

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Vojtěch Rössler

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Interaktivní LED panel

Vojtěch Rössler

Bakalářská práce

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Rössler**
Osobní číslo: **I13032**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Interaktivní LED panel**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte interaktivní panel z LED diod, který bude reagovat na přítomnost objektu před diodami. Panel bude obsahovat pole alespoň 10x10 LED diod a bude možné jej dále rozšiřovat. Součástí návrhu bude schéma zapojení, deska plošných spojů a popis zapojení a řízení. Řízení panelu bude obsahovat více režimů osvětlení. Navržené řešení realizujte a ověřte funkci.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 4 sv. ?C & praxe. ISBN 80-7300-174-8.

[2] Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBystes In-System Programmable Flash. ATMEL CORPORATION. [online]. [cit. 2015-10-15].

Dostupné z:

http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Roleček

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2016**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2016

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 12.5.2017

podpis autora

Vojtěch Rössler

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Rolečkovi za odborné vedení mé bakalářské práce, za ochotnou spolupráci a vlídný přístup, který měl na našich společných konzultacích během přípravy bakalářské práce. Děkuji též všem ostatním pedagogům za jejich výklad a předané znalosti. Chtěl bych poděkovat i mé rodině za to, že mě podporovala během celého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací interaktivního LED panelu. V teoretické části je popis fotoelektrických součástek a představen mikropočítač ATmega328p. V praktické části se řeší návrh obvodu a desky plošných spojů. Praktická část dále obsahuje řídicí program celého interaktivního LED panelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

interaktivní panel, LED panel, infračervené LED, AVR, ATmega328p

TITLE

Interactive LED board

ANNOTATION

This Bachelor thesis describes the design and implementation of interactive LED board. In the theoretical part of Bachelor thesis is a description of photoelectric components and introduced ATmega328p the μC . The practical part deals with the circuit design and with design of printed circuit board. The practical part also includes the control program of the entire interactive LED board.

KEYWORDS

interactive board, LED board, infrared LED, AVR, ATmega328p

OBSAH

0	Úvod.....	12
1	Teoretická část	13
1.1	Fotoelektrické snímače.....	13
1.1.1	Fotorezistor	13
1.1.2	Fotodioda	14
1.1.3	Fototranzistor	15
1.2	LED	16
1.2.1	Pouzdra LED.....	17
1.2.2	Napájení LED	19
1.3	Mikroprocesor ATmega328p	20
1.3.1	Rozhraní SPI.....	21
1.3.2	Čítač/časovač	22
1.4	Interaktivní LED soustavy	23
2	Praktická část	26
2.1	Koncepce interaktivního LED panelu	26
2.2	Výběr součástek	26
2.3	Návrh obvodu.....	28
2.3.1	Řídící deska.....	28
2.3.2	Řízený LED panel.....	30
2.4	Návrh a konstrukce desky plošných spojů	34
2.5	Program	37
2.5.1	Popis zdrojového kódu v jazyce C.....	37
3	ZÁVĚR	41
4	POUŽITÁ LITERATURA	42
5	Přílohy.....	45

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1 - Závislost odporu na relativním osvětlení [1]	13
Obrázek 2 - Konstrukce fotorezistoru [2]	13
Obrázek 3 - Zapojení fotorezistoru [3]	14
Obrázek 4 - V-A charakteristika fotodiody [5].....	15
Obrázek 5 - Hradlový režim fotodiody [6]	15
Obrázek 6 - značka elektroluminiscenční diody [8]	16
Obrázek 7 - Srovnání LED 10mm, 5mm a 3mm [10]	17
Obrázek 8 - AUTOLED (UFO LED) [12].....	18
Obrázek 9 - Porovnání velikostí SMD [13]	18
Obrázek 10- PWM signál	19
Obrázek 11 - Blokové schéma Atmega328p [16].....	21
Obrázek 12 - Sběrnice SPI.....	22
Obrázek 13 - Propojení Master-Slave zařízení [11]	22
Obrázek 14 - Evil Mad Scientist panel [16]	23
Obrázek 15 - Octolively: Zapojení LED [17].....	24
Obrázek 16 - Interaktivní stůl, pohled ze spodu [18]	24
Obrázek 17 - Uspořádání LED panelu.....	26
Obrázek 18 - Vyzařovací intenzita LED v závislosti na vlnové délce [19].....	27
Obrázek 19 - Zapojení mikropočítače ATmega328p	28
Obrázek 20 - Konektor napájení (vlevo), konektor USART (vpravo)	29
Obrázek 21 - Konektor k připojení jednoho (vlevo) a druhého (vpravo) panelu	29
Obrázek 22 - Zjednodušené zapojení prvního STP16CP05	30
Obrázek 23 - Zjednodušené zapojení druhého STP16CP05.....	31
Obrázek 24 - Zjednodušené schéma zapojení IR LED.....	32
Obrázek 25 - Zjednodušené zapojení prvního multiplexeru CD74HC4067M.....	33
Obrázek 26 - Zjednodušené zapojení druhého multiplexeru CD74HC4067M	34
Obrázek 27 - Řídící desky, pohled z vrchu.....	35
Obrázek 28 - Řídící desky, pohled ze zdola	35
Obrázek 29 - Osazovací plán řídicí desky, pohled z vrchu	36
Obrázek 30 - osazovací plán řídicí desky, pohled ze zdola	36
Obrázek 31 - Zapojení drátových jumperů na řídicí desce.....	36

Tabulka 1 - Vlnová délka v závislosti na chemickém složení [7]	17
--	----

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

μC	Mikropočítač
LED	Light Emitting Diode
SPI	Serial Peripheral Interface
SMD	Surface mount device
RGB	Red-Green-Blue
PWM	Pulse Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Computing
MIPS	Million Instructions Per Second
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
SRAM	Static Random-access memory
ADC	Analog-to-digital converter
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
IR	Infrared

0 ÚVOD

Interaktivní LED panel má převážné využití ve stolech s prosklenou deskou. Jeho výhoda spočívá v tom, že jde vidět co je na stole i když je v místnosti tma. Toho se dá využít při dívání se na film a u toho jíst popcorn, aniž by se muselo pokaždé po slepu sahat po misce s popcornem.

Cílem této práce je navrhnout a zhotovit funkční interaktivní LED panel. Tento panel by se měl dát dále rozšířit o další modul s LED. Jeho primární účel je zabudování do kávového, či jiného malého stolku se skleněnou deskou.

Celková práce se skládá ze dvou částí. První částí je část teoretická. Tato část se dále dělí na čtyři kapitoly. První kapitola se věnuje fotoelektrickým snímačům, jejich využití a jejich klady a zápory. Navazující kapitola pojednává o elektroluminiscenčních diodách (LED). Zabývá se jejich zapouzdřením a různými druhy jejich napájení. Ve třetí kapitole je představen mikroprocesor ATmega328 a jeho parametry. Je představeno SPI rozhraní a čítač/časovač. V další kapitole jsou popsány už vymyšlené a zhotovené interaktivní LED panely. Některé z nich se komerčně prodávají.

Praktická část se dělí na pět kapitol. V první kapitole se zabývám rozmístěním funkčních součástek panelu. Druhá kapitola pojednává o samotném výběru jednotlivých součástek. Další kapitola se zabývá návrhem samotného zapojení obvodu. Panel je rozdělen na dvě části. Na část řídicí a na část řízenou. Navazující kapitola pojednává o zhotovení desky plošných spojů řídicího a řízeného panelu. Obsahuje návrh desky plošných spojů a osazovací plán. Poslední kapitola popisuje program, který řídí celý interaktivní LED panel.

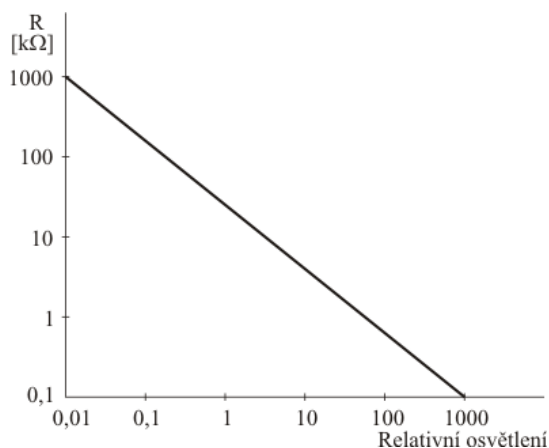
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Fotoelektrické snímače

Fotoelektrické snímače využívají vnitřního fotoelektrického jevu. To je takový jev, při kterém se zvyšuje vodivost materiálu, na který dopadají fotony. Světelné záření může být viditelné nebo neviditelné pouhým lidským okem, záleží na použitém materiálu fotoelektrického snímače.

1.1.1 Fotorezistor

Fotorezistory se používají pro měření neelektrických veličin. Mají využití v optočlenech, fotozávorách, nebo jako expozimetr, který převádí osvětlení na elektrický proud. Jedná se o pasivní elektronická součástku. Odpor fotorezistoru se zmenšuje se zvyšující se intenzitou dopadajícího záření na fotorezistor, viz. obrázek 1.



Obrázek 1 - Závislost odporu na relativním osvětlení [1]

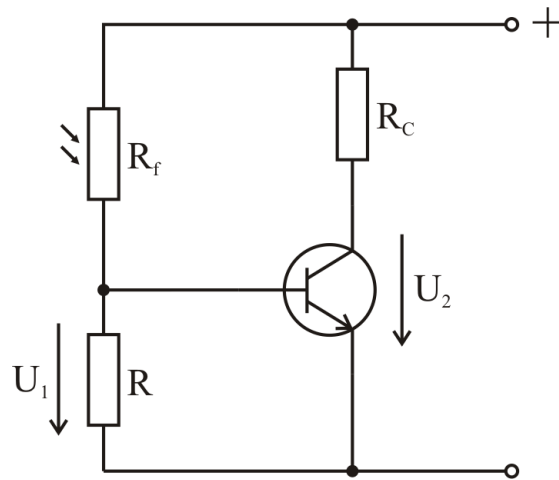
Na polovodičové destičce je nanesen kov je tvaru hrabiček viz. obrázek 2. Vlivem dopadajícího osvětlení na polovodičovou destičku se mění vodivost mezi kovovými hrabičkami.



Obrázek 2 - Konstrukce fotorezistoru [2]

Následující obrázek 3 ukazuje možné zapojení fotorezistoru. V tomto zapojení bude tranzistor za tmy uzavřen. Odpor R_C slouží k omezení kolektorového proudu tranzistorem. Fotorezistor R_f zapojen s R jako napěťový dělič nedodá potřebné napětí na bázi k sepnutí tranzistoru, protože fotorezistor má za tmy velký odpor. Posvítíme-li na fotorezistor, jeho odpor klesne a

napětí U_1 se zvýší. Jakmile U_1 dosáhne napětí potřebného k otevření tranzistoru, tranzistor se otevře a $U_1 > U_2$.



Obrázek 3 - Zapojení fotorezistoru [3]

Výhody fotorezistoru:

- relativně velká citlivost,
- snadné implementování a nízká cena,
- lze použít ve stejnosměrných i střídavých obvodech.

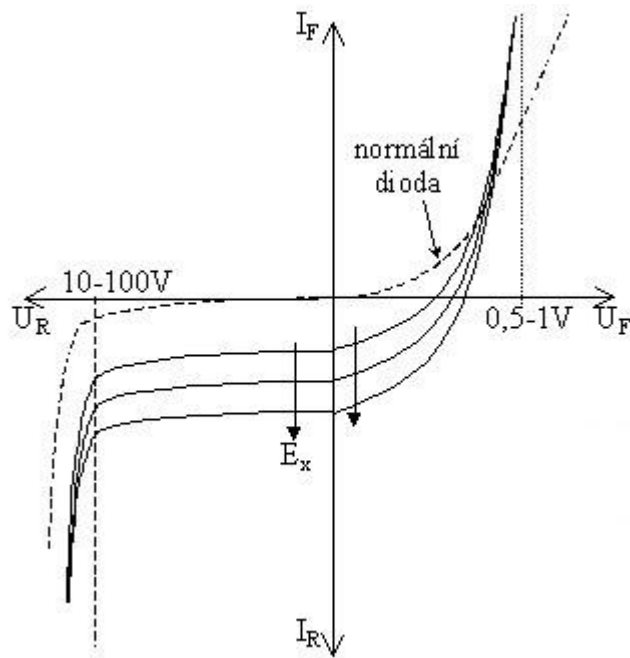
Nevýhody fotorezistoru:

- velká doba odezvy,
- velká teplotní závislost odporu,
- fotorezistory v provozu degradují.

1.1.2 Fotodioda

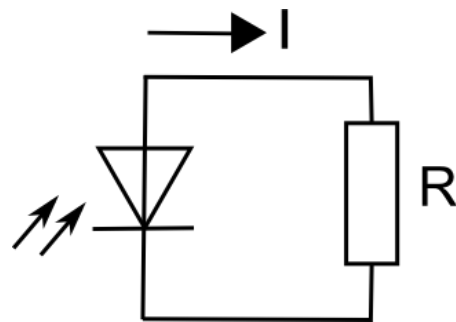
Fotodioda se v minulosti používala ke snímání dat z děrných štítků. V dnešní době je hodně využívána jako zdroj energie ve formě fotovoltaických panelů. Fotodioda je polovodičová dioda, která je citlivá na osvětlení PN přechodu určitou vlnovou délkou. Fotodioda se užívá ve dvou různých režimech [4]:

- hradlový (fotovoltaický) režim,
- odporový (fotovodivostní) režim.



Obrázek 4 - V-A charakteristika fotodiody [5]

Ve hradlovém režimu pracuje fotodioda ve čtvrtém kvadrantu V-A charakteristiky, viz. obrázek 4. Fotodioda se chová jako zdroj elektrické energie. Je-li fotodioda zapojena sériově se zátěží, viz. obrázek 5 a intenzita dopadajícího světla je dostatečná, začne zátěží protékat proud. Toho se využívá např. u solárních baterií v kalkulačkách nebo pro napájení družic ve vesmíru. Solární baterie jsou tvořeny soustavami velkoplošných fotodiód. Jejich účinnost se pohybuje okolo 15%.



Obrázek 5 - Hradlový režim fotodiody [6]

Odporový režim fotodiody se používá pro měření a detekci optického záření. V tomto režimu je ve stejném zapojení jako fotorezistor, viz obrázek 3 a chová se stejně.

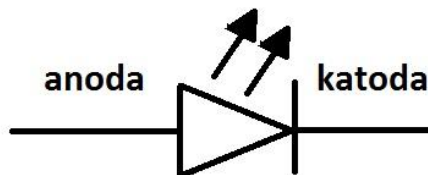
1.1.3 Fototranzistor

Fototranzistor je citlivější než fotodioda, ale má větší proud za tmy. Jeho odezva je v řádech mikrosekund. Jeho využití lze najít v optickém přenosu informací. K řízení kolektorového

proudu fototranzistoru se používá světelná energie, na rozdíl jak je tomu u klasického bipolárního tranzistoru, kde přivádíme proud na bázi tranzistoru. Velikost otevření fototranzistoru řídí intenzita dopadajícího záření na polovodičový přechod. Polovodičový přechod báze-emitor je přístupný světlu skrze skleněnou čočku v pouzdře fototranzistoru. Pro zvýšení citlivosti fototranzistoru se vyrábějí v tzv. Darlingtonově zapojení. Při tomto zapojení je výhodou zvětšení proudového zesílení, ale sníží se tím rychlost působení [7].

1.2 LED

LED je zkratka pro diodu emitující světlo. Oficiální český název pro LED je elektroluminiscenční dioda. Jedná se o polovodičovou elektronickou součástku s PN přechodem.



Obrázek 6 - značka elektroluminiscenční diody [8]

Po připojení napětí na diodu v propustném směru, což je kladné napětí na anodu a záporné na katodu diody, viz. obrázek 6. Začne procházet diodou elektrický proud a dioda začne vyzařovat světlo. K omezení proudu diodou, který by mohl poškodit diodu se používá zapojení s předřadným odporem před diodou. Vyzařované světelné spektrum diody závisí na chemickém složení polovodičového materiálu, viz tabulka 1.

Tabulka 1 - Vyzářené vlnové délky v závislosti na chemickém složení [9]

	Barva	Vlnová délka (nm)	Látka
?	Infračervená	$\lambda > 760$	GaAs AlGaAs
	Rudá	$610 < \lambda < 760$	AlGaAs GaAsP AlGaInP GaP
	Oranžová	$590 < \lambda < 610$	GaAsP AlGaInP GaP
	Žlutá	$570 < \lambda < 590$	GaAsP AlGaInP GaP
	Zelená	$500 < \lambda < 570$	InGaN/GaN GaP AlGaInP AlGaP
	Modrá	$450 < \lambda < 500$	ZnSe InGaN SiC Si
	Fialová	$400 < \lambda < 450$	InGaN Červená/modrá + fialový luminofor
	Ultrafialová	$\lambda < 400$	Diamant (Vlnová délka: 235 nm) Nitrid boru (Vlnová délka: 215 nm) AlGaN
	Bílá	Celé spektrum	Modrá/ultrafialová + žlutý luminofor

1.2.1 Pouzdra LED

LED se vyrábějí v různých pouzdrech, která se liší tvarem a velikostí. Základní rozdělení pouzder je :

- pouzdro s vývody,
- SMD pouzdro.

Klasickým představitelem LED v pouzdře s vývody jsou kulaté drátové LED o průměru 5mm. Tyto pouzdra se i dělají o průměrech 3mm a 10mm, viz obrázek 7.



Obrázek 7 - Srovnání LED 10mm, 5mm a 3mm [10]

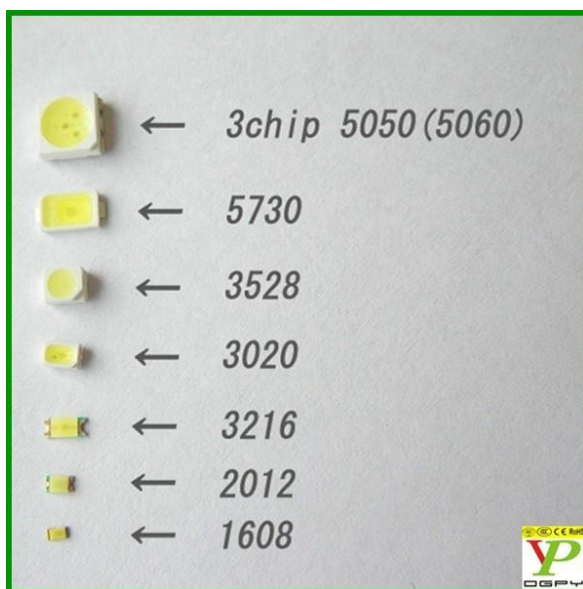
Pouzdro s vývody je určeno k montáži skrze desku plošných spojů. V těchto pouzdech se může nacházet více čipů, například dva (červeno-zelená LED), nebo tři (červeno-zeleno-modrá LED). S pomocí červeno-zeleno-modrého čipu v jedné diodě jde vyzářit velké spektrum barev, takového diody se nazývají RGB LED. S postupným přibývajícím výkonem elektroluminiscenčních diod bylo nedostatečné chlazení v těchto pouzdech [11]. Toto nedostatečné chlazení vyřešila tzv. AUTOLED, viz obrázek 8.



Obrázek 8 - AUTOLED (UFO LED) [12]

Její čtyři masivní drátové vývody zajistili dostatečný odvod tepla do desky plošných spojů.

S postupnou miniaturizací se objevila pouzdra SMD, která jsou určena k povrchové montáži na desku plošných spojů. SMD LED pouzdra se vyrábí v různých velikostech, viz obrázek 9.



Obrázek 9 - Porovnání velikostí SMD [13]

1.2.2 Napájení LED

Napájení LED sestav se dá rozdělit na způsoby [14]:

- zdrojem konstantního proudu,
- zdrojem konstantního napětí.

Ideální zdroj konstantního proudu by měl mít za jakýkoliv vnějších okolností výstupní proud konstantní. Reálný zdroj takové vlastnosti nikdy mít nebude.

$$I = \frac{U}{R}$$

kde:

I – je proud

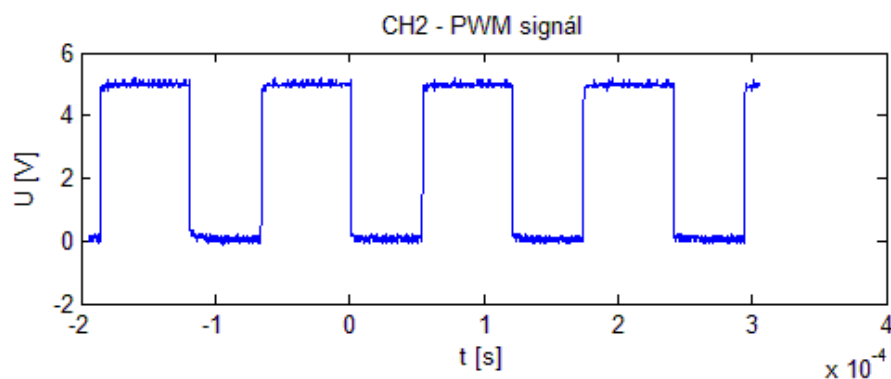
U – je napětí

R – je odpor

Z uvedeného vzorce Ohmova zákona vyplívá že, pro zdroj v režimu naprázdno by zdroj musel mít nekonečně velké napětí. Reálné proudové zdroje mají konstantní výstupní proud na definovaném napěťovém intervalu. Takové zdroje mají udávané parametry jako je maximální výkon, konstantní proud a rozmezí napětí, na kterém pracují.

Ideální zdroj konstantního napětí je takový zdroj, který obvod napájí konstantním napětím bez ohledu na připojenou zátěž. Vnitřní odpor takového zdroje je nulový. Reálný zdroj s takovými parametry nelze vyrobit. Vyráběné zdroje konstantního napětí disponují parametry jako je maximální výstupní výkon, z čeho vyplívá že takový zdroj nelze zatěžovat nad tuto mez.

Pro řízení svitu LED sestav se využívá PWM, neboli pulzně šířková modulace [15]. Takové řízení je energeticky úsporné, protože LED neprotéká určitý čas elektrický proud.



Obrázek 10- PWM signál

Jedná se o dvou stavový signál, viz. obrázek 10. Změnou střídy signálu se reguluje svit LED. Střída signálu je poměr časů kdy je signál v jednotlivých napěťových úrovních v jedné periodě a je definována takto:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

kde:

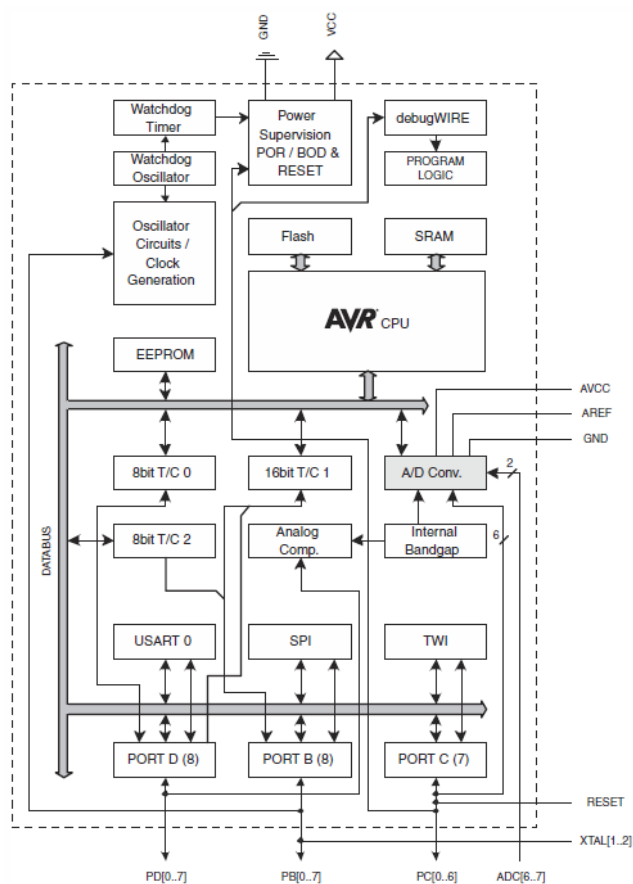
D – je střída signálu

τ – je délka pulzu

T – je délka periody

1.3 Mikroprocesor ATmega328p

Mikroprocesor ATmega328p od firmy Atmel je z rodiny nízko příkonových 8 bitových mikroprocesorů AVR. Tento mikroprocesor má redukovanou instrukční sadu RISC, která obsahuje 131 instrukcí. Datová propustnost mikroprocesoru je 20 MIPS při kmitočtu 20MHz. Obsahuje 32 8 bitových registrů pro všeobecné použití. Šířka datové sběrnice je 8 bitů. Velikost programovací paměti FLASH je 32KBytů, velikost EEPROM je 1KByt a velikost SRAM jsou 2KByty [16]. ATmega328p v pouzdře PDIP s 28 vývody disponuje 23 vstupně/výstupními piny z toho 6 jich je připojeno na 10 bitové ADC a s 6 piny s možností PWM. Dále disponuje komunikačním rozhraním SPI, USART a I2C. Má dva 8 bitové čítače/časově a jeden 16 bitový čítač/časovač. Na obrázku 10 je blokové schéma struktury mikroprocesoru ATmega328p.



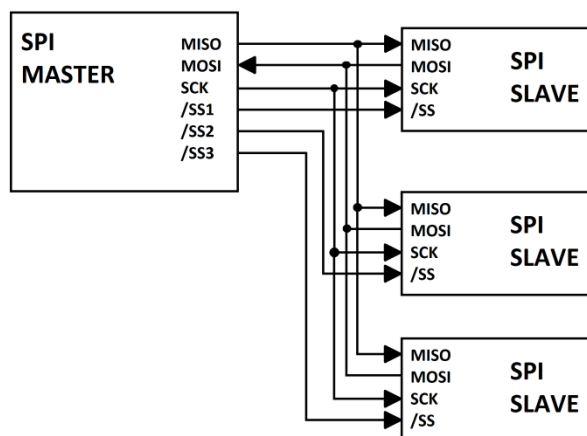
Obrázek 11 - Blokové schéma Atmega328p [16]

1.3.1 Rozhraní SPI

Rozhraní SPI je sériové periferní rozhraní. Dovoluje vysoko rychlostní synchronní datový přenos mezi mikropočítačem a periferiemi, nebo mezi několika mikropočítači. U mikropočítače ATmega328p může být rozhraní USART použito pro SPI v režimu Master [16]. Rozhraní SPI dovoluje zapojení dvou a více obvodů. Většinou je mikropočítač typu Master (Pán) a ostatní zařízení jsou typu Slave (Poddaný). Obvody jsou propojeny čtyřmi vodiči:

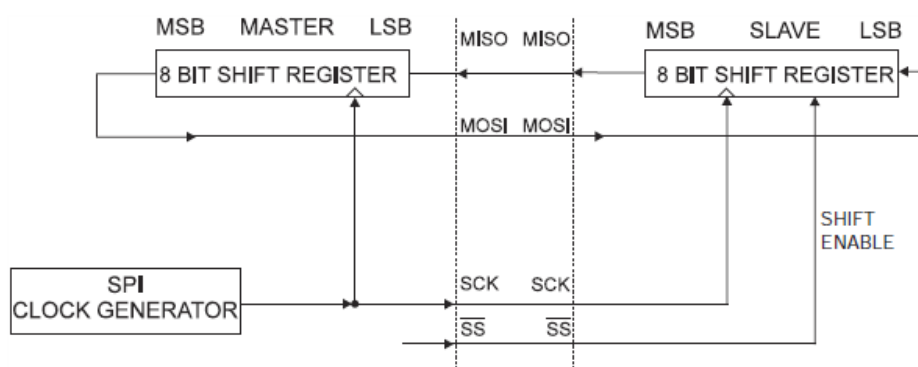
- datový výstup MOSI (Master Out, Slave In),
- datový vstup MISO (Master In, Slave Out),
- hodinový signál SCK,
- každé zařízení typu Slave má vstup SS (Slave select).

Datový výstup MOSI mikropočítače slouží k datovému přenosu z mikropočítače do periferního zařízení. Datový vstup MISO mikropočítače slouží k obrácenému datovému přenosu. Všechny připojené periferní zařízení sdílí datové sběrnice MOSI, MISO a SCK. Výběr periferie probíhá přes pin SS, viz obrázek 12.



Obrázek 12 - Sběrnice SPI

Přenos dat na sběrnici vždy probíhá mezi Master zařízením a vybraným Slave zařízením. Obě zařízení obsahují posuvné registry, které jsou v okamžiku SPI komunikace propojeny viz. obrázek 13.



Obrázek 13 - Propojení Master-Slave zařízení [11]

Zařízení Master generuje SPI hodinový signál, který řídí posun obou posuvných registrů [17]. Maximální frekvence SPI hodinového signálu u mikropočítače ATmega328p je polovina oscilační frekvence mikropočítače [16].

1.3.2 Čítač/časovač

Mikropočítač Atmega328p obsahuje tyto čítače/časovače:

- 8 bytový čítač/časovač0 s PWM,
- 16 bytový čítač/časovač1 s PWM,
- 8 bytový čítač/časovač2 s PWM a asynchronním fungováním.

Čítače/časovače se používají pro měření časových intervalů, nebo pro provedení určitého kódu na základě uplynulého času. Všechny tři čítače/časovače jsou si velice podobné co se nastavení týče.

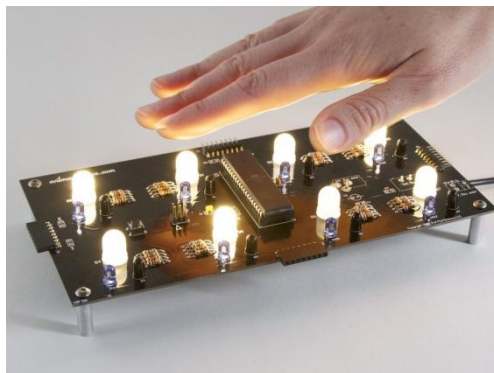
Funkce 8 bytového čítače/časovače2 jsou následující [16]:

- jednokanálový čítač,
- vynulování čítače při nastání shody (Auto Reload),
- Phase Correct PWM bez chyb,
- generátor frekvence,
- 10 bitový předřadný dělič hodinového pulzu,
- přetečení a shoda při porovnání mohou vyvolávat přerušení TOV2, OCF2A a OCF2B,
- může používat externí 32kHz hodinový krystal nezávislý na I/O hodinovém signálu.

Čítač/časovač2 slouží pro obecné použití. Jeho aktuální hodnota je uložena v přístupném registru TCNT2. Tato hodnota je stále porovnávána s hodnotami v registrech OCR2A a OCR2B (Output Compare Register). Jakmile nastane shoda čítače s porovnávacím registrem, komparátor zahlásí shodu. Shoda nastaví registr shody OCF2A, nebo OCF2B, který může vyvolat přerušení. Výsledek porovnání TCNT2 a výstupných porovnávacích registrů může být použit generátorem vln pro vytvoření PWM, nebo různých frekvencí na pinech OC2A a OC2B.

1.4 Interaktivní LED soustavy

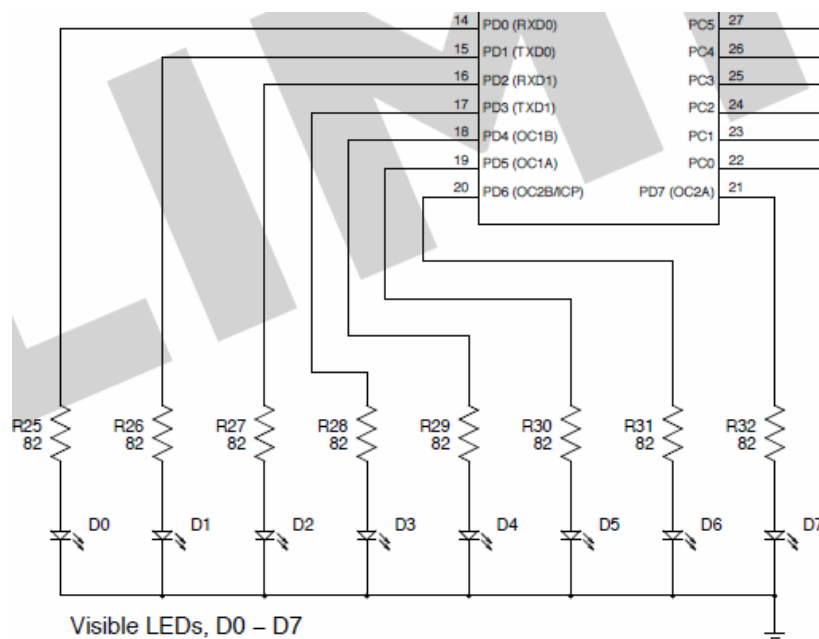
Na trhu se nabízí celá řada interaktivních LED soustav. Firma Evil Mad Scientist nabízí své interaktivní LED panely s osmi vysoce svítivými LED. Panely mají na všech čtyřech stranách konektory na propojení s dalšími LED panely, viz obrázek 14.



Obrázek 14 - Evil Mad Scientist panel [16]

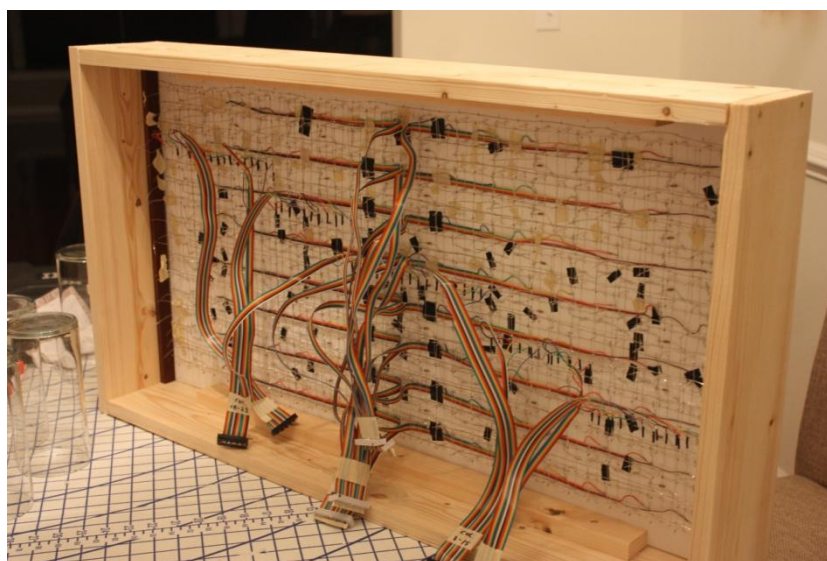
Konektor obsahuje dva piny vyvedené z mikroprocesoru a napájení. Každá z osmi LED je připojena přes omezující rezistor přímo na vstupně/výstupní piny procesoru, viz obrázek 15. Dle zjištěných informací z technické dokumentace může být sepnuta pouze jedna LED v témže okamžiku. Snímače přiblížení tvoří dvojice infračervené LED a fototranzistoru citlivého na infračervené záření. Udávaná vzdálenost objektu na který panel reaguje je 10 až

15 centimetrů v úplně tmavé místnosti [17]. Na emitoru fototranzistoru je snímáno napětí, které odpovídá dopadajícímu záření na polovodičový PN přechod na fototranzistoru. Toto napětí je převedeno v mikroprocesoru ADC převodníkem na binární kód, který reprezentuje snímané napětí.



Obrázek 15 - Octolively: Zapojení LED [17]

Člověk vystupující pod jménem Shnatko na webu tumblr.com pojal výrobu svého interaktivního stolu zcela jinak. Tento stůl obsahuje 512 5mm RGD LED, 112 infračervených LED a 128 IR fototranzistorů [18]. Všechny tyto komponenty jsou napíchnuty do desky a propojené vodiči, viz obrázek 16.



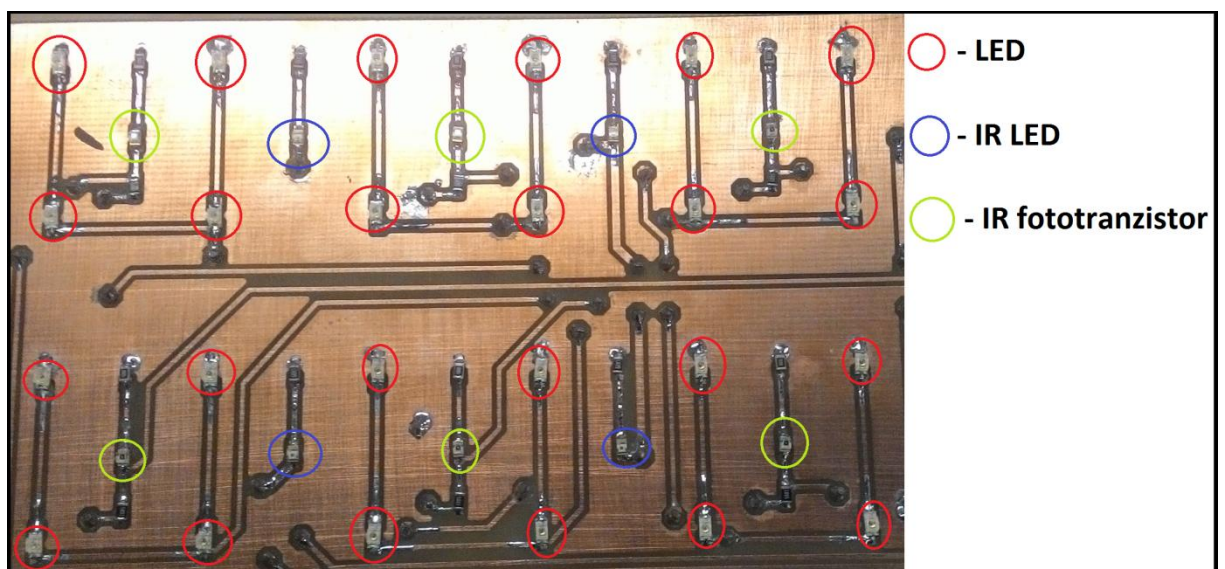
Obrázek 16 - Interaktivní stůl, pohled ze spodu [18]

Zapojení je maticové, to znamená že pro sepnutí jednotlivých LED se musí přivést napětí na vybraný sloupec a přivést na zem vybraný řádek. Konektory ze stolu jsou zapojeny do řídicí desky, která obsahuje 3 LED drivery s konstantním proudem, jeden 8 kanálový posuvný registr použit pro řízení 8 tranzistorů které spínají jednotlivé řádky [18]. Celý stůl je řízen mikropočítačem ATmega2560. Napájení stolu zajišťuje 45W 5V zdroj.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Koncepte interaktivního LED panelu

Interaktivní LED panel musí být navrhnout tak, aby jej bylo možné vložit do kávového stolku. Z tohoto předpokladu bylo vycházeno. Z důvodu velkého odpadního tepla, které je nežádoucí v uzavřeném prostoru byl zvolen externí zdroj s napětím 5V. Detekce předmětu nad panelem probíhá pomocí infračerveného zářiče a senzoru. Soustava infračervených LED vyzářuje infračervené záření, které se odrazí od předmětu nad panelem a dopadne na soustavu fototranzistorů citlivých na infračervené světlo. Tímto způsobem je detekovaná poloha předmětu nad LED panelem.



Obrázek 17 - Uspořádání LED panelu

Uspořádání světelných součástek je znázorněno na obrázku 17. Na každou čtveřici LED je jeden IR fototranzistor a mezi těmito čtveřicemi, neboli pixely je jedna infračervená LED.

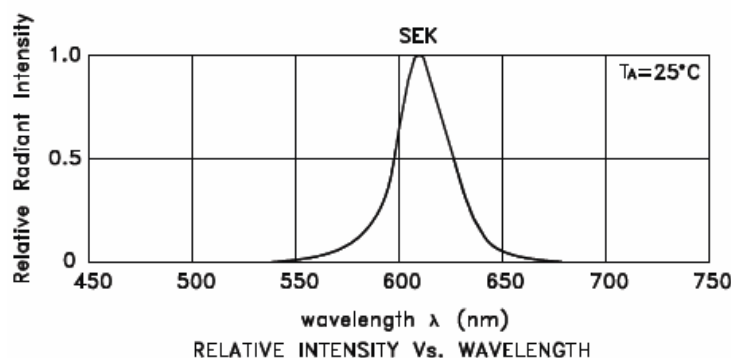
2.2 Výběr součástek

Při výběru součástek jsem se musel rozhodnout které pouzdra součástek zvolím. Naskytují se tři možnosti:

- pouzdra s vývody,
- SMD,
- kombinace SMD a pouzder s vývody.

Kombinace obou dvou typů pouzder se hned zavrhla. Po zmapování trhu se zjistilo, že řídicí prvky které jsem zvolil se vyrábí pouze v SMD provedení. Tím se zúžil výběr pouze na jeden typ pouzdra a tím je SMD. Velikou výhodou mají tyto pouzdra díky své malé velikosti.

Jako jediná součástka co není v SMD provedení je mikroprocesor ATmega328, který je mozkiem celého panelu. Pouzdro PDIP bylo vybráno z důvodu snadné vyměnitelnosti poškozeného mikroprocesoru. Mikroprocesor je vsazen do precizní patice o 28 pinech. Výběr samotných LED nebyl vůbec jednoduchý, protože je jich na trhu velké množství. Po zjištění dostatečné světelné intenzity LED, jsem zvolil LED Kingbright KPL-3015SECK s minimální světelnou intenzitou 350mcd při proudu 20mA [19]. Jedná se o oranžovou LED s nízkou spotřebou v pouzdru SMD o velikosti 3mm x 1,5mm s čírou čočkou.



Obrázek 18 - Vyzářovací intenzita LED v závislosti na vlnové délce [19]

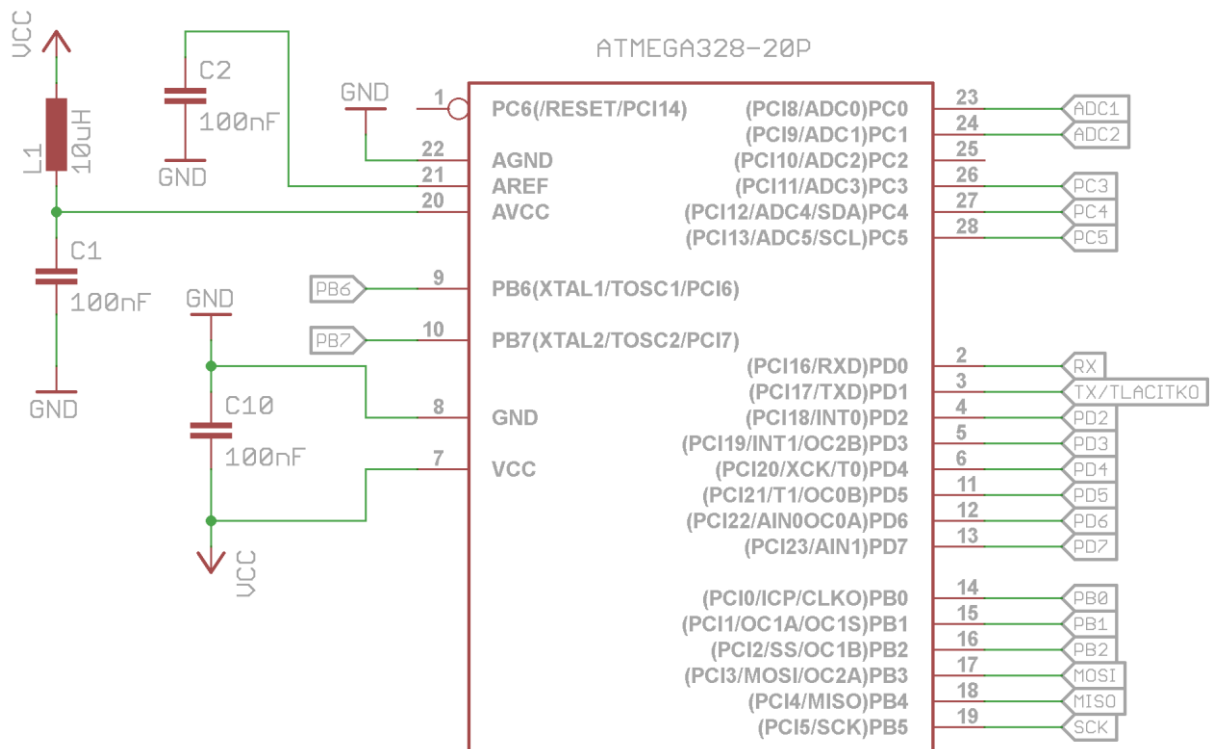
Dle zjištěných hodnot z technické dokumentaci tato LED nezasahuje do infračerveného světelného spektra, viz obrázek 18, takže nemůže ovlivnit fototranzistor citlivý na infračervené záření. Ke spínání oranžových LED je použit nízko napěťový 16 bitový LED sink driver konstantního proudu s označením STP16CP05. Jedná se o 16 bitový posuvný registr pro řízení LED displejů. Nastavení konstantního proudu kanálů se provádí pomocí připojeného externího rezistoru. Jeho maximální frekvence je 30MHz [20]. Výhoda tohoto LED driveru spočívá v tom, že se dá zapojit více LED driverů kaskádovitě za sebou. Jako zdroj infračerveného světla byl zvolen infračervený vysílač Kingbright KP-2012F3C. Tento infračervený vysílač je v pouzdru SMD o velikosti 2mm x 1,25mm. Jeho špičková spektrální vlnová délka je 940nm [21]. Aby bylo možné v případě potřeby matici infračervených LED vypnout a tím snížit spotřebu celého panelu je potřeba spínací prvek. Jako tento prvek byl zvolen NPN tranzistor v pouzdře SOT23 s označením ZXTN25100DFHTA. Vyniká nízkým saturačním napětím 90mV a vysokým ziskem [22]. NPN tranzistor musí být schopen spínat proud procházející všemi infračervenými LED. Z technické dokumentace bylo zjištěno že konstantní kolektorový proud může být až 2,5A. Dále bylo zjištěno že tento tranzistor pro spínání proudu o velikosti 1A nepotřebuje externí chlazení. Fototranzistor citlivý na infračervené záření je komplementární k infračervenému vysílači. Jedná se o typ Kingbright KP-2012P3C. Je ve stejném pouzdru jako infračervený vysílač a spektrálně s ním odpovídá.

Jelikož mikro počítač ATmega328p disponuje pouze šesti kanály ADC, musel být použit multiplexer ke snímání napětí z fototranzistorů. K tomuto účelu byl zvolen analogový multiplexer CD74HC4067. Jde o digitálně řízený analogový přepínač s 16 kanály. Výběr kanálu je realizován pomocí čtyř pinů. Konektor napájení byl zvolen DC jack napájecí konektor 2,5mm.

2.3 Návrh obvodu

2.3.1 Řídící deska

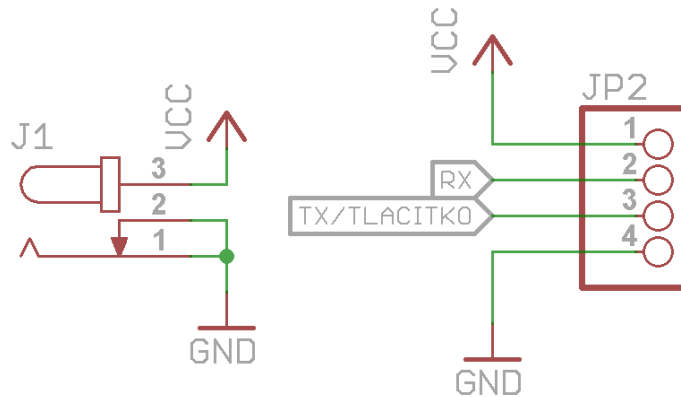
Zapojení napájení analogové části mikro počítače Atmega328p je převzato z doporučeného zapojení z technické dokumentaci při použití ADC [16]. Toto doporučené zapojení obsahuje dolní propust připojenou na napájecí pin analogového obvodu (AVCC) a kondenzátor zapojen na pin referenčního napětí (AREF), viz. obrázek 19. Tato dolní propust odruší analogový šum a zlepší přesnost ADC. Velikost indukčnosti cívky a kapacita kondenzátoru je převzata z technické dokumentace mikro počítače Atmega328p.



Obrázek 19 - Zapojení mikro počítače ATmega328p

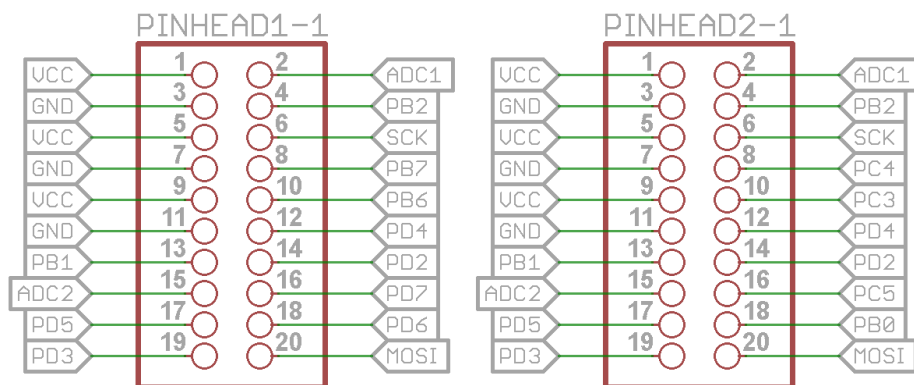
Při návrhu zapojení mikro počítače ATmega328p bylo zvažováno připojení externího oscilátoru, jako zdroj hodinového pulzu. Při koupi mikro počítače ATmega328p je takt hodinového pulzu nastaven na 1MHz s předřadným děličem nastaveným na 8. Pro tuto

aplikaci mikropočítače ATmega328p bylo posouzeno že interní oscilátor s taktem 8MHz bude dostačující, i když vykazuje určitou nepřesnost vůči externímu oscilátoru. Díky tomuto rozhodnutí bylo možno použít o dva vstupně/výstupní piny navíc. Zapojený kondenzátor C10 mezi napájecí piny mikropočítače ATmega328p, viz obrázek 19 je tzv. blokovací kondenzátor.



Obrázek 20 - Konektor napájení (vlevo), konektor USART (vpravo)

Na konektor napájení, viz obrázek 20 vlevo je připojeno napájení celého obvodu. Konektor USART, viz obrázek 20 vpravo je připojen k pinům mikropočítače RX a TX a napájení. Tento konektor slouží jako hardwarová příprava k připojení rozšiřujících periférií přes rozhraní USART. Na tento konektor je připojeno taktilní tlačítko, které slouží k přepínání programu svícení.



Obrázek 21 - Konektor k připojení jednoho (vlevo) a druhého (vpravo) panelu

Řídící panel je připraven k řízení až dvou LED panelů najednou. Při připojení dvou LED panelů jsou na sobě nezávislé v interaktivním režimu svícení. Napájecí vodiče jsou ztrojené, kvůli naddimenzování napájení. Řídící signály jsou připojené skoro identicky na oba dva konektory, viz obrázek 21. Liší se pouze ve 4 pinech:

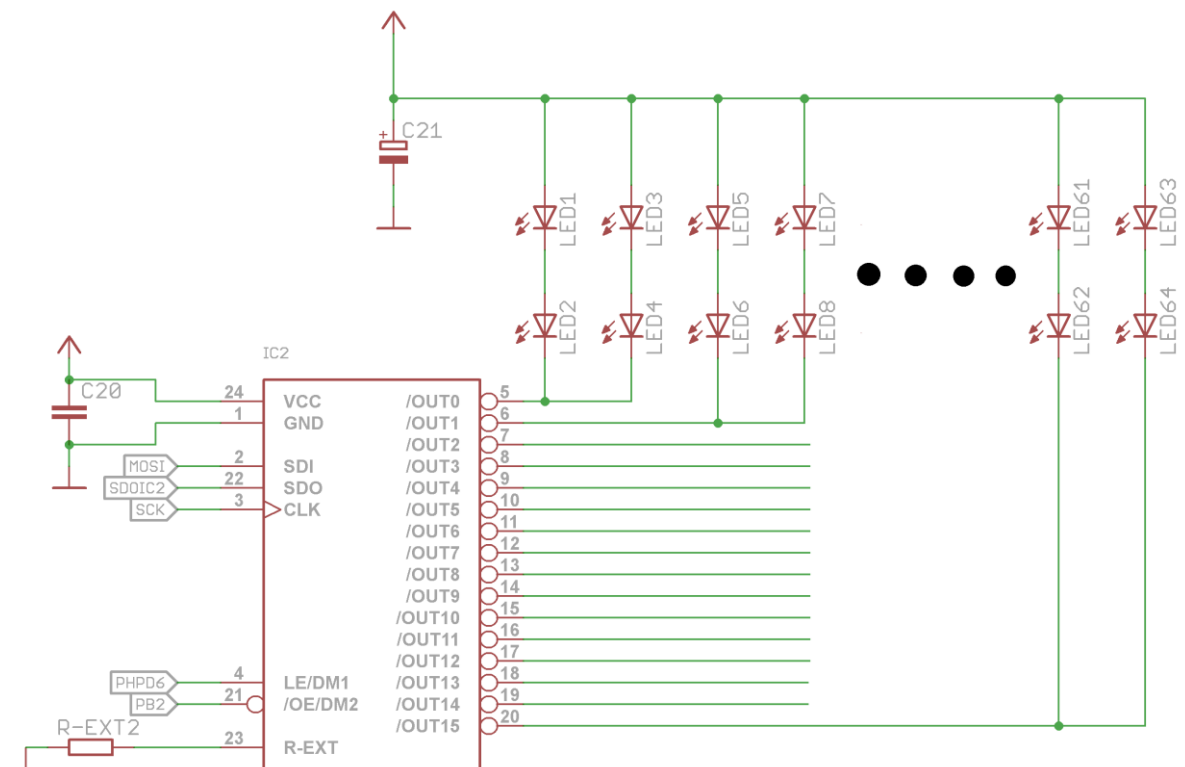
- PB7 > PC4,

- PB6 > PC3,
- PD7 > PC5,
- PD6 > PB0.

Piny mikropočítače ATmega328p PB7 a PB6 slouží k zpřístupnění analogové hodnoty pro ADC na vybraném kanálu analogového multiplexeru na prvním LED panelu. Piny PC4 a PC3 slouží k tomu samému jako piny PB7 a PB6, ale na druhém LED panelu. Piny PD7 a PD6 slouží k uložení informace poslané po sériové lince do bistabilních klopných obvodů v LED driverech na prvním LED panelu. Piny PC5 a PB0 mají stejný účel jako piny PD7 a PD6, ale na druhém LED panelu.

2.3.2 Řízený LED panel

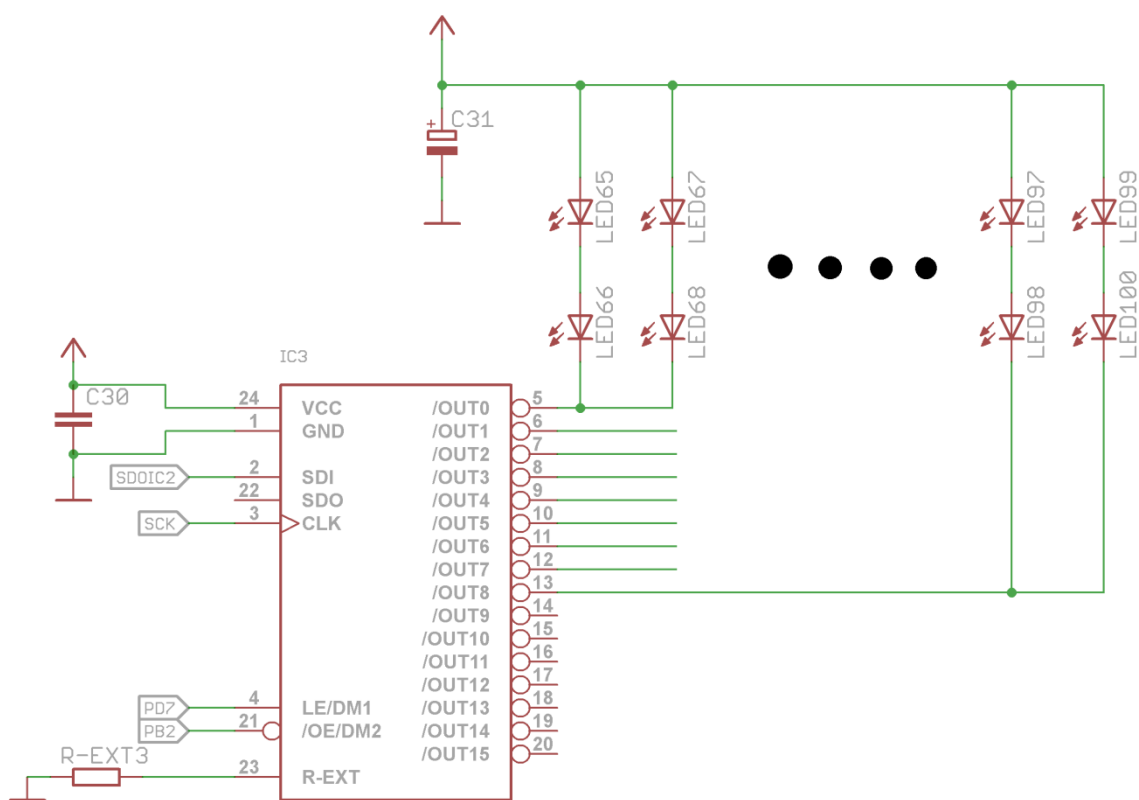
Řízený LED panel je připojen k řídicí desce pomocí konektoru, který má celkem 20 pinů ve dvou řadách, viz obrázek 21. Na tomto panelu se nachází veškerá řízená elektronika.



Obrázek 22 - Zjednodušené zapojení prvního STP16CP05

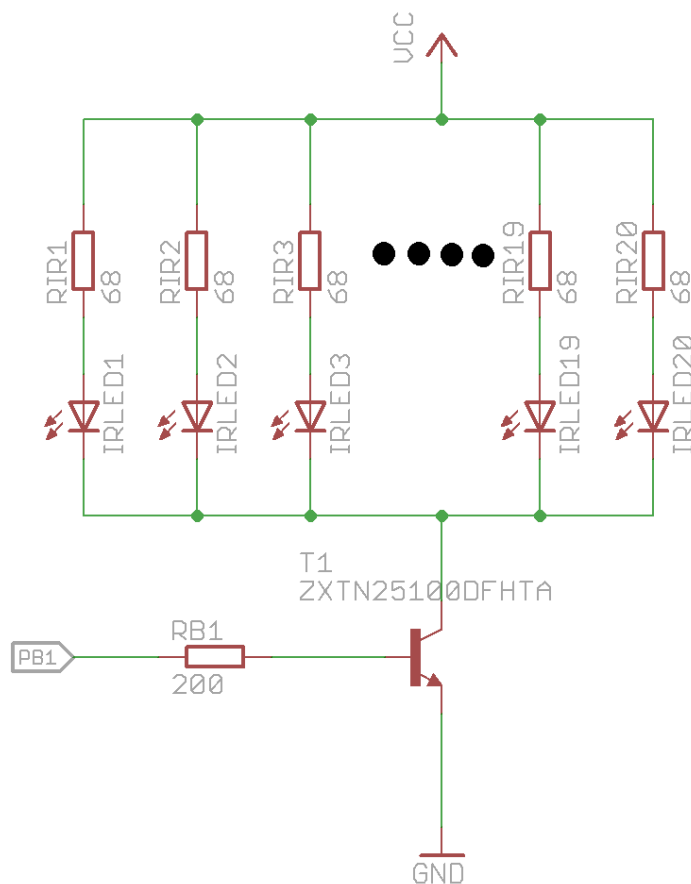
Čtveřice LED je zapojena na jeden kanál LED driveru STP16CP05, protože tvoří právě jeden pixel LED panelu. Takovýto panel má pak rozlišení 25 pixelů. Konstantní proud LED driveru STP16CP05 se nastavuje rezistorem připojeným k pinu R-EXT, viz. obrázek 22. Návrh počíta

s proudem na jednu LED 25mA. LED jsou zapojeny paralelně k sobě po dvojicích. To znamená že vstupní proud do každého kanálu bude dvojnásobný než proud protékající každou LED. Dle technické dokumentace LED driveru STP16CP05 konstantnímu proudu 50mA odpovídá hodnota odporu 390Ω. Elektrolytický kondenzátor C21 má za účel pokrýt poklesy napětí, způsobené nárazovým odběrem proudu. Řízení LED driveru STP16CP05 probíhá pomocí SPI. Sériové 16 bitové data k sepnutí jednotlivých kanálů se pošlou na pin SDI a po přivedení logické 1 na pin LE/DM1 se uloží do bistabilního klopného obvodu kde setrvají. Jakmile je na pin /OE/DM2 přivedena logická 0, data uložená v bistabilním klopném obvodu se zpřístupní na jednotlivé kanály /OUT0 až /OUT15.



Obrázek 23 - Zjednodušené zapojení druhého STP16CP05

Druhý LED driver STP16CP05 je kaskádovitě zapojený na první LED driver STP16CP05. Vstupní sériové 16 bitové data pro druhý LED driver STP16CP05 jsou výstupními sériovými daty prvního LED driveru STP16CP05. To znamená že když po SPI z mikropočítače ATmega328p se pošle 32 bitové slovo, tak každý LED driver STP16CP05 bude obsahovat právě polovinu slova, tj. 16 bitů. Druhý LED driver STP16CP05 má zapojených pouze 9 kanálů, viz obrázek 23.



Obrázek 24 - Zjednodušené schéma zapojení IR LED

Infračervené LED jsou spínány pomocí tranzistoru. Na bázi tranzistoru je přivedená logická 1 z pinu PB1 mikropočítače ATmega328p a tranzistor se sepne, viz obrázek 24. Sériově s infračervenými LED je zapojen předřadný odpor, který omezuje proud infračervenou LED. Odpor má hodnotu 68Ω. Proud infračervenou LED se vypočítá následovně:

$$I_{LED} = \frac{U_{vcc} - U_{LED} - U_{CE(sat)}}{R}$$

kde:

I_{LED} – je proud procházející infračervenou LED

U_{vcc} – je napětí zdroje

U_{LED} – je napěťový úbytek na infračervené LED

$U_{CE(sat)}$ – je saturační napětí kolektor-emitor tranzistoru

R – je předřadný odpor infračervené LED

Z tohoto vztahu vyšlo, že proud infračervenou LED je 48,6mA. Aby takový proud nespálil předřadný odpor, musí být tento odpor výkonově přizpůsoben. Výkon na rezistoru se vypočítá podle vztahu:

$$P = U * I$$

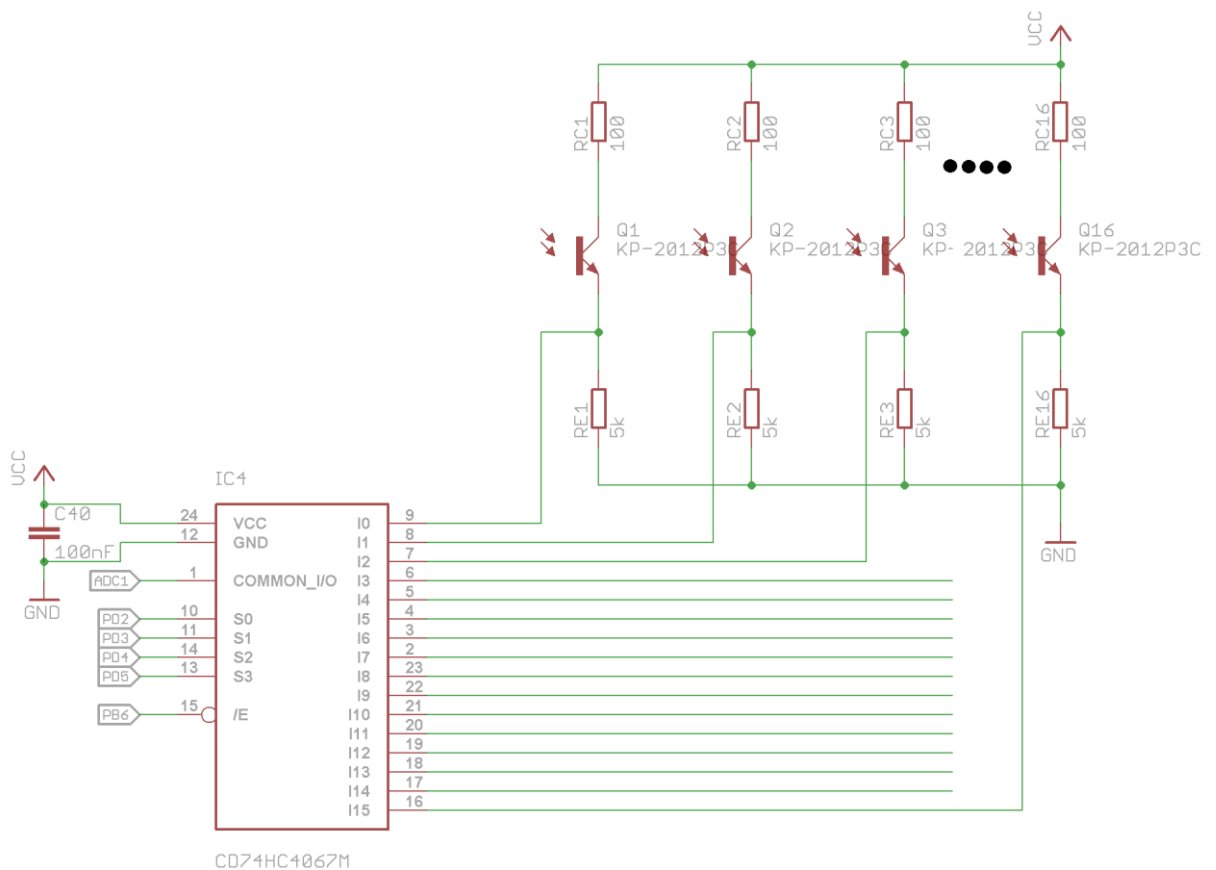
kde:

P – je tepelný výkon rezistoru

U – je napěťový úbytek na rezistoru

I – je proud procházející rezistorem

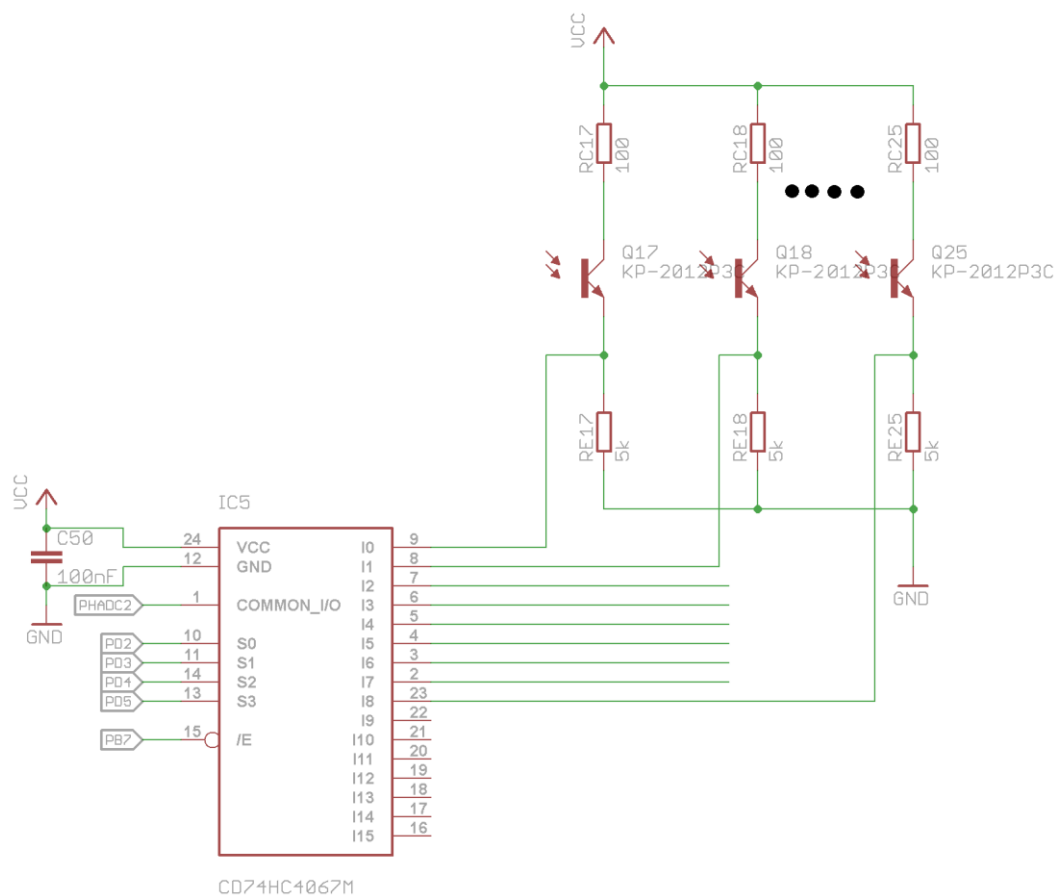
Dle dosazených hodnot vychází že ztrátový výkon na rezistoru je 160mW. Pro naddimenzování byl zvolen rezistor s maximálním výkonem 330mW.



Obrázek 25 - Zjednodušené zapojení prvního multiplexeru CD74HC4067M

Fototranzistory reagující na infračervené záření pracují v zapojení se společným kolektorem. Vstupně výstupní kanály analogového multiplexeru jsou připojeny na emitor každého

fototranzistoru, odkud je snímáno napětí. Výběr odpovídajícího kanálu analogového multiplexeru CD74HC4067M se provádí pomocí pinů S0 až S3, viz obrázek 25. Po výběru odpovídajícího kanálu analogového multiplexeru se musí přivést logická 0 na pin /E pro zpřístupnění napětí na vybraném kanálu na pinu COMMON_I/O. Tento pin je připojen k ADC mikropočítače ATmega328p. Výběr kanálu analogového multiplexeru se provádí u obou analogových multiplexů stejnými piny mikropočítače ATmega328p. Každý analogový multiplexer na jednom LED panelu má svůj vyhrazený kanál ADC na mikropočítači a svůj pin pro zpřístupnění hodnot na jednotlivých kanálech. Druhý analogový multiplexer je zapojen následovně, viz obrázek 26.

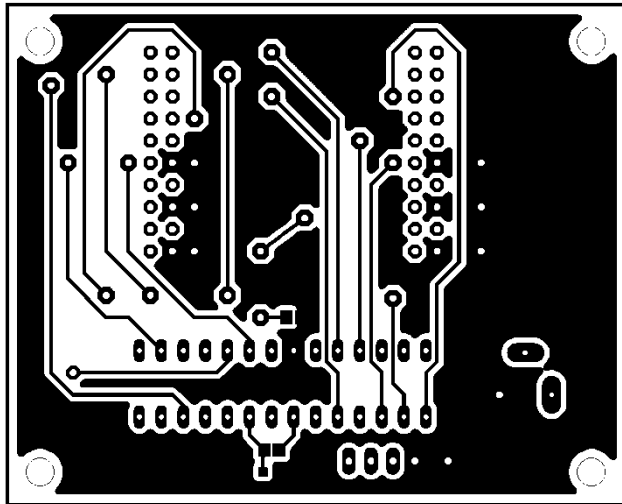


Obrázek 26 - Zjednodušené zapojení druhého multiplexeru CD74HC4067M

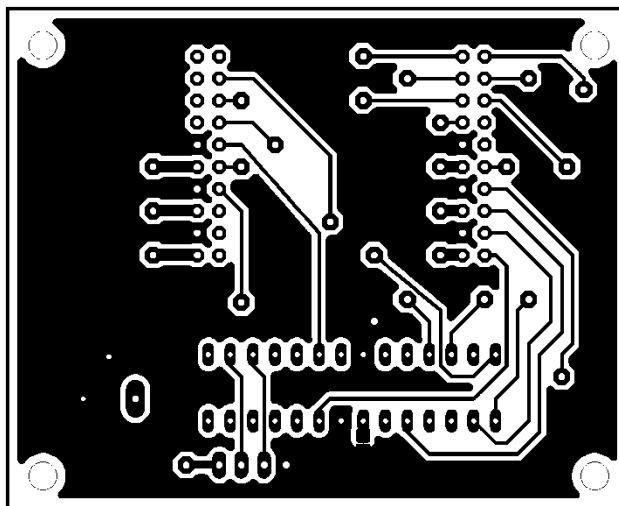
2.4 Návrh a konstrukce desky plošných spojů

Z důvodu velikosti desky plošných spojů byl panel rozdělen na dvě části. První část, ta menší deska plošných spojů obsahuje mikropočítač a nezbytné součásti k jeho správné funkci. Dále obsahuje dva konektory k připojení dvou panelů s LED diodami a jeden konektor k připojení tlačítka nebo pro komunikaci pomocí USART. Výsledný návrh řídicí desky lze vidět na

obrázku 27 a 28. Cesty k napájecím pinům byli navrhnuty tlustší, kvůli větším protékajícím proudům než u datových cest.

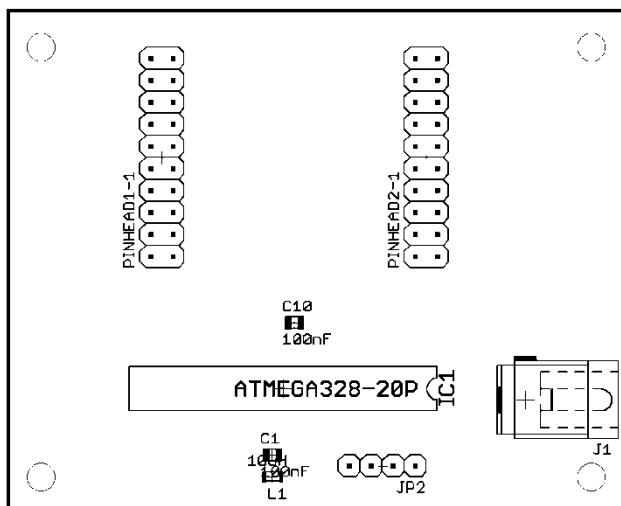


Obrázek 27 - Řídící desky, pohled z vrchu

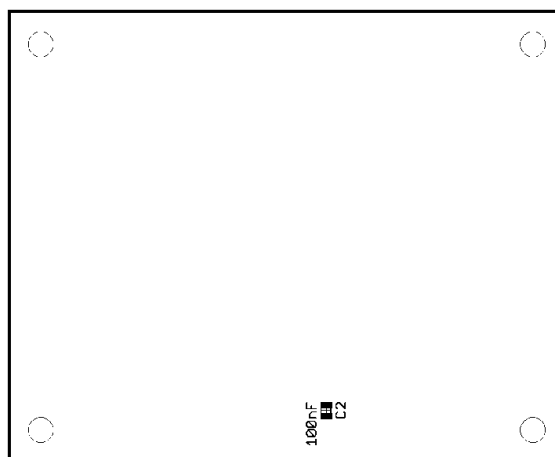


Obrázek 28 - Řídící desky, pohled ze zdola

Tato řídící deska byla osazena součástkami dle obrázku 29 a 30.

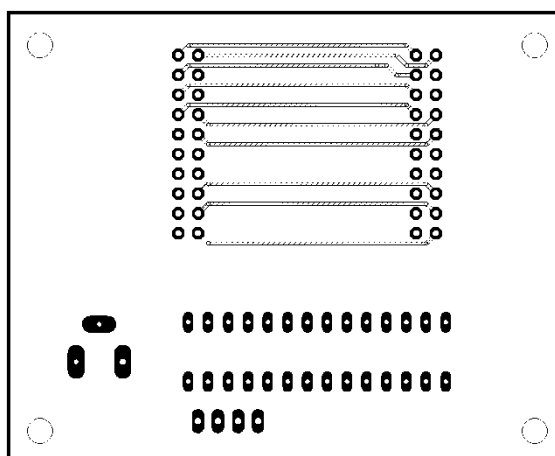


Obrázek 29 - Osazovací plán řídicí desky, pohled z vrchu



Obrázek 30 - osazovací plán řídicí desky, pohled ze zdola

Řídicí deska obsahuje dva konektory k připojení LED panelů. Tyto konektory obsahují 10 společných řídicích signálů, které byli spojeny drátovými jumpery, viz obrázek 31.



Obrázek 31 - Zapojení drátových jumperů na řídicí desce

Druhá část, která je znatelně větší deska plošných spojů obsahuje:

- 100 oranžových LED,
- 20 infračervených LED,
- 25 fototranzistorů citlivých na infračervené záření,
- 2 LED drivery,
- 2 analogové multiplexery,
- tranzistor pro spínání infračervených LED,
- konektor k připojení řídicího panelu,
- nezbytné kondenzátory a odpory k chodu celého panelu.

Při rozmístění LED, infračervených LED a fototranzistorů citlivých na infračervené záření jsem musel dodržet návrh rozmístění, viz obrázek 17. Proto, aby vypadala viditelná vrchní část LED panelu co nejvíce symetricky, byla tato vrchní strana osazena pouze nezbytnými komponenty. Návrh vrchní části desky plošných spojů LED panelu je vidět v příloze A a její osazovací plán v příloze B. Návrh spodní strany je vidět v příloze C. Spodní strana desky je osazena LED drivery a analogovými multiplexery. Dále obsahuje několik kondenzátorů, odporů a konektor k připojení řídicího panelu. Osazení spodní strany LED panelu, viz příloha D.

2.5 Program

Program řídicí aplikace je napsán v jazyce C. Pro tvorbu programu bylo použito vývojové prostředí Atmel Studio 7.

2.5.1 Popis zdrojového kódu v jazyce C

Zdrojový kód napsaný v jazyce C se skládá ze třech hlavních souborů s kódem a to:

- obsluha ADC
- obsluha SPI
- hlavní program

Obsluha ADC obsahuje celkem 2 metody.

```
void AD_init()
{
    ADMUX |= (1<<REFS0) | (1<<ADLAR);
    ADCSRA |= (1<<ADEN) | (1<<ADPS2) | (1<<ADPS1) | (0<<ADPS0);
}
```

Metoda **AD_init()** inicializuje AD převodník a nastaví jeho parametry. Napěťová reference je nastavená na pin AVCC s externím kondenzátorem na pinu AREF. Rychlost AD převodníku je nastavena na 125kHz.

```

uint8_t Zmer_AD(uint8_t ktery)
{
    ADMUX &= ~( (1<<MUX3) | (1<<MUX2) | (1<<MUX1) | (1<<MUX0) );
    ADMUX |= ktery;

    ADCSRA |= (1<<ADSC);

    while(!(ADCSRA&(1<<ADIF)));

    return ADCH;
}

```

Metoda **Zmer_AD()** zajistí změřeni napětí na daném pinu. Jako parametr se předává metodě číslo kanálu ADC, na kterém má být změřeno napětí. Výstup z metody je 8 bitová reprezentace změřeného napětí. Mikropočítač ATmega328p má rozlišení ADC 10 bitů, ale pro tuto aplikaci stačí pouze 8 bitové rozlišení.

Obsluha SPI rozhraní obsahuje 2 metody. SPI je používáno pouze v režimu master, proto nejsou zapotřebí další metody.

```

void SPI_master_init (void)
{
    DDRB |= (1<<PORTB5) | (1<<PORTB3);

    SPCR |= (1<<SPE) | (1<<MSTR) | (0<<SPR1) | (0<<SPR0);

    SPSR = (1<<SPI2X);

    sei();
}

```

Metoda **SPI_master_init()** nastaví SPI do režimu master a potřebné piny MOSI a CLK nastaví jako výstupní. SPI hodinový signál je nastaven na 4MHz.

```

void SPI_master_transmit (uint16_t data)
{
    cli();
    char dataL = (uint16_t)data & 0x00FF;
    char dataH = ((uint16_t)data & 0xFF00)>>8;
    SPDR = dataH;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF) ));

    SPDR = dataL;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF) ));
    sei();
}

```

Do metody **SPI_master_transmit()** se předá pomocí parametru 16 bitové slovo, které se následně rozdělí na dvě 8 bitová slova, která se pošlou po SPI sběrnici.

Běh celého zařízení zajišťuje hlavní program. Jedná se o switch funkci, která má jako parametr aktuálně zvolený mód svícení. Jednotlivé módy se dají přepínat tlačítkem. Pro zjednodušení nebudou jednotlivé metody popsány do podrobností.

```

while (1)
{
    switch(mode)
    {
        case 1 :
            if (prev_mode != 1)
            {
                IRS_kalib();
            }
            IRS_read();
            for (uint8_t i = 0; i < 25; i++)
            {
                if (IRS1_hodnota[i] > IRS1_okoli[i])
                {
                    soucet_serial1 += LED_pixel[i];
                }

                if (IRS2_hodnota[i] > IRS2_okoli[i])
                {
                    soucet_serial2 += LED_pixel[i];
                }
            }
            LED_on(soucet_serial1, soucet_serial2);
            _delay_ms(50);
            soucet_serial1 = 0;
            soucet_serial2 = 0;
            prev_mode = mode;
            break;

        case 2 :
            ir_led_off;
            LED_on(0xFFFFFFFF, 0xFFFFFFFF);
            _delay_ms(500);
            prev_mode = mode;
            break;

        case 3 :
            ir_led_off;
            LED_on(random(), random());
            _delay_ms(500);
            prev_mode = mode;
            break;
    }
}

```

První mód svícení je interaktivní režim. V tomto režimu LED panel reaguje na detekovaný předmět nad panelem rozsvícením oranžových LED na pozici detekovaného předmětu. Metoda **IRS_kalib()** zajistí kalibraci fototranzistorů na intenzitu okolního záření. Tyto hodnoty se uloží do pole **IRS_n_okoli[]**, kde n znázorňuje o jaký LED panel se jedná. Metoda **IRS_read()** obstará přečtení napětí ze všech fototranzistorů a uloží je do pole **IRS_n_hodnoty[]**. V následujícím cyklu for dojde k porovnání aktuálně změřených hodnot IR záření na fototranzistorech s hodnotami z kalibrace. Jestli změřená hodnota je vyšší než hodnota z kalibrace, uloží se osvětlený pixel do proměnné **soucet_serialn**. Následuje rozsvícení uložených pixelů. To zajistí metoda **LED_on()**, do které se předají jako parametry

požadované LED pixely na rozsvícení. První parametr obsahuje pixely z prvního LED panelu a druhý obsahuje pixely z druhého LED panelu. Ve druhém módu LED panely svítí celé. Třetí mód svícení je náhodný režim. V tomto režimu všechny LED pixely zcela náhodně svítí. K inicializaci generátoru pseudonáhodných čísel je použita změřená hodnota šumu na třetím ADC kanálu mikroprocesoru ATmega328p.

3 ZÁVĚR

Zadáním práce bylo navrhnout a zrealizovat interaktivní panel z LED diod, který bude reagovat na přítomnost objektu před LED diodami. Pro realizaci interaktivního panelu jsem se rozhodnul rozdělit panel na dvě části. Jeden panel obsahuje interaktivní prvky s LED diodami a druhý panel obsahuje mikropočítač, který řídí interaktivní prvky. Panel s LED diodami obsahuje celkem 100 LED diod.

V teoretické části jsou popsány informace pro výběr potřebných komponentů k návrhu a realizaci zadaného úkolu.

V praktické části je postup při návrhu interaktivního LED panelu. Je zde popsán výběr součástek nutných k realizaci interaktivního LED panelu. Praktická část dále obsahuje návrh desky plošných spojů řízeného a řídicího panelu.

Interaktivní LED panel byl úspěšně zasazen do malého stolku. Výsledek mé práce splnil mé očekávání. Stolek reaguje na předmět plynule. V průběhu testování se vyskytlo pár nedostatků spojených s infračervenými senzory. Panel nedokáže reagovat interaktivně v hodně osvětlené místnosti pomocí halogenových žárovek. Halogenová žárovka vyzařuje velkou část světla v infračerveném spektru a tím negativně ovlivňuje tranzistory citlivé na infračervené záření. Tento nedostatek by se dal odstranit změnou fototranzistorů na fototranzistory s menší citlivostí a současným zvýšením výkonu na infračerveným LED diodách. Další nedostatek se ukázal při zkoušení reakce stolku na předměty různé barvy. Panel nedokáže reagovat na předměty černé barvy. To je způsobeno tím, že černá barva pohlcuje dopadající světlo a infračervené záření se neodrazí od této barvy zpět na senzor. Nedostatek interaktivního panelu s pohlcením světla se nedá odstranit s použitím světelných senzorů.

4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] **Závislost elektrického odporu na relativním osvětlení.** In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. ©2001 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor#/media/File:Zavislost_R_na_E.png
- [2] **WODEYIJIA GM25537-2.** In: TME Elektronické součástky [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
http://static4.tme.eu/products_pics/e/5/1/e51933214567f84917b6e9517ff06280/high_res_445047.jpg
- [3] **Zapojení fotorezistoru.** In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. ©2001 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotorezistor#/media/File:Zapojeni_fotorezistoru.png
- [4] **KOUTNÝ, Jaroslav a Ivo VLK.** *Elektronika I učebnice*. VYTVOŘENO V RÁMCI PROJEKTU: DIGITÁLNÍ ŠKOLA: ICT VE VÝUCE TECHNICKÝCH PŘEDMĚTŮ, REG. Č. CZ.1.07/1.1.04/01.0137, Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola elektrotechnická, Olomouc 2009
- [5] **VA charakteristika fotodiody.** In: *ELUC* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/22948/content_VA_charakteristika_fotodiody.jpg
- [6] **Fotovoltaiky.** In: *ELUC* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/22377/content_fotovoltaicky.png
- [7] **Fotoelektrické součástky.** *Elektronika a spol.* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z:
<http://skriptum.wz.cz/elektro/Fotoel.htm>
- [8] **Značka LED.** In: *Proelektrotechniky* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/obrazky/15-Znacka_LED.jpg
- [9] **LED.** In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. ©2001 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/LED#Dal.C5.A1.C3.AD_typy_LED
- [10] **LEDs 8 5 3mm.** In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. ©2001 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/LEDs_8_5_3mm.JPG

- [11] **Typy LED diod.** *WIRELI LED Svítidla* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.wireliled.cz/aplikacni-poznamky/typy-led-diod/>
- [12] **AutoLED Piranha (UFO)..** In: *Svět Součástek: the free encyclopedia* [online]. 2001 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://1200858093.rsc.cdn77.org/Services/ImageHandler.ashx?size=0&img=YmNjZGQ1Y2VIZGVhNzdlMC5qcGc=>
- [13] **[Porovnání velikostí SMD LED].** In: *Alibaba* [online]. ©1999-2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://g03.s.alicdn.com/kf/HTB1ee2cIpXXXXbqXFXXq6xXFXXXN/202443892/HTB1ee2cIpXXXXbqXFXXq6xXFXXXN.jpg>
- [14] **Choze - Napájení LED.** *Choze - Elektronický magazín* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://choze.aspone.cz/lednapajeni.aspx>
- [15] **Řízení LED sestav.** In: *WIRELI* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://www.wireliled.cz/aplikacni-poznamky/rizeni-led-sestav/>
- [16] **ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P: datasheet.** In: *Atmel Corporation: Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf
- [17] **AVR GUIDE.** *QEEWiki* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/qeewiki/books/avr-guide>
- [16] **Octolively..** In: *Evil Mad Science* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://shop.evilmadscientist.com/productsmenu/411#>
- [17] **Octolively datasheet.** In: *Evil Mad Science* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://shop.emscdn.com/catalog/emskits/octolively/octolively_datasheet.pdf
- [18] **You built what !?** [online]. [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <https://shnatko.tumblr.com/>
- [19] **KPL-3015SECK(Ver.13A): Datasheet.** In: *Farnell element14* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/2046170.pdf?_ga=2.28152444.119669675.1494077380-1984336447.1464510530

[20] **STP16CP05: Low voltage 16-bit constant current LED sink driver DATASHEET.** *Farnell element14* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1837098.pdf?_ga=2.73279771.946110654.1494407681-1984336447.1464510530

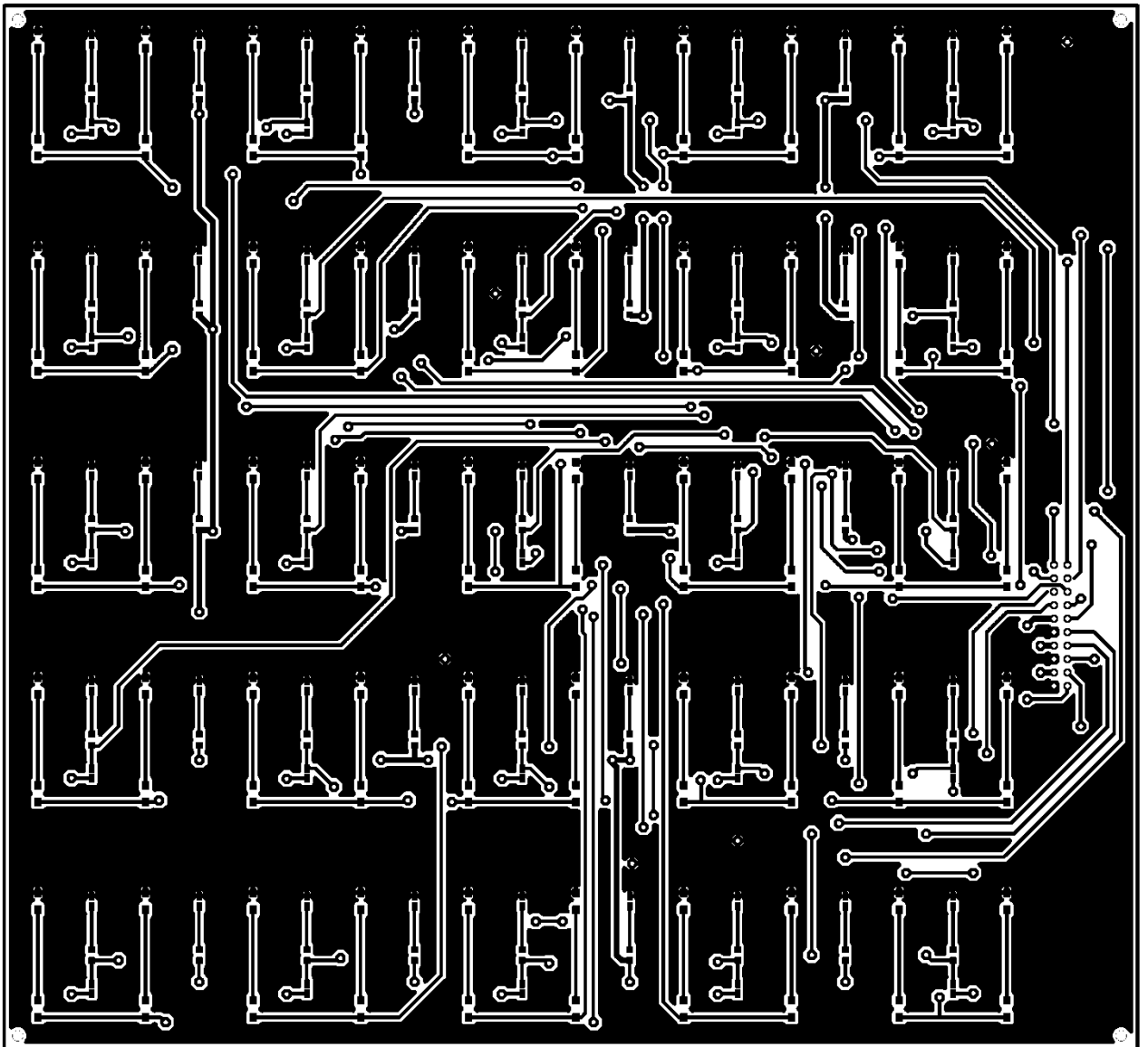
[21] [**2.0x1.25mm INFRARED EMITTING DIODE**]. *Farnell element14* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1683597.pdf?_ga=2.6014321.394188167.1494407661-1984336447.1464510530

[22] **ZXTN25100DFH 100V, SOT23, NPN medium power transistor.** *Farnell element14* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/2237883.pdf?_ga=2.84629145.181551484.1494408853-1984336447.1464510530

5 PŘÍLOHY

Příloha A - Pohled na řízený LED panel z vrchu	46
Příloha B - Osazovací plán vrchní strany řízeného LED panelu	47
Příloha C - Pohled na řízený LED panel ze zdola	48
Příloha D - Osazovací plán spodní strany řízeného LED panelu	49

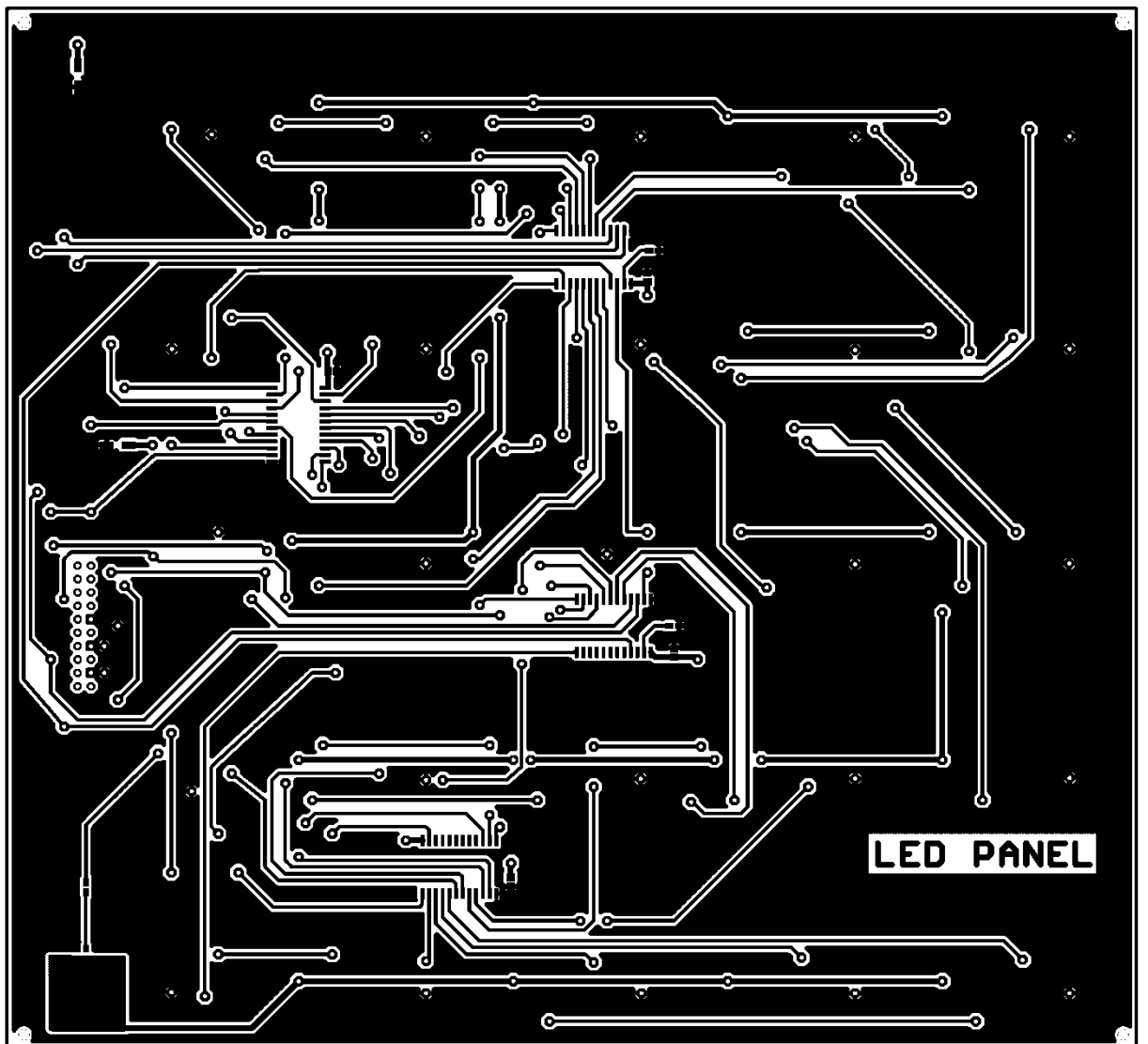
Příloha A - Pohled na řízený LED panel z vrchu



Příloha B - Osazovací plán vrchní strany řízeného LED panelu

LED82	LED81	LED80	LED79	LED78	LED77	LED76	LED75	LED74	LED73	LED72	LED71	LED70	LED69	LED68	LED67	LED66	LED65	LED64	LED63	LED62	LED61	LED60	LED59	LED58	LED57	LED56	LED55	LED54	LED53	LED52	LED51	LED50	LED49	LED48	LED47	LED46	LED45	LED44	LED43	LED42	LED41	LED40	LED39	LED38	LED37	LED36	LED35	LED34	LED33	LED32	LED31	LED30	LED29	LED28	LED27	LED26	LED25	LED24	LED23	LED22	LED21	LED20	LED19	LED18	LED17	LED16	LED15	LED14	LED13	LED12	LED11	LED10	LED9	LED8	LED7	LED6	LED5	LED4	LED3	LED2	LED1																																								
RC21	RC20	RC19	RC18	RC17	RC16	RC15	RC14	RC13	RC12	RC11	RC10	RC9	RC8	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	RC-1	RC-2	RC-3	RC-4	RC-5	RC-6	RC-7	RC-8	RC-9	RC-10	RC-11	RC-12	RC-13	RC-14	RC-15	RC-16	RC-17	RC-18	RC-19	RC-20	RC-21	RC-22	RC-23	RC-24	RC-25	RC-26	RC-27	RC-28	RC-29	RC-30	RC-31	RC-32	RC-33	RC-34	RC-35	RC-36	RC-37	RC-38	RC-39	RC-40	RC-41	RC-42	RC-43	RC-44	RC-45	RC-46	RC-47	RC-48	RC-49	RC-50	RC-51	RC-52	RC-53	RC-54	RC-55	RC-56	RC-57	RC-58	RC-59	RC-60	RC-61	RC-62	RC-63	RC-64	RC-65	RC-66	RC-67	RC-68	RC-69	RC-70	RC-71	RC-72	RC-73	RC-74	RC-75	RC-76	RC-77	RC-78	RC-79	RC-80	RC-81	RC-82	RC-83	RC-84	RC-85	RC-86	RC-87	RC-88	RC-89	RC-90	RC-91	RC-92	RC-93	RC-94	RC-95	RC-96	RC-97	RC-98	RC-99	RC-100

Příloha C - Pohled na řízený LED panel ze zdola



Příloha D - Osazovací plán spodní strany řízeného LED panelu

