



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS  
ELEKSTRONIKOS FAKULTETAS  
ELEKTROTECHNIKOS KATEDRA

Lukas Pocius

**AUKŠTOSIOS ĮTAMPOS PROGRAMUOJAMO ŠALTINIO SUKŪRIMAS IR  
JO PARAMETRŲ TYRIMAS**

**DESIGN AND INVESTIGATION OF PROGRAMMABLE HIGH VOLTAGE  
GENERATOR**

Baigiamasis magistro darbas

Elektros energetikos sistemų inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62601T101

Elektros inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

## TURINYS

<b>1. ĮVADAS</b>	<b>8</b>
<b>2. LITERATŪROS APŽVALGA</b>	<b>9</b>
<b>3. TYRIMO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI</b>	<b>12</b>
<b>4. ANALITINĖ DALIS</b>	<b>13</b>
4.1. Aukštosios įtampos maitinimo šaltiniai .....	13
4.1.1. Veikimo principas .....	13
4.1.2. Įtampos šaltinių analizė .....	18
4.2. GPIB sąsaja .....	24
4.2.1. Veikimo principas .....	24
4.2.2. GPIB signalai.....	25
4.2.3. Standartai .....	27
4.2.4. Prietaisai .....	28
4.2.5. Didelės spartos protokolai .....	33
<b>5. PROJEKTINĖ DALIS</b>	<b>36</b>
5.1. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio tyrimas .....	36
5.1.1. Maitinimo šaltinio sandara .....	36
5.1.2. Valdymo ir apkrovos schemų sudarymas.....	37
5.1.3. RC filtro parinkimas ir matavimai.....	40
5.2. GPIB sąsajos projektavimas .....	45
5.2.1. GPIB sąsajos projektavimo sprendimai.....	45
5.2.2. GPIB sąsajos projektavimas prietaise .....	50
5.2.3. Programinė įrangos algoritmas .....	54
<b>6. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI</b>	<b>61</b>
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS</b>	<b>62</b>

## 1. ĮVADAS

Programuojami aukštosios įtampos šaltiniai yra skaitmeniniu būdu kontroliuojami maitinimo įrenginiai, kurie suteikia galimybę gauti tikslias, o kartu ir reguliuojamas įtampos, srovės stiprio ir dažnio vertes. Tokie šaltiniai dažniausiai yra sudaromi iš mikroprocesorių, įtampos arba srovės stiprio reguliavimo grandinių, srovės šuntavimo ir įtampos arba srovės stiprio nuskaitymo grandinių. Mažas jutiklių funkcionalumas dažniausiai kompensuojamas įtampos krantinčios ant apkrovos matavimu. Tokiu būdu yra matuojama tikroji išėjimo įtampa. Taip pat šaltiniuose gali būti naudojami per didelių įtampių ir srovių ribotuvai. Komparatoriai nuolatos stebi išėjimo įtampą ir lygina ją su nustatyta įtampos verte. Jei išėjimo įtampos vertė tampa aukštesnė už užprogramuotą vertę, tuomet trigerio signalas per išėjimą siunčiamas į silicio-kontroliuojamą lygintuvą (SCR), tokiu būdu nutraukiamas apkrovos maitinimas.

Programuojami aukštosios įtampos šaltiniai dažnai naudojami įvairioje automatizuotoje prietaisų testavimo, sertifikavimo ir kalibravimo įrangoje. Įtampos šaltiniai, kurie yra labai tiksliai reguliuojami ir programuojami, būna naudojami labai siauros paskirties didelio patikimumo reikalaujančioje įrangoje. Tokia įranga yra naudojama kristalizavimo procese, diferencialinėje terminėje analizėje (DTA) esant dideliame slėgiui ir kitose sudėtinguose procesuose. Gaminami įvairios paskirties įtampos šaltiniai. Jie gaminami kaip tam tikros įrangos moduliai, įmontuojami taip pat kaip atskiri savarankiški prietaisai. Kai kurie gali būti montuojami sienose, grindyse taip pat pastatomi ant stalo ar lentynos. Taip pat galima rasti atviro rėmo arba uždarus įrenginius. Programuojami maitinimo šaltiniai dažniausiai naudoja GPIB sąsają su kompiuteriu ir programinę įrangą.

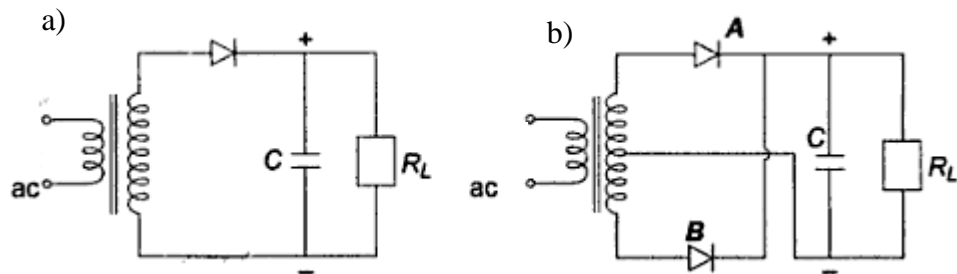
GPIB sąsaja dar kitaip vadinama IEEE-488, yra trumpo atstumo skaitmeninio ryšio protokolas. Ši sąsaja buvo sukurta 1960 metais. Ji buvo ir iki šiol yra naudojama kartu su automatizuota testavimo įranga. Iki šių dienų yra sukurti keli IEEE standartai. Pirmasis buvo IEEE-488.1. Jis apibūdina mechaninius, elektrinius ir pagrindinius GPIB protokolo parametrus, bet jame nebuvo standartizuoti komandų ar duomenų formatai. Vėliau, 1987 metais, šis protokolas buvo patobulintas ir pavadintas IEEE-488.2. Naujesnioji versija numatė pagrindines sintaksės ir formatų suvienodinimą, taip pat komandas, duomenų struktūrą ir klaidos prokolus, skirtus visiems prietaisams. Dar vėliau buvo sukurtos standartinės komandos programuojamiems prietaisams (SCPI). SCPI pridėjo standartinės bendras komandas ir suskirstė prietaisus į klases. Kiekviena prietaisų klasė turi tik jai naudojamas komandas. Naujausią GPIB protkolo versiją HS-488 2003 metais sukūrė kompanija „National Instruments“. Ši versija padidino duomenų perdavimo spartą iki 8 MB/s, bet ši sparta pasiekama tik esant mažam prietaisų skaičiui. Kuo daugiau prietaisų vienoje linijoje tuo mažesnė perdavimo sparta.

## 2. LITERATŪROS APŽVALGA

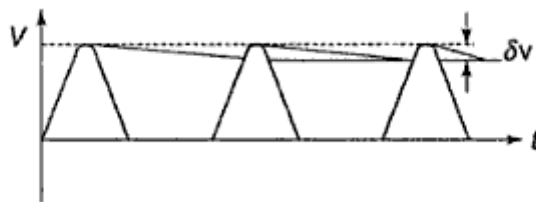
Rengiant magistro baigiamąjį darbą, buvo apžvelgta skirtingų šalių specialistų ir mokslininkų publikuota medžiaga aukštosios įtampos šaltinių, kompiuterinių sąsajų ir programinės įrangos temomis. Programuojamų įtampos šaltinių tema yra labai populiari tarp mokslinių darbuotojų, nes labai dažnai programuojama įranga yra naudojama laboratorijose įvairiems tyrimams atlikti. Todėl didelė dalis medžiagos buvo rasta moksliniuose leidiniuose.

2009 metais išleistoje M. Naidu ir V. Kamaraju knygoje „Aukštosios įtampos inžinerija“ („*High Voltage Engineering*“) yra aptariami aukštosios įtampos šaltiniai ir jų sandara. Taip pat labai plačiai apžvelgiamos įtampos lygintuvų grandinės ir lyginimo charakteristikos.

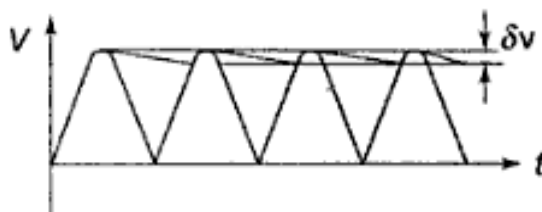
Knygoje aprašomi pulsacinės įtampos šaltiniai su pilnos bangos ir pusbangės lygintuvais. Pateikiamos pavyzdinės tokių šaltinių grandinės ir charakteristikos.



**2.1 pav.** Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio su pusbangės lygintuvu (a) ir su pilnos bangos lygintuvu (b) grandinės



**2.2 pav.** Impulsinės įtampos forma su pusbangės lygintuvu ir kondensatoriaus filtru



**2.3 pav.** Impulsinės įtampos forma su pilnos bangos lygintuvu ir kondensatoriaus filtru

Taip pat autoriai pateikia pavyzdžius kaip padidinti įtampos vertę, naudojant pakopinius įtampos daugintuvus kartu su įtampos lygintuvais.

Vieną įdomesnių straipsnių programuojamų maitinimo šaltinių tema parašė S. Kalingamudali ir A. Jayasingha. Straipsnis, paskelbtas 2006 metais, vadinasi „*Nebrangaus maitinimo šaltinio su GPIB sąsaja kūrimas*“.

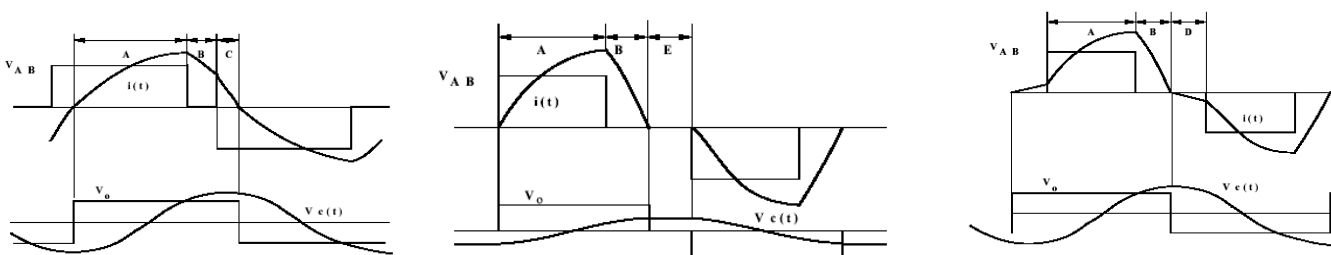
Šiame straipsnyje aprašomas kintančio režimo maitinimo šaltinis. Išėjimo įtampa reguliuojama naudojant impulsinės moduliacijos grandinę. Straipsnyje pateikiama prietaiso struktūrinė schema. Taip pat pateikiama maitinimo šaltinio principinė schema ir detalai aprašomas jos veikimas. Principinėje schemoje projektuojant prietaisą naudojamas diodinis tiltelis ir linijinis filtras. Šie elementai apsaugo maitino šaltinio išėjimo signalą nuo nepageidaujamų triukšmų, kuriuos gali sukelti pats šaltinis.

Taip pat straipsnyje trumpai aptariamas GPIB sąsajos panaudojimas. GPIB sąsaja naudojama prietaiso ryšiui su kompiuteriu užtikrinti. Mikrovaldiklis nuolat stebi išėjimo įtampą ir analoginiu-skaitmeniniu keitikliu analoginis įtampos išėjimas yra keičiamas į dešimties bitų skaitmeninį signalą. Šis signalas lyginamas su nustatyta įtampos reikšme, jei signalai neatitinka išėjimo įtampa koreguojama naudojant impulsinę moduliaciją [17].

Kitame straipsnyje „*Aukštosios kintamos įtampos maitinimo šaltinio topologija naudojama impulsiniams prietaisams*“ aprašomas aukštosios įtampos maitinimo šaltinių taikymas impulsiniams prietaisams, tokiems kaip radarai ar lazerių sistemos. Šiame straipsnyje aprašomi aukštinantieji transformatoriai ir jų neigiamos savybės, tokios kaip talpa tarp vijų ar parazitinis induktyvumas. Šio straipsnio tikslas aprašyti, kaip gali būti išnaudojamos šios neigiamos savybės teigiamam darbui atlikti.

Šiems reiškiniams išnaudoti galimi keli būdai: nuoseklus rezonuojantis konverteris, paralelinis rezonuojantis konverteris arba nuoseklus-paralelinis rezonuojantis konverteris. Kiekvienas iš šių elementų turi savo teigiamų ir neigiamų savybių. Jos yra atskleidžiami straipsnio tekste.

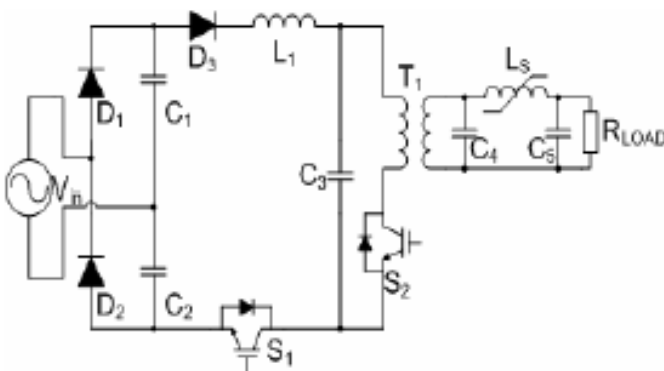
Šiame straipsnyje taip pat aprašomas faze moduluojamas nuoseklus rezonuojantis konverteris. Šis elementas yra taikomas daugiausiai aukštosios kintamos įtampos šaltiniams. Konverteris persijungia prie šiek tiek aukštesnio dažnio nei rezonuojantis dažnis. Faze moduluojamas nuoseklus rezonuojantis konverteis veikia trim režimais [30]. Šių režimų signalo formos parodytos 2.4. pav.



2.4 pav. Trys režimai, kuriais veikia konverteris.

Dar vienas straipsnis parašytas apie aukštosios impulsinės įtampos šaltinius vadinasi „Aukštosios įtampos impulsinis maitinimo šaltinis su magnetiniu perjungimu“.

Šis straipsnis aprašo sukurtą aukštosios įtampos pasikartojančių pulsacijų šaltinį. Norint atitikti tokius griežtus reikalavimus, kaip staigus signalo šuolis, aukšta išėjimo įtampa ir maži perjungimo nuostoliai, šis šaltinis yra sukurtas panaudojant LCC rezonuojančią grandinę su įtampos lygintuvo grandine ir magnetinio perjungimo grandinę. Siūlomo konverterio jungtukai yra ZCS tipo, todėl jie mažina perjungimo nuostolius ir mažina pačio jungtuko įtampos perkrovas. Šiame straipsnyje siūlomas magnetinis perjungimas, nes naudojant jį galima suspausti srovės ir įtampos signalų formas. 2.5. paveiksle pateikiama konverterio principinė schema [16].



2.5 pav. Aukštos impulsinės įtampos šaltinio konverteris

J. Sveikata ir A. Noreika savo straipsnyje „Sąsajos valdymo algoritmo tyrimas ir programavimas“ apžvelgia GPIB sąsajos privalumus ir trūkumus.

Šiame straipsnyje autoriai tiria įvairių prietaisų valdymą per GPIB sąsają. Taip pat aprašoma ir pateikiama pagrindinės komandos, naudojamos valdant tam tikrus prietaisus.

Straipsnyje aprašoma, kaip reikia sudaryti automatizuotą sistemą, kuri būtų valdoma kompiuterio programine įranga. Parenkamas algoritmas. Sistemos valdymas turėtų apimti jos veikos algoritmą, atliekamų funkcijų skaičių, indikacijos pobūdį, sąsają su vartotoju. Tokios sistemos, vykdančios vieną iš funkcijų – spektro analizę, tyrimo tikslas – sukurti virtualųjį prietaisą, kuris atliktų realaus optinio spektro analizatoriaus valdymo funkciją [26].

Taip pat straipsnyje aprašomos LabVIEW ir LabWindows programos. Šiomis programomis galima kurti virtualiuosius prietaisus, kurie komunuotų per GPIB sąsają. Aprašoma kiekvienos iš šių programų trūkumai ir privalumai. LabVIEW terpės pagrindinis privalumas yra grafinis programavimas. Naudojantis šia programa nereikia mokėti programavimo kalbos, programavimas tampa ne toks sudėtingas. LabWindow terpėje vaizdžiau parodoma GPIB programavimo sintaksė.

### 3. TYRIMO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI

**Darbo tikslas** – suprojektuoti aukštosios įtampos maitinimo šaltinį su GPIB sąsaja. Sukurti aukštosios įtampos šaltinio valdymo ir stebėjimo modelį. Išanalizuoti šaltinio charakteristikas.

Siekiant šio tikslo, būtina išspręsti šiuos klausimus:

1. Išanalizuoti esamus maitinimo šaltinius;
2. Išanalizuoti GPIB sąsajos veikimą;
3. Ištirti GPIB sąsajos projektavimo galimybes;
4. Išanalizuoti maitinimo šaltinio charakteristikas;
5. Sukurti programinės įrangos modelį;
6. Apibendrinti rezultatus ir suformuluoti išvadas.

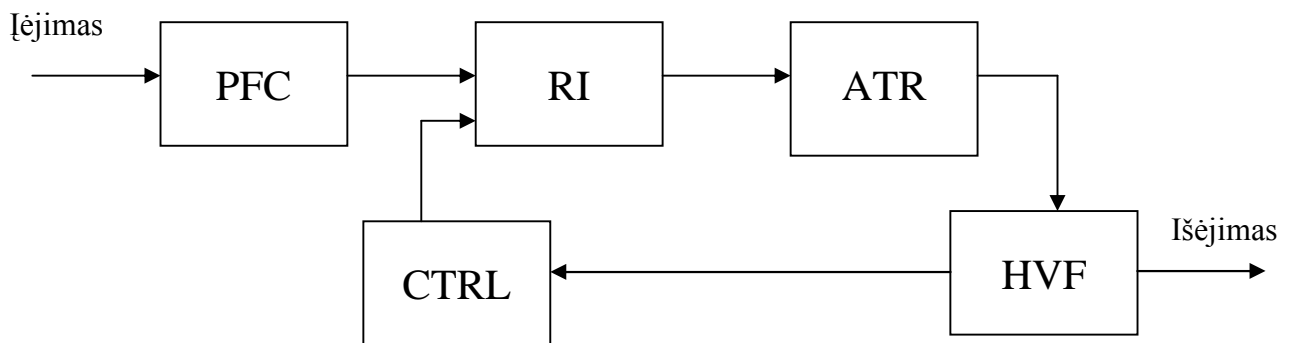
## 4. ANALITINĖ DALIS

### 4.1. Aukštosios įtampos maitinimo šaltiniai

#### 4.1.1. Veikimo principas

Dauguma aukštosios įtampos maitinimo šaltinių sudaromi iš kelių pagrindinių elementų. Pagrindinė tokio įtaiso užduotis yra pakelti išėjimo įtampą iki norimo lygio. Patys maitinimo šaltiniai yra maitinami tinklo įtampa, kuri siekia 230 voltų. Prietaiso išėjimo įtampa gali būti nustatoma įvairiais būdais. Paprasčiausi yra mechanškai valdomi maitinimo šaltiniai. Tokio prietaiso nustatymas nėra labai tikslus, bet jo valdymas yra nesudėtingas. Taip pat gali būti elektroniskai ar net kompiuterizuotai valdomi maitinimo šaltiniai. Jie yra kur kas brangesni, bet suteikia vartotojui daugiau galimybių panaudojant prietaisą.

Iš žemiau pateiktos struktūrinės schemos galima matyti, kad prietaisas susideda iš kelių pagrindinių elementų.



4.1 pav. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio struktūrinė schema

PFC (*Power Factor Correction*) elementas yra galios faktoriaus korektorius. Galios faktorius elektrinėse sistemose apibūdinamas, kaip realios galios patenkančios į apkrovą santykis su galia, esančia grandinėje. Reali galia apibūdinama, kaip galia, kuri suteikiama atlikti tam tikrą darbą. O galia esanti grandinėje apibūdinama, kaip įtampos ir srovės esančiose grandinėje produktas. Galios faktorius būna mažesnis už vienetą ir svyruoja priklausomai nuo PFC elemento tipo. Taip yra todėl, kad energija yra saugoma apkrovoje, o vėliau dalis jos gražinama šaltiniui arba dėl netiesinių apkrovų atsiranda galios nuostoliai, kurie iškraipo srovės stiprio signalo formą. Elektrinėse sistemose apkrova su žemu galios faktoriumi gauna didesnę srovės stiprį negu apkrova su aukštu galios faktoriumi, esant vienodam kiekiui naudingos galios. Aukštos srovės sukelia energijos nuostolius sistemoje ir reikalauja stambesnių laidų ir kitų įrenginių didesnio atsparumo. Dėl didelės

įrenginių kainos ir energijos nuostolių, elektros naudingumas pramoniniams ir komerciniams vartotojams, kurie naudoja mažo galios faktoriaus apkrovas, bus mažesnis [28].

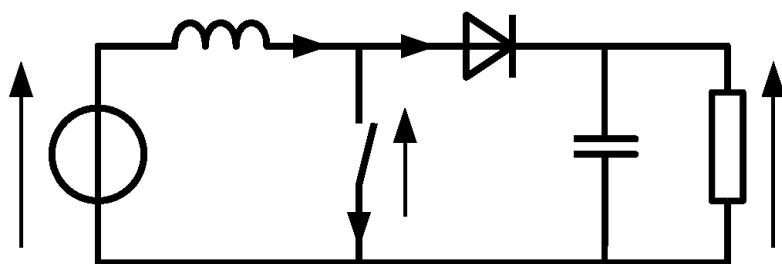
Netiesinėms apkrovoms galima taikyti pasyviuosius arba aktyviuosius PFC. Pats paprasčiausias yra pasyvusis PFC. Tai yra paprasčiausias būdas kontroliuoti srovės stiprio harmonikas, panaudojant filtrus. Nesudėtingai projektuojamas filtras, kuris praleidžia srovės tik tam tikru dažniu (pvz.: 50 Hz). Šis filtras mažina srovių harmonikas, tai reiškia kad netiesinis prietaisas atrodo kaip tiesinė apkrova. Dėl to, tiksliai apskaičiavus filtro elementų reikšmes, gali būti pasiektas beveik maksimalus galios faktorius. Vis dėlto šis filtras reikalauja didelės vertės, aukšto srovės stiprio talpų, kurios yra didelių gabaritų ir gana brangios. Pasyviajame PFC naudojamas didesnis induktorius nei aktyviajame PFC, bet jo kaina mažesnė. Apibendrinant galima pasakyti, kad pasyvusis PFC yra paprasčiausias būdas koreguoti apkrovos netiesiškumą, bet efektyvumu jis labai nusileidžia aktyviajam PFC.

Aktyvusis PFC yra galios elektronikos sistema, kuri kontroliuoja apkrovos sunaudotą galios kiekį tam, kad galėtų palaikyti galios faktorių kuo artimesnį vienetui. Dažniausiai aktyvusis PFC kontroliuoja apkrovos įėjimo įtampą, taip, kad srovės stiprio forma būtų proporcinga įtampos formai (sinusoidei). PFC elemento tikslas yra pasiekti, kad galios faktorius būtų kuo didesnis. Pagrindinis tikslas yra apkrovos grandinę, kurios galios faktorius yra koreguotas, padaryti visiškai tiesinę. Tuomet reali galia atitiks grandinėje esančią galią.

Egzistuoja kelių tipų aktyvieji PFC:

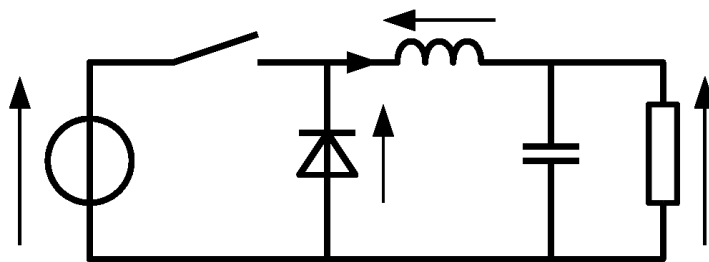
- § Didinantis;
- § Mažinantis;
- § Didinantis-mažinantis.

Žemiau pateikiamos visų tipų filtrų schemas.



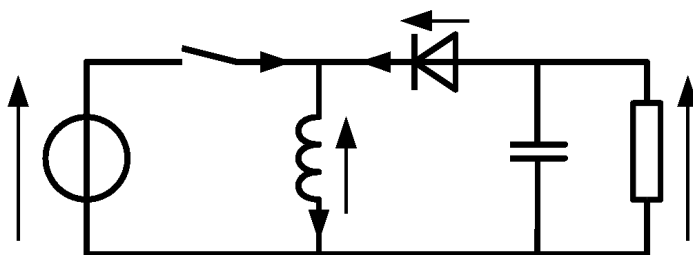
4.2 pav. Didinantis PFC

Didinantis PFC, dar kitaip vadinamas aukštinantysis konverteris, yra galios konverteris, kurio išėjimo kintanti įtampa yra aukštesnė už įėjimo kintančią įtampą. Jis sudarytas iš mažiausiai dviejų puslaidininkinių jungtukų (diodo ir tranzistoriaus) ir mažiausiai vieno energiją saugančio elemento. Kartais prie jų būna projektuojami filtrai iš talpų ir induktorių, kurie leidžia sumažinti įtampos pulsacijas išėjime.



4.3 pav. Mažinantis PFC

Mažinantis PFC yra labai panašios sandaros į didinantį PFC. Kaip ir pastarasis, šis taip pat naudoja du jungtukus ir induktorių su talpa. Šio elemento veikimas gana paprastas. Induktorių kontroliuoja du jungtukai (dažniausiai tai būna tranzistorius ir diodas). Jie prijungia induktorių prie įtampos šaltinio, kad induktorių galėtų kaupti energiją ir atjungia, kad jis galėtų išsikrauti ant apkrovos.



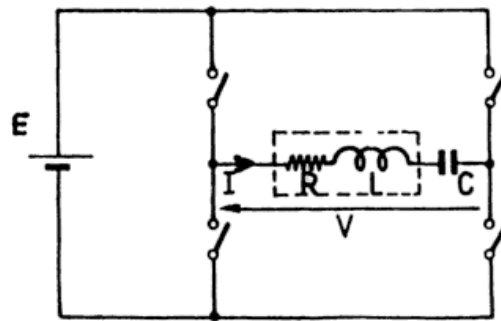
4.4 pav. Didinantis-mažinantis PFC

Didinantis-mažinantis PFC elementas turi abiejų prieš tai nagrinėtų elementų savybių. Išėjime gauta kintama įtampa gali būti didesnė arba mažesnė už kintamą įėjimo įtampą. Schematiškai jis taip pat panašus į abu prieš tai nagrinėtus elementus. Išėjimo įtampa yra nustatoma priklausomai nuo tranzistoriaus pulsacijos ciklo. Vienas šio elemento trūkumas tas, kad tranzistorius neturi įžeminimo, o tai komplikuoja schemas projektavimą. Taip pat išėjimo įtampos poliariškumas yra priešingas įėjimo įtampos poliariškumui.

Kitas labai svarbus aukštosios įtampos maitinimo šaltinio elementas yra rezonuojantis inverteris. Šis elementas keičia kintamą įtampą į nuolatinę. Įtampos keitimas yra pasiekiamas naudojant nmoduliuojamą vienos fazės DC/AC keitiklį, kurio struktūra priklauso nuo kintamos įtampos šaltinio.

Pats paprasčiausias rezonuojantis inverteris pavaizduotas 4.5 paveiksle. Kaip matome jį sudaro keturi jungtukai, kurie yra dvikrypčiai srovei ir vienakrypčiai įtampai. Šie jungtukai dažniausiai yra

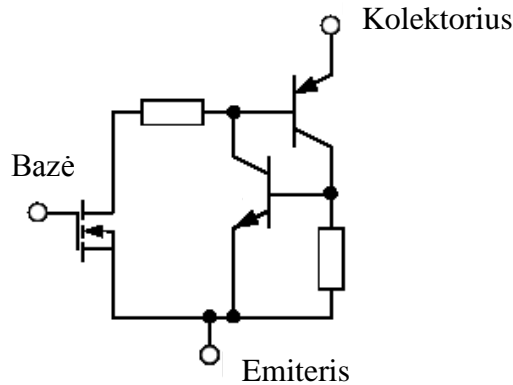
kontroliuojami nelygiagretūs diodai. Diodai gali būti kontroliuojami tiristorių, tranzistorių ar kitokių elementų [1].



4.5 pav. Rezonuojančio inverterio schema

Esant sinusiniam įtampos signalui galios faktoriaus kompensavimas yra pasiekiamas prie apkrovos prijungus kondensatorių. Tokiu atveju grandinė tampa rezonuojanti ir vadinama rezonuojančiu inverteriu.

Dažniausiai inverteriai skirstomi pagal tai, kokio tipo jungtukus jie naudoja. Egzistuoja kelių tipų rezonuojantys inverteriai. Vieni kokybiškiausių yra inverteriai su IGBT (izoliuotos bazės bipoliariniai tranzistoriai) tranzistoriais. IGBT tranzistorius yra trijų jungčių puslaidininkinis elementas. Jis labai efektyvus ir greitai persijungiantis. [21]

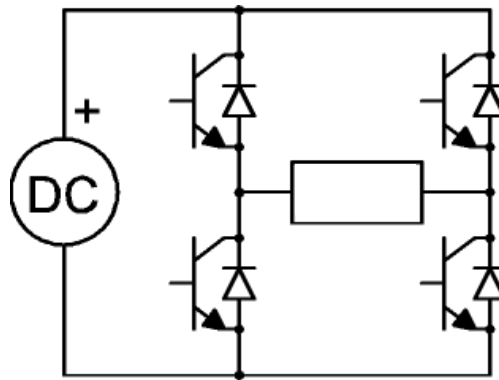


4.6 pav. IGBT tranzistoriaus ekvivalentinė schema

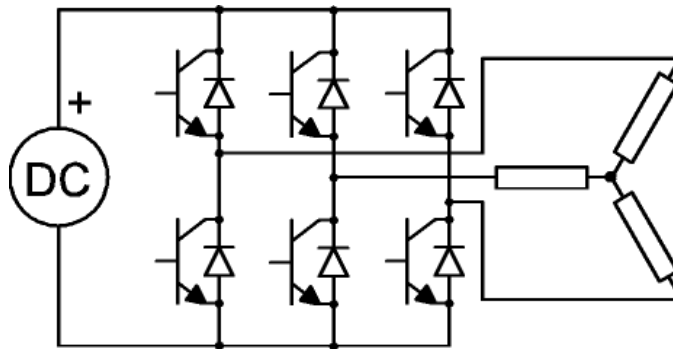
Kitas gana populiarus sprendimas yra naudoti nelygiagrečius diodus kartu su tranzistoriais. Kadangi dauguma apkrovų turi induktyvumo savybių, diodai leidžia praeiti pikinei induktyvumo srovei, kai tranzistorius yra uždaramame režime. Žemiau pateikta tokio inverterio ekvivalentinė schema.

Trijų fazių inverteriai dažniausiai naudojami aukštos galios įrenginiuose kur reikalingas aukštos kintamos įtampos perdavimas. Toks inverteris susideda iš trijų vienos fazės inverterių, kurių kiekvienas prijungtas prie tam tikros apkrovos. Pačioje paprasčiausioje tokio inverterio valdymo schemoje, trijų inverterių veikimas yra koordinuojamas taip, kad kiekvienas iš jų veiktų lygiai

šešiasdešimties laipsnių skirtumu. Toks veikimas sukuria šešių žingsnių linijinę išėjimo signalo formą. Trijų fazių inverterio schema parodyta 4.8 paveiksle.



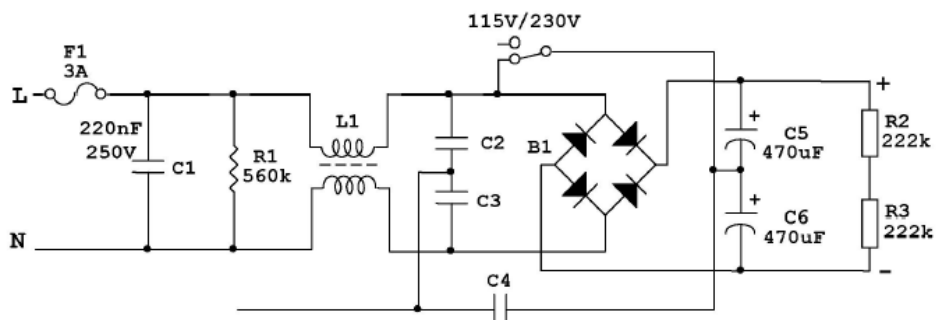
4.7 pav. Inverterio su diodais schema



4.8 pav. Trijų fazių inverterio schema

Vis dėl to pagrindinis elementas aukštosios įtampos maitinimo šaltiniuose yra aukštinantysis transformatorius. Šio tipo transformatoriai turi didesnę skaičių apvijų antrinėje ritėje negu pirminėje, dėl to antrinėje grandinėje atsiranda didesnė įtampa nei pirminėje. Pavyzdžiui, jei pirminėje ritėje yra 200 apvijų, o antrinėje 2000 tuomet antrinėje apvijoje esanti įtampa bus dešimt kartų didesnė už esančią pirminėje apvijoje.

Taip pat labai svarbus elementas yra aukštosios įtampos filtras. Dažniausiai būna naudojami linijiniai filtrai tam, kad būtų galima apsaugoti maitinimo šaltinio grandines nuo pašalinių signalų trikdžių. Šie filtrai projektuojami iš talpų ir induktorių [17].



4.9 pav. Linijinio filtro kartu su lygintuvu schema

Kaip matome iš 4.9 paveikslo, linijinį filtrą šioje schemoje sudaro kondensatoriai C1, C2, C3 ir induktyvinė ritė L1.

Apibendrinant šį poskyrį galima teigti, kad kiekvienas elementas šioje schemoje yra svarbus. Maitinimo šaltinis gauna kintamąją įtampą iš tinklo. Tuomet signalas patenka į galios faktoriaus korektorių, kuris koreguoja gautą galią iš tinklo, kad ji sutaptų su suvartojama galia. Tiesa, įtampos šaltinis gali apsieiti ir be šio korektoriaus. Bet jis yra labai svarbus, jei norima elektros energiją naudoti efektyviai. Toliau signalas patenka į rezonuojantį inverterį. Ten tranzistoriumi ar kitais elementais kintama įtampa verčiama nuolatine. Kai galiausiai apdorotas signalas patenka į aukštinantį transformatorių, kuris ir yra pagrindinis elementas įtampai pakelti iki norimo lygio. Kad įtampa būtų pakelta tiksliai iki nurodytos reikšmės, kontroliuoja valdymo elementai. Galiausiai perėjus aukštosios įtampos filtrą, įtampa patenka ant apkrovos.

#### 4.1.2. Įtampos šaltinių analizė

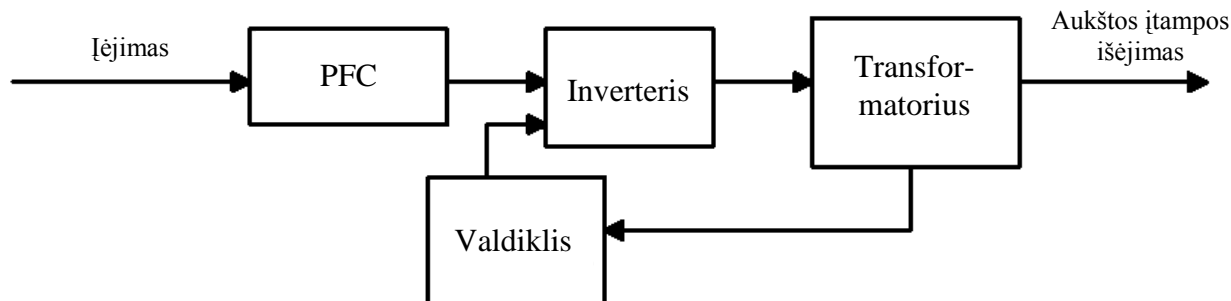
Šiame skyrelyje išanalizuosime įvairius aukštosios įtampos maitinimo šaltinius, jų sandarą, privalumus ir trūkumus. Maitinimo šaltiniai yra gana plačiai naudojami, todėl juos kuria dauguma elektrotechnikos ir elektronikos gamyba užsiimančių įmonių. Šiame skyrelyje aptarsime keletą skirtingų gamintojų šaltinių.

Pirmasis „TDK-Lambda“ įmonės gaminamas aukštosios įtampos maitinimo šaltinis ALE 102A. Šis aukštosios įtampos šaltinis veikia dviem režimais. Dažniausiai jis naudojamas kaip nuolatinės srovės kondensatorių įkroviklis, kuris patikimai įkrauna aukštosios įtampos kondensatorius ir impulsinės įtampos tinklus. Taip pat ALE 102A gali veikti kaip nuolatinės įtampos šaltinis, panaudojus papildomą filtrą su kondensatoriumi. Šis prietaisas naudoja patentuotą paralelinio rezonuojančio keitiklio topologiją kuri užtikrina tikslesnį impulsų pasikartojimą lyginant su kitomis technologijomis [31].



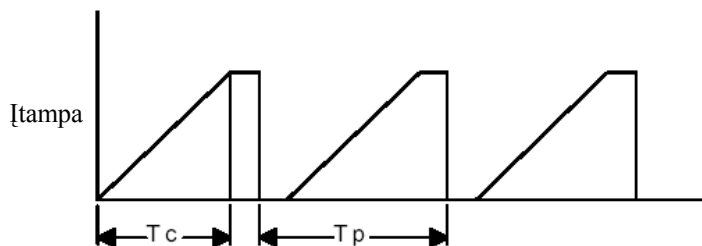
**4.10 pav.** Aukštosios įtampos maitinimo šaltinis ALE 102A

102A įtampos šaltiniai naudoja naujos technologijos aukšto dažnio izoliuoto išėjimo bipoliarinio tranzistoriaus (IGBT) paralelinio rezonuojančio keitiklio topologiją efektyviam galios generavimui. Efektyvus valdymo modulis tiksliai reguliuoja išėjimo įtampą automatiškai kompensuodamas linijinius, apkrovos, temperatūros ir dažnio svyravimus.



4.11 pav. ALE 102A struktūrinė schema

Vidutinis šio šaltinio krovimo greitis yra 1000 J/s. Matavimo vienetas J/s yra lygus W, bet naudojant energijos kaupimo kondensatorius patogiau naudoti J/s vienetus. Pikinis pakrovimo greitis nusako kondensatoriaus krovimo laiką. Vidutinis pakrovimo greitis nusako visą maitinimo šaltinio generuojamą galią. Toliau pateikiamos formulės pagal kurias galima nustatyti pikinį pakrovimo greitį ir vidutinį pakrovimo greitį [31].



4.12 pav. Išėjimo signalas.

Pikinis krovimo greitis:

$$PCR = \frac{1}{2} \frac{CU^2}{T_c} \quad ; \quad (1)$$

Čia: C – kraunamo kondensatoriaus talpa (F); U – Krovimo įtampa (V).

Vidutinis krovimo greitis:

$$ACR = \frac{1}{2} \frac{CU^2}{T_p} \quad ; \quad (2)$$

Čia: C – kraunamo kondensatoriaus talpa (F); U – Krovimo įtampa (V).

Pagrindinis šio prietaiso privalumas yra jo nesudėtinga struktūra. Dėl šios priežasties jis yra labai patikimas. Kiti privalumai:

- § Patentuotas lygiagretus rezonuojantis inverteris, leidžiantis tikslų pulsacijų pasikartojimą;
- § Išėjimo įtampa iki 40 kV;
- § Vienos fazės įėjimas (220 V);
- § Galios faktoriaus korekcija;
- § Nesudėtingas lygiagretus jungimas.

Trūkumai:

- § Nėra valdymo grandinės;
- § Triukšmingas;
- § Nėra kompiuterinės sąsajos.

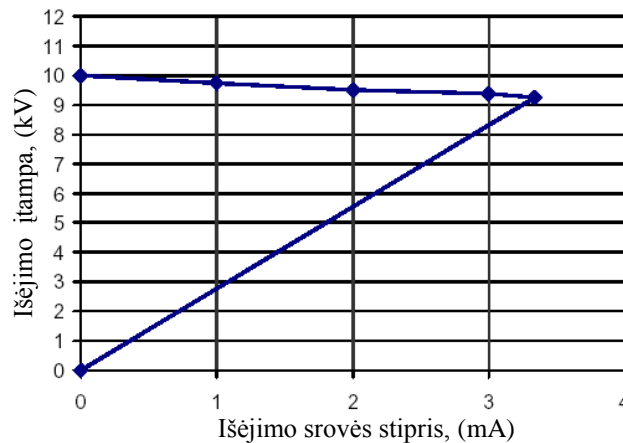
Kitas aukštosios įtampos maitinimo šaltinis tai įmonės „Aukštos įtampos galios sprendimai“ produktas 2422 serijos aukštosios įtampos maitinimo šaltinis. Šios įmonės maitinimo šaltiniai naudojami įvairiose srityse. Jie pritaikomi įvairios paskirties įrangoje. Tokioje kaip elektrostatiniai oro filtrai, elektrostatiniai purkštuvai, X-ray įranga, lazerių galios šaltiniai, jonizatoriai, pakavimo įranga ir daugumoje kitokios paskirties įrengimų. Maitinimo šaltiniuose naudojama pažangi technologija, kad kuo mažesne kaina būtų pasiektas geriausias patikimumo rezultatas. Tai yra pasiekama dėka to, kad šie šaltiniai yra gaminami ferorezonuojančių transformatorių pagrindu.



**4.13 pav.** Aukštosios įtampos maitinimo šaltinis iš 2422 serijos

Šis, 2422 serijos, maitinimo šaltinis yra reguliuojamas, vientiso korpuso ir skirtas vidutinio ciklo, aukštos įtampos maitinimo reikalaujantiems įrenginiams. Šis šaltinis maitinamas 220 V tinklo įtampa, kurios dažnis yra 50/60 Hz. Taip pat jame naudojamas dvigubas išėjimo standartas, atskiri jonizatoriaus ir kolektoriaus kontaktai. Šaltinyje įmontuotas LED indikatorius, parodantis kada tiekama aukšta įtampa. Šios serijos maitinimo šaltiniai gaminami metalinėse dėžėse su tvirtinimui

skirtais elementais, todėl juos galima tvirtinti bet kur. Žemiau pateiktas išėjimo srovės ir įtampos grafikas.



4.14 pav. Išėjimo srovės stiprio ir įtampos grafikas

Šio maitinimo šaltinio pagrindiniai privalumas yra jo nedideli matmenys, bet svarbus trūkumas yra tas, kad jis pritaikytas veikti tik tam tikroje įrangoje. Kiti privalumai:

- § Maža kaina;
- § Patikimas metalinis korpusas;
- § Automatinis prietaiso restartavimas;
- § Automatinis būsenos atkūrimas.

Trūkumai:

- § Siaura taikymo sritis;
- § Mažas tikslumas;
- § Nėra valdymo grandinės.

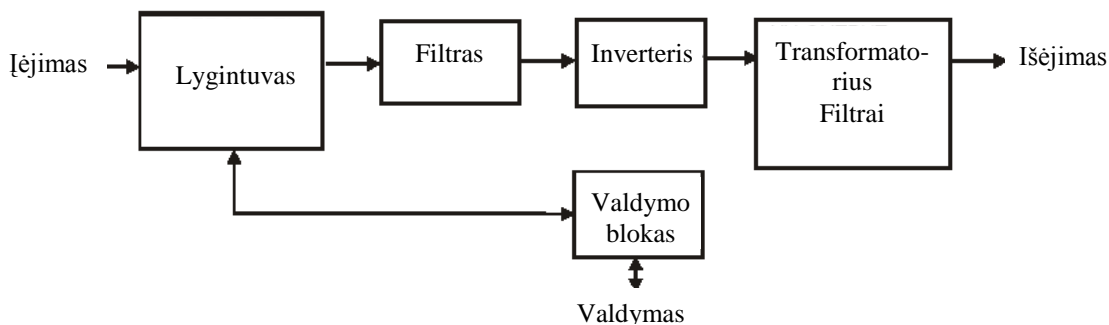
Galiausiai aptarsime dar vieną firmos TDK-Lambda aukštosios įtampos maitinimo šaltinį. Tai ALE XR/XRDC programuojamas aukštosios įtampos maitinimo šaltinis. Šis prietaisas yra taikomas aukštų standartų kondensatorių krovimo įrangai, kuriai reikalingas ypač žemų pulsacijų šaltinis. ALE XR/XRDC leidžia operuoti kintama įtampa su mažomis pulsacijomis ir mažu saugomos energijos kiekiu. Patentuotas lygiagretus rezonuojantis konverteris su fazių perėjimu leidžia šiam prietaisui atlikti labai tikslius pulsacijų pasikartojimus esant labai dideliame dažniui. Dirbdamas realioje sistemoje šis prietaisas gali pasiekti 0,1 % pulsacijų pasikartojimą esant 2 kHz dažniui [32].

ALE XR/XRDC yra didelio tikslumo maitinimo šaltinis, kuris gali būti skirtas kondensatorių krovimui lazerinėse sistemose arba kitokioms pulsacinėms sistemoms. Lyginant su kitais, mažesnio tikslumo šaltiniais, šis šaltinis turi papildomus išoriškai montuojamus kondensatorinius filtrus. Taip pat jam reikalingas saugomos energijos kiekis yra kur kas mažesnis lyginant su kitais prietaisais. Dėl to jis idealiai tinka tokiems įrengimams kaip kompaktiški didelės galios stiprintuvai didelės raiškos televizijos įrangai.



**4.15 pav.** Aukštosios įtampos maitinimo šaltinis ALE XR/XRDC

Šis šaltinis, kaip ir pirmasis nagrinėtas, turi aukšto dažnio rezonuojantį inverterį, kuris efektyviai generuoja išėjimo galią. Didelio patikimumo valdymo modulis tiksliai reguliuoja išėjimo įtampą automatiškai kompensuodamas linijinius, apkrovos, temperatūros, dažnio ir programinius įtampos skirtumus. Normalūs išorinės klaidos faktoriai tokie kaip linijos nutrūkimas, trumpas jungimas ar didelės temperatūros nekenkia prietaisui [32].



**4.16 pav.** Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio ALE XR/XRDC blokinė schema

Kiekviename diapazone išėjimo įtampa pilnai reguliuojama. Rekomenduojamas valdymo diapazonas pilnam reguliavimui yra nuo 10 % iki 100 % pilnos skalės. Išėjimo srovės stipris esant nuo 100 % iki 10 % reguliuojamos išėjimo įtampos yra pastovus. Tai suteikia galimybę pasiekti 600 vatų vidutinę galią esant 100 % reguliuojamai išėjimo įtampai.

Pagrindinis šio aukštosios įtampos maitinimo šaltinio privalumas yra jo tikslumas. Dėl šios savybės jis gali būti naudojamas įvairiuose sudėtinguose sistemose. Kiti privalumai:

- § Turi kompiuterinę sąsają;
- § Turi valdymo grandinę;
- § Didelis tikslumas esant aukštam dažniui.

Trūkumai:

§ Sąlyginai didelė kaina;

§ Dideli gabaritai;

Palyginus visus tris maitinimo šaltinius paaiškėjo, kad kiekvienas iš jų turi tam tikrus privalumus. Kiekvienas iš jų yra taikomas tam tikrose sistemose atsižvelgiant į jų patikimumą ir kitas charakteristikas. Tiksliausias ir daugiausiai privalumų turintis trečiasis nagrinėtas maitinimo šaltinis labiausiai išsiskiria iš visų, bet jis yra taikomas tik sistemose kur reikalingas preciziškas tikslumas, duomenų apdorojimas ir kitos sudėtingos funkcijos. Pirmi du šaltiniai nėra tokie tikslūs ir neturi instaliuotų valdymo grandinių, bet savo ruožtu jų taikymo sritis yra kur kas platesė.

## 4.2. GPIB sąsaja

Egzistuoja nemažai sukurtų kompiuterinių sąsajų duomenims ir komandoms tarp prietaisų perduoti. Kiekviena iš jų turi savo trūkumų ir privalumų. Šiame skyriuje išnagrinėsime GPIB (*General Purpose Interface Bus*) sąsają. Dažniausiai ji taikoma matavimo prietaisams komunikuoti tarpusavyje ir su kompiuteriu. Taip yra todėl, kad naudojant šią sąsają galima nesunkiai kelis prietaisus sujungti vienoje magistralėje. O tai yra naudinga atliekant įvairius mokslinius eksperimentus ar bandymus.

### 4.2.1. Veikimo principas

GPIB sąsają turintys prietaisai komunikuoja su kitais tokią pat sąsają turinčiais prietaisais siųsdami duomenų žinutes tik tam skirtam prietaisui. Taip pat yra siunčiamos ir sąsajos žinutės.

Konkreiems prietaisams siunčiamos žinutės dar kitaip vadinamos duomenų žinutėmis. Šiose žinutėse saugoma prietaiso specifika atitinkanti informacija, tokia kaip programavimo instrukcijos, matavimo rezultatai, prietaiso statusas ir duomenų failai. Tuo tarpu sąsajos žinutės valdo duomenų magistralę. Kitaip dar vadinamos komandinėmis žinutėmis, jos atlieka tokias funkcijas, kaip magistralės inicijavimas, adresų suteikimas prietaisams ir peradresavimas, taip pat nustato prietaisų režimus tarp nuotolinio arba vietinio programavimo. Komandinės žinutės dažnai yra painiojamos su prietaisų komandomis, bet taip neturėtų būti, nes šis apibūdinimas šiuo atveju atitinka tik sąsajos komandinės žinutes, o prietaisų komandos yra siunčiamos duomenų žinutėmis.

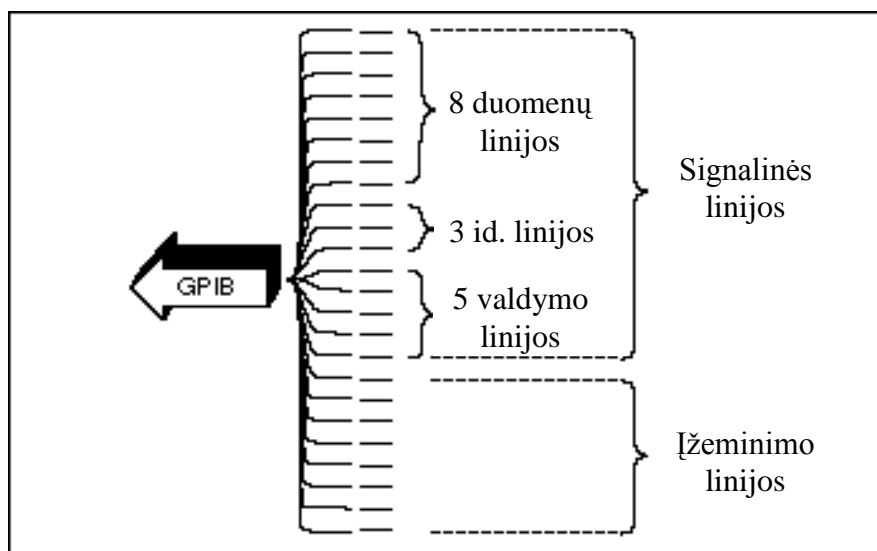
GPIB prietaisai gali būti aktyvieji, pasyvieji arba valdantieji. Aktyvieji prietaisai siunčia duomenų žinutes vienam ar keliems pasyviems prietaisams, kurie duomenis priima. Tuo tarpu valdantysis prietaisas kontroliuoja informacijos judėjimą magistrale, siuntinėdamas komandas visiems prietaisams.

Labai nesunku įsivaizduoti GPIB veikimą lyginant jį su miesto telefono linijų kontrolės stotimi. Kontrolės stotis, kitaip tariant valdantysis GPIB prietaisas, atlieka tinklo monitoringą. Kai stotis pastebi, kad kažkas nori skambinti ji sujungia skambintoją su atsakovu. Kitaip tariant, kai valdantysis prietaisas pastebi, kad aktyvusis prietaisas nori siųsti duomenis, jis sujungia aktyvųjį prietaisą su pasyviuoju. Valdantysis prietaisas dažniausiai suteikia adresus aktyviems ir pasyviems prietaisams prieš jiems pradėdant komunikuoti. Kai duomenys nusiunčiami, valdantysis prietaisas gali adresuoti kitus prietaisus. Vis dėl to kai kuriems prietaisams nebūtinai valdymas. Pavyzdžiui, jei prietaisas yra tik siuntėjas, jis gali būti sujungtas su vienu ar keliais gavėjais. Bet valdantysis prietaisas yra būtinas, kai reikia pakeisti adresuotus aktyviuosius ir pasyviuosius prietaisus. Valdymo funkciją dažniausiai atlieka kompiuteris, kuriame įrengta atitinkama įranga. Nors GPIB tinkle kontroliuojančių prietaisų gali būti ne vienas, bet vienu metu

gali veikti tik vienas valdantysis prietaisais. Valdymas gali būti peduotas iš aktyvaus valdančiojo prietaiso laisvam valdančiajam prietaisui.

#### 4.2.2. GPIB signalai

GPIB sąsają sudaro šešiolika duomenų perdavimo linijų ir aštuonios išžeminimo linijos. Šešiolika linijų susideda iš aštuonių duomenų perdavimo linijų, trijų identifikavimo linijų ir penkių sąsajos valdymo linijų. GPIB sąsajos struktūra pavaizduota 4.17 paveiksle.



4.17 pav. GPIB sąsajos struktūrinė schema

Aštuonios duomenų linijos (trumpiau žymimos kaip DIO1-DIO8) palaiko duomenų ir komandinių žinučių siuntimą. Būsenos stebėjimo linija (ATN) nustato ar duomenų linijomis siunčiama informacija yra duomenys ar komandos. Visoms komandoms ir daugumai duomenų siųsti yra naudojamas septynių bitų ASCII arba ISO kodas. Tokiu atveju aštunta duomenų linija yra nenaudojama arba naudojama kaip paritetinė [10].

Trys identifikavimo linijos asinchroniškai kontroliuoja duomenų siuntimą tarp prietaisų. Šis procesas vadinasi trijų laidų susikabinimas. Tai garantuoja, kad visi duomenys ir komandos yra nusiųstos ir priimtos be siuntimo klaidų. Visos trys identifikavimo linijos turi savo reikšmes:

§ NRFD (not ready for data) – parodo ar prietaisai yra pasirengę ar nepasirengę priimti žinutę. Šią liniją valdo visi prietaisai, kai siunčiamos komandos. Pasyvieji prietaisai liniją valdo tuomet, kai gaunami duomenys. Aktyvieji prietaisai valdo tuomet kai norima aktyvuoti HS488 protokolą.

§ NDAC (no data accepted) – parodo ar prietaisai priėmė ar nepriėmė žinutės. Šią liniją valdo visi prietaisai, kai siunčiamos komandos. Pasyvieji prietaisai liniją valdo tuomet, kai gaunami duomenys.

§ DAV (data valid) – parodo ar duomenų linijo signalas yra stabilus ir ar prietaisai gali saugiai priimti duomenis. Šią liniją valdo valdantysis prietaisas kai yra siunčiamos komandos, o kai siunčiami duomenys, liniją valdo aktyvusis prietaisas.

Informacijos srautą, einantį per sąsają, valdo penkios sąsajos valdymo linijos:

§ ATN (attention) – šią liniją kontroliuoja valdantysis prietaisas. Jis nustato teigiamą signalo reikšmę, kai naudoja duomenų linijas komandų siuntimui ir neigiamą reikšmę, kai aktyvusis prietaisas gali siųsti duomenis.

§ IFC (interface clear) – šią liniją kontroliuoja sisteminis valdiklis. Ji naudojama magistralės inicijavimui ir aktyvaus valdančiojo prietaiso nustatymui, jei sistemoje yra keli valdantieji prietaisai.

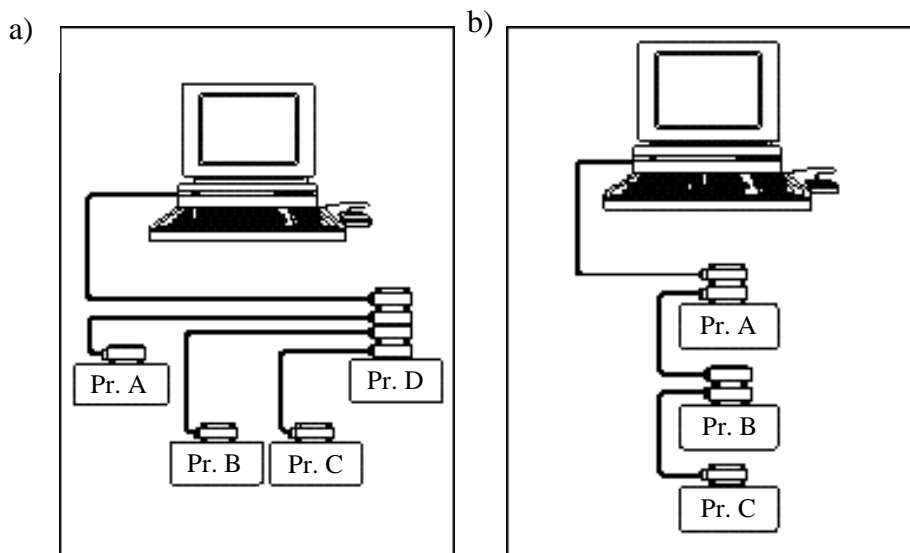
§ REN (remote enable) – šią liniją taip pat kontroliuoja sisteminis valdiklis. Ji naudojama prietaiso programavimo režimui nustatyti. Prietaisas gali būti programuojamas nuotoliniu būdu (kompiuteriu) arba lokaliai.

§ SRQ (service request) – bet kuris prietaisas gali valdyti SRQ linija. Ji naudojama tam, kad prietaisai asinchroniškai galėtų reikalauti patikros iš kontroliuojančio prietaiso.

§ EOI (end or identify) – EOI linija turi dvi paskirtis. Aktyvieji prietaisai naudoja šią liniją tam, kad pažymėtų siunčiamos eilutės pabaigą, o kontroliuojantis prietaisas ją naudoja tam, kad galėtų lygiagrečiai identifikuoti kitus prietaisus.

Prietaisai per GPIB sąsają gali būti jungiami trim būdais: tiesiniu, žvaigždės arba mišriu.

Tiesinis jungimas ir jungimas žvaigžde pavaizduoti 4.18 paveiksle [10].

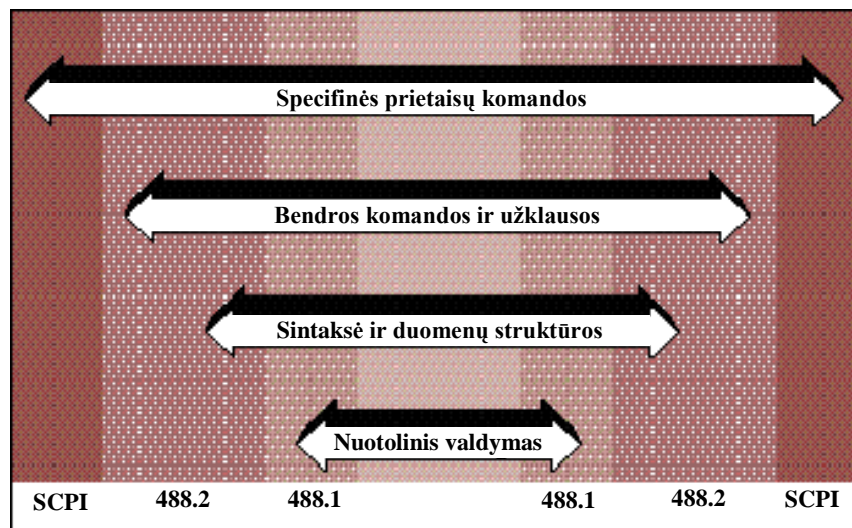


4.18 pav. Prietaisų jungimas žvaigžde (a) prietaisų jungimas tiesiškai (b)

GPIB sąsajoje naudojama neigiamji logika su standartiniais TTL lygiais. Kai signalas yra teigiamas, tada TTL yra žemo lygio ( $\leq 0,8V$ ), o kai signalas yra neigiamas, tada TTL yra aukšto lygio ( $\geq 2,0V$ ).

### 4.2.3. Standartai

SCPI ir IEEE 488.2 standartai pašalino originalaus IEEE488 standarto apribojimus ir dviprasmybes. IEEE 488.2 standarto dėka tapo įmanoma sukurti kur kas pranašesnes ir labiau suderinamas testavimo ir kitokios paskirties sistemas. SCPI standartas supaprastino ir palengvino programavimo uždavinius. Šis standartas apibrėžė vienietines visapusiškas komandas, skirtas programuojamiems prietaisams priklausomai nuo gamintojo. GPIB protokolų evoliucija pateikta 4.19 paveiksle.



4.19 pav. GPIB protokolų evoliucija

Pirmasis GPIB standartas IEEE 488.1 labia ženkliai palengvino ryšius tarp programuojamų instrumentų aiškiai apibrėždamas mechanines, elektrines ir technines protokolų specifikacijas. Šio protkolo pagalba pirmą kartą skirtingų gamintojų įranga buvo sujungta vienu standartiniu kabeliu. Nors šis standartas nuėjo tikrai ilgą bandymų kelią ir ženkliai padidino inžinierių darbo produktyvumą, jis vis tiek turėjo nemažai trūkumų. Pagrindiniai trūkumai buvo tai, kad IEEE 488.1 neadresavo duomenų formatų, esamos būsenos, duomenų apsikeitimų protokolų, bendrų konfigūravimo komandų ar nuo prietaiso priklausančių komandų. Dėl šių elementų nebuvimo, gamintojai pradėjo juos įgyvendinti skirtingai, palikdami testavimo sistemų kūrėjams sudėtingus uždavinius, suderinti skirtingų gamintojų prietaisus [9].

Vėliau sukurtas standartas IEEE 488.2 padidino ir sustiprino IEEE 488.1 standartą. Naujasis protkolas standartizavo duomenų formatus, esamą būsenos statusą, klaidų taisymą, valdiklio funkcionalumą ir bendras komandas į kurias visi prietaisai turi atsakyti apibrėžtu būdu. Atlikus šiuos patobulinimus testavimo sistemos ir prietaisai tapo dar labiau suderinami, o GPIB sąsaja tapo dar patikimesnė. Naujasis standartas daugiausia koncentravosi į programinės įrangos protokolų problemas ir dėl to išlaikė suderinamumą su IEEE 488.1 protokolu, kuris buvo labiau orientuotas į technologinę pusę.

SCPI tai naujausias sukurtas GPIB standartas. Jis sukurtas IEEE 488.2 standarto pagrindu. SCPI apibrėžė komandas skirtas konkreitiems prietaisams ir tokiu būdu standartizavo prietaisų programavimą. SCPI sistemas yra kur kas lengviau programuoti ir eksploatuoti. Dauguma atvejų galima apkeisti arba atnaujinti prietaisus nekeičiant valdymo programos. IEEE 488.2 ir SCPI standartai kartu leidžia pasiekti didelį produktyvumą ir galiausiai SCPI papildė IEEE 488.2 pateikdama programinės įrangos standartą. Kartu šie standartai suteikia dideles galimybes GPIB prietaisų kūrėjams ir vartotojams.

IEEE 488.2 paskatino GPIB standarto tobulinimą. Taip pat sukuriant IEEE 488.2 buvo išspręstos adresavimo problemos, kurios iškildavo naudojant ankstesnįjį IEEE 488 standartą. Naujasis standartas buvo projektuojamas su sąlyga, kad jis bus pilnai suderintas su senuoju 488.1 standartu. Bendravimui tarp valdančiųjų prietaisų ir paprastų prietaisų IEEE 488.2 standarte buvo naudojamas persidengimo principas. Persidengimo principas reiškia, kad aktyvūs prietaisai turi būti labai tikslūs siunčiant komandas ir duomenis, o pasyvūs prietaisai turi reaguoti į visus atsiunčiamus duomenis net jei jie persidengia. Kitaip tariant, IEEE 488.2 tiksliai apibrėžė kaip IEEE 488.2 valdantieji prietaisai turėtų komunikuoti su kitais IEEE 488.2 sistemos prietaisais. Tokių būdu buvo sukurta sistema, kuri yra labai patikima ir efektyvi. Standartas taip pat reikalavo, kad IEEE 488.2 palaikantys prietaisai galėtų dirbti kartu su IEEE 488.1 prietaisais. Dėl to naujojo standarto prietaisai turėjo priimti labai platų komandų ir duomenų formatų spektrą. Bet pilnai išnaudoti IEEE 488.2 privalumus galima tik realizuojant visą IEEE 488.2 standartą palaikančią sistemą.

#### 4.2.4. Prietaisai

Nors IEEE 488.2 standartas valdantiesiems prietaisams nepadarė tiek daug įtakos kiek paprastiems prietaisams, vis dėl to yra keletas reikalavimų ir galimų patobulinimų valdantiesiems prietaisams, kurie padarė naujojo standarto valdantįjį prietaisą būtinu visos sistemos patikimam veikimui užtikrinti. IEEE 488.2 standartas tiksliai apibrėžė kaip IEEE 488.2 valdantieji prietaisai turi siųsti komandas ir duomenis ir taip pat pridėjo jiems daugiau funkcijų. Dėl šių papildomų valdančiojo prietaiso reikalavimų, prietaisų kūrėjai gali projektuoti labiau suderinamus ir efektyvesnius prietaisus. Šio patobulinimo privalumus labai smarkiai pajuto ir GPIB testavimo sistemų kūrėjai. Naudojantis nauju standartu tokių sistemų kūrimas kainuoja mažiau ir sutaupomas projektavimo laikas. Taip yra todėl, kad nereikia spręsti instrumentų nesuderinamumo problemos, skirtingų komandų struktūrų ir duomenų formatų suderinimo.

IEEE 488.2 apibrėžė nemažai reikalavimų valdantiesiems prietaisams. Tokių kaip IEEE 488.1 standarto sąsajos palaikymas į kuri įeina tuščios sąsajos signalo palaikymas 100 mikrosekundžių, EOI signalo nustatymas ir aptikimas, REN signalo nustatymas, SRQ signalo būsenos nustatymas,

NDAC signalo būsenos nustatymas ir bet kokio I/O signalo pertraukimas. Kiti svarbūs reikalavimai valdantiesiems prietaisams yra magistrikės valdymo sintaksės ir magistralės protokolai [12].

IEEE 488.2 standartas apibrėžė valdymo sintaksės, kurios patikslina tam tikras IEEE 488.1 žinutes, kurios yra siunčiamos iš valdančiojo prietaiso. Taip pat IEEE 488.2 patikslino keletos žinučių siuntimo eilės tvarką. Naujasis standartas apibrėžė penkiolika būtinų valdymo sintaksių ir keturias pasirinktinas valdymo sintaksės. Jas visas galima matyti 4.1 lentelėje.

**4.1 lentelė.** IEEE 488.2 valdymo sintaksės

Apibūdinimas	Sintaksė	Būtinumas
Siunčiamas ATN teigiamas komandoms	SEND COMMAND	Būtina
Siunčiamas adresas duomenų siuntimui	SEND SETUP	Būtina
Siunčiamas ATN neigiamas duomenims	SEND DATA BYTES	Būtina
Siunčiama programavimo žinutė	SEND	Būtina
Siunčiamas adresas duomenų priėmumui	RECEIVE SETUP	Būtina
Priimami ATN neigiamas duomenims	RECEIVE/RESPONSE MESSAGE	Būtina
Priimamas atsakymas	RECEIVE	Būtina
Pulsuojantis IFC signalas	SEND IFC	Būtina
Nustatyti prietaisą	DEVICE CLEAR	Būtina
Nustatyti prietaisą į vietinę būseną	ENABLE LOCAL CONTROLS	Būtina
Nustatyti prietaisą į nuotolinę būseną	ENABLE REMOTE	Būtina
Nustatyti prietaisą į nuotolinę būseną su vietine išjungimo būseną	SET RWLS	Būtina
Nustatyti prietaisą į vietinę išjungimo būseną	SEND LLO	Būtina
Nuskaityti IEEE 488.2 būsenos baitą	READ STATUS BYTE	Būtina
Siunčiama bendro vykdymo trigerio žinutė	TRIGGER	Būtina
Valdymas perleidžiamas kitam prietaisui	PASS CONTROL	Nebūtina
Paleidžiamas lygiagretus polius	PERFORM PARALELL POLL	Nebūtina
Konfigūruojamas prietaiso lygiagretaus poliaus atsakas	PARALELL POLL CONFIGURE	Nebūtina
Uždaromas lygiagretus polius	PARALELL POLL UNCONFIGURE	Nebūtina

IEEE 488.2 valdymo sintaksės apibūdina tikslią GPIB būseną ir komandų eilės tvarką kiekvienai apibrėžtai operacijai. Taip pat IEEE 488.2 standarto valdymo sintaksės pašalina galimas

magistralės būsenos dviprasmybes. Dėl to valdikliai ir kiti prietaisai yra dar lengviau suderinami. Tiksliai nustatydamą magistralės būseną ir kaip prietaisai turėtų atsakyti į tam tikras žinutes, IEEE 488.2 panaikina daugumą sistemos projektavimo problemų.

IEEE 488.2 specifikacija prietaisams gali reikalauti didelių permainų mikrovaldiklių programose ir galimai techninėje įrangoje. Vis dėl to IEEE 488.2 prietaisus yra kur kas lengviau pogramuoti, nes jie atsako į bendras komandas ir užklausas tiksliai apibrėžtu būdu naudodami standartinius duomenų apsikeitimo protokolus ir duomenų formatus. IEEE 488.2 duomenų apsikeitimo protokolai yra SCPI standarto pagrindas, kuris padaro testavimo sistemų programavimą lengvesnį.

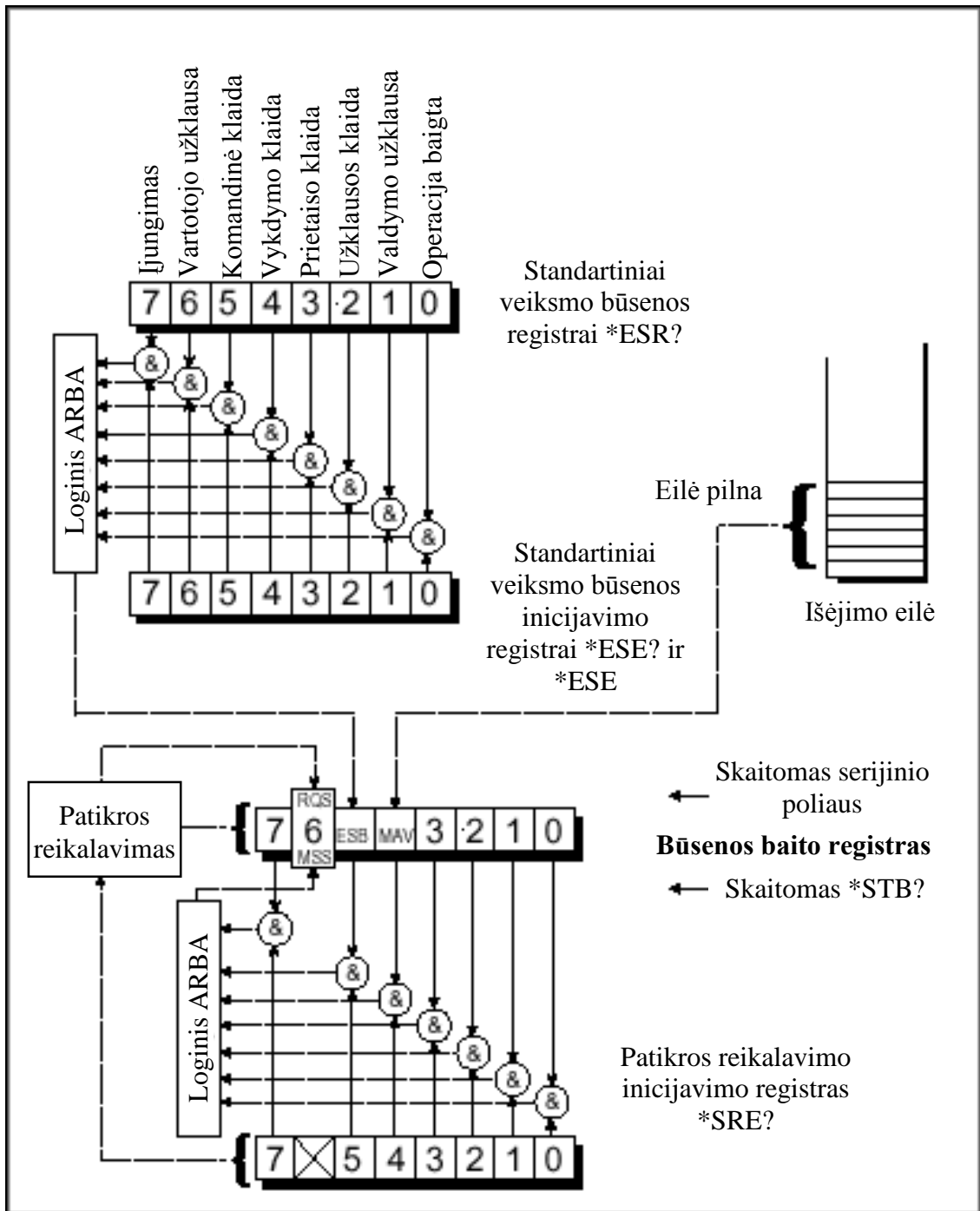
IEEE 488.2 standartas apibrėžia minimalų skaičių IEEE 488.1 sąsajos galimybių, kurias prietaisai privalo turėti. Visi prietaisai privalo sugebėti siųsti ir priimti duomenis, reikalauti patikros ir atsakyti į prietaiso žinutes. IEEE 488.2 tiksliai apibrėžia komandų, siunčiamų prietaisams, formatus ir prietaisų atsiųstų atsakymų kodavimą.

Visi prietaisai turi atlikti tam tikras operacijas, kad galėtų komunikuoti per magistralę ir pranešti esamą būseną. IEEE 488.2 apibrėžė programavimo komandas naudojamas šių operacijų vykdymui ir užklausas naudojamas priimti komandos būsenos informaciją, nes šios operacijos yra bendros visiems prietaisams. Šios bendros komandos ir užklauso pateiktos 4.2 lentelėje.

**4.2 lentelė.** IEEE 488.2 būtinos bendros komandos

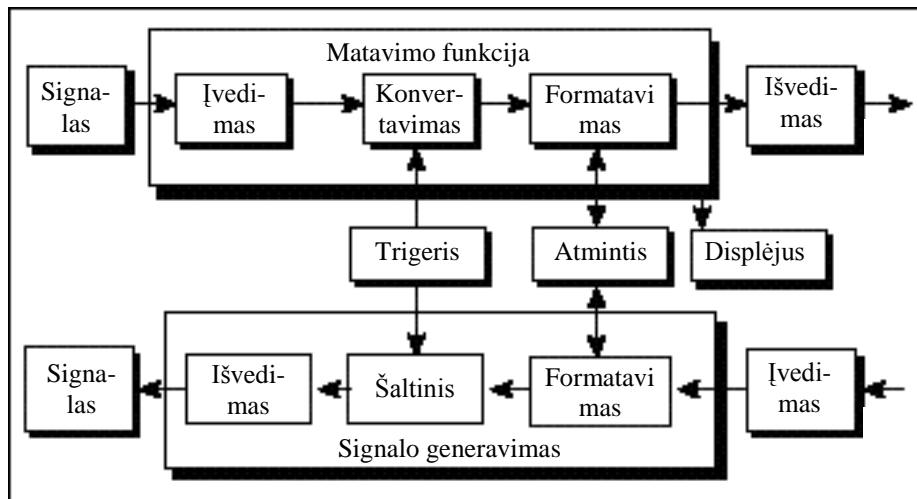
Mnemoninis kodas	Grupė	Apibūdinimas
*IDN?	Sisteminiai duomenys	Identifikavimo užklausas
*RST	Vidinės operacijos	Atitaisymas
*TST?	Vidinės operacijos	Savęs patikros užklausa
*OPC	Sinchronizacija	Operacijos užbaigimas
*OPC?	Sinchronizacija	Operacijos užbaigimo užklausa
*WAI	Sinchronizacija	Laukiama užbaigimo
*CLS	Būsena ir veiksmas	Išvalyti būseną
*ESE	Būsena ir veiksmas	Veiksmo būsenos inicijavimas
*ESE?	Būsena ir veiksmas	Veiksmo būsenos inicijavimo užklausa
*ESR?	Būsena ir veiksmas	Veiksmo būsenos registravimo užklausa
*SRE	Būsena ir veiksmas	Patikros reikalavimo inicijavimas
*SRE?	Būsena ir veiksmas	Patikros reikalavimo inicijavimo užklausa
*STB?	Būsena ir veiksmas	Būsenos baido nuskaitymo užklausa

Valdantysis prietaisas žino tiksliai kaip gauti būsenos informaciją iš kiekvieno sistemoje esančio prietaiso, nes IEEE 488.2 standartizavo būsenos pranešimo algoritmą. Šis būsenos pranešimo modelis kuriamas remiantis IEEE 488.1 būsenos baitu, kad būtų pateikiama labiau detalizuota būsenos informacija. Toks modelis parodytas 4.20 paveiksle.



4.20 pav. Būsenos pranešimo modelis

Norint pasiekti labai platų suderinamumą ir patikslinti komandų grupes, SCPI apibrėžė modelį, pagal kurį turi būti kuriami programuojami prietaisai. Šis modelis tinka įvairiems skirtingiems prietaisams. Jis parodytas 4.21 paveiksle [12].



4.21 pav. Programuojamo GPIB prietaiso modelis

Paveiksle pavaizduotas modelis nebūtinai turi atitikti realiai projektuojamo prietaiso struktūrą. Kiekviename prietaise naudojami tik konkretaus prietaiso funkcionavimui reikalingi elementai. Pavyzdžiui oscilografui nėra būtinas signalo generavimas, dėl to šis blokas oscilografuose nėra naudojamas. SCPI apibrėžia hierarchines komandų grupes, kurias kontroliuoja tam tikros funkcijos atlikimą valdydama kiekvieną iš šių funkcinių elementų.

Signalas elementas kontroliuoja ryšį tarp signalo ir prietaiso vidinių funkcinių elementų. Matavimo funkcinis blokas paverčia signalą į apdorotą formą. Signalų generavimo blokas vidinius prietaiso duomenis paverčia į signalus, kuriuos galima išsiųsti. Atminties elementas saugo duomenis prietaiso viduje. Išvedimo blokas konvertuoja prietaiso duomenis į tokia formą, kad būtų galima juos išsiųsti standartine duomenų magistrale. Trigeris atlieka sinchronizavimo funkciją. Jis sinchronizuoja prietaiso veiksmus su vidinėmis funkcijomis, išoriniais veiksmais arba kitais prietaisais.

Matavimo funkcinis blokas suteikia aukščiausio lygio suderinamumą tarp prietaisų, nes matavimas yra patikslinamas pagal signalo parametrus, o ne pagal prietaiso funkcionalumą. Kai kuriais atvejais netgi galima keisti tam tikrus prietaisus tarpusavyje, nekeičiant SCPI komandų.

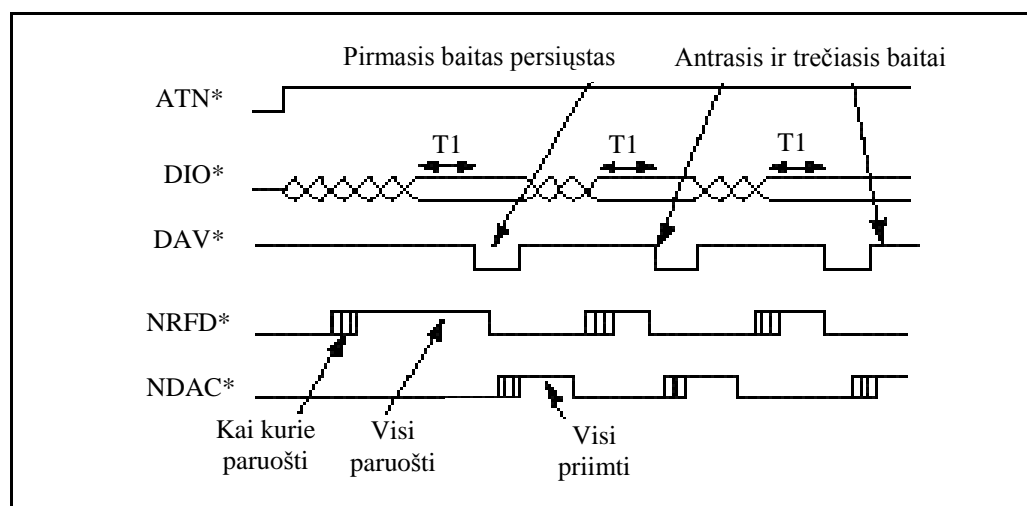
Matavimo funkcinis blokas yra padalintas į tris atskiras dalis: įvedimas, konvertavimas, formatavimas. Įvedimo elementas apdoroja įeinantį signalą prieš jam patenkant į konvertavimo elementą. Įvedimo elementas atlieka tokias funkcijas kaip signalo filtravimas, paslinkimas ir silpninimas. Konvertavimo elementas verčia signalą į duomenis, kuriuos galima apdoroti. Šis funkcinis elementas kontroliuoja signalo diapazono, raiškos, teigiamo signalo trukmės parametrus ir taip pat normalaus režimo atmetimą. Formatavimo elementas konvertuoja apdorotus duomenis į labiau tinkamus formatus, kuriuos supranta tam tikros taikomosios programos. Į formatavimo elemento funkcijas įeina vienetų konvertavimas, kilimo laiko, kritimo laiko ir dažnio parametų valdymas.

Signalų generavimo funkcinis blokas konvertuoja duomenis į išėjimo signalus. SCPI padalina signalų generavimo funkcinį bloką į tris elementus: išvedimo, šaltinio ir formatavimo. Išėjimo funkcinis elementas apdoroja išėjimo signalą po to kai jis sugeneruojamas. Išėjimo elemento funkcijoms priskiriama signalo filtravimas, paslinkimas ir silpninimas. Šio elemento funkcijos yra analogiškos įvedimo elemento, kuris yra matavimo funkciniam bloke funkcijoms. Taip pat abiejų elementų veikimo principas yra panašus. Šaltinio elementas generuoja signalą pasiremdamas patikslintomis charakteristikomis ir vidiniais duomenimis. Šaltinio elemento funkcijos yra amplitudinės moduliacijos, galios, srovės, įtampos, ir dažnio parametrų valdymas. Formatavimo elementas konvertuoja taikomuosius duomenis taip kad jie atsižvelgtų į signalų generavimo anomalijas. Formatavimo elementas koreguoja signalą priklausomai nuo išorinio poveikio, konvertuoja vienetus ir keičia domenų.

#### 4.2.5. Didelės spartos protokolai

„National Instruments“ sukūrė ir užpatentavo didelės spartos GPIB susijungimo protokolą (HS488) tam, kad būtų galima padidinti duomenų siuntimo greitį GPIB sistemose. Visi prietaisai dalyvaujantys duomenų perdavime privalo palaikyti HS488 standartą jei norima naudoti HS488 protokolą, bet jei nors vienas prietaisas sistemoje nepalaiko šio standarto HS488 palaikantys prietaisai automatiškai naudoja standartinį IEEE 488.1 protokolą, kad būtų užtikrintas suderinamumas.

Standartinis IEEE 488.1 trijų laidų susijungimas reikalauja, kad pasyvusis prietaisas pakeltų NRFD signalą iki teigiamo lygio, aktyvusis prietaisas tuo tarpu turi nuleisti DAV signalą, kad pasyvusis prietaisas suprastų, jog galima siųsti duomenis. Galiausiai kai duomenys jau yra priimti, pasyvusis prietaisas turi pakelti NDAC signalą taip pranešdamas, kad duomenys jau priimti. Standartinio susijungimo signalų chronologija pavaizduota 4.22 paveiksle.

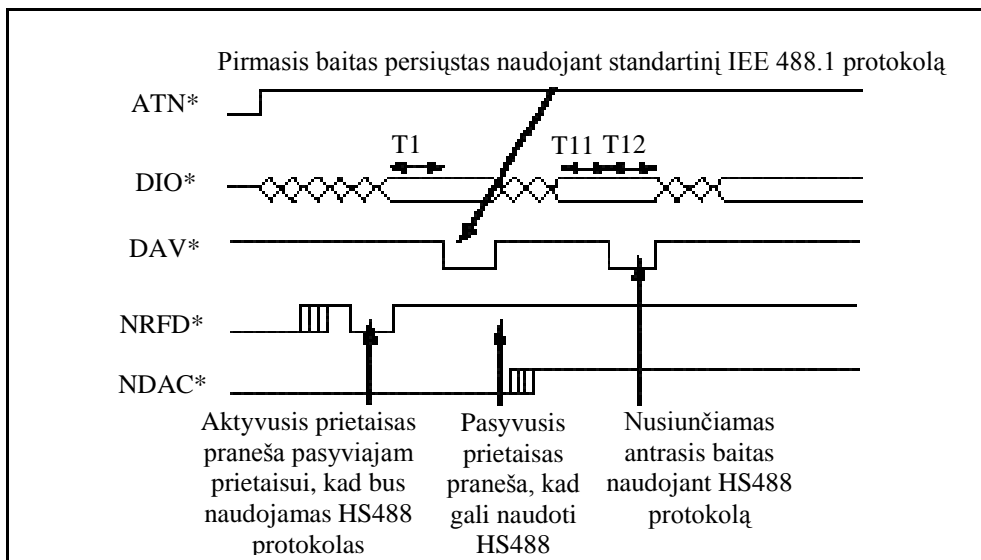


4.22 pav. Standartinio IEEE 488.1 susijungimo chronologija

Duomenų baitas negali būti persiustas per mažesnį laiko tarpą nei įvyksta šie veiksmai:

- § NRFD signalas pasiekia aktyvųjį prietaisą;
- § DAV signalas pasiekia visus pasyviuosius prietaisus;
- § Pasyvusis prietaisas priima duomenis ir numažina NDAC signalą;
- § NDAC signalas pasiekia aktyvųjį prietaisą;
- § Aktyviojo prietaiso nusistovėjimo laikas prieš numažinant DAV signalą.

HS488 susijungimo protokolas padidina sistemos spartą pašalindamas signalo siuntimo laiko nuostolius susijusius su trijų laidų susijungimu. HS488 protokolas aktyvuojamas aktyviajam prietaisui pulsuojuant NRFD signalą po to kai valdantysis prietaisas suadresuoja visus pasyviuosius prietaisus. Jei pasyvusis prietaisas atitinka HS488 protokolo standartus tada siuntimas atliekamas naudojant HS488 protkolą. Kai HS488 protokolas yra aktyvuojamas, aktyvusis prietaisas siunčia duomenų baitą GPIB DIO linijomis, palaukia užprogramuotą laiko tarpą skirtą nusistovėjimui, numažina DAV signalą, palaukia užprogramuotą laiko tarpą kol signalas užlaikomas, pakelia DAV signalą ir siunčia sekantį duomenų baitą per DIO linijas. Tuo tarpu pasyvusis prietaisas laiko NDAC signalą aukštame lygyje ir privalo priimti duomenų baitą per tam tikrą užprogramuotą laiko tarpą. Duomenų baitas turi būti persiustas per laiko tarpą, kuris neviršija nusistovėjimo laiko ir užlaikymo laiko, nelaukiant kol kiti signalai bus siunčiami GPIB linija [8].



4.23 pav. HS488 susijungimo chronologija

Pasyvusis prietaisas gali paaukštinti NDAC signalą, kad laikinai pristabdytų kitų baitų siuntimą. Taip pat pasyvusis prietaisas gali numažinti NRFD signalą, kad priverstų aktyvųjį prietaisą naudoti standartinį trijų laidų susijungimo protokolą. Naudodamas šias priemones pasyvusis prietaisas gali limituoti vidutinę duomenų spartą. Vis dėl to pasyvusis prietaisas turi turėti įėjimo buferį, kuris galėtų priimti mažus duomenų kiekius didžiausia galima duomenų perdavimo

sparta. Taip yra todėl kad prieš NDAC ir NFRD signalams grįžtant atgal į aktyvųjį prietaisą, aktyvusis prietaisas jau gali būti išsiuntęs kitą duomenų baitą.

Nusistovėjimo ir užlaikymo laiko tarpai yra nustatomi priklausomai nuo kabelio ilgio ir prietaisų esančių sistemoje skaičiaus. Jei tarp dviejų prietaisų yra dviejų metrų ilgio kabelis, HS488 gali siųsti duomenis iki aštuonių megabaitų per sekundę sparta. Jei sistema pilnai užkrauta ir ją sudaro penkiolika prietaisų, o kabelio ilgis penkiolika metrų, persiuntimo sparta gali siekti apie pusantro megabaito per sekundę.

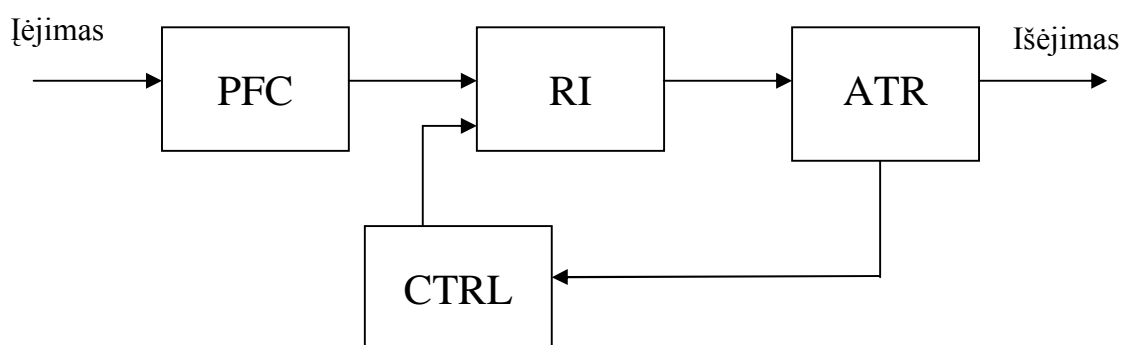
## 5. PROJEKTINĖ DALIS

### 5.1. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio tyrimas

#### 5.1.1. Maitinimo šaltinio sandara

Šio skyriaus tikslas yra ištirti aukštosios įtampos šaltinį ALE 102A. Šis aukštosios įtampos šaltinis veikia dviem režimais. Dažniausiai jis naudojamas kaip nuolatinės srovės kondensatorių įkroviklis, kuris patikimai įkrauna aukštos įtampos kondensatorius ir impulsinės įtampos tinklus. Taip pat ALE 102A gali veikti kaip nuolatinės įtampos šaltinis, panaudojus papildomą filtrą su kondensatoriumi. Šis prietaisas naudoja patentuotą paralelinio rezonuojančio keitiklio topologiją kuri užtikrina tiklesnį impulsų pasikartojimą lyginant su kitomis technologijomis.

102A įtampos šaltiniai naudoja naujos technologijos aukšto dažnio izoliuoto išėjimo bipoliarinio tranzistoriaus (IGBT) paralelinio rezonuojančio keitiklio topologiją efektyviam galios generavimui. Efektyvus valdymo modulis tiksliai reguliuoja išėjimo įtampą automatiškai kompensuodamas linijinius, apkrovos, temperatūros ir dažnio svyravimus.



5.1 pav. 102A struktūrinė schema

Vidutinis šio šaltinio krovimo greitis yra 1000 J/s. Matavimo vienetas J/s yra lygus W, bet naudojant energijos kaupimo kondensatorius patogiau naudoti J/s vienetus. Pikinis pakrovimo greitis nusako kondensatoriaus krovimo laiką. Vidutinis pakrovimo greitis nusako visą galią generuojamą maitinimo šaltinio. Toliau pateikiamos formulės pagal kurias galima nustatyti pikinį pakrovimo greitį ir vidutinį pakrovimo greitį. Pikinis krovimo greitis:

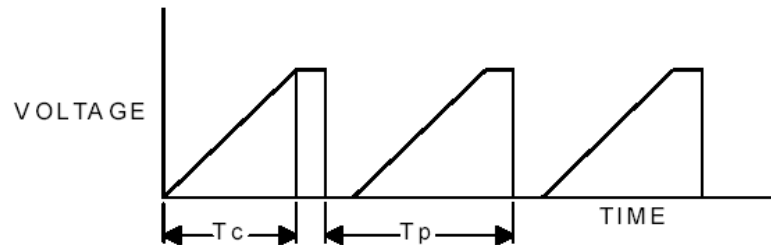
$$PCR = \frac{\frac{1}{2}CU^2}{T_c} \quad (1)$$

Čia: C – kraunamo kondensatoriaus talpa (F); U – Krovimo įtampa (V).

Vidutinis krovimo greitis:

$$ACR = \frac{\frac{1}{2}CU^2}{T_p} \quad (2)$$

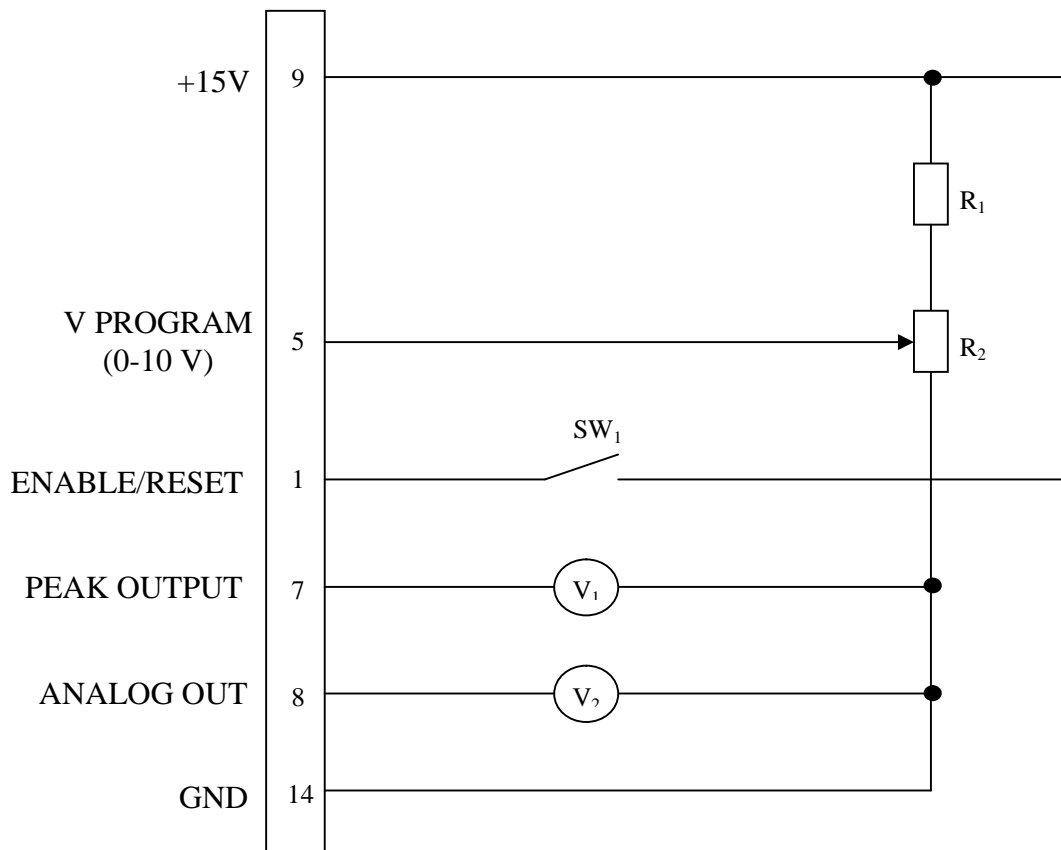
Čia: C – kraunamo kondensatoriaus talpa (F); U – Krovimo įtampa (V).



5.2 pav. Išėjimo signalo forma

### 5.1.2. Valdymo ir apkrovos schemų sudarymas

ALE 102A įtampos šaltinis yra nesunkiai valdomas naudojant tam skirtą sąsają, esančią ant prietaiso korpuso. Pagrindiniam valdymui yra būtini tik trys valdymo signalai ENABLE/RESET, V PROGRAM ir GND. Kiti signalai naudojami klaidos identifikavimui arba signalo stebėjimui. Žemiau pateikta schema, kurią naudojame šaltinio valdymui.



5.3 pav. Valdymo schema

Čia:  $R_1=2,2\text{ k}\Omega$ ;  $R_2=5\text{ k}\Omega$ .

**5.1 lentelė.** Valdymo signalai

Kontaktas	Pavadinimas	I/O	Apibūdinimas
1	ENABLE/RESET	INPUT	Aukštas signalas (nuo +10 iki +15V) jungiamas prie įžeminimo. Duoda signalą šaltiniui veikti. Paleidimo klaidos anuluojamos perjungus šį signalą. Žemas signalas išjungia šaltinį.
5	V PROGRAM	INPUT	0-10V signalas jungiamas su įžeminimu. Keičiant šio signalo įtampą proporcingai keičiasi šaltinio išėjimo įtampa.
7	PEAK OUTPUT	OUTPUT	0-10V signalas jungiamas su įžeminimu. Šis signalas proporcingas pikinei krovimo įtampai. Naudojamas voltmetras, rodantis pikinę įtampą.
8	ANALOG OUT	OUTPUT	0-10V analoginis signalas rodantis išėjimo signalo formą. Naudojamas oscilografą stebėti signalo formą.
9	+15V	OUTPUT	15V signalas naudojamas šaltinio valdymui. Srovės stipris iki 20mA.
14	GND	OUTPUT	Įžeminimas

Išėjimo įtampa gali būti matuojama naudojantis valdymo schemoje esančiu analoginio signalo išėjimu. Jei bandoma matuoti išoriniu būdu, matuojant apkrovą ant kondensatoriaus, reikia įsitikinti matavimų tikslumu.

Atliekant tokius išorinius matavimus, kai maitinimo šaltinis laiko įtampą ant kondensatoriaus, galima naudoti zondus skirtus aukštai įtampai ir skaitmeninį voltmetrą. Dar vienas paprastas būdas atlikti matavimus yra naudojant paprastą daliklį sudarytą iš aukštąsias įtampas atlaikančių varžų. Bet reikia turėti omeny, kad varžos šiek tiek keičia matavimo paridymus. Matavimų netikslumai gali siekti iki 4% priklausomai nuo išėjimo įtampos. Mažinant rezistorių varžas ir juos kalibruojant šiuos netikslumus galima sumažinti.

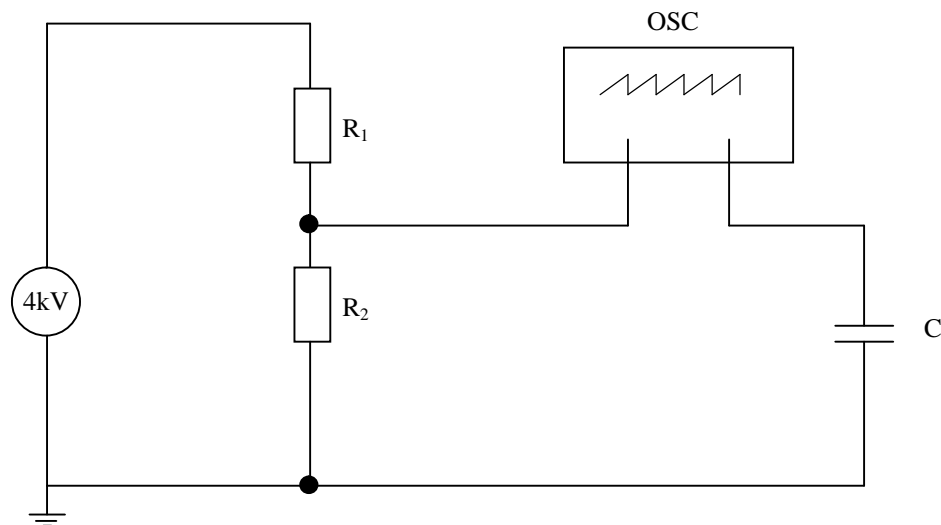
Apkrovimo schema naudojant daliklį pateikta žemiau. Daliklio varžų reikšmės apskaičiuojamos pagal (3) formulę. Iš pradžių pasirenkama pirmoji varža.

$$R_1 = 3,2M\Omega$$

Tada apskaičiuojama kitos varžos reikšmė:

$$R_2 = \frac{U_{OUT} \cdot R_1}{U_{IN} - U_{OUT}} = \frac{10 \cdot 3,2 \cdot 10^6}{4000 - 1} = 8002\Omega \quad (3)$$

Čia:  $U_{OUT}$  – išėjimo įtampa (po daliklio),  $U_{IN}$  – aukšta šaltinio išėjimo įtampa.



5.4 pav. Apkrovimo schema

Taigi dalikliui sudaryti pasirenkame varžas:

$$R_1 = 3,2M\Omega$$

$$R_2 = 8,3k\Omega$$

Daliklio dalinimo koeficientas apskaičiuojamas naudojantis (4) formule:

$$k = \frac{R_1}{R_2} = \frac{3,2 \cdot 10^6}{8,3 \cdot 10^3} = 385,5 \quad (4)$$

Tikriname ar apkrova ant varžos kondensatoriaus atitinka šaltinio analoginio signalo išduodamai įtampai. Padidiname šaltinio įtampą iki 500V tuomet:

$$U = 500V;$$

$$U_{ANALOG} = 0,63V;$$

$$U_{R_2} = 1,3V;$$

Iš (5) formulės apskaičiuojame įtampą ant varžos  $R_1$ :

$$U_{R_1} = \frac{R_1 \cdot U_{R_2}}{R_2} = \frac{3,2 \cdot 10^6 \cdot 1,3}{8,3 \cdot 10^3} = 501,2V \quad (5)$$

Taigi įtampa ant kondensatoriaus:

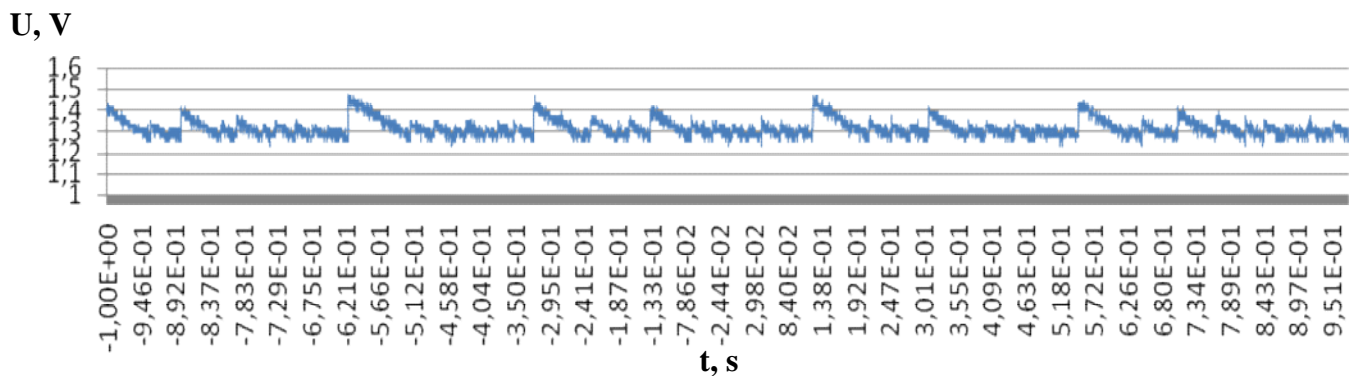
$$U = U_{R_1} + U_{R_2} = 501,2 + 1,3 = 502,5V \quad (6)$$

Iš rezultato matome, kad apskaičiuota įtampa šiek tiek skiriasi nuo pradinės. Šią nedidelę paklaidą gali įtakoti varžos.

Apskaičiuojame kokiu santykiu prietaiso išduodamas analoginis išėjimo signalas dalija prietaiso išduodamą įtampos reikšmę:

$$k_2 = \frac{U}{U_{ANALOG}} = \frac{500}{0,63} = 793,65 \quad (7)$$

Žemiau pateiktas grafikas parodo signalo formą:



5.5 pav. Išėjimo įtampos forma

Iš aukščiau pateikto grafiko matome, kad signalo forma yra netaisyklingo pjūklo formos.

### 5.1.3. RC filtro parinkimas ir matavimai

Norėdami panaudoti įtampos šaltinį impulsinei įtampai gauti, turime tam tikslui taikyti RC grandinę. Prijungus kondensatorių C prie pastovios įtampos šaltinio  $U_0$ , jis užsikraus iki įtampos U. Perjungus jungiklį prie rezistoriaus R, ims tekėti srovė ir kondensatorius C pradės išsikrauti.

Rezistoriui įtampa išreiškiama:

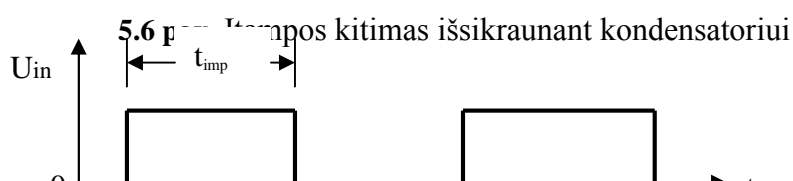
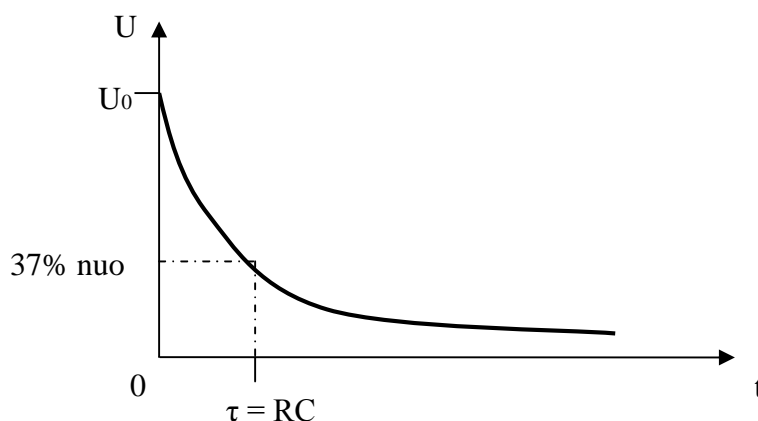
$$U = Ae^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

Laiko momentu  $t = 0$  kondensatorius C buvo užkrautas iki įtampos  $U_0$ . Todėl  $A = U_0$ , ir kondensatoriaus C išsikrovimas prijungus rezistorių R vyks pagal išraišką:

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (9)$$

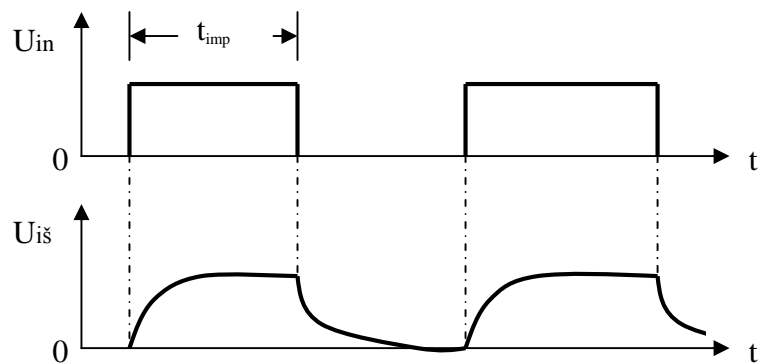
Šeštame paveiksle grafiškai pavaizduotas įtampos kitimas išsikraunant kondensatoriui.

Tokiu pat dėsniu kis ir srovė šioje grandinėje.



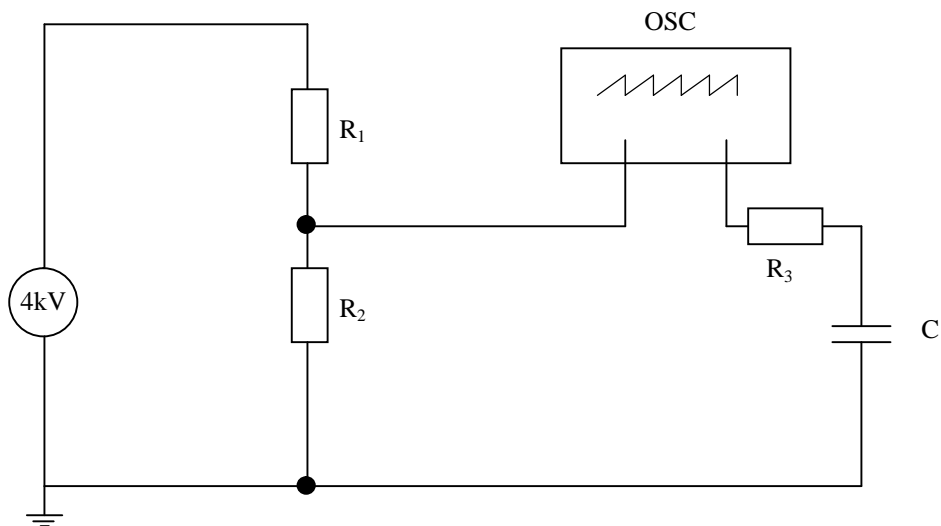
Varžos  $R$  ir talpumo  $C$  sandauga vadinama grandinės laiko pastoviaja (varžos ir talpumo sandauga duoda laiką,  $\Omega F = s$ ).

Prabėgus laikui  $t \gg \tau$ , kur  $\tau = RC$ , kondensatoriaus įtampa  $U$  priartėja prie  $U_0$ . Praktiškai laikoma, kad per  $t = 5\tau$  pasidaro  $U = 0.99 U_0$ . Jeigu po to jungiklį gražinsime į buvusią padėtį, kondensatorius pradės eksponentiškai išsikrauti (5.6 pav.). Į tokios grandinės įėjimą padavę stačiakampius impulsus, išėjime gausime impulsus su eksponentiškai užapvalintais frontais (5.7 pav.). Frontų užapvalinimo laipsnis priklausys nuo grandinės laiko pastoviosios  $\tau$ . Esant  $\tau \gg t_{imp}$ , kur  $t_{imp}$  - impulso trukmė, impulsai praktiškai išnyksta.



5.7 pav. Impulsų frontų užapvalinimas RC-grandinėse

Taigi pagal schemą, esančią 5.8 paveikslėlyje sujungiame RC grandinę.



5.8 pav. RC grandinė

Atitinkamai parenkame rezistoriaus  $R_3$  ir kondensatoriaus  $C$  parametrus:

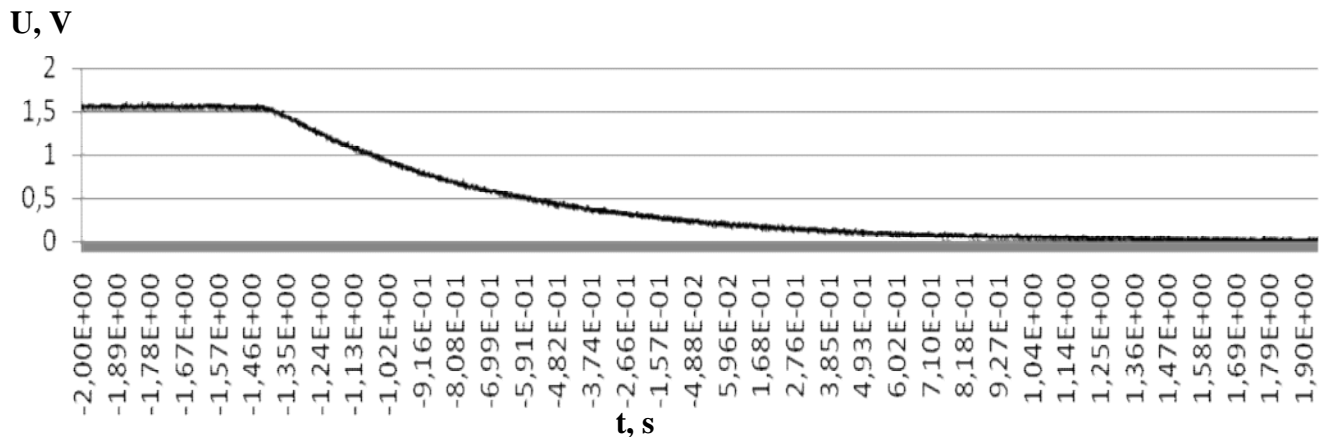
$$R_3 = 3,32M\Omega ;$$

$$C = 0,25\mu F .$$

Pagal šiuos dydžius galime apskaičiuoti teorinį vėlinimo laiką  $\tau$ :

$$\tau = R \cdot C = 3,32 \cdot 10^6 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,83s$$

Gautas RC filtro grafikas pateiktas devintame paveiksle. Kaip matome iš grafiko triukšmas yra nuslopintas. Taip pat galime pastebėti, kad vėlinimo laikas, kuris atitinka du trečdalius grafiko kritimo, atitinka teorinius skaičiavimus.



5.9 pav. Išėjimo įtampos kritimas

Vėlinimo laiko palyginimui pateiksime dar keletą RC filtro variantų. Antram variantui parenkame rezistoriaus  $R_3$  ir kondensatoriaus  $C$  parametrus:

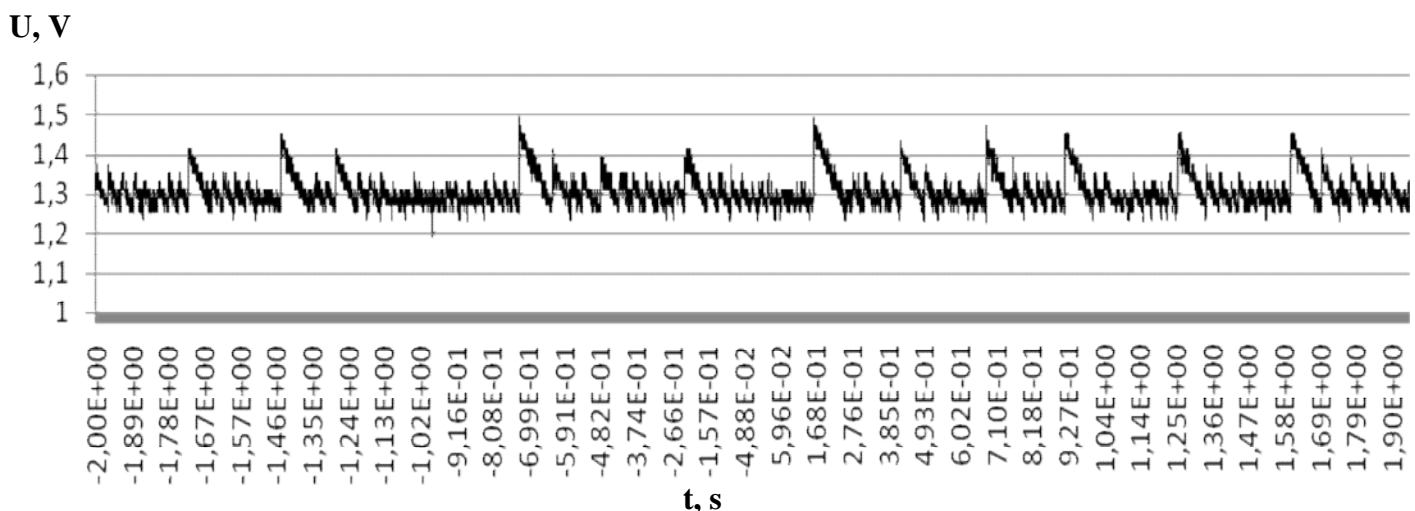
$$R_3 = 2,2k\Omega;$$

$$C = 0,25\mu F.$$

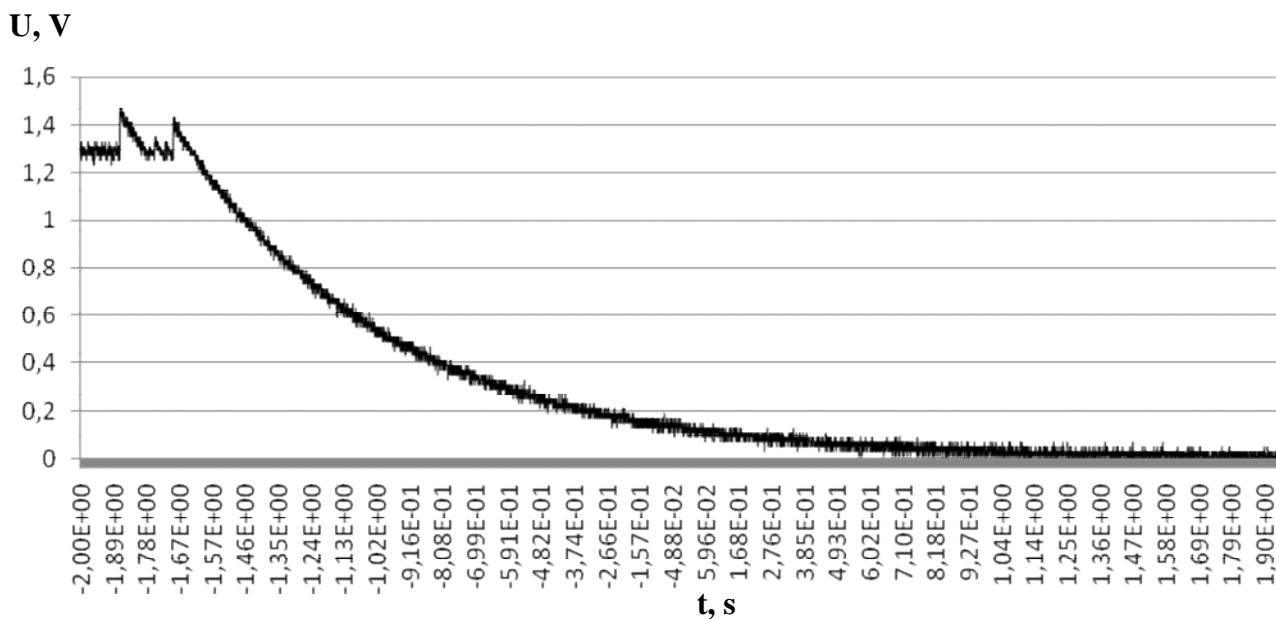
Taigi pagal šiuos dydžius apskaičiuojame teorinį vėlinimo laiką  $\tau$ :

$$\tau = R \cdot C = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,55ms$$

Gauname grafikus:



5.10 pav. Išėjimo įtampos forma



5.11 pav. Išėjimo įtampos kritimas

Kaip matome iš aukščiau pateiktų grafikų sumažinus rezistoriaus varžą atitinkamai sumažėja vėlinimo laikas, tačiau labai smarkiai padidėja triukšmas.

Trečiam variantui parenkame rezistoriaus  $R_3$  ir kondensatoriaus  $C$  parametrus:

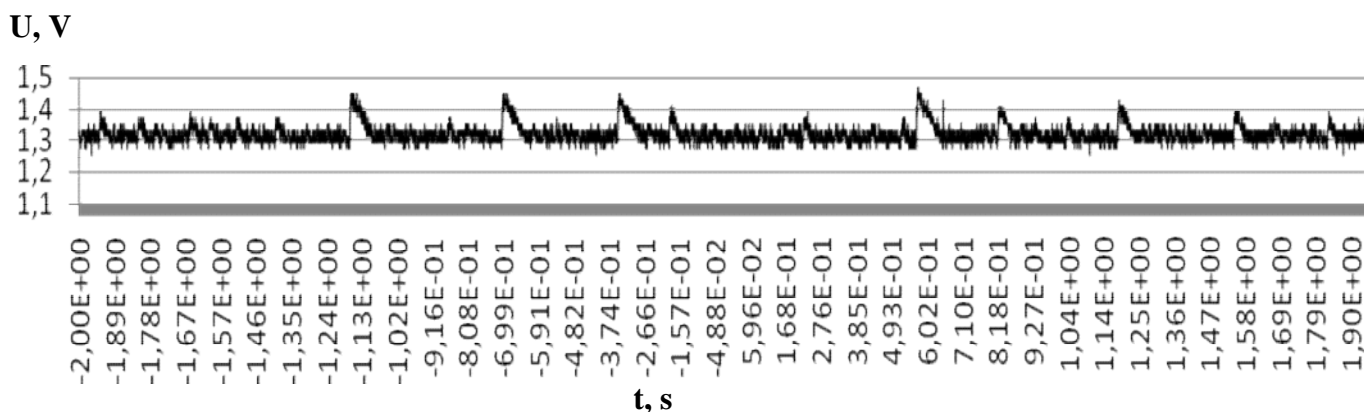
$$R_3 = 120k\Omega ;$$

$$C = 0,25\mu F .$$

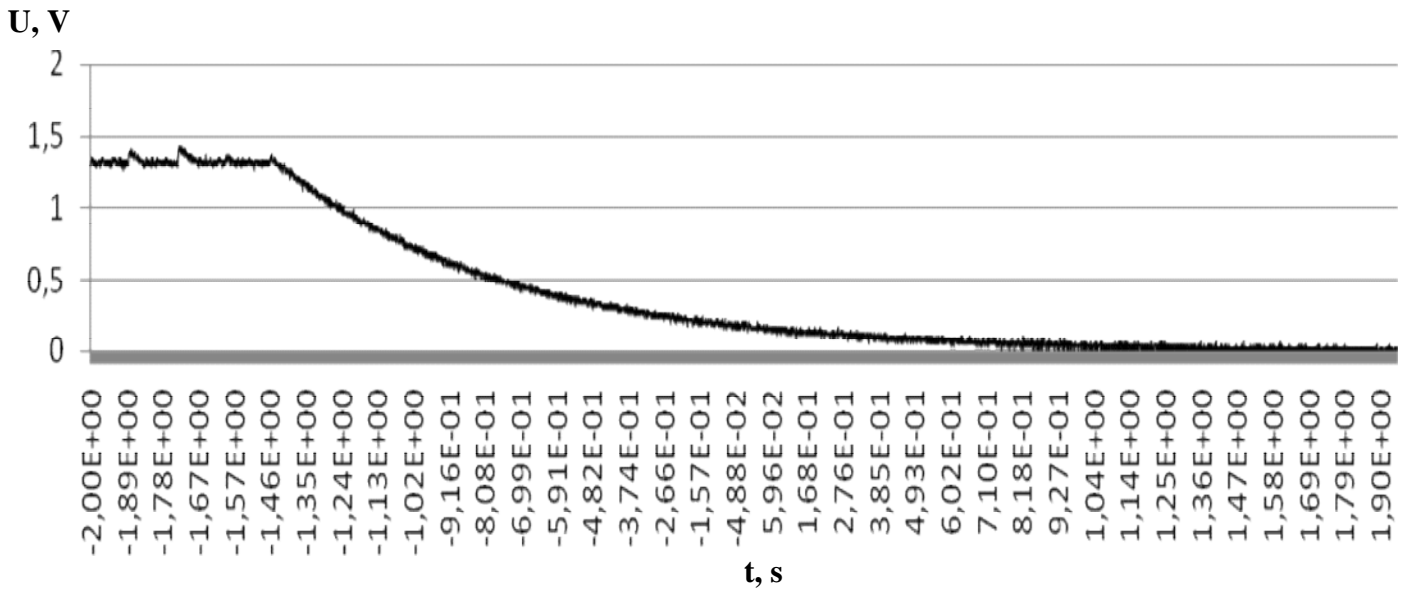
Taigi pagal šiuos dydžius apskaičiuojame teorinį vėlinimo laiką  $\tau$ :

$$\tau = R \cdot C = 120 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 0,03s$$

Gauname grafikus:



5.12 pav. Išėjimo įtampos forma



5.13 pav. Išėjimo įtampos kritimas

Kaip matome triukšmas lyginant su pirmojo varianto elementų parinkimu išlieka gana didelis. Todėl atliekame dar vieną bandymą su didesne rezistoriaus varža. Šiam bandymui parenkame elementų parametrus:

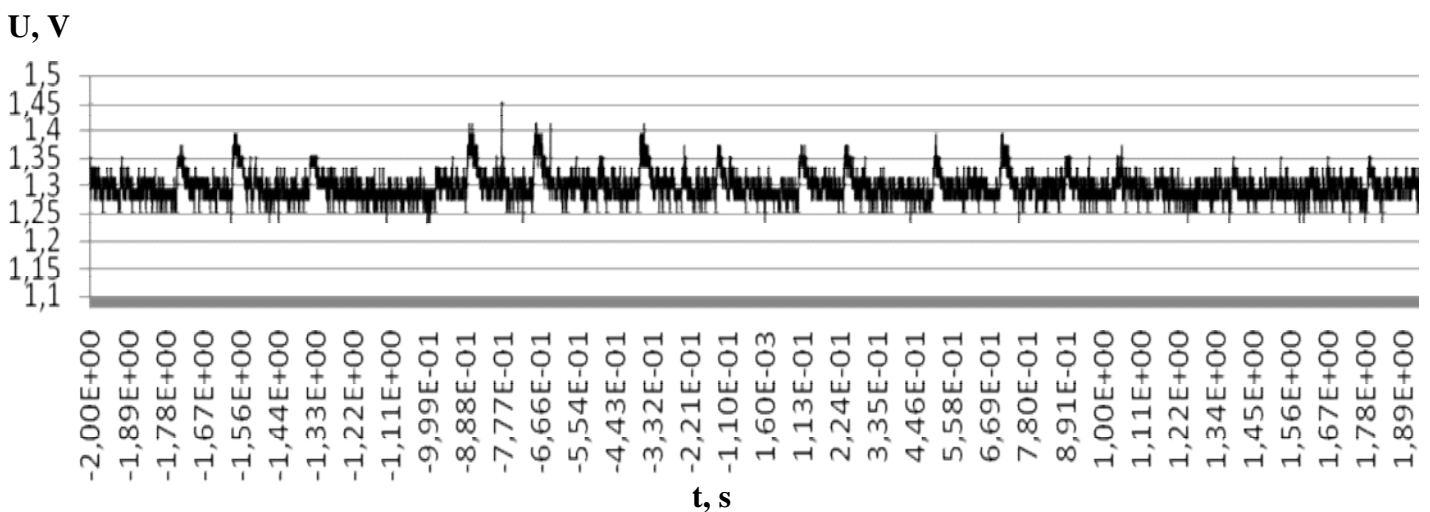
$$R_3 = 236k\Omega;$$

$$C = 0,25\mu F.$$

Taigi pagal šiuos dydžius apskaičiuojame teorinį vėlinimo laiką  $\tau$ :

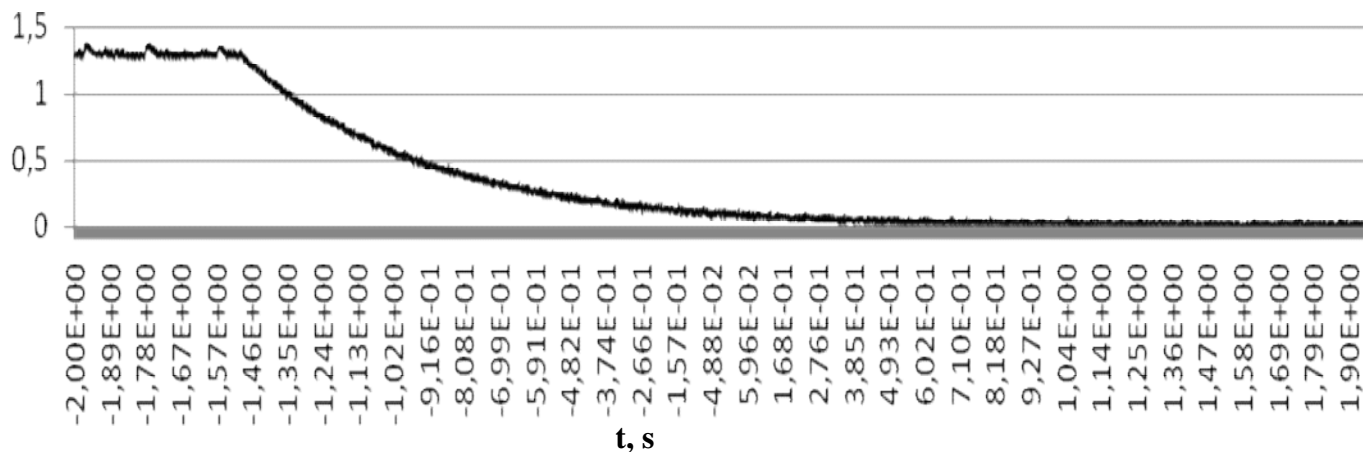
$$\tau = R \cdot C = 236 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6} = 59ms$$

Gauname grafiką:



5.14 pav. Išėjimo įtampos forma

U, V



5.15 pav. Išėjimo įtampos kritimas

Norėdami matuoti įtampą tiesioginiu būdu, suprojektavome įtampos daliklį, tam kad aukšta išėjimo įtampa būtų sumažinta ir būtų galima stebėti signalą naudojant oscilografą.

Norint, kad šis šaltinis veiktų kaip impulsinis reikėjo išlyginti jo išėjimo signalą ir sumažinti trigdžius. Šiam tikslui suprojektavome RC grandinę, apskaičiavome ir patikrinome vėlinimo laikus esant skirtingoms rezistoriaus varžų reikšmėms.

## 5.2. GPIB sąsajos projektavimas

### 5.2.1. GPIB sąsajos projektavimo sprendimai

Šiame skyriuje apžvelgsime kelis prietaiso projektavimo su GPIB sąsaja sprendimus. Dažniausiai ši sąsaja naudojama įrenginiuose reikalinguose atlikti mokslinius tyrimus arba sudėtinguose pramoniniuose įrengimuose ir labai retai naudojama buityje. Dėl to ji nėra labai paplitusi. Pagrindinis GPIB sąsajos produktų gamintojas ir kūrėjas yra National Instruments įmonė. Žinoma yra ir daugiau smulkesnių šio produkto rinkoje dalyvaujančių įmonių, bet jie nėra tokie patikimi ir neturi plačios pasiūlos.

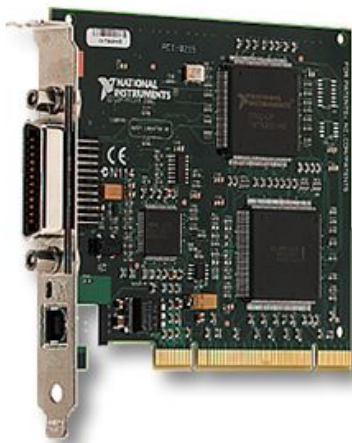
Pagrindinė užduotis projektuojant aukštosios įtampos maitinimo šaltinį su GPIB sąsaja yra suprojektuoti GPIB aktyviojo/pasyviojo prietaiso schemą. Kadangi valdantysis prietaisas dažniausiai būna kompiuteris, valdančiosios schemos projektuoti nebūtina. Pagrindiniai tokios schemos elementai yra valdikliai, kurie pritaikyti šiai sąsajai. Galimas ir kitas sprendimo būdas montuojant jau suprojektuotą ir pagamintą schemą. Tokios aktyvios aktyviosios/pasyviosios schemos dažniausiai būna universalios ir jas galima montuoti į įvairius prietaisus.

Viena tokių schemų tai National Instruments PCI-8215 integruojama schema. Šioje schemoje integruotas GPIB aktyvusis/pasyvusis modulis ir USB 2.0 didelės spartos sąsajos modulis. PCI-8215 skirta prietaisų kūrėjams dirbantiems su National Instruments programine įranga. Programinės įrangos ir šios plokštės pagalba įvairiems prietaisams kuriami GPIB ir USB sąsajų sprendimai. PCI-

8215 plokštėje įmontuotas TNT GPIB aktyvusis/pasyvusis modulis, kurio pagalba kartu su sparčiuoju protokolu HS488 duomenis galima siųsti iki 7,7 megabaitų per sekundę sparta. Taip pat šioje plokštėje įmontuotas naujos kartos NET2280 USB modulis, kurio dėka kartu naudojant USB 2.0 didelės spartos protokolą galima pasiekti iki 30 megabaitų per sekundę duomenų siuntimo spartą. Ši plokštė negali būti naudojama kaip valdantysis prietaisas.

Privalumai:

- § GPIB ir USB sąsajos vienoje plokštėje;
- § Galimybė naudoti HS488 protokolą;
- § NI plus programinė įranga.



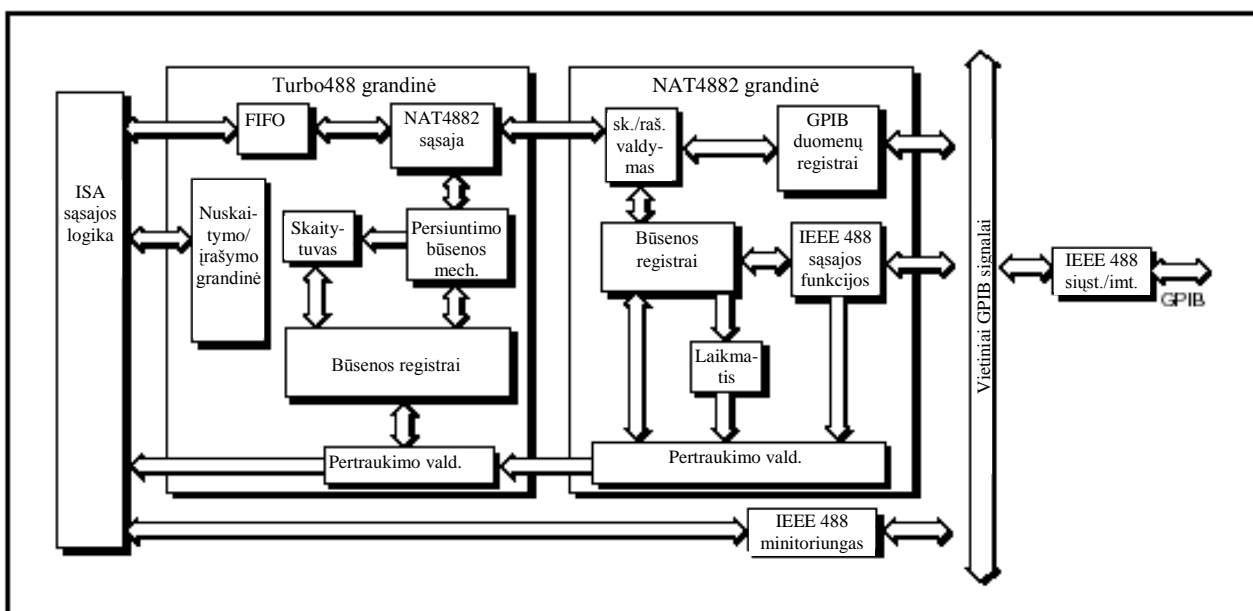
**5.16 pav.** PCI-8215 integruojama schema

Yra ir kitas, sudėtingesnis, būdas sukurti GPIB sąsają prietaisui. Tam yra naudojamas GPIB valdymo modulis TNT4882 arba kitoks tokios pat paskirties modulis. Šiuo atveju yra projektuojama atskira GPIB sąsajos schema su valdikliais ir kitais elementais.

Kompanijos „National Instruments“ GPIB modulis TNT4882 suteikia galimybę projektuoti aktyviuosius/pasyviuosius prietaisus su GPIB sąsaja. Šis modulis susideda iš Turbo488 integruotos grandinės, kuri paspartina modulio veikimą, NAT4882 grandinės, kuri suteikia galimybę naudotis IEEE 488.2 protokolu ir daugelio kitų elementų, kurių dėka galima kurti GPIB sąsają. TNT4882 atlieka visas sąsajos funkcijas, kurias apibrėžia ANSI IEEE 488.1 standartas, taip pat papildomas funkcijas ir reikalavimus kurie atitinka ANSI IEEE 488.2 standartą. Greitesniam duomenų siuntimui šis modulis naudoja vidinį FIFO (*first-in first-out*) buferį ir grandinę, kuri įgyvendina naujos kartos sparčiausią HS488 protokolą. TNT4882 turi šešiolika patobulintų IEEE 488.1 standartą atitinkančių siuntimo/priėmimo grandinių ir gali būti tiesiogiai jungiamas prie GPIB magistralės. Paslanki procesoriaus sąsaja gali būti nesunkiai suderinama su šešiolikos ar aštuonių bitų mikroprocesoriais.

TNT4882 modulis turi trijų skirtingų architektūrų naudojimo galimybę: vieno lusto režimą, Turbo+7210 režimą ir Turbo+9914 režimą. Naudojama architektūra nustato kurių registrų rinkinys bus naudojamas sąsajai, bitų veiksmus registruose ir kaip FIFO sąveikauja su GPIB sąsaja.

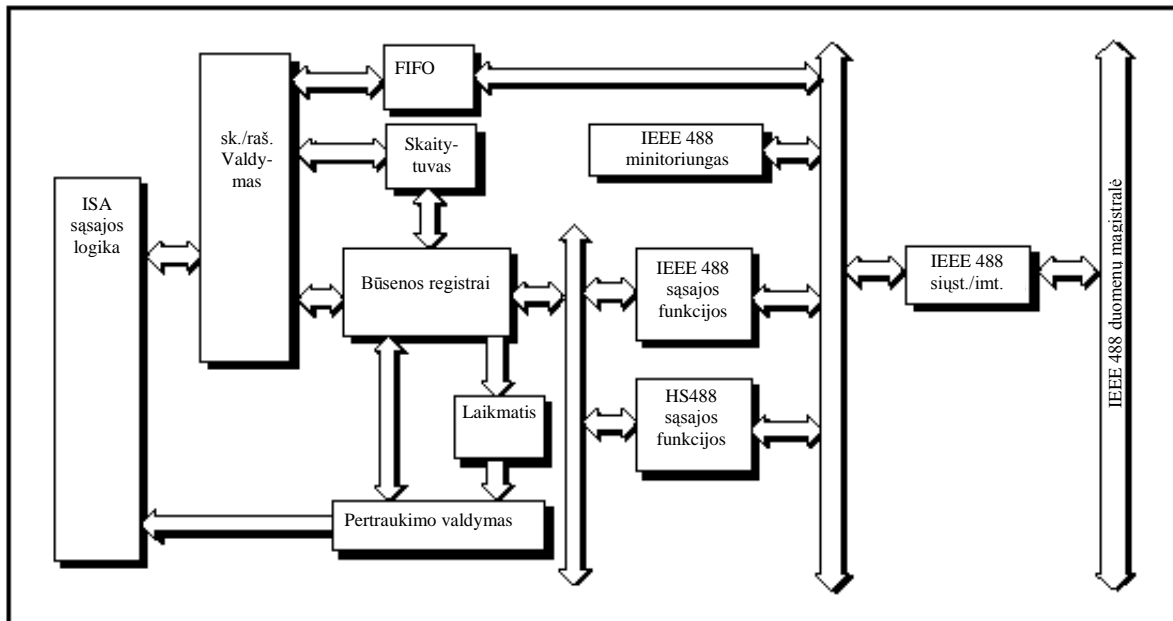
Esant Turbo+7210 režimui TNT4882 veikia kaip Turbo488 integruota grandinė sujungta su NAT4882BPL integruota grandine. Norint nusiųsti duomenis per GPIB sąsają, pagrindinio prietaiso sąsaja įrašo duomenis į FIFO buferį kuris yra TNT4882 modulyje. Persiuntimo būsenos mechanizmas persiunčia duomenis iš FIFO buferio į NAT4882 grandinę, tada NAT4882 grandinė išsiunčia duomenis per GPIB magistralę. Norint nuskaityti duomenis iš GPIB magistralės NAT4882 grandinė nuskaityto duomenis iš GPIB sąsajos. Persiuntimo būsenos mechanizmas persiunčia duomenis iš NAT4882 grandinės į FIFO buferį, ir tada pagrindinis prietaisas gali nuskaityti duomenis nuo buferio. Žemiau pateikta blokinė diagrama atitinkanti Turbo+7210 ir Turbo+9914 režimus.



5.17 pav. Turbo+7210 ir Turbo+9914 architektūra

Architektūra veikiant Turbo+9914 režimui yra identiška architektūrai veikiant Turbo+7210 režimui. Identiškai veikia ir duomenų perdavimo procesas. Duomenys turi būti siunčiami tarp FIFO buferio esančio TNT4882 modulyje ir NAT4882 grandinės.

Esant vieno lusto režimui FIFO buferis esantis TNT4882 modulyje yra tiesiogiai sujungtas su GPIB sąsaja ir TNT4882 turi registrų grupę panašią į Turbo+7210 registrų grupę. Vis dėl to vieno lusto režimas nereikalauja, kad persiuntimo būsenos mechanizmas siųstų duomenis iš ar į FIFO buferį.

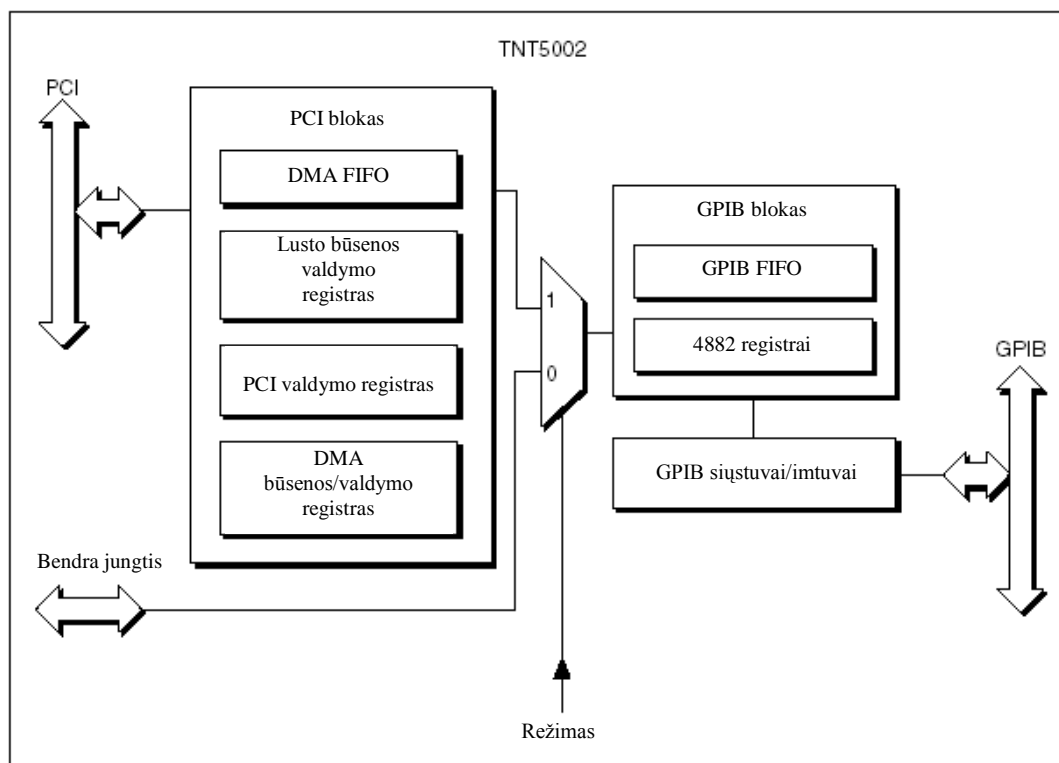


5.18 pav. Vieno lusto architektūra

Kiti privalumai naudojant šį lustą:

- § Žinutės nesiunčiamos jei nėra pasyviųjų prietaisų;
- § 16 IEEE 488.1 siųstuvų/imtuvų integruotų luste;
- § Automatinis naujos linijos žinutės aptikimas;
- § Programuojama duomenų persiuntimo sparta;
- § Automatinis IEEE 488.1 komandų apdorojimas ir neapibrėžtų komandų nuskaitymas;
- § Galimybė naudoti šešis adresavimo režimus:
  - § Automatinis viengubas arba dvigubas pirminio adreso aptikimas;
  - § Automatinis viengubas pirminis kartu su viengubu antriniu adreso aptikimas;
  - § Viengubas arba dvigubas pirminis su keletu antrinių adresavimų;
  - § Keletas pirminių adresavimų.

Sekantis TNT5002 modulis taip pat yra „National Instruments“ gaminys. Šis modulis yra didelio patikimumo GPIB sąsajos lustas, kuris gali veikti dviem režimais: PCI4882 režimu ir GEN4882 režimu. Veikiant PCI4882 režimu TNT5002 gali valdyti visas IEEE 488.2 standarto tvarkykles. Šis režimas funkcionaliai yra identiškas vieno lusto režimui TNT4882 modulyje su PCI sąsaja. Šis režimas pagal nutylėjimą yra pagrindinis. Kitas, GEN4882 režimas, taip pat yra identiškas vieno lusto režimui TNT4882 modulyje bet be PCI sąsajos. Bet kokią taikomąją programą parašytą TNT4882 moduliui galima be modifikacijos perkelti į TNT5002 modulį esant GEN4882 režimui. TNT5002 palaiko daugumą IEEE 488.1 ir HS488 standartinių funkcijų.



5.19 pav. TNT5002 architektūra

Veikiant abiem režimais TNT5002 naudoja vienodą reigstrų rinkinį, kuris yra identiškas TNT4882 vieno lusto režimo reigstrų rinkiniui. Šis registrų rinkinys gali būti pasiekiamas per pagrindinę išvedimo/įvedimo sąsają arba per PCI sąsają. PCI4882 režimas įgyvendina PCI magistralės valdymo sąsają. GEN4882 režimas įgyvendina pagrindinę išvedimo/įvedimo sąsają. Sąsaja turi būti pasirinkta naudojant tam tikrą režimo išvadą ir negali būti keičiama, nes abiejų režimų išvadai smarkiai skiriasi. Abiejų režimų savybes galime matyti žemiau pateiktoje lentelėje.

5.2 lentelė. TNT5002 režimų charakteristikos

Režimas	GPIB registrų rinkinys	Sąsaja	FIFO dydis (baitai)
PCI4882	4882	PCI	64+32
GEN4882	4882	Pagrindinė	32

Jei TNT5002 modulis veikia PCI4882 režimu, egzistuoja du FIFO buferiai: 32 baitų FIFO buferis sujungtas su GPIB ir 64 baitų FIFO buferis sujungtas su PCI magistrale. 32 baitų FIFO buferis yra naudojamas nuskaitymui ir įrašymui. Iš jo galima nuskaityti duomenis ir tuo tarpu rašyti duomenis į jį tuo pačiu metu. Šiuos veiksmus atlieka DMA valdiklis ir GPIB būsenos mechanizmai. Tuo tarpu 64 baitų DMA FIFO buferis sujungtas su PCI duomenų magistrale ir naudojamas DMA

persiuntimams. Šis FIFO buferis yra prijungtas prie PCI duomenų magistralės iš vienos pusės, o iš kitos magistralės pusės prijungtas GFIFO buferis. Atliekant DMA persiuntimus baitai yra automatiškai persiunčiami tarp DFIFO ir GFIFO. GFIFO niekada negali būti prieinamas tiesiogiai. TNT5002 visalaik interpretuoja visus DMA veiksmus tarp GFIFO ir DMA kaip šešiolikos bitų operacijas. Vykdam užprogramuotas įvedimo/išvedimo operacijas DMA FIFO niekada nėra pasiekiamas tiesiogiai. Visos operacijos vykdomos per GFIFO buferį.

Jei TNT5002 modulis veikia GEN4882 režimu, tuomet vienas 32 baitų FIFO buferis yra prijungtas prie GPIB. Šis buferis gali būti pasiekiamas per DMA.

Jei TNT5002 modulis veikia PCI4882 režimu, DMA valdiklis turi būti naudojamas tam, kad būtų pasiekta maksimali persiuntimo sparta. GPIB registrai TNT5002 modulyje yra sukonfiguruoti tokia pat tvarka nepriklausomai nuo to ar DMA yra naudojamas ar ne. Jei DMA yra naudojamas GPIB FIFO buferis negali būti pasiekiamas tiesiogiai, nes DMA valdiklis automatiškai persiunčia duomenis tarp DMA FIFO buferio ir GPIB FIFO buferio. Jei TNT5002 modulis veikia GEN4882 režimu, tuomet prie jo gali būti prijungtas papildomas DMA valdiklis.

TNT5002 lusto privalumai:

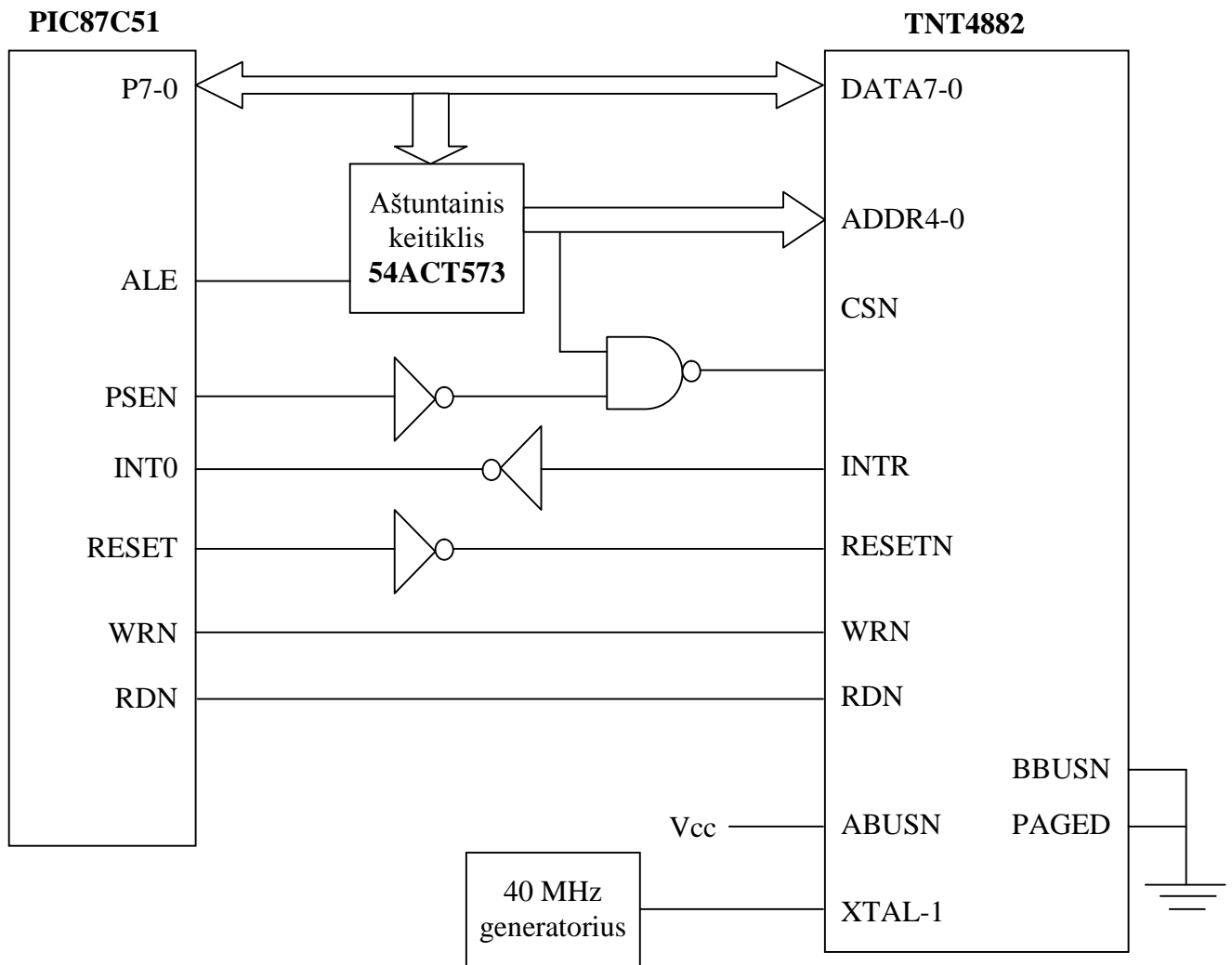
- § Galimybė naudoti HS488 protokolą;
- § PCI duomenų magistralė;
- § Galimybė tuo pačiu metu naudoti HS488 palaikančius ir nepalaikančius prietaisus vienu metu;
- § Integruotas trijų būsenų IEEE 488.1 standarto siųstuvas/imtuvas;
- § Dviejų tipų FIFO buferiai.

### 5.2.2. GPIB sąsajos projektavimas prietaise

Šiame skyriuje aptarsime kaip sukurti GPIB sąsają aukštosios įtampos maitinimo šaltiniui. Visų pirma ši sąsaja turėtų palaikyti IEEE 488.2 standartą ir turėtų atlikti aktyviojo ir pasyviojo prietaiso funkcijas. Šioms funkcijoms atlikti geriausiai naudoti NI kompanijos sukurtus lustus TNT4882. Jais naudotis labai patogiu, nes jie turi įdiegtas programas, kurios palaiko GPIB protokolus. Taigi šios sąsajos pagrindinis tikslas siųsti ir priimti aštuonių bitų duomenų žinutes.

Pradžiai reikėtų pažymėti, kad teigiamo ir neigiamo signalo terminai yra naudojami tam, kad išvengtume aukštos ir žemos įtampos signalų asimiliacijų. Teigiamas signalas reiškia, kad įtampa yra pasiekusi loginio vieneto lygį, o neigiamas signalas reiškia, kad įtampa yra loginio nulio lygyje.

Kaip ir ankstesniame skyrelyje nagrinėtas TNT5002 lustas, TNT4882 gali veikti dviejuose režimuose: ISA režime ir pagrindiniame režime. Šiame darbe naudojama TNT4882 pagrindinio režimo konfigūracija. Žemiau esančiame paveiksle pateikta TNT4882 lusto ir mikrovaldiklio PIC87C51 sąsajos schema.



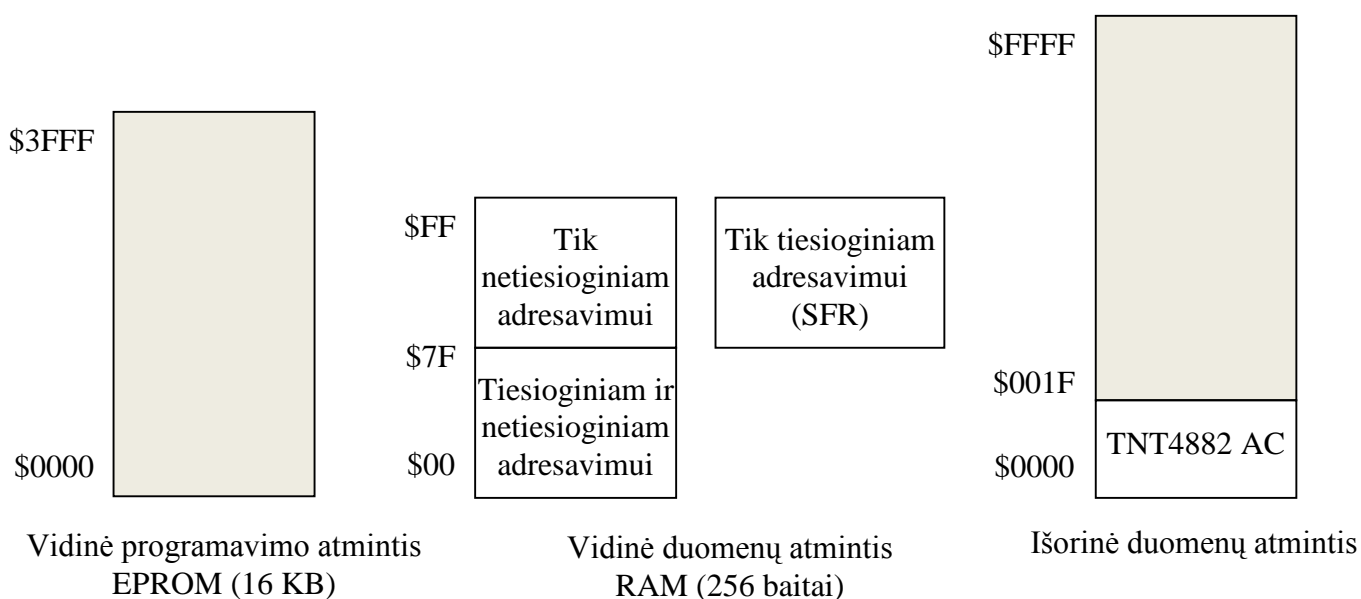
5.20 pav. Prietaiso sąsajos schema

TNT4882 gali pertraukti mikrovaldiklį pakeldamas jo pertraukties signalą iki teigiamo. Šioje sąsajos schemoje buvo pasirinktas nulinis pertraukimo lygis, kuris veikia taip trigeris keičiantis padėtį pasikeičiant signalo lygiui. Mikrovaldiklis patvirtins pertraukimą kai tik pertraukties išvade atsiras signalo kritimas iš teigiamo į neigiamą.

CSN signalas turi būti pakeltas į teigiamą lygį atliekant įvedimo ir išvedimo užklausas. Adresavimo linija gali būti atitinkamai iš koduota norint generuoti CSN signalą, bet tai priklauso nuo to kurioje atminties vietoje yra TNT4882. Šioje sistemoje TNT4882 užima žemiausius 32 išorinės atminties baitus. Signalas išeinantis iš RESETN išvado yra neigiamas. Taigi RESET signalas iš mikrovaldiklio yra perverčiamas ir sujungiamas su RESETN išvadu TNT4882 luste. Pakėlus RESETN signalą iki teigiamo TNT4882 persikraus. Pertraukties signalas INTR yra invertuojamas ir prijungiamas prie vieno iš galimų pertraukties išvadų mikrovaldiklyje. Kai PAGED išvado signalas yra teigiamas, TNT4882 pereina į PAGED režimą. Kai šio režimo signalas

yra teigiamas keletas registų yra nukreipiami į skirtingas atšakas. PAGED išvadas dažniausiai jungiamas prie įžeminimo. MODE išvadas nustato ar TNT4882 lustas po įrangos perkrovimo veiks Turbo+7210 režimu ar Turbo+9914 režimu. Aukščiau pateiktoje schemoje MODE režimas nėra prijungtas. Tokiu atveju TNT4882 po perkrovimo pradeda veikti Turbo+7210 režimu. Taip pat šiai sąsajai reikalingas 40 MHz dažnio generatorius. Generatorius sujungiamas su XTAL1 išvadu TNT4882 luste. XTAL0 išvadas paliekamas neprijungtas. Į visus Vcc išvadus turi būti tiekiamas maitinimo įtampa, o visi GND išvadai prijungti prie įžeminimo signalo.

PIC87C51 turi skirtingas adresavimo vietas programavimo ir duomenų atminčiai. Programavimo atmintis yra tik nuskaitoma, o duomenų atmintis yra nuskaitoma ir įrašoma. Sąsajos atminties schema pavaizuota žemiau esančiame paveiksle.



5.21 pav. TNT4882 ir PIC87C51 sąsajos atminties diagrama

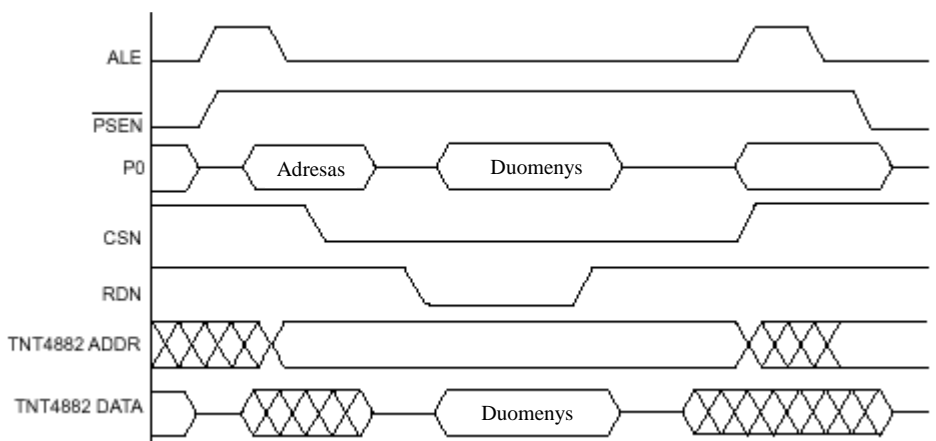
Mikrovaldiklyje PIC87C51 yra integruota 16 kilobaitų vidinės programavimo atminties. Šioje atmintyje yra talpinamos vartotojų ir sistemos programos. Žemiausi 128 vidinės duomenų atminties baitai gali būti adresuojami naudojant tiesioginį arba netiesioginį adresavimo būdą. Norint prieiti prie vidinės duomenų atminties, esančios aukščiau \$7F registro reikia naudoti netiesioginį adresavimą. Naudojant tiesioginį adresavimą aukščiau \$7F esantiems registrams galima pasiekti specialių funkcijų registrus. TNT4882 yra talpinamas išorinėje duomenų atmintyje. Jis užima 32 baitus įvedimo ir išvedimo atminties.

TNT4882 luste esantys adresavimo išvadai pasirenka vieną iš vidinės atminties registų vykstant įvedimo ir išvedimo procesams. Dėl to adresavimo magistralė yra uždaroma vykstant išoriniams duomenų užklausiems. Duomenų linijos yra jungiamos tiesiai prie mikrovaldiklio be jokių papildomų elementų. Taip yra todėl, kad TNT4882 turi integruotus siųstuvus ir imtuvus. Aštuoni įvedimo ir išvedimo užklausių bitai gali naudoti bet kurią TNT4882 duomenų magistralę.

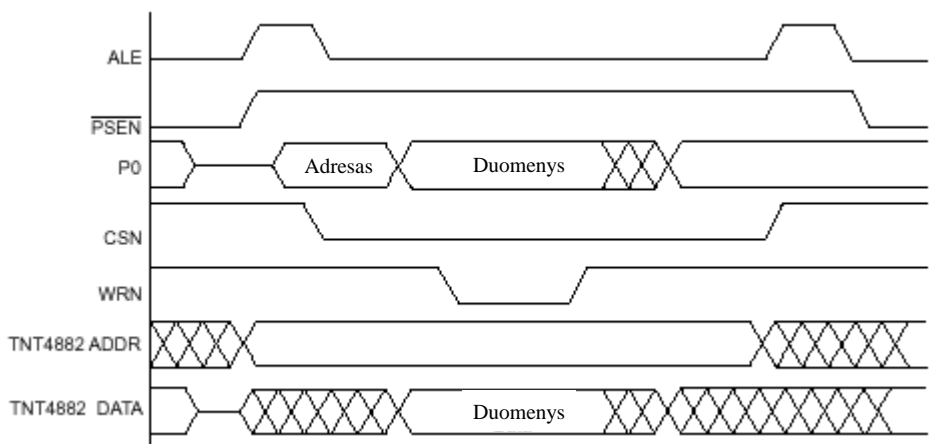
ABUSN ir BBUSN kontroliuoja duomenų magistralės pasirinkimą. Dažniausiai išorinėms duomenų užklausoms naudojami žemesnės linijos baitai (DATA7-0).

TNT4882 gali naudoti bet kurią duomenų magistralę aštuonių bitų duomenų užklausoms vykdyti. ABUSN ir BBUSN signalai gali pasirinkti naudoti magistralę A (D15-8) arba magistralę B (D7-0). Vieną iš šių išvadų galima palikti neprijungtą arba prijungtą prie Vcc linijos. Kaip matome iš prietaiso sąsajos schemos ABUSN išvadas yra prijungtas prie Vcc linijos, o BBUSN išvadas prijungtas prie žemės linijos. Dėl to duomenų užklausoms vykdyti bus naudojama žemesnės eilės duomenų magistralė (D7-0).

Vykstant įrašymo procesui TNT4882 uždaro duomenų magistralę tuomet kai WRN signalas iš neigiamo virsta į teigiamą. TNT4882 valdo duomenų magistralės kai RDN signalas yra pakeliamas iki teigiamo vykstant nuskaitymo procesui. Tuo tarpu mikrovaldiklis generuoja RDN ir WRN signalus taip kaip reikia vykstant išorinėms duomenų atminties užklausoms. TNT4882 RDN ir WRN išvadai yra prijungiami tiesiogiai prie mikrovaldiklio RDN ir WRN išvadų. Žemiau pateiktos mikrovaldiklio įrašymo ir nuskaitymo laiko diagramos.



5.22 pav. Mikrovaldiklio nuskaitymo laiko diagrama



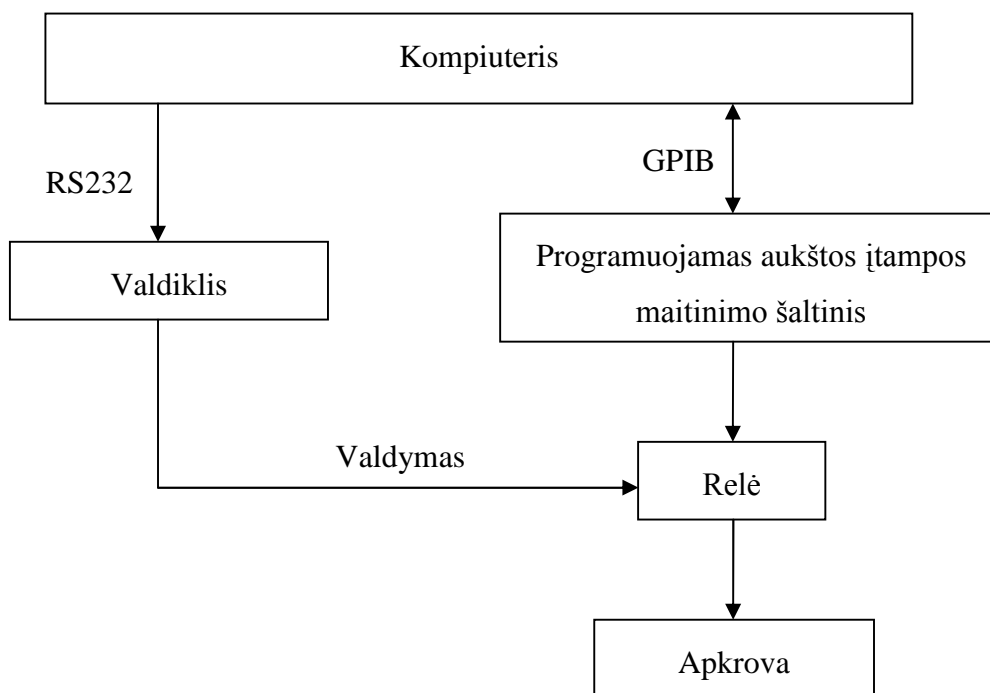
5.23 pav. Mikrovaldiklio įrašymo laiko diagrama

### 5.2.3. Programinė įranga algoritmas

Remiantis virtualių instrumentų programavimo kalba, kurią naudoja programos LabView ir LabWindow, buvo sukurtas programinės įrangos modelis programuojamam aukštosios įtampos maitinimo šaltiniui. Šiame skyriuje aprašoma programinės įranga, kuri leidžia kontroliuoti maitinimo šaltinio išėjimo įtampą naudojant GPIB ir SCPI komandas. Taip pat skyriuje aptariama tokios programinės įrangos projektavimo problemos, programos metodai ir galios srauto valdymas. Šios programavimo kalbos privalumas tas, kad ji turi nesudėtingą ir suprantamą vartotojo sąsają. Dėl šios priežasties programos algoritmus ir metodus galima nesunkiai pritaikyti kitoms sistemoms, kurios naudojamos išėjimo signalo valdymui, signalo stebėjimui ar programuojamo maitinimo šaltinio nustatymų reguliavimui.

Aukštosios įtampos programuojami maitinimo šaltiniai dažniausiai naudojami įvairiose testavimo sistemose. Šiame magistriniame darbe sukurtos programinės įrangos modelis yra daugiapusis ir jį galima taikyti įvairioms sistemoms. Pagrindinis šios programinės įrangos tikslas yra realiu laiku kontroliuoti maitinimo šaltinio parametrus ir stebėti išėjimo įtampos kitimą. Ši programa gali būti įterpta į bet kokią sistemą kaip atskiras modulis ir gali būti naudojama atskirai su įvairiais programuojamais maitinimo šaltiniais.

Žemiau pateikta įtampos šaltinio valdymo struktūrinė schema sudaryta iš kompiuterio, valdiklio, programuojamo aukštosios įtampos maitinimo šaltinio, relės ir apkrovos.



5.24 pav. Aukštosios įtampos programuojamo maitinimo šaltinio valdymo struktūrinė schema

Programuojamas aukštosios įtampos maitinimo šaltinis yra pagrindinis šios sistemos elementas. Jis palaiko abipusį ryšį su kompiuteriu per GPIB sąsają. Tokiu būdu jis kontroliuoja išėjimo įtampos parametrus ir atlieka išėjimo signalo stebėjimą. Iš kitos pusės jis yra sujungtas su perjungimo rele per kurią perduodama įtampa apkrovai. Prieš įtampai patenkant ant apkrovos kompiuteris privalo nusiųsti relės aktyvavimo komandą valdikliui, kad šis galėtų atverti relę ir įtampa patektų ant apkrovos. Šiam procesui pasibaigus kompiuteris perima pilną maitinimo šaltinio valdymą. Šis valdymas vyksta per GPIB sąsają.

Tokia sistema kai per jungimo relę yra valdoma atskirai nuo programuojamo maitinimo šaltinio yra kur kas geriau valdoma ir lankstesnė, nei sistema kurią valdo vienas kompiuteris. Valdiklis kontroliuoja perjungimo relę ir užtikrina, kad įvykus įtampos perkrovai ar trumpam jungimui procesas būtų sustabdytas ir apkrova būtų apsaugota. Taip pat ši sistema gali būti integruota į sudėtingas testavimo sistemas, siekiant užtikrinti jų stabilumą.

Daugumai testavimo sistemų yra keliami aukšti tikslumo standartai. Todėl kartu su tiksliai veikiančiu aukštosios įtampos maitinimo šaltiniu reikalingas ir tikslus jo valdymas. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio įtampa išėjime gali siekti iki 40 kV. Ši sistema gali būti taikoma didelio tikslumo ir kelių etapų procesuose. Tokie procesai gali būti lazerių testavimai, kristalizacijos procesų bandymai ir kita. Atsižvelgiant į testavimo procesų reikalavimus, tam tikras kiekis kreivių, kurios gali būti padalintos į 32 segmentus, gali būti pritaikyta naudojant šią valdymo sistemą. Valdymo parametrai gali būti nustatyti kiekvienam kreivės segmentui. Tai suteikia šiai valdymo sistemai dar didesnę patikimumą ir tikslumą.

Aukštosios įtampos maitinimo šaltinio išėjimo įtampos valdymas pasiekiamas naudojant segmentinį programavimą, valdant išėjimo signalo parametrus. Pradedant testavimo procesus, tolygus galios didinimas yra pasiekiamas naudojant segmentinį valdymą ir tolygų įtampos didinimą. Ryšys tarp kompiuterio ir maitinimo šaltinio yra realizuojamas per GPIB sąsają, kuri gali įgyvendinti signalo išėjimo ir apsaugos parametrus. Taip pat GPIB įgyvendina sistemos įjungimo, išjungimo, išėjimo signalo aptikimo ir kitas sistemos valdymo funkcijas.

Sistemos programinė įranga yra projektuojamas remiantis „National Instrument“ sukurta LabWindows arba LabView technologija. Programos šioje aplinkoje dažniausiai kuriamos naudojant CVI programavimo aplinką, kurią sukūrė „National Instruments“. CVI yra C programavimo kalbos interaktyvi aplinka, skirta testavimo ir valdymo programų kūrimui. Ji leidžia naudoti daug funkcijų turinčias bibliotekas ir yra plačiai naudojama automatikos testavimo ir duomenų apdorojimo sistemose. Patys didžiausi šios programavimo aplinkos privalumai yra jos lankstumas ir plataus naudojimo galimybės. Kiekvienas programuojamas aukštosios įtampos maitinimo šaltinis, dėka CVI programavimo aplinkos, gali komunikuoti su kompiuteriu keliais

pasirinktiniais būdais. Komunikavimo būdas gali būti pasirinktas atsižvelgiant į visos programinės įrangos charakteristikas, naudojimo tikslus ir kitas aplinkybes.

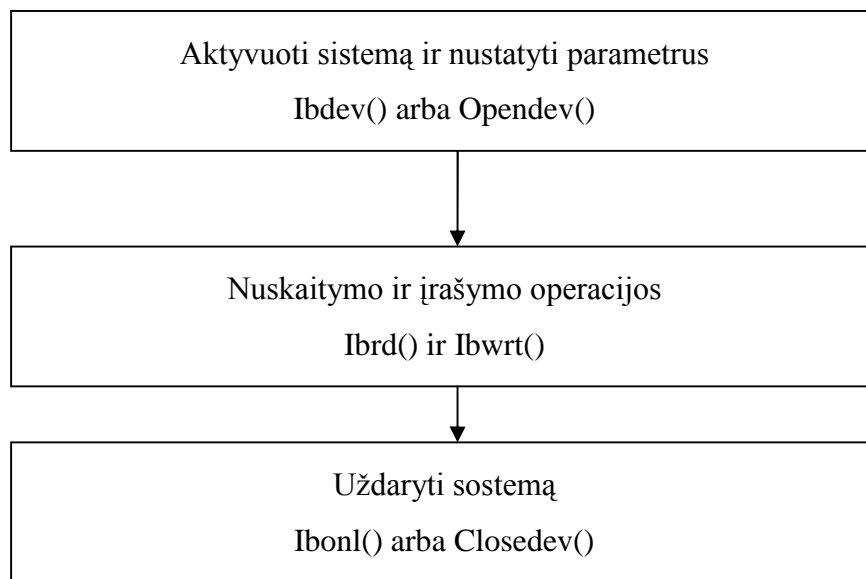
Iš sistemos valdymo struktūrinės schemos, kuri pateikta 5.16 paveiksle, mes matome, kad kompiuteris privalo nusiųsti valdymo komandas programuojamam maitinimo šaltiniui ir tuo pačiu metu nuskaityti įtampos, srovės stiprio ir būsenos vertes. Taigi ryšio tarp kompiuterio ir programuojamo maitinimo šaltinio poroblems turi būti išspręsta. Kadangi programuojami maitinimo šaltiniai dažniausia yra projektuojami ir gaminami su GPIB sąsajos moduliais, o virtualių instrumentų programavimo kalba suteikia galimybę naudotis funkciniais moduliais, sistemos valdymo programavimas tampa gana paprastas. Kompiuteris šioje sistemoje gali valdyti maitinimo šaltinį ir nuskaityti jo duomenis per GPIB sąsają.

Kompiuteris valdo aukštosios įtampos maitinimo šaltinį nustatydamas išėjimo įtampos vertes ir nuskaitydamas išėjimo įtampos signalą ir srovės stiprio reikšmes. Šiuos veiksmus jis atlieka rašydamas komandines eilutes, kurios per GPIB sąsają pasiekia maitinimo šaltinį. Komandinės eilutės yra rašomos naudojant SCPI komandinių eilučių kalbos formatą. SCPI (Standartinės Komandos Programuojamiems Prietaisams) yra standartiniams prietaisams skirta komandinių eilučių programavimo kalba sukurta iš ASCII simbolių ir gali būti naudojama bet kokiai standartinei sąsajai įskaitant GPIB ir RS323 sąsajas. Tuo tarpu IEEE 488.2 protokolas veikia virš techninės įrangos sluoksnio ir gali atlikti tas pačias valdymo funkcijas skirtingiems prietaisams. Tam tikrai funkcijai, kuri skirta bet kokio standarto testavimo įrangai, naudojančiai SCPI, SCPI nustato unikalias komandines eilutes. Didžiausias SCPI standarto privalumas yra tas, kad mes privalome užtikrinti tik funkcijų įgyvendinimą programuojant, bet ne pačio prietaiso įgyvendinimą. Tai reiškia, kad mes galime naudoti tas pačias komandas skirtingiems prietaisams, testuojant tuos pačius parametrus jei keletas skirtingų tipų prietaisų yra suderinti su SCPI standartu.

Dažniausiai programuojami maitinimo šaltiniai suteikia galimybę naudoti keletą būtinų SCPI komandinių eilučių. Tokios eilutės dažniausiai būna: perkrovimas, inizijalizacija, registru nuskaitymas/įrašymas, įtampos ir srovės stiprio nustatymai, viršytampio apsauga, triukšmo valdymas, viršsrovių apsauga, įtampos/srovės stiprio režimo keitimas, pertraukties reikalavimas ir daugelis kitų. Pavyzdžiui \*RST yra komandinė eilutė perkrovimui atlikti, o UOTP OFF komandinė eilutė yra skirta maitinimo šaltinio išjungimui.

Visos stebėjimo sistemos programinė įranga pagrįdė remiasi GPIB protkolo įrašymo ir nuskaitymo komandų eilės tvarka. Kadangi programa veikia CVI programavimo aplinkoje, mes galime naudoti CVI aplinkoje esančią GPIB funkcijų biblioteką. Jei programavimo metu yra naudojamos GPIB funkcijos, bibliotekos failas *gpi.b* bus automatiškai patalpinamas programos pradžioje atlikus programos kompiliavimą. GPIB programavimo operacijos yra gana nesudėtingos. Pirmiausia reikia aktyvuoti sistemą ir nustatyti reikiamus parametrus, tada galima atlikti rašymo ir

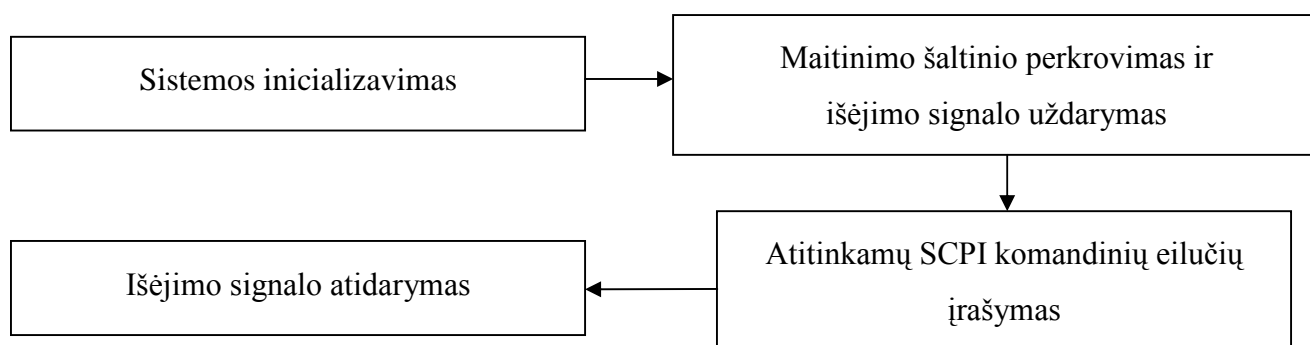
nuskaitymo operacijas, ir galiausiai, atlikus visas reikiamas operacijas, sistema yra uždaroma. GPIB protokolo operacijų eiliškumas pateiktas 5.25 paveiksle.



**5.25 pav.** GPIB protkolo operacijų eiliškumas

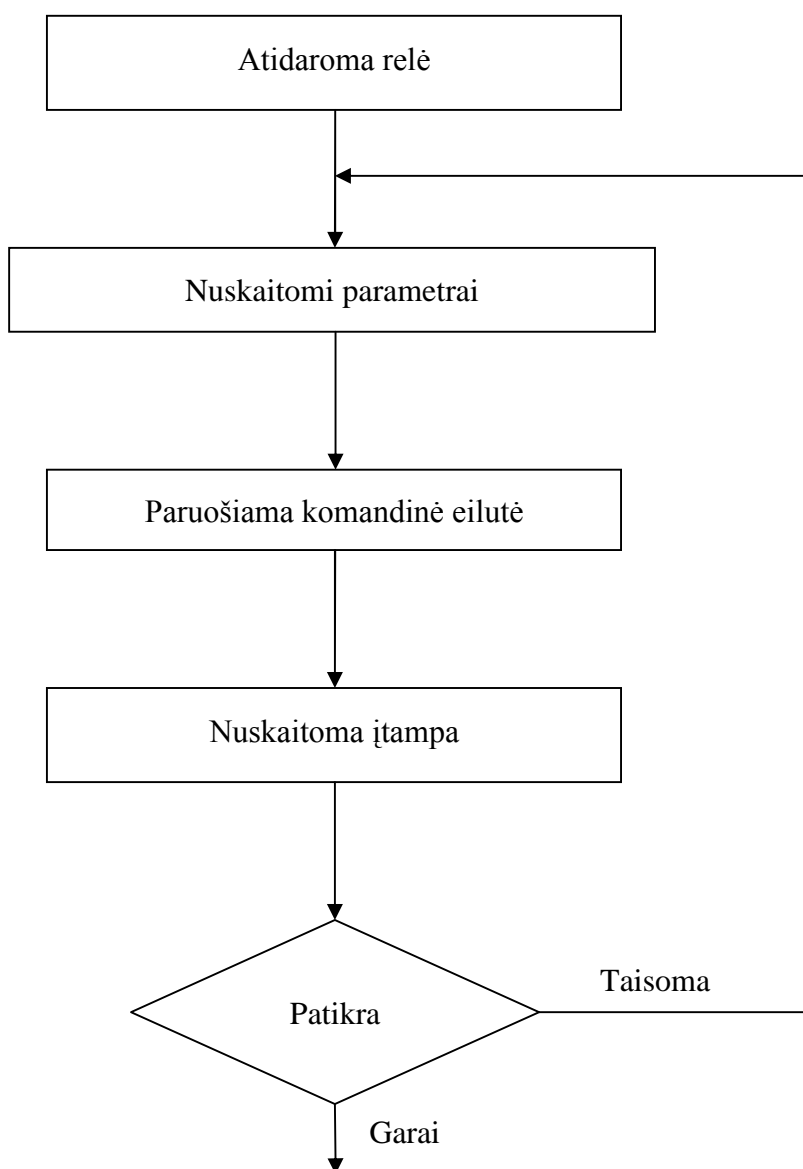
Stebėjimo sistemoje reikia nustatyti tam tikrus parametrus ir taip kontroliuoti įėjimo ir išėjimo signalų parametrus. Procedūrų eiliškumas yra toks: užbaigti programuojamo aukštosios įtampos maitinimo šaltinio inicializaciją naudojant GPIB sąsajos operacines funkcijas, prijungti maitinimo šaltinio gnybtus prie apkrovos, nustatyti reikiamus parametrus, įrašyti reikiamas SCPI komandines eilutes į maitinimo šaltinio GPIB sąsajos registrus priklausomai nuo valdymo reikalavimų ir baigti sistemos valdymo operacijas. Išėjimo signalo valdymo operacijų eiliškumas pateiktas 5.18 paveiksle.

Šios sistemos programinės įrangos architektūra susideda iš keletos elementų: sistemos valdymo modulio (SVM), signal stebėjimo modulio (SSM), parametrų nustatymo modulio (PNM) ir funkcinio modulio (FM). Sistemos įjungimo sintaksė pateikta 5.26 paveiksle.



**5.26 pav.** Išėjimo signalo valdymo operacijų eiliškumas

Sistemos valdymo modulis yra visos stebėjimo sistemos branduolys, nes jis atlieka pagrindines funkcijas. Jo atliekamos funkcijos: sistemos įjungimas, sistemos išjungimas, būsenos stebėjimas ir daug kitų funkcijų. Sistemos įjungimo procesas atliekamas esant tam tikram režimui, kuriam esant yra nustatomi keli parametrai. Tokie kaip segmentų skaičius, pradinė ir galinė kiekvieno segmento įtampos reikšmė, laiko tarpas per kurį pasiekama aukščiausia įtampos reikšmė. Šiuos parametrus galima nustatyti per parametrų nustatymo modulį. Norint tai padaryti reikia nuskaityti parametrų failą prieš inicializuojant sistemą. Sistemos įjungimo programavimo sintaksė parodyta 5.27 paveiksle. Sistemos išjungimo procesas yra gana paprastas ir turi tik kelis šiam procesui naudojamus parametrus. Atliekant šį procesą pirmiausia reikia uždaryti relę per standartinę RS232 jungtį, nustatyti išėjimo įtampos vertę nuliui voltų ir išjungti maitinimo šaltinį.

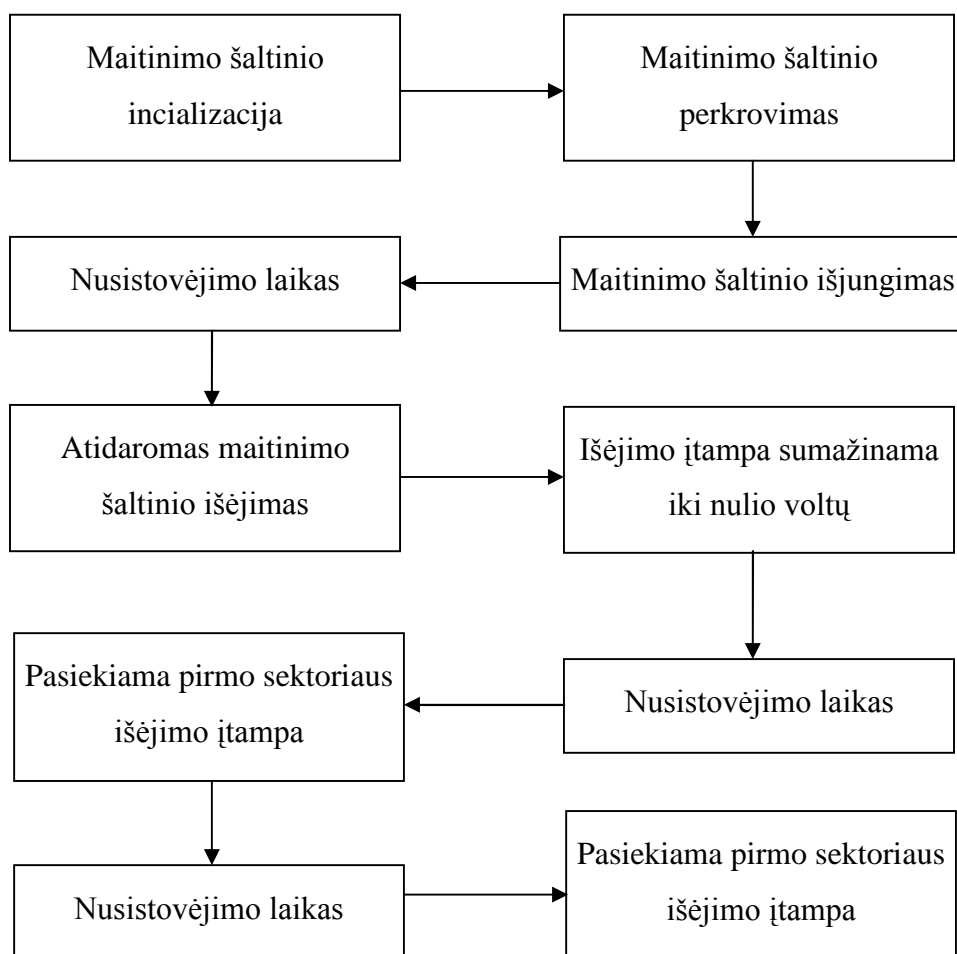


5.27 pav. Sistemos įjungimo sintaksė

Kai įtampa paduodama ant apkrovos, sistema gali realizuoti realaus laiko išėjimo signalo stebėjimą. Atlikdama tokius stebėjimus, sistema nustato programuojamo aukštosios įtampos maitinimo šaltinio išėjime esančią įtampą ir srovės stiprį. Šie veiksmai yra atliekami naudojant signal stebėjimo modulį. Tuo pačiu momentu kai srovės stiprio ar įtampos vertės pradeda neatitikti užduotų verčių, sistema aktyvuoja išjungimo procesą uždarydama relę ir išjungdama maitinimo šaltinį. Programinės įrangos sąsaja gali stebėti įtampos ir srovės srovės stiprio kitimą realiu laiku, šiuos duomenis galima nesunkiai apdoroti ir pateikti LabWindow arba LabView aplinkoje. Taip pat programinė įranga tam tikros indikacijos būdu galėtų parodyti sistemos būseną.

Parametrų nustatymo modulis yra naudojamas sistemos parametrams nustatyti. Gali būti nustatomi tokie parametrai kaip išėjimo įtampos adresavimas, tam tikri sistemos įjungimo parametrai (segmentų skaičius, pradinė ir galutinė įtampos vertės ir t.t.), ribinės įtampos ir srovės vertės. Taip pat šis modulis gali išsaugoti parametrus, kad juos būtų galima naudoti atliekant kitus testavimus.

Funkcinis modulis atlieka dvi funkcijas. Viena jo funkcija yra sukalibruoti įtampos šaltinį, o kita funkcija yra atlikti sistemos derinimo operacijas.



5.28 pav. Sistemos įjungimo sintaksė

Šiame skyriuje taip pat pateikiame sistemos įjungimo funkcijos programavimo algoritmą, tai labia gerai iliustruos stebėjimo sistemos kūrimo procesą. Pavyzdžiui, jei sistema reikalauja 2,5 kV įtampos išėjime, tokios įtampos pasiekimas yra suskirstytas į du sektorius. Pirmame sektoriuje įtampa pakyla iki 1,5 kV, o antrame sektoriuje įtampa pakyla dar vienu kilovoltu ir pasiekia 2,5 kV. Programavimo proceso eiliškumas pateiktas 5.28 paveiksle.

Pritaikius šią valdymo ir stebėjimo sistemą galima valdyti daugumos standartinių aukštosios įtampos maitinimo šaltinių parametrus ir stebėti jų išėjimo signalus. Taip pat šios sistemos pagalba galima nesunkiai testuoti bet kokio maitinimo šaltinio stabilumą ir tikslumą. Kadangi sistema valdomas įgyvendinamas naudojant GPIB standarto SCPI komandines eilutes, sistema su nedideliais patikslinimais gali veikti ir su kitais prietaisais, palaikančiais GPIB standartą.

## 6. IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Baigiamajame darbe išnagrinėti įvairios paskirties ir charakteristikų aukštosios įtampos maitinimo šaltiniai. Teorinėje dalyje pateikti įvairių maitinimo šaltinių trūkumai ir privalumai.
2. Smulkiai išnagrinėti aukštosios įtampos maitinimo šaltinio sandaros elementai.
3. Pateiktos ekvivalentinės galios faktoriaus korekcijos, inverterių, aukštinančių transformatorių grandinės.
4. Palyginti trijų tipų aktyviniai galios faktoriaus korekcijos filtrai. Galios faktoriaus korekcijos grandinės renkamos pagal maitinimo šaltinio tipą. Didelio tikslumo reikalaujantiems aukštosios įtampos maitinimo šaltiniams paprastai taikomi aukštinantieji aktyviniai filtrai.
5. Taip pat teorinėje dalyje smulkiai išnagrinėta GPIB sąsaja. Aptarti jos privalumai ir trūkumai. GPIB sąsaja lyginant su kitomis yra naudinga tuo, kad ja galima lygiagrečiai sujungti kelis prietaisus ir visus naudoti vienu metu. Tai ypač aktualu maitinimo šaltiniams, nes jungiant kelis maitinimo šaltinius galima pasiekti norimą aukštąją išėjimo įtampą.
6. Pateikta GPIB sąsajos signalo struktūra ir SCPI valdymo komandos, naudojamos programuojant virtualius prietaisus.
7. Darbe išnagrinėti kelios GPIB sąsajos projektavimo galimybės. Ši sąsaja nėra labai populiarė, dėl to ją palaikančius modulius yra gana sudėtinga rasti ir jų kaina yra nemaža. GPIB sąsajos modulius galima projektuoti naudojant GPIB palaikančius lustus.
8. Praktinėje darbo dalyje ištirtas maitinimo šaltinis, įgyvendinta valdymo ir apkrovimo schemas. Patikrintas aukštosios įtampos maitinimo šaltinio vėlinimo laikas esant skirtingoms apkrovoms. Gautas pjūklo formos išėjimo signalas.
9. Taip pat darbe pateikėme GPIB sąsajos valdymo modelio projektavimo pavyzdį. Smulkiai aprašėme šio modelio veikimą.
10. Virtualiuosius prietaisus labai patogiu projektuoti naudojantis programomis LabView arba LabWindow. Naudojantis šiomis programomis labai patogiu kurti prietaisų sistemas. Taip pat naudojantis virtualių prietaisų programavimo kalba labai nesunku įgyvendinti prietaisų valdymą ir duomenų apdorojimą.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. NAIDU, M.; KAMARAJU, V. 2009. *High voltage engeneering, 4th edition*: vadovėlis. New Dehli: McGraw-Hill. 145-209 p.
2. HADDAD, A.; WARNE, D. 2007. *Advances in high voltage engeneering*: vadovėlis. London: The Institution of Engeneering and Technology. 591-621 p.
3. MUHHAMAD, R. 2007. *Power electronics handbook*: vadovėlis. London: Elsevier. 559-564 p.
4. BUREO OF NAVALL PERSONNEL. 1973. *Basic electronics*: vadovėlis. Dover: Dover publications. 97-103 p.
5. MURARI, B.; BERTOTTI, F.; VIGNOLA, G. A. 2002. *Smart power IC's*: vadovėlis. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
6. BENDA, V.; GOWAR, J.; GRANT, D. 1999. *Power Semiconductor Devices*: teorija ir taikymas. London: John Wiley & Sons Ltd.
7. KHANNA, V. 2003. *The Insulated Gate Bipolar Transistor*: teorija ir taikymas. Canada: Institute of Electrical and Electronics Engeneering. 155-229 p.
8. MATHIVANAN, N. 2007. *PC-Based Instrumentation*: teorija ir praktika. New Dehli: Prentice-Hall.
9. PARK, J.; MACKAY, S.; WRIGHT, E. 2003. *Data communications for instrumentation and control*: praktika. Oxford: IDC Technologies.
10. JAMES, K. 2000. *PC interfacing and data acquisition*: vadovėlis. London: Newnes. 251-308 p.
11. JOHNSON, G.; JENNINGS, R. 2006. *LabVIEW graphical programming (4th edition)*: vadovėlis. USA: McGraw-Hill.
12. MUNOZ-RUIZ, A.; VROMANS, H. 1998. *Data acquisition and measurement techniques*: vadovėlis. USA: Interpharm Press. 85 p.
13. BARZDŽIUKIENĖ, L. D.; CELEŠIENĖ, V.; KAULAKIENĖ, A. *Baigiamasis studijų darbas: Kalbininkų patarimai*: teorija ir tvarkyba. 2-asis pataisytas ir papildytas leidimas. Vilnius: Technika, 2005. 139 p.
14. BARZDŽIUKIENĖ, L. D.; CELEŠIENĖ, V.; KAULAKIENĖ, A. *Baigiamasis studijų darbas: Kalbininkų patarimai*: teorija ir tvarkyba. Vilnius: Technika, 2004. 80 p.
15. MANIKTALA, S. 2004. *Switching power supply design and optimization*: vadovėlis. USA: McGraw-Hill.
16. RUI, X.; JIANDE, W.; WUHUA, L.; XIANGNING, H. 2008. A High Voltage Pulsed Power Supply with Magnetic Switch for ESP, *2nd IEEE international conference on power and energy*: 62–66.
17. KALINGAMUDALI, S. R. D.; JAYASINGHA, A. M. R. 2006. Designing of an inexpensive GPIB interfaced voltage source, *First international conference on industrial and information systems*: 75–78.
18. ZAMANI, Z. M.; HARUN, W. S.; THAMBIRATMAN, K.; AHMAD, H. 2008. Self-calibrating automated characterization system for depressed cladding EDFA applications using

- labVIEW software with GPIB, *IEEE transactions on instrumentation and measurement*: 2677–2681.
19. YONGHONG, L.; XIAODONG, Z.; YINGHONG, W. 2005. A virtual instrument detecting system for electromagnetic environment based on GPIB, *IEEE international symposium on microwave, antenna, propagation and EMC technologies for wireless communications proceedings*: 487–490.
  20. UDRĖNAS, V. 2003. Kompiuterinė technika: vadovėlis. Vilnius: Technika.
  21. Enciklopedija [žiūrėta 2011-03]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Insulated-gate\\_bipolar\\_transistor](http://en.wikipedia.org/wiki/Insulated-gate_bipolar_transistor)
  22. TRIGG, M.; NAYAR, C. 2009. Matlab simulink modelling of a single-phase voltage controlled voltage source inverter, *Department of electrical engineering, Curtin university of technology, Austria*.
  23. MUNDRA, T.; SACHDEVA, S.; KAHLON, K. 2006. Microcontroller based power supply, *Journla of computer science*: 607-611 p.
  24. *Programmable power supplies*: vadovėlis. USA: Tektronix 2005.
  25. *TNT4882 programmer reference manual*: vadovėlis. USA: Tektronix 2005.
  26. SVEIKATA, J.; NOREIKA, A. 2003. Sąsajos valdymo algoritmo tyrimas ir programavimas, *Elektronika ir elektrotechnika (Nr. 49)*. 75-78 p.
  27. Enciklopedija [žiūrėta 2011-03]. Prieiga per internetą: <http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE-488#Standards>
  28. Enciklopedija [žiūrėta 2011-02]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_factor\\_correction#Power\\_factor\\_correction\\_in\\_non-linear\\_loads](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_factor_correction#Power_factor_correction_in_non-linear_loads)
  29. Enciklopedija [žiūrėta 2011-03]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Resonant\\_inverter](http://en.wikipedia.org/wiki/Resonant_inverter)
  30. VISHWANATHAN, N.; RAMANARYANAN, V. 2009. *High voltage DC power supply topology for pulsed load applications with converter switching synchronized to load pulses*. Power electronics group.
  31. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinių gamintojas Tdk-Lambda [žiūrėta 2010-05]. Prieiga per internetą: [http://www.us.tdk-lambda.com/hp/product\\_html/high\\_volt.htm](http://www.us.tdk-lambda.com/hp/product_html/high_volt.htm)
  32. Aukštosios įtampos maitinimo šaltinių gamintojas Tdk-Lambda [žiūrėta 2010-05]. Prieiga per internetą: [http://www.us.tdk-lambda.com/hp/product\\_html/xrpower.htm](http://www.us.tdk-lambda.com/hp/product_html/xrpower.htm)