

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY A STROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Digitální časomíra řízená mikroprocesorem

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel GROSS**
Osobní číslo: **E18B0058P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Digitální časomíra řízená mikroprocesorem**
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

Navrhněte a realizujte digitální časomíru pro účely měření času při závodech do vrchu.

1. Zvolte vhodnou platformu s mikroprocesorem pro účely digitální časomíry.
2. Vyhledejte pro zvolenou platformu a účel použití vhodné senzory pro automatické spouštění časomíry.
3. Navrhněte časomíru napájenou ze síťového napájení 230 V / 50 Hz.
4. Realizujte navrženou časomíru jako kompaktní zařízení.
5. Zhodnoťte parametry realizované časomíry.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Pinker J.: Mikroprocesory a mikropočítače. BEN – technická literatura, 2004. ISBN: 80-7300-110-1.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Kubík, Ph.D.**
Katedra elektroniky a informačních technologií

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan





Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

Anotace

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací digitální časomíry pro závod traktorů do vrchu. V práci je popsána daná problematika a jednotlivé části nezbytné pro chod celého měřicího systému. Při výrobě je kladen důraz na jednoduché ovládání a kompaktnost finálního zařízení.

Klíčová slova

Digitální časomíra, bezdrátová komunikace, 7-segmentový displej, světelné závory, mikrokontrolér

Annotation

The presented bachelor thesis deals with the design and implementation of a digital timekeeper for the hill climb race of tractors. The work describes the issue and the individual parts necessary for the operation of the entire measuring system. During production, emphasis is placed on simple operation and compactness of the final device.

Keywords

Digital timekeeper, wireless communication, 7-segment display, light barriers, microcontroller

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 26.5.2021

Pavel Gross

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Kubíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, vstřícnost, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat mému kamarádovi Ondřeji Růžičkovi za zapůjčení osciloskopu a ochotu pomoci.

V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole.

Obsah

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 1 |
| 1.1 | MOTIVACE PRÁCE | 1 |
| 1.2 | CÍLE PRÁCE | 1 |
| 2 | ZAZNAMENÁVÁNÍ ČASU VE SPORTU | 3 |
| 2.1 | MÝŠLENKA ZAZNAMENÁVÁNÍ ČASU | 3 |
| 2.2 | VÝVOJ ZAZNAMENÁVÁNÍ ČASU | 3 |
| 2.3 | ZÁVOD TRAKTORŮ DO VRCHU | 3 |
| 3 | NÁVRH SYSTÉMU | 4 |
| 3.1 | MIKROKONTROLÉR | 4 |
| 3.2 | POSUVNÝ REGISTR | 5 |
| | POSUVNÝ REGISTR 74HC595 | 6 |
| 3.3 | ZOBRAZOVACÍ PANEL | 7 |
| 3.4 | ČASOVÝ MULTIPLEX | 8 |
| | PRINCIP ČINNOSTI ZOBRAZOVACÍHO PANELU | 9 |
| 3.5 | BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE | 10 |
| | BEZDRÁTOVÝ MODUL NRF24L01+ | 11 |
| | PROPOJENÍ MODULU NRF24L01+ S MIKROKONTROLÉREM | 12 |
| 3.6 | DETEKČNÍ PRVKY | 12 |
| 3.7 | OPTICKÉ SENZORY | 13 |
| 3.8 | SVĚTELNÉ ZÁVORY | 13 |
| 3.8.1 | Reflexní světelná závora | 14 |
| 3.8.2 | Jednocestná světelná závora | 14 |
| 3.9 | VOLBA SVĚTELNÝCH ZÁVOR | 14 |
| 3.9.1 | Světelné závory pracující ve viditelném spektru | 15 |
| 3.9.2 | Světelné závory pracující v IR spektru | 16 |
| 3.10 | EDITOR PLOŠNÝCH SPOJŮ – EASYEDA | 17 |
| 4 | PRAKTICKÁ REALIZACE | 18 |
| 4.1 | HLAVNÍ JEDNOTKA | 18 |
| 4.1.1 | Napájení | 19 |
| 4.1.2 | Řídící jednotka | 21 |
| 4.1.3 | Bezdrátový modul | 23 |
| 4.1.4 | Zobrazovací panel | 24 |
| 4.2 | SVĚTELNÉ ZÁVORY | 24 |
| | SVĚTELNÁ IR ZÁVORA – START | 24 |
| | SVĚTELNÁ IR ZÁVORA – CÍL | 28 |
| 4.3 | VELKÝ ZOBRAZOVACÍ PANEL | 29 |
| 5 | PROGRAMOVÁ ČÁST | 30 |
| 6 | TESTOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ PARAMETRŮ ČASOMÍRY | 33 |
| 7 | ZÁVĚR | 36 |
| | SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 37 |
| | SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 39 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ | 40 |
| | SEZNAM TABULEK | 40 |
| | PŘÍLOHY | I |

1 Úvod

1.1 Motivace práce

Bydlení na venkově představuje i v dnešní době možnosti hospodaření. Každá rodina ve vsi vlastní alespoň jeden traktor, se kterým obhospodařuje svá pole nebo který slouží pro domácí práce. Z hlediska soutěživosti obyvatelstva vyvstala otázka, zda by nebylo možné porovnání výkonu těchto strojů. Tím vznikl první ročník závodu traktorů do vrchu, kterého se zúčastnili jen místní obyvatelé.

Postupem času se závod stával známějším a přijíždělo více závodníků i diváků. Konkurence rostla a tím i rivalita jednotlivých jezdců.

Byla potřeba přesnějšího měření času. Nejdříve se čas měřil pouze stopkami, což bylo ale velice nepřesné – chyby se zde dopouštěl především lidský faktor. Z tohoto důvodu se začalo uvažovat o nějakém lepším, přesnějším způsobu měření času. Jednou z možností bylo zakoupení komerčně vyráběné časomíry. Pořizovací cena časomíry je vysoká. Další možností bylo její vypůjčení. Vzhledem k danému účelu (specifický závod) a ceně za každoroční výpůjčku vznikl požadavek na výrobu vlastní časomíry.

1.2 Cíle práce

Tato práce se zabývá návrhem a realizací digitální časomíry. Celý časoměřičský systém bude konstrukčně řešen a přizpůsoben právě tomuto specifickému závodu. Avšak jeho uplatnění lze nalézt i jinde. Při návrhu je kladen důraz na kompaktnost, jednoduché ovládání a mobilitu celého zařízení.

Bakalářská práce je rozdělena do sedmi tematických částí. První část práce se věnuje úvodu do problematiky. Je zde představena motivace práce a stanovení cílů. Dále se zabývá myšlenkou a vývojem zaznamenávání času, také zde nahlédneme k průběhu samotného závodu. Třetí část je věnována návrhu systému. Jsou zde popsány veškeré komponenty a součásti potřebné pro výrobu časoměřičského systému. Také zde bude vysvětlen princip činnosti zobrazovacího panelu a legislativa týkající se bezdrátové komunikace. Ve čtvrté části se dostaneme k praktické realizaci, ve které je uveden detailní popis jednotlivých modulů, ze kterých se časoměřičský systém skládá. Od schéma zapojení, výroby DPS, až po finální podobu jednotlivých modulů. Následuje programová

část. Po realizaci celého měřicího systému bude třeba provést testování. Šestá část je tedy věnována testování a zhodnocení parametrů časomíry. V závěru práce jsou uvedeny výsledky práce a její využitelnost v praxi.



Obrázek 1: Závodník na trati

2 Zaznamenávání času ve sportu

2.1 Myšlenka zaznamenávání času

Sport byl od svých počátků vnímán především jako souboj. Souboj kdo s koho. V počátcích olympijských her v době antického Řecka se čas neměřil. Diváky zajímal samotný střet atletů. Až postupem času se objevila myšlenka, výkony závodníků poměřovat také s časem. Tomu přispěla především média a přenášení sportovních událostí přímým přenosem. [1]

2.2 Vývoj zaznamenávání času

Zaznamenávání času závodníků se postupem času vyvíjelo a stále dochází ke zlepšování metod a principů, jak zpřesnit a zkvalitnit výsledný čas. Na počátku to byly obyčejné stopky, které byly ovládány jen organizátory závodu, bez jakékoliv elektroniky zabezpečující přesnost zastavení času. Poté se jednalo o časomíry tvořené z několika logických členů. Jejich nevýhodou byly větší rozměry a menší přesnost měření času. S příchodem mikrokontrolérů se mnohé usnadnilo. Byla možná změna programu, aniž bychom museli zasahovat do samotného zapojení, zvýšila se přesnost měření času a také bylo možné zaznamenat více časů současně. Dnes se pro měření času používají komplexní, plně automatizované systémy, které zahrnují různé mechanismy pro spuštění a zastavení časomíry. [1]

2.3 Závod traktorů do vrchu

Závod traktorů do vrchu se hodnotí dle času a splnění všech překážek. Hlavním cílem je v co nejkratším čase projet trať. Za nesplnění překážky hrozí vyloučení ze závodu. Jestliže závodník posune některou z pneumatik, kterými je ohraničena trať, je penalizován 5 až 15 vteřinami dle závažnosti. Samotné měření začíná průjezdem startovní světelné závory a končí okamžikem průjezdu cílové světelné závory. Výhodou, oproti klasickému startu (mávnutím praporku) je, že jezdec může vystartovat nezávisle na pokynu startujícího.

Samotný závod se dělí do 4 kategorií. První kategorií jsou jednoosé frézy tovární výroby. Další kategorií jsou traktory tovární výroby do 25 koňských sil. Do třetí kategorie se řadí traktory tovární výroby nad 25 koňských sil. A poslední kategorie se nazývá „unlimited“. Pod pojmem „unlimited“ si můžeme představit veškeré stroje domácí výroby.

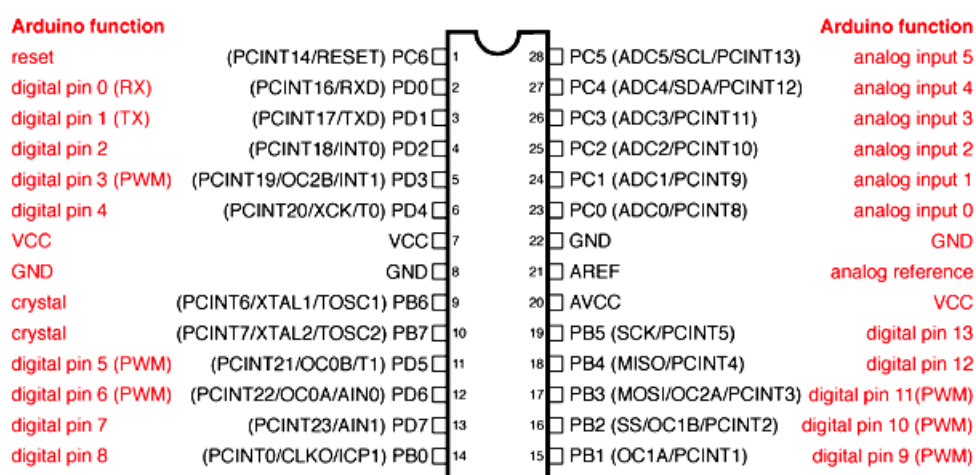
3 Návrh systému

3.1 Mikrokontrolér

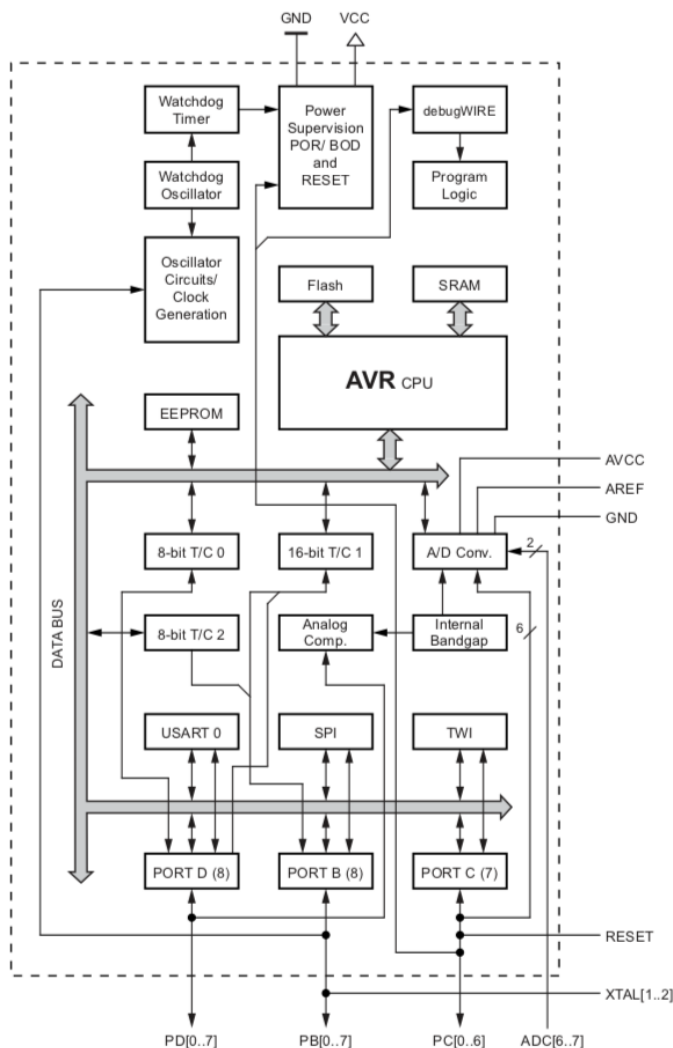
Pro účely časomíry byl zvolen mikrokontrolér od firmy Atmel. Konkrétně se jedná o mikrokontrolér ATmega328p. Vybrán byl z důvodu, že má na svoji cenu poměrně dobré parametry, ale především proto, že je součástí vývojové desky Arduino UNO. Pomocí desky byl program pouze nahrán, pro samotnou časomíru byl použit vlastní hardware s čipem ATmega328p. Na *Obrázku 2* je uveden popis vývodů a na *Obrázku 3* je pak znázorněno blokové schéma mikrokontroléru ATmega328p. [2]

Základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega328p:

- 8 bitový RISC procesor,
- instrukční soubor obsahující 131 instrukcí,
- dva 8 bitové (B, D) a jeden 7 bitový (C) port,
- 23 programovatelných I/O pinů,
- frekvence až 20 MHz,
- programová paměť FLASH 32 kB,
- datová paměť SRAM 2 kB,
- datová paměť EEPROM 1 kB,
- dva 8 bitové časovače/čítače,
- jeden 16 bitový časovač/čítač,
- 10 bitový A/D převodník,
- analogový komparátor,
- rozhraní: SPI, I2C, USART.



Obrázek 2: Popis vývodů mikrokontroléru ATmega328p [2]



Obrázek 3: Blokové schéma mikrokontroléru ATmega328p [2]

3.2 Posuvný registr

Jedná se o skupinu klopných obvodů, která má propojené vstupy a výstupy tak, že s náběžnou hranou hodinového signálu jsou data (bity) synchronně posunuty o jeden klopný obvod. Dříve se posuvné registry řešili pomocí RS klopných obvodů a zpožďovacích linek. Dnes se dodávají jako samostatné integrované obvody. Existuje více druhů, ale zde bylo třeba použít posuvný registr, který má sériový zápis a paralelní čtení. [3]

Posuvný registr 74HC595

V průběhu práce bylo zjištěno, že bude potřeba více výstupů, než má mikrokontrolér ATmega328p k dispozici. Proto je použit posuvný registr 74HC595.

Jedná se o posuvný registr typu SIPO. Data jsou do registru zapisována sériově a naopak výstup je paralelní. Díky němu může být ovládáno pomocí 3 vstupů až 8 výstupů. Posuvný registr byl konkrétně použit pro zobrazení času na 7-segmentový displej. [4]

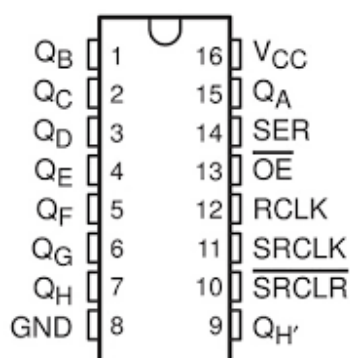
Princip zápisu dat do registru 74HC595:

SRCLK vstup hodinového signálu

SER vstupní datový pin

RCLK pin udávající stav pro nahrávání

Na pin SER jsou přiváděna data z mikrokontroléru. Při příchodu hodinového signálu na SRCLK se posune logická hodnota z pinu SER do posuvného registru. Do registru mohou být data nahrávána jen tehdy, pokud je na vstupu RCLK logická nula. Po zápisu a přepnutí RCLK do stavu logické jedničky se data zobrazí na výstupech (Q_A až Q_H). [4]



Obrázek 4: Popis vývodů posuvného registru 74HC595 [4]

3.3 Zobrazovací panel

Existuje více možností, jak zobrazovat výsledný čas. Pro daný účel připadaly v úvahu především dvě varianty – první variantou bylo použití zobrazovacího panelu složeného z několika 7-segmentových displejů. Nevýhodou těchto displejů je nízká svítivost a omezená velikost číslic.



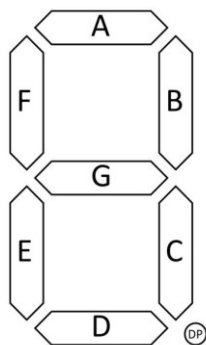
Obrázek 5: Segmentový zobrazovací panel [5]

Druhou variantou byl zobrazovací panel složený z vysoce svítivých LED uspořádaných ve tvaru číslic. Výhodou takto zhotovených displejů je vysoká svítivost a libovolná velikost vyrobených číslic.



Obrázek 6: Zobrazovací panel z vysokosvítivých LED [5]

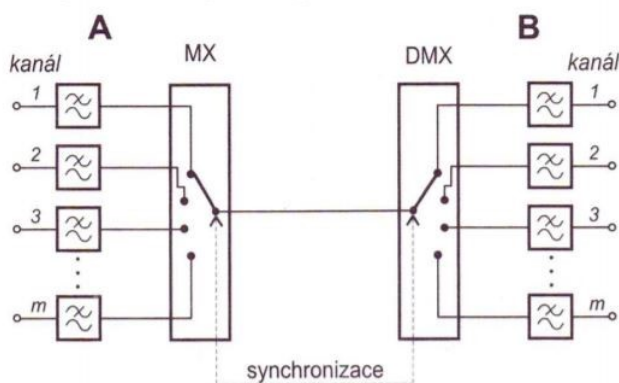
Byla zvolena první varianta. Časomíra obsahuje jeden šestimístný 7-segmentový zobrazovací panel sloužící pro obsluhu. Navíc lze připojit větší externí zobrazovací panel, který umožňuje divákům průběžně sledovat časy závodníků. Doposud diváci tuto možnost neměli. V obou případech se jedná o zapojení displeje se společnou anodou. K rozsvícení segmentu dojde při uzemnění daného pinu. K účelu, pro který je časomíra primárně vyrobena, by stačil pouze čtyřmístný zobrazovací panel. Zdolání celé tratě, včetně všech překážek, trvá několik minut. Časomíra může být použita i pro jiné účely, proto byl zhotoven šestimístný zobrazovací panel ve formátu: Minuty : Vteřiny : Setiny.



Obrázek 7: Označení jednotlivých segmentů

3.4 Časový multiplex

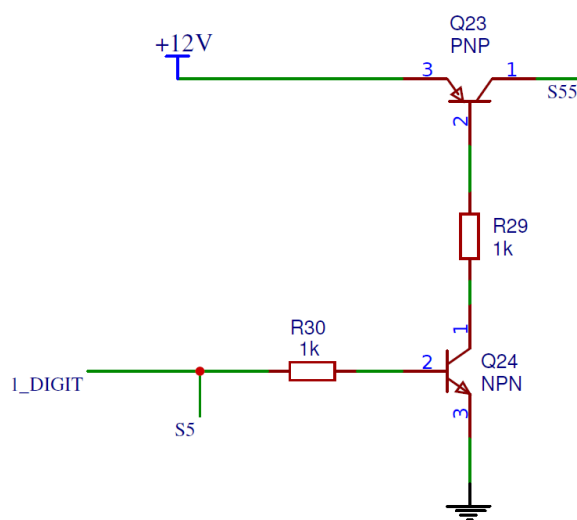
Časový multiplex je metoda přenosu více datových signálů jen jedním společným datovým médiem. Princip spočívá v rozdělení signálu do jednotlivých, předem známých časových intervalů o přesně dané délce. Jednotlivá zařízení pošlou svá data do kódovače, který je rozdělí do přesných časových úseků a pošle je přes společné datové médium. Na konci společného média se nachází dekodér, jehož úkolem je jednotlivé časové úseky zpětně třídit a rozesílat dále ke koncovým zařízením. [7]



Obrázek 8: Princip časového multiplexu [7]

Princip činnosti zobrazovacího panelu

Na principu časového multiplexu pracuje i zobrazovací panel této časomíry. Katody displeje, na které jsou přivedeny údaje o stavu jednotlivých segmentů, jsou spínány pomocí tranzistorů v zapojení se společným emitorem zesilující proud. Anody malého displeje jsou řízeny přímo z mikroprocesoru. Velký 7-segmentový displej potřebuje pro rozsvícení jednotlivých segmentů napětí o hodnotě alespoň 7,5 V, což je napětí větší, než které může poskytnout výstup mikrokontroléru. Spínání je vyřešeno pomocí tranzistorů v zapojení dle Obrázku 9.



Obrázek 9: Princip spínání anod velkého zobrazovacího panelu

Princip spínání je následující. Pokud přivedeme na bázi NPN tranzistoru Q24 logickou jedničku, tranzistor sepne a na bázi následujícího PNP tranzistoru Q23 se objeví logická nula. Zde pracujeme oproti předchozímu tranzistoru s „negativní“ logikou. Jelikož logická nula je oproti napětí o hodnotě +12 V menší, tranzistor sepne a na výstupu se objeví napětí o hodnotě +12 V, potřebné k rozsvícení daného segmentu. Každá číslice velkého zobrazovacího panelu má tento obvod potřebný k sepnutí. [8]

Tímto způsobem se postupně dostanou data o jednotlivých segmentech k příslušné číslici. V jeden námi určený časový interval tak svítí pouze příslušná číslice malého a velkého zobrazovacího panelu. Zvolená frekvence časového multiplexu je 2 kHz. A jelikož lidské oko není schopno takhle rychlou změnu postřehnout, zdá se, že všechny číslice svítí najednou.

3.5 Bezdrátová komunikace

V dnešní době existuje mnoho přístupů a zařízení, jak realizovat bezdrátovou komunikaci. Každé je odlišné. Ať už svými parametry, nebo cenou. Při výběru se ale vždy bere ohled na konkrétní účel použití. Vysílání na určitých kmitočtových pásmech je omezeno dle legislativy ČR. Ale existují i pásma, pro které není registrace nutná. Při výběru jsme tedy limitováni také frekvencí, na které dané zařízení vysílá. V následující tabulce jsou uvedena pásma pro zařízení krátkého dosahu. [10]

Tabulka 1: Využívání vymezených rádiových kmitočtů [10]

| | |
|---|--|
| 27 MHz | Provozování je možné podle VO-R/10/12.2019-9. |
| 49 MHz | Provozování není přípustné (zařízení ruší rozhlasovou službu a necivilní aplikace). |
| 230–400 MHz | Pásmo je vyhrazeno pro účely obrany státu – žádný civilní provoz není přípustný. |
| 433 MHz | Provozování je možné podle VO-R/10/12.2019-9. (Pouze přenos dat; bezdrátová sluchátka nejsou povolena.) |
| 470–694 MHz, 823–832 MHz | Provozování bezdrátových mikrofونů je možné podle VO-R/10/12.2019-9. |
| 694–823 MHz, 832–862 MHz | Provozování bezdrátových mikrofونů již není povoleno. |
| 863–865 MHz | Provozování akustických aplikací je možné podle VO-R/10/12.2019-9. |
| 868–876 MHz, | Provozování je možné podle VO-R/10/12.2019-9. |
| 694–823 MHz, 832–862 MHz, 1,2 GHz | Pásmo provozu mobilních sítí – provozování jiných aplikací není přípustné. V Evropě není možné pro zařízení krátkého dosahu využívat. |
| 1785–1805 MHz | Provozování bezdrátových mikrofونů je možné podle VO-R/10/12.2019-9. |
| 2,4 GHz | Provozování (RLAN, RFID, zařízení krátkého dosahu) je možné podle VO-R/12/12.2019-10 nebo VO-R/10/12.2019-9. |

Bezdrátový modul nRF24L01+

Pro účely této práce byl zvolen modul nRF24L01+, někdy též označovaný pod názvem nRF24L01+PA+LNA. Oproti klasickému modulu nRF24L01 je modul nRF24L01+ navržen se zesilovačem (Power Amplifier), nízkošumovým zesilovačem (Low Noise Amplifier) a také s konektorem SMA pro připojení antény. Jedná se o modul umožňující bezdrátovou komunikaci na frekvenci 2,4 GHz. Nevýhodou by mohl být fakt, že na této frekvenci pracuje mnoho zařízení. V zalidněných oblastech (střed města) by mohlo dojít k rušení a s tím spojený efektivní dosah přenosu. Ale to je v tomto případě eliminováno, jelikož závod se odehrává na odlehleém prostranství na okraji vesnice. Výhodou jsou její parametry – efektivní vzdálenost dosahu se uvádí až 1100 m na volném prostranství, vysoká přenosová rychlost nebo nízká spotřeba.

S mikroprocesorem komunikuje přes rozhraní SPI. Je třeba dbát na správné napájecí napětí, které je v rozsahu od 1,9 do 3,6 V. Datové výstupy pracují se standardní 5 V logikou. Vysílací výkon modulu lze nastavit ve 4 úrovních. Další výhodou nRF24L01+ je zabezpečení komunikace pomocí adres. Na výběr je 125 adres, což umožňuje vytvořit síť až ze 125 nezávisle pracujících modemů na jednom místě. Pro komunikaci více modulů společně lze nastavit jakýkoliv z celkem šesti kanálů, a to pro každou adresu. [11]



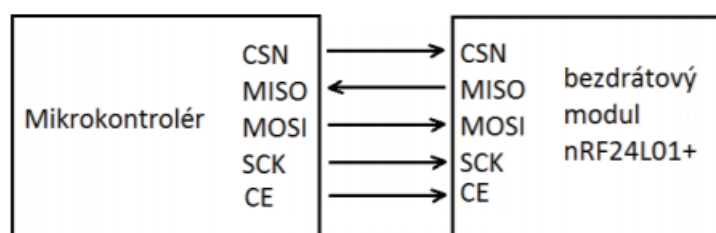
Obrázek 10: Bezdrátový modul nRF24L01+ [11]



Obrázek 11: Popis vývodů bezdrátového modulu nRF24L01 [15]

Propojení modulu nRF24L01+ s mikrokontrolérem

Modul má celkem 8 vývodů, kdy 2 vývody slouží pro napájení, 5 vývodů pro komunikaci s mikrokontrolérem a poslední vývod, sloužící pro přerušení, nemusí být vyveden. Z pěti vývodů, sloužících pro komunikace, mají tři (MISO, MOSI, SCK) přesně danou pozici připojení k mikrokontroléru, jelikož se jedná o rozhraní SPI. Zbylé dva vývody, sloužící k přepínání mezi režimem vysílání a příjmu, jsou libovolné. Volba pinů v programu se však musí shodovat s fyzickým zapojením. Na *Obrázku 12* je uvedeno vzájemné propojení mezi mikrokontrolérem a bezdrátovým modulem.



Obrázek 12: Propojení pinů mikroprocesoru a bezdrátového modulu [12]

Základní vlastnosti:

- stejnosměrné napájecí napětí 1,9 – 3,6 V,
- komunikační frekvence 2,4 GHz,
- citlivost přijímače až -85 dBm,
- odběr 10 – 115 mA (záleží na aktuálnímu stavu, v jakém se modul nachází),
- sériové rozhraní SPI,
- přenosová rychlost 250 kbps.

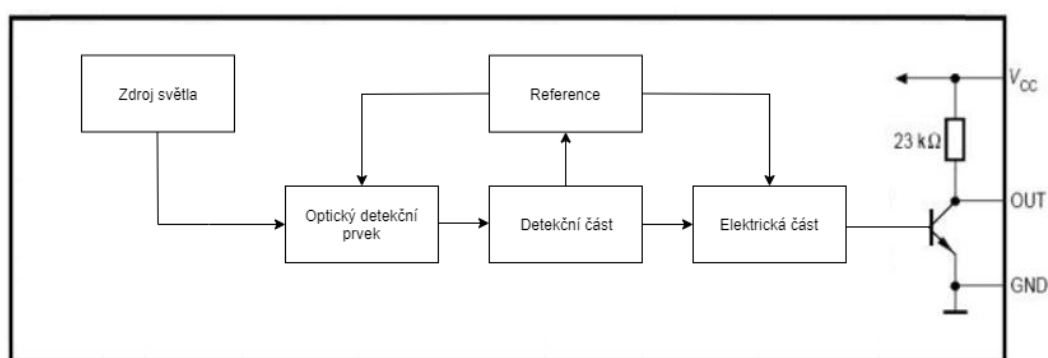
3.6 Detekční prvky

Existuje celá řada senzorů, které jsou vhodné pro potřeby spouštění a zastavení odpočtu času. Vždy záleží na konkrétní aplikaci, pro kterou je časomíra určena. Senzor je zařízení reagující na vnější podnět, ať už fyzikální nebo chemický. Následně je převeden na fyzikální signál (elektřina, světlo), který je vyhodnocen přístrojem anebo pozorovatelem. [13]

3.7 Optické senzory

Optické senzory jsou založeny na principu změny frekvence (vlnové délky), amplitudy, nebo fáze světla způsobené měřenou veličinou. Pro optické senzory je jako fyzikální veličina použito světlo. Od ultrafialového (200 nm) do středního IR (10 μm) světla.

Princip senzoru je následující – na detekční prvek dopadá světlo, v detekční části pak dochází ke změně vlastností světla (amplituda, vlnová délka, intenzita) na elektrické signály. Na *Obrázku 13* je znázorněno blokové schéma optického senzoru. [13]



Obrázek 13: Blokové schéma optického senzoru [13]

V případě této práce byla volba v podstatě jednoznačná – jako cílový detekční prvek byla vybrána světelná závora. Za startovací detekční prvek byly zvažovány dvě možnosti – startovací pistole s piezoelektrickým snímačem nebo opět světelná závora. Jelikož byl kladen důraz, aby mohl závodník vystartovat nezávisle na pokynu startujícího, byla použita opět světelná závora.

Měření času je tedy zahájeno a zakončeno projetím světelnou závorou.

3.8 Světelné závory

Dle způsobu měření se dělí na difuzní, reflexní, vidlicové a jednocestné světelné závory. Dle vlnové délky světla se závory dělí na ultrafialové, infračervené a závory pracující ve viditelném spektru. Pro účely časomíry pro závod traktorů do vrchu bylo uvažováno mezi reflexní a jednocestnou světelnou závorou, pracující v infračervené nebo ve viditelné oblasti.

3.8.1 Reflexní světelná závora

Reflexní závory obsahují v jednom pouzdře vysílač i přijímač paprsku. Pracují na principu odrazu paprsku od odrazové plochy, proto název reflexní. Odrazovou plochou mohou být odrazky nebo odrazová zrcadla. Jsou vhodné i do prašného prostředí. Nejsou citlivé na barvu či tvar předmětu. Komerčně vyráběné reflexní závory uvádí dosah až 25 m.



Obrázek 14: Reflexní světelná závora [14]

3.8.2 Jednocestná světelná závora

Jednocestné světelné závory jsou tvořeny samostatným vysílačem paprsku a jeho přijímačem. Obě části jsou umístěné naproti sobě, na opačných stranách snímací cesty. Jelikož zde musí paprsek urazit jen jednu cestu oproti závorám reflexním, kde by musel danou vzdálenost urazit dvakrát, jsou tyto závory vhodné pro větší vzdálenosti. Komerčně vyráběné reflexní závory uvádějí dosah až 50 m.

3.9 Volba světelných závor

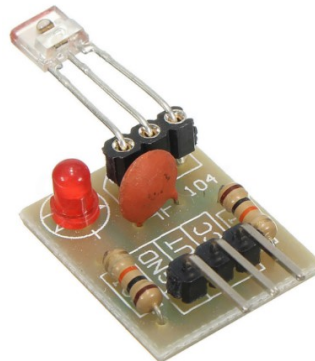
Původně byla zvolena reflexní světelná závora pracující ve viditelné oblasti. Výhodou je reflexní plocha, kdy není potřeba napájet zvlášť optický přijímač, jelikož je umístěn v pouzdře společně s optickým vysílačem a také fakt, že tento paprsek je oproti infračervenému pro oko viditelný. To napomáhá například odladění těchto světelných závor, což při prvotní realizaci bylo vhodné. Avšak má i své nevýhody, senzor může být ovlivněn slunečním svitem. Z tohoto důvodu byly zmíněné závory nahrazeny jednocestnými světelnými IR závorami. Komerčně vyráběná zařízení jsou k dostání od tisíce korun, a proto byly světelné závory vyrobeny svépomocí.

3.9.1 Světelné závory pracující ve viditelném spektru

První verze světelných závor pracovala ve viditelném spektru. Jako vysílač byl použit červený laserový paprsek s vlnovou délkou 650 nm, konkrétně čip KY-008. Jako přijímač byl použit senzor určený pro tento typ paprsku.



Obrázek 15: Vysílač



Obrázek 16: Přijímač

3.9.2 Světelné závory pracující v IR spektru

Vysílač

V tomto případě není vysílačem laser, jako tomu bylo u předchozí verze světelných závor, ale jedná se o určitý elektrický obvod, který pomocí IR diody vysílá konkrétní modulovaný signál. Vysílač pracuje na frekvenci 38 kHz. Podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole 4.2 *Světelné závory*.



Obrázek 17: Vysílací IR LED dioda

Přijímač

Funkci přijímače plní IR přijímač s demodulátorem TL1838. Stejně jako vysílač pracuje na nosné frekvenci 38 kHz, která patří mezi nejvíce využívané u IR zařízení. Po příjmu signálu přijímačem dojde k demodulaci signálu a na jeho výstup je přiveden pouze modulační signál z vysílače, který byl nastaven na 50 Hz. Tento signál je dále softwarově zpracováván a vyhodnocen.



Obrázek 18: Přijímač IR s demodulátorem (TL1838)

3.10 Editor plošných spojů – EasyEDA

Jedná se o online editor plošných spojů, který je principem podobný známému editoru plošných spojů Eagle, avšak není tak rozšířený. Jeho výhodami jsou rozsáhlé knihovny součástek, snadné intuitivní ovládání a také online editace. Pomocí editoru byly navrženy veškeré desky plošných spojů, které jsou nezbytné pro chod časomíry. Finální podoba těchto desek byla vytisknuta na fólii. Plošné spoje byly následně zhotoveny fotocestou.

4 PRAKTICKÁ REALIZACE

Tato kapitola popisuje samotnou realizaci jednotlivých částí, ze kterých je časomíra složena. Jedná se o hlavní jednotku, světelné závory (start, cíl) a velký zobrazovací panel. Konstruktivně je řešena tak, aby vyhovovala podmínkám závodu traktorů do vrchu.

4.1 Hlavní jednotka

Pojmem hlavní jednotka je definován hlavní modul, který řídí chod celého systému a ke kterému se připojují další periferie. Obsahuje několik částí. Tyto části budou postupně popisovány.

Hlavní jednotka je usazena do typizované krabice od firmy ABB. Její rozměry jsou 31 cm x 24 cm s výškou 11 cm. Uvnitř krabice se nachází řídicí jednotka, napájecí zdroj, ke kterému je připevněn pasivní chladič o rozměrech 10 cm x 5 cm x 2 cm, toroidní transformátor a pomocná DPS s dutinkovou lištou, do které je usazen bezdrátový modul, jehož anténa je vyvedena vně krabice pro lepší přenos. Veškeré zmíněné části jsou navíc připevněny k montážní desce, která byla dle velikosti a tvaru krabice vyříznuta z nehořlavého materiálu. Deska je spojena s konstrukcí osmi šrouby.

Na přední straně hlavní jednotky je již zmíněný zobrazovací panel, tlačítka k ovládní časomíry (START, STOP, RESET), přepínač, který přepíná mezi dvěma režimy (AUTOMAT, MANUAL) a také tři signalizační diody. Tlačítko START slouží k zahájení odpočtu času, tlačítko STOP slouží pro zastavení času a tlačítko RESET vynuluje čítaný čas. Přepínač je zde umístěn z důvodu možnosti ovládní časomíry dvěma způsoby. Pokud je přepínač v režimu AUTOMAT, časomíra je ovládána pomocí světelných závor. V režimu MANUAL lze časomíru ovládat pouze tlačítky. Stav přepínače jsou také signalizovány LED diodami. Poslední dioda slouží k signalizaci napájení.

Na levém boku krabice se nachází konektor XLR pro komunikaci se světelnou závorou na startu, konektor D-SUB pro připojení velkého zobrazovacího panelu, konektory pro její napájení a také pojistková pouzdra pro případnou výměnu pojistky. První pojistka se nachází na primární straně transformátoru, druhá na straně sekundární.

Na pravém boku krabice je vyvedena anténa modulu nRF24L01+ pro lepší komunikaci a vypínač pro snadné zapnutí/vypnutí při napájení ze sítě.



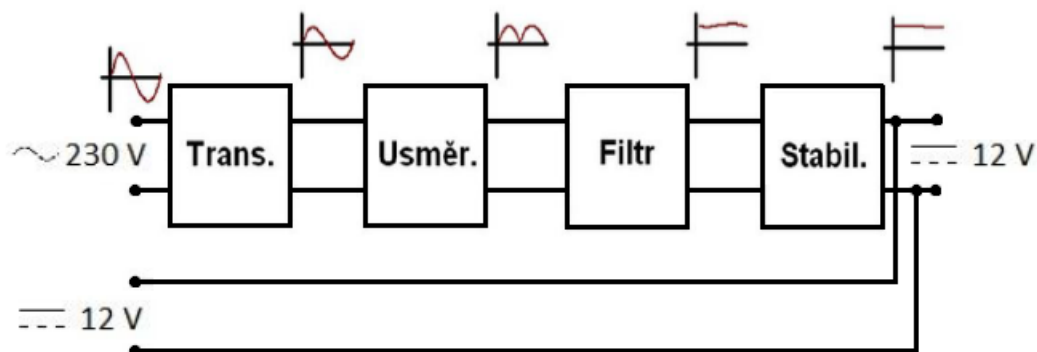
Obrázek 19: Konektor XLR [22]



Obrázek 20: Konektor D-SUB (VGA)

4.1.1 Napájení

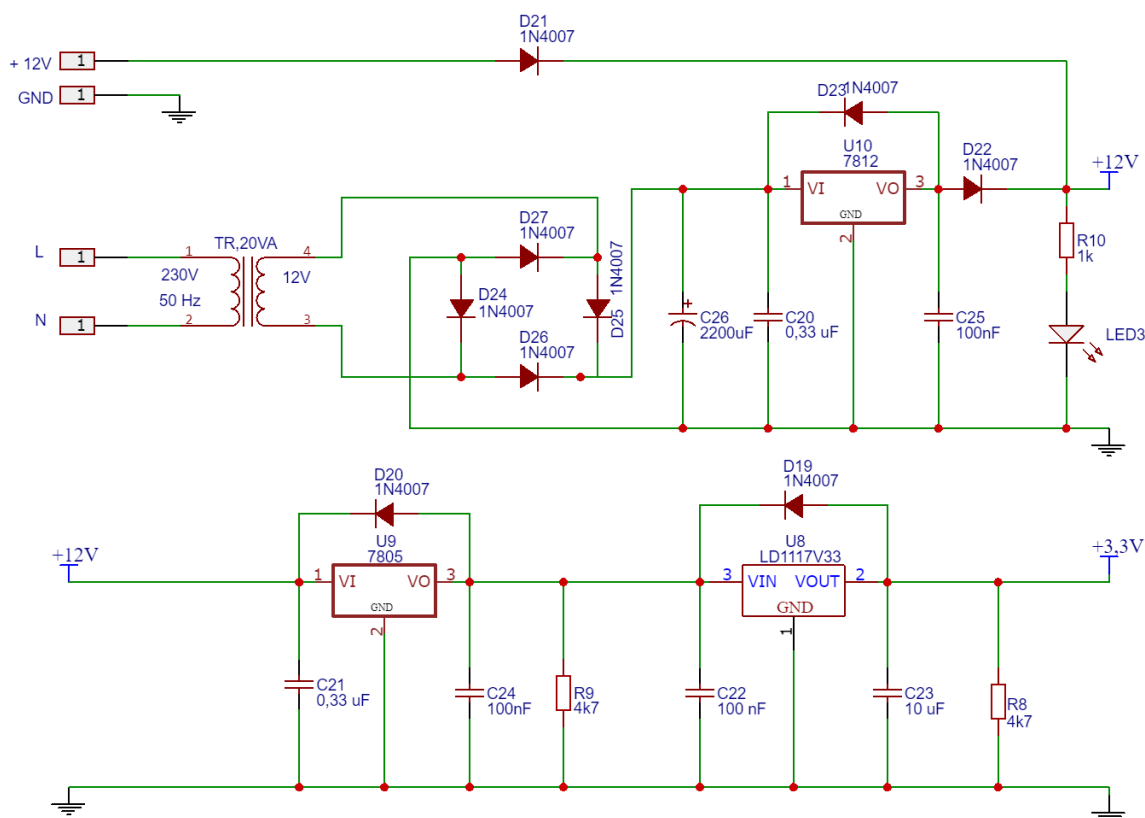
Při návrhu byl brán zřetel, že by mohla být časomíra využívána v místech s absencí elektrické sítě 230 V. Proto bylo napájení navrženo pro stejnosměrné napětí 12 V. Díky tomu může být časomíra napájena síťovým zdrojem s výstupním stejnosměrným napětím 12 V, nebo z jiného externího zdroje – nejčastěji z autobaterie. Na *Obrázku 21* je uvedeno blokové schéma zdroje.



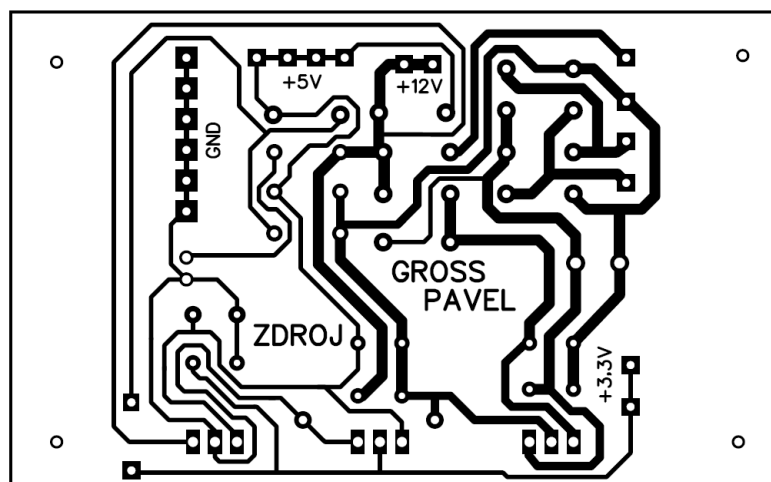
Obrázek 21: Blokové schéma napájecího zdroje

Jeho zapojení tvoří síťový transformátor, který zajišťuje změnu velikosti síťového střídavého napětí. Další blok tvoří usměrňovač, který mění střídavé sekundární napětí na napětí stejnosměrné, avšak pulzující. Pulzující napětí je pomocí vyhlazovacího filtru, který zde tvoří kondenzátor, vyhlazeno a ustáleno na stejnosměrné zvlněné napětí. Proto je v zapojení dále použit stabilizátor 7812, který zajišťuje stabilní výstupní napětí +12 V. Na vstupu a výstupu stabilizátoru jsou zapojeny blokovací kondenzátory, které slouží jako krátkodobé zdroje energie při rychlé změně zatěžovacího proudu v obvodu. Stabilizátor je jistěn diodou, která brání zničení nebo poškození stabilizátoru vlivem zpětného proudu. Zpětný proud nastane při náhlém odpojení napájecího napětí. Jelikož mikrokontrolér pracuje s napětím +5 V, k napájení byl použit stabilizátor LM7805. Pro práci bezdrátového modulu nRF24L01+ je zapotřebí napájení v rozmezí od +1,9 do +3,6 V. Proto byl dále použit stabilizátor LD1117V33, který stabilizuje na hodnotu napětí +3,3 V. Kvůli většímu odběru proudu, především segmentových displejů, jsou stabilizátory pasivně chlazeny.

Na *Obrázku 22* je nakresleno schéma zapojení napájecího zdroje a na *Obrázku 23* finální podoba DPS.



Obrázek 22: Schéma zapojení napájecího zdroje

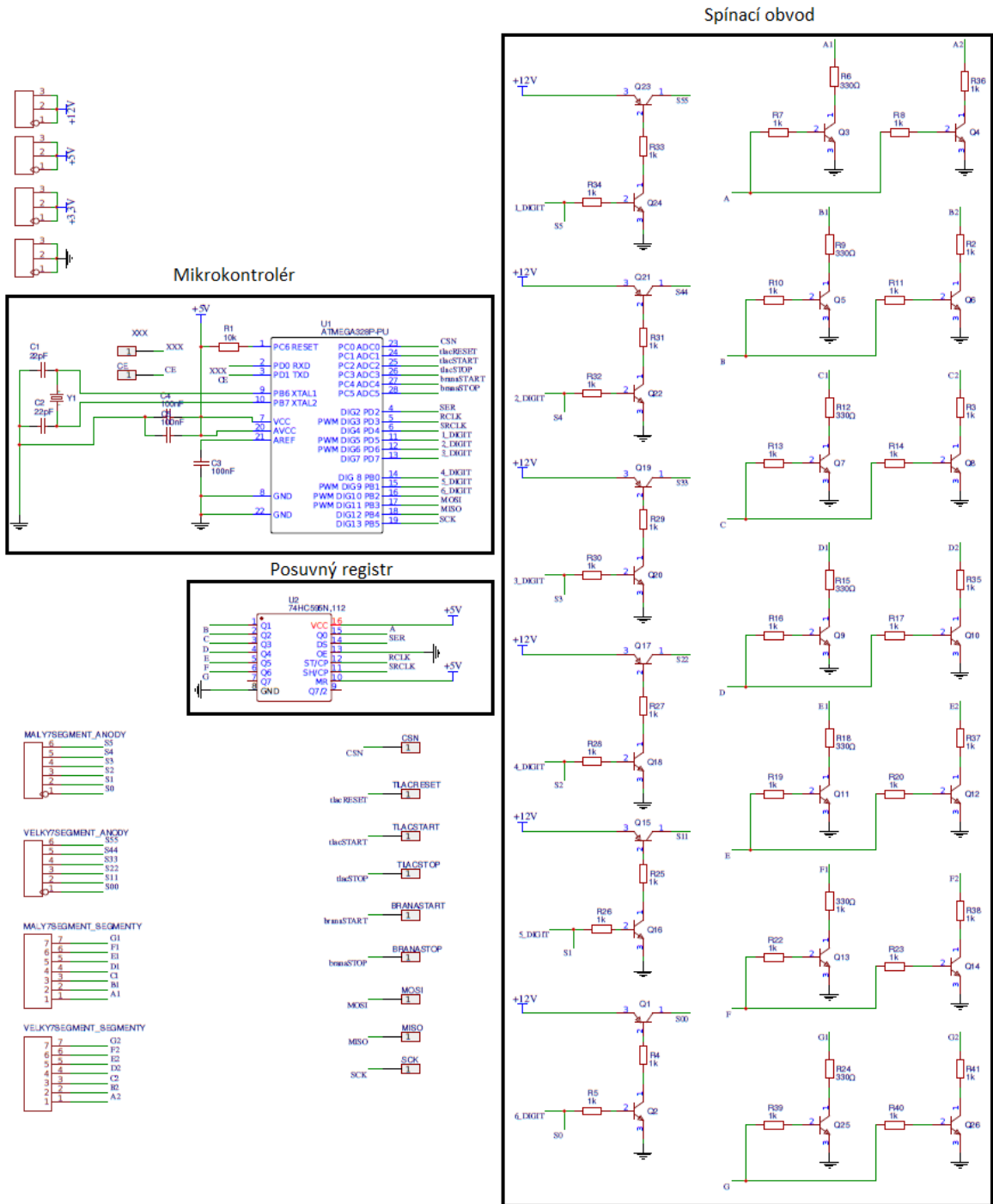


Obrázek 23: DPS napájecího zdroje (rozměry: 90 x 55 mm)

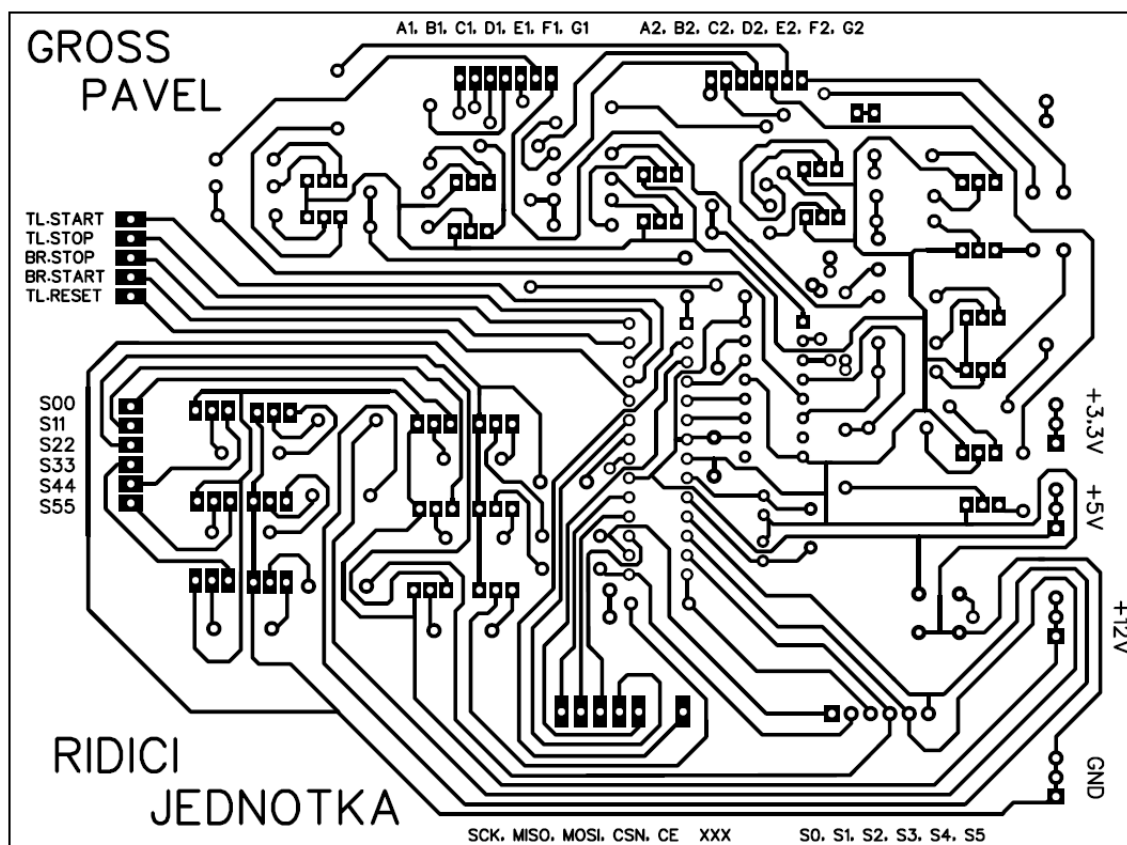
4.1.2 Řídící jednotka

Deska plošného spoje je fiktivně rozdělena do několika částí. První částí je mikrokontrolér, druhou posuvný registr, třetí částí spínací obvod a zbylou částí schématu zapojení, která je zobrazena na *Obrázku 24*, jsou svorky, na které budou následně připojeny ostatní části hlavní jednotky.

Srdcem celé časomíry je mikrokontrolér ATmega328p, který díky nahranému zdrojovému kódu provádí instrukce, jež se mají postupně vykonat. Lze jej použít i samostatně bez použití vývojové desky Arduino UNO. [17] Použití vývojové desky by bylo nevýhodné, ať už z hlediska ekonomického, tak z hlediska potřebného prostoru. Budou použity pouze nezbytně nutné součástky potřebné pro samostatný chod. Program byl nahrán pomocí vývojové desky Arduino UNO, která převzala roli dočasného programátoru a následně už není třeba program měnit. Druhou variantou bylo vyvedení pinů pro SPI a poté použití AVR ISP programátoru „USBasp“. Dále se na DPS nachází posuvný registr 74HC595, který umožňuje vyšší využitelnost vývodů mikrokontroléru. Další částí je spínací obvod displeje. Jedná se o zapojení tranzistorů sloužící ke spínání anod a katod jednotlivých číslic 7-segmentových displejů. Zbylou část tvoří svorky, které jsou vyvedeny na DPS pomocí dutinkových lišt, k možnosti snadného připojení/odpojení dalších periférií. Na *Obrázku 25* je uvedena DPS celé řídicí jednotky.



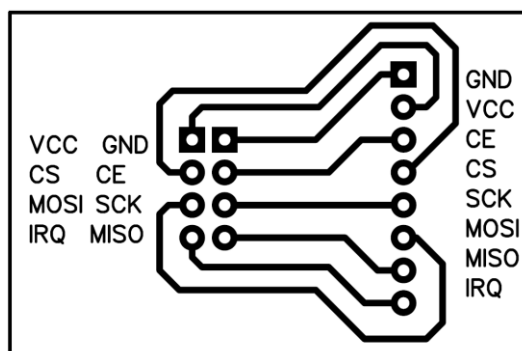
Obrázek 24: Schéma zapojení řídicí jednotky



Obrázek 25: DPS řídicí jednotky (rozměry: 150 x 110 mm)

4.1.3 Bezdrátový modul

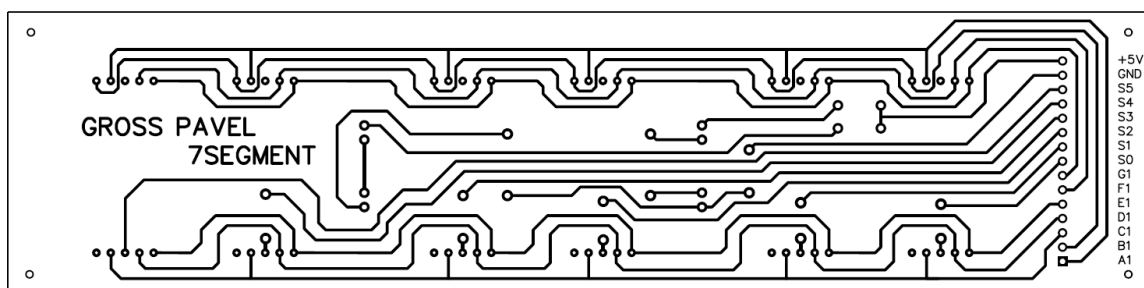
Bezdrátový přenos mezi hlavní jednotkou na startu a cílovou světelnou závorou zajišťuje modul nRF24L01+. [12] Z modulu je vyvedeno 8 pinů. Pro lepší přichycení a možnost snadné výměny modulu v případě poruchy, byla vyrobena pomocná DPS uvedena na *Obrázku 26*. Jde o jednoduchou DPS, na které jsou připájeny dutinkové lišty tak, aby měly shodnou polohu a rozteč, jako má samotný modul. Modul je tedy umístěn v pomocné DPS, ale anténa je vyvedena vně krabice pro lepší přenos.



Obrázek 26: DPS pro bezdrátový modul (rozměry: 40 x 25 mm)

4.1.4 Zobrazovací panel

Zobrazovací panel pro obsluhu se skládá z celkem šesti 7-segmentových displejů, umístěných na DPS, vytvořených pomocí programu EasyEDA. Rozměry jedné číslice jsou 3,4 cm x 1,05 cm. Návrh DPS byl komplikovanější, jelikož knihovna editoru tyto displeje neobsahuje. Byla tedy vytvořena schematická značka a k ní příslušné pouzdro. Dvojice 7-segmentových displejů jsou od sebe odděleny dvojtečkou. Zobrazovací panel je uchycen k přední straně krabice pomocí čtyř šroubů na každém rohu desky. Panel chrání plexisklo červené barvy, které také napomáhá jeho lepší čitelnosti. Na *Obrázku 27* je uvedena DPS zobrazovacího panelu. Schéma zapojení je z důvodu větších rozměrů uvedeno v příloze.



Obrázek 27: DPS zobrazovacího panelu (rozměry: 200 x 50 mm)

4.2 Světelné závory

Byly zvoleny jednocestné světelné závory pracující v IR spektru.

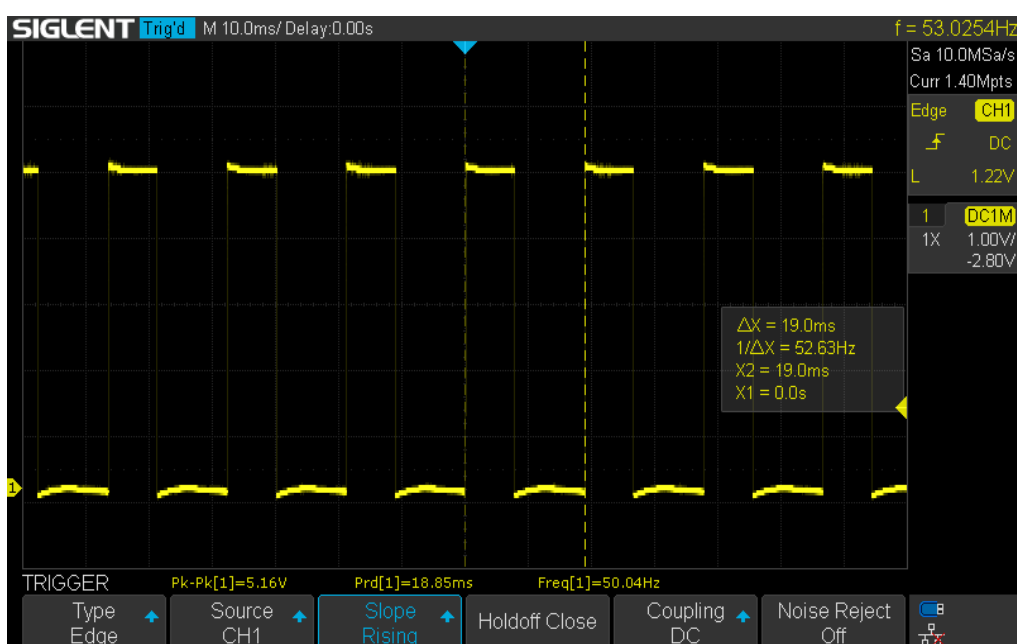
Světelná IR závora – START

Přijímač

Přijímací modul světelné závory na startu je realizován v typizované krabici od firmy ABB o rozměrech 10 cm x 10 cm s výškou 6 cm. Na pravém boku krabice je osazen 3 pinový konektor XLR. Dva piny jsou napájecí (+5 V a GND) a třetí pin je datový, který nese informaci o stavu světelné závory. Z opačného boku krabice je umístěn optický přijímač IR a laser, pracující ve viditelném spektru. Jedná se o IR přijímač s demodulátorem TL1838. Stejně jako vysílač pracuje na nosné frekvenci 38 kHz, která patří mezi nejvíce využívané u IR zařízení. Po příjmu signálu přijímačem dojde k demodulaci signálu a na jeho výstup je přiveden pouze modulační signál z vysílače, který byl nastaven na 50 Hz. Tento signál je dále softwarově zpracováván a vyhodnocen. Průběh

demodulovaného signálu na výstupu IR přijímače je uveden na *Obrázku 28*. Na horním boku krabice je umístěn vypínač pro účely zapnutí pomocného laseru. Laser plní funkci „ukazovátka“ pro uživatelsky snazší nastavení snímací cesty.

Laser se nachází v průchodce typu PG 13,5. Přijímač je umístěn v měděné vodoinstalační trubce, kterou z vnitřní strany lemují alobal kvůli snadnému odrazu paprsku. Startovní závora je k hlavní jednotce připojena kabelově. Krabice bude připevněna na ocelové tyči a pevně zatlučena do země.



Obrázek 28: Demodulovaný signál

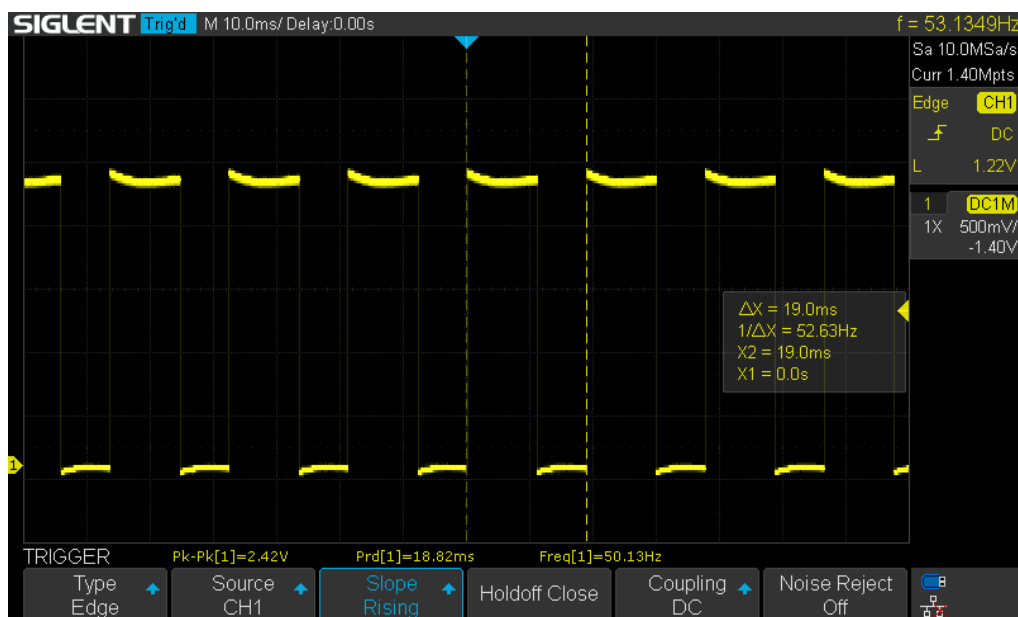
Vysílač

Vysílací modul světelné závory je řešen také v typizované krabici od firmy ABB, nyní o rozměrech 10 cm x 10 cm x 8 cm. Vysílací funkci plní určitý elektrický obvod, který pomocí IR diody vysílá konkrétní signál a jehož princip bude následně vysvětlen.

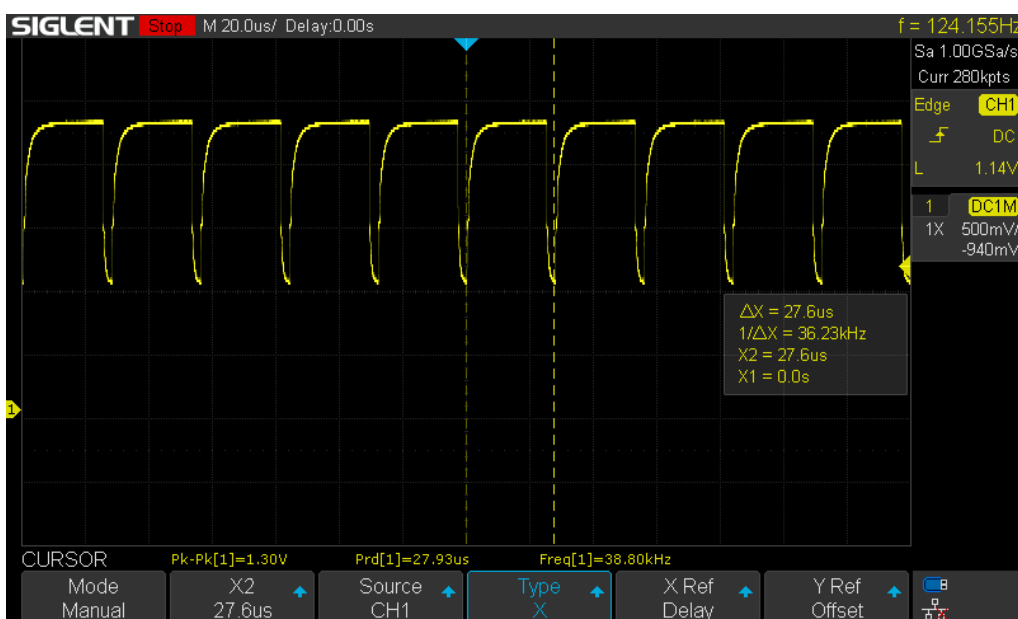
Na pravém boku krabice je umístěn vypínač pro zapnutí/vypnutí celého vysílače. Zapnutí signalizuje vyvedená dioda. Z opačného boku krabice je vyvedena průchodka typu PG 13,5, v níž je umístěna vysílací IR dioda.

Srdcem IR vysílače jsou dva časovače NE555. První časovač NE555, ve schématu zapojení označen „U1“, byl použit jako oscilátor modulačního kmitočtu 50 Hz. Výstupní frekvence z časovače U1 slouží k modulaci nosného signálu druhého časovače U2. Ten je zapojen jako oscilátor pracující na frekvenci 38 kHz. Výsledný signál za časovačem U2

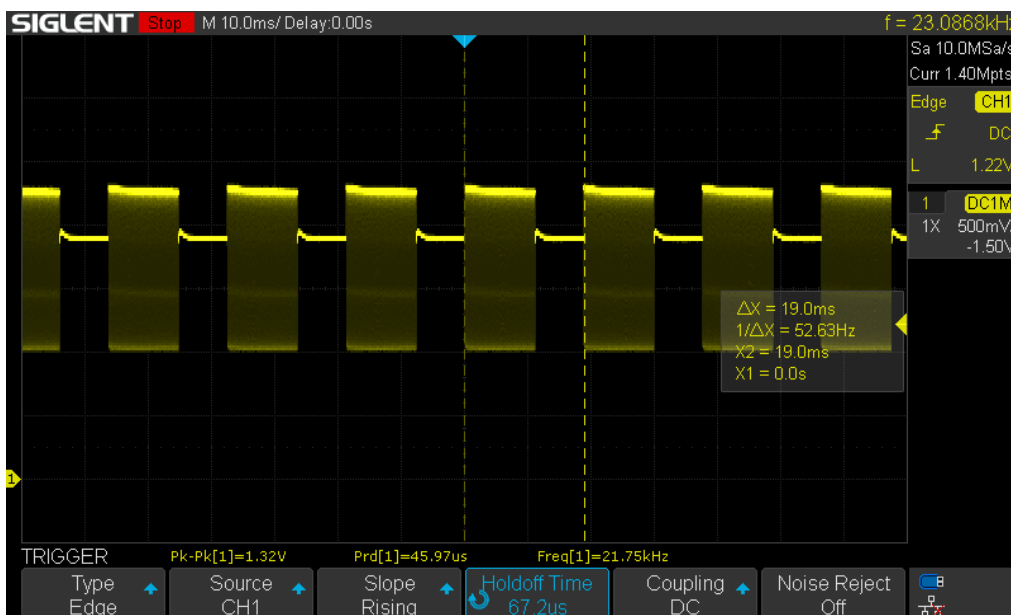
je signál modulovaný. Modulovaný signál budí přes tranzistor BC557 IR LED diodu. Přesná hodnota vysílané frekvence byla doladěna pomocí trimru. Je zapotřebí ji nastavit, jelikož na straně přijímače se nachází přijímací modul se selektivní citlivostí. Nastavování této frekvence metodou pokus-omyl je velmi neefektivní a proto byl využit osciloskop. Na *Obrázku 29* je zobrazen průběh modulačního signálu, na *Obrázku 30* průběh nosného signálu a nakonec na *Obrázku 31* je uveden průběh signálu modulovaného. Napájení zajišťuje 4,5 V baterie o kapacitě 3500 mAh. Vysílač světelné závory bude upevněn stejným způsobem jako přijímač, nyní akorát na opačné straně snímací cesty.



Obrázek 29: Modulační signál

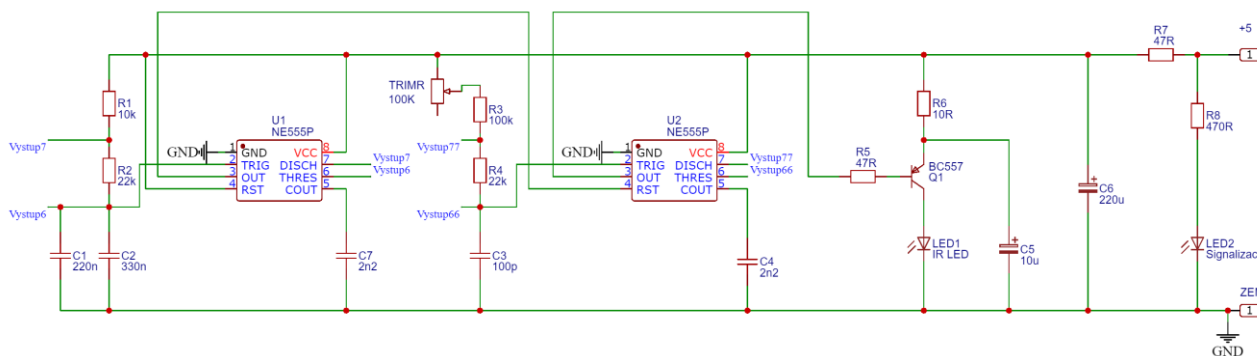


Obrázek 30: Nosný signál

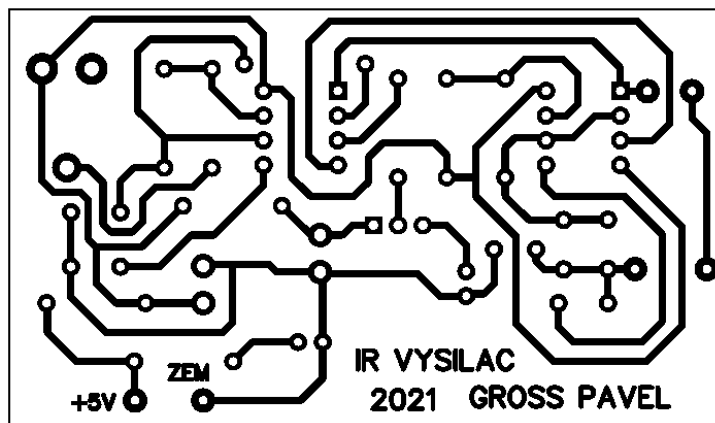


Obrázek 31: Modulovaný signál

Na následujících dvou obrázcích je uvedeno kompletní schéma zapojení a finální podoba DPS vysílače IR.



Obrázek 32: Schéma zapojení vysílače IR



Obrázek 33: DPS vysílače IR (rozměry: 70 x 40 mm)

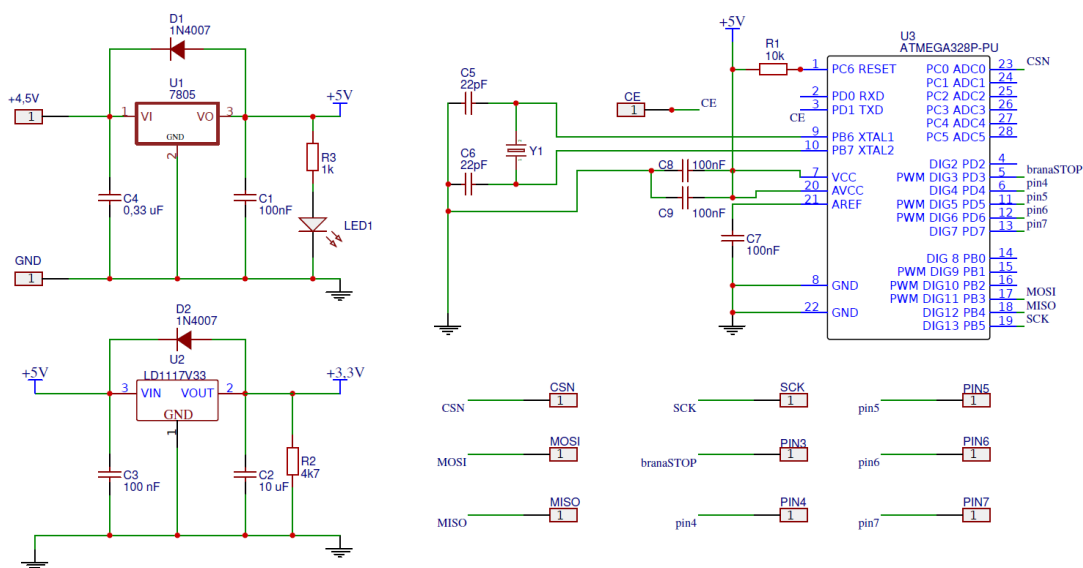
Světelná IR závora – CÍL

Vysílač

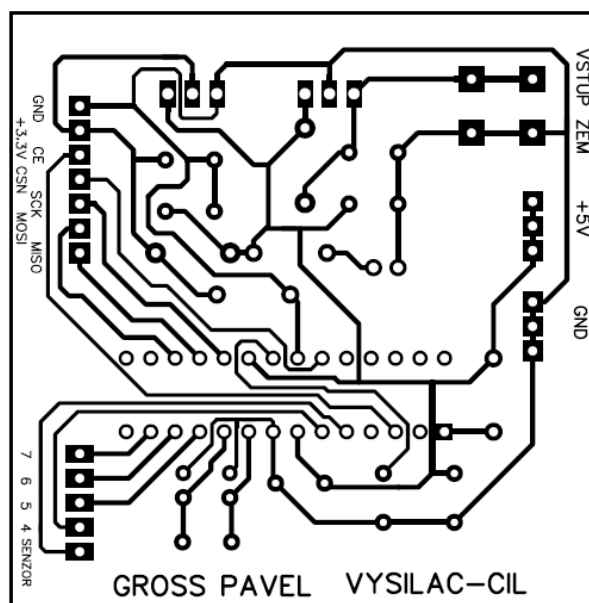
Vysílací modul světelné závory v cíli je identický s vysílacím modulem na startu.

Přijímač

Přijímací modul světelné závory v cíli je opět realizován v krabici od firmy ABB o rozměrech 10 cm x 10 cm s výškou 8 cm. Uvnitř se nachází DPS s mikrokontrolérem a stabilizátory napětí. První stabilizátor napětí LM7805 slouží ke stabilizaci vstupního napětí z baterie na hodnotu +5 V. Jedná se o napětí potřebné pro správnou funkci mikroprocesoru a světelné závory. Druhým je stabilizátor LD1117V33 pro napájení modulu nRF24L01+. První myšlenkou bylo napájení z 9 V baterie. Díky dostatečnému prostoru a větší kapacitě byla nakonec použita baterie o napětí 4,5 V a stabilizátor LM7805 byl překlenut. I zde je použit mikrokontrolér ATmega328p. Tato závora komunikuje s hlavní jednotkou bezdrátově pomocí modulu nRF24L01+ s vyvedenou anténou na pravém boku krabice. Ještě se zde nachází vypínač pro snadné zapnutí/vypnutí. Zapnutí signalizuje dioda. Na opačném boku krabice je umístěn optický IR přijímač TL1838 a laser, pracující ve viditelném spektru. Na horním boku krabice se nachází vypínač pro účely zapnutí pomocného laseru. Řešení umístění laseru a přijímače IR je shodné s řešením u světelné závory na startu. Krabice bude opět připevněna na ocelové tyči a pevně zatlučena do země. Na *Obrázku 34* je uvedeno schéma zapojení a na *Obrázku 35* DPS cílové světelné závory.



Obrázek 34: Schéma zapojení cílové světelné závory



Obrázek 35: DPS cílové světelné závory (rozměry: 60 x 60 mm)

4.3 Velký zobrazovací panel

Velký „externí“ zobrazovací panel se skládá ze šesti 7-segmentových displejů, osazených na DPS. Rozměry jedné číslice jsou 6,97 cm x 4,78 cm. Panel je umístěn do plastového ventilačního kanálu, který byl uříznut dle potřebné velikosti. Konečné rozměry jsou 49 cm x 11 cm x 5,5 cm. Uzavření boků kanálu bylo vyřešeno redukcí, která původně sloužila k prodlužování kanálů. Redukce byla z jedné strany seříznuta a vyplněna plastovou deskou, která byla přilepena pomocí speciálního lepidla na plast. Druhá strana kanálu je řešena stejným způsobem, navíc se zde nachází D-SUB (VGA) konektor pro připojení k řídicí jednotce. Konektor VGA byl zvolen díky svým 15 pinům, potřebným k připojení zobrazovacího panelu. Kabel byl vyroben svépomocí, jelikož klasický datový VGA kabel nemá propojeny všechny piny. Samotný displej je opět chráněn červeným plexisklem, které také napomáhá lepší čitelnosti času. Po navrhnutí DPS bylo zjištěno, že rozměry této navržené DPS jsou příliš velké, oproti běžně prodávaným plošným spojům. Nastal tedy menší problém, který byl vyřešen vyhotovením tří menších plošných spojů, vzájemně propojených pomocí dutinkových lišt. Schéma zapojení i DPS velkého zobrazovacího panelu jsou uvedeny v příloze bakalářské práce.

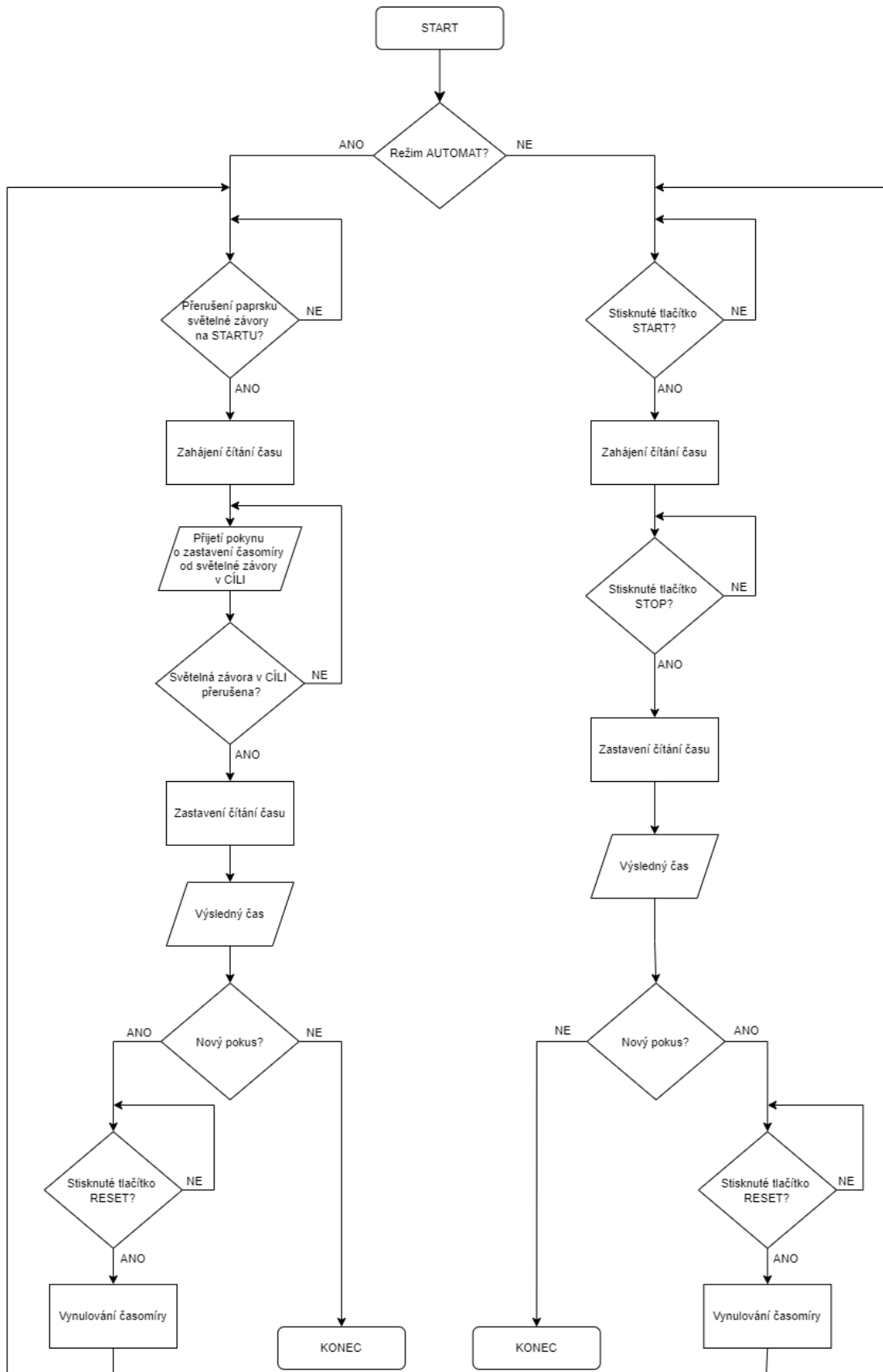
5 Programová část

Nedílnou částí systému časomíry je program, kterým se časomíra řídí. Byly použity dva mikrokontroléry ATmega328p. První byl použit v hlavní jednotce, jenž zajišťuje čítání času, vyhodnocení stavu závor a zasílá data o času na zobrazovací panel. Druhý v cílové světelné závoře, která komunikuje s hlavní jednotkou bezdrátově. Jeho úkolem je vyhodnocení stavu cílové světelné závory a bezdrátová komunikace s hlavní jednotkou.

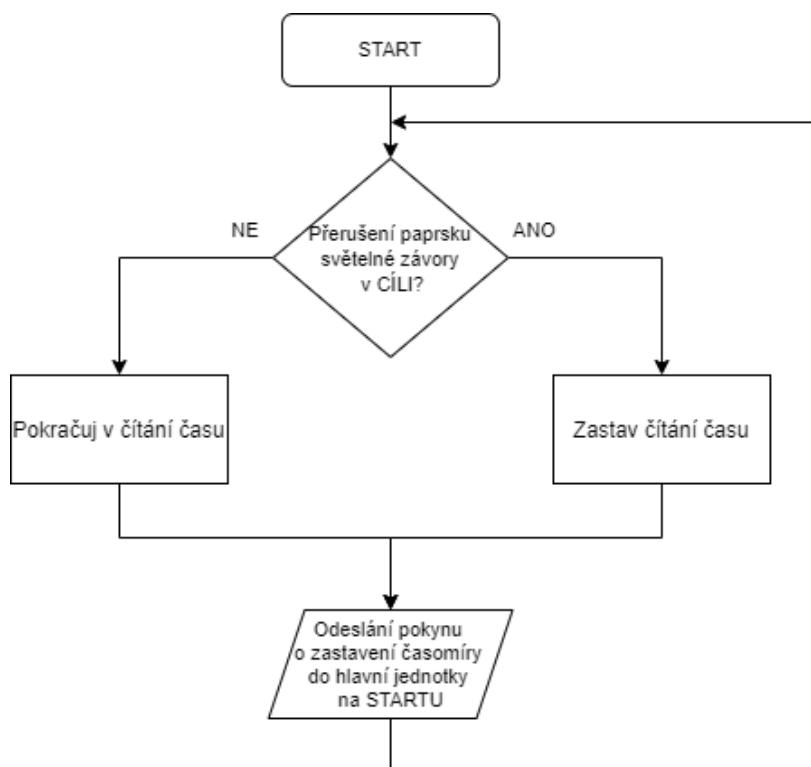
Zdrojové kódy byly psány ve vývojovém prostředí Arduino IDE, konkrétně ve verzi 1.8.5. Jde o dostupnou, volně šiřitelnou aplikaci. Výhodou daného prostředí je podpora programování v jazyce Wiring. Ten má podobu frameworku v jazyce C/C++. Jde o soubor funkcí z jazyka C/C++, které lze z kódu volat. [23]

Program vytvořený v jazyce Wiring se nazývá sketch a jeho specifickými rysy jsou dvě hlavní části programu. První částí je „setup()“, tedy funkce, která se spustí pouze jednou a to ihned po spuštění programu. Slouží k počátečnímu nastavení, deklaraci. Druhou částí je funkce „loop()“. Do této funkce se zapisuje ta část kódu, která se má neustále opakovat.

Na následujících obrázcích jsou uvedeny vývojové diagramy programu pro oba mikrokontroléry.



Obrázek 36: Vývojový diagram programu hlavní jednotky



Obrázek 37: Vývojový diagram programu světelné závory v cíli

6 Testování a zhodnocení parametrů časomíry

Po realizaci časomíry bylo nutné provést funkční testy. Nejprve byl otestován samotný napájecí zdroj. Zdroj obsahuje celkem tři stabilizátory napětí, které jsou pasivně chlazeny společným chladičem. Tam bylo zjištěno první nedopatření. Stabilizátory řady 78xx mají na chladičovou plochu vyveden pin GND, ale stabilizátor LD1117V33 výstupní napětí. To bylo jednoduše vyřešeno použitím izolačních teplovodivých podložek. Poté byla vyzkoušena časomíra v režimu MANUAL, tedy ovládání pomocí tlačítek, nikoliv pomocí světelných závor. Vše pracovalo správně. Dále byla otestována funkčnost konektorů, pro připojení velkého zobrazovacího panelu a konektoru pro externí zdroj. Následovalo testování časomíry v režimu AUTOMAT, kdy stav o zapnutí/ukončení čítání času získává časomíra od světelných závor. Komunikace se závorou na startu byla bez problému. Problém nastal při komunikaci s cílovou světelnou závorou, a to konkrétně v samotném modulu nRF24L01+. Jedná se o modul umožňující obousměrnou komunikaci. Po dlouhém zjišťování příčiny, od samotného zdrojového kódu, DPS, kabelů, až po tento modul, bylo zjištěno, že použitý modul nRF24L01+ není zcela funkční a umožňuje práci jen v režimu přijímač. Modul byl vyměněn a spojení bylo bezpečně navázáno.

Při návrhu a výrobě časomíry byl brán zřetel také na cenu finálního produktu. Proto bylo rozhodnuto vyrobit světelné závory svépomocí. Původně byly zvoleny laserové světelné závory pracující ve viditelném spektru. Tento typ má své výhody, ale i nevýhody. Výhodou je práce při odlaďování, jelikož pouhým okem je možné spatřit přerušení paprsku. Nevýhodou je citlivost přijímače při denním světle. I když tato problematika byla z velké části eliminována umístěním senzoru uvnitř krabice, ke kterému byl paprsek přiveden měděnou trubkou. V průběhu testování se projevila další nevýhoda použití těchto světelných závor, konkrétně malý rozptyl paprsku. S tím byl spojený odraz paprsku přes odraznou plochu zpět na senzor. A právě nastavování odrazné plochy nebylo nijak uživatelsky pohodlné. Během závodu by také mohlo dojít k neúmyslnému odklonu odrazné plochy a tím znehodnocení pokusu daného závodníka. Proto bylo po mnoha testováních rozhodnuto vyrobit jednocestné světelné závory pracující v IR spektru. Takže již není vysílač s přijímačem umístěn v jedné krabici a odraz řešen odraznou plochou, ale každý modul se nachází v samostatné krabici naproti sobě. Oproti použití reflexních světelných závor mají závory jednocestné větší dosah, jelikož paprsek musí urazit pouze poloviční vzdálenost. IR diody mají zároveň větší rozptyl záření. Díky tomu není třeba precizního nastavování směru vysílací IR diody přímo na přijímač. Detailní princip těchto uživatelsky

přívětivějších IR závor je uveden v kapitole 4.2. *Světelné závory*. Z důvodu svépomocí vyrobených světelných závor se může v průběhu používání vyskytnout nějaký jejich nedostatek, proto jsou v záloze i jiná řešení. Tím nejpravděpodobnějším by bylo použití komerčně prodávaných jednocestných světelných závor pracujících v IR, a to především z důvodu, že u těchto zařízení jsou již řešeny optické náležitosti. Příkladem jsou světelné závory využívané u vjezdových vrat.

Zkoušen byl také samotný dosah při bezdrátové komunikaci pomocí modulů nRF24L01+. Teoretická maximální vzdálenost na volném prostranství se uvádí 1100 m. Je zde předpoklad, že se jedná pouze o teoretickou vzdálenost, ke které je možné se v praxi přiblížit. Dosah byl zkoušen nejdříve v rodinném domě přes několik stěn. Poté byl odzkoušen na zahradě, kde byla vzdálenost mezi dvěma moduly 200 m. Následně byla časomíra přenesena na místo, kde bude reálně využívána. Komunikace mezi moduly proběhla ve všech případech v pořádku. Maximální reálný dosah modulu závisí na prostředí a také na nastaveném vysílacím výkonu modulu nRF24L01+. Vysílací výkon modulu lze nastavit ve čtyřech úrovních. Přenos radiového signálu je takřka okamžitý, mnohem významnější roli ve zpoždění má ovládací program běžící v mikrokontrolérech, který informaci vyhodnocuje.

Nakonec byl proveden test přesnosti měření času. Paralelně s měřením času časomíry probíhalo ruční měření na stopkách mobilního telefonu. Test byl proveden vícekrát, konkrétně pro časy 1 minuta, 5 minut a 10 minut. Bylo zjištěno, že odchylka čítaného času pomocí časomíry od času zaznamenaného mobilním telefonem, se zvyšuje s rostoucím časem. Tato chyba je způsobena dobou vykonání každého opakování smyčky „loop“. Ve výsledku se jedná o chybu řadově jedné vteřiny v intervalu 10 minut, který odpovídá maximální době absolvování tratě. Pro účely našeho závodu je toto dostačující. V první řadě jsou podmínky pro všechny závodníky stejné. A navíc rozdíly v časech jednotlivých jezdců nejsou desetiny vteřiny, ale několik vteřin. Již v průběhu realizace časomíry byl zkoušen program pro čítání času. Avšak bylo zjištěno, že čítání času bylo velice nepřesné. Bylo to způsobeno použitím funkce „delay“, kdy po vykonání každého opakování byl zablokován průběh dalších iterací. Proto byla využita funkce „millis“, pomocí které lze zjistit hodnotu uloženou ve vnitřním časovači procesoru. Zde je uchována informace o délce běhu programu od jeho spuštění. Vhodným zapsáním programu lze pomocí funkce „millis“ provést také zpoždění. [25]



Obrázek 38: Testování přesnosti čítání času

7 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat digitální časomíru pro účely měření času při závodech traktorů do vrchu. Velkou výhodou realizované časomíry je její kompaktnost a jednoduché ovládání. Díky tomu ji lze snadno přepravovat a samotná příprava celého časoměřičského systému trvá jen několik málo minut. Časomíra je navržena také pro externí napájení 12 V. Proto je možný její provoz i v místech absence síťového napájení 230 V. Práce s časomírou je velice jednoduchá a intuitivní, avšak je potřeba obsluhu dostatečně seznámit.

Zahájení a ukončení čítání času je řešeno pomocí světelných závor. Světelná závora v oblasti startu, která zahajuje čítání času, je k hlavní jednotce připojena kabelem. Naopak světelná závora ukončující čítání času, která se nachází v cílové oblasti ve vzdálenosti 150 m od startu, komunikuje s hlavní jednotkou bezdrátově. To zajišťuje vyšší komfort při samotné přípravě časoměřičského systému, oproti tažení kabelu. Bezdrátový přenos zajišťuje modul nRF24L01+. Srdcem celé časomíry je hlavní jednotka, která se nachází v oblasti startu a která je obsluhována pořadatelem akce. Kromě 7-segmentového zobrazovacího panelu, umístěného přímo v hlavní jednotce, je možné připojit externí zobrazovací panel umožňující divákům sledovat časy závodníků.

Po realizaci celého měřicího systému proběhlo finální testování. Použití reflexních světelných závor pracujících ve viditelném spektru se neosvědčilo. Proto byly následně vyrobeny jednocestné světelné závory v IR oblasti. Velkou výhodou těchto závor je díky modulaci IR signálu nezávislost na denním světle. Dále byl proveden test bezdrátové komunikace přímo v místě závodu, který byl úspěšný. Nakonec proběhlo testování přesnosti měření času.

Největším úspěchem a motivací předkládané bakalářské práce je její využití v praxi. Nasazení časomíry je plánováno na léto 2021, kdy proběhne další ročník závodu traktorů do vrchu. Oficiální čítání času bude řešeno opět časomírou vypůjčenou, se kterou bude paralelně využita tato časomíra. Pokud se osvědčí, dosud využívanou časomíru v dalších ročnících plnohodnotně nahradí.

Směry pokračování práce by mohly být různé. Od RFID tagů nalepených na strojích, až po snímací kamery. Jak již bylo zmíněno, časomíra bude sloužit pro specifický závod pořádaný jednou ročně, proto o těchto vylepšeních není prozatím uvažováno. Momentálně jediné plánované rozumné vylepšení je výpis časů do PC.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Měření času ve sportu: od stopek po hi-tech [online]. [cit. 22.02.2021]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/mereni-casu-ve-sportu-od-stopek-po-hi-tech-casomiry-834304>
- [2] ATMEL. Atmega328p: Datasheet [online]. [cit. 22.02.2021]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/422610/ATMEL/ATMEGA328P.html>
- [3] NOVÁK, O. a kol. *Číslicová elektronika. 1. vydání*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 2014. ISBN 978-80-7494-137-5.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS. 74HC595: Datasheet [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.ti.com/document-viewer/SN74HC595/datasheet/abstract#SCLS0415025>
- [5] TRV ELEKTRONIK. Výroba sportovních časomír [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.trv-kocab.cz/cs/casomiry/casomira-agility-model-s-150>
- [6] VACEK, Václav. *Učebnice programování PIC*. Praha: BEN - technická literatura, 2000. ISBN 80-8605-687-2.
- [7] MALINA, Václav. *Poznáváme elektroniku*. České Budějovice: Kopp, 2006. ISBN 80-7232-271-0.
- [8] GROSS, Pavel. *Digitální časomíra řízená mikroprocesorem* [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://socv2.nidv.cz/archiv40/getWork/hash/bdfd1d53-2acd-11e8-90e4-005056bd6e49>
- [9] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-110-1.
- [10] ČTÚ. Využívání vymezených rádiových kmitočtů, Český telekomunikační úřad. [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/vyuzivani-vymezenych-radiovykh-kmitoctu>
- [11] NRF24L01. Návod y drátek [online]. Dostupné z: <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/arduino-wifi-modul-nrf24l01.html>
- [12] MOUSER. nRF24L01: Datasheet [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: https://www.mouser.com/datasheet/2/297/nRF24L01_Product_Specification_v2_0-9199.pdf
- [13] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-1144.

- [14] AXIMA SOLUTIONS. Reflexní optické snímače [online]. [cit. 23.02.2021] Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/opticke-snimace-a-kamerove-systemy/opticke-snimace/reflexni>
- [15] HOW TO MECHATRONICS. nRF24L01 - How It Works [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communication-nrf24l01-tutorial/>
- [16] VIRIUS, Miroslav. *Programování v C++: od základů k profesionálnímu použití*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0502-1.
- [17] Arduino na nepájivém poli [online]. [cit. 23.02.2021] Dostupné z: <http://docs.uart.cz/docs/arduino/>
- [18] EASYEDA. EasyEda - Online PCB design & circuit simulator [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://easyeda.com>
- [19] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [20] TEXAS INSTRUMENTS. 7805: Datasheet [online]. [cit. 22.02.2021]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>
- [21] SPARKFUN ELECTRONICS. LD1117V33: Datasheet [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LD1117V33.pdf>
- [22] Konektor XLR. GM electronic [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/xlr188>
- [23] ARDUINO HELP CENTER [online]. [cit. 23.02.2021]. Dostupné z: <https://support.arduino.cc/hc/en-us>
- [24] OPEN IMPULSE. TL1838: Datasheet [online]. [cit. 04.04.2021.] Dostupné z: <http://eeshop.unl.edu/pdf/VS1838-Infrared-Receiver-datasheet.pdf>
- [25] HWKITCHEN. Užitečné funkce. [online]. [cit. 11.04.2021.] Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/uzitecne-funkce-3/>

Seznam symbolů a zkratk

| | |
|---------------|---------------------------------------|
| AVR..... | Advanced Virtual RISC |
| DMX..... | Demultiplexor |
| DPS..... | Deska Plošného Spoje |
| IR | Infrared Radiation |
| MISO | Master In, Slave Out |
| MOSI | Master Out, Slave In |
| MX..... | Multiplexor |
| PA / LNA..... | Power Amplifier / Low Noise Amplifier |
| RISC | Reduced Instruction Set Computing |
| SCK | Serial Clock |
| SIPO | Serial-In, Paralel-Out |
| SPI | Serial Peripheral Interface |

Seznam obrázků

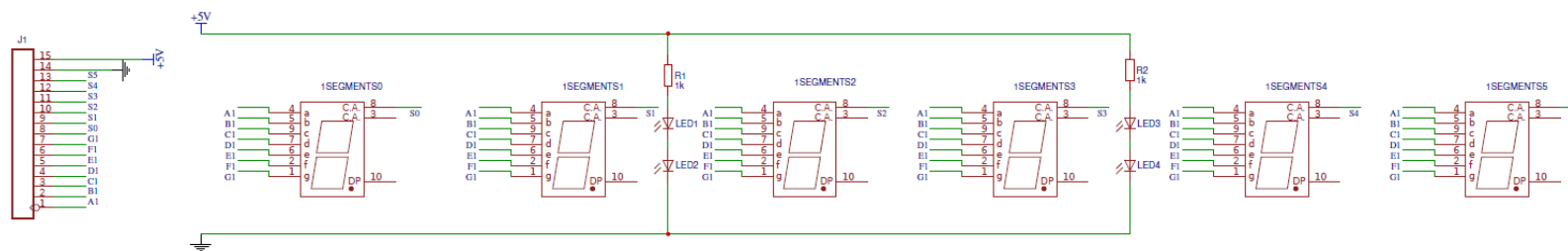
| | |
|--|----|
| OBRÁZEK 1: ZÁVODNÍK NA TRATI..... | 2 |
| OBRÁZEK 2: POPIS VÝVODŮ MIKROKONTROLÉRU ATMEGA328P [2] | 4 |
| OBRÁZEK 3: BLOKOVÉ SCHÉMA MIKROKONTROLÉRU ATMEGA328P [2] | 5 |
| OBRÁZEK 4: POPIS VÝVODŮ POSUVNÉHO REGISTRU 74HC595 [4]..... | 6 |
| OBRÁZEK 5: SEGMENTOVÝ ZOBRAZOVACÍ PANEL [5] | 7 |
| OBRÁZEK 6: ZOBRAZOVACÍ PANEL Z VYSOCESVÍTIVÝCH LED [5]..... | 7 |
| OBRÁZEK 7: OZNAČENÍ JEDNOTLIVÝCH SEGMENTŮ | 8 |
| OBRÁZEK 8: PRINCIP ČASOVÉHO MULTIPLEXU [7] | 8 |
| OBRÁZEK 9: PRINCIP SPÍNÁNÍ ANOD VELKÉHO ZOBRAZOVACÍHO PANELU | 9 |
| OBRÁZEK 10: BEZDRÁTOVÝ MODUL NRF24L01+ [11] | 11 |
| OBRÁZEK 11: POPIS VÝVODŮ BEZDRÁTOVÉHO MODULU NRF24L01 [15]..... | 11 |
| OBRÁZEK 12: PROPOJENÍ PINŮ MIKROPROCESORU A BEZDRÁTOVÉHO MODULU [12] | 12 |
| OBRÁZEK 13: BLOKOVÉ SCHÉMA OPTICKÉHO SENZORU [13] | 13 |
| OBRÁZEK 14: REFLEXNÍ SVĚTELNÁ ZÁVORA [14] | 14 |
| OBRÁZEK 15: VYSÍLAČ | 15 |
| OBRÁZEK 16: PŘIJÍMAČ | 15 |
| OBRÁZEK 17: VYSÍLACÍ IR LED DIODA..... | 16 |
| OBRÁZEK 18: PŘIJÍMAČ IR S DEMODULÁTOREM (TL1838)..... | 16 |
| OBRÁZEK 19: KONEKTOR XLR [22] | 19 |
| OBRÁZEK 20: KONEKTOR D-SUB (VGA)..... | 19 |
| OBRÁZEK 21: BLOKOVÉ SCHÉMA NAPÁJECÍHO ZDROJE | 19 |
| OBRÁZEK 22: SCHÉMA ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE | 20 |
| OBRÁZEK 23: DPS NAPÁJECÍHO ZDROJE (ROZMĚRY: 90 X 55 MM) | 21 |
| OBRÁZEK 24: SCHÉMA ZAPOJENÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY | 22 |
| OBRÁZEK 25: DPS ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY (ROZMĚRY: 150 X 110 MM) | 23 |
| OBRÁZEK 26: DPS PRO BEZDRÁTOVÝ MODUL (ROZMĚRY: 40 X 25 MM) | 23 |
| OBRÁZEK 27: DPS ZOBRAZOVACÍHO PANELU (ROZMĚRY: 200 X 50 MM)..... | 24 |
| OBRÁZEK 28: DEMODULOVANÝ SIGNÁL | 25 |
| OBRÁZEK 29: MODULAČNÍ SIGNÁL | 26 |
| OBRÁZEK 30: NOSNÝ SIGNÁL..... | 26 |
| OBRÁZEK 31: MODULOVANÝ SIGNÁL | 27 |
| OBRÁZEK 32: SCHÉMA ZAPOJENÍ VYSÍLAČE IR..... | 27 |
| OBRÁZEK 33: DPS VYSÍLAČE IR (ROZMĚRY: 70 X 40 MM)..... | 27 |
| OBRÁZEK 34: SCHÉMA ZAPOJENÍ CÍLOVÉ SVĚTELNÉ ZÁVORY | 28 |
| OBRÁZEK 35: DPS CÍLOVÉ SVĚTELNÉ ZÁVORY (ROZMĚRY: 60 X 60 MM)..... | 29 |
| OBRÁZEK 36: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU HLAVNÍ JEDNOTKY | 31 |
| OBRÁZEK 37: VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU SVĚTELNÉ ZÁVORY V CÍLI | 32 |
| OBRÁZEK 38: TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI ČÍTÁNÍ ČASU | 35 |

Seznam tabulek

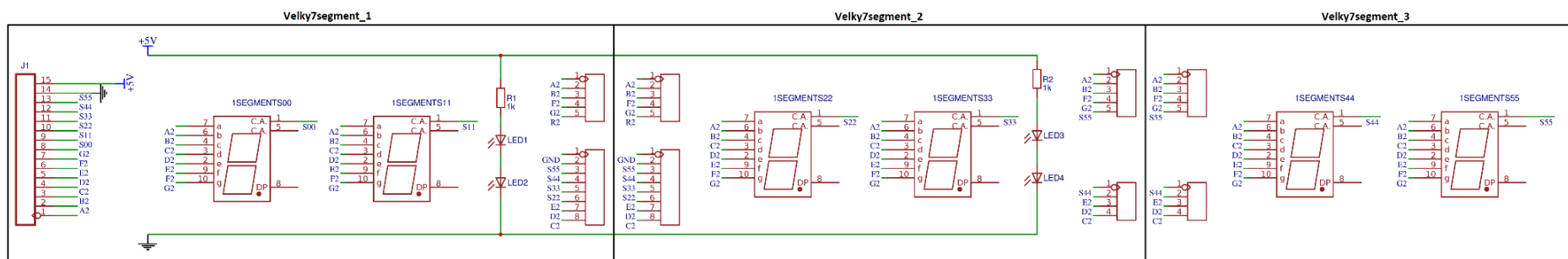
| | |
|---|----|
| TABULKA 1: VYUŽÍVÁNÍ VYMEZENÝCH RÁDIOVÝCH KMITOČTŮ [10] | 10 |
|---|----|

Přílohy

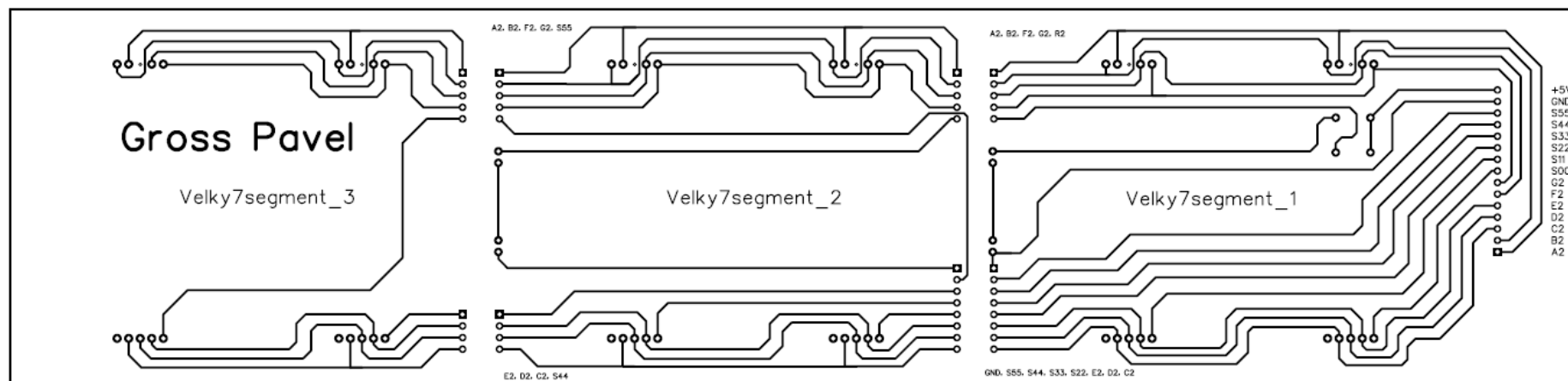
Příloha A.1 – Schéma zapojení malého zobrazovacího panelu



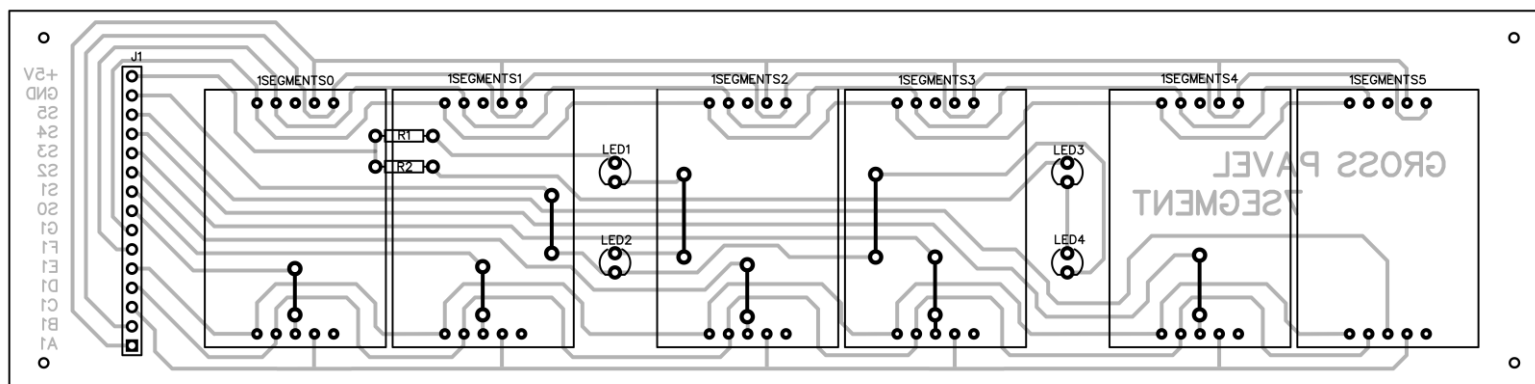
Příloha A.2 – Schéma zapojení velkého zobrazovacího panelu



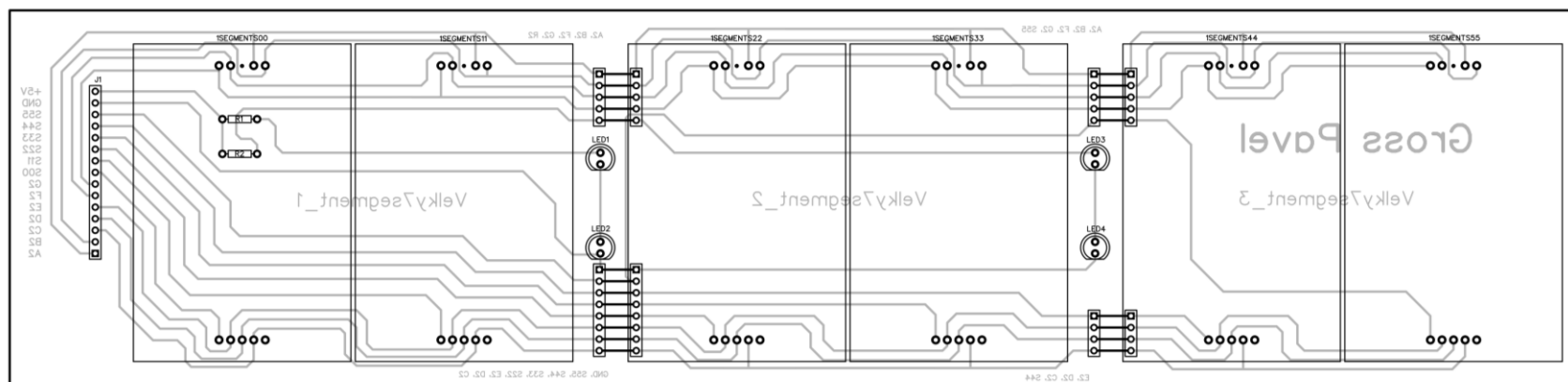
Příloha A.3 – DPS velkého zobrazovacího panelu (rozměry: 380 x 100 mm)



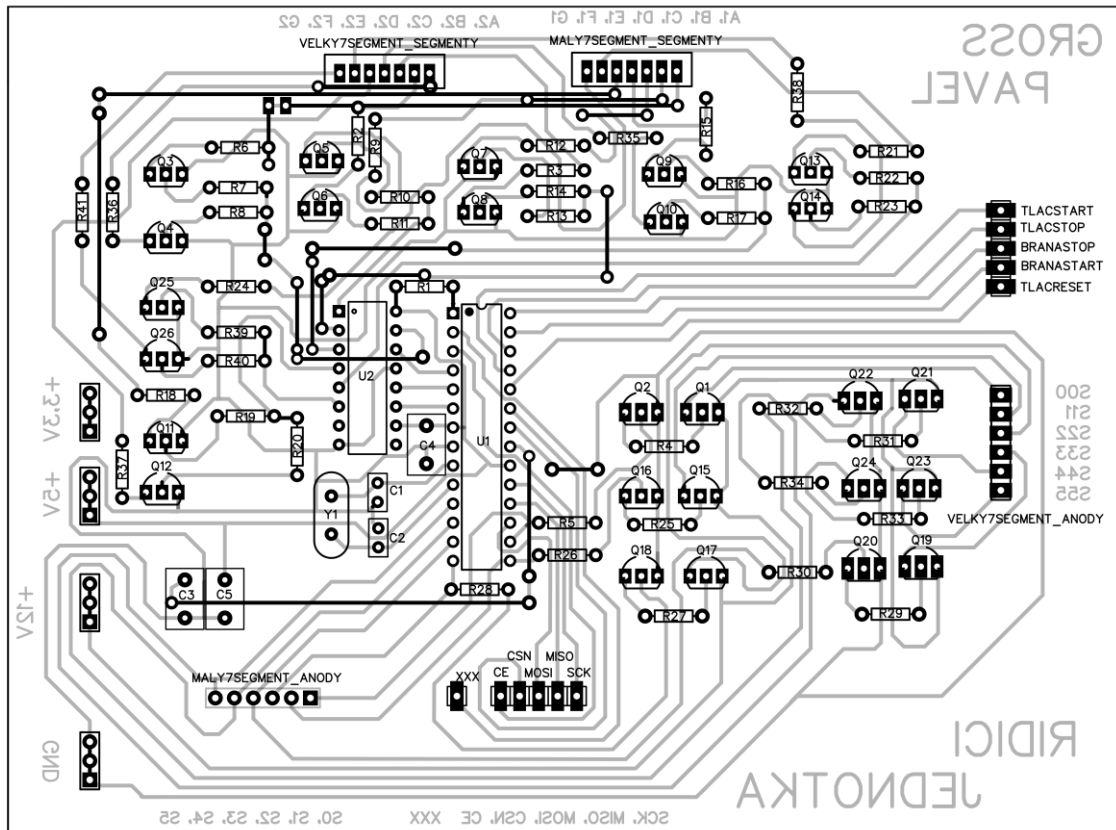
Příloha B.1 – Osazovací plán malého zobrazovacího panelu



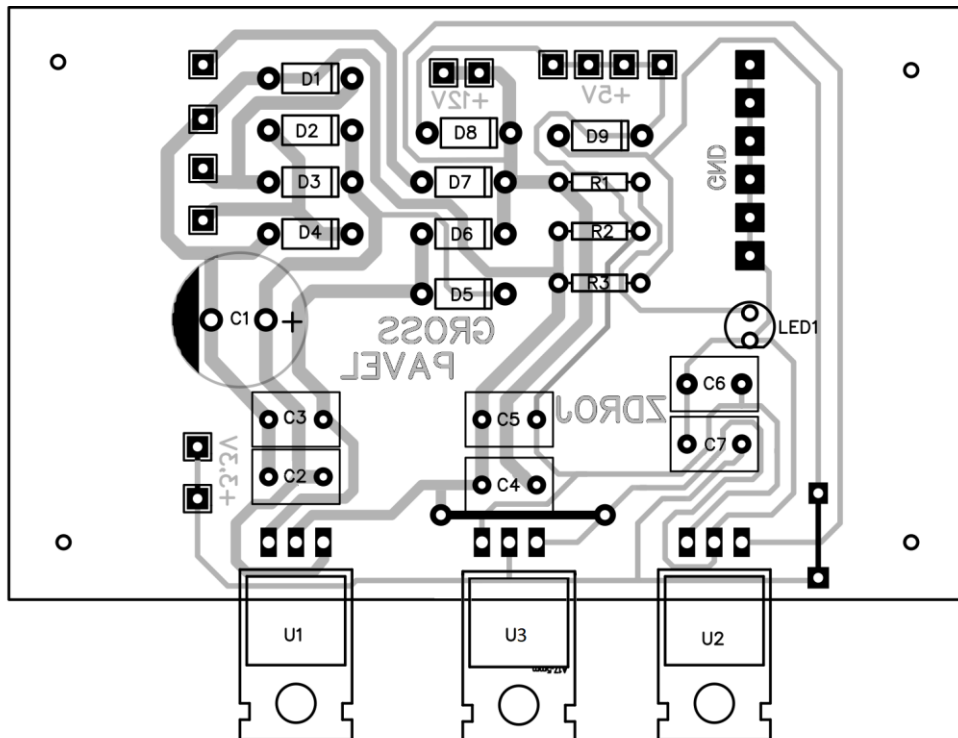
Příloha B.2 – Osazovací plán velkého zobrazovacího panelu



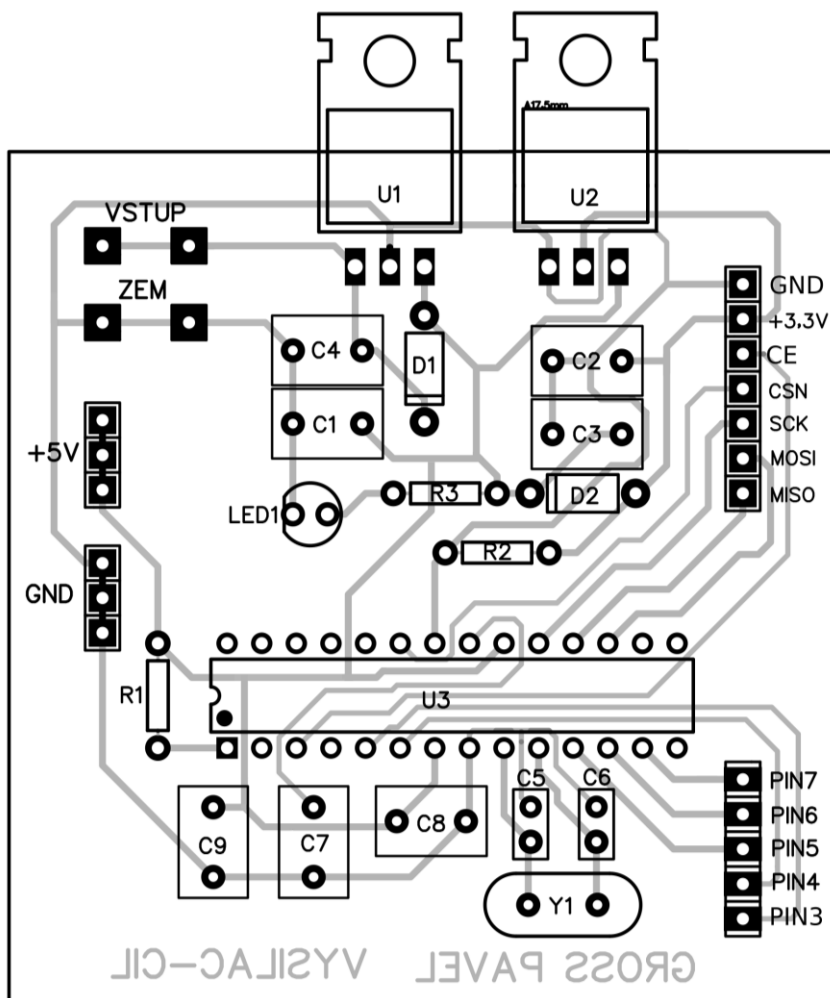
Příloha B.3 – Osazovací plán řídicí jednotky



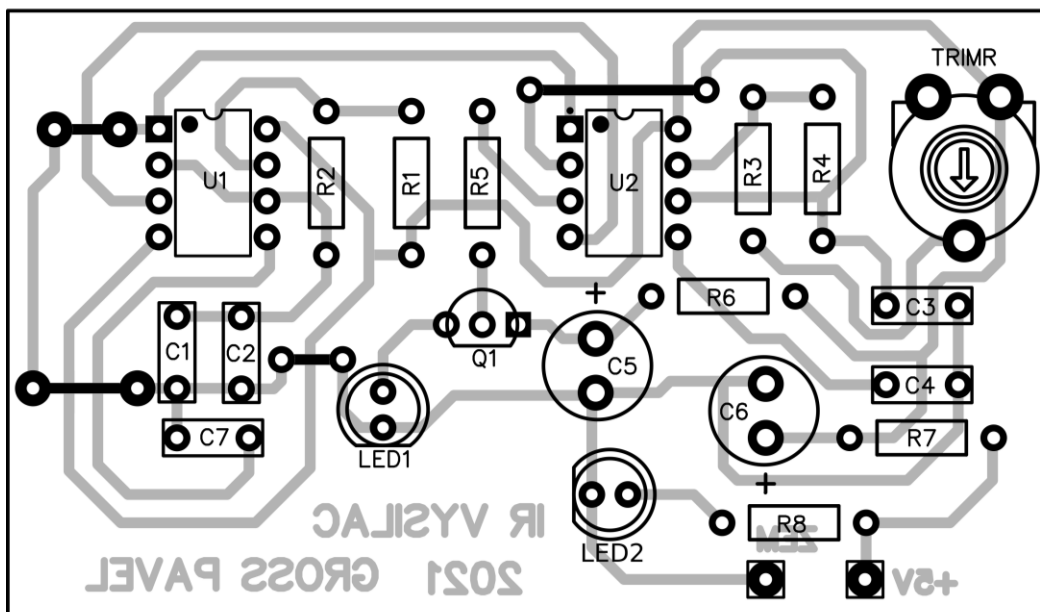
Příloha B.4 – Osazovací plán zdroje

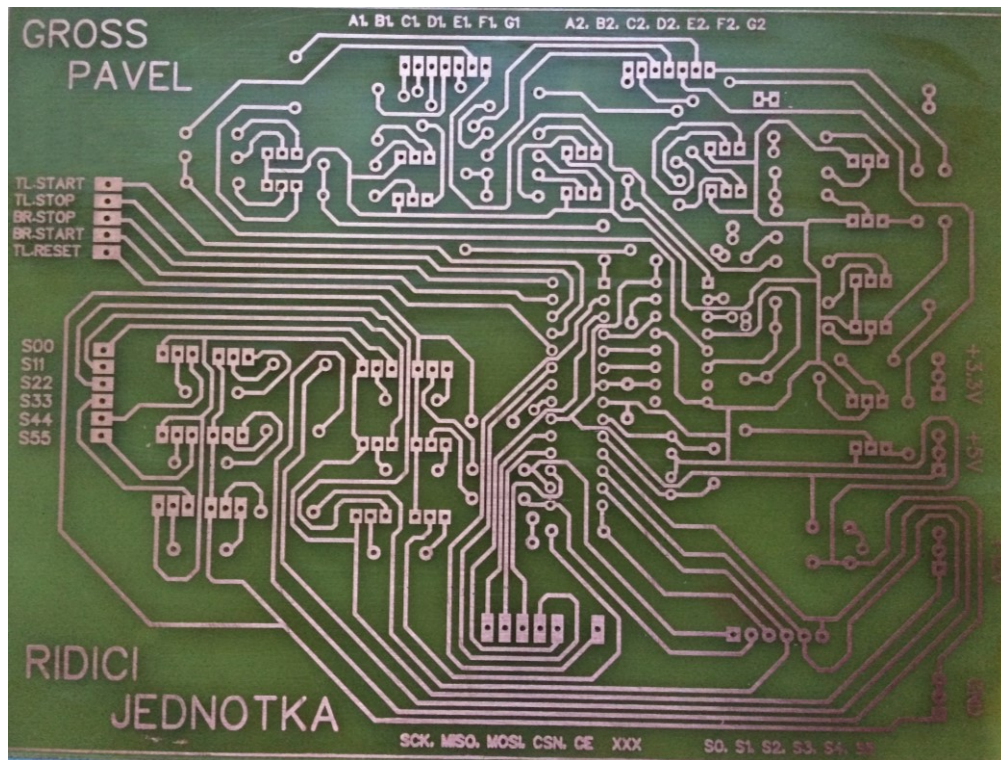
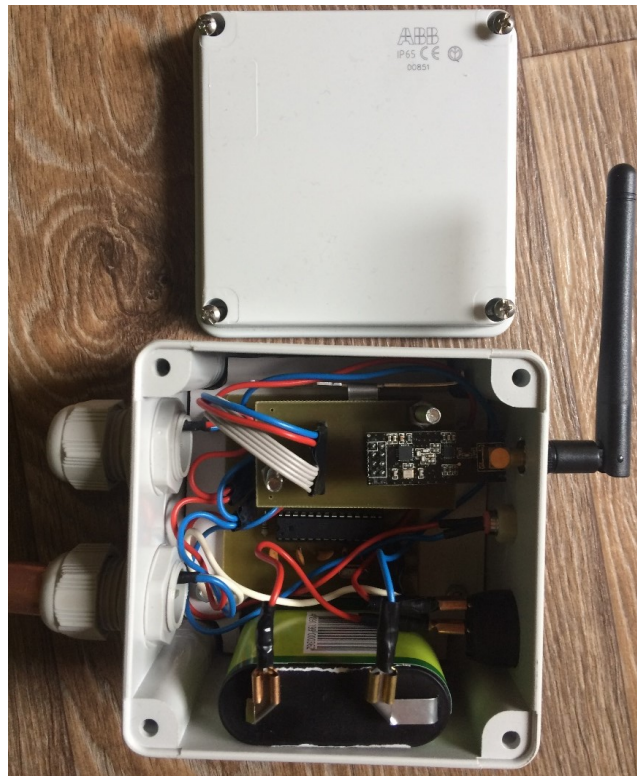


Příloha B.5 – Osazovací plán cílové světelné závory

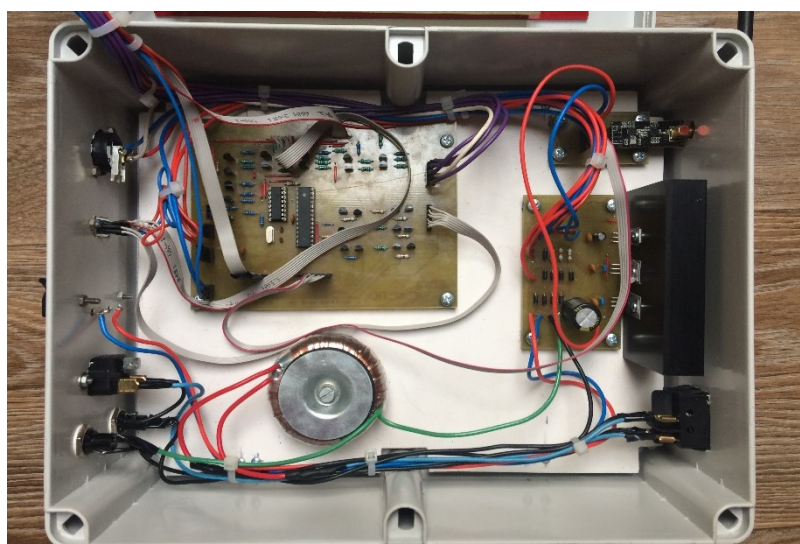
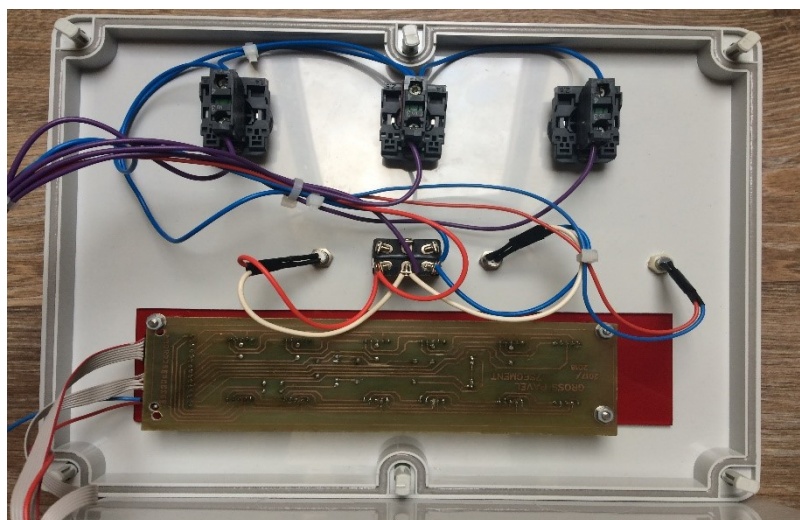


Příloha B.6 – Osazovací plán vysílače IR



Příloha C.1 – DPS řídicí jednotky zhotovený fotocestou**Příloha C.2 – Vnitřní uspořádání cílové světelné závory**

Příloha C.3 – Vnitřní uspořádání hlavní jednotky



Příloha C.4 – Výroba VGA propojovacího kabelu



Příloha C.4 – Finální podoba časoměřičského systému

