

## **Anotace**

Tato práce pojednává o návrhu automatického osvětlení pro domácnost. V každém přístupovém bodu do místnosti je navržena detekce pomocí dvou laserových paprsků. Laserové paprsky mohou být rozšířeny o senzor PIR a mechanický vypínač. Přístupovým bodem mohou být například zárubně. Tím je docíleno, aby zařízení při vstupu do místnosti rozsvítilo světlo a při odchodu zhaslo.

Automatické ovládání osvětlení se skládá z ústředny, dálkového ovládání a detekčního rámu. Ústředna řídí laserové paprsky a osvětlení. Dálkové ovládání slouží k rozsvícení a zhasnutí v určité místnosti. Detekční rám detekuje osoby, které do místnosti vstoupí nebo z místnosti odejdou.

## **Klíčová slova**

Automatické ovládání osvětlení, senzor PIR, laserové paprsky

## **Annotation**

This diploma work discusses the design of an automatic lighting for the home. Each access point in the rooms is designed to detect with two laser beams. Laser beams can be extended with PIR sensor and a mechanical switch. An access point can be, for example frames. By this is achieved that when entering the room the light is switched on and the light goes off when leaving.

Automatic lighting controls consists of the central panel, the remote sensing and the detection frame. The control panel controls laser beams and lights. Remote control is used to switch on/off the light in the certain room. The detection frame is used to detect a person who enters or leaves the room.

## **Keywords**

Automatic lighting controls, PIR sensor, laser beams

## Bibliografická citace:

SŮRA, L. *Automatické ovládání osvětlení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 40 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Edita Hejátková.

## Prohlášení autora o původnosti:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení.

V Brně dne 29.5.2014

.....

Podpis autora

## Poděkování:

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Editě Hejátkové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 29.5.2014

.....

Podpis autora

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# Obsah

## Úvod

1 Teoretický popis .....	1
1.1 Vstupní blok .....	1
1.1.1 Senzor PIR .....	1
1.2 Pracovní blok .....	1
1.2.1 CLPD obvod .....	2
1.3 Výstupní blok .....	3
1.4 Logická hradla .....	3
1.4.1 AND ( 4081 ) .....	3
1.4.2 NAND ( 4011 ) .....	3
1.4.3 OR ( 4071 ) .....	4
1.5 Rozložení místností v domácnosti .....	4
2 Popis zařízení .....	5
2.1 Signálové řešení .....	5
2.2 Blokové schéma .....	6
2.3 Kompletní obvodové schéma .....	6
3 Schematické řešení bloků .....	7
3.1 Schematický návrh vstupního bloku .....	7
3.1.1 Řízení laserů .....	7
3.1.2 Přijímač laserových paprsků .....	9
3.1.3 Zpoždění výstupu .....	10
3.2 Schématický návrh pracovního bloku .....	11
3.2.1 CPLD obvod .....	11
3.2.2 Soumrakový senzor .....	13
3.2.3 Dálkové ovládání .....	13
3.2.4 Přijímač dálkového ovládání .....	14
3.2.5 Ovládání zhasnutí .....	15
3.3 Schématický návrh výstupního bloku .....	15
4 Návrh designu CPLD obvodu .....	17
4.1 Vývojový diagram .....	17
4.2 Návrh první části CPLD obvodu .....	18
4.3 Návrh druhé části CPLD obvodu .....	20
4.3.1 Ovládání zhasnutí .....	21
5 Simulace .....	24
5.1 Simulace laserové detekce .....	24
5.2 Simulace prodloužení signálu senzoru PIR .....	25
5.3 Simulace soumrakového senzoru .....	26
5.4 Simulace CPLD obvodu .....	27
5.4.1 Simulace vstupů a výstupů .....	27
5.4.2 Simulace řízení laserů .....	28
5.4.3 Simulace ovládání zhasnutí .....	28
5.4.4 Simulace dálkového ovládání .....	28
5.4.5 Simulace soumrakového senzoru .....	29
6 Desky plošných spojů ( DPS ) .....	30
6.1 Popis DPS .....	30
6.2 Návrh DPS .....	30
6.2.1 Dálkové ovládání .....	30
6.2.2 Laserová detekce .....	31

6.2.3 Ústředna.....	31
6.2.4 Ovládání zhasnutí .....	32
6.2.5 Výstup.....	32
7 Naměřené hodnoty.....	33
7.1 Laserová detekce .....	33
7.2 Ústředna.....	34
7.3 Výstupní část .....	36
7.4 Příkon a spotřeba .....	36
8 Konstrukce.....	37
9 Závěr.....	38
10 Seznam použité literatury .....	39
Přílohy .....	40

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1:</b> Vnitřní blokové schéma obvodu Xilinx XC95144XL .....	2
<b>Obr. 2:</b> Rozložení místností v domácnosti.....	4
<b>Obr. 3:</b> Blokové schéma automatického ovládání osvětlení .....	6
<b>Obr. 4:</b> Schéma řízení laserů .....	7
<b>Obr. 5:</b> Schéma NE555 zapojeného jako monostabilní klopný obvod.....	8
<b>Obr. 6:</b> Schéma přijímače laserových paprsků .....	9
<b>Obr. 7:</b> Schéma zpoždění výstupu .....	10
<b>Obr. 8:</b> Schéma JTAG rozhraní .....	11
<b>Obr. 9:</b> Schéma CPLD obvodu .....	12
<b>Obr. 10:</b> Schéma resetu.....	12
<b>Obr. 11:</b> Schéma soumrakového senzoru .....	13
<b>Obr. 12:</b> Schéma dálkového ovládání a vysílače TX433 .....	14
<b>Obr. 13:</b> Schéma přijímače dálkového ovládání .....	15
<b>Obr. 14:</b> Schéma ovládání zhasnutí a obvodu reálného času .....	15
<b>Obr. 15:</b> Schéma výstupního bloku .....	16
<b>Obr. 16:</b> Upravený návrh místností v domácnosti.....	17
<b>Obr. 17:</b> Vývojový diagram pro místnost 1 .....	18
<b>Obr. 18:</b> Zpoždění výstupu ( simulace ) .....	24
<b>Obr. 19:</b> Laserová detekce ( simulace ) .....	25
<b>Obr. 20:</b> Prodloužení signálu PIR ( simulace ) .....	26
<b>Obr. 21:</b> Soumrakový senzor ( simulace ) .....	26
<b>Obr. 22:</b> Simulace vstupů a výstupů.....	27
<b>Obr. 23:</b> Simulace řízení laserů .....	28
<b>Obr. 24:</b> Simulace ovládání zhasnutí.....	28
<b>Obr. 25:</b> Simulace dálkového ovládání .....	28
<b>Obr. 26:</b> Simulace soumrakového senzoru .....	29
<b>Obr. 27:</b> Dálkové ovládání ( DPS ) .....	30
<b>Obr. 28:</b> Laserová detekce ( DPS ) .....	31
<b>Obr. 29:</b> Ústředna ( DPS ) .....	31
<b>Obr. 30:</b> Ovládání zhasnutí ( DPS ).....	32
<b>Obr. 31:</b> Výstup ( DPS ) .....	32
<b>Obr. 32:</b> Změřený průběh hodinového signálu.....	35
<b>Obr. 33:</b> Navržená konstrukce .....	37

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1:</b> Pravdivostní tabulka AND .....	3
<b>Tab. 2:</b> Pravdivostní tabulka NAND .....	3
<b>Tab. 3:</b> Pravdivostní tabulka OR .....	4
<b>Tab. 4:</b> Fototranzistory laserových detekcí.....	33
<b>Tab. 5:</b> Referenční napětí komparátorů a výstupní napětí laserových detekcí.....	34
<b>Tab. 6:</b> Proudový odběr laserových detekcí .....	34
<b>Tab. 7:</b> Výstupní napětí ústředny.....	34
<b>Tab. 8:</b> Proudový odběr ústředny.....	35
<b>Tab. 9:</b> Referenční napětí komparátoru a výstupní napětí soumrakového senzoru.....	35
<b>Tab. 10:</b> Minimální a maximální proudový odběr.....	36
<b>Tab. 11:</b> Příkon a spotřeba zařízení .....	36

## Úvod

V dnešní době je snaha elektromechanická zařízení automatizovat. S tím souvisí i bezdotykové ovládání z hlediska hygieny. Není tomu ani jinak u osvětlení domácností. Většina domácností využívá mechanické vypínače. Najdou se domácnosti, které používají k osvětlení senzory PIR, dotykové vypínače nebo vypínače reagující na zvuk. Existují i tzv. inteligentní domy, známé též jako „digitální domácnosti“, kde se vše řídí pomocí dálkového ovládání.

Mechanický vypínač existuje řadu let. Je to jednoduché mechanické zařízení, které je ovládané rukou osoby. Tím dochází k omezení pohybu při průchodu místnostmi. V úplné tmě je špatně nahmatatelný. Při používání dochází k mechanickému opotřebení. Zařízení se může považovat za nehygienické. Podobně je tomu i u dotykového vypínače, který ovšem využívá další elektroniku, tedy nedochází k mechanickému opotřebení. Vypínače reagující na zvuk jsou z hlediska používání nepraktické. Senzor PIR je z hlediska hygieny a opotřebení ideální. Problém nastává při nastavení doby vypnutí. V praxi se stává, že svítí buď příliš dlouho nebo nedostatečně. Inteligentní domy mají propracovaný osvětlovací systém, ale mají vysoké pořizovací náklady.

V této práci se zaměřuji na nový osvětlovací systém, který je hygienický, neomezující pohyb, inteligentní a finančně dostupný. Pro spínání světel jsou použity polovodičová relé. Zařízení vyžaduje neustálé napájecí napětí.

# 1 Teoretický popis

## 1.1 Vstupní blok

Vstupní blok označuje zařízení, které vytvoří signál pro upřesnění polohy osoby. Jedná se o zařízení zabudované v zárubních. V našem případě jsou to vždy dva laserové paprsky, které jsou řízeny signálem. Pořadí přerušení laserových paprsků určuje směr pohybu osoby.

Řízení laserů je funkce, která po přivedení daného signálu zapne nebo vypne laserové paprsky. Lasery můžeme řídit třemi způsoby. Zaprvé pomocí senzoru PIR, zadruhé signálem z pracovního bloku a zatřetí mechanickým vypínačem.

Mechanický vypínač může být použit jako vypínač signálu z pracovního bloku. Senzor PIR je zde použit pro aktivaci laserů konkrétních dveří.

### 1.1.1 Senzor PIR

Senzor PIR ( Passive infrared detector – pasivní infračervený detektor ) je zařízení, které pracuje na principu pyroelektrického jevu. Tedy schopnosti použitého materiálu generovat dočasný elektrický potenciál při změně jeho teploty. [6]

Používá se jako senzor pohybu v zabezpečovacích systémech. Senzor PIR má analogový a digitální výstup. Zde je využit digitální výstup, který mění svůj stav z logické 1 na logickou 0. Logická 1 na výstupu znamená, že senzor nedetekuje v prostoru pohyb, je tedy v klidovém stavu. Pokud zaznamená pohyb přepne PIR výstup na log. 0, ale pouze na pár vteřin.

Na výstup senzoru PIR je připojen monostabilně zapojený obvod NE555, který prodlužuje a invertuje výstupní signál senzoru na zhruba 2 minuty.

## 1.2 Pracovní blok

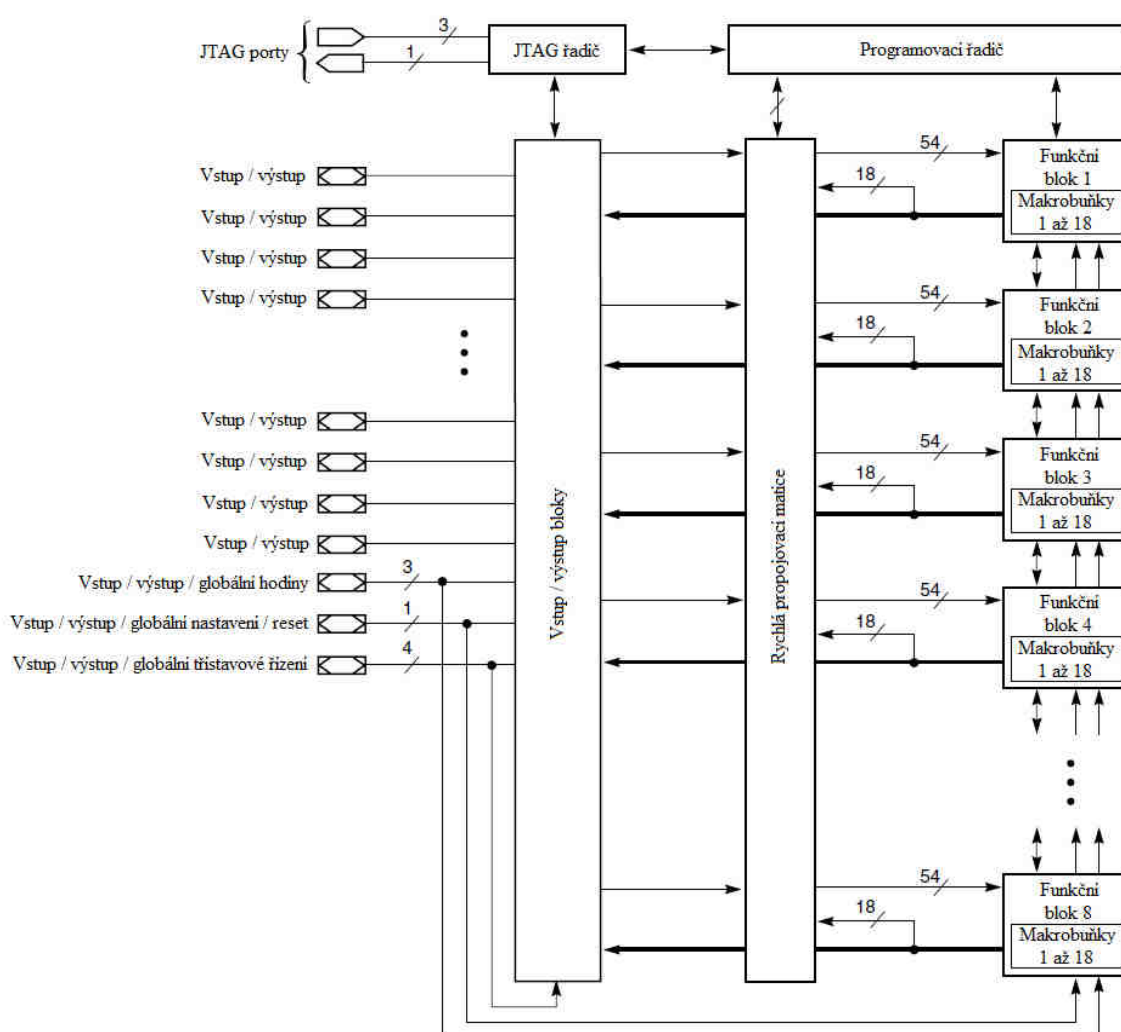
Pracovní blok obsahuje hlavní logiku celého zařízení. Řídí osvětlení a spínání laserových paprsků. Hlavní části pracovního bloku jsou:

- 1) CPLD obvod
- 2) Soumrakový senzor
- 3) Přijímač dálkového ovládání
- 4) Ovládání zhasnutí

Použitý CPLD obvod je od firmy Xilinx, přesné označení má XC95144XL-10TQG100C. Obvod je rozdělen na dvě části. První část je pro příjem signálů z detekčních rámců, pomoci kterých zpracuje a vyhodnotí směr osoby. Druhá část obvodu generuje výstupní signál pro řízení osvětlení a spínání laseru.

Soumrakový senzor zapíná a vypíná funkci osvětlení, ale nikoliv laserové detekce. Přijímač dálkového ovládání ovlivňuje osvětlení pouze v konkrétních místnostech. Ovládání zhasnutí nastavuje osvětlení v místnosti na okamžité zhasnutí nebo na zhasnutí po jedné minutě při odchodu z místnosti.

### 1.2.1 CLPD obvod



**Obr. 1:** Vnitřní blokové schéma obvodu Xilinx XC95144XL

Číslicové programovatelné obvody se souhrnně nazývají PLD ( Programmable Logic Device ). Jde o obvody, u kterých si můžeme nakonfigurovat jejich vnitřní propojení.

CPLD (Complex Programmable Logic Device – komplexní programovatelný logický obvod ), který je zde použit má označení XC95144XL. Jak už z názvu vyplývá, obsahuje 144 makrobuněk, viz obr. 1. Označení XL na konci znamená, že napájecí napětí je 3,3 V a vstupy / výstupy umějí pracovat s napětím 5 V.

Další vlastností obvodu je podpora pracovní frekvence až 178 MHz a 10 ns zpoždění průchodu signálu z jednoho pinu do druhého. Kterýkoliv z pinů je možné použít jako vstup nebo výstup. Obvod má přímo ve svém čipu integrovanou paměť typu non-volatile ( EEPROM ). Výrobce garantuje až 2000 cyklů zápisu / smazání paměti.

Konfigurace ( design ) obvodů se provádí přes rozhraní JTAG ( IEEE Standard 1149.1 ) a vytváří se ve vývojovém prostředí např. ISE Design Suite. [7] [10]

### **1.3 Výstupní blok**

Výstupní blok slouží především jako spínací část zařízení. Zde je přivedena světelná elektroinstalace a propojena s výstupem zařízení. Výstupní část je tvořena polovodičovými relé pro spínání střídavého napětí.

### **1.4 Logická hradla**

V této práci je použito několik různých logických hradel, ale vždy 2-vstupová. Pro jednodušší orientaci jsou zde uvedeny pravdivostní tabulky těchto hradel.

#### **1.4.1 AND ( 4081 )**

**Tab. 1:** Pravdivostní tabulka AND

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

#### **1.4.2 NAND ( 4011 )**

**Tab. 2:** Pravdivostní tabulka NAND

A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

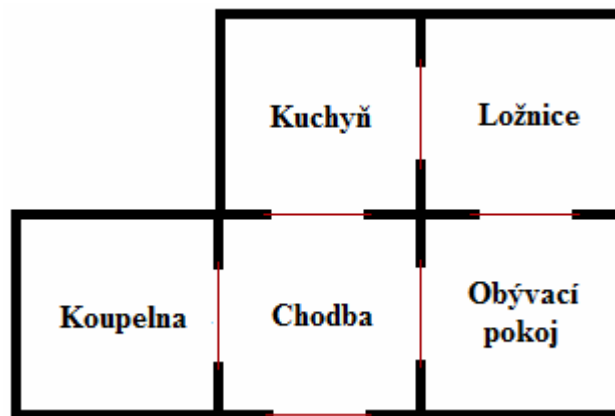
### 1.4.3 OR ( 4071 )

Tab. 3: Pravdivostní tabulka OR

A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

### 1.5 Rozložení místností v domácnosti

Na obr. 2 je znázorněno rozložení místností, pro které je navrženo celé zařízení. Domácnost je smyšlená, ale je využita při dalším návrhu.



Obr. 2: Rozložení místností v domácnosti

## 2 Popis zařízení

### 2.1 Signálové řešení

Při přiblížení k vstupním dveřím zaznamená senzor PIR pohyb. To má za následek překlopení výstupu senzoru z log. 1 na log. 0. Tento signál vstupuje do monostabilně zapojeného časovače, který signál překlopí z log. 0 na log. 1 po nastavenou dobu cca 2 minut. Tím dojde k sepnutí laserových paprsků. Signál na výstupu detekční části je zpožděn, aby nedošlo k hazardu.

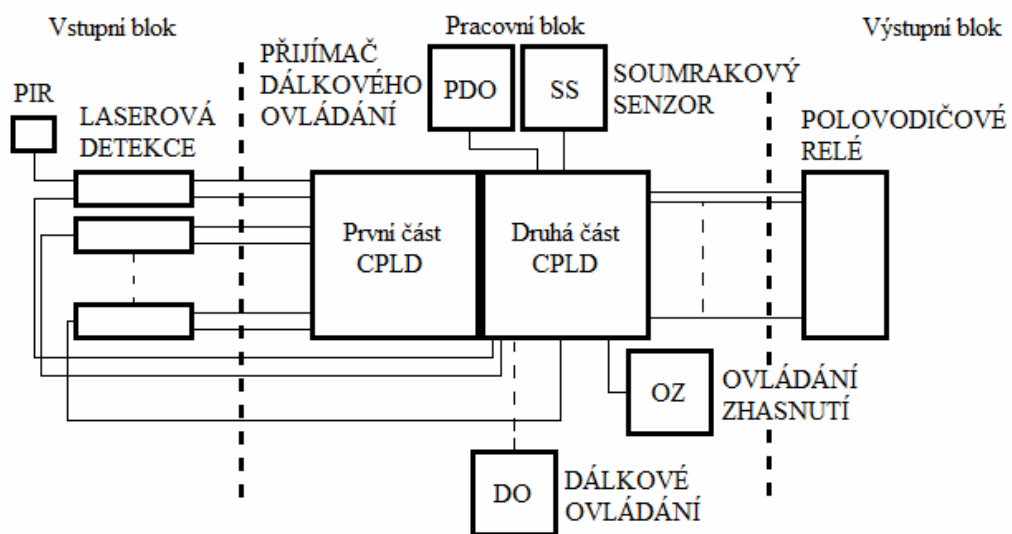
Při přerušení prvního paprsku vznikne na výstupu log. 1, která vstupuje do pracovního bloku. Zde je tento signál porovnán v CPLD obvodu s druhým detekčním signálem. Pokud zůstane přerušen pouze druhý paprsek ve směru pohybu, tak podle nastaveného designu v obvodu se přičte logická 1. Signál přejde do druhé části CPLD obvodu, u které se na konkrétním výstupu nastaví log. 1. Tento signál sepne polovodičové relé a rozsvítí v místnosti, ale jen v případě, že soumrakový senzor detekuje tmu. Další výstup CPLD obvodu sepne laserové paprsky všech průchozích bodů v místnosti.

Po průchodu do další místnosti probíhá stejný postup, tedy rozsvítí se světlo a sepne laserová detekce. Zároveň v předešlé místnosti dojde k zhasnutí a vypnutí nepotřebných laserových paprsků. Tímto způsobem pracuje zařízení při každém dalším přechodu do místností.

V opačném případě tedy při přerušení nejprve druhého paprsku a poté prvního paprsku se odečte logická 1 v CPLD obvodu. Tím se zhasne a vypne nepotřebná laserová detekce.

První část CPLD obvodu počítá osoby v místnostech a vyhodnocuje stav. Druhá část CPLD obvodu podle stavu první části rozsvěcí / zhasíná v místnostech a ovládá laserovou detekci. Tato část obvodu je ovládána soumrakovým senzorem, dálkovým ovládáním a ovládáním zhasnutí.

## 2.2 Blokové schéma



Obr. 3: Blokové schéma automatického ovládání osvětlení

## 2.3 Komplettní obvodové schéma

Komplettní obvodové schéma je v příloze A.

## 3 Schematické řešení bloků

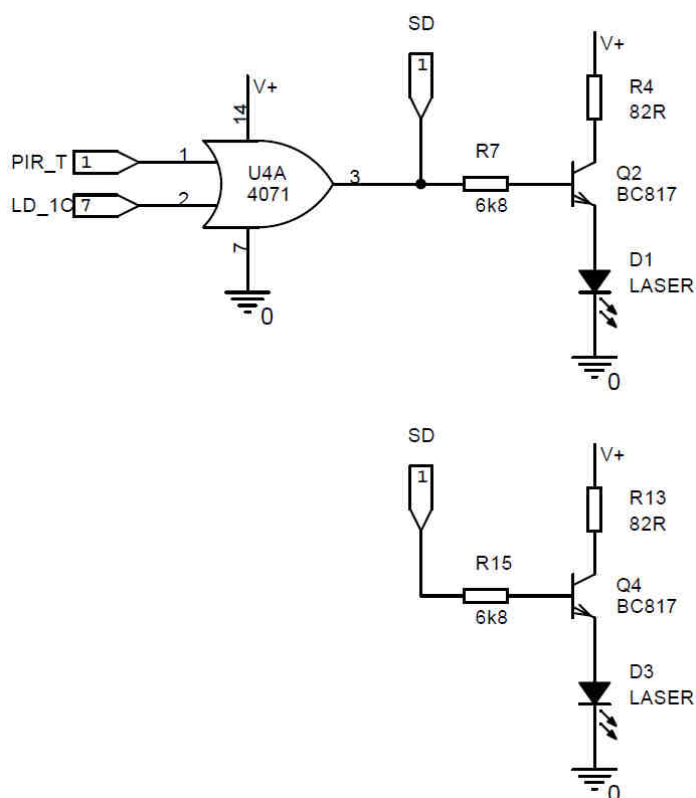
### 3.1 Schematický návrh vstupního bloku

Vstupní blok zahrnuje:

- 1) Řízení laserů
- 2) Přijímač laserových paprsků
- 3) Zpoždění výstupu

#### 3.1.1 Řízení laserů

Součástí řízení laserů je laserový modul D<sub>1</sub> a D<sub>3</sub>, tranzistor zapojený jako spínač Q<sub>2</sub> a Q<sub>4</sub>. Obvod U<sub>4</sub> je 2 - vstupové hradlo OR. Pomocí hradla se spíná laser buď signálem ( LD\_1C ) z CPLD obvodu nebo časově upraveným signálem ( PIR\_T ) ze senzoru PIR. Signál SD je vyveden do obvodu, který opozdí výstupní signál přijímače laserových paprsků.



**Obr. 4:** Schéma řízení laserů

Proud rezistoru  $R_4$  je kolektorový proud tranzistoru Q2 a je roven proudu modulu laseru  $I_{D1} = 30 \text{ mA}$ . Napětí laseru je  $U_{D1} = 2,5 \text{ V}$ . Hodnoty rezistorů jsou navrženy podle vztahů 1 - 5.

$$I_{R4} = I_C = I_{D1} = 30 \text{ mA} \quad (1)$$

$$U_{D1} = 2,5 \text{ V} \quad (2)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{100} = 0,3 \text{ mA} \quad (3)$$

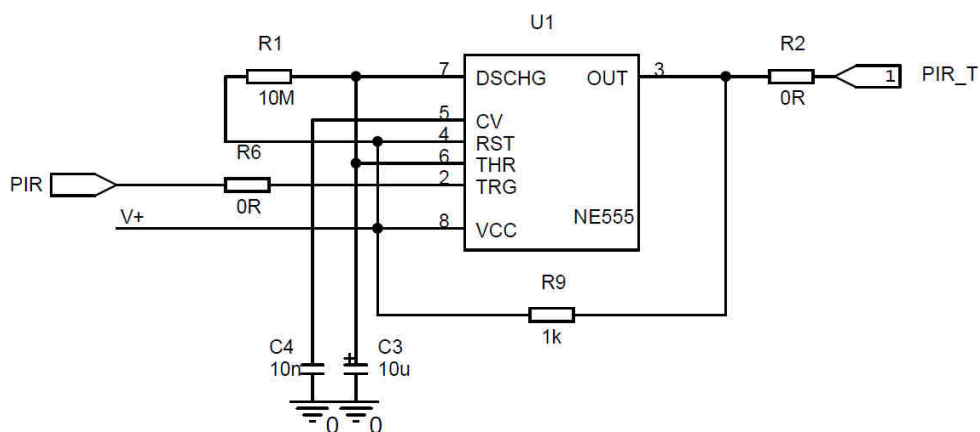
$$R_4 = \frac{V_+ - U_{D1}}{I_{D1}} = \frac{5 - 2,5}{30 \cdot 10^{-3}} = 82 \Omega \quad (4)$$

$$R_7 = \frac{SD - U_{BE} - U_{D1}}{I_B} = \frac{5 - 0,6 - 2,5}{0,3 \cdot 10^{-3}} \doteq 6,8 \text{ k}\Omega \quad (5)$$

Připojíme-li k obvodu senzor PIR je třeba prodloužit čas jeho rozepnutí. K tomuto účelu slouží NE555 zapojený jako monostabilní klopný obvod, viz obrázek 5. Signál PIR, jak už bylo popsáno, má na digitálním výstupu v klidovém režimu log. 1. Po detekování pohybu se přepne jeho stav na log. 0. Tento signál překlopí výstup obvodu U1 z log. 0 na log. 1 po dobu  $\tau$ .

Z datového listu je nastavena hodnota rezistoru  $R1 = 10 \text{ M}\Omega$  a kondenzátoru  $C3 = 10 \text{ uF}$ , aby obvod sepnul na dobu zhruba 2 minut. Hodnota času  $\tau$  je dána vztahem 6. [9]

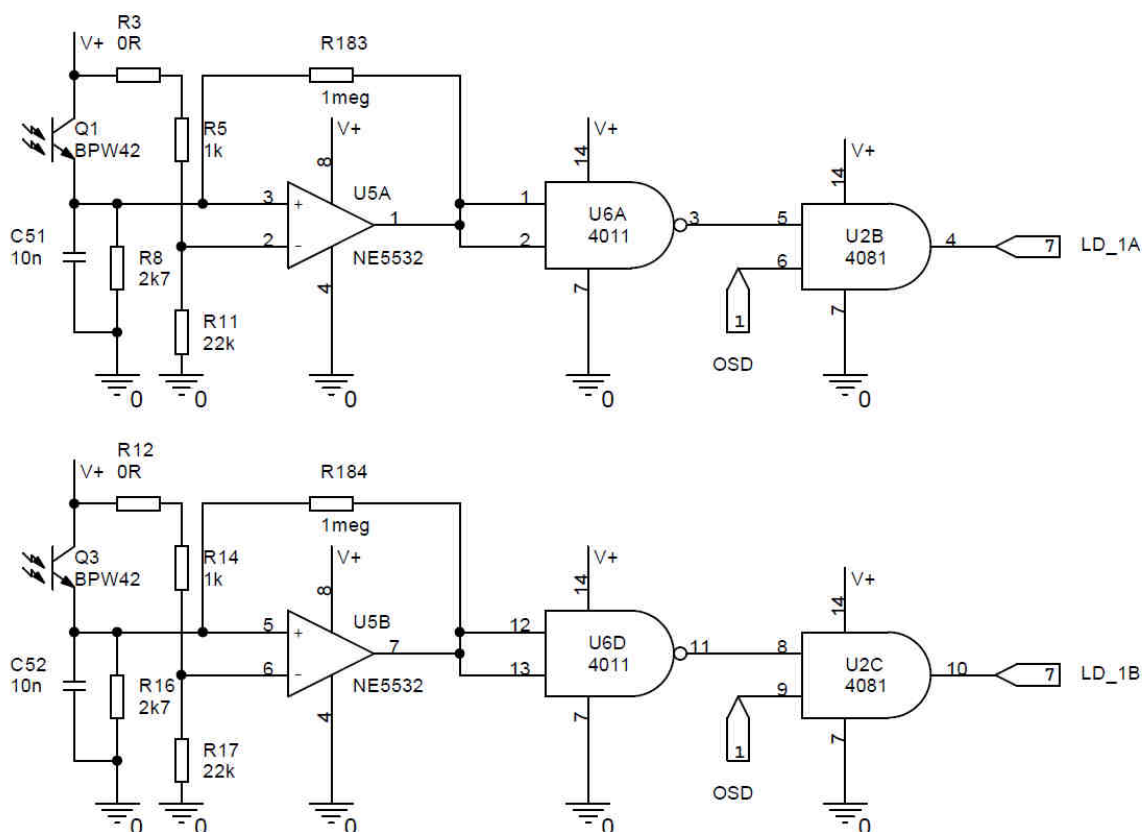
$$\tau = 1,1 \cdot R_1 \cdot C_3 = 1,1 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \doteq 110 \text{ s} \quad (6)$$



**Obr. 5:** Schéma NE555 zapojeného jako monostabilní klopný obvod

### 3.1.2 Přijímač laserových paprsků

Přijímač je navržený z fototranzistoru a komparátoru. Referenční napětí  $U_{Ref}$  je připojeno na vstup 2 a 6 obvodu U5 přes odporový dělič R3, R5 a R11 ( R12, R14 a R17 ), viz obrázek 6.



**Obr. 6:** Schéma přijímače laserových paprsků

Na vstup 3 a 5 je připojen napěťový dělič tvořený fototranzistorem a rezistorem. Výstupní napětí děliče se mění podle intenzity dopadajícího světla na fototranzistor. Tedy čím více světla dopadá, tím je menší odpor  $R_{Q1}$  (  $R_{Q2}$  ) a vzniká vyšší napětí na výstupu děliče, viz 8.

Pokud se tedy na vstupu 3 a 5 objeví napětí větší než  $U_{Ref}$ , vytvoří se na výstupu 1 a 7 signál o hodnotě log. 1. Při napětí nižším než  $U_{Ref}$  je na výstupu logická 0.

Výstupní signál z obvodu U5 je invertován přes obvod U6 ( 2-vstupové hradlo NAND ) a přiveden do obvodu U2 (2-vstupové hradlo AND ), kde je porovnán se zpožděným signálem OSD. Pokud je signál OSD log. 1, výstup LD\_1A ( LD\_1B )

je řízen fototranzistorem. Nabývá-li signál OSD hodnoty log. 0, výstup LD\_1A ( LD\_1B ) je také logická 0.

$$U_{Ref} = V_+ \cdot \frac{R11}{R3 + R5 + R11} = 5 \cdot \frac{22 \cdot 10^3}{0 + 1 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3} \doteq 4,78 \text{ V} \quad (7)$$

$$\frac{U_{Q1}}{U_{R8}} = \frac{R_{Q1}}{R_8} \quad (8)$$

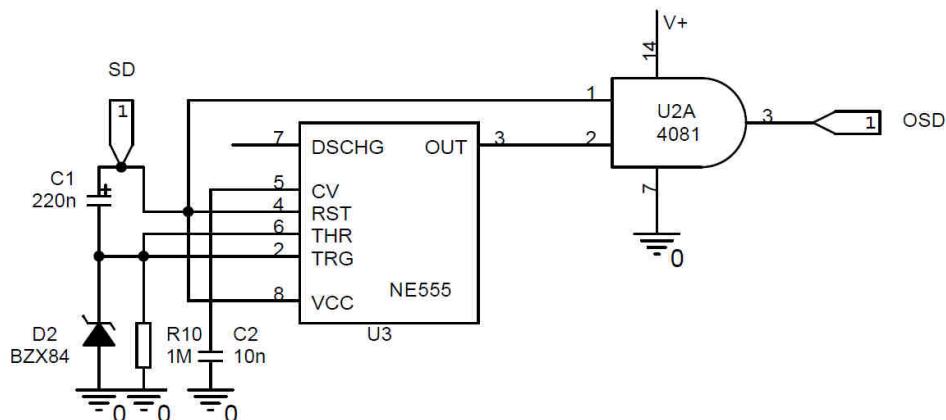
### 3.1.3 Zpoždění výstupu

Tento obvod je důležitý při zapnutí laserových paprsků. Jakmile začne fototranzistor detekovat paprsky, signál se invertuje, jak je vidět na obrázku 6. Tím dochází k hazardům mezi hradlovými přechody. Zpožděním výstupu se zamezí hazardům, než dojde k ustálení signálů.

Po připojení vstupního napětí ( SD ) je toto napětí na pinech 2 a 6, viz obrázek 7. Postupně se nabíjí kondenzátor a napětí na pinech 2 a 6 klesá. Klesne-li napětí k 1/3 SD, dojde ke změně výstupního napětí z 0 V na napětí SD. Zpoždění je dáno vztahem 9. [8]

Na výstup obvodu U3 je připojen obvod U2, který plní funkci při vypnutí detekce. Při odpojení vstupního napětí ( SD ) dochází k pomalému úbytku napětí na výstupu U3. Přivedením log. 0 na pin 1 obvodu U2 vznikne na výstupu OSD okamžitě logická 0.

$$\tau = R_{10} \cdot C_1 = 10 \cdot 10^6 \cdot 220 \cdot 10^{-9} = 2,2 \text{ s} \quad (9)$$



**Obr. 7:** Schéma zpoždění výstupu

## 3.2 Schématický návrh pracovního bloku

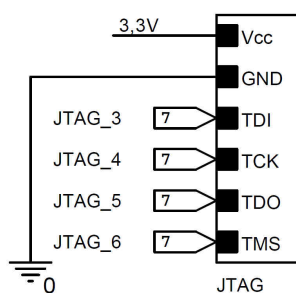
Pracovní blok tvoří:

- 1) CPLD obvod
- 2) Soumrakový senzor
- 3) Dálkové ovládání
- 4) Přijímač dálkového ovládání
- 5) Ovládání zhasnutí

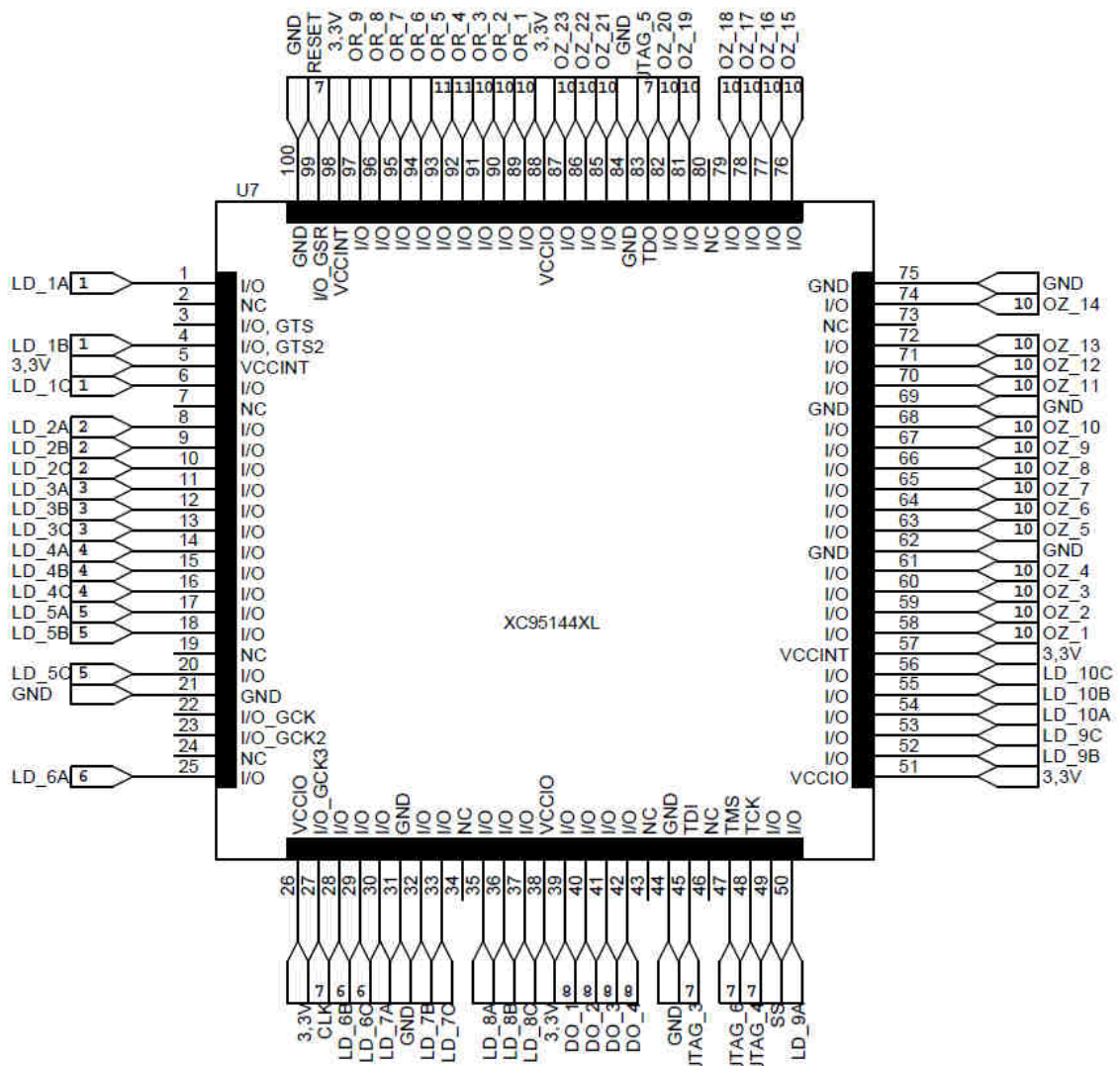
### 3.2.1 CPLD obvod

Piny LD\_XA a LD\_XB obvodu U7 na obrázku 9 jsou propojeny s výstupy laserové detekce. Na kontakt 99 je přiveden reset. JTAG vstupy slouží pro nahrání designu do obvodu. Výstupy LD\_xC obvodu U7 jsou navrženy k řízení laserů. Piny DO\_1 - 4 jsou vstupy pro dálkové ovládání. Vstup SS je pro soumrakový senzor. Výstupy OR\_1 – 9 ovládají relé. Piny označené OZ\_1 až 23 jsou vstupy / výstupy pro ovládání zhasnutí, signalizaci aktivního stavu a popřípadě pro další funkce.

Kondenzátory C5, C6, C7, C13, C14 a C15 mají funkci blokovacích kondenzátorů a musí být v návrhu DPS umístěny co nejbližší k napájecím kontaktům obvodu.

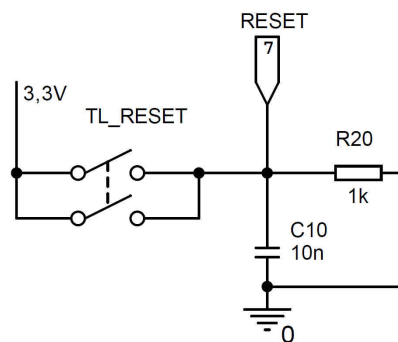


**Obr. 8:** Schéma JTAG rozhraní



**Obr. 9:** Schéma CPLD obvodu

Resetovací tlačítko, viz obrázek 10, zhasne ve všech místnostech a vynuluje stav osob v domácnosti. Zařízení registruje pouze osobu, která použije toto tlačítko.

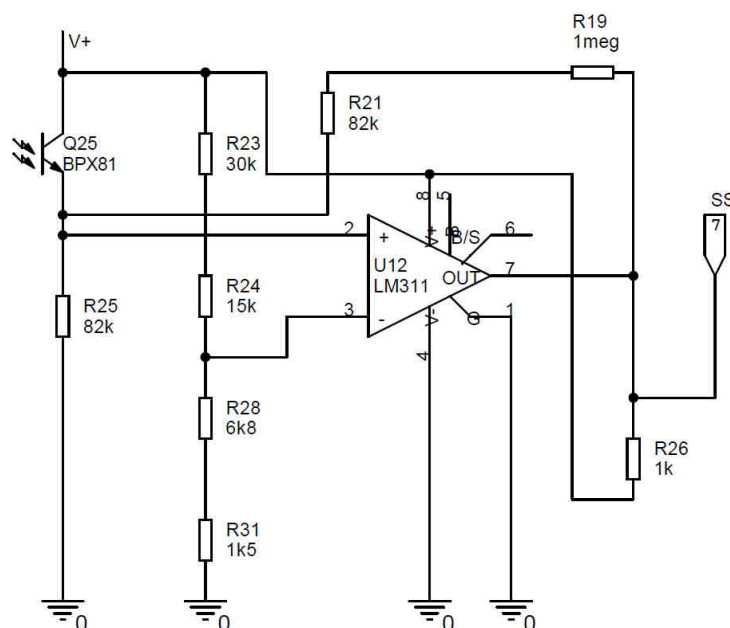


**Obr. 10:** Schéma resetu

### 3.2.2 Soumrakový senzor

Soumrakový senzor, viz obrázek 11, využívá podobný princip jako přijímač laserových paprsků. Je zde komparátor U12 a fototranzistor Q5. Referenční napětí je nastaveno napěťovým děličem R<sub>23,24</sub> a R<sub>28,31</sub> na hodnotu  $U_{Ref} = 0,78 \text{ V}$ .

Na pinu 2 se mění napětí postupně vzhledem k dopadajícímu záření na fototranzistor Q5. To znamená, že napětí na pinu 2 by se mohlo rovnat referenčnímu napětí na pinu 3 a obvod by se rozkmital. Aby k tomuto nedošlo, je zde zavedena zpětná vazba přes rezistory R19 a R21. Zpětná vazba vytváří skokovou změnu napětí na pinu 2 při přiblížení k hodnotě referenčního napětí  $U_{Ref}$ . [2]



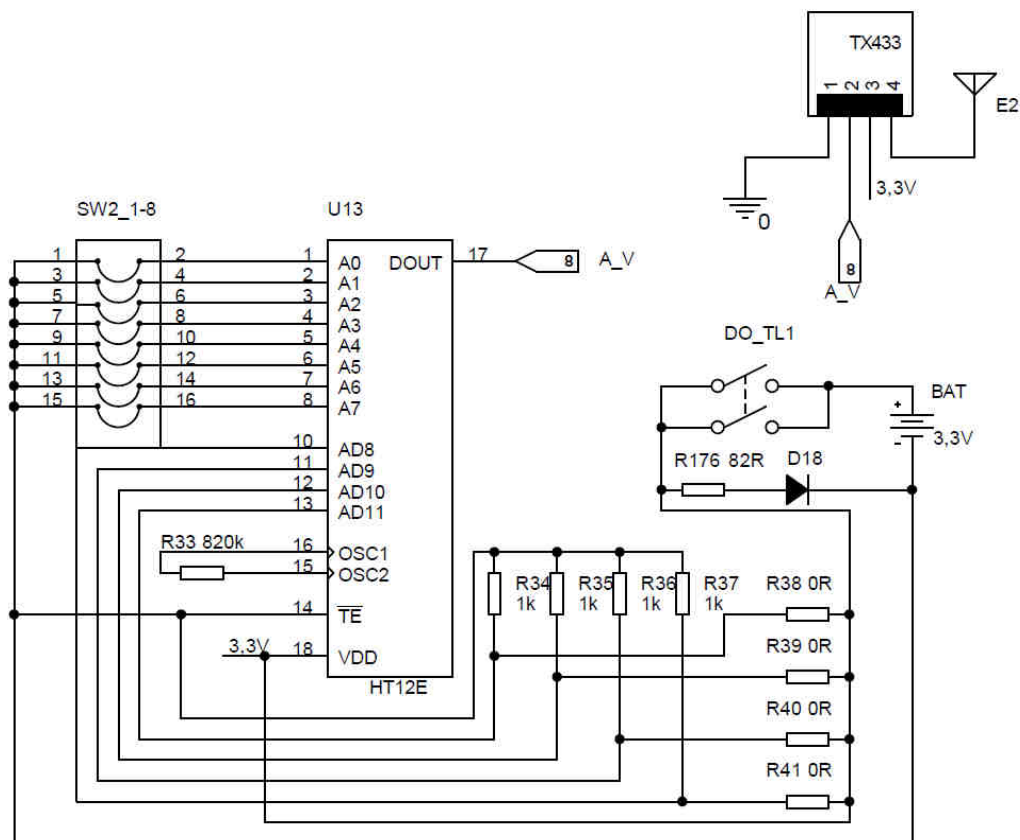
Obr. 11: Schéma soumrakového senzoru

### 3.2.3 Dálkové ovládání

Dálkové ovládání na obrázku 12 je složeno z vysílače TX433N, ovládacího tlačítka DO\_TL1, baterie CR1225 a 12 bitového enkodéru HT12E. Pomocí přepínače SW2 se nastaví kódování, které musí být stejně nastavené i na přijímači. [3]

Dálkové ovládání může ovládat jedno osvětlení nebo všechny čtyři najednou. Osvětlení, které bude ovládáno se podle schématu osadí rezistorem R38 – R41. Po zmáčknutí tlačítka se na výstupu přijímače vygeneruje log. 1 a nastane změna osvětlení.

Rezistor  $R33 = 820 \text{ k}\Omega$  nastavuje frekvenci obvodu při napájecím napětí  $U = 3 \text{ V}$  na  $f_{osc} = 3 \text{ kHz}$ . Hodnota rezistoru je vyčtena z katalogových listů. [4]



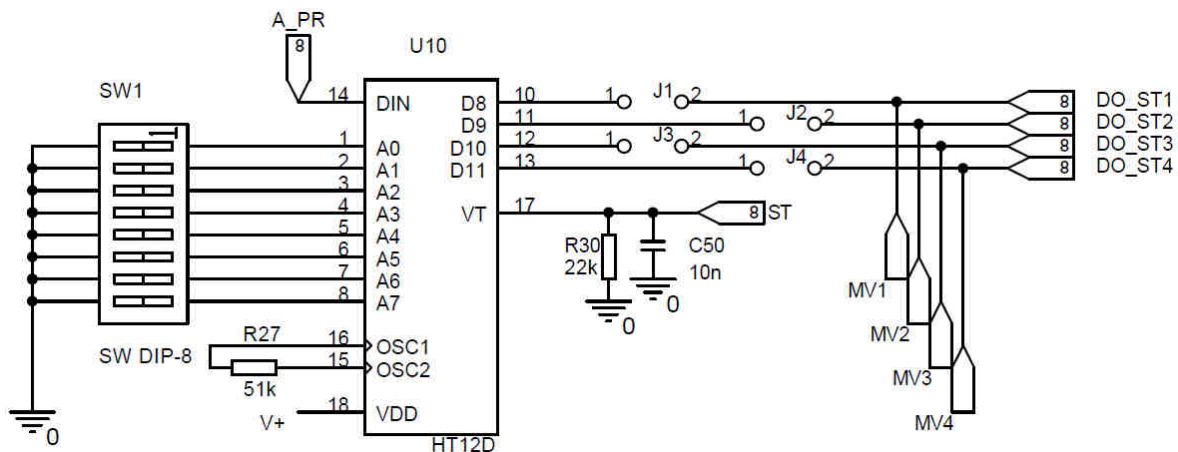
**Obř. 12:** Schéma dálkového ovládání a vysílače TX433

### 3.2.4 Přijímač dálkového ovládání

Pro přijímání signálů z dálkového ovládání, viz obrázek 13, je použit přijímač RX433, který je připojen k dekodéru HT12D. Jeho kódování je nastaveno přepínačem SW1, které musí být stejné i na dálkovém ovladači, jak už bylo zmíněno.[3]

Kontakty MV1 – MV4 jsou pro připojení externího ovládání. Signál ST je připojen k hradlu AND a porovnáván se signály DO\_1 – DO\_4.

Pro správnou funkci musí být nastavená frekvence obvodu 50 krát vyšší než frekvence enkodéru. Frekvence obvodu je nastavena rezistorem R27. Při hodnotě rezistoru  $R27 = 51 \text{ k}\Omega$  je frekvence nastavena na  $f_{OSC} = 150 \text{ kHz}$ . Hodnota rezistoru je vyčtena z katalogových listů. [5]

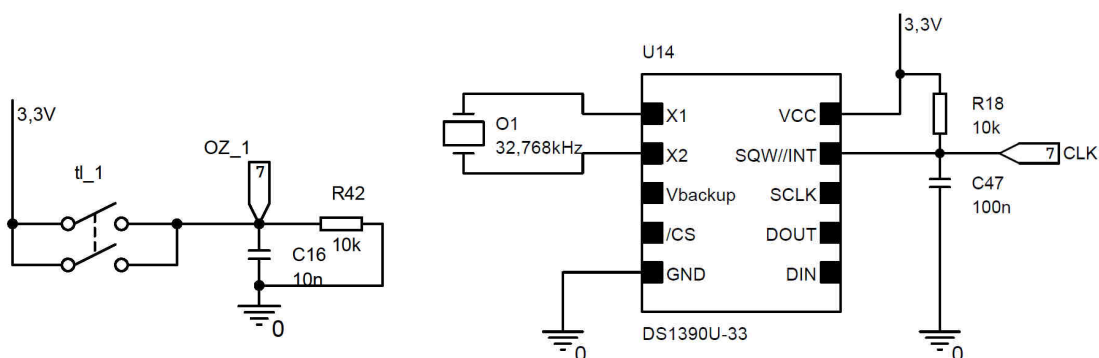


Obr. 13: Schéma přijímače dálkového ovládání

### 3.2.5 Ovládání zhasnutí

K ovládání zhasnutí je použit mikrospínač tl\_1, viz obrázek 14 vlevo, který po dobu stisknutí přivádí do CPLD obvodu napětí  $U = 3,3 \text{ V}$ . Pokud se CPLD obvod přepne do režimu zpoždění, je zde využit obvod reálného času U14 s hodinovým krystalem O1 = 32,768kHz, viz obrázek 15 vpravo. Pro jednu sekundu je perioda dána vztahem 10. [1]

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{32768} \doteq 30,518 \text{ } \mu\text{s} \quad (10)$$



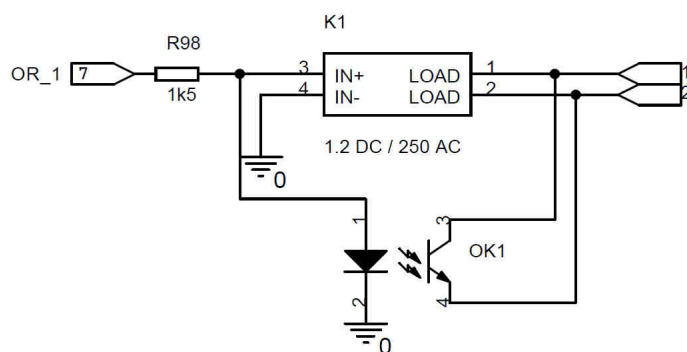
Obr. 14: Schéma ovládání zhasnutí a obvodu reálného času

### 3.3 Schématický návrh výstupního bloku

Výstupní blok tvoří polovodičová relé, která spínají fázi světelné elektroinstalace. Relé je ovládáno stejnosměrným napětím  $U = 1,2 \text{ V}$  ( sepnuto ) a  $U = 0 \text{ V}$  ( rozepnuto ).

Výstup může být využit pro spínání řídicích signálů, když se neosadí polovodičové relé K1 a osadí se optočlen OK1, viz obrázek 15.

Z CPLD obvodu vychází napětí  $U = 3,3 \text{ V}$ , proto je zde rezistor R98, na kterém vznikne úbytek napětí  $U_R = 2,1 \text{ V}$  pro proud diody  $I_D = 1,4 \text{ mA}$ .



**Obr. 15:** Schéma výstupního bloku

## 4 Návrh designu CPLD obvodu

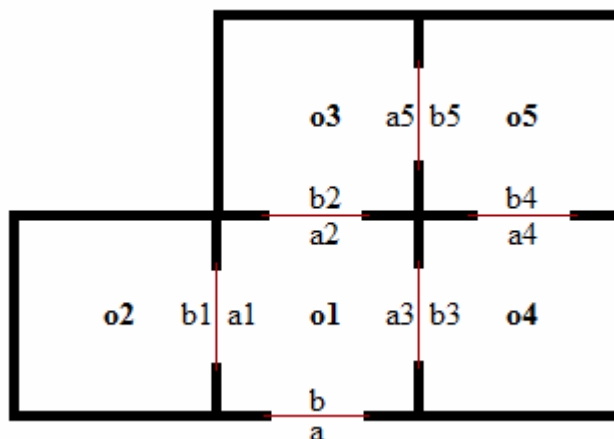
CPLD obvod je popsán v kapitole 1.2.1. Aby mohl být použit obvod v tomto návrhu, musí se nejprve vytvořit design pro určení jeho funkce. Zde je popsán v jazyce VHDL ( VHSIC HDL – Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language ). Je to jazyk, pomocí kterého se popisuje hardwarová struktura hradlových polí.

K návrhu struktury je použit návrh místností v domácnosti s menšími úpravami, viz obr. 16. Osvětlení v místnostech je značeno o1 – o5. Laserové paprsky jsou značeny a – a5 pro jeden směr a b – b5 pro druhý směr.

Schematický popis toku dat ( RTL – Register-Transfer Level ) ukazuje propojení jednotlivých bloků a podbloků navrženého designu.

*Vygenerované RTL schéma navrženého designu je v příloze B.*

*Kompletní návrh designu CPLD obvodu je v příloze C.*



**Obr. 16:** Upravený návrh místností v domácnosti

### 4.1 Vývojový diagram

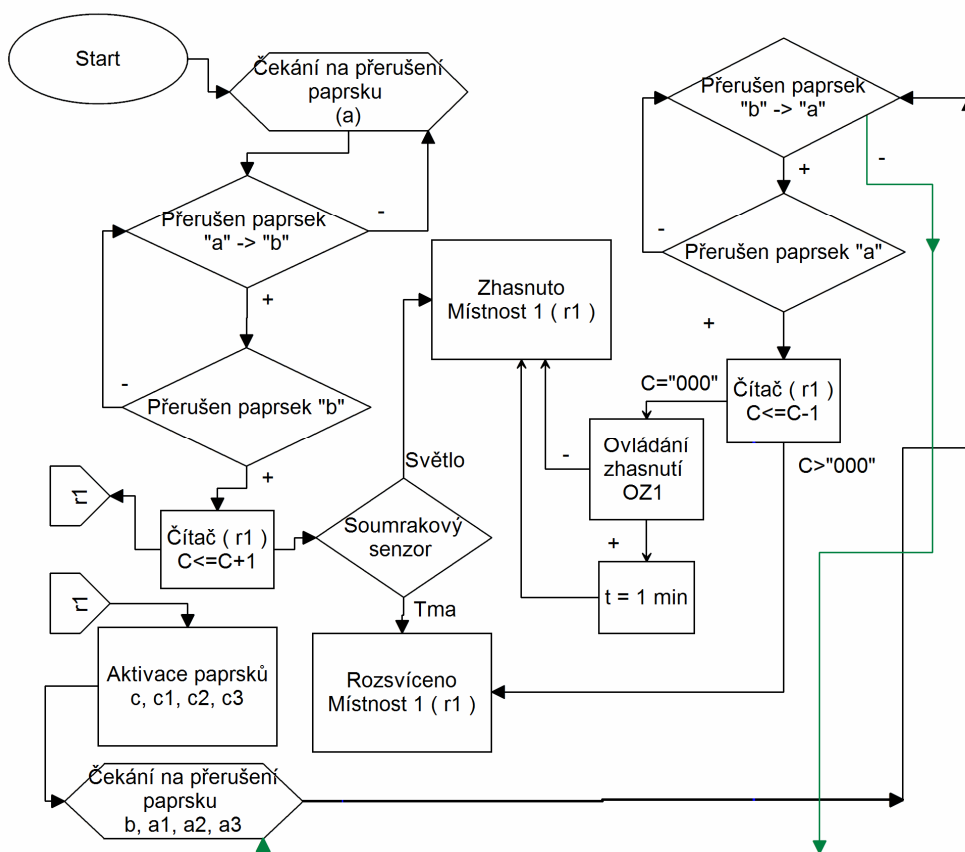
Na obrázku 17 je ukázka vývojového diagramu pro místnost 1. Nejprve zařízení vyčkává na přerušení laserového paprsku „a“.

Zůstane-li po přerušení paprsku „a“ a zároveň „b“ přerušen pouze paprsek „b“, přičte čítač pro místnost 1 ( r1 ) logickou 1. To má za následek:

- Soumrakový senzor detekuje tmou a v místnosti 1 se rozsvítí
- Soumrakový senzor detekuje světlo a v místnosti 1 zůstane zhasnuto
- Aktivují se laserové detekce všech průchozích bodů v místnosti 1

Při odchodu z místnosti 1 probíhá podobný postup. Čítač odečte logickou 1 a při neaktivním ovládní zhasnutí okamžitě zhasne. Při aktivním ovládní zhasnutí zhasne zhruba po uplynutí času  $t \approx 1 \text{ min}$ .

*Vývojový diagram je v příloze D.*



Obr. 17: Vývojový diagram pro místnost 1

## 4.2 Návrh první části CPLD obvodu

První část se skládá především z čítačů a podmínek, které určují čítání vpřed nebo vzad. První čtyři podmínky jsou součástí jednoho procesu a popisují:

- 1) Pokud první signál ( $a_s$ ) z laserové detekce bude logická 1, tak se nastaví pomocný signál ( $a_r$ ) také na log. 1.
- 2) Zůstane-li ve směru pohybu přerušen pouze druhý laserový paprsek ( $b_s$ ), přičte čítač logickou 1 a signál  $a_r$  se vrátí na logickou 0.
- 3) Signál  $p$  se nastaví na logickou 1 a zastaví čítání.
- 4) Když na vstupních signálech laserových paprsků vznikne logická 0, tak se signál  $p$  vrátí zpět na logickou 0.

Čítače je možné resetovat. Po stisknutí resetovacího tlačítka vznikne na vstupu logická 1, která nastaví čítače na hodnotu „000“. V místnosti, kde je ústředna se čítač nastaví na hodnotu „001“, viz následující text. Výstupní signály z čítače jsou připojeny na multiplexor, ze kterého vychází signál logická 1/0 na výstup „v“.

```

if ( as = '1' and bs = '0' and ar = '0' and br = '0' and p = '0') then
    ar <= '1';
end if;

if ( as = '0' and bs = '1' and ar = '1' and br = '0' and p = '0') then
    p <= '1';
    C <= C + 1;
    ar <= '0';
end if;

if ( as = '0' and bs = '0' and ar = '0' and br = '0' and p = '1') then
    ar <= '0';
    br <= '0';
    p <= '0';
end if;

if R = '1' then                --reset
    C <= "001";
    p <= '0';
    p1 <= '0';
    p2 <= '0';
    p3 <= '0';
end if;

process(C)                    -- multiplexor
begin
    case C is
        when "000" => v <= '0';
        when "001" => v <= '1';
        when "010" => v <= '1';
        when "011" => v <= '1';
        when "100" => v <= '1';
        when "101" => v <= '1';
        when "110" => v <= '1';
        when "111" => v <= '1';
        when others => null;
    end case;
end process;

```

Takto je popsán jeden vnitřní blok nazvaný „smer\_citani“. Pro navrženou domácnost je potřeba pět vnitřních bloků, které se propojí podle návrhu na obr. 16. Příklad propojení místností 1 a 2 je v následujícím textu.

```

cit_rst_inst1 : smer_citani_rst port map ( A => a, B => b, A1 => b1, B1 => a1, A2 => b2,
B2 => a2, A3 => b3, B3 => a3, clk => CLK1, R => reset, v => o1 );
cit_inst2 : smer_citani port map ( A => a1, B => b1, clk => CLK1, R => reset, v => o2);

```

Jak je vidět po průchodu paprsky a, b se osvětlení „o1“ rozsvítí. Opustí-li se místnost přes paprsky a1, b1 rozsvítí se osvětlení „o2“ a zároveň zhasne osvětlení „o1“.

Tímto způsobem jsou propojeny všechny místnosti. Jinak řečeno  $Ax \Rightarrow an$ ,  $Bx \Rightarrow bn$  rozsvěcí a  $Ax \Rightarrow bn$ ,  $Bx \Rightarrow an$  zhasíná v místnosti, kde „n, x“ = 0 – 5.

### 4.3 Návrh druhé části CPLD obvodu

V tomto vnitřním bloku jsou tři rozdílné podbloky. První je podblok dálkového ovládání. Dálkové ovládání může řídit osvětlení pouze ve čtyřech místnostech, jak je vidět na obr. 13.

První proces invertuje vstup „set“ na opačný vnitřní signál „d1“. Tento signál v následujícím procesu propojuje vstup s výstupem a nebo spojí výstup s logickou 0.

```
process(set, d1 )
begin
    if ( set = '1' and set'event ) then
        if d1 <= '0' then
            d1 <= '1';
        elsif d1 <= '1' then
            d1 <= '0';
        end if;
    end if;
end process;
```

```
process(d1, sw_in )
begin
    if d1 = '1' then
        sw_x <= sw_in;
    else
        sw_x <= '0';
    end if;
end process;
```

Další podblok je ovládání soumrakového senzoru. Soumrakový senzor je zapojen v sérii s podblokem dálkového ovládání. Po příchodu signálu logická 0 na vstup „set“ spojí vstupy s výstupy. V opačném případě vygeneruje log. 0 na výstupech.

```
process(set, y1,y2,y3,y4,y5)
begin
    if set='0' then
        x1 <= y1; x2 <= y2; x3 <= y3; x4 <= y4; x5 <= y5;
    else
        x1 <= '0';x2 <= '0'; x3 <= '0'; x4 <= '0'; x5 <= '0';
    end if;
end process;
```

Poslední podblok je pro řízení laserů. Vstupy „m1“ a „m2“ jsou porovnány přes logické hradlo OR a výsledná hodnota je vyvedena výstupem „d1“. Tento blok řídí lasery porovnáním osvětlení dvou místností. Pokud se aspoň v jedné svítí, aktivuje mezi nimi laserové paprsky.

```
d1 <= m1 or m2;
```

Aby podbloky pracovaly správně musí se propojit ve vnitřním bloku. Nejprve jsou přivedeny vnitřní signály  $a - e$  do logiky soumrakového senzoru a zároveň do řízení laserů. Výstupní signály soumrakového senzoru  $b1 - b4$  vstupují do logiky dálkového ovládání. Signály  $O1 - O5$  jsou výstupní signály vnitřního bloku a řídí osvětlení. Signály  $ol1 - ol5$  jsou také výstupní signály vnitřního bloku, ale ovládají řízení laserů.

```
do_inst1 : do port map ( sw_in => b1, set => do1, sw_x => O1 );
```

```
rl_1 : rizeni_laseru port map ( m1 => a, m2 => b, d1 => ol1);
```

```
ss_1 : soumrakovy_senzor port map ( set => ss, y1 => a, y2 => b, y3 => c, y4 => d,
y5 => e, x1 => b1, x2 => O2, x3 => b2, x4 => b3, x5 => b4 );
```

### 4.3.1 Ovládání zhasnutí

Ovládání zhasnutí je součástí druhé části CLPD obvodu. Tento vnitřní blok je umístěn mezi první částí a druhou částí CPLD obvodu. Kdyby byl implementován přímo v druhé části, byl by překročen limit makrobuněk.

První proces po příchodu log. 1 vytvoří na výstupu ( ll ) log. 1 pro signalizaci aktivního stavu. Při příchodu další log. 1 se na výstupu objeví log. 0. To samé platí pro pomocný signál  $p1$ .

```
process( t11, ll )
begin
  if( t11 = '1' and t11'event) then
    if ll = '0' then
      ll <= '1';
      p1 <= '1';
    elsif ll = '1' then
      ll <= '0';
      p1 <= '0';
    end if;
  end if;
end process;
```

Pomocný signál ( *p1* ) v druhém procesu přepíná vstup přes hradlo AND přímo na výstup, platí pro logickou 0. Je-li signál *p1* logická 1, propojí se vstupní signál se signálem *pom*, který spouští hodiny.

```
process( p1, sig_in1, k1)
begin
    if p1 = '1' then
        pom <= sig_in1;
        ot1 <= '1';
        k1 <= '0';
    else
        k1 <= '1';
        ot1 <= sig_in1;
        pom <= '0';
    end if;
end process;
```

Je-li po aktivaci ovládání zhasnutí signál *pom* logická 0 nezmění se žádný stav. Po prvním vstupu do místnosti se změní stav signálu *pom* na logickou 1. Signálům *b1* a *poi* se přiřadí logická 1. Vzhledem k předchozímu procesu je signál *k1* logická 0 a signál *poi* je propojen se signálem *b1*. Nyní je výstupní signál *sig\_out1* logická 1 a v místnosti se rozsvítí. Po odchodu z místnosti se na signálu *pom* vytvoří logická 0 a spustí se hodiny.

Perioda krystalu je  $T = 30 \text{ us}$ , frekvence je  $f = 32,768 \text{ kHz}$  a proto je zde čítač, který reaguje na vzestupnou hranu hodin. Když po spuštění hodin čítač napočítá hodnotu 32 767, znamená to, že uplynula jedna vteřina. Takto pokračuje dále, než nastane jedna minuta. Při jedné minutě nastaví na signálu *poi* logickou 0. Porovná hodnotu přes hradlo AND se signálem *ot1* a na výstupu vytvoří logickou 0.

```
process ( clock, k1, pom, poi)                                -- hodiny
begin
    if ( clock'event and clock = '1' ) then
        cnt <= cnt + 1;

        if ( pom = '0' and poi = '1' ) then
            if ( cnt = 32767 ) then                            -- 1 sec
                sec <= sec + 1;
            if ( sec = 59 ) then                                -- 1 min
                sec <= "000000";
                poi <= '0';
            end if;
        end if;
    end if;
end if;
```

```
if ( pom='1' ) then
    b1 <= '1';
    poi <= '1';
end if;

if ( k1 = '1' ) then
    b1 <= '1';
else
    b1 <= poi;
end if;
end process;

sig_out1 <= ot1 and b1;
led1<=ll;
```

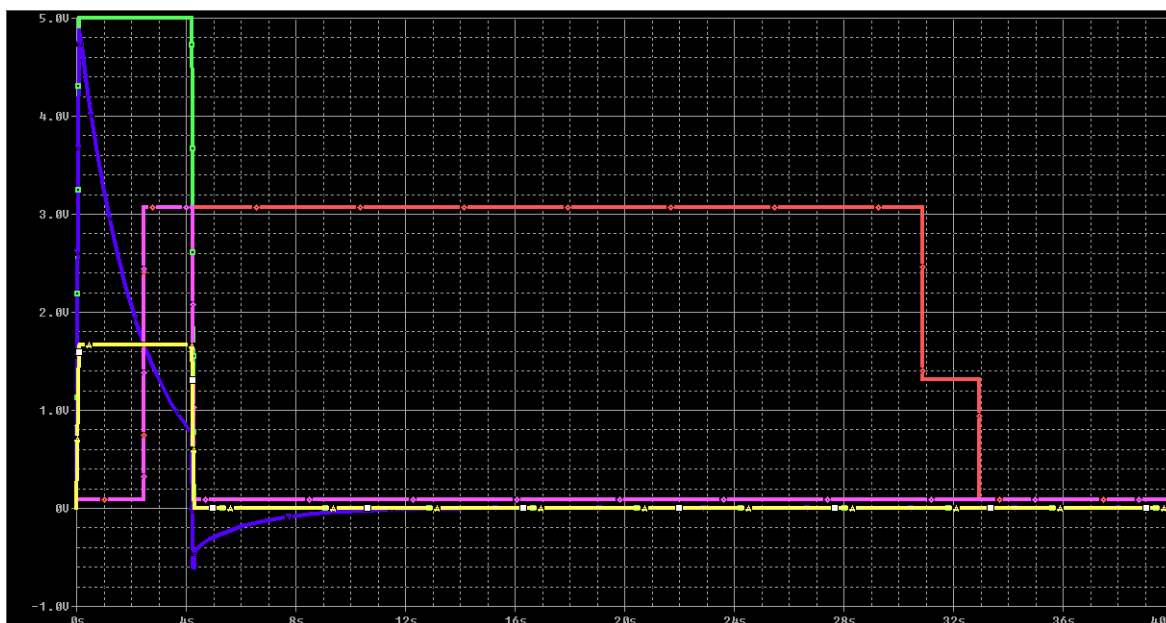
## 5 Simulace

Simulace jsou vytvořeny v programu Orcad Unison Suite ( Capture ). Nasimulovány jsou časové analýzy, tedy závislost napětí ( ve voltech, vertikální osa ) na čase ( v sekundách, horizontální osa ).

Simulace pro CPLD obvod jsou vytvořeny v programu ISim, který je součástí programu ISE Design Suite.

### 5.1 Simulace laserové detekce

Na obrázku 18 je znázorněna simulace zpoždění výstupu. Zelený průběh je vstupní signál ( SD ). Při hodnotě  $U_{SD} = 5 \text{ V}$  se nabije kondenzátor C1 ( modrý průběh ). Postupně se vybíjí do hodnoty  $1/3 U_{SD}$  ( žlutý průběh ). Při této hodnotě se překlápí výstup obvodu U3 z log. 0 na log. 1 ( červený průběh ). Klesne-li vstupní napětí  $U_{SD} = 0 \text{ V}$ , výstup obvodu je stále log. 1 po dobu zhruba 30 sekund. Obvod U2A připojený na vstup a výstup obvodu U3 kompenzuje toto zpoždění a okamžitě překlápí výstup z logické 1 na logickou 0 ( fialový průběh ).

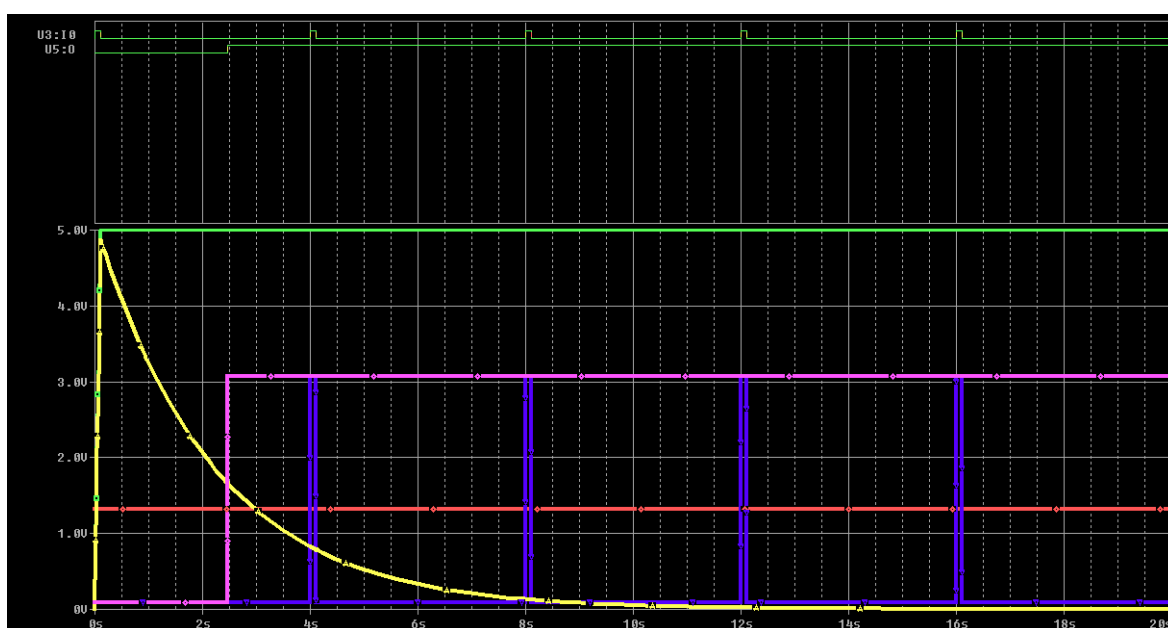


Obr. 18: Zpoždění výstupu ( simulace )

Laserová detekce je simulována při připojení na napájecí napětí. V tomto stavu je na prvním vstupu obvodu U2 log. 1, viz obr. 19 signál U3:I0. Na druhém vstupu obvodu U2 je připojen zpožděný signál OSD, viz obr. 19 signál U5:0. Při nastavení řídicího signálu na log. 1 se první vstup obvodu U2B ( U2C ) přepne na log. 0 a druhý vstup po zpoždění na log. 1. Nyní je připraven výstup detekce.

Když se přeruší paprsek, na výstupu se objeví log. 1, viz obr. 19 modrý průběh. Červený průběh znázorňuje referenční napětí na obvodu U5. Fialový průběh je signál OSD. Žlutý průběh je vybíjení kondenzátoru.

V simulaci je vidět zpoždění signálu OSD z log. 0 na log. 1 v čase zhruba 2,2 s.



**Obr. 19:** Laserová detekce ( simulace )

## **5.2 Simulace prodloužení signálu senzoru PIR**

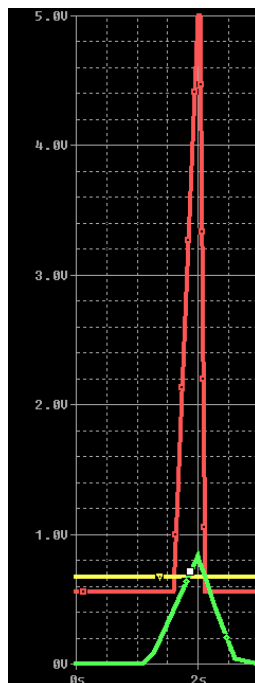
Senzor PIR jak už bylo výše popsáno přepne svůj stav na log. 0 při zaznamenání pohybu, viz obr. 20 zelený průběh. Výstupní signál je znázorněn červeným průběhem. Doba prodloužení signálu je zhruba 120 sekund.



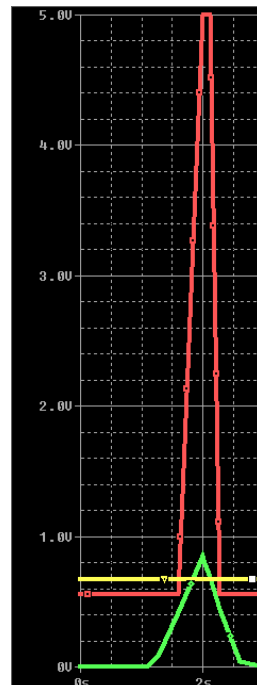
Obr. 20: Prodloužení signálu PIR ( simulace )

### 5.3 Simulace soumrakového senzoru

Simulace je znázorněna na obrázku 21. Zelený průběh je vstupní signál, žlutý průběh je napěťová reference, která se rovná  $U_{ref} = 673$  mV. Červený průběh je výstupní signál.



a) bez hystereze



b) s hysterezí

Obr. 21: Soumrakový senzor ( simulace )

## 5.4 Simulace CPLD obvodu

Všechny zde popsané simulace jsou simulovány se stejným vstupním signálem po dobu padesáti sekund. U všech simulací detekuje soumrakový senzor ( ss ) tmu až na obrázek 26. Resetovací signál ( rst ) je u všech simulací zapnut zhruba po 46 sekundách. Ovládání zhasnutí má vypnutý signál rst a nastavenou delší dobu simulace.

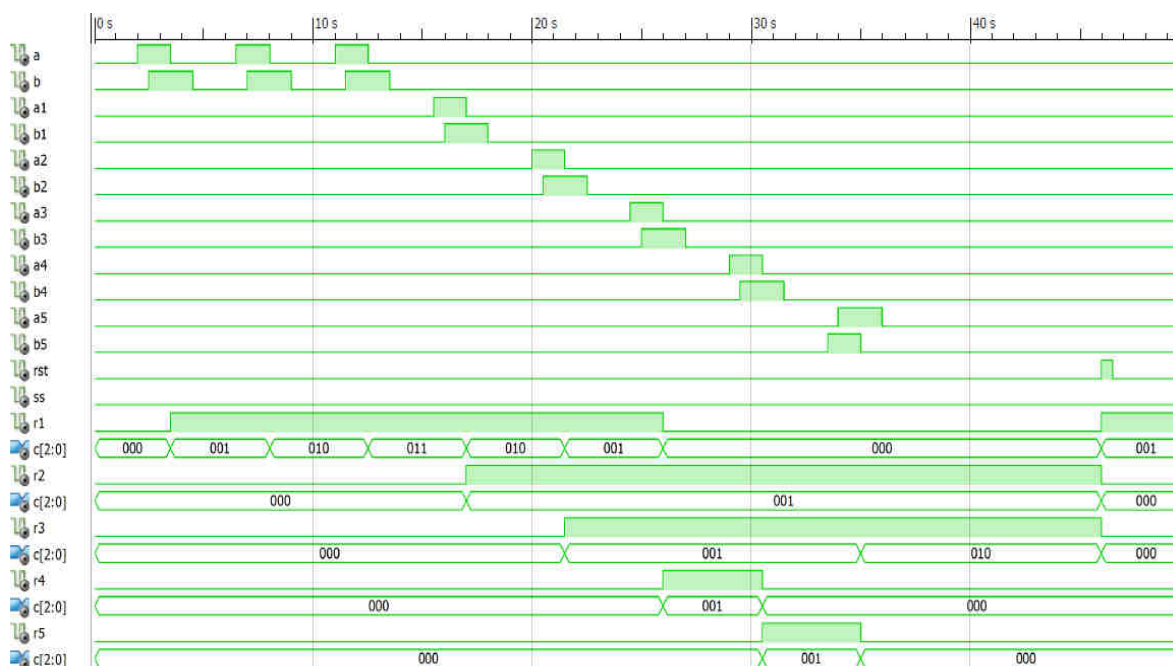
*Kompletní simulace CPLD obvodu jsou v příloze E.*

### 5.4.1 Simulace vstupů a výstupů

Vstupy jsou označeny  $ax$  a  $bx$ , kde  $x$  je 0 – 5. Výstupy jsou  $ry$ , kde  $y$  je 1 – 5, viz obrázek 22. Simulace začíná třemi vstupními signály (  $a$ ,  $b$  ), tím se na výstupu  $r1$  objeví logická 1 a první čítač začne čítat vpřed do hodnoty „011“. Vstupní signály  $a1$ ,  $b1$  vytvoří log. 1 na výstupu  $r2$ . Zde se nastaví druhý čítač na hodnotu „001“ a první čítač odečte logickou 1. Další vstupní signály fungují stejně, tedy  $a2$ ,  $b2$  pro  $r3$ . Vstupy  $a3$ ,  $b3$  pro  $r4$ . Vstupy  $a4$ ,  $b4$ ,  $a5$  a  $b5$  pro  $r5$ .

Při porovnání s obrázkem 16 je vidět, že nejprve přijdou tři osoby do místnosti 1. První osoba odejde do místnosti 2. Druhá osoba odejde do místnosti 3. Třetí osoba odejde do místnosti 4, následně do místnosti 5 a poté do místnosti 3.

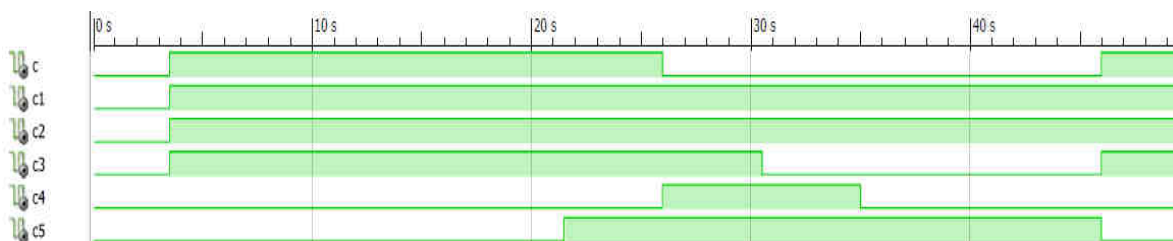
Po odchodu třetí osoby z místnosti 1 zhasne osvětlení 1 (  $r1$  ). V konečném stavu je vidět rozsvícení osvětlení v místnostech 2 a 3 (  $r2$  a  $r3$  ). Po zmáčknutí resetovacího tlačítka se vytvoří log. 1 na výstupu  $r1$ . Ostatní výstupy se přeplojí na log. 0.



Obr. 22: Simulace vstupů a výstupů

### 5.4.2 Simulace řízení laserů

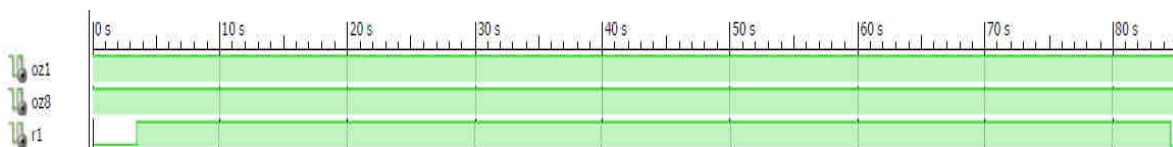
Simulace na obrázku 23 ukazuje sepnutí laserové detekce. Je-li osoba v místnosti 1, překlopí se na log. 1 řídicí signál  $c - c3$ . Pro místnost 2 se sepne pouze  $c1$ . Pro místnost 3 se sepne  $c2$  a  $c5$ . Pro místnost 4 se sepne  $c3$  a  $c4$ . Pro místnost 5 se sepne  $c4$  a  $c5$ .



Obr. 23: Simulace řízení laserů

### 5.4.3 Simulace ovládání zhasnutí

V simulaci je vidět zpožděné zhasnutí osvětlení v místnosti 1, viz obrázek 24. Při sepnutí tlačítka se vstup  $oz1$  a výstup  $oz8$  překlopí na log. 1. Výstup  $oz8$  je signalizace aktivního stavu. Při porovnání výstupu  $r1$  s obrázkem 22 je vidět zpoždění zhasnutí při odchodu z místnosti. V předchozím případě je logická 0 na výstupu  $r1$  ve 26 vteřině. Zde je o zhruba 60 sekund zpožděná logická 0 na výstupu  $r1$ .

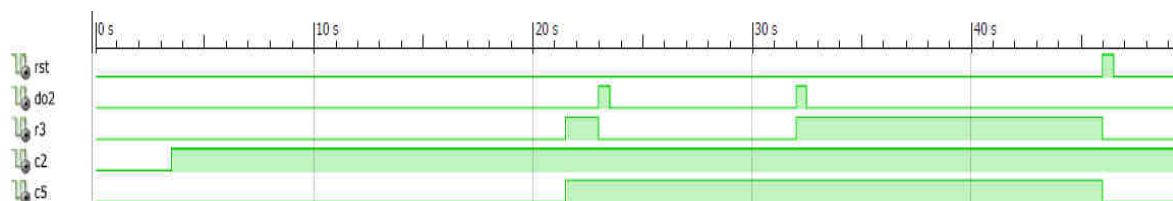


Obr. 24: Simulace ovládání zhasnutí

### 5.4.4 Simulace dálkového ovládání

Dálkové ovládání je nasimulováno pro výstup  $r3$ , viz obr. 25. Vznikne-li na vstupu  $do2$  logická 1, překlopí se výstup  $r3$  na logickou 0. Pokud se znovu objeví na vstupu  $do2$  logická 1, překlopí se výstup  $r3$  zpět na logickou 1. Za předpokladu, že v místnosti 3 je alespoň jedna osoba. Pokud v místnosti osoba není, nebude se měnit stav výstupu  $r3$ .

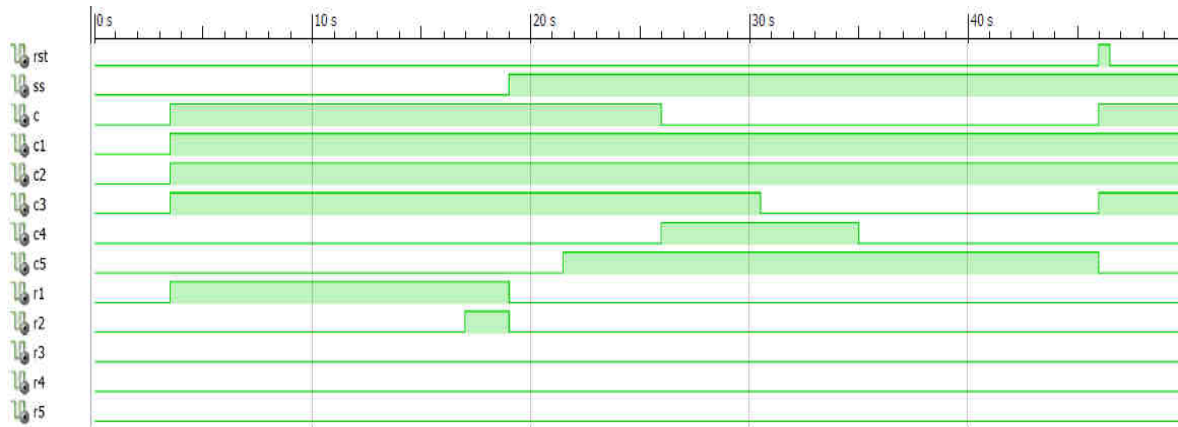
Je-li nejprve aktivováno zhasnutí, nerozsvítí se v místnosti při vstupu osoby. Na obrázku 25 je také vidět, že není ovlivněna laserová detekce.



Obr. 25: Simulace dálkového ovládání

### 5.4.5 Simulace soumrakového senzoru

Je-li soumrakový senzor v log. 0, výstupy pracují stejně jako v předešlých simulacích. Překlopí-li se na log. 1, překlopí se všechny výstupy (  $r1 - r5$  ) na log. 0, ale laserová detekce zůstane neovlivněna.



**Obr. 26:** Simulace soumrakového senzoru

## 6 Desky plošných spojů ( DPS )

### 6.1 Popis DPS

Použitá propojovací struktura je dvouvrstvá DPS o tloušťce 1,5 mm. Základní organický materiál FR4 se skládá ze skleněné tkaniny ( výztuž ) a epoxidové pryskyřice ( pojivo ). Tento materiál je použit pro výrobu plošných spojů z důvodů nízké navlhavosti, vysoké teplotní odolnosti a přijatelné ceně.

Vodivý motiv je tvořen z plátované měděné fólie o tloušťce 18  $\mu\text{m}$  v obou vrstvách. Výsledný vodivý motiv ochraňuje permanentní zelená nepájivá maska. Povrchová úprava DPS je provedena metodou žárového pokovení, tzv. HAL ( Hot Air Levelling ).

### 6.2 Návrh DPS

Navržené typy DPS jsou:

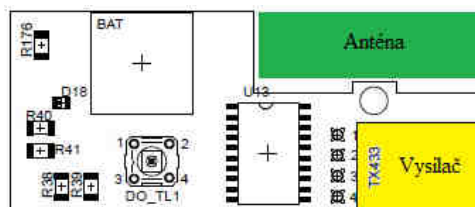
- Dálkové ovládání ( 4 ks )
- Laserová detekce ( 6 ks )
- Ústředna
- Ovládání zhasnutí
- Výstup

Navržené desky plošných spojů jsou v Příloze F.  
Vygenerovaná rozpiska materiálu je v Příloze G.

#### 6.2.1 Dálkové ovládání

Dálkové ovládání je znázorněno na obrázku 27. Zde je vidět, že DPS má netypický tvar. Vyřízly prostor je nahrazen šroubovicovou anténou a vysílačem TX433 z důvodů:

- 1) Snížení velikosti DPS
- 2) Přizpůsobení velikosti krabičky

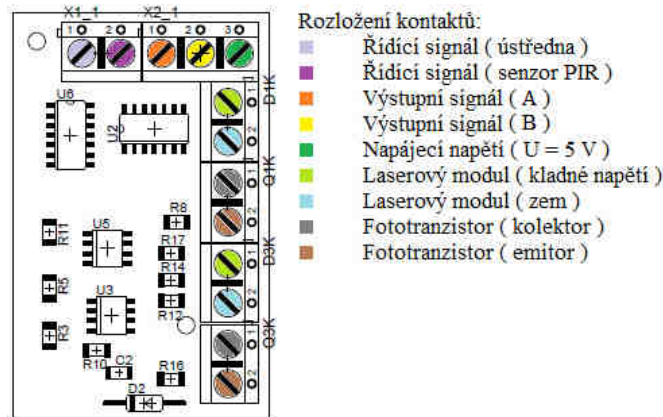


Obr. 27: Dálkové ovládání ( DPS )

Vysílací anténa je navinutá z měděného drátu o průměru  $\phi_D = 1,7 \text{ mm}$  a dosahuje délky  $l = 29 \text{ mm}$ . Vnitřní průměr vynutí je  $\phi_V = 5 \text{ mm}$ . Vysílač TX433 má rozměry zhruba 15 x 10 mm. Rozměry navržené DPS jsou  $l = 24,5 \text{ mm}$  a  $w = 57,7 \text{ mm}$ .

## 6.2.2 Laserová detekce

Na obrázku 28 je zobrazena laserová detekce. Rozměry jsou  $l = 33 \text{ mm}$  a  $w = 52 \text{ mm}$ . DPS je navržena pro zaručně o minimální vnitřní šířce  $w_{\min} = 35 \text{ mm}$ .

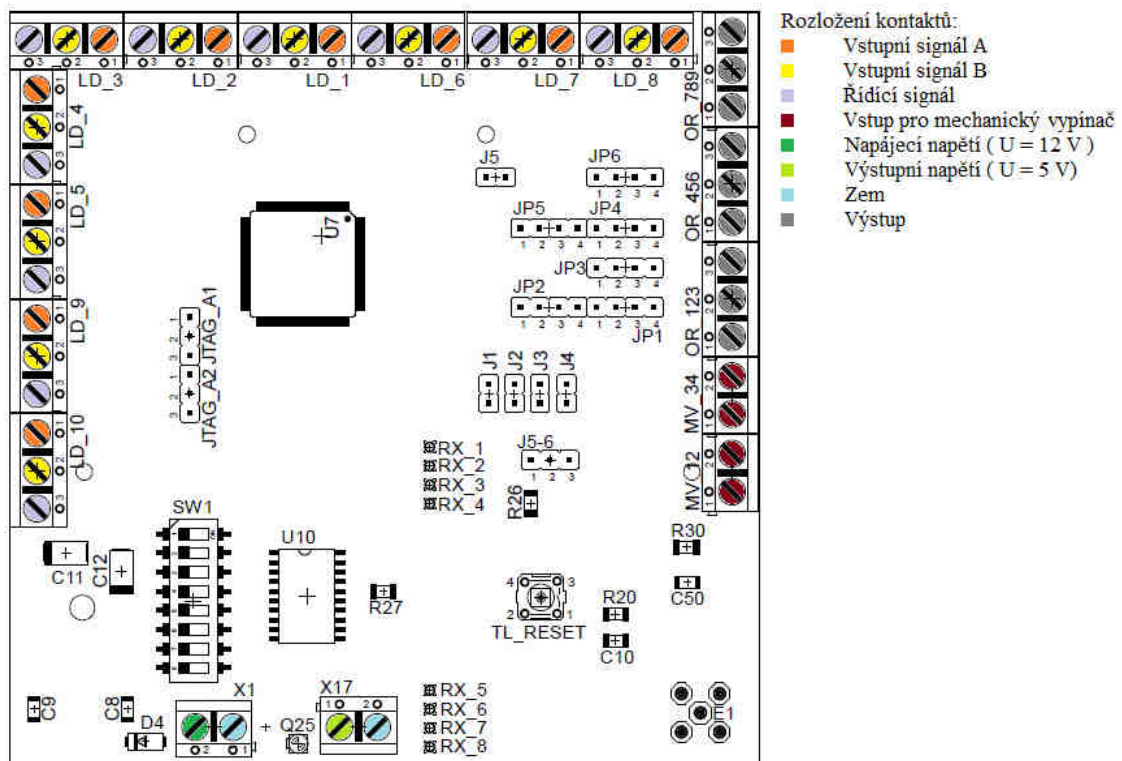


Obr. 28: Laserová detekce ( DPS )

## 6.2.3 Ústředna

Ústředna je největší z navržených DPS. Její rozměry jsou  $l = 100 \text{ mm}$  a  $w = 100 \text{ mm}$ . K této DPS jsou připojeny ostatní navržené DPS.

Na obrázku 29 je vidět, že k ústředně může být připojeno 10 laserových detekcí a může ovládat 9 místností. Z konektoru X17 je vyvedeno napětí  $U = 5 \text{ V}$  pro napájení laserových detekcí a senzoru PIR.

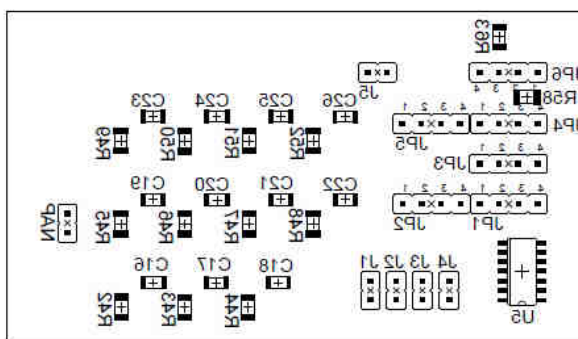


Obr. 29: Ústředna ( DPS )

Na konektoru JTAG\_A1 přesněji na kontaktu 1 je napětí  $U = 3,3 \text{ V}$  a na kontaktu 2 je zem. Toto napětí napájí modul ovládání zhasnutí. Jumper J5-6 aktivuje soumrakový senzor pokud je propojen kontakt 1 a 2. V opačném případě je soumrakový senzor neaktivní. Jumpery J1 – J5 a JP1 – JP6 propojují ústřednu s DPS, která se nazývá ovládání zhasnutí.

### 6.2.4 Ovládání zhasnutí

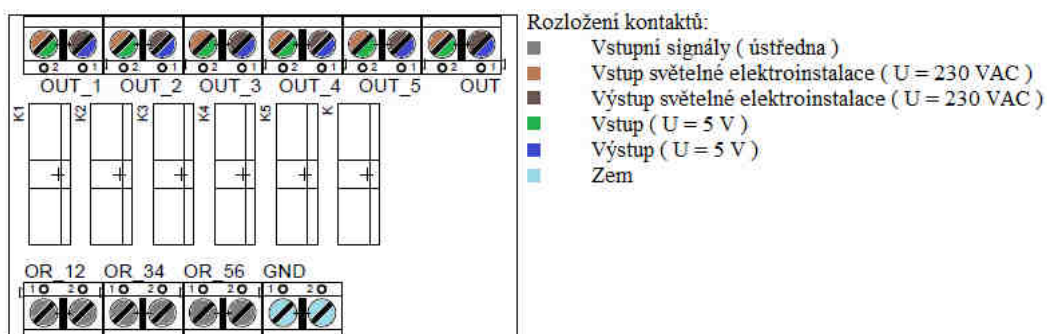
Na obrázku 30 je ovládání zhasnutí. Rozměry DPS jsou  $l = 76,2 \text{ mm}$  a  $w = 44,1 \text{ mm}$ . Při osazování desky je důležité osadit jumpery opačnými kusy oproti ústředně.



Obr. 30: Ovládání zhasnutí ( DPS )

### 6.2.5 Výstup

Na obrázku 31 je navržená DPS výstupu. Rozměry jsou  $l = 66 \text{ mm}$  a  $w = 42 \text{ mm}$ . Výstup spíná střídavé napětí  $U = 230 \text{ VAC}$  nebo stejnosměrné napětí  $U = 5 \text{ V}$ . DPS ovládá šest místností.



Obr. 31: Výstup ( DPS )

## 7 Naměřené hodnoty

### 7.1 Laserová detekce

Tabulka 4 ukazuje naměřené hodnoty fototranzistorů. Nejprve jsou změřeny hodnoty napětí fototranzistorů na emitoru bez přijímání laserových paprsků, při nízkém a vysokém osvětlení. Druhá část tabulky zobrazuje hodnoty napětí při přijímání laserových paprsků. Z naměřených hodnot jde vidět, že nejnižší napětí, které fototranzistorem prochází je  $U_{MINn} \approx 0,6 V$  při nízkém osvětlení bez laserových paprsků. A nejvyšší napětí  $U_{MAXv} \approx 6 V$  při vysokém osvětlení s laserovými paprsky.

**Tab. 4:** Fototranzistory laserových detekcí

Osvětlení	Bez laserových paprsků				S laserovými paprsky			
	Nízké		Vysoké		Nízké		Vysoké	
Fototranzistor	První	Druhý	První	Druhý	První	Druhý	První	Druhý
Měřená hodnota	$U_{MINn 1}$ [V]	$U_{MINn 2}$ [V]	$U_{MINv 1}$ [V]	$U_{MINv 2}$ [V]	$U_{MAXn 1}$ [V]	$U_{MAXn 2}$ [V]	$U_{MAXv 1}$ [V]	$U_{MAXv 2}$ [V]
1. Laserová detekce	0,65	0,64	3,63	3,63	5,88	5,88	6,27	6,28
2. Laserová detekce	0,78	0,62	3,69	3,59	5,82	5,85	6,12	6,13
3. Laserová detekce	0,64	0,64	3,50	3,48	5,00	5,70	5,48	6,03
4. Laserová detekce	0,64	0,64	3,87	4,00	5,18	5,12	5,93	5,85
5. Laserová detekce	0,80	0,82	3,77	3,72	5,78	5,82	6,05	6,11
6. Laserová detekce	0,65	0,65	3,58	3,50	5,82	5,83	6,08	6,13

V tabulce 5 jsou naměřené hodnoty referenčních napětí komparátorů a výstupní napětí laserových detekcí. Hodnota referenčního napětí komparátorů je nastavena na hodnotu napětí  $U_{ref} \approx 4,68 V$ . Tato hodnota je nastavena mezi vysokým osvětlením bez laserových paprsků a nízkým osvětlením s laserovými paprsky. Pokud by referenční napětí bylo nižší, než napětí při vysokém osvětlení bez laserových paprsků  $U_{ref} < U_{MINv}$ , nemohl by se komparátor překlomit do stavu logická 0. Platí pouze při vysokém osvětlení. V opačném případě se nepřeklopí do logické 1, tedy při referenčním napětí vyšším než napětí při nízkém osvětlení s laserovými paprsky  $U_{ref} > U_{MAXn}$ . Platí pro nízké osvětlení.

Výstupní napětí laserových detekcí je  $U_{out} \approx 5 V$  při přerušení laserových paprsku. Toto napětí je chápáno jako logická 1. V opačném případě je na výstupu logická 0, která nabývá hodnot napětí  $U_{out} = 0 V$ .

**Tab. 5:** Referenční napětí komparátorů a výstupní napětí laserových detekcí

Měřená hodnota	Komparátor		Výstup	
	$U_{ref 1}$ [V]	$U_{ref 2}$ [V]	$U_{out 1}$ [V]	$U_{out 2}$ [V]
1. Laserová detekce	4,63	4,62	5,19	5,19
2. Laserová detekce	4,77	4,58	5,11	5,11
3. Laserová detekce	4,43	4,47	5,27	5,27
4. Laserová detekce	5,05	5,11	5,24	5,24
5. Laserová detekce	4,82	4,73	5,3	5,3
6. Laserová detekce	4,52	4,38	5,32	5,32

V tabulce 6 jsou zaznamenány hodnoty proudového odběru laserových detekcí. První detekce má vyšší proudový odběr. Toto navýšení je způsobeno připojením senzoru PIR. Ostatní laserové detekce mají proudový odběr v klidovém stavu  $I_{MIN} \approx 28 \text{ mA}$ . V aktivním stavu, tedy při aktivaci laserových paprsků se proudový odběr zvýší na  $I_{MAX} \approx 60 \text{ mA}$ .

**Tab. 6:** Proudový odběr laserových detekcí

	Název	Bez laser. paprsků	S laser. paprsky
		$I$ [mA]	$I$ [mA]
1	Laser. detekce a senzor PIR	40,1	90,1
2	Laserová detekce	27,8	59,2
3	Laserová detekce	27,8	57,1
4	Laserová detekce	27,3	57,3
5	Laserová detekce	27,8	59,4
6	Laserová detekce	27,4	57,5

## 7.2 Ústředna

**Tab. 7:** Výstupní napětí ústředny

	Výstupy ústředny	
	Ovládání relé	Ovládání laserové detekce
	$U_{out r}$ [V]	$U_{out l}$ [V]
1	2,25	3,48
2	2,25	3,47
3	2,25	3,47
4	2,25	3,49
5	2,25	3,5
6	-	3,5

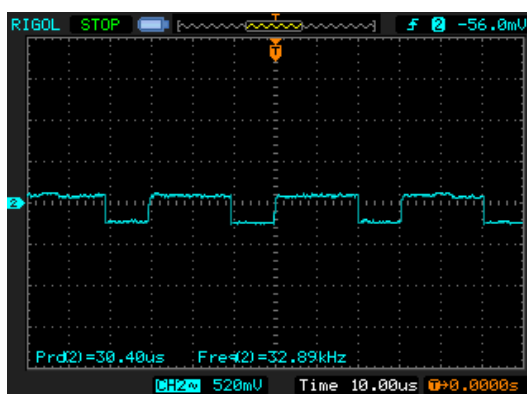
Tabulka 7 ukazuje výstupní napětí ústředny. Nejprve jsou uvedeny hodnoty napětí pro spínání polovodičového relé  $U_{out r}$ . Ve druhém sloupci tabulky 7 jsou hodnoty napětí pro aktivaci laserových paprsků.

V tabulce 8 jsou naměřené hodnoty proudového odběru ústředny. Ústředna v pohotovostním režimu odebírá proud  $I = 182 \text{ mA}$ . Další hodnoty proudu jsou navýšeny o kombinace aktivovaných LED.

**Tab. 8:** Proudový odběr ústředny

	I [mA]
ústředna	182
Jedna LED	195
Dvě LED	200
Tři LED	210
Čtyři LED	220
Pět LED	230

Na obrázku 32 je zaznamenán průběh hodinového signálu. Naměřená frekvence je  $f = 32,89 \text{ kHz}$  a perioda  $T = 30,40 \mu\text{s}$ .



**Obr. 32:** Změřený průběh hodinového signálu

V tabulce 9 jsou naměřené hodnoty referenčního napětí a výstupního napětí soumrakového senzoru. Referenční napětí  $U_{ref} = 1,03 \text{ V}$  je nastaveno velmi nízko z důvodu sepnutí osvětlení při nízké viditelnosti.

**Tab. 9:** Referenční napětí komparátoru a výstupní napětí soumrakového senzoru

osvětlení	Komparátor		Výstup	
	nízké	vysoké	nízké	vysoké
Měřená hodnota	$U_{ref n} \text{ [V]}$	$U_{ref v} \text{ [V]}$	$U_{out n} \text{ [V]}$	$U_{out v} \text{ [V]}$
Soumrakový senzor	1,03	1,03	0,18	6,23

### 7.3 Výstupní část

Výstupní část je spínána výstupním napětím ústředny. Tato část spíná po osazení polovodičového relé střídavé napětí  $U_{stř} = 230 \text{ VAC}$ . V případě osazení optočlenu je spínáno stejnosměrné napětí  $U = 5 \text{ V}$ .

### 7.4 Příkon a spotřeba

Tabulka 10 ukazuje minimální a maximální proudový odběr celého zařízení. Minimální proud znamená, že jsou neaktivní všechny laserové paprsky, senzor PIR je v klidovém stavu a není aktivováno opožděné zhasnutí. Maximální proudový odběr je při aktivaci všech šesti laserových detekcí a pěti ovládní zhasnutí, kde senzor PIR detekuje pohyb.

**Tab. 10:** Minimální a maximální proudový odběr

	I [ mA ]	
	Min.	Max.
<b>Kompletní domácnost</b>	240	550

Výše popsané změny proudů se projeví i na příkonu a spotřebě elektrické energie, viz tabulka 11. Jak už bylo zmíněno, celé zařízení potřebuje neustálé napájení. Při průměrné ceně za spotřebovanou elektrickou energii 4,60 Kč / kWh je minimální cena zhruba 0,40 Kč / den. V opačném případě je maximální cena 0,81 Kč / den.

**Tab. 11:** Příkon a spotřeba zařízení

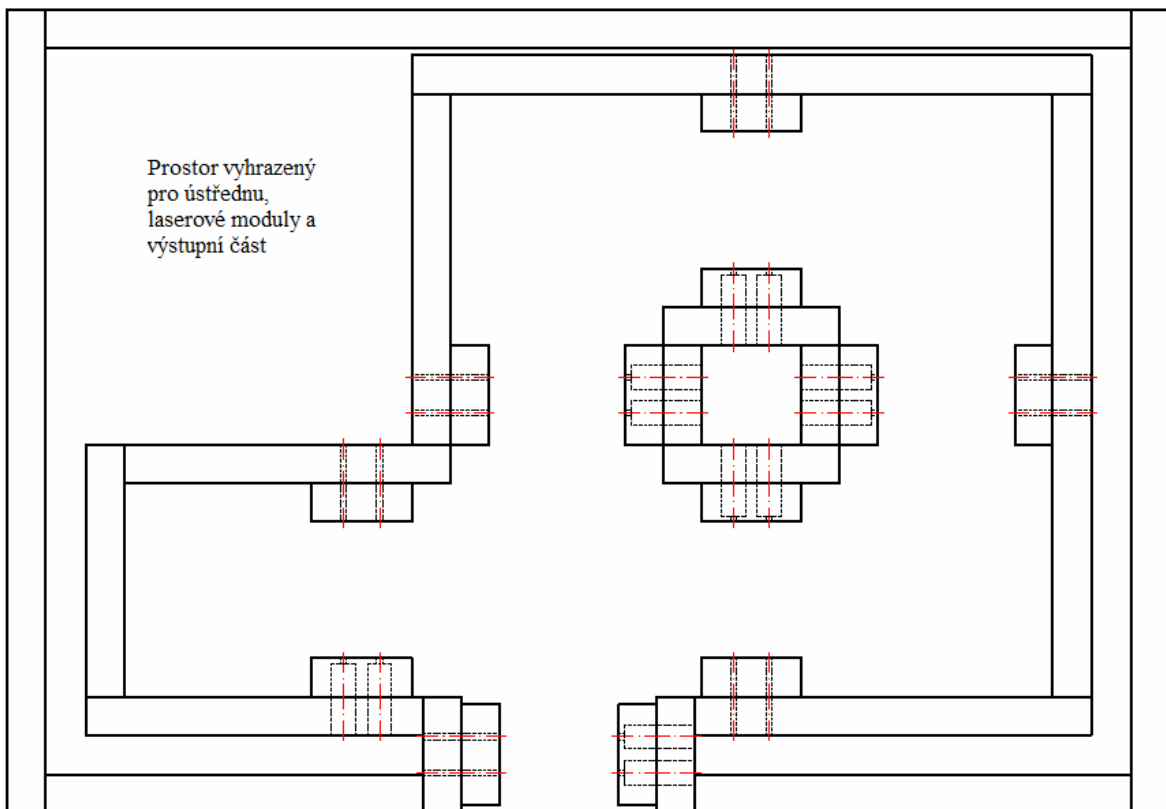
	P [ W ]		E [ kWh ]	
	Min.	Max.	Min.	Max.
<b>Kompletní domácnost</b>	3,6	7,3	0,09	0,18

## 8 Konstrukce

Na obrázku 33 je navržená konstrukce podle obrázku 2. Postavená je ze smrkového dřeva o tloušťce  $w = 19 \text{ mm}$  a dřevotřísky o tloušťce  $w = 6 \text{ mm}$ . Celá konstrukce je dlouhá  $l = 578 \text{ mm}$ , široká  $w = 400 \text{ mm}$  a vysoká  $v = 112 \text{ mm}$ .

Postavičky pro simulaci pohybu osob v domácnosti jsou sestaveny z korkových zátek v kombinaci s neodymovými permanentními magnety o průměru  $\phi = 20 \text{ mm}$  a výšce  $v = 5 \text{ mm}$ .

*Navržená konstrukce je v příloze H.*



**Obr. 33:** Navržená konstrukce

## 9 Závěr

Tato práce poukazuje na možné řešení automatizace osvětlení v domácnosti. Podle zadání je splněno rozsvícení při vstupu do místnosti a zhasnutí při odchodu z místnosti. Navíc je zde realizováno dálkové ovládání, soumrakový senzor a ovládání zhasnutí. Celé zařízení je realizováno a odzkoušeno. Tím je dosaženo cílů, které jsou stanoveny.

Zařízení neomezuje pohyb a je hygienické. Použité lasery spadají do kategorie 3A. Jsou to tedy bezpečné lasery při sledování nechráněným zrakem, oko ochrání mrkací reflex. Pro vylepšení zařízení by bylo vhodné realizovat detekční část například pomocí IR LED v kombinaci s více přijímači. To by přispělo k zvětšení detekční plochy.

Simulace navržených schémat jsou pouze teoretické. Použití reálných součástek má za následek zkreslení výsledných hodnot. Především zkreslení způsobují tolerance součástek a také navržené vodivé motivy DPS. Například v simulaci ( obr. 19 ) je vidět zpoždění signálu OSD z log. 0 na log. 1 v čase zhruba 2,2 s. Při použití reálných součástek je tato doba mnoho násobně rychlejší. Toto zrychlení je pozitivní. Znamená to, že se laserová detekce rychleji spustí bez hazardního stavu.

Simulace CPLD jsou simulace přímo navrženého designu v jazyce VHDL. Tento design je poté nahrán do obvodu CPLD.

Dálkové ovládání je navrženo na frekvenci  $f = 433 \text{ MHz}$  pomocí vysílače TX433N, který má špičkový výstupní výkon  $P_{o_{\max}} = 10 \text{ mW}$ . Použitá šroubovicová anténa způsobuje útlum vysílače. Výstupní výkon celého dálkového ovládání se tedy pohybuje kolem  $P_o = 1 \text{ mW}$ .

Zařízení je ovládáno pomocí CPLD, který je možné modifikovat podle konkrétní domácnosti. Nicméně není ideální pro velké obydlí. Jedna z možností řešení je použít více ústředí a propojit je mezi sebou. Druhá možnost je vyvinout ústřednu s obvodem FPGA.

Desky plošných spojů laserové detekce jsou navrženy co nejmenší, aby se mohly připevnit přímo do různých typů zárubní. Ostatní DPS jsou navrženy pro montáž do vybraných krabiček.

Celý systém je navržen za účelem usnadnění pohybu osob a snížení ekonomických nákladů v domácnosti.

Všechna schémata a simulace jsou zhotoveny v programu Orcad Unison Suite v9.2.3. VHDL je napsán v programu ISE Design Suite v14.5. Součástí programu je ISim Simulator, kde jsou provedeny simulace CPLD. Všechny DPS jsou navrženy v programu Eagle v5.11.0 a výkresy konstrukce nakresleny v programu AutoCad 2007.

## 10 Seznam použité literatury

- [1] DALLAS SEMICONDUCTOR. *Data sheet DS1390/DS1391/DS1392/DS1393*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/98429/MAXIM/DS1390U-33.html>
- [2] FERST, J. *Soumrakový spínač s relé 250V/8A*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://www.postreh.com/phprs/view.php?cisloclanku=2006110702>
- [3] GES.CZ. *Data sheet TX433N*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: [http://www.ges.cz/sheets/t/tx433n\\_data.pdf](http://www.ges.cz/sheets/t/tx433n_data.pdf)
- [4] HOLTEK. *Data sheet HT12A/HT12E*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/64409/HOLTEK/HT12E.html>
- [5] HOLTEK. *Data sheet HT12D/HT12F*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/64409/HOLTEK/HT12D.html>
- [6] HW.CZ. *PIR detektor: skvělý sluha, ale zlý pán*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://www.hw.cz/automatizace/pir-cidlo-skvely-sluha-ale-zly-pan.html>
- [7] PANDATRON.CZ. *CPLD a FPGA 2.díl*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: [http://pandatron.cz/?2712&cpld\\_a\\_fpga\\_2.dil\\_%96\\_xc9572\\_a\\_vyvojova\\_deska](http://pandatron.cz/?2712&cpld_a_fpga_2.dil_%96_xc9572_a_vyvojova_deska)
- [8] STŘÍTESKÝ, L. *Různá obvyklá i neobvyklá zapojení s časovačem 555*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://amarokcz.wz.cz/555.htm>
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *Data sheet NE555, SA555, SE555*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/ne555.pdf>
- [10] XILINX.COM. *Data sheet XC95144XL High Performance CPLD*. [ONLINE]. [citováno 25.11.2013].  
URL: [http://www.xilinx.com/support/documentation/data\\_sheets/ds056.pdf](http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds056.pdf)

## Přílohy

## **Seznam příloh**

Příloha A – Kompletní obvodové schéma

Příloha B – Vygenerované RTL schéma navrženého designu

Příloha C – Kompletní návrh designu CPLD obvodu

Příloha D – Vývojový diagram

Příloha E – Kompletní simulace CPLD obvodu

Příloha F – Osazovací plán desek plošných spojů

Příloha G – Rozpiska součástek

Příloha H – Konstrukční návrh