

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Zjišťování rychlostí dopravních prostředků

Zdenek Šimáček

Bakalářská práce

2010

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zdenek ŠIMÁČEK**  
Osobní číslo: **I07568**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Název tématu: **Zjišťování rychlosti dopravních prostředků**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro měření rychlosti dopravních prostředků. Při návrhu lze vyjít z práce O. Šrejbera Zařízení pro měření rychlosti vozidel, Upa, DF, 2004. Může být zvážen výběr odlišného principu měření rychlosti a vyhodnocování a zobrazení výsledků, např. pomocí notebooku. Důraz je kladen na ověření té části, která slouží jako senzor pro měření rychlosti.

1. Vyberte základní princip na němž bude spočívat měření rychlosti.
2. Navrhněte obvody senzoru pro měření rychlosti a prakticky ověřte jeho funkci na funkčním vzorku (s pomocí univerzálních zdrojů, měřicích přístrojů apod.).
3. O své práci na zjišťování rychlosti dopravních prostředků sepište pojednání, které podchytí možné principy měření rychlosti, popíše vybraný způsob měření rychlosti, výsledky návrhu a ověřovacích měření snímače použitého pro měření rychlosti (popřípadě i výsledky měření v reálném provozu) a v závěru zváží možnost a vhodnost realizace takového měřiče, popřípadě i návrhy v čem postupovat jinak apod.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Ptáčková G., Neumann P. : Elektronické obvody, ČVUT, Praha, 1994

Hrbáček J. : Komunikace mikrokontroléru s okolím, Praha, BEN, Technická literatura, 2000

Vedral J. : Elektronické obvody měřicích přístrojů, ČVUT, Praha, 1994

Šrejber O. : Zařízení pro měření rychlosti vozidel, bakalářská práce, Upa, DF, 2004

Katalogové listy, aplikační poznámky a další informace o použitých součástkách dosažitelné na [www](http://www)

Burkhard K. : Využití rozhraní PC, HEL, 1996

Vlach J. : Počítačová rozhraní, BEN, Praha, 2000

Novák P. : Mobilní roboty (pohony, senzory řízení), BEN Praha, 2005

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Jiří Konečný, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2010**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2010**



prof. Ing. Šimon Karamazov, Dr.  
děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2010

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 22. 01. 2010

Zdenek Šimáček

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Konečnému, Ph.D., za jeho konzultace a odborné vedení při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl touto cestou poděkovat celé své rodině, ale také přátelům za podporu, bez které by jen těžko mohla tato práce vzniknout.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá různými způsoby měření rychlostí v silničním provozu. Následovně je vybrán jeden ze způsobů měření a vytvořen jeho rozbor a návrh zařízení, které by měřilo rychlost daným způsobem. Princip měření je založen na určování rychlostí z času, který je potřebný pro projetí měřeného objektu měřeným úsekem. Úsek je ohraničen dvěma světelnými závorami. Jako paprsek závory je použito laserové světlo a modulované infračervené světlo.

## **Klíčová slova**

rychlost vozidla, infračervené světlo, metody měření rychlostí

## **Title**

Vehicles speed measuring.

## **Annotation**

Bachelor's thesis deals with different ways of road vehicles speed measuring. The next step is a selection of one of the measurement method and the analysis and design of measuring equipment. The chosen principle of measurement is based on determining of time, which is required for passing the measured object through the measured section. Section is bounded by two light bars. As the beam gate is used laser light and the modulated infrared light.

## **Keywords**

Vehicle speed, infrared light, measuring methods

## Obsah

Úvod.....	8
<b>1 Zkladní rozdělení.....</b>	<b>9</b>
1.1 Měřiče k měření podélné rychlosti .....	9
1.2 Měřiče k měření transversální rychlosti .....	9
<b>2 Principy měření rychlosti.....</b>	<b>10</b>
2.1 Laserový rychloměr .....	10
2.2 Měření úsekové rychlosti.....	11
2.3 Mikrovlnný detektor (radar) .....	12
2.4 Infračervené detektory .....	13
2.5 Ultrazvukové detektory .....	15
2.6 Indukční smyčky .....	16
2.7 Magnetometry.....	18
2.8 Pneumatické detektory .....	19
2.9 Piezoelektrické detektory .....	20
2.10 Detektory s vláknovou optikou .....	21
<b>3 Výběr principu měření.....</b>	<b>22</b>
3.1 Koncepce měřicího zařízení .....	23
3.2 Způsob měření .....	23
3.3 Světelná závora.....	24
3.3.1 Viditelné světlo.....	24
3.3.2 Infračervené světlo .....	24
3.3.3 Laserové světlo .....	26
3.4 Výběr vyhodnocovacího zařízení .....	26
3.4.1 Chyby při výpočtu rychlosti .....	27
3.4.2 Chyby způsobené závorami.....	27
3.4.3 Chyba způsobená vzdáleností závor.....	28
3.4.4 Chyba způsobená šikmou jízdou vozidla .....	28
3.4.5 Chyba způsobená výpočtem .....	29
3.4.6 Celková chyba .....	30
3.5 Výpočet času z naměřených hodnot .....	30

3.5.1	Určení rychlostí .....	31
3.5.2	Zjištění času .....	31
3.5.3	Vzdálenost ujeta vozidlem za dobu periody hodin.....	31
3.5.4	Počet pulzů při $v_{\max}$ a $v_{\min}$ .....	32
3.5.5	Čítač.....	32
<b>4</b>	<b>Měření na světelných závorách .....</b>	<b>34</b>
4.1	Kontrola funkčnosti součástí.....	34
4.2	Ověřování světelné závory .....	34
4.3	Záznamy a vyhodnocení měření.....	36
4.3.1	Měření na fototranzistoru BPW 85c.....	36
4.3.2	Měření na fototranzistoru L-NP-3C1 .....	38
4.3.3	Měření na fototranzistoru LPT 80A .....	39
4.3.4	Měření na fototranzistoru SFH 309.....	40
4.3.5	Měření na větší vzdálenost .....	42
4.3.6	Měření s IR – přijímačem SFH 5110.....	43
4.3.7	Měření s obvodem 555 a IR-přijímačem.....	45
<b>5</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>51</b>
	<b>Použita literatura:.....</b>	<b>52</b>
	<b>Příloha A.....</b>	<b>54</b>
	<b>Příloha B.....</b>	<b>55</b>



## Úvod

Jedna z podmínek pro bezpečnou jízdu je správné dodržování rychlosti na podzemních komunikacích. Část řidičů však tomuto faktoru nevěnuje dostatečnou pozornost a nedodržuje dopravní předpisy a jezdí po komunikacích, rychleji než by měli. Proto se začala konstruovat zařízení, která dokáží zjistit rychlost vozidla. Tato zařízení mohou řidiče jen varovat, že překročili povolenou rychlost v daném úseku (město, vesnice), jiná slouží státním organům (policie) k dopadení neukázněných řidičů. V současnosti se používají různé způsoby měření rychlosti, jsou to radary, lidary, detektory. Měření rychlosti optickými metodami patří k dynamicky se rozvíjejícím disciplínám již po delší dobu. Do současnosti bylo vyvinuto mnoho metod, jejichž pomocí je možné změřit rychlost pohybujícího se objektu (automobilu). Měření rychlosti zásadně ovlivňuje řízení a bezpečnost dopravy jak ve městech, tak na dálnicích, silnicích.

## 1 Zkladní rozdělení

Měřiče rychlosti mohou být rozděleny podle jejich postavení vůči měřenému objektu do dvou kategorií. Podélné a transversální (příčné směřování na projíždějící vozidlo) měřiče rychlosti, které jsou znázorněny na obrázku 1 (podélné měřiče rychlosti) a obrázku 2 (transverzální měřiče rychlosti). Bod P znázorňuje měřič rychlosti a bod A znázorňuje polohu objektu (automobilu), který se pohybuje ve směru šipky.

### 1.1 Měřiče k měření podélné rychlosti

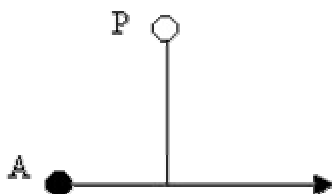
V této kategorii se využívá přímé viditelnosti měřicího přístroje proti měřenému vozidlu dle obrázku 1. Ve viditelné vzdálenosti. Při tomto způsobu měření se měří vzdálenost od vozidla a poté se dopočítává rychlost [1].



Obrázek 1 - Podélné uspořádání při měření rychlosti

### 1.2 Měřiče k měření transversální rychlosti

Tato kategorie většinou využívá při aplikaci dva detektory, senzory, které mají od sebe určitou vzdálenost a měřené vozidlo jimi projíždí [1].



Obrázek 2 - Transverzální uspořádání při měření rychlosti.

## 2 Principy měření rychlosti

V této kapitole jsou popsány různé, způsoby měření rychlosti na pozemních komunikacích, jak podélné tak transverzální měřiče rychlosti. Některé měřiče zasahují svou konstrukcí přímo do povrchu vozovky, jiné jsou umístěny nad vozovkou, nebo také po stranách vozovky.

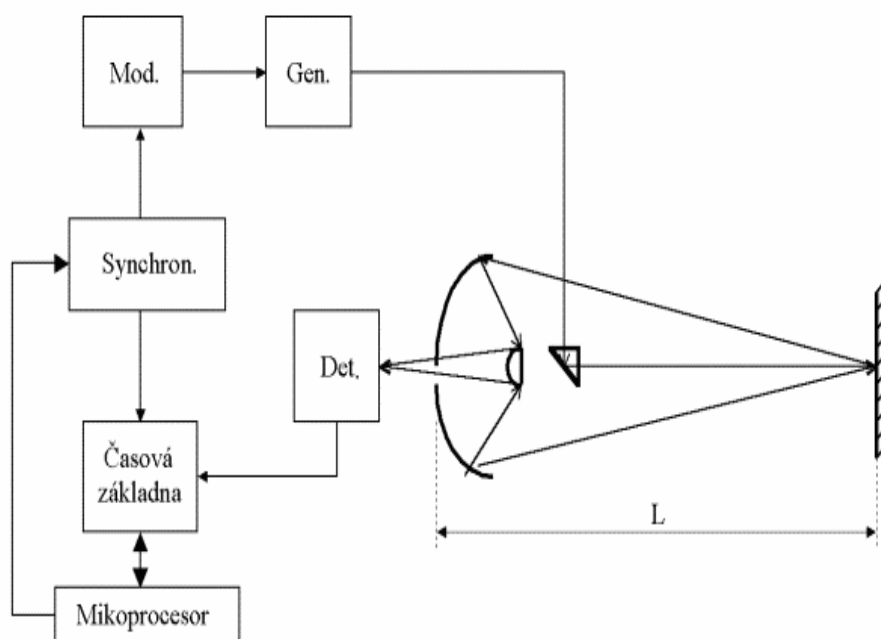
### 2.1 Laserový rychloměr

Princip laserového rychloměru (jinak také lidaru) spočívá v měření časové prodlevy, mezi vyzářením krátkého světelného (laserového) impulsu a příjmem jeho odrazu od měřeného předmětu viz obrázek 3. Lasery v lidarech jsou používány jak v pulzním, tak v kontinuálním (spojitém) režimu s fázovou modulací.

Na obrázku 3 je blokové schéma laserového impulsního rychloměru. Optická soustava zajišťuje koncentraci záření do velmi úzkého svazku a zároveň souosost k detektoru, která je zpravidla zajištěná polopropustným hranolem. Poslední optický člen soustavy, jímž je zrcadlo nebo hranol, je umístěn na mechanickém prvku, který zajišťuje směřování paprsku vždy do žádaného směru. Tím je zajištěno snímání. Navíc je snímání jednotlivých měření v takovémto případě mnohonásobně rychlejší. Poslední částí jsou hodiny. Jedná se o velmi přesné hodiny, které mají za úkol měřit čas od vyslání svazku paprsků až po jejich detekci na detektoru.

Tato zařízení produkují nanosekundové impulsy koherentního (uspořádaného) záření značného okamžitého výkonu s opakovací frekvencí stovek až tisíců Hz. Rozlišení v dálce a minimální detekovatelná vzdálenost je omezena minimální šířkou vysílaného impulsu na desítky až jednotky cm. Maximální dosah těchto zařízení je omezen pouze opakovací frekvencí vysílače, jeho okamžitým výkonem a divergencí (rozbíhavostí) svazku.

Značný maximální dosah je předností těchto zařízení. Pro získání velkého dosahu se používají výkonné impulsní lasery YAG a lasery s neodymovým sklem s modulací kvality rezonátoru, popř. jiskrově buzené CO<sub>2</sub> lasery. Délky generovaných impulsů dosahují 100ps - 10ns. Přijímače tvoří polovodičové PIN či APD prvky, v nejnáročnějších aplikacích se užívají i koaxiální násobiče [1].



Obrázek 3 - Princip laserového (impulsního) rychloměru

Výpočet rychlosti  $v_0$  je stanoven jako velikost změny vzdálenosti  $\Delta d$  za přesně stanovený interval  $\Delta t$  mezi vysílanými impulsy. Výpočet  $v_0$  se provede dle rovnice:

$$v_0 = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (1)$$

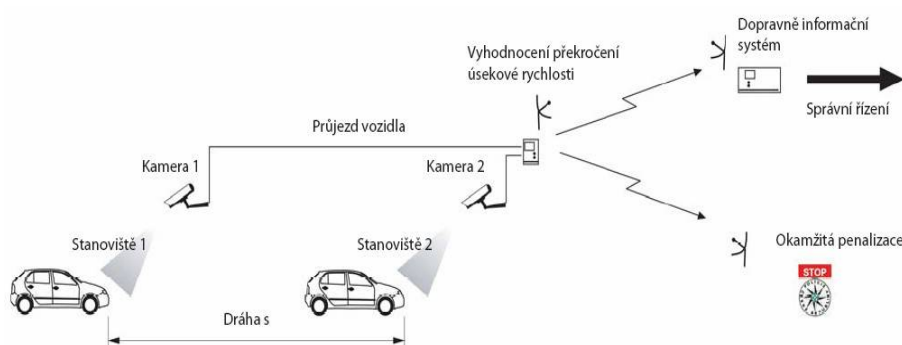
## 2.2 Měření úsekové rychlosti

Stacionární systém měření úsekové rychlosti je založen na videodetekci vozidel projíždějících přes kontrolní stanoviště umístěné na začátku a na konci sledovaného úseku, přičemž je zaznamenáván přesný čas jejich průjezdu. Stanoviště jsou osazena infračervenými reflektory pro snadnou detekci vozidla za špatného počasí a v noci. Vozidla jsou snímána videokamerami, obraz je digitalizován a vyhodnocen. Fotografie s časovými značkami vozidla se shodnou registrační značkou jsou k sobě přiřazovány a z rozdílu času a známé vzdálenosti mezi kontrolními stanovišti je vypočítána střední rychlost [2].

Z obrázku 4 je zřejmý princip činnosti. Když automobil přijede na stanoviště 1, je kamerou 1 pořízena první fotografie a zaznamenán čas  $t_1$ . Na stanovišti 2 je pořízena druhá fotografie a zaznamenán čas  $t_2$ . Je také rozpoznána registrační značka (RZ). Snímky

jsou ukládány společně s naměřenými parametry (RZ, čas, datum, místo) do databáze. Vyhodnocení rychlosti se provádí i na vícepruhových komunikacích, bez závislosti na skutečnosti, zda vozidlo využilo k jízdě jeden či více jízdnic pruhů. Naměřené a vypočítané údaje jsou zakódovány a spolu se snímky s dalšími relevantními informacemi odesílány prostřednictvím technologie GSM na dispečerské pracoviště [3].

System měření rychlosti obsahuje (také) zásuvný modul, který zajišťuje funkci vyhledávání odcizených vozidel. Díky němu systém rozpozná všechny RZ vozidel, která projela úsekem a porovná je s databází hledaných vozidel.



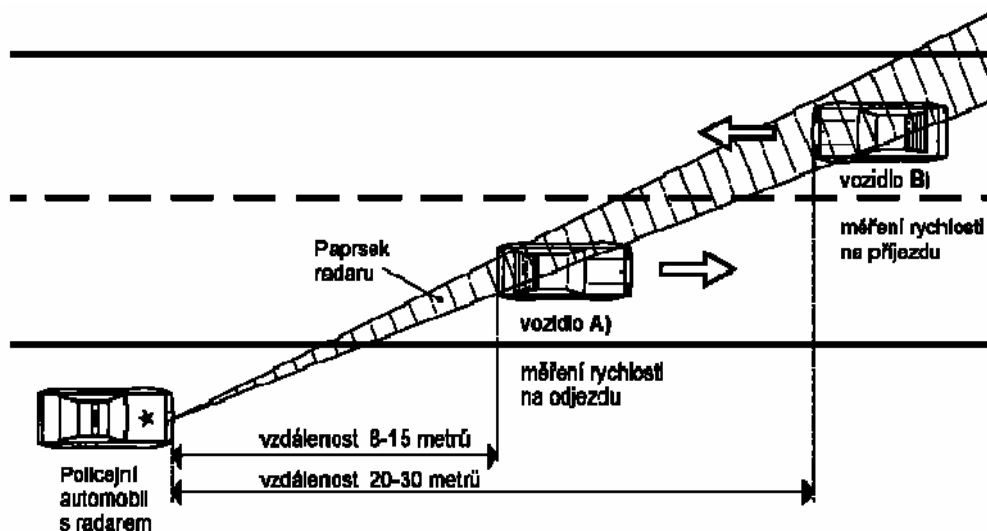
**Obrázek 4 - Schéma systému měření úsekové rychlosti**

Přímo na dopravní komunikaci (silnici) jsou pro každý pruh instalovány dvě kamery, z nichž jsou přenášena data do místní vyhodnocovací jednotky. Základními komponenty systému jsou vyhodnocovací jednotka s operačním systémem reálného času, videosever, dispečerské pracoviště, software, kamery CCD pro snímání registračních značek, infračervený reflektor, datové přenosové trasy [2].

### 2.3 Mikrovlnný detektor (radar)

Mikrovlnné radary využívají pro měření rychlosti dopplerova jevu. Pokud vysílač a přijímač mají nenulovou vzájemnou radiální rychlost, frekvence a vlnová délka přijímaného signálu se oproti vysílanému liší. Radar je vybaven parabolickou anténou a vysílá paprsek, signál konstantní frekvence, který se odráží od kovové karoserie vozidla, obrázek 5. Odražený paprsek následně zachytí, zesílí a elektronickými obvody se vypočítá naměřená rychlost. Pokud vozidlo překročí povolenou rychlost, spustí se varování. Systém si Vás zdokumentuje videokamerou a snímek je následně přenesen do počítače [4].

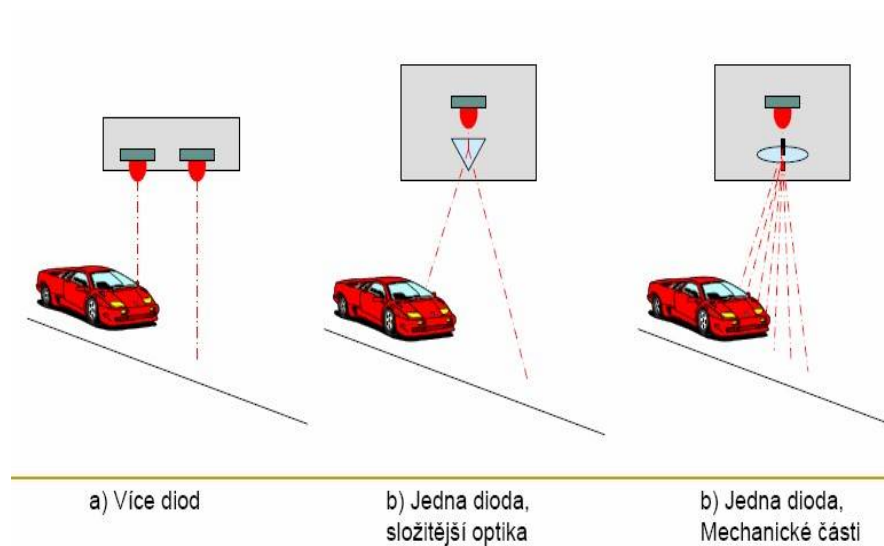
V Čechách se používají radary pracující v mikrovlnném pásmu o frekvenci cca 34GHz. To je takzvané pásmo Ka (Ka Narrow) s frekvencí 34GHz a 34.7GHz. Vysílaný paprsek má úhel 5° a radary mají velmi nízký vysílací výkon tak, aby je bylo obtížné zjistit. Tyto radary nemohou detekovat stojící vozidla [5].



Obrázek 5 - Princip měření rychlosti pomocí dopplerova jevu

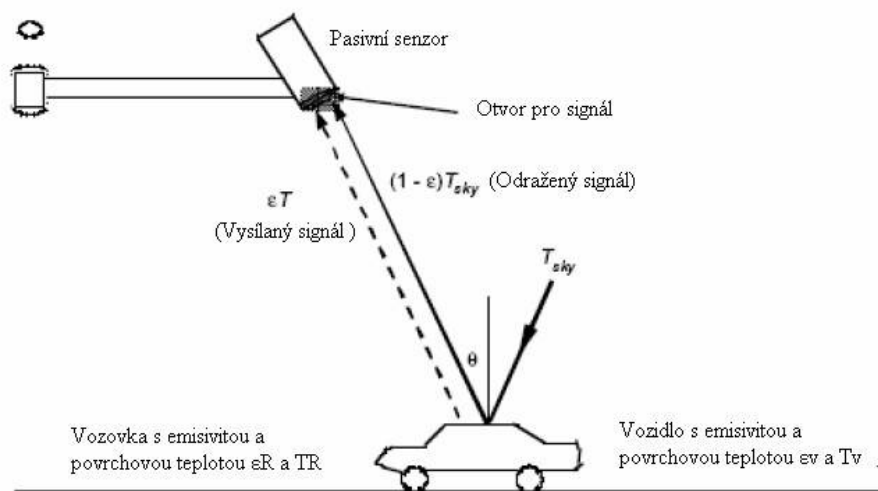
## 2.4 Infračervené detektory

Jde o prvek citlivý na světlo, který mění odraženou či přijatou energii na elektrický signál. Dělí se na lasery aktivní a pasivní. Aktivní infračervené detektory, laserové diody, osvětlují detekční zónu nízkou energetickými vlnami. Pracuje v blízké infračervené (near infrared) oblasti  $\sim 0,85\mu\text{m}$ . Infračervená energie odražená od vozidla je přijata optickým systémem (materiál citlivý na infračervenou energii). Vysílací jednotka emituje optický impuls, paprsek se odrazí od objektu a je zachycen přijímací jednotkou. Doba mezi vysláním a přijetím pulsu je přímo úměrná vzdálenosti mezi objektem a skenerem (TOF - Time Of Flight = doba letu paprsku). Typ povrchu objektu rozhoduje o podílu odražené energie a vyslané energie světelného paprsku (odrazivost). Zařízení může vysílat i více paprsků, příklad na obrázku 6. Kvalita měření je ovlivněna hustou mlhou a sněhovými vánicemi. Je možné měřit přítomnost, rychlost a délku vozidla [6].



**Obrázek 6 - Princip aktivních infračervených detektoru**

Pasivní infračervené detektory přijímají energii vyzařovanou projíždějícími vozidly. Všechny objekty, které nemají teplotu rovnu absolutní nule ( $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) vyzařují energii. Detektory pracují v daleké infračervené (far infrared) oblasti  $\sim 8 - 14\mu\text{m}$  a tím minimalizuje vliv slunečního světla, změny intenzity osvětlení apod. Zaznamená se změna energie při průjezdu vozidla. Signál je úměrný rozdílu emisivit a teplot mezi projíždějícím vozidlem a vozovkou. Velká nevýhoda je, že výkon je ovlivněn změnami teplot a výrazným prouděním vzduchu. Jednoduchý senzor měří rozdíl teplot (vozovka – vozidlo). Dvojitý senzor má dva senzory, každý zvlášť měří dopadající záření a porovnávají se [6].

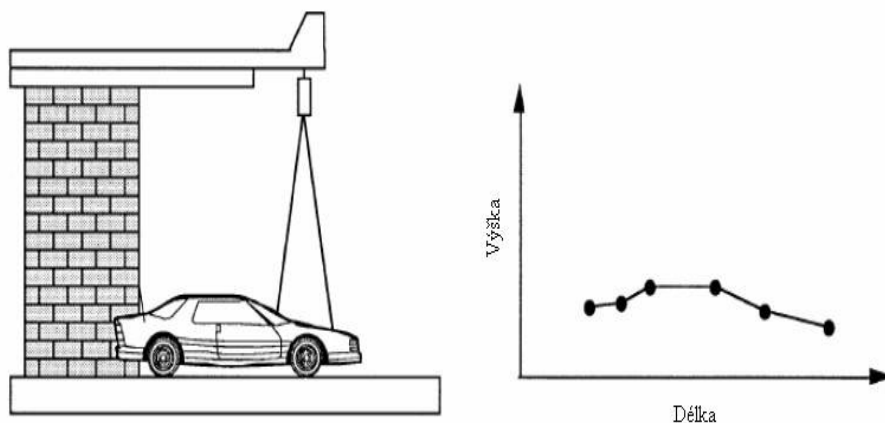


Obrázek 7 - Princip pasivních infračervených detektorů

## 2.5 Ultrazvukové detektory

Vysílají tlakové vlny, zvukové signály o frekvenci mezi 25 a 50KHz (nad slyšitelným spektrem). Většinou vysílají zvukové impulsy v pravidelných intervalech. Po vyslání impulsu měří čas (úměrný vzdálenosti), kdy se odražená vlna vrátí do detektoru. Přijatý zvukový signál přemění na signál elektrický a ten se zpracuje v signálovém procesoru. Většinou se vysílají dva paprsky pod definovanými úhly pro měření rychlosti, délky a výšky vozidla. Dlouhé intervaly mezi vyslanými signály mohou omezit přesnost měření. Ultrazvukové detektory nejsou tak často používány z důvodu nižší přesnosti a složité montáže. Jejich další možnosti uplatnění jsou při zjišťování délky vozidel, výšky vozidel [6].



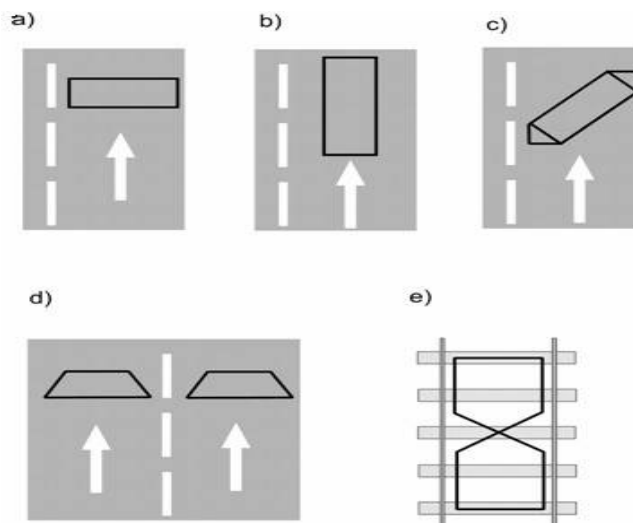


Obrázek 8 - Princip zjišťování výšky vozidla

## 2.6 Indukční smyčky

Jedná se o detektor zasahující do vozovky, smyčky jsou zabudovány přímo ve vozovce, obrázek 9. Při průjezdu nebo přítomnosti vozidla nad smyčkou se snižuje její indukčnost – tím se zvyšuje frekvence oscilátoru. Pokud změna frekvence dosáhne stanoveného prahu, pak je změna brána jako přítomnost vozidla. Indukční smyčky mohou být použity k měření intenzity, obsazenosti, přítomnosti, rychlosti a typu vozidla (jedna smyčka nebo kombinace 2 smyček).

Zařízení se skládá z jednoho nebo více závitů, izolovaného metalického vodiče, položeného v úzké vyfrézované drážce ve vozovce, z kabelu mezi smyčkou a propojovacím boxem, samotného propojovacího boxu, řídicí jednotky připojené k propojovacímu boxu, která interpretuje změny v elektrických vlastnostech smyčky při průjezdu vozidla, a zdroje střídavého napětí [7].



Obrázek 9 – Tvary smyček a) Pravoúhlá krátká, b) Dlouhá smyčka, c) Šikmá smyčka, d) Trapézová smyčka, e) Osmičková smyčka

Přibližně platí, že oblast aktivní detekce odpovídá velikosti smyčky. Šířka smyčky je dána šířkou jízdního pruhu, a požadavkem na minimální ovlivnění vozidly ve vedlejším pruhu. Obecný princip detektoru, vlastní smyčka, představuje vlastně vzduchovou cívku s indukčností  $L$ , která se vypočítá dle rovnice:

$$L = N * \left( \frac{\Phi}{I} \right) \quad (2)$$

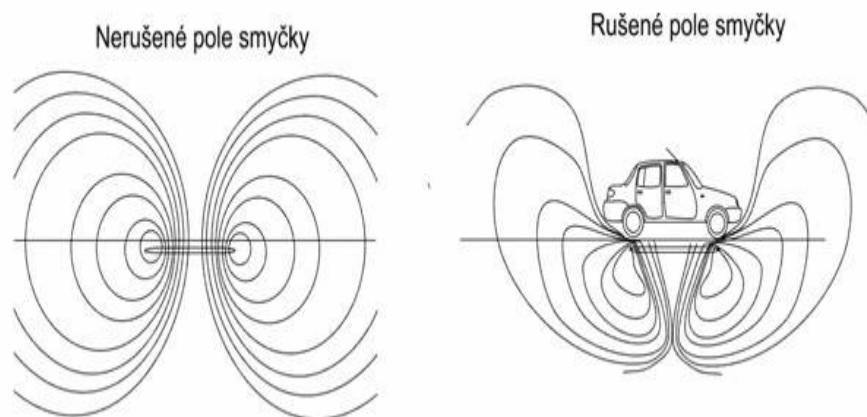
Kde  $L$  – indukčnost,

$N$  – počet závitů,

$\Phi$  – magnetický indukční tok,

$I$  – elektrický proud.

Cívka je napájena prostřednictvím přizpůsobovacího členu z oscilátoru 20 – 150 kHz. Tím je okolo závitů vytvořeno homogenní magnetické pole, které je narušeno díky přítomnosti kovové karoserie vozidla (obrázek 10) a vyvolaná změna (rozladění) je vyhodnocena v detektoru. Změna (rozladění) je vyvolána vířivými proudy ve vodivých částech vozidla [7].



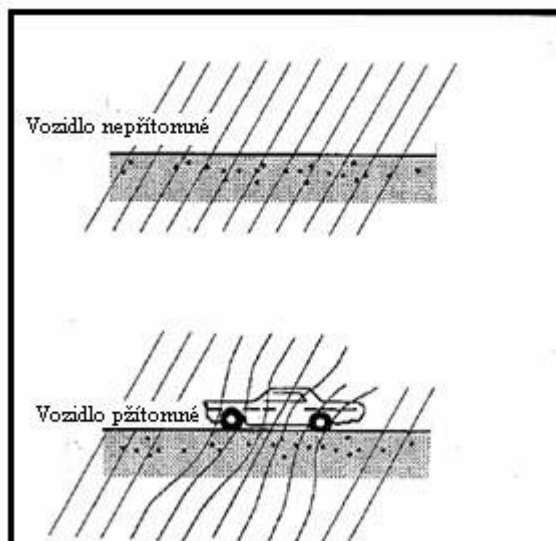
Obrázek 10 - Princip činnosti – změna magnetického pole

## 2.7 Magnetometry

Magnetometr je detektor zasahující do vozovky. Zabudován je přímo ve vozovce. Magnetometr byl vyvinut jako alternativa ke smyčkovým detektorům v případě instalace dopravního detektoru na speciálních místech. Princip činnosti spočívá v měření změny magnetického pole Země v případě přítomnosti vozidla v blízkosti detektoru. Používají se k počítání vozidel, měření intenzity, přítomnosti, obsazenosti a rychlosti vozidla (2 detektory).

Zařízení se skládá z jedné nebo více válcových sond zapuštěných do vozovky, kabelu spojujícího sondy s propojovacím boxem, z propojovacího boxu, řídicí jednotky interpretující změny v elektrických vlastnostech detektoru při průjezdu vozidla a z napájecí jednotky.

Magnetometr měří hustotu siločar magnetického pole země (intenzit magnetického pole). Pokud je vozidlo v prostoru senzoru, pak jeho kovová masa zvýší hustotu siločar magnetického pole, a magnetometr detekuje změnu v hustotě siločar magnetického pole jako přítomnost vozidla. Masa kovu ve vozidle zdeformuje siločáry, tak aby procházely skrze ní. Po stranách vozidla dochází ke snížení a pod/nad vozidlem ke zvýšení hustoty siločar [7]. Magnetometr detekuje změny v poli pod vozidlem obrázek 11.

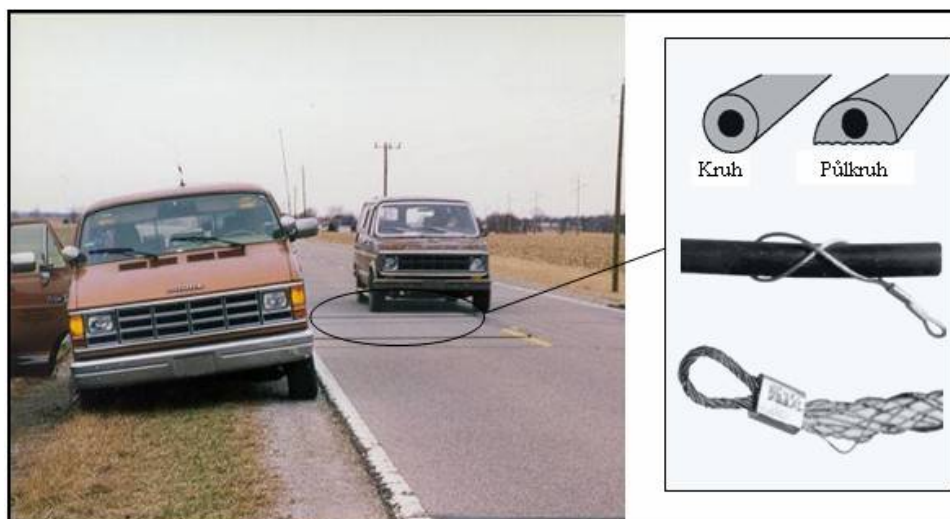


Obrázek 11 - Vliv vozidla na magnetické pole (siločáry)

## 2.8 Pneumatické detektory

Jde o první typ dopravního automobilového detektoru (1920). Princip činnosti spočívá v měření změny tlaku v trubce položené na vozovce. Zvýšený tlak aktivuje přepínač a ten vyšle signál. Pneumatické detektory mohou být použity k měření intenzity dopravního provozu, obsazenosti plochy vozidlem (vozidly) a rychlosti vozidla (2 detektory).

Zařízení se skládá se z ochranného krytu na nízko profilové pneumatické detektory při měření ve více jízdnicích pružích (kryt je pevný, ale ohebný polymerový obal), z propojovacího kabelu mezi senzorem a měřicí elektronikou, řídicí jednotky interpretující změny v elektrických vlastnostech detektoru při průjezdu vozidla a z napájení.



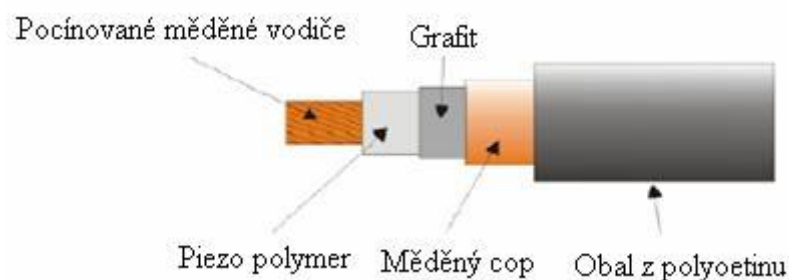
Obrázek 12 - Ukázka položení pneumatického detektoru

Při průjezdu vozidla přes pneumatický detektor, pneumatika stlačí trubičku obsahující vzduch. Toto stlačení způsobí zvýšení tlaku v trubičce a následné sepnutí tlakového senzoru na konci trubičky, obrázek 12. Nevýhoda pneumatického detektoru je že nelze dobře rozpoznat stojící či pomalu se pohybující vozidla, citlivost na změny teploty, nedají se použít ve zhoršených podmínkách (sníh) [7].

## 2.9 Piezoelektrické detektory

Piezoelektrické detektory se dělí dle použitého materiálu na keramické a polymerové. Dle konstrukce se dělí na piezoelektrické kabely (obrázek 13) a piezoelektrické plochy (pláty). Piezoelektrické kabely, jsou založené na technologii piezopolymeru. Po vzhledové stránce se neliší od klasického koaxiálního kabelu, pouze místo standardního vnitřního izolantu je použit právě piezopolymer. Piezoelektrické detektory umožňují klasifikaci dopravy, měření váhy vozidel za jízdy, intenzity dopravního provozu, obsazenosti plochy vozidla, rychlosti a pohybu vozidel atd.

Piezoelektrický detektor se skládá ze senzorů položených do podélné drážky, které jsou vyfrézované do vozovky. Dále z propojovacích kabelů mezi senzorem a měřicí elektronikou. Jeho součástí jsou také řídicí jednotky interpretující změny v elektrických vlastnostech detektoru, při průjezdu vozidla. Poslední částí je napájení.

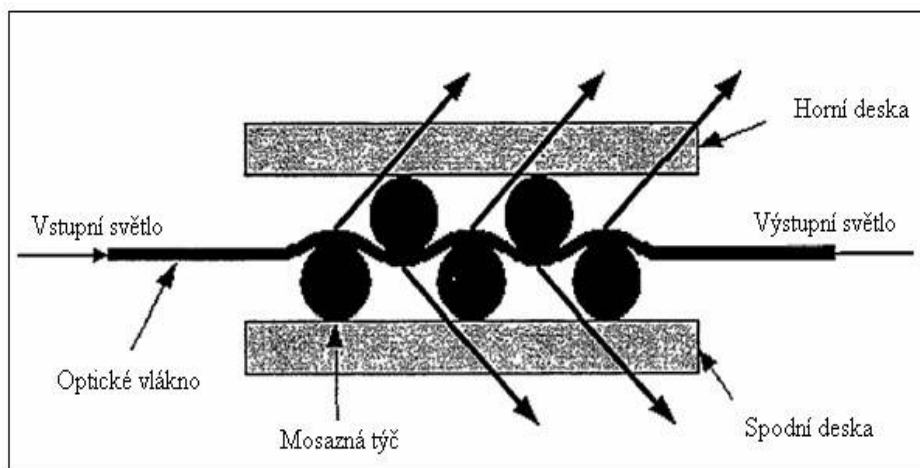


**Obrázek 13 - Piezoelektrický kabel**

Princip detektoru. Stlačení sondy je způsobeno koly vozidla. Napětí generované senzorem je úměrné síle (váze kola, nápravy), která působí na senzor (možnost použití jako váha). Amplituda signálu generovaného piezoelektrickým kabelem je přímo úměrná mechanické deformaci piezoelektrického materiálu. Elektrické napětí je vytvářeno náboji opačné polarity, které se objeví při stlačení na protilehlých površích piezoelektrického zařízení. Piezoelektrický efekt má dynamický charakter, tj. elektrický náboj se generuje pouze při změně vnějších sil působících na senzor [7].

## 2.10 Detektory s vláknovou optikou

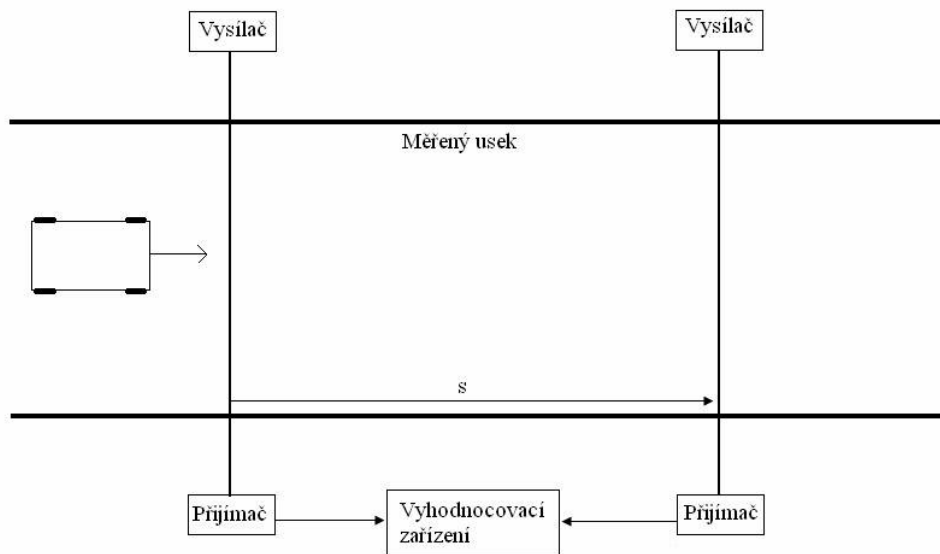
Relativně nová technologie, používá optický kabel položený na kulatinách, které se při stlačení pohnou směrem k sobě, viz obrázek 14. Ohnou vlákno a tak dojde k emisi světla. Intenzita světla je měřena na konci smyčky. Detektory mají vysokou přesnost a jsou odolné vůči elektromagnetickým interferencím. Při měření rychlostí se využívají dva detektory [7].



Obrázek 14 - Detektor s vláknovou optikou

### 3 Výběr principu měření

Z potřeby zjistit rychlost pohybujícího se objektu (vozidla) po podzemních komunikacích je vybrán způsob měření úsekové rychlosti. Tento princip je nastíněn v kapitole 3.2. Zařízení by mělo být snadno přenositelné a jednoduché na ovládání. Podle schématu zapojení při měření úsekové rychlosti bude nutné vytvořit dvě světelné závory, kterými bude měřený úsek ohraničen. Pak musí být sestaveno zařízení, které vyhodnotí a zpracuje údaje na světelných závorách. Na obrázku 15 je znázorněno schéma zapojení navrhovaného měřiče rychlosti.



Obrázek 15 - Schéma navrhovaného měřiče rychlosti

### 3.1 Koncepce měřícího zařízení

Měřící zařízení se skládá ze dvou světelných závor, vyhodnocovacího zařízení, které zpracovává údaje, sleduje přítomnost a nepřítomnost signálu na závorách. Poté ze zpracovaných údajů provede výpočet a zobrazí výsledek na připojený displej, případně jiné zobrazovací zařízení. Poslední a důležitou částí, jsou propojovací kabely.

### 3.2 Způsob měření

Při příjezdu vozidla do měřeného úseku musí být zařízení v pohotovostním režimu, připraveno měřit. Měření je zahájeno, pokud se měřený objekt, což je například vozidlo, dostane k první světelné závoře a přeruší vysílaný paprsek. Ukončení měření nastane tehdy, pokud objekt přeruší vysílaný paprsek u druhé světelné závory. Obě závory jsou od sebe v požadované vzdálenosti. V tomto měřeném úseku se zjišťuje čas, za který vozidlo projede mezi oběma světelnými závorami. Při přerušení první závory, nepřítomnosti signálu na vyhodnocovací části zařízení se spustí časovač. Ten je vypnut v okamžiku kdy se na druhé závoře objeví nepřítomnost signálu. Měřená rychlost se zjistí až druhotně výpočtem. Výpočet se provádí podle vzorce (3),

$$v = \frac{s}{t}. \tag{3}$$



Přijímač a vysílač světelné závory jsou na komunikaci na protilehlých stranách a paprsek je na ně kolmý. Přítomnost osoby u zařízení je nutná, jelikož zařízení je určeno pro měření jednoho projíždějícího vozidla měřeným úsekem. Pokud by tímto měřeným úsekem projížděla dvě vozidla jedoucí vedle sebe, předjíždějící se, nebo míjející se, naměřené hodnoty by byly zkreslené, případně úplně chybné a zjištěná rychlost by neodpovídala skutečnosti.

### **3.3 Světelná závora**

Světelná závora (senzor) se skládá ze dvou částí. Vysílače a přijímače. Jako vysílač (zdroj světla) může být zvoleno jedno ze tří zdrojů světla, viditelné (nekoherentní) světlo, infračervené (nekoherentní) světlo nebo laserové (koherentní) světlo. Podle zvoleného zdroje světla se vybere příslušný přijímač, který bude pro zvolené světlo nejvhodnější. Záleží na zvoleném spektru, na druhu vysílaného signálu a na vlivu okolí působícího na signál. Problémem u světelných paprsků je zajistit jejich identifikaci přítomnosti a nepřítomnosti na přijímači s velkou přesností a malou prodlevou. Dalším a značným problémem je zajistit dostatečný dosvit signálu o dostatečné intenzitě až ke snímači.

#### **3.3.1 Viditelné světlo**

Viditelné světlo je značně omezeno okolním prostředím v dosvitu. A to hlavně za dne. Nejvhodnější by bylo použití vysoce svítivé LED diody. Pro lepší vlastnosti je vhodné umístit před LED diodu optickou soustavu a vysílač umístit do rovné tmavé trubičky, která bude dostatečně dlouhá. Tím se dá docílit směrování paprsku do užšího svazku a jeho lepší dosvit. I přijímač je nutné umístit do téže trubičky z důvodu pronikáním okolního světla ze stran. Tím zlepšíme citlivost přijímače, ale nastane zde problém s přesností zaměření. Pro použití do závory je to nejméně vhodné světlo.

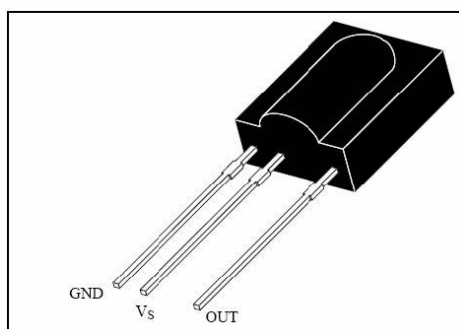
#### **3.3.2 Infračervené světlo**

Na přijímací část infračerveného přenosového systému působí rušení optického a elektromagnetického charakteru, které může pocházet i od vlastních elektronických obvodů. Mimo příslušný vysílač je možné za zdroj rušení považovat všechny ostatní optické zdroje emitující záření v pásmu, na něž je přijímač citlivý. Jedná se hlavně o sluneční svit a o žárovkové a zářivkové osvětlení. Maximální dosah infračervených přenosových systémů, závisí na vlastnostech prostředí, v němž jsou provozovány. Dosah lze zvětšit soustředěním svazku infračervených paprsků pomocí optických čoček. Zde je

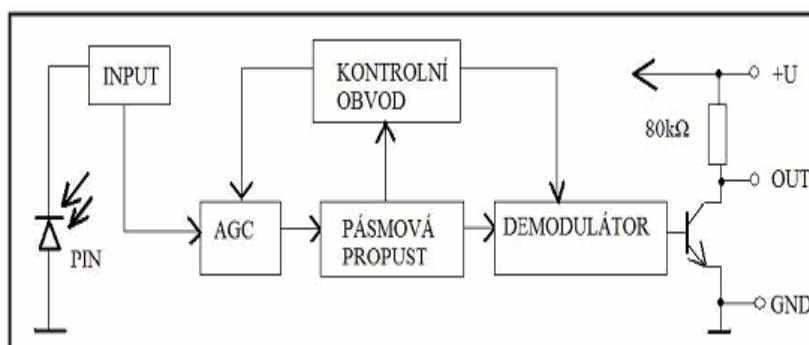
nutné vzít v úvahu nebezpečí, které pro lidské oko představují vysoké hodnoty intenzity ozáření.

Pokud bude přijímač i vysílač umístěn v rovné, tmavé a dostatečně dlouhé trubičce, snížíme tím rušení od okolí, ale nastane problém s přesností zaměření paprsku. Pak také můžeme diodu umístit do správně tvarovaného pouzdra zalitého pryskyřicí, která má funkci kmitočtového filtru. Jinak se také používají speciální optické filtry na určité vlnové délce. Potom přijímací diodou může být detekováno pouze záření s vlnovou délkou odpovídající danému filtru.

Další možností využití infračerveného světla je infračervený přijímač a vysílač, který pracuje na principu dálkového ovládání jako u televizí, hifi. Zde se využívá modulovaného signálu pro nosný kmitočet, který se poté odesílá. Modulace probíhá z důvodu přesné identifikace. Jako vysílač může být použita vysílací infračervená dioda, která je buzena obvodem o potřebné frekvenci. Přijímač se může skládat z fototranzistoru. V práci je zvolena jako přijímač část obvodu SFH 5110 - 36, viz obrázek 17. Ten se využívá jako přijímač u televizí.



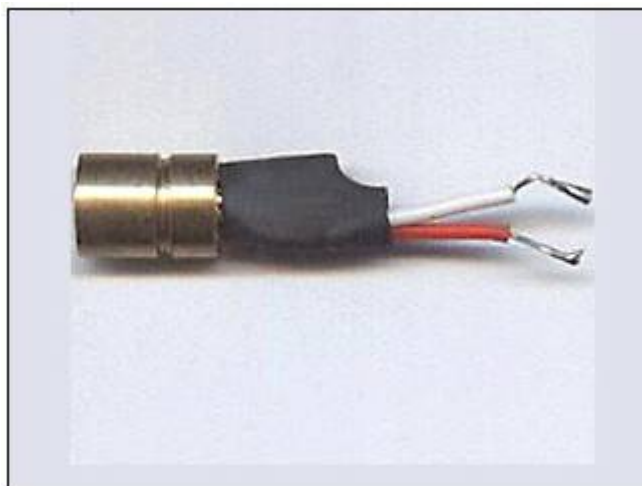
Obrázek 16 - Obvod SFH 5110 - 36



Obrázek 17 - Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu SFH506 – 36

### 3.3.3 Laserové světlo

Laserové záření se vyznačuje vysokou směrovostí svazku, je dostatečně výkonné a okolním rušením dosti neovlivnitelné. Není potřeba vysílací optika jako u předchozích zdrojů světla. Jako zdroj světla je použit laserový modul F-LASER 1MW 6MM viz obrázek 18.



Obrázek 18 - Modul laserové diody

Jelikož fototranzistor není citlivý pouze na laserové záření, ale na každé v daném rozmezí vlnových délek daného fototranzistoru, musí se přijímač odstínit a ochránit před okolním zářením. To se může provést tím, že se přijímač umístí do trubičky jako v předchozích případech. Délka trubičky je závislá na okolním světle, ale musíme si dát pozor na odražené záření, které může proniknout až k přijímači. Proto je vhodnější postavit přijímač proti slunci, tím zmenšíme možnost případného odraženého záření od okolí. Další způsob je umístit před přijímač polarizační filtr tak aby jim neprocházel svit s jiným směrem polarizace.

### 3.4 Výběr vyhodnocovacího zařízení

Pro vyhodnocování měření je nutné zaznamenávat data a posléze zpracovat. Možným způsobem vyhodnocování dat je jejich zpracování v osobním počítači. Nevýhodou přímého odesílání a zpracovávání délek pulsů je potřeba operačního systému reálného času. Klasický operační systém nemá zajištěnou časovou odezvu. Pro použití počítače s běžným operačním systémem je nutné data zaznamenávat v reálném čase a ukládat. Toto lze zajistit použitím mikroprocesoru, který zaznamenává čas od přerušení

první závory až po přerušení druhé závory. Naměřená data jsou zaznamenána do mikroprocesoru a poté se provede výpočet, který se zobrazí na displeji. Šlo by také využít toho, že uložená data v mikroprocesoru se přepíší do počítače (notebooku), kde se provede výpočet rychlostí a zobrazí se. Jako zaznamenávací obvod lze použít ATmega 16, který má HW čítače, a tyto čítače nezabírají programový čas. Při snímání dat může být využita jednotka input capture, která ihned po sepnutí přenesou obsah čítače do registru, v němž se na rozdíl od čítače data do další detekce signálu nemění.

### 3.4.1 Chyby při výpočtu rychlosti

Nepřesností při výpočtu, může nastat několik případů. A to při průjezdu vozidla světelnou branou i při průjezdu měřeným úsekem, zpožděním součástek, vyhodnocováním a vzdálenosti závor od sebe. Se všema vzniklými chybami se musí uvažovat při výpočtu rychlosti. Výpočet rychlosti se bude provádět pomocí již zmíněného vzorce (3),

$$v = \frac{s}{t}.$$

Do zmíněného vzorce započítáme všechny chyby vzniklé při měření. Vzniklé chyby si označíme  $\Delta t_1$  až  $\Delta t_n$  které se tykají času a  $\Delta s_1$  až  $\Delta s_n$  se které tykají vzdálenosti. Vzdálenost  $s$  a čas  $t$  měříme s chybami (nepřesnostmi) proto místo  $s$  měříme  $s + \Delta s$  a místo  $t$  naměříme  $t + \Delta t$ , kde  $\Delta s$  a  $\Delta t$  jsou odchylky naměřených hodnot od skutečných, tedy chyby, s nimiž  $s$  a  $t$  měříme. V důsledku toho výpočtem podle naměřených hodnot určíme rychlost také s chybou. Výpočet rychlosti projíždějícího vozidla měřeným úsekem s předpokládanými chybami,

$$v + \Delta v = \frac{s}{t} + \Delta v = \frac{s + \Delta s}{t + \Delta t} \quad (4)$$

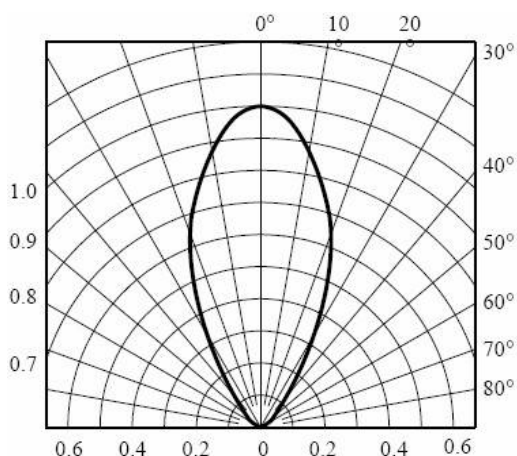
### 3.4.2 Chyby způsobené závory

V případě použití stálého svitu určuje chybu zpoždění fototranzistor, případně fotodiody, záleží na zvolené součástce. Zpoždění fototranzistoru se pohybuje v rozmezí 4 - 15  $\mu s$ . Chybu poté udává rozdíl obou zpožděných prvku. Maximální chyba je  $\pm 11 \mu s$ .

Pokud použijeme infračervený přijímač a vysílač, kde se využívá modulovaného signálu pak nám zpoždění udává katalogový list (datasheet). U přijímacího obvodu SFH 5110 – 36 (obrázek 16) zjistíme z katalogového listu, že zpoždění je v rozmezí od  $6/f_0$ . To odpovídá při frekvenci 36KHz časovému zpoždění 166,66  $\mu s$ .

Další chyba způsobená závorou může nastat, pokud by vozidlo při průjezdu první světelnou závorou přerušilo paprsek např. pneumatikou a vlivem terénu, nerovnosti na komunikaci, by při průjezdu druhou světelnou závorou došlo k přerušení paprsku karoserií, nárazníkem, případně jinou částí automobilu. Tak by také vznikla chyba při měření, která by ovlivnila měření.

Každá součástka, (fototranzistor, infračervená dioda) má vyzařovací diagram, který nám určuje v jakém směru má daná součástka nejlepší příjem a druhá zas největší vysílací zisk. Na  $0^\circ$  má fototranzistor maximální příjem a infračervená dioda maximální vysílací zisk, viz obrázek 19.



Obrázek 19 - Citlivostní diagram fototranzistoru BPW 85x

Z toho plyne, že se vysílač a přijímač na sebe musí natočit svými maximy, abychom získali nejlepší zisk. Ale také musí pracovat na stejné vlnové délce.

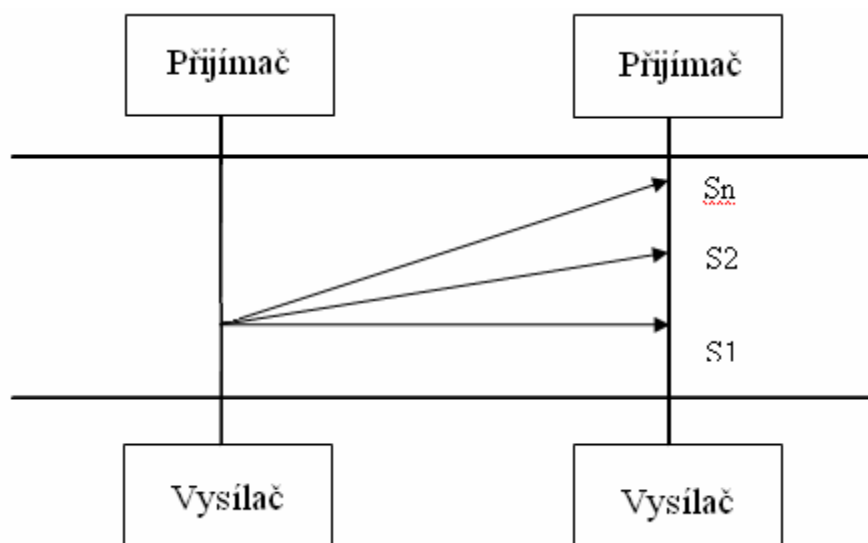
### 3.4.3 Chyba způsobená vzdáleností závor

Vzdálenost světelných závor je přesně definována. Při měření této vzdálenosti se musí použít měřicí zařízení, například vysouvací metr, pásmo. U použitého měřicího zařízení bychom měli vědět jakou máji udávanou nepřesnost měření. Tato nepřesnost nám může velmi ovlivnit zjišťovanou rychlost. Jedná se o dílčí chybu vzhledem k výpočtovému vzorci proto by měla být co nejmenší.

### 3.4.4 Chyba způsobená šikmou jízdou vozidla

Pokud by vozidlo při průjezdu měřeným úsekem projíždělo šikmo (směr jízdy vozidla není kolmý na měřicí paprsky), viz obrázek 20, pak je ujetá vzdálenost vozidla větší, než měřená vzdálenost. Vypočtená rychlost by poté neodpovídala skutečné rychlosti

vozidla. Naměřená rychlost vozidla při průjezdu šikmou jízdou měřeným úsekem je menší než skutečná. Skutečná rychlost by odpovídala kolmému průjezdu vozidla měřeným úsekem.



Obrázek 20 - Zjednodušené schéma šikmé jízdy

Na obrázku 20 je zjednodušeně znázorněná šikmá jízda vozidla. S1 označuje přímou jízdu, S2 a S3 jízdu pod určitým úhlem a Sn zobrazuje maximální možný úhel šikmé jízdy vozidla. V tabulce 1 je vypočteno o kolik se změní ujetá vzdálenost od skutečné, pod určitými uhly. Pro výpočet chyby měření, byla zvolena vzdálenost světelných závor 1m.

Tabulka 1 - Chyby způsobené šikmou jízdou

Úhel [°]	0	3	5	10	15	20
Ujetá vzdálenost [mm]	1000	1001,37	1003,81	1015,42	1035,27	1064,17
Chyba měření[%]	0	0,13	0,38	1,54	3,52	6,41

### 3.4.5 Chyba způsobená výpočtem

Jedná se o chybu, kdy se výpočtem zjišťuje čas z načtených impulzů v procesoru při průjezdu vozidla světelnými závorami. Maximální počet pulzů, který je

procesor schopný načíst, se určí podle počtu bitů čítače. U ATmegy 16 to je 16-ti bitový čítač, který odpovídá 65536 bitů.

Procesor pracuje na určité taktovací frekvenci, která je buď dána vnitřními hodinami (16MHz), nebo frekvencí externího krystalu. Při měření času, který stráví vozidlo mezi branami, je nutné dbát na chybu danou časovým rozlišením. S délkou periody impulsů, klesá přesnost vyhodnocení času. Tato chyba může být maximálně rovna délce jedné periody.

Pokud se nastaví předdělička čítače na 256, prodlouží se tak délka měřících impulsů, ale tím se také sníží 256x přesnost naměřeného času, protože se 256x prodloužily tyto měřící impulsy. Dle vztahu (5) se určí doba trvání (perioda) jednoho hodinového impulsu. Dle nastavení předděličky se tato doba prodlužuje v závislosti na daném nastavení, protože dochází ke snížení frekvence měřících impulsů. Potom se musí zákonitě prodloužit jejich délka.

$$T = \frac{1}{f_{clk}} = \frac{1}{16 * 10^6} = 62,5ns \quad (5)$$

Chyba se může pohybovat od  $-t_0$  do  $+t_0$ ,  $t_0$  je perioda hodin. Je třeba dbát na to, aby i při největší rychlosti vozidla (nejkratším měřeném času) se načítalo dost impulsů.

### 3.4.6 Celková chyba

Celková maximální chyba v čase bude odpovídat chybám, které jsme popsali v předcházejících kapitolách. Tyto chyby musíme brát v potaz, pokud budeme provádět výpočet rychlosti. Jsou to chyby, které nám výpočet ovlivní. My je musíme co nejvíce snížit, aby výpočet byl přesný. Podle použitých součástek se dostaneme na hodnoty odpovídající mikrosekundám, což je dostačující přesnost pro měření.

## 3.5 Výpočet času z naměřených hodnot

Při přerušení první světelné závory se začnou načítat pulzy až do doby, kdy nastane přerušení u druhé závory. Po tuto dobu čítač načte určitý počet pulzů, z kterého se určí čas průjezdu vozidla měřeným úsekem. Před tím než se začne zjišťovat čas z načtených pulzů, si určíme minimální a maximální rychlost, kterou chceme měřit. Tím budeme znát minimální a maximální čas k projetí měřeným úsekem. Také si musíme určit vzdálenost světelných závor od sebe.

### 3.5.1 Určení rychlostí

Zvolena minimální rychlost je 10km/h a maximální rychlost je 100km/h. Pro jednodušší počítání si převedeme km/h na m/s. To provedeme následujícím výpočtem:

$$1) \quad v_{\min} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{10}{3,6} = 2,777m/s \quad (6)$$

$$2) \quad v_{\max} = \frac{v_{km/h}}{3,6} = \frac{100}{3,6} = 27,777m/s \quad (7)$$

Prvním výpočtem si převedeme minimální rychlost ( $v_{\min}$ ), druhým převedeme maximální rychlost ( $v_{\max}$ ) na m/s.

### 3.5.2 Zjištění času

Pro výpočet času potřebujeme znát vzdálenost světelných závor od sebe. Tu si určíme pro výpočet, jeden metr. Zjištění minimálního a maximálního času provedeme podle vzorce (3), který upravíme pro výpočet času a dráhy:

$$v = \frac{s}{t} \Rightarrow t = \frac{s}{v} \Rightarrow s = v * t. \quad (8)$$

$$1) \quad t_{v\min} = \frac{s}{v_{\min}} = \frac{1}{2,777} = 0,36s$$

$$2) \quad t_{v\max} = \frac{s}{v_{\max}} = \frac{1}{27,777} = 0,036s$$

Při prvním výpočtu se zjišťuje maximální čas ( $t_{v\min}$ ) potřebný k projetí minimální rychlostí ( $v_{\min}$ ) měřeným úsekem. U druhého výpočtu zjistíme minimální čas ( $t_{v\max}$ ) potřebný k projetí měřeným úsekem maximální rychlostí ( $v_{\max}$ ).

### 3.5.3 Vzdálenost ujeta vozidlem za dobu periody hodin

Pro zjištění vzdálenost jakou ujede vozidlo za dobu jednoho pulzu hodin, potřebujeme znát periodu hodin (T). Ta je podle vztahu (5) 62,5ns, bez použití předděličky. S nastavenou předděličkou čítače na 256 se čítač zpomalí a perioda se změní na 16μs. Vzdálenost ujetá vozidlem za dobu jedné periody hodin (o kmitočtu 16/256 MHz) při minimální a maximální rychlosti je:



$$1) \quad s_{\min} = v_{\min} * t = 2,777 * (16 * 10^{-6}) = 44,444 \mu m$$

$$2) \quad s_{\max} = v_{\max} * t = 27,777 * (16 * 10^{-6}) = 0,444 mm$$

Prvním výpočtem získáme ujetou vzdálenost ( $s_{\min}$ ) při minimální rychlosti ( $v_{\min}$ ) za jeden pulz. U druhého výpočtu získáme ujetou vzdálenost ( $s_{\max}$ ) při maximální rychlosti ( $v_{\max}$ ).

### 3.5.4 Počet pulzů při $v_{\max}$ a $v_{\min}$

Počet pulzů, které načte čítač při minimální a maximální rychlosti vypočítáme následujícím způsobem:

$$1) \quad PP_{v_{\min}} = \frac{t_{v_{\min}}}{T} = t_{v_{\min}} * f_{krys} = 0,36 * (16 * 10^6) = 5,76 * 10^6 \quad (9)$$

$$2) \quad PP_{v_{\max}} = \frac{t_{v_{\max}}}{T} = t_{v_{\max}} * f_{krys} = 0,036 * (16 * 10^6) = 5,76 * 10^5 \quad (10)$$

$$3) \quad PPK_{v_{\min}} = \frac{PP_{v_{\min}}}{256} = \frac{5,76 * 10^6}{256} = 22500 \quad (11)$$

$$4) \quad PPK_{v_{\max}} = \frac{PP_{v_{\max}}}{256} = \frac{5,76 * 10^5}{256} = 2250 \quad (12)$$

První výpočet určuje počet pulzů při minimální rychlosti ( $PP_{v_{\min}}$ ) bez předděličky, druhý počet pulzů při maximální rychlosti ( $PP_{v_{\max}}$ ) také bez předděličky. Třetí výpočet určuje počet pulzů při minimální rychlosti ( $PPK_{v_{\min}}$ ) s předděličkou a čtvrtý určuje počet pulzů při maximální rychlosti ( $PPK_{v_{\max}}$ ) s předděličkou.

### 3.5.5 Čítač

Čítač je 16 bitový což odpovídá 65536 ( $2^{16}$ ) pulzů připadajícím na jednu periodu čítače. Po 65536 impulzech ukazuje 0. Na výstupech je čítač schopen rozlišit počet načtených impulzů 0 až 65535. Když víme jakou maximální hodnotu čítač načte a známe počet pulzů, pak můžeme vypočítat, kolikrát čítač přeteče s použitím a bez použití předděličky.

$$1) \quad PR_{v_{\min}} = \frac{PP_{v_{\min}}}{2^{16}} = \frac{5,76 * 10^6}{65536} = 87,890 \quad (13)$$

$$2) \quad PR_{v_{\max}} = \frac{PP_{v_{\max}}}{2^{16}} = \frac{5,76 * 10^5}{65536} = 8,789 \quad (14)$$

$$2) \quad PRK_{v_{\min}} = \frac{PPK_{v_{\min}}}{2^{16}} = \frac{22500}{65536} = 0,343 \quad (15)$$

$$3) \quad PRk_{v_{\max}} = \frac{PPk_{v_{\max}}}{2^{16}} = \frac{2250}{65536} = 0,0343 \quad (16)$$

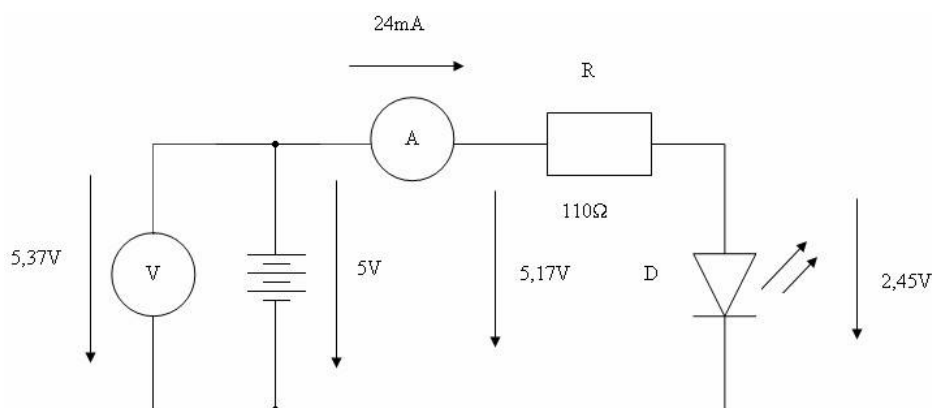
První a druhý vypočet je bez nastavené předděličky. První udává, kolikrát přeteče čítač při minimální rychlosti vozidla ( $PR_{v_{\min}}$ ). Druhý, kolikrát přeteče čítač při maximální rychlosti ( $PR_{v_{\max}}$ ). Třetí a čtvrtý vypočet je s nastavenou předděličkou. Třetí udává, kolikrát přeteče čítač při minimální ( $PRk_{v_{\min}}$ ) a čtvrtý při maximální ( $PRk_{v_{\max}}$ ) rychlosti. Je vidět, že čítač v tomto případě vůbec nepřeteče a má dokonce rezervu pro zjišťování nižších rychlosti (až do 3,43km/hod).

## 4 Měření na světelných závorech

Pro ověření funkčnosti a principu světelných závor je vybrána laserová dioda a fototranzistor. Laserová dioda je použita jako vysílač a jako přijímač je použit fototranzistor. Účelem měření je zjistit jestli je dané světlo vhodné pro použití k sestavení světelných závor. Případně si ověříme, jaké jsou problémy při sestavování a jak by se daly vzniklé potíže případně odstranit.

### 4.1 Kontrola funkčnosti součástek

Před tím než začneme se součástkou pracovat v měřeném obvodu, ji zapojíme do obvodu se zdrojem, voltmetrem (V), ampérmetrem (A) a předřadným rezistorem (ochranným, R). Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 21. V tomto obvodu si ověříme, jestli je dána součástka funkční a jak svítí. A zhodnotíme, zda bude pro náš účel vhodná. Pro ověření funkčnosti byla vybrána laserová dioda (D), kterou nalezneme na obrázku 18. Kontrolní zapojení je na obrázku 21.



Obrázek 21 - Kontrolní zapojení diody

Z měřených hodnot vidíme, že napětí na diodě v propustném směru (při svítící diodě) je větší než obvyklých asi 0,7V. S tím musíme při návrhu obvodů počítat.

### 4.2 Ověřování světelné závory

Po prvním měření, kdy jsme usoudili, že vybraná laserová dioda je pro měření vhodná, ji zapojíme do obvodu, při kterém si ověříme princip světelné závory, viz obrázek 22. Měřený obvod se bude skládat z přijímače a vysílače. Jako přijímač bude zapojen

fototranzistor, na který bude připojen osciloskop a napájení. Na osciloskopu budeme sledovat signály (průběhy) na které bude tranzistor reagovat. Jako vysilač zapojíme již zmíněnou laserovou diodu, která bude napájena pulzním generátorem. Obě dvě součástky budou mít svůj předřadný odpor. Hodnotu předřadného rezistoru se vypočítá podle ohmová zákona (12).

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = R * I \Rightarrow R = \frac{U}{I}. \quad (17)$$

Napájení obvodu je zvoleno pět voltů. Podle hodnot udávaných výrobcem v katalogovém listu si zjistíme jaké je proudové a napěťové zatížení součástek. A poté vypočteme předřadný odpor součástek.

Vypočet předřadného odporu pro diodu a tranzistor:

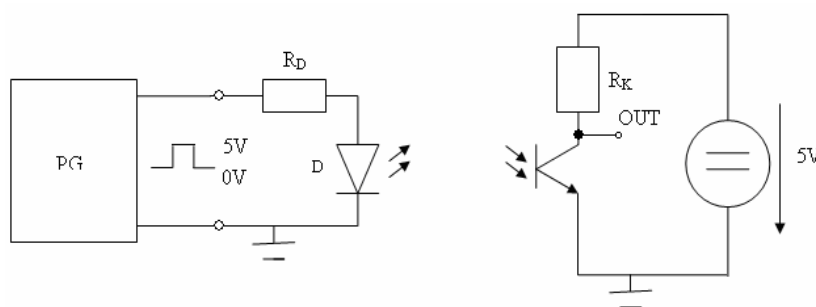
$$\text{Zdroj: } R_D = \frac{V_Z - V_D}{I_D} = \frac{5 - 2,45}{0,025} = 102\Omega \quad (18)$$

$$\text{Spínač: } R_K = \frac{V_{NAP}}{I} = \frac{5}{0,0005} = 10000\Omega \quad (19)$$

$V_Z$  – napětí přiváděné na sériovou kombinaci  $R_D$ ,  $D$ .

$V_D$  – napětí na diodě v propustném směru.

Dovolený proud diodou je  $I_D = 35\text{mA}$ . Zvolený proud je  $25\text{mA}$ , což je dostačující pro měření. Maximální proud kolektorem tranzistoru je dle použitého fototranzistoru. U tranzistoru BPW 85C je  $I_C = 50\text{mA}$ . Předřadný odpor kolektoru slouží k omezení maximálního proudu tekoucího tranzistorem, je-li tranzistor sepnut, je dán podle výpočtu  $10\text{K}\Omega$  a tím je omezen maximální proud na hodnotu  $0.5\text{mA}$ .



Obrázek 22 - Schéma zapojení světelné závory

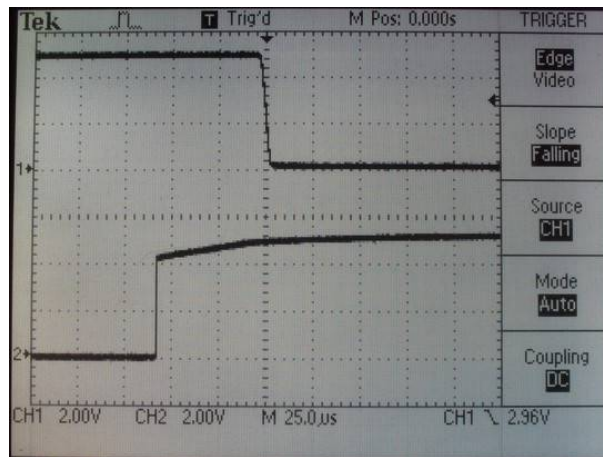
Pro měření spínání fototranzistoru je nutné zapojit osciloskop, na kterém budeme sledovat otevření a zavření tranzistoru. Osciloskop bude připojen jednou měřicí sondou k části obvodu s laserovou diodou. Druhá měřicí sonda bude připojena k té části obvodu kde je fototranzistor. Spínání fototranzistoru je způsobeno laserovou diodou, která je buzena pulzním generátorem o šířce pulzu 1ms. Vzdálenost mezi diodou a tranzistorem je pro počáteční měření přibližně pět až deset centimetrů. Dalšími měřeními si ověříme spínání tranzistoru na větší vzdálenost a to přibližně kolem tří metrů. Měření provedeme na čtyřech různých tranzistorech. První měření bude s fototranzistorem BPW – 85c, druhé s fototranzistorem LPT 80A, třetí s fototranzistorem L - NP – 3C1 a čtvrté s fototranzistorem SFH 309 – 5. Tranzistory se liší jen v rychlosti otvírání a zavírání při spínání a také v dovoleném proudovém a napěťovém zatížení.

### 4.3 Záznamy a vyhodnocení měření

Hlavní částí měření bylo sledování výstupu na tranzistoru, který byl spínán diodou a v obvodu měl zapojený dostatečně velký odpor. Další část měření byla zaměřena na laserovou diodu a její vysílání, které se porovnávalo a určovalo ze zpoždění tranzistoru. Další měření probíhalo na infračerveném přijímači SFH 5110.

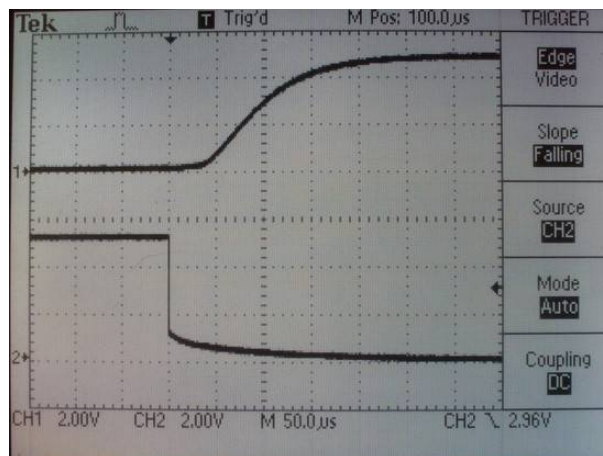
#### 4.3.1 Měření na fototranzistoru BPW 85c

První měření probíhalo na fototranzistoru BPW 85c, tranzistor má maximální dovolený proud kolektorem  $I_C = 50\text{mA}$ . Zapojen byl podle schéma na obrázku 22, napájen byl 5V, měření proběhlo s kolektorovým rezistorem  $R_K = 10\text{K}\Omega$ .



Obrázek 23 - Měření s tranzistorem BPW 85c

Na obrázku 23 jsou znázorněny průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na sestupnou hranu a synchronizace byla na horní průběh. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru. Dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 25µs/div. Z obrázku lze vyčíst, že zpoždění sepnutí tranzistoru v přijímači za rozsvícením diody je 60µs.



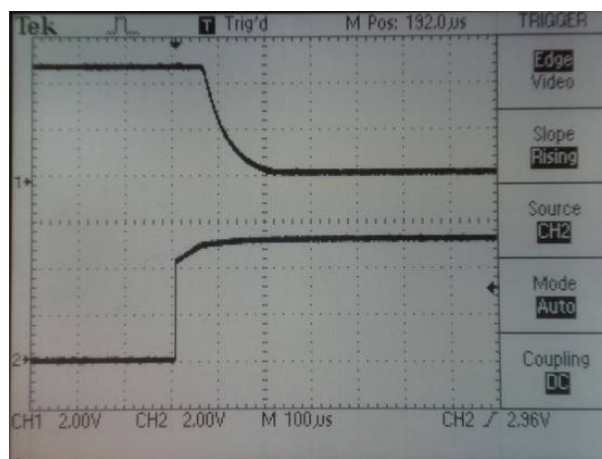
Obrázek 24 - Měření s tranzistorem BPW 85c

Obrázek 24 zobrazuje průběhy na osciloskopu, kdy byl osciloskop nastaven na sestupnou hranu a synchronizaci na dolní průběh. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na intervalu 50µs/div. Horní průběh zobrazuje odezvu fototranzistoru. Dolní průběh zobrazuje vstup na

diodě. Z obrázku je vidět, že zavírání tranzistoru přijímače po skončení osvětlení diodou vysílače je dosti pozvolné, zavírání trvá více než  $150\mu\text{s}$ .

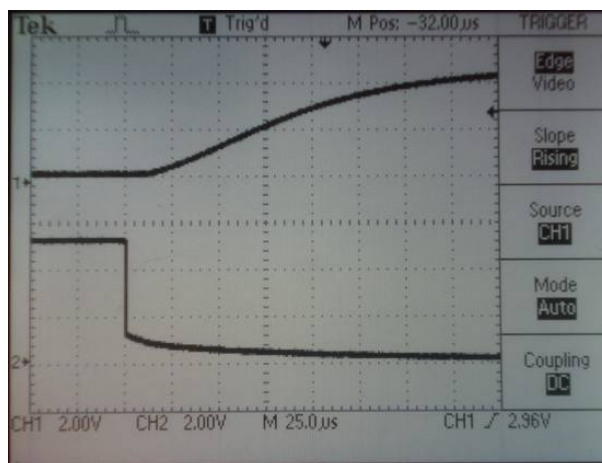
#### 4.3.2 Měření na fototranzistoru L-NP-3C1

Druhé měření probíhalo s fototranzistorem L-NP-3C1, tranzistor má maximální dovolený proud kolektorem  $I_{C(ON)} = 3,5\text{mA}$ . Zapojen byl podle schéma na obrázku 22, napájen byl 5V, měření proběhlo s kolektorovým rezistorem  $R_K = 10\text{K}\Omega$ .



Obrázek 25 -Měření s tranzistorem L-NP-3C1

Na obrázku 25 jsou znázorněné průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na vzestupnou hranu a synchronizace byla na dolní průběh. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru. Dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Osa napětí má rozsah  $2\text{V/div}$  a časová osa je vykreslena pro  $100\mu\text{s/div}$ . Z obrázku lze vyčíst, že zpoždění je  $120\mu\text{s}$ .

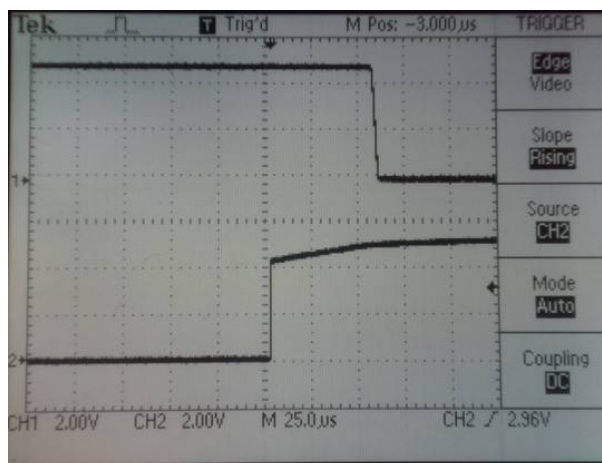


Obrázek 26 - Měření s tranzistorem L-NP-3C1

Na obrázku 26 jsou znázorněné průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na vzestupnou hranu a synchronizace byla na horní průběh. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 25µs/div. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru, dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Z obrázku je vidět, že zavírání tranzistoru přijímače je dost pozvolné a k zavření dojde po více než 150µs.

#### 4.3.3 Měření na fototranzistoru LPT 80A

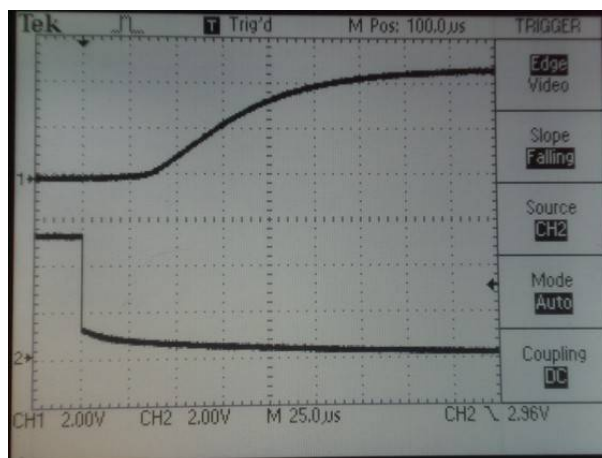
Třetí měření probíhalo s fototranzistorem LPT 80A, tranzistor má maximální dovolený proud kolektorem  $I_C = 50\text{mA}$ . Zapojen byl podle schéma na obrázku 22, napájen byl 5V, měření proběhlo s kolektorovým rezistorem  $R_K = 10\text{K}\Omega$ .



Obrázek 27 - Měření s tranzistorem LPT 80A



Na obrázku 27 jsou znázorněny průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na vzestupnou hranu a synchronizace byla na dolní průběh. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru. Dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 25 $\mu$ s/div. Z obrázku lze vyčíst, že zpoždění otevření tranzistoru přijímače za vzestupnou hranou rozsvícené diody je 60 $\mu$ s.

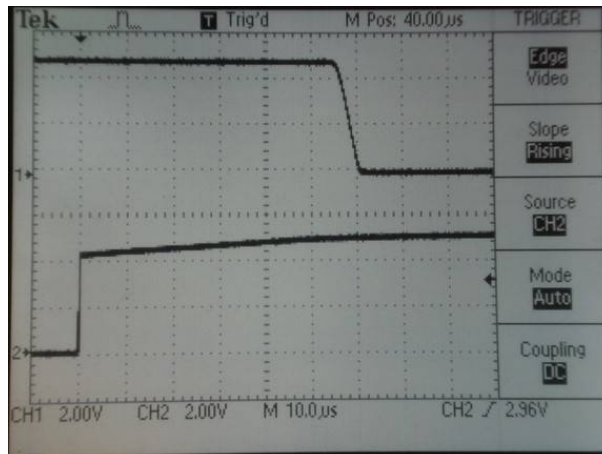


Obrázek 28 - Měření s tranzistorem LPT 80A

Na obrázku 28 jsou znázorněné průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na sestupnou hranu a synchronizace byla na dolní průběh. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 25 $\mu$ s/div. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru, dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Z průběhů lze vidět, že zavírání tranzistoru přijímače (po skončení osvětlení) je dost pozvolné, doba než se tranzistor dostatečně zavře je asi 125 $\mu$ s.

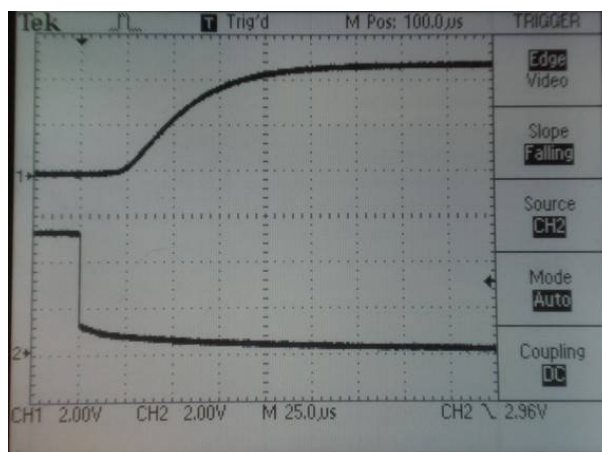
#### 4.3.4 Měření na fototranzistoru SFH 309

Čtvrté měření probíhalo s fototranzistorem SFH 309, tranzistor má maximální dovolený proud kolektorem  $I_C = 15\text{mA}$ . Zapojen byl podle schéma na obrázku 22, napájen byl 5V, měření proběhlo s kolektorovým rezistorem  $R_K = 10\text{K}\Omega$ .



Obrázek 29 - Měření s tranzistorem SFH 309

Na obrázku 29 jsou znázorněné průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na vzestupnou hranu a synchronizace byla na dolní průběh. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru, dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 10µs/div. Z obrázku lze vyčíst, že zpoždění je 60µs.



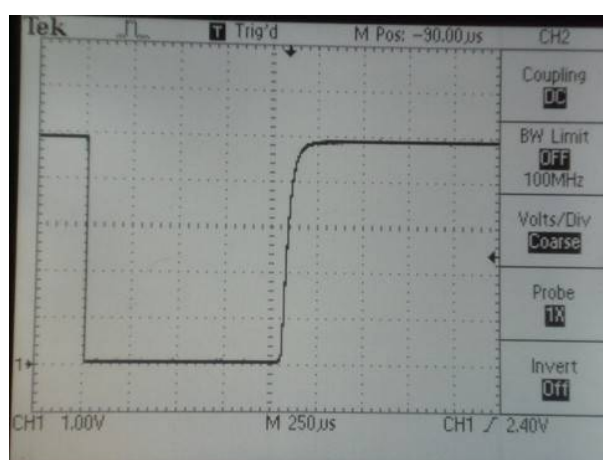
Obrázek 30 - Měření s tranzistorem SFH 309

Na obrázku 30 jsou znázorněné průběhy naměřené na osciloskopu. Osciloskop byl nastaven na sestupnou hranu a synchronizace byla na dolní průběh. Horní průběh z obrázku zobrazuje odezvu fototranzistoru, dolní průběh zobrazuje vstup na diodě. Osa napětí má rozsah 2V/div a časová osa je nastavena na 25µs/div. Opět vidíme, že zavírání

tranzistoru přijímače je dost pozvolné, k zavření tranzistoru po skončení osvětlení dojde asi po 100 $\mu$ s.

#### 4.3.5 Měření na větší vzdálenost

Měření na větší vzdálenost se provádělo s tranzistorem BPW 85c, který je nejvhodnější. Z provedených měření jsme určili, že má nejvhodnější vlastnosti pro naši aplikaci a to dobu zavření tranzistoru přijímače – přerušení osvětlení vozidlem. Zapojen byl podle schéma na obr 22. Napájen byl 5V. Měření proběhlo s kolektorovým rezistorem  $R_K = 10K\Omega$ , vzdálenost diody a tranzistoru byla přibližně tři metry. Zobrazený průběh na osciloskopu je jen jeden, jelikož sondy od osciloskopu nejsou tak dlouhé, jak bychom potřebovali pro toto měření. Je zobrazen průběh na fototranzistoru.



Obrázek 31 - Měření na větší vzdálenost s tranzistorem BPW 85c

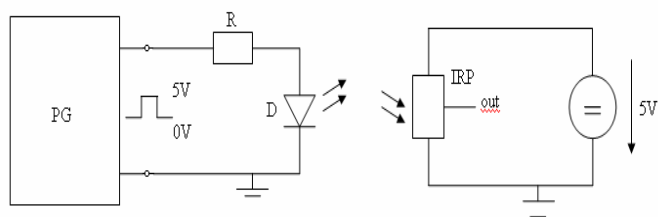
Na obrázku 31 je průběh naměřený na osciloskopu. Obrázek zobrazuje odezvu fototranzistoru. Osa napětí má rozsah 1V/div a časová osa je nastavena na 250 $\mu$ s/div. Na obrázku je vidět průběh, kdy jsme měli nasměrovaný optimálně vysílač a přijímač na sebe a poté jsme signál přerušili.

Při tomto měření nastal značný problém s nasměrováním laserové diody na fototranzistor. Kvůli odstínění přijímače od pronikání okolního záření, jako je sluneční světlo, nebo zářivkové světlo, byl při měření tranzistor umístěn do rovné plastové trubky. Tato stínící trubka musí být dost přesně nasměrována na svítící diodu. Komplikace způsobovalo směřování paprsku z laserové diody na tranzistor, dioda má velmi úzký vyzařovací svazek. Při úspěšném nasměrování se nesmí paprsek chvět, laserová dioda musí být stabilní, jinak nastane problém s nasměrováním a tím i s měřením. Pro úspěšné využití

v terénu by dioda musela být umístěna na stojanu nebo něčem co by bylo stabilní a odolné proti chvění.

#### 4.3.6 Měření s IR – přijímačem SFH 5110

Při tomto měření se využívá modulovaného světla o kmitočtu 36KHz. Přijímač detekuje signál jen o tomto kmitočtu. K měření je využito infračervené led diody CQY 99 a infračerveného přijímače (IRP) SFH - 5110 – 36, viz obrázek 16. Schéma zapojení je na obrázku 32.



Obrázek 32 - Schéma zapojení světelné závory s IR – přijímačem

Dioda je buzená pulzním generátorem o frekvenci 36KHz. Infračervený přijímač je připojen na napětí 5 V. Oba dva obvody jak dioda, tak přijímač jsou připojeny na osciloskop, na kterém se zobrazuje vysílaný signál diodou a signál zpracovaný přijímačem obrázek 34. Dioda má maximální povolený proud  $I_F = 150\text{mA}$  a napětí na diodě je 1,4 - 1,7V. Diodou poteče 50mA, což stačí pro její rozsvícení, rozsvícení diody není lidským okem viditelné, protože pracuje v infračerveném pásmu. Pro ověření zda svítí jsme využili fotoaparát, tím lze pozorovat infračervené světlo.

Vypočet odporu před diodou je:

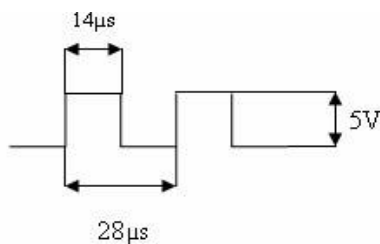
$$R = \frac{V_{NAP} - V_D}{I_D} = \frac{5 - 1,7}{0,05} = 66\Omega \quad (20)$$

Perioda budících pulzů diody se určí:

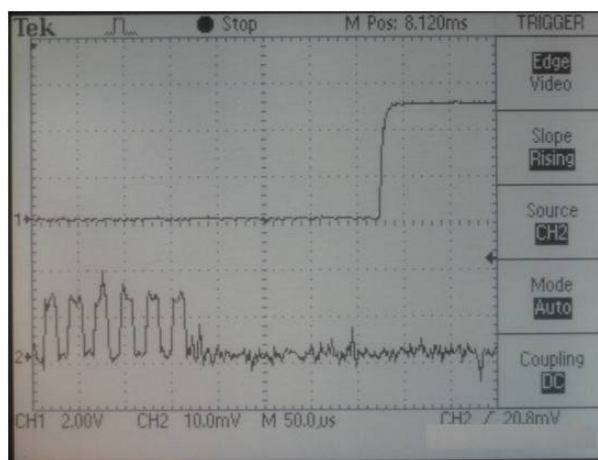
$$T_{pulzu} = \frac{1}{36 * 10^3} = 27,777 \mu\text{s} \quad (21)$$

Hodnotu zaokrouhlíme na 28 $\mu\text{s}$ . Z toho vyplývá, že perioda budících pulzů je 28 $\mu\text{s}$  a výška je 5V (obrázek 33). Tento signál si nastavíme na pulzním generátoru. Pokud je

přijímač ozařován IR impulzy (o kmitočtu 36Khz) je jeho výstup na nule (nízké úrovni) pokud ozařován není, je výstup na 5V (vysoké úrovni).



Obrázek 33 - Šířka pulzu



Obrázek 34 - Průběhy na diodě a IR – přijímači

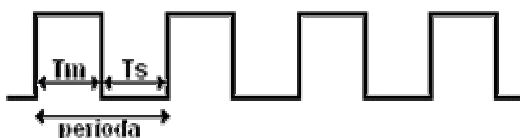
Na obrázku 34 je zobrazen průběh na IR – přijímači. Tomu odpovídá horní průběh a dolní průběh odpovídá diodě. Osa napětí má rozsah 2V/div pro první kanál a pro druhý kanál to je 10mV/div, časová osa je nastavena na 50 μs/div. Synchronizace je nastavena na dolní průběh. Z obrázku lze vyčíst, že zpoždění je přibližně 200 μs (to je doba, po které přejde výstup přijímače na vysokou úroveň po přerušení ozařování IR impulzy).

Měření probíhalo na vzdálenost přibližně tři metrů. Při této vzdálenosti jsme si ověřovali přítomnost a nepřítomnost vysílaného signálu na přijímači. A to tak že jsme signálu kladli do cesty různé překážky, například ruku, a pozorovali jsme, jak se změny průběhu projeví na osciloskopu. Při měření jsme zjistili, že odpadá problém s nasměrováním, který jsme měli u laserové diody. Dioda nemusí být přímo nasměrována na přijímač, postačí, když bude vysílat směrem k přijímači. Toto měření ukázalo, že tento

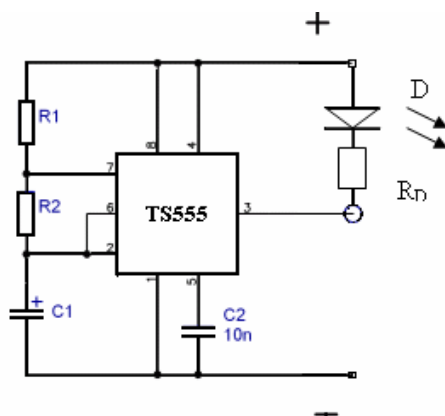
typ přijímače se dá použít pro světelnou závoru. Zdali je pro světelnou závoru vhodný nebo nevhodný si prokážme v dalším měření.

#### 4.3.7 Měření s obvodem 555 a IR-přijímačem

U tohoto měření jsme měřili bez pulzního generátoru, kterým jsme v předchozím měření budili vysílací diodu. Průběhy jsme zobrazovali na osciloskopu. Dioda zde byla buzena samostatným obvodem, v zapojení s TS555 což je časovač. Tento časovač je zapojen v režimu astabilního klopného obvodu, dle obrázku 36. Astabilní obvod vyrábí „obdélníkový průběh“ napětí. To je průběh s ostrými přechody mezi nízkou (0V) a vysokou (+Vcc) úrovní napětí. Navíc časové intervaly nízké a vysoké úrovně mohou být rozdílné. Zapojení se nazývá astabilní, protože výstupní signál není stabilně ani v jednom stavu, ale neustále se mění mezi nízkou a vysokou úrovní.



Obrázek 35 - Astabilní výstup 555



Obrázek 36 - Astabilní zapojení 555

Pro naše měření potřebujeme, aby časové intervaly nízké a vysoké úrovně byly rovnoměrné a frekvence obvodu dosahovala 36KHz. Abychom toho docílili, musíme provést výpočet hodnot potřebných součástek, které jsou v zapojení na obrázku 36. Vhodné je však nejprve zvolit kondenzátor C1, protože kondenzátory se na rozdíl od

odporů nevyrobějí v příliš hustých řadách. Proto jsme C1 zvolili 10nF, další hodnoty součástek jsme dopočítali podle rovnic z katalogového listu (datasheetu) od výrobce.

Výpočet hodnot součástek jsme provedli podle rovnic:

$$R_2 = \frac{0,7}{f * C_1} = \frac{0,7}{(36 * 10^3) * (10 * 10^{-9})} = 1944,44\Omega \quad (21)$$

$$R_1 = \left( \frac{1,44}{(f * C)} \right) - (2 * R_2) = \left( \frac{1,44}{((36 * 10^3) * (10 * 10^{-9}))} \right) - 3600 = 400\Omega \quad (22)$$

Hodnota  $R_2$  byla zvolena 1800 $\Omega$ , která se dosadila do vzorce pro výpočet frekvence  $f$  a odporů  $R_1$ . Výpočet frekvence se provedl dle rovnice:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + (2 * R_2)) * C} = \frac{1,44}{((400 + (2 * 1800)) * (10 * 10^{-9}))} = 36000Hz \quad (23)$$

Při výpočtu, nedosáhneme rovnoměrně šířky časových intervalu, jeden časový interval bude užší na rozdíl od druhého. Výpočet šířky intervalu provedeme dle rovnic:

$$t_m = 0,693 * (R_1 + R_2) * C = 0,693 * ((400 + 1800) * (10 * 10^{-9})) = 1,5246 * 10^{-5} s \quad (24)$$

$$t_s = 0,693 * (R_2 * C) = 0,693 * (1800 * (10 * 10^{-9})) = 1.2474 * 10^{-5} s \quad (35)$$

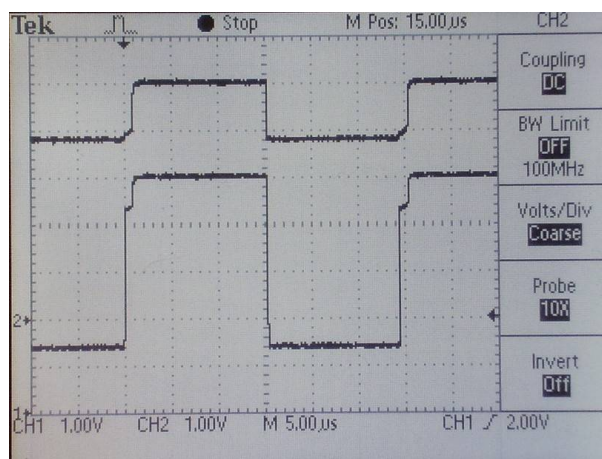
V průběhu měření jsme zjistili, že šířka časových intervalu je větší, než kterou potřebujeme. Tedy že perioda nedosahuje požadovaných 28 $\mu$ s, ale skutečných 35 $\mu$ s, což odpovídá frekvenci 28,5KHz. Z toho vyplývá, že dioda je buzena úplně jiným kmitočtem než je požadovaných 36KHz. Proto jsme k odporu  $R_2$  přidali paralelně odpor 10K $\Omega$ , abychom dosáhli periody 28 $\mu$ s. Tato perioda odpovídá přibližně 36KHz.

Výpočet frekvence:

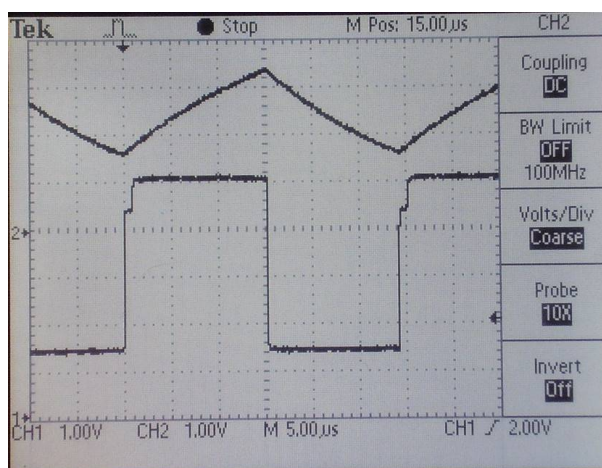
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{28 * 10^{-6}} = 35714Hz \quad (26)$$

Na obrázku 37 jsou zobrazené průběhy na IR-přijímači a na diodě, která je zapojena v obvodu s časovačem. Horní průběh odpovídá diodě a dolní průběh odpovídá výstupu časovače. Osa napětí má rozsah 1V/div jak pro první kanál, tak pro druhý kanál. Časová osa je nastavena na 5 $\mu$ s/div. Synchronizace je nastavena na dolní průběh. Z obrázku lze vyčíst, že výstup 555 nešel až na 0, v důsledku dost velkého proudu, který musel svést

k zemi. Na výstupu zůstává napětí 1,2 V. Toto napětí by se mohlo snížit změnou hodnot kondenzátoru a odporu.



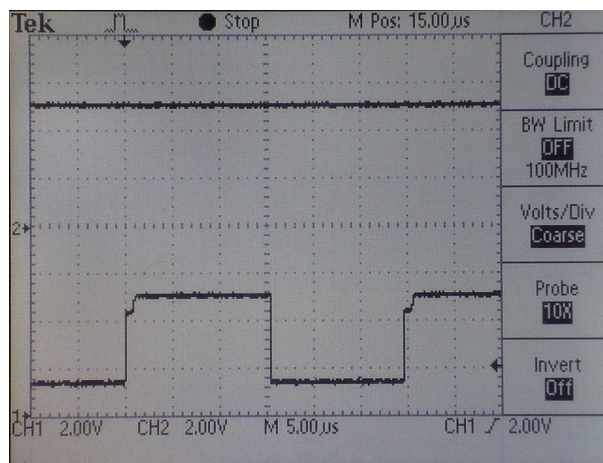
Obrázek 37 - Průběhy na obvodu s časovačem 555



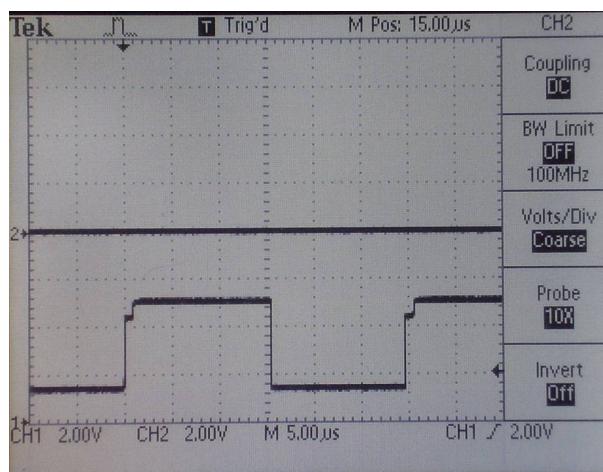
Obrázek 38 - Průběhy na kondenzátoru a diodě

Další průběhy jsme měřili na kondenzátoru a na výstupu časovače. Tyto průběhy jsou na obrázku 38. Horní průběh odpovídá napětí kondenzátoru a dolní průběh odpovídá výstupu na časovači, na který je připojena dioda. Časová osa je nastavena na  $5\mu\text{s}/\text{div}$ . Osa napětí má rozsah  $1\text{V}/\text{div}$ , jak pro první tak pro druhý kanál. Synchronizace je nastavena na dolní průběh.





Obrázek 39 - Průběhy na obvodu 555 a IR-přijímači (v jedničce)



Obrázek 40 - Průběhy na obvodu 555 a IR-přijímači (v nule)

Obrázky 39 a 40, zobrazují měření na obvodu s časovačem a IR-přijímačem. Měření probíhalo na vzdálenost přibližně dvou metrů. Při tomto měření jsme si ověřili funkčnost závory. Na obrázku 39 je zobrazeno měření kdy byl na IR-přijímači nepřítomen signál a na obrázek 40 je zobrazeno měření kdy je na IR-přijímači přítomen signál. U obou obrázků je nastavena synchronizace na spodní průběh a napěťová osa na 2V/div. Časová osa je nastavena na 5 $\mu$ s/div.

## 5 Závěr

V této práci bylo jedním z cílů seznámit se, se způsoby měření rychlostí dopravních prostředků. Bylo naznačeno, že je mnoho způsobů jak se dá měřit rychlost. Některé způsoby jsou přesné a některé méně přesné. Z těchto možných způsobů měření byl vybrán způsob založený na určování rychlosti pomocí měření času potřebného pro projetí měřicího úseku určité délky.

Hlavní důraz byl položen na navržení obvodu senzoru pro měření rychlosti a ověření jeho funkčnosti pomocí univerzálních měřicích přístrojů. Jak je již naznačeno v textu, senzor slouží jako světelná závora, obsahující přijímač a vysílač.

Nejvhodnější zdroj světla pro senzor, vysílač jsou dva druhy zdroje světla. A to laserová dioda a infračervená dioda buzena pulzním zdrojem (modulované světlo) o určité frekvenci. Měřením jsme si ověřili, že oba dva zdroje světla jsou vhodné pro vysílač (senzor).

Při ověřování světelné závory jak s laserovou diodou, tak s modulovaným světlem jsme zjistili, že modulované světlo je optimálním řešením pro navržený způsob měření. Odpadá problém s přesným nasměrováním vysílače na přijímač. Po umístění do pouzdra (trubky), upravíme přijímaný svazek na užší. Při měření jsme zjistili, že pokud IR-přijímač neumístíme do pouzdra (trubky), pak má velký uhlový rozsah detekce signálu.

Na zařízení pro měření rychlosti pohybu vozidel na silnicích založených na principu měření doby projetí úseku určité délky se již nějakou dobu pracuje. Cílem není přímo konkrétní přístroj pro měření rychlosti, ale ověření různých způsobů realizace jednoduchého, lehkého, levného a snadno ovladatelného přístroje, obsluhovaného jedním člověkem. Zatím se víc pozorností věnovalo využití mikroprocesorové techniky pro vyhodnocení a v této práci byla pozornost upřena na vlastní snímač.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Podélné uspořádání při měření rychlosti .....	9
Obrázek 2 - Transverzální uspořádání při měření rychlosti .....	9
Obrázek 3 - Princip laserového (impulsního) rychloměru .....	1
Obrázek 4 - Schéma systému měření úsekové rychlosti .....	2
Obrázek 5 - Princip měření rychlosti pomocí dopplerova jevu.....	3
Obrázek 6 - Princip aktivních infračervených detektoru.....	4
Obrázek 7 - Princip pasivních infračervených detektoru .....	5
Obrázek 8 - Princip zjišťování výšky vozidla .....	16
Obrázek 9 – Tvary smyček a) Pravoúhlá krátká, b) Dlouhá smyčka, c) Šikmá smyčka, d) Trapézová smyčka, e) Osmičková smyčka.....	17
Obrázek 10 - Princip činnosti – změna magnetického pole .....	18
Obrázek 11 - Vliv vozidla na magnetické pole (siločáry).....	19
Obrázek 12 - Ukázka položení pneumatického detektoru.....	20
Obrázek 13 - Piezoelektrický kabel.....	21
Obrázek 14 - Detektor s vláknovou optikou.....	22
Obrázek 15 - Schéma navrhovaného měřiče rychlosti .....	23
Obrázek 16 - Obvod SFH 5110 - 36.....	25
Obrázek 17 - Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu SFH506 – 36 .....	25
Obrázek 18 - Modul laserové diody .....	26
Obrázek 19 - Vyzářovací diagram fototranzistoru BPW 85x.....	28
Obrázek 20 - Zjednodušené schéma šikmé jízdy .....	29
Obrázek 21 - Kontrolní zapojení diody .....	34
Obrázek 22 - Schéma zapojení světelné závory .....	36
Obrázek 23 - Měření s tranzistorem BPW 85c.....	37
Obrázek 24 - Měření s tranzistorem BPW 85c.....	37
Obrázek 25 -Měření s tranzistorem L-NP-3C1 .....	38
Obrázek 26 - Měření s tranzistorem L-NP-3C1 .....	39
Obrázek 27 - Měření s tranzistorem LPT 80A .....	39
Obrázek 28 - Měření s tranzistorem LPT 80A .....	40
Obrázek 29 - Měření s tranzistorem SFH 309.....	41
Obrázek 30 - Měření s tranzistorem SFH 309.....	41
Obrázek 31 - Měření na větší vzdálenost s tranzistorem BPW 85c .....	42
Obrázek 32 - Schéma zapojení světelné závory s IR – přijímačem .....	43
Obrázek 33 - Šířka pulzu .....	44

Obrázek 34 - Průběhy na diodě a IR – přijímači .....	44
Obrázek 35 - Astabilní výstup 555 .....	45
Obrázek 36 - Astabilní zapojení 555 .....	45
Obrázek 37 - Průběhy na obvodu s časovačem 555 .....	47
Obrázek 38 - Průběhy na kondenzátoru a diodě.....	47
Obrázek 39 - Průběhy na obvodu 555 a IR-přijímači (v jedničce).....	48
Obrázek 40 - Průběhy na obvodu 555 a IR-přijímači (v nule).....	48

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Chyby způsobené šikmou jízdou .....	29
---	----

## Použita literatura

Internetové odkazy:

- [1] Ing. Karel ČERMÁK, Ing. Aleš PROKEŠ Ph.D. [www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz) [online]. 25.2.2003 [cit. 2009-6-18]. Dostupný z WWW: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03008/index.html>.
- [2] Automatizace [online]. Září 2006 [cit. 2009-6-20]. Dostupný z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1406>.
- [3] AŽD Praha s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2009-6-20]. Dostupný z WWW: <http://www.azd.cz/produkty/systemy-pro-silnicni-dopravu/produkty/kamerove-systemy/mur-05-a-mur-07-systemy-mereni-usekove-rychlosti/>.
- [4] Lukáš Ditrich. [www.zavolantem.cz](http://www.zavolantem.cz) [online]. 13.1.2008 [cit. 2009-6-24]. Dostupný y WWW: <http://www.zavolantem.cz/clanky/jak-funguji-pasti-na-piraty-silnic>.
- [5] Petr Zlámal, Ondřej Žák. [www.antipolicie.cz](http://www.antipolicie.cz) [online]. Září 2007 [cit. 2009-6-29]. Dostupný z WWW: [http://www.antipolicie.cz/media/1/01\\_Antiradary.pdf](http://www.antipolicie.cz/media/1/01_Antiradary.pdf).
- [6] <http://euler.fd.cvut.cz/> [online] 11.11.2008 [cit. 2009-7-1]. Dostupný z WWW: [http://euler.fd.cvut.cz/predmety/pmzd/prezentace/05\\_neintrusivni\\_dopravn\\_detektory.pdf](http://euler.fd.cvut.cz/predmety/pmzd/prezentace/05_neintrusivni_dopravn_detektory.pdf).
- [7] <http://euler.fd.cvut.cz/> [online] 21.10.2008 [cit. 2009-7-4] Dostupný z WWW: [http://euler.fd.cvut.cz/predmety/pmzd/lekce\\_2008/03\\_intrusivni\\_detektery\\_08.ppt](http://euler.fd.cvut.cz/predmety/pmzd/lekce_2008/03_intrusivni_detektery_08.ppt).

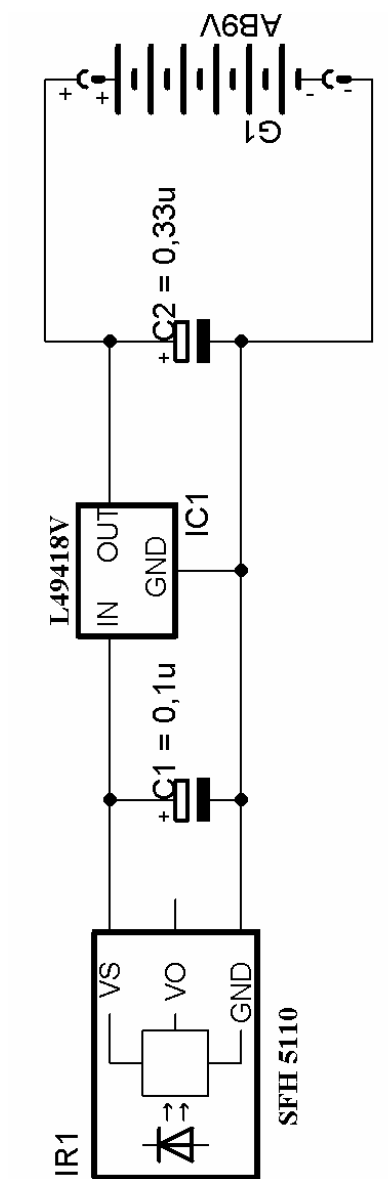
Katalogové listy součástek:

- |      |                 |   |                        |
|------|-----------------|---|------------------------|
| [8]  | ATmega16        | - | mikroprocesor          |
| [9]  | BWP 85c         | - | fototranzistor         |
| [10] | L – NP- 3C1     | - | fototranzistor         |
| [11] | LPT 80A         | - | fototranzistor         |
| [12] | SFH 309         | - | fototranzistor         |
| [13] | CQY 99          | - | infračervená LED dioda |
| [14] | F-LASER 1mW 6mm | - | laserová dioda         |
| [15] | TS 555          | - | Časovač                |

Knižní literatura:

- [16] Ptáčková G., Neumann P.: Elektronické obvody, ČVUT, Praha, 1994
- [17] Hrbáček J.: Komunikace mikrokontroléru s okolím, Praha, BEN, Technická literatura, 2000
- [18] Vedral J.: Elektronické obvody měřicích přístrojů, ČVUT, Praha, 1994
- [19] Šrejber O.: Zařízení pro měření rychlosti vozidel, bakalářská práce, Upa, DF, 2004
- [20] Burkhard K.: Využití rozhraní PC, HEL, 1996
- [21] Vlach J.: Počítačová rozhraní, BEN, Praha, 2000
- [22] Novák P.: Mobilní roboty (pohony, senzory řízení), BEN Praha, 2005

# Příloha A – Schéma zapojení IR-přijímače



## Příloha B – Schéma zapojení vysilače

