

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,  
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



## ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Model vodní elektrárny – elektronika

Sezimovo Ústí, 2014

Autor: Jiří Boštička





## ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří Boštička**  
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy  
Název práce: **Model vodní elektrárny – elektronika**  
Anglický název práce: **Model of hydro power plant – electronics**

### Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte elektroniku laboratorního modelu umožňující ruční řízení a komunikaci modelu s počítačem pomocí karty MF624 od firmy Humusoft a prostředím Matlab/Simulink.
2. Vyroberte navrženou elektroniku a připojte model k počítači.
3. Spolupracujte s Tomášem Pechánkem na výrobě konstrukce modelu.
4. Vytvořte popis laboratorního modelu, který bude sloužit studentům při výuce.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.


### Doporučená literatura:

- [1] ŠIKÝŘ, T. Systém vodního hospodářství – laboratorní model, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí, 2011.
- [2] JANEČEK, M. Model systému s dopravním zpožděním, (Bakalářská práce), ČVUT v Praze, FEL, Praha, 2007.

Vedoucí práce: Ing. Jiří Roubal, Ph.D., VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí  
Odborný konzultant práce: Bc. Miroslav Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí  
Oponent práce: Ing. Jan Fuka, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí

Datum zadání absolventské práce: **2.9.2013**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2014**

  
.....  
Ing. Jiří Roubal, Ph.D.  
(vedoucí práce)



  
.....  
Ing. František Kamlach  
(ředitel školy)



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne 15.5.2014



\_\_\_\_\_  
podpis

## Poděkování

Děkuji především vedoucímu absolventské práce Ing. Jiřímu Roubalovi, Ph.D. za jeho důsledné vedení, cenné rady a čas, který věnoval mé práci. Poděkování patří též konzultantovi Bc. Miroslavu Hospodářskému za cenné rady při tvorbě elektrických schémat a programu. Také děkuji Ing. Jiřímu Bumbovi za cenné rady při tvorbě schémat. Nemalé poděkování patří doc. Ing. Petru Huškovi, Ph.D. z FEL, ČVUT v Praze za konzultace související s matematickofyzikálním popisem modelu. Dále bych chtěl poděkovat Pavlu Zachovi za pomoc při měření statických převodních charakteristik tachodynamu, Danielu Kržovi a Jiřímu Vrkočovi za pomoc při výrobě mechanické konstrukce modelu a Martinovi Kráslovi za pomoc s komunikací mikropočítače a LCD displeje.

Nemalé poděkování patří vedení školy za poskytnutí finančních prostředků na stavbu laboratorního modelu. Děkuji rodičům a svým blízkým za podporu při studiu.

## Anotace

Tato absolventská práce se zabývá návrhem elektroniky pro Model vodní elektrárny, která bude sloužit jako učební pomůcka v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky. Jsou zde popsány jednotlivé elektromechanické a elektronické komponenty a jejich chování v řídicím obvodu. Všechna schémata a desky plošných spojů byly před vlastní výrobou navrženy v návrhovém systému EAGLE. V práci jsou také uvedeny výukové úlohy pro studenty související s tímto modelem.

**Klíčová slova:** počítačová karta MF 624, dvoustavový ventil, proporcionální ventil, jednočipový mikročítač Atmel, tachodynamo, Peltonova turbína, PWM signál, program, DPS, MATLAB/Simulink.

## Annotation

This graduate thesis deals with the creating of electronics for the model of hydroelectric power station which will serve as teaching aid in the Laboratory of applied informatics and physics. Various electromechanical and electronic components are described there and their behavior in the control circuit. All wiring diagrams and printed circuit boards were designed in the design system EAGLE prior to the production. In this graduate work are given teaching tasks for students, which relate with that model.

**Keywords:** PC card MF 624, two valve, proportional valve, single-chip Atmel microcontroller, tachodynamo, Pelton turbine, PWM signal, program, DPS, MATLAB/Simulink.





# Obsah

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Návrh konstrukce reálného modelu</b>	<b>3</b>
2.1 Elektromechanické komponenty . . . . .	4
2.1.1 Snímač výšky hladiny . . . . .	4
2.1.2 Tachodynamo s turbínou . . . . .	4
2.1.3 Akční členy . . . . .	6
2.1.3.1 Solenoidové ventily . . . . .	6
2.1.3.2 Čerpadlo . . . . .	7
2.2 Elektronické komponenty . . . . .	8
2.2.1 Zobrazovací jednotka . . . . .	8
2.2.2 Řídicí jednotka . . . . .	8
2.2.3 Měřicí PC karta . . . . .	9
2.2.4 Napájecí zdroj . . . . .	9
<b>3 Elektronika pro řízení a ovládání</b>	<b>11</b>
3.1 Napájení obvodů . . . . .	12
3.1.1 Stabilizovaný zdroj +5 V . . . . .	12
3.2 Řídicí deska s mikropočítačem Atmel . . . . .	13
3.3 Zapojení konektorů . . . . .	16
3.4 Oživení elektroniky . . . . .	18
<b>4 Program pro jednočipový mikropočítač</b>	<b>19</b>
4.1 Řídicí algoritmus . . . . .	19

4.2 Program pro mikropočítač Atmel . . . . .	21
<b>5 Neřešené laboratorní úlohy</b>	<b>23</b>
5.1 Zadání laboratorních úloh . . . . .	23
<b>6 Závěr</b>	<b>27</b>
<b>Literatura</b>	<b>30</b>
A Obsah přiloženého CD/DVD	I
B Použitý software	III
C Časový plán absolventské práce	V
D Tvorba modelu v čase	VII
E Rozpočet projektu	IX

# Seznam obrázků

2.1	3D model systému vodní elektrárny (spodní nádrž) . . . . .	3
2.2	Snímač LMP 331 . . . . .	4
2.3	Tachodynamo a Peltonova turbína . . . . .	5
2.4	Statické převodní charakteristika tachodynamu . . . . .	5
2.5	Solenoidové ventily . . . . .	6
2.6	Čerpadlo CM30P7-1 . . . . .	7
2.7	Statické převodní charakteristiky čerpadla . . . . .	7
2.8	Displej DEM 20485 SYH-LY . . . . .	8
2.9	Atmel AT90S8535 . . . . .	9
2.10	Spínaný zdroj Mean Well RS-100-24 . . . . .	10
3.1	Blokové schéma elektroniky . . . . .	11
3.2	Osazovací výkres rozváděcí desky +24 V . . . . .	12
3.3	Schéma zapojení zdroje +5 V . . . . .	12
3.4	Napájecí zdroj +5 V . . . . .	13
3.5	Schéma zapojení řídicí desky . . . . .	14
3.6	Osazovací výkres řídicí desky . . . . .	15
3.7	Řídicí deska s mikropočítačem . . . . .	16
3.8	Zapojení ovládacích prvků . . . . .	17
3.9	Zapojení akčních členů . . . . .	17
4.1	ISP programátor . . . . .	19
4.2	Vývojový diagram pro mikropočítač Atmel . . . . .	20
5.1	Model vodní elektrárny – schématický náčrt . . . . .	24
6.1	Model vodní elektrárny – stav k 12.5.2014 . . . . .	28



# Seznam tabulek

2.1	Proudový odběr elektrických komponent . . . . .	10
3.1	Kódovací funkce spínače S1 . . . . .	15
3.2	Datové piny MF 624 . . . . .	16
5.1	Data pro statickou převodní charakteristiku senzoru . . . . .	23
5.2	Data pro statickou převodní charakteristiku akčního členu . . . . .	25
E.1	Finanční rozpočet projektu . . . . .	IX
E.2	Hodinový rozpočet projektu . . . . .	X



# Kapitola 1

## Úvod



V dnešní době se ve sdělovacích prostředcích často skloňuje pojem blackout. Nedostatek elektřiny nebo velké přetížení elektrických rozvodných sítí je celosvětovým problémem. Ke stabilizaci rozvodné sítě při velkých změnách odběru elektrické energie je možno využívat vodní elektrárny, které lze velmi rychle roz-

jet na plný výkon. Největší přečerpávací elektrárnou v České republice jsou Dlouhé Stráně (<http://www.dlouhe-strane.cz/>). Tato elektrárna vyrábí nebo spotřebovává elektrickou energii dle aktuálního zatížení sítě.

Na Vyšší odborné škole, Střední škole, Centru odborné přípravy (COP) v Sezimově Ústí (<http://www.copsu.cz/>) se nachází *Laboratoř aplikované informatiky a fyziky*, která je vybavena laboratorními modely z různých fyzikálních oblastí (ROUBAL, J., 2012). Na těchto modelech lze pomocí počítače pozorovat základní fyzikální principy (střední škola), nebo je lze využít k modelování a následnému automatickému řízení (vyšší odborná škola). V minulosti byl v rámci absolventské práce (ŠIKÝŘ, T., 2011) postaven Model vodního hospodářství. Další model vyrobil Ing. Jiří Bumba (pedagog školy) a dva modely (míček na nakloněné rovině, inverzní kyvadlo) byly zakoupeny. Tyto modely jsou aktivně využívány v předmětu Modelování a řízení systému ve druhém ročníku VOŠ.

Cílem práce s názvem *Model vodní elektrárny* je vytvořit laboratorní model, který obohatí Laboratoř aplikované informatiky a fyziky o učební pomůcku v oblasti systémů s dopravním zpožděním. Práce je rozdělena na dvě části. Cílem první části, která je součástí absolventské práce (PECHÁNEK, T., 2014), je vyrobit mechanickou konstrukci této učební pomůcky. Cílem druhé části, která je zároveň **cílem** této práce, je navrhnout elektroniku pro laboratorní Model vodní elektrárny, jejímž úkolem je zajistit komunikaci

mezi modelem a počítačem s měřicí kartou MF 624 a prostředím MATLAB/Simulink (HUMUSOFT, 2014). Tato elektronika bude také umožňovat ruční řízení modelu.

Struktura této práce, která je napsána v  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ <sup>1</sup> (SCHENK, C., 2009), je následující. Kapitola 2 popisuje elektromechanické a elektronické komponenty pro stavbu komunikační elektroniky. Kapitola 3 se zabývá návrhem elektrických schémat a plošných spojů (DPS) a kapitola 4 popisuje návrh řídicího programu pro mikropočítač. V kapitole 5 jsou vytvořeny úlohy pro studenty pro práci na tomto laboratorním modelu. V příloze práce je uveden obsah přiloženého DVD, použitý software, časový plán AP, tvorba laboratorního modelu v čase a jeho rozpočet.

---

<sup>1</sup> $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$  je rozšíření systému  $\text{\LaTeX}$ , což je kolekce maker pro  $\text{\TeX}$ .  $\text{\TeX}$  je ochranná známka American Mathematical Society.

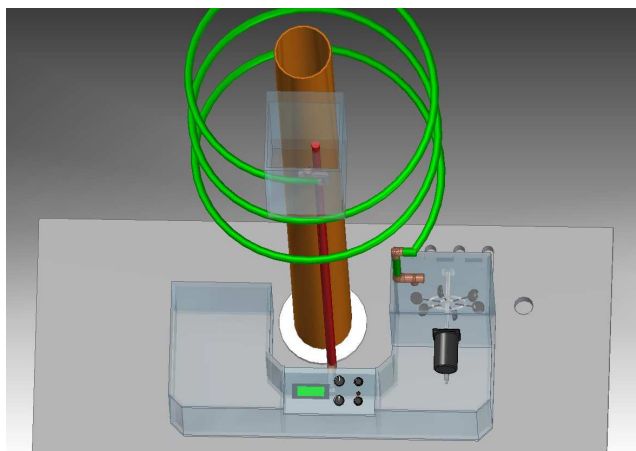


## Kapitola 2

# Návrh konstrukce reálného modelu

Laboratorní Model vodní elektrárny tvoří dvě nádrže (spodní a horní), v nichž je voda. Kapalina je čerpána ze spodní nádrže do horní pomocí cirkulačního čerpadla. Z horní nádrže je pomocí dvou elektricky řízených ventilů přepouštěna do spodní nádrže. Předtím, než tato voda steče do spodní nádrže, dopadá na lopatky Peltonovy turbíny, která přes vyrovnávací spojku roztáčí tachodynamo. Velikost elektrické energie vyrobené tachodynamem se řídí průtokem vody dopadající na lopatky turbíny.

Konstrukce systému vodní elektrárny vycházející z bakalářské práce (JANEČEK, M., 2007) byla kompletně upravena pro Laboratoř aplikované informatiky a fyziky. Konstrukcí modelu (nádrží, propojovacího potrubí a umístěním v laboratoři), včetně výkresové dokumentace se zabývá absolventská práce (PECHÁNEK, T., 2014), ze které je převzat následující 3D model z prostředí Solid Edge.



Obrázek 2.1: 3D model systému vodní elektrárny (spodní nádrž) – převzato z (PECHÁNEK, T., 2014)

V této kapitole se čtenář dozví, jaké elektromechanické (snímač výšky hladiny, tachodynamo, odstředivé čerpadlo a solenoidové ventily) a elektronické (zobrazovací jednotka, mikropočítač, měřicí PC karta) komponenty byly vybrány pro stavbu laboratorního modelu. Každá součást je popsána stručnými informacemi, ze kterých se vychází při návrhu elektronických obvodů zajišťujících komunikaci mezi počítačem a laboratorním modelem. Uživatelské dokumentace pro jednotlivé komponenty jsou na přiloženém DVD.

## 2.1 Elektromechanické komponenty

### 2.1.1 Snímač výšky hladiny

Horní nádrž laboratorního modelu obsahuje jeden tlakový snímač pro měření výšky hladiny. Typ snímače byl zvolen LMP 331 od firmy Smaris. Princip činnosti tohoto snímače spočívá v tom, že hydrostatický tlak působí na nerezovou oddělovací membránu polovodičového tenzometru. Analogová jednotka elektroniky zabezpečuje napájení tenzometru a převod jeho výstupního signálu na standardní unifikovaný elektrický signál v rozsahu  $\langle 0, 10 \rangle$  V. Snímač je připojen třívodičovým konektorem a do dna horní nádrže je připevněn pomocí závitu G3/4. Vyroben je z nerezového materiálu, který neovlivňuje kvalitu vody.



Obrázek 2.2: Snímač LMP 331

### 2.1.2 Tachodynamo s turbínou

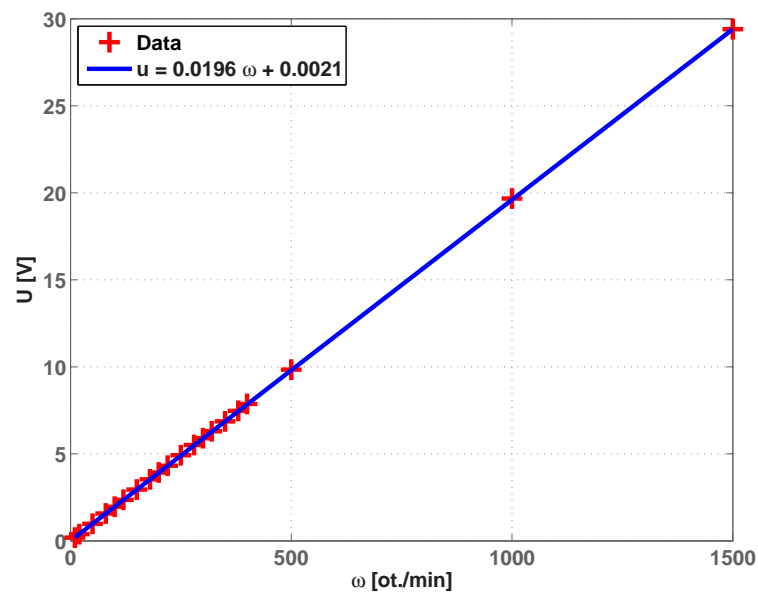
Komponentou pro výrobu elektrické energie v laboratorním modelu vodní elektrárny je tachodynamo s Peltonovou turbínou. Tachodynamo má stator s permanentním magnetem. V jeho magnetickém poli se otáčí rotor s komutátorem, na který je připojeno vinutí rotoru. Na komutátor jsou také připojeny výstupní svorky, na které je možno připojit výstupní zátěž. V laboratorním modelu bylo použito tachodynamo RN-14/CA (viz následující obrázek), které podle výrobního štítku poskytuje 0,02 V na jednu otáčku. Maximální možný počet otáček za minutu je 10 000 a stupeň ochrany je IP44. Hřídel ta-

chodynamu roztáčí Peltonova turbína na níž dopadá požadované množství vody přiváděné z horní nádrže.



Obrázek 2.3: Tachodynamo a Peltonova turbína

Na následujícím obrázku je znázorněna statická převodní charakteristika tachodynamu mezi otáčkami a výstupním napětím. Tento experiment byl měřen pomocí CNC soustruhu Masturn 50, který sloužil jako nastavitelný zdroj konstantních otáček. Výstupní napětí bylo měřeno naprázdno standartním voltmetrem. Tato charakteristika dokazuje, že se tachodynamo chová lineárně.



Obrázek 2.4: Statické převodní charakteristika tachodynamu

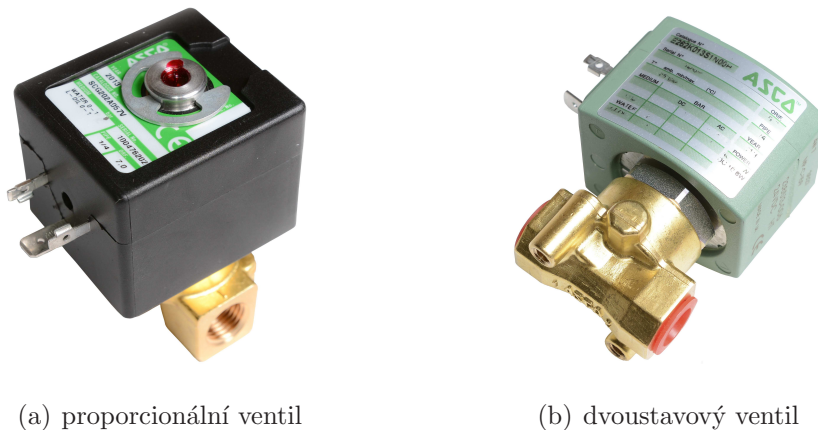
Při dalším experimentu s tachodynamem byla pouštěna voda na lopatky vodní turbíny z výšky cca 1,5 m. Na výstupu tachodynamu bylo naměřeno napětí 3,7 V. Z grafu na obr. 2.4 lze vyčíst, že se otáčky pohybují okolo 180 ot./min. Odtud je vidět, v jakém rozsahu se bude přibližně pohybovat napětí tachodynamu na vyrobeném laboratorním systému.

### 2.1.3 Akční členy

Akční členy přenášejí vstupní signály do systému. Systém vodní elektrárny obsahuje tři akční členy: čerpadlo, dvoustavový (diskrétní) a proporcionální ventil.

#### 2.1.3.1 Solenoidové ventily

Laboratorní model využívá dva elektricky ovládané ventily od firmy Asco Joucomatic. První ventil s označením SCG202A057V má proporcionální regulaci průtoku a je v klidovém stavu uzavřen. Je připojen závitem G1/4, průtokový průměr je 7,1 mm, dále má mosazné tělo a je ovládán stejnosměrným napětím 24 V. K otevírání ventilu se používá výrobcem vyvinutá řídicí jednotka. Z důvodu poměrně vysoké ceny nebyla použita a ventil je řízen pomocí PWM regulace z řídicí desky systému, jejíž návrh bude popsán v následující kapitole.



(a) proporcionální ventil

(b) dvoustavový ventil

Obrázek 2.5: Solenoidové ventily

Druhý ventil s označením E262K013S1N00H1 je dvoustavový (digitální). Je buď plně otevřen nebo zcela uzavřen, v klidovém stavu je uzavřen. Závit pro přívod a odvod kapa-

liny je G1/4, průtokový průměr je 5,6 mm. Cívka je spínána unifikovaným stejnosměrným napětím 24 V DC o výkonu 10,6 W.

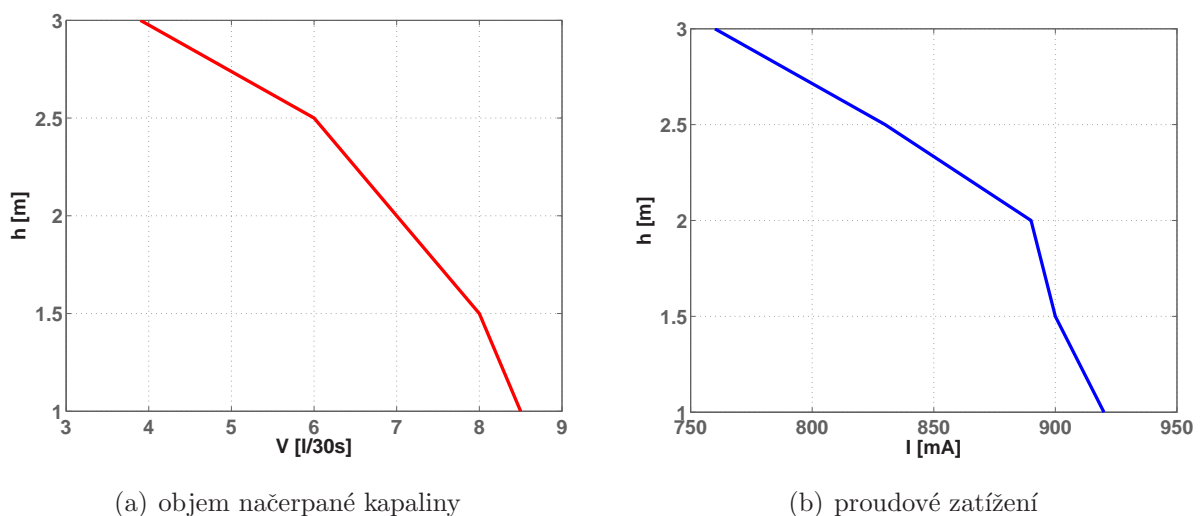
### 2.1.3.2 Čerpadlo

K přepravě vody ze spodní do horní nádrže bylo zvoleno cirkulační oběhové čerpadlo s označením CM30P7-1 od výrobce Johnson Pump. Čerpadlo se skládá ze stejnosměrného 24 V motoru o výkonu 26 W, jehož hřídel je spojena s oběžným kolem pomocí magnetické spojky. Kovové části čerpadla jsou z nerezové oceli, tím pádem nehrozí koroze a následné znečištění vody v systému.



Obrázek 2.6: Čerpadlo CM30P7-1

Ačkoliv je k čerpadlu dodána dokumentace, byly změřeny jeho statické převodní charakteristiky z důvodu ověření, zda čerpadlo splňuje požadavky na funkci laboratorního modelu. Tyto charakteristiky jsou na následujícím obrázku.



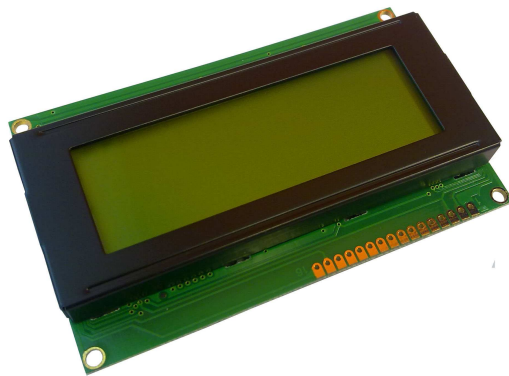
Obrázek 2.7: Statické převodní charakteristiky čerpadla

Z ověřovacího experimentu na obr. 2.7(a) je vidět, jak se při změně výšky horní nádrže mění objem vyčerpané vody za jednotku času. Obrázek 2.7(b) popisuje proudový odběr oběhového čerpadla v ustáleném stavu v závislosti na výšce horní nádrže, do které byla voda čerpána.

## 2.2 Elektronické komponenty

### 2.2.1 Zobrazovací jednotka

Pro zobrazení výšky hladiny v horní nádrži, napětí na tachodynamu, otevření proporcionálního ventilu a napětí na odstředivém čerpadle byla vybrána zobrazovací jednotka s označením DEM 20485 SYH-LY. Jedná se o inteligentní jednotku s vestavěným řadičem pro zobrazení alfanumerických znaků. Displej je napájen stejnosměrným napětím o velikosti +5 V.

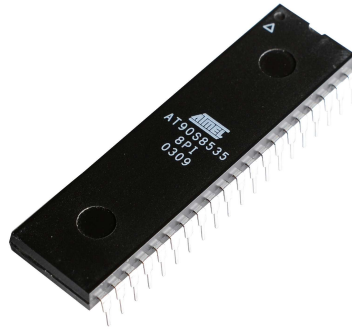


Obrázek 2.8: Displej DEM 20485 SYH-LY

### 2.2.2 Řídicí jednotka

Jako řídicí jednotka je použit jednočipový mikropočítač Atmel AVR, což je programovatelná polovodičová součástka vyráběná firmou Atmel Corporation. Je založen na hardvardské architektuře, tzn. paměť dat je oddělena od paměti programu. Vyznačuje se především svou integrací v jednom pouzdře. Díky své univerzálnosti, velikosti, ceně a spotřebě je Atmel používán ve velkém množství aplikací. Dělí se na mnoho typů, které

se liší taktem, velikostí pamětí, podporovanými technologiemi, počtem pinů atd. V této práci je použit čtyřicetipinový mikropočítač AT8535-8PI, který má osm desetibitových A/D převodníků, dva osmibitové časovače a jeden šestáctibitový časovač.



Obrázek 2.9: Atmel AT90S8535

### 2.2.3 Měřicí PC karta

Systém vodní elektrárny (respektive řídicí deska) komunikuje s počítačem prostřednictvím měřicí karty MF 624 od firmy Humusoft, která je vhodná pro komunikaci PC s reálnou technologií (ROUBAL, J. et al., 2009). Tato karta má osm 14-bitových analogových vstupů, osm 14-bitových analogových výstupů, 8 digitálních vstupů, 8 digitálních výstupů, 4 vstupy pro inkrementální snímače, 4 čítače/časovače. Data z této karty je možno zobrazit v prostředí Matlab/Simulink s Real Time toolboxem firmy Humusoft.

### 2.2.4 Napájecí zdroj

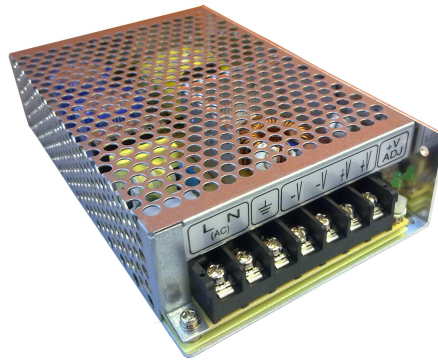
Pro návrh napájecího zdroje, je důležité znát příkony elektrických komponent, které jsou instalovány do laboratorního modelu. Tlakový snímač LMP 331 se musí napájet v rozsahu  $\langle 12, 36 \rangle$  V. Výstup ze snímače poskytuje unifikovaný signál  $\langle 0, 10 \rangle$  V. Voda v horní nádrži bude dosahovat maximální výšky 50 cm. Z toho vyplývá, že výstupní napětí snímače by mělo dosahovat nejvýše +5 V. Přetečení vody v horní nádrži je ošetřeno přepadem do spodní nádrže. Proporcionální ventil s oběhovým čerpadlem jsou řízeny PWM signálem o stejnostměrné napěťové úrovni 24 V. Diskrétní ventil pro otevřený stav požaduje 24 V. Jednočipový mikropočítač AT90S8535 může být napájen v rozsahu  $\langle 4, 6 \rangle$  V. Pro zobrazovací jednotku je požadováno napájení +5 V. Následující tabulka znázorňuje přibližnou

proudovou náročnost těchto komponent.

Tabulka 2.1: Proudový odběr elektrických komponent

Komponenta	Maximální odběr $i$ [mA]
snímač LMP331	93
čerpadlo	920
proporcionální ventil	500
diskrétní ventil	300
mikropočítač AT90S8535	6,4
displej	350
řídící deska	100

Z tabulky plyne přibližné požadované proudové zatížení napájecího zdroje 2,3 A. Na základě této analýzy byl zvolen napájecí spínaný zdroj RS-100-24 od firmy Mean Well, který vyhovuje výše uvedeným napěťovým i proudovým požadavkům. Tento zdroj je připojen na síťové napětí 230 V a poskytuje regulovatelné výstupní napětí o velikosti  $22,8 \div 26,4$  V a maximální proudovou zatížitelnost až 4,5 A.



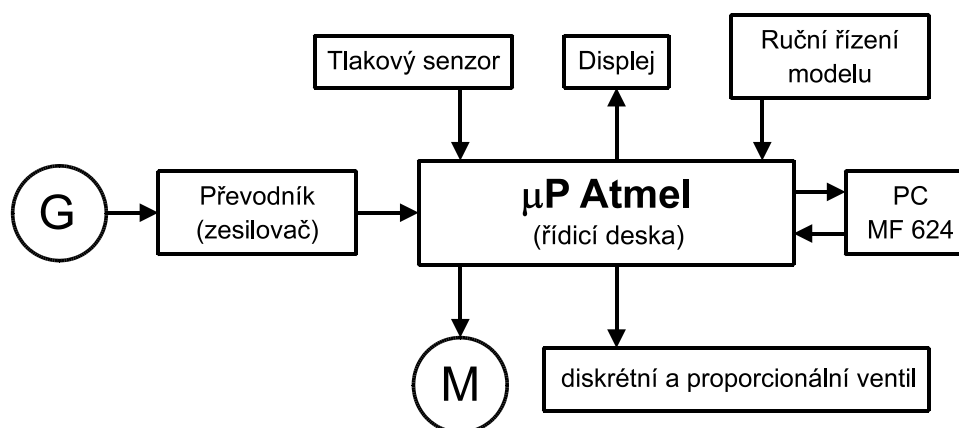
Obrázek 2.10: Spínaný zdroj Mean Well RS-100-24



## Kapitola 3

# Elektronika pro řízení a ovládání laboratorního modelu

V této kapitole bude popsán návrh a výroba elektroniky pro řízení a ovládání laboratorního modelu. Použit bude návrhový systém EAGLE (PLÍVA, Z., 2007). Tato elektronika je navržena tak, aby byla v budoucnu možnost model rozšířit nebo upravit dle moderního trendu. Hlavní řídicí jednotkou je jednočipový mikropočítač od firmy Atmel, viz následující obrázek.

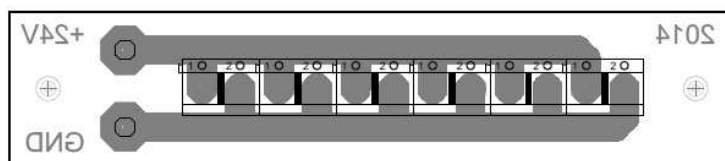


Obrázek 3.1: Blokové schéma elektroniky

Z obr. 3.1 je vidět, že se o veškerou komunikaci mezi elektronickými prvky stará řídicí deska. Systém dále obsahuje vlastní napájecí zdroj, ze kterého jsou napájeny všechny akční členy. Pro řídicí desku systému a komunikaci s počítačovou kartou MF 624 je tato napěťová úroveň upravena na stabilizovaný signál +5 V. Toto napětí slouží především k napájení řídicí desky a zobrazovací jednotky.

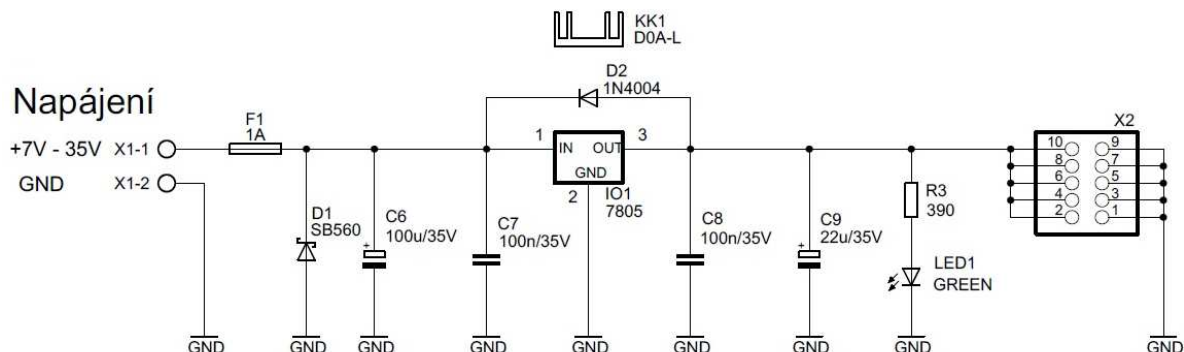
### 3.1 Napájení obvodů

Laboratorní model a jeho silové prvky jsou napájeny již zmiňovaným spínaným zdrojem z obr. 2.10. Jelikož spínaný zdroj má pouze dva paralelní výstupy, byla k němu vyrobena rozváděcí deska plošného spoje, ke které lze připojit silové obvody. Z této desky je současně napájen zdroj +5 V.



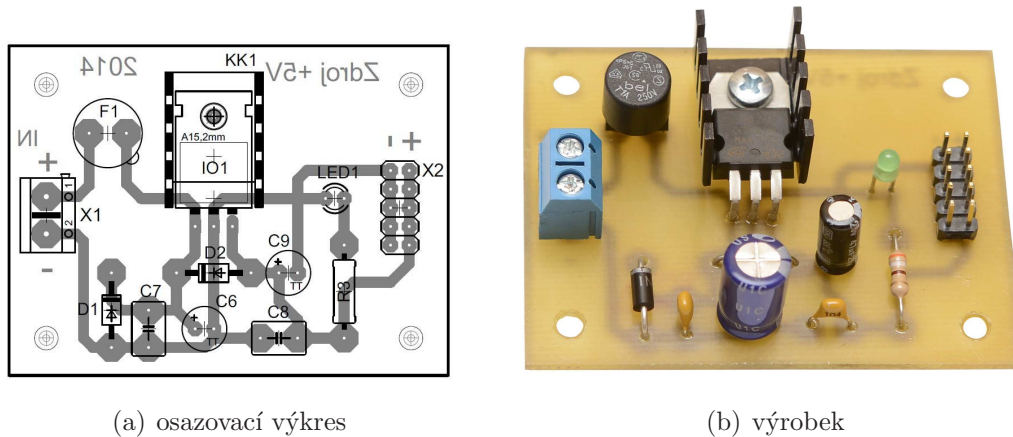
Obrázek 3.2: Osazovací výkres rozváděcí desky +24 V

#### 3.1.1 Stabilizovaný zdroj +5 V



Obrázek 3.3: Schéma zapojení zdroje +5 V

Základním prvkem zdroje +5 V z obr. 3.3 je integrovaný stabilizátor IO1. Zdroj je pomocí Schottkyho diody D1 ošetřen proti přepólování. Elektrolytické kondenzátory C6, C9 slouží k vyhlazení signálu a keramické kondenzátory C7, C8 slouží k blokaci napěťových špiček. Usměrňovací dioda D2 slouží k vybití kondenzátorů při výpadku napájení. Zelená LED dioda LED1 signalizuje, zda je zdroj pod napětím. Dvouřadý konektor X2 umožňuje připojit až pět zátěží. Na následujícím obrázku je osazovací výkres a fotografie vyrobeného napájecího zdroje.



(a) osazovací výkres

(b) výrobek

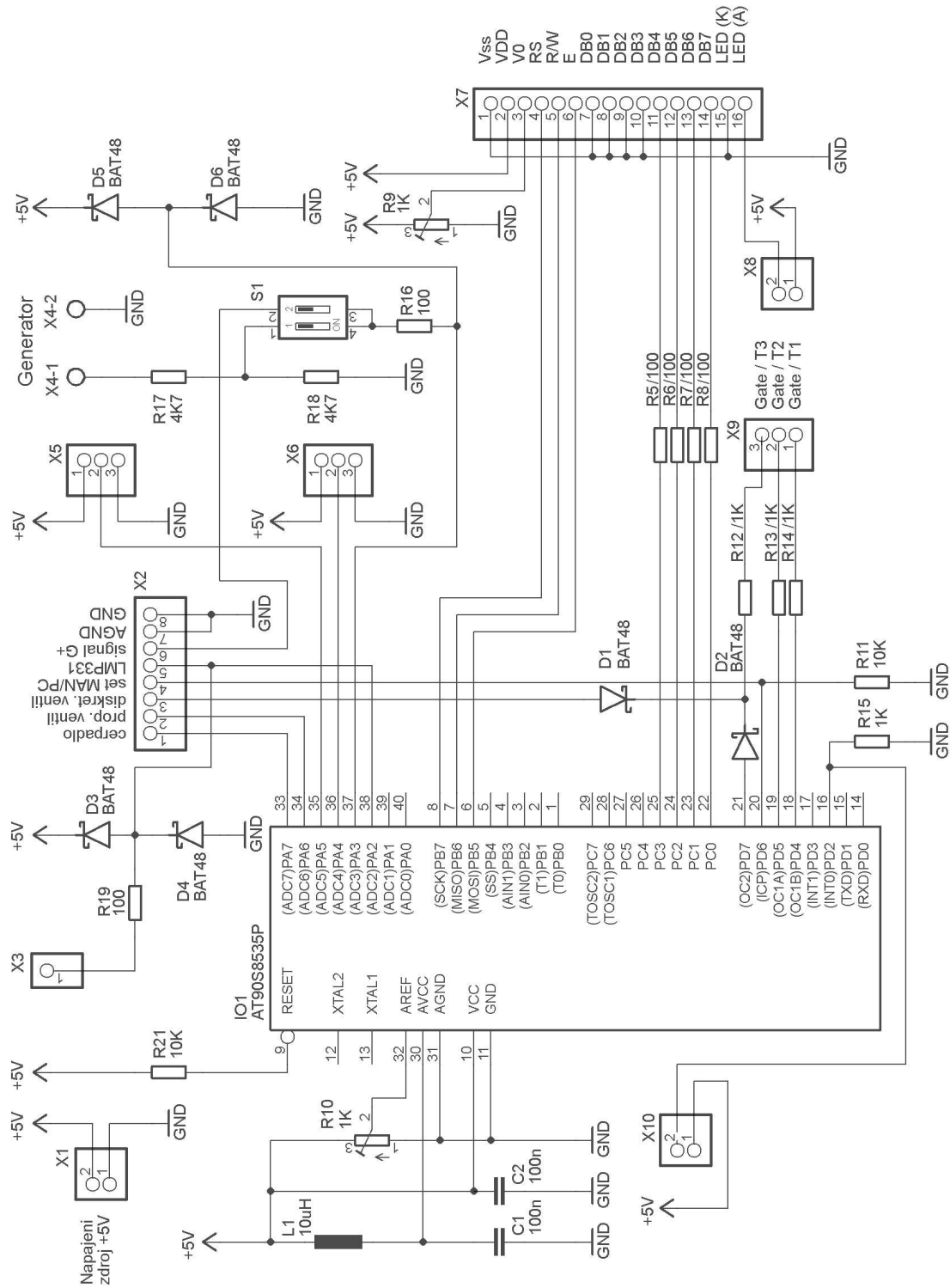
Obrázek 3.4: Napájecí zdroj +5 V

## 3.2 Řídicí deska s mikropočítačem Atmel

Řídicí deska zajišťuje pomocí jednočipového mikropočítače zobrazení měřených signálů na zobrazovací jednotce, ovládání akčních prvků, komunikaci s PC kartou MF 624 a přepínání mezi manuálním a počítačovým řízením. V manuálním režimu jsou akční prvky ovládány ručně pomocí potenciometrů umístěných na spodní nádrži. Počítačový režim umožňuje řízení z programového prostředí MATLAB/Simulink. V tomto případě, jsou všechny ovládací prvky na modelu mimo hlavní vypínač neaktivní a jakákoliv manipulace s nimi nemá na systém vliv. Měřené signály jsou zobrazovány v obou případech na zobrazovací jednotce a také posílány na měřicí kartu MF 624.

Na následujícím obrázku je schéma zapojení řídicí desky s mikropočítačem Atmel. Na konektor X1 je přivedeno napětí +5 V ze stabilizovaného zdroje z obr. 3.4, které je rozvedeno pro všechny příslušné napájené prvky. Datový výstup ze snímače LMP331 je přiveden na konektor X3. Schottkyho diody D3 a D5 omezí vyšší napětí, které by mohlo „odpálit“ vstupy mikropočítače, D4 a D6 slouží k ochraně proti přepólování. Tachodynamo má na svém výstupu paralelně připojen rezistor R20 o hodnotě 10 k $\Omega$  a je připojeno na svorkovnici X4.

Zobrazovací jednotka je propojena pomocí konektoru X7 a na X8 je připojen vypínač S2, jímž lze zapnout nebo vypnout její podsvícení. Trimr R9 slouží k nastavení kontrastu a jasů zobrazovaných znaků.



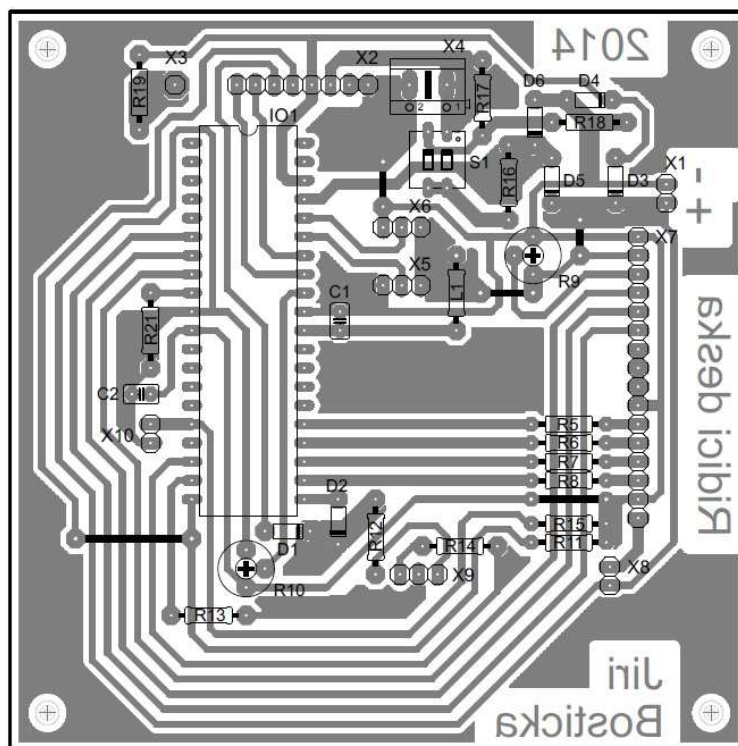
Obrázek 3.5: Schéma zapojení řídicí desky

Na konektor X5 je připojen potenciometr R22, kterým je možno manuálně ovládat výkon oběhového čerpadla. Na konektor X6 je také připojen potenciometr R23, jímž je možno ovládat otevírání a zavírání proporcionálního ventilu. Z konektoru X9 vedou vodiče, jimiž jsou spínány silové tranzistory T1, T2 a T3. Na konektor X10 je přiveden vypínač S3, který spíná diskretní ventil. Kódovacím spínačem S1 je možno připnout do obvodu napěťový dělič (R17, R18), který umožňuje připojení jiného tachodynamu, které bude mít odlišnou charakteristiku (maximální generované napětí) od současného.

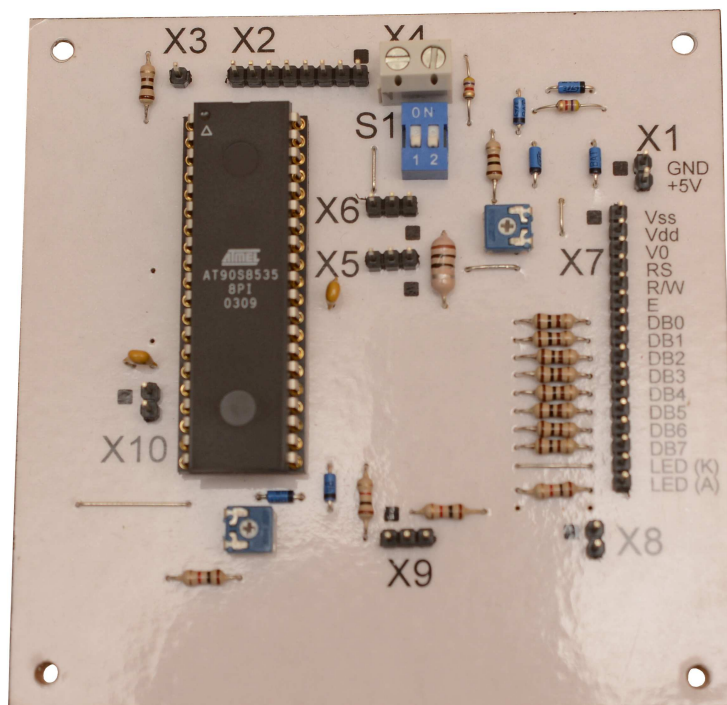
Tabulka 3.1: Kódovací funkce spínače S1

Spínač 1	Spínač 2	Popis funkce
OFF	OFF	měření generátoru odpojeno
OFF	ON	přímé měření generátoru
ON	OFF	měření generátoru přes dělič
ON	ON	ZAKÁZANÝ STAV

Trimrem R10 se nastavuje velikost referenčního napětí pro mikropočítač Atmel, viz manuál. Diody D1 a D2 slouží při spínání diskretního ventilu k blokaci proudu z Atmelu do PC a naopak.



Obrázek 3.6: Osazovací výkres řídicí desky



Obrázek 3.7: Řídící deska s mikropočítačem

### 3.3 Zapojení konektorů

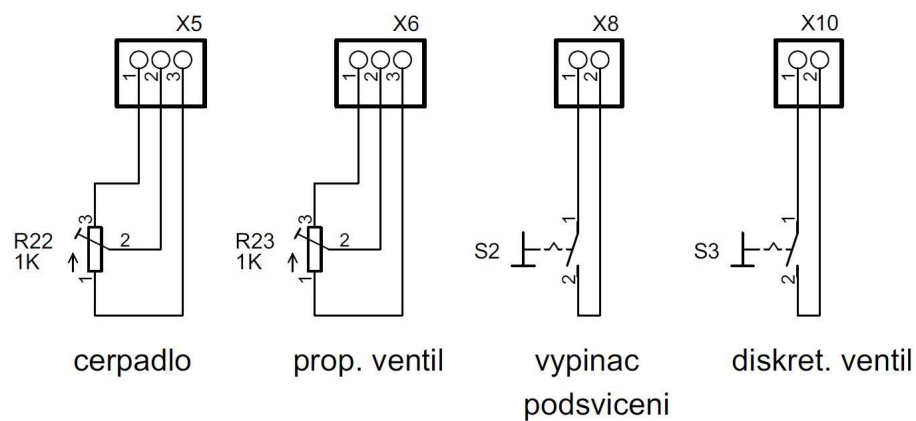
Pro komunikaci počítače s Modelem vodní elektrárny byly vybrány vstupní a výstupní porty počítačové karty MF 624, které jsou specifikovány v níže uvedené tabulce. Tyto použité porty jsou přivedeny na příslušné piny konektoru XINYA CAN 37. Z konektoru

Tabulka 3.2: Datové piny MF 624

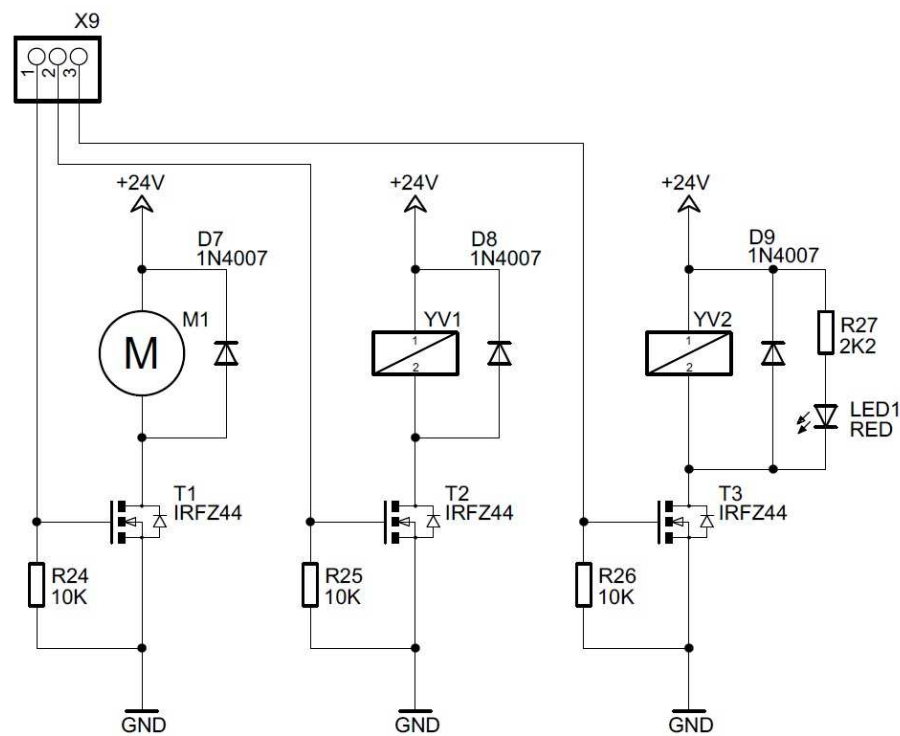
Komponenta	I/O karty	Pin konektoru CAN 37
LMP331	AD5	6
tachodynamo	AD6	7
čerpadlo	DA6	10
prop. ventil	DA7	11
dis. ventil	DOUT5	35
MAN./PC	DOUT6	36
GND	GND	29
AGND	AGND	9

XINYA CAN 37 pokračuje vedení datovým kabelem (přes konektor osazený na spodní nádrži) na řídicí desku na konektor X2.

Schéma zapojení ovládacích prvků (potenciometry pro ovládání proporcionálního ventilu a cirkulačního čerpadla, vypínač na dvoustavový ventil a vypínač na podsvícení zobrazovací jednotky) a schéma silové elektroniky pro ovládání akčních členů jsou na následujících obrázcích.



Obrázek 3.8: Zapojení ovládacích prvků



Obrázek 3.9: Zapojení akčních členů

Motor oběhového čerpadla M1, cívka proporcionálního a diskretního ventilu YV1, YV2 mají paralelně připojené usměrňovací diody D7, D8 a D9 v nepropustném směru. Přes tyto diody prochází zbytkový proud při odpojení zátěže a naindukované napětí se vybije přes zátěž. Tím je zabráněno průrazu spínacích tranzistorů T1, T2 a T3. K diskretnímu ventilu YV2 je přidána červená LED dioda indikující jeho otevření. Vložené rezistory mezi Gatem a Sourcem tranzistorů slouží k tomu, aby nedocházelo k sepnutí akčních členů při spuštění laboratorního modelu. Jejich ohmická hodnota by měla být desetkrát vyšší než hodnota předřadných rezistorů u spínacích tranzistorů.

### 3.4 Oživení elektroniky

U zakoupeného spínaného zdroje výrobce poskytl možnost uživatelsky nastavit výstupní napětí v intervalu  $\langle 22,8; 26,4 \rangle$  V. Toto výstupní napětí bylo nastaveno na 24 V pomocí trimru, který je umístěn v pravé části zdroje vedle výstupní svorkovnice. Na všech pinech rozváděcí svorkovnice musí být 24 V.

Druhým krokem byla ověřena funkce stabilizovaného zdroje +5 V. Na jeho vstup bylo připojeno stejnosměrné napájecí napětí z rozváděcí svorkovnice z obr. 3.2 (lze použít i napětí v rozsahu  $\langle 7; 35 \rangle$  V). Zelená LED dioda indikuje přítomnost napájecího napětí. Před stabilizátorem IO1 bylo naměřeno voltmetrem stejné napětí jako na vstupu zdroje. Na výstupu X2 bylo naměřeno napětí +5 V. Tím byla funkčnost zdroje ověřena.

Třetím krokem bylo oživení řídicí desky zatím bez jednočipového mikropočítače. Pomocí propojovacího vodiče byl spojen výstup stabilizovaného zdroje X2 se vstupem X1 řídicí desky. Na patičce pro mikroprocesor IO1 byly změřeny hodnoty napětí. Pin 11 a 31 jsou země (GND, AGND). V jednom z těchto pinů byl po celou dobu měření připojen měřicí hrot voltmetru. Druhým hrotem na pinu 10 a 30 bylo změřeno +5 V. Na pinu 32 je referenční napětí nastaveno trimrem R10 na hodnotu dle manuálu k mikropočítači. Poté bylo ověřeno, že se napětí na pinech 35 a 36 pohybuje  $\langle 0; 5 \rangle$  V v závislosti na potenciometrech R22 a R23. Při sepnutí vypínače S3 je na pinu 16 +5 V.

Čtvrtým krokem bylo odzkoušení změny kontrastu zobrazovací jednotky pomocí trimru R9. Ostatní piny a kódovací spínač S1 byl proměřen ohmmetrem nebo polovodičovým testrem.



# Kapitola 4

## Program pro jednočipový mikropočítač

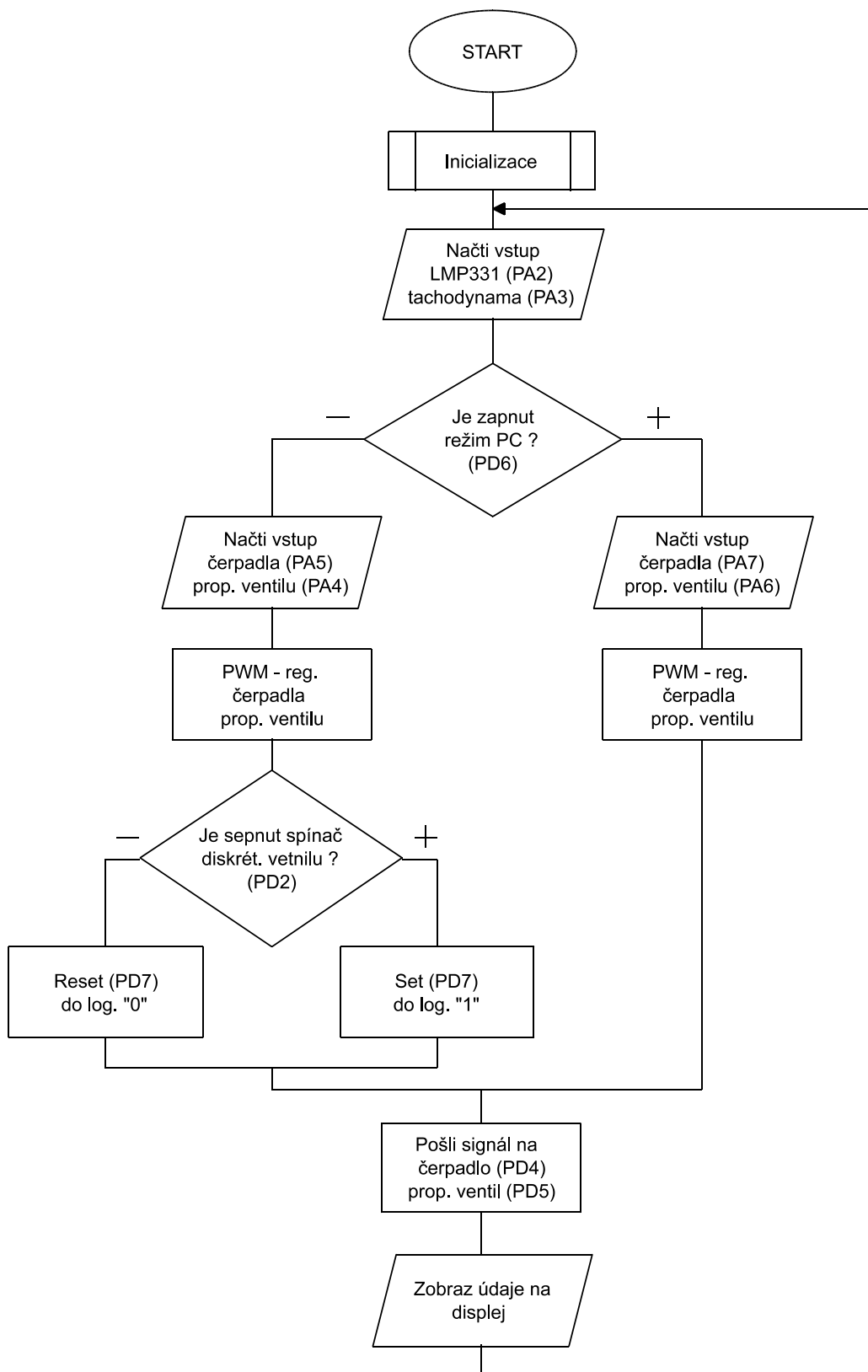
Hlavním prvkem na řídicí desce je mikropočítač Atmel AT90S8535, do kterého je nutno nahrát program, kterým bude ovládán laboratorní model. Proto bude v této kapitole navržen algoritmus pro tento mikropočítač a následně napsán program v programovacím jazyce Bascom AVR (VÁŇA, V., 2004) produkovaný firmou MCS electronics. Tento jazyk je určen k vytváření softwaru mikrokontrolérů a má umožnit napsání programu ve vyšším programovacím jazyce začínajícím či amatérským programátorům. Programové syntaxe jsou podobné jazyku Basic. Výsledný program pro mikropočítač překládá programovací jazyk (kompilátor) do formátu \*.HEX. Ten je pomocí ISP programátoru ATMEL AVR 51 ATmega A poslán do mikropočítače Atmel.



Obrázek 4.1: ISP programátor

### 4.1 Řídicí algoritmus

Než bude přikročeno k tvorbě vlastního programu, bude navržen řídicí algoritmus, který bude znázorněn pomocí vývojového diagramu. Vývojový diagram se skládá z posloupnosti úloh a instrukcí, podle kterých programátor píše zdrojový kód. Dá se říci, že se jedná o grafické vyjádření programu.



Obrázek 4.2: Vývojový diagram pro mikropočítač Atmel

Po startu programu proběhne nejprve inicializace. V té se nulují a nastavují registry, časovače a další periferie mikropočítače. Dále se nastaví porty, zda se bude jednat o vstup nebo výstup.

Dále začíná cyklus, ve kterém se nejprve načtou změřené hodnoty z tlakového snímače a tachodynamu. Rozhodovací proces, při kterém se Atmel ptá, zda je na vstup PD7 přivedena log. "1".

- Pokud ano, laboratorní model je v režimu řízení z PC a načtou se analogové hodnoty zadané uživatelem z počítače. Jakákoliv manipulace s potenciometry R22, R23 a vypínačem diskrétního ventilu nemá v tomto režimu vliv na chování modelu. V následujícím kroku proběhne na základě velikosti analogového signálu z PC přiřazení střídy PWM signálu.
- Pokud ne, laboratorní model je v manuálním režimu, kde se načtou analogové hodnoty, jejichž velikost mění uživatel potenciometry umístěnými na předním panelu spodní nádrže. Dále probíhá stejné přiřazení hodnot střídy jako u režimu PC. Rozhodovací proces se dále ptá, zda uživatel sepnul vypínač diskrétního ventilu. Na základě této podmínky je diskrétní ventil otevřen nebo uzavřen.

PWM signály je řízen výkon oběhového čerpadla a otevření proporcionálního ventilu. Tyto dva PWM signály jsou společně se změřenými hodnotami z tlakového snímače a tachodynamu zobrazeny na displeji.

## 4.2 Program pro mikropočítač Atmel

Program pro jednočipový mikropočítač je napsán v jazyce Bascom AVR a je na příloženém DVD. Níže jsou uvedeny použité příkazy tohoto jazyka a popis jejich funkce.

- `$INITMICRO` – zavolá po resetu proceduru, pro vykonání následující činnosti
- `$LIB` – tato direktiva sděluje překladači, které knihovny se v kódu použijí
- `ALIAS` – nové jméno pro proměnnou
- `BITWAIT` – čeká, až je bit log. 0 nebo log. 1
- `CALL` – volání procedury

- CPEEK – přečte bajt z paměti programu
- \$DEBOUNCE – testuje vývod portu s připojeným tlačítkem
- DELAY – krátká prodleva (asi 1 ms)
- DISPLAY – zapnutí nebo vypnutí displeje
- DO-LOOP – opakuje příkazy dokud podmínka není pravdivá
- END – ukončení běhu programu
- EXIT – vystoupení ze smyčky, procedury nebo funkce
- FIX – odřízne desetinnou část čísla
- FOR-NEXT – provede zadaný počet cyklů
- GETADC – přečte hodnotu z A/D konvertoru
- GOSUB – skok na podprogram
- GOTO – skok na návěští
- IF-THEN-ELSE-ENDIF – umožňuje větvení podle pravdivosti podmínky
- INCR – zvětší proměnnou o 1
- OUT – zapíše bajt do paměti dat
- PEEK – vrací obsah pracovního registru
- POKE – zapíše bajt do pracovního registru
- READEEPROM – čte z vnitřní EEPROM
- RESET – vynuluje bit
- RETURN – návrat z podprogramu
- WAITMS – čeká určený počet milisekund
- WAITUS – čeká určený počet mikrosekund
- WRITEEEPROM – zapíše proměnnou do EEPROM na určenou adresu

# Kapitola 5

## Neřešené laboratorní úlohy

Tato kapitola obsahuje několik úloh týkajících se studentské práce na laboratorním modelu. Tyto úlohy mají stejnou strukturu jako (ROUBAL, J., 2012, kapitola 4).

### 5.1 Zadání laboratorních úloh

**Příklad 5.1:** Určete vstupy a výstupy Modelu vodní elektrárny.

**Příklad 5.2:** Ověřte chování Modelu vodní elektrárny a jeho komunikaci s počítačem (zjistěte v jakých rozsazích se pohybují vstupní a výstupní veličiny). Dále si načrtněte schématicky tento laboratorní model a vyznačte do tohoto nákresu kladné orientace všech veličin (včetně vstupní veličiny).

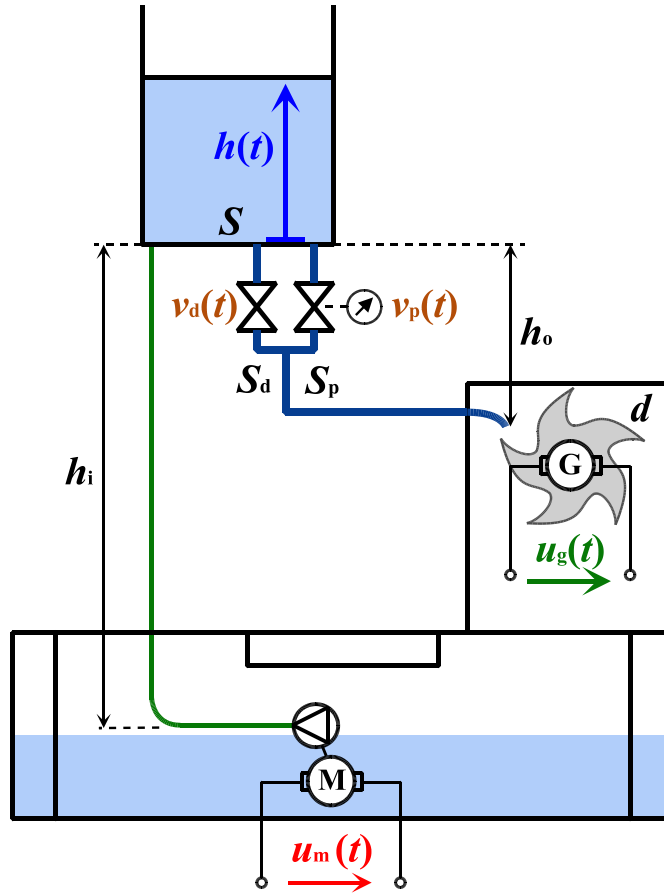
**Příklad 5.3:** Určete statickou převodní charakteristiku tlakového snímače laboratorního modelu Model vodní elektrárny  $h [-] \rightarrow h [\text{m}]$ .

Tabulka 5.1: Data pro statickou převodní charakteristiku senzoru

$h [\text{m}]$										
$h [-]$										

Naprogramujte v Simulinku funkci, která zajistí zobrazení výšky hladiny v horní nádrži v metrech.

**Příklad 5.4:** Vytvořte simulinkový model reprezentující laboratorní systém vodní elektrárny schématicky naznačený na následujícím obrázku, který lze podle (HALABRIN, R.,



Obrázek 5.1: Model vodní elektrárny – schématický náčrt

2008; *Wikipedia – The Free Encyklopedia: Pelton wheel*. [online], 2014) popsat diferenciálními rovnicemi

$$\frac{dh(t)}{dt} = \frac{1}{S} \left[ -\left(v_d(t)S_d + v_p(t)S_p\right)\sqrt{2gh(t)} + S_i \sqrt{2\left(\frac{k_i}{\rho} u_m^2(t - T_{di}) - g[h(t) + h_i]\right)} \right], \quad (5.1)$$

$$M_w(t) = d\rho \left(v_d(t - T_{do})S_d + v_p(t - T_{do})S_p\right) \sqrt{2gh(t - T_{do})} \cdot \left[\sqrt{2gh(t - T_{do})} + \lambda\sqrt{2gh_o} - \frac{d}{2}\omega(t)\right], \quad (5.2)$$

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = -\frac{B}{J}\omega(t) + \frac{1}{J}M_w(t), \quad (5.3)$$

$$u_g(t) = k_g\omega(t), \quad (5.4)$$

kde  $u_m$  [V] je napětí na motoru odstředivého čerpadla,  $u_g$  [V] je napětí na tachodynamu,  $M_w$  [N m] je moment, který působí na soustrojí turbína – tachodynamo v důsledku dopadající vody,  $\omega$  [s<sup>-1</sup>] jsou otáčky tachodynamu,  $h$  [m] je výška hladiny v horní nádrži,  $v_a$ ,  $v_p$  [-] jsou míry otevření ventilů (diskrétní a proporcionální),  $S_d$ ,  $S_p$  [m<sup>2</sup>] jsou obsahy průřezů příslušných ventilů,  $S$  [m<sup>2</sup>] je obsah podstavy horní nádrže,  $S_i$  [m<sup>2</sup>] je obsah průřezu vstupního potrubí z odstředivého čerpadla do horní nádrže,  $k_i$  [kg m<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup> V<sup>-2</sup>] je konstanta odstředivého čerpadla,  $h_i$  [m] je vzdálenost dna horní nádrže od odstředivého čerpadla,  $h_o$  [m] je vzdálenost dna horní nádrže od trysky, která směřuje na turbínu,  $\lambda \in (0, 1)$  je koeficient zjednodušeně reprezentující tření vody v turbínovém potrubí,  $d$  [m] je střední průměr turbíny,  $J$  [kg m<sup>2</sup>] je moment setrvačnosti soustrojí turbína – tachodynamo,  $B$  [kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>] je koeficient tlumení tohoto soustrojí,  $\rho = 998$  kg m<sup>-3</sup> je hustota vody,  $g = 9,81$  m s<sup>-2</sup> je tíhové zrychlení a  $T_{di}$ ,  $T_{do}$  [s] jsou dopravní zpoždění v čerpadlovém respektive turbínovém potrubí. Opatřete model maskou a virtuální scénou.

**Příklad 5.5:** Určete převodní charakteristiku odstředivého čerpadla  $u_m$  [V]  $\rightarrow$   $h$  [m] laboratorního Modelu vodní elektrárny.

Tabulka 5.2: Data pro statickou převodní charakteristiku akčního členu

$u_m$ [V]										
$h$ [m]										

Určete pásmo necitlivosti a pásmo saturace čerpadla a upravte simulinkový model dle získané statické převodní charakteristiky.

**Příklad 5.6:** Proveďte identifikaci laboratorního Modelu vodní elektrárny. Navrhněte experimenty, ze kterých určíte neznáme parametry. Ověřte shodu modelu se systémem pro různé vstupní signály.

**Příklad 5.7:** Vytvořte stavový model systému vodní elektrárny.

**Příklad 5.8:** Pokuste se linearizovat stavový model systému vodní elektrárny. Určete stavové matice  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{D}$  a přenosy v Laplaceově transformaci  $P(s)$  mezi jednotlivými vstupy a výstupy systému.

**Příklad 5.9:** Určete řád, póly, stabilitu, statické zesílení a řád astatismu linearizovaného stavového modelu z předchozího příkladu. Postupujte dle (ROUBAL, J. et al., 2011, kapitola 3). Pro výpočty využijte prostředí Matlab.

**Příklad 5.10:** Určete řád, póly, nuly, stabilitu, statické zesílení a řád astatismu linearizovaných přenosových modelů z příkladu 5.8. Postupujte dle (ROUBAL, J. et al., 2011, kapitola 3). Pro výpočty využijte prostředí Matlab.

**Příklad 5.11:** Navrhněte PID regulátor pro řízení Modelu vodní elektrárny v následujících režimech:

- řízení výšky hladiny  $h$  [m] v horní nádrži pomocí odstředivého čerpadla;
- řízení napětí na tachodynamu  $u_g$  [V] pomocí otevírání proporcionálního ventilu;
- řízení napětí na tachodynamu  $u_g$  [V] pomocí odstředivého čerpadla.

Ověřte funkci PID regulátoru simulacemi uzavřené regulační smyčky s linearizovaným modelem.

**Příklad 5.12:** Ověřte funkci PID regulátorů navržených v předchozím příkladě simulacemi uzavřených regulačních smyček s nelineárními modely. Porovnejte odezvy regulačních smyček s linearizovanými a nelineárními modely. Zvláštní pozornost dbejte na velikosti akčních zásahů do modelu.

**Příklad 5.13:** Pokud vše pracuje správně v předešlém příkladě, aplikujte PID regulátory na Modelu vodní elektrárny.



# Kapitola 6

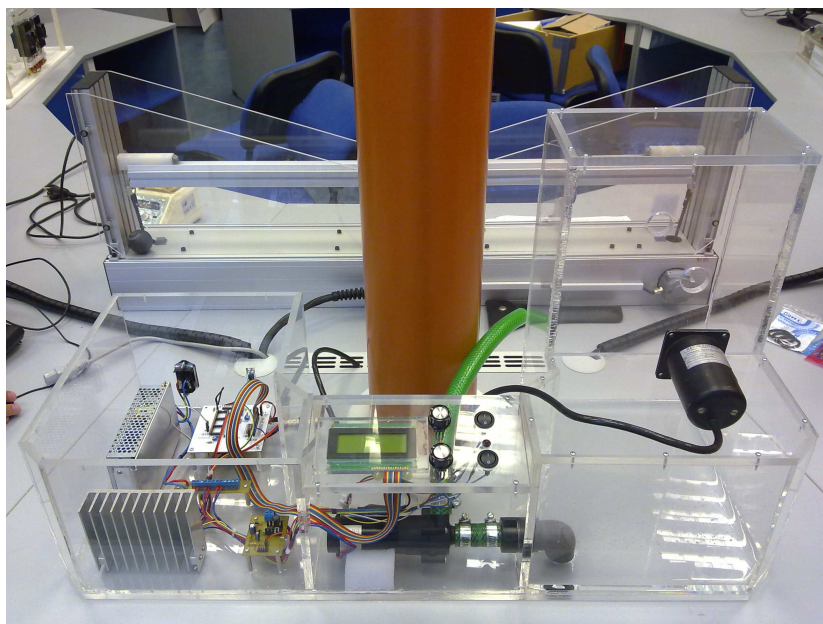
## Závěr

V této absolventské práci se podařilo navrhnout a vyrobit elektroniku pro Model vodní elektrárny, který je umístěn v Laboratoři aplikované informatiky a fyziky. Tato elektronika umožňuje řídit model ručně nebo pomocí počítače s měřicí kartou MF 624 a prostředím MATLAB/Simulink (HUMUSOFT, 2014). Dále byly vytvořeny v kapitole 5 úlohy pro studenty vyšší odborné školy pro modul Modelování a řízení systémů.

V dnešní době existuje mnoho složitých zařízení, které nás zahlcují zbytečnými informacemi. Proto byl při návrhu kladen velký důraz na jednoduchou obsluhu vyráběného hardwaru. Jádrem navržené elektroniky je jednočipový mikropočítač Atmel, který zpracovává analogové a digitální signály. Jeho použitím došlo k podstatnému zjednodušení navrhovaného hardwaru za cenu složitějšího programu. Celý návrh hardwaru byl vytvořen v prostředí EAGLE 5.6.0 a program pro jednočipový mikropočítač byl napsán v jazyce Bascom AVR.

Při tvorbě této učební pomůcky bylo spolupracováno s Tomášem Pechánkem, který měl v rámci své absolventské práce navrhnout a vyrobit konstrukci modelu. Tato spolupráce se ukázala jako velký problém, jejímž výsledkem je nekompletní konstrukce k termínu odevzdání práce. V tuto chvíli je vyrobena pouze spodní nádrž, na které chybí osazení turbíny s tachodynamem. Tato nádrž byla vyrobena s velkým zpožděním, což znemožnilo provést včas kompletní montáž elektroniky do laboratorního modelu. Výroba horní nádrže ještě nezačala. Fotografie na následujícím obrázku znázorňuje aktuální stav výroby.

Z tohoto důvodu nebylo možné otestovat celkové chování modelu (zejména chování kapaliny v turbínovém potrubí). Proto nemusí být diferenciální rovnice popisující pohyb kapaliny v turbínovém potrubí v kapitole 5 zcela správně, neboť tato rovnice aproximuje tření kapaliny o stěnu potrubí velmi hrubě.



Obrázek 6.1: Model vodní elektrárny – stav k 12.5.2014

Vyrobená učební pomůcka plně zapadá do koncepce Laboratoře aplikované informatiky a fyziky (ROUBAL, J., 2012). Model pracuje s fyzikálními a elektrickými parametry, jako je otevření ventilů, výška hladiny v horní nádrži, napětí na cirkulačním čerpadle a tachodynamu. Tyto hodnoty jsou zobrazeny na alfanumerickém displeji a zároveň jsou posílány do počítače s měřicí kartou MF 624 a prostředím MATLAB/Simulink (HUMUSOFT, 2014). Tak mohou žáci střední školy pozorovat základní fyzikální děje a konfrontovat je s teoretickými vztahy a studenti vyšší odborné školy identifikovat dynamické vlastnosti systému a následně navrhovat jeho řízení (ROUBAL, J. et al., 2011).

# Literatura

- HALABRIN, R. (2008), Okružní potrubí Peltonovy turbíny, (Bakalářská práce), VUT v Brně, FSI, Brno.
- HUMUSOFT (2014), Humusoft s.r.o. [online]. [cit. 2014-04-17], <http://www.humusoft.cz/>.
- JANEČEK, M. (2007), Model systému s dopravním zpožděním, (Bakalářská práce), ČVUT v Praze, FEL, Praha.
- PECHÁNEK, T. (2014), Konstrukce modelů vytápěného domku a vodní elektrárny, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí.
- PLÍVA, Z. (2007), *EAGLE prakticky - řešení problémů při běžné práci*, Praha: BEN – technická literatura. ISBN 978-80-7300-227-5.
- ROUBAL, J. (2012), Výukové materiály pro Laboratoř aplikované informatiky na VOŠ, (Bakalářská práce), ČVUT v Praze, MUVS, Praha.
- ROUBAL, J., HOLEČEK, J. a HÁJEK, J. (2009), Laboratoř teorie automatického řízení [online]. [cit. 2014-04-11], <http://support.dce.felk.cvut.cz/lab26/>.
- ROUBAL, J., HUŠEK, P. a KOL. (2011), *Regulační technika v příkladech*, Praha: BEN – technická literatura. ISBN 978-80-7300-260-2.
- SCHENK, C. (2009), MiKTeX [online]. [cit. 2009-06-16], <http://www.miktex.org/>.
- ŠIKÝŘ, T. (2011), Model vodního hospodářství – laboratorní model, (Absolventská práce), VOŠ, SŠ, COP Sezimovo Ústí, Sezimovo Ústí.
- VÁŇA, V. (2004), *Mikrokontroléry Atmel AVR-Bascom*, Praha: BEN – technická literatura. ISBN 80-7300-115-2.

*Wikipedia – The Free Encyklopedia: Pelton wheel.* [online] (2014). [cit. 2014-04-11],  
([http://en.wikipedia.org/wiki/Pelton\\_wheel](http://en.wikipedia.org/wiki/Pelton_wheel)).

# Příloha A

## Obsah přiloženého CD/DVD

K této práci je přiloženo CD/DVD s následující adresářovou strukturou.

- Absolventská práce v LaTeXu
- Elektronika
  - Schéma zapojení elektroniky: Stabilizovaný zdroj +5 V, Řídicí deska  $\mu$ P Atmel, zapojení ostatních komponent
  - Motivy plošných spojů: Rozváděcí deska, Stabilizovaný zdroj +5 V, Řídicí deska  $\mu$ P Atmel
  - Osazovací výkresy: Rozváděcí deska, Stabilizovaný zdroj +5 V, Řídicí deska  $\mu$ P Atmel, potisk ovládacího panelu
- Fotodokumentace
- Informační štítek modelu
- Manuály sensorů a akčních členů:  $\mu$ P AT90S8535, tlakový senzor LMP 331, solenoidové ventily, čerpadlo CM30P7-1, zobrazovací jednotka DEM 20485 SYH-LY, PC karta MF 624, spínaný zdroj RS-100-24
- Objednávky a faktury
- Simulinkový komunikační soubor
- Bosticka\_AP\_2014.pdf – absolventská práce ve formátu PDF



# Příloha B

## Použitý software

**Adobe Photoshop CS5**  $\langle$ <http://www.adobe.com/> $\rangle$

**Bascom AVR 2.0.7.1**  $\langle$ <http://www.softadvice.com/> $\rangle$

**Diagram Designer 1.26**  $\langle$ <http://www.slunecnice.cz/> $\rangle$

**Eagle 5.6.0**  $\langle$ <http://www.eagle.cz/> $\rangle$

**LaTeX**  $\langle$ <http://www.miktex.org/> $\rangle$

**MATLAB/Simulink R2006b**  $\langle$ <http://www.mathworks.com/> $\rangle$

**WinEdt 6.0**  $\langle$ <http://www.winedt.com/> $\rangle$

**Zoner Callisto 5**  $\langle$ <http://www.zoner.cz/> $\rangle$

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo je toho času jeho vlastníkem Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto absolventskou práci.





# Příloha C

## Časový plán absolventské práce

Činnost	Časová náročnost	Termín ukončení	Splněno
výkresová dokumentace	1 měsíc	05.09.2010	vyřadit
AP: kapitola Úvod	1 měsíc	10.4.2014	15.4.2014
Měření charakteristik tachodynamu a čerpadla	2 dny	19.11.2013	19.11.2013
tvorba schémat v NS Eagle	6 týdnů	19.11.2013	28.3.2014
návrh plošných spojů	1 týden	10.02.2011	2.4.2014
výroba a osazení plošných spojů	1 týden	05.03.2011	2.4.2014
nastudování literatury programování mikroprocesoru Atmel v jazyce Bascom	5 týdnů	15.02.2014	
tvorba programu pro mikrokontrolér	1 týden	28.02.2014	
Testování a odladování systému	1 týden	30.03.2014	
Montáž elektroniky do spodní nádrže	1 týden	30.03.2014	02.05.2014
AP: kompletní text	5 měsíců	30.03.2011	12.05.2014



# Příloha D

## Tvorba modelu v čase

**16.9.2013** Objednávka čerpadla, ventilů a tlakového senzoru

**11.11.2013** Dorazilo odstředivé čerpadlo

**12.12.2013** Dorazily ventily a tlakový senzor

**12.1.2014** Objednávka turbíny

**17.1.2014** Osazení DPS (zroj +5 V)

**24.1.2014** Objednávka plexiskla

**26.1.2014** Dorazila turbínka

**7.2.2014** Předělání středu (nerez) turbíny

**11.2.2014** Schválení 3D modelu ředitelem školy

**4.3.2014** Dorazilo plexisklo

**9.3.2014** Objednávka součástek TME

**10.3.2014** Objednávka součástek GME

**11.3.2014** Dorazila objednávka GME

**14.3.2014** Dorazila objednávka GME

**4.4.2014** Osazení DPS (řídící deska)

**22.4.2014** Začátek stavby (lepení) spodní nádrže

**2.5.2014** Začátek montáže elektroniky do spodní nádrže

**5.5.2014** Osazení čerpadla

**12.5.2014** Potisk ovládacího panelu

**12.5.2014** Kompletní text AP

Osazení turbíny na spodní nádrži a osazení snímače a ventilů na horní nádrži bude provedeno poté, co bude dokončena výroba laboratorního modelu (PECHÁNEK, T., 2014).

# Příloha E

## Rozpočet projektu

Následující tabulka uvádí finanční rozpočet modelu zahrnující nákupy jednotlivých součástí a zakázky realizované mimo školu. Ceny jsou uvedeny včetně DPH a obvykle včetně poštovného a balného.

Tabulka E.1: Finanční rozpočet projektu

Komponenta	Kusů	Cena za kus	Cena celkem
Odstředivé čerpadlo CM30P7-1	1	7 570,-	7 570,-
Dvoustavový ventil E262K013S1N00H1	1	2 315,-	2 315,-
Proporcionální ventil SCG202A057V.24/DC	1	5 612,-	5 612,-
Snímač výšky hladiny LMP331	1	6 958,-	6 958,-
Peltonova turbína	1	988,-	988,-
Elektronické součástky TME	1	2553,-	2553,-
Elektronické součástky GM	1	1033,-	1033,-
Drobné elektronické součástky	-	200,-	200,-
Drobný materiál (těsnění, šroubky)	-	-	550,-
Provozní kapalina	-	-	100,-
Mechanická konstrukce modelu (upřesněno v (PECHÁNEK, T., 2014))	-	6 199,-	6 199,-
Celkem	-	-	34 228,-

Následující tabulka uvádí hodinový rozpočet práce na výrobě modelu realizované v rámci školy. Tabulka obsahuje zkratky, které znamenají: AP – absolventská práce, OV – úsek odborného výcviku, E – úsek elektro.

Tabulka E.2: Hodinový rozpočet projektu

<b>Práce</b>	<b>Člověko- hodin</b>	<b>Pracovník</b>
Návrh elektroniky	45	autor AP
Tvorba el. schémat	130	autor AP, konzultant AP, učitelé
Návrh DPS	36	autor AP
Výroba DPS	6	autor AP
Montáž elektroniky	40	autor AP
Tvorba programu	44	autor AP, konzultant AP
Strojní práce	25	autor AP
Text AP	252	autor AP, vedoucí AP
Mechanická konstrukce (upřesněno v (PECHÁNEK, T., 2014))	247,-	Tomáš Pechánek
Celkem	825	-

Jen pro ilustraci předpokládejme taxu 150,- Kč za hodinu, poté je celková cena práce 123 750,- Kč. Laboratorní model tedy celkově vyjde na 157 978,- Kč. Jen pro srovnání kalkulace stavby Modelu vodního hospodářství vycházela na 220 000,- Kč (ŠIKÝŘ, T., 2011), modely zakoupené do laboratoře se pohybují od 164 816,- do 217 620,- Kč.

Tato kalkulace je počítána k 12.5.2014, kdy ještě není kompletně hotova mechanická konstrukce laboratorního modelu. Přesný rozpočet bude uveden v (PECHÁNEK, T., 2014).