Hz (256 samples per period)

## 6.2.1 Voltage inputs

- Operating range: - phase – phase: 960 V RMS  
- phase – neutral: 480 V RMS
- Input impedance : 340 kΩ between phase and neutral
- Admissible overload : 1.2 V<sub>n</sub> permanently  
2 V<sub>n</sub> for 1 sec

## 6.2.2 Current inputs

- Operating range: 0- 1 V
- Input impedance: 100 kΩ for the circuit other than AmpFlex and 12.4 kΩ for circuit AmpFLEX
- Admissible overload: 1.7 V

## 6.2.3 Characteristics of the device alone (without the current sensors)

Measurement	Measuring Range		Display Resolution	Error in the reference range	
	Minimum	Maximum			
Frequency	40Hz	69Hz	0,01Hz	±(0,01Hz)	
Single TRMS Voltages	6V	480V	0,1V	±(0,5%+0,2V)	
TRMS Composite Voltages	10V	980V	0,1V	±(0,5%+0,2V)	
DC Voltages	6V	680V	0,1V	±(1%+0,5V)	
TRMS Current	Other than AmpFLEX	I <sub>max</sub> ÷ 1000 [A]	1,2 × I <sub>sen</sub> [A]	0,1A I < 1000A	±(0,5%+0,2A)
				1A I ≥ 1000A	±(0,5%+1A)
TRMS Current	AmpFLEX	10A	6500A	0,1A I < 1000A	±(0,5%+1A)
				1A I ≥ 1000A	
DC Currents (clamp meter PAC)	1A	1700A <sup>(1)</sup>	0,1A I < 1000A	±(1%+1A)	
					1A I ≥ 1000A

$$(1) 1,2 \times 1000 \times \sqrt{2} = 1700,4$$

Measurement	Measuring range		Display Resolution	Error in the reference range
	Minimum	Maximum		
Harmonics ratios $(V_{RMS} > 50V)$ $(I_{RMS} > I_{nom} \div 100)$ rang $\in [1 ; 50]$	0 %	999 %	0,1%	$\pm(1\%+0,5\%)$
<u>Harmonics angles</u> $(V_{RMS} > 50V)$ $(I_{RMS} > I_{nom} \div 100)$	-179°	-180°	†	$\pm(3^\circ)$ rang $\in [1 ; 25]$
				$\pm(10^\circ)$ rang $\in [26 ; 50]$
Total harmonics ration rang $\in 50$	0 %	999 %	0,1%	$\pm(1\%+0,5\%)$
Factor K	1	99,99	0,01	$\pm(5\%)$

#### 6.2.4 Nominal range of use

Frequency : 40 to 70Hz

Harmonics: THD (I) : 0 to 40%

THD (U) : 0 to 20%

Magnetic field: 0 to 400A/m

Electrical field: 0 to 3V/m

Relative humidity : 10 to 90%, free of condensation.