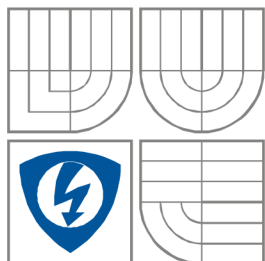


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **IMPULZNÍ BUDIČ POLOVODIČOVÉHO LASERU**

PULSED DRIVER FOR LASER DIODES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

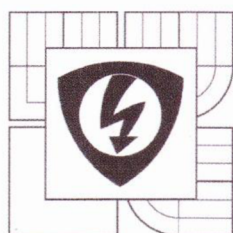
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Lukáš Pernica

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Drexler, Ph.D.

BRNO, 2016



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ  
Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií  
Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Lukáš Pernica

**Ročník:** 3

**ID:** 162734

**Akademický rok:** 2015/16

## NÁZEV TÉMATU:

### Impulzní budič polovodičového laseru

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte používané technologie výroby výkonových polovodičových laserů. Seznamte se s významem parametrů výkonových laserových diod a požadavky na jejich napájení. Vyhledejte vhodné elektronické komponenty pro konstrukci impulzního budiče laserových diod. Proveďte obvodový a konstrukční návrh impulzního budiče.

Dle provedeného návrhu impulzní budič laserových diod realizujte. Měřením ověřte dosažené parametry generovaného proudového a optického signálu.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] JOHNSON, M. Photodetection and Measurement: Maximizing Performance in Optical Systems. New York: McGraw-Hill, 2003.

[2] Design and Test of Fast Laser Driver Circuits, Application Note. Bodenheim: iC-Haus Germany, 2012.

**Termín zadání:** 8. 2. 2016

**Termín odevzdání:** 26.5.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Drexler, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

  
doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.  
předseda oborové rady



#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá popisem vzniku laserového záření v polovodičovém materiálu, konstrukce laserové diody a možností použití výkonových laserových diod v pulzním režimu s vysokou frekvencí spínání. V práci jsou popsány způsoby pouzdření výkonových laserových diod společně s možnostmi jejich chlazení a dále možnosti řešení jejich spínání, vyhodnocení kladů a záporů těchto řešení a výběr nejvhodnějšího pro co nejlepší splnění zadání. Na závěr je toto vybrané řešení popsáno, je proveden obvodový a konstrukční návrh a následně vyhodnoceno měření na funkčním zařízení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Laser, laserová dioda, výkonová dioda, světlo, optika

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis describes creation of laser radiation in the semiconductor material, the structure of the laser diode and the possibility of using power laser diodes in pulsed mode with high switching frequencies. In the thesis are described methods of casing of power laser diodes and their cooling possibilities and solutions to their switching, evaluating the pros and cons of these solutions and select the most suitable one for the best completion of all requirements. At the end is described the chosen solution, is executed circuit design and layout and subsequently evaluated measurement of functional device.

## **KEYWORDS**

Laser, laser diode, high power diode, light, optics

PERNICA, L. *Impulzní budič polovodičového laseru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 38 s., 1 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Drexler, Ph.D



# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Impulzní budič polovodičového laseru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Petru Drexlerovi Ph.D. za odbornou pomoc, ochotu a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Měšťanovi za zapůjčení odborné literatury a konzultaci ohledně konstrukce laserů.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>x</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Základy laserové techniky</b>	<b>2</b>
<b>2 Princip funkce polovodičového laseru</b>	<b>4</b>
2.1 Princip vzniku laserového záření .....	4
2.2 Rezonátor .....	6
2.3 Funkce.....	6
<b>3 Typy laserových diod</b>	<b>8</b>
3.1 Homostrukturní lasery .....	8
3.2 Heterostrukturní lasery .....	8
3.3 Lasery s rozprostřenou zpětnou vazbou.....	9
3.4 Hranově vyzařující lasery .....	10
3.5 Plošně vyzařující lasery .....	10
<b>4 Charakteristiky laserových diod</b>	<b>11</b>
4.1 Spektrum laserových diod .....	11
4.2 L-I charakteristika.....	12
<b>5 Pouzdření výkonových laserových diod</b>	<b>14</b>
<b>6 Spínání výkonových laserových diod</b>	<b>16</b>
6.1 Spínače z diskrétních součástek.....	16
6.2 Speciální integrované obvody pro spínání laserů .....	18
6.3 Možné obvody z produkce firmy iC-Haus .....	18
<b>7 Integrované řešení budiče</b>	<b>20</b>
<b>8 Obvodový návrh</b>	<b>21</b>
8.1 Napájení diody .....	22
8.2 Nastavení proudu protékajícího diodou .....	22

8.3	Řízení šířky pulzu a frekvence spínání .....	23
8.4	Signalizace chyby integrovaného obvodu .....	23
8.5	Konstrukční poznámky .....	24
<b>9</b>	<b>Konstrukční návrh</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>Oživení a měření</b>	<b>27</b>
10.1	Měření proudu protékajícího diodou .....	27
10.2	Měření doby náběžné hrany .....	30
10.3	Měření závislosti proudu diodou na napětí $U_{CI}$ .....	32
<b>11</b>	<b>Závěr</b>	<b>33</b>
	<b>Literatura</b>	<b>35</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>36</b>
<b>A</b>	<b>Návrh zařízení</b>	<b>38</b>
A.1	Obvodové zapojení budiče laserové diody .....	38

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1	Absorpce fotonu elektronem [1] .....	4
Obr. 2.2	Spontánní emise po absorbování fotonu [1] .....	5
Obr. 2.3	Stimulovaná emise [1] .....	5
Obr. 2.4	Závislost emitovaného optického výkonu na budícím proudu [1] .....	7
Obr. 2.5	Rozdíl šířky pásma emitovaného záření při spontánní a stimulované emisi [1] .....	7
Obr. 3.1	Struktura homostrukturního laseru [2].....	8
Obr. 3.2	Struktura laseru s jednou heterostrukturou [2] .....	9
Obr. 3.3	Struktura laseru s dvěma heterostrukturami [2].....	9
Obr. 3.4	Laser s rozprostřenou zpětnou vazbou [2].....	9
Obr. 3.5	Rozdíly úhlů divergence plošně a hranově vyzářujícího laseru [2].....	10
Obr. 3.6	Naskenovaný profil svazku z obou typu konstrukcí [2] .....	10
Obr. 4.1	Spektrum diody s Fabry-Perotovým rezonátorem [3] .....	11
Obr. 4.2	Spektrum DFB diody [3] .....	11
Obr. 4.1	L-I charakteristika laserové diody [3].....	12
Obr. 4.2	Závislost L-I charakteristiky na teplotě [3].....	13
Obr. 5.1	Dioda v pouzdře TO [13].....	14
Obr. 5.2	Řez pouzdrem TO [3] .....	14
Obr. 5.3	Laserová dioda Osram SPL 2F81-2S v pouzdře TO220 [14].....	14
Obr. 5.4	Chladič pro pouzdro TO220 [15].....	14
Obr. 5.5	Pouzdro C-mount [16] .....	15
Obr. 5.6	Pouzdro TO3 [17] .....	15
Obr. 6.1	Příklad budiče s použitím časovače NE555 [18] .....	16
Obr. 6.2	Řešení budiče laserové diody s lavinovým tranzistorem [12] .....	17
Obr. 7.1	Blokové schéma iC-HG [9] .....	20
Obr. 7.2	Pouzdro QFN28 [9] .....	20
Obr. 8.1	Blokové schéma laserového budiče s integrovaným obvodem iC-HG ..	21
Obr. 8.2	Schéma zapojení stabilizátorů napětí LM338 a LM317AEMP.....	22
Obr. 8.3	Závislost proudu kanály LDK na napětí na vstupech CI při různých teplotách [9] .....	23

Obr. 9.1	Strany TOP a BOTTOM konstrukčního návrhu DPS 1:1 .....	26
Obr. 9.2	Osazovací plány stran TOP a BOTTOM 1:1 .....	26
Obr. 9.3	Finální podoba osazené desky .....	26
Obr. 10.1	Záření na luminoforu .....	27
Obr. 10.2	Průběhy proudu diodou $I_{LD}$ a napětí na měřicím rezistoru $U_{RM}$ při minimálním možném kontrolním napětí $U_{CI} = 1,25$ V a šířkou impulzu 200 ns .....	28
Obr. 10.3	Průběhy proudu diodou $I_{LD}$ a napětí na měřicím rezistoru $U_{RM}$ při zvýšeném kontrolním napětí $U_{CI} = 2,00$ V a šířkou impulzu 200 ns .....	28
Obr. 10.4	Proudová sonda zaháknutá za prodlouženou nožičku laserové diody ....	29
Obr. 10.5	Měření proudovou sondou .....	29
Obr. 10.6	Měření napětí sondou na měřicím rezistoru $R_M$ .....	29
Obr. 10.7	Průběh krátkého napětíového impulzu $U_{OP}$ na výstupu optického přijímače .....	31
Obr. 10.8	Měření výstupního optického impulzu optickým přijímačem .....	31
Obr. 10.9	Závislost proudu laserovou diodou na kontrolním napětí $U_{CI}$ .....	32

# SEZNAM TABULEK

Tabulka 7.1	Popis vstupů a výstupů obvodu iC-HG.....	20
-------------	--	----

# ÚVOD

Tato bakalářská práce popisuje vznik laserového světla v polovodičovém materiálu a využití tohoto jevu při konstruování laserových diod. Pro pochopení principu funkce laserové diody je v teoretickém rozboru popsán vznik samotného laserového světla v obecné kvantové soustavě. Touto kvantovou soustavou může být i polovodičový materiál, díky čemuž je umožněna konstrukce laserové diody. Tyto diody mohou produkovat laserové světlo s vysokým optickým výkonem, mohou být proto používány v různých průmyslových a biologických aplikacích. Pro výkonové diody se nejčastěji užívá impulzního proudového buzení, kterého lze dosáhnout různými způsoby konstrukce samotných budičů. Pro potřeby vysokofrekvenčního spínání laserové diody práce popisuje několik řešení, které jsou porovnány. Jsou uvedeny výhody a nevýhody každého z nich a je vybráno nejvhodnější řešení, ze kterého se odvíjí samotný návrh celého zařízení.

Práce je členěna do několika kapitol. V Kapitolách 1 – 4 je popsán princip vzniku laserového světla a jeho charakteristiky, dále funkce, jednotlivé části a popis několika typů struktur laserových diod. Kapitola 5 pojednává o druzích pouzder výkonových laserových diod a potřebě jejich chlazení. V Kapitole 6 jsou popsány různé možnosti realizace impulzních budičů laserových diod, Kapitola 7 popisuje integrované řešení budiče a Kapitoly 8 a 9 se již zabývá návrhem samotného budiče podle nejvhodnějšího z řešení. V kapitole 10 je vyhodnoceno měření již funkčního zařízení.

# 1 ZÁKLADY LASEROVÉ TECHNIKY

Laser je zkratkové slovo z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, což v překladu znamená zesilování světla stimulovanou emisí záření. Vznik laserového světla je postaven na zákonech kvantové mechaniky. Laserové světlo je svazek fotonů ideálně s jednou vlnovou délkou – koherentní monochromatické záření. V reálných podmínkách má laser mnohem užší spektrum než jiné světelné zdroje, po kolimaci má nízkou divergenci a je koherentní.

Koherenci je myšleno do jaké míry jsou dva kmitavé děje synchronní, tedy jestli má záření stále stejnou vlnovou délku, stejný směr a neměnný fázový rozdíl jednotlivých paprsků. Koherence se dělí na prostorovou a časovou. Na prostorovou koherenci má vliv velikost zářící plochy, na časovou koherenci monochromaticnost vyzařovaného světla. Úplnou prostorovou koherenci rozumíme stav, kdy fázový rozdíl vlny ve dvou různých bodech je nulový v libovolných časových okamžicích. Úplná časová koherence je určena stejným rozdílem fází v časovém okamžiku v jednom bodě. Koherenční délka určuje vzdálenost, do jaké může světlo ještě interferovat. U polovodičových laserů je tato délka v řádech cm, u kvalitních plynových He-Ne laserů může dosahovat až desítek metrů.

Monochromatické záření pochází z řeckého mono-chromos, v překladu jedna barva. Jedná se o elektromagnetické vlnění, které v ideálním případě obsahuje jen jednu spektrální složku. Ve skutečnosti to však je velice úzký pás frekvencí, jehož šířka určuje míru monochromaticnosti. Laserové světlo je vysoce monochromatické, naopak bílé sluneční světlo je tvořeno širokým souborem spektrálních složek. Monochromaticnost laserového světla je způsobena zesílením elektromagnetické vlny, která má pouze frekvenci  $f_r$  dle vzorce 1.1 a také tím, že ke generaci fotonů dochází pouze při rezonanci rezonátoru.

$$f_r = \frac{(E_2 - E_1)}{h} [3] \quad (1.1)$$

Divergence je zapříčiněna difrakcí světelné vlny při výstupu z laserové diody. Uvnitř diody se světelná vlna pohybuje uvnitř aktivního prostředí, při výstupu z aktivního prostředí dochází k ohybu a vzniká tak rozbíhavost výstupního svazku. Rozdílné délky hran emitující vrstvy způsobují, že se výsledný světelný svazek jeví jako eliptický. Divergence se proto uvádí v úhlových stupních v obou rovinách os elipsy, např.  $40^\circ \times 30^\circ$ . Pro eliminaci divergence se používají čočky, které jsou nejčastěji umístěny již v pouzdru diody. Čočky mohou buď jen eliminovat divergenci a vytvářet kolimovaný svazek, nebo jej mohou fokusovat do ohniska. To však nemusí být jen jedno, ohniska svazku v horizontální a vertikální rovině mohou být v různé vzdálenosti. Tato optická vada se nazývá astigmatismus. Vzdálenost mezi ohnisky je astigmatický rozdíl. I bez této úpravy však má laserové světlo vysokou směrovost, která je zajištěna rezonátorem. Světelné vlny se šíří pouze podél jeho osy, nebo ve směrech od této osy málo odchýlených. Vysokou směrovostí je dána také vysoká zářivost laseru [5]. Častěji se však objevuje parametr optický výkon, což je vyjádřením výkonu přenášeného zářením a je určen energií, která prochází skrz plochu v čase.



Světlo samotné je tvořeno fotony. Foton je elementární částice a zároveň vlnovým klubkem světla. Vlnová délka určuje energii fotonu. Zkracováním vlnové délky se energie fotonu zvětšuje. Existuje pouze v pohybu. Foton může vzniknout přeskokem elektronu mezi energetickými hladinami z vyšší hladiny na nižší, například v aktivním prostředí laseru, což je látka s oddělenými energetickými hladinami elektronů. V ní dochází ke generaci fotonů. Aktivní prostředí může být tvořeno pevnými, kapalnými i plynými látkami. Ke generaci fotonu dochází při přeskoku elektronu z vyšší energetické hladiny na nižší. Aby se elektron dostal na vyšší energetickou hladinu (do excitovaného stavu), musí být vybuzen vhodnou formou energie. Buzení je závislé na druhu použitého aktivního prostředí. Excitační energie se může dodávat optickým zářením, elektrickým výbojem, rekombinací, injekcí nosičů náboje, chemickou reakcí atp. Může být pulzní, nebo kontinuální.

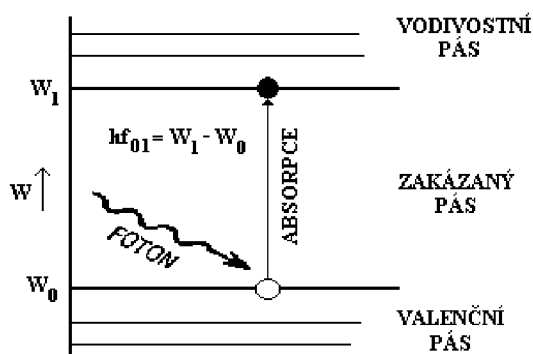
Při správném buzení kvantové soustavy dochází k excitaci, což znamená, že soustava přechází z nižšího do vyššího energetického stavu. Dochází k přeskoku elektronů mezi energetickými hladinami, dostává se do tzv. excitovaného stavu. V tomto stavu však soustava nevydrží dlouho, soustava se snaží být v co nejnižším energetickém stavu. Rozložení energetických hladin je diskrétní, mezi jednotlivými hladinami se nacházejí zakázané pásy. Hustota hladin však bývá tak velká, že se dá považovat za spojitou (kvazispojitě rozložení energetických hladin). Opačný proces excitace se nazývá deexcitace. Při ní se uvolňuje ze soustavy energie, vzniká foton.

## 2 PRINCIP FUNKCE POLOVODIČOVÉHO LASERU

### 2.1 Vznik laserového záření v polovodičích

Základ vzniku laserového světla je založen na absorpci energie kvantovou soustavou a její následné emisi. Při absorbování energie se kvantové soustavy dostávají do excitovaného stavu. Elektron absorbuje energii dopadajícího fotonu a přeskočí na vyšší energetickou hladinu. Energie fotonu musí být tak velká, jaký je rozdíl energií nižší a vyšší energetické hladiny. Pokud je energie menší, k absorpci nedojde. To je patrné z energetického pásového modelu polovodiče.

Na obrázku 2.1 jsou zobrazeny nejvyšší energetické hladiny valenčního pásu, zakázaný pás a hladiny vodivostního pásu. Polovodiče mají šířku zakázaného pásu 1-4 elektronvoltů, což je ideální šířka pro absorpci a emisi světla. Ke všem popisovaným dějům dochází pouze u valenčních elektronů (tzv. optických). Tyto elektrony obsazují nejvyšší energetické hladiny kvantové soustavy. Pokud by mezi energetickými hladinami přeskakovaly elektrony z hlubších vrstev, absorbovaly a emitovaly by se fotony s velmi vysokými energiemi (v řádu MeV), což je rentgenové nebo gama záření.



Obr. 2.1: Absorpce fotonu elektronem [1]

Při absorpci energie fotonu elektronem přeskočí elektron z nižší energetické hladiny na vyšší. Přeskočit však může jen tehdy, je-li energie fotonu rovna rozdílu energií vyšší a nižší energetické hladiny. Musí tedy platit [1]:

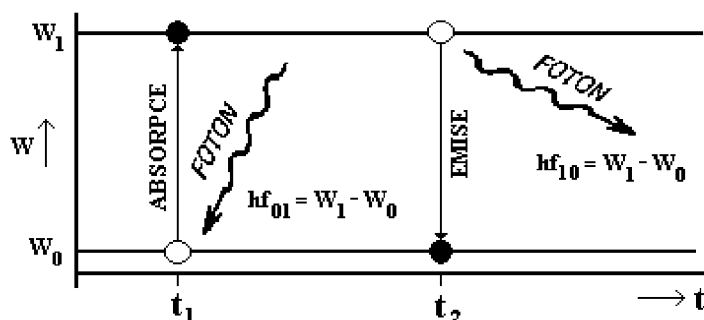
$$h \cdot f_{01} = W_1 - W_0, \quad (2.1)$$

$f_{01}$  je frekvence absorbovaného fotonu,  $h$  je Planckova konstanta

Přeskok z nižší energetické hladiny na vyšší po absorbování energie fotonu je znázorněn na obrázku 2.1.

Na vyšší energetické hladině však elektron nezůstane, po určité době ( $10^{-3}$  až  $10^{-7}$  sekundy [1]) se vrací zpět na nižší energetickou hladinu. Při tomto návratu (deexcitaci) vyzáří foton. To je patrné z obrázku 2.2. Tento foton má stejnou vlnovou délku a

stejnou energii jako foton, jehož působením došlo k excitaci elektronu. Platí tedy že  $f_{01}=f_{10}$ , což je předpoklad spontánní emise.

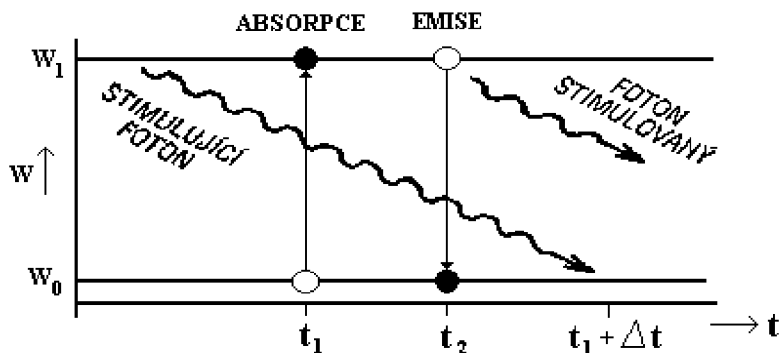


Obr. 2.2: Spontánní emise po absorbování fotonu [1]

Časy  $t_1$  a  $t_2$  určují okamžik absorpce a emise fotonu. Jejich rozdíl není nikdy stejný a závisí na dějích, které probíhají poblíž soustavy (kmitání krystalické mřížky, srážky volných atomů, interakce s fotony) [1]. Vlivem této časové nestálosti je i emise záření nahodilá. Soustava z obrázku 2.2 má jen dvě energetické hladiny, při dopadu světla s různými frekvenčními složkami by byla využita pouze jedna složka, která by vyzářila stejný foton se stejnou vlnovou délkou.

Ve skutečnosti je však v látce obrovské množství kvantových soustav. Když se tyto soustavy ozáří, každá z nich využije tu část světla, jakou potřebuje k excitaci a později se zase vrací do základního stavu při vyzáření odpovídajícího fotonu. Vlivem rozdílných časových úseků  $t_1-t_2$  se jednotlivé fotony vyzářejí nahodile v různé časové okamžiky a různými směry. Vzniká tak nekoherentní světlo s různými fázemi a polarizací kmitů jednotlivých světelných kvant. To se děje ve většině zdrojů produkujících nekoherentní světlo (výbojky, luminiscenční diody [1])

Při stimulované emisi zůstává excitovaný elektron na metastabilní hladině, odkud je do základního stavu sražen stimulujícím fotonem za vzniku dalšího fotonu se stejnou energií, směrem šíření, fází i polarizací vlnění. Obě záření jsou tedy koherentní. Stimulující foton není soustavou absorbován, ale projde a přidá se k němu stimulovaný foton. Toto je znázorněno na obrázku 2.3. Časový úsek  $t_1$  znázorňuje excitaci elektronu,  $t_2$  jeho deexcitaci a  $t_1+\Delta t$  okamžik, kdy by došlo k samovolné deexcitaci bez vlivu stimulujícího fotonu. Tím dochází k zesílení světla. Nutnou podmínkou stimulované emise je inverze populace.



Obr. 2.3: Stimulovaná emise [1]

Inverze populace v okamžiku, kdy se nachází více elektronů na metastabilní hladině. Zdroj neustále dodává energii pro excitaci elektronů a ty se dostávají na metastabilní hladinu, kde vydrží vyčkávat na stimulující foton mnohem déle, než kdyby zůstaly na vyšší energetické hladině [8]. Z metastabilní hladiny jsou naráz sraženy stimulujícím fotonem na základní hladinu a každý elektron emituje jeden foton. Tímto principem je světlo zesilováno. Pokud by nebylo inverze populace dosaženo, látka by se nacházela v rovnovážném stavu, kdy převažuje počet kvantových soustav v základním stavu nad soustavami excitovanými. V tomto případě by se světlo zeslabovalo.

Stimulované fotony působí jako stimulující, excitují další elektrony, z nichž jsou později emitovány další fotony opět stejnou stimulovanou emisí. Takto se světlo opět mnohonásobně zesílí, ovšem fotony jsou emitovány do různých směrů, nevzniká tedy koherentní záření.

## 2.2 Rezonátor

Rezonátor se skládá ze dvou zrcadel, jedno je polopropustné a druhé odrazivé až z 99,9 %. Nejběžnějším a nejjednodušším rezonátorem je Fabry-Perotův rezonátor, což je soustava dvou rovinných zrcadel, která jsou navzájem rovnoběžná. Jako zrcadel se u polovodičových laserů využívá krystalů odštipnutých podle krystalografických rovin.

Při stimulované emisi se fotony pohybují do různých směrů. Při zavedení rezonátoru některé fotony vyletí okamžitě pryč, některé se několikrát odrazí, ale většina fotonů poletí kolmo nebo téměř kolmo na zrcadla. Tímto způsobem budou nevhodně letící fotony neustále zanikat. Počet vhodně letících fotonů bude exponenciálně přibývat a zcela převáží počet nevhodně letících fotonů. Takto se zesílí světlo tvořené fotony letícími ve stejném směru v ose rezonátoru a během odrazu fotonů na zrcadlech dochází k jejich částečnému úniku a vyzařování skrze polopropustné zrcadlo ven z rezonátoru. U polovodičů není nutné používat zrcadla, index lomu na rozhraní vzduchu a polovodičového krystalu má vysokou hodnotu (pro GaAs je  $n=3,34$ ), což stačí k odrazu elektromagnetické vlny.

V dutině rezonátoru dochází k odrazům vln o stěny, jejich interferenci a vzniku stojatého vlnění [6]. Kvůli tomuto jevu se vytváří elektromagnetické pole tzv. modů (vidů). Ty jsou tvořeny vlnovými délkami jsou ve vzájemném vztahu k rozměrům rezonátoru. Rozměry rezonátoru lze vyjádřit jako celistvý násobek půlvln, které se v rezonátoru tvoří. Podélné mody způsobují rozbíhavost světelného svazku. Jejich vlivem je výstupní svazek rozdělen do skupiny sestávající z jednoho hlavního maxima a několika postranních maxim. Pro zlepšení kvality záření se v polovodičových laserech užívají optické prvky jako difrakční mřížky nebo čočky pro snížení rozbíhavosti. [7]

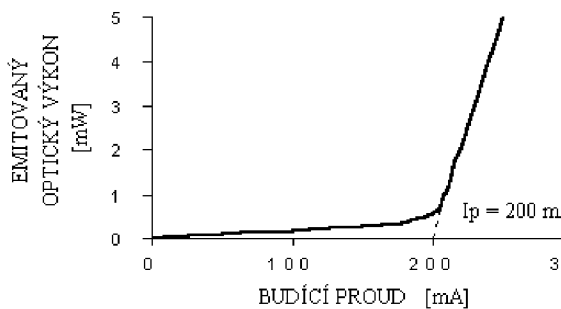
## 2.3 Funkce

Aktivní prostředí laseru v polovodiči vzniká injekcí elektronů a děr z PN přechodu. Zavedením kladné zpětné vazby (nejčastěji Fabry-Perotovým rezonátorem) dochází ke generování optického záření. Při průtoku malého proudu přes PN přechod dochází ke spontánní emisi fotonu, které se šíří s různou fází do všech směrů. Při zvyšování proudu se zvyšuje rychlost zářivé rekombinace a tím více fotonů se generuje. Tyto fotony dále

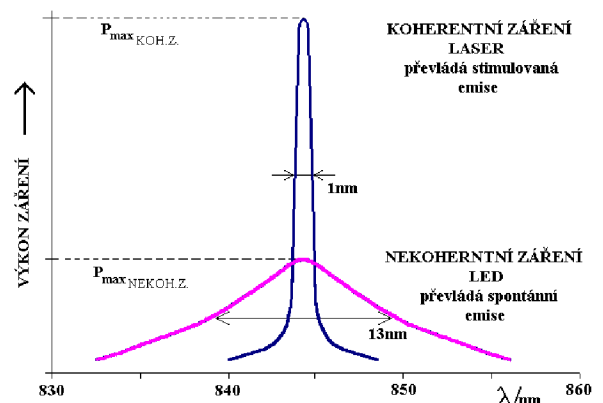
stimulují další rekombinace. Převážná část fotonů má energii rovnající se maximu spektrálního rozdělení, díky čemuž dochází k nejvíce přechodům právě pro tuto energii a roste intenzita vyzařování v oblasti maxima spektrálního rozdělení. Pokud dochází k nelineárnímu růstu vyzařování v závislosti na buzení, dochází k tzv. superluminiscenci. Při superluminiscenci dochází stále ke generování spontánního záření ve všech směrech s různou fází. Laserový režim nastává v momentě, kdy se stimulované záření rovná ztrátám a záření se stává koherentním [1]. Koherentního záření docílíme právě užitím optického rezonátoru, který zesílí elektromagnetickou vlnu o určité frekvenci a fázi. Tímto vznikne v rezonátoru stojaté vlnění.

Ke vzniku světla stimulovanou emisí dochází až s určitou hodnotou procházejícího proudu PN přechodem. Před dosažením tohoto proudu dochází v aktivním prostředí ke spontánní emisi, při které se produkuje jen zanedbatelné minimum světelného výkonu. Bod přechodu mezi spontánní a stimulovanou emisí se nazývá práh, hodnota proudu pak prahový proud ( $I_p$ ) (obrázek 2.4).

Při malých proudech je závislost generace záření na budícím proudu lineární a generované záření je spontánní. Po dosažení prahu prudce narůstá výkon záření, které je díky rezonátoru koherentní. Závislost generace záření na velikosti budícího proudu je opět lineární. Mění se také vyzařovací úhel a zúžení šířky pásma (obrázek 2.5).



Obr. 2.4: Závislost emitovaného optického výkonu na budícím proudu [1]

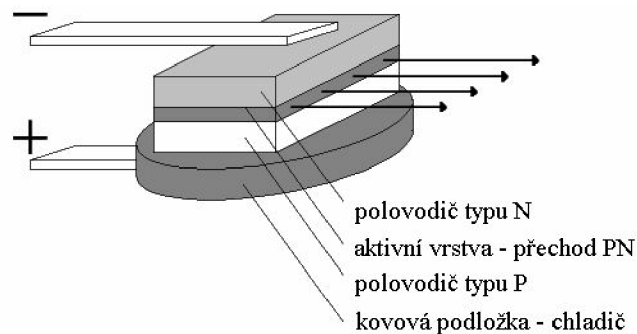


Obr. 2.5: Rozdíl šířky pásma emitovaného záření při spontánní a stimulované emisí [1]

## 3 TYPY LASEROVÝCH DIOD

### 3.1 Homostrukturní lasery

Nejstarší typ polovodičového laseru, poprvé bylo dosaženo koherentního záření v roce 1962 [2]. Aktivní prostředí je tvořeno PN přechodem, jehož šířka je určena difúzní délkou minoritních nosičů. Velká šířka aktivního prostředí (1 až 3 mm) zapříčiňuje potřebu velké prahové hustoty proudu a je nutné chlazení i při malých vyzářených výkonech. Tento typ laseru nemá ani dostatečnou změnu indexu lomu což společně s nízkou potenciálovou bariérou způsobuje velkou ztrátovost vlivem úniku záření z aktivního prostředí do ostatních částí polovodiče. Účinnost je tedy velmi malá. Jeho struktura je zobrazena na obrázku 3.1.



Obr. 3.1: Struktura homostrukturního laseru [2]

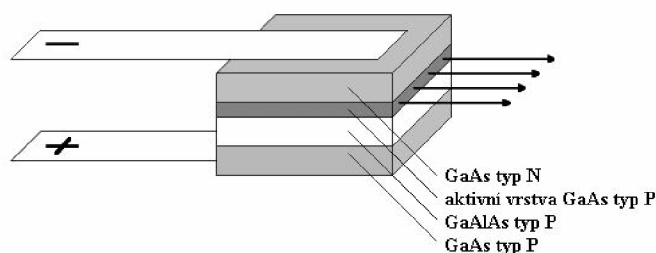
### 3.2 Heterostrukturní lasery

Heteropřechod je tvořen vrstvou s větším energetickým rozdílem mezi vodivostním a valenčním pásem, než má zbytek polovodiče. Zajišťuje skokovou změnu indexu lomu, světlo se lépe udržuje v aktivním prostředí laseru a neuniká do zbytku polovodiče. Díky tomu se minoritní nosiče lépe soustředí v aktivní oblasti a neunikají do okolního polovodiče jako v případě homostrukturního laseru. Tímto se snižují ztráty a je možné zúžit aktivní oblast, čímž se zmenší hodnota prahového proudu. Snižováním proudu se snižuje i teplota a tím pádem se zvyšuje životnost laserové diody [6]. Heterostrukturní lasery se podle počtu heteropřechodů dělí na lasery s jednou heterostrukturou (SingleHL) nebo s dvojitou heterostrukturou (Double HL). Jejich struktury jsou vyobrazeny na obrázcích 3.2 a 3.3.

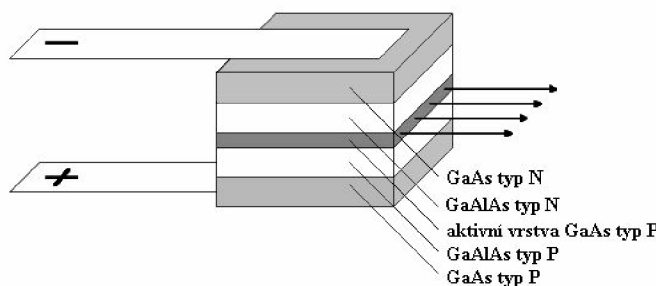
U SHL tvoří aktivní prostředí polovodič typu P, od zbytku P-oblasti je oddělen heterostrukturou. To způsobuje větší skokovou změnu indexu lomu než u homogenního přechodu. Vlnovod, ve kterém se nachází aktivní prostředí, je ohraničen z jedné strany heteropřechodem a ze strany druhé PN přechodem. je tedy asymetrický. Aktivní prostředí je užší, u tohoto typu stačí asi pětina proudové hustoty než u homostrukturních laserů [2].

U DHL je aktivní prostředí ohraničeno heterostrukturou z obou stran, oblast rekombinace je tedy přesně určena. Nedochozí k úniku nosičů do zbytku polovodiče a vzhledem k malé tloušťce aktivního prostředí (až 100 nm) a velkému nahromadění nosičů dochází k přechodu do laserového režimu i při průchodu malých prahových proudů (řádově desítky mA). Účinnost DHL dosahuje až 75 %.

Při hraničení aktivního prostředí tzv. proužkovou geometrií se může zmenšit plocha aktivního prostředí a s ní i hodnoty prahových proudů (10 až 250 mA). Pokud je šířka proužku menší než 15  $\mu\text{m}$ , laser pracuje ve vidu TEM<sub>00</sub> a světlo z něj emitované se pak i jednodušeji navazuje do optického vlákna. [2]



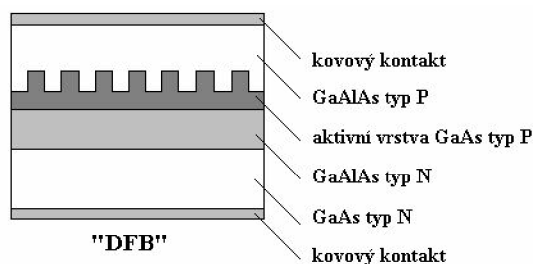
Obr. 3.2: Struktura laseru s jednou heterostrukturou [2]



Obr. 3.3: Struktura laseru s dvěma heterostrukturami [2]

### 3.3 Lasery s rozprostřenou zpětnou vazbou

Rezonátor laseru s rozprostřenou zpětnou vazbou není tvořen zrcadly, ale difrakčními mřížkami, které jsou vyleptány v těsné blízkosti aktivního prostředí. Stejně jako zrcadla zajišťují změnu indexu lomu, odrazy fotonů a zesilování světla. Difrakční mřížka je znázorněna na obrázku 3.4.



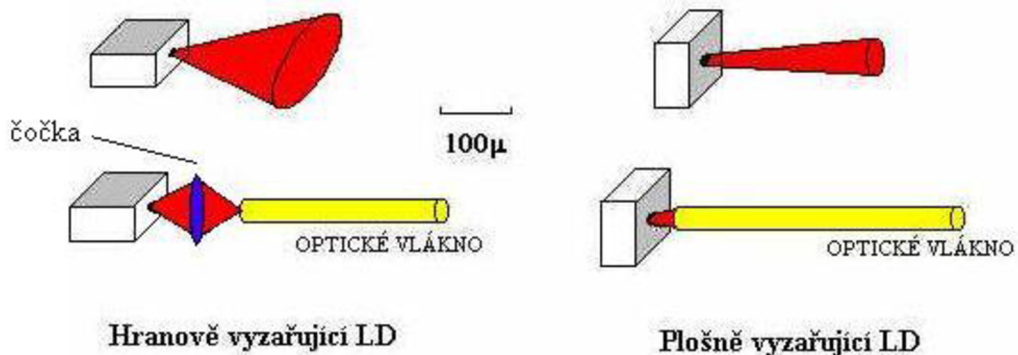
Obr. 3.4: Laser s rozprostřenou zpětnou vazbou [2]

### 3.4 Hranově vyzařující lasery

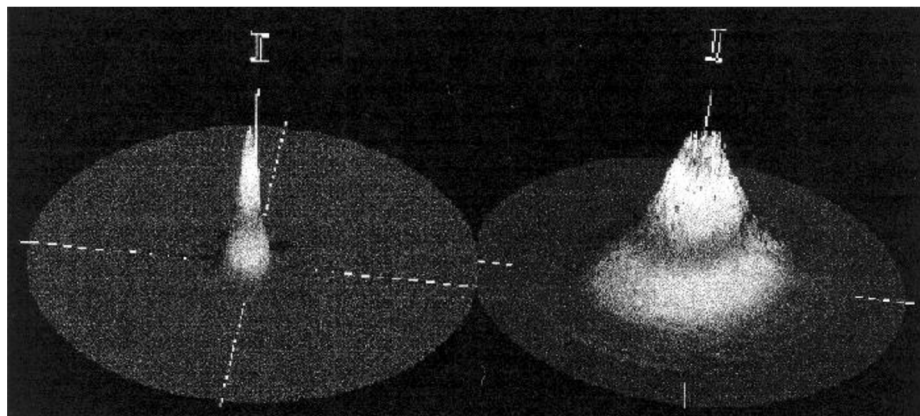
V anglicky psané literatuře se označují zkratkou EEL (Edge Emitting Laser). Tento typ laserů převládá ve výrobě i použití. Záření je emitováno z hrany přechodu. Při navazování do optického vlákna je nutné použít optiku. Výstupní světelný svazek má eliptický průřez a úhel divergence se určuje pro každou osu elipsy (například  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ).

### 3.5 Plošně vyzařující lasery

V anglicky psané literatuře se označují zkratkou VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser). Světlo je emitováno plošně a výstupní svazek má kruhový průřez. Tato plocha je rovnoběžná s rovinou přechodu. Tato konstrukce je mnohem účinnější než hranově vyzařující lasery a není nutné při navazování do optického vlákna používat optické elementy kvůli malému úhlu divergence (cca  $10^\circ$ ). Tento rozdíl mezi hranově a plošně vyzařujícím laserem je zobrazen na obrázcích 3.5 a 3.6. Z tohoto důvodu se začíná tento typ laserů uplatňovat více než hranové lasery, také se na tento typ diod soustřeďuje současný vývoj.



Obr. 3.5: Rozdíly úhlů divergence plošně a hranově vyzařujícího laseru [2]



Obr. 3.6: Naskenovaný profil svazku z obou typu konstrukcí [2]



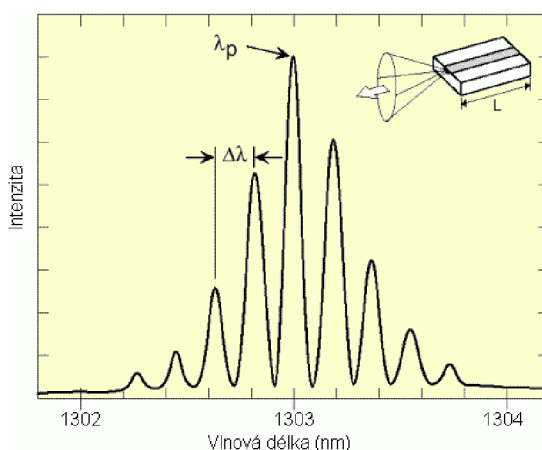
# 4 CHARAKTERISTIKY LASEROVÝCH DIOD

## 4.1 Spektrum laserových diod

Laserová dioda má na rozdíl například od LED diody, která má šířku spektra až 100 nm, velice úzké spektrum (v řádu jednotek až desítek nm), což snižuje zkreslení signálu při přenosu optickým vláknem.

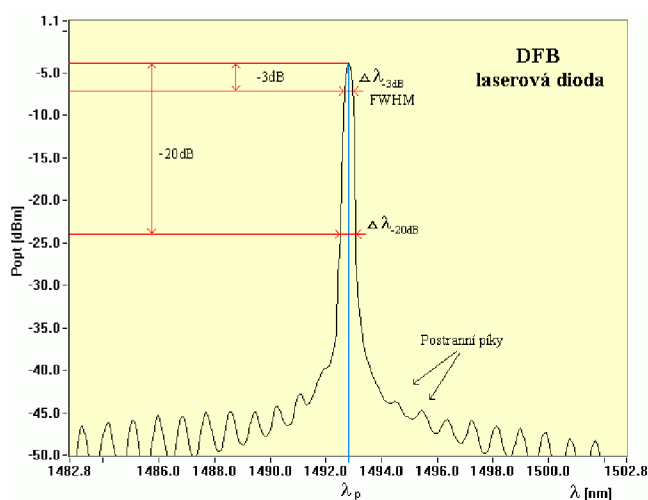
Spektrum laserové diody se skládá z několika spektrálních špiček, jedné hlavní ( $\lambda_p$ ) a několika postranních (obrázek 4.1). Postranní špičky vznikají existencí podélných vidů v rezonátoru. Vzdálenost mezi jednotlivými vidy ( $\Delta\lambda$ ) je určena délkou rezonátoru  $L$ , vlnovou délkou světla  $\lambda$  a indexem lomu  $n$  podle vztahu 4.1 [3]:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nL} \quad (4.1)$$



Obr. 4.1: Spektrum diody s Fabry-Perotovým rezonátorem [3]

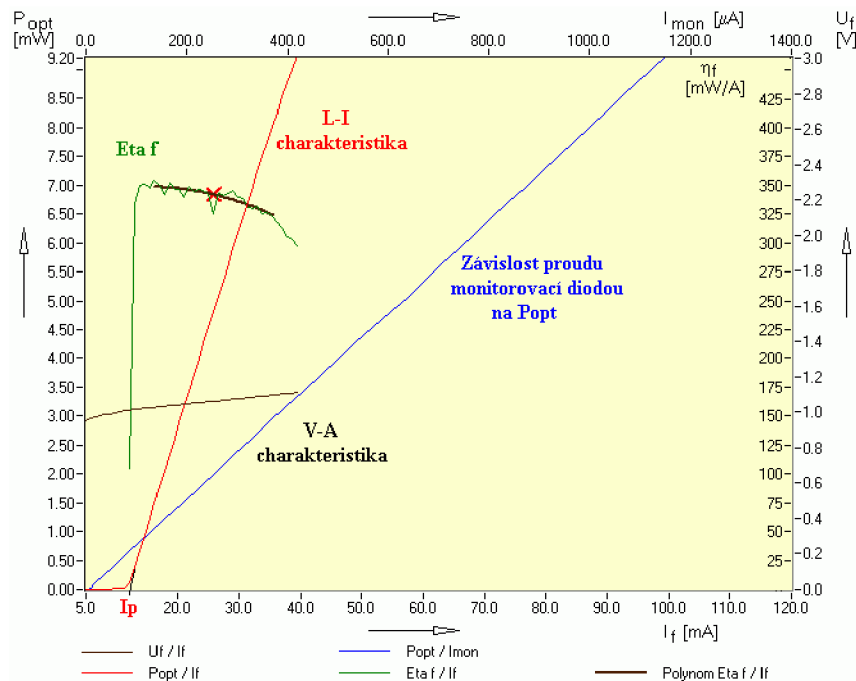
U laserů s rozprostřenou zpětnou vazbou (DFB) se dosáhlo výrazné hlavní špičky a velkému potlačení postranních špiček, což zlepšuje monochromatické vlastnosti světla a vlastnosti, které na ní závisí (Obrázek 4.2).



Obr. 4.2: Spektrum DFB diody [3]

## 4.2 L-I Charakteristila

Nejdůležitější charakteristikou laserové diody je L-I charakteristika, jejíž průběh je znázorněn na obrázku 4.3. Určuje závislost optického výkonu na protékajícím proudu. Měření L-I charakteristiky probíhá při několika různých teplotách, nejčastěji 0 °C (u DFB laserů), 25 °C – pokojová teplota a 85 °C – vysoká teplota. Tyto teploty musí být stabilizované po celou dobu měření, k tomu se využívají Peltierovy články.



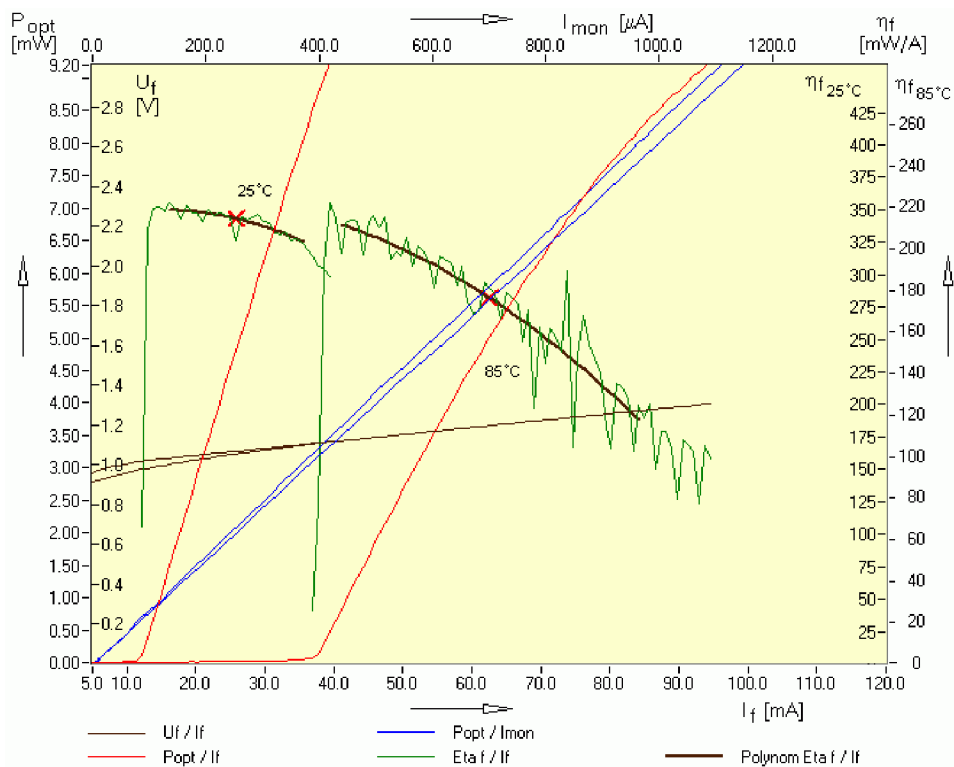
Obr. 4.3: L-I charakteristika laserové diody [3]

K určení prahového proudu se používá metoda lineární extrapolace. L-I charakteristika se v hodnotách nad změřeným prahovým proudem proloží přímkou. Za prahový proud je poté považována hodnota, kde se přímka protнула s proudovou osou.

Prahový proud se vzrůstající teplotou exponenciálně roste, což je jisté zhoršení vlastností (snaha je o dosažení co nejnižšího prahového proudu). S rostoucí teplotou se však zhoršují i jiné vlastnosti laserových diod, dochází k nežádoucím procesům v polovodiči, při kterých se světlo mění na teplo (Obrázek 4.4). Zhoršení vlastností za vyšších teplot charakterizuje parametr Charakteristická teplota  $T_0$ . Pro její určení je právě nutné měření ve dvou různých teplotách. Charakteristická teplota  $T_0$  je určena empirickým vztahem [3]:

$$T_0 [^{\circ}\text{C}] = \frac{T_h - T_l}{\ln\left(\frac{I_{Ph}}{I_{Pl}}\right)} \quad (4.2)$$

- $T_h$  ... vysoká teplota
- $T_l$  ... nízká teplota
- $I_{Ph}$  ... prahový proud při vysoké teplotě
- $I_{Pl}$  ... prahový proud při nízké teplotě



Obr. 4.4: Závislost L-I charakteristiky na teplotě [3]

Další důležitou charakteristikou laserové diody je sklon L-I charakteristiky (Slope efficiency – diferenciální citlivost/účinnost). Například pro telekomunikační aplikace je nutné, aby se při změně proudu o 10 mA nad prahovým proudem změnila intenzita světla o 1 mW. Podíl změny optického výkonu ke změně proudu se nazývá Eta f (vztah 4.3 [3]).

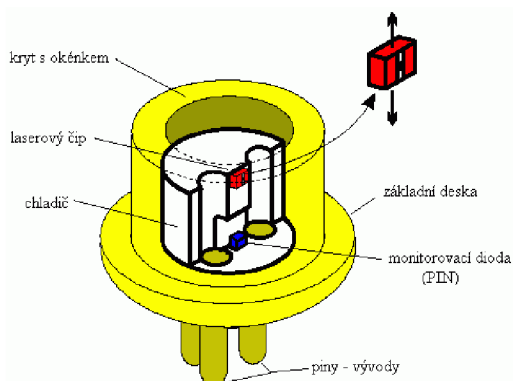
$$Eta f = \frac{dP}{dI} [mW \cdot A^{-1}] \quad (4.3)$$

## 5 POUZDŘENÍ VÝKONOVÝCH LASEROVÝCH DIOD

Hlavním účelem pouzdra laserové diody je její ochrana během manipulace, odvod tepla a přichycení optiky. U laserové diody je možno využít vlastnosti, že záření je emitováno do dvou směrů z aktivní oblasti. V jednom směru je to hlavní světelný svazek a svazek v opačném směru se může použít pro monitorování optického výkonu. K tomuto účelu může být v pouzdře umístěna i monitorovací fotodioda (PIN).



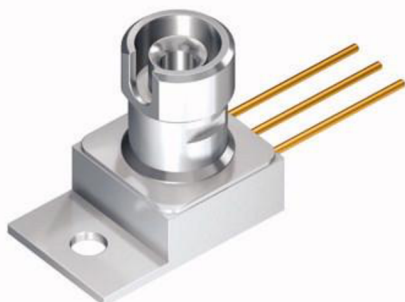
Obr. 5.1: Dioda v pouzdře TO [13]



Obr. 5.2: Řez pouzdrem TO [3]

Laserové diody, zvláště výkonové, produkují také teplo, které je nutné odvádět. Tomu je přizpůsobeno také pouzdro diody. Pro odvádění tepla při nižších výkonech stačí využít k chlazení samotné pouzdro (diody ve válcovém pouzdře TO – obrázky 5.1 a 5.2). Na toto pouzdro se dá dodatečně nasunout válcový chladič, při vysokých výkonech je však toto řešení nedostatečné a je třeba použít přídavný chladič. Pro tyto případy se používají pouzdra TO220 nebo pouzdra typu C-mount.

Robustní pouzdro TO220 (Obrázek 5.3) je velice často používané pro různé výkonové integrované obvody od tranzistorů až po stabilizátory napětí, je uzpůsobeno k co nejlepšímu odvodu tepla a existuje velké množství různých chladičů přímo pro použití v kombinaci se součástkami v pouzdře TO220 (Obrázek 5.4).



Obr. 5.3: Laserová dioda Osram SPL 2F81-2S v pouzdře TO220 [14]

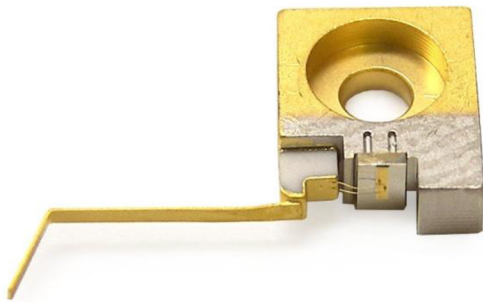


Obr. 5.4: Chladič pro pouzdro TO220 [15]

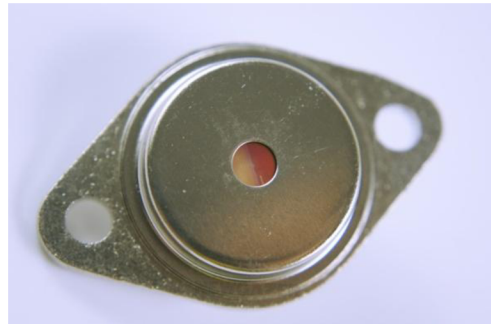
Pouzdrění typu C-mount (Obrázek 5.5) se užívá pro vysoce výkonné diody. Ke kovovému kontaktu s katodou diody je přichycen drátový přívod, jako kontakt anody se používá celý měděný chladič, který je možné šroubem přichytit k přídavnému chladiči obdobně jako pouzdro TO-220. Laserová dioda je však obnažená a tedy méně chráněná proti mechanickým vlivům

Méně často se používá i pouzdro TO-3 (Obrázek 5.6), používané pro tranzistory a jiné výkonové polovodičové součástky. Toto pouzdro poskytuje velice kvalitní odvod tepla díky velké ploše. Velikost může být však i nevýhodou, což společně s vyšší cenou takto pouzdrěných diod neprospívá jejich výraznému používání a objevují se tedy pouze ve specializovaných případech.

V jednom pouzdře může být společně s laserovou zabudována i monitorovací fotocitlivá dioda, která umožňuje monitorování optického výkonu. To se hodí v případě potřeby udržovat konstantní optický výkon. U výkonových diod ovšem bývá jen výjimečně. Tyto diody se nejčastěji používají v pulzním režimu, při kterém světelný výkon není konstantní a není tedy co monitorovat.



Obr. 5.5: Pouzdro C-mount [16]

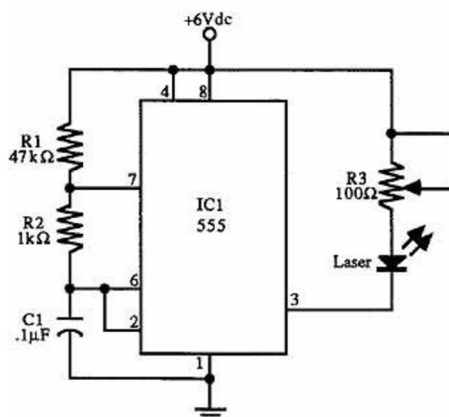


Obr. 5.6: Pouzdro TO3 [17]

# 6 SPÍNÁNÍ VÝKONOVÝCH LASEROVÝCH DIOD

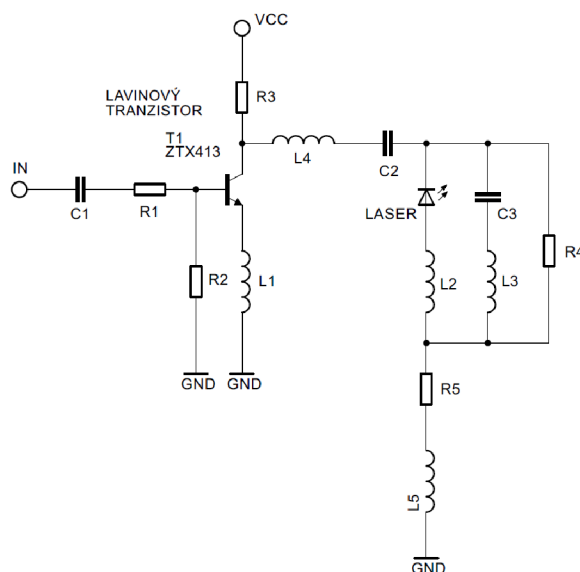
## 6.1 Spínače z diskretních součástek

Pro spínání laserových diod v pulsním režimu je možné využít několik různých možností. Pro nízkovýkonové laserové diody lze použít velmi jednoduchých řešení, například časovače NE555 zapojeného jako astabilní klopný obvod [18] (Obrázek 6.1). Časovač se dá využít pro spínání laserů o velice malých výkonech, dá se však použít jako generátor řídicích signálů při použití tranzistorového spínače. Velice rychlého spínání lze dosáhnout použitím vysokofrekvenčních tranzistorů. Všechny takto řešené zdroje však nemusí poskytnout dostatečně velký proud pro výkonové lasery.



Obr 6.1: Příklad budiče s použitím časovače NE555 [18]

Částečně tento problém řeší použití výkonových či lavinových tranzistorů, které jsou schopny pracovat s proudy o velikostech v řádu jednotek i desítek ampérů. Na obrázku 6.2 je znázorněn laserový budič s využitím lavinového tranzistoru jako spínače doporučený v aplikačních poznámkách diody Osram SPL PL90 [12]. Toto řešení umožňuje spínat proudy o velikosti až 120 A.



Obr. 6.2: Řešení budiče laserové diody s lavinovým tranzistorem [12]

Ke spínání laseru dochází při vybíjení kondenzátorů. Ty se opět nabíjí v době mezi dvěma pulzy. Při zvyšování kapacity kondenzátorů se prodlužuje doba pulzu dle závislosti proudu po určitou časovou dobu na napětí a kapacitě, která je dána vztahem [12]:

$$C \cdot U = I_{pulse} \cdot t \quad (6.1)$$

kde  $C$  je kapacita kondenzátoru,  $U$  napětí při proudovém pulzu,  $I_{pulse}$  velikost proudového pulzu a  $t$  jeho délka, který po vyjádření času přechází do tvaru

$$t = \frac{C \cdot U}{I_{pulse}} \quad (6.2)$$

S použitím tohoto zapojení lze dosáhnout šířky proudových pulzů až 4 ns, jejich frekvence je však omezená nutností nabíjení kondenzátorů, aby byly schopny produkovat takto velké proudové pulzy. Maximální frekvence pulzů je 50 kHz.

Při využití výkonových tranzistorů proudové pulzy nejsou tak vysoké, avšak lze dosáhnout o něco vyšších frekvencí. Při příliš velké rychlosti spínání se tranzistory nestačí otvírat, čímž dochází k výkonovým ztrátám, nejsou tedy vhodné pro vysokofrekvenční použití.

Řešení spínače sestaveného z diskretních součástek zvětšuje velikost celého zařízení. Dalším problémem je, že žádná součástka se nedá vyrobit úplně dokonale čím více diskretních součástek se v obvodu nachází, tím více hrozí nebezpečí vlivu spousty různých odchylek a nedokonalostí, které můžou mít vliv na funkci obvodu jako celku. Specifické integrované obvody již obsahují různé druhy ochran, například tepelné pojistky, přepětové pojistky, proudová omezení.

## 6.2 Speciální integrované obvody pro spínání laserů

Pro spínání vysoce výkonných laserových diod v pulzním režimu, kdy je potřeba dosáhnout vysokých frekvencí je třeba použít integrované obvody konstruované přímo pro tuto potřebu. Použití specializovaného integrovaného obvodu umožňuje miniaturizaci provedení celého zařízení, přesné nastavení všech potřebných parametrů pro buzení diody (napájecí napětí, proud, šířka pulsu, atd...), čehož by se s klasickými diskrétními součástkami dosáhlo jen velice těžko. Umožňují také kombinování s TTL nebo LVDS číslicovými obvody, které generují řídicí impulsy. Díky tomuto řešení je možné řídit laserovou diodu s pomocí programovatelných mikrokontrolérů.

Mezi výrobce těchto integrovaných obvodů patří Analog Devices, Texas Instruments a Maxim Integrated ze Spojených Států Amerických, či iC-Haus z Německa. Kompletní zařízení pracující s lasery produkuje společnost Newport z Velké Británie

Společnosti AD, TI a Maxim produkují celou škálu integrovaných obvodů pro různá využití a jejich výrobky nejsou tak specializované, jako výrobky společnosti iC-Haus, která se zaměřuje na integrované obvody výhradně pro optoelektroniku. Pro potřebu konstrukce budiče výkonové laserové diody s vysokou frekvencí spínání je tedy vhodné využít integrovaný obvod z produkce firmy iC-Haus.

Je nutné dosáhnout: -co nejvyšší frekvence  
-dostatečného proudu pro buzení výkonové laserové diody

## 6.3 Možné obvody z produkce firmy iC-Haus

### IC-HB

- Tříkanálový obvod vhodný pro laserové tiskárny, přenos dat a pro zařízení
- pouzdro QFN24
- LVDS nebo TTL řídicí vstupy
- 300 mA na kanál při pulzním režimu
- pulzní režim do 155 MHz
- tepelná pojistka

### IC-HG

- šestikanálový obvod pro buzení plynových laserů lasery polovodičovými, laserovou projekci, přenos dat a Laser TV
- pouzdro QFN28
- LVDS nebo TTL řídicí vstupy (3x2 řídicí vstupy při LVDS řízení, 6x1 při TTL řízení)
- 1,5 A na kanál při pulzním režimu
- možnost paralelního spojení kanálů, celkový proud 9 A při pulsním režimu



- pulzní režim do 200 MHz
- tepelná pojistka

## **IC-HK**

- jednoduchý jednobaný obvod pro přenos dat a laserová snímací zařízení
- pouzdra SO8 nebo MSOP8
- 700 mA při pulzním režimu
- pulzní režim do 155 MHz
- tepelná pojistka

## **IC-HTP**

- dvoukanalový programovatelný obvod pro laserové diody a LED moduly a zařízení pro 3D mapování
- pouzdro QFN28
- vestavěný programovatelný logaritmický snímač proudu
- sériové rozhraní pro programování (SPI nebo I<sup>2</sup>C kompatibilní)
- programovatelná ochrana laserové diody
- možnost práce s i bez mikrokontroléru
- 1,5 A při kombinaci obou kanálů

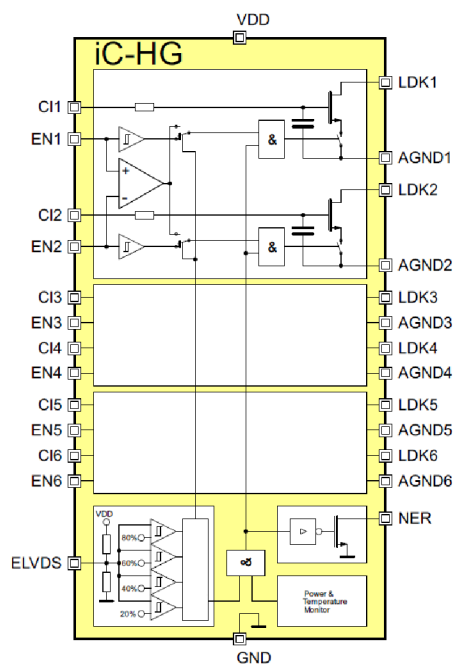
## **IC-NZ**

- jednobaný obvod pro zabezpečovací aplikace
- přepínání proudů laserové diody od 100 do 320 mA
- pulzní režim do 155 MHz
- samostatné nastavení laseru přes externí rezistory
- autonomní obvod pro další monitorovací diodu
- chybový výstup

Zadání projektu vyžaduje co nejvyšší možnou frekvenci, strmé nástupné a sestupné hrany optického impulzu a možnost spínat velké proudy. Tomu nejlépe vyhovuje integrovaný obvod iC-HG, který může pracovat do frekvence 200 MHz, doba nástupné a sestupné hrany je dle datového listu 1 ns.

## 7 INTEGROVANÉ ŘEŠENÍ BUDIČE

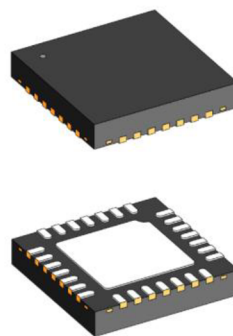
Integrovaný obvod iC-HG výrobce iC-Haus je vytvořen speciálně pro laserovou projekci, laserovou televizi, přenos dat, systémy pro měření vzdálenosti a LIDAR měřicí systémy (Light Detection And Ranging) nebo pumpování (buzení) plynových laserů. Jeho blokové schéma je zobrazeno na obrázku 7.1. Je schopen pracovat do frekvence 200 MHz, řízení spínání je realizováno vstupy pro signál TTL nebo LVDS. Při spínání pomocí signálu TTL lze využít 6 nezávisle spínaných kanálů, při LVDS je vždy jeden pár kanálů řízený jedním řídicím signálem. Toto vychází z podstaty LVDS (Low Voltage Differential Signaling). Na řídicí vstup je třeba přivést jeden pár rozdílových signálů, které jsou navzájem komplementární. Proto i výstupní kanály pracují v páru synchronně, nebo je možné tuto dvojici spojit do jednoho kanálu. V případě řízení jedním TTL signálem (využití jednoho řídicího vstupu), nebo jedním párem LVDS signálů (využití dvou řídicích vstupů) lze tyto signály rozvést a současně spínat všechny kanály synchronně, nebo všechny kanály spojit a znásobit tak maximální proud, jaký je obvod schopen spínat. To jsou 3 A (500 mA na kanál) při kontinuálním režimu nebo až 9 A (1,5 A na kanál) při pulsním režimu. Při těchto extrémních hodnotách se však projevují teplotní závislosti a zařízení nemusí pracovat za všech okolností vždy stejně. V případě potřeby získat velmi vysoké proudy lze spojit i několik obvodů iC-HG paralelně. Velikost proudu je nastavena speciálním vstupem, obvod je tedy zdroj proudu řízený napětím. Obvod je pouzdřen v pouzdru QFN28 s rozměry 5 mm x 5 mm (Obrázek 7.2), má vlastní tepelnou pojistku.



Obr. 7.1: Blokové schéma iC-HG [9]

Tab. 7.1: Popis vstupů a výstupů obvodu iC-HG:

C11..6	-nastavení proudu
EN1..6	-vstupy pro řídicí signály
LDK1..6	-katoda laserové diody
AGND1..6	-analogová zem kanálů
VDD	-napájení obvodu
ELVDS	-nastavení pomalého spínání
NER	-výstup indikace chyby
GND	-uzemnění obvodu



Obr. 7.2: Pouzdro QFN28 [9]

## 8 OBVODOVÝ NÁVRH

Jádrem celého zařízení je integrovaný obvod pro spínání laserových diod iC-Haus iC-HG. Je napájen stejnosměrným napájením 5 V. Toto napětí je přivedeno z pevného stabilizátoru napětí LM2940CT-5. Tento stabilizátor je schopen dodávat proud až 1 A, což je zcela dostačující. Integrovaný obvod má při frekvenci 200 MHz proudový odběr 700 mA. Má vlastní tepelnou pojistku, jejíž sepnutí je signalizováno zhasnutím indikační diody.

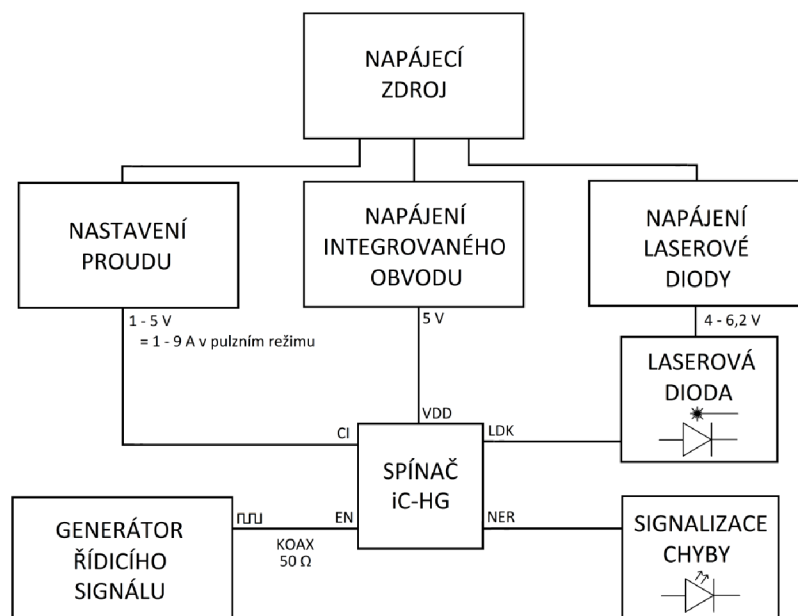
Pro účely návrhu a vývoje budiče bude v obvodu použita vysoce výkonná laserová dioda Osram SPL PL90 konstruovaná speciálně pro pulzní režim s vysokou frekvencí spínání. Její maximální optický výkon je 30 W, operační napětí se pohybuje v rozmezí 3,3 – 5,3 V a pracovní proud 1 – 40 A. Hodnota prahového proudu diody Osram SPL PL90 je 1 A. Pro její napájení je využit stabilizátor napětí LM338 s nastaveným napětím 7 V s proudovou zatížitelností do 5 A.

Proud je nastavován přivedením napětí na regulační vstup integrovaného obvodu. Velikost tohoto napětí je nastavována stabilizátorem LM317AEMP v rozsahu cca 1 – 5 V, což odpovídá proudovému rozsahu od prahového proudu laserové diody (1 A) až po maximální proud, s jakým může pracovat integrovaný obvod iC-HG (až 3 A v kontinuálním režimu).

Řídicí signál je k zařízení přiveden koaxiálním kabelem, k samotnému integrovanému obvodu je signál přiveden mikropáskovým vedením s impedančním přizpůsobením.

Pro nepřímé měření proudu je před zemní smyčkou laserové diody umístěn rezistor  $R_M$ , na kterém je měřeno napětí a přes známou hodnotu jeho odporu je vypočítán proud.

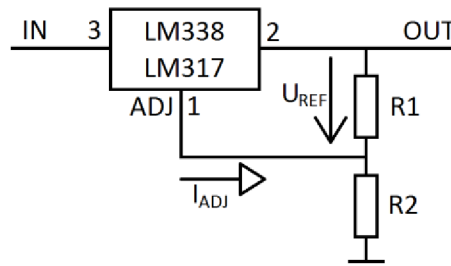
Blokové schéma celého zařízení je na obrázku 8.1.



Obr. 8.1: Blokové schéma laserového budiče s integrovaným obvodem iC-HG

## 8.1 Napájení diody

Pro napájení této laserové diody je využit třívorkový stabilizátor napětí LM338, v kombinaci s blokem čtyř kondenzátorů. Svorka 3 je pro vstupní napětí, svorka 2 pro výstupní a svorka 1 pro nastavení velikosti výstupního napětí rezistory. Výstupní napětí tohoto stabilizátoru je nastaveno dvěma rezistory v datovém listu označenými jako  $R_1$  a  $R_2$ . Zapojení je znázorněno na obrázku 8.2.



Obr. 8.2: Schéma zapojení stabilizátorů napětí LM338 a LM317AEMP

Výstupní napětí je v závislosti na velikostech rezistorů stanoveno vztahem [10]

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 \quad (8.1)$$

kde  $U_{REF}$  je referenční napětí mezi svorkami 1 a 2 a má pevnou hodnotu 1,25 V,  $I_{ADJ}$  je proud svorkou 1 s pevnou hodnotou 0,1 mA,  $R_1$  a  $R_2$  jsou velikosti odporů, kterými je nastaveno výstupní napětí.

Rezistor  $R_1$  je ve schématu realizován rezistorem  $R_{N11}$  a  $R_2$  rezistorem  $R_{N12}$ . Při užití rezistorů  $R_{N11} = 120 \Omega$  a  $R_{N12} = 560 \Omega$  které odpovídají hodnotám odporových řad, je nastaveno napětí 7,1 V což je v souladu s rozsahem úbytku napětí na diodě a integrovaném obvodu iC-HG uvedených v datových listech s možnou rezervou.

Tento stabilizátor je možné proudově zatížit až do 5 A, což je dostatečná hodnota pro práci výkonové laserové diody v pulzním režimu.

## 8.2 Nastavení proudu protékajícího diodou

Obvod iC-HG dokáže v ideálním případě pracovat s proudem 500 mA na kanál, při paralelním spojení všech kanálů až 3 A v kontinuálním režimu. Kvůli poklesu maximálního výstupního proudu při zvýšení teploty obvodu (průběhy na obrázku 8.3) je vhodnější brát v úvahu nejhorší možný případ, tedy 2 A. Při pulzním režimu je třeba pro zjištění maximální hodnoty proudu přepočítat v závislosti na střídě řídicího signálu dle vztahu [9]

$$I_{pulse} = I_{CW} \cdot \sqrt{\frac{T}{t}} \quad (8.2)$$

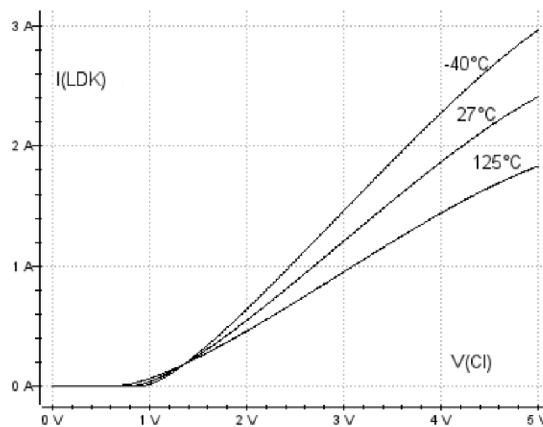
kde je  $I_{pulse}$  proud při pulzním režimu,  $I_{CW}$  odpovídající proud při kontinuálním režimu,  $T$  perioda a  $t$  délka pulsu.

Při uvažování řídicího signálu se střídou 1:4 vychází maximální hodnota proudu na 4 A. V případě dosažení ideálních podmínek a zvýšení proudu až k hodnotě 3 A má dioda dostatečnou rezervu (až 40 A) a nehrozí její zničení.

Proud diodou je vhodné regulovat od hodnoty jejího prahového proudu až po maximální hodnotu proudu, se kterým může pracovat integrovaný obvod. Nastavení tohoto proudu je realizováno přivedením napětí o určité hodnotě na vstup CI integrovaného obvodu. K tomuto účelu je využito třisvorkový stabilizátor napětí LM317AEMP. Tento stabilizátor je velice podobný stabilizátoru LM338. Výstupní napětí se nastavuje stejným způsobem (pomocí dvou rezistorů, obrázek 8.2). Výpočetní vztah pro LM317 je totožný, tedy [11]:

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 \quad (8.3)$$

Rezistor  $R_1$  je ve schématu realizován rezistorem  $R_{N31}$  a rezistor  $R_2$  potenciometrem  $R_{N32}$ . Při užití rezistoru  $R_{N31} = 82 \Omega$  a potenciometru  $R_{N32} = 250 \Omega$  které odpovídají hodnotám odporových řad, je nastaveno rozpětí napětí 1,25 – 5,1 V, které určuje proud diodou v celém rozsahu od prahového proudu diody až po maximální proud integrovaného obvodu.



Obr. 8.3: Závislost proudu kanálu LDK na napětí na vstupech CI při různých teplotách [9]

### 8.3 Řízení šířky pulsu a frekvence spínání

Pro řízení pulzního režimu je na vstupy EN1..6 přiveden obdélníkový signál koaxiálním kabelem z funkčního generátoru. Tento kabel je připojen SMA konektorem. Vzhledem k vysoké frekvenci musí být vedení před vstupem EN1..6 impedančně přizpůsobeno, aby nedocházelo k odrazům vlny. To je provedeno přizpůsobovacím  $50\Omega$  rezistorem, ve schématu označeném jako  $R_p$ . Ze stejného důvodu musí být i přívod konstruovaný jako mikropáskové vedení s odpovídajícími rozměry.

### 8.4 Signalizace chyby integrovaného obvodu

Z integrovaného obvodu je vyveden výstup pro signalizaci chyby NER. Aktivuje se v okamžiku nízkého napájecího napětí nebo v případě sepnutí tepelné pojistky. Tato

pojistka je sepnuta v případě, že teplota integrovaného obvodu přesáhne 130 °C. Tímto dojde k odpojení všech kanálů LDK. K vypnutí tepelné pojistky dojde, když teplota klesne pod 120 °C.

## **8.5 Konstrukční poznámky**

Výkonová dioda pro svoji funkci potřebuje velké proudy. Zadáni vyžaduje relativně vysokou frekvenci spínání. Při konstrukčním návrhu je nutno minimalizovat vlastní indukčnost obvodové smyčky, kterou teče proud laserové diody. Ta je tvořena vedením přes laserovou diodu, integrovaný spínač a skrz zemní plochu přes blokovací kondenzátory zpět k diodě. Laserovou diodu a kondenzátory je tedy potřeba umístit co nejbližší k integrovanému obvodu. Dále je vhodné mezi katodu a anodu laserové diody antiparalelně zapojit rychlou diodu (ve schématu označená jako D1), čímž se omezí napěťové špičky při vypínání proudu parazitní indukčností. Způsoby minimalizace vlivu indukčností a jejich důsledků jsou doporučeny v aplikačních poznámkách integrovaného obvodu [9].

## 9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Konstrukční návrh koresponduje s návrhem obvodovým. Je snaha logicky a funkčně rozložit jednotlivé části obvodu. Rozložení jednotlivých částí je dáno prostorovým řešením pouzdra a vývodů spínače iC-HG. Jedná se o oddělené větve pro napájení spínače iC-HG, řízení spínání, napájení laserové diody, nastavení spínaného proudu. V následujících odstavcích je popsána deska plošných spojů (DPS) v pořadí odshora dolů vzhledem k jejímu zobrazení na obrázcích 9.1, 9.2 a 9.3. Pro správnou funkci zařízení je velice důležité provedení konstrukčního návrhu, především je nutná minimalizace plochy, kterou obepíná proudová smyčka mezi napájením, laserovou diodou, spínačem a rozvodem zemního potenciálu. Z tohoto důvodu byla deska navrhována jako dvouvrstvá s dostatečným množstvím prokovů pro dosažení minimální indukčnosti.

Napájení samotného čipu je vedeno z jeho horní strany, kde dochází ke křížení s chybovým výstupem a řídicím vstupem. Pro napájení čipu slouží stabilizátor LM2940 s pevnou hodnotou napětí, jeho vstup je napojen na centrální rozvod od svorkovnice po levé straně desky. Rozvod vede od horní části desky až úplně dolů a přivádí napětí na vstupy všech dalších stabilizátorů.

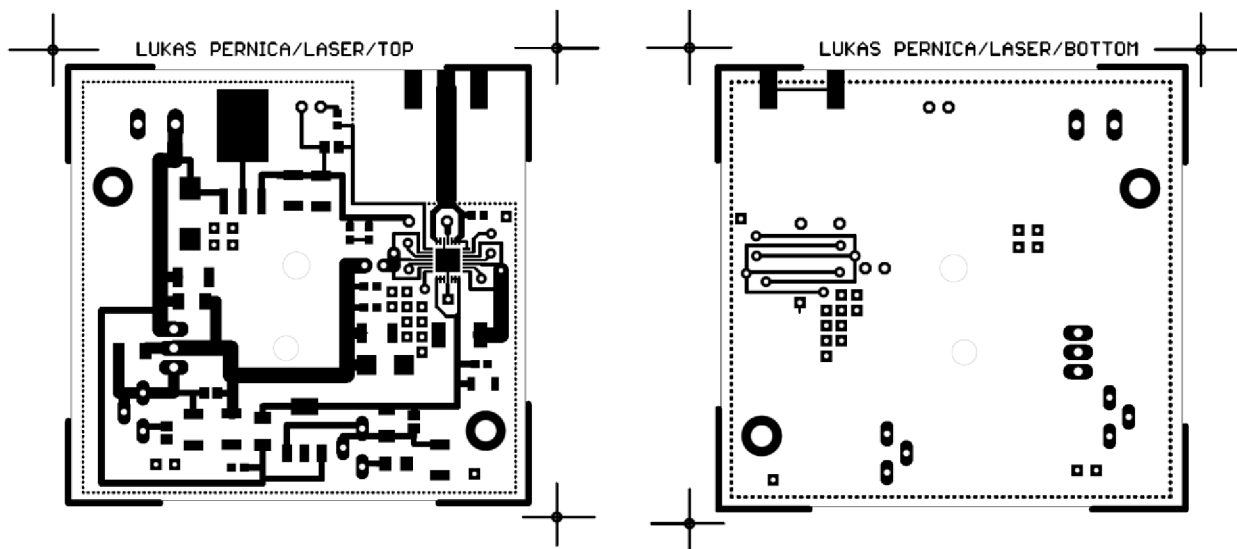
Pro řízení spínání je z vrchní strany desky přivedeno vedení na řídicí vstup spínače. Jednotlivé řídicí piny jsou umístěny po obou stranách napájecího pinu, těsně před čipem bylo potřeba toto vedení rozvětvit a obejít napájení.

Výkonová proudová smyčka od kondenzátorů přes laserovou diodu vstupuje do čipu z levé strany, prochází čipem a na jeho pravé straně opět vystupuje ven, prochází přes měřicí  $50\text{m}\Omega$  rezistor a vrací se přes co nejkratší rozvedení zemního potenciálu zpět ke kondenzátorům. Smyčka je napájena stabilizátorem LM338 s možností přesného nastavení výstupního napětí víceotáčkovým trimrem. Vstup stabilizátoru je stejně jako předchozí připojen na centrální rozvod od svorkovnice. Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé kanály spínače se nachází po pravé i levé straně, vzájemné paralelní spojení jejich vstupů a výstupů je provedeno hřebenovým pospojováním přes zadní stranu desky s prokovy a zpět na stranu přední.

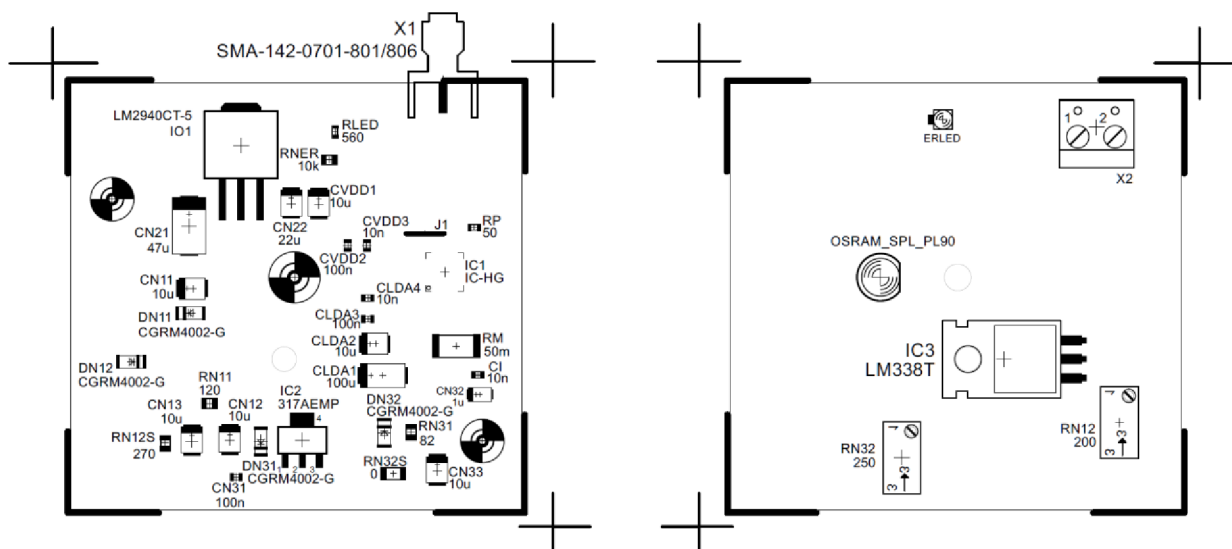
Nastavení spínaného proudu je provedeno stabilizátorem LM317 s proměnlivým výstupním napětím. To je realizováno potenciometrem, který je pro jednodušší manipulaci vyveden zhruba 10 cm dlouhou dvojlinkou dále od desky. Vstup je také připojen na centrální rozvod. Pro potřebu měření výstupního napětí je hned za výstupem stabilizátoru vyveden vodič, na který je možné připojit měřicí přístroj.

Celé zařízení má spíše testovací prototypový charakter, nepředpokládá se tedy nějaké prozatím krytí obvodu, pro jednoduché přichycení jsou však do desky provrtány tři otvory, z nichž dva slouží i jako prokovy pro rozvedení zemního potenciálu.

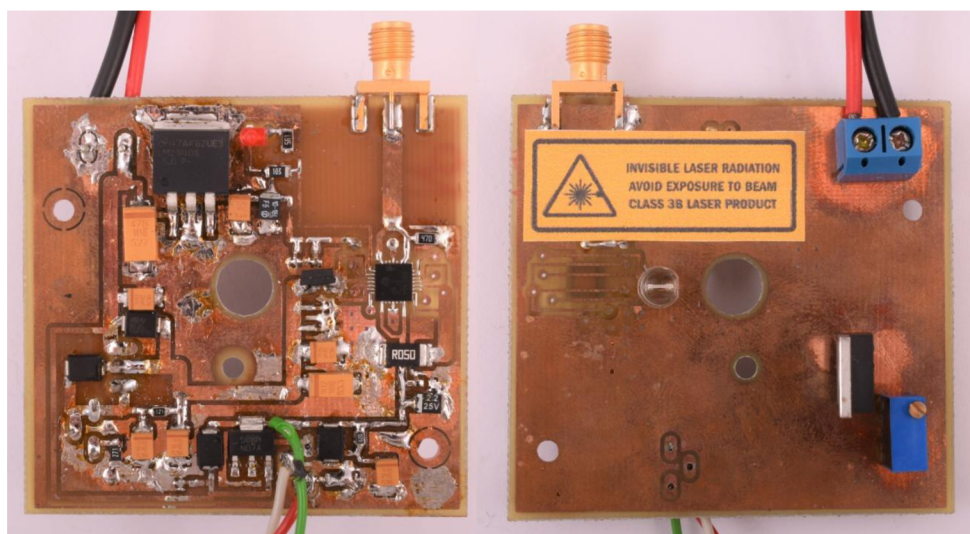




Obr. 9.1: Strany TOP a BOTTOM konstrukčního návrhu DPS 1:1



Obr. 9.2: Osazovací plány stran TOP a BOTTOM 1:1

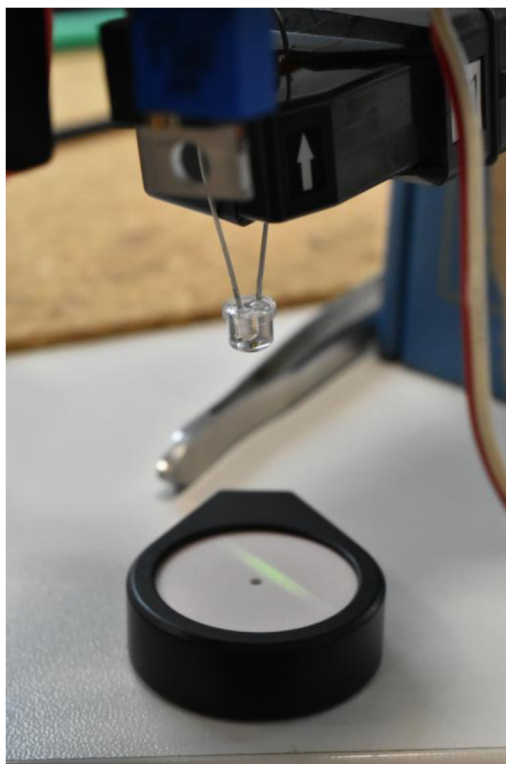


Obr. 9.3: Finální podoba osazené desky



## 10 OŽIVENÍ A MĚŘENÍ

Oživování zařízení probíhalo postupně po dílčích funkčních částech. Nejdříve byly přerušeny všechny napájecí přívody spínače iC-HG u kterých hrozilo poškození spínače v případě nesprávné funkce některého ze stabilizátorů. To bylo provedeno neosazením laserové diody a propojky J1 přemostňující řídicí vstupy TTL a přerušením spoje na kontrolní vstupy CI. Tím byly všechny spojení spínače a stabilizátorů přerušeny. Dále byly osazeny všechny součástky včetně stabilizátorů, u kterých byly ověřeny hodnoty výstupních napětí, resp. závislosti výstupních napětí na nastavení potenciometrů. Poté byly stabilizátory propojeny osazením zbývajících součástek se samotným spínačem, byl připojen generátor obdélníkového signálu a mohlo začít testování funkčnosti zařízení. Úplně první odzkoušení bylo provedeno luminiscenční destičkou. Infračervené světlo emitované diodou lidské oko není schopno zaznamenat, na luminoforu se však projevuje zeleným zářením (obr.10.1).



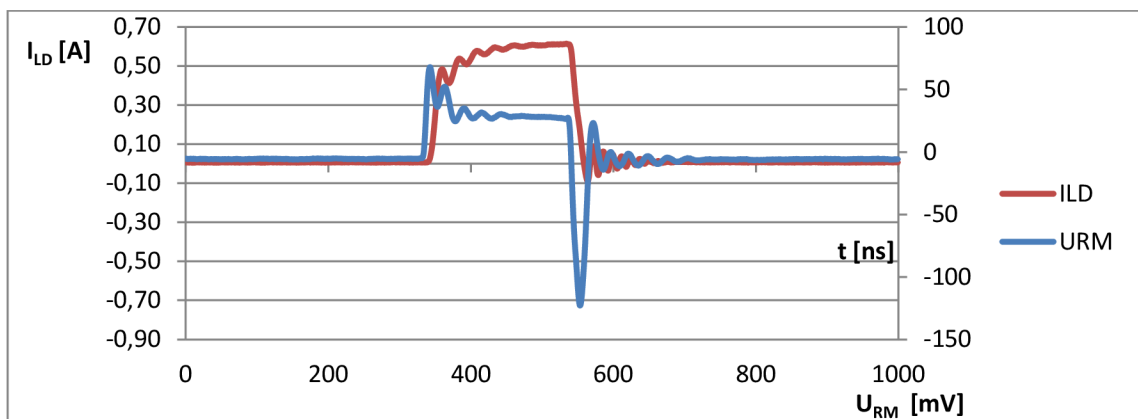
Obr. 10.1: Záření na luminoforu

### 10.1 Měření proudu protékajícího diodou

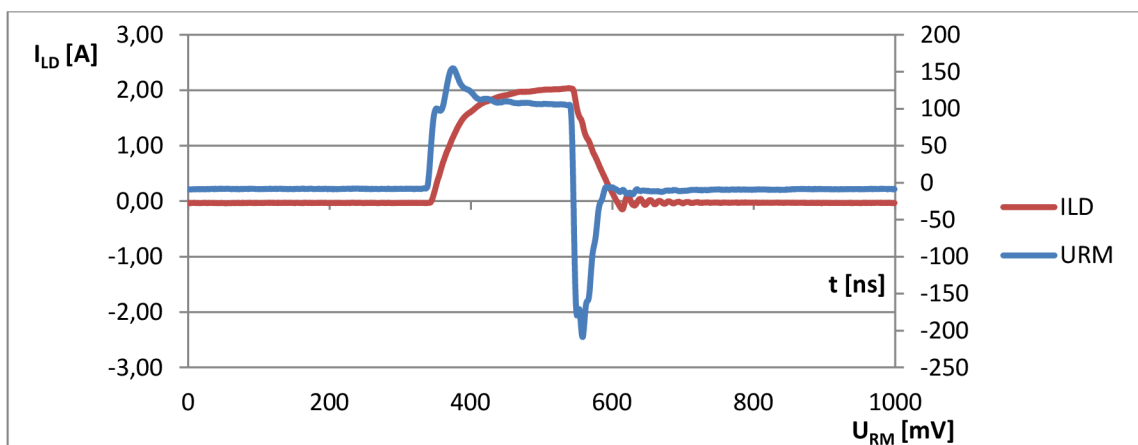
Pro první měření byla laserová dioda ponechána s dlouhými a ještě navíc prodlouženými přívody, aby bylo možné na ně instalovat proudovou osciloskopickou sondu Agilent N2774A (Obr. 10.4 a 10.5). Sonda Agilent N2774A je určena pro bezkontaktní měření proudu do kontinuální hodnoty 15 A a špičkové hodnoty do 50 A při impulzu kratším než 10  $\mu$ s. Kmitočtový rozsah sondy je 0 až 50 MHz.

Zároveň bylo prováděno měření napětí sondou Agilent 10073D 10:1 500 MHz na měřicím rezistoru  $R_M$  (Obr. 10.6). Jako rezistor  $R_M$  byl zvolen typ Bourns CRA2512-FZ-ER050ELF s hodnotou odporu 50 m $\Omega$ . Výrobce udává indukčnost je pod 5 nH a je možno ho tak využít pro snímání proudu přechodných dějů. Díky tomuto měření byla ověřena možnost správného měření proudu přepočtem přes napětí na rezistoru se známou hodnotou odporu. Toto umožnilo následně vynechat proudovou sondu a zkrátit přívody laserové diody na minimum. Tím pádem se ještě více zmenšila proudová smyčka, čímž se snížila její indukčnost až na samotné minimum dané konstrukčním návrhem DPS. Průběhy měření proudu indukční sondou a napětí na měřicím rezistoru  $R_M$  jsou na obrázcích 10.2 a 10.3. Vliv indukčnosti měřicí smyčky rezistor  $R_M$ -sonda se projevuje zákmity u náběžné a sestupné hrany.

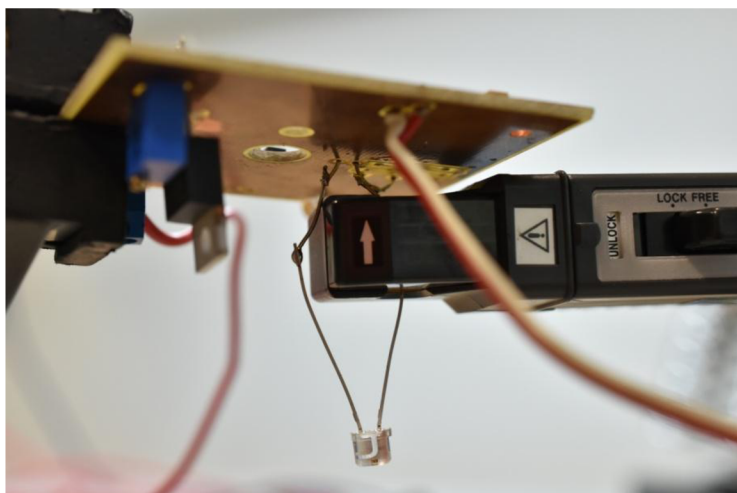
Při nastavení minimálního kontrolního napětí  $U_{CI}$  byla proudovou sondou naměřena hodnota proudu protékajícího diodou 0,61 A. Napětí sondou bylo na měřicím rezistoru  $R_M$  naměřena hodnota napětí 28 mV. Po přepočtu z tohoto měření vychází proud diodou jako 0,56 A. Po zvýšení kontrolního napětí na 2 V se zvýšil proud měřený proudovou sondou na 2 A, napětí na měřicím rezistoru se zvýšilo na 107 mV, což po přepočtu odpovídá hodnotě proudu 2,14 A. Je tedy patrné, že měření napětí a následný přepočet na proud lze spolehlivě použít.



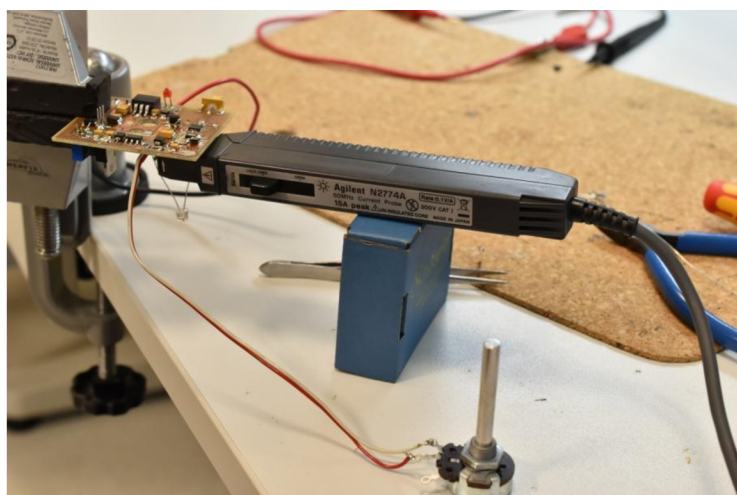
Obr. 10.2: Průběhy proudu diodou  $I_{LD}$  a napětí na měřicím rezistoru  $U_{RM}$  při minimálním možném kontrolním napětí  $U_{CI} = 1,25$  V a šířkou impulsu 200 ns



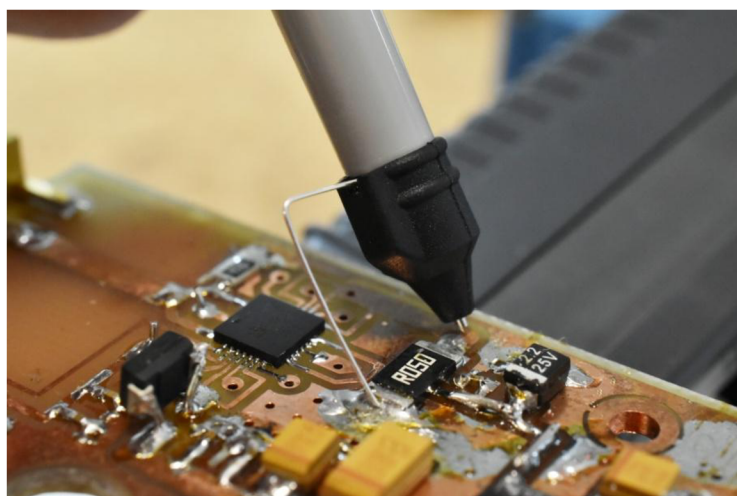
Obr. 10.3: Průběhy proudu diodou  $I_{LD}$  a napětí na měřicím rezistoru  $U_{RM}$  při zvýšeném kontrolním napětí  $U_{CI} = 2,00$  V a šířkou impulsu 200 ns



Obr. 10.4: Proudová sonda instalovaná na přívod laserové diody



Obr. 10.5: Měření proudovou sondou



Obr. 10.6 Měření napětíovou sondou na měřicím rezistoru  $R_M$

## 10.2 Měření doby náběžné hrany

Důležitým parametrem výsledného obvodu s integrovaným spínačem a laserovou diodou je doba náběžné hrany generovaného optického impulzu. ta by měla korespondovat s dobou náběžné hrany proudu diodou. Časový průběh proudu měřený rezistorem  $R_M$  je ale značně zkreslen přechodovým dějem způsobeným vlastní indukčností rezistoru, indukčností měřicí smyčky a rušivým napětím indukovaným do měřicí smyčky z proudu protékajícím rezistorem. Pro měření doby náběžné hrany optického impulzu bylo proto použito rychlého optického přijímače MenloSystems FPD 310-FV určeného pro vlnové délky 400 až 1000 nm a s frekvenčním rozsahem 10 až 900 MHz (Obr. 10.8). Vzhledem k neznámému činiteli vazby mezi laserovou diodou a optickým přijímačem nelze přesně určit optický výkon laserové diody v závislosti na výstupním napětí  $U_{OP}$  optického přijímače. Problémem použití tohoto přijímače je, že se ve své dolní kmitočtové pracovní oblasti chová jako derivační CR článek. Je možné tedy věrně změřit průběh strmé náběžné hrany, následné temeno delšího impulzu však přijímač přenesse se zkreslením projevujícím se postupným poklesem úrovně. Velmi krátké impulzy se však dají zobrazit, průběh impulzu o délce 5 ns je na obrázku 10.7. Z tohoto obrázku je patrná velmi strmá náběžná hrana, jejíž doba trvání se pohybuje v rozmezí 400 až 600 ps. To odpovídá hodnotě uvedené výrobcem, kdy je udána maximální doba hrany 1 ns. Tato hodnota se však velice blíží limitním hodnotám, které dokáže přenést optický přijímač a zaznamenat osciloskop. Proto je potřeba měřenou hodnotu korigovat.

Užitý osciloskop Agilent MSO7104B je schopný pracovat do kmitočtu 1 GHz, užitý optický přijímač taktéž do kmitočtu 1 GHz. Obě zařízení jsou schopná přenést hranu s délkou vypočítanou dle vztahu:

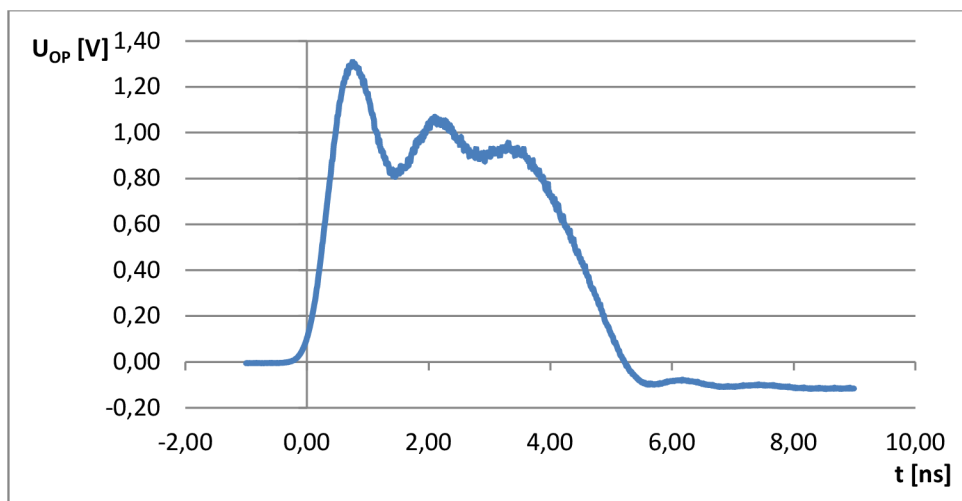
$$t_0 = \frac{0,35}{f} = \frac{0,35}{1 \cdot 10^9} = 350 \text{ ps} \quad (10.1)$$

kde  $t_0$  je délka přenesené hrany a  $f$  mezní frekvence zařízení.

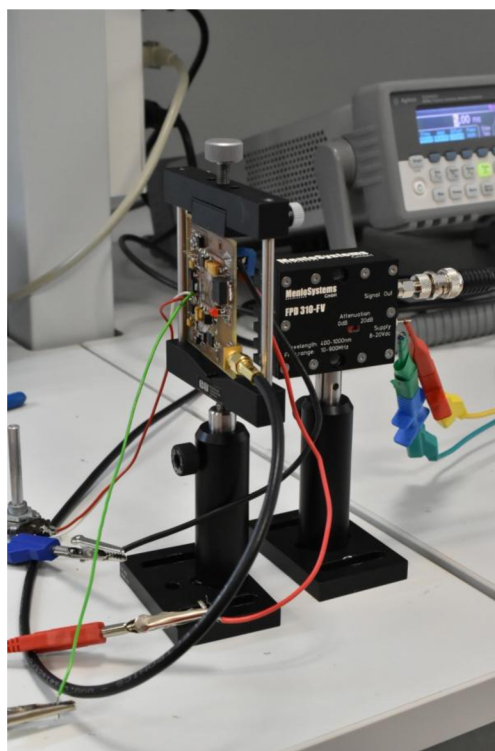
Výsledná korekce je provedena na základě vztahu:

$$t_s = \sqrt{t_z^2 - t_{0OSC}^2 - t_{0OP}^2} = \sqrt{600^2 - 350^2 - 350^2} = 339,1 \text{ ps} \quad (10.2)$$

kde  $t_{0OSC}$  je doba hrany přenesené osciloskopem,  $t_{0OP}$  doba hrany přenesené optickým přijímačem,  $t_z$  změřená doba hrany a  $t_s$  skutečná doba hrany. Skutečná doba hrany je po korekci skoro o polovinu kratší než doba jakou je schopný změřit osciloskop.



Obr. 10.7: Průběh krátkého napěťového impulsu  $U_{OP}$  na výstupu optického přijímače



Obr. 10.8: Měření výstupního optického impulsu optickým přijímačem

### 10.3 Měření závislosti proudu diodou na napětí $U_{CI}$

Po ověření všech předchozích parametrů bylo nutné určit závislost proudu tekoucího diodou  $I_{LD}$  na nastaveném kontrolním napětí  $U_{CI}$ . Ze zjištění při předchozím měření proudu bylo měření proudu provedeno měřením napětí na měřicím rezistoru a přepočtem přes jeho odpor vypočítán proud. Postupně bylo potenciometrem nastavováno a měřeno napětí na kontrolním vstupu a přepočítáváno na proud diodou. Díky tomuto se dá i kalibrovat potenciometr pro co nejpřesnější nastavení požadovaného proudu diodou. Z obrázku 10.9 a při porovnání s obrázkem 8.3 z datového listu výrobce je patrné, že průběh závislosti proudu diodou na nastaveném kontrolním napětí tvarově odpovídá. Rozdílem je, že v datovém listu je zobrazen průběh pro kontinuální, kdežto na obrázku 10.9 je tento průběh při impulzním režimu. Pro správné porovnání je nutné hodnotu přepočítat dle vzorce [9] již dříve uvedeného v kapitole 8:

$$I_{pulse} = I_{CW} \cdot \sqrt{\frac{T}{t}}, \quad (10.3)$$

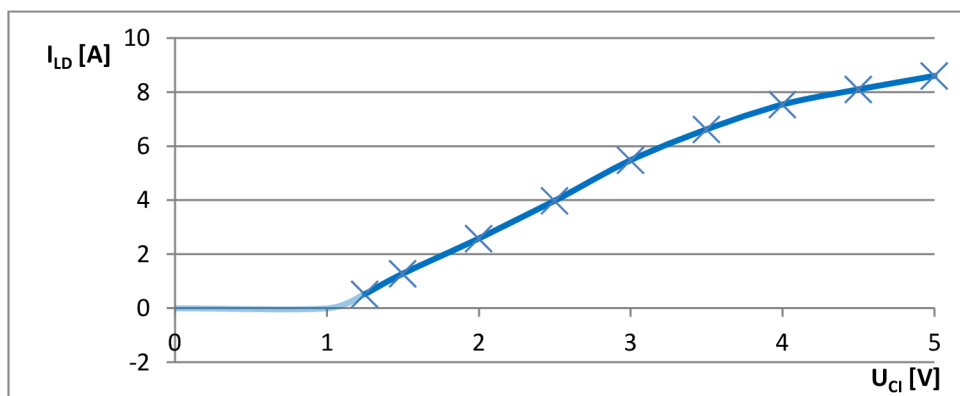
kde je  $I_{pulse}$  proud při pulzním režimu,  $I_{CW}$  odpovídající proud při kontinuálním režimu,  $T$  perioda a  $t$  délka pulsu.

Při měření závislosti proudu diodou na kontrolním napětí byl nastaven řídicí signál s opakovací periodou  $3 \mu s$  a délkou trvání  $300 ns$ . Po dosazení do vzorce 10.3 vychází teoretická hodnota pulzního proudu při ideálních podmínkách:

$$I_{pulse} = I_{CW} \cdot \sqrt{\frac{T}{t}} = 3 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-6}}{300 \cdot 10^{-9}}} = 9,48 A$$

Při nastaveném maximálním možném kontrolním napětí, tedy  $U_{CI} = 5 V$  byla naměřena hodnota proudu  $8,6 A$ . Oproti teoretické hodnotě je zde jistý úbytek, který mohla způsobit chyba měření, ale především vliv prostředí a teploty na charakteristiku spínače.

Z principu funkce užitého stabilizátoru pro nastavení kontrolního napětí nelze nastavit nižší napěťovou úroveň než  $1,25 V$ . To znamená, že regulace proudu diodou lze provádět až od hodnoty mírně nad prahovým proudem. Teoretický průběh proudu před minimálním nastavitelným napětím je v grafu orientačně vyznačen světlejší čarou než naměřená závislost.



Obr. 10.9: Závislost proudu laserovou diodou na kontrolním napětí  $U_{CI}$



# 11 ZÁVĚR

Bakalářská práce navázala na dříve zpracovaný semestrální projekt. Pro praktickou realizaci bylo provedeno několik nutných, avšak ne příliš zásadních změn oproti původnímu návrhu. Nejvýraznější změnou byla změna typů stabilizátorů za jiné se stejnými parametry a pouzdry. Původně navržené typy od jiných výrobců v době konstrukce již nebyly dostupné. Návrh DPS byl proveden dle doporučení aplikačních poznámek pro konstrukci z důvodu omezení parazitní indukčnosti výkonové proudové smyčky. Deska byla osazena téměř všemi součástkami a částečně odzkoušena. Po ověření správné funkčnosti stabilizátorů následovalo osazení laserové diody, drátové propojky a opětovné propojení přerušené vodivé cesty ke kontrolnímu vstupu spínače a mohlo být zahájeno samotné měření a ověřování funkčnosti zařízení jako celku.

Z vyobrazení průběhů z různých měření je patrný vliv parazitních indukčností (indukčnost měřicího rezistoru, měřicí smyčky, výkonové proudové smyčky). Vliv indukčnosti výkonové proudové smyčky by mohl být nebezpečný pro citlivou laserovou diodu i pro samotný spínač, pro ochranu byla dodatečně zapojena ochranná dioda antiparalelně k laserové diodě dle doporučení aplikačních poznámek. Bez ní by byly zákmity mnohem větší a mohlo by dojít k poškození laserové diody nebo spínače. Měřením proudovou sondou na přívodu diody a napětíovou sondou na měřicím rezistoru byla ověřena a potvrzena možnost spolehnout se na přesné nastavení požadovaného proudu změnou kontrolního napětí. Je tedy možné kalibrovat potenciometr dle naměřené závislosti proudu na změně tohoto napětí.

Dále byla potvrzena schopnost spínače iC-HG spínat proudové impulzy s velmi strmou náběžnou hranou, což je důležité pro dosažení vysoké frekvence impulzů. Konstrukční návrh se podařilo provést tak, že indukčnost smyčky nemá vliv na strmost hrany. Ta se projevuje pouze zákmity při impulzech s delším trváním. Proudovou smyčku je nyní možné ještě více omezit vypuštěním velkého měřicího rezistoru. Není už potřeba měřit proud laserovou diodou. Tato možnost byla získána právě tímto testovacím zařízením, které je navrženo pro měření všech charakteristik spínače, diody a jeho celkového chování. Ze získaných znalostí je možné zkonstruovat zařízení již bez měřicích výstupů, u kterého se pouze nastavují výstupní parametry.

Po zkušenostech získaných během návrhu, následného osazení desky a jejím zhodnocením jako celku vyplynulo několik skutečností, které by se daly řešit jiným nebo lepším způsobem. Především to je vyvarování se umisťování plošek pro pájení SMD součástek přímo do vodivých cest a problematičtější je i jejich malá velikost. Původně navržené řešení způsobilo velice nepohodlné pájení SMD součástek. Dalším zlepšením by mohlo být použití kondenzátorů s větším typem pouzdra než 0603. Toto pouzdro se sice dá pájet s pinzetou a bez mikroskopu, avšak pro pohodlné manuální zpracování to není ideální řešení. Obě tyto změny by však měly vliv na celkovou velikost desky. Vzhledem ke skutečnosti, že zařízení má spíše zkušební a testovací charakter, nebyly by větší rozměry desky takovým problémem ve srovnání se zvýšenou náročností osazování příliš malých součástek současného návrhu.

Další možnou změnou by mohlo být zvolení menšího stabilizátoru pro napájení spínače iC-HG. Současný stabilizátor LM2940 v pouzdře D2PAK (což je vlastně pouzdro TO-220 upravené jako SMD) je velký. Bylo by možné použít rozměrově menší, třeba v pouzdře SOT-223 jako je v případě stabilizátoru pro nastavení

kontrolního napětí  $U_{CI}$ . Toto by šlo ovšem provést pouze v případě nižší frekvence spínání. Spínač iC-HG má při spínání s vysokou frekvencí velký proudový odběr a tedy pravděpodobnost oteplení stabilizátoru je větší. Právě v případě vyššího proudového zatížení pouzdro D2PAK lépe odvádí vzniklé teplo. S touto skutečností bylo v návrhu počítáno a proto bylo zvoleno právě toto pouzdro.

Body zadání byly splněny jak nejlépe bylo možné. Se získanými poznatky při konstrukci tohoto testovacího zařízení lze provést změnu konstrukčního návrhu tak, aby další zařízení fungovalo co nejjednodušeji dle měření získaných charakteristik a ještě lépe minimalizací proudové smyčky vypuštěním již zbytečných součástek.



# LITERATURA

- [1] Laserové diody. Elektrevue [online]. 1.10.2001, 1, [cit. 2015-11-07].  
Dostupné z: <http://www.elektrevue.cz/clanky/01034/index.html>
- [2] Laserové diody. Elektrevue [online]. 21.11.2001, 2, [cit. 2015-11-07].  
Dostupné z: <http://www.elektrevue.cz/clanky/01043/index.html>
- [3] Laserové diody. Elektrevue [online]. 2.5.2002, 3, [cit. 2015-11-08].  
Dostupné z: <http://www.elektrevue.cz/clanky/02023/index.html>
- [4] Laserové diody. Elektrevue [online]. 21.11.2002, 4, [cit. 2015-11-11].  
Dostupné z: <http://www.elektrevue.cz/clanky/02059/index.html>
- [5] Laserové diody. Světlo [online]. 2005, 2, [cit. 2015-11-13]. Dostupné z:  
<http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/laserove-diody-cast-2-funkce-a-zakladni-parametry--16388>
- [6] ENGST, P., HORÁK, M. *Aplikace laserů*, 1. vydání. Praha : SNTL, 1989. 204 s.
- [7] MAŤÁTKO, J. *Elektronika, lasery – kvantové generátory světla*. 1. vydání. Praha : IDEA SERVIS, 1998. 57 s. ISBN: 80-85970-21-X
- [8] KACHTÍK, L. *Princip laseru. Laser: a vše o něm*. [online]. 25.4.2010 [cit. 2015-12-13].  
Dostupné z: [lasery.wz.cz](http://lasery.wz.cz)
- [9] Laserový spínač. [online]. iC-Haus [cit. 2015-12-12]  
Dostupné z: [https://www.ichaus.de/upload/pdf/HG\\_datasheet\\_B2en.pdf](https://www.ichaus.de/upload/pdf/HG_datasheet_B2en.pdf)
- [10] Positive Adjustable Regulators. [online]. Linear Technology [cit. 2015-12-12]  
Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/108345fh.pdf>
- [11] 3-Terminal Adjustable Regulator. [online]. Texas Instruments [cit. 2015-12-12]  
Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317l-n.pdf>
- [12] Operating the Pulsed Laser Diode SPL PLxx. [online]. Osram [cit. 2015-12-12]  
Dostupné z: [http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00054198\\_0.pdf/Standard%20Pulsed%20Laser%20Diode.pdf](http://www.osram-os.com/Graphics/XPic7/00054198_0.pdf/Standard%20Pulsed%20Laser%20Diode.pdf)
- [13] Laserová dioda v TO pouzdře. [online]. Dostupné z:  
<https://www.thorlabs.de/images/xlarge/21534-xl.jpg>
- [14] Laserová dioda Osram SPL 2F81-2S v pouzdře TO220. [online]. Dostupné z:  
<http://www.osram-os.com/Graphics/medium/XPic3/00188574>
- [15] Chladič pro pouzdro TO220. [online]. Dostupné z:  
<http://www.presepevirtuale.it/images/dissipatore-to220.jpg>
- [16] Pouzdro C-mount . [online]. Dostupné z:  
[http://laserpointerforums.com/attachments/f44/20484-real-basic-c-mount-question-c\\_mount.jpg](http://laserpointerforums.com/attachments/f44/20484-real-basic-c-mount-question-c_mount.jpg)
- [17] Pouzdro TO3. [online]. Dostupné z:  
[http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/60072454349/808nm\\_5000mW\\_TO3\\_IR\\_Laser\\_diode\\_5W.jpg](http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/60072454349/808nm_5000mW_TO3_IR_Laser_diode_5W.jpg)
- [18] Spínač laserové diody s časovačem NE555. [online]. Dostupné z:  
[http://www.industrial-electronics.com/laser\\_11.html](http://www.industrial-electronics.com/laser_11.html)

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

BOTTOM	Zadní strana DPS
DPS	Deska plošných spojů
C	Kapacita
E1	Dolní hladina laserového přechodu
E2	Horní hladina laserového přechodu
f	Frekvence
$f_r$	Rezonanční frekvence
h	Planckova konstanta
I	Proud
$I_{ADJ}$	Nastavovací proud
$I_{CW}$	Proud při pulzním režimu
$I_{LD}$	Proud laserovou diodou
$I_P$	Prahový proud
$I_{Ph}$	Prahový proud při vysoké teplotě
$I_{Pl}$	Prahový proud při nízké teplotě
$I_{PULSE}$	Proud pulzu
L	Délka rezonátoru
n	Index lomu
P	Optický výkon
R	Odpor
t	Čas
t	Délka impulzu
T	Perioda
$T_0$	Charakteristická teplota
$T_h$	Vysoká teplota
$T_l$	Nízká teplota
U	Napětí
$U_{CI}$	Kontrolní napětí na vstupu CI
$U_{OP}$	Napětí na výstupu optického přijímače
$U_{OUT}$	Výstupní napětí
$U_{REF}$	Referenční napětí
W	Energetická hladina

$\lambda$	Vlnová délka
BNC	Bayonet Neil Concelman connector – typ koaxiálního konektoru
CW	Continuous wave – kontinuální režim
DFB	Distributed Feedback – rozprostřená zpětná vazba
DHL	Double Heterostructure Laser – laser se dvěma heterostrukturami
EEL	Edge Emitting Laser – hranově vyzařující laser
LD	Laserová dioda
LED	Luminiscenční dioda
LVDS	Low-Voltage Differential Signaling – nízkonapěťové dif.signály
PIN	Dioda s intrinzickým polovodičem mezi PN přechodem
PN	Polovodičový přechod
SHL	Single heterostructure laser – laser s jednou heterostrukturou
SMA	SubMiniature version A – typ koaxiálního konektoru
SMD	Součástka pro povrchové osazení
TOP	Vrchní strana DPS
TTL	Transistor-Transistor-Logic – tranzistorově-tranzistorová logika
VCSEL	Vertical Cavity Surface Emitting Laser – plošně vyzařující laser

# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení budiče laserové diody

