

Fourierova spektroskopija



Uvod

Signal, ki ga dobimo, ko pri Michelsonovem interferometru premikamo eno zrcalo in merimo odvisnost gostote svetlobnega toka od pomika zrcala, je Fourierova transformacija spektralne gostote moči vpadle svetlobe. Določanje spektrov iz interferogramov z obratno Fourierovo transformacijo imenujemo Fourierova spektroskopija. Princip je znan že zelo dolgo, uveljavil pa se je predvsem v infrardečem področju s prihodom hitrih in cenjenih računalnikov.

Fourierova spektroskopija ima več prednosti pred običajnimi monokromatorji, posebno pri analizi svetlobe šibkih izvorov:

- ves čas meritve merimo svetlobni tok iz celega spektra, zato je pri šibkih izvorih razmerje signal proti šumu boljše
- pri izbrani ločljivosti dovoljuje večje vstopne odprtine, kar izboljša signal
- metoda je zelo fleksibilna in uporabna v širokem spektralnem intervalu, z lahkoto spreminjamo opazovano spektralno območje in ločljivost.

Osnova metode

Pri meritvah bomo uporabili Michelsonov interferometer (slika 1). Naj monokromatičen kolimiran svetlobni val vpada na polprepustno zrcalo (PZ), kjer se razcepi na dva enako močna snopa. Oba se odbijeta od zrcal (Z1, Z2) in se združita, ko sta prepotovala različne poti. Na zaslonu ali detektorju interferirata. Električna poljska jakost združenih snopov je

$$E_{\text{det}} = E_1 e^{ikx_0} e^{i\omega t} + E_2 e^{ik(x_0+2x)} e^{i\omega t}, \quad (1)$$

kjer sta E_1 in E_2 amplitudi električne poljske jakosti prvega in drugega delnega valovanja, x premik enega od zrcal. Gostota svetlobnega toka na detektorju je sorazmerna s časovnim povprečjem $\langle |E_{\text{det}}|^2 \rangle$ in jo za primer, ko sta intenziteti obeh delnih valovanj enaki lahko zapišemo kot

$$j_{\text{det}}(x) = j_0 (1 + \cos(2kx)) \quad , \quad (2)$$

kjer je j_0 vpadna gostota svetlobnega toka. Če je vpadna svetloba spektralna mešanica s porazdelitvijo $S(k)$, je gostota svetlobnega toka na detektorju, povprečena po času, podana z

$$j_{\text{det}} = \int_0^{\infty} S(k)(1 + \cos(2kx))dk = j_0 + \int_0^{\infty} S(k)\cos(2kx)dk \quad (3)$$

Iz razlike

$$f(x) = j_{\text{det}} - j_0 = \int_0^{\infty} S(k)\cos(2kx)dk \quad (4)$$

lahko z obratno kosinusno Fourierovo transformacijo dobimo spektralno gostoto $S(k)$

$$S(k) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} f(x)\cos(2kx)dx \quad (5)$$

Interferogram nosi vso informacijo o spektralni gostoti $S(k)$ le, če ga izmerimo na intervalu $0 < x < \infty$. Končno dolžino izmerjenega interferograma upoštevamo tako, da interferogram pomnožimo s stopničasto okensko funkcijo, ki je enaka 1 na intervalu od 0 do x_{max} , drugje pa nič. Fourierova transformiranka produkta dveh funkcij je enaka konvoluciji obeh Fourierovih transformirank. FT stopničaste funkcije je

$$FT(\text{stopnicax}) = \frac{\sin(kx_{\text{max}})}{kx_{\text{max}}} \quad (6)$$

Konvolucija spektra s takšno končno široko funkcijo vrhove v spektru razširi in s tem zmanjša njihovo ločljivost. Zato je ločljivost Fourierove spektroskopije odvisna od največjega odmika premičnega zrcala od ekvidistantne lege:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = 4kx_{\text{max}} \quad (7)$$

Če potrebujemo veliko ločljivost, mora biti hod pomičnega zrcala velik.

Pri dobljenem spektru nagajajo tudi sekundarni vrhovi transformiranke stopničaste funkcije, ki prinesejo popačitve. V praksi se jim izognemo tako, da dobljeni interferogram pomnožimo s primerno okensko funkcijo, ki pri x_{max} dovolj gladko pada proti nič. S tem se seveda še nekoliko bolj razširijo vrhovi v spektru, so pa bolj nedvoumni.

Gornji računi veljajo za ravno valovanje, ki vpada na interferometer v smeri optične osi. Če se svetlobni snop širi pod kotom ϕ glede na os, naraste razlika poti za oba snopa na $\frac{2x}{\cos\phi}$. Zato pri osvetljevanju interferometra s svetlobo, ki ni kolimirana,

vidimo na izhodu interferenčne kolobarje. Velikost centralne interferenčne pike do prvega minimuma je določena s pogojem

$$kx \left(\frac{1}{\cos \phi_c} - 1 \right) = \pi, \quad (8)$$

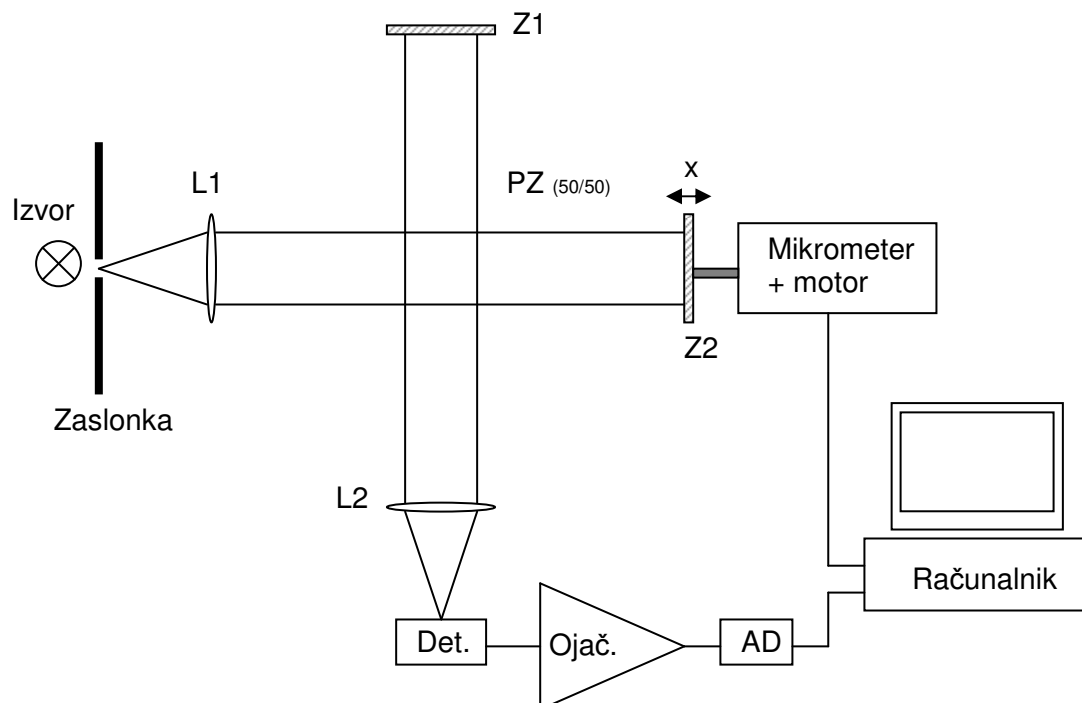
od koder dobimo z razvojem kosinusa

$$\phi_c^2 = \frac{\lambda}{2x}. \quad (9)$$

Za uspešno delovanje interferometra mora biti svetloba kolimirana v kot, manjši od ϕ_c , da merimo le svetlobno moč v centralni interferenčni piki. To dosežemo s primerno veliko zaslonko in lečo pred interferometrom ali pred detektorjem.

Opis merilnega sistema

Svetloba iz izvora gre skozi zaslonko in lečo na Michelsonov interferometer. Svetlobo po prehodu skozi interferometer z lečo zberemo na detekcijski fotodiodi. Z nje preko AD pretvornika signal vodimo v računalnik, ki nadzoruje premik zrcala, prikaže interferogram in izračuna spekter.



Slika 1. Shematski prikaz merilnega sistema.

Detekcijska fotodioda da kot signal električni tok, ki je sorazmeren s svetlobnim tokom. Napetost na fotodiodi mora biti nič ali v zaporni smeri, sicer skozi fotodiodo teče tok tudi kadar ni osvetljena. Tok iz fotodiode pretvorimo v napetost s pomočjo operacijskega ojačevalnika, ki je vezan kot tokovno napetostni pretvornik. Ojačanje nastavljamo z izbiranjem upora R . Kondenzator C služi glajenju signala, v našem primeru predvsem 100Hz nihanj žarnice zaradi izmenične omrežne napetosti. RC konstanta mora biti okoli 0.1s. Pri preklopu občutljivosti (premembi velikosti upora) moramo zato izbrati tudi primeren kondenzator.

Potek dela

Nastavitev Michelsonovega interferometra poteka enako, kot v praktikumu II. Najprej s pomočjo živosrebrne svetilke nastavimo paralelnost ogledal tako, da vidimo interferenčne kroge ali proge. Nato s pomočjo bele svetilke poiščemo ekvidistantno lego. Ko je interferometer nastavljen začnemo s snemanji interferogramov (glej navodilo za uporabo programa). Posnamemo interferograme za HeNe laser, Hg in belo svetilko.

Vprašanja

Kako sta povezani širina interferograma in širina spektra?

Od česa je odvisna ločljivost fourierovega spektrometra?

Literatura

R. Guenther, Modern Optics, ISBN 0-471-60538-7

Dodatek: Navodila za uporabo programa

Program poženeš s klikom na ikono "Fourierova transformacija".

Glavno okno

Prva dva okvirčka sta splošni funkciji, vsi ostali pa so namenjeni končnemu snemanju.

Odmik x korakov: x pove odmik zrcala od izhodišča. S pritiskom na gumb privzamemo trenutno lego kot izhodiščno.

Pomik motorja: Na drsniku nastavimo željeni pomik (od -100 do 100 korakov) in s pritiskom na gumb poženemo motorček.

Število točk: Dolžina interferograma. Vrednost mora biti enaka 2^n , da lahko naredimo FFT.

Čas med meritvami (ms): Čas med pomikom motorčka in meritvijo signala (pri vsaki točki meritve).

Okenske funkcije: Na razpolago so štiri okenske funkcije, s katerimi lahko pomnožimo interferogram in tako dobimo lepši spekter.

Snemaj: Najprej se motorček premakne na začetno lego (-interval/2), potem pa se začne snemanje. Nad gumbom je indikator, ki pove, koliko je že posnetega.

V meniju *Datoteka* imamo možnost shraniti interferogram in spekter, v meniju *Možnosti* pa lahko preklapljam med različnimi okni (*Čitanje signala*, *Poskusno snemanje* in *Snemanje*).

Pomožna okna (meni Možnosti)

Čitanje signala: pokaže trenutni maksimalni signal. S pritiskom na gumb resetiramo merilec maksimuma.

Poskusno snemanje: Z gumbom *Desno* vrtimo motorček v eno smer, z gumbom *Levo* pa v nasprotno. Hkrati se nam na grafu izrisuje interferogram.

Snemanje: Zgornji graf prikazuje interferogram, spodnji pa spekter.

Vsako pomožno okno se lahko hitro zapre s pritiskom na ESC.