

**Jauna tehnoloģija magnētiskā lauka un tā gradienta mērīšanai izmantojot
nanostrukturētu atomārās gāzes vidi
(Nr. 2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/036)**

Datorizētas eksperimenta vadības programmu izveides magnētiskā lauka un tā gradienta mērīšanai apraksts

Projekta vadītājs:

Prof. R. Ferbers

Aktivitāte 2.2.: Datorizētas eksperimenta vadības programmu izveide

Ievads

Gan laboratorijas prototips, gan prototips ietver vairākas ierīces, kuras ir vēlams vadīt ar datoru, veicot eksperimentus. Tika izveidota jauna datorprogramma magnetometra eksperimenta vadībai un aprobēta programmatūra lāzera datorizētai vadībai un stabilizēšanai. Šis dokuments apraksta datorprogrammu darbību.

Eksperimenta gaitā nepieciešams veikt sekojošas darbības:

- 1) Nolasīt signālus no diviem termopāriem;
- 2) Uzstādīt magnētiskā lauka konkrētu vērtību vai skenēt magnētisko lauku;
- 3) Nolasīt signālus no divām fotodiodēm;
- 4) Kontrolēt nanopozicionēšanas galdu;
- 3) Kontrolēt lāzera frekvenci un stabilizēt šo frekvenci ar kādu konkrētu vērtību.

Pirmajiem 3 uzdevumiem tika izstrādāta jauna programma, kas ļāva eksperimentatoram veikt nepieciešamās darbības. Ceturtā uzdevuma vajadzībām programmatūrā tika iekļauts interfeiss uz ActiveX kontroli, kas, savukārt, spēj vadīt nanopozicionēšanas galdiņu. Piektais uzdevums tika veikts ar gatavu programmatūru ("Digilock"), kuru nodrošināja lāzera stabilizācijas iekārtas ražotājs "Toptica AG". Projektā izstrādātā jaunā programmatūra tika rakstīta, izmantojot "Microsoft Visual Studio 2012 Express Edition", kas ir "Visual Studio" bezmaksas variants un ļauj veidot programmas, kas strādā uz "Windows" datoriem, izmantojot "Windows .NET Framework". Programmēšanas valoda bija C++. Tika pievienota "Universal Library" no "Measurement Computing", kas sniedza aplikācijas programmētāju interfeisu (API) ACP un CAP moduļiem. Pievienots arī modulis "MG17MotorControl" un "MG17PiezoControl", kas nodrošina ActiveX interfeisu Thorlabs APT programmatūrai nanopozicionēšanas galdiņa vadīšanai.

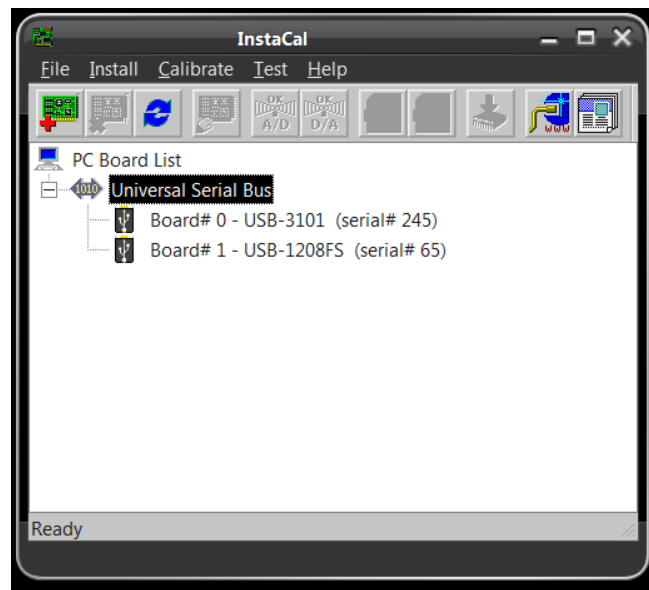
ACP, CAP un galdiņu vadības programmatūra

Eksperimentālās iekārtas vadīšanai ir nepieciešams ģenerēt noteiktus sprieguma līmeņus. Analogciparu pārveidotājs (ACP) tiek izmantots, lai pārveidotu diskrētajā ciparu kodā analoģo signālu, kas atbilst, piemēram, termopāra signālam vai pastiprinātam fotodiodes signālam, jo dators spēj apstrādāt datus tikai ciparu formātā. Savukārt, dažas eksperimentālās iekārtas tiek vadītas ar analoģu signālu, ko rada ciparanaloģu pārveidotājs (CAP). Bija nepieciešams uzrakstīt programmatūru, kas spēj nolasīt 4 analoģos signālus no eksperimenta iekārtas (2 termopāru signālus un 2 pastiprinātas fotodiodes signālus), un sūtīt analoģo signālu uz Helmholca spoļu barošanas bloku, lai kontrolētu strāvu, un, līdz ar strāvu - magnētisko lauku.

Aparatūra un instalēšana

Mūsu eksperimenta vadībai un datu iegūšanai izvēlējamies ACP moduli "USB-1208FS" un CAP moduli "USB-3101", abi no ražotāja "Measurement Computing". Abi moduļi ir pieslēdzami datoram ar USB savienojumu, un tiem ir nodrošināts aplikācijas programmētāju interfeiss, kas ļauj rakstīt datorizētu vadības programmu, kas tieši atbilst eksperimenta vajadzībām.

Pirms uzsākt darbību ar iekārtām, ir nepieciešams instalēt ACP un CAP ierīces datorā. To dara ar programmatūra "InstaCal" no ACP un CAP ražotāja. Programmatūra "InstaCal" atpazīst ACP un CAP iekārtas, kas ir pieslēgtas datoram caur USB busu, dod tiem identifikācijas numuru un ļauj konfigurēt CAP moduļa sprieguma diapazonu katram CAP kanālam atsevišķi. Mūsu gadījumā, mēs izvēlējamies diapazonu ± 10 V.

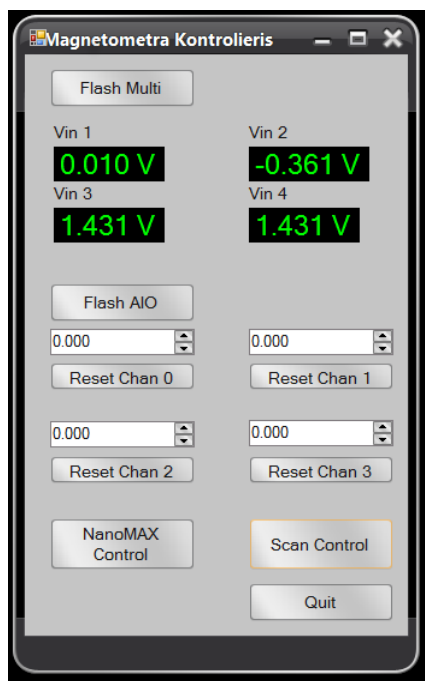


1. attēls: Programmatūras "InstaCal" logs.

Galvenais logs

Startējot programmu, atveras logs, caur kuru ir iespējams veikt sekojošās darbības:

- 1) nolasīt 4 sprieguma līmeņus no eksperimenta ar ACP;
- 2) regulēt 4 sprieguma līmeņus, ko sūtīt eksperimentālajai iekārtai caur CAP;
- 3) testēt USB pieslēgumu ACP un CAP moduļiem;
- 4) atvērt atsevišķu logu nanopozicionēšanas galdiņa vadībai;
- 5) atvērt atsevišķu logu magnētiskā lauka skena ģenerēšanai.

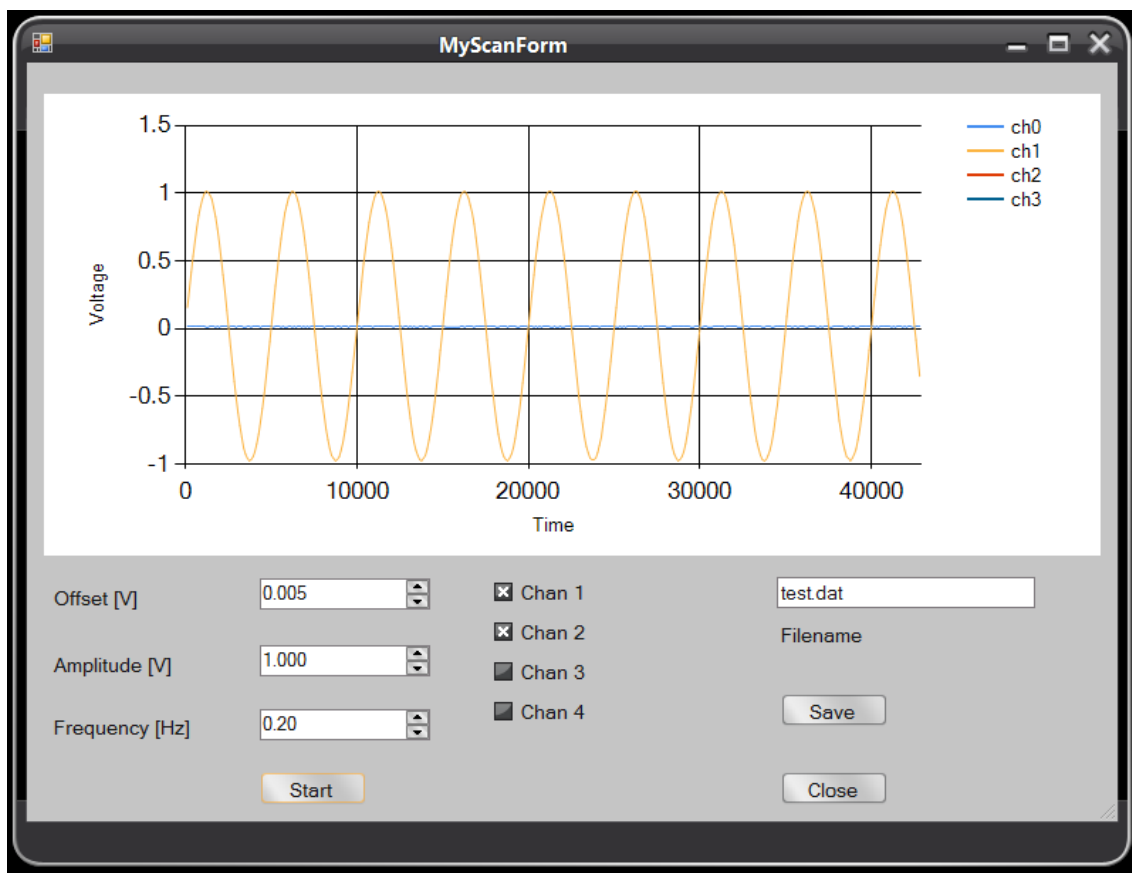


1. attēls: Magnetometra kontroliera galvenais logs.

Poga “Flash Multi” sūta pavēli USB-1208FS modulim, mirkšķinot atbilstošo LED dažas sekundes. Līdzīgi, poga “Flash AIO” sūta pavēli USB-3101 modulim, mirkšķinot atbilstošo LED dažas sekundes. Tādējādi ir iespējams pārbaudīt, vai ACP un CAP moduļi ir pareizi savienoti ar datoru un dators ir spējīgs sazināties ar pareizo moduli. Četri teksta lodziņi ar zaļu tekstu uz melna fona ir spriegumu vērtības, kas parādās pirmo četru ACP kanālu ieejās. Četrās teksta kastītes ar bultiņām ļauj noteikt sprieguma vērtību, kas sūtāma uz eksperimentālo iekārtu caur katru CAP kanālu. Zem katra teksta kastītes ir poga “Reset Chan X”, ar ko teksta kastītes vērtība var tikt atgriezta atkal uz nulli. Poga “NanoMAX Control” atver atsevišķo logu nanopozicionēšanas galdiņa vadībai. Savukārt, poga “Scan Control” atver atsevišķo logu, lai izveidotu magnētiskā lauka skenu. Beidzot, poga “Quit” pārtrauc programmas darbību un slēdz logu.

Skena ģeneratora logs

Ļoti bieži nepieciešams veikt magnētiskā lauka skenēšanu, lai noteiktu magnetooptiskā signāla atkarību no magnētiskā lauka vērtības. Skenu var kontrolēt ar skena ģeneratora loga palīdzību.



2. attēls: Magnetometra kontroliera skena ģeneratora logs.

Šis logs ļauj iestatīt skena parametrus. CAP sūtīs eksperimentālajai iekārtai spriegumu V ar vērtību $V=k+A \sin(2\pi ft)$, kur k ir ofsets, A ir amplitūda, f ir frekvence un t ir laiks sekundēs. Programma pārbauda, vai netiek pārsniegtas maksimāli pieļaujamās CAP vērtības (± 10 V). Poga “Start” ļauj uzsākt skenu. Pēc tam, kad skenēšana ir iesākta, poga “Start” kļūst par pogu “Stop”, kas ļauj pārtraukt skenu. Skena ģenerators ģenerē jaunu vērtību ik pa 100 milisekundēm.

Ļoti noderīgi ir uzreiz redzēt magnetiskooptiskos signālus atkarībā no magnētiskā lauka vērtības eksperimenta laikā. Klikšķinot attiecīgas kastes, lietotājs var izvēlēties, kurus ACP kanālus viņš vēlas novērot. Līdz ar to, programma lasa ACP vērtības izvēlētajos kanālos ik pa 100 milisekundēm un veido grafiku, izmantojot .NET moduli “System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting”. Dati tiek arī saglabāti datora atmiņā. Lietotājs var rakstīt faila nosaukumu teksta kastē un nospiegt pogu “Save”, lai saglabātu datus teksta failā. Ar pogu “Close” var slēgt logu.

Nanogaldiņa kontroliera logs

Atomārās gāzes slānis ir piestiprināts nanopozicionēšans galdiņam, lai nodrošinātu iespēju mērīt magnētisko lauku telpā tuvu esošiem punktiem, un līdz ar to, noteikt magnētiskā lauka gradientu.



3. attēls: Magnetometra kontroliera logs ar ActiveX interfeisu uz Thorlabs nanopozicionēšanas galdiņa kontrolieri.

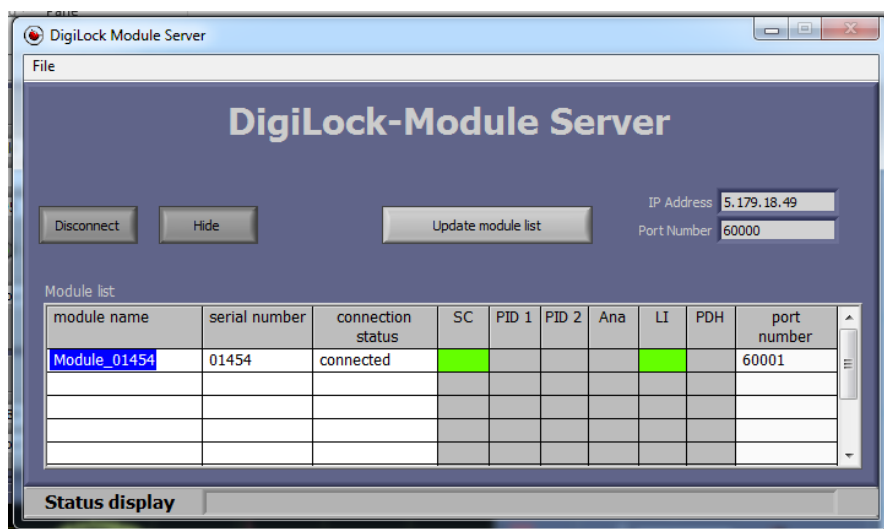
ActiveX ir apvienots interfeisa ietvars, kas ļauj programmām sazināties ar dažādām komponentēm. Mūsu gadījumā nanopozicionēšanas galdiņa ražotājs Thorlabs sagatavoja “APT” vadības programmatūru, kas piedāvā interfeisu uz “Windows” platformu caur ActiveX ietvaru. Ietvars ļauj izmantot gan visas funkcijas, gan arī grafiskus lietotāju interfeisus, ko ražotājs iekļāvis savā programmatūrā, gan iespējams papildināt to interfeisu ar funkcijām, kas ir pielāgotas lietotāja vajadzībām. Attēlā ir redzams gan APT grafiskais lietotāja interfeiss, kas ir pieejams caur mūsu programmu, gan papildus funkcijas.

APT grafiskais lietotāju interfeiss parāda esošo nanogaldiņa pozīciju logā, kas atrodas augšā pa kreisi. Bultiņas ļauj pārvietot nanopozicionēšanas galdiņu par maziem soļiem. Poga “Home/Zero” ļauj atgriezt to nulles pozīcijā. Kad ir piespiesta poga “Stop”, galdiņu nevar kustināt. Spiežot pogu “Enable”, atkal iespējams pārvietot galdiņu. Lielajā logā ir dota aktuālā statusa informācija par kontrolieri.

Augšā pa kreisi iespējama izvēle no galdiņa kontroliera kontrolnumuriem. Ar pogām “Start Control” un “Stop Control” var uzsākt un pārtraukt kontroliera darbību. Pieejamais vārds “IsAccessible” ir zaļš, kad dators var sazināties ar kontrolieri un sarkans, kad saziņa nav iespējama. Poga “Identify” liek kontrolierim mirkšķināt savu LED, lai pārbaudītu savienojumu. Poga “Close” slēdz logu.

Digilock apraksts

Programma Digilock dod iespēju veikt frekvences skanu Toptica lāzeriem vai arī stabilizēt tos uz kādas konkrētas frekvences, izmantojot atsaucē signālu.



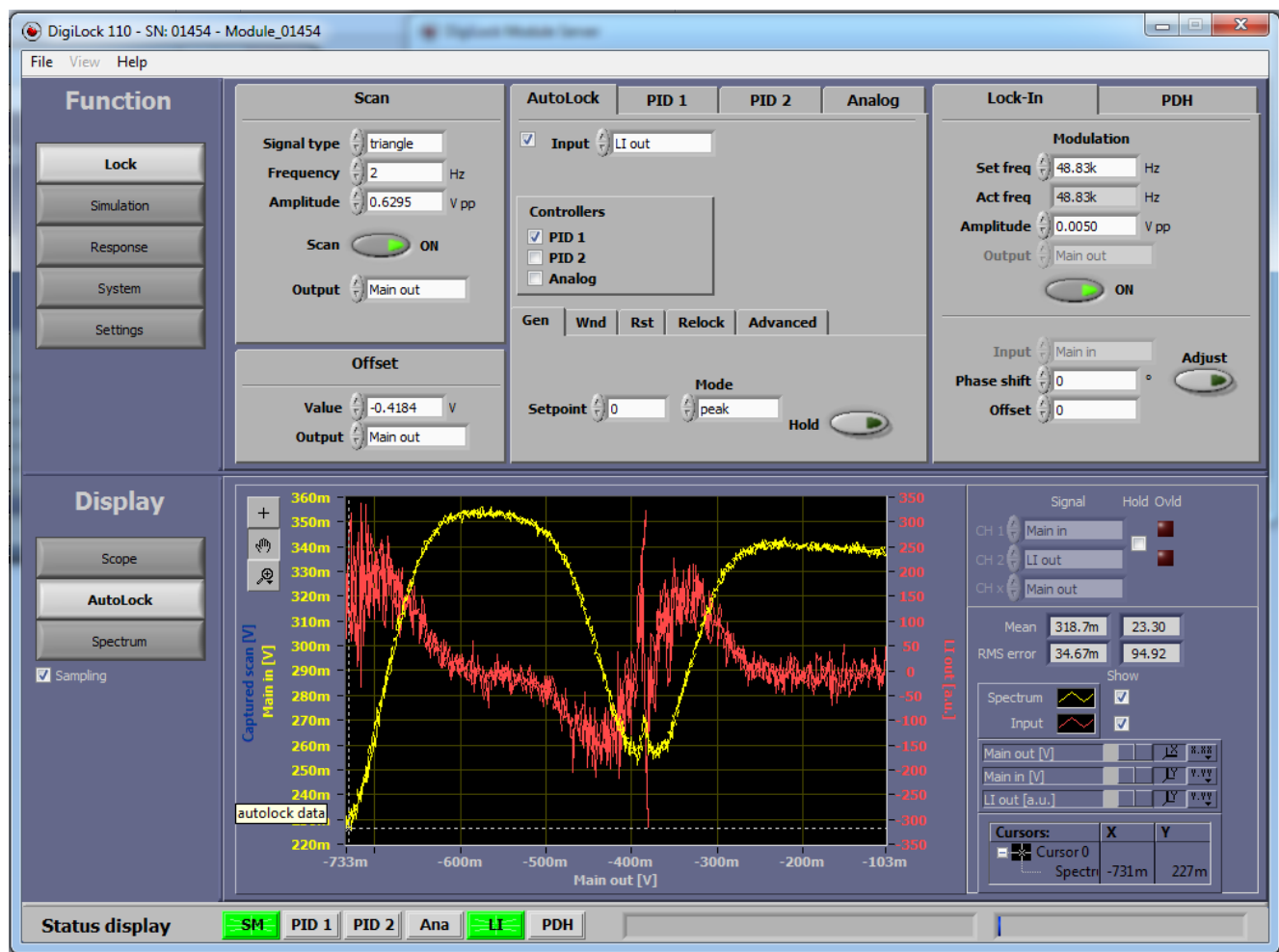
5. attēls. Izvēlnes logs, kas dod iespēju izvēlēties starp visām pieslēgtajām un savietojamajām ierīcēm to, ar kuru nepieciešams mijiedarboties.

Startējot programmu Digilock, lietotājam tiek parādīts logs (5. attēls), kurā uzskaitītas visas datoram pieslēgtās ierīces, kas var tikt vadītas ar šo programmu. Izvēli var veikt, nospiežot uz izvēlētas ierīces nosaukuma un nospiežot pogu “Connect”, kas pēc tam pārvēršas par pogu “Disconnect”, ar kuru iespējams no ierīces atslēgties. Ir svarīgi atslēgties no konkrētās ierīces, pirms tā tiek fiziski izslēgta vai atvienota, jo pretējā gadījumā Digilock programma var pārtraukt darbu, zaudējot savienojumu.

Nospiežot pogu “Connect”, tiek atvērts jauns logs (6.attēls), kas dod iespēju kontrolēt izvēlēto ierīci. Logs ir sadalīts vairākās sadaļās:

- Scan sadaļa kopā ar Offset sadaļu dod iespēju ieslēgt un regulēt lāzera frekvences skenēšanu.
- Autolock sadaļa var tikt izmantota, lai kontrolētu lāzera frekvences stabilizācijas parametrus, tai skaitā - kuri kanāli tiek izmantoti stabilizācijai.
- PID1, PID2 un ANALOG ir atsevišķo stabilizācijas kanālu sadaļas, kas dod iespēju regulēt atsevišķos parametrus
 - PID1 ir kanāls, kas atbild par stabilizāciju, izmantojot temperatūras regulēšanu ar PID (proporcionālais, integrālais, atvasinātais) algoritmu.
 - PID2 atbild par stabilizāciju, izmantojot lāzera difrakcijas režģi un PID algoritmu.
- Lock-In sadaļa atbild par stabilizācijas mikroskanu un tā parametriem.

Nospiežot pogu Scan tiek uzsākte frekvences skenēšana. Ieejas signāls no mērdiodes tiek attēlots grafiski (skat. 6. attēlu). Visvieglāk to aplūkot Display → AutoLock sadaļā.

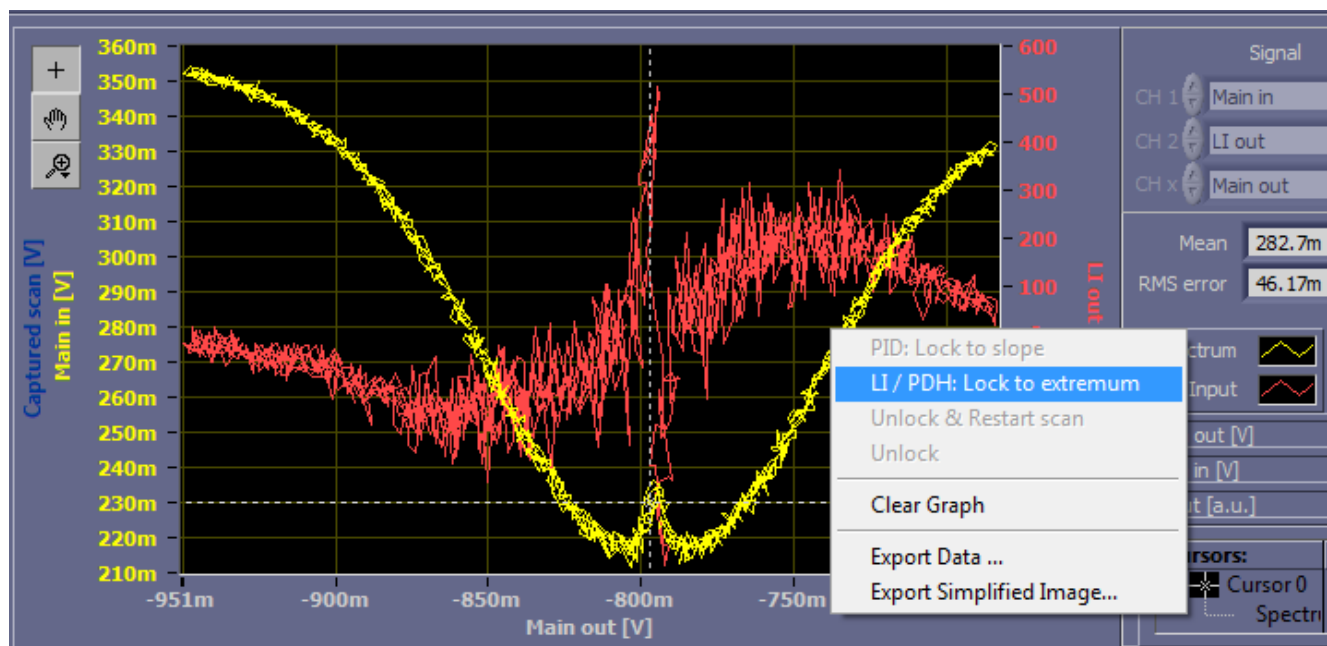


6. attēls. Galvenais izvēlnes logs ierīces kontrolēšanai.

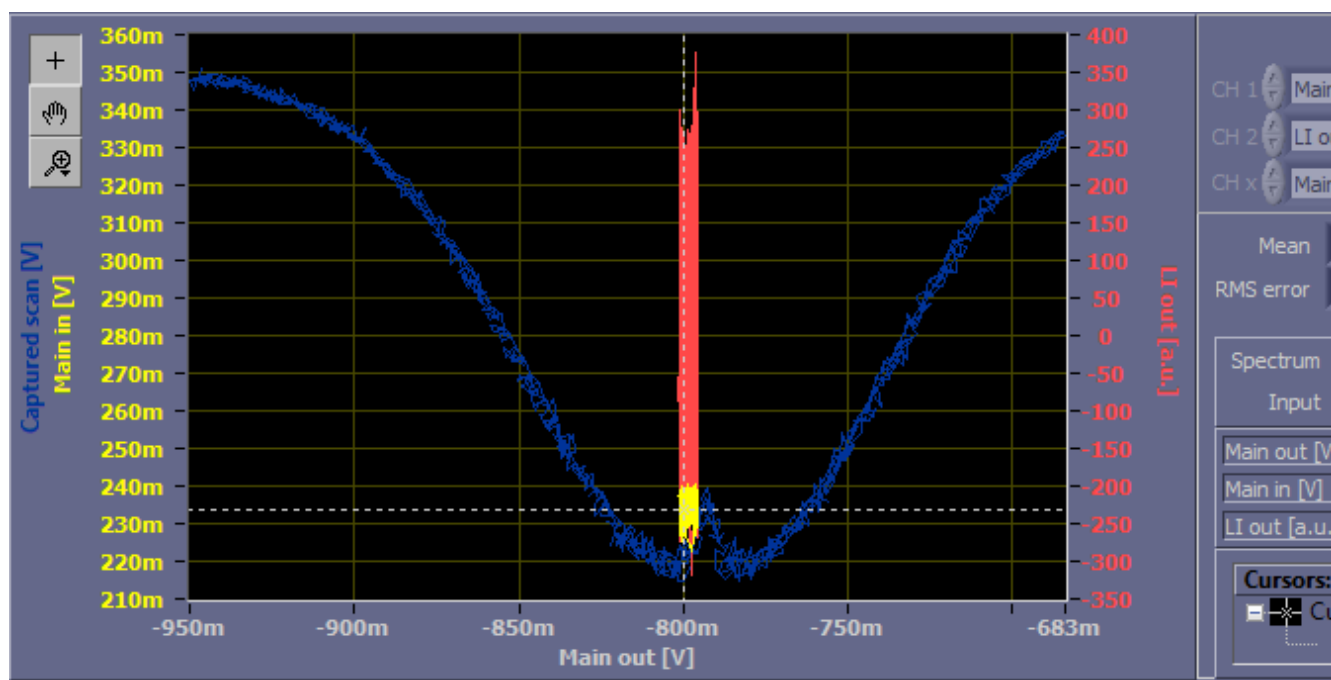
§

Lai AutoLock stabilizētu frekvenci uz pīķi, tam nepieciešams fluorescences atvasinājuma signāls, ko dod Lock-In. To iespējams ievadīt AutoLock, izvēloties kā ieejas kanālu "LI out". Tā kā šobrīd darbs tiek veikts ar lāzeru, kam nav difrakcijas režģa frekvences kontrolei, izmantots tiek tikai PID 1 kanāls frekvences stabilizācijai. Tas nozīmē, ka pārējie PID ir jāatslēdz.

Lai stabilizētu lāzeru uz kādas frekvences, ir nepieciešams pīķis. 6. attēlā redzamajā grafikā redzams piesātinājuma absorbcijas spektrs ar mazu pīķi bedres vidū. Šajā gadījumā tas tiek izmantots frekvences stabilizācijai. Lai uzsāktu stabilizāciju, nepieciešams nospiegt kursora pogu blakus grafikam. Jāpārbīda stabilizācijas kursora, kas atzīmēts ar raustītājām līnijām, uz pīķi, uz kura paredzēts veikt stabilizāciju, un, nospiežot uz grafika labo taustiņu, jāizvēlas "Lock to extremum" (7. attēls). Ja viss izdevies veiksmīgi, tad lāzers tiks stabilizēts uz dotā pīķa, un tiks parādīts tikai mikroskans, kas veic stabilizāciju. Rezultāts attēlots 8. attēlā.



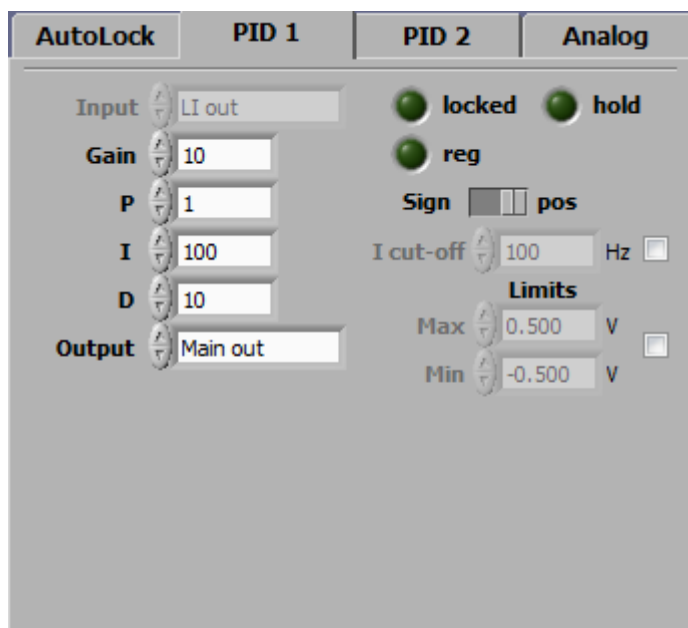
7. attēls. Stabilizācijas uzsākšana



8. attēls. Sekmīga lāzera stabilizācija

Ja stabilizācija neizdodas, ir nepieciešams pieregulēt vienu no divām lietām. Vispirms, izmantojot Lock-In sadaļu, būtu nepieciešams palielināt mikroskana frekvences amplitūdu. Platāka amplitūda dod iespēju stabilizēt uz mazāk izteikta pīķa, tomēr tas arī paplašina lāzera spektrālo

platumu, un pārāk plats mikroskops var novest pie pretēja efekta, kad skana rezultātā pīķis tiek pazaudēts. Ja šādi nav iespējams panākt apmierinošu signālu, ir nepieciešams pieregulēt PID parametrus.



9.attēls. PID parametru regulācija.

PID (Proportional – integral – derivative) ir kontroles algoritms, kas sastāv no 4 parametriem:

- proporcionālais – raksturo signālu korekciju, balstoties uz esošo atskaites signāla vērtību
- integrālais – raksturo signāla korekciju, balstoties uz vidējo signāla vērtību pagātnē.
- atvasinājums – raksturo signāla korekciju, ņemot vērā signāla izmaiņu pagātnē.
- pastiprinājuma – raksturo signāla korekcijas lielumu.

Variējot šos 4 parametrus, ir iespējams iegūt stabilu atgriezenisko saiti, kas nodrošina lāzera stabilizāciju.

Ja iegūti lāzera parametri, kas nodrošina stabilu lāzera darbību, tos ir iespējams saglabāt, izmantojot izvēlnes Settings → Save Profile. Tāpat šos parametrus iespējams ielādēt vēlāk, izmantojot Settings → Load Profile.

Projekta vadītājs:

Prof. R. Ferbers

13.10.2013.