

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A**  
**TELEKOMUNIKACÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Měřicí modul pro chladicí okruh**

**vedoucí práce: Ing. Zuzana Petránková**

**autor: Josef Suchý**

**2012**



**Anotace:**

Cílem práce je navrhnout a vytvořit funkční vzorek, který bude snímat teplotu, tlak a rychlost průtoku kapalného média v chladicím okruhu. V zařízení bude 10 obvodů pro připojení termistorů, 2 obvody pro tlakoměry a 3 obvody k měření průtoku. Hodnoty z termistorů jsou pomocí multiplexerů postupně zpracovány mikrokontrolérem. Z konstrukčních důvodů bude zařízení rozděleno do dvou obvodových desek. Na horní desce bude řídicí mikrokontrolér, obvody pro úpravu napájení, převodník USB a obvody pro úpravu signálů z průtokoměrů a tlakoměrů. Na dolní desce realizují obvody pro zpracování teploty. Naměřené hodnoty budou vysílány sériovým kanálem mikrokontroléru do převodníku USB a následně zobrazeny na monitoru PC.

**Klíčová slova:**

Mikrokontrolér, A/D převodník, sériové rozhraní, senzor, tlakoměr, průtokoměr, teploměr, měření veličin, chladicí okruh, tlak, průtok, teplota, Steinhart-Hartova rovnice, výpočet, termistor, napájení, napěťový stabilizátor, komunikace, převodník USB/RS232.

**Abstract:**

The aim of the work is to create and describe a functional model that will measure temperature, pressure and flow rate of liquid medium in the cooling circuit. The device will consist of 10 circuits for connecting thermistors, 2 circuits for pressure gauges and 3 flow circuits. The values of thermistors and pressure gauges are successively processed using multiplexers microcontroller. The device will be divided into two circuit boards for structural reasons. At the top of the board will be microcontroller, circuitry for adjusting the power, USB converter and circuitry for adjusting the signals from flow meters and pressure gauges. The bottom board I make the processing circuitry to ensure temperature. The microcontroller takes and processes the data. The measured values will be transmitted to the microcontroller serial channel to the USB transmitter and then will be displayed on a PC monitor.

**Key words:**

Microcontroller, ADC, serial interface, sensor, pressure gauge, flow meter, thermometer, measurement, cooling circuit, pressure, flow, temperature, Steinhart-Hart equation, calculation, thermistor, power supply, voltage stabilizer, communication, converter USB/RS232.

**Prohlášení:**

Předkládám tímto svou závěrečnou bakalářskou práci na téma **Měřicí modul pro chladicí okruh** k obhajobě a posouzení odborné komisi. Tímto prohlašuji, že práci jsem vypracoval sám, za nemalé pomoci Ing. Zuzany Petránkové, odborných knih a jednotlivých technických dokumentací uvedených na konci mé práce.

V Plzni dne 1. 6. 2012

Josef Suchý

**Poděkování:**

*Moc rád bych tímto poděkoval vedoucí práce Ing. Zuzaně Petránkové za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.*

## Obsah

<b>Úvod:</b> .....	9
Seznam symbolů:.....	10
<b>1. Mikrokontrolér ADuC843</b> .....	11
1.1 Blokové schéma, základní popis: .....	11
1.2 Napájení:.....	12
1.3 A/D převodník: .....	12
1.3.1 Základní popis: .....	12
1.3.2 Princip: .....	13
1.3.3 Chyby: .....	14
1.4 Sériové rozhraní UART:.....	15
1.5 Sériové rozhraní SPI a IIC:.....	15
1.6 Interrupty: .....	16
1.7 Programování: .....	16
<b>2. Senzory</b> .....	17
2.1 Průtokoměr: .....	17
2.1.1 Obecný popis:.....	17
2.1.2 Metody měření průtoku: .....	18
2.1.3 Turbínové a lopatkové průtokoměry: .....	19
2.1.4 Průtokoměr Digimesa FHKC G1/4: .....	19
2.2 Senzory tlaku: .....	20
2.2.1 Obecné informace: .....	20
2.2.2 Základní principy senzorů tlaku: .....	21
2.2.3 Piezorezistivní senzor tlaku PX181:.....	22
2.3 Senzory teploty:.....	22
2.3.1 Obecné informace: .....	22
2.3.2 Rozdělení senzorů teploty: .....	23
2.3.3 Polovodičové odporové senzory teploty: .....	21
2.3.4 Negastory, kalibrace negastorů: .....	24
<b>3. Měřicí modul</b> .....	26
3.1 Měřicí obvod pro termistor:.....	27
3.2.1 Referenční napěťový zdroj TL431 .....	28
3.2 Vyhodnocení hodnot z tlakoměru .....	29
3.3 Výpočet průtoku kapaliny: .....	29
3.4 Napájení modulu .....	31
3.4.1 Stabilizátor 7805.....	31

3.4.2 Spínaný stabilizátor TSRN-1: .....	32
3.5 Komunikace modulu s PC .....	33
3.5.1 Převodník USB/RS232 .....	33
<b>4. Závěr</b> .....	<b>35</b>
<b>5. Literatura</b> .....	<b>36</b>
<b>6. Seznam příloh</b> .....	<b>38</b>
Příloha 1 .....	39
Příloha 2 .....	40
Příloha 3 .....	41
Příloha 4 .....	42
Příloha 5 .....	43
Příloha 6 .....	44



## Úvod:

Tato práce je zaměřena na vytvoření návrhu a následnou realizace mikropočítačem řízeného měřicího modulu. Modul bude snímat 3 fyzikální veličiny a to teplotu, tlak a průtok kapalného média. Cílem práce je tedy navrhnout a sestavit funkční vzorek zařízení.

Text práce je rozdělen do několika bloků. V prvním z nich se budu věnovat použitému mikrokontroléru ADuC843. V tomto bloku stručně popíši hlavní části procesoru. Podrobněji se budu věnovat vnitřnímu 12 bitovému A/D převodníku, díky kterému byl daný mikrokontrolér vybrán. Dále popíši způsob, kterým si mikropočítač vyměňuje datové informace s periferními obvody (SPI a IIC) a sériové rozhraní UART. Druhou část textu věnuji použitým sensorům, kde nejprve nastíním obecný popis dané fyzikální veličiny, způsob jejího měření a následně popíši i přesný typ použitého senzoru. V případě termistoru je nutno před použitím provést kalibraci, přesná metoda a postup bude také součástí této kapitoly. V poslední části textu se budu věnovat samotnému měřicímu modulu. Popíši zde způsob získávání dat ze sensorů a jejich následné zpracování mikrokontrolérem. V této části také nastíním způsob napájení celého modulu a jeho vnější komunikaci s externími zařízeními.

V závěru práce bych rád shrnul veškeré poznatky, které jsem při vypracování textu nabył. Zhodnotím zde základní cíle projektu a popíši postup návrhu.

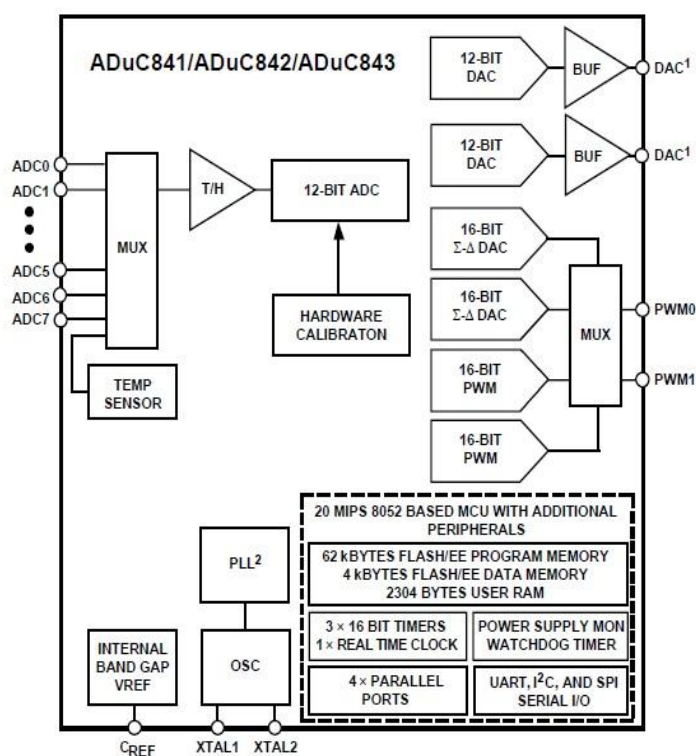
**Seznam symbolů:**

elektrické napětí	U [V]
elektrický proud	I [A]
elektrický odpor	R [ $\Omega$ ]
čas	t [s]
frekvence	f [Hz]
kapacita	C [F]
průtok	$Q_v \left[ \frac{m^3}{s} \right]$
objem	V [ $m^3$ ]
rychlost	$v \left[ \frac{m}{s} \right]$
obsah	S [ $m^2$ ]
hmotnost	m [kg]
hustota	$\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$
teplota	T [ $^{\circ}C$ , K]
průměr	d [m]
tlak	p [Pa]
síla	F [N]
modulační rychlost	$v_m \left[ \frac{Bd}{s} \right]$
přenosová rychlost	$v_p \left[ \frac{bit}{s} \right]$
permitivita vakua	$\epsilon_0$ [ - ]
poměrná permitivita	$\epsilon_r$ [ - ]

# 1. Mikrokontrolér ADuC843

## 1.1 Blokové schéma, základní popis:

Mikrokontrolér je založen na jádru 8052, ale instrukční sadou je kompatibilní i s jádrem 8051. Obsahuje 4x8 bitové brány P0 až P3, 3x16 bitový čítač + 1x16 bitový obvod reálného času, 62kB flash programovatelné paměti, 4kB flash datové paměti, 2304b uživatelské paměti RAM, 12bitový A/D převodník, sériové UART rozhraní, které lze nastavit do asynchronního režimu SCI, nebo do synchronního režimu SPI, interní teplotní senzor, watchdog, power supply monitor (PSM).

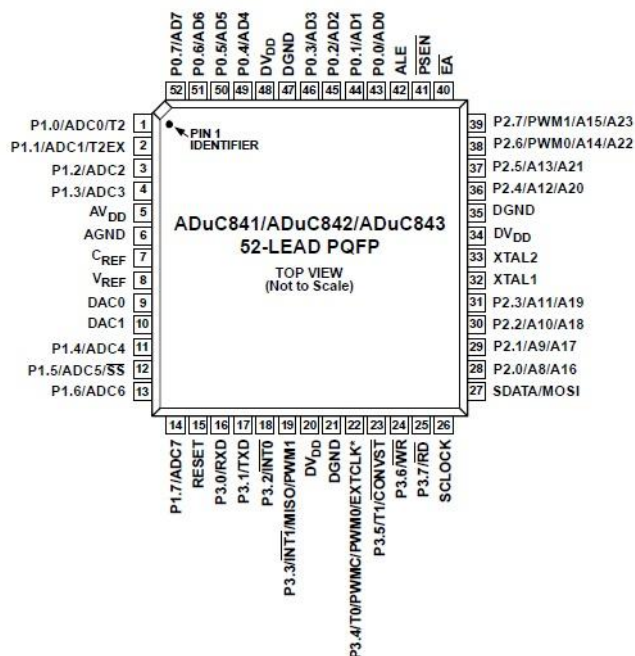


Obr. 1.1 Blokové schéma ADuC843 [1]

No obrázku 1.2 vidíme rozložení všech pinů procesoru. Z obrázků je patrné, že bity jednotlivých bran jsou rozdělené, tj. dolní bity brány P1 jsou na pinech 1-4 a horní na pinech 11-14, podobně jsou řešené všechny brány P0-P3. Brány mají klasické využití, tj. všechny se dají využít pro paralelní přenos dat a v případě potřeby můžeme na portech P1 a P3 využít speciální funkce jednotlivých pinů. Najdeme zde např. časovač, digitální vstup, asynchronní vstup dat RxD, asynchronní výstup dat TxD, dva piny vnějšího přerušení

INT0 a INT1, WR a RD pro zápis/četní z externí paměti atd.

ADuC843 se vyrábí buď v 52 pinovém (PQPF), nebo v 56 pinové (CSP) verzi. Naše deska je osazena 52 pinovou verzí, která se liší od 56 pinové pouze menším počtem pinů pro analogovou i digitální zem.



Obr. 1.2 Schéma vývodů ADuC843 v 52 pinové verzi[1]

## 1.2 Napájení:

Procesor je vyráběn pro napájecí napětí 3V nebo 5V. V našem případě byl použit procesor s napájením 5V. ADuC843 má dva druhy napájení. Jedno pro analogové zpracování signálu, druhé pro digitální zpracování signálu. Jsou-li použity oba druhy napájení, doporučuje se oddělit je dvěma Schottkyho diodami v zapojení back-to-back.

## 1.3 A/D převodník:

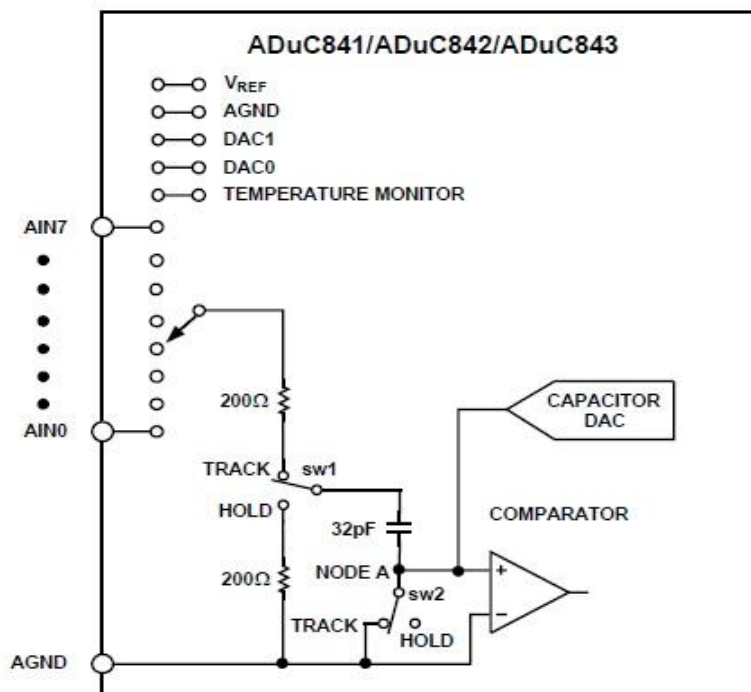
### 1.3.1 Základní popis:

Tento typ procesoru byl vybrán především proto, že má v sobě již poměrně přesný 8 kanálový 12 bitový A/D převodník. Vzorkuje na frekvenci 152kHz, tedy jedenkrát za cca 6,58μs. Při napěťové referenci 2,5V je napěťový přírůstek pro jeden bit 610μV. Na obrázku 1.1 (vlevo) vidíme vstup a následné zpracování analogové signálu. Nejprve vícekanálový multiplexor převezme signál z 8 kanálů, zpracuje ho a pošle do bloku typu track-and-hold

(T/H). Z tohoto bloku jde ještě analogový signál do samotného převodníku. Z převodníku již vychází digitální signál. Tento blok se dá řídit softwarově pomocí speciálních funkčních registrů (SFR).

### 1.3.2 Princip:

A/D převodník je založen na principu postupného přibližování (SA). Jedná se o kompenzační A/D převodník, který pracuje jako kompenzátor napětí. Vstupní analogové napětí řídicí obvod porovnává se zpětnovazebním kompenzačním napětím na výstupu D/A převodníku. Napětí se mění do té doby, než proběhnou všechny kvantovací kroky. Jelikož máme 12b převodník, pro převedení jedné hodnoty potřebujeme 12 kroků. Na začátku je registr SAR vynulován. V prvním kroku je do registru zapsána 1 jako nejvyšší bit a ostatní bity jsou ponechány nulové. Vzorek se za pomoci komparátoru porovnává s polovinou referenčního napětí. Je-li napětí  $U_{DAC}$  větší než  $U_{REF}/2$ , bit MSB zůstane 1, v opačném případě je vrácen zpět na 0. Zůstal-li bit MSB nastaven na 1, v dalším kroku porovnáváme napětí  $U_{DAC}$  s napětím  $(U_{REF}/2 + U_{REF}/4)$ . Byl-li bit vrácen do nuly, napětí  $U_{DAC}$  porovnáváme s napětím  $(U_{REF}/2 - U_{REF}/4)$ . Tento postup se provede 12x, takže poslední hodnota, která se přičte/odečte bude  $U_{REF}/4096$ .



Obr. 1.3 A/D převodník s postupnou aproximací [1]

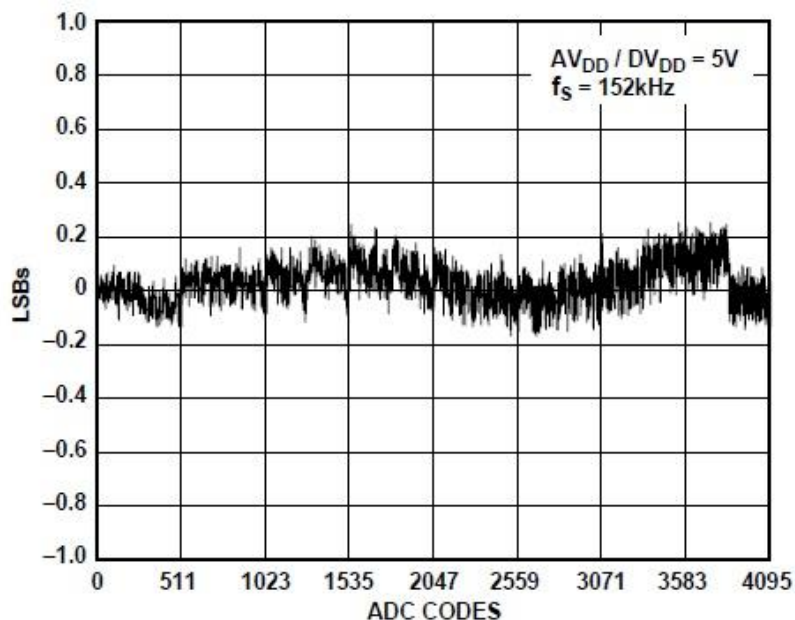
Výsledné bity jsou uloženy v registru SAR. Po ukončení vzorkování převodník

překopíruje registr SAR do tzv. záchytného registru, kde jsou data dále zpracovány nebo případně uloženy do paměti. Řídicí obvod poté SAR vynuluje a začne se vzorkováním další hodnoty. Celé schéma můžeme vidět na obrázku 1.3.

Během vzorkování musí mít napětí  $U_{VST}$  konstantní úroveň, proto se před převodník zařazuje blok T/H, který má v sobě malý kondenzátor 32pF. V první fázi se kondenzátor rychle nabije na okamžitou hodnotu vstupního napětí, poté spínač přepne do druhé polohy a napětí na kondenzátoru připojí na vstup převodníku.

### 1.3.3 Chyby:

Při vzorkovací frekvenci 192kHz dosahuje chyba způsobena integrální nelinearitou (INL) hodnoty menší než 0,3 LSB viz obr. 1.4. Obdobně je na tom převodník i s diferenciální nelinearitou (DNL), která je při stejných podmínkách rovna hodnotě menší než 0,2 LSB. Převodník byl testován i pro vzorkovací frekvenci 400kHz, která se v praxi nepoužívá, ale ani zde nedosahovala jak integrální, tak diferenciální chyby hodnoty větší než 0,6 LSB, což je velice dobrý výsledek.



Obr. 1.4 Kvantizační šum [1]

Převodník samozřejmě vykazuje i další druhy chyb, jako chybu zisku, offset, chybu nuly, celkové harmonické zkreslení, atd. Tyto chyby ale nejsou v tomto převodníku nikterak výrazné, proto se o nich dále rozepisovat nebudu. V případě potřeby jsou všechny chyby

podrobně rozepsány v oficiální technické dokumentaci k procesoru ADuC843[1].

## **1.4 Sériové rozhraní UART:**

Sériová periferie UART využívá asynchronní přenos znaků o délce 7, případně 8 bitů. Synchronizace je znaková, což znamená, že se mohou posílat informace o délce maximálně 10 bitů, poté musí proběhnout opětovná synchronizace mezi vysílačem a přijímačem. S daty se společně posílá jeden „start bit“ ještě před vysláním informace a jeden až dva „stop bity“ za ní. Tyto „stop bity“ značí konec přenosu. Společně s daty se může posílat i přídatný bit, který má význam parity. Tento bit se vždy posílá po posledním datovém bitu. Paritní bit je nejjednodušší možností, jak kontrolovat vznik chyby během přenosu od vysílače k přijímači. Paritní bit detekuje pouze lichý počet chyb, takže tato kontrola není nikterak účinná.

Napěťové úrovně všech signálů se liší od napěťových úrovní obvodů CMOS, proto je nutno na jednotlivé bloky obvodu použít vazební členy. Na výstupu vazebních členů jsou vysoké napěťové úrovně, které zvyšují odolnost proti rušení. Při návrhu komunikace mikrokontroléru s PC bylo využito převodníku USB/UART, protože u nových PC sériový port již takřka vymizel.

## **1.5 Sériové rozhraní SPI a IIC:**

Periferie SPI se využívá pro spojení s blízkými obvody na jednom plošném spoji. Typické použití je pro sériové paměti, senzory, externí převodníky, apod. Jelikož se jedná o obvody na plošném spoji, k synchronizaci se využívají hodinové impulsy generované přímo mikrokontrolérem. Jednotlivé obvody jsou rozděleny na MASTER a SLAVE. Master může být pouze jeden (většinou se jedná o mikrokontrolér), slave je označení pro zbylé periferní obvody. S těmito obvody může master libovolně komunikovat. Komunikuje se po jedné sběrnici, vždy tedy může komunikovat pouze jeden slave s jedním masterem. Výběr patřičného slave se děje za pomoci výběrových signálů generovaných přímo v masteru. Rozhraní dokáže 8 bitů dat současně odesílat i přijímat, tj. je plně duplexní. Kmitočet synchronizačních impulsů se pohybuje od set kHz do několika MHz.

Periferie SPI původně nebyla určena pro sítě typu MULTIMASTER (v moderních mikrokontrolérech to lze v omezené míře realizovat). Pro tento typ komunikace je využívána sběrnice IIC. Sběrnice je založena na budičích s otevřenými kolektory, zjednodušeně to znamená, že ta stanice, která jako první vyvolá stav „0“ na sběrnici je brána jako master a

může komunikovat s ostatními, kteří jsou slave. Jednotlivé slave se adresují buď 7, nebo 10 bitovou adresou. Délka zprávy není pevně stanovena, ale musí být ukončena patřičnou sekvencí náběžných hran, které master pochopí jako konec zprávy. Více k tomuto druhu komunikace se dozvíte v publikaci *Mikroprocesory a mikropočítače* od profesora Pinkera [11].

V mikrokontroléru rozhraní SPI sdílí své piny s rozhraním IIC, což znamená, že uživatel může povolit pouze jedno rozhraní. Je-li bit MSPI nastaven, piny pracují v režimu IIC, v opačném případě v režimu SPI.

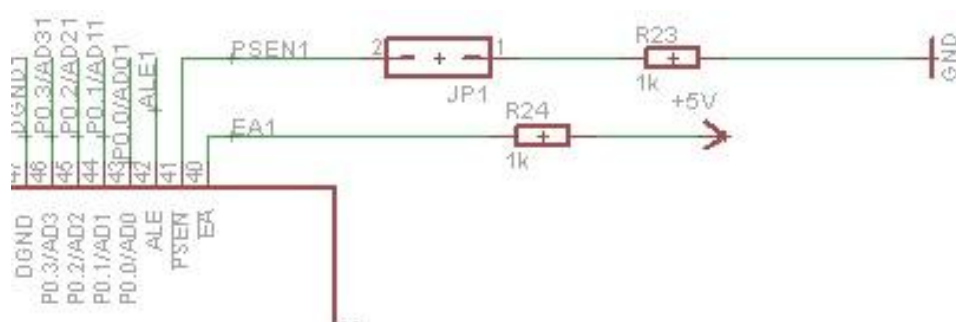
## **1.6 Interrupty:**

Interrupt je proces, kdy mikrokontrolér reaguje na neočekávanou událost a vyvolá její obsluhu. Přerušeni může být buď externí, nebo interní. Mikrokontrolér má celou řadu přerušeni: 3 vnější přerušeni, přerušeni od sériového kanálu, 3 přerušeni čítač/časovač, timer, atd. Pokud chceme přerušeni vyvolat, nejprve jej v příslušných registrech musíme povolit a nastavit. K těmto účelům slouží registry IE, IP, IEIP2. Aby nedocházelo ke konfliktům, kdy je vyvoláno více jak jedno přerušeni zároveň, musí mít každé svou prioritu. Nejvyšší prioritu v rámci maskovatelných přerušeni má přerušeni od vnitřních diagnostických obvodů, dále vnější požadavek, přerušeni od časovače, sériové vstupy/výstupy a nejnižší prioritu má přerušeni A/D převodníkem. Mimo těchto „chtěných“ přerušeni existují ještě přerušeni, které jsou vyvolány v havarijním stavu (zablokování programu, selhání obvodu). Tyto přerušeni mají absolutní prioritu a nelze je nijak zakázat (maskovat).

## **1.7 Programování:**

Jak již bylo řečeno, procesor běží na jádru 8052, je tedy plně kompatibilní s instrukční sadou pro jádra 8051. Pro programování používáme převodník USB a program Windows Seriál Downloader for ADuC8xx MicroConverters. Před začátkem programování je nutné uzemnit pin PSEN přes 1kΩ odpor viz obr. 1.5.





Obr. 1.5 Detail zapojení pinu PSEN

Po uzemnění provedeme restart mikrokontroléru a začneme přenášet data do paměti pro program. Po ukončení nahrávání odpojíme pin PSEN od země a restartujeme MCU. Procesor se vrátí do normálního chodu a začne vykonávat program.

## 2. Senzory

### 2.1 Průtokoměr:

#### 2.1.1 Obecný popis:

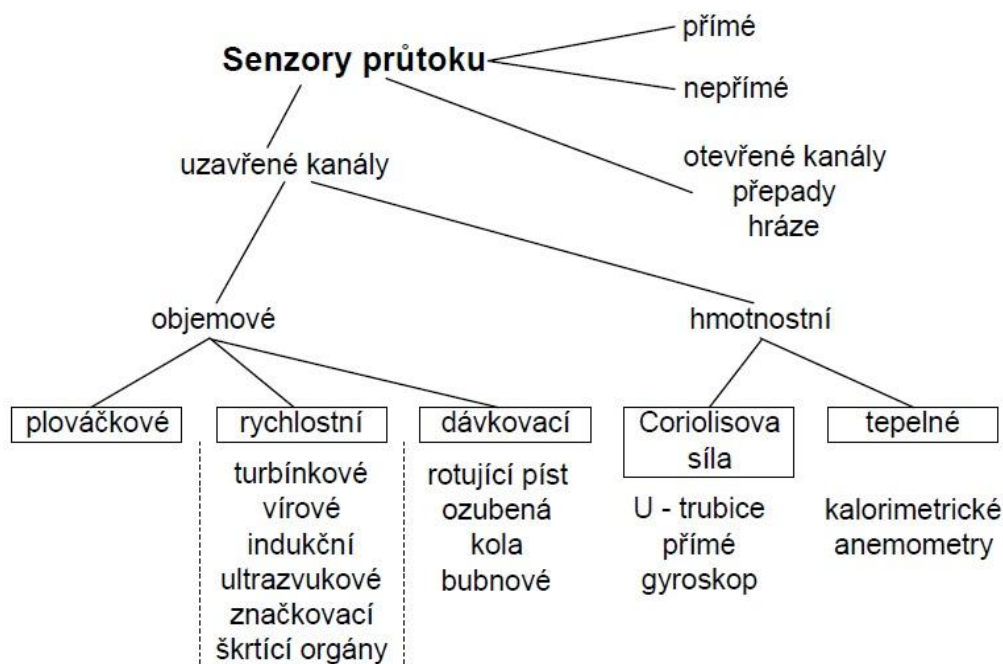
Při měření průtoku kapaliny dochází k transformaci měřené veličiny tj. průtoku na jinou, lépe zpracovatelnou fyzikální veličinu. Tato veličina musí být jednoznačně závislou na rychlosti proudění kapaliny, případně na její kinetické energii. Průtok kapaliny je obecně definován vzorcem:

$$Q_v = \frac{V}{t} = v * S \left[ \frac{m^3}{s} \right]; Q_m = \frac{m}{t} = \rho * v * S \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

Z výše uvedeného vzorce vidíme, že průtok je závislý na spoustě dílčích veličin. K měření průtoku se využívá velké množství metod viz obr. 2.1. Většina měření je nepřímou metodou a vychází ze závislosti rychlosti proudění kapaliny, respektive její kinetické energii, na výstupní přetransformované veličině.

V omezené míře se používá i přímé měření objemového nebo hmotnostního průtoku. Při tomto měření se mohou použít dávkovací senzory, které rozdělí kapalinu na přesně definované díly, a pak ji transportují ve směru proudění. Základním konstrukčním prvkem těchto senzorů jsou odměrné nádoby, které se střídavě plní a vyprazdňují v závislosti na kinetické energii proudící kapaliny. Další způsob senzorů přímého měření je založen na měření hmotnostního průtoku. Většinou se používají dva typy těchto průtokoměrů. Jeden

z nich je založen na momentu hybnosti tekutiny. Průtokoměr má motorem poháněné oběžné kolo, které tekutině dodává úhlový moment tím, že tekutinu urychluje na konstantní úhlovou rychlost<sup>[14]</sup>. V závislosti na hustotě kapaliny se dodává úhlový moment tak, aby úhlová rychlost zůstala konstantní. Novějším způsobem, je použití principu tzv. Coriolisova zrychlení. Podrobné informace pro tento druh měření najdete v publikaci *Měření průtoku a výšky hladiny* (viz. [2]).



Obr. 2.1 Rozdělení průtokoměrů [12]

### 2.1.2 Metody měření průtoku:

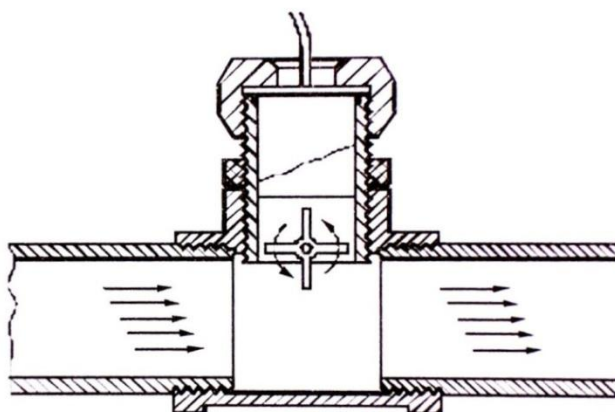
Pro provozní měření se převážně používají rychlostní průtokoměry, které můžeme rozdělit na:

- *Průtokoměry s konstantní rychlostí proudění*, zde je měřítkem průtoku velikost průtočného průřezu. Příkladem takového typu je plováčkový průtokoměr.
- *Průtokoměry s konstantním průtočným průřezem*. Tento typ tvoří většinu rychlostních průtokoměrů, zde je měřítkem okamžitá střední rychlost proudění.

Tohoto principu měření využívají průtokoměry turbínové, indukční, ultrazvukové, aj. Dalším typem jsou průtokoměry, které využívají kinetickou energii kapaliny. Mezi typické zástupce patří průtokoměry deformační, objemové a gyroskopické. Z hlediska významu jsou pro praxi nejdůležitější objemové průtokoměry.

### 2.1.3 Turbínové a lopatkové průtokoměry:

V našem případě byl použit lopatkový průtokoměr Digmesa FHKC G1/4. Tyto průtokoměry fungují na principu roztáčení lopatek a následném snímání rychlosti otáčení. Rychlost je přímo úměrná velikosti objemového průtoku. Lze ji měřit polovodičovými součástkami, které pracují na principu Hallova jevu, případně mechanickými snímači. Výstupní veličinou těchto snímačů jsou impulsy. V technické dokumentaci k průtokoměru by mělo být napsáno, kolik impulsů senzor vyšele po průtoku určitého množství kapaliny (např. 1 litr). Množství lopatek se určuje podle aplikace a bývá v rozmezí 6-20.



Obr. 2.2 Lopatkový průtokoměr [2]

Lopatkové průtokoměry jsou ekonomickou alternativou k přesným turbínovým průtokoměrům. Tyto průtokoměry jsou vhodné i pro kapaliny s vyšší viskositou, v takovém případě se jejich přesnost pohybuje okolo 2%.

### 2.1.4 Průtokoměr Digmesa FHKC G1/4:

Průtokoměr se vyznačuje velkým pracovním rozsahem, který je dán velikostí průtokové trysky a kompaktním designem.

Tab. 2.1 Specifikace pro různé průměry trysek [3]

Nozzle size	Pulses/litre	g/pulse	min. flow rate in litres/min at Linear start	max. flow rate in litres/min	Pressure loss
Ø 1.00 mm	2223	0.4499	0.0274	0.5867	1.00
Ø 1.20 mm	1787	0.5595	0.0315	0.7777	1.00
Ø 1.50 mm	1386	0.7216	0.0417	1.3434	1.00
Ø 2.00 mm	1013	0.9869	0.1109	2.3268	1.00
Ø 2.50 mm	754	1.3252	0.0673	2.7421	0.60
Ø 3.30 mm	509	1.9612	0.1396	5.3606	1.00

Jeho přesnost se pohybuje v rozmezí  $\pm 2\%$  a teplotní rozsah je v porovnání s konkurencí také více než dobrý a to od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $65^{\circ}\text{C}$ . Při vyšší rychlosti kapaliny se také začne projevovat jeho slabina, kterou je vysoká hlučnost. Vyráběn je pro různé účely, a tedy i s různými velikostmi trysek od průměr 1.0mm až po 3.3mm. Průtok se podle toho pohybuje v rozmezí 0,027 – 5.36 l/min viz tab. 2.1. Pro naše účely byl zvolen průřez 3,30mm. V tabulce výše vidíme minimální a maximální průtok za minutu a počet impulsů na litr. Tyto impulsy vytváří pulsní generátor, který je integrován do zařízení. Výstup z pulsního generátoru byl použit při programování a následném vyhodnocování údajů ze senzorů. Průtokoměr může být napájen stejnosměrným zdrojem s min. hodnotou 3,8V a max. hodnotou 24V, spotřeba se pohybuje okolo 8mA.



Obr. 2.3 Digmesa FHKC G1/4 [3]

## **2.2 Senzory tlaku:**

### **2.2.1 Obecné informace:**

Tlak se značí písmenem  $p$  (z anglického pressure), je definován jako poměr síly  $F$  působící na element plochy  $S$ :

$$p = \frac{F}{S}$$

Jednotkou tlaku je Pascal [Pa], je definován jako 1N působící na ploše  $1\text{m}^2$  tj.  $1\text{Pa} = 1\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ . Tlak v kapalinách i plynech je vyvolán tepelným pohybem částic. Nárazy těchto částic na stěny nádoby se projevují tlakem na ně působícím. Tlaková síla působí vždy kolmo na plochu. Nulový tlak je jen v prostoru vakua. Absolutní tlak je vztažen k této nulové hodnotě. U

proudícího prostředí (např. u kapaliny) je nutné rozeznávat tlak dynamický a tlak statický. Dynamický tlak je vektor se shodným směrem s vektorem rychlosti  $\vec{v}$ :

$$\vec{p}_D = \frac{\vec{v}^2}{2} * \rho_V$$

Pro stanovení tohoto tlaku musíme znát hustotu tekutiny  $\rho_V$ . Výsledný tlak je pak součet statického a dynamického tlaku.

### 2.2.2 Základní principy senzorů tlaku:

Ze vzorců výše víme, že tlak je působení síly na plochu. Jelikož je vždy možné vystavit působící tlak známé ploše, lze měřit tlak měřením síly. Senzory měřící tlak jsou si velice podobné tab. 2.2.

Tab. 2.2 Druhy tlakoměrů

Tlakoměry	Typ tlakoměru	Měřicí rozsah	Přesnost [%]
hydrostatické tlakoměry	U-trubicový	závislý na hustotě kapaliny	až 0,05
	nádobkový	do 200kPa	až 0,05
	mikromanometr se sklonným ramenem	do 5kPa	1 až 3
	kompresní vakuometry	10E-3 až 10E3	
silové tlakoměry	zvonový	do 1000Pa	1
	pístový	0 až 500MPa	0,0015 až 0,1
deformační tlakoměry	trubicový	do 10E9 Pa	1 až 2
	membránový	do 10E6 Pa	0,5 až 2
	vlnovcový	do 10E5 Pa	1 až 2
	krabicový	do 10E3 Pa	1 až 2
elektromechanické tlakoměry	potenciometrický	doplňek deformačních tlakoměrů	0,5 až 1
	indukční		0,5
	optický		0,1
	kapacitní	až 70 MPa	0,05 až 0,2
	tenzometrický	až 60 MPa	0,025 až 0,5
	rezonanční	až 50 MPa	0,01 až 0,2
	piezorezistivní	až 30 GPa	1
elektrické tlakoměry pro extrémní tlaky	odporový	80 MPa až 10 Gpa	0,5 až 2
	tepelněvodivostní	10E-4 až 100Pa	2 až 10
	ionizační	10E-10Pa až 10E-1Pa	10

Převod tlaku může být realizován buďto „pružně“ (ohyb, tah, smyk, krut), nebo přímo pomocí

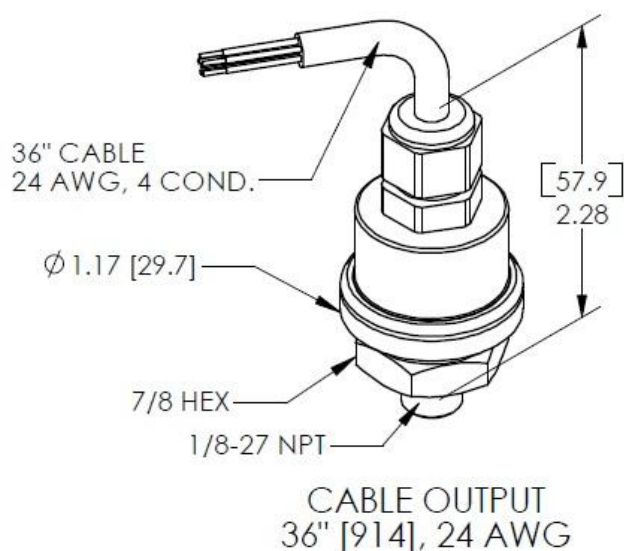
změny náboje, elektrického odporu, apod. Konstrukčním provedením se oba dva typy mohou zásadně odlišovat.

### 2.2.3 Piezorezistivní senzor tlaku PX181:

Tento snímač patří do řady senzorů pro všeobecné průmyslové a obchodní využití. Nabízí vynikající výkon v širokém spektru aplikací. V senzoru jsou digitálně kompenzovány některé parazitní vlivy prostředí např. změna teploty. Základním prvkem tohoto senzoru je membrána tvořená micro-machined technologií, která předává tlakové rázy na piezorezistivní disky. Výhodou tohoto senzoru je schopnost měřit jak statický, tak dynamický tlak při teplotách od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $80^{\circ}\text{C}$ .



2.5 Tlakoměr PX181 [5]



2.6 Detailní popis [6]

## 2.3 Senzory teploty:

### 2.3.1 Obecné informace:

Teplota je tepelná charakteristika stavu hmoty. Je to fyzikální veličina v soustavě SI. Její základní jednotkou je Kelvin [K] (existují i další podružné jednotky, jako je stupeň Celsia  $^{\circ}\text{C}$  nebo Fahrenheita  $^{\circ}\text{F}$ ). V obecném významu je to taková vlastnost látky, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit si k ní pocity. Z fyzikálního hlediska je to termodynamická stavová veličina definována na základě vrátneho Carnotova cyklu. Účinnost vratných Carnotových cyklů pracujících mezi stejnými lázněmi určitých teplot je závislá jen na těchto teplotách a

nezávislá na použité teploměrné látce.<sup>[6]</sup>

Platí vztah:

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

kde  $\eta$  je účinnost cyklu,  $Q_2$  je odebrané teplo a  $Q_1$  je odevzdané teplo. Pro tento vzorec musí platit podmínka  $T_2 > T_1$ . Ke stanovení teploty se používají závislosti fyzikálních veličin na teplotě. Volí se takové fyzikální jevy, u kterých lze teplotní závislosti vyjádřit s minimální odchylkou od skutečné termodynamické teploty.

### 2.3.2 Rozdělení senzorů teploty:

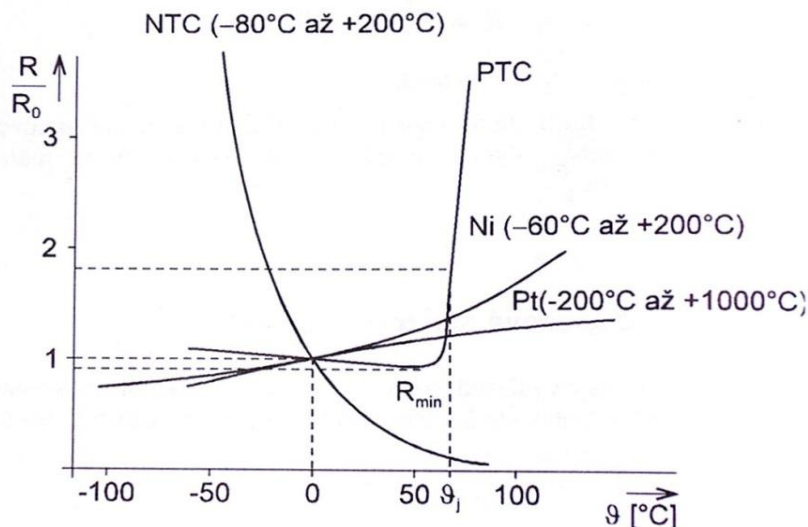
Základní dělení senzorů je na **dotykové** a **bezdotykové**. Mezi dotykové senzory se řadí senzory *elektrické* (odporové kovové, odporové polovodičové, polovodičové s PN přechodem, termoelektrické, krystalové), *dilatační* (kapalinové, plynové, parní, bimetalové) a *speciální* (akustické, šumové, magnetické, tekuté krystaly, teploměrné barvy, aj.). Tyto senzory se používají nejčastěji. Do bezdotykových senzorů patří senzory *tepelné* a *kvantové*.

### 2.3.3 Polovodičové odporové senzory teploty:

Tyto senzory využívají teplotní závislost odporu na teplotě. Dominantní teplotní závislostí je koncentrace nosičů náboje dle vztahu

$$n \approx e^{-\frac{\Delta E}{2kT}},$$

kde  $k$  je Boltzmannova konstanta a  $\Delta E$  je šíře mezery mezi energetickými hladinami. Termistory můžeme dále dělit na *pozistory* (PTC) a *negastory* (NTC). Pozistory mají kladný teplotní součinitel odporu, tj. při zvyšování teploty jejich odpor nejprve mírně klesá, ale nad Curieovou teplotou strmě stoupá. U našeho návrhu byl použit termistor NTC, který má záporný teplotní koeficient a v celé své charakteristice se při zvyšování teploty jeho odpor snižuje obr 2.7.



2.7 Teplotní charakteristika termistorů [7]

### 2.3.4 Negastory, kalibrace negastorů:

Vyrábějí se práškovou technologií z oxidů kovů např:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  nebo  $\text{MnO} + \text{CoO}$ . Senzory se nejprve vylisují, a pak se slinují za vysokých teplot. Teplotní rozsahy těchto termistorů se různí, existují termistory pro běžnou teplotu od  $-50^\circ\text{C}$  do  $200^\circ\text{C}$ , ale i pro extrémně nízkou teplotu do 4,2K nebo extrémně vysokou okolo 1500K. Nevýhodou termistorů je vysoká nelinearita, která musí být kompenzována. Závislost odporu na teplotě je dána vztahem

$$R = A * e^{\frac{B}{T}},$$

kde  $R$  je odpor termistoru při teplotě  $T$ ,  $A$  je konstanta závislá na geometrickém tvaru materiálu a  $B$  je teplotní konstanta, která je závislá na materiálu. Pro přesnější kalibraci termistoru se používá tzv. *Steinhart-Hartova rovnice*:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln R + C (\ln R)^3$$

Z uvedených proměnných známe pouze  $T$  což je teplota v [K] a  $R$ , který představuje odpor při této teplotě. Zbylé tři proměnné  $A$ ,  $B$  a  $C$  musíme dopočítat. Abychom byli schopni tyto konstanty určit, potřebujeme termistor proměřit ve třech různých teplotách. V tabulce 2.3 vidíme hodnoty odporu termistoru v několika bodech. Do rovnice jsem dosadil velikosti odporů při teplotách  $0^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ .



Tab. 2.3 Naměřené hodnoty

Teplotní závislost termistoru							
T [°C]	0	10	20	30	40	50	60
R_NTC [Ω]	27782	18318	12321	8469	5959	4237,4	3068

Po dosazení příslušných odporů k jednotlivým teplotám jsem dostal 3 rovnice o třech neznámých:

$$\frac{1}{273,15} = A + B * \ln 27782 + C * (\ln 27782)^3;$$

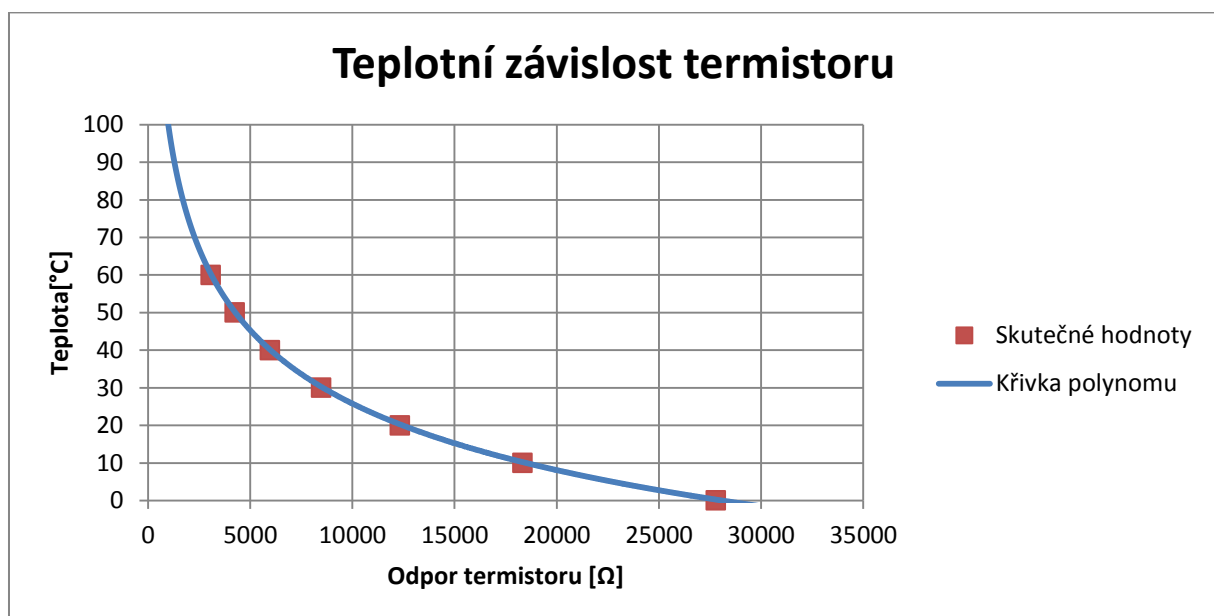
$$\frac{1}{243,15} = A + B * \ln 8469 + C * (\ln 8469)^3;$$

$$\frac{1}{213,15} = A + B * \ln 3068 + C * (\ln 3068)^3$$

Z těchto rovnic vyšly koeficienty  $A=9,94*10^{-4}$ ,  $B=2,47*10^{-4}$ ,  $C=2.06*10^{-7}$ . Výsledná Steinhart-Hartova rovnice potom vypadá takto:

$$\frac{1}{T} = 9,94 * 10^{-4} + 2,47 * 10^{-4} * \ln R + 2.06 * 10^{-7} * (\ln R)^3$$

Z této rovnice jsem pomocí programu Microsoft Excel vykreslil křivku závislosti odporu termistoru na jeho teplotě viz graf 2.1.



Graf 2.1 Teplotní závislost termistoru

Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty jsou takřka přesně na křivce polynomu. Při použití této metody a teplot 25°C, 40°C a 70°C je na rozsahu od 0°C do 100°C maximální odchylka  $\pm 0,1$  K. V našem případě byly použity jiné teploty, ale přesto by výsledná chyba neměla být vyšší. Pokud bychom chtěli kalibrovat termistor s vyšší přesností a do většího rozmezí hodnot (např. -50°C – 250°C), museli bychom tento interval rozdělit na více kratších úseků a vypočítat Steinhart-Hartovy koeficienty pro každý zvlášť.

Tato metoda kalibrace je nejpoužívanějším modelem pro určení R/T charakteristiky termistoru. Existuje i složitější varianta, která pracuje s 5 neznámými koeficienty, ale také jednodušší forma rovnice, která obsahuje pouze 2 koeficienty, ale ta logicky nedosahuje takové přesnosti.

### 3. Měřicí modul

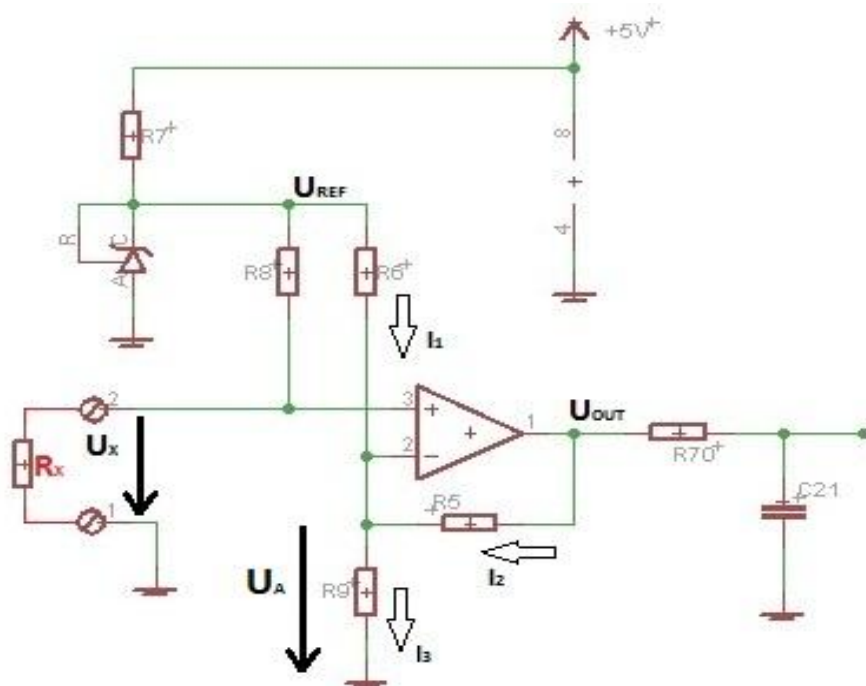
Od této části zařízení očekáváme snímání a vyhodnocování hodnot ze všech použitých senzorů. Měřicí modul všechna přijatá data zpracovává pomocí mikrokontroléru ADuC843, který je podrobně popsán v první kapitole. Použití mikropočítače je v podstatě jediná možnost jak podobný typ zařízení realizovat. Mikropočítač, díky vysokému stupni integrace, obsahuje miliony tranzistorů, které vzájemně tvoří ucelený obvod se všemi potřebnými periferiemi, které dokáží data nejen přijmout, ale následně i vyhodnotit. K zobrazení vyhodnocených dat potřebujeme PC. Mikropočítač sice dokáže komunikovat přes sériový kanál, ale ten je na nových počítačích a laptotech vzácností, proto je ke komunikaci použito převodníku USB/UART.

Senzory použité ke snímání jednotlivých veličin jsou detailně popsány ve druhé kapitole. Největší problém představuje připojení odporového snímače teploty. Při návrhu je nutné použít vhodnou metodu k měření odporů a převést závislost odporu na teplotě na závislost napětí na teplotě. Pro toto měření byl použit nevyvážený Wheatstoneův můstek a napěťová reference TL431. Výsledné napětí musí být v rozsahu A/D převodníku mikrokontroléru. Jelikož A/D převodník je osmi kanálový a mi měříme celkem 12 analogových veličin (10x teplota, 2x tlak), musíme výstup z osmi obvodů pro zapojení termistoru přepínat čtyřmi multiplexery. Obvody jsou zapojeny tak, že vždy jeden multiplexer ovládá výstupy dvou obvodů. Celé schéma zapojení můžeme vidět v příloze 5 a 6. Ostatní senzory byly zapojeny do obvodu dle katalogového listu výrobce.

### 3.1 Měřicí obvod pro termistor:

Při zapojování termistoru do obvodu musíme dbát několika požadavků, které bychom měli dodržet, aby byla měření přesná. Největší důraz je kladen na co možná nejmenší klidový proud protékající termistorem. Je-li klidový proud příliš velký, termistor by se mohl začít sám ohřívat a tím celé měření znehodnocovat. Velikost dovoleného klidového proudu je u každého senzoru odlišná a záleží hlavně na jmenovitém klidovém odporu senzoru. Při velkém odporu je logicky klidový proud nižší. Dalším důležitým požadavkem je velikost odporu přívodních vodičů, která musí být co nejnižší. V případě použití krátkých přívodních vodičů s dostatečným průřezem můžeme tento odpor zanedbat. Chceme-li táhnout vodiče na větší vzdálenost, musíme odpor přívodních vodičů změřit a následně ho odečíst od celkového odporu.

Jako nejvhodnější varianta se jevílo zapojit termistory do Wheatstoneova můstku s operačním zesilovačem viz obr. 3.1. Aby můstkem tekla malý klidový proud, musí být vyvážen vhodnou volbou okolních rezistorů k termistoru. Rozsah výstupního napětí se také ovlivňuje velikostí odporů v můstku a velikostí napěťové reference TL431. Pro odvození výstupního napětí je použito Kirchoffových zákonů společně s ideálními vlastnostmi OZ.



Obr. 3.1. Wheatstonův můstek

**Odvození  $U_{out}$ :**

$$I_3 = I_1 + I_2, \quad U_A = U_X = R_X \frac{U_{REF}}{R_8 + R_X}$$

$$I_1 = \frac{U_{REF} - U_X}{R_6}, \quad I_2 = \frac{U_{OUT} - U_X}{R_5}, \quad I_3 = \frac{U_X}{R_8}$$

$$U_{OUT} = (I_2 * R_5) + U_X = U_{REF} * \left( -\frac{R_5}{R_6} + \frac{R_X}{R_8 + R_X} * \left( 1 + \frac{R_5}{R_6} + \frac{R_5}{R_9} \right) \right)$$

kde  $R_5 = 22k\Omega$ ,  $R_6 = 47k\Omega$ ,  $R_8 = 27k\Omega$  a  $R_9 = 6,8k\Omega$

Dosadíme-li do výsledného vztahu jako referenční napětí 2,5V a odpor termistoru při teplotách 0°C (27782  $\Omega$ ) a 60°C (3068  $\Omega$ ) z tabulky 2.2, dostaneme vztahy:

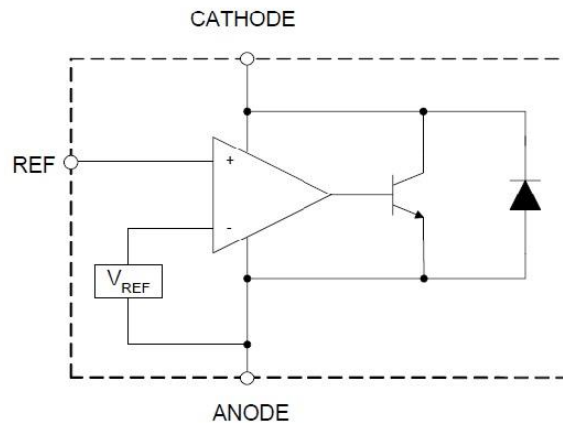
$$U_{OUT} = 2,5 * \left( -\frac{22}{47} + \frac{27,782}{27 + 27,782} * \left( 1 + \frac{22}{47} + \frac{22}{6,8} \right) \right) = 4,78V$$

$$U_{OUT} = 2,5 * \left( -\frac{22}{47} + \frac{3,068}{27 + 3,068} * \left( 1 + \frac{22}{47} + \frac{22}{6,8} \right) \right) = 0,036V$$

Protože nebylo možné jednoduchým výpočtem zjistit hodnoty rezistorů, byly jejich hodnoty experimentálně zkušeny, dokud nebylo dosaženo požadovaného rozmezí výstupního napětí. Jelikož se napětí pohybuje v intervalu od 0,036V do 4,78V, což je takřka v celém rozsahu referenčního napětí A/D převodníku, jsou odpory zvoleny optimálně.

**3.1.1 Referenční napěťový zdroj TL431**

Je to třísvorkový nastavitelný kompenzační stabilizátor s garantovanou tepelnou stabilitou pro plný provozní rozsah. Nízký výstupní odpor, ostrá zapínací charakteristika a nízká teplotní závislost z něj dělají ideální „řízenou“ Zenerovu diodu. TL431 má vnitřní referenční napětí 2,5V, ale výstupní napětí se pohybuje mezi 2,5V a 36V.



Obr. 3.2 TL431 Blokový diagram [8]

### **3.2 Vyhodnocení hodnot z tlakoměru**

Tlakoměr má oproti termistoru tu výhodu, že v celém měřeném spektru má lineární charakteristiku. Díky této charakteristice nemusíme dělat žádné složité přepočty jako u termistoru pomocí Steinhart-Hartovy rovnice. Výpočet se dá velice jednoduše provést z jedné parametrické rovnice přímky.

Existují minimálně dvě vhodné možnosti jak hodnotu z tlakoměru zpracovat A/D převodníkem a následně vyhodnotit mikrokontrolérem. Asi nejjednodušší možností je rozdělit výstup tlakoměru na  $2^{12}$  úseků, tj. každému „intervalu“ přiřadíme jedno číslo v tabulce. Při tomto způsobu řešení bude vznikat chyba, ale díky velkému počtu kvantovacích kroků nebude nikterak výrazná. U této metody se nám vyplatí mít 12b A/D převodník, protože tím získáme i přes zjevnou chybu poměrně přesnou hodnotu tlaku. Nevýhodou tohoto způsobu řešení je velká náročnost na paměťový prostor. V paměti dat mikrokontroléru musí být uložena tabulka se 4095 hodnotami možné velikosti tlaku.

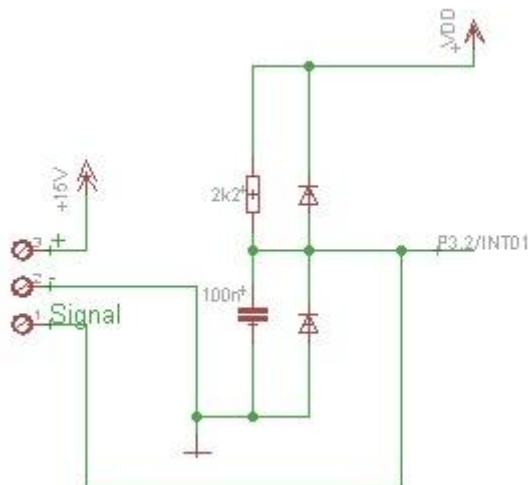
Druhý způsob výpočtu jsem naznačil již v úvodu. Při vyhodnocení můžeme využít toho, že tlakoměr má v celém svém rozsahu lineární charakteristiku. Stačí změřit napětí při nulovém tlaku a při maximálním dovoleném tlaku. Oba změřené body proložíme přímkou a určíme si parametrickou rovnici této přímky. Tento způsob výpočtu je pro tlakoměr přijatelnější, protože nemusíme mít v paměti uloženou rozsáhlou tabulku, ale stačí nám pouze jedna rovnice, ze které potřebná data dopočteme.

### **3.3 Výpočet průtoku kapaliny:**

Při výpočtu průtoku kapaliny průtokoměrem musíme vycházet z technické dokumentace výrobce. U průtokoměru Digma G1/4 s průřezem 3,3 mm je dáno 509

impulsů na jeden proteklý litr. Tento údaj je pouze orientační a může ho ovlivnit viskozita kapaliny. Pro přesnější vyhodnocení měření je nutné průtokoměr kalibrovat na náš druh tekutiny.

K vyhodnocení počtu impulsů musí být průtokoměr zapojen do speciálního obvodu pro TTL logiku obr. 3.3. Tento obvod umožňuje mikrokontroléru komunikaci s průtokoměrem.



Obr. 3.3 Zapojení průtokoměru

Z obrázku vidíme, že výstup obvodu směřuje na vstup vnějšího přerušení. Jedno z možných programových řešení spočívá v tom, že nastavím jeden z časovačů na minutu a v obsluze z vnějšího přerušení INT0 inkrementuji proměnnou. Po napočítání jedné minuty se obvod přeruší a proměnnou, kterou jsme inkrementovali, porovnáme s počtem impulsů na litr (509 impulsů). Tímto způsobem získáme průtok v litrech za minutu [l/m]. Toto řešení bude dosti přesné, ale nevýhoda je v tom, že údaj na displeji se bude měnit jednou za 60s. Dle potřeby můžeme interval zkrátit na menší úseky s tím rizikem, že při přílišném zkrácení již ovlivňujeme přesnost měření. Je tedy nutno vybrat kompromis mezi přesností a rychlostí obnovy. Zvolíme-li obnovovací čas 5s, pak vzorec pro výpočet průtoku bude vypadat takto:

$$\text{průtok} \left[ \frac{l}{min} \right] = \frac{\text{poč. pulsů} * 12}{509}$$

Další možný způsob řešení pracuje na opačném principu, kdy se při spuštění průtokoměru sepne jeden z časovačů. S každým impulsem od průtokoměru se provede přerušení a vyhodnotí se údaj z časovače. Z dokumentace víme, že při průtoku jednoho litru kapaliny se přerušení provede 509krát, tj. jedno přerušení je rovno průtoku cca. 1,964ml

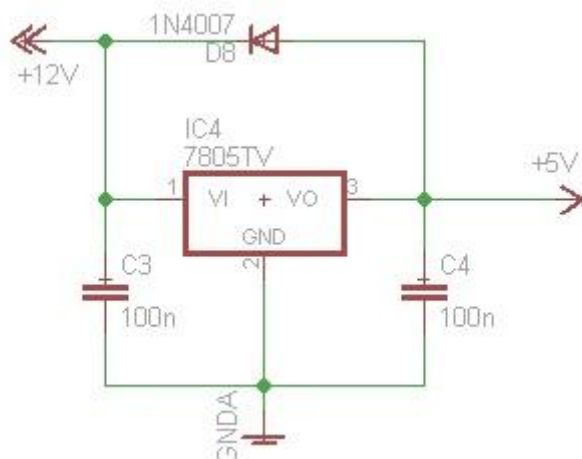
kapaliny. Náš krystal kmitá na frekvenci 11,0592MHz, tj. jeden kmit trvá cca.  $9,0422 \cdot 10^{-8}$  s. Známe-li tyto dvě hodnoty, rychlost průtoku dopočtu pouhým vynásobením čísla  $9,0422 \cdot 10^{-8}$  s napočítanou hodnotou v časovači. Takto zjistíme, za jaký čas proteče průtokoměrem 1,964ml kapaliny. Pro přesnější měření můžeme provádět vyhodnocení po více impulsch např. po 2, ale pak musíme tento údaj respektovat i v následném výpočtu.

### **3.4 Napájení modulu**

Celý modul je napájen napětím 15V, které se dále stabilizuje na 12V a 5V. Obvod má tedy 3 různé velikosti napájení. Na napěťové úrovni 5V je navíc napájení rozděleno na digitální a analogové. Oba dva typy jsou odděleny tlumivkou. Pro vytvoření napájení 12V je použit stabilizátor TSRN-1, z toho je pak klasickým stabilizátorem 7805 vytvořeno napájení 5V.

#### **3.4.1 Stabilizátor 7805**

Integrovaný obvod 7805 je stabilizátorem pevného napětí o nominální hodnotě 5V. Obvod 78XX (79XX) existuje ve více výstupních napěťových řadách. Značení 78 udává, že jde o kladné napětí a na pozicích XX je pak jmenovitá velikost tohoto napětí. Pro stabilizaci záporné větve se používá značení 79XX. Klasicky se obvod vyrábí pro jmenovitý proud 1A, ale existují i jiné řady, kde se proud liší. Díky tepelným ztrátám musíme přivést na vstup napětí min. o 1,5V vyšší než požadujeme na výstupu. K samotné funkci postačí 2 blokovací kondenzátory. Jejich velikosti jsou uvedeny v katalogovém listě a pro náš typ mají hodnotu 100nF. Dále se doporučuje zapojit diodu mezi výstup a vstup jako ochranu proti náhlému snížení napájecího napětí. Celé schéma zapojení můžete vidět na obrázku 3.4.

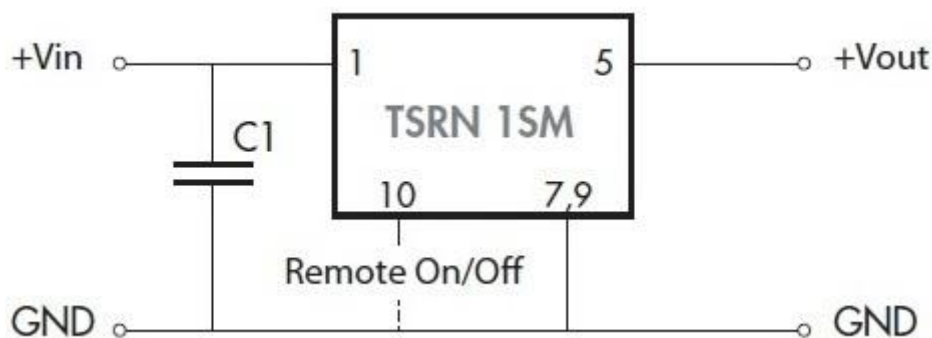


Obr. 3.4 Schéma zapojení 7805

### 3.4.2 Spínaný stabilizátor TSRN-1:

Tento spínaný regulátor byl použit ke stabilizaci napětí na úrovni 12V. Z důvodu menších tepelných ztrát byl upřednostněn oproti známějšímu obvodu 7812. Stabilizátor vychází z typu TSR-1 a mezi jeho hlavní klady patří právě schopnost nahradit neefektivní LM78XX. Oproti těmto stabilizátorům má i několik nezanedbatelných výhod. Mezi nejzásadnější klady se řadí vysoká účinnost (až 96%). Dále je stabilizátor trvale chráněn proti zkratu, má nízkou spotřebu ve stand-by režimu (2mA) a díky principu spínaného zdroje je schopen vyrobit záporné napětí bez nutnosti dalšího vinutí na transformátoru. Na rozdíl od LM78XX má TSR-1 filtrační kondenzátory integrované přímo v sobě, není tedy potřeba používat externí. Výstupního napětí stabilizuje v rozmezí  $\pm 2\%$ .

Stabilizátor TSRN-1 je poměrně nová součástka a má oproti svému předchůdci vyšší tepelnou odolnost, která se v plné zátěži pohybuje okolo  $70^{\circ}\text{C}$  a při snížené zátěži dokonce do  $85^{\circ}\text{C}$ . Obvod navíc obsahuje tepelnou pojistku, a tudíž poskytuje vyšší ochranu zařízení při neočekávaném zkratu. Rozsah výstupní napětí se také zvedl, nyní může dosahovat až 42V.



Obr. 3.5 Stabilizátor TSRN-1SM [9]



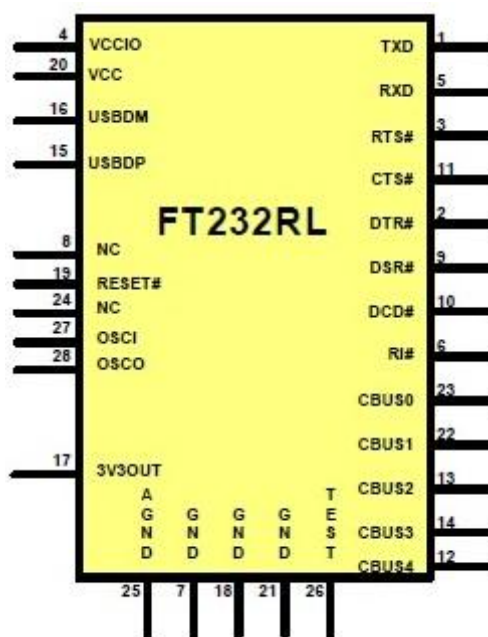
Společnost Traco Power vyrábí součástku jak v klasickém, tak SMD provedení. Pro naše účely bylo použito SMD součástky s označením TSRN-1SM, která má mimo klasických vývodů ještě jeden pin (remote on/off), kterým je možné snížit spotřebu viz obr. 3.5.

### **3.5 Komunikace modulu s PC**

Abychom mohli do mikrokontroléru nahrát program a zobrazovat naměřená data, potřebujeme externí PC. Ke komunikaci s vnějšími zařízeními má mikrokontrolér speciální piny RxD a TxD. Jeden z nich slouží pro příjem dat a druhý pro jejich odesílání. Jelikož procesor komunikuje pouze po sériové lince, je použit převodník USB/RS232, který je podrobně popsán níže. Ke čtení naměřených hodnot slouží program Terminal v1.9.

#### **3.5.1 Převodník USB/RS232**

Jelikož klasický port COM je dosti neperspektivní a v nových PC a notebookách ho již prakticky nenajdeme, je použito převodníku USB/RS232, konkrétně pak převodníku FT232R. Díky příznivému poměru výkon/cena patří tento, ale i ostatní převodníky firmy FTDI (Future technology device integrations) k tomu nejlepšímu a nejpoužívanějšímu typu na trhu. Díky své jednoduchosti a kompatibilitě (podporuje jej drtivá většina operačních systémů) se stal základem velkého počtu zařízení jako např. USB telefony, USB rozhraní pro MP3 přehrávače, digitální kamery, atd.



Obr. 3.6. Schéma vývodů FT232R



## 4. Závěr

Hlavním cílem práce bylo seznámit se se základními principy elektronického měření tlaku, teploty a průtoku kapaliny. Pro tyto fyzikální veličiny bylo nutno vybrat vhodná měřicí čidla. Po konzultaci s vedoucím práce byl pro měření tlaku použit piezorezistivní senzor PX181B, průtok je měřen průtokoměrem Digimesa FHKC G1/4 a teplota je snímána NTC termistorem. Výsledná data zpracovává mikrokontrolér ADuC843 hlavně z důvodu přesného 12 bitového A/D převodníku. Veškerá schémata a desky plošných spojů byly kresleny v programu EAGLE[13]. Tento program je v nerozšířené verzi dostupný freeware a poskytuje uživateli dostatečný komfort. Návrh měřicí části je díky vhodně zvolenému obvodovému řešení poměrně jednoduchý a dostatečně přesný. Při tvorbě řídicí a komunikační části zařízení byla významná část informací získána z jejich katalogových listů [1], [9].

V další fázi bylo nutno zařízení sestavit a oživit. Z konstrukčních důvodů bylo zařízení rozděleno do dvou obvodových desek. Horní deska je koncipována jako řídicí. Obsahuje řídicí mikrokontrolér, obvody pro úpravu napájení a převodník USB. Dále jsou zde umístěny obvody pro úpravu signálů z průtokoměrů a tlakoměrů. Tato deska byla úspěšně oživena a je plně funkční. Schéma řídicí desky je uvedeno v přílohách 1 a 2. Návrh desky plošného spoje je uveden v příloze 3. Na dolní (senzorové) desce jsou umístěny pouze obvody pro připojení termistorů. Schéma zapojení je uvedené v přílohách 4, 5 a 6.

## 5. Literatura

- [1] *ADuC843* [online]. 2003 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADUC841\\_842\\_843.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUC841_842_843.pdf)
- [2] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoku a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 447 s. ISBN 80-730-0156-X.
- [3] Průtokoměr *Digmesa FHKC G1/4* [online]. 2009 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.digmesa.com/en/classicline-products/flow-sensor-fhk/>
- [4] *PX181B specifikace* [online]. 2010 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.omega.com/pptst/PX181B.html>
- [5] *X181B katalogový list* [online]. 2004 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M4182.pdf>
- [6] ĎAĎO, Stanislav. *Senzory a měřicí obvody*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999, 315 s. ISBN 80-01-02057-6.
- [7] *TL431 katalogový list* [online]. 2003 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/texasinstruments/tl431.pdf>
- [8] *TSRN-1 katalogový list* [online]. 2011 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
<http://www.tracopower.com/products/tsrn1sm.pdf>
- [9] *FT232R katalogový list* [online]. 2010 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
[http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS\\_FT232R.pdf](http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf)
- [10] *Stabilizátor 7805* [online]. 2001 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:  
[http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/390068\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/228/390068_DS.pdf)

[11] PINKER, Jiří. *Mikrokontroléry a mikropočítače*. 1. vyd., 1. dot. Praha: BEN – technická literatura, 2008, 159 s. ISBN 978-80-7300-110-0.

[12] ČVUT. *Průtok* [online]. 2009 [cit. 2012-05-30]. Dostupné z:

<http://fieldbus.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/predmety/x38szp/06-prutok.pdf>

[13] Eagle Software. *Plošné spoje snadno a rychle* [online] 2003 – [cit. 2012-05-30].

Dostupné z: <http://www.eagle.cz>

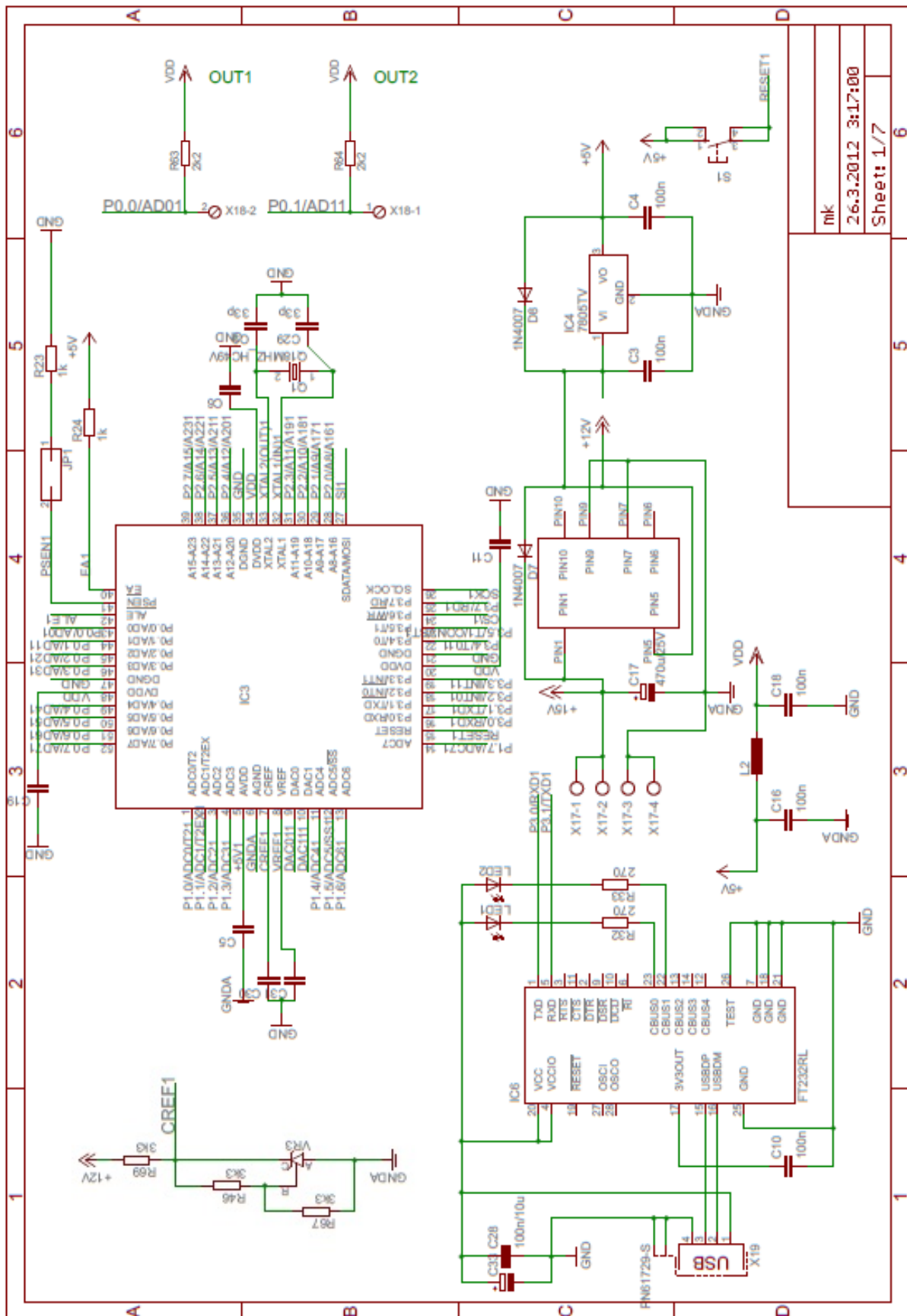
[14] Měření průtoku & výšky hladiny. <http://www.omegaeng.cz> [online]. 2009

[cit. 2012-05-31]. Dostupné z: [http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo\\_4.pdf](http://www.omegaeng.cz/literature/PDF/techinfo_4.pdf)

## 6. Seznam příloh:

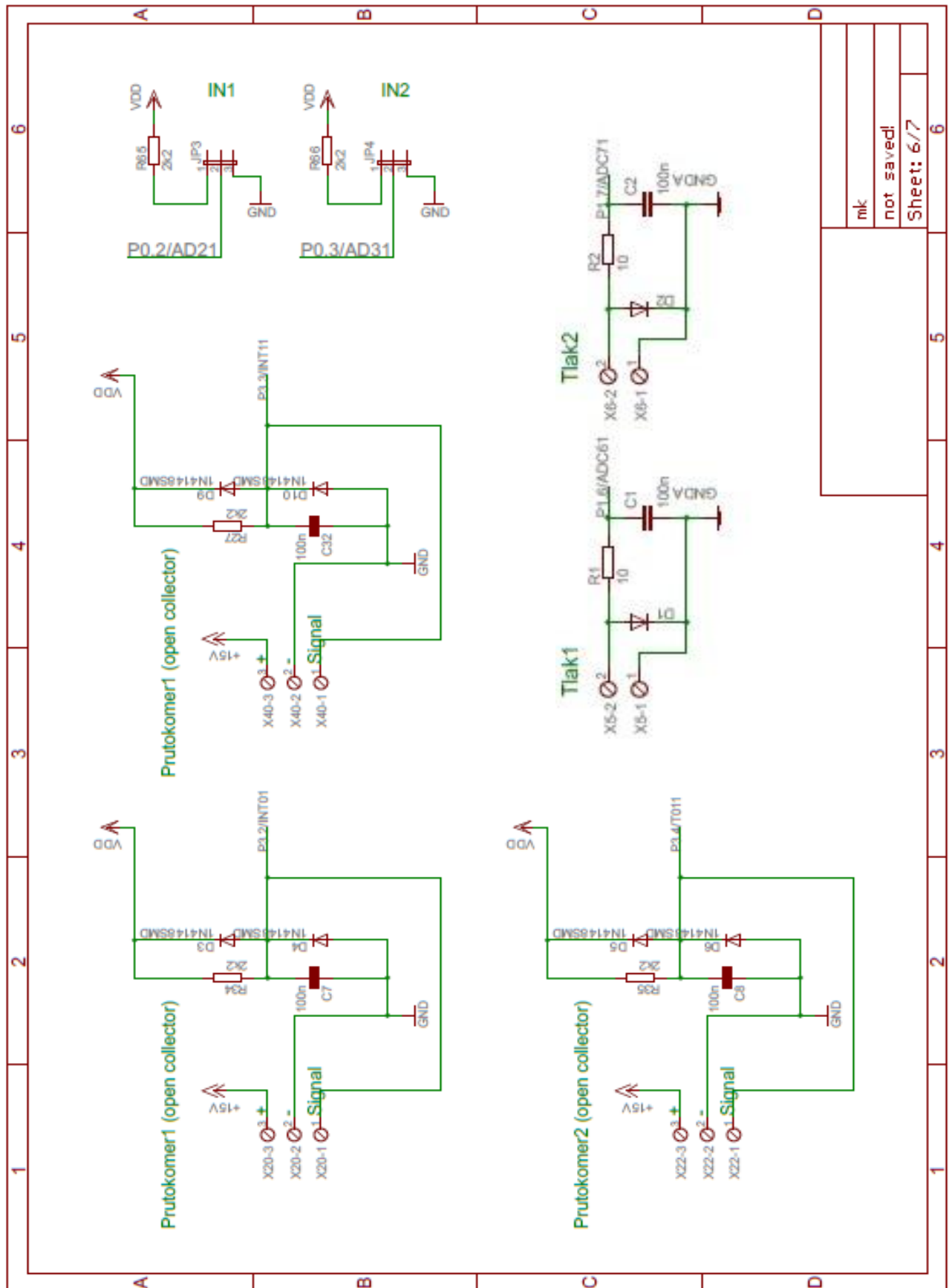
- [1] Schéma zapojení řídicí desky – 1. část
- [2] Schéma zapojení řídicí desky – 2. část
- [3] Deska plošného spoje
- [4] Schéma zapojení sensorové desky – 1. část
- [5] Schéma zapojení sensorové desky – 2. část
- [6] Schéma zapojení sensorové desky – 3. část

**Příloha 1:**



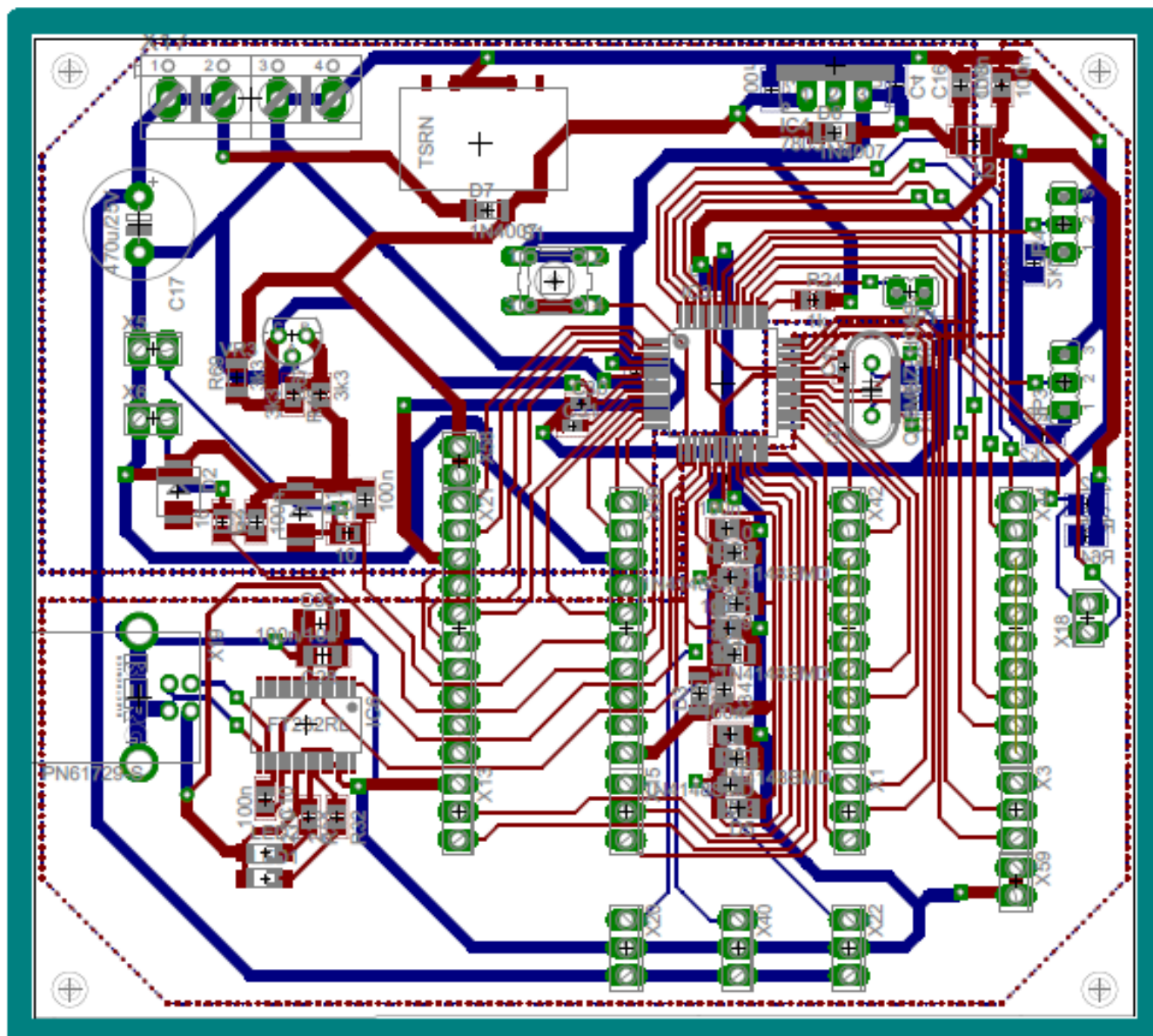
mik  
26.3.2012 3:17:00  
Sheet: 1/7

**Příloha 2:**

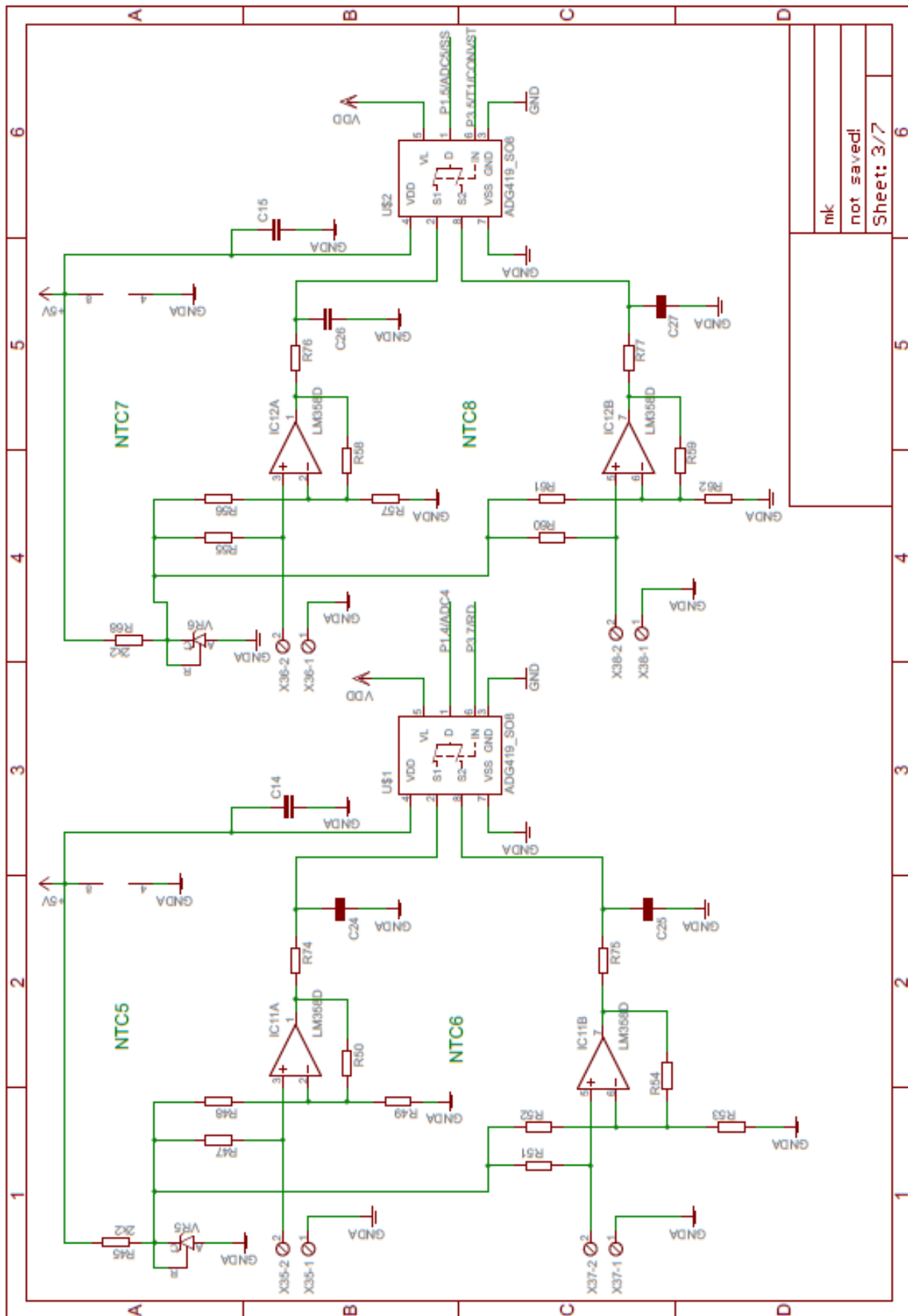




**Příloha 3:**

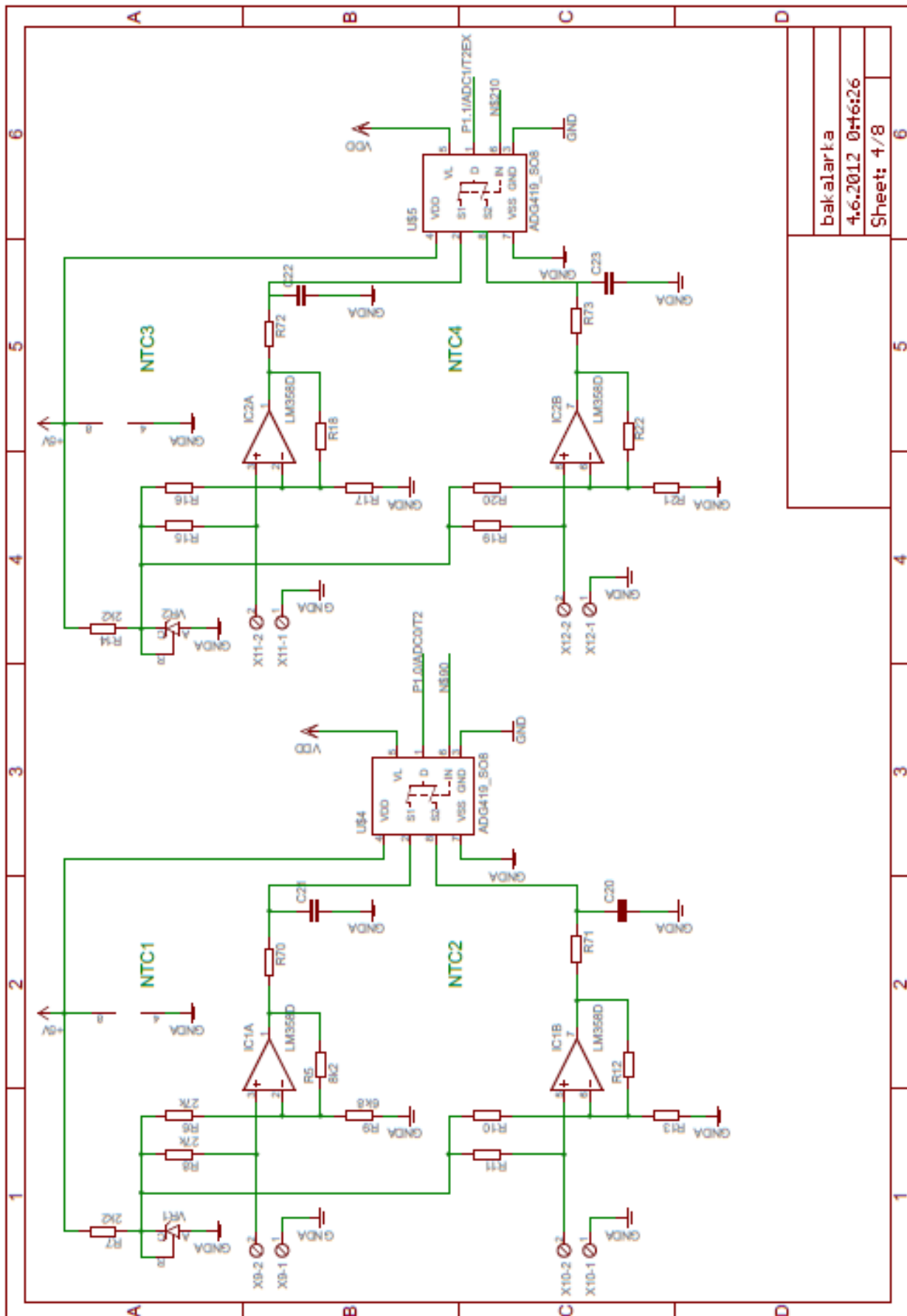


**Příloha 4:**



mk
not saved!
Sheet: 3/7

**Příloha 5:**



bakalarka	
4.6.2012 0H6:26	
Sheet: 4/8	

**Příloha 6:**

