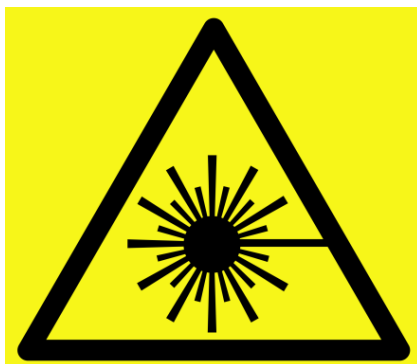


VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KVANTINĖS ELEKTRONIKOS KATEDRA
MOKOMOJI LAZERIŲ LABORATORIJA

Laboratorinis darbas Nr. KE-3

Pasyviai moduluotos kokybės IAG:Nd lazerio tyrimas

Metodiniai nurodymai



Dėmesio! Darbo metu naudojami lazerinės spinduliuotės šaltiniai – būtina susipažinti ir griežtai laikytis atitinkamų saugos reikalavimų



Būtina naudoti apsauginius akinius

Darbo tikslas

Ištirti itrio aliuminio granato, legiruoto neodimio jonais, lazerio pasyviai moduluotos kokybės veiką ir išmatuoti jo spinduliavimo charakteristikas.

Darbo užduotys

1. Suderinti IAG:Nd lazerį be pasyvaus modulatoriaus naudojant puslaidininkinį lazerį.
2. Nustatyti laisvos veikos slenkstinę energiją.
3. Išmatuoti generuojamą impulsų energijos priklausomybę nuo kaupinimo energijos.
4. Įstatyti IAG:Cr⁴⁺ pasyvų kokybės moduliatorių, kurio pralaidumas yra 80%, į lazerio rezonatorių ir rasti kokybės moduliacijos veikos slenkstinę energiją.
5. Išmatuoti generuojamų milžiniškų impulsų energijos priklausomybę nuo kaupinimo energijos.
6. Rasti kaupinimo energijos sritis, kuriose lazeris generuoja 1, 2, 3, 4 milžiniškus impulsus.
7. Nustatyti kaupinimo energijų srityje, kurioje lazeris generuoja 2 ir 3 milžiniškus impulsus, trukmių tarp 1 ir 2 impulsų bei tarp 2 ir 3 impulsų priklausomybę nuo kaupinimo energijos.
8. Pakartoti 4-7 punkto matavimus pasyviai moduluojant kokybę su IAG:Cr⁴⁺ kristalais, kurių pralaidumas yra 60% ir 40%.

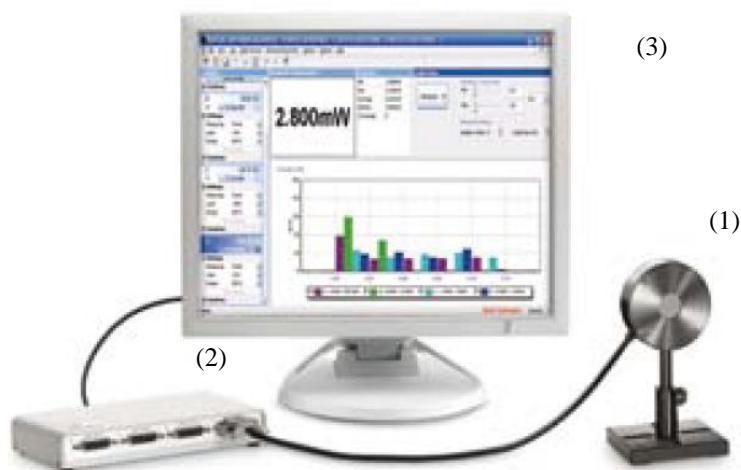
Kontroliniai klausimai

1. Kokia neodimio lazerio energetinių lygmenų schema?
2. Kas yra lazerio kokybės moduliacija?
3. Aktyvi ir pasyvi lazerio kokybės moduliacija.
4. IAG:Cr⁴⁺ pasyvių kokybės moduliatorių veikimo principai.
5. Lazerio impulsinė galia.
6. Impulsų generacijos dinamika moduluotos kokybės lazeryje.
7. Kokybės moduliacijos lazerio spektriniai parametrai. Skirtumai tarp aktyvios ir pasyvios kokybės moduliacijos lazerių.

Energijos matuoklis (piroelektrinis PE25-C sensorius) (Naudojimosi programine įranga metodiniai nurodymai)


Energijos matuoklio parengimas darbui

Energijos matuoklio detektorius (1) sujungiamas su USB interfeisu PULSAR-2 (2), kuris su PC (3) prijungiamas USB prievadu. Įjungiamas USB interfeiso PULSAR-2 maitinimas.



1 pav. Lazero spinduliuotės energijos matuoklis

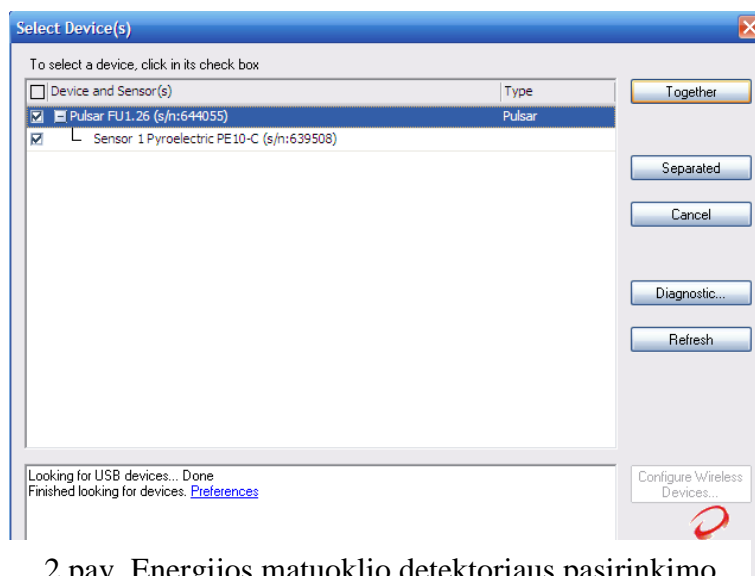
Darbas su programine įranga

Programa atveriamas darbalaukyje dukart pele paspaudus **StarLab** piktogramą .


Atvėrus programą atsidaro pagrindinis langas, bei **Select Device(s)** langas, kuriame pažymima naudojamus prietaisus ir pele spaudžiama **Together**.

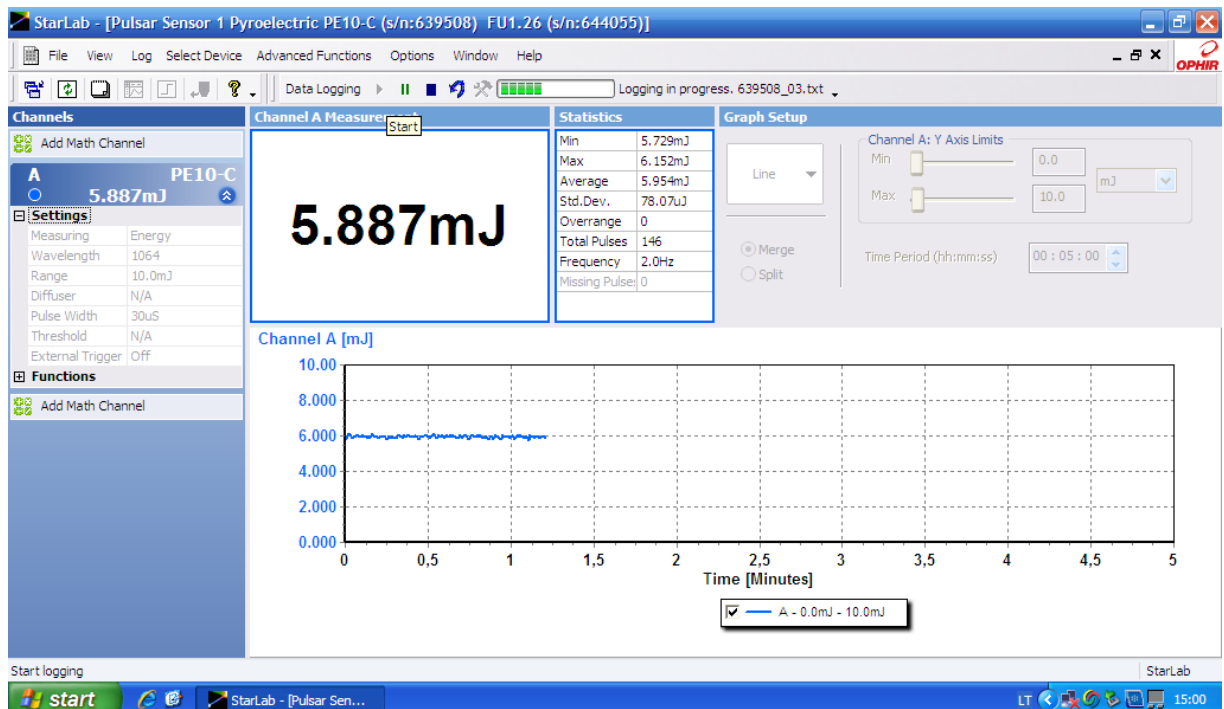
Atsiveria pagrindinis programos langas padalytas į Kanalų skiltį (**Channels**), Skaitmeninį duomenų atvaizdavimo skiltį(**Channel ... Measurement**), Grafinio duomenų atvaizdavimo skiltį,

Statistikos skiltį (**Statistics**), Registravimo skiltį (**Data Logging**) ir Grafinio atvaizdavimo nustatymo skiltį (**Graph Setup**). Kanalų skiltyje kiekvienas prijungtas energijos matuoklis turi savo kanalą. Vartotojas tai pat gali sukurti papildomą kanalą, kuriame gali būti atliekami matematiniai veiksmai su prietaisų parodymais (spausti **Add Math Channel**). Prietaiso kanalo nustatymuose (**Settings**) galima pasirinkti matuoti galią ar energiją (šiuo atveju





2 pav. Energijos matuoklio detektoriaus pasirinkimo langas

Energy), nustatyti matuojamos spinduliuotės bangos ilgį (**1064nm**), matavimo diapazono maksimalę vertę (**Range**), impulso trukmę (šiuo atveju nustatyti **1mS**). Skaitmeniniame duomenų atvaizdavimo skiltyje (**Channel ... Measurement**) atvaizduojama energijos matuoklio parodymai. Grafinio duomenų atvaizdavimo skiltyje atvaizduojama energijos matuoklio parodymai grafiniu pavidalu. Grafinio atvaizdavimo nustatymo skiltyje (**Graph Setup**) galima nustatyti grafinio duomenų atvaizdavimo įvairius parametrus, pvz.: laiko ribas, energijos diapazoną. Statistikos skiltyje (**Statistics**) atvaizduojama maksimali vertė, mažiausia vertė, vidurkis, standartinis nuokrypis, impulsų skaičius viršijančių matavimo diapazoną, bendras impulsų skaičius, dažnis, praleistų impulsų skaičius. Norint nustatyti iš naujo reikia spausti . Registravimo skiltyje (**Data Logging**) konfigūruojama registravimo byla, bei įjungiamas ir išjungiamas registravimas.



3 pav. Pagrindinis programos **StarLab** langas

Programą užveriname paspausdami .

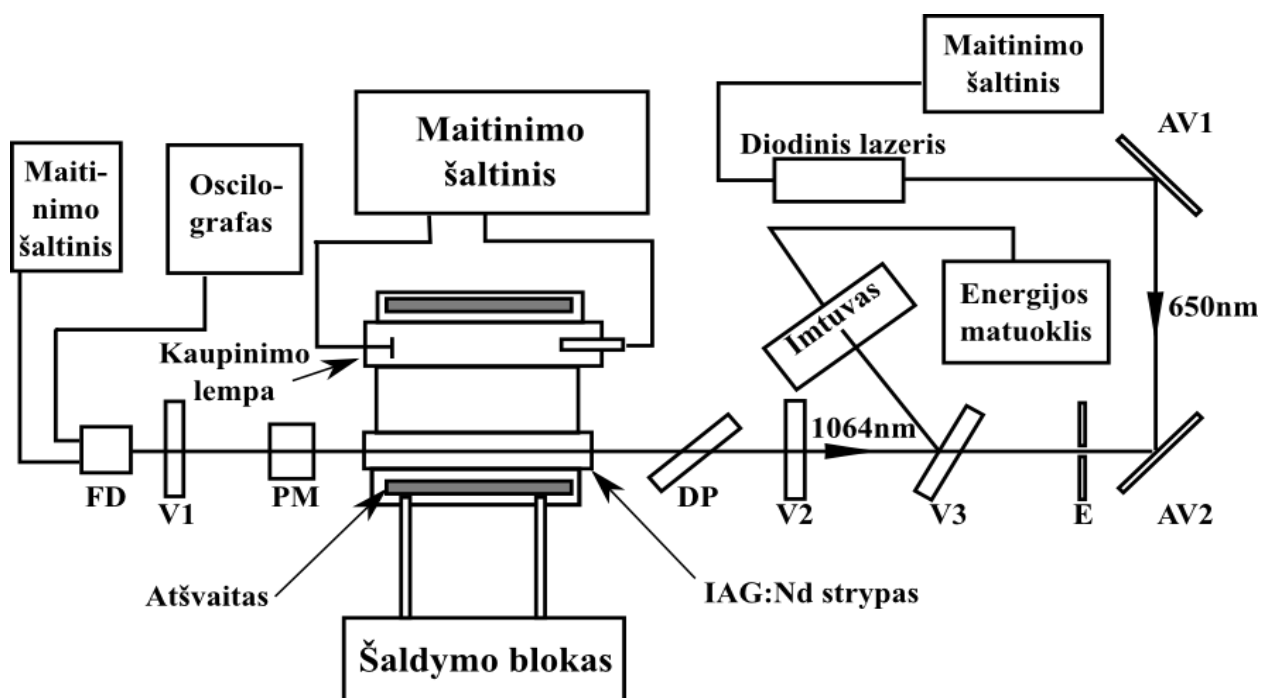
Registruojama Statistikos skiltyje (**Statistics**) esanti vidurkio (**Average**) vertė. Naujas matavimas pradamas paspaudus . Matavimo metu nustatomas tinkamas matavimo diapazonas (**Range**). Matuojamo impulso energija negali būti didesnė nei nustatytas matavimo diapazonas, bei mažesnė nei kitas matavimo diapazonas (1 lentelė).
1lentelė.

Matavimo diapazonas (Range)	Matuojamos impulso energijos
200mJ	>15mJ
20mJ	15mJ – 1.5mJ
2mJ	<1.5mJ

METODINIAI PAAIŠKINIMAI

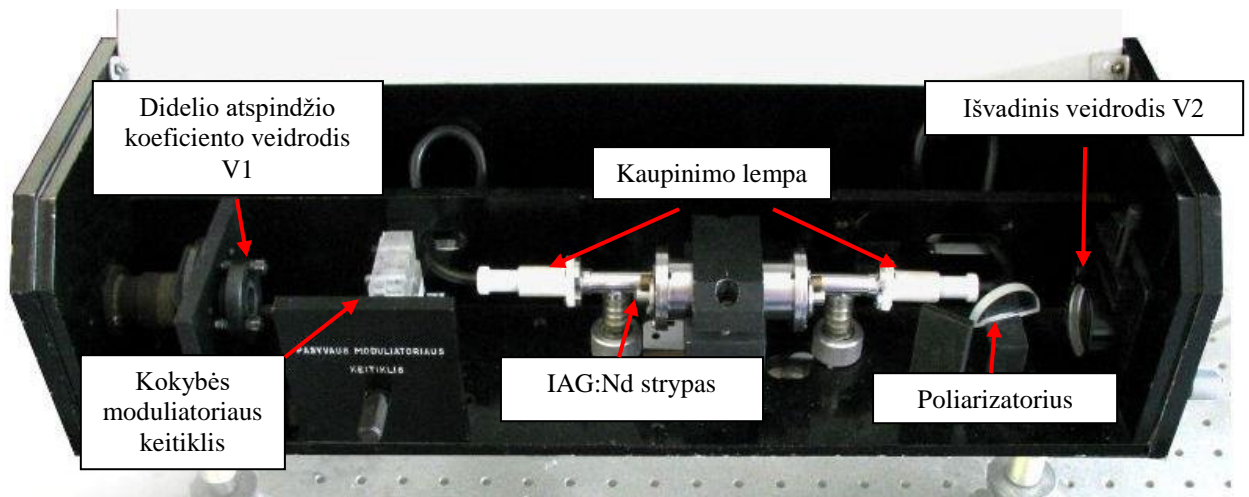
Laboratorinio darbo eiga

Darbe naudojamo lazerio optinė grandinė pavaizduota 1 pav. Lazeryje naudojamas $\varnothing 4 \times 65$ mm dydžio IAG:Nd strypas su 1,1 % Nd^{3+} koncentracija. Lazerinis strypas kaupinamas Xe užpildyta impulsine kaupinimo lempa (KL) INP - 5/60. Lazerio rezonatorių sudaro plokščias didelio atspindžio (99,6 %) koeficiento veidrodis V1 bei plokščias išvadinis veidrodis V2 55 % atspindžio koeficiento. Siekiant gauti tiesiškai poliarizuotą lazerio spinduliavimą rezonatoriuje įstatytas dielektrinis poliarizatorius (DP). Dielektrinis poliarizatorius orientuotas taip kad generuojamos spinduliuotės šviesos elektrinio lauko stiprio vektorius svyruoja horizontalioje plokštumoje. Pasyviai kokybės moduliacijai naudojamas pasyvus moduliatorius (PM). Lazeryje įtaisytas moduliatorių keitiklis, leidžiantis moduluoti rezonatoriaus kokybę su vienu iš moduliatorių IAG kristalu aktyvuotu Cr^{4+} su skirtingu pralaidumu.



4 pav. Principinė matavimo schema

Lazerio generuojamoji spinduliuotė, išėjusi per išvadinį veidrodį, atsispindėjusi nuo dielektrinio veidrodžio V3 su dideliu atspindžio (99,6 %) koeficientu nukreipiama į energijos matuoklio imtuvą. Matuoklis matuoja generuojamos spinduliuotės impulso energiją. Kaupinimo lempos bei lazerio generuojamosios spinduliuotės dalis, išėjusi per veidrodį V1, patenka į fotodiodą (FD) FD - 24 K ir naudojama kaupinimo lempos šviesos impulso ir generuojamosios spinduliuotės laikinių parametrų nustatymui, bei lazerio generacijos indikacijai. Fotodiodo elektrinis signalas stebimas oscilografu.

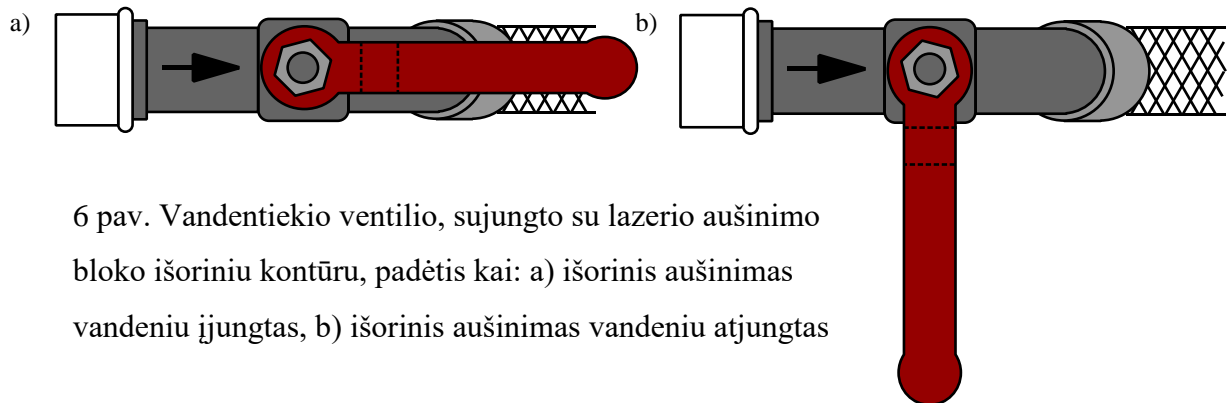


5 pav. Lazeris

Lazerio veidrodžių derinimui naudojamas puslaidininkinis diodinis lazeris, spinduliuojantis 650 nm šviesą. Puslaidininkinio lazerio pluoštas, atsispindėjęs nuo dviejų aliumininių veidrodžių AV1 ir AV2, nukreipiamas taip, kad sklistų išilgai lazerio rezonatoriaus ašies. Veidrodis V3 yra skaidrus puslaidininkinio lazerio spinduliuotei. Nuo veidrodžių V2 ir V1 dalis puslaidininkinio lazerio spinduliuotės atsispindi. Tiriamojo lazerio rezonatoriaus derinimas atliekamas pagal veidrodžių atspindžių padėtį ant ekrano (E).

Lazerio įjungimo tvarka:

1. Atsukti vandentiekio čiaupą, sujungtą su lazerio aušinimo bloko išoriniu kontūru.



6 pav. Vandentiekio ventilio, sujungto su lazerio aušinimo bloko išoriniu kontūru, padėtis kai: a) išorinis aušinimas vandeniu įjungtas, b) išorinis aušinimas vandeniu atjungtas

2. Nuspaudžiant jungiklį "POWER" įjungti lazerio aušinimo bloką PS 1222CO COOLING UNIT.
3. Įsitikinti, jog vanduo cirkuliuoja lazerio aušinimo bloko vidiniu kontūru. Palaukti ~1 min. kol siurblys pradės pumpuoti vandenį pro lazerinę galvutę.



7 pav. Lazerio aušinimo blokas

4. Sujungti ant lazerio korpuso esantį lizdą "Fotodiode maitinimas 9 V" su "Fotodiode maitinimo" dėžutės lizdu. Įjungti fotodiode maitinimą perjungiant dėžutės jungiklį į padėtį "1".
5. Įjungti oscilografą.
6. Sujungti ant lazerio korpuso esantį lizdą "Fotodiode signalas" su oscilografo 1 kanalo įėjimo lizdu.

1. Suderinti IAG:Nd lazerį be kokybės modulatoriaus naudojant puslaidinikinį lazerį.

Atliekant šio punkto nurodymus modulatoriaus keitiklį nustatyti padėtyje „0“, nes šiuo atveju lazereo rezonatoriuje nėra pasyvaus kokybės modulatoriaus. Puslaidinikinio lazereo spindulį su dviem aliumininiais veidrodžiais AV1 ir AV2 nukreipti taip, kad spinduliuotė sklistų lazereo strypo ašimi ir būtų statmenas didelio atspindžio koeficiento veidrodžiui V1. (Sustatytoje schemeje aliumininų veidrodžių AV1 ir AV2 padėtys ir kryptys bei ekrano E padėtis parinktos taip kad puslaidinikinio lazereo pluoštas eina išilgai lazereo rezonatoriaus ašies, todėl jų padėties nekeisti). Atspindys nuo lygiagretaus veidrodžio V1 paviršiaus turi sutapti su skylute ekrane, per kurią eina krintantis pluoštas. Išvadinis veidrodis V2 lazereo išorėje esančiais derinimo varžtais suderinamas taip, jog atspindys nuo jo taip pat sutaptų su skylute ekrane.

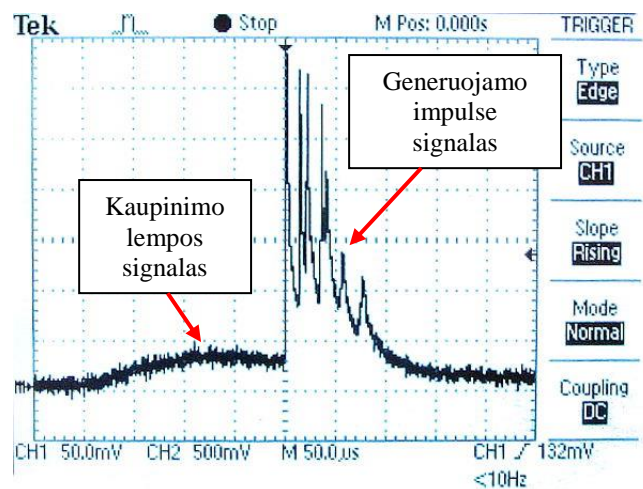
2. Nustatyti laisvos veikos slenkstinę energiją.

Įjungti lazereo maitinimo bloką PS 5010 POWER SUPPLY nuspaudžiant jungiklį "Power". Ant maitinimo bloko priekinės panelės turi užsidegti lemputės „READY“ ir „SIMMER ON“. Nustačius 400 V įtampą reguliatoriumi „VOLTAGE SET“ paspaudžiame ir 2-3 s palaikome mygtuką „TRIGGERING ON“. Turi prasidėti periodiniai kaupinimo lempos išlydžiai. Kelti kaupinimo įtampą (bet neviršyti 950 V), kol bus pasiekta lazereo generacija.



8 pav. Lazerio maitinimo blokas

Pradžioje oscilografo ekrane stebimas tik kaupinimo lempos šviesos impulsas. Prasidėjus lazerio generacijai ant kaupinimo lempos šviesos impulso užsideda trumpas lazerio generacijos impulsas. Sinchronizavimo meniu („Trig menu“ mygtukas) pasirenkamas CH1 sinchronizavimo kanalas ir sinchronizavimo lygio reguliavimo rankenėle „Level“ nustatomas tinkamas lygis. CH1 kanalo „VOLTS/DIV“ ir „SEC/DIV“ reguliavimo rankenėlėmis nustatoma atitinkama skyra, kuriai esant oscilografo ekrane matytųsi pilnas signalas. Nuspaudus „ACQUIRE“ mygtuką ir pasirinkti vieno impulso registravimą „Sample“. Registravimas paleidžiamas/sustabdomas paspaudus „RUN/STOP“ mygtuką.



9 pav. Oscilografe stebimas lazerio generuojamo impulso signalas

Gavus generaciją, papildomai derinti išvadinį veidrodį (sukant veidrodžio laikiklio vertikalaus ir horizontalaus derinimo rankenėles esančias lazerio išorėje) taip, kad trumpas lazerio generacijos impulsas būtų didžiausias. Tada sumažinti kaupinimo energiją tiek, kad lazerio generacijos impulsas būtų arti generavimo slenkščio ir vėl derinti išvadinį veidrodį. Kartoti derinimą kol pasiekama mažiausia kaupinimo energija, kuriai esant stebimas lazerio generacijos impulsas. Tai ir bus lazerio laisvos veikos slenkstinė energija E_{s1} .

Dingus lazerinio impulso generacijai pakelti kaupinimo įtampą iki dydžio, prie kurio lazeris pradeda generuoti impulsą.

3. Išmatuoti lazerio generuojamų impulsų energijos E_L priklausomybę nuo kaupinimo energijos E_k .

Kaupinimo įtampą regulatoriumi keisti kas 20 V iki 900 V. Lazerio generuojamų impulsų energija E_L matuojama energijos matuokliu. Kaupinimo impulsų energija skaičiuojama naudojant formulę: $E_k = \frac{CU^2}{2}$, čia C - kondensatorių baterijos talpa (mūsų atveju $C = 100 \mu\text{F}$), U - kondensatorių įtampa, kurią nustatome regulatoriumi.

Atvaizduoti grafiškai impulso energijos priklausomybę nuo kaupinimo energijos.

4. Įstatyti IAG:Cr⁴⁺ pasyvų kokybės moduliatorių, kurio pralaidumas yra 80%, į lazerio rezonatorių ir rasti moduluotos kokybės veikos slenkstinę energiją.

Perstatant moduliatoriaus keitiklį į padėtį „1“, į lazerio rezonatorių patalpinti IAG:Cr⁴⁺ pasyvų kokybės moduliatorių, kurio pralaidumas yra 80%. Kelti kaupinimo įtampą (bet neviršyti 950V) kol bus gauta milžiniško impulso generacija. Gavus generaciją galima truputį paderinti rezonatorių taip, kad lazerio generacijos impulsas būtų didžiausias. Derinant išvadinių veidrodį pasiekti mažiausią kaupinimo energiją, kuriai esant stebimas lazerio generacijos impulsas. Tai bus milžiniško impulso generacijos slenkstinė energija.

5. Išmatuoti generuojamų milžiniškų impulsų energijos priklausomybę nuo kaupinimo energijos. (5-7 punktus galima atlikti vienu metu)

Išmatuoti generuojamų impulsų energijos E_L priklausomybę nuo kaupinimo energijos E_k . Kaupinimo šaltinio įtampą regulatoriumi keisti kas 3-4V iki generuos 5 milžiniškus impulsus, bet neviršyti 950 V. Kaupinimo energijos ribinėse srityse, kuriose galima stebėti 1 ir 2, 2 ir 3, 3 ir 4, 4 ir 5 impulsų voras kaupinimo įtampą keisti kas 1-2V. Lazerio generuojamų impulsų energija matuojama energijos matuokliu.

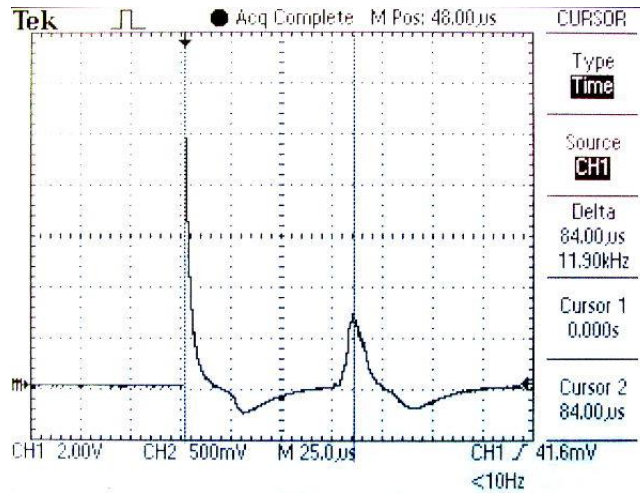
Atvaizduoti grafiškai impulso energijos priklausomybę nuo kaupinimo energijos.

6. Rasti kaupinimo energijos sritis, kuriose lazeris generuoja 1, 2, 3... milžiniškus impulsus.

Lazerio generuojamos spinduliuotės dalis, išėjusi per veidrodį V1, patenka į fotodiodą (FD) FD - 256 K ir naudojama generuojamos spinduliuotės laikinių parametru nustatymui bei lazerio generacijos indikacijai. Fotodiodo elektrinis signalas stebimas oscilografu. Didinant kaupinimo energiją iš pradžių stebimas tik 1 milžiniškas impulsas, po to yra sritis, kurioje stebimas 1 ar 2 impulsai, po to stebima tik 2 milžiniškų impulsų stabili generacija ir t.t.

7. Kaupinimo energijų srityje, kurioje lazeris generuoja 2 ir 3 milžiniškus impulsus rasti trukmių tarp 1 ir 2 impulsų bei tarp 2 ir 3 impulsų priklausomybę nuo kaupinimo energijos.

Fotodiodo elektrinis signalas stebimas oscilografu. Kaupinimo šaltinio įtampą regulatoriumi keisti kas 3-4V. Matuojant trukmes tarp 1 ir 2 impulsų bei tarp 2 ir 3 impulsų oscilografe nuspausti „ACQUIRE“ mygtuką ir pasirinkti vidurkinimą pažymėjus „Average“ ir nustačius vidurkinimų impulsų kiekį „Averages“ lygu 16 arba 32. Sustabdyti registravimą „RUN/STOP“ mygtuku. Paleisti vienos sekos registravimą „SINGLE SEQ“ mygtuku.



10 pav. Trukmių tarp impulsų matavimas

Nuspaudus „CURSOR“ mygtuką nustatyti trukmių matavimą pasirinkus „Type“ mygtuku „Time“, matavimo kanalą „Source“ mygtuku „CH1“. Keičiant kursorių pozicijas CH1 ir CH2 kanalų „POSITION“ rankenėlėmis nustatyti trukmes tarp impulsų maksimumų. „Delta“ rodo trukmę tarp kursorių pozicijų. Atvaizduoti trukmių priklausomybę nuo kaupinimo energijos grafiškai.

8. Pakartoti 4-7 punktų matavimus pasyviai kokybę moduluojant IAG:Cr⁴⁺ kristalais, kurių pralaidumas yra 60% ir 40%.

Atliekant šiuos matavimus perstatyti modulatoriaus keitiklį į padėti „2“ ir „3“ į lazerio rezonatorių patalpinant IAG:Cr⁴⁺ kristalus su pralaidumais lygiais atitinkamai 60% ir 40%. Visus matavimus atlikti taip pat, kaip paaiškinta atitinkamuose punktuose atliekant tyrimus su 80% pralaidumo kristalu. Kaupinimo šaltinio įtampą regulatoriumi keisti kas 4-7V IAG:Cr⁴⁺ kristalui, kurio pralaidumas yra 60%, ir kas 7-10V IAG:Cr⁴⁺ kristalui, kurio pralaidumas yra 40%, iki generuos 5 milžiniškus impulsas, bet neviršyti 950 V.

Literatūra:

- 1.E.Gaižauskas, V.Sirutkaitis, Kietojo kūno lazeriai, (Vilniaus universiteto leidykla, 2008),
- 2.O.Balachnaitė, A.Bargelis, A.Dementjev, R.Jonušas, G.Račiukaitis, V.Sirutkaitis, Lazerinė technologija, (Vilniaus universiteto leidykla, 2008),
- 3.W.T.Silfvast, Laser fundamentals, (Cambridge University Press,Cambridge, 2004),
- 4.O.Svelto, Principles of lasers, 5th ed.(Springer,New York, 2010),
- 5.B.E.A.Saleh, M.C.Teich, Fundamentals of photonics, (J. Wiley, New York, 1991),
- 6.A.Yariv, Quantum electronic, 3rd ed. (J.Wiley, New York, 1988).
- 7.W.Koechner, Solid-state laser engineering, 6th ed. (Springer, New York, 2006),
- 8.P.W.Milonni, J.H.Eberly, Laser physics, (Wiley, Hoboken, 2010),