

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky

**OSVITOVÁ JEDNOTKA PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ**

Tomáš Branda

Bakalářská práce

2017

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Branda**  
Osobní číslo: **I13050**  
Studijní program: **B2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Název tématu: **Osvitová jednotka pro výrobu plošných spojů**  
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Zpracujte rešerši na téma výroby plošných spojů pro elektronický průmysl. Navrhněte vlastní konstrukci osvitové jednotky s použitím mikropočítače řady ATmega, od firmy Atmel. Navrhněte software mikropočítače tak, aby osvitová jednotka disponovala obvyklými funkcemi, které lze běžně najít u komerčních výrobků. Software zařízení bude umožňovat dva režimy provozu - ruční a automatický. Návrh osvitové jednotky realizujte. Proveďte optimalizaci návrhu zařízení, vzhledem ke kvalitě osvitu PCB a snadnému ovládní zařízení. Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace, včetně okomentovaných zdrojových kódů software mikropočítače.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

**MATOUŠEK, D.** Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

**ZÁHLAVA, V.**, Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

**MAIXNER, L. a kol.**, Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

**8. prosince 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**12. května 2017**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.  
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. prosince 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Tomáš Branda

### **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné i všeobecné rady při výrobě zařízení i psaní této práce.

V Pardubicích dne

Tomáš Branda

## **ANOTACE**

*Práce je zaměřena na návrh a realizaci osvitové jednotky na výrobu plošných spojů pomocí fotocesty. S využitím osvitové jednotky lze osvítit plošný spoj o velikosti A4 (210×197mm). Zařízení se ovládá pomocí rotačního enkodéru, tlačítek a sedmissegmentovým displejem, s nimiž je možno navolit požadovaný čas osvitu. Výrobek je řízen mikropočítačem ATmega32A firmy Atmel. Mým cílem bylo navrhnout hardware i software výrobku.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*osvitová jednotka, plošné spoje, fotocesta, mikropočítač, ATmega32.*

## **TITLE**

*LIGHTING UNIT FOR THE PRINTED CIRCUIT BOARD CREATION*

## **ANNOTATION**

*The work is focused on the design and implementation of lighting unit for circuit board creation through photopath. The lighting unit enables to light a circuit board in size A4 (210×197mm). The device is controlled by rotary encoder, buttons and seven-segment display, thanks to them is possible to choose required time of lighting. The device is controlled by microcontroller Atmega32A of company Atmel. I meant to create hardware and software of device.*

## **KEYWORDS**

*Lighting unit, Circuit board, Photopath, Microcontroller, ATmega32.*

# OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ.....	12
SEZNAM TABULEK .....	13
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	14
ÚVOD.....	16
1 VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	17
1.1 Metody výroby DPS .....	17
1.1.1 Subtraktivní metoda.....	17
1.1.2 Aditivní metoda .....	17
1.2 Technologické postupy výroby.....	17
1.3 Typy fotocitlivých filmů (fotorezist).....	18
1.4 Fotocitlivý materiál.....	18
1.4.1 Suchý film.....	18
1.4.2 Tekutý film .....	18
1.5 Druhy osvitových jednotek.....	19
1.5.1 Osvitová jednotka s UV LED diodami .....	19
1.5.2 Osvitová jednotka s UV zářivkami.....	20
1.5.3 Cena od 5 do 25 tisíc korun .....	20
1.5.4 Cena od 30 do 45 tisíc korun .....	20
1.5.5 Cena kolem 100 tisíc korun .....	20
2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ .....	21
2.1 Rozdělení UV záření.....	21
2.1.1 NUV.....	22
2.1.2 UVA.....	22
2.1.3 UVB.....	22
2.1.4 UVC.....	22
2.1.5 VUV.....	22
2.1.6 EUV .....	23
2.2 Dostupné zdroje UV záření pro osvitové jednotky.....	23
2.2.1 UV LED diody.....	23
2.2.2 UV zářivkové trubice.....	25

3	KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY OSVITOVÉ JEDNOTKY .....	26
3.1	Vlastnosti a funkce.....	26
4	MIKROPOČÍTAČ .....	27
4.1	Harvardská architektura .....	27
4.2	Von Neumannova architektura .....	27
4.3	RISC instrukční sada .....	28
4.4	CISC instrukční sada .....	28
4.5	Mikro počítač ATmega32A .....	28
4.5.1	Základní vlastnosti mikro počítače ATmega32A .....	29
4.6	ATmega32A periferie a řízení .....	31
4.6.1	Registr SREG.....	31
4.6.2	I/O registry (DDR <sub>x</sub> , PORT <sub>x</sub> , PIN <sub>x</sub> a SFIOR) .....	32
4.6.3	Přerušovací systém .....	33
4.6.4	Čítač a časovač.....	34
4.6.5	Watchdog .....	35
5	NAPÁJECÍ ZDROJ .....	37
5.1	Lineární zdroje .....	37
5.1.1	Transformátor .....	37
5.1.2	Usměrňovač .....	38
5.1.3	Filtr.....	39
5.2	Spínané zdroje.....	40
5.2.1	DC-DC měniče .....	40
5.2.2	Zvolený zdroj .....	40
6	SEDMISEGMENTOVÝ DISPLEJ .....	42
6.1	Technologie .....	42
6.1.1	LED technologie .....	42
6.1.2	OLED technologie .....	42
6.1.3	LCD technologie.....	42
6.2	Počet segmentů .....	42
6.3	Použitý segmentový displej .....	43
7	VÝKONOVÝ SPÍNACÍ PRVEK.....	44
7.1	Elektromagnetického relé .....	44
7.1.1	Funkce relé.....	44
7.1.2	Popis hlavních komponent.....	44



7.2	Použité relé .....	45
8	ZDROJ UV ZÁŘENÍ.....	46
8.1	Výběr typu UV LED diody.....	46
8.1.1	Vyzařovací úhel LED diod .....	46
8.2	Rozmístění UV LED diod.....	47
8.2.1	Výpočet optimální vzdálenosti UV LED diod od pracovní plochy.....	47
8.3	Návrh a výroba osvitových modulů.....	49
8.3.1	Hlavní modul .....	49
8.3.2	Vedlejší moduly.....	49
9	PROUDOVÝ ZDROJ.....	51
9.1	Výpočet hodnot.....	52
9.2	Návrh DPS modulu proudových zdrojů.....	53
10	NÁVRH A VÝROBA OVLÁDACÍHO MODULU .....	54
10.1	Napájecí část.....	54
10.2	Zobrazovací část .....	54
10.2.1	Popis jednotlivých pinů displeje .....	55
10.2.2	Ovládání displeje .....	55
10.2.3	Výpočet předradného odporu.....	56
10.3	Ovládací část.....	57
10.3.1	Zapojení tlačítek .....	57
1.1	Výkonová část.....	58
10.4	Výkonová část.....	58
10.5	Akustická část .....	58
10.6	Mikropočítačová část.....	59
10.7	Návrh DPS ovládacího modulu .....	60
11	SOFTWARE MIKROPOČÍTAČE .....	61
11.1	Hlavní program .....	61
11.1.1	Zvukové upozornění .....	62
11.1.2	Nastavení přerušení a časovače .....	62
11.1.3	Testování tlačítek.....	64
11.1.4	Zobrazení doby osvitů .....	66
11.1.5	Výpočet hodnot pro odpočet.....	67
12	ZHODNOCENÍ .....	69
13	ZÁVĚR.....	70

LITERATURA .....	71
PŘÍLOHY .....	73

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

A/D	analogově digitální
AC	střídavý proud
CISC	kompletní instrukční sada
DC	stejnoseměrný proud
DPS	deska plošného spoje
EEPROM	elektricky mazatelná paměť
EUV	extrémní ultrafialové záření
FLASH	elektricky programovatelná
FUV	daleké ultrafialové záření
I/O	vstup/výstup
LCD	displej z tekutých krystalů
LED	světlo emitující dioda
MUV	střední ultrafialové záření
NUV	blízké ultrafialové záření
RISC	redukovaná instrukční sada
ROM	paměť určená pouze ke čtení
SMD	součástky pro povrchovou montáž
THT	součástky pro montáž do děr
UVA	ultrafialové záření typu A
UVB	ultrafialové záření typu B
UVC	ultrafialové záření typu C
VUV	vakuum ultrafialové záření

## SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

$c$	optimální výška, cm
$f$	výstupní kmitočet, Hz
$F_{\text{CPU}}$	hodnota hodinového taktu mikropočítače, Hz
$I$	elektrický proud, A
$I_{\text{LED}}$	proud protékající diodou, A
$I_{\text{OUT}}$	výstupní proud, A
$I_{\text{SEG}}$	maximální přípustný proud segmentu, A
$MaxVal$	maximální hodnota čítače
$Minuta$	počet minut pro druhý znak displeje, min
$Minuta_{x10}$	počet minut pro první znak displeje, s
$Minuty$	pomocná proměnná pro výpočet minut, min
$P_{78L}$	ztrátový výkon stabilizátoru, W
$P_{\text{CK}}$	dělicí poměr
$P_{R1}$	ztrátový výkon odporu $R_1$ , W
$R$	elektrický odpor, $\Omega$
$R_1$	regulační odpor, $\Omega$
$R_P$	předřadný odpor, $\Omega$
$Sekunda$	počet sekund pro čtvrtý znak displeje, s
$Sekunda_{x10}$	počet sekund pro třetí znak displeje, s
$Sekundy$	pomocná proměnná pro výpočet sekund, s
$U$	elektrické napětí, V
$u$	úhlopříčka rastru, cm
$U_{L1-L4}$	součet úbytků napětí na diodách, V
$U_{\text{LED}}$	napětí na diodě, V
$U_{R1}$	napětí na regulačním odporu, V
$U_{R_P}$	napětí na předřadném odporu, V
$U_{\text{SEG}}$	úbytek napětí na segmentu, V
$V_{\text{CC}}$	napájecí napětí, V
$\alpha$	úhel, $^\circ$

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 – Rozdělení UV záření.....	21
Tabulka 4.1 – Specifikace ATmega32A.....	29
Tabulka 4.2 – Konfigurace portů.....	33
Tabulka 4.3 – Tabulka vektorů přerušení .....	34
Tabulka 4.4 – Konfigurace čítače/časovače .....	35
Tabulka 8.1 – Hodnoty pro výpočet optimální výšky .....	48
Tabulka 9.1 – Parametry UV LED diody .....	51
Tabulka 9.2 – Hodnoty pro výpočet proudového zdroje .....	52
Tabulka 10.1 – Tabulka binárních kombinací čísel.....	56
Tabulka 10.2 – Parametry displeje .....	57
Tabulka 12.1 – Parametry osvitové jednotky .....	69

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 – Příklad suchého filmu.....	18
Obrázek 1.2 – Příklad tekutého filmu ve spreji .....	19
Obrázek 1.3 – Oboustranná osvitová jednotka s vakuem .....	19
Obrázek 2.1 – Elektromagnetické spektrum.....	21
Obrázek 2.2 – Ideální rozmístění UV LED diod .....	24
Obrázek 2.3 – Blízké rozmístění UV LED diod .....	24
Obrázek 2.4 – Daleké rozmístění UV LED diod .....	25
Obrázek 2.5 – UV zářivková trubice .....	25
Obrázek 2.6 – Elektronický předřadník .....	26
Obrázek 4.1 – Harvardská architektura .....	27
Obrázek 4.2 – Von Neumannova architektura.....	28
Obrázek 4.3 – Rozložení vývodů ATmega32A PDIP pouzdra .....	29
Obrázek 4.4 – Blokový diagram ATmega32A .....	30
Obrázek 4.5 – Registr SREG .....	31
Obrázek 4.6 – Všeobecné schéma I/O portů.....	32
Obrázek 4.7 – Pull-up rezistor .....	33
Obrázek 4.8 – Registr TCCR0.....	35
Obrázek 4.9 – Watchdog oscilátor s předděličkou .....	36
Obrázek 5.1 – Blokové schéma lineárního zdroje .....	37
Obrázek 5.2 – Jednocestný usměrňovač .....	38
Obrázek 5.3 – Dvoucestný usměrňovač .....	39
Obrázek 5.4 – Dvoucestný můstkový usměrňovač.....	39
Obrázek 5.5 – Spínaný AC-DC zdroj X5–2412DC.....	41
Obrázek 8.1 – UV LED dioda .....	46
Obrázek 8.2 – Rozmístění UV LED diod .....	47
Obrázek 8.3 – Model vzdálenosti LED diod .....	48
Obrázek 8.4 – Nákres výpočtu výšky .....	48
Obrázek 8.5 – Schéma a DPS hlavního osvitového modulu .....	49
Obrázek 8.6 – DPS doplňkových modulů .....	50
Obrázek 9.1 – Schéma proudového zdroje .....	52
Obrázek 9.2 – DPS modulu proudových zdrojů .....	53
Obrázek 10.1 – Step-down měnič zapojení .....	54

Obrázek 10.2 – Rozložení jednotlivých segmentů .....	55
Obrázek 10.3 – Jednotlivé vývody displeje .....	53
Obrázek 10.4 – Schéma zapojení sedmi segmentového displeje.....	56
Obrázek 10.5 – Schéma zapojení tlačítek .....	58
Obrázek 10.6 – Schéma zapojení relé.....	58
Obrázek 10.7 – Schéma zapojení bzučáku .....	59
Obrázek 10.8 – základní zapojení mikropočítače .....	59
Obrázek 10.9 – Model ovládacího modulu.....	60
Obrázek 11.1– Vývojový diagram hlavního programu .....	61
Obrázek 11.2 – Tabulka tónů.....	62
Obrázek 11.3 – Měření času pomocí přerušení .....	63
Obrázek 11.4 – Nastavení časovače .....	64
Obrázek 11.5 – Vývojový diagram testování tlačítek.....	65
Obrázek 11.6 – Vývojový diagram zobrazovací části programu.....	66
Obrázek 11.7 – Vývojový diagram výpočtu odpočtu .....	68

## ÚVOD

Téma této práce jsem si vybral z důvodu potřeby vyrábět prototypy desek plošných spojů. Potřebuji vyrábět zařízení, která se nedají běžně koupit, popřípadě by jejich výroba na zakázku byla příliš nákladná.

Odladění výrobku v praxi vždy nějaký čas trvá, proto jsem potřeboval nezávislost při tvorbě desek plošných spojů tak, aby do výroby šel již plně odladěný výrobek. Tento postup v praxi znamená ušetření času a peněz.

V praxi existuje mnoho způsobů, jak vyrobit DPS. Pro tuto práci jsem zvolil metodu fotocesty, poněvadž, z mého pohledu, se jedná o relativně jednoduchou možnost výroby s vysokou pravděpodobností dobrého výsledku na rozdíl od jiných metod.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit osvitovou jednotku, která je nedílnou součástí při tvorbě desek plošných spojů. Zařízení jsem navrhl tak, aby disponovalo všemi, pro mě běžně využitelnými, funkcemi a zjednodušilo mi práci při tvorbě plošného spoje.



# 1 VÝROBA DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

První kapitola je věnována výrobě desek plošných spojů, kde je nutné zaměřit se na několik bodů, a to na metodu výroby, na technologické postupy a na typy fotocitlivých filmů.

## 1.1 Metody výroby DPS

Metody výroby DPS jsou známy tři, jejich výběr závisí především na povaze desky a účelu, pro který má být využita.

První metodou je metoda subtraktivní, druhou je metoda aditivní a třetí metoda je kombinací obou předchozích metod (Elektrotechnika, 2008).

Vedle metod je důležitá i preciznost, bez níž by se doba miniaturizace součástek jen těžko obešla.

### 1.1.1 Subtraktivní metoda

Tato metoda spočívá v nanesení pozitivní předlohy na měděnou vrstvu desky plošného spoje pomocí leptací fixy, sítotisku, fotocesty nebo nažehlením toneru. Nanosená předloha ochrání měď před leptací lázní. K odleptání dojde pouze tam, kde je měď bez nanesené „ochrany“ (Elektrotechnika, 2008).

### 1.1.2 Aditivní metoda

Tato technika spočívá v nanesení polovodivé předlohy na desku plošného spoje, která neobsahuje měděnou vrstvu. Následně je měď nanesena galvanickou lázní do požadované výšky (Elektrotechnika, 2008).

## 1.2 Technologické postupy výroby

- Ruční kreslení
- Ruční kreslení
- Nažehlení toneru
- Napařování
- Expozice fotocitlivého materiálu

### 1.3 Typy fotocitlivých filmů (fotorezist)

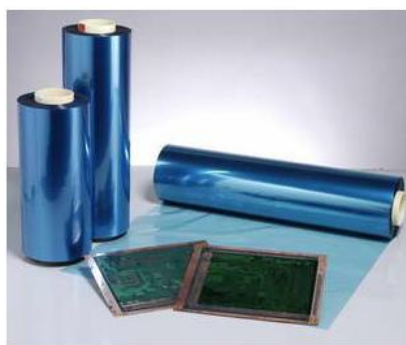
Typy fotocitlivých filmů se dělí na dvě skupiny, pozitivní a negativní. V případě pozitivních fotorezistů dochází po vystavení UV záření k narušení exponovaných částí fotorezistu, které tím ztratí odolnost vůči vývoje. Naopak při negativním fotorezistu exponovaných částí vlivem UV záření vytvrdnou a získají odolnost vůči vývoje.

### 1.4 Fotocitlivý materiál

Pro vlastní účely využívám desky plošných spojů s již aplikovaným fotocitlivým povlakem, nicméně existují možnosti, jak aplikovat fotocitlivou vrstvu na DPS v domácím prostředí. K tomu lze využít dva typy fotocitlivého materiálu, suchý a tekutý film.

#### 1.4.1 Suchý film

Suchý film se na desku plošného spoje nanáší pomocí laminace při teplotě okolo 110 °C viz obrázek 1.1. Tento způsob nanesení se vyznačuje dokonalou rovnoměrností naneseného fotorezistu. Dalším pozitivem je možnost okamžitého využití desky plošného spoje pro další technologický postup (Výroba-DPS, 2013).



Obrázek 1.1 – Příklad suchého filmu (Výroba-DPS, 2013)

#### 1.4.2 Tekutý film

Tekutý film je dostupný ve formě spreje nebo v tekuté podobě viz obrázek 1.2. Jeho hlavní nevýhodou je nerovnoměrné nanesení fotocitlivého povlaku. Dále se musí fotorezist nechat dostatečnou dobu zaschnout. Čas schnutí lze ovlivnit teplotou, například při pokojové teplotě trvá schnutí 24 hodin, při teplotě 70 °C je možné dobu schnutí zkrátit na 15 minut (Výroba-DPS, 2013).



Obrázek 1.2 – Příklad tekutého filmu ve spreji (Výroba-DPS, 2013)

Při obou těchto metodách je nutné dodržet pár zásadních kroků. Nejdůležitější je se ujistit, že povrch, na který bude nanášena fotocitlivá vrstva, je dokonale očištěn a odmaštěn. Špatné očištění vede k nedokonalému přilnutí a následovně k chybnému vyleptání. Při nanášení suchého filmu je nutné dbát i na teplotu při laminaci, a to 110 °C.

## 1.5 Druhy osvitových jednotek

Na trhu je mnoho typů osvitových jednotek. Cena jednotky se nejčastěji odvíjí od její vybavenosti, použitého zdroje UV záření a v neposlední řadě velikosti pracovní plochy. V zásadě se dělí na dva typy osvitových jednotek. Ty, které využívají jako zdroj UV záření LED diody nebo ty, které využívají UV zářivky viz obrázek 1.3.



Obrázek 1.3 – Oboustranná osvitová jednotka s vakuem (Výroba-DPS, 2017)

### 1.5.1 Osvitová jednotka s UV LED diodami

V tomto případě je zdrojem UV záření skupina LED diod. Toto řešení je ve většině případů použito u levnějších osvitových jednotek. Za cenu okolo 15 000 korun lze pořídit jednotku, která disponuje časovačem a LED indikací stavu osvitu.

### **1.5.2 Osvitová jednotka s UV zářivkami**

Osvitová jednotka s UV zářivkami je velice rozšířená. Jako zdroj UV záření je zde použita trubicová zářivka. V zásadě rozhoduje cena a velikost pracovní plochy.

### **1.5.3 Cena od 5 do 25 tisíc korun**

Tato cenová kategorie disponuje časovačem, tlačítky nebo multifunkčním enkodérem. Čas expozice je zobrazován sedmi segmentovým displejem nebo LCD displejem. UV trubice jsou umístěné na jedné straně, takže oboustranné desky plošného spoje je nutno osvětlit nadvakrát. Cenu určuje velikost pracovní plochy spolu s počtem a výkonem trubic. Dražší modely obsahují až šest trubic o výkonu 15 W, s velikostí pracovní plochy až 330 x 355 mm. Levnější modely začínají s dvěma trubicemi, z nichž každá má 8 W. Tyto modely dokáží osvětlit velikost DPS s rozměry okolo 229 x 159 mm. Váha osvitových jednotek se pohybuje okolo 4 až 16 kilogramů (Výroba-DPS, 2017).

### **1.5.4 Cena od 30 do 45 tisíc korun**

Od této částky osvitové jednotky obsahují jednu z důležitých vlastností, která je zásadní pro profesionální výrobu. Jednotky dokáží vytvořit vakuum v osvitové komoře a zajistí tak dokonalé přitisknutí desky plošného spoje k předloze. Nutností je možnost oboustranného osvětlení. Rozměry pracovních ploch se pohybují v rozmezích od 330 x 355 mm do 575 x 680 mm. Počet trubic a jejich výkon stoupá spolu s cenou. Nejvíce jsem zaznamenal deset trubic o výkonu 20 W. Jednotky jsou osazeny dotykovým panelem, spolu s LCD displejem nebo sedmi segmentovým displejem. Váha osvitových jednotek se pohybuje okolo 16 až 34 kilogramů (Výroba-DPS, 2017).

### **1.5.5 Cena kolem 100 tisíc korun**

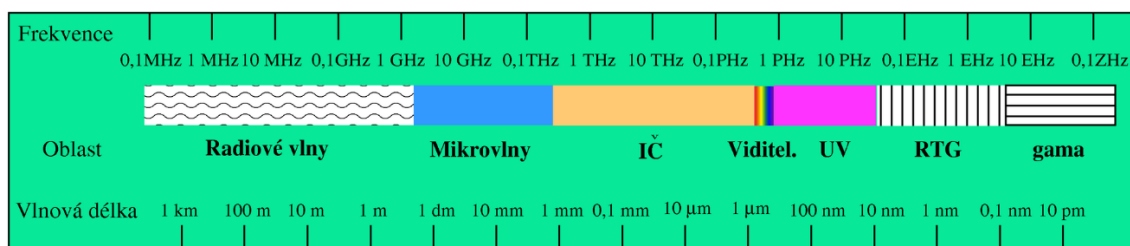
Výbava je stejná jako u předchozí kategorie. Liší se pouze počet trubic, který stoupl na 24 kusů s výkonem 20 W. Pracovní plocha je adekvátní k počtu trubic a činí 520 x 927 mm. Pracovní plochy zapříčinila vzrůst váhy, která se u takto velkých jednotek bude pohybovat okolo 90 kilogramů (Výroba-DPS, 2017).

## 2 ULTRAFIALOVÉ ZÁŘENÍ

Ultrafialové záření je elektromagnetické záření o vlnové délce kratší než 400 nm. Nejkratší vlnové délky UV záření zasahuje do oblasti rentgenového záření, jehož délka začíná na 10 nanometrech a končí na 1 pikometru. Zdrojem ultrafialového záření může být zahřáté těleso na vysokou teplotu. Přirozeným zdrojem UV záření je Slunce. Pro elektrotechnické účely je UV záření produkováno pomocí elektrického oblouku nebo za pomoci speciálních výbojek naplněných párami rtuti, takzvané horské sluníčko. Trubice musí být zhotovena z křemenného skla z důvodu průchodnosti UV záření (Reichl, 2006-2017).

### 2.1 Rozdělení UV záření

Ultrafialové záření se rozděluje do tří skupin, a to blízké UV záření, daleké UV záření a extrémní UV záření. Dále se UV záření dělí do několika podskupin podle vlnové délky záření viz tabulka 2.1. Na brázku Každá skupina má specifické využití a vlastnosti (Netting 2007).



Obrázek 2.1 – Elektromagnetické spektrum (Wikipedie, 2016)

Tabulka 2.1 – Rozdělení UV záření (Wikipedia, 2017)

Název	Zkratka	Vlnová délka, nm	Fotonová energie, eV
Ultrafialové záření typu A	UVA	315 ÷ 400	3.10 ÷ 3.94
Ultrafialové záření typu B	UVB	280 ÷ 315	3.94 ÷ 4.43
Ultrafialové záření typu C	UVC	100 ÷ 280	4.43 ÷ 12.4
Blízké ultrafialové záření	NUV	300 ÷ 400	3.10 ÷ 4.13
Střední ultrafialové záření	MUV	200 ÷ 300	4.13 ÷ 6.20
Daleké ultrafialové záření	FUV	122 ÷ 200	6.20 ÷ 12.4
Vakuum ultrafialové záření	VUV	10 ÷ 200	6.20 ÷ 124
Extrémní ultrafialové záření	EUV	10 ÷ 121	12.4 ÷ 124

### **2.1.1 NUV**

Blízké ultrafialové záření, zkráceně NUV, je světlo blížící se k viditelnému spektru světla. Jeho vlnová délka zasahuje do oblasti od 300 nm do 400 nm.

### **2.1.2 UVA**

Dopadající záření na zemský povrch se z více než 95 % skládá z UVA záření spolu s malým zbytkem UVB záření. Tyto dvě záření lze velmi snadno blokovat nebo absorbovat za pomoci ochranných nátěrů, sodnovápenatých skel a podobně (UV- LAMPY, 2017).

### **2.1.3 UVB**

Velkou část UVB záření pohltí ozonová vrstva. Dále dopad tohoto záření na zemský povrch závisí převážně na oblačnosti a atmosférických podmínkách. UVB záření škodí živým organismům. Jeho energie dokáže narušit, a dokonce i rozkládat bílkoviny. Může být příčinou vzniku rakoviny. UVB záření dokáže poškodit nervová zakončení v rohovce, což může vést k nevratnému poškození oka. Jednobuněčné organismy dokáže UVB záření zcela zničit. Dopad tohoto záření na rostlinu negativně ovlivňuje její vzrůst (UV- LAMPY, 2017).

### **2.1.4 UVC**

Řadí se mezi nejtvrďší záření. Dopad UVC záření na molekulu kyslíku způsobí předání dostatečně velké energie pro vznik ozonu v atmosféře. Kyslík v atmosféře hraje významnou roli v neutralizaci tohoto záření. Podobně jako ultrafialové záření typu B, UVC vysoce škodí živým organismům. UVB dokáže proniknout jen několika vrstvami buněk, zato UVC dokáže proniknout daleko hlouběji, a proto je vysoce karcinogenní. Lampy, které produkují UVC se nazývají Germicidní zářiče. Tyto zářiče využívající zejména vlnovou délku 253,7 nm, jedná se o rezonanční kmitočet rtuti, kde ještě nedochází plně k tvorbě ozonu (UV- LAMPY, 2017).

### **2.1.5 VUV**

Vakuum ultrafialové záření výrazně štěpí kyslík na ozon O<sub>3</sub>, který patří mezi silně dráždivé látky. Působí především na plicní tkáň a sliznice. Podle Světové zdravotnické organizace se první obtíže objevují při překročení průměrné hodinové koncentrace

160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Při delším vystavení se vyššími koncentracím způsobuje pálení očí a nosu, kašel, bolest hlavy a pocit tlaku na hrudi (ČISTÉ NEBE, 2017).

### **2.1.6 EUV**

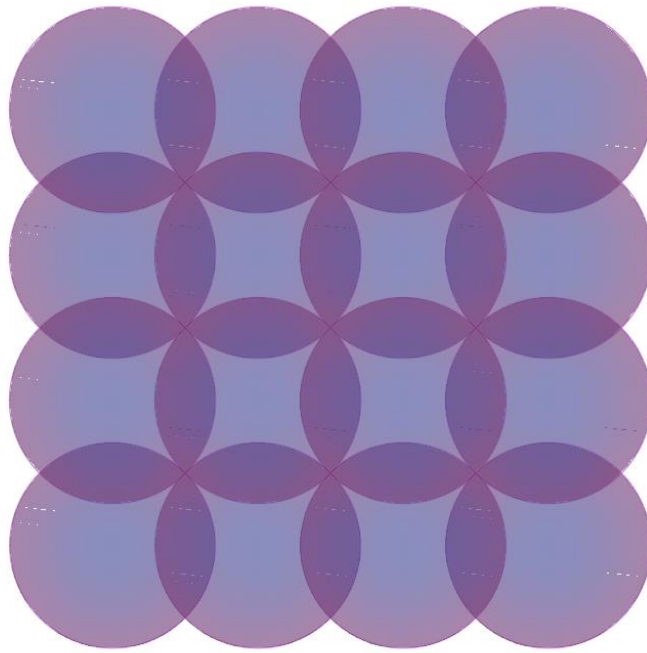
Extrémní ultrafialové záření s vlnovými délkami nižšími než 31 nm se podílí na některých chemických procesech v ionosféře. EUV je silně absorbován většinou známých materiálů. Existují vícevrstvé optiky, které odrážejí asi 50 % EUV záření při normálním výskytu (UV- LAMPY, 2017).

## **2.2 Dostupné zdroje UV záření pro osvitové jednotky**

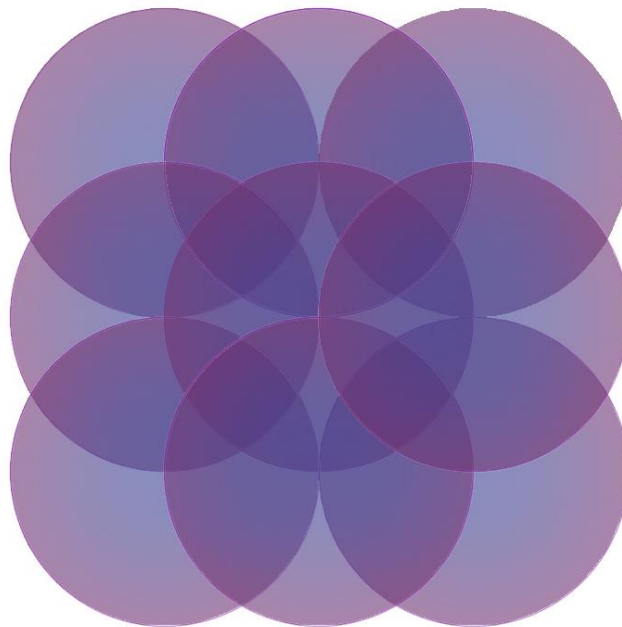
Zdroje UV záření je vhodné zvolit podle nároků na výsledný produkt. Amatérské osvitové jednotky obvykle využívají jako zdroj UV záření UV LED diody, popřípadě dvě až čtyři UV zářivkové trubice. U profesionálních zařízení se jako zdroj UV záření nevyskytují UV LED diody z důvodu nutnosti použít několikanásobný počet UV LED diod o osvětlení dané plochy oproti UV zářivkové trubici. V mé práci k pokrytí plochy 210 × 297 potřebuji 180 UV LED diod. Pro pokrytí pracovní plochy o velikosti 520 x 927 mm by bylo zapotřebí cca 1300 UV LED diod, při použití UV zářivkových trubic je třeba pouze 12 kusů.

### **2.2.1 UV LED diody**

Provedení UV LED diod se dělí do dvou hlavních provedení v podobě pouzdra součástky. Na trhu jsou dostupné jak THT, tak i SMD verze tohoto produktu. Obě verze se vyrábějí v různých napěťových i výkonových provedení. Pro použití UV LED diod v osvitové jednotce jsou nejdůležitějšími parametry vlnová délka a vyzařovací úhel. Vlnovou délku vyzařovaného světla je vhodné volit podle doporučení výrobce fotorezistu. Obvykle stačí pro zdárné vyexponování vlnová délka v rozmezí od 350 nm do 400 nm. Vyzařovací úhel ovlivňuje hustotu UV LED diod a jejich vzdálenost od pracovní plochy viz obrázek (2.2; 2.4). Čím větší vyzařovací úhel zvolíme, tím méně bude potřeba diod k osvětlení dané pracovní plochy. Také jejich výsledná vzdálenost od pracovní plochy bude kratší. Zvolení správné vzdálenosti UV LED diod hraje významnou roli v rovnoměrnosti osvětlení.

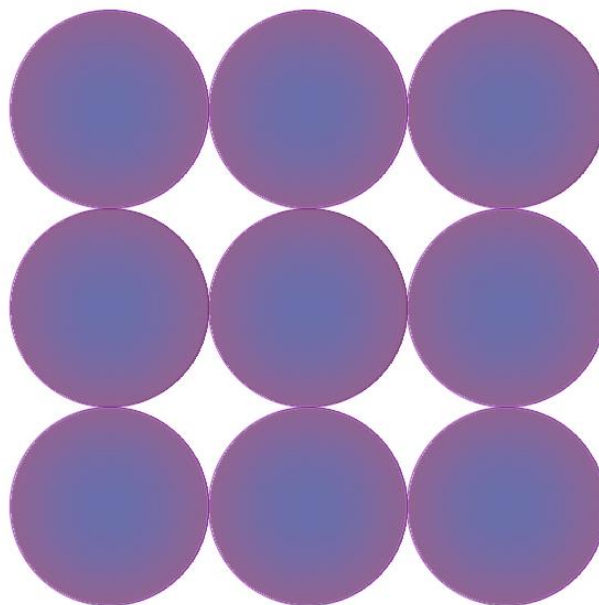


Obrázek 2.2 – Ideální rozmístění UV LED diod



Obrázek 2.3 – Blízké rozmístění UV LED diod





Obrázek 2.4 – Daleké rozmístění UV LED diod

### 2.2.2 UV zářivkové trubice

Provedení UV zářivkových trubic můžeme roztřídit do kategorií podle typu patice, výkonu a délky trubice. Často se využívá jako zdroj UV záření v profesionálních osvitových jednotkách z důvodu rovnoměrného osvětlení a dostatečnému výkonu, což zajistí ušetření času při výrobě plošného spoje. Použití UV zářivek zajistí snadnější konstrukční řešení viz obrázek 2.5. Nevýhodou, podle mého názoru, je nutnost použití speciálních zdrojů, takzvaných elektronických předřadníků, které zajistí šetrný start UV zářivek, což zvedá cenu výsledného produktu.



Obrázek 2.5 – UV zářivková trubice (Zarovky-Svitidla, 2017)



Obrázek 2.6 – Elektronický předřadník (LIGHT PARK, 2017)

### 3 KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY OSVITOVÉ JEDNOTKY

Cílem bylo navrhnout a sestavit osvitovou jednotku s použitím mikropočítače řady ATmega od firmy Atmel. Software mikropočítače byl navržen tak, aby osvitová jednotka disponovala obvyklými funkcemi, které lze běžně najít u komerčních výrobků na trhu.

#### 3.1 Vlastnosti a funkce

- Možnost osvítit plošný spoj o rozměrech 210 × 297 mm.
- Možnost nastavení času v řádu sekund až minut.
- Zobrazení aktuálního času pomocí sedmi segmentového displeje.
- Nastavení času pomocí rotačního spínače.
- Uložení nejpoužívanějšího času osvitu.
- Automatický nebo manuální režim.
- Zvukové upozornění konce osvitu.

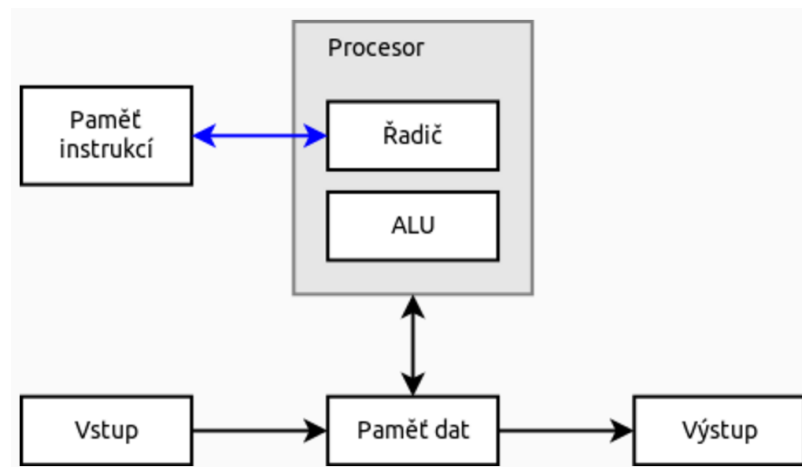
Hardwarovou část jsem konstruoval podle předem určeným konstrukčních požadavků. Mezi hlavní prvky se řadí mikropočítač ATmega32A, napájecí zdroj, sedmi segmentový displej, výkonový spínací prvek, proudový zdroj a zdroj UV záření.

## 4 MIKROPOČÍTAČ

Mikropočítač tvoří sada logických obvodů, umožňující zpracování logických i aritmetických operací. Mikropočítače lze zařadit do skupin podle použité architektury a typu instrukční sady.

### 4.1 Harvardská architektura

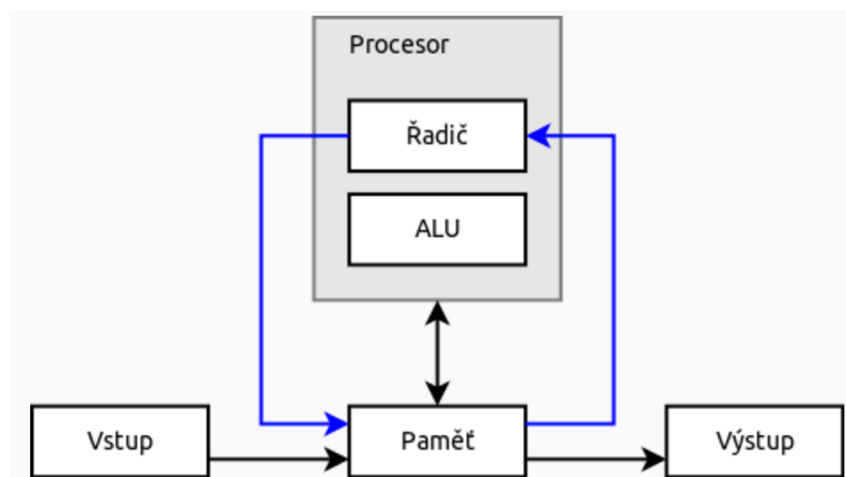
Jako první bylo vyvinuto Harvardské schéma. Pojmenování získal podle počítače zkonstruovaného na Harvardské univerzitě. Počítač se jmenoval Harvard Mark I a byl sestaven v roce 1943. Tato koncepce využívá pro program a data dvě nezávislé paměti viz obrázek 4.1. Většina dnešních mikropočítačů využívá tuto architekturu pro její větší bezpečnost, jelikož je pro paměť programu často využita paměť typu ROM, kterou program za chodu nemůže přepsat.



Obrázek 4.1 – Harvardská architektura (Hordějčuk, 2008-2017)

### 4.2 Von Neumannova architektura

Von Neumannovo schéma bylo navrženo roku 1945, pojmenování získalo podle jeho stvořitele Johna von Neumanna viz obrázek 4.2. Dnes se řadí mezi nejvíce využívanou architekturu. Tato architektura využívá jednu společnou paměť pro program i data.



Obrázek 4.2 – Von Neumannova architektura (Hordějčuk, 2008-2017)

### 4.3 RISC instrukční sada

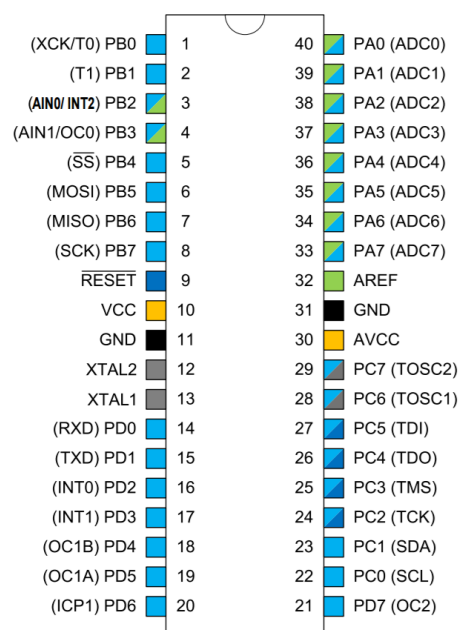
Zkratka RISC znamená počítač s redukováným souborem instrukcí (Reduced Instruction Set Computer). Typickou vlastností RISC je malý soubor instrukcí a jejich zřetězené zpracovávání. V každém strojovém cyklu by měla být dokončena jedna instrukce, která má pevnou délku a jednotný formát (Olivka, 2010).

### 4.4 CISC instrukční sada

Zkratka CISC znamená počítač s obsáhlým souborem instrukcí (Complex Instruction Set Computer). Tato sada instrukcí se vyznačuje proměnlivou délkou instrukcí, z čehož plynou i různé doby vykonávání těchto instrukcí. Výhodou této architektury je jednodušší programování z důvodu možnosti použití složitějších operací interpretovaných právě jednou instrukcí (Olivka, 2010).

### 4.5 Mikropočítač ATmega32A

Pro realizaci osvitové jednotky jsem využil mikropočítač ATmega32A firmy Atmel. Tento mikropočítač je dostupný jak v SMD, tak i v THT provedení (44-pin TQFP, 40-pin PDIP, 44-pin VQFN). Pro můj návrh byla výhodnější volba 40-pinového PDIP pouzdra viz obrázek 4.3.



Obrázek 4.3 – Rozložení vývodů ATmega32A PDIP pouzdra (Atmel Corporation, 2016)

#### 4.5.1 Základní vlastnosti mikropočítače ATmega32A

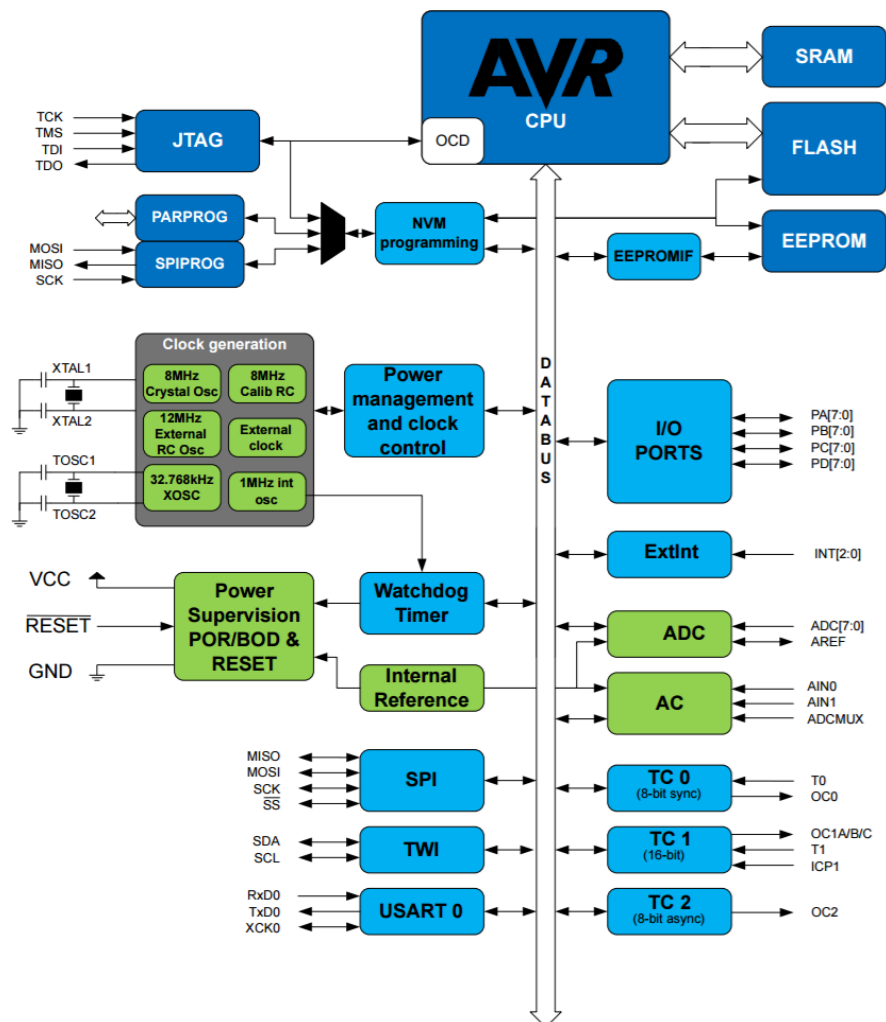
ATmega32A je 8-bitový mikropočítač založený na architektuře AVR. Mikropočítač využívá upravenou RISC architekturu. V jednom hodinovém cyklu dosahuje ATmega32A propustnosti 1MIPS na MHz. Upravená sada instrukcí obsahuje celkem 131 instrukcí. Většina instrukcí je provedena v jednom strojovém cyklu. ATmega32A obsahuje paměti s vysokou životností. U paměti Flash je deklarováno 10 000 zápisů/čtení cyklů a u paměti EEPROM až 100 000 cyklů. Každý vstupně-výstupní pin mikroprocesoru disponuje specifickou funkcí popsanou v manuálu. Dále se na mikroprocesoru nachází vývod pro napájení, připojení externího krystalu, reset a analogový referenční pin pro A/D převodník (Atmel Corporation, 2016).

Tabulka 4.1 – Specifikace ATmega32A (Atmel Corporation, 2016)

Velikost paměti Flash	32 KB
Velikost paměti SRAM	2 KB
Velikost paměti EEPROM	1 KB
Počet kanálů PWM	4
Počet čítačů 8bit	2
Počet čítačů 16bit	1
Pracovní napětí	2.7 – 5.5V
Pracovní teplota	-40...85°C
Pracovní kmitočet	16MHz

Tabulka 4.1 – Specifikace ATmega32A - pokračování (Atmel Corporation, 2016)

Počet vnějších přerušení	3
Počet kanálů output compare	4
Počet komparátorů	1
Počet kanálů input capture	1
Počet převodníků A/D 10bit	8
Počet programovatelných I/O	32
Aktivní spotřeba na 1MHz, 3V	0.6 mA
Spotřeba v nečinnosti	0.2 mA
Spotřeba ve vypnutém stavu	<1 $\mu$ A



Obrázek 4.4 – Blokový diagram ATmega32A (Atmel Corporation, 2016)

## 4.6 ATmega32A periferie a řízení

K ovládání ATmegy slouží soubor registrů. Mezi nejdůležitější registry patří jednoznačně registr SREG a čtveřice I/O registrů (DDRx, PORTx, PINx a SFIOR) (Atmel Corporation, 2016).

### 4.6.1 Registr SREG

V registru SREG například povolujeme globální přerušení, a také zde nalezneme příznaky po výpočtu aritmetických nebo logických operací, viz obrázek 4.5.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	I	T	H	S	V	N	Z	C
Access	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 4.5 – Registr SREG (Atmel Corporation, 2016)

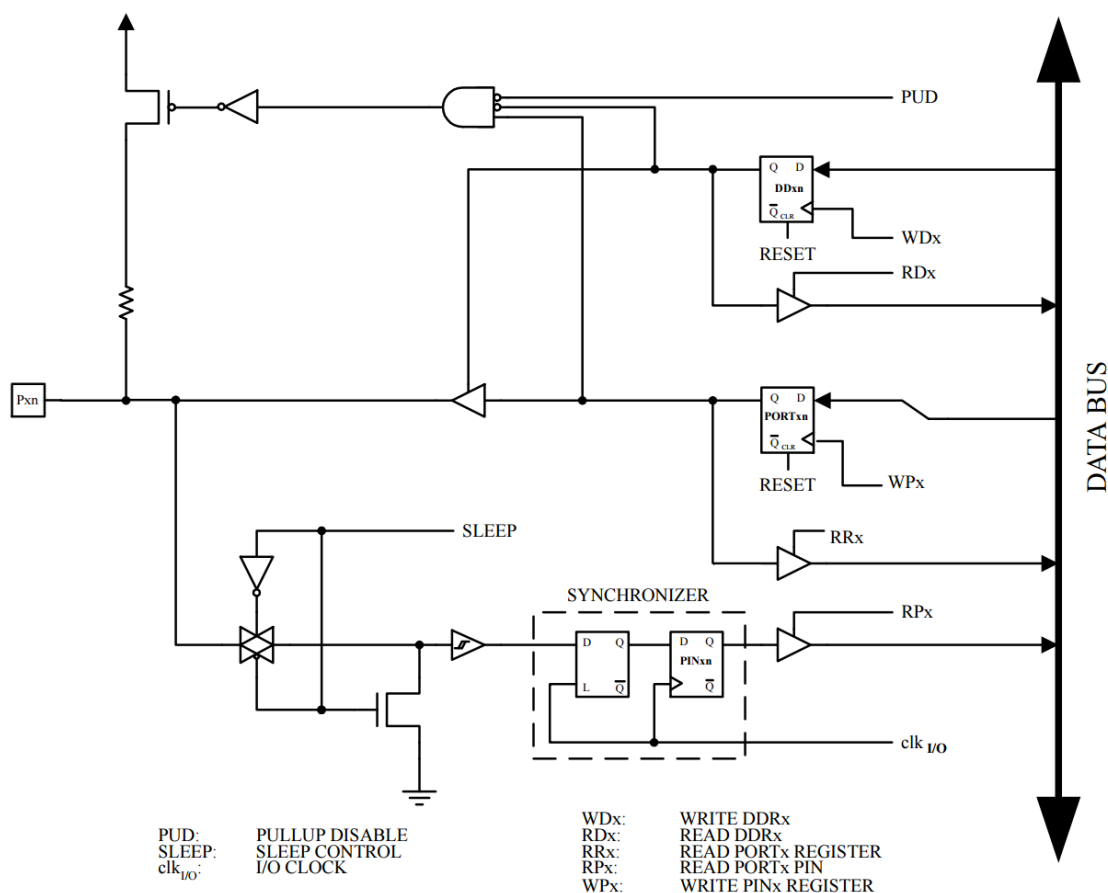
Význam jednotlivých bitů:

- Bit 7 – I: Globální povolení přerušení  
Po nastavení tohoto bitu se přerušení chová podle samostatného řídicího registru.
- Bit 6 – T: Místo pro ukládání bitu  
Instrukce Bit Copy BLD (Bit Load) a BST (Bit Store) používají T-bit jako zdroj nebo cíl pro řídicí Bit.
- Bit 5 – H: Half Carry Flag (příznak přetečení)  
Využití pro práci s BCD formáty při přenosu 3. bitu na 4. bit.
- Bit 4 – S: Příznakový bit  
S-bit je vypočten po každé aritmetické a logické operaci pomocí dvou dalších příznaků ( $S = N \text{ xor } V$ ).
- Bit 3 – V: Příznak přeplnění čísla v druhém doplňku  
V-bit je nastaven pokud se bit C liší od bitu N.
- Bit 2 – N: Příznak negativního výsledku  
N-bit označuje negativní výsledek v aritmetické nebo logické operaci.
- Bit 1 – Z: Příznak nulového výsledku  
Z-bit označuje nulový výsledek při aritmetické nebo logické operaci.

- Bit 0 – C: Příznak přetečení  
C-bit označuje přetečení při aritmetické nebo logické operaci (Atmel Corporation, 2016).

#### 4.6.2 I/O registry (DDRx, PORTx, PINx a SFIOR)

Každý vstupně-výstupní port disponuje funkcí „Read-Modify-Write“. U každého z 32 I/O portů lze podle potřeby povolit/zakázat pull-up rezistory a také máme možnost zvolit určitý port jako vstup nebo výstup viz obrázek 4.6.

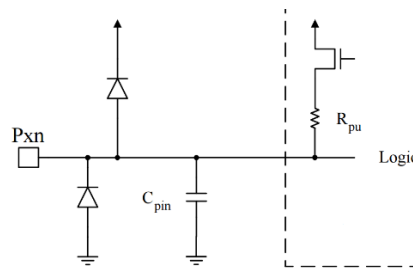


Obrázek 4.6 – Všeobecné schéma I/O portů (Atmel Corporation, 2016)

Konfigurace se provede pomocí těchto registrů:

- PORTx: Data Register (datový registr)  
Tento registr aktivuje nebo deaktivuje pull-up rezistor, který nastaví logickou úroveň jednotlivého portu viz obrázek 4.7.





Obrázek 4.7 – Pull-up rezistor (Atmel Corporation, 2016)

- **DDRx: Data Direction Register (směrový registr)**  
Tímto registrem volíme směr datového toku. Daný port bude využíván buď jako vstup nebo výstup.
- **PINx: Port Input Pins (stavový registr)**  
Slouží pro čtení aktuálního stavu daného portu.
- **SFIOR: Special Function IO Register (speciální registr)**  
Druhý bit tohoto registru (PUD – Pull-up Disable) slouží ke globálnímu vypnutí pull-up rezistorů na všech portech viz tabulka 4.2. Toto nastavení nadřazené nad všemi registry PORTx (Atmel Corporation, 2016).

Tabulka 4.2 – Konfigurace portů (Atmel Corporation, 2016)

DDRx	PORTx	PUD (SFIOR)	I/O	Pull-up
0	0	x	Vstup	Ne
0	1	0	Vstup	Ano
0	1	1	Vstup	Ne
1	0	x	Výstup	Ne
1	1	x	Výstup	Ne

### 4.6.3 Přerušovací systém

Procesor ATmega32A dokáže zpracovávat dva druhy přerušení (interní a externí), které jsou ve většině složitějších aplikacích nezbytné pro naprogramování dané úlohy. Přerušením lze efektivně ovlivnit běh programu, který v závislosti na předešlé události vykoná jinou část kódu. Po vykonání úkonu se běh programu vrátí zpět k předešlé úloze. Návrat je umožněn díky uložení návratové adresy Program Counteru, která je před skokem do podprogramu uložena do zásobníku. Podle čísla příchozího přerušení se nalezne v tabulce vektoru přerušení, viz tabulka 4.3, adresa příslušného obslužného podprogramu.

Tabulka 4.3 – Tabulka vektorů přerušení (Atmel Corporation, 2016)

Vektor č.	Adresa programu	Parametr	Popis přerušení
1	0x0000	RESET	Externí reset, připojení napájení
2	0x0002	INT0	Externí požadavek na přerušení 0
3	0x0004	INT1	Externí požadavek na přerušení 1
4	0x0006	INT2	Externí požadavek na přerušení 2
5	0x0008	TIMER2 COMP	Čítač/časovač 2 – shoda komparace
6	0x000A	TIMER2 OVF	Čítač /časovač 2 – přetečení
7	0x000C	TIMER1 CAPT	Čítač /časovač 1 – zachycení
8	0x000E	TIMER1 COMPA	Čítač /časovač 1 – shoda s komparátorem A
9	0x0010	TIMER1 COMPB	Čítač /časovač 1 – shoda s komparátorem B
10	0x0012	TIMER1 OVF	Čítač /časovač 1 – přetečení
11	0x0014	TIMER0 COMP	Čítač/časovač 0 – shoda komparace
12	0x0016	TIMER0 OVF	Čítač /časovač 0 – přetečení
13	0x0018	SPI, STC	Dokončení sériového přenosu SPI
14	0x001A	USART, RXC	USART – kompletní příjem dat
15	0x001C	USART, UDRE	USART – prázdný datový registr
16	0x001E	USART, TXC	USART – kompletní vyslání dat
17	0x0020	ADC	ADC – dokončení A/D převodu
18	0x0022	EE_RDY	EEPROM – komunikace připravena
19	0x0024	ANA_COMP	Změna výstupu analogového komparátoru
20	0x0026	TWI	Událost na I2C sběrnici
21	0x0028	SPM_RDY	Uložení do programové paměti

#### 4.6.4 Čítač a časovač

Mikropočítač ATmega32A obsahuje dva osmibitové a jeden šestnáctibitový čítač/časovač. Tyto periferie jsou využívány prakticky ve většině aplikací. Například čítač využijeme při sledování určitého externího signálu, který potřebujeme zpracovat. Časovač je nutný k vytvoření požadovaného časového intervalu. V principu je časovač stejný jako čítač, avšak na rozdíl od čítače, časovač sleduje vnitřní předem definovaný signál o konstantní frekvenci, z které lze snadno odvodit časové intervaly. Další vlastností čítače/časovače je schopnost generovat PWM signál.

Osmibitový čítač/časovač se řídí třemi spodními bity registru TCCR0, viz obrázek 4.8. Čítač/časovač je řízen přímo systémovými hodinami, tento kmitočet lze upravit přednastavenou předděličkou ( $f_{CLK\_I/O} / 8$ ,  $f_{CLK\_I/O} / 64$ ,  $f_{CLK\_I/O} / 256$ , or  $f_{CLK\_I/O} / 1024$ ) viz tabulka 4.4. Dále může být 8-bitový čítač/časovač využit jako frekvenční generátor.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00
Access	W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 4.8 – Registr TCCR0 (Atmel Corporation, 2016)

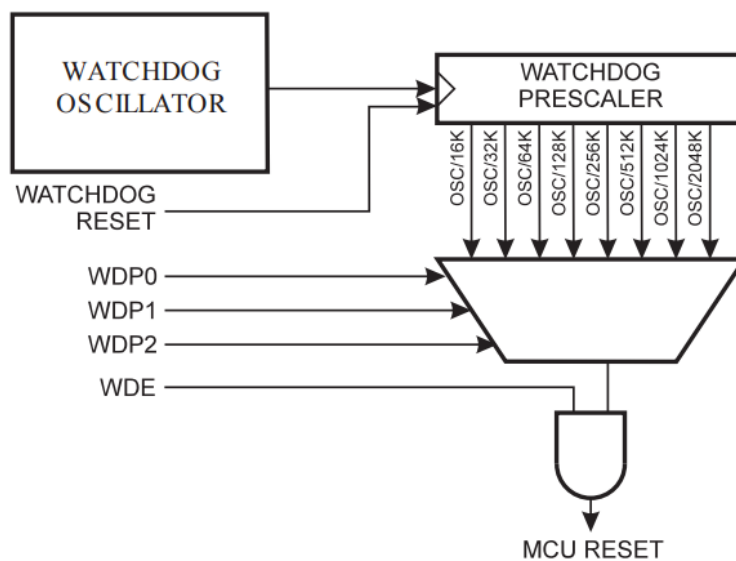
Tabulka 4.4 – Konfigurace čítače/časovače (Atmel Corporation, 2016)

SS02	CS01	CS00	Popis
0	0	0	Žádný zdroj hodin (Čítač/časovač zastaven)
0	0	1	$clk_{I/O}/1$ (žádná před dělička)
0	1	0	$clk_{I/O}/8$ (použitá před dělička)
0	1	1	$clk_{I/O}/64$ (použitá před dělička)
1	0	0	$clk_{I/O}/256$ (použitá před dělička)
1	0	1	$clk_{I/O}/1024$ (použitá před dělička)
1	1	0	Externí zdroj hodin na pinu T0 (sestupná hrana)
1	1	1	Externí zdroj hodin na pinu T0 (sestupná hrana)

Šestnáctibitový čítač/časovač lze nastavit stejně jako 8-bitový čítač/časovač. Tento čítač lze však využít k trvalému porovnávání přednastavené hodnoty s hodnotou čítače. Dále dokáže odfiltrovat rušení na vstupu, automaticky vymazat časovač při zjištění shody, proměnné periody PWM a používat čtyři nezávislé zdroje přerušení (Atmel Corporation, 2016).

#### 4.6.5 Watchdog

Watchdog hraje důležitou úlohu v aplikacích. Jeho úkolem je zamezení „zamrznutí“ běžícího programu. Tato služba je zajištěna čítačem, který je řízen samostatným oscilátorem o frekvenci 1 MHz viz obrázek 4.9. „Tento kmitočet je dále dělen říditelnou děličkou. To umožňuje nastavit interval čítání od 16 ms do 2048 ms. V rámci tohoto intervalu musí být čítač programem nulován, jinak dojde k jeho přetečení. Pokud dojde k přetečení, generuje se signál, který může provést reset běžícího programu. O tom, jestli k restartu skutečně dojde, rozhoduje nastavení bitů jednotlivých bitů registru WDTCR“ (Šubrt, 2002, s. 71).



Obrázek 4.9 – Watchdog oscilátor s předděličkou (Atmel Corporation, 2016)

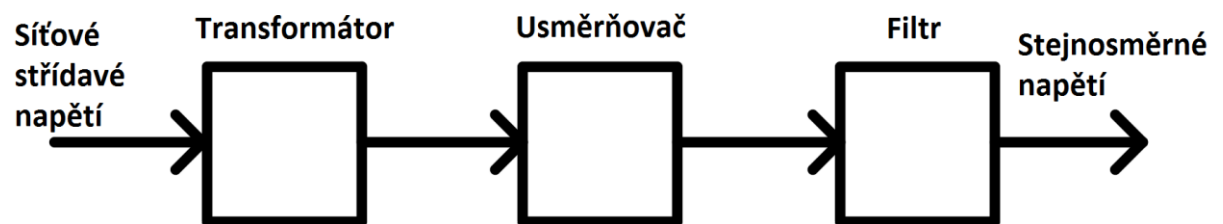
Interval čítání čili zvolení potřebné před děličky, provádí programátor podle požadavků dané aplikace pro včasné zachycení nepředvídatelného běhu programu.

## 5 NAPÁJECÍ ZDROJ

Na trhu je mnoho typů zdrojů, které lze zařadit do dvou základních kategorií. Při volbě zdroje máme na výběr mezi lineárním a spínaným zdrojem.

### 5.1 Lineární zdroje

Lineární zdroje se vyznačují konstrukční jednoduchostí a nízkou úrovní rušení. Zdroj obsahuje transformátor, který transformuje síťové střídavé napětí na požadované střídavé napětí potřebné v aplikaci. Poté se výstupní napětí usměrní pomocí usměrňovače na stejnosměrné napětí. Z důvodů kolísání vstupního napájení a charakteru usměrňovače je potřeba toto napětí dostatečně filtrovat pomocí kondenzátorů. Kondenzátory vyhladí případné zvlnění výstupu viz obrázek 5.1.



Obrázek 5.1 – Blokovo schéma lineárního zdroje

#### 5.1.1 Transformátor

Transformátor je zařízení, které se skládá ze dvou vinutí (sekundární a primární) a společného jádra. Primární vinutí při průchodu proudem vytváří magnetické pole, které je pomocí jádra převedeno na sekundární vinutí a následně transformováno na jiné napětí o stejné frekvenci. Jádra transformátorů se vyrábějí v různých provedení. Nejčastěji se využívá koncepce s EI plechy nebo toroidního jádra.

- EI plechy

Tato koncepce je hojně využívána pro její relativní výrobní jednoduchost. Trafo s EI plechy obsahuje montážní body a svorky jednotlivých vinutí a odboček. Díky těmto aspektům je ideální při využití v elektroinstalačních skříních.

- Toroidní jádro

Tato koncepce se vyznačuje menšími rozměry a nižšími ztráty než u „klasické“ koncepce transformátoru (platí při porovnání stejných parametrů traf). Tyto transformátory produkují méně rušení, a proto se často využívají v audiotechnice. Toroidní transformátor často neobsahuje montážní otvory a svorky. Jeho výhodou je možnost navinutí více sekundárních vinutí, na kterých lze jednodušeji vytvořit odbočky.

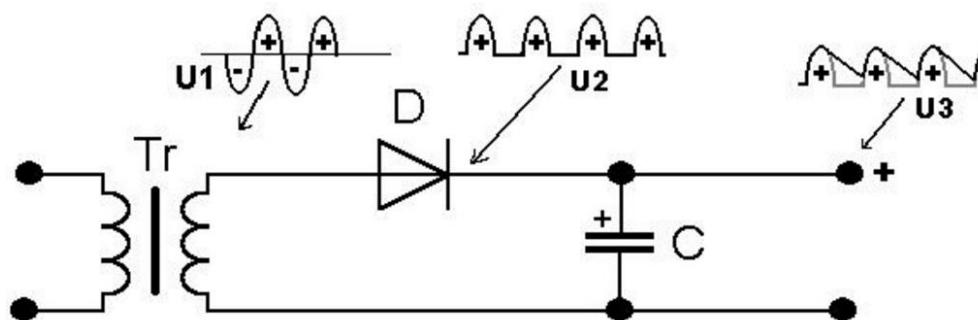
### 5.1.2 Usměrňovač

Usměrňovač slouží k usměrnění střídavého proudu. V dnešní době je k tomuto účelu nejčastěji používaná elektrosoučástka zvaná dioda. Dioda po připojení ke střídavému napětí propustí proud pouze při kladné půlvině sinusového průběhu.

Jednoduché usměrňovače:

- Jednocestný usměrňovač

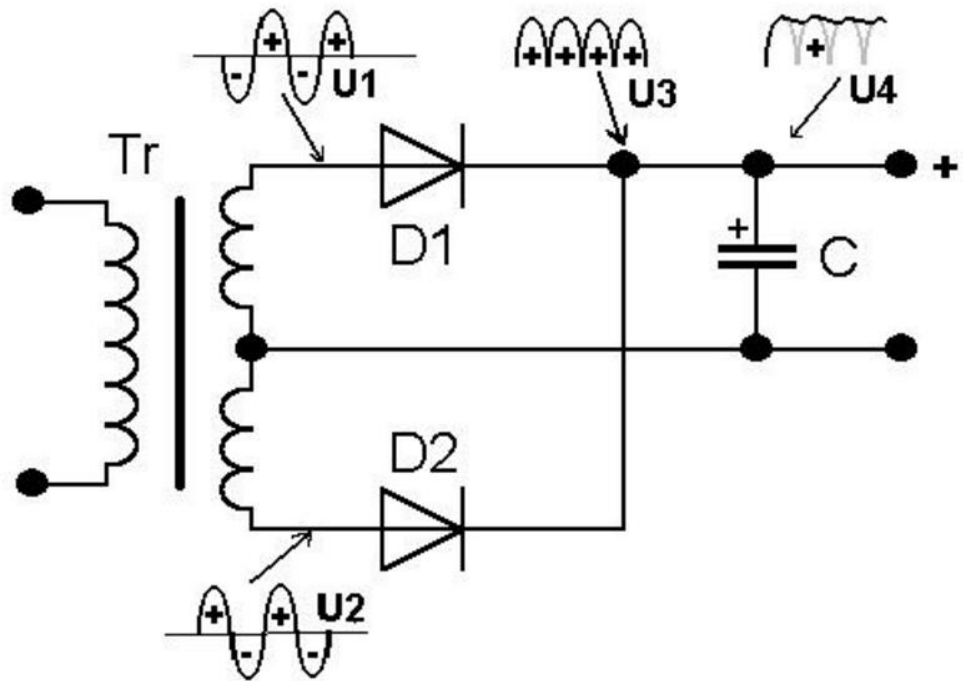
Jednocestný usměrňovač usměrňuje jednu půlvinu proudu. Přidání kondenzátoru docílíme relativní vyhlazení průběhu. V záporných půlvinách bude kondenzátor dodávat do obvodu energii viz obrázek 5.2.



Obrázek 5.2 – Jednocestný usměrňovač (Abcdimenze, 2007)

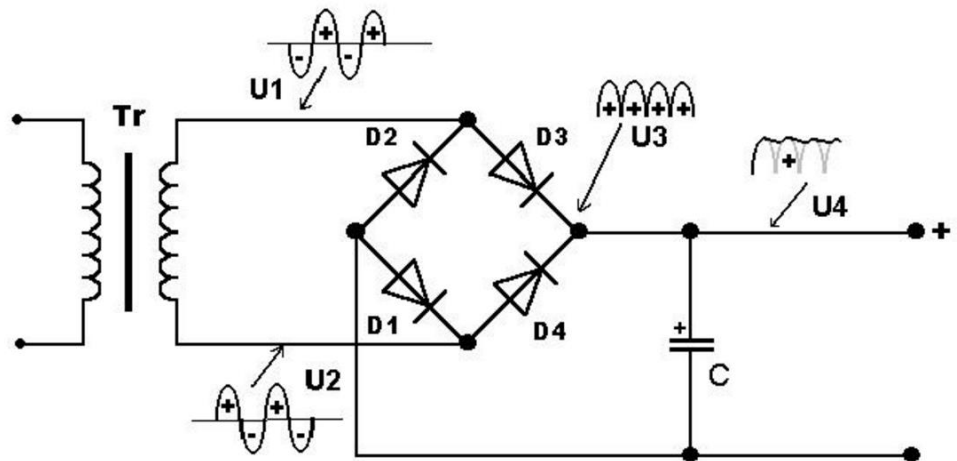
- Dvoucestný usměrňovač

Dvoucestný usměrňovač usměrňuje dvě půlvinny, které jsou mezi sebou fázově posunuty pomocí sekundárního souměrného vinutí. Toto provedení vede k menšímu výstupnímu zvlnění. Kondenzátor opět slouží k vyhlazení průběhu výstupního napětí viz obrázek 5.3.



Obrázek 5.3 – Dvoucestný usměrňovač (Abcdimenze, 2007)

- Dvoucestný můstkový usměrňovač  
Tento usměrňovač je velice využíván pro jeho jednoduchost a možnost použití bez souměrného sekundárního vinutí viz obrázek 5.4.



Obrázek 5.4 – Dvoucestný můstkový usměrňovač (Abcdimenze, 2007)

### 5.1.3 Filtr

K filtraci postačí elektrolytický kondenzátor. Jeho kapacitu a pracovní napětí je nutno zvolit podle použitého usměrňovače a výstupního napětí transformátoru.

## 5.2 Spínané zdroje

Spínané zdroje mají větší účinnost oproti lineárním zdrojům. Dále jsou podstatně kompaktnější a lehčí. „*Ve spínaných zdrojích je výkonový člen zatěžován impulsně. Je střídavě spínán a rozpínán. Využívají se výhody impulsního režimu daného prvku. V impulsním režimu může být odebíraný impulsní výkon podstatně větší, než jaký je možné odebírat v lineárním režimu s použitím stejného výkonového prvku*“ (Vývoj, hw, 2007). Negativní vlastností je produkce rušení spínacími prvky. Další uplatnění těchto zdrojů nastává při transformaci stejnosměrného napětí takzvanými DC-DC měniči.

### 5.2.1 DC-DC měniče

DC-DC měniče lze zařadit do tří kategorií podle transformační možnosti vstupního napětí.

- Step-down měnič – Tímto druhem měniče lze přeměnit vstupní napětí na nižší napětí.
- Step-up měnič – Tímto druhem měniče lze přeměnit vstupní napětí na vyšší napětí.
- Hybridní měniče – Tímto druhem měniče lze přeměnit vstupní napětí na vyšší nebo na nižší napětí.

### 5.2.2 Zvolený zdroj

Pro napájení osvitové jednotky jsem zvolil spínaný zdroj. Lineární zdroj jsem nevyužil z důvodu rozměrů a ceny vhodného transformátoru.

Vlastní výrobu spínaného zdroje jsem zavrhl kvůli pořizovací ceně komponentů potřebných ke stavbě AC-DC měniče. V mém výrobku je použit zakoupený spínaný zdroj XK-2412DC čínské produkce. Zdroj dodává 24 V a jeho udávaný výkon je 100 W. Zdroj napájí koncový stupeň osvitové jednotky viz obrázek 5.5.





Obrázek 5.5 – Spínaný AC-DC zdroj X5-2412DC (Ebay, 2017)

## 6 SEMISEGMENTOVÝ DISPLEJ

Segmentový displej je elektronické zařízení skládající se z jednotlivých segmentů, jejichž seskupení dokáže zobrazovat jednotlivé číslice, popřípadě i alfanumerické znaky. Možnosti využití displeje rostou s počtem jeho segmentů.

### 6.1 Technologie

Segmentové displeje využívají k zobrazování znaků několik základních technologií, mezi které patří LED technologie, OLED technologie a LCD technologie.

#### 6.1.1 LED technologie

K prosvětlení jednotlivých segmentů se využívají LED diody, které jsou schopny vyzařovat světlo. Spotřeba displeje je dána velikostí segmentů. Snížení spotřeby lze dosáhnout pomocí „blikání“ LED diody v krátkých intervalech, které naše oko vnímá jako plynulé svícení.

#### 6.1.2 OLED technologie

K prosvětlení jednotlivých segmentů se využívají organické materiály, které po přivedení napětí vydávají světlo.

#### 6.1.3 LCD technologie

K prosvětlení jednotlivých segmentů se využívají tekuté krystaly, které se po přivedení napětí natočí a umožní nebo zamezí průchod světla.

### 6.2 Počet segmentů

Počet segmentů volíme podle požadované informace, kterou potřebujeme zobrazit. Pro zobrazení číslic potřebujeme nejméně sedm segmentů, pro zobrazení písmen je už třeba nejméně čtrnácti segmentů

- Sedmi segmentový – zobrazení číslic
- Devíti segmentový – detailnější zobrazení číslic
- Čtrnácti segmentový – zobrazení číslic a základních písmen

- Patnácti segmentový – detailnější zobrazení číslic a písmen
- Šestnácti segmentový – detailnější zobrazení číslic a písmen

### **6.3 Použitý segmentový displej**

V mém zařízení jsem použil pouze čtyřznakový sedmi segmentový displej. Tento typ displeje plně vyhovuje požadavkům na zobrazování potřebných informací k chodu zařízení. Displej je doplněn o jednu dvojtečku a tečku.

## 7 VÝKONOVÝ SPÍNACÍ PRVEK

Výkon pro UV LED diody spínám za pomoci elektromagnetického relé. Relé jsem zvolil pro jeho jednoduchost a spolehlivost. Dále se mi relé jeví jako nejlepší spínač pro moji aplikaci, kde potřebuji sepnout výkon bez jakékoli proudové regulace.

### 7.1 Elektromagnetického relé

Elektromagnetické relé bylo vyvinuto pro telegrafní služby a bylo použito jako elektromechanický zesilovač. Elektromagnetické relé je doposud hojně využívaná součástka.

#### 7.1.1 Funkce relé

Protéká-li cívkou relé dostatečný elektrický proud, dojde v magnetickém obvodu relé k vytvoření magnetického indukčního toku. Magnetický indukční tok způsobí pohyb kotvy, která pomocí táhla propojí pružný kontakt s pevným kontaktem. K rozpojení kontaktů dojde po přerušení dodávky proudu do řídicí cívky. Poté co zanikne magnetický tok, pohyblivý kontakt se za pomoci pružin vrátí do výchozí polohy.

#### 7.1.2 Popis hlavních komponent

Mezi hlavní součásti Elektromagnetické relé jednoznačně patří cívka, kotva, a kontakty

- Cívka – je to izolovaný vodič navinutý na nosné kostře, průřez a počet závitů se volí podle požadované síly a vlastností magnetického obvodů. Jmenovité napětí cívky se obvykle pohybuje v rozmezí od 3 V do 250 V pro stejnosměrné napětí. Pro střídavé napětí se jmenovité napětí cívky pohybuje od 6 V do 400 V.
- Kotva – je to pohyblivá část magnetického obvodu relé. Dodání proudu do řídicí cívky vytvoří magnetické pole, které vyvine pohyb kotvy. Kotva má za úkol spínat a rozepínat řízený obvod.
- Kontakty – Slouží k uzavření elektrického obvodu. Skládají se vždy z jednoho nebo dvou kontaktů pevných a jednoho kontaktu pohyblivého pro jeden spínač. Jedno relé může obsahovat více spínačů. Kontakty jsou vyvedeny na svorkovnici relé nebo na pájecí vývody. Mechanická síla z kotvy relé působí na mechanický kontakt, který je při jejím působení přesunut z rozpínacího

pevného kontaktu (pokud jej relé obsahuje) na spínací pevný kontakt (Nevařil, 2014).

## **7.2 Použité relé**

Použil jsem výkonové relé od firmy TE Connectivity do DPS. Model RT424024 dokáže sepnout až 8 A při 250 VAC na obou párech kontaktů. Cívka se ovládá pomocí 24 VDC.

## 8 ZDROJ UV ZÁŘENÍ

Z dostupných zdrojů UV záření jsem na základě konstrukčních požadavků zvolil UV LED diody. Led diody jsou pro moje řešení ideální, protože nevyžadují speciální napájecí zdroje, jako je tomu zapotřebí u UV zářivkových trubec. Diody lze snadno rovnoměrně rozmístit pod pracovní plochou, dále UV LED diody vyzařují ultrafialové záření jedním směrem a jsou podle mého názoru jako zdroj UV záření více efektivnější než UV zářivkové trubice, které vyzařují světlo všemi směry.

### 8.1 Výběr typu UV LED diody

Na trhu je mnoho typů a provedení LED diod, jak v THT, tak i SMD pouzdru. THT provedení jsem vyloučil, protože výroba desky plošného spoje pro tento typ pouzdra je daleko časově náročnější a v praxi by byla i nákladnější z důvodu vyvrtání cca 400 děr jen pro LED diody. SMD provedení jsem zvolil nejen kromě ušetření času, ale také pro jejich snadnější pájení. Použitím SMD součástek lze docílit menšího plošného spoje což vede k dalšímu snížení nákladů na výrobu.

#### 8.1.1 Vyzařovací úhel LED diod

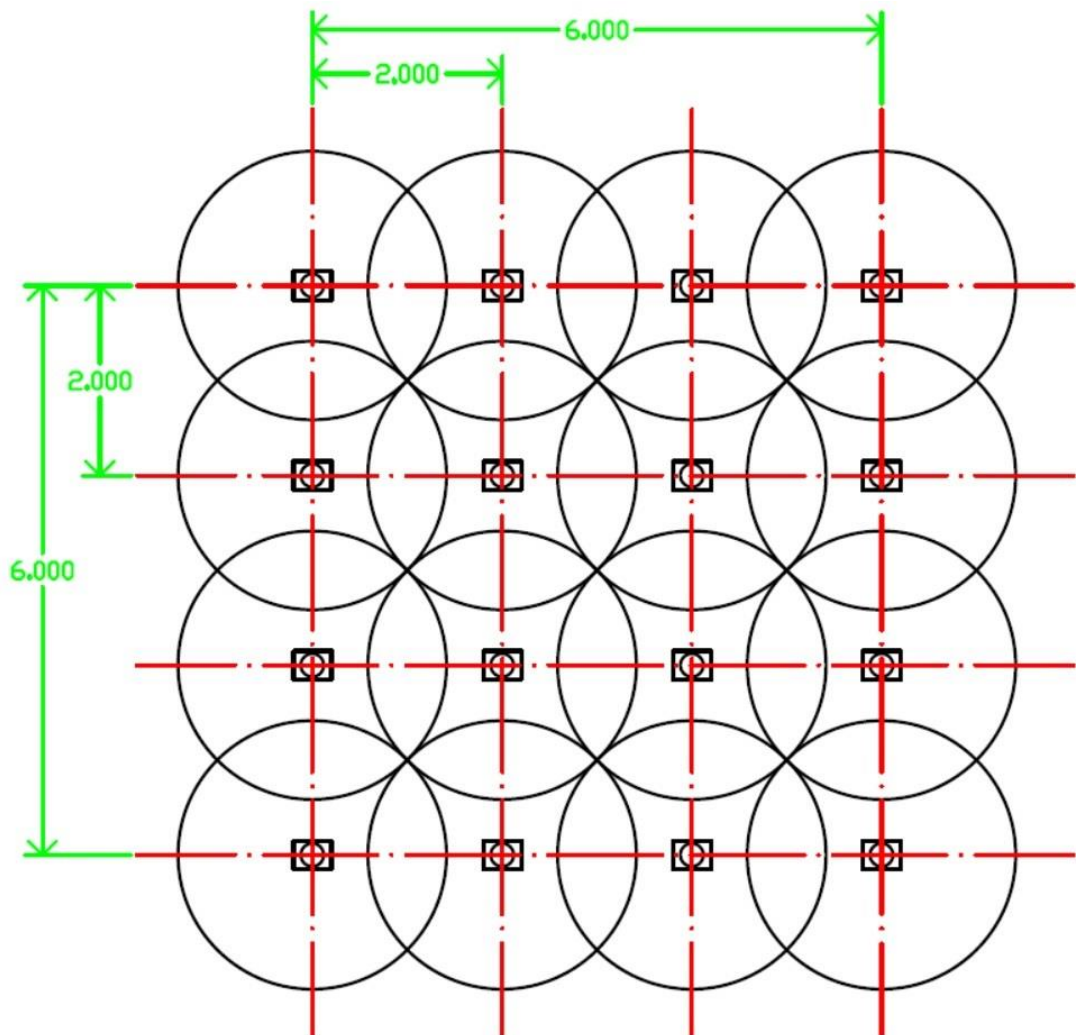
Vyzařovací úhel LED diody závisí na výrobním a konstrukčním provedení. Pro můj účel byla nejvhodnější volba zvolit LED diodu s co největším vyzařovacím úhlem. Zvolil jsem LED diodu s velikostí pouzdra 1210 a s vyzařovacím úhlem 120 stupňů viz obrázek 8.1.



Obrázek 8.1 – UV LED dioda (Ebay, 2017)

## 8.2 Rozmístění UV LED diod

Rozmístění UV LED diod hraje zásadní roli v kvalitě a rovnoměrnosti osvitů. Pro mojí vybranou UV LED diodu bylo ideální rozmístění do rastru  $2 \times 2$  cm viz obrázek 8.2. Díky zvolenému vyzařovacímu úhlu  $120$  stupňů spolu se zvolenou vzdáleností  $2$  cm lze UV LED diody umístit do vzdálenosti  $0,816$  cm od pracovní plochy.



Obrázek 8.2 – Rozmístění UV LED diod

### 8.2.1 Výpočet optimální vzdálenosti UV LED diod od pracovní plochy

Výpočet optimální vzdálenosti UV LED diod pro rovnoměrný osvit pracovní plochy jsem provedl za pomoci goniometrických funkcí.

Tabulka 8.1 – Hodnoty pro výpočet optimální výšky

Značka	Hodnota	Popis
$\alpha$	60°	vyzařovací úhel
$u$	2,828 cm	úhlopříčka rastru

K výpočtu jsem použil funkci sinus a kosinus

$$a = \frac{u}{2} = \frac{2,828}{2} = 1,414 \text{ cm}, \quad (8.1)$$

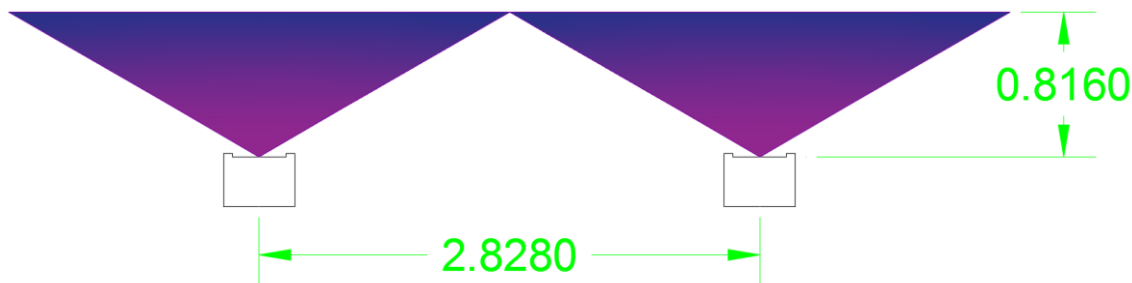
kde  $u$  – úhlopříčka rastru, cm,

$$\sin(\alpha) = \frac{|a|}{|b|} \Rightarrow |b| = \frac{|a|}{\sin(\alpha)} = \frac{1,414}{\sin(60)} = 1,633 \text{ cm}, \quad (8.2)$$

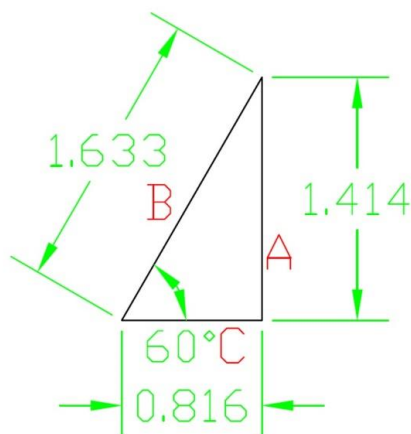
kde  $c$  – optimální výška, cm.

$$\cos(\alpha) = \frac{|c|}{|b|} \Rightarrow |c| = \cos(\alpha) \times |b| = \cos(60) \times 1,633 = 0,816 \text{ cm}, \quad (8.3)$$

kde  $\alpha$  – vyzařovací úhel.



Obrázek 8.3 – Model vzdálenosti LED diod



Obrázek 8.4 – Nákres výpočtu výšky

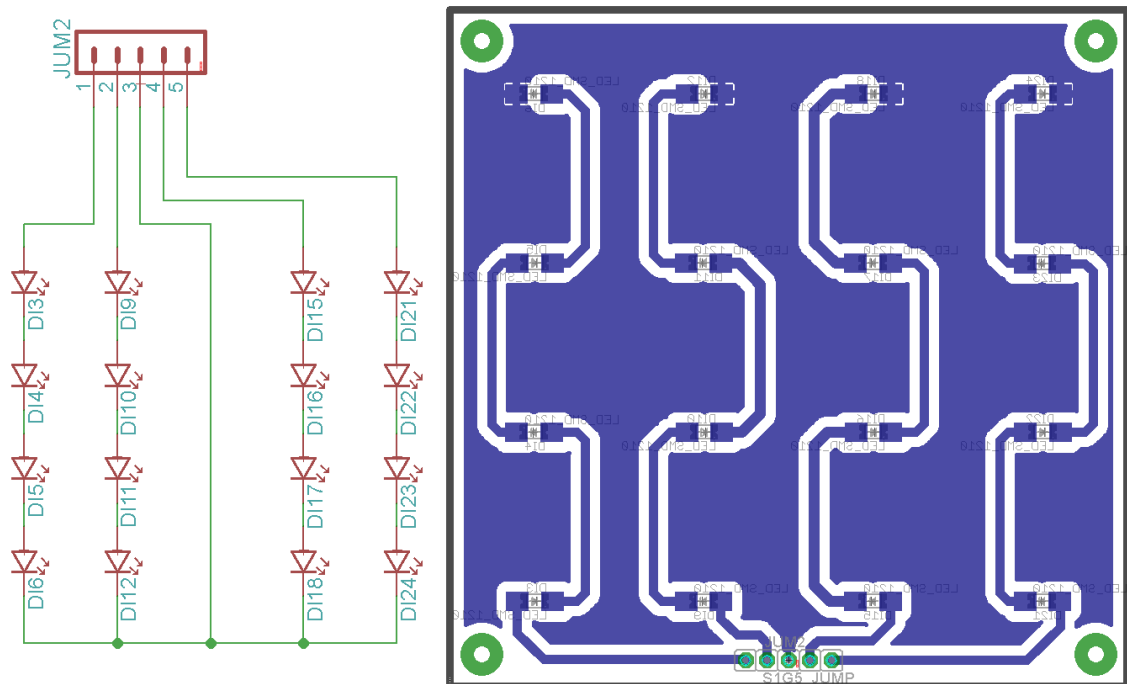


### 8.3 Návrh a výroba osvitových modulů

Osvitová jednotka se skládá z devíti hlavních modulů, které jsou doplněni 6 menšími vedlejšími moduly. Všechny moduly jsou připevněné na železném plechu, který je výškově stavitelný pro dosažení rovnoměrného osvětlení.

#### 8.3.1 Hlavní modul

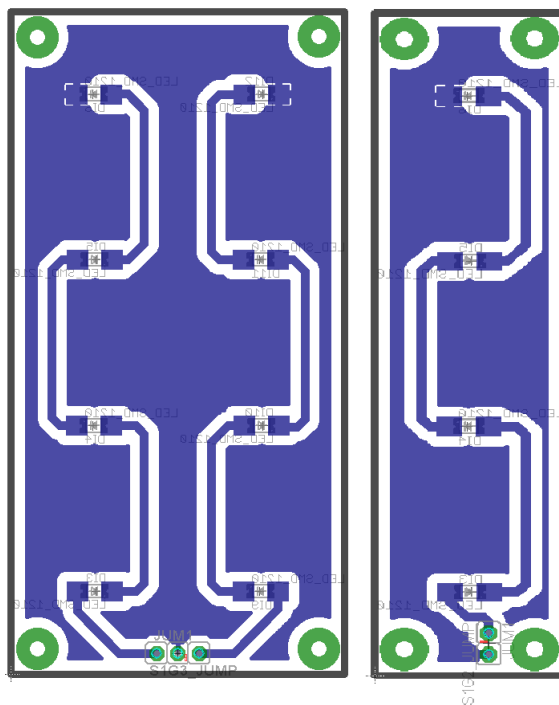
Hlavní osvitový modul se skládá z 16 UV LED diod, pěti svorek a čtyř montážních otvorů viz obrázek 8.5. Rozměry všech hlavních modulů jsou  $8 \times 8$  cm. Všechny moduly jsou navrženy tak, aby po montáži byla zachována dvou centimetrová vzdálenost mezi všemi UV LED diodami.



Obrázek 8.5 – Schéma a DPS hlavního osvitového modulu

#### 8.3.2 Vedlejší moduly

Vedlejší moduly mají stejnou výšku jako hlavní modul, šířka modulu závisí na počtu větví UV LED diod viz obrázek 8.6. Opět je po montáži zachován dvou centimetrový rozstup. Nejmenší modul obsahuje jednu větev UV LED diod a jeho šířka je 2 cm. Střední modul obsahuje dvě větve UV LED diod a jeho šířka je 4 cm.



Obrázek 8.6 – DPS doplňkových modulů

## 9 PROUDOVÝ ZDROJ

Pro rovnoměrný osvit je zapotřebí do každé led diody přivést konstantní zdroj proudu. Pro tento účel jsem použil jednoduché katalogové zapojení zdroje proudu s využitím lineárního regulátoru napětí 78L09. Na výrobku se nachází 45 větví UV LED diod, a každá větev potřebuje svůj vlastní proudový zdroj, takže bylo zapotřebí sestavit 45 proudových zdrojů, které budou napájet 180 kusů UV LED diod. Z těchto důvodů jsem konkrétně zvolil typ WS78L09 s výstupním napětím 9 V a výstupním proudem 0,1 A. Tento typ jsem zvolil kvůli ceně a dostatečné proudové rezervě.

Tabulka 9.1 – Parametry UV LED diody

Značka	Hodnota	Popis
$U_{LED}$	3,4 V	napětí na diodě
$I_{LED}$	0,02 A	proud protékající diodou

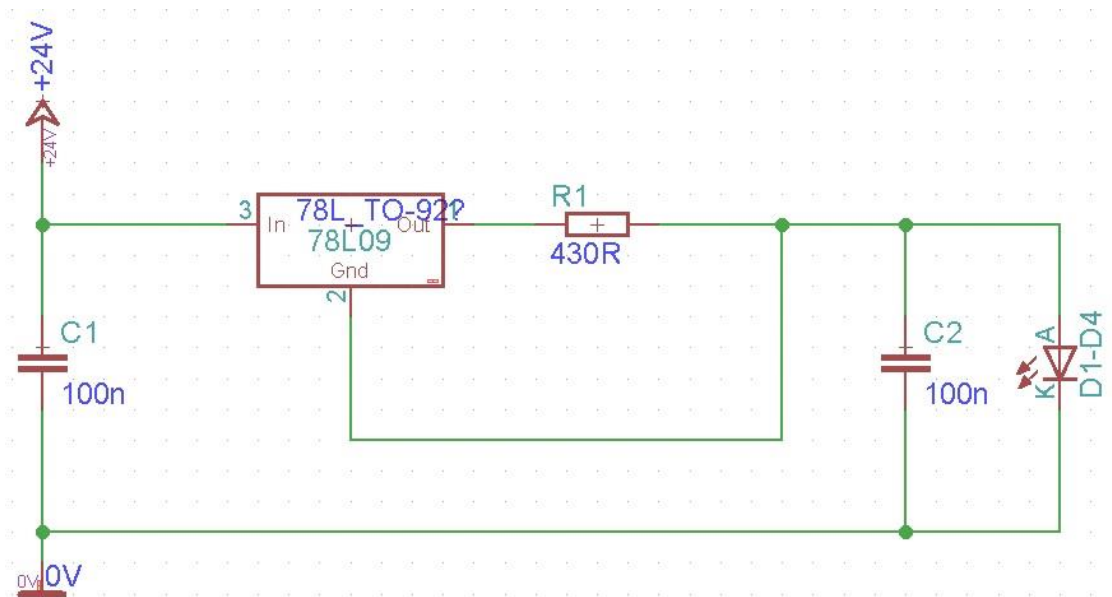
Celé zapojení je závislé na odporu  $R_1$ , který udává výstupní proud. Napětí na odporu  $R_1$  je dáno výstupním napětím stabilizátoru. Odpor je třeba spočítat podle zvolené zátěže pomocí Ohmova zákona

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1}} = \frac{9}{0,02} = 450 \Omega, \quad (9.1)$$

kde  $I_{R_1}$  – proud protékající diodou, A,

$U_{R_1}$  – napětí na odporu R, V.

Při použití odporu s vypočtenou hodnotou bychom měli docílit požadovaného výstupního proudu 0,02 A. Jelikož se ale odpory vyrábějí v určitých řadách (E3, E6, E12, E24, E44, E96, E192) je potřeba vybrat řadu a hodnotu odporu co nejbližší k teoreticky vypočtené hodnotě  $R_1$ . Hodnota odporu  $R_1$  se nejbližší přiblížila k odporu 453  $\Omega$  z řady E96 a E192. Tato hodnota odporu nebyla dostupná, a tak jsem byl nucen vybírat odpor z řady E24 a to o hodnotě 430  $\Omega$  nebo 470  $\Omega$ . Z důvodu výkonové rezervy jsem zvolil odpor 430  $\Omega$  viz obrázek 9.1.



Obrázek 9.1 – Schéma proudového zdroje

## 9.1 Výpočet hodnot

Tabulka 9.2 – Hodnoty pro výpočet proudového zdroje

Značka	Hodnota	Popis
$V_{CC}$	24 V	napájecí napětí
$R_1$	430 $\Omega$	regulační odpor
$U_{LED}$	3,4 V	napětí na diodě

Výpočet teoretických hodnot s použitím odporu  $R_1$

$$I_{OUT} = \frac{U_{R_1}}{R_1} = \frac{9}{430} = 0,02093 \text{ A}, \quad (9.2)$$

kde  $R_1$  – regulační odpor,  $\Omega$ .

$U_{R_1}$  – napětí na odporu  $R_1$ , V.

Výpočet ztrátového výkonu odporu  $R_1$  je vyjádřen vztahem

$$P_{R_1} = U_{R_1} \times I_{OUT} = 9 \times 0,02093 = 0,1883 \text{ W}, \quad (9.3)$$

kde  $U_{R_1}$  – napětí na odporu  $R_1$ , V,

$I_{OUT}$  – výstupní proud, A.

Při této hodnotě ztrátového výkonu jsem zvolil SMD odpor dimenzovaný do 0,5 W.

Dále jsem spočítal ztrátový výkon lineárního stabilizátoru

$$U_{L1-L4} = U_{LED1} + U_{LED2} + U_{LED3} + U_{LED4} = 3,4 + 3,4 + 3,4 + 3,4 = 13,6 \text{ V}, \quad (9.4)$$

kde  $U_{L1-L4}$  – součet úbytků napětí na diodách, V,

$U_{(LED1; LED4)}$  – napětí na diodách, V.

$$P_{78L} = (V_{CC} - U_{R1} - U_{L1-L4}) \times I_{OUT} = (24 - 9 - 13,6) \times 0,02093 = 0,0293 \text{ W}, \quad (9.5)$$

kde  $P_{78L}$  – ztrátový výkon stabilizátoru, W,

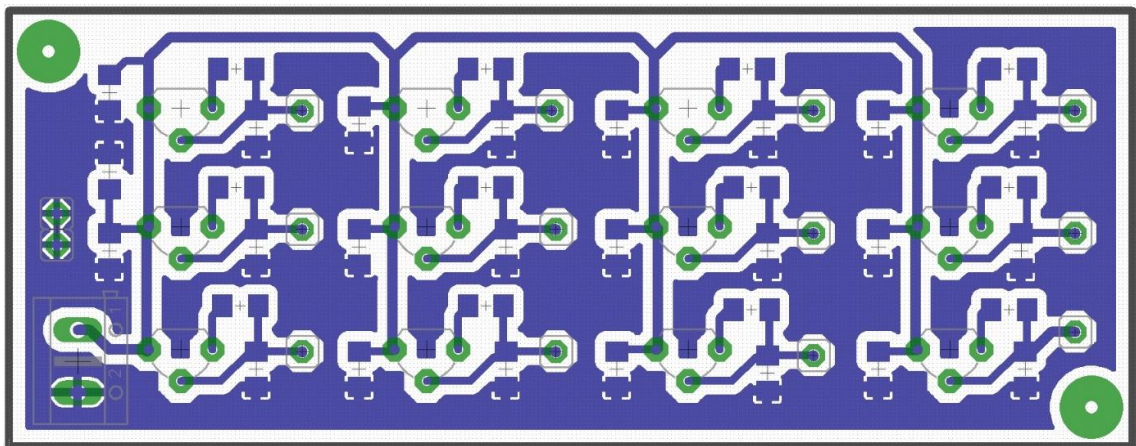
$U_{R1}$  – napětí na regulačním odporu, V,

$I_{OUT}$  – výstupní proud, A.

Díky malému ztrátovému výkonu lze použít pouzdro TO-92 bez chladiče.

## 9.2 Návrh DPS modulu proudových zdrojů

Desku plošného spoje jsem navrhl co možná nejúsporněji spolu se zachováním přístupného osazování DPS součástkami. Jeden modul obsahuje 24 kusů SMD keramických kondenzátorů, 12 kusů regulátorů napětí a 16 svorek viz obrázek 9.2. Osvitová jednotka obsahuje čtyři moduly proudových zdrojů. Každý modul obsahuje dvanáct proudových zdrojů, z nichž každý proudový zdroj napájí čtyři UV LED diody. V součtu lze napájet 192 UV LED diod. V osvitové jednotce je použito 180 UV LED diod, takže tři moduly jsou plně obsazeny a jeden modul proudového zdroje je osazen jen ze  $\frac{3}{4}$ .



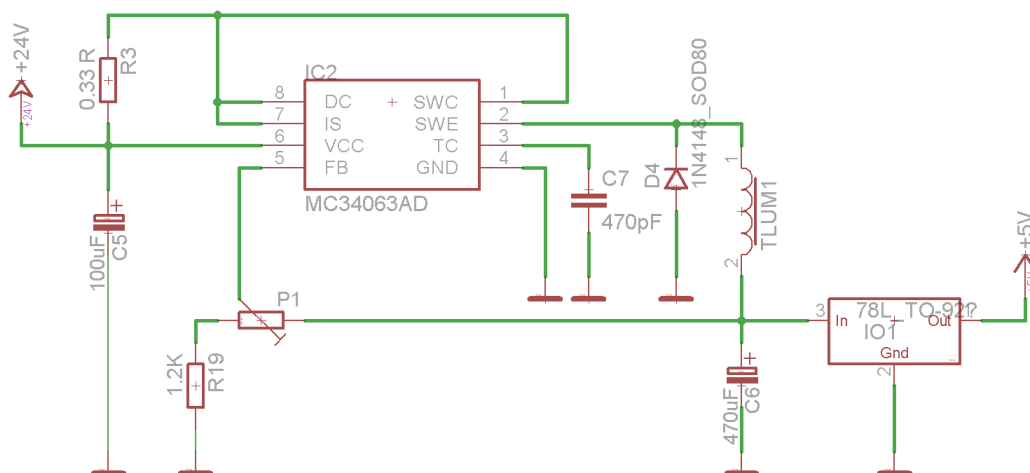
Obrázek 9.2 – DPS modulu proudových zdrojů

## 10 NÁVRH A VÝROBA OVLÁDACÍHO MODULU

Ovládací modul osvitové jednotky slouží pro celkovou kontrolu osvitové jednotky. DPS se skládá z několika částí, mezi které patří napájecí část, zobrazovací část, ovládací část, výkonová část, akustická část a mikropočítačová část.

### 10.1 Napájecí část

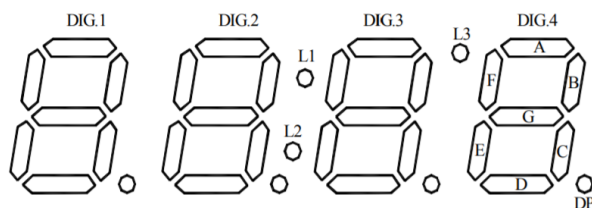
Zvolený zdroj napětí XK–2412DC dodává 24 V. K napájení ovládací části osvitové jednotky je zapotřebí stejnosměrného napětí o hodnotě 5 V. Ke snížení 24 V na 5 V jsem použil DC-DC step-down měnič s použitím regulátoru spínaného napětí MC34063AD. Zapojení regulátoru MC34063AD jsem převzal z datového listu (Alldatasheet, 2003-2017). Pro možnost regulace výstupního napětí jsem nahradil odpor R2 potenciometrem P1, kterým lze regulovat výstupní napětí viz obrázek 10.1.



Obrázek 10.1 – Step-down měnič zapojení

### 10.2 Zobrazovací část

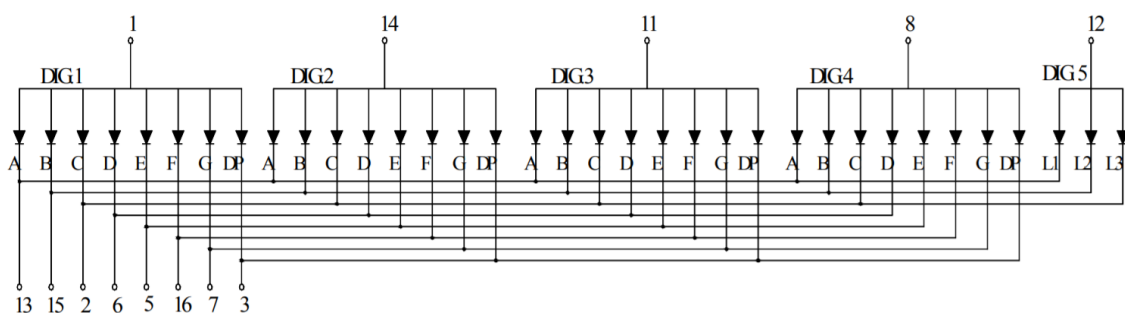
Nastavování doby osvitu probíhá na čtyřznakovém sedmi segmentovém displeji, který je nezbytný pro chod zařízení. Při nastavování času zobrazuje aktuálně nastavený čas. Při chodu jednotky zobrazuje zbývající čas, který zbývá do konce osvitu. První a druhý znak zobrazuje minuty, třetí a čtvrtý znak zobrazuje sekundy viz obrázek 10.2.



Obrázek 10.2 – Rozložení jednotlivých segmentů (SPECIFICATION. 2017)

### 10.2.1 Popis jednotlivých pinů displeje

Sedmi segmentový displej obsahuje 13 vývodů z nichž osm vývodů slouží pro aktivaci jednotlivých segmentů. Tyto vývody jsou paralelně připojeny ke všem znakům, který displej obsahuje. Čtyři vývody (DIG1; DIG4) slouží pro aktivaci jednotlivých znaků, bez těchto vývodů by displej zobrazoval stejná čísla na všech znacích. DIG5 slouží pro aktivaci doplňkových znaků viz obrázek 10.3.



Obrázek 10.3 – Jednotlivé vývody displeje (SPECIFICATION. 2017)

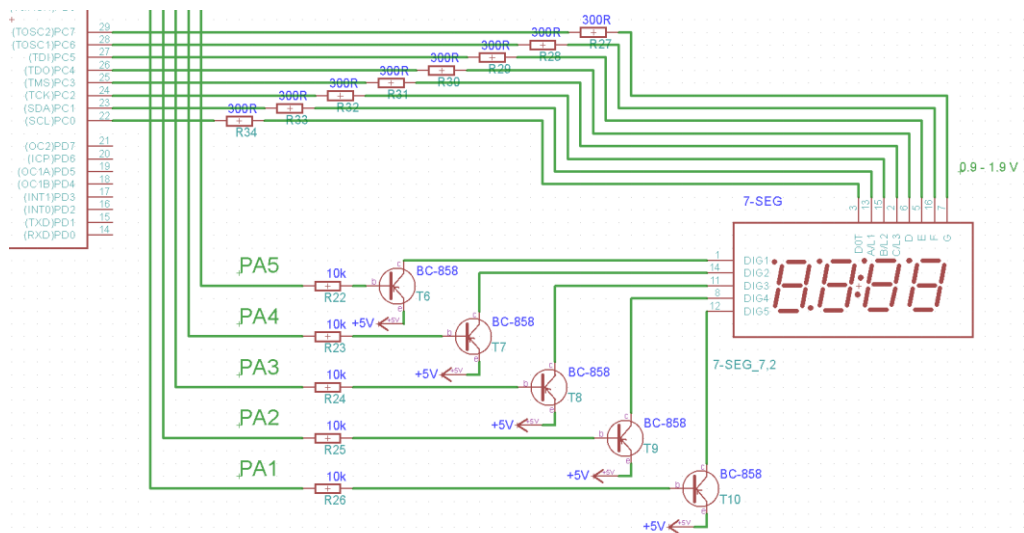
### 10.2.2 Ovládání displeje

Displej se ovládá pomocí binární kombinace daného čísla. Pro snadnější programování displeje jsem vytvořil tabulku, kde každé číslo obsahuje binární kombinaci, která po odeslání na Port C mikropočítače aktivuje dané segmenty zvoleného znaku viz tabulka 10.1.

Tabulka 10.1 – Tabulka binárních kombinací čísel

Binární kombinacdaného čísla	PortC 0-7	7-bit	6-bit	5-bit	4-bit	3-bit	2-bit	1-bit	0-bit	
	Segment:	G	F	E	D	C	B	A	DOT	
	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	2	0	1	0	0	1	0	0	1	1
	3	0	1	1	0	0	0	0	1	1
	4	0	0	1	1	0	0	1	0	1
	5	0	0	1	0	0	1	0	1	1
	6	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	7	1	1	1	1	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
9	0	0	1	0	0	0	0	0	1	

Aktivaci požadovaného znaku zajišťuje pět bipolárních tranzistorů (BC858). Použití tranzistoru jako spínače proudově nezatěžuje výstupy mikropočítače. Sepnutí určitého tranzistoru dodá požadovanému znaku napájení. Následně dojde k rozsvícení určitých segmentů podle výstupní binární kombinace na Portu C viz obrázek 10.4.



Obrázek 10.4 – Schéma zapojení sedmi segmentového displeje



### 10.2.3 Výpočet předřadného odporu

Napětí segmentu se pohybuje v rozmezí od 1 V do 2 V, v závislosti na právě zobrazovaném znaku.

Tabulka 10.2 – Parametry displeje

Značka	Hodnota	Popis
$V_{CC}$	5 V	napájecí napětí
$U_{SEG}$	1 V	úbytek napětí na segmentu
$I_{SEG}$	0,02 A	maximální přípustný proud segmentu

Aby nedošlo k poškození displeje, tak jsem pro výpočet předřadného odporu počítal s nižší hodnotou napětí

$$U_{R_p} = V_{CC} - U_{SEG} = 5 - 1 = 4 \text{ V}, \quad (10.1)$$

kde  $U_{R_p}$  – napětí na předřadném odporu, V.

$$R_p = \frac{U_{R_p}}{I_{SEG}} = \frac{4}{0,02} = 200 \Omega, \quad (10.2)$$

kde  $R_p$  – předřadný odpor,  $\Omega$ .

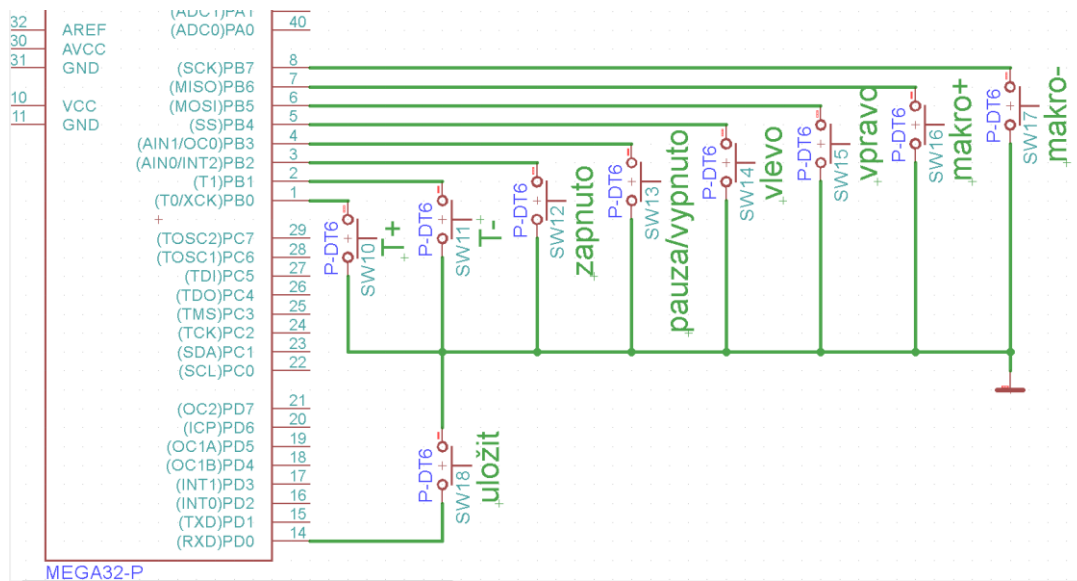
S vypočítaným odporem svítil displej zbytečně agresivně. Proto jsem zvolil předřadný odpor o hodnotě 300  $\Omega$ , s tímto odporem už displej svítil přiměřeně.

## 10.3 Ovládací část

K realizaci mechanické části jsem použil nevyužívanou tiskárnu, která již disponuje ovládacími prvky. Zachoval jsem původní tovární DPS, kterou jsem následně upravil pro své účely pomocí přemostění a vyrušení původních cest. Osvitovou jednotku lze ovládat za pomoci sady tlačítek a rotačního spínače.

### 10.3.1 Zapojení tlačítek

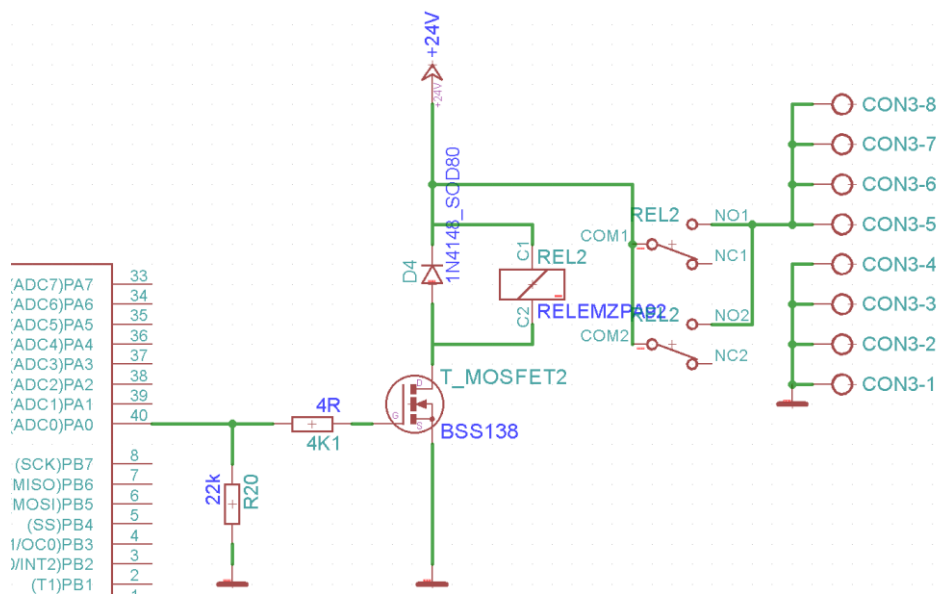
Tlačítka jsou připojena k portu B (PB0; PB7) a k portu D (PD0), všechny piny určené pro tlačítka jsou definované jako vstupní a je u nich povolen PULL-UP rezistor viz obrázek 10.5. Sepnutím tlačítka dojde ke změně logické úrovně na daném pinu (z log 1 na log 0).



Obrázek 10.5 – Schéma zapojení tlačítek

## 10.4 Výkonová část

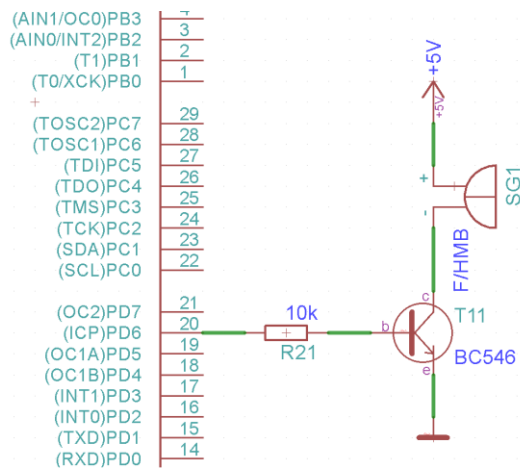
Pro spínání napájení UV LED diod jsem použil relé, jehož cívka potřebuje k chodu 24 VDC viz obrázek 10.6. Jelikož potřebné napětí pro cívku dodává napájecí zdroj, bylo zapotřebí pouze zajistit jeho řízené spínání. Pro tento účel jsem zvolil tranzistor N-MOSFET.



Obrázek 10.6 – Schéma zapojení relé

## 10.5 Akustická část

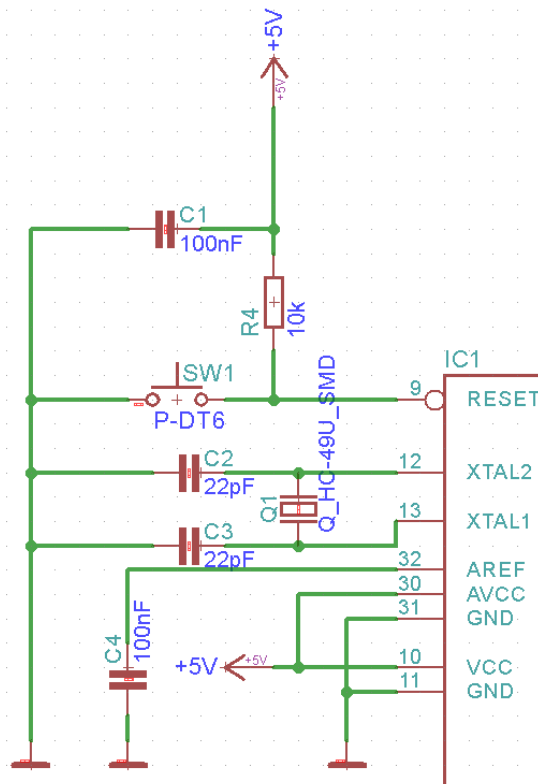
Pro ohlášení startu zařízení a konce osvitů jsem zvolil klasický magnetický bzučák, který je napájen 5 VDC a je ovládán bipolárním NPN tranzistorem viz obrázek 10.7.



Obrázek 10.7 – Schéma zapojení bzučáku

## 10.6 Mikropočítačová část

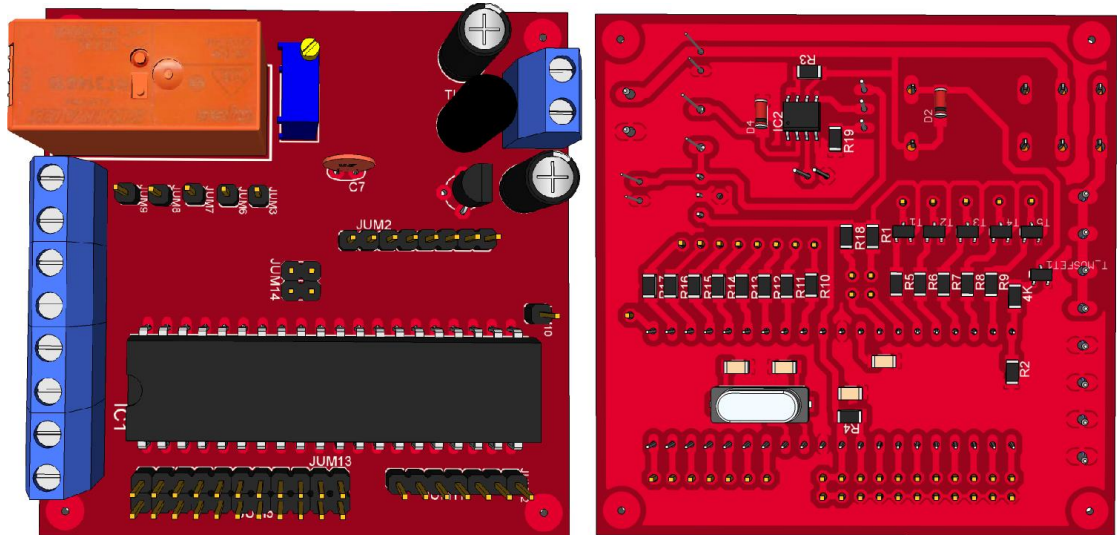
Základní zapojení spočívá v připojení resetovacího tlačítka, krystalu a napájení. Pro správný chod mikropočítače je důležitá hodnota kondenzátorů C2 a C3 viz obrázek 10.8. Při záměně hodnot kondenzátorů může dojít ke špatnému generování hodinového signálu. Doporučená hodnota se pohybuje od 12 pF do 22 pF.



Obrázek 10.8 – základní zapojení mikropočítače

## 10.7 Návrh DPS ovládacího modulu

Pro vizualizaci DPS před samotnou výrobou jsem vytvořil model ovládací jednotky v programu SketchUp viz obrázek 10.9. Desku plošného spoje jsem se snažil navrhnout co možná nejmenší, s ohledem na zachování dostatečných izolačních mezer.



Obrázek 10.9 – Model ovládacího modulu

## 11 SOFTWARE MIKROPOČÍTAČE

Software mikropočítače je nedílnou součástí osvitové jednotky a stará se o celkový chod zařízení. Program byl napsán v programovacím prostředí Bascom-AVR. Program mikropočítače se skládá z hlavního programu a sady podprogramů.

### 11.1 Hlavní program

Hlavní program osvitové jednotky z počátku definuje porty a proměnné, dále proběhne zvukové upozornění startu jednotky. Po zvukovém upozornění dojde k povolení přerušení a nastavení časovače. Hlavní smyčka programu obsahuje testování tlačítek, zobrazovací část a výpočet hodnot pro odpočet doby osvitů viz obrázek 11.1.



Obrázek 11.1– Vývojový diagram hlavního programu

### 11.1.1 Zvukové upozornění

Zvukové upozornění jsem naprogramoval pomocí příkazu Sound. Jednotlivé tóny jsem čerpal z tabulky tónů viz obrázek 11.2.

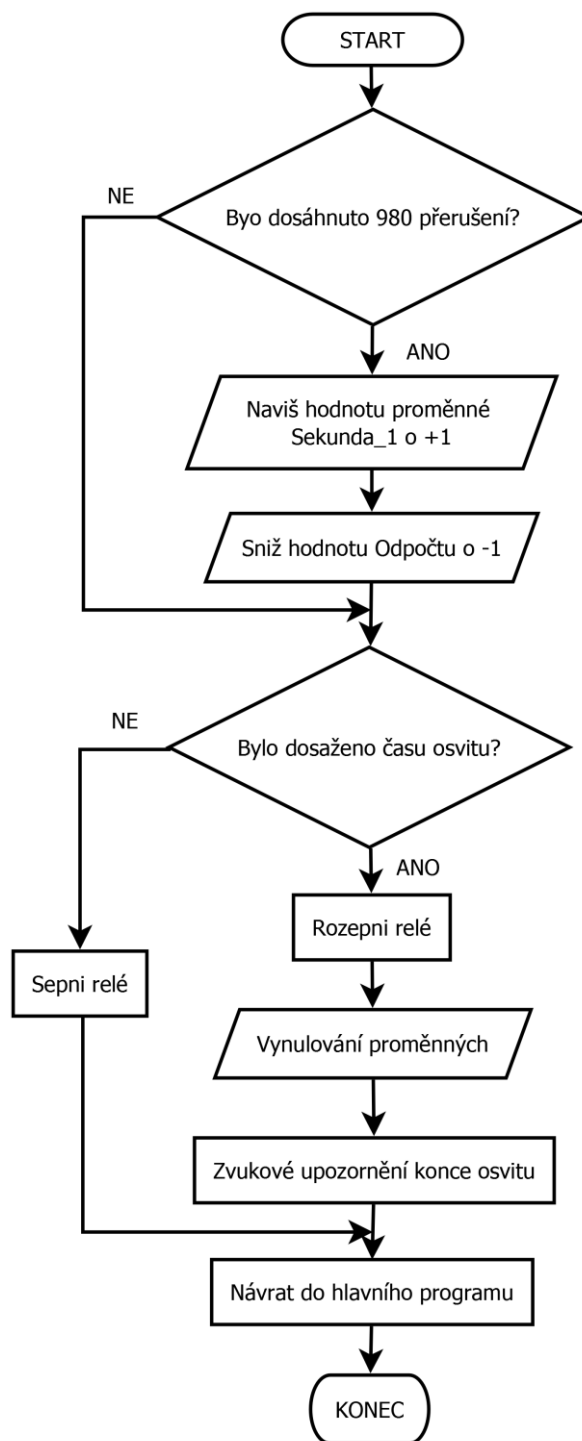
- Syntaxe příkazu: Sound pin, duration, pulses
- Příklad příkazu: Sound Speaker , 92 , 90 'Fis2(1/16)

Note	Frequency	Periods	Pulses 1/1	Pulses 1/2	Pulses 1/4	Pulses 1/8	Pulses 1/16
' C1	261,63	2548	523	262	131	65	33
'Cis1	277,18	2405	554	277	139	69	35
' D1	293,66	2270	587	294	147	73	37
'Dis1	311,13	2143	622	311	156	78	39
' E1	329,63	2022	659	330	165	82	41
' F1	349,23	1909	698	349	175	87	44
'Fis1	369,99	1802	740	370	185	92	46
' G1	392,00	1701	784	392	196	98	49
'Gis1	415,30	1605	831	415	208	104	52
' A1	440,00	1515	880	440	220	110	55
'Ais1	466,16	1430	932	466	233	117	58
' B1	493,88	1350	988	494	247	124	62
' C2	523,25	1274	1047	523	262	131	65
'Cis2	554,36	1203	1109	554	277	139	69
' D2	587,32	1135	1175	587	294	147	73
'Dis2	622,26	1071	1245	622	311	156	78
' E2	659,26	1011	1319	659	330	165	82
' F2	698,46	954	1397	698	349	175	87
'Fis2	739,98	901	1480	740	370	185	92
' G2	784,00	850	1568	784	392	196	98
'Gis2	830,60	803	1661	831	415	208	104
' A2	880,00	758	1720	880	440	220	110
'Ais2	932,32	715	1865	932	466	233	117
' B2	987,75	675	1976	988	494	247	124
' C3	1046,50	637	2093	1047	523	262	131
'Cis3	1108,70	601	2218	1109	554	277	139
' D3	1174,60	566	2350	1175	587	294	147
'Dis3	1244,50	536	2490	1245	622	311	156
' E3	1318,50	483	2638	1319	659	330	165
' F3	1396,90	477	2794	1397	698	349	175
'Fis3	1480,00	450	2960	1480	740	370	185
' G3	1568,00	425	3136	1568	784	392	196
'Gis3	1661,20	401	3322	1661	831	415	208
' A3	1720,00	388	3440	1720	880	440	220
'Ais3	1864,60	358	3730	1865	932	466	233
' B3	1975,50	337	3952	1976	988	494	247

Obrázek 11.2 – Tabulka tónů (RUBASHKA, 2007)

### 11.1.2 Nastavení přerušování a časovače

Pro odpočet času používám 8 bitový čítač/časovač. Pro můj účel je tento způsob měření času dostatečně přesný a jednoduše proveditelný.



Obrázek 11.3 – Měření času pomocí přerušení

Nastavení časovače nevyžaduje složité výpočty. Jediné, co je v mém případě třeba zvolit, je parametr děličky viz obrázek 11.4. Hodnotu děličky jsem nastavil na 64, tato hodnota zajistí přiměřený počet přerušení programu během jedné sekundy. S nastavenou děličkou je zapotřebí spočítat frekvenci přerušení

$$f = \frac{f_{CPU}}{P_{CK} \times MaxVal} = \frac{16000000}{64 \times 256} = 976,562 \text{ Hz}, \quad (11.1)$$

kde  $f$  – výstupní kmitočet, Hz,

$f_{CPU}$  – hodnota hodinového taktu mikropočítače, Hz,

$P_{CK}$  – dělicí poměr,

$MaxVal$  – maximální hodnota čítače.

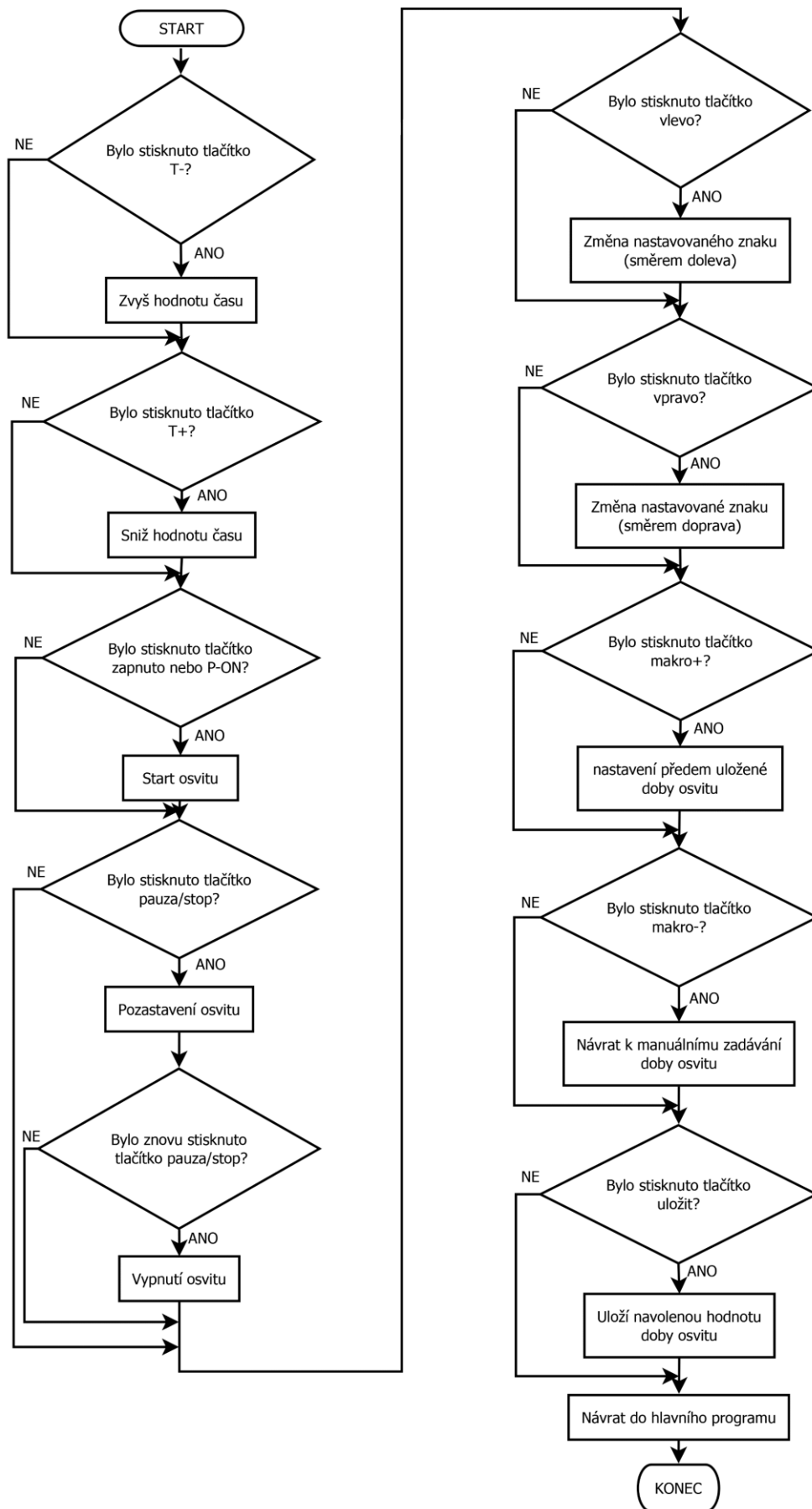
```
Config Timer0 = Timer , Prescale = 64
On Timer0 Ticktock
Enable Interrupts
Enable Timer0
```

Obrázek 11.4 – Nastavení časovače

### 11.1.3 Testování tlačítek

Obsluhu zařízení provádím pomocí periodického testování tlačítek ve smyčce hlavního programu. Každé tlačítko po jeho stisknutí přesměruje běh programu do příslušného podprogramu viz obrázek 11.5.

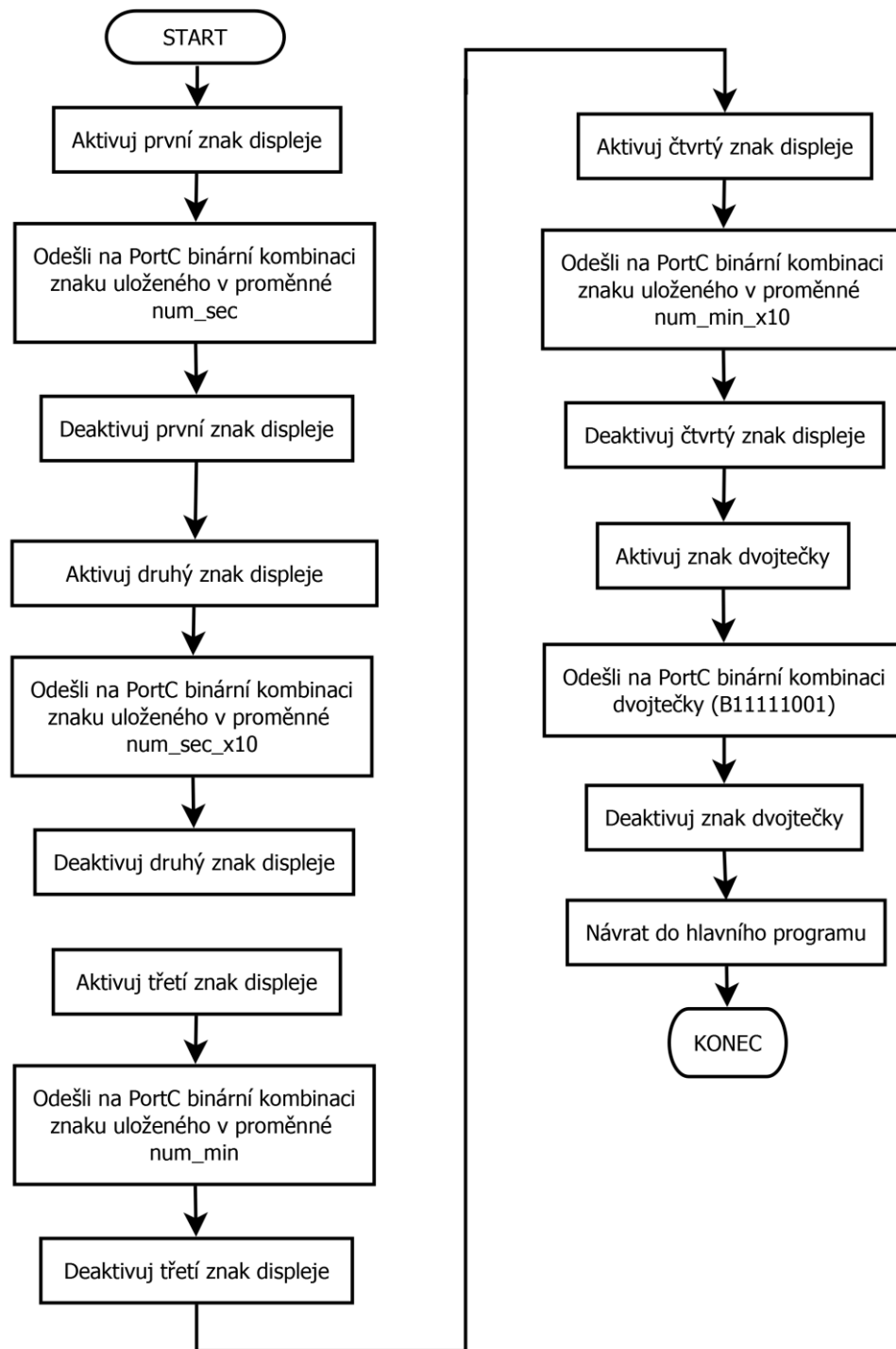




Obrázek 11.5 – Vývojový diagram testování tlačítek

### 11.1.4 Zobrazení doby osvitu

Zobrazení aktuální doby osvitu je nezbytné pro nastavení požadované doby osvitu viz obrázek 11.6. Tato část programu slouží pro zobrazení jak aktuálního nastavovaného času, tak i pro zobrazení zbývajících času do konce osvitu.



Obrázek 11.6 – Vývojový diagram zobrazovací části programu

### 11.1.5 Výpočet hodnot pro odpočet

Výpočet hodnot pro odpočet probíhá pomocí sady výpočtů, které probíhají v hlavní smyčce programu viz obrázek 11.7. Pro zobrazení zbývajících času je zapotřebí separovat čísla pro jednotlivé znaky displeje. S časem je počítáno v sekundách, proto je nutné jej pro zobrazení na displej vhodně přepočítat. Výpočty provádím pomocí příkazu MOD a příkazem dělení (/). MOD vrací zbytek po celočíselném dělení. A příkaz dělení (/) vrací počet možných dělení daným číslem.

Příklad výpočtu pro zobrazení času 22 min a 15 s (odecet = 1335 s)

$$\text{Minuta}_x10 = \text{odecet} / 600 = 1335 / 600 = 2 \text{ min}, \quad (11.2)$$

kde  $\text{Minuta}_x10$  – počet minut pro první znak displeje, s.

$$\text{Sekundy} = \text{odecet} \text{ MOD } 60 = 1335 \text{ MOD } 60 = 15 \text{ s}, \quad (11.3)$$

kde  $\text{Sekundy}$  – pomocná proměnná pro výpočet sekund, s.

$$\text{Minuty} = \text{odecet} / 60 = 1335 / 60 = 22 \text{ min}, \quad (11.4)$$

kde  $\text{Minuty}$  – pomocná proměnná pro výpočet minut, min.

$$\text{Sekunda} = \text{sekundy} \text{ MOD } 10 = 15 \text{ MOD } 10 = 5 \text{ s}, \quad (11.5)$$

kde  $\text{Sekunda}$  – počet sekund pro čtvrtý znak displeje, s.

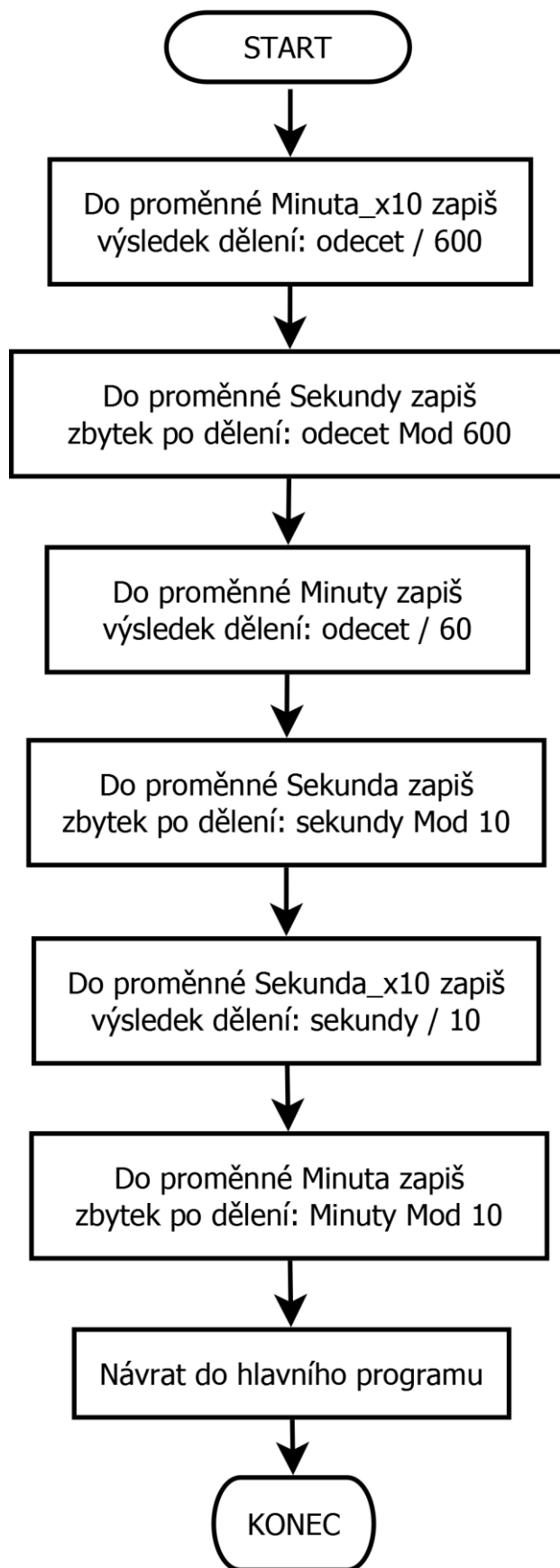
$$\text{Sekunda}_x10 = \text{sekundy} / 10 = 15 / 10 = 1 \text{ s}, \quad (11.6)$$

kde  $\text{Sekunda}_x10$  – počet sekund pro třetí znak displeje, s.

$$\text{Minuta} = \text{Minuty} \text{ MOD } 10 = 22 \text{ MOD } 10 = 2 \text{ min}, \quad (11.7)$$

kde  $\text{Minuta}$  – počet minut pro druhý znak displeje, min.

Po odeslání těchto výpočtů na Port C, sedmi segmentový displej zobrazí na prvním znaku zobrazovat číslo 5. Druhý znak bude zobrazovat číslo 1, čtvrtý a třetí znak bude zobrazovat číslo 2. Výsledný čas bude 22 min a 15 s.



Obrázek 11.7 – Vývojový diagram výpočtu odpočtu

## 12 ZHODNOCENÍ

Osvitovou jednotkou lze vyexponovat plošný spoj až o velikosti  $210 \times 297$  mm. Doba osvitů lze nastavit od 1 s do 99 min a 59 s.

Automatický režim požaduje nastavení doby osvitů, který probíhá pomocí rotačního spínače nebo vyvoláním předem uloženého času. Doba osvitů závisí především na použitých materiálech pro tvorbu DPS. Fotocitlivý materiál má výrobcem stanovenou doporučenou dobu osvitů. Doporučená doba je u každého výrobce jiná, proto nelze stanovit univerzální dobu osvitů k mé osvitové jednotce. Pro výrobu DPS používám plošné spoje od výrobce jménem BUNGARD, který doporučuje dobu osvitů 120 sekund. Při tvorbě DPS jsem doporučenou dobu osvitů prodloužil o 45 s. Doba osvitů 2 min a 45 s umožní rovnoměrné vyvolání a zajistí kvalitní vyleptání DPS.

Sedmi segmentový displej zobrazuje aktuálně nastavovaný čas. Po dokončení nastavení doby osvitů a startu zařízení, sedmi segmentový displej zobrazuje zbývající čas do konce osvitů. Konec osvitů je doprovázen zvukovým upozorněním.

Tabulka 12.1 – Parametry osvitové jednotky

Název	Hodnota
Napájecí napětí osvitové jednotky	230 V
Příkon osvitové jednotky	30 W
Rozměry osvitové jednotky (šířka × výška × hloubka)	45 × 15 × 36 cm
Hmotnost osvitové jednotky	6 kg

K sestrojení osvitové jednotky bylo zapotřebí celkem 449 elektronických součástek.

## 13 ZÁVĚR

Požadované vlastnosti osvitové jednotky byly bezpodmínečně splněny. Osvitová jednotka je více vhodná pro tvorbu prototypů. Při sériové výrobě bych doporučil jakýkoli model osvitové jednotky, který disponuje vakuovou komorou. Výsledná kvalita DPS nejvíce závisí na přitisknutí předlohy k DPS. Vakuová komora zajistí dokonalé přitisknutí předlohy a umožní přesné osvětlení fotocitlivého materiálu.

Jediný nedostatek mého návrhu osvitové jednotky, na který jsem při vývoji narazil, vznikl v ovládacím modulu. Při ladění programu jsem se často neobešel bez zabudovaných tlačítek, a tak jsem musel několikrát vyndávat mikropočítač z patice. Tento postup může zapříčinit budoucí problémy s jednotkou. Vzniklé opotřebení patice a nožiček mikropočítače může způsobit špatný kontakt pinů s paticí a tím vyvolat nepředvídatelný chod zařízení. Řešením by bylo do návrhu přidat USB komunikační rozhraní, které by pomocí počítače umožnilo naprogramovat mikropočítač bez nutnosti jej vyjmout.

Další možností, jak odstranit problém s dodatečným naprogramováním, by bylo opatřit zařízení ISP portem a programovat mikropočítač pomocí AVR programátoru.

Při dalším vývoji osvitové jednotky bych se zaměřil na minimalizaci rozměrů jednotky spolu se zachování velikosti pracovní plochy. Dále bych nahradil stávající ovládací prvky za rotační enkodér a kapacitní dotykové tlačítka.

## LITERATURA

- ABCDIMENZE. 2007. Usměrňovače. [online]. *ABCDIMENZE* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://abcdimenze.wz.cz/elektronika/usmernovace.html>.
- ALLDATASHEET. 2003-2017. MC34063AD Datasheet (PDF). [online]. *Electronic Components Datasheet Search* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12070/ONSEMI/MC34063AD.html?>
- ATMEL CORPORATION. 2016. ATmega32A. [online]. *Atmel* [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf).
- ČISTÉ NEBE. 2017. Přízemní ozon O<sub>3</sub>. *Čisté nebe* [online]. [cit. 21. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.cistenebe.cz/stav-ovzdusi-na-ostravsku/slovnicek-pojmu/223-prizemni-ozon-o3>.
- EBAY. 2017. AC 100-240V to DC 24V. [online]. *Ebay* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/AC-100-240V-to-DC-24V-4A-6A-switching-power-supply-module-AC-DC-HOT-/192076009055?hash=item2cb89f4e5f>.
- EBAY. 2017. CH\_Star Electronic. [online]. *Ebay* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: [img.com/imahttps://i.ebayges/g/gIgAAOSwBLIVdrHO/s-1500.jpg](http://img.com/imahttps://i.ebayges/g/gIgAAOSwBLIVdrHO/s-1500.jpg)
- ELEKTROTECHNIKA. 2008. Deska plošných spojů. [online]. *ET-počítačové systémy* [cit. 19. 4. 2017]. Dostupné z: [http://www.et-pocitacovesystemy.wz.cz/elektronicke\\_materialy/deska\\_plos\\_spoju.html](http://www.et-pocitacovesystemy.wz.cz/elektronicke_materialy/deska_plos_spoju.html).
- HORDĚJČUK, V. 2008-2017. Počítač. [online]. *Systémová architektura* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://voho.eu/wiki/pocitac/>.
- LIGHT PARK. 2017. OSRAM QT-ECO 1x4-16//220-240. [online]. *Předradníky a trať* [cit. 20. 4. 2017]. Dostupné z: [http://shop.lightpark.cz/osram-qt-eco-1x4-16-220-240-s-quicktronic-economic-elektronicky-predradnik/d-106646/?gclid=CM\\_07MeguNMCFCuGwod5ikJjA](http://shop.lightpark.cz/osram-qt-eco-1x4-16-220-240-s-quicktronic-economic-elektronicky-predradnik/d-106646/?gclid=CM_07MeguNMCFCuGwod5ikJjA).
- NETTING, R. 2007. Ultraviolet Waves. *The electromagnetic Spectrum* [online]. Spojené Státy Americké. [cit. 22. 4. 2017]. Dostupné z: <https://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/uv.html>.
- NEVAŘIL, J. 2014. Elektromagnetické relé. [online]. *Učíme v prostoru: Encyklopedie-rodinný dům* [cit. 25.6. 2017]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/dum/?page\\_id=2619](http://uvp3d.cz/dum/?page_id=2619).
- OLIVKA, P. 2010. *Procesory CISC a RISC*. [online]. VŠB-TU Ostrava. [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/arp/down/procrisc.pdf>.
- REICHL, J.; VŠETIČKA, M. 2006-2017. Rentgenové záření. [online]. *Encyklopedie fyziky* [cit. 22. 4. 2017]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/index.php/main.article/view/540-rentgenove-zareni>.
- RUBASHKA, V. 2007. Digital Melody Player. [online]. *MCS electronics: embedded systems basic compilers development* [cit. 22.7. 2017]. Dostupné z: [https://www.mcselec.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=221&Itemid=57](https://www.mcselec.com/index.php?option=com_content&task=view&id=221&Itemid=57).
- SPECIFICATION. 2017. ATmega32A. [online]. *TME* [cit. 28. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/f1d596fde6f8ecca0c3621c2651bf34a/LFD028BAG-103.pdf>.

- ŠUBRT, V. 2002. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: vývoj aplikací*. Praha: Ben-technická literatura. 96 s. ISBN 80-7300-055-5.
- UV-VÝBOJKY. 2017. UV lampy. [online]. *UV-lampy: vytvrzování, dezinfekce* [cit. 22. 4. 2017]. Dostupné z: <http://uv-vybojky.cz/>.
- VÝROBA DPS. 2017. Oboustranná osvitová jednotka s vakuem AZ326. [online]. *Výroba DPS: zařízení a materiály pro výrobu nejen DPS* [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z: <https://www.vyroba-dps.cz/Oboustranna-osvitova-jednotka-s-vakuem-AZ326-d41.htm>.
- VÝROBA-DPS. 2013. Nanesení fotorezistu pomocí laminace. [online]. *Výroba plošných spojů a leptání materiálů* [cit. 19. 4. 2017]. Dostupné z: [http://vyroba-dps.blogspot.cz/2013/03/naneseni-fotorezistu-pomoci-laminace\\_14.html](http://vyroba-dps.blogspot.cz/2013/03/naneseni-fotorezistu-pomoci-laminace_14.html).
- VÝVOJ.HW. 2007. Spínané zdroje. [online]. *Vývoj.hw.cz: profesionální elektronika* [cit. 25. 4. 2017]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>.
- WIKIPEDIA. 2017. Ultraviolet. [online]. *Wikipedia: the free encyclopedia* [cit. 22. 4. 2017]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>.
- WIKIPEDIE. 2016. Elektromagnetické spektrum. [online]. *Encyklopedie: otevřená encyklopedie* [cit. 24. 4. 2017]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_spektrum](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum).
- ZAROVKY-SVITIDLA. 2017. UV zářivka T5/4W pro lapač hmyzu UV-A. [online]. *Zářivky UV* [cit. 21. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.zarovsky-svitidla.cz/uv-zarivka-t5-4w-pro-lapac-hmyzu-uv-a,1579.html>.



# **PŘÍLOHY**

**A – CD**

**B – Uživatelský manuál**

**C – Schémata zapojení, DPS a seznamy součástek**

**Příloha k bakalářské práci**

OSVITOVÁ JEDNOTKA PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ

Tomáš Branda

**CD**

## **Obsah**

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF
- 2 Úplný zdrojový kód aplikace
- 3 Schémata zapojení a desky plošných spojů v programu EAGLE
- 4 Fotodokumentace osvitové jednotky

**Příloha k bakalářské práci**

OSVITOVÁ JEDNOTKA PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ

Tomáš Branda

**UŽIVATELSKÝ MANUÁL**

## **Obsah**

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	B - 2
1 OVLÁDÁNÍ.....	B - 3
1.1 Popis funkcí tlačítek.....	B - 3

## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1.1 – Rozvržení ovládacích prvků.....**B - 3**

# 1 OVLÁDÁNÍ OSVITOVÉ JEDNOTKY

Osvitovou jednotku lze ovládat pomocí sady tlačítek a rotačního spínače.



Obrázek 1.1 – Rozvržení ovládacích prvků

## 1.1 Popis funkcí tlačítek

- vlevo – Toto tlačítko mění pozici nastavovaného znaku směrem doleva. Při každém spuštění osvitové jednotky je vždy výchozím znakem nejnižší počet sekund. Pro orientaci na displeji nám slouží segmenty (indikace segmentu), které svítí u aktuálně nastavovaného znaku.
- vpravo – Toto tlačítko mění pozici nastavovaného znaku směrem doprava.
- T-/T+ – Rotační spínač zvyšuje nebo snižuje hodnotu ve zvoleném znaku. Dobu osvitu lze nastavit v intervalu od 1 s do 99 min a 59 s. Výchozí nastavení doby osvitu je 00:00.
- makro-/makro+ – Tlačítkem makro+ lze vyvolat přednastavenou dobu osvitu. Stiskem tlačítka makro- se lze vrátit do ručního nastavení doby osvitu.

- zapnuto – Tlačítko zapnuto spustí osvit. Po uplynutí času se osvit sám zastaví. Informace o probíhající osvitě zajišťuje dvojice indikačních LED diod (L1, L2). Zeleně svítící dioda L1 představuje probíhající osvit. Oranžově svítící dioda indikuje nečinnost zařízení.
- pauza/vypnuto – Při jednom stisknutí tlačítka lze pozastavit probíhající osvit (pro pokračování v osvitě slouží tlačítko zapnuto). Při opětovném stisknutí tlačítka dojde k zastavení osvitě a následném vynulování doby osvitě.
- P-ON – Toto tlačítko slouží k zapnutí nepřetržitého osvitě. Opětovné stisknutí tlačítka vypne osvit.



**Příloha k bakalářské práci**

OSVITOVÁ JEDNOTKA PRO VÝROBU PLOŠNÝCH SPOJŮ

Tomáš Branda

**SCHÉMATA ZAPOJENÍ A SEZNAMY SOUČÁSTEK**

## **Obsah**

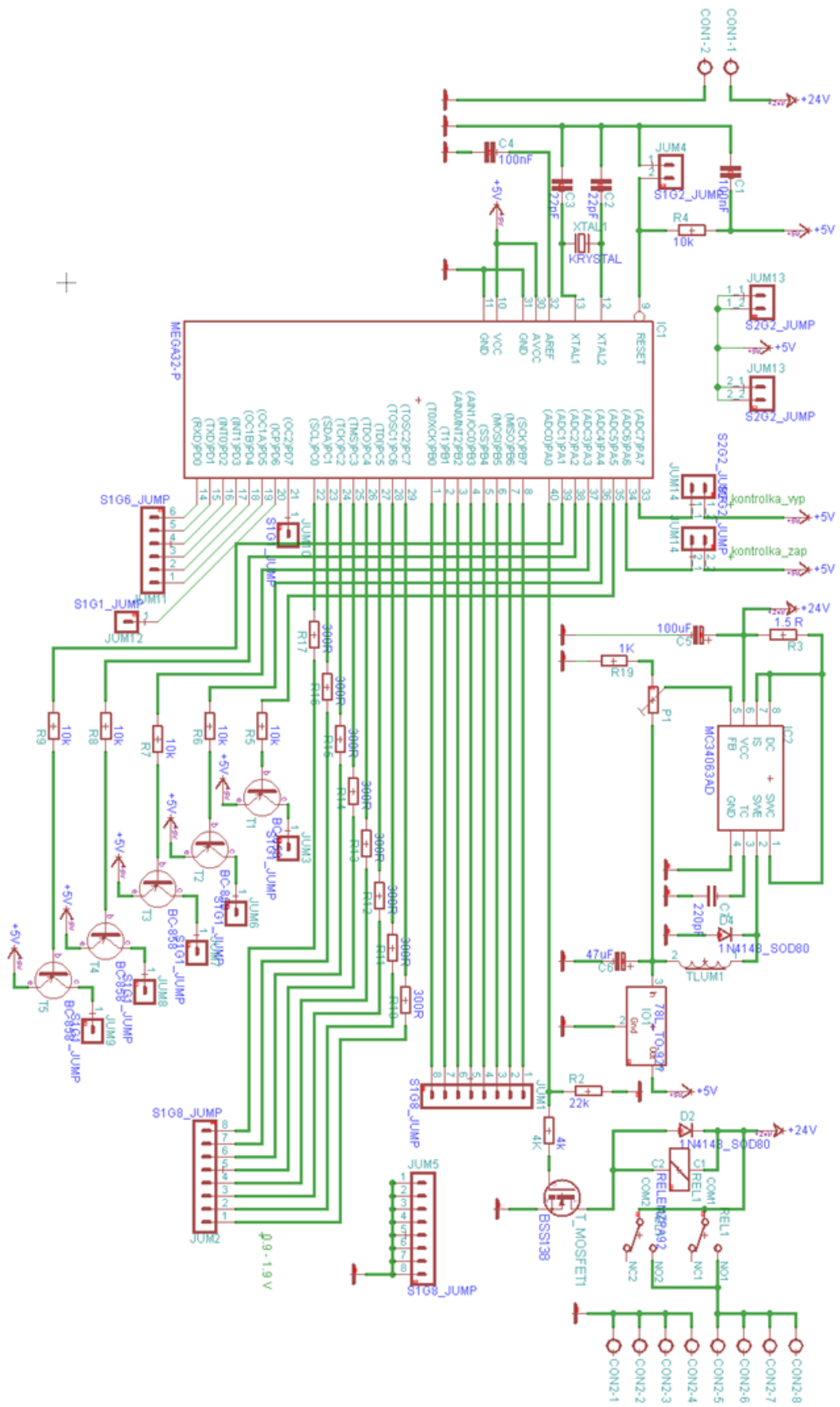
Seznam tabulek .....	C - 2
Seznam obrázků .....	C - 3

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 – Seznam použitých součástí na ovládacím modulu .....	C - 5
Tabulka 2 – Seznam použitých součástí na modulu proudových zdrojů .....	C - 7
Tabulka 3 – Seznam použitých součástí na osvitových modulech .....	C - 9

## Seznam obrázků

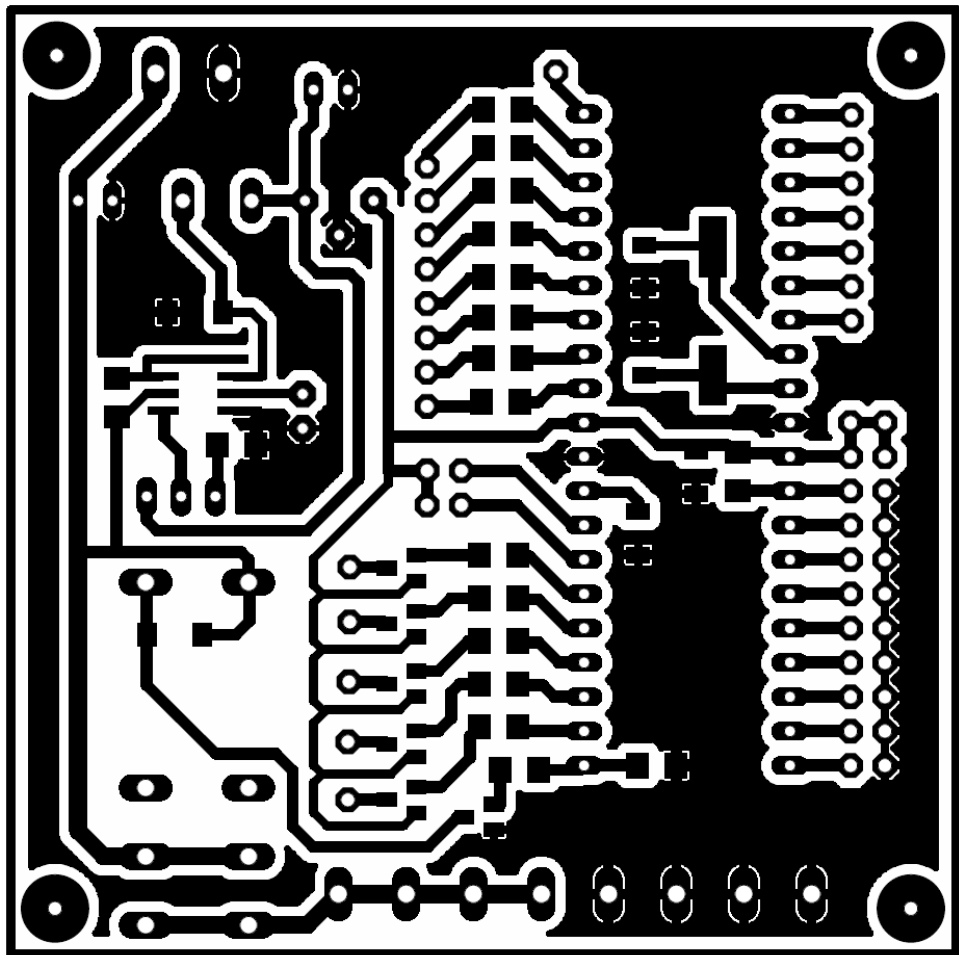
Obrázek 1 – Schéma ovládacího modulu .....	C - 4
Obrázek 2 – DPS ovládacího modulu .....	C - 6
Obrázek 3 – Schéma zapojení části proudového zdroje .....	C - 7
Obrázek 4 – DPS proudových zdrojů .....	C - 8
Obrázek 5 – Sémata zapojení osvitových modulů .....	C - 9
Obrázek 6 – DPS Osvitového modulu .....	C - 10
Obrázek 7 – DPS menších osvitových modulů .....	C - 11



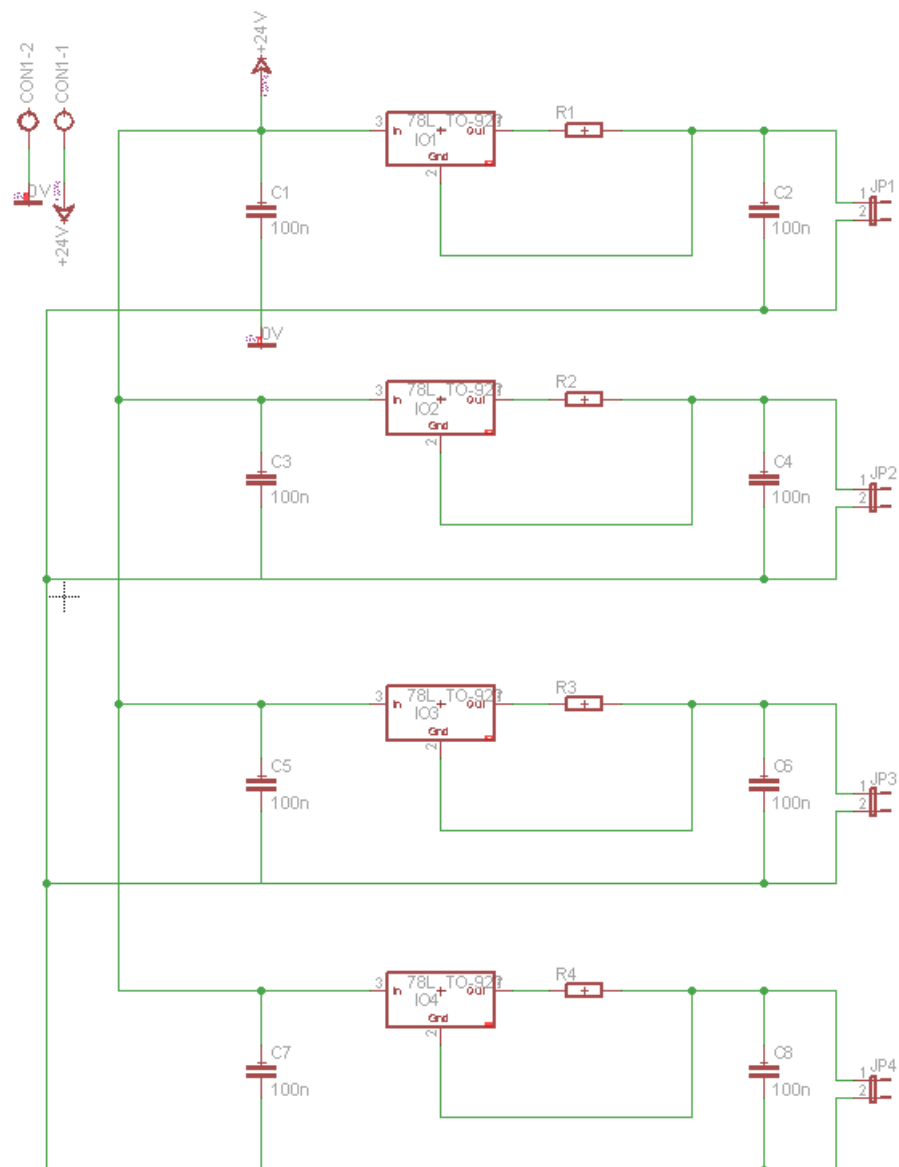
Obrázek 1 – Schéma ovládacího modulu

Tabulka 1 – Seznam použitých součástek na ovládacím modulu

Označení	Hodnota(Typ)	Pouzdro	Počet	Popis
C4, C1	100 nF	∅5 x 11 mm	2	Elektrolytický kondenzátor
C2, C3	22 pF	1206	2	Keramický kondenzátor
C5	100 uF	1206	1	Keramický kondenzátor
C7	220 pF	THT 2,54 mm	1	Keramický kondenzátor
C6	47 uF	1206	1	Keramický kondenzátor
KRYSTAL	SMDHC49S	HC49SM	1	Krystal
R4-R9	10 KΩ	1206	6	Rezistor
R3	1,5 Ω	1206	1	Rezistor
R19	1 KΩ	1206	1	Rezistor
R2	22 KΩ	1206	1	Rezistor
R4	4 KΩ	1206	1	Rezistor
R10-R17	300 Ω	1206	8	Rezistor
D2,D4	1N4148	1206	2	Dioda
P1	10 KΩ	3296X-1	1	Potenciometr
IO1	78L05	TO-92	1	Lineární stabilizátor napětí
IC2	MC34063AD	SO08	1	Spínaný regulátor napětí
T1-T5	BC-858	SOT-23	5	Tranzistor
T_MOSFET1	BSS-138	SOT-23	1	Tranzistor
REL1	RT424024	DPDT	1	Relé
IC1	Atmega32a- pu	DIP40	1	Mikropočítač
JUM1, JUM2, JUM5	8-pin	2,54 mm	3	Kontakťová lišta
JUM4, JUM13, JUM14	2-pin	2,54 mm	4	Kontakťová lišta
JUM10, JUM12, JUM3, JUM6-JUM9	1-pin	2,54mm	7	Kontakťová lišta
CON1	2-pin	5 mm	5	Šroubovací svorka



Obrázek 2 – DPS ovládacího modulu

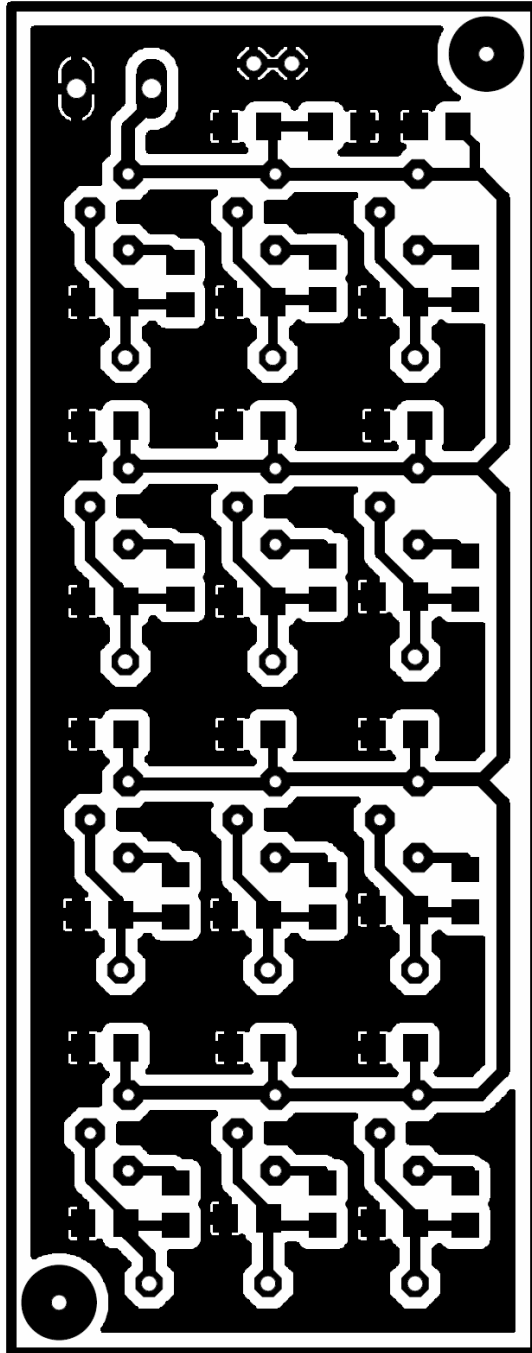


Obrázek 3 – Schéma zapojení části proudového zdroje

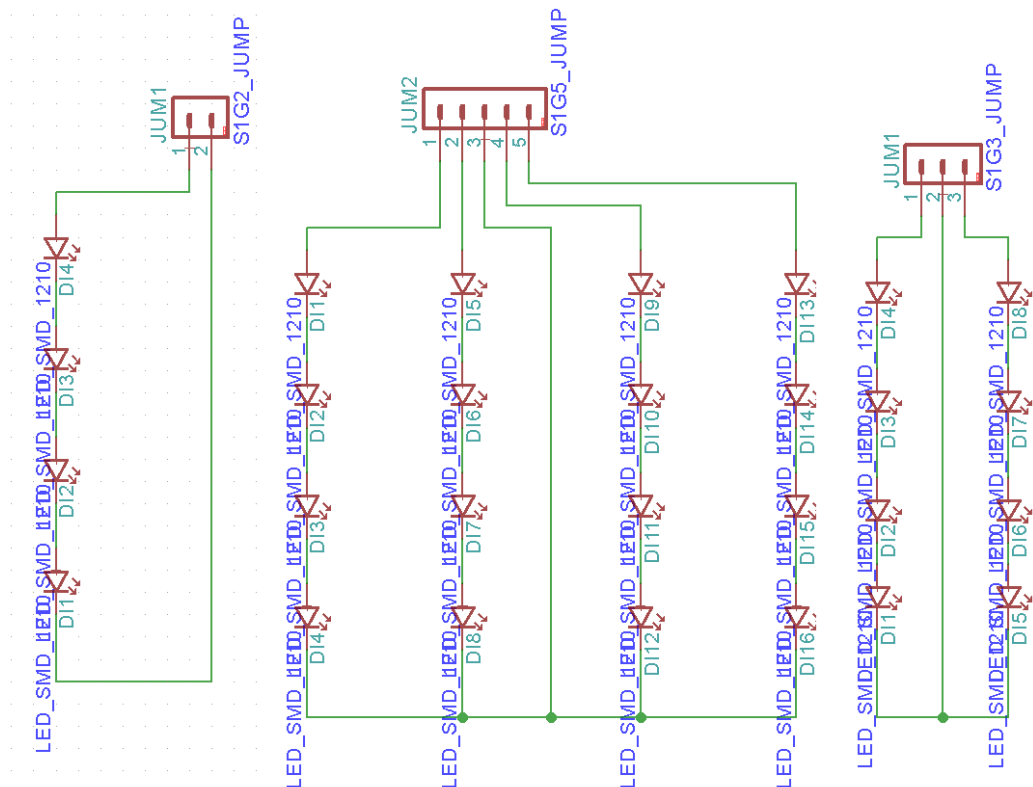
Tabulka 2 – Seznam použitých součástek na modulu proudových zdrojů

Označení	Hodnota (Typ)	Pouzdro	Počet v jednom modulu	Počet ve čtyřech modulech	Popis
C1-C24	100 nF	1206	24	96	Keramický kondenzátor
IO1-IO12	WS78L09	TO-92	12	48	Lineární stabilizátor napětí
JP1-JP12	2-pin	2,54 mm	12	48	Kontaktní lišta
CON1	2-pin	5 mm	1	4	Šroubovací svorka





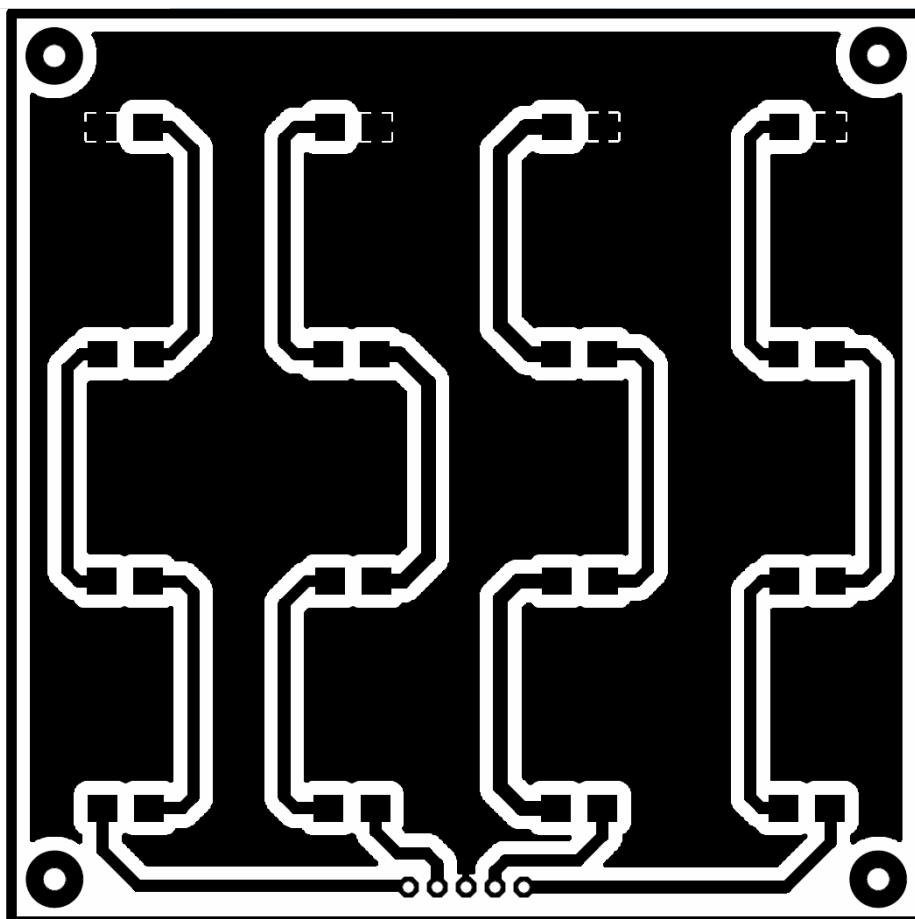
Obrázek 4 – DPS proudových zdrojů



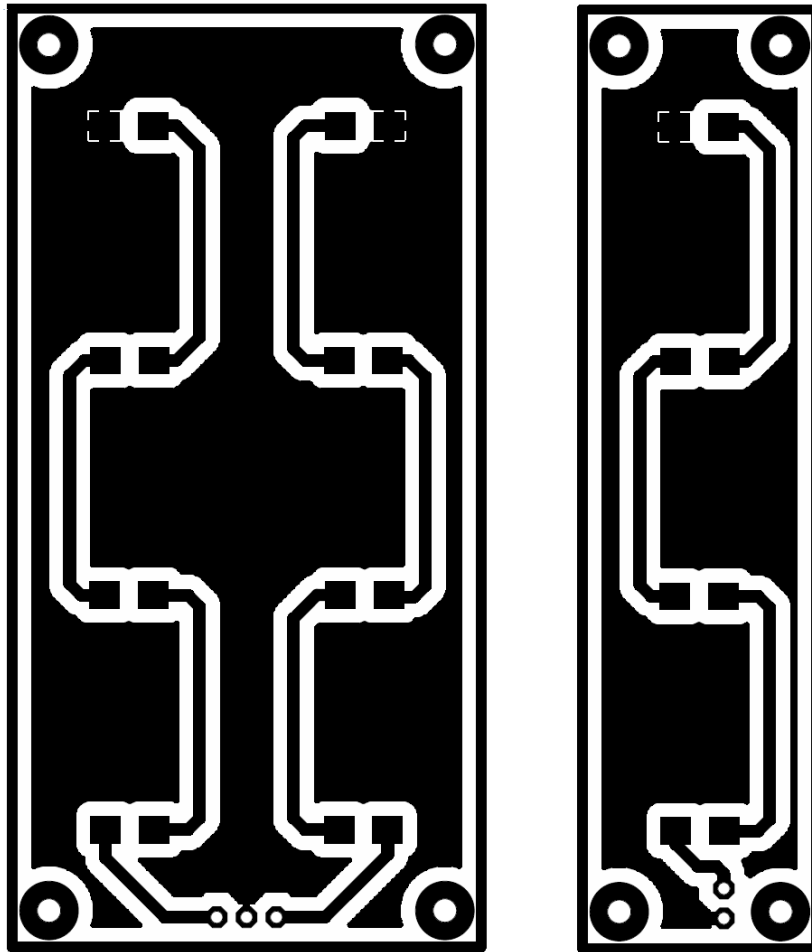
Obrázek 5 – Sémata zapojení osvitových modulů

Tabulka 3 – Seznam použitých součástek na osvitových modulech

Označení	Hodnota (Typ)	Pouzdro	Počet v jednom modulu	Počet ve všech modulech	Popis
D1-D16	PLCC-2	1210	4 ÷ 16	180	Keramický kondenzátor
JP1-JP12	2-pin	2,54 mm	1	3	Kontakťová lišta
JP1-JP12	3-pin	2,54 mm	1	3	Kontakťová lišta
JP1-JP12	5-pin	2,54 mm	1	9	Kontakťová lišta



Obrázek 6 – DPS Osvitového modulu



Obrázek 7 – DPS menších osvitových modulů