

VILNIAUS UNIVERSITETAS

FIZIKOS FAKULTETAS

Laboratorinis darbas Nr.8

IMPULSINĖS PUSLAIDININKINIŲ DIODŲ SAVYBĖS

Vilnius, 2015

TURINYS

Darbo tikslas	3
Užduotys	3
Kontroliniai klausimai	3
Literatūra	3
1 Teorinė medžiaga.....	4
1.1 Pereinamieji vyksmai diode, įjungiant ją laidžiąja kryptimi	4
1.2 Pereinamieji vyksmai diode, perjungiant ją iš tiesioginės į atgalinę kryptį	5
1.3 Įtampos kitimas diode išjungiant įtampą laidžiąja kryptimi	7
2. Darbo schema ir matavimų eiga	8
2.1 Darbo schema.....	8
2.2 Darbo eiga.....	8
Priedas: Matavimai skaitmeniniu oscilografu Teledyne LeCroy - WaveAce 1012 ...	Error!

Bookmark not defined.

Darbo tikslas

Ištirti puslaidininkinių diodų impulsines charakteristikas ir išmatuoti jų impulsinius parametrus.

Užduotys

1. Ištirti įtampos kitimo diode priklausomybę nuo įjungimo srovės stiprio. Paaiškinti oscilogramas.
2. Ištirti įtampos kitimą diode atjungiant įtampą laidžiąja kryptimi. Paaiškinti oscilogramas.
3. Ištirti atgalinės srovės kitimo diode priklausomybę nuo laiko, esant skirtingoms srovėms laidžiąja kryptimi. Apskaičiuoti ir nubraižyti išsiurbimo trukmės priklausomybę nuo srovės laidžiąja kryptimi. Apskaičiuoti šalutinių krūvininkų gyvavimo trukmę ilgos bazės diode ir bazės ilgį trumpos bazės diodui.

Kontroliniai klausimai

1. Paaiškinti vyksmus diode, įjungiant jį laidžiąja kryptimi.
2. Paaiškinti vyksmus diode, perjungiant jį iš laidžiosios krypties į užtvartinę.
3. Kuo skiriasi srovės kinetikos išjungiant diodą ir perjungiant jį iš laidžiosios krypties į užtvartinę?

Literatūra

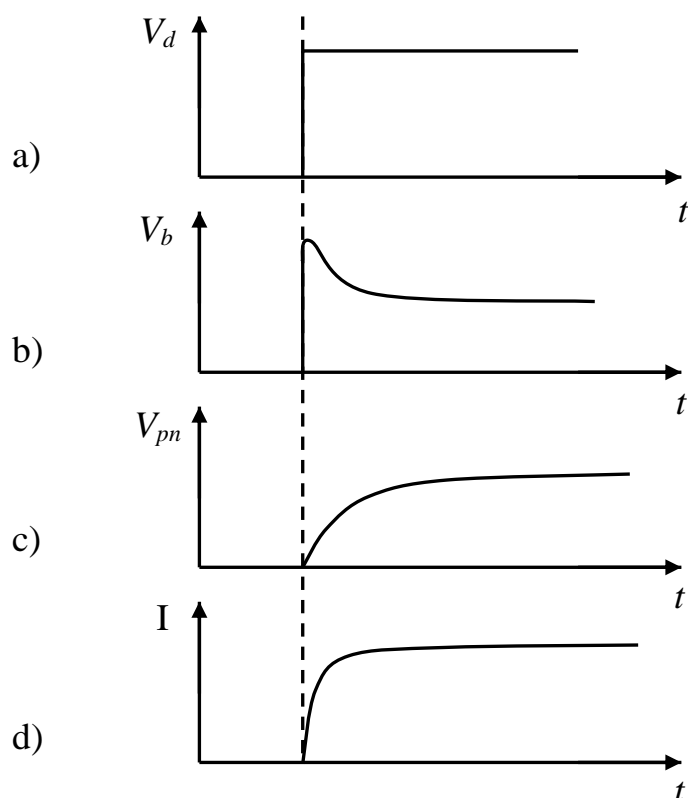
[1] Носов Ю. Р. Физические основы работы полупроводникового диода в импульсном режиме. – М., Наука, 1968.

1 Teorinė medžiaga

1.1 Pereinamieji vyksmai diode, įjungiant ją laidžiąja kryptimi

Ištirkime pereinamuosius vyksmus puslaidininkiniame diode, kai prie jo prijungiamas stačiakampis įtampos impulsas. Impulso poliškumas toks, kad diodas įjungiamas laidžiąja kryptimi. Šiuo atveju srovė diode nusistovi ne iš karto, nes laikui bėgant jo bazėje kaupiasi injektuoti iš pn sandūros šalutiniai krūvininkai. Dėl to bazės varža mažėja laikui bėgant. Šis bazės varžos mažėjimas užtrunka tiek laiko, kiek užtrunka šalutinių krūvininkų difuzija į bazės gilumą. Kaupiantis šalutiniams krūvininkams ir mažėjant bazės varžai išorinė įtampa pasiskirsto tarp bazės varžos ir pn sandūros varžos. Būtent, įtampa bazėje mažėja, o pn sandūroje didėja. Pusiausvyrosios įtampų vertės nusistovi tada, kai šalutinių krūvininkų injekciją sukompensuoja jų rekombinacija bazėje.

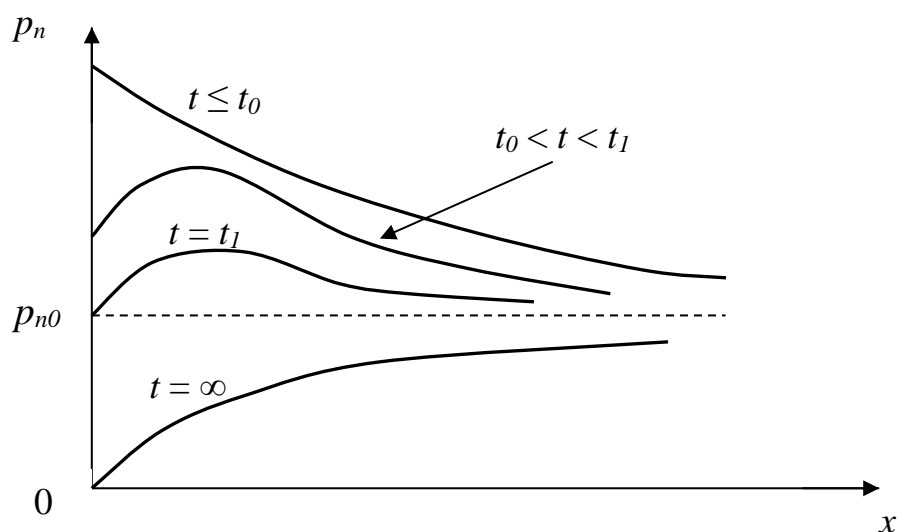
1.1.1 pav. parodytas išorinės įtampos impulsas (a) ir kartu įtampos bazėje (b) ir pn sandūroje (c). Be to parodytas ir srovės, tekančios diodu kitimas laikui bėgant (d).



1.1.1 pav. Prijungtos įtampos impulsas (a), įtampų diodo bazėje (b) bei pn sandūroje (c) kitimas laikui bėgant bei per diodą tekančios srovės kinetika (d).

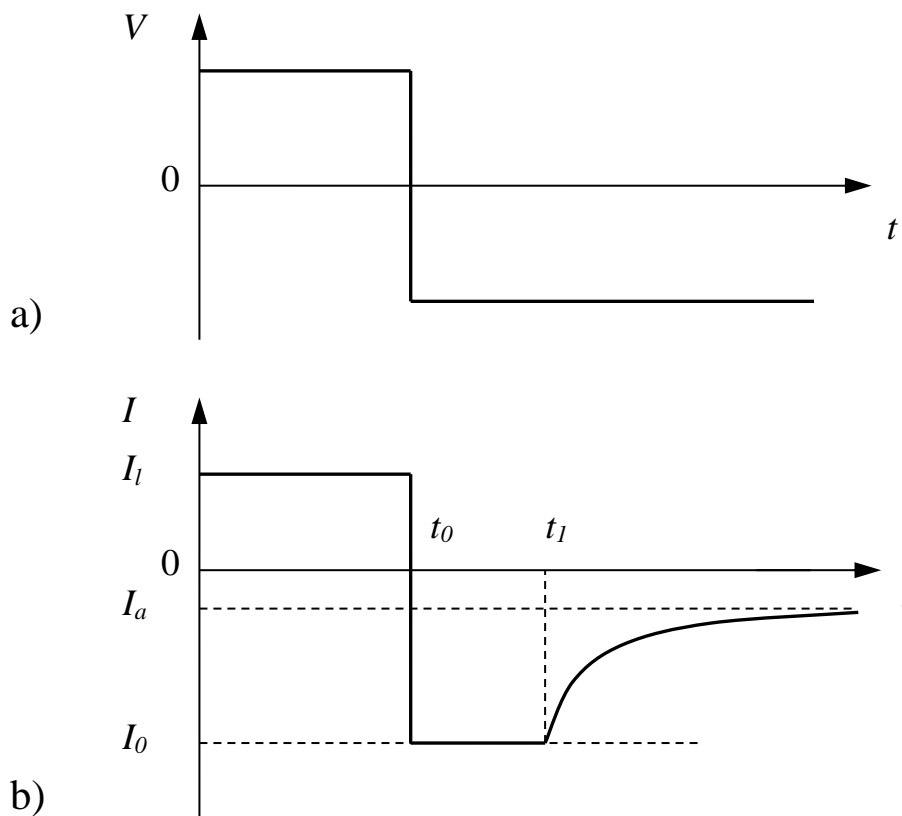
1.2 Pereinamieji vyksmai diode, perjungiant jį iš tiesioginės į atgalinę kryptį

Tarkime, kad kažkuriuo momentu t_0 įjungtą diodą impulsu perjungiamo į atgalinę kryptį. Laikas t_0 parenkamas taip, kad srovė diode jau būtų nusistovėjusi. Prieš perjungimą diodo bazėje šalutinių krūvininkų tankis eksponentiškai mažėja, tolstant nuo pn sandūros. Konkretumo dėlei laikysime, kad bazė yra n laidumo, t.y. $p_p \gg n_n$. Čia p_p - emiterio skylių tankis, n_n - bazės elektronų tankis. Stacionarus į bazę injektuotų skylių tankis kol $t < t_0$ parodytas 1.2.1 pav. Perjungimo metu injekcija nebevyksta, o sukauptos bazėje skylės pradeda nykti ir dėl rekombinacijos bazėje, ir dėl to, kad atgalinės krypties įtampa jas ištraukia iš bazės atgal į emiterį. Kol skylių tankis bazėje dar lieka didesnis už p_{n0} (pusiausvyrisis jų tankis bazėje), tai diodas lieka laidžios būsenos, vadinasi jo varža yra maža.



1.2.1 pav. Skylių pasiskirstymas bazėje įvairiais laiko momentais, perjungiant diodą iš laidžios krypties į užtvartinę.

Srovės išorinėje grandinėje dydį lemia išorinės grandinės varža, nuosekliai sujungta su diodu. Tas reiškia, kad tam tikrą laiką srovė išorinėje grandinėje nekinta. Po to, kai skylių tankis bazėje šalia sandūros pasidaro mažesnis už p_{n0} , srovė išorinėje grandinėje ima mažėti, nes diodas persijungia į atgalinę didelės varžos kryptį. Srovė mažėja iki stacionariosios savo vertės, kurią lemia diodo nusistovėjusi atgalinė varža. Įtampos impulsas, kuris iš laidžiosios krypties perjungia diodą į atgalinę būseną, o kartu ir srovės, tekančios išorine grandine kitimas laikui bėgant pavaizduoti 1.2.2 pav.



1.2.2 pav. Diodo perjungimas: išorinės įtampos impulso forma (a), srovės kitimas (b). I_l - stacionari srovė laidžiąja kryptimi, I_a - stacionari užtvarinės srovės vertė, I_0 - pradinis srovės šuolis, kurį lemia nuosekliai su diodu prijungta varža R .

Matome, kad žymiausia diodo išjungimo ypatybė yra ta, kad pirmuoju momentu ($t = t_0$) diodu teka žymiai didesnė srovė, negu atgalinė soties srovė I_a . Diodas elgiasi panašiai, kaip perelektrinamas kondensatorius. Šio kondensatoriaus krūvį sudaro sukaupti bazėje krūvininkai, t.y. diodo išjungimo metu pasireiškia pn sandūros difuzinė talpa. Matematiškai aprašyti perjungimo kinetiką gana sudėtinga, tačiau palaikant tokias matavimo sąlygas, kad būtų teisingos nelygybės

$$0,1 < I_0 / I_l < 1 \quad (1.2.1)$$

galima paprastai susieti trukmę t_1 su matuojamais dydžiais I_l ir I_0 :

$$t_1 = 0,2(I_l / I_0)\tau_p, \quad (1.2.2)$$

čia τ_p - šaltinių krūvininkų gyvavimo trukmė bazėje. Iš (1.2.2) formulės matome, kad tiriant oscilografu pereinamuosius procesus, vykstančius diodo perjungimo metu galime rasti šaltinių krūvininkų gyvavimo trukmę. Pastebėsime, kad čia aprašyti

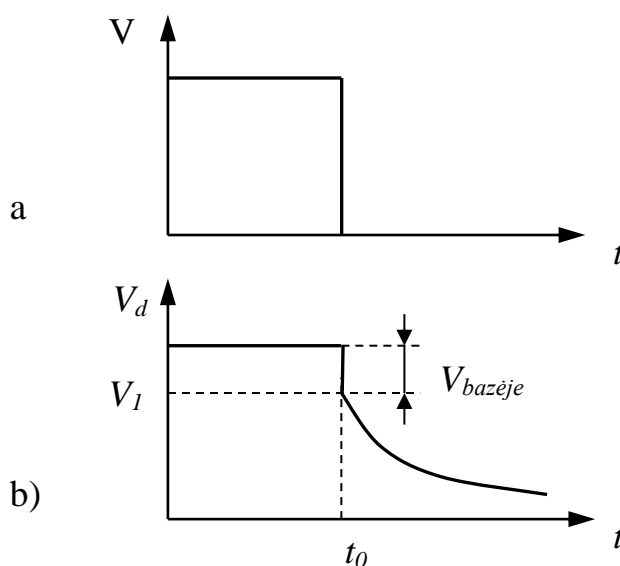
reiškiniai vyksta ilgos bazės dioduose, kuriuose šalutinių krūvininkų difuzijos nuotolis L daug mažesnis už bazės ilgį W , ($L \ll W$). Trumpos bazės diodų ši nelygybė atvirkščia, t.y. $L \gg W$ ir todėl juose pereinamuosius procesus lemia ne gyvavimo trukmė τ_p , bet krūvininkų lėkio baze trukmė ($W^2 / 2D$); čia D - šalutinių krūvininkų difuzijos koeficientas bazėje.

1.3 Įtampos kitimas diode išjungiant įtampą laidžiąja kryptimi

Šalutinių krūvininkų susikaupimas bazėje pasireiškia ne tik srovės šuoliu nuo I_f iki I_b perjungiant diodą iš laidžiosios į užtvarinę būseną, bet ir tiesiog išjungiant įtampą laidžiąja kryptimi. Šiuo atveju diodo įtampa šuoliškai sumažėja ne iki nulio, o tik iki tam tikros vertės V_I (žr. 1.2.3 pav.), ir vėliau mažėja iki nulio. Pirmąjį šuoliuką nuo V_s iki V_I lemia tai, kad išjungus išorinę įtampą diodo bazėje (t.y. aktyviojoje varžoje) įtampa momentaliai taip pat išsijungia, o kadangi susikaupę šalutiniai krūvininkai negali išnykti momentaliai, tai įtampa diode lieka lygi įtampai diodo pn sandūroje. Laikui bėgant šalutiniai krūvininkai bazėje rekombinuoja ir mažėja iki nulio. Apytiksliai V_I mažėjimą aprašo tokia formulė (ilgos bazės diode):

$$V_I = V_I(t_0) - \frac{kT}{e} \cdot \frac{t}{\tau_p}. \quad (1.2.3)$$

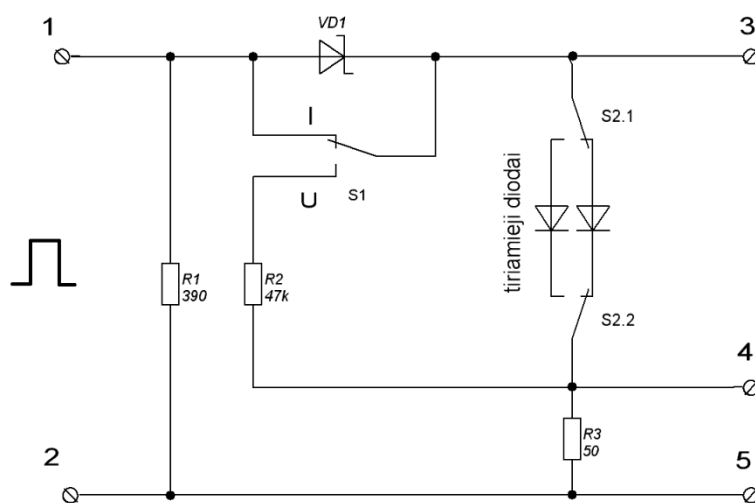
V_I mažėjimas trunka apie 10 kartų ilgiau, negu diodo perjungimas iš laidžiosios į užtvarinę kryptį, nes jį lemia tik krūvininkų rekombinacija, o perjungimą dar paspartina ir šalutinių krūvininkų ištraukimas iš bazės, veikiant atgalinei įtampai.



1.2.3 pav. Pereinamieji procesai išjungiant įtampą diode: išorinės įtampos kitimas (a) ir įtampos kitimas diode (b).

2. Darbo schema ir matavimų eiga

2.1 Darbo schema



2.1.1 pav. Laboratorinio darbo maketo schema.

Laboratoriniam darbui atlikti reikalingi šie prietaisai: įtampos impulsų generatorius, skaitmeninis oscilografas (Teledyne LeCroy - WaveAce 1012) ir darbo maketas. Darbo maketo schema parodyta 2.1.1 pav. Tiriamųjų diodų tipai yra Д248Б ir КД213А.

2.2 Darbo eiga

Atliekant šį laboratorinį darbą, yra tiriami ir priekiniai, ir galiniai frontai, todėl vertėtų tinkamai nusistatyti oscilografo trigerį kiekvienai užduočiai individualiai.

Atliekant pirmąją darbo užduotį, tiriant įtampos kitimo diode priklausomybę nuo įjungimo srovės stiprio, maketo perjungiklis S1 turi būti padėtyje „U“, įtampos impulsų generatorius nustatomas į teigiamo stačiakampio impulso režimą ir prijungiamas prie IN jungties, oscilografas ($R_{osc}=1\text{M}\Omega$) prijungiamas prie U jungties ir stebimas signalas išsaugomas. Matomą oscilogramą reikia išsaugoti į USB raktą duomenų lentelės pavidalu (**Naudojantis šiuo oscilografu rekomenduojama, kad USB atmintukas būtų tik FAT tipo failų sistemos, naudojantis NTFS tipo failų sistema duomenys gali būti ne tik neįrašyti, bet ir sugadinti jau atmintuke esančius duomenis.**) Tai atliekama bent trims įėjimo srovės vertėms abiem diodams. Įtampos impulso trukmė turi būti pakankama, kad būtų pasiektas stacionarus režimas.

Atliekant antrąją užduotį, tiriant įtampos kitimo diode priklausomybes nuo laiko, keičiam generatoriaus paduodamos tiesioginės įtampos vertę ir stebime ant diodo

krentančią įtampą. Matavimo sąlygos tos pačios kaip ir pirmoje užduotyje, tik stebimas diodo išsijungimas.

Atliekant trečiąją užduotį, tiriant atgalinės srovės kitimo diode priklausomybes nuo laiko, oscilografas prijungiamas prie I jungties, o perjungiklis S1 turi būti padėtyje „I“. Keičiant įtampą tiesiogine kryptimi, reikia išlaikyti tokią pačią atgalinės įtampos vertę. Matavimus atlikti laikantis (1.2.1) sąlygos ir fiksuojant bent po dešimt verčių abiem diodams. Nubraižomos išsiurbimo trukmės priklausomybės nuo srovės laidžiąja kryptimi ir, pasinaudojant 1.2.2 formule, randama krūvininkų gyvavimo trukmė arba jų lėkio per bazę trukmė bei bazės ilgis.

Priedas: Matavimai skaitmeniniu oscilografu Teledyne LeCroy - WaveAce 1012

WaveAce 1012 yra dviejų kanalų 100 MHz 1 GS/s skaitmeninis oscilografas. Aptarsime kai kuriuos darbo su juo ypatumus.

Naudojantis šiuo oscilografu rekomenduojama, kad USB atmintukas būtų tik FAT tipo failų sistemos, naudojantis NTFS tipo failų sistema duomenys gali būti ne tik neįrašyti, bet ir sugadinti jau atmintuke esančius duomenis.



Meniu paprastai būna nustatyta anglų kalba, jei ne - kalbą galima nustatyti paspaudus UTILITY mygtuką ir pasirinkus „Language“ meniu punktą.

Y kanalų meniu (mygtukai CH1 ir CH2) pirmas punktas COUPLING keičia įėjimo grandinės tipą (DC – nuolatinė srovės komponentė praleidžiama, AC – nepraleidžiama, GND – įėjimas įžemintas). Antrasis BW LIMIT gali riboti praleidžiamų dažnių juostą 20 MHz. Jei tiriami ne ypač greiti signalai, tai gali labai padėti išskirti naudingą signalą iš aukšto dažnio triukšmų. Punktas PROBE skirtas pakeisti įtampos matavimo daugiklį, kai prijungtas matavimo zondas su silpninimu. **Viena iš dažnai pasitaikančių klaidų yra susijusi su neteisingu šio meniu punkto nustatymu.** Sekantis meniu punktas (pereiti į kitą meniu puslapį „Next Page“) INVERT – signalo invertavimas. Skiltis FILTER (skaitmeninis filtravimas) skirta kai nepadeda kiti kovos su triukšmais būdai, galima naudoti įvairių tipų (aukštų ar žemų dažnių, juostinį, užtvarinį) filtrus su nustatomais parametrais (nustatomi INTENSITY/ADJUST rankenėle). VOLTS/DIV meniu skiltis skirta vertikalios skalės rankenėlių diskretiškumo keitimui (nurodo ar skalės vertė keisis grubiai ar smulkiu

žingsneliu). Tą patį galima pasiekti tiesiog paspaudžiant atitinkamą vertikalios skalės rankenėlę gilyn. Meniu punkto INVERT paskirtis – akivaizdi. Meniu skiltyje UNIT (esanti PAGE 3/3) turi būti nustatyti vienetai voltai (V).

MATH mygtukas leidžia tiesiog oscilografo ekrane matyti abiejų kanalų signalų sumą, skirtumą, sandaugą ar dalmenį, o taip pat atlikti greitą Furjė transformaciją (FFT). Vis dėlto daugeliu atveju patogiau šiuos veiksmus atlikti kompiuteryje.

REF mygtukas leidžia pasirinkt kanalą ir įrašyti jame esantį signalą į vidinę oscilografo atmintį. Gali būti naudingas ieškant nedidelio pokyčio nuo pradinio signalo.

Skleistinę ir poziciją ekrane reguliuojame rankenėlėmis VERTICAL PUSH-VARIABLE ir VERTICAL POSITION. Rankenėlė HORIZONTAL SCALE keičia horizontalią (laiko) skleistinę nuo 2.5 ns/div iki 50 ms/div.

TRIG MENU leidžia pasirinkti sinchronizacijos būdą, mūsų atvejais reikalingas EDGE, kuris reaguoja į signalo lygį. Antrame meniu punkte SOURCE reikia nurodyti sinchronizacijos šaltinį, punkte SLOPE – signalo kryptį, MODE – sinchronizacijos režimą (NORMAL – įprastinis, AUTO – signalai rodomi, net jei sinchronizacijos signalo nėra, SINGLE – parodomas tik pirmas sinchronizuotas signalas). Tolesniame punkte SET UP, COUPLING suderina, kokie sinchronizacijos signalai praleidžiami į paleidimo (trigger) schemą: DC (visi), AC (tik kintama dedamoji), LF REJECT (aukšto dažnio signalai), HF REJECT (tik žemo dažnio signalai). Šie nustatymai naudingi, kai dėl triukšmų nepavyksta „sustabdyti« signalo ekrane.

Paspaudus mėlyną AUTO mygtuką oscilografas savarankiškai bando aptikti, sinchronizuoti ir parodyti signalą. Funkcija naudinga, jei yra prijungtas stiprus periodinis signalas (pvz., tiesiai iš generatoriaus išėjimo).

ACQUIRE MENU yra signalų vaizdavimo režimai ir jų nustatymai. ACQUISITION punktas keičia signalų kaupimo ir vaizdavimo režimą. AVERAGE (vidurkinimo) režimas, jame pasikartojantys signalai yra vidurkinami nuo 4 iki 256 kartų (pasirenkame punkte AVERAGES). Tuo būdu išryškინamas naudingas pasikartojantis signalas ir gana efektyviai naikinami atsitiktiniai triukšmai. **Naudoti AVERAGE režimą reiktų tik iš anksto nustatytam ir gerai sinchronizuotam ir laike nesikeičiančiam signalui, nes naudingas signalas turi atsikartoti griežtai toje pačioje ekrano vietoje (kitais jį bus iškraipomas).**

PEAK DETECT režimas kartais leidžia geriau išskirti kai kurias signalų ypatybes, jis pasikartojančiame signale vaizduoja tik maksimalią ir minimalią vertes.

Šiame oscilografe meniu užima žymią ekrano dalį, todėl yra numatyta galimybė ją paslėpti, praėjus nustatytai laiko trukmei po paskutinio mygtuko paspaudimo (nuo 2 s iki 20 s). Parametras keičiamas paspaudus DISPLAY mygtuką ir pasirinkus punktą MENU DISPLAY.

WaveAce 1012 turi galimybę išsaugoti signalus vidinėje atmintyje, be to, vienas iš išsaugomų signalų (REF) gali likti rodomas ekrane, tęsiant matavimus (žr. aukščiau). Signalų išsaugojimui į prisjungtą prie oscilografo USB laikmeną CSV formatu reikia paspausti mygtuką SAVE/RECALL, TYPE skiltyje pasirinkti CSV ir paspausti SAVE. Standartiškai failas bus išsaugomas pačiame pagrindiniame USB laikmenos kataloge pavadinimu WA000001 ir t.t. Atsiradusioje lentelėje galime naviguoti INTENSITY/ADJUST rankenele. Skiltyje MODIFY pasirinkus FILES bus saugomi CSV failai, o pasirinkus DIRECTORY galime susikurti naują aplanką (NEW DIR.). Pasirinkę aplanką (arba jo nekeitę) ir esant MODIFY padėčiai FILES spaudžiame NEW FILE, paliekame standartinį failo pavadinimą arba paraidžiui perrašome ir spaudžiame CONFIRM (atkūrimui - LOAD). Atlikę operaciją spaudžiame NEXT PAGE ir RETURN.

MEASURE meniu leidžia automatiškai matuoti daugelį signalų parametrų, tiek įtampų, tiek laikų srityje, pvz., amplitudę, minimumų ir maksimumų vertes, vidutinę įtampą, impulsų trukmes, periodus, kilimo ir slopimo trukmes ir daugelį kitų (menu jie pavaizduoti su aiškiomis piktogramomis, todėl čia jų plačiau neaptarinėsime). Deja, šių matavimų silpnoji vieta yra tai, kad signalai dažnai būna neidealūs ir oscilografas neteisingai nustato, kurią būtent vertę reikia matuoti. **Todėl naudojant šią funkciją būtina patikrinti išmatuotas vertes „iš akies“, o jei yra galimybė – signalą matuoti perkėlus į kompiuterį arba kursoriais.** Pastarųjų meniu įsijungia mygtuku CURSOR. Galima pasirinkti vieną iš trijų matavimų kursoriais režimų (MODE): MANUAL, TRACK ir AUTO. Pirmajame režime ekrane rodomos dvi lygiagrečios linijos (kursoriai A ir B), kuriuos galima stumdyti po ekraną. Kursoriaus A padėtis yra keičiama aktyvavus CUR A meniu skiltį INTENSITY/ADJUST rankenėle, o kursoriaus B – atitinkamai aktyvavus CUR B skiltį. Reikia nepamiršti nurodyti kurio kanalo vertes matuosim (SOURCE meniu).