



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

UNIVERZÁLNÍ SPORTOVNÍ ČASOMÍRA

UNIVERSAL SPORT TIMER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vladimír Dlabaja

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej

Baštán

BRNO 2023



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Vladimír Dlabaja

ID: 230054

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Univerzální sportovní časomíra

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a vytvořit systém univerzální sportovní časomíry.

1. Seznamte se s dostupnými řešeními.
2. Definujte požadavky na systém časomíry.
3. Navrhněte koncepci vlastního řešení.
4. Navrhněte a realizujte HW.
5. Navrhněte a implementujte FW/SW.
6. Otestujte funkčnost a zhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

GAJSKI, Daniel D., et al. Embedded system design: modeling, synthesis and verification. Springer Science & Business Media, 2009.

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 22.5.2023

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Baštán

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá rozborem dostupných časomír na trhu a návrhem vlastního řešení univerzální sportovní časomíry. Zabývá se taky realizací hardwaru, firmwaru a softwaru časomíry.

KLÍČOVÁ SLOVA

měření času, sport, univerzální časomíra, hardware

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of the available timekeepers on the market and the design of a universal sports timekeeper. It also deals with the implementation of the hardware, firmware and software of the timekeeper.

KEYWORDS

timekeeping, sport, universal timekeeping, hardware

DLABAJA, Vladimír. *Univerzální sportovní časomíra*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2023, 63 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Ondřej Baštán

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Vladimír Dlabaja
VUT ID autora: 230054
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2022/23
Téma závěrečné práce: Univerzální sportovní časomíra

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Baštánovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	12
Cíle práce	13
1 Požadavky	14
1.1 Seznam sportů	14
1.1.1 Vodní sporty	14
1.1.2 Zimní sporty	14
1.1.3 Ostatní sporty	14
1.2 Definice požadavků	16
1.2.1 Přesnost	16
1.2.2 Univerzálnost	16
1.2.3 Mobilita	16
1.2.4 Odolnost	16
1.2.5 Komunikace	17
1.2.6 Napájení	17
1.2.7 Ovládání	17
1.2.8 Zobrazovač	17
1.2.9 Uživatelské rozhraní	17
2 Průzkum dostupných řešení	18
2.1 Průzkum trhu	18
2.2 Práce studentů	20
2.3 Shrnutí	21
3 Koncepce	22
3.1 Moduly	22
3.1.1 Main modul	22
3.1.2 Trigger modul	22
3.1.3 Display modul	22
3.2 Topologie	22
3.3 Komunikace	23
3.3.1 Kabelová komunikace	23
3.3.2 Bezdrátová komunikace	24
3.4 Napájení	24
3.4.1 Akumulátor	24
3.4.2 Externí zdroj	25
3.5 Kably	25

3.6	Konektory	25
3.7	Uživatelské rozhraní	26
4	Návrh hardware	28
4.1	Základní specifika návrhu	28
4.2	Komunikace	28
4.3	Napájení	29
4.3.1	Blokové schéma	29
4.3.2	Nabíjení akumulátoru	29
4.3.3	Napájecí napětí 3.3V	30
4.3.4	Napájecí napětí 12V	31
4.4	Trigger modul	31
4.4.1	RTC obvod	31
4.4.2	Procesor	32
4.4.3	Vstupy	32
4.4.4	Výstupy	33
4.4.5	Rozpoznání připojené periferie	33
4.4.6	Blokové schéma	34
4.5	Main modul	35
4.6	Návrh desky plošného spoje	35
5	Návrh software	37
5.1	Inicializace	37
5.1.1	Inicializace TC2	37
5.1.2	Inicializace RTC	37
5.1.3	Inicializace portů	37
5.2	Stavový automat	38
5.3	Párování modulů	39
5.3.1	Main modul	39
5.3.2	Trigger modul	41
5.4	Synchronizace času	41
5.4.1	Main modul	41
5.4.2	Trigger modul	42
5.4.3	Kontrola	44
5.5	Výpočet reálného času	44
5.6	Signál periferie	45
5.7	Stopky	45
5.8	Rozpoznání připojené periferie	45

6 Model krabičky	46
6.1 Program	46
6.2 Krabička Trigger modulu	46
7 Ověření měření času	48
Závěr	49
Literatura	50
Seznam symbolů a zkratk	53
A Schéma zapojení	55
A.1 Procesor	55
A.2 Napájení	56
A.3 Součásti pro procesor	57
A.4 Vstupy a výstupy	58
A.5 RS485	59
B Deska plošného spoje	60
B.1 Přední strana	60
B.2 Zadní strana	61
C Reálné zařízení	62
D Obsah elektronické přílohy	63

Seznam obrázků

2.1	Neutrik konektor [4]	19
2.2	Časomíra R3 od firmy EGMedical [5]	19
3.1	Schéma použití časomíry v disciplíně běh na 100m s překážkami	23
3.2	Blokové schéma kabelové komunikace	23
3.3	Blokové schéma bezdrátové komunikace	24
3.4	Li-ion baterie v pouzdře 18650[14]	25
3.5	Konektor M12 zásuvka[16]	26
3.6	Rozložení pinů konektoru M12	26
3.7	Konektor M12 vidlice [17]	27
4.1	Modul nRF24L01+PA+LNA [19]	28
4.2	Blokové schéma napájení	29
4.3	Zapojení nabíjení baterie	30
4.4	Zapojení Step-Down měniče	30
4.5	Zapojení Step-Up měniče	31
4.6	Zapojení vstupních signálů	33
4.7	Zapojení výstupních signálů	33
4.8	Principiální zapojení napěťového děliče	34
4.9	Blokové schéma Trigger modulu	35
4.10	3D model desky plošného spoje	36
5.1	Stavový automat časomíry	38
5.2	Vývojový diagram funkce párování Main modulu	40
5.3	Vývojový diagram funkce párování Trigger modulu	41
5.4	Vývojový diagram synchronizace Trigger modulu	42
5.5	Vývojový diagram synchronizace Main modulu	43
5.6	Vývojový diagram kontroly synchronizace	44
6.1	Čelní panel krabičky	46
6.2	Záda krabičky	47

Seznam tabulek

1.1	Přehled sportů a jejich periferií pro měření času [2]	15
3.1	Specifikace pinů konektoru M12 pro periferie	26
3.2	Specifikace pinů konektoru M12 pro komunikaci	27
4.1	Hodnoty odporu periferií	34
7.1	Ověření výsledků synchronizace času	48

Úvod

Od pradávna mezi sebou lidé soupeří. Nejinak tomu je ve sportu, kde se porovnávají především podle svých fyzických možností a dovedností. Jak se však dají porovnat výkony jednotlivých sportovců? Potřebujeme zjistit (změřit), jak je sportovec silný, rychlý, obratný. Když měříme rychlost, měříme čas, za který sportovec překonal stanovenou trasu. Právě měřením času se budu zabývat v této práci.

V dřívějších dobách se čas měřil pomocí mechanických stopek. Toto měření má však velký nedostatek, je jím lidský faktor. Ten do měření zanáší značnou chybu, jelikož ne vždy jsou stopky stisknuty v přesný okamžik. Proto se s rozvojem technologií začaly využívat elektronické časomíry, které disponují vysokou přesností a spolehlivostí měření. Nejmodernější zařízení dokáží měřit čas s přesností 0.0001 s a k přesné detekci závodníka využívají speciální náramky s čipy nebo řádkové kamery.

Když již existují tak dokonalá zařízení, proč se zabývat vývojem vlastního řešení? Důvod nalezneme především v ceně těchto zařízení a nemožnosti snadného využití pro tréninkové aktivity, kdy se opět ve většině případů používají mechanické stopky. Na trhu nalezneme řešení, která nejsou cenově nedostupná, mají však spoustu nedostatků. A právě tyto nedostatky se pokusím odstranit.

Cíle práce

Cílem práce je navrhnout a vytvořit systém univerzální sportovní časomíry, který bude cenově dostupný i pro menší sportovní organizace či školy. Půjde využít při pořádání závodů, ale i pro tréninkové a školní aktivity, např. při hodinách tělocviku. Velký důraz bude kladen na použitelnost pro co nejširší škálu sportovních aktivit.

Návrh koncepce systému bude vytvořen tak, aby se docílilo snadné a rychle instalace, ale i spolehlivosti a přesnosti měření. Další důležitou vlastností bude odolnost systému proti nežádoucím vlivům okolního prostředí.

Pokusím se navrhnout vlastní „časomíru“ a vytvořit k ní příslušný hardware, software i firmware.

1 Požadavky

Tato kapitola se bude zabývat potřebami jednotlivých sportů a jejich nároků na měření času. Shrnutím požadavků vstupně-výstupních bloků jednotlivých sportů a rozbohem klíčových parametrů pro návrh vlastního řešení.

1.1 Seznam sportů

Vzhledem k velkému množství sportů se budu zabývat pouze sporty, u kterých měříme čas pro porovnání výkonů sportovců. Sporty jako např. lední hokej, fotbal,... nebudu uvádět, čas se zde měří pouze za účelem stanovení hrací doby (funkce časovače).

1.1.1 Vodní sporty

Tyto sporty se vyznačují vysokými nároky na dostatečnou ochranu proti vodě. U některých disciplín lze snímače umístit na břeh mimo dosah vody. Vodní sporty, které využívají snímače umístěné pouze ve vodě, jsou v tabulce 1.1 označeny jako speciální zařízení.

1.1.2 Zimní sporty

Snímání času je podobné ostatním sportům, ale vzniká zde problém nízké teploty, která klesá do záporných hodnot. Někdy i několik desítek stupňů Celsia. Nízká teplota má největší vliv na výdrž baterií.

V tabulce 1.1 lze vidět, že některé sportovní disciplíny (boby, sáně, skeleton) vyžadují přesnost měření času na tisíce vteřiny. Vzhledem k velmi specifickým podmínkám těchto sportů a všeobecné dostupnosti, nebudu časomíru navrhovat na podmínky těchto sportů.

1.1.3 Ostatní sporty

Většina disciplín, zařazených do této kategorie, má stejný záměr. Měření času, za jaký závodník/tým překonal daný úsek trati.

Pod pojmy atletika a požární sport se ukrývá více různým disciplín (požární útok, běh na 100 m, štafeta, ...). Všechny vyžadují podobné způsoby měření a liší se pouze v připojených perifériích, jakými jsou např. startovací pistole, optická závora,... sloužící k zaznamenání závodníka.

Tab. 1.1: Přehled sportů a jejich periferií pro měření času [2]

Sport	START						CÍL						Přesnost [s]
	Startovací pistole	Optická závora	Zvukový signál	Tlačítko (pasivní člen)	Čip	Speciální přípravek	Optická brána	Tlačítko (pasivní člen)	Induktivní snímač	Řádková kamera	Čip	Speciální zařízení	
Vodní sporty													
Plavání	✓											✓	0,01
Kanoistika						✓	✓						0,01
Veslování						✓	✓						0,01
Vodní slalom		✓					✓						0,01
Zimní sporty													
Lyžování				✓	✓		✓				✓		0,01
Snowboard			✓	✓	✓		✓		✓	✓			0,01
Běžky	✓				✓						✓		0,01
Biatlon	✓				✓						✓		0,01
Boby, Sáně, Skeleton		✓					✓						0,001
Rychlobruslení	✓								✓				0,01
Ostatní sporty													
Atletika	✓	✓	✓				✓			✓			0,01
Sportovní lezení				✓				✓					0,01
Požární sport	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓				0,01
Cyklistika	✓						✓			✓	✓		0,01

V dnešní době využívá většina atletických i jiných disciplín pro přesné měření času řádkovou kameru. Tato kamera zachycuje obraz cílové čáry ve velmi krátkých časových okamžicích. Výsledný obraz následně přesně udává pořadí závodníků v jakém překročili tuto čáru. Toto zařízení je však příliš drahé a lze jej nahradit jinými variantami.

1.2 Definice požadavků

Vzhledem k rozsáhlému množství sportů shrnu základní požadavky a předpoklady, jakých by tento návrh měl dosáhnout.

1.2.1 Přesnost

Nejdůležitějším aspektem, při měření času, je přesnost měření. Z výše specifikovaných nároků pro jednotlivé sporty vyplývá požadovaná přesnost měření minimálně 0,01s. Proto musím navrhnout řešení, které bude mít periodu měření alespoň 0,001s a zpoždění komunikace maximálně 0,005s, abych zajistil požadovanou přesnost.

1.2.2 Univerzálnost

Jelikož není předem jasně specifikováno prostředí, ve kterém se bude časomíra používat, musím zajistit univerzálnost systému, aby bylo možné přizpůsobit zařízení požadované aplikaci. Většina sportů má velmi podobné nároky na měření času, liší se převážně v počtu a typech potřebných periférií, používaných pro start, mezičas a cíl. V mém návrhu je proto nutné zajistit jednotné rozhraní pro použití univerzálního typu periferie.

1.2.3 Mobilita

Systém by měl být snadno a rychle smontovatelný a připraven k použití. Tuto vlastnost využijeme především pro tréninkové účely, kdy nechceme strávit spoustu času přípravou zařízení.

1.2.4 Odolnost

Z výčtu sportů víme, že většina z nich se odehrává ve venkovním prostředí. Z tohoto důvodu je velmi důležitá odolnost proti nepříznivým vlivům počasí. Budu se tedy zabývat hlavně odolností proti vodě a teplotě.

Odolnost proti vodě

Nároky odolnosti proti vodě nám specifikuje norma ČSN EN 60529 [1], proto návrh budu koncipovat tak, aby splňoval minimálně ochranu IP66. Což značí ochranu proti intenzivně tryskající vodě. Voda míří 12.5mm tryskou ve všech úhlech při průtoku 100 litrů za minutu při tlaku 100kN/m² po dobu nejméně 3 minuty ze vzdálenosti 3 metry.

Odolnost proti teplotě

Bude-li časomíra vystavena celý den slunečnímu záření, začne docházet k jejímu zahřívání, je proto nutné při návrhu hardware tuto skutečnost uvážit a zvolit vhodné výkony součástek.

1.2.5 Komunikace

Jednotlivé části časomíry mezi sebou musí komunikovat bezdrátově nebo pomocí kabelu. Bezdrátový přenos je výhodnější kvůli rychlejšímu zprovoznění. Je však vhodné mít k dispozici obě varianty.

1.2.6 Napájení

Jestliže chci docílit mobility, uvažuji o napájení z bateriového zdroje integrovaného v jednotlivých částech časomíry. Je dobré mít v záloze možnost připojení externího zdroje napětí.

1.2.7 Ovládání

Pro uživatele je důležité jednoduché a intuitivní ovládání. K základnímu ovládání postačí sada tlačítek a displej pro ověření správnosti funkce. Ideální by byl dotykový displej, kdy odpadá nutnost tlačítek.

1.2.8 Zobrazovač

Zobrazení výsledných časů je nezbytnou součástí časomíry. Rozlišuji dva druhy:
Malý displej - zobrazí startérovi výsledný čas a zároveň slouží k ovládání časomíry.
Velký displej - zobrazuje čas a další informace divákům.

1.2.9 Uživatelské rozhraní

Pro zpracování výsledků je vhodné mít k dispozici rozhraní schopné komunikovat s počítačem, kde lze následně zpracovat výsledky dle potřeby uživatele.

2 Průzkum dostupných řešení

Tato kapitola shrnuje dostupná řešení na českém trhu a navrhovaná řešení v podobě bakalářských prací. Bude proveden rozbor a výsledné zhodnocení.

2.1 Průzkum trhu

Budu se zabývat pouze elektronickými časomírami, které nevyužívají řádkovou kameru ani náramky s čipy.

Pokud není uvedeno, že se jedná o bezdrátové zařízení, budu předpokládat nutnost použít kabely. Obdobné to je u napájení, kdy uvažuji, že všechny modely potřebují externí zdroj napájení pokud není uvedeno jinak.

TRV elektronik

Tato firma nabízí produkty pro více druhů sportovního využití. Z oblasti, na kterou je zaměřena tato práce, jsou vhodné níže uvedené modely.

- **model Dual 150**

Disponuje dvěma zobrazovači s velikostí číslic 150mm. Dokáže pracovat nezávisle na PC. Lze dokoupit příslušenství pro dálkové ovládání časomíry.

Výrobce nabízí i model Dual 260, který disponuje číslicemi velikosti 260mm.

Cena modelu od 36 000 Kč

- **model S-150**

Tento model disponuje jedním displejem s velikostí číslic 150mm. Dokáže měřit až 4 časy najednou. Pracuje nezávisle na PC.

Existují i modely s velikostí číslic 260mm a 300mm.

Cena modelu od 30 000 Kč

- **model SKI 150D**

Časomíra pro sjezdové lyžování. Jedná se o časomíru S-150 upravenou na bezdrátovou variantu komunikace. Udávaný dosah komunikace je 2-3km. Napájení je možné z externí baterie 12V DC.

V nabídce nalezneme i modely s kabelovou komunikací nebo displejem o velikosti číslic 260mm.

Cena modelu od 32 000 Kč

Mezi nevýhody většiny těchto časomír patří, absence bezdrátové varianty. Pouze dva z výše uvedených modelů nabízí bezdrátovou komunikaci, avšak i zde je zapotřebí externího zdroje napájení. Největší slabinu vidím v použití Neutrik konektorů (obr.2.1), které nemají dostatečné krytí proti vodě.[3]



Obr. 2.1: Neutrik konektor [4]

EGMedical s.r.o. egmenengo Ing. Ivo Stražil

Firma se zabývá vývojem a výrobou elektrotechniky. Ve svém portfoliu nabízí různé druhy elektronických časomír.

- **Časomíra R3**

Bezčipová časomíra. Vyrábí se i bezdrátová verze. Nabízí možnost maximálně 7 cílových fotobuněk. Start lze provádět tlačítkem, pistolí, optickou závorou nebo zvukovým signálem. Lze dokoupit velkoplošný display.

Cena od 40 000 Kč, bezdrátová verze od 80 000 Kč



Obr. 2.2: Časomíra R3 od firmy EGMedical [5]

- **Časomíra Q mini**

Kompaktní verze časomíry, kterou lze připojit pomocí USB kabelu k notebooku s operačním systémem Windows. Vyrábí se ve dvou verzích s jednou nebo s dvojicí fotobuněk. Lze dokoupit i velkoplošný display.

Cena sestavy od 10 000 Kč

- **Časomíra pro Agility**

Výrobek je specializován pro Agility. Výrobce nabízí možnost upravit časomíru i pro jiné typy sportu, dle přání zákazníka. Komunikace s počítačem je možná pomocí USB kabelu. Komunikace s fotobuňkami je dostupná v bezdrátovém provedení.

Cena běžné konfigurace od 23 000 Kč

Výrobky nabízejí univerzální použití v širokém spektru sportů. Jsou velmi kompaktní, lehce přenosné a skladovatelné. Jediným příslušenstvím je optická závora, což velmi omezuje použití těchto produktů. Velkou nevýhodou jsou Neutrik konektory 2.1 s nedostatečným krytím proti vodě. [6]

METROSYS solution s.r.o.

Výrobce se převážně zabývá vývojem a výrobou zobrazovacích LED zařízení. V jeho portfoliu lze nalézt i elektronické časomíry.

- **Univerzální LED stopky 160**

Stopky jsou navrženy jako jedno zařízení obsahující řídicí systém i zobrazovač. K nastavování a ovládání je možno využít externího tlačítka. Stopky lze provozovat pouze jako zobrazovač za pomoci sériové linky RS232.

Vyrábí se i ve verzi DUAL, která má LED zobrazovač z obou stran stopek.

- **Univerzální LED stopky 260**

Tato verze nabízí stejné možnosti jako verze 160, pouze LED display má velikost číslic 260mm. Vyrábí se i ve verzi DUAL.

Ceny výrobků nejsou uvedeny.

Výrobce nabízí pouze jeden typ výrobku ve čtyřech různých variantách. Jedná se o velmi jednoduchou časomíru ovládanou pomocí tlačítek. Jak už výrobce napovídá jedná se spíše o stopky s LED displejem. [7]

2.2 Práce studentů

Tématem návrhu a výroby vlastní časomíry se i dříve zabývali studenti v rámci svých bakalářských prací.

Bakalářská práce Ing.Marek Gál realizuje vlastní bezdrátové řešení časomíry převážně zaměřené pro požární sport. Autor myslel na problematiku bezdrátového přenosu a synchronizaci času. Nabízí i možnost drátové komunikace. [8]

Bakalářská práce Ing.Petr Novobilský realizuje řešení určené pro disciplíny požárního sportu, kterou je především požární útok, ale i disciplíny vyžadující k detekci závodníka optickou závora. Toto řešení nabízí bezdrátovou komunikaci mezi jednotlivými částmi časomíry. [9]

Bakalářská práce Ing.Martin Klimeš realizuje pouze jednoúčelové řešení pro disciplínu požárního sportu - požární útok. Jeho řešení nabízí pouze bezdrátový přenos dat mezi jednotlivými moduly.[10]

2.3 Shrnutí

Žádný z těchto návrhů nenabízí optimální řešení pro univerzální využití. Někteří výrobci nabízí částečné univerzální řešení, ale jeho instalace je velmi složitá. Jiné produkty naopak vykazují velmi jednoduché a intuitivní provedení, ale zde jsou velké nedostatky ve využití pro více druhů sportů. Další nevýhodou jsou vysoké ceny nabízených výrobků, které se i za ty nejmenší modely pohybují v desítkách tisíc korun.

Práce studentů se pokusily odstranit nedostatky výrobků dostupných na trhu, ale navrhovaná řešení byla jednoúčelová a určená pro jeden sport.

3 Koncepce

Tato kapitola se zabývá návrhem koncepce vlastního řešení časomíry, rozbořením jednotlivých částí časomíry a určením základních parametrů a vlastností jednotlivých částí.

3.1 Moduly

Hlavní myšlenkou je všestranné sportovní využití a snadná instalace. Z těchto důvodů bude systém rozdělen na jednotlivé moduly, které mezi sebou bude možné propojit dle potřeb dané aplikace.

3.1.1 Main modul

Jedná se o nejdůležitější součást celé časomíry. Jeho úkolem bude správně počítat čas a zaznamenat všechny mezičasy až po signál cíle. Průběžné časy bude zobrazovat na svém displeji nebo je bude vysílat na externí obrazovku (Display modul). Další funkcí, která by neměla u časomíry chybět je časovač, tedy odpočet času do nuly. Modul bude zajišťovat vzájemnou komunikaci s jednotlivými moduly a také komunikaci s uživatelem.

3.1.2 Trigger modul

Jedná se o modul obsluhující periferie dané aplikace. Základními oblastmi použití tohoto modulu jsou start, mezičasy a cíl. Modul vyhodnotí signály přicházející ze vstupních periférií, následně o těchto změnách informuje Main modul a také bude obsluhovat připojené výstupní periferie (indikátory).

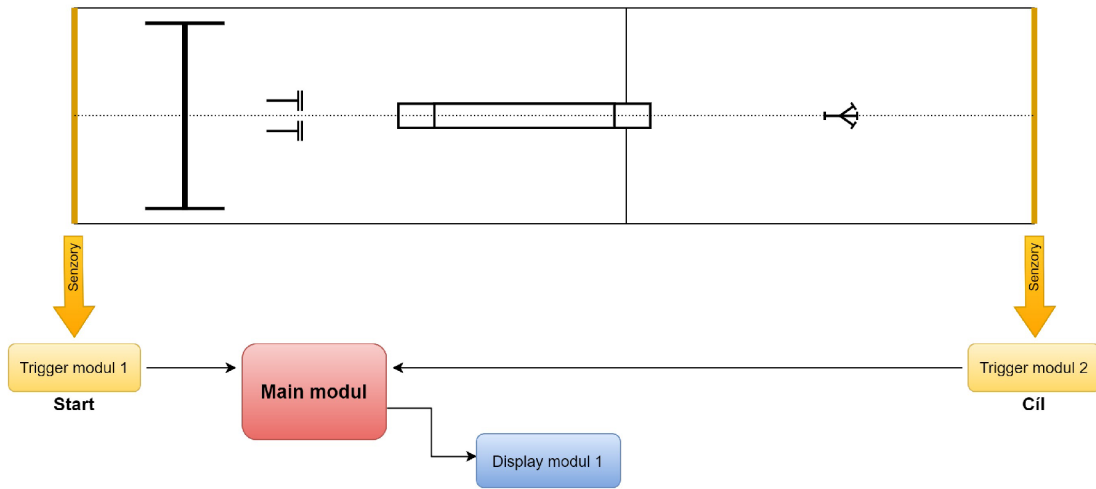
3.1.3 Display modul

Tento modul po příjmu informací od Main modulu převede informaci na obrazovku. Obrazovkou může být jednoduchý sedmisegmentový displej, maticový displej nebo televizní obrazovka. Záleží na uživateli jaký displej se rozhodne připojit. (Návrh tohoto modulu není součástí práce)

3.2 Topologie

Na obrázku 3.1 můžete vidět schéma závodu požárního sportu - disciplíny běh na 100m s překážkami. Je zde znázorněno použití jednotlivých modulů během závodu.

V případě závodu na více dráhách současně, by se pouze přidalo více Trigger modulů, popř. Display modulů.



Obr. 3.1: Schéma použití časomíry v disciplíně běh na 100m s překážkami

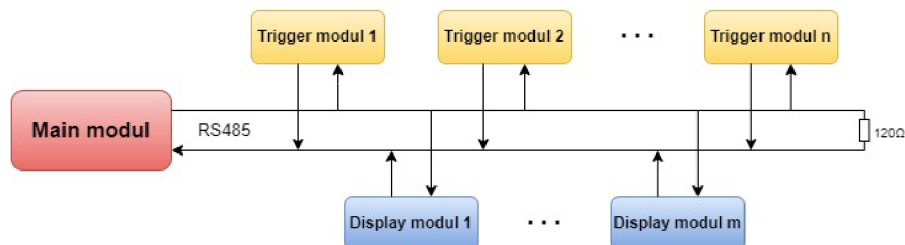
3.3 Komunikace

Komunikace mezi jednotlivými moduly musí zajistit předání potřebných informací a je zajištěna dvěma způsoby - kabelem a bezdrátově.

3.3.1 Kabelová komunikace

Využije se multipoint komunikace průmyslového standardu RS485. Dokáže zajistit komunikaci až pro 32 zařízení. K přenosu signálu používá TP VEDENÍ (twistedpair - kroucená dvojlinka), tzn. dva vodiče smotané kolem sebe (A, B). Jedná se o rozdílový (diferenční) přenos dat, díky čemuž může délka vedení dosahovat až 1200m.[11]

Blokové schéma kabelové komunikace našeho systému je znázorněno na obr. 3.2

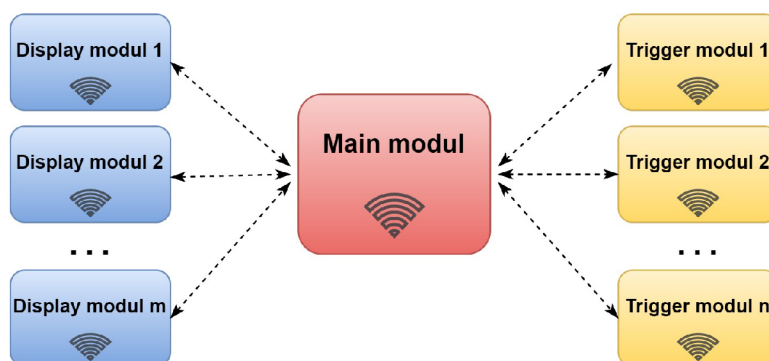


Obr. 3.2: Blokové schéma kabelové komunikace

3.3.2 Bezdrátová komunikace

Použije se modul nRF24L01+PA+LNA. Jedná se o jednočipový 2.4GHz vysílač určený pro nízkovýkonové aplikace. Udávaný dosah komunikace závisí na prostředí a použité anténě, se kterou lze dosáhnout komunikační vzdálenosti více než 1000m (ve volném terénu). Vysílač umožňuje komunikovat maximálně se šesti zařízeními současně, celkem lze však komunikovat až se 125 zařízeními. S mikroprocesorem je propojen pomocí SPI (Serial Peripheral Interface - sériové periferní rozhraní) sběrnice.[12]

Blokové schéma bezdrátové komunikace je znázorněno na obr. 3.3



Obr. 3.3: Blokové schéma bezdrátové komunikace

3.4 Napájení

Napájení je nedílnou součástí každého elektronického zařízení. Je třeba zajistit napájení jednotlivých modulů, připojených periférií i celého systému. Napájecí napětí závisí na zvoleném typu mikrokontroléru, může se jednat o napětí 3.3V nebo 5V, pro periférie se využije napětí 12V.

3.4.1 Akumulátor

Pro dosažení jednoduché instalace je baterie zabudována do každého modulu. Tím je zajištěno napájení pro modul i připojené periférie. Výběr akumulátoru je třeba dobře zvážit s ohledem na nabíjecí cykly, kapacitu a cenu.

Stručný výtah vlastností nejpoužívanějších typů akumulátorů:

NiMH (Nikl-metal hydridové) operační napětí článku je 1.2V, hluboké vybíjení zkracuje životnost, běhen nabíjení a vybíjení generuje teplo.

Li-ion (Lithium iontové) napětí článku je 3.6V - 4.2V, baterie nemá paměť, samovybíjení je o polovinu nižší než u akumulátoru na bázi niklu.

Li-Po (Lithium polymerové) založený na stejném principu jako Li-ion akumulátor, pouze jako elektrolyt využívá polymer. Dosahuje vyšší hustoty energie, avšak jeho cena je až o 30% vyšší.[13]

Nejvhodněji se jeví typ akumulátoru Li-ion. Disponuje dostatečně vysokým napětím článku a zároveň se jedná se o levný akumulátor s velkou kapacitou. Nejdostupnější varianta je v pouzdru 18650.



Obr. 3.4: Li-ion baterie v pouzdře 18650[14]

3.4.2 Externí zdroj

Za externí zdroj lze považovat vše, co není součástí modulu. Jelikož může být časomíra využívána po celý den, nemusela by být kapacita baterie dostatečná. Externí zdroj tedy zajistí trvalé napájení. Bude se jednat o zakoupený zdroj s jmenovitým napětím 12V. Napájení je do modulů přivedeno pomocí kabelu.

3.5 Kabeľy

Jednotlivé moduly je třeba propojit, aby spolu mohly komunikovat. V případě použití externího zdroje napájení je nutné zajistit spojení zdroje s jednotlivými moduly. Aby odpadla nutnost tahat dva kabely, bude vybrán takový typ kabelu, který lze použít společně pro napájení i komunikaci.

Pro zajištění komunikačního standardu RS485 společně s napájením je nejvhodnější použít UTP kabel určený pro venkovní použití. Je složen ze čtyř TP vodičů, dva TP vodiče, budou použity pro RS485 komunikaci a zbylé dva TP vodiče budou sloužit k napájení.[15]

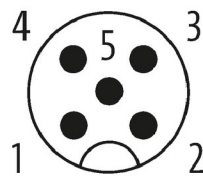
3.6 Konektory

K docílení požadované univerzálnosti připojovaných periférií je třeba jednotný konektor. Dostatečně vyhovující je 5-ti pinový konektor M12, viz obr. 3.5, který disponuje dostatečným krytím a možností umístění konektoru na panel.



Obr. 3.5: Konektor M12 zásuvka[16]

Při využití jednoho typu konektoru, bez ohledu na připojený typ periferie, je třeba specifikovat vlastnosti jednotlivých pinů konektoru. Rozložení pinů konektoru je znázorněno na obr.3.6. Popis jednotlivých pinů je znázorněn v tabulce 3.1.



Obr. 3.6: Rozložení pinů konektoru M12

Tab. 3.1: Specifikace pinů konektoru M12 pro periferie

Pin	Název	Popis
1	PWR	Napájecí napětí 12V
2	IN	Vstup do mikroprocesoru
3	GND	Zem, 0V
4	OUT	Výstup z mikroprocesoru
5	DEF	Definice připojeného zařízení

Spojení jednotlivých modulů UTP kabely umožní konektor M12. Aby nedošlo k záměně s konektorem pro připojení periferií, bude konektor opačného druhu - vidlice. Obrázek 3.7 ukazuje zvolený konektor. Specifikace jednotlivých pinů je uvedena v tabulce 3.2.

3.7 Uživatelské rozhraní

Kombinace tlačítek a malého displeje je nejjednodušším řešením ovládání časomíry. Daleko intuitivnějším řešením se zdá být dotykový displej, ale jedná se o dražší variantu a byl by větší problém s dodržáním požadovaného krytí.



Obr. 3.7: Konektor M12 vidlice [17]

Tab. 3.2: Specifikace pinů konektoru M12 pro komunikaci

Pin	Název	Popis
1	B	RS485 signál B
2	A	RS485 signál A
3	GND	Zem, 0V
4	PWR	Napájení periferií 12V
5	SYNC/CHRG	Synchronizační pulz / Nabíjení baterie

Nedílnou součástí je taktéž zpracování výsledků, k čemuž slouží počítač. Vhodný způsob spojení s počítačem je pomocí USB (Universal serial bus - univerzální sériové rozhraní) kabelu. K dispozici však musí být software, který výsledky zpracuje.

V současné době, kdy téměř každý disponuje chytrým mobilním telefonem, je vhodným řešením ovládání časomíry a zpracování výsledků pomocí mobilního telefonu. Nutností je však vývoj příslušné aplikace.

Vývoj softwaru pro počítač a mobilní aplikace není součástí této práce.

4 Návrh hardware

Kapitola se bude zabývat návrhem hardware jednotlivých modulů časomíry.

4.1 Základní specifika návrhu

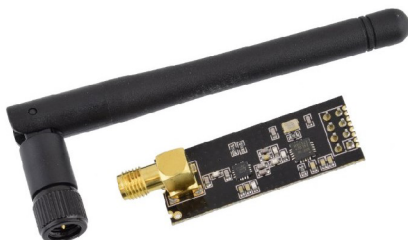
Výkony součástek jsou zvoleny tak, aby splnily derating 3-krát (snížení jmenovitého výkonu součástky za účelem prodloužení její životnosti), čímž se zvýší odolnost a spolehlivost při zvyšující se teplotě [18]. Konektory musí být galvanicky odděleny, aby byla zajištěna ochrana citlivých obvodů.

Hardware komunikace a napájení bude pro všechny moduly stejný, proto jim jsou v návrhu věnovány samostatné sekce.

Kompletní schéma zapojení je obsahem přílohy A a návrh desky je v příloze B.

4.2 Komunikace

Bezdrátovou komunikaci zajistí modul nRF24L01+PA+LNA, viz obr.4.1, který stačí pomocí sběrnice SPI spojit s procesorem. K zajištění stabilizace napájení a filtraci šumu v průběhu komunikace je umístěn mezi napájecí pin a GND kondenzátor s hodnotou $10\mu F$.



Obr. 4.1: Modul nRF24L01+PA+LNA [19]

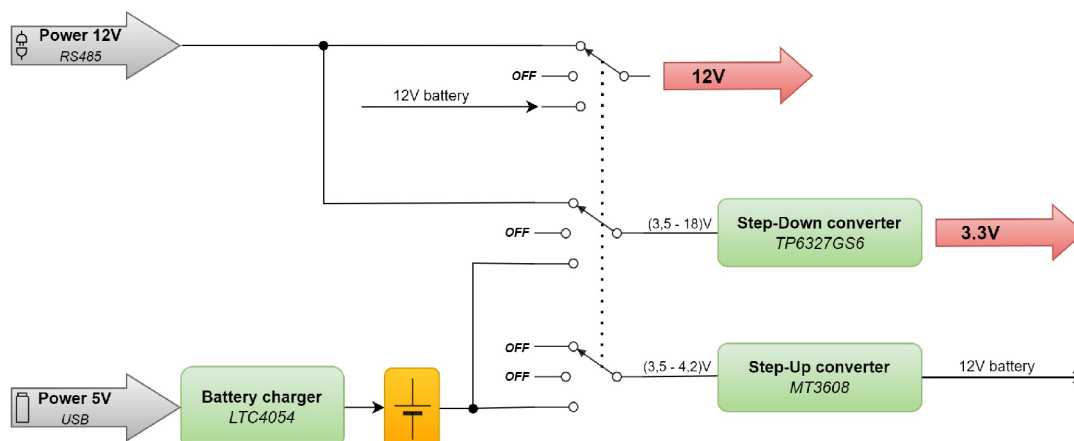
Komunikaci standardem RS485 zajistí IO (Integrovaný obvod) SP3485EN [20]. Vstupní signál je přiveden přes TVS (Transient-voltage-suppression diode - transil) diodu, která IO chrání proti elektrostatickému náboji a přepětí, a RC filtr typu dolní propust, který filtruje rušivé signály na vyšších frekvencích.

4.3 Napájení

K napájení modulů slouží Li-ion akumulátor nebo 12V externí zdroj. Nezávisle na zvoleném zdroji musím získat požadované úrovně napětí. Pro baterii musím zajistit možnost nabíjení.

4.3.1 Blokové schéma

Blokové schéma na obr 4.2 ukazuje jakým způsobem se řeší úprava napájecího napětí na požadované úrovně a jak lze dobít akumulátor.



Obr. 4.2: Blokové schéma napájení

4.3.2 Nabíjení akumulátoru

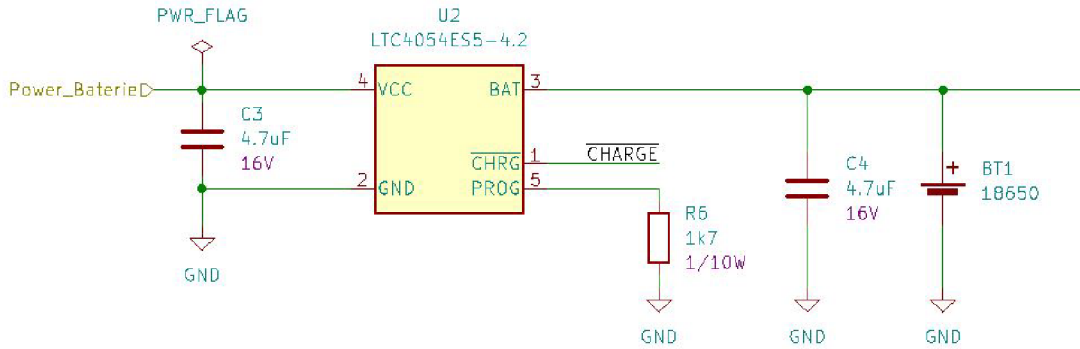
Akumulátor je možné nabíjet pomocí USB-C konektoru umístěného na DPS (deska plošného spoje) nebo přes konektor M12 určený pro komunikaci, který se využije v případě uzavření DPS do vodotěsné krabičky.

Správné nabíjení akumulátoru zajistí IO LTC4054, který je určen pro nabíjení jednoho článku Li-ion baterie. Zajistí stabilní nabíjecí napětí 4.2V a konstantní nabíjecí proud, který je nastaven pomocí rezistoru R_6 na 600mA.

Výpočet velikosti odporu ukazuje rovnice 4.1. Hodnota napětí V_{prog} je dle data-sheetu 1V. [21]

$$R_{prog} = \frac{V_{prog}}{I_{bat}} \cdot 1000 = \frac{1}{0.6} \cdot 1000 = 1,66k\Omega \quad (4.1)$$

Nejbližší dostupná velikost odporu je 1.7 k Ω , což sníží nabíjecí proud.



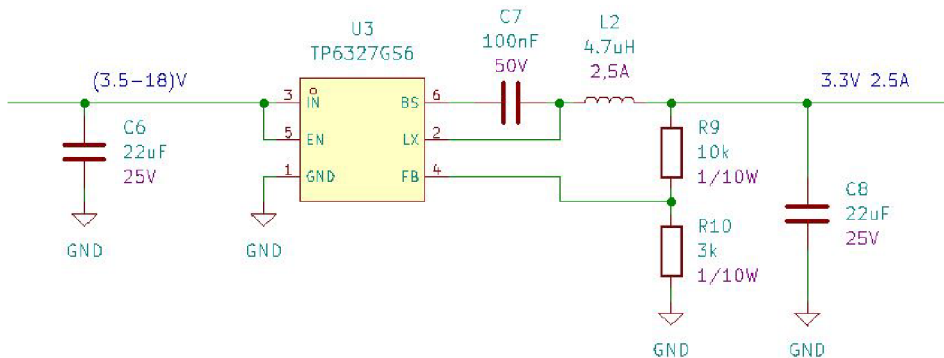
Obr. 4.3: Zapojení nabíjení baterie

4.3.3 Napájecí napětí 3.3V

Nezávisle na použití externího zdroje nebo akumulátoru zajistí IO TP6327GS6 stabilní výstupní napětí. Jedná se o Synchronní Step-Down měnič, který dokáže při rozsahu vstupního napětí (3.5 - 18)V zajistit konstantní výstupní napětí, které je pomocí odporů R_9 a R_{10} nastaveno na 3.3V. Výpočet hodnoty odporového děliče (viz rovnice 4.2 je převzatý z datasheetu výrobce, kde je uvedena hodnota napětí $V_{FB} = 0.765V$. Hodnota odporu R_{10} je zvolena 10 k Ω . [22]

$$R_9 = \frac{R_{10}}{\frac{V_{out}}{V_{FB}} - 1} = \frac{10000}{\frac{3.3}{0.765} - 1} = 3018\Omega \quad (4.2)$$

Nejbližší dostupná hodnota odporu je 3k Ω .



Obr. 4.4: Zapojení Step-Down měniče

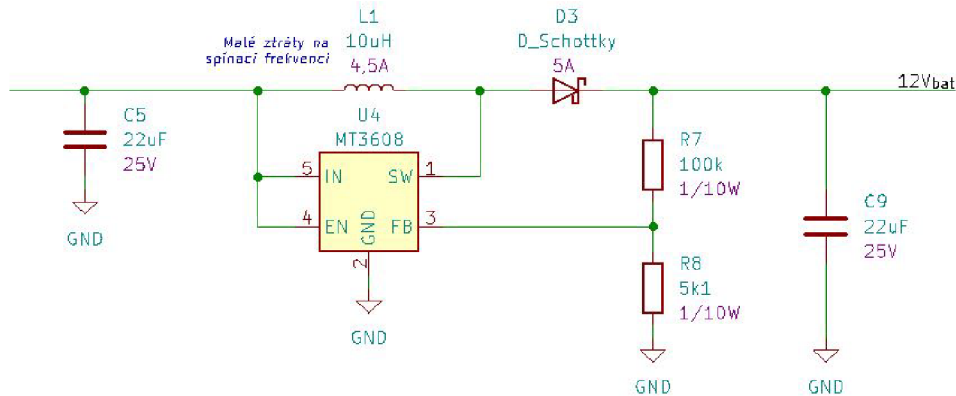
4.3.4 Napájecí napětí 12V

Napětí akumulátoru je třeba zvýšit na 12V, provede se to pomocí IO MT3608. Jedná se o Step-Up měnič, který zvýší napětí na požadovaných 12V a dokáže dodat proud až 4A. Hodnotu výstupního napětí určí poměr hodnot odporů R_7 a R_8 . Hodnota odporu R_7 je dle doporučení výrobcem zvolena 100 k Ω , aby byl dostatečně omezen proud. Hodnota odporu R_8 je dopočítána podle rovnice 4.3. Velikost referenčního napětí udává výrobce 0.6V. [23]

V případě použití externího zdroje napájení je toto napětí k dispozici přímo z tohoto zdroje.

$$R_8 = \frac{R_7}{\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1} = \frac{100000}{\frac{12}{0.6} - 1} = 5,2k\Omega \quad (4.3)$$

Nejbližší hodnota odporu v řadě je 5.1k Ω .



Obr. 4.5: Zapojení Step-Up měniče

4.4 Trigger modul

4.4.1 RTC obvod

RTC (Real-time clock - hodiny reálného času) obvod dokáže zajistit stabilní a přesné časování. Pro potřeby časomíry je vhodné, aby měl výstup obdélníkového signálu, který bude přesný a stabilní.

K zajištění přesného časování lze využít IO DS1307, který má výstup SQW/OUT (obdelníkový signál dané frekvence) a lze ho použít pro taktování asynchronního čítače/časovače procesoru. Frekvence výstupního signálu je nastavena na 8.192 kHz.

4.4.2 Procesor

Je vyžadováno, aby procesor měl možnost připojit externí hodinový signál a disponoval sběrnicemi: SPI, UART (Universal asynchronous receiver-transmitter - univerzální asynchronní rozhraní) a I2C (Inter-Integrated Circuit).

Jednou z možností je použít některý z čipů od firmy STMicroelectronic z řady STM32, jedná se o 32-bitové procesory založené na architektuře ARM. Nejdostupnějšími procesory z této řady jsou STM32F030 a STM32F103, disponují potřebnými sběrnicemi a umožňují připojení RTC obvodu. Operační napětí je (2.4 - 3.6)V a pracují tedy s 3.3V logikou.[25] [26]

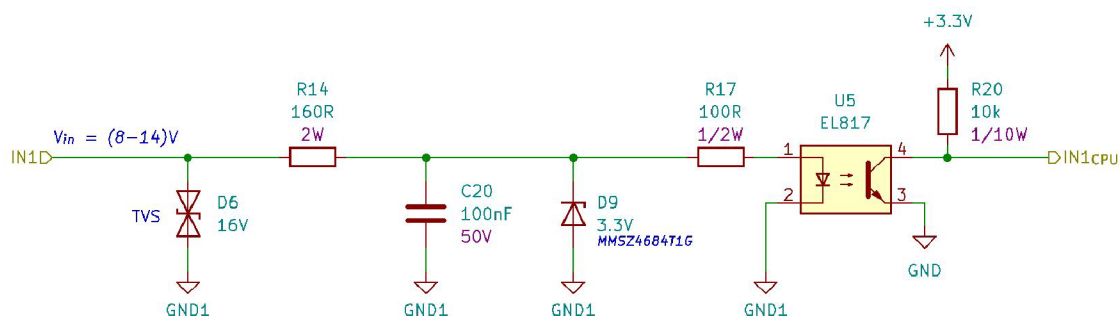
Další možností je využít čip firmy Atmel, která vyrábí 8-bitové procesory založené na AVR architektuře. Nejvhodnější variantou je procesor ATmega328PB, který disponuje potřebnými sběrnicemi a umožňuje připojit externí hodinový signál. Operační napětí tohoto procesoru je (1.8 - 5.5)V a dokáže pracovat s 5V i 3.3V logikou.[27]

Po zvážení potřeb výpočtového výkonu procesoru by byl procesor STM32 zbytečně výkonný. Pro tuto aplikaci stačí 8-bitový procesor ATmega328PB, který splňuje všechny požadavky.

Nahrání bootloaderu a programování procesoru je možné přes ISP konektor nebo debugWire, k programování lze rovněž použít FTDI adaptér.

4.4.3 Vstupy

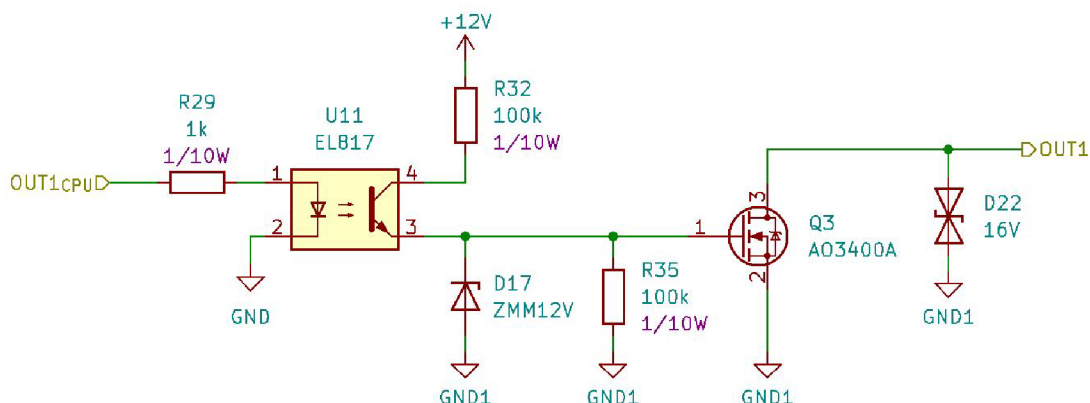
Pro ochranu citlivé elektroniky je vhodné ji galvanicky oddělit od připojených periférií. Je k tomu použít optočlen EL817, který slouží ke galvanickému oddělení obvodu. K úpravě vstupního napětí na 3.3V se využívá stabilizátor se zenerovou diodou, který zajistí stabilní vstupní napětí do optočlenu. Filtraci rušivých signálů na vyšších frekvencích zajistí RC filtr navržený jako dolní propust. Co nejbližší konektoru je umístěna TVS dioda, s hodnotou jmenovitého napětí 16V, která obvod ochrání proti elektrostatickému náboji a přepětí.



Obr. 4.6: Zapojení vstupních signálů

4.4.4 Výstupy

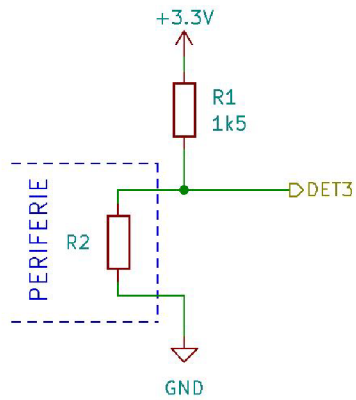
K ovládání výstupních periférií se používá MOSFET tranzistor AO3400A, který je za ideálních podmínek schopný dodat proud až 5.7A. I zde je potřeba obvod galvanicky oddělit, využije se optočlen EL718. Pro ochranění obvodu proti elektrostatickému náboji a přepětí, je do blízkosti konektoru přidána TVS dioda, s hodnotou jmenovitého napětí 16V.



Obr. 4.7: Zapojení výstupních signálů

4.4.5 Rozpoznání připojené periferie

Jedná se o pátý pin konektoru M12 určeného pro připojení periférií, který umožní detekovat o jaký typ připojené periferie se jedná. Detekce je založena na principu napětového děliče, kdy odpor R_1 má konstantní velikost a odpor R_2 bude součástí připojené periferie. Ukázka zapojení je na obrázku 4.8. Velikost tohoto odporu je předem definovaná a odvíjí se od dané periferie, viz tabulka 4.1.



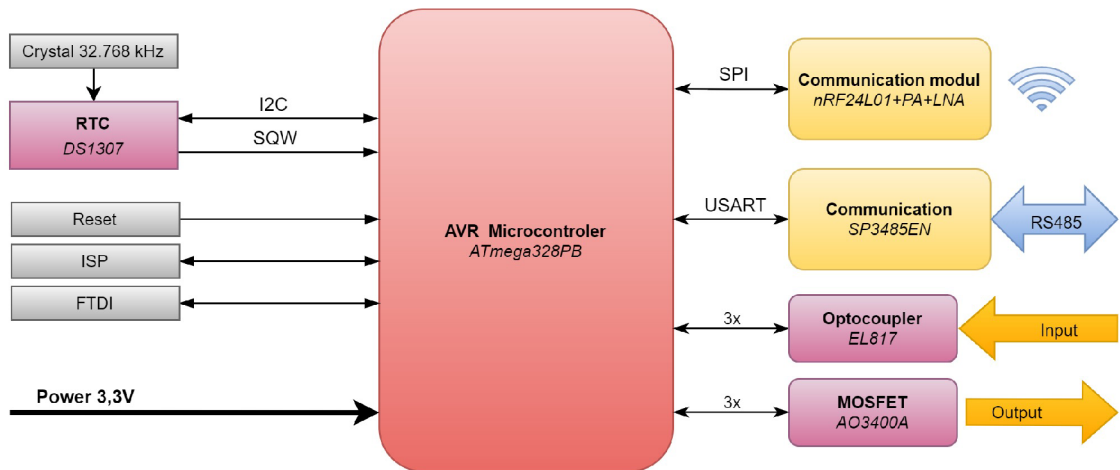
Obr. 4.8: Principiální zapojení napěťového děliče

Tab. 4.1: Hodnoty odporu periferií

Periferie	Hodnota odporu [$k\Omega$]
Signalizační světlo	5.6
Startovací pistole	4.7
Optická závora	3.3
Tlačítko	2.2
Induktivní snímač	1.5
Snímač zvuku	1

4.4.6 Blokové schéma

Blokové schéma Trigger modulu je znázorněno na obrázku 4.9 se všemi důležitými částmi tohoto modulu a jejich vzájemné vazby.



Obr. 4.9: Blokové schéma Trigger modulu

4.5 Main modul

Nároky na hardware jsou stejné jako má Trigger modul. Main modul musí mít navíc možnost připojit displej a tlačítka, které budou sloužit k nastavení časomíry a zobrazení časů. Prodávané displeje se nejčastěji vyrábí s I2C nebo SPI sběrníci umožňující propojení s procesorem. K připojení displeje jsou na DPS umístěny konektory.

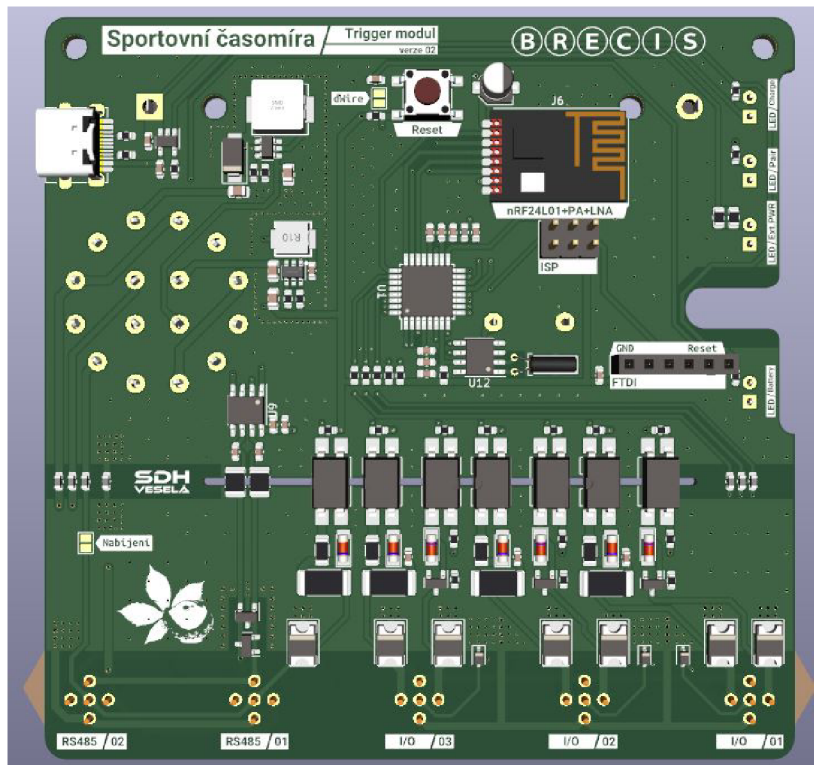
Díky navrhnutí a vyrobení jedné univerzální DPS lze výrobu časomíry výrazně zlevnit.

4.6 Návrh desky plošného spoje

Všechny součástky jsou umístěny na DPS, rozměr desky je zvolen 100x100mm z důvodu nižších výrobních nákladů. Součástky jsou voleny v provedení SMT (Surface Mount technology – technologie povrchové montáže součástek), aby se na desku vešly. Konektory, přepínač, ledky a držáky akumulátoru jsou zvoleny v provedení THT (Through-hole technology).

Proříznutá díra a pás bez vylité mědi slouží ke zkvalitnění galvanického oddělení obvodů. Ze stejného důvodu je na všechny signály nebo napájecí vedení na místě galvanického oddělení umístěna součástka ferit-bead. Ty slouží ke zkvalitnění EMI (Electromagnetic interference - Elektromagnetická interference), která zabraňuje šíření elektromagnetického rušení dál do obvodu [28].

Zářez na pravé straně desky je pouze z důvodu jednoduššího uložení v krabici a možnosti připojit anténu.



Obr. 4.10: 3D model desky plošného spoje

5 Návrh software

V kapitole bude rozebrán návrh software a firmware jednotlivých modulů časomíry. Program je vyvíjen v jazyce C.

5.1 Inicializace

Inicializace celého systému je provedena ihned po zapnutí modulu. Inicializuje se RTC obvod, komunikace a vstupní a výstupní obvody. První musí být inicializovaný procesor.

5.1.1 Inicializace TC2

TC2 je 8-bitový čítač/časovač č.2, který je součástí procesoru.

Jelikož bude využívám k taktování procesoru integrovaný RC oscilátor, lze tento čítač využít pro přesné měření času. Přesné časování zajišťuje RTC obvod, který generuje obdélníkový signál s frekvencí 8.192 kHz. Aby bylo možné tímto signálem taktovat čítač, je nezbytné nastavit mód čítače jako asynchronní, což umožní registr EXT.ASSR, kde je potřeba nastavit bit ACS na hodnotu jedna.

Dále se nastaví prescaling (předdělička signálu, která vstupní signál vydělí nastavenou hodnotou) na hodnotu 8, čímž získám frekvenci 1.024 kHz.

Povolení přerušování umožní nastavení bitu TOIE2, registru TIMSK2, na hodnotu jedna, což povolí vyvolání přerušování při přetečení časovače.

5.1.2 Inicializace RTC

Tento obvod se nastavuje pomocí I2C sběrnice. Na registru s adresou 0x07 je potřeba bity RS1 a SQWE nastavit na hodnotu jedna. Tím je zajištěno, že bude obvod generovat na výstupu obdélníkový signál s frekvencí 8.192 kHz.

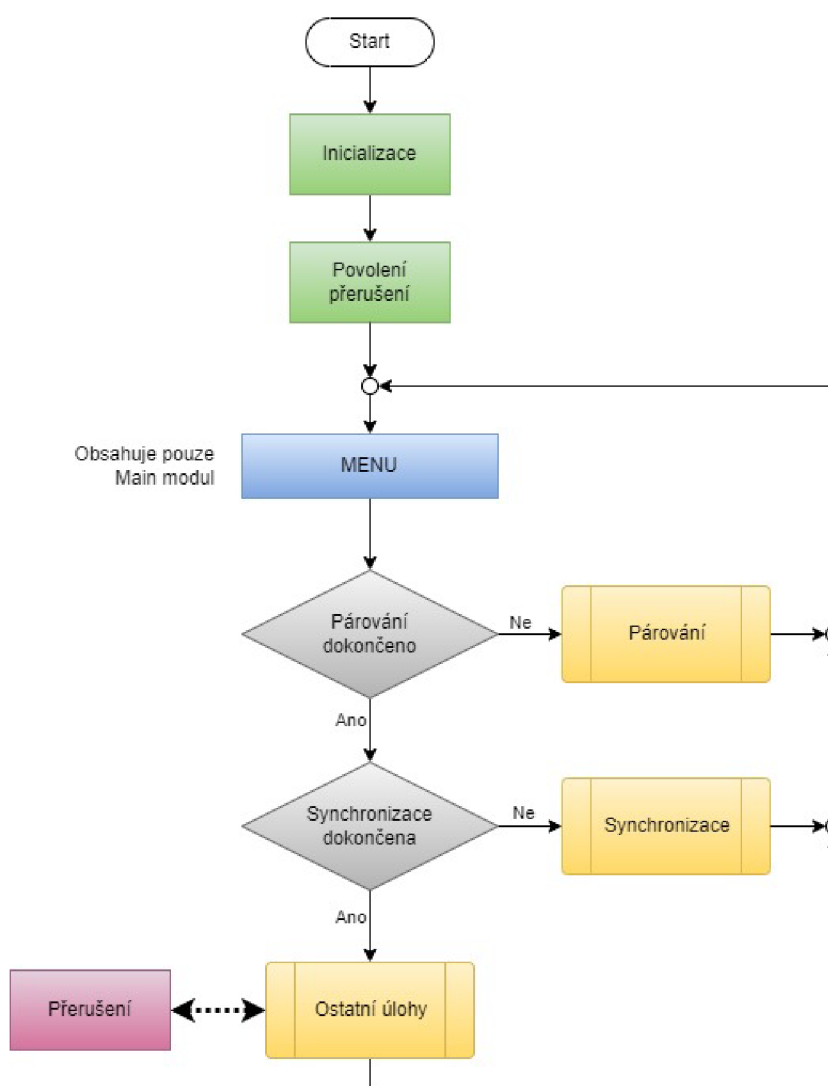
5.1.3 Inicializace portů

Porty jsou inicializovány podle jejich předem stanoveného účelu (vstupní nebo výstupní). Porty s funkcí detekce připojené periferie jsou inicializovány jako vstupní.

5.2 Stavový automat

Po provedení inicializace musí aktivní moduly spolu navázat komunikaci, následně synchronizují svůj čas až poté jsou připraveny k provozu.

Po dokončení párování a synchronizace se modul pohybuje uvnitř nekonečné smyčky, která má za úkol řešit úlohy časomíry. Vystoupit z této smyčky může pouze pokud nastane přerušení, které obslouží danou přerušovací rutinu a poté se vrátí zpět na místo v programu odkud vyskočil. Nejlépe to vystihuje obr. 5.1, který ukazuje stavový automat systému.



Obr. 5.1: Stavový automat časomíry

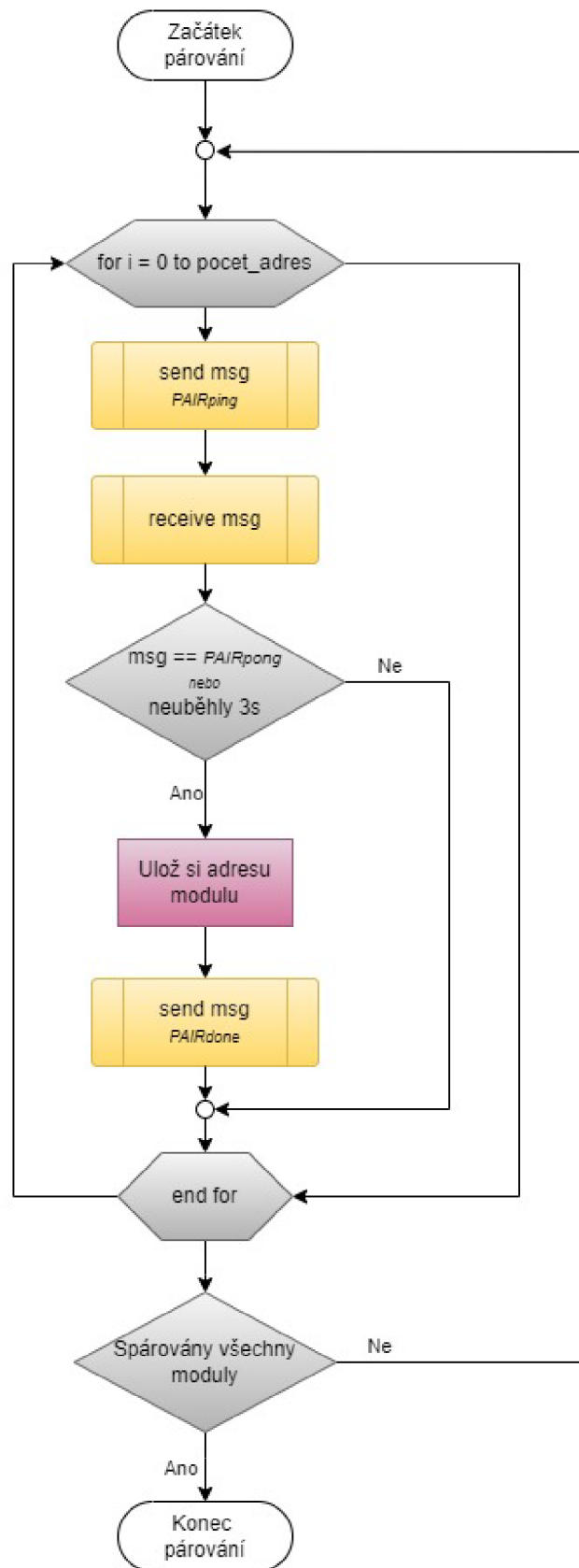
5.3 Párování modulů

Cílem je zajistit, aby Main modul znal adresy všech aktivních modulů (Trigger i Display modulů) a nadále byl schopen s těmito moduly navázat komunikaci. Algoritmus párování je pro Trigger a Main modul nepatrně odlišný a z tohoto důvodu jsou popsány odděleně.

5.3.1 Main modul

Uživatel definuje kolik modulů má být celkem připojeno. Main modul zná svou adresu, ale nezná adresy ostatních aktivních modulů. Ze své databáze adres, kterou postupně prochází, odesílá zprávu „*PAIRping*“ na jednu vybranou adresu. Poté čeká zda nepřijde z vybrané adresy odpověď „*PAIRpong*“. Pokud tato odpověď přijde, uloží si pozici na které se vybraná adresa nachází a pošle na tuto adresu zprávu „*PAIRdone*“, která modulu řekne, že bylo párování dokončeno a pokračuje na další adresu v seznamu. Pokud však odpověď do tří vteřin nepřijde, vybere další adresu ze seznamu a cyklus opakuje.

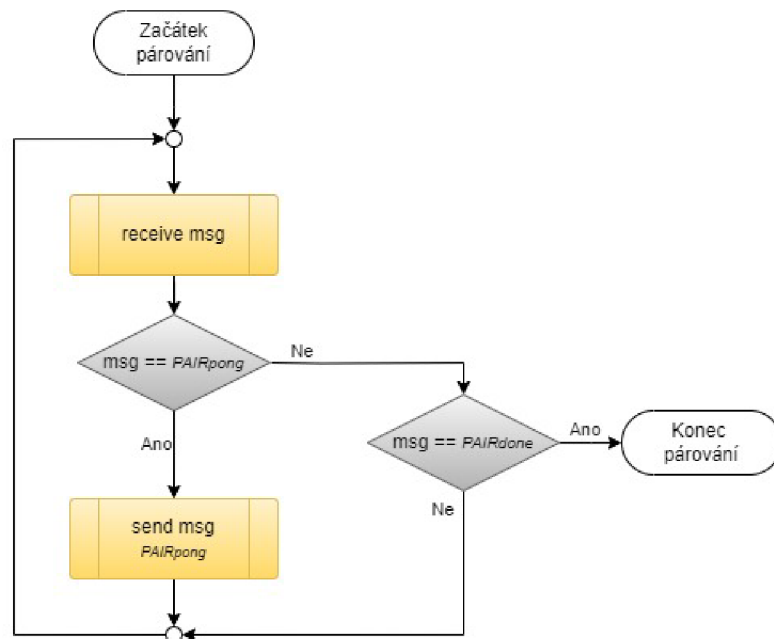
Jakmile je dokončeno párování s definovaným počtem modulů, je párování prohlášeno za dokončené. Cyklus párování je znázorněn vývojovým diagramem na obr. 5.2.



Obr. 5.2: Vývojový diagram funkce párování Main modulu

5.3.2 Trigger modul

Tento modul zná svoji adresu i adresu Main modulu. Celý cyklus párování čeká na příchod zprávy, po obdržení zprávy ji vyhodnotí a podle obsahu provede předem danou operaci. Na příchozí zprávu „PAIRping“ reaguje odesláním zprávy „PAIRpong“ zpět odesílateli (Main modulu). Pokud je příchozí zpráva „PAIRdone“ je párování ukončeno a tím i tato funkce. Algoritmus je znázorněn na obr. 5.3.



Obr. 5.3: Vývojový diagram funkce párování Trigger modulu

5.4 Synchronizace času

Úkolem synchronizace je sjednotit hodnoty čítače/časovače a času jednotlivých modulů. Díky této synchronizaci nebude mít na měření vliv zpoždění komunikace, jelikož čas všech modulů bude stejný.

Pokud nastane přerušení, vyvolané potřebou uložit aktuální hodnotu času, nebude vadit, pokud bude o této události informován Main modul se zpožděním. Obdrží přesný čas ve kterém k události došlo.

5.4.1 Main modul

Synchronizace vždy probíhá najednou pouze s jedním modulem.

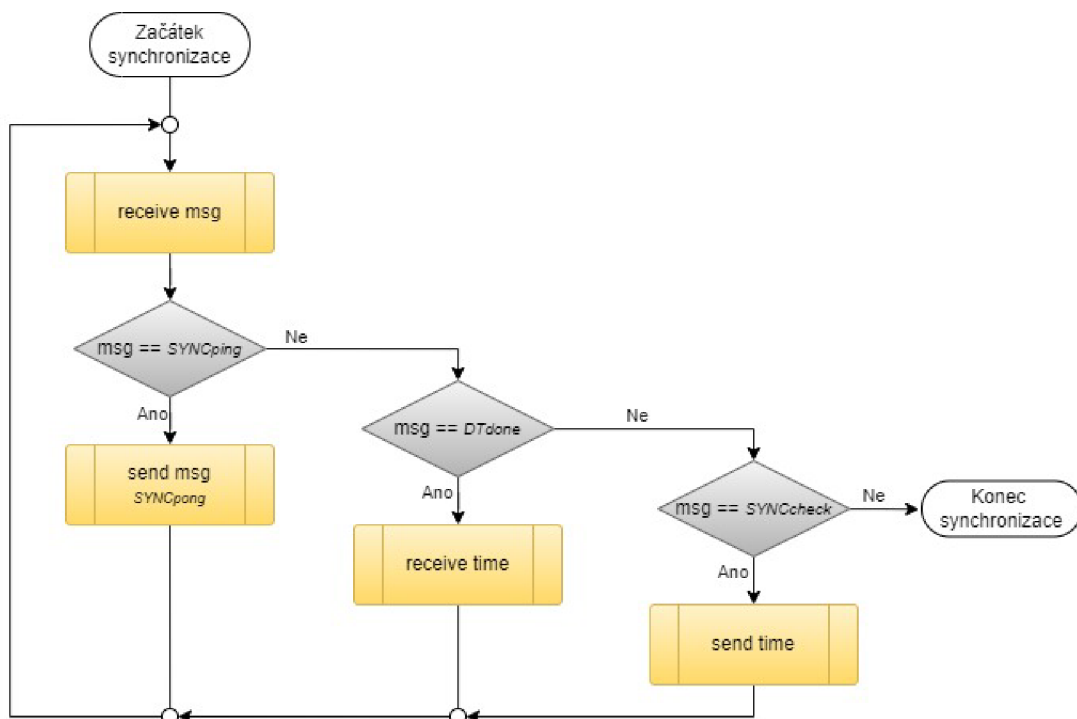
Nejdříve je potřeba zjistit zpoždění komunikace mezi těmito moduly. Zjistí se to tak, že Main modul odešle zprávu „*SYNCping*“ a uloží si čas jejího odeslání. Následně čeká na odpověď ve tvaru „*SYNCpong*“, jakmile tato odpověď přijde, uloží si čas příchodu této zprávy a vypočítá rozdíl těchto časů. Toto měření času se provede 20x a poté je odeslána zpráva „*DTdone*“, která říká, že byly naměřeny potřebné hodnoty. Ze získaných hodnot vypočítá aritmetický průměr časového zpoždění komunikace. Vypočítaná hodnota odpovídá času potřebného pro cestu zprávy tam i zpět (Δt).

$$\Delta t = \frac{\Sigma \Delta t}{i}$$

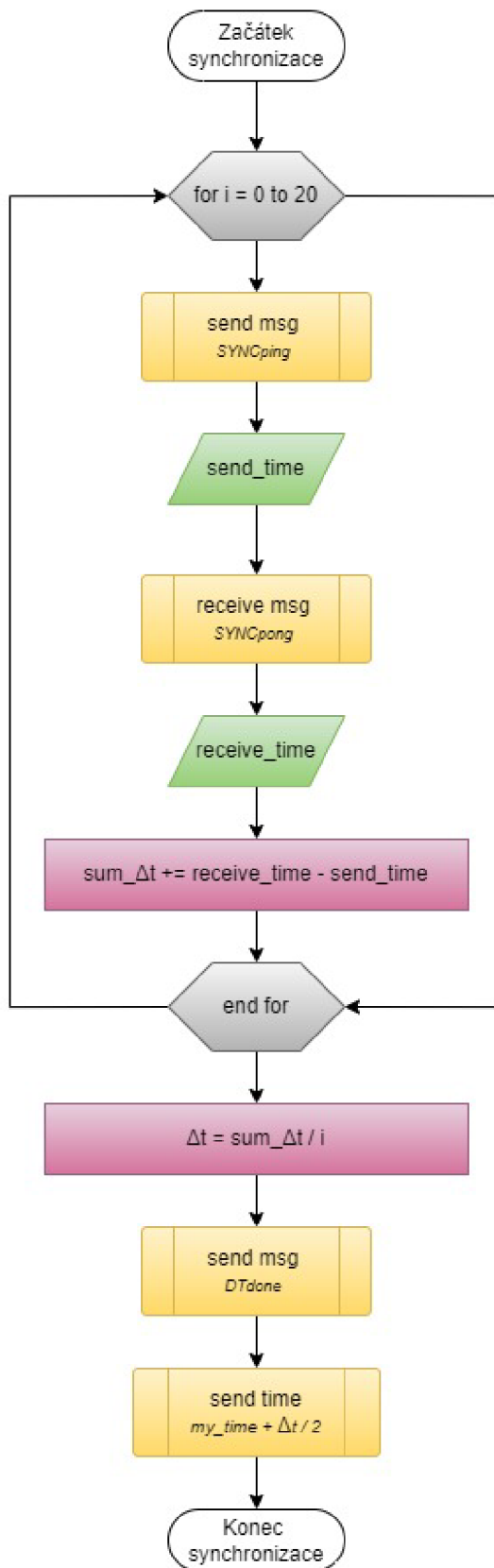
Nyní se může odeslat hodnota času synchronizujícímu modulu. Tuto hodnotu je však potřeba inkrementovat o polovinu Δt , aby se zamezilo odchylce způsobené zpožděním komunikace.

5.4.2 Trigger modul

Modul reaguje pouze na obdržené zprávy odesláním odpovědí. Pokud obdrží zprávu „*DTdone*“ tak ví, že hodnota Δt byla naměřena a nyní může očekávat příchod dat s hodnotou času. Když tato zpráva přijde, nastaví obdrženými hodnotami vlastní čítač, čímž synchronizuje svůj čas s časem Main modulu.



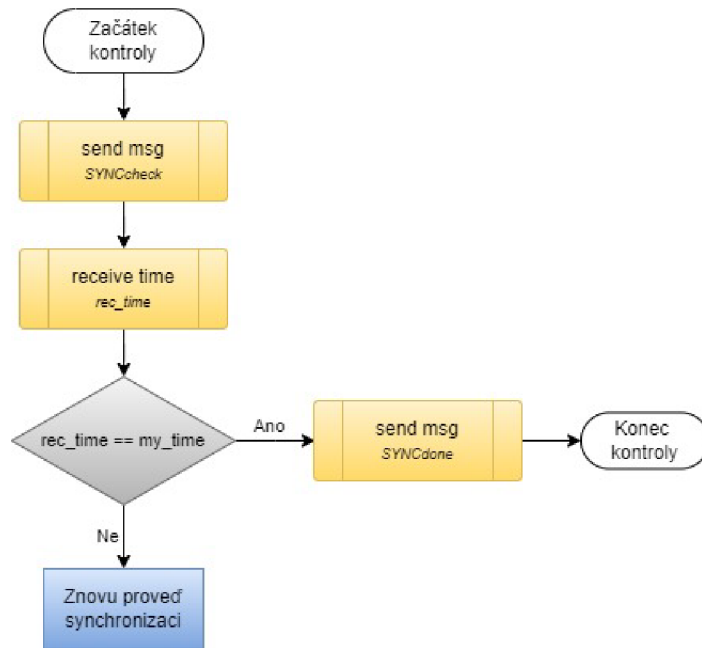
Obr. 5.4: Vývojový diagram synchronizace Trigger modulu



Obr. 5.5: Vývojový diagram synchronizace Main modulu

5.4.3 Kontrola

Kontrolu provádí Main modul, který si vyžádá hodnotu času kontaktovaného modulu odesláním zprávy „*SYNCcheck*“ a porovná jestli se časy shodují. Přípustná je odchylka maximálně 0.005 s, jak bylo stanoveno v kapitole 1.2.1. Jestliže se časy shodují odesílá zprávu „*SYNCdone*“. Pokud se tyto časy neshodují provede synchronizaci s tímto modulem ještě jednou.



Obr. 5.6: Vývojový diagram kontroly synchronizace

5.5 Výpočet reálného času

Procesor musí přepočítat impulzy taktující TC2 na reálný čas. Jelikož je taktovací frekvence 1.024 kHz, odpovídá jedna perioda hodnotě 1ms. Čítač obsahuje 8-bitový registr, který může nabývat maximální hodnoty 256, poté vyvolá přerušení a vynuluje se (vektor přerušení: *TIMER2_OVF_vect*). Pokud dojde k tomuto přetečení čítače 4x, tak uplynula přesně jedna vteřina.

Je potřeba zaznamenat hodnotu registru čítače a počet přetečení čítače a z nich následně vypočítat hodnotu reálného času.

$$1 \cdot clk = 0.001s$$

$$256 \cdot clk = 0.25s = 1 \cdot ovf$$

$$4 \cdot ovf = 1s$$

$$60s = 1min$$

$$60min = 1hodina$$

Výše napsané rovnosti ukazují jak je řešený výpočet skutečného času.

5.6 Signál periferie

Bude-li vyvoláno přerušení způsobené připojenou periferií (vektor přerušení: *PCINT2_vect*) je potřeba uložit aktuální hodnotu času. Pokud toto přerušení nastane na periferii připojené k Trigger modulu musí odeslat zprávu se zaznamenanou hodnotou času Main modulu.

5.7 Stopky

Main modul zná čas start signálu, pokud přijde zpráva s časem stop signálu, je výsledná hodnota měřeného času rozdíl těchto dvou časů.

5.8 Rozpoznání připojené periferie

Každá periferie je specifická svou vlastní hodnotou odporu (viz tabulka 4.1). Vyhodnocování o jakou periferii se jedná probíhá pomocí A/D převodníku, který detekuje hodnotu napětí danou odporovým děličem a podle Look-up tabulky (vyhledávací tabulka) určí, o jakou periferii se jedná.

6 Model krabičky

Kapitola se zabývá návrhem krabičky pro modul časomíry.

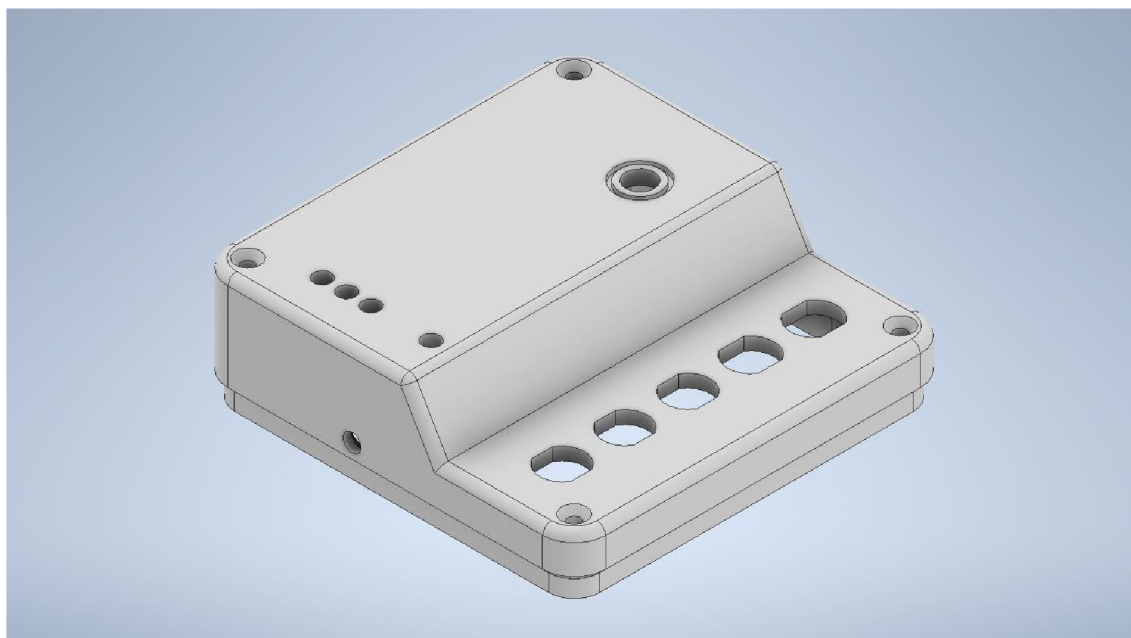
6.1 Program

Model krabičky je navrhován pomocí počítačové aplikace Autodesk Inventor 2021, která slouží pro digitální navrhování 3D prototypů [29].

6.2 Krabička Trigger modulu

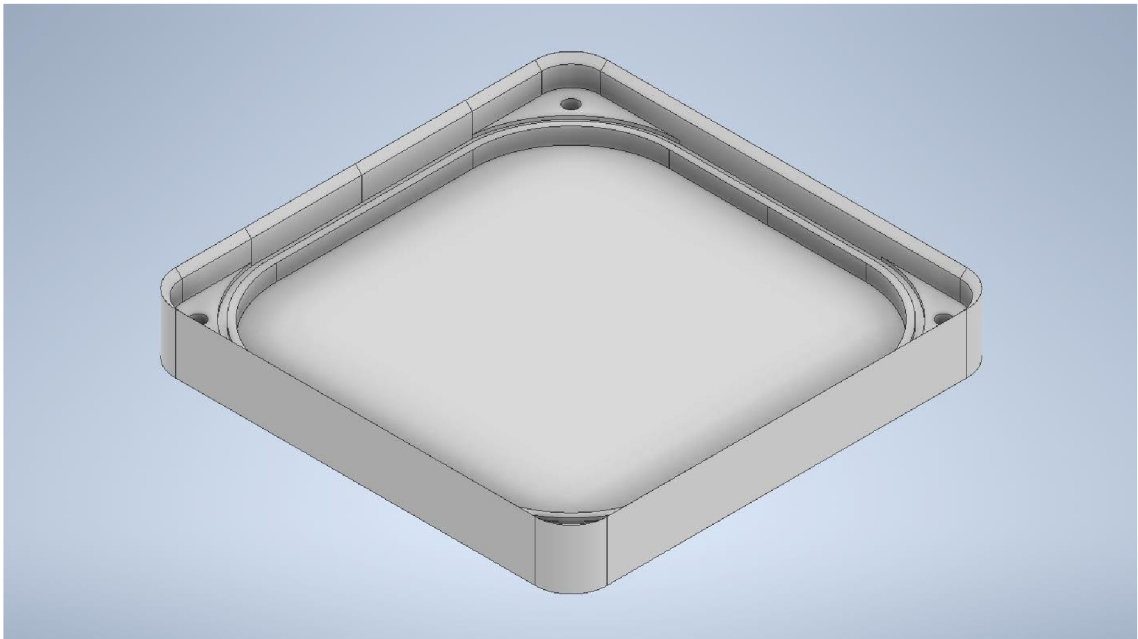
Krabička je složena ze dvou dílů, čelo a zadní kryt. Ke spojení slouží čtyři šrouby M4 se zápustnou hlavou, které jsou umístěny v rozích krabičky. Tloušťka stěn krabičky se pohybuje od 4,5mm do 6mm, což zajistí lepší odolnost modulu při hrubém zacházení. Velikost krabičky je zvolena tak, aby se tam vešla DPS, tedy 130x130mm.

Čelo obsahuje otvory pro konektory M12, ledky a přepínač, otvor pro anténu je umístěn na boku krabičky. Součástky jsou vybaveny O-kroužky, které zajistí požadované krytí IP66, pouze krytí přepínače je řešeno jiným způsobem. Zde je provedeno tzv. labyrintové těsnění, kdy se jedná o soustavu drobných kanálků, skrz které těsně (ale bezkontaktně) prochází hřídel. Vzhledem k povrchovému napětí tekutiny je tímto ztížen její průchod [30].



Obr. 6.1: Čelní panel krabičky

Záda slouží pouze jako kryt celého zařízení. Obsahují drážku do které je umístěno těsnění, které utěsní celou krabičku. Zvolena je silikonová těsnící šňůra s průměrem 2mm, která nepropouští vodu a je dobře odolná atmosférickým vlivům.



Obr. 6.2: Záda krabičky

7 Ověření měření času

Je zde shrnut postup, jak probíhalo ověření správnosti synchronizace a dosažené výsledky tohoto měření.

Ověření správnosti měření času je provedeno následovně tak, že jsou zapnuty a spárovány Main modul a Trigger modul a následně je provedena synchronizace času. K modulům je připojeno tlačítko, které do obou modulů současně dává informaci o stisku tlačítka. Pokud je stisknuto, je na sériovou linku vypsan čas, ve kterém k této události došlo. Zaznamenané časy jsou uvedeny v tabulce ??.

Tab. 7.1: Ověření výsledků synchronizace času

	Main modul				Trigger modul			
	hodiny	min	s	ms	hodiny	min	s	ms
Před sync()	0	2	45	229	0	1	30	432
	0	2	46	76	0	1	31	279
	0	2	46	223	0	1	31	502
	0	2	48	99	0	1	33	378
	0	2	49	497	0	1	34	776
Po sync()	0	4	3	396	0	4	3	397
	0	4	4	662	0	4	4	661
	0	4	18	920	0	4	18	920
	0	4	26	93	0	4	26	92
	0	4	55	758	0	4	55	759
	0	5	5	31	0	5	5	30

Z tabulky lze vidět, že po provedení synchronizace se čas Trigger modulu synchronizoval s časem Main modulu a při provedení měření se časy liší maximálně o 0.001 s.

Závěr

V této práci bylo cílem vymyslet, navrhnout a vytvořit univerzální sportovní časomíru, která splňuje nároky nejrůznějších sportů a je vhodná pro všestranné použití.

Nejdříve bylo potřeba zjistit nároky jednotlivých sportů a poté definovat požadavky na měření času, tímto se zabývala kapitola 1. Hlavními požadavky jsou přesnost, univerzálnost, mobilita a odolnost. Přesnost byla zajištěna pomocí RTC obvodu. Univerzálnost zajišťují vstupní/výstupní obvody, ke kterým lze připojit libovolnou periférii. Modularita je vyřešena díky bezdrátové komunikaci a napájení z akumulátoru umístěného v každém modulu.

Před vlastním návrhem byl v kapitole 2 proveden průzkum dostupných řešení a přestože některé produkty nabízejí zajímavé řešení, mým požadavkům žádné nevyhovovalo. Proto byl navržen vlastní koncept časomíry, jehož základní kritéria jsou specifikována v kapitole 3. Časomíra byla rozdělena na moduly, které spolu komunikují bezdrátově nebo pomocí kabelu, čímž se velmi usnadní přípravné práce pro uživatele.

Kapitola 4 se zabývala návrhem hardware časomíry. Byl kladen důraz na ochranu citlivých obvodů i dimenzaci součástek proti vyšším teplotám okolí. Návrh byl proveden tak, aby ho bylo možné použít pro Main modul i Trigger modul.

Následující kapitola navrhuje software a firmware časomíry, který je pro jednotlivé moduly odlišný. Při měření odchylky času dvou modulů bylo dosaženo výsledku, který splnil požadavky a přesnost měření je tedy zajištěna na 0.01 s. Tímto měřením a vyhodnocením se zabývala kapitola 7

Kapitola 6 se zabývala návrhem modelu krabičky, který byl následně vytisknut na 3D tiskárně.

Časomíra bude nadále používána při aktivitách našeho sboru dobrovolných hasičů a při hodinách tělesné výchovy v místní škole. Tyto aktivity budou sloužit k testování zařízení a vylepšování jednotlivých funkcí. Bude vylepšováno převážně uživatelské rozhraní, kde je myšlenka vyvinout vlastní mobilní aplikaci, která uživateli usnadní práci s časomírou.

Literatura

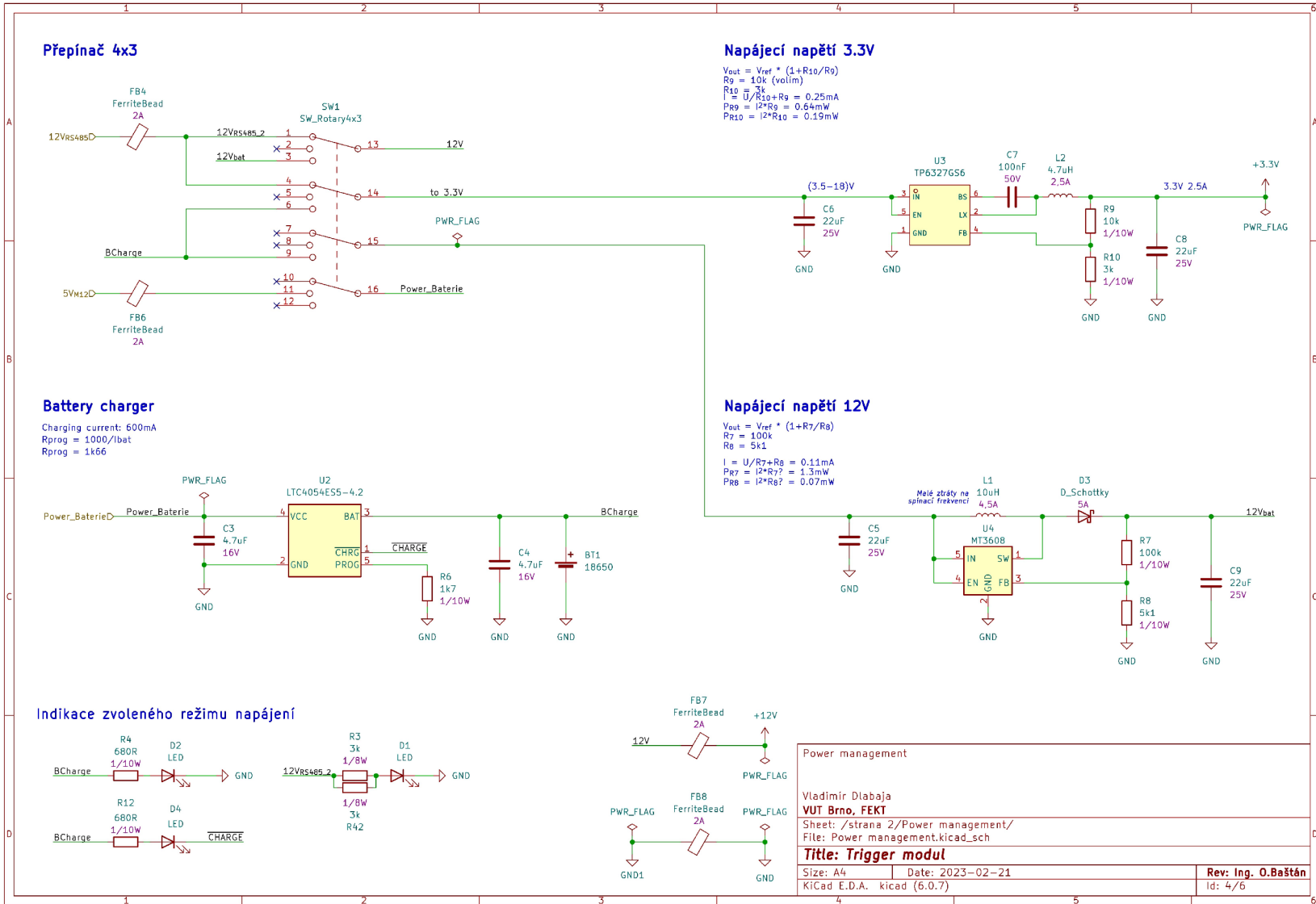
- [1] ČSN EN 60529: *Stupně ochrany krytem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993, 40s. Třídící znak 330330.
- [2] Seznam sportovních disciplín. Český olympijský tým [online]. 1999 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.olympijskytym.cz/sports>
- [3] TRV elektronik: časomíry. *TRV elektronik: výroba sportovních časomír* [online]. [cit. 2022-12-14]. Dostupné z: <https://www.trv-kocab.cz/cs/casomiry>
- [4] Neutrik konektor. In: *TME: Electronic Components* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/ntr-nc3fx/konektory-xlr/neutrik/nc3fx/>
- [5] Časomíra R3. In: *EGMedical s.r.o.: egmenergo* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.egmenergo.cz/index.php?text=casomira-r>
- [6] Egm energo: speciální elektronika. *Egm energo* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://www.egmenergo.cz/index.php?submenu=34&seo=Sport>
- [7] METROSYS solution s.r.o. *Infovize.eu* [online]. [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <http://www.infovize.eu/kategorie-produktu/sportovni-casomiry/>
- [8] GÁL, Marek. *Sportovní bezdrátová časomíra* [online]. Brno, 2014, 63 s. [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/73428>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Petr Petyovský.
- [9] NOVOBILSKÝ, Petr. *Systém elektronické časomíry pro PS s bezdrátovým připojením terčů a hlavního zobrazovače* [online]. Brno, 2009, 40 s. [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/18309>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Háze, Ph.D.
- [10] KLIMEŠ, Martin. *Měření výsledků požárního sportu* [online]. Brno, 2018, 43 s. [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/111764>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Ing. Vladimír Levek, Ph.D.
- [11] RS 485 & 422. In: *HW.cz: vše o elektronice a automatizaci* [online]. 1997, 15. 01.1998 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>

- [12] NRF24L01: Single Chip 2.4GHz Transceiver. In: *AllDatasheets.com* [online]. 2003 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1489848/NORDIC/NRF24L01.html>
- [13] Typy a druhy akumulátorů. *TME: Electronic Components* [online]. 07.12.2021 [cit. 2022-12-27]. Dostupné z: <https://bit.ly/30idGGi>
- [14] Samsung INR18650-30Q 3000mAh. In: Baltrade [online]. [cit. 2023-01-03]. Dostupné z: https://shop.baltrade.eu/436,18650_rechargeable_Li_ion_battery_Samsung_INR18650_30Q_3000mAh
- [15] Kroucená dvojlinka: UTP kabel. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kroucen%C3%A1_dvojlinka#Konstrukce_kabel%C5%AF
- [16] Konektor M12: Amphenol M12A-05PFFP-SF8001. In: *TME: Electronic Components* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/12-05pffp-sf8001/zastrcky-a-zasuvky-m12/amphenol/m12a-05pffp-sf8001/>
- [17] Konektor M12: Amphenol M12A-05PMMP-SF8001. In: *TME: Electronic Components* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/12-05pmmp-sf8001/zastrcky-a-zasuvky-m12/amphenol/m12a-05pmmp-sf8001/>
- [18] Derating. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Derating>
- [19] NRF24L01+PA+LNA. In: GM electronic [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/v/1508425/modul-s-nrf24l01-pa-lna>
- [20] SP3485EN: +3.3V Low Power Half-Duplex RS-485 Transceivers with 10Mbps Data Rate. In: AllDatasheets [online]. 2003 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/45930/SIPEX/SP3485EN.html>
- [21] LTC4054: Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation. In: *AllDatasheets* [online]. 2003 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/226100/LINER/LTC4054.html>

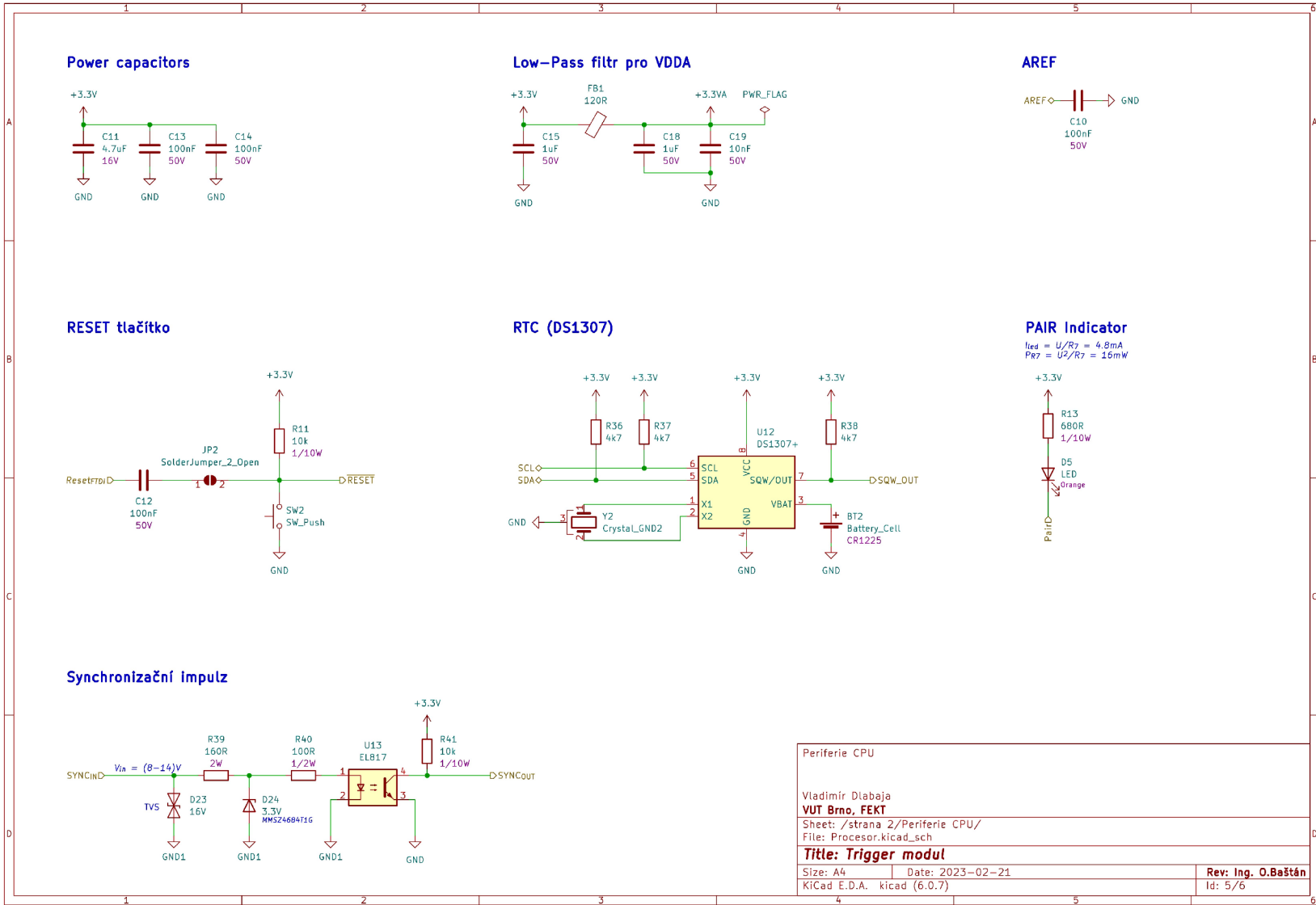
- [22] TP6327GS6: 18V 3A 600kHz Synchronous Step-Down Converter. In: LCSC Electronics [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2108132230_TECH-PUBLIC-TP6327GS6_C2844925.pdf
- [23] MT3608: High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter. In: *AllDatasheets.com* [online]. 2003 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131968/ETC1/MT3608.html>
- [24] DS1307: 64 X 8 Serial Real Time Clock. In: AllDatasheets [online]. 2003 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58481/DALLAS/DS1307.html>
- [25] STM32F103: ARM-based 32-bit MCU with Flash, USB, CAN, seven 16-bit timers, two ADCs and nine communication interfaces. In: AllDatasheets [online]. 2003 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/201596/STMICROELECTRONICS/STM32F103C8T6.html>
- [26] STM32F030: ARM-based 32-bit MCU with 16 to 64-KB Flash, timers, ADC, communication interfaces, 2.4-3.6 V operation. In: AllDatasheets [online]. 2003 [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/524580/STMICROELECTRONICS/STM32F030C8.html>
- [27] ATmega328PB: Low-power CMOS 8-bit microcontroller. In: Microchip [online]. [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001906A.pdf>
- [28] EMI: Electromagnetic interference. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_interference
- [29] Autodesk Inventor: Software pro strojírenské návrhy ambiciózních nápadů. Autodesk [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=INVPROSA>
- [30] Labyrintové těsnění. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Labyrintov%C3%A9_t%C4%9Bsn%C4%9Bn%C3%AD

Seznam symbolů a zkratek

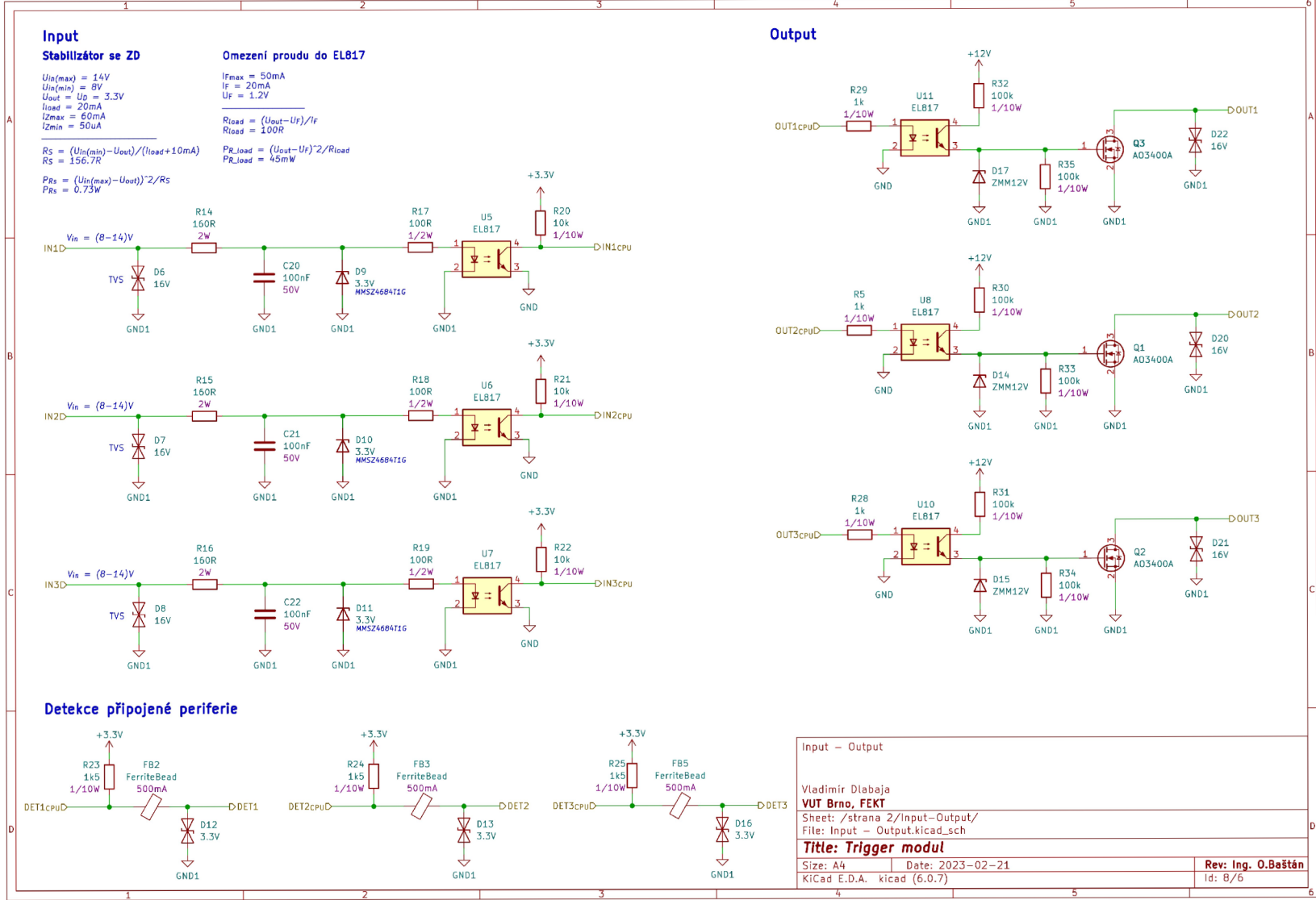
USB	Universal serial bus - univerzální sériové rozhraní
TP	twistedpair - kroucená dvojlinka
SPI	Serial Peripheral Interface - sériové periferní rozhraní
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter - univerzální asynchronní rozhraní
I2C	Inter-Integrated Circuit
IO	Integrovaný obvod
TVS	Transient-voltage-suppression diode - transil
RTC	Real-time clock - hodiny reálného času
TC2	Timer/Counter 2 - Čítač/časovač č.2
DPS	deska plošného spoje
SMT	Surface Mount technology – technologie povrchové montáže součástek
THT	Through-hole technology
EMI	Electromagnetic interference - Elektromagnetická interference



A.3 Součásti pro procesor



Periferie CPU		
Vladimír Dlabaja		
VUT Brno, FEKT		
Sheet: /strana 2/Periferie CPU/		
File: Procesor.kicad_sch		
Title: Trigger modul		
Size: A4	Date: 2023-02-21	Rev: Ing. O.Baštán
KiCad E.D.A. kicad (6.0.7)		Id: 5/6



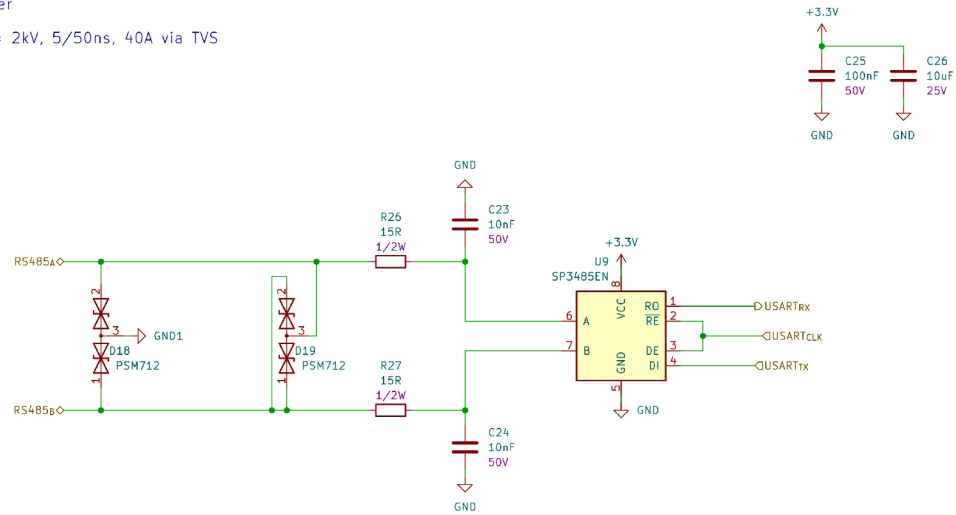
RS485 Interface

Input EMC & ESD

Input signal filter

$F_{3dB} = 1 \text{ MHz}$

Fast transient = 2kV, 5/50ns, 40A via TVS



RS485 interface

Vladimír Dlabaja
VUT Brno, FEKT

Sheet: /strana 2/RS485/
File: RS485.kicad_sch

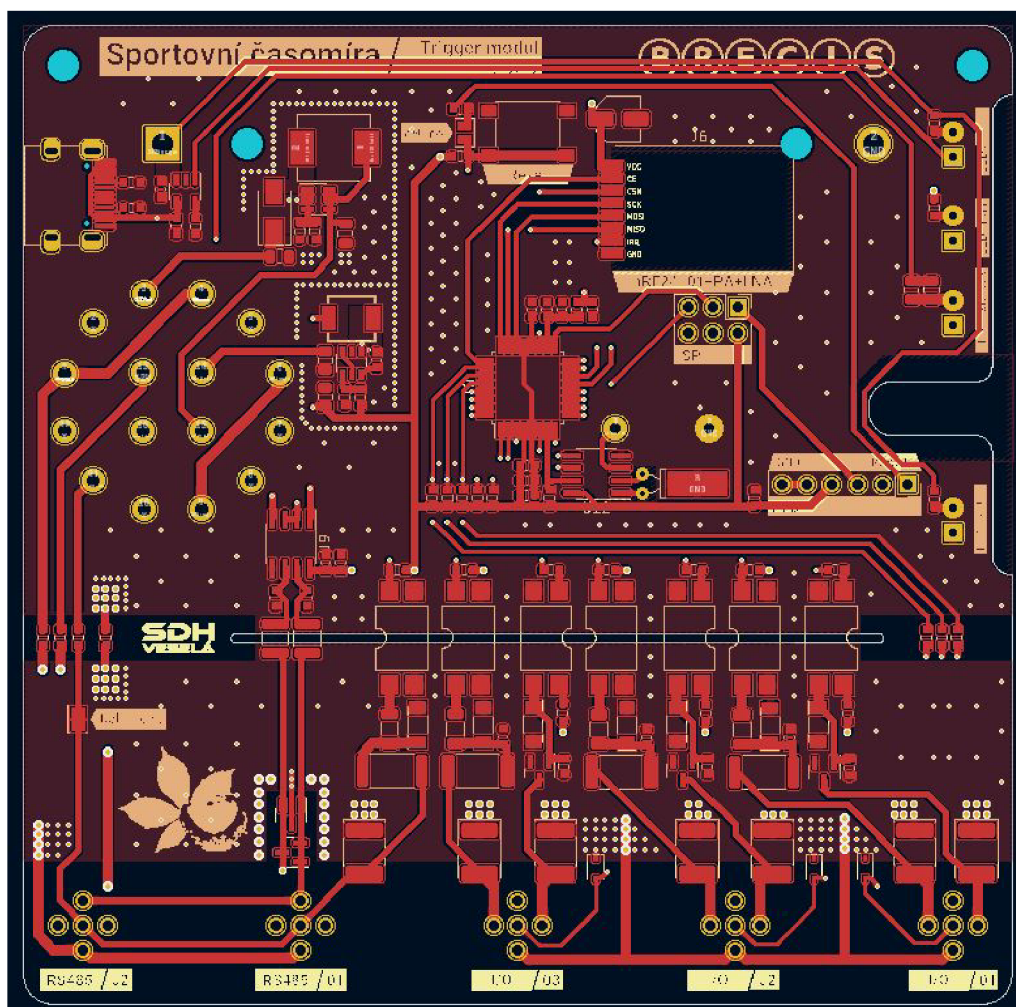
Title: Trigger modul

Size: A4 Date: 2023-02-21
KiCad E.D.A. kicad (6.0.7)

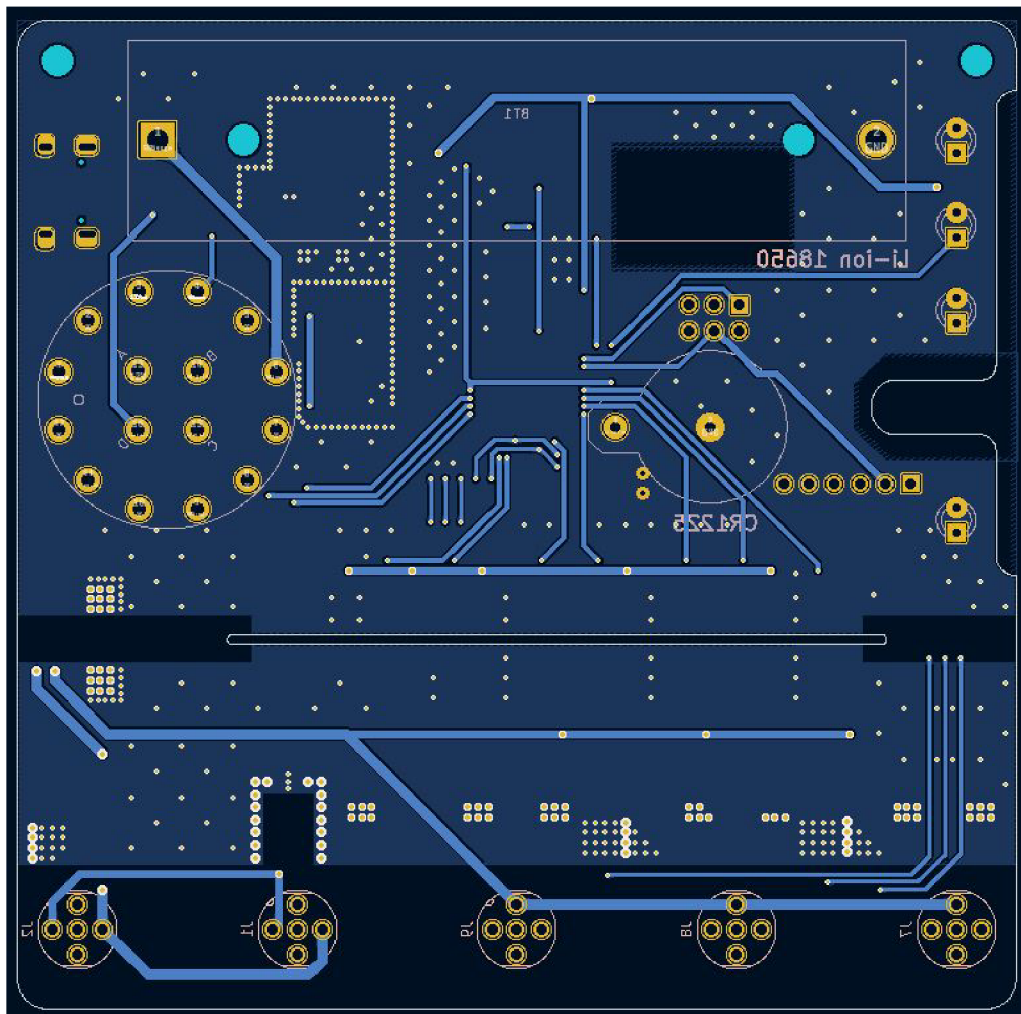
Rev: Ing. O. Baštán
Id: 9/6

B Deska plošného spoje

B.1 Přední strana



B.2 Zadní strana



C Reálné zařízení



D Obsah elektronické přílohy

```
/.....kořenový adresář přiloženého archivu
├── Text práce.....adresář obsahuje text práce
├── Návrh DPS ..... adresář obsahuje soubory zdrojové soubory pro návrh DPS
├── Program.....adresář obsahuje zdrojové soubory programu
│   ├── Main modul
│   └── Trigger modulu
└── Model krabičky..... adresář obsahuje zdrojové soubory návrhu modelu krabičky
```