



**F3**

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky**

**Bakalářská práce**

# **Emulátor řídicí jednotky turbomolekulární vývěvy TCP350**

**Martin Moravec**  
**Elektronika a komunikace**

**9.1.2023**

**Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Moravec** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **473946**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Emulátor řídicí jednotky TCP 350**

Název bakalářské práce anglicky:

**TCP 350 Control Unit Emulator**

Pokyny pro vypracování:

Provedte návrh a realizaci zařízení, které bude emulovat hlavní vlastnosti a chování řídicí jednotky TCP 350 pro ovládání turbomolekulárních vývěv. Navržené zařízení bude mít charakter elektronického přístroje, kterému bude možné manuálně i po standardní komunikační sběrnici nastavovat provozní parametry, a tím simulovat chování předpokládané turbomolekulární vývěvy.

Postup řešení:

- 1) Nastudujte chování a vlastnosti řídicí jednotky TCP 350 pro ovládání turbomolekulárních vývěv a definujte klíčové vlastnosti, které by mělo vámi realizované zařízení emulovat.
- 2) Provedte návrh vlastního řešení, které bude splňovat požadavky z předchozího bodu.
- 3) Zařízení realizujte.
- 4) Otestujte funkčnost Vašeho řešení.
- 5) Shrňte dosažené výsledky a uveďte srovnání s reálnou jednotkou TCP 350.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Robert B. Reese: Microprocessors From Assembly Language to C Using the PIC18Fxx2, Da Vinci Engineering Press, Hingham, Massachusetts, 2005
- [2] Pfeiffer Vacuum: Provozní návod k řídicí jednotce TCP 350, <https://www.pfeiffer-vacuum.com/>
- [3] Záhlava, V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Tomáš Teplý katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **26.01.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.01.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

Ing. Tomáš Teplý  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Pavel Hazdra, CSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_ Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_ Podpis studenta





## Poděkování / Prohlášení

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Teplému za podnětné rady při mé práci. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům a bratrovi za neochvějnou podporu při mém studiu.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 9. 1. 2023

.....

## Abstrakt / Abstract

Tato práce popisuje návrh, realizaci a testování elektronického zařízení, které částečně emuluje chování řídicí elektronické jednotky TCP 350 používané pro ovládání turbomolekulárních vývěv. V práci je uveden postup návrhu, následná realizace takového zařízení a jeho testování.

**Klíčová slova:** DPS, emulátor, EUSART, PIC18F47K40, RS-485, řídicí jednotka TCP 350, turbomolekulární vývěva

This thesis describes the design, implementation and testing of an electronic device that partially emulates the behaviour of the TCP 350 electronic control unit used to control turbo pumps. The thesis presents the design procedure, the subsequent implementation of such a device and its testing.

**Keywords:** control unit TCP 350, emulator, EUSART, PIC18F47K40, PCB, RS-485, turbomolecular pump

# Obsah /

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	11.3 Testování dvou zařízení . . . . .	23
<b>2 Turbomolekulární vývěva</b>	<b>2</b>	11.3.1 Adresace dvou zařízení . . . . .	23
2.1 Úskalí používání turbomolekulárních vývěv . . . . .	2	11.3.2 Průběh testu dvou zařízení . . . . .	24
<b>3 Motivace</b>	<b>3</b>	<b>12 Závěr</b>	<b>25</b>
<b>4 Emulované chování přístroje</b>	<b>5</b>	<b>Reference</b>	<b>26</b>
<b>5 Řídicí jednotka TCP 350</b>	<b>6</b>	<b>A Seznam použitých pojmů a zkratk</b>	<b>27</b>
5.1 Protokol Pfeiffer Vacuum pro rozhraní RS-485 . . . . .	6	A.1 Pojmy . . . . .	27
5.2 Rozhraní RS-485 . . . . .	6	A.2 Zkratky a značky . . . . .	27
5.3 Protokol Pfeifer Vacuum . . . . .	7	<b>B Seznam souboru</b>	<b>28</b>
5.4 Návrh emulovaného zařízení . . . . .	8	<b>C Obrázky</b>	<b>29</b>
<b>6 Mikrokontrolér</b>	<b>9</b>		
6.1 Vývojové prostředí MPLAB X IDE . . . . .	9		
6.2 Vývojová deska Curiosity HPC . . . . .	9		
6.3 EUSART . . . . .	10		
<b>7 Návrh softwaru</b>	<b>11</b>		
7.1 Program . . . . .	11		
7.2 Nastavení časovačů . . . . .	11		
7.3 Vybrané parametry TCP 350 . . . . .	12		
<b>8 Návrh hardwaru</b>	<b>13</b>		
8.1 Návrh desky plošných spojů . . . . .	13		
8.1.1 Schematic Editor . . . . .	13		
8.1.2 PCB Editor . . . . .	14		
<b>9 Realizace Software</b>	<b>15</b>		
9.1 Obsluha komunikace EU-SART1 pro RS-485 . . . . .	15		
9.1.1 Uložení parametrů TCP 350 . . . . .	15		
9.2 Obsluha displeje . . . . .	15		
<b>10 Realizace hardwaru zařízení</b>	<b>19</b>		
10.1 Technické překážky . . . . .	19		
10.1.1 Přehřívání napěťového stabilizátoru L7805 . . . . .	19		
10.1.2 Problémy na komunikaci s displejem . . . . .	19		
10.1.3 Úpravy ve schématu obvodu . . . . .	19		
10.2 Přístrojová skříň zařízení . . . . .	20		
<b>11 Testování zařízení</b>	<b>21</b>		
11.1 Testování základního zapojení . . . . .	21		
11.2 Test s displejem, pokles otáček . . . . .	22		

## Tabulky / Obrázky

<b>5.1</b>	Napětové úrovně RS-485.....	7	<b>2.1</b>	Vertikální konstrukce turbomolekulární vývěvy .....	2
<b>5.2</b>	Zapojení RS-485 pro konektor RJ-45 .....	7	<b>2.2</b>	Horizontální konstrukce turbomolekulární vývěvy.....	2
<b>5.4</b>	Telegramový rámec .....	8	<b>3.1</b>	Schéma modelové vakuové soustavy .....	3
<b>5.5</b>	Tabulka významu jednotlivých parametrů v protokolu Pfeiffer Vacuum .....	8	<b>3.2</b>	průmyslové použití turbomolekulárních vývěv.....	4
<b>7.1</b>	Aktivní parametry .....	12	<b>4.1</b>	Graf dosažení spínacího bodu otáček.....	5
<b>8.1</b>	Zapojení RS-485 pro konektor RJ-45 .....	13	<b>5.1</b>	Řídicí jednotka TCP350 z [1]....	6
<b>9.1</b>	Propojení Eusart2.....	17	<b>5.2</b>	Diagram návrhu zařízení.....	8
<b>9.2</b>	Používané příkazy pro komunikaci s displejem .....	17	<b>6.1</b>	Vývojová deska .....	9
<b>11.1</b>	popiscomm .....	22	<b>7.1</b>	Diagram programu .....	11
<b>11.2</b>	Testování poklesu otáček .....	23	<b>7.2</b>	Diagram přerušení pro obsluhu displeje .....	12
<b>11.3</b>	Testování dvou zařízení .....	24	<b>8.1</b>	Návrh schématu .....	14
			<b>8.2</b>	Návrh cest plošné desky .....	14
			<b>9.1</b>	Programovací deska EA 9777-1USB.....	16
			<b>9.2</b>	Záznam průběhu komunikace displeje s mikrokontrolérem....	18
			<b>10.1</b>	Model krabičky .....	20
			<b>11.1</b>	Diagram testování.....	21
			<b>11.2</b>	testování .....	21
			<b>11.3</b>	Diagram testování v síti .....	23
			<b>C.1</b>	Fotka hotového přístroje zezadu.....	29
			<b>C.2</b>	Fotka hotového přístroje.....	29
			<b>C.3</b>	Finální návrh desky .....	30

# Kapitola 1

## Úvod

Vysoké vakuum má veliké uplatnění ve světě vědy i průmyslu, od urychlovačů částic přes výzkum termojaderné fúze až po výrobu mikroelektroniky či zrcadel pro teleskopy.

K dosažení vysokého vakua se používají turbomolekulární vývěvy spolu s dalšími čerpacími prvky (rotační vývěvy, ventily, vakuové měrky, apod.). Turbomolekulární vývěvy jsou technologicky složitá drahá zařízení vyžadující speciální řídicí elektronické jednotky.

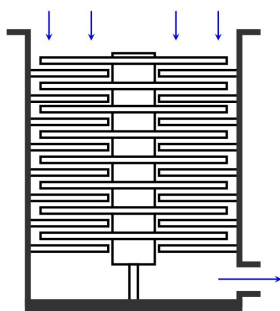
Ve své práci se zabývám návrhem, realizací a testováním takového zařízení emulující řídicí jednotku TCP 350 pro ovládání turbomolekulárních vývěv.

## Kapitola 2

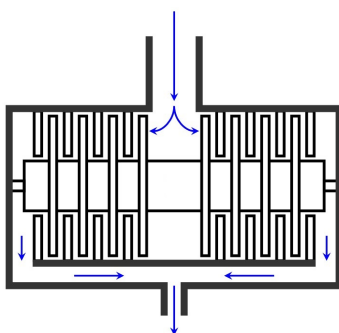
### Turbomolekulární vývěva

Turbomolekulární vývěva pracuje na principu udělení vysoké energie částici, která díky tomu dokáže opustit čerpaný prostor. Tuto energii získává od rotujících lopatek vývěvy. V turbomolekulární vývěvě je několik vrstev (např. 10) vrstev těchto rotujících lopatek. Částice postupně proniká jednotlivými vrstvami vývěvy.

Existují dvě základní konstrukce, horizontální a vertikální.



**Obrázek 2.1.** Vertikální konstrukce turbomolekulární vývěvy, obrázek byl převzat z [2]



**Obrázek 2.2.** Horizontální konstrukce turbomolekulární vývěvy, obrázek byl převzat z [2]

#### 2.1 Úskalí používání turbomolekulárních vývěv

Turbomolekulární vývěva pracuje při vysokých otáčkách, rotor vývěvy dosahuje rychlosti až 90000 otáček za minutu. Při vypínání vývěvy se obvykle kinetická energie uchovaná v otáčkách mění postupně na elektrický proud.

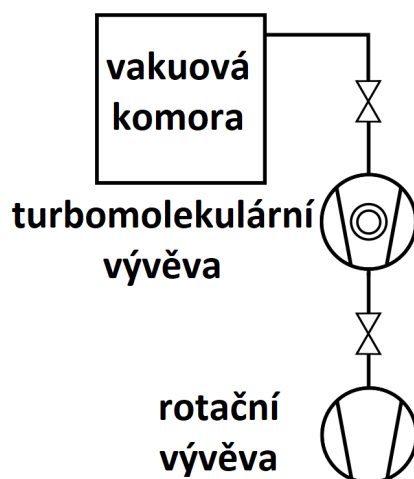
Dosažení vysokých otáček lze díky vysokému vakuu. S klesáním tlaku klesá tření pohybujících se částí, tudíž klesá i zahřívání vývěvy. Proto při vniknutí vzduchu se skokově zvýší tření ve vývěvě, které zapříčiní náhlé zastavení a přehřátí vývěvy, celkovou mechanickou destrukci vývěvy. Proto má používání tohoto typu některá úskalí [2]:

- Vývěva je zahřívána při provozu za vyššího tlaku, proto je potřeba vodního chlazení.
- Přítomnost jakéhokoliv většího tělesa v roztočeném rotoru vede ke zničení vývěvy.
- Nenadálé vniknutí vzduchu (např. atmosferický) zapříčiní poškození pumpy.
- Rychlé zastavení rotoru může zapříčinit poškození vývěvy.

# Kapitola 3

## Motivace

Při vědeckých činnostech nebo v průmyslu, kdy je zapotřebí vytvořit vysoké vakuum, je zapotřebí použít turbomolekulárních vývěv. Modelová (typická) vakuová sestava se pak skládá z mnoho komponentů. Jmenuji některé z nich: turbomolekulární vývěvy, rotační vývěvy (předčerpání), ventily, filtry, manometry a hlavní počítač. Modelové schéma jednoduché aparatury skládající se z rotační vývěvy, turbomolekulární vývěvy a dvou ventilů uvádím v obrázku 3.1.



**Obrázek 3.1.** Schéma modelové vakuové soustavy

Některé průmyslové technologické systémy však mohou obsahovat až několik desítek turbomolekulárních vývěv, jako například při nanášení speciálních povrchových vrstev na hliníkové fólie, viz obr. 3.2.

Při vytváření řídicího systému a testování programu obsluhující celou vakuovou sestavu a ostatní technologické systémy, se jeví jako účelné mít zařízení-emulátor, které by emulovalo reálné chování turbomolekulární vývěvy. Výhodou takového zařízení by byla cenová dostupnost pro programátory těchto řídicích systému, bezpečnost testování, rychlost realizace změn provozních parametrů vývěvy a možnost emulovat nestandardní provozní stavy vývěvy (chyby, havárie, apod.).



**Obrázek 3.2.** Průmyslové použití turbomolekulárních vývěv, převzato z [3]

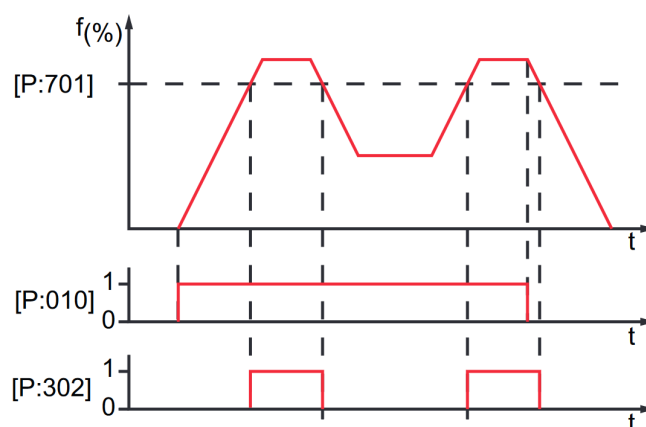


## Kapitola 4

### Emulované chování přístroje

Emulované chování přístroje vychází z provozního návodu [1] k řídicí jednotce TCP 350. Předně musí mít navrhované zařízení připojení ke komunikaci RS-485<sup>1</sup>. Dále musí být možnost po komunikaci nastavovat a číst sadu parametrů řídicí jednotky. Tyto parametry bude možno nastavit i jinak než pomocí hlavní komunikace RS-485.

Nastavením parametrů jinak než pomocí hlavní komunikace, bude možno emulovat rizikové stavy (řídicí jednotka neodpovídá, náhlý pokles otáček, chybně změřený tlak,...).



**Obrázek 4.1.** Graf „dosažení spínacího bodu otáček“<sup>2</sup>, provázanost parametrů

Dále navrhované zařízení bude vnitřně emulovat chování reálné vývěvy, tj. při nastavení zařízení, aby čerpalo, se při změně parametru „nastavené otáčky“, bude měnit parametr „aktuální otáčky“ spojitě, než dosáhne požadovaných otáček. Když dosáhnou požadované emulované otáčky hodnoty „spínacího bodu otáček“, změní se parametr „dosažení spínacího bodu otáček“. Toto chování je zobrazeno na obrázku 4.1, kde je uvedena časová závislost parametrů P:701, P:010 a P:302. Význam těchto parametrů je uveden dále v tabulce 7.1. V dalším textu se používá označení parametrů P:n (např. P:701), případně hodnotami N2, N1, N0 (ASCII vyjádření čísla n ve třech bytech).

<sup>1</sup> RS-485 je standard sériové komunikace. Používá se 4 vodičová verze s plným duplexem nebo dvou vodičová verze s polovičním duplexem, více lze dohledat v [4].

<sup>2</sup> Převzato z technického manuálu k řídicí jednotce TCP 350 z [1]

# Kapitola 5

## Řídicí jednotka TCP 350

Hlavními úkoly řídicí jednotky je obsluhovat turbomolekulární vývěvu a komunikovat s „nadřazeným“ hlavním počítačem, který řídí celou vakuovou soustavu.

Z pohledu řízení se turbomolekulární vývěva chová jako elektromotor (rotor vývěvy) s vysokými otáčkami. Řídicí jednotka TCP 350 patřičně napájí tento motor a tím nastavuje jeho otáčky. Dále řídicí jednotka získává zpět z turbomolekulární vývěvy informace o aktuálním stavu (aktuální otáčky, proud hnacího motoru, napětí hnacího motoru, tlak z připojeného manometru).



**Obrázek 5.1.** Řídicí jednotka TCP 350, převzato z [1].

Jelikož navrhované zařízení má emulovat fungování řídicí jednotky TCP 350, tak jsem musel vybrat, které ovládací prvky a konektory řídicí jednotky TCP 350 bude mnou navrhované zařízení obsahovat a které naopak nebude. Je zřejmé, že se nebude moci připojit reálná turbomolekulární vývěva k navrhovanému zařízení, naproti tomu jistě navrhované zařízení musí mít možnost připojit sériovou komunikaci RS-485 pro emulaci ovládání.

### 5.1 Protokol Pfeiffer Vacuum pro rozhraní RS-485

K vzdálenému ovládní řídicí jednotky TCP 350 hlavním počítačem se používá sériová komunikace RS-485 ve dvou vodičové verzi. Při této komunikaci se používá Protokol Pfeiffer Vacuum, který je popsán dále.

### 5.2 Rozhraní RS-485

Sériová komunikace RS-485 je standard definovaný v roce 1983, někdy se používá pro něj označení RS485 nebo EIA-485. Existují dvě varianty této komunikace, „dvouvodičová“

poloduplexní verze, která používá dva vodiče pro přenos dat a „čtyřvodičová“ verze pro plný duplex. V mé práci používám „dvouvodičovou“ verzi sériové komunikace.

Logické úrovně jsou potom definované pro rozdíl mezi dvěma vodiči. Toto diferenční zapojení má velkou výhodu v průmyslu, kdy při elektromagnetickém rušení se naindukuje stejné napětí do obou vodičů. Při odečtení obou napětí se naindukované rušení odečte, tudíž neprojevívá. Aby se na oba vodiče naindukovalo stejné napětí, tak se oba vodiče zkroutí. Při označení vodičů A, B a napětí na nich  $U_A$ ,  $U_B$  jsou logické úrovně dané tabulkou 5.1.

**Tabulka 5.1.** Definované logické úrovně

Logická hodnota	$U_A - U_B$
1	<-200 mV
0	>+200 mV

Nevýhodou standardu RS-485 oproti starší verzi RS-232 je, že ve standardu nejsou pevně definované konektory pro RS-485 a označení jednotlivých vodičů. Každý výrobce si může zvolit vlastní konektor a vlastní označení. Společnost Pfeiffer-Vacuum používá u zařízení TCP 350 síťový konektor RJ-45.

**Tabulka 5.2.** Zapojení konektoru RJ-45 pro RS-485

Kolík konektoru	Přiřazení
1	nepřipojeno
2	24 V , 150 mA
3	neřipojeno
4	neřipojeno
5	RS-485, DATA+
6	GND
7	RS-485, DATA-
8	nepřipojeno

Nastavení technických parametrů sériové komunikace udává výrobce v provozním návodu, hodnoty ukazují v tabulce 5.3.

**Tabulka 5.3.** Parametry sériové komunikace RS-485

Parametr komunikace	Hodnota
Přenosová rychlost	9600 Baud
Délka datového slova	8 b
Parita	není
Počet spouštěcích bitů	1
Počet zastavovacích bitů	1

## 5.3 Protokol Pfeifer Vacuum

Řídicí jednotka TCP 350 komunikuje s hlavním počítačem pomocí sériové komunikace RS-485. Posílaná data musí být nějak tříděna, aby členové komunikace mohli rozlišit pro

koho posílaná data jsou a co obsahují. Toto zajišťuje definování pravidel pro komunikace. Společnost Pfeiffer-Vacuum používá vlastní protokol Pfeiffer Vacuum. Tento protokol definuje strukturu posílaných dat (tabulka 5.4) a metodu komunikování mezi řídicí jednotkou TCP 350 a hlavním počítačem.

**Tabulka 5.4.** Telegramový rámeček

A2	A1	A0	Q1	Q0	N2	N1	N0	L1	L0	Dn	...
...	D0	C2	C1	C0	CR						

Význam jednotlivých parametrů uvádím v tabulce 5.5. Telegramový rámeček obsahuje kódové znaky ASCII od 32 do 127 a koncový znak CR, který má hodnotu 13.

**Tabulka 5.5.** Tabulka významu jednotlivých parametrů v protokolu Pfeiffer Vacuum

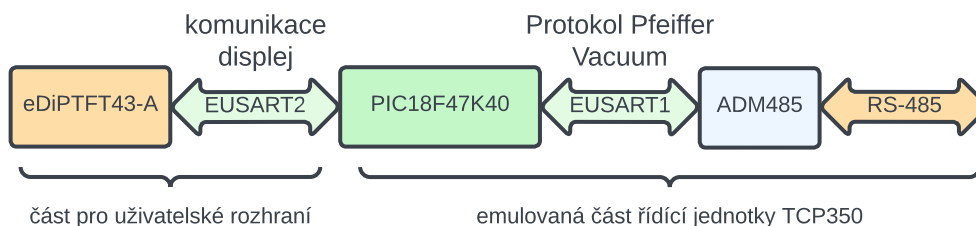
Proměnné	Význam
A2,A1,A0	adresa jednotky
Q1,Q0	akce podle popisu telegramu
N2,N1,N0	čísla parametru Pfeiffer Vacuum
L1, L0	délka Dn až D0
Dn,...,D0	data
C2,C1,C0	kontrolní součet modulo 256
CR	ukončovací znak 13

Telegram je vysílán jedním ze čtyř základních pokynů/akcí (parametry Q1,Q0):

- Dotaz na řídicí jednotku TCP 350 o data
- Řídicí příkaz jednotce TCP 350
- Odezva řídicí TCP 350 na příkaz
- Chybové hlášení:
  - Číslo parametru N2 až N0 neexistuje
  - Data Dn až D0 jsou mimo přípustný rozsah
  - Chyba logického přístupu

## 5.4 Návrh emulovaného zařízení

Navrhované zařízení se bude skládat ze dvou částí, viz obrázek 5.2, jednak z části pro manuální ovládání parametrů a dále z části přepočítávání parametrů a správu komunikace RS-485.



**Obrázek 5.2.** Diagram návrhu zařízení

# Kapitola 6

## Mikrokontrolér

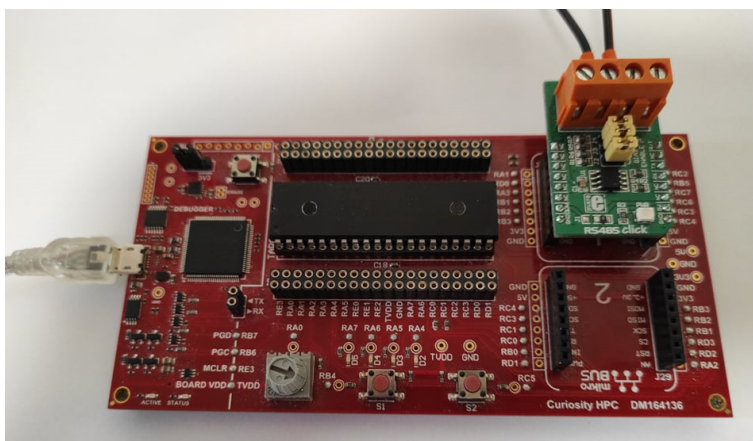
Hlavní část elektronického zařízení je tvořena osmibitovým mikrokontrolérem PIC18F47K40 od společnosti Microchip. Mikrokontrolér obsahuje vnitřní paměť, do které ukládám veškeré proměnné parametry řídicí jednotky TCP 350.

### 6.1 Vývojové prostředí MPLAB X IDE

Pro naprogramování mikrokontroléru jsem používal vývojový software MPLAB X IDE spolu s podpůrným podprogramem MPLAB Code Configurator v4 pro jednodušší nastavení vnitřních registrů (EUSART1, EUSART2, časovače, přerušení, ...). Výsledkem používání MPLAB Code Configurator v4 je vygenerování definičních a implementačních souborů vybraných funkcionalit PIC18F47K40. Do vygenerovaných souborů jsem lehce zasáhl, hlavně pak k souboru pro druhou komunikaci EUSART2.

### 6.2 Vývojová deska Curiosity HPC

Dříve než jsem začal navrhovat desku plošného spoje, jsem si chtěl ověřit, zkusit a seznámit se s programováním mikrokontroléru. Proto jsem si obstaral vývojovou desku Curiosity HPC<sup>1</sup>, která má již připravené napájení mikrokontroléru a dalších periférií, rovněž obsahuje programátor mikrokontroléru a dále obsahuje různá tlačítka a LEDky pro testování. Stačilo připojit tuto vývojovou desku k počítači pomocí USB rozhraní (implementováno na vývojové desce) a začít programovat v prostředí MPLAB X IDE.



Obrázek 6.1. Vývojová deska Curiosity HPC

Na vývojové desce je též nachystané rozhraní pro další moduly. Jedním takovým modulem, který jsem pro zkoušení použil, je modul RS485 Click<sup>2</sup>. Tento modul převádí výstup mikrokontroléru na komunikaci RS-485.

<sup>1</sup> Zapojení vývojové desky je uvedeno v návodu [5]

<sup>2</sup> Schéma zapojení je uvedeno v technické dokumentaci [6]

## 6.3 EUSART

Sériové rozhraní EUSART je vylepšená verze sériového rozhraní USART<sup>3</sup>. Zařízení lze nastavit na plný nebo poloviční duplex [8], v mém případě jsem používal poloviční duplex. Avšak, abych mohl výstup z mikrokontroléru PIC18F47K40 připojit k vnější sériové komunikaci RS-485, musel jsem použít přizpůsobovací obvod ADM485. Tento obvod převádí úroveň mikrokontroléru na úroveň standardu RS-485. Cesta posílaných dat (Protokol Pfeiffer Vacuum) do mikrokontroléru je vidět na pravé části obrázku 5.2. Ve svém zařízení jsem použil komunikaci pomocí sériového rozhraní celkem dvakrát, a to pro komunikaci po RS-485 s hlavním počítačem a pro komunikaci s displejem.

Hardwareové moduly pro EUSART1 i EUSART2 jsou již implementovány v mikrokontroléru PIC18F47K40, viz [9].

---

<sup>3</sup> Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter, více je v publikaci [7]

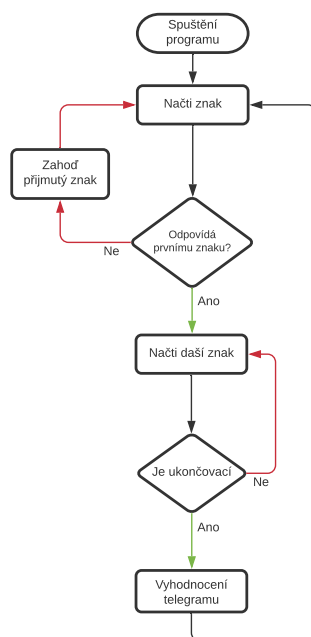
# Kapitola 7

## Návrh softwaru

### 7.1 Program

Jelikož „dvouvodičová“ verze komunikace RS-485 zajišťuje pouze poloviční duplex, tak jsem musel zajistit, aby mnou navrhované zařízení vysílalo pouze v časech jemu určených. Navrhovaný přístroj (slave<sup>1</sup>) poslouchá komunikaci a čeká na instrukce od hlavního počítače (master<sup>2</sup>), které následně vykoná.

Program pro správu komunikace RS-485 funguje dle diagramu 7.1. Nejdříve zařízení čeká na první správný znak přijatého signálu. Následně ukládá další přijaté znaky, dokud nepřijme znak CR. Takto celá došlá zpráva je následně zpětně rozložena dle tabulky telegramního rámce, viz tabulku 5.4, a je vykonána patřičná akce.



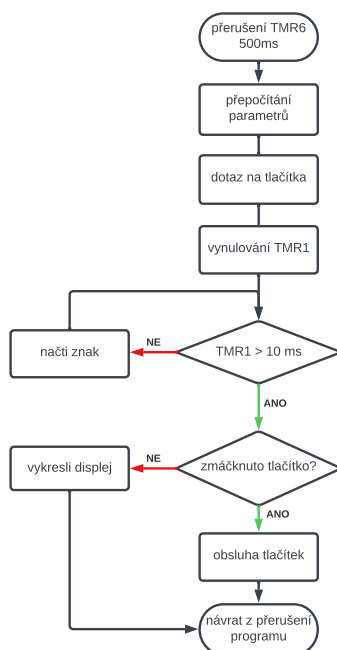
Obrázek 7.1. Diagram programu

### 7.2 Nastavení časovačů

Řídicí program používá dva interní časovače. Prvním se cyklicky volá přerušení pro přepočítávání parametrů a vykreslování hodnot na displeji. Druhý časovač slouží k ukončení čekání na odpověď od displeje. Diagram k oběma časovačům je na obrázku 7.2.

<sup>1</sup> Slave, česky otrok, je označení v elektronice pro účastníka komunikace, který čeká na pokyny od mastera, aby mohl vysílat.

<sup>2</sup> Master, česky pán, je hlavní účastník komunikace, který ji řídí, ostatní účastníci jsou mu podřízeni.



**Obrázek 7.2.** Diagram přerušení pro obsluhu displeje a přepočítávání parametrů

### 7.3 Vybrané parametry TCP 350

Řídicí jednotka má zhruba 60 parametrů, které mají na chod vývěvy různý vliv. Ke všem těmto parametrům jde přistoupit pomocí displeje (editovat hodnotu). Tabulka 7.1 uvádí nejdůležitější (nejčastěji používané) parametry. Tyto vybrané parametry se při emulaci chodu vývěvy ve vytvořeném programu přepočítávají.

**Tabulka 7.1.** Aktivní parametry emulované jednotky TCP 350

číslo parametru (N2,N1,N0)	význam
010	zapnutí čerpání (roztočení rotoru vývěvy)
023	zapnutí silových obvodů
302	dosaženo spínacího bodu
306	dosaženo nastavených otáček
307	vývěva zrychluje
308	nastavené otáčky [Hz]
309	aktuální otáčky [Hz]
701	spínací bod [%]
707	nastavení otáček [%] z maximálních otáček
797	adresa jednotky, odpovídá číslu A2,A1,A0



# Kapitola 8

## Návrh hardwaru

Navrhované má formu stolního přístroje s displejem na vrchní části a připojovacími konektory. Zařízení je napájeno stejnosměrným napětím 12 V, toto napájení je realizováno běžným síťovým adaptérem (AC 230 V/DC 12 V).

**Tabulka 8.1.** Zapojení konektoru RJ-45 v emulovaném zařízení

Kolík konektoru	Přiřazení
1	nepřipojeno
2	nepřipojeno
3	nepřipojeno
4	nepřipojeno
5	RS-485, data+
6	GND
7	RS-485, data-
8	nepřipojeno

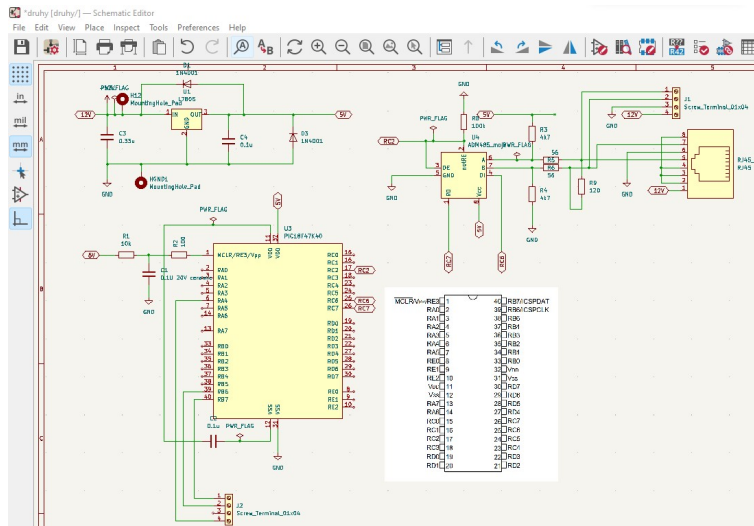
### 8.1 Návrh desky plošných spojů

Pro návrh desky plošných spojů pro mé zařízení jsem použil bezplatný software KiCad. Tento software, obsahuje knihovny standardních součástek. Program obsahuje více pod-programů, ve kterých lze udělat vše od návrhu elektrického obvodu po vygenerování souborů (.GBR, .DRL) pro profesionální výrobu DPS. Já jsem používal KiCad 6.0 v anglické verzi.

Zapojení obvodu pro komunikaci po RS-485 jsem převzal [6] a zapojení pro obvod napájení pomocí napěťového stabilizátoru jsem použil z technické dokumentace [10]. Pro komunikaci RS-485 se využívá integrovaný obvod ADM485, napájení (+5 V) je realizováno pomocí lineárního stabilizátoru LM7805.

#### 8.1.1 Schematic Editor

Schematic Editor je podprogram programu KiCad. V této části softwaru bylo mým úkolem správně navrhnut elektrický obvod, tj. správně propojit všechny součástky.



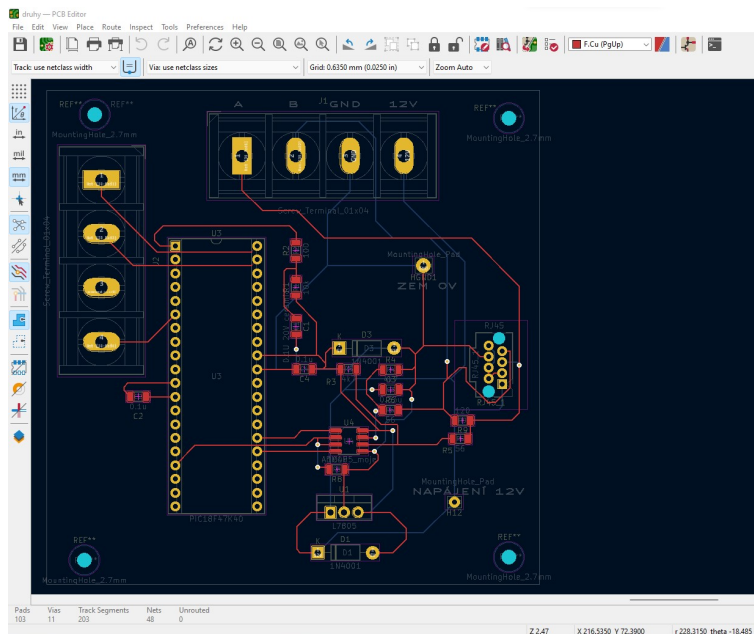
Obrázek 8.1. Návrh schématu

Finální schéma je uvedeno v příloze jako obrázek C.3 na straně 30.

### 8.1.2 PCB Editor

PCB Editor je další podprogramu KiCadu. Používal jsem ho k reálnému rozmístění součástek na desce a vytvoření všech spojů navržených ve Schematic Editoru. Nejdříve jsem ale musel vybrat a přiřadit ke každé součástce reálné pouzdro (rozměry, rozmístění vývodů,...) a nastavit Design Rules.

Design Rules, česky návrhová pravidla, jsou výrobní pravidla, které PCB Editor hlídá. Většinou se jedná zhruba o tyto parametry: minimální šířka spoje, minimální vzdálenost dvou elektrických cest, nejmenší možná velikost vrtané díry,...



Obrázek 8.2. Návrh cest na desce plošných spojů

# Kapitola 9

## Realizace Software

Souběžně jsem pracoval jak na softwaru, který jsem vyvíjel na vývojové desce, tak na hardwaru, který jsem se snažil oživit.

### 9.1 Obsluha komunikace EUSART1 pro RS-485

Jádro programu v mikrokontroléru jsem naprogramoval podle diagramu z obrázku 7.1. Část programu je možno vidět níže.

```
while(1) // DIAGRAM PROGRAMU
{
d = (char) EUSART1_Read(); // přijmutý znak
arr[index++] = d;
if(index > LE)
{index = 0;}
if(d == 13) // koncový znak
{
index = 0;
command(); //vyhodnoceni přijmutého telegramu
arrnec(arr,LE,'L'); // smaže zprávu
}
}
```

Vyhodnocení příchozího telegramu jsem vyřešil tak, že program v poli přijatých ASCII symbolů najde první číslici a od ní zkopíruje zprávu až po znak CR. Dále mikrokontrolér z hodnot L1 a L0 určí pozici, kde se nachází kontrolní součet C2 až C0. Po porovnání kontrolních součtů se porovná adresa fyzického zařízení s adresou poslaného telegramu. Následně podle hodnot Q1 a Q0 se zpracují přijatá data Dn až D0 patřící k parametrům N2 až N0.

#### 9.1.1 Uložení parametrů TCP 350

Řídící jednotka obsahuje velké množství parametrů určené trojmístným číslem z telegramového rámce N2 až N0. Většina těchto parametrů má délku šesti ASCII znaků, proto jsem zvolil řešení umístit všechny parametry bezprostředně za sebe. Kvůli nadměrné velikosti tohoto pole jsem je umístit do dvou menších polí.

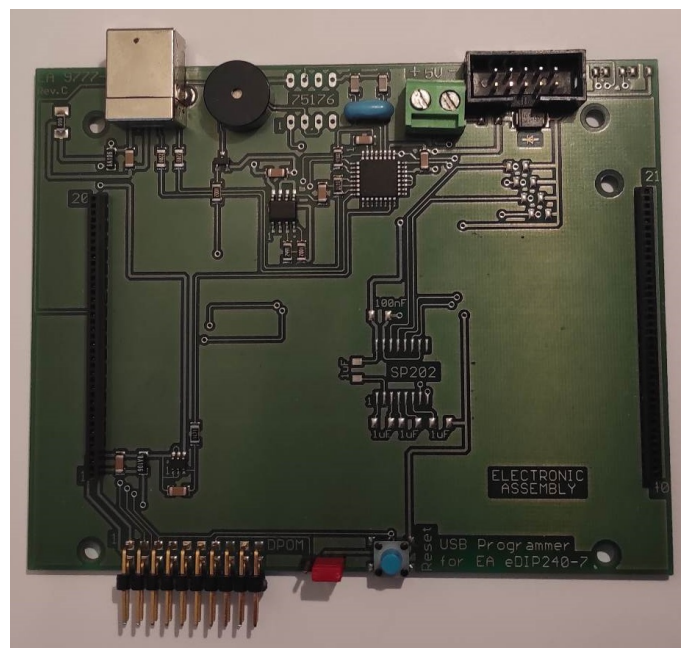
### 9.2 Obsluha displeje

Pro naprogramování displeje EA EDIPTFT43-A jsem použil programovací desku EA 9777-1USB<sup>1</sup>, která je k vidění na obrázku 9.1 spolu s programovacím prostředím kiteditor. Část kódu uvádím níže, řádky začínající #ZL vypisují text, řádky začínající

<sup>1</sup> Popis zapojení a ovládání je v manuálu [11]

znaky #AT vytvářejí tlačítka, která po zmáčknutí uloží jedinečné číslo do vyrovnávací paměti. Dotázáním displeje na toto číslo dokáže program určit, které tlačítko bylo zmáčknuto.

```
#ZF 2
#ZZ 1,1
#FZ 8,1
#AR 1
#AF 1
#AZ 1,1
#AE 1,0
x1 = 5
xx1 = 25
#AT x1,5,xx1,15,1,0," 1"
#AT x1,15,xx1,25,2,0," 2"
#AT x1,25,xx1,35,3,0," 4"
#AT x1,35,xx1,45,4,0," 8"
#AT x1,45,xx1,55,5,0," 9"
x4 = 265
#ZF 2
#ZZ 2,2
#FZ GREEN,BLACK ;
#ZL x4 ,5, "act. rot."
#ZL x4 ,20,"set. rot."
#ZL x4 ,41," par."
#ZL x4+190 ,5, "Hz"
#ZL x4+190 ,20,"Hz"
```



**Obrázek 9.1.** Programovací deska EA 9777-1USB

Komunikaci s displejem EA EDIPTFT43-A jsem zvolil pomocí EUASART2, který je vyveden na 39. a 40. pin mikrokontroléru<sup>2</sup> a 10., 11. pin displeje. Propojil jsem obě zařízení spojením navzájem Tx-Rx a také Rx-Tx, viz tabulka 9.1. Sériová komunikace s displejem neprobíhá pomocí diferenčního páru jako u RS-485, proto je daleko víc náchylnější na případné elektromagnetické rušení.

Baudovou rychlost jsem hardwareově nastavil na 115200 Baud, tj. nastavil úroveň H (+5V) na 6., 7. a 8. pinu displeje. Baudová rychlost komunikace s displejem je tudíž 12 krát rychlejší než rychlost po komunikaci RS-485. Tím jsem získal větší čas pro komunikaci po RS-485.

**Tabulka 9.1.** Propojení Eusart2

PIC18F47K40	pin	EA EDIPTFT43-A	pin
Tx	39	Rx	10
Rx	40	Tx	11

Na dotykovém displeji lze pomocí tlačítek vybrat parametry řídicí jednotky a následně pomocí jiných tlačítek změnit jejich hodnotu.

Pro dotázání displeje jsem posílal sekvenci hodnot, jak je uvedeno na prvním řádku v tabulce 9.2. Hodnoty jsou uvedeny v hexadecimální soustavě.

**Tabulka 9.2.** Používané příkazy pro komunikaci s displejem

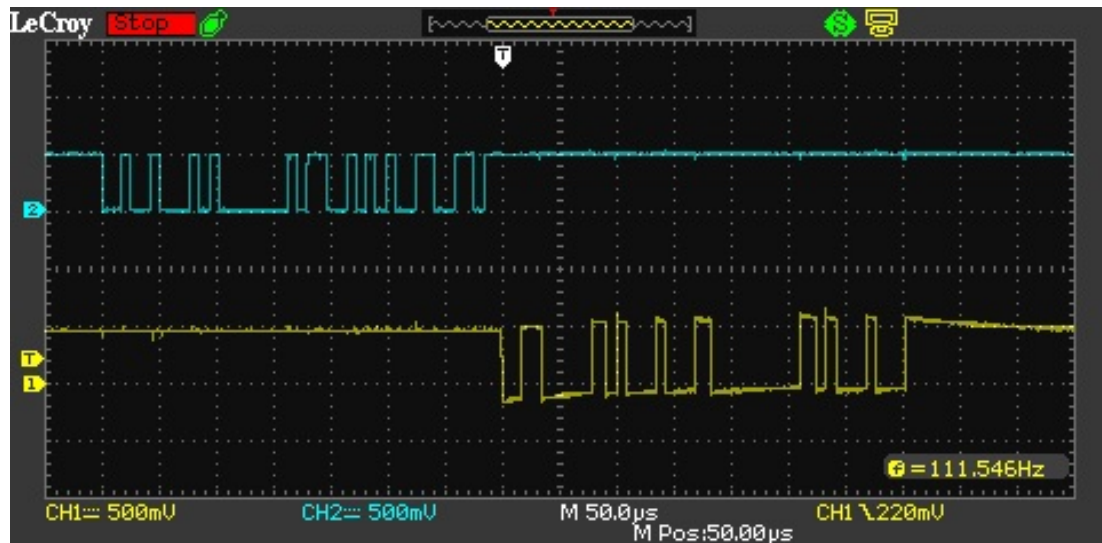
Dotaz na tlačítko:	0x12	0x01	0x53	0x66
Příkaz displeje:	0x11	<i>délka dat</i>	<i>data</i>	<i>BCC</i>

Ukázku hlavního kódu pro komunikaci mikrokontroléru PIC18F47K40 s displejem EA EDIPTFT43-A uvádím níže. Program pošle dotaz na tlačítko a automaticky uloží jeho odpověď do pole.

```
T++;
char dotaznatlacitko [4] = {0x12,0x01,0x53,0x66};
if (T%2 == 0){
  arrpdisplay(dotaznatlacitko,4);
  int delka_zpravy = 0;
  while(1)
  {
    txt_display [delka_zpravy ] = (char) E2_Read();
    if (txt_display [delka_zpravy ] == 0xFF)break;
    delka_zpravy++;
  }
  ... // následuje vyhodnocení odpovědi
```

Zaznamenaný průběh komunikace lze vidět v obrázku 9.2 pořízeného osciloskopem WaveAce1002 od společnosti Teledyne LeCroy. Modrou barvou je označen dotaz na zmáčkuté tlačítko a žlutou barvou odpověď displeje. Byly použity sondy s dělicím poměrem 1:10.

<sup>2</sup> Piny 39,40 se zároveň používaly i pro programování mikrokontroléru. Což způsobovalo jisté komplikace při vývoji. Více o jednotlivých funkcích je k nalezení v technické dokumentaci [9].



**Obrázek 9.2.** Záznam průběhu komunikace displeje s mikrokontrolérem

Jako data posílané pomocí příkazu displeje jsem použil makra definovaná v [12] na stránkách 13 až 18. Použil jsem nejčastěji makra #FZL pro vypsání textu, #FZ pro nastavení barvy textu a neposlední řadě #ZZ k nastavení velikosti písma.

Z obrázku 9.2 můžeme nabýt dojem, že cesta odpovědi displeje, tj. žlutý kanál 1 osciloskopu, je nevhodně technicky řešena oproti modrému kanálu 2. Tento jev zvlnění byl závislý k volbě sondy. Při prohození sond nastal právě opačně. Příčinou může být špatná kapacita sondy osciloskopu.

# Kapitola 10

## Realizace hardwaru zařízení

Navrženou desku plošných spojů jsem si nechal vyrobit specializovanou firmou. Následně jsem osadil a připájil všechny součástky. Nejdříve jsem připájil SMD<sup>1</sup> součástky v pouzdrech 1206, tj. všechny kondenzátory a rezistory, až potom jsem připájil ostatní komponenty.

### 10.1 Technické překážky

Během oživování celého zařízení jsem narazil na několik problémů, kdy mi zařízení nechtělo fungovat. Z těch jednodušších uvedu například špatně připájenou součástku ADM485, což mělo za následek, že mi nefungovala komunikace RS-485 z počítače do mikrokontroléru, ale naopak mi fungovala zpětná komunikace z mikrokontroléru do počítače.

#### 10.1.1 Přehřívání napěťového stabilizátoru L7805

Při testování desky s připojeným displejem se napěťový stabilizátor L7805 nadměrně zahříval, proto jsem před stabilizátor předřadil srážecí rezistor. Hodnotu odporu jsem určil ze znalosti proudu (odečtením z laboratorního zdroje napájení) a velikosti napětí, které požadují, aby bylo na rezistoru. V mém případě jsem chtěl, aby na rezistoru bylo napětí mezi 3 V a 5 V:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4 \text{ V}}{0,185 \text{ A}} = 21,6 \text{ } \Omega. \quad (1)$$

Ztrátový výkon na rezistoru je

$$P = UI = 185 \text{ mA} \cdot 4 \text{ V} = 0,74 \text{ W}. \quad (2)$$

Ze spočítaných dat jsem zvolil rezistor s odporem 22  $\Omega$  a s výkonem 3 W, konkrétně součástku KNPA3W22R. Toto řešení je provizorní a při případném dalším návrhu, bych zvolil raději napěťový měnič.

#### 10.1.2 Problémy na komunikaci s displejem

Při zprovoznování komunikace mikrokontroléru s displejem EA EDIPTFT43-A jsem zjistil, že odpovědi displeje jsou nespolehlivé, a proto je mikrokontrolér PIC18F47K40 nedokáže správně přečíst. Vyřešil jsem to přidáním kondenzátoru s hodnotou 4,7  $\mu\text{F}$  k napěťovému stabilizátoru.

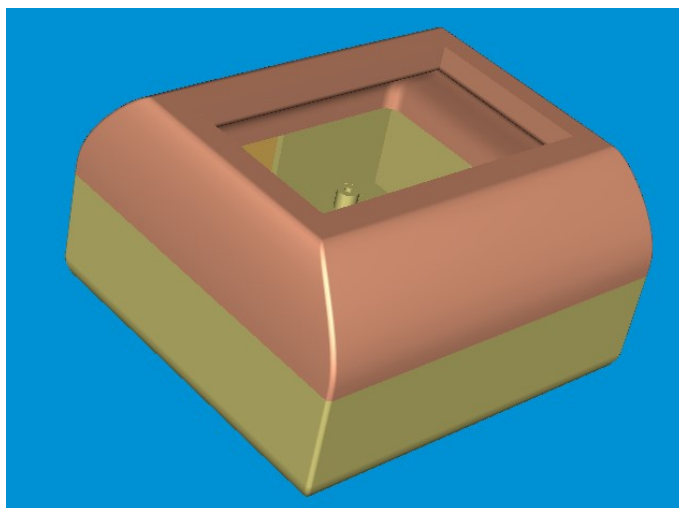
#### 10.1.3 Úpravy ve schématu obvodu

Předešlé změny v obvodu jsem zanesl do schématu viz 8.2 v příloze. Přidaný rezistor je označen RZ1 a přidaný kapacitor je označen CZ1.

<sup>1</sup> Surface Mounted Devices, tj. součástka pro povrchovou montáž, viz [13]

## 10.2 Přístrojová skříň zařízení

Osazenou desku plošných spojů spolu s displejem EA EDIPTFT43-A jsem vložil do dvoudílné krabičky, kterou jsem navrhl v programu Solid Edge, vizte obrázek 10.1. Následně jsem pomocí programu PrusaSlicer a 3D tiskárny nechal vytisknout plastový model přístrojové skříně.



**Obrázek 10.1.** Model přístrojové skříně

Desku plošných spojů jsem pomocí čtyř šroubků M2,5 × 16 mm přišrouboval k přístrojové skříni. Boční stěna skříně obsahuje vypínač (ON/OFF), napájecí 12 V konektor (POWER) a konektor RJ-45 pro komunikaci s hlavním počítačem (RS485). Fotky realizovaného zařízení jsou uvedeny v příloze C.1 a C.2.

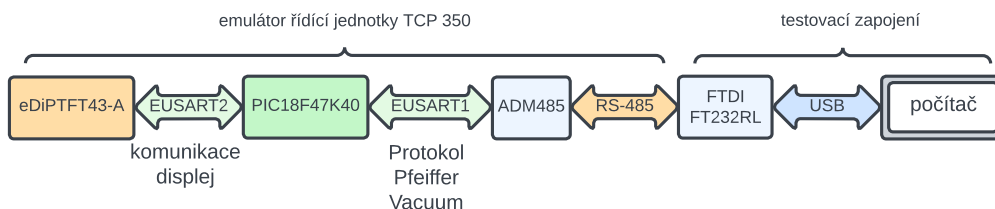


# Kapitola 11

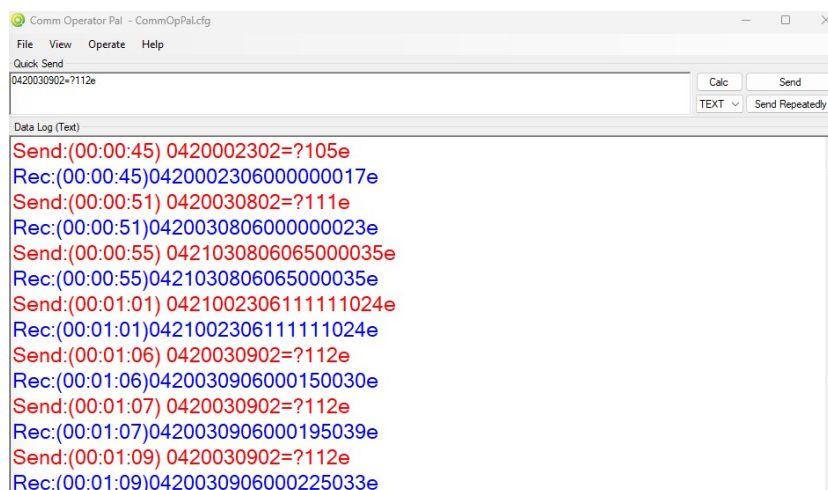
## Testování zařízení

### 11.1 Testování základního zapojení

Zařízení jsem připojil k počítači pomocí externího převodníku RS-485 na USB. Diagram testovacího zapojení uvádím v obrázku 11.1. Použitím softwaru (terminálu) Comm Operator Pal jsem mohl posílat příkazy vytvořenému zařízení a sledovat jeho chování. Část testovací průběhu uvádím v obrázku 11.2, dále pak uvádím rozepsaný test i s popisem událostí v tabulce 11.1.



Obrázek 11.1. Diagram testování zařízení



Obrázek 11.2. Testování komunikace pomocí počítače

Červeně je označena zpráva z počítače a modře je znázorněna odpověď od mikrokontroléru PIC18F47K40. Písmenem „e“ jsem nahradil pro testování neviditelný znak CR.

Tabulka 11.1. Zapojení

zařízení	čas	telegram	popis
PC	16:54:09	0011079703042146e	nastavení adresy na 042
TCP350	16:54:09	0011079703042146e	
PC	16:54:09	0420030802=?111e	nastavené otáčky?
TCP350	16:54:13	0421030806000585042e	odpověď 585 Hz
PC	16:54:22	0421002306111111024e	zapne silové obvody
TCP350	16:54:22	0421002306111111024e	
PC	16:54:34	0421070706000090036e	nastaví otáčky na 90 %
TCP350	16:54:35	0421070706000090036e	
PC	16:54:41	0421070106000060027e	nastaví spínací bod na 60 %
TCP350	16:54:41	0421070106000060027e	
PC	16:54:47	0420030902=?112e	aktuální otáčky?
TCP350	16:54:47	0421030906000000025e	odpověď 0 Hz
PC	16:54:53	0420030702=?110e	zrychluje vývěva?
TCP350	16:54:53	0421030706000000023e	nezrychluje
PC	16:54:58	0421001006111111020e	zapne čerpání
TCP350	16:54:58	0421001006111111020e	
PC	16:55:04	0420030702=?110e	zrychluje vývěva?
TCP350	16:55:04	0421030706111111029e	odpověď zrychluje
PC	16:55:09	0420030202=?105e	dosažení spínacího bodu
TCP350	16:55:09	0421030206000000018e	není dosaženo spínacího bodu
PC	16:55:14	0420030902=?112e	aktulání otáčky?
TCP350	16:55:14	0421030906000210028e	odpověď 210 Hz
PC	16:55:23	0420030202=?105e	dosažení spínacího bodu otáček?
TCP350	16:55:23	0421030206000000018e	nebylo dosaženo spínacího bodu
PC	16:55:33	0420030202=?105e	dosažení spínacího bodu otáček?
TCP350	16:55:33	0421030206000000018e	nebylo dosaženo spínacího bodu
PC	16:55:43	0420030202=?105e	dosažení spínacího bodu otáček?
TCP350	16:55:43	0421030206111111024e	odpověď dosaženo spínacího bodu
PC	16:55:49	0420030902=?112e	aktuální otáčky?
TCP350	16:55:49	0421030906000707039e	odpověď 707 Hz
PC	16:55:54	0420030602=?109e	dosaženo nastavených otáček ?
TCP350	16:55:54	0421030606000000022e	nebylo dosaženo nastavených otáček
PC	16:56:02	0420030902=?112e	aktuální otáčky?
TCP350	16:56:02	0421030906000810034e	odpověď 810 Hz
PC	16:56:08	0420030602=?109e	dosaženo nastavených otáček?
TCP350	16:56:08	0421030606111111028e	bylo dosaženo nastavených otáček
Pc	16:56:35	0421001006000000014e	vypnutí čerpání
TCP350	16:56:35	0421001006000000014e	

## 11.2 Test s displejem, pokles otáček

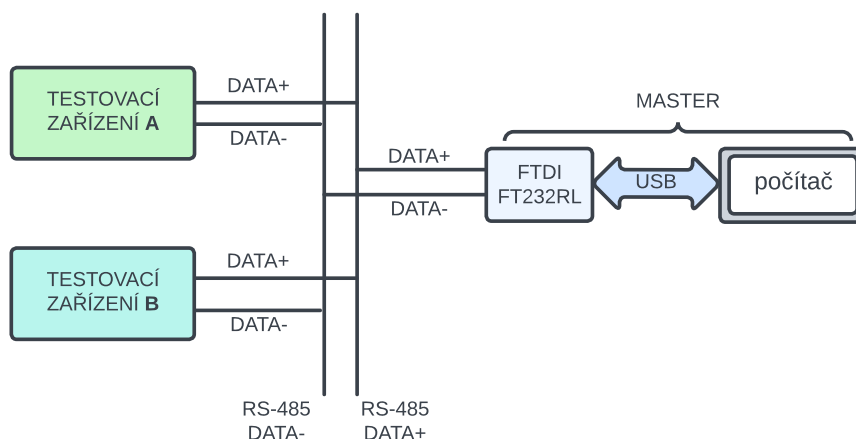
Zařízení bylo testováno s nastavenou adresou 132. Nejdříve bylo zařízení přivedeno do stabilního stavu s aktuálními otáčkami 585 Hz. Následně byl na displeji vybrán parametr 309, tj. „aktuální otáčky“ a poté byla manuálně snížena hodnota parametru o 100 Hz na hodnotu 485 Hz. Průběh testu uvádím v tabulce 11.2. Obrázek zapnutého displeje je k vidění v příloze C.2 na straně 29.

**Tabulka 11.2.** Testování poklesu otáček, použit displej

zařízení	čas	telegram	popis
Pc	19:32:31	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
TCP350	19:32:31	1321030906000585043e	odpověď 585 Hz
EA EDIPTFT43-A			zmáčknutí tlačítka displeje
Pc	19:32:40	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
TCP350	19:32:40	1321030906000490038e	odpověď 490 Hz
Pc	19:32:41	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
TCP350	19:32:41	1321030906000497045e	odpověď 497 Hz
Pc	19:32:42	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
TCP350	19:32:42	1321030906000504034e	odpověď 504 Hz
Pc	19:32:42	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
TCP350	19:32:42	1321030906000511032e	odpověď 511 Hz

## 11.3 Testování dvou zařízení

V praxi se komunikace po sériové lince RS-485 používá ve vícebodových sítích, z tohoto důvodu jsem otestoval navržená emulační zařízení i v takovéto síti. Diagram testovacího zapojení uvádím níže v obrázku 11.3

**Obrázek 11.3.** Diagram testování dvou emulačních zařízení v jedné síti

V této síti jsem testoval dvě stejné emulační zařízení. První je označeno velkým písmenem **A** a druhé písmenem **B**. Jako master byl použit stolní počítač s programem Comm Operator Pal.

### 11.3.1 Adresace dvou zařízení

Všechna zařízení jsem zapojil do stejné sběrnice, propojil jsem spolu navzájem všechny konektory DATA+ a také jsem propojil navzájem konektory DATA-. Zapnul jsem zařízení, které po zapnutí mělo přednastavenou adresu 001. Příkazem Protokol Pfeiffer Vacuum jsem se dotázal na jeho adresu, abych zjistil, zda komunikuje. Dalším příkazem jsem nastavil adresu zařízení **A** na hodnotu 042. Zapnul jsem zařízení **B**, které mělo po zapnutí také přednastavenou adresu 001. Opět jsem se dotázal příkazem na adresu zařízení **B**. Poté jsem změnil adresu zařízení **B** hodnotu 132.

### 11.3.2 Průběh testu dvou zařízení

Oběma zařízeními **A** i **B** jsem zapnul silové obvody, nastavil otáčky 2000 Hz a zapnul čerpaní. Dotazoval jsem se na parametry (dosažení spínacího bodu otáček, aktuální otáčky, dosažení spínacího bodu otáček) obou zařízení, každého však jeho vlastní adresou.

Výpis z komunikace je možno vidět na v tabulce 11.3. Pro větší čitelnost komunikace jsem nahradil hodnotu CR z 13 na písmeno „e“.

**Tabulka 11.3.** Testování dvou zařízení v jedné síti

zařízení	čas	telegram	popis
		manuální zapnutí zařízení A	
PC	0:26:47	0010079702=?118e	dotaz na adresu zařízení A
A	0:26:47	0011079706000001031e	odpověď 001
PC	0:26:53	0011079703042146e	nastavení adresy na 042
A	0:26:53	0011079703042146e	
		manuální zapnutí zařízení B	
PC	0:27:05	0010079702=?118e	dotaz na adresu zařízení B
B	0:27:05	0011079706000001031	odpověď 001
PC	0:27:11	0011079703132146e	nastavení adresy 132 na zařízení B
B	0:27:11	0011079703132146e	
PC	0:27:17	0421002306111111024e	zapnutí silových obvodů zařízení A
A	0:27:17	0421002306111111024e	
PC	0:27:23	1321002306111111024e	zapnutí silových obvodů zařízení B
B	0:27:23	1321002306111111024e	
PC	0:27:29	0421070706000090036e	nastavení otáček zařízení A na 90 %
A	0:27:29	0421070706000090036e	
PC	0:27:34	1321070706000060033e	nastavení otáček zařízení B na 60 %
B	0:27:34	1321070706000060033e	
PC	0:27:38	1321001006111111020e	zapnutí čerpaní B
B	0:27:38	1321001006111111020e	
PC	0:27:42	0421001006111111020e	zapnutí čerpaní A
A	0:27:42	0421001006111111020e	
PC	0:27:47	0420030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky A
A	0:27:47	0421030906000056036e	odpověď 56 Hz
PC	0:27:52	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky B
B	0:27:52	1321030906000189043e	odpověď 189 Hz
PC	0:28:22	1320030602=?109e	dotaz dosažení nastavených otáček
B	0:28:22	1321030606111111028e	bylo dosaženo nastavených otáček
PC	0:28:26	1320030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
B	0:28:26	1321030906000540034e	odpověď 540 Hz
PC	0:28:49	0420030602=?109e	dotaz na dosažení nastavených otáček
A	0:28:49	0421030606111111028e	bylo dosaženo nastavených otáček
PC	0:28:55	0420030902=?112e	dotaz na aktuální otáčky
A	0:28:55	0421030906000810034e	odpověď 810 Hz

# Kapitola 12

## Závěr

Ve své práci jsem popsal návrh a realizaci elektronického zařízení, které emuluje chování řídicí jednotky TCP 350 používané pro ovládání turbomolekulárních vývěv. Jádrem zařízení je mikrokontrolér PIC18F47K40, který pomocí dvou sběrnic komunikuje s dotykovým displejem EA EDIPTFT43-A a s nadřazeným hlavním počítačem. Demonstroval jsem návrh desky plošných spojů, dále pak návrh programu mikrokontroléru a naprogramování displeje. Popsal jsem základní vlastnosti řízení turbomolekulárních vývěv. V neposlední řadě jsem realizovaný přístroj otestoval v několika testech, ve kterých uspělo. V textu jsem se zmínil o několika omezeních svého návrhu. Z nich vyplývají případné směry, kterým se můžeme v budoucnosti zabývat při navrhování vylepšeného zařízení.

## Reference

- [1] PFFEIFER VACUUM. *Provozní návod TCP350*. Dostupné na <https://www.pfeifer-vacuum.com>.
- [2] SLAVÍČEK, Pavel, Vlasta ŠTĚPÁNOVÁ a Jakub KELAR. *Vakuová fyzika 1*. 1 vyd. Masarykova univerzita, 2016. ISBN 978-80-210-8473-5.
- [3] JOUSTEN, Karl. *Handbook of Vacuum Technology*. Second, Completely Revised and Updated Edition vyd. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, 2016.
- [4] AXELSON, Jan. *Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems*. Second vyd. Madison: Lakeview Research LLC, 2016.
- [5] MICROCHIP. *Curiosity High Pin Count (HPC) Development Board User's Guide*. Dostupné na <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Curiosity-High-Pin-Count-Development-Board-User-Guide-40001856C.pdf>.
- [6] MIKROE. *RS485 5V click schematic v100*. Dostupné na mbox {<https://download.mikroe.com/documents/add-on-boards/click/rs485-5v/rs485-5v-click-schematic-v100-b.pdf>}.
- [7] REESE, Robert B. *Microprocessors*. první vyd. Da Vinci Engineering Press, 2005. ISBN 1-58450-378-5.
- [8] DIGITAL, Real. *UARTs and Serial Ports*. Dostupné na <https://www.realdigital.org/doc/7d93df01f5ae9bcb7a0e6859badee09c>.
- [9] MICROCHIP. *PIC18(L)F27/47K40*. Dostupné na [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC18LF27\\_47K40-Data-Sheet-40001844E.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PIC18LF27_47K40-Data-Sheet-40001844E.pdf).
- [10] INSTRUMENTS, Texas. *A7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS*. Dostupné na <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.
- [11] ASSEMBLY electronic. *USB PROGRAMMERBOARD FÜR EA eDIP240-7*. Dostupné na <https://www.lcd-module.com/pdf/zubehoer/9777-1.pdf>.
- [12] ASSEMBLY, ELECTRONIC. *SMART 4.3" TFT DISPLAY*. Dostupné na mbox {[https://cz.mouser.com/datasheet/2/127/ediptft43\\_ae-4728.pdf](https://cz.mouser.com/datasheet/2/127/ediptft43_ae-4728.pdf)}.
- [13] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. první vyd. BEN, 2011.

# Příloha A

## Seznam použitých pojmů a zkratek

### A.1 Pojmy

Jako příklad pro popis zkratek poslouží pojmy ze světa.

MASTER	účastník komunikace, který ji řídí
SLAVE	účastník komunikace, který musí poslouchat MASTER
EUSART	typ sériové komunikace
RS-485	standard sériové komunikace
SMD	typ pouzdra součástky pro povrchové pájení
pin	vodivá nožička či ploška součástky

### A.2 Zkratky a značky

.GBR	soubor určený pro popis výroby desky plošných spojů, obsahuje popis jednotlivých vrstev desky plošných spojů
.DRL	soubor určený pro popis výroby desky plošných spojů, obsahuje popisy vrtání děr do desky
R	fyzikální značka pro odpor, jednotkou odporu je $\Omega$
C	fyzikální značka pro kapacitu, jednotkou je F
TCP 350	název řídicí jednotky

# Příloha B

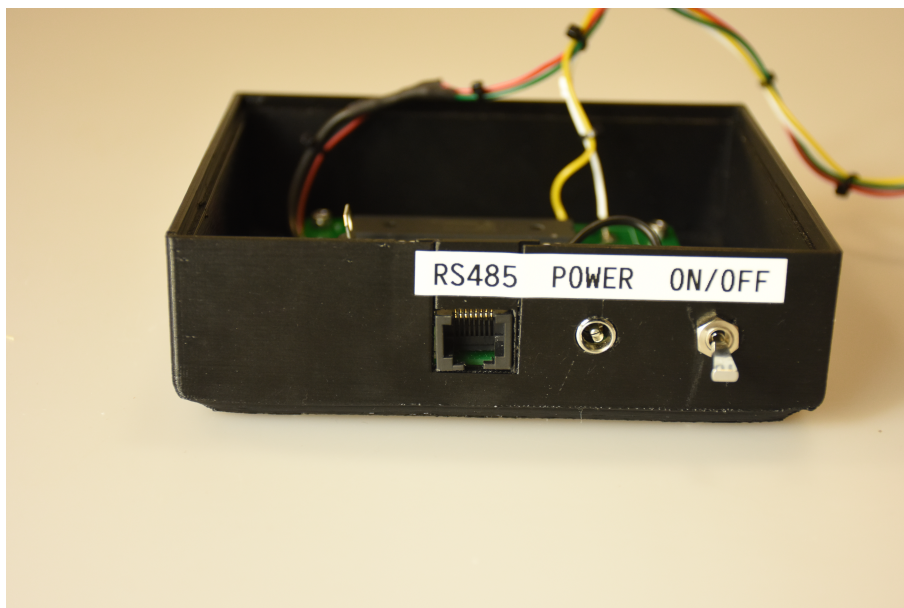
## Seznam souboru

device_config.h	soubor nastavení PIC18F47K40
mcc.h	
eusart1.h	nastavení komunikace EUSART1 používané pro RS-485
eusart2.h	nastavení komunikace EUSART2 používané pro komunikaci s displejem
interrupt_manager.h	nastavení přerušení
pin_manager.h	nastavení všech pinů.
tmr1.h	nastavení časovače tmr1 na 10 ms
tmr6.h	nastavení časovače tmr6 na 500 ms
myfile.hpp	emulované chování, komunikace s displejem, správa telegramu
device_config.c	nastavení mikrokontroleru
mcc.c	
eusart1.c	nastavení komunikace EUSART1, používaná pro komunikaci RS-485
eusart2.c	nastavení komunikace EUSART2, používaná pro komunikaci s displejem
interrupt_manager.c	obsluha přerušení
pin_manager.c	nastavení a zpráva všech pinů
tmr1.c	nastavení nastavení časovače tmr1 na 10 ms
tmr6.c	nastavení nastavení časovače tmr6 na 500 ms
myfile.c	emulované chování, komunikace s displejem, správa telegramu
main.c	hlavní soubor
displej.kmc	program displeje

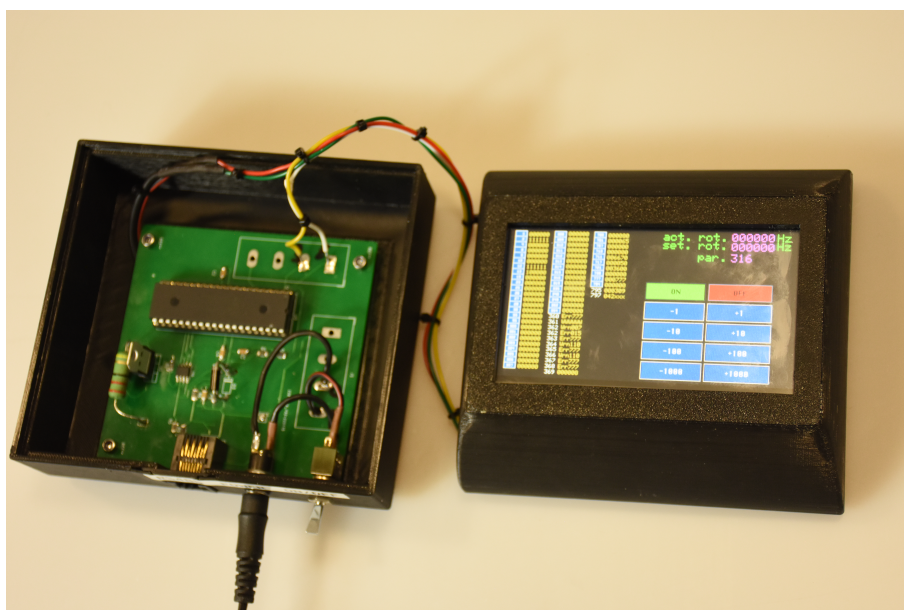


# Příloha C

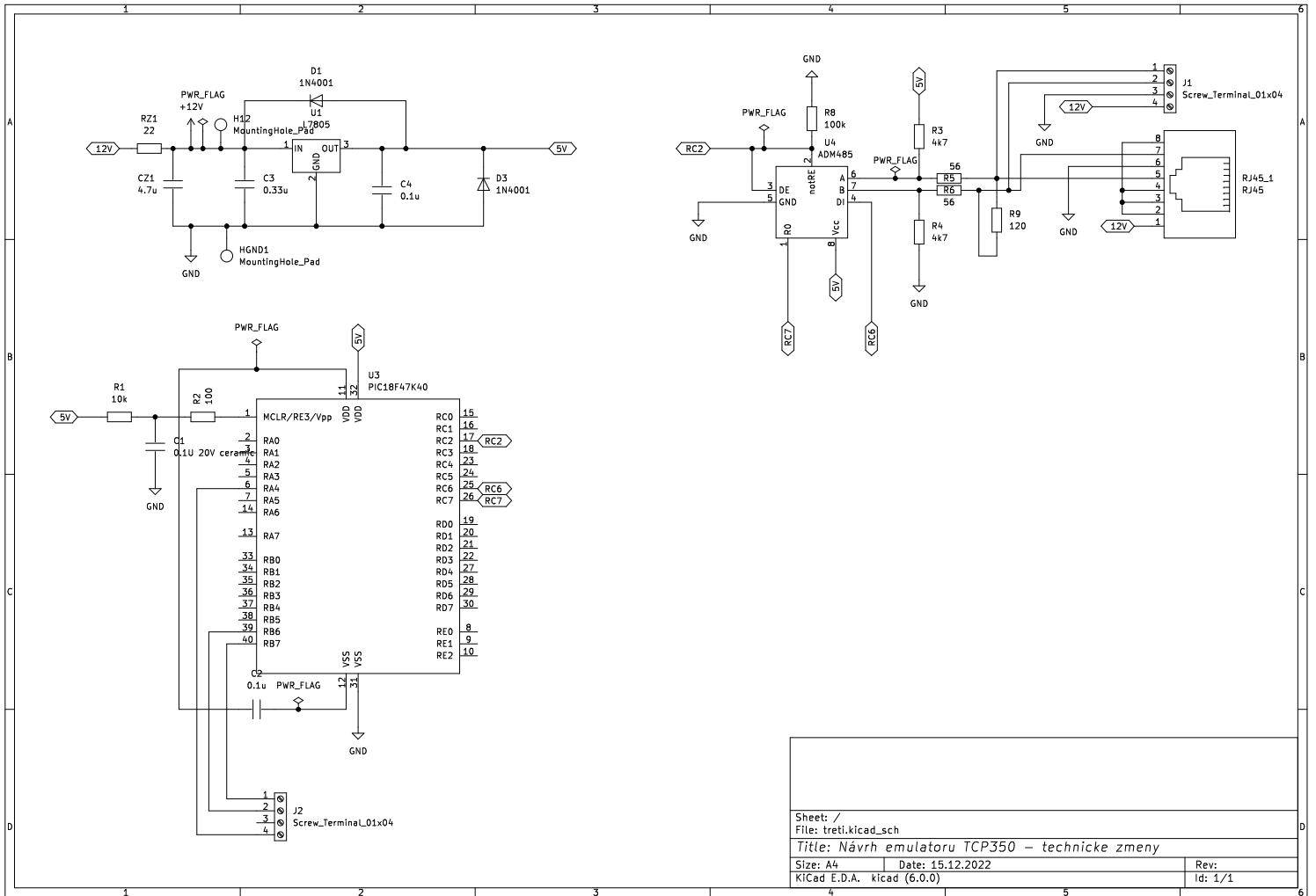
## Obrázky



**Obrázek C.1.** Fotka hotového přístroje, zadní panel



**Obrázek C.2.** Fotka hotového přístroje



Sheet: /		File: tret.kicad_sch	
Title: Návrh emulátoru TCP350 – technické zmeny			
Size: A4	Date: 15.12.2022	Rev:	
KiCad E.D.A. kicad (6.0.0)	Id: 1/1		

**Obrázek C.3.** Finální návrh desky plošných spojů