

Pracovní úkol

1. Navažte laserový svazek do vlákna a seřídte jednotlivé moduly tak, abyste dosáhli maximálního výkonu na výstupu z vlákna.
2. Změřte numerickou aperturu vlákna, zpracujte graficky.
3. Změřte dobu průchodu světla vláknem, určete rychlost světla ve vlákně.
4. Určete relativní výstupní výkon laserové diody v závislosti na napájecím proudu, zpracujte graficky.

Teoretický úvod

Optické vlákno je vlákno schopné vést světlo po jakkoli zakřivené trajektorii. Prakticky se k docílení této vlastnosti využívá totálního vnitřního odrazu na rozhraní dvou skleněných materiálů¹ s velmi blízkými ale přeci jen různými indexy lomu.

Numerickou aperturou se nazývá sinus polovičního úhlu, pod kterým vystupuje světlo z obecné optické aparatury. Pro numerickou aperturu optického vlákna je v [1] odvozeno

$$A = \sqrt{n_k^2 - n_m^2}, \quad (1)$$

kde n_k je index lomu jádra a n_m je index lomu pláště.

Statistické zpracování

Chybu veličiny $u = f(x_i)$ počítáme ze vztahu

$$\delta_u = \sqrt{\sum_{i,j} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \delta_{x_i} \delta_{x_j} \rho_{ij}},$$

kde δ_{x_i} jsou chyby veličin x_i a ρ_{ij} je korelační matice. Pro nezávislé veličiny je tedy $\rho_{ij} = \delta_{ij}$.

Při prokládání vztahu naměřenými daty používáme program *Gnuplot*. Ten aplikuje metodu nejmenších čtverců. V případě lineárního fitování jsou parametry dopočítány algebraicky, v případě nelineárního iterativně. Chyby parametrů fitování mají stejné matematické vlastnosti jako standardní směrodatné odchylky. Vypočítané parametry ovšem nemusí být nezávislé veličiny, je proto nutné s nimi dále pracovat pomocí korelační matice, kterou *Gnuplot* pro každé proložení poskytuje.

¹nazývaných *jádro* a *plášť*

Výsledky měření

Pro měření jsme použili optické vlákno o délce ~ 100 m s indexem lomu jádra 1.465 a pláště 1.462. Jako světelný zdroj sloužila laserová dioda emitující světlo o vlnové délce 815 nm modulované obdélníkovým signálem. Aparaturu jsme sestavili podle [1]. Nejprve jsme nastavili modul B tak, aby byl laserový svazek přibližně rovnoběžný. Potom jsme pomocí modulu A nasměrovali laserový svazek na střed detektoru. Po navázání laserového svazku do vlákna jsme seřízením modulu C dosáhli na detekčním osciloskopu amplitudy modulovaného signálu přes 100 mV. Pro další měření jsme mezi osciloskop a výstup z detekční fotodiody vřadili rezistor o velikosti 39 k Ω . Pro následující dvě měření byl napájecí proud laserovou diodou shodně 100 mA.

Nejprve jsme měřili čas, který stráví světlo ve vláknu. Na vstupy osciloskopu jsme připojili detekční fotodiodu a výstup z jednotky napájející laserovou diodu. Na osciloskopu jsme tak dostali dva modulované signály. Časový rozdíl v polovičních výškách obou náběžných hran je potom podle [1] roven času, který trvá signálu projít celou aparaturou. Pro aparaturu bez vlákna jsme naměřili

$$T_1 = (6.0 \pm 0.1) \mu\text{s},$$

pro aparaturu s vlákem

$$T_2 = (6.5 \pm 0.1) \mu\text{s},$$

přičemž chyby jsme odhadli. Větší přesnosti nešlo dosáhnout už proto, že při různých blízkých nastaveních modulu C, případně jiných drobných nedefinovatelných změnách v aparatuře se tato hodnota měnila v uvedeném rozsahu. Z rozdílu těchto časů je čas světla ve vlákne

$$\tau = (0.5 \pm 0.2) \mu\text{s}$$

a rychlost tedy

$$v = \frac{100 \text{ m}}{(0.5 \pm 0.2) \mu\text{s}} = (2.0 \pm 0.8) \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Dále jsme měřili závislost výstupní intenzity na úhlu θ mezi optickou osou a spojnicí mezi koncem optického vlákna a detekční fotodiodou. Intenzitu jsme odečítali jako amplitudu napětí v modulovaném signálu. Naměřená data jsou v Tabulce 1 a na Obrázku 1. Data jsme proložili gaussovskou křivkou e^{-ax^2} . Polovina šířky úhlu, ve kterém je intenzita větší než $e^{-2} = 0.14$, je potom $\sqrt{2/a}$ a v našem případě tedy $(6.0 \pm 0.4)^\circ$. Z toho numerická apertura je

$$A = 0.105 \pm 0.007.$$

Nakonec jsme odpojili vlákno, mírně rozladili modul C² a měřili závislost světelného výkonu laserové diody na vstupním proudu. Naměřená data jsou v Tabulce 2 a na Obrázku 2. Nad prahovým proudem jsou data proložená přímkou.

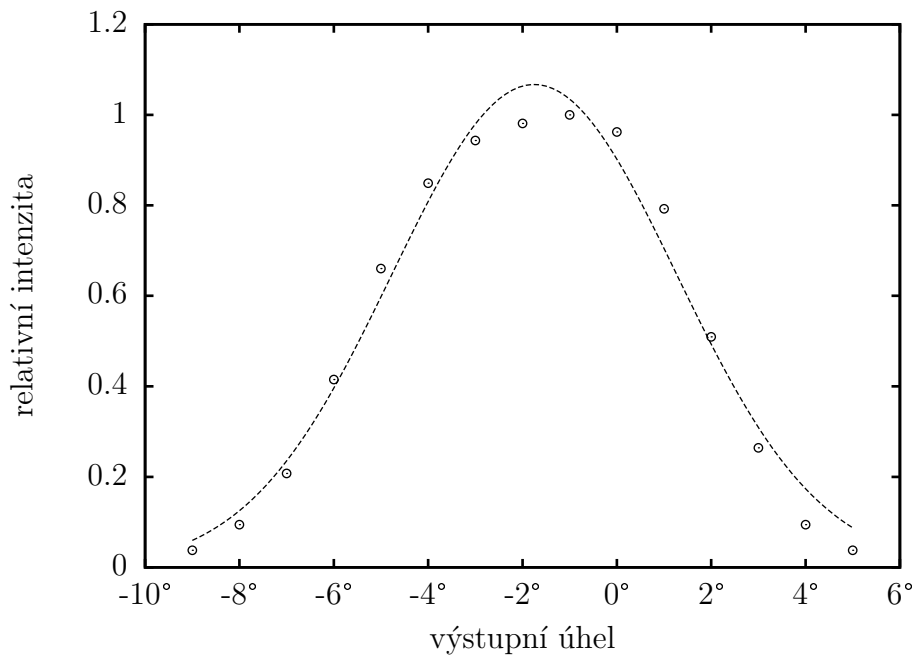
²Aby se ani při největším proudu detekční fotodioda nesaturovala.

θ	U/mV
-9°	2
-8°	5
-7°	11
-6°	22
-5°	35
-4°	45
-3°	50
-2°	52
-1°	53
0°	51
1°	42
2°	27
3°	14
4°	5
5°	2

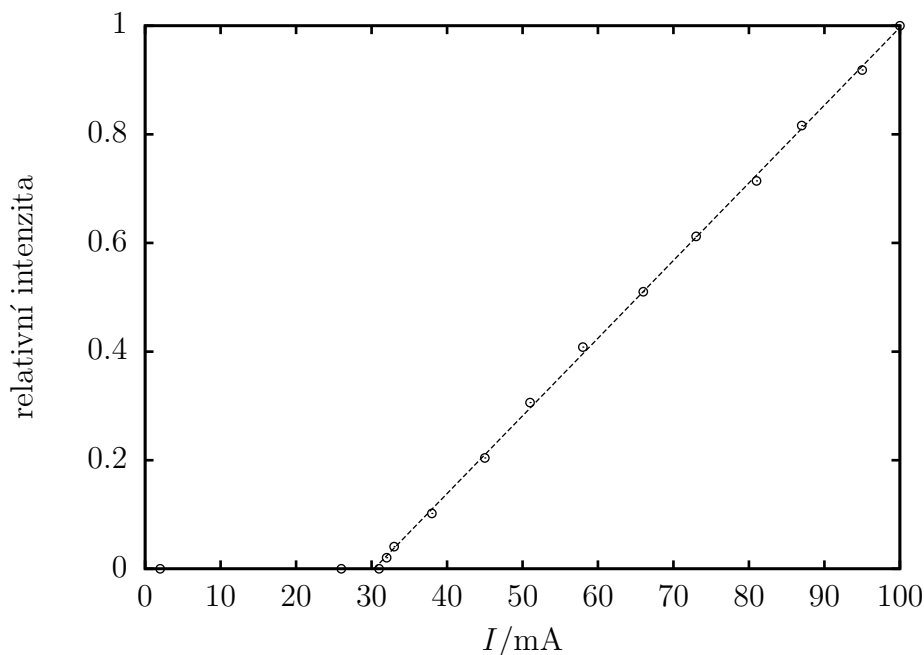
Tabulka 1: Měření numerické apertury

I/mA	U/mV
2	0
26	0
31	0
32	1
33	2
38	5
45	10
51	15
58	20
66	25
73	30
81	35
87	40
95	45
100	49

Tabulka 2: Měření výkonové charakteristiky



Obrázek 1: Závislost výstupního výkonu na úhlu vůči optické ose proložená gaussovskou křivkou



Obrázek 2: Výkonová charakteristika použité laserové diody

Diskuse výsledků

Teoretická rychlost světla ve vláknu je

$$\frac{3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{1.46} = 2.1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1},$$

s čímž se námi naměřená hodnota shoduje vzhledem k chybě až příliš přesně. Pravděpodobně se jedná o náhodu a pro dobré měření rychlosti světla ve vláknu bychom museli vymyslet jinou metodu.

Teoretická numerická apertura je podle (1)

$$A = 0.094,$$

s čímž se experimentální údaj vzhledem ke smyslu chyby (70%-ní pravděpodobnost) shoduje zhruba na okraji. Problém by mohl být ve špatné interpretaci šířky gaussovské křivky.

Charakteristika laseru vyšla zcela dle očekávání. Do jistého prahového proudu, který je roven asi 31 mA je světelný výkon nulový a nad ním potom roste lineárně.

Závěr

Změřili jsme numerickou aperturu vlákna

$$A = 0.105 \pm 0.007.$$

Změřili jsme dobu průchodu světla vláknem

$$\tau = (0.5 \pm 0.2) \mu\text{s},$$

z čehož je rychlost světla ve vlákně

$$v = (2.0 \pm 0.8) \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Naměřili jsme výkonovou charakteristiku laserové diody na Obrázku 2.

Reference

- [1] *Studijní text k úloze* [k zapůjčení v praktiku].