**Středoškolská technika 2013**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# Experimentální konstrukce laserového osciloskopu

**Marek Reimer**

Střední průmyslová škola sdělovací techniky.
110 00 Praha 1, Panská 856/3

**ANOTACE:**

V práci jsou popsány základní principy činnosti osciloskopů s mechanickým vychylováním paprsku a základy řízení takovýchto mechanických soustav. Platnost těchto principů demonstruje model osciloskopu, který je navržen a vyroben s využitím jednoduchých součástek a zapojení. Vše s ohledem na opakovatelnost realizace konstrukce osciloskopu v amatérských podmínkách vývoje.

**Obsah**

1. Základní okruhy k řešení ..... 2
2. Geometrie konstrukce ..... 2
3. Výběr konstrukčních prvků ..... 3
4. Řídící elektronika ..... 5
5. Derivační článek ..... 7
6. Výsledná konstrukce ..... 7
7. Zdroje informací a použitý software a zkratky ..... 10
a. Elektronické zdroje ..... 10
b. Použitý software ..... 10
c. Seznam použitých zkratek a symbolů ..... 10

## 1. Základní okruhy k řešení

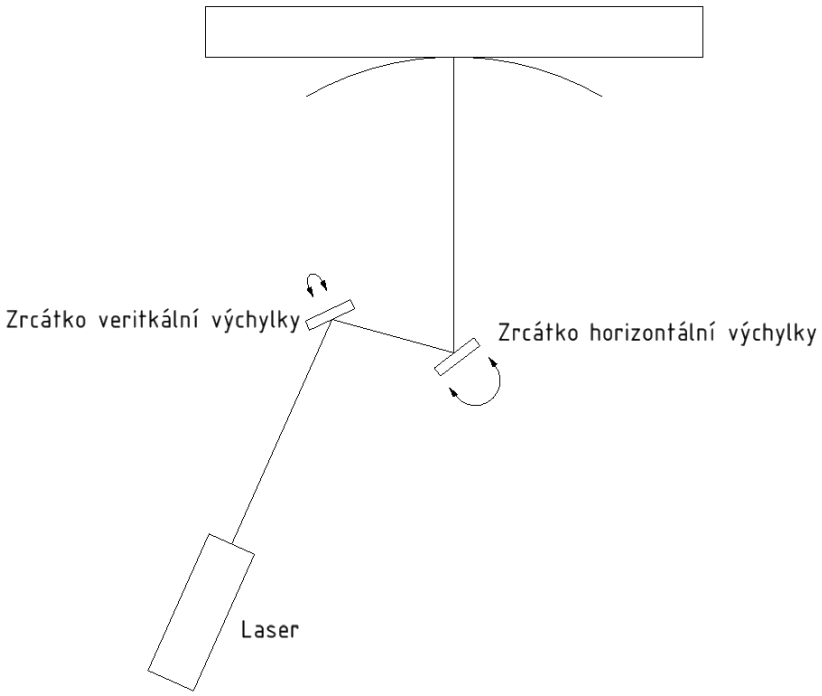
V rámci realizace bude třeba vyřešit mnoho úloh vedoucích k danému zadání.

- Geometrický návrh cesty paprsku
- Vychylovací elementy
- Řízení vychylovacích elementů
- Mechanické vlastnosti vychylovacích elementů
- Mezní parametry osciloskopu

## 2. Geometrie konstrukce

Pro realizaci požadovaného zařízení bylo nejprve nezbytné teoretické zamyšlení nad základními funkčními celky konstruovaného osciloskopu v porovnání s možnostmi amatérského konstruktéra. Jednotlivé teoretické předpoklady byly vždy alespoň v základních parametrech konfrontovány s realitou dostupnosti zvolených prvků. Bylo by poměrně snadné vytvořit teoretickou představu požadovaného zařízení, avšak bez možnosti realizace alespoň základních prvků by nebylo dosaženo požadovaného výsledku. Po ověření realizovatelnosti částečného návrhu daného prvku konstrukce jsem přešel k stejnému principu návrhu konstrukce prvků následujících.

Požadavkem je aby dostatečně jasný světelný bod vykresloval na ploše obrazce odpovídající vstupním veličinám. Jako zdroj dostatečně silného světelného paprsku byl poměrně snadno dostupný polovodičový laser červené barvy o výkonu 5mW. Pro vychylování takovéhoto paprsku byl jako nejvhodnější zvolen princip dvou na sebe kolmých zrcátek. Každé z nich je vychylováno v jedné z os, svislé a vodorovné. Jako promítací plocha byla předpokládána stěna nebo rovné plátno umístěné několik metrů od osciloskopu. Princip fungování takovéhoto zařízení je v podstatě velmi prostý.




*Schématický geometrický náčrt cesty paprsku laseru.*

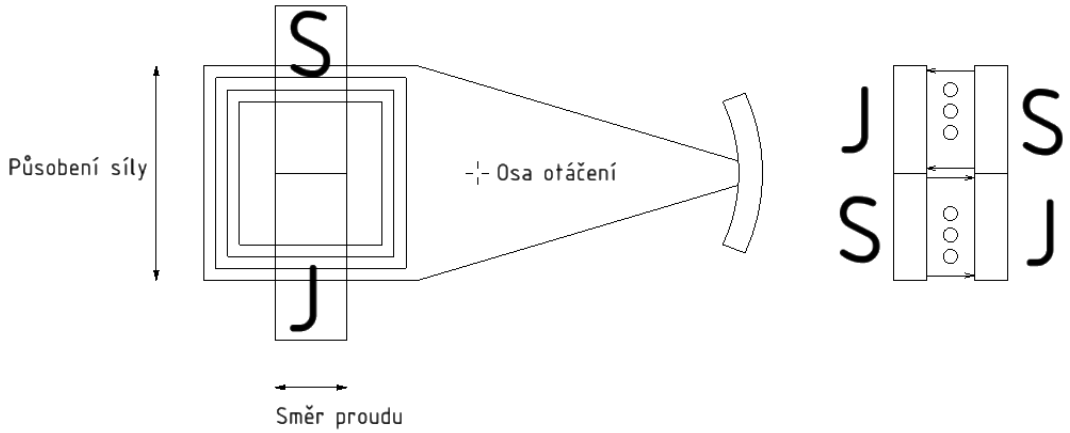
## 3. Výběr konstrukčních prvků

Zvolené základní komponenty umožňující konstrukci realizovat.

- Zrcátka
- Laser
- Řídící elektronika
- Elektromechanické měniče

Komponenty jak pro odraz paprsku, tak i elektromechanického měniče je možné získat v konstrukci pevného disku.

Základní komponenty totiž tvoří magnetické plotny a elektromechanické vychylovací zařízení pro čtecí a záznamové hlavy. Magnetické plotny jsou z vysoce leštěného materiálu s téměř dokonalou rovinností, tudíž naprosto ideální materiál pro konstrukci odrazných prvků – zrcátek. Elektromechanické vychylovací zařízení (budu je nadále nazývat lamela) je rovněž použitelné s poměrně značným kyvem a snad i dostatečnou dynamikou. Vychylování lamely je realizováno pomocí cívky na lamele umístěné mezi trvalými magnety. Elektrický proud v cívce vyvolává magnetické pole, které reaguje s magnetickým polem trvalého magnetu, a výsledkem je síla pohybující lamelou. Na druhou stranu výběr tohoto elektromechanického převodníku znamená vyšší nároky na řídící elektroniku. Uložení lamely je v ložisku volné, a z tohoto důvodu bude muset být řízení výchylky zpětnovazební. Pouhé generování magnetického pole v závislosti na požadované poloze není postačující.




Schématická konstrukce vychylovací lamely disku s vyznačením působení sil.

Tečnou sílu působící na vodič v případě kolmosti vodiče a magnetických siločar (na lamelu krát počet závitů) dle Lorentzova pravidla určit ze vztahu (2)

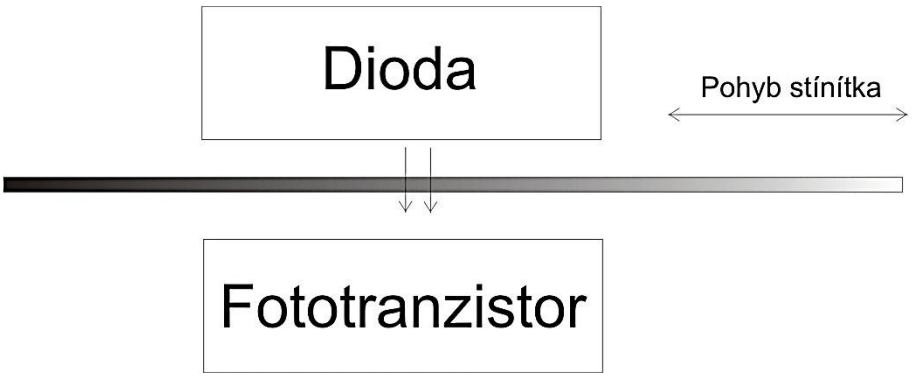
$$F = B * l * I * n \qquad (2)$$

Jedná se o zjednodušený teoretický rozbor, který jsem nijak prakticky při konstrukci nevyužil, protože jsem nebyl schopen změřit, jak velkou magnetickou indukci vyvolávají permanentní magnety obklopující cívku lamely.

*Fotografie vychylovací lamely*

Z výše uvedeného důvodu (volné uložení lamely) bylo oproti vstupním předpokladům nutné vyřešit teoretický návrh a konstrukci snímacího prvku polohy lamely.

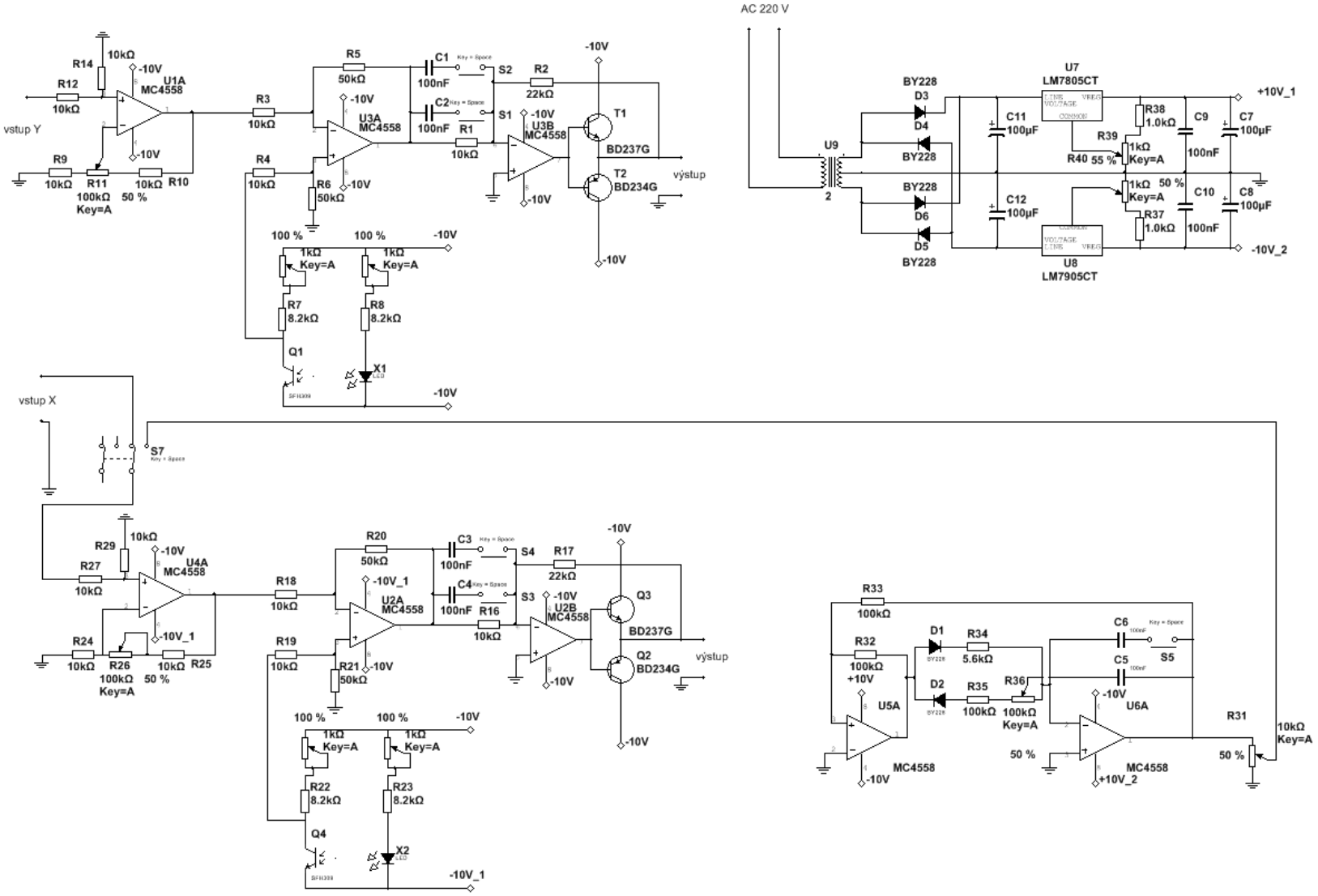
Pro odměřování polohy lamely byl využit optomechanický princip. Pokud mezi zdroj světla (fotodiodu) a snímač světla (fototranzistor) vložím průhledné stínítko s proměnnou tmavostí, jeho pohyb by se převáděl přímo do změny el. proudu fototranzistorem.




*Obrázek snímače, stínítka, zvětšení stínítka.*

## 4. Řídicí elektronika

Jak jsem uvedl již dříve, bylo třeba se vyrovnat s volným uložením vychylovací lamely. Nezbylo než použít zpětnovazební regulátor polohy. Řídicí elektronika jako celek se skládá s jednotlivých funkčních bloků, které jsou mezi sebou propojeny vodiči. Jedná se o vstupní zesilovač, koncový zesilovač, rozdílový zesilovač, snímač polohy a generátor časové základny. Společným modulem je napájecí zdroj symetrického napětí. Symetrické napětí je nezbytné z důvodu možnosti ovládat polohu lamely oběma směry.


AC 220 V
vstup Y
vstup X
výstup
výstup
U1A MC4558
U3A MC4558
U3B MC4558
U4A MC4558
U2A MC4558
U2B MC4558
U5A MC4558
U6A MC4558
U7 LM7805CT
U8 LM7905CT
U9
T1 BD237G
T2 BD234G
Q3 BD237G
Q2 BD234G
Q1 SFH309
Q4 SFH309
X1 LED
X2 LED
D1 BY228
D2 BY228
D3 BY228
D4 BY228
D5 BY228
D6 BY228
S1 Key = Space
S2 Key = Space
S3 Key = Space
S4 Key = Space
S5 Key = Space
S7 Key = Space
+10V_1
-10V_2
-10V
-10V_1
+10V
R1 10kΩ
R2 22kΩ
R3 10kΩ
R4 10kΩ
R5 50kΩ
R6 50kΩ
R7 8.2kΩ
R8 8.2kΩ
R9 10kΩ
R10 10kΩ
R11 100kΩ 50 % Key=A
R12 10kΩ
R14 10kΩ
R16 10kΩ
R17 22kΩ
R18 10kΩ
R19 10kΩ
R20 50kΩ
R21 50kΩ
R22 8.2kΩ
R23 8.2kΩ
R24 10kΩ
R25 10kΩ
R26 100kΩ 50 % Key=A
R27 10kΩ
R29 10kΩ
R31 10kΩ Key=A 50 %
R32 100kΩ
R33 100kΩ
R34 5.6kΩ
R35 100kΩ
R36 100kΩ Key=A 50 %
R37 1.0kΩ
R38 1.0kΩ
R39 1kΩ Key=A 55 %
R40 1kΩ Key=A 50 %
C1 100nF Key = Space
C2 100nF Key = Space
C3 100nF Key = Space
C4 100nF Key = Space
C5 100nF
C6 100nF Key = Space
C7 100µF
C8 100µF
C9 100nF
C10 100nF
C11 100µF
C12 100µF
100 % 1kΩ Key=A

## 5. Derivační článek

V okamžiku kdy jsem měl zkonstruovány základní elektronické bloky, provedl jsem alespoň základní ověření funkčnosti jednotlivých funkčních celků (zdroj, odměřování polohy, regulační jednotka). Zjistil jsem, že pouze proporcionální řízení vychylovací lamely je nedostatečné. Od počátku jsem tuto vlastnost předpokládal, s tím že je budu řešit v závislosti na chování reálného zařízení.

Nedostatečnost se projevovala tím, že proporcionální řízení nezohledňovalo dostatečně mechanické vlastnosti řízené soustavy (lamely). Při periodických změnách vstupního napětí docházelo k velkým odchylkám od požadované polohy.

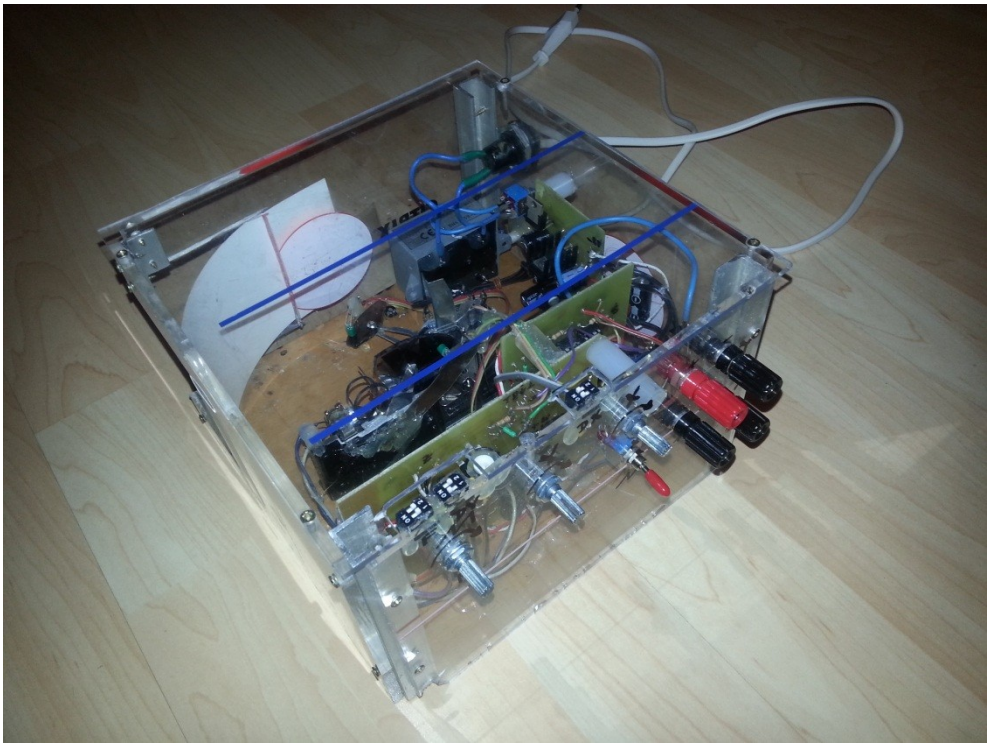
Vzhledem k tomu že řízená soustava má nezanedbatelnou hmotnost, tak i její setrvačnost je poměrně značná. A setrvačnost je vlastnost hmotných těles udržujících je v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu. Je to tedy vlastnost integrační. Kompenzací této integrační charakteristiky řízené soustavy je zařadit do řídící elektroniky vlastnost opačnou, tedy derivační. Matematicky by se jistě dala velikost derivační parametru vypočítat, bylo by ovšem nutné znát matematický popis řízené soustavy. Tato úloha není zcela triviální a tak jsem se tedy rozhodl pokusit se odhadnout derivační parametr experimentálně.
Čistě proporcionální regulátor (označuje se jako P) reaguje pouze na rozdíl požadované a skutečné polohy lamely. Reaguje tedy na rozdíl dráhy. Derivace dráhy je rychlost, tímto tedy je regulační odchylka závislá nejen na odchylce polohy, ale i na rychlosti jakou tato odchylka vzrůstá. Jedná se tedy o regulátor typu PD. Obecně je možné říci že, existují regulátory PID, u kterých lze nastavovat jak proporcionální, tak i derivační a integrační charakter. Takovýmto univerzálním regulátorem by měl jít ovládat v podstatě jakýkoli řiditelný systém.

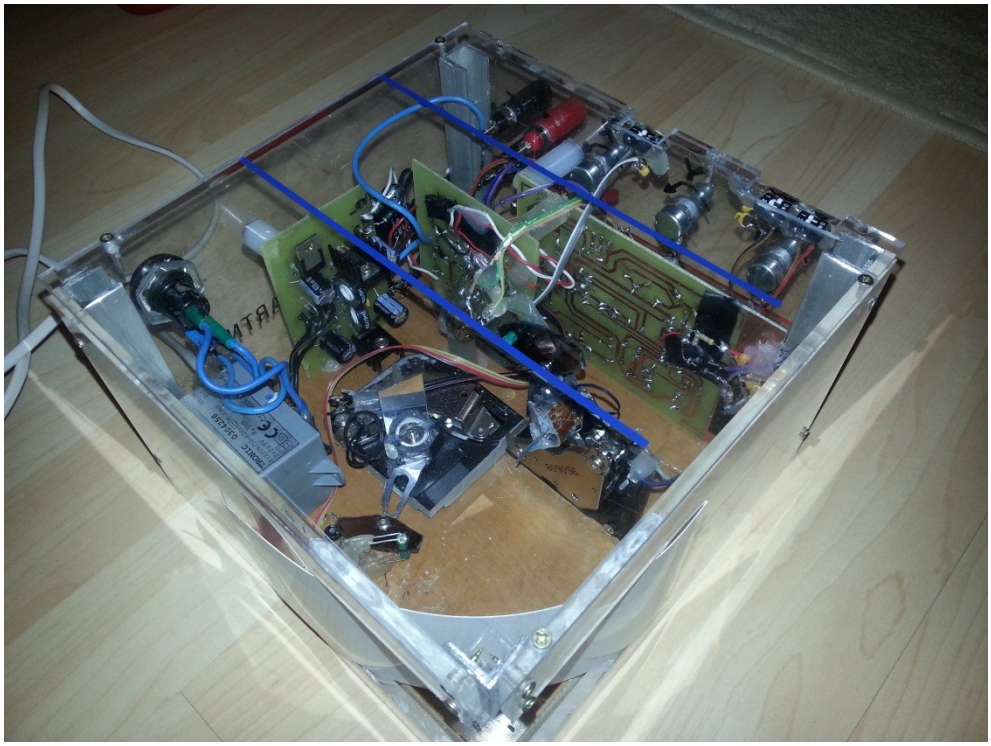
V mém případě při použití PD regulace je řízení soustavy mnohem dynamičtější, a i při minimální odchylce vzniklé dostatečnou rychlostí je kompenzační proud lamelou, který se jí snaží dostat do požadované polohy značný.

Výsledek je velmi impozantní, z chaotického pohybu lamely přibližně kolem požadované polohy došlo k velmi významné eliminaci této odchylky a lamela začala téměř dokonale (samozřejmě ve vztahu k podmínkám) sledovat požadovanou polohu.

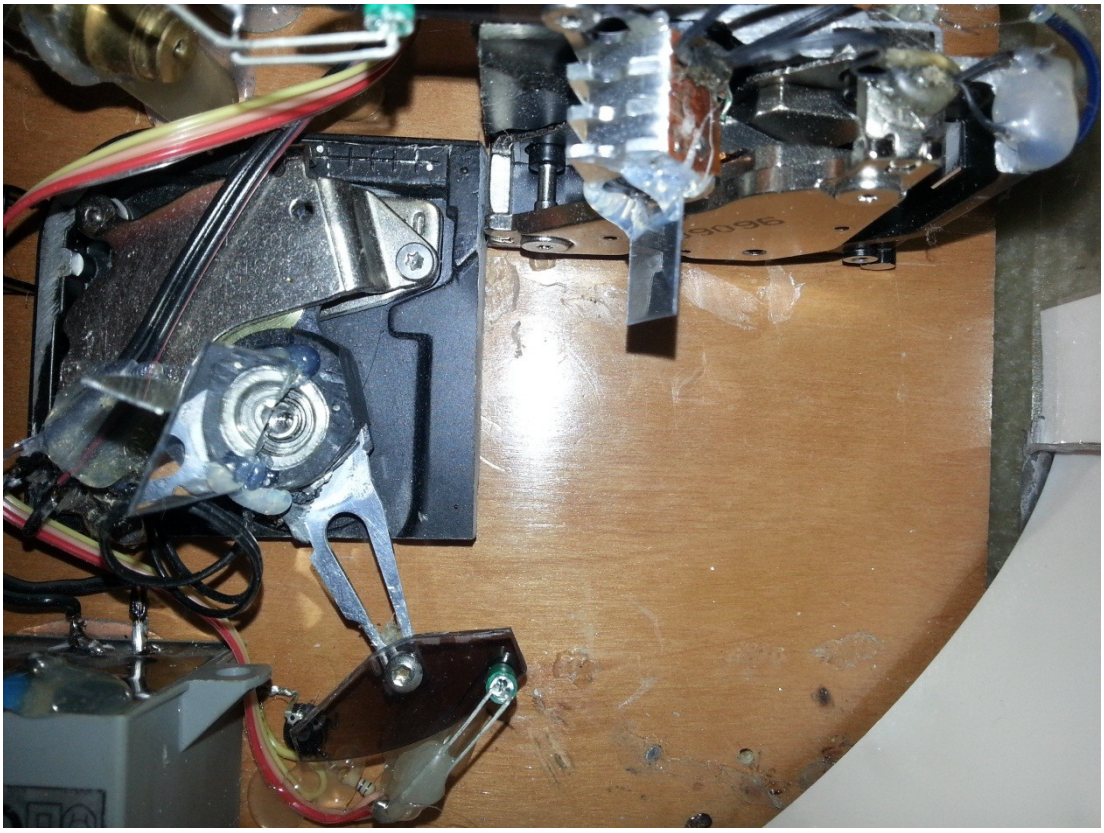
## 6. Výsledná konstrukce

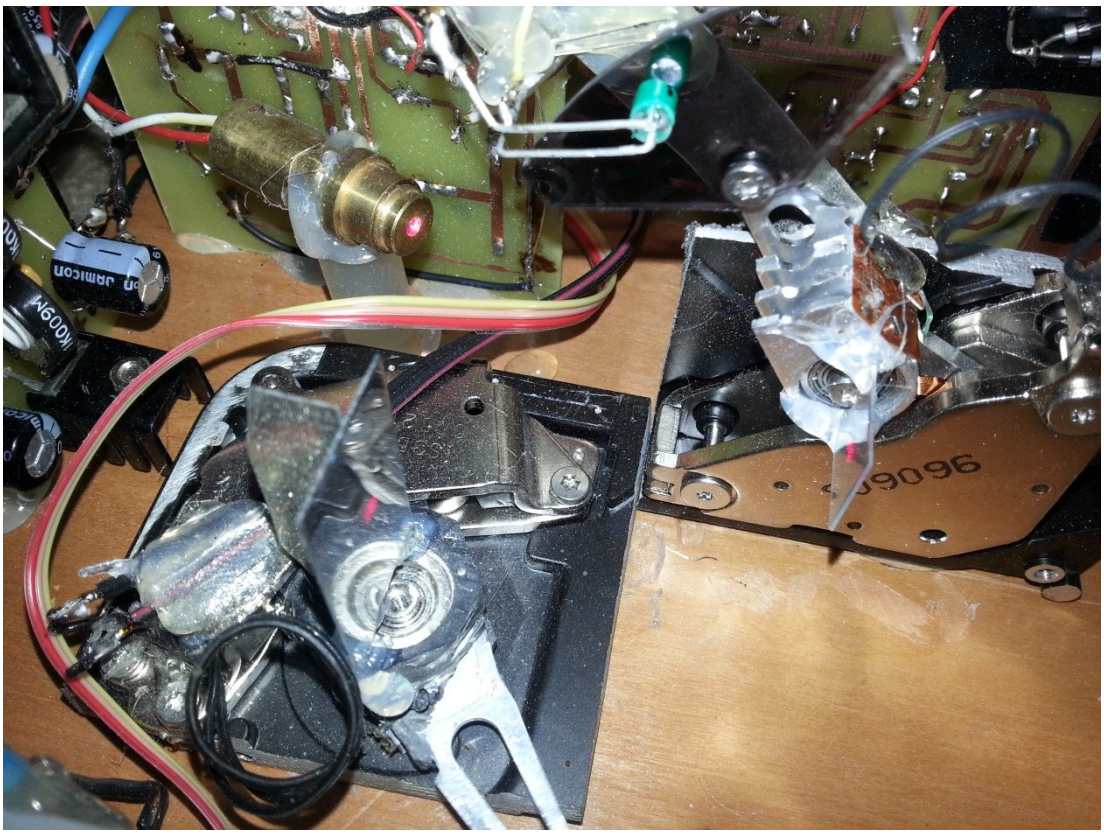
Pro představu o výsledku mé práce bude nejlepší použít fotodokumentaci kompletního laserového osciloskopu.





*fotografie finálního výrobku*





*detail vychylovacích lamel již umístěných ve finálním výrobku*

## 7. Zdroje informací a použitý software a zkratky

### a. Elektronické zdroje


- http://fyzikalniolympiada.cz/texty/opzes.pdf
- http://www.elektronovinky.cz/konstrukce/generatory-periodickych-signalu
- http://pcbheaven.com/wikipages/The_Schmitt_Trigger
- http://slaboproud.sweb.cz
- http://www.barts.cz
- http://www.falstad.com/circuit
- http://www.dmu-mez.ic.cz
- http://www.8bitu.cz
- http://www.umel.feec.vutbr.cz
- http://www.pernik.borec.cz


### b. Použitý software

- Autodesk Inventor Professional 2013
- Multisim 12

### c. Seznam použitých zkratek a symbolů

- Au – napěťové zesílení, [Au] = 1
- B – magnetická indukce, [B] = T
- C – kapacita kondenzátoru, [C] = F
- F – síla, [F] = N
- I – elektrický proud, [I] = A
- l – délka vodiče, [l] = m
- R – činný odpor, [R] = Ω
- U – elektrické napětí, [U] = V
- f – frekvence střídavého signálu, [f] = Hz