

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Nízkonákladové řídicí platformy

2016

Pham Van Quan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne _____

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat své rodině za důvěru a oporu v mém životě. Chtěl bych také poděkovat panu Ing. Janu Zavřelovi Ph.D. za věnovaný čas, připomínky a rady v průběhu zpracování bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce je věnována nízkonákladovým řídicím platformám. V rešeršní části jsou popsány některé druhy nízkonákladových platforem. Dále je tu detailní popis platformy PSoC a příklad jak ho naprogramovat. Praktická část se zabývá měřením kmitů soustavy s jedním stupněm volnosti. Soustava byla pak i teoreticky řešena v prostředí Matlab k porovnání s naměřenými hodnotami. V závěru jsou zhodnocené výsledky a analyzovány problémy při měření signálu.

Abstract

This work is dedicated to low-cost control platforms. The search section describes some types of low-cost platforms. There is also a detailed description of the PSoC platform, and an example of how to program it. The practical part deals with measuring vibration system with one degree of freedom. The system was then also theoretically solved in Matlab to compare the measured values. At the end is the evaluation of the results and the analyzation of the problems in signal measurements.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce.....	1
3	Rešerše nízkonákladových řídicích platforem	2
3.1.	Arduino	2
3.2.	Intel Galileo	6
3.3.	Raspberry Pi.....	7
3.4.	pcDuino	8
3.5.	BeagleBoard	9
3.6.	Texas Instruments	11
3.7.	Loki	12
4	PSoC od Cypress.....	13
4.1.	CY8CKIT-050 vývojový kit	16
5	Experiment	21
6	Závěr.....	27
7	Použitá literatura	28
8	Obsah přiloženého CD disku	30

Seznam použitých zkratek a symbolů

A, B	konstanty homogenního řešení kmitání tlumené soustavy
b [Nms rad ⁻¹], b _r [-]	tlumení, poměrný útlum
CPU	central processing unit = mikroprocesor
d [m], d _k [m]	průměr tyče, průměr kotouče
e	Eulerovo číslo
G [Pa]	modul pružnosti ve smyku
Hz, kHz, MHz, GHz	Hertz = otáček za sekundu, kilohertz, megahertz, gigahertz
h [m]	tloušťka kotouče
I [kgm ²]	moment setrvačnosti
I ² C	Inter-Integrated circuit
J _p [m ⁻⁴]	polární kvadratický moment
k _t [Nm rad ⁻¹]	torzní tuhost
l [m]	délka tyče
m _k [kg]	hmotnost kotouče
n	přirozené číslo pro periodu T _b
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random-access memory
ROM	Read-only memory
SPI	Serial Peripheral Interface Bus
r [m]	poloměr kotouče
T _b [s]	perioda tlumeného kmitu
t [s]	čas
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter
V	volt
φ, φ̇, φ̈	souřadnice kmitu a jeho derivace
ρ _{Al} [kgm ⁻³]	hustota hliníku
Ω [s ⁻¹], Ω _b [s ⁻¹]	vlastní frekvence soustavy, vlastní frekvence tlumené soustavy

Seznam obrázků

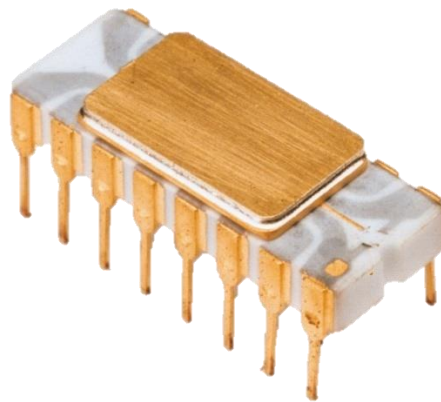
Obrázek 1.0.1 První mikroprocesor	1
Obrázek 3.1.1 Arduino Uno	2
Obrázek 3.1.2 Arduino <i>Mega</i>	3
Obrázek 3.1.3 Arduino Zero	3
Obrázek 3.1.4 ProtoShield Kit	4
Obrázek 3.1.5 LiPower Shield	4
Obrázek 3.1.6 Arduino WiFi Shield.....	5
Obrázek 3.1.7 MP3 Player Shield	5
Obrázek 3.1.8 Monster Moto Shield	6
Obrázek 3.2.1 Intel Galileo	6
Obrázek 3.3.1 Raspberry Pi 3.....	7
Obrázek 3.4.1 pcDuino8 Uno.....	8
Obrázek 3.5.1 BeagleBone Black	9
Obrázek 3.5.2 Power Bar	10
Obrázek 3.5.3 ProtoCape	10
Obrázek 3.5.4 Weather Cape.....	10
Obrázek 3.5.5 Robo Cape	10
Obrázek 3.6.1 Platforma LAUNCHXL-F28377S	11
Obrázek 3.6.2 Wi-Fi BoosterPack.....	12
Obrázek 3.6.3 Motor Drive BoosterPack	12
Obrázek 3.7.1 Loki platforma	12
Obrázek 4.0.1 Blokové schéma obvodu PSoC.....	13
Obrázek 4.0.2 Konfigurace systému pro frekvenční hodiny.....	15
Obrázek 4.0.3 MiniProg3 kit.....	15
Obrázek 4.1.0 CY8CKIT-50 PSoC 5LP	16
Obrázek 4.1.1 Prototypovací kit.....	17
Obrázek 4.1.2 CAN/LIN kit.....	17
Obrázek 4.1.3 Kit s teplotní senzory	18
Obrázek 4.1.4 Capsense kit	18
Obrázek 4.1.5 TopDesign.cysch	19
Obrázek 4.1.6 Umístění pinů.....	19
Obrázek 4.1.7 Konfigurace pinu	20
Obrázek 5.0.1 Schéma přístroje	21
Obrázek 5.0.2 TopDesign.cysch pro měření dat	21
Obrázek 5.0.3 Odlišné časy.....	22
Obrázek 5.0.4 a) Rozlišení 1x	23
Obrázek 5.0.4 b) Rozlišení 2x.....	23
Obrázek 5.0.4 c) Rozlišení 4x	24
Obrázek 5.0.5 a) Graf závislost úhlu na času s rozlišením 1x.....	25
Obrázek 5.0.5 b) Graf závislost úhlu na času s rozlišením 2x	26
Obrázek 5.0.5 c) Graf závislost úhlu na času s rozlišením 4x.....	26

1 Úvod

V dnešním světě, kde stále roste zájem o automatizování strojů, jsou řídicí platformy jejich nezbytné součástí. Snaha o rozvoj vedla k budování jednodeskových mikropočítačů [1], které jsou cenově dostupné pro studenty a domácí kutily. Mikropočítač je elektronická součástka, s jejíž pomocí dokáží vývojáři naprogramovat stroje k provádění různých úkonů. Skládá se z platformy, na níž můžeme nalézt vstupní a výstupní piny, paměť RAM, ROM a mikroprocesor (CPU). Pro mikropočítače je typická jejich malá spotřeba elektrické energie. Dokážou spustit jen jeden program a jsou obvykle navrhovány pro konkrétní účely.

Jádrům každého mikropočítače je mikroprocesor. První mikroprocesor [2] Intel 4004 (obr. 1.0.1) vznikl v roce 1971, byl 4-bitový a mohl běžet na 740 kHz. Byl navržen pro výrobu kalkulačky značky Busicom. Procesor [3] dokáže zvládnout matematické operace jako sčítání, odečítání, násobení a dělení, může též převést data z jedné paměti do jiné.

Na rozdíl od klasického počítače, který je schopný přehrát film a mít přitom spouštěny různé hry a mnoha dalších aplikací, dokážou některé mikropočítače pracovat s reálnými časy [4], což je pro mnoho zařízení nezbytnou vlastností. To znamená, že mikropočítač musí zpracovat vstupní informace v zaručeném čase, aby mohl řídit výstupní zařízení. Jako příkladem lze uvést semafor, který musí do naplánovaného času měnit světla. Je třeba si přitom uvědomit, že reálný čas nesouvisí s rychlostí zpracování data. Dále uvedu některé příklady platform, které dokážou s reálnými časy pracovat.



Obrázek 1.0.1 První mikroprocesor
(z: <https://iq.intel.cz/prvni-mikroprocesor-vznikl-jenom-nahodou>)

2 Cíle práce

Cíle bakalářské práce jsou následující:

- Pronést rešerši nízkonákladových řídicích platform
- Vybrat platformu s podporou realtime a seznámit se s prací na ní
- Provést experiment a ověřit výkonové možnosti platformy

3 Rešerše nízkonákladových řídicích platforem

3.1. Arduino

Dá se říct, že je to nejpopulárnější a nejrozšířenější platforma mezi studenty. První platforma se zrodila v roce 2005 v Ivree. V tomto městě, které se nachází se na severu Itálie, žil kdysi král Arduino. Po něm je pojmenován bar, které často navštěvoval Massimo Banzi [5], jeden ze zakladatelů Arduina.

Většina platforem od Arduina [6] používá procesory ATMega od firmy Atmel. Programy jsou vytvářené v prostředí Arduino IDE, který je napsané v jazyce Java. Programovacím jazykem je C nebo C++, ale lze programovat jednodušší cestou použitím knihovny Wiring. Programy pak lze přesunout do procesoru prostřednictvím např. USB. Matlab podporuje Arduino.

Arduino funguje na principu open source. To znamená, že design platformy je veřejně přístupný a dá se volně upravovat a sdílet. Open source software souvisí se zdrojovým kódem a open source hardware s designem platformy. Díky tomu je na světě mnoho platforem, které mají stejnou strukturu jako Arduino a nesou podobné názvy jako Netduino, Freeduino. Název Arduino je vyhrazen pro platformy vyrobené v Itálii.

3.1.1. Arduino Uno

Je to nejužívanější platforma z rodiny Arduina. Díky tomu obsahuje taktéž celou řadu projektů a pro začátečníka v elektrotechnice a kódování je ideální volbou. Uno (obr. 3.1.1) pracuje na 5 V, je 8-bitový s frekvencí 16 MHz, obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních pinů, z nich se dá 6 použít jako PWM a 6 analogových výstupních pinů. Uno podporuje spojení SPI a I²C.



Obrázek 3.1.1 Arduino Uno
(z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/MacOSX>)

3.1.2. Arduino Mega 2560

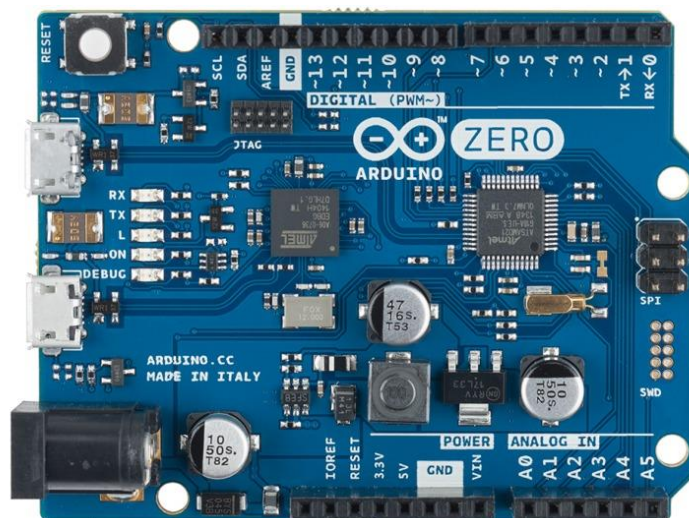
Arduino Mega (obr. 3.1.2) je designována pro složitější projekty, také je doporučenu platformou pro stavbu 3D tiskáren a robotiku. Na desce se nachází 54 digitálních vstupních/výstupních pinů, z nich se dá 15 použít jako PWM, 16 analogových výstupních pinů a 4x UART. Stejně jako Uno pracuje na 5 V, je 8-bitový s frekvencí 16 MHz s je kompatibilní se shieldy od Uno. Arduino Mega podporuje spojení SPI a I²C. Arduino má shieldy pro sériové rozhraní RS-232 a RS-485.



Obrázek 3.1.2 Arduino Mega
(z: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>)

3.1.3. Arduino Zero

Zero (obr. 3.1.3) je zaměřena na nositelnou elektroniku, high-tech automatizaci. Má stejnou platformu jako Uno. Obsahuje 20 digitálních vstupních/výstupních pinů, 2x UART a 6 analogových vstupních pinů a 1 výstupní. Je 32-bitový s frekvencí 48 MHz a pracuje na 3.3 V. Zero podporuje spojení SPI.

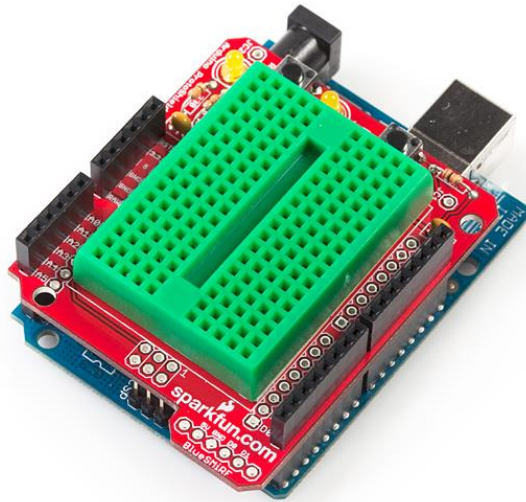


Obrázek 3.1.3 Arduino Zero
(z: https://www.robotics.org.za/index.php?route=product/product&product_id=1098)

3.1.4. Arduino shieldy

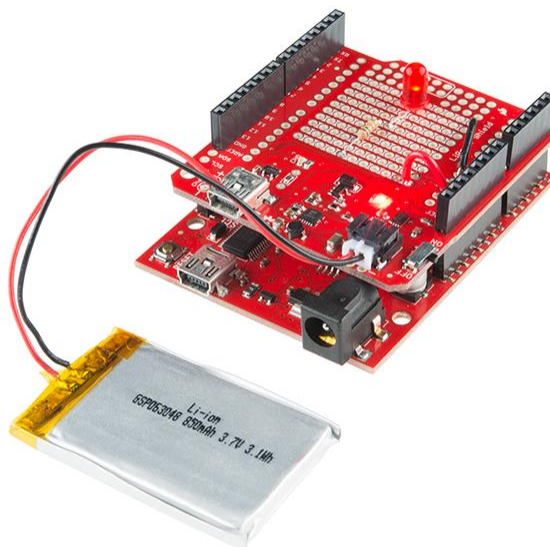
Pro lidi, kteří si už koupili platformu a chtěli by přidat nějakou funkci, pak je tu možnost obrátit se na shieldy [7]. Jsou to platformy, které umožní vašemu Arduino bezdrátově se připojit k internetu, přehrát vaši oblíbenou skladbu, řídit motory a další. Dají se přitom naskládat více shieldů na sebe. K shieldům jsou často dodávány knihovny použití a stačí proto nahrát do Arduina kódy pro rychlou aktivaci jejich funkcí. Dále uvedu některé druhy shieldů:

- Prototypování – tyto shieldy nepřidají moc funkce do Arduina, obecně dělají zapojení do Arduina jednodušší, příkladem je třeba ProtoShield Kit (obr. 3.1.4)



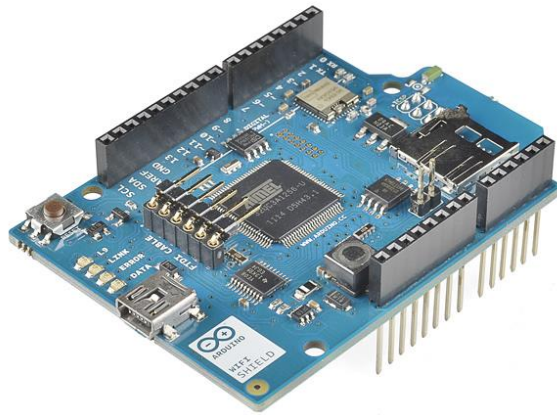
Obrázek 3.1.4 ProtoShield Kit
(z: <https://www.sparkfun.com/products/7914>)

- Napájení – pokud byste chtěli použít k napájení něco jiného než USB kabel, třeba rozjet Uno z 3,7 V lithium-polymerové baterie, tak můžete vyzkoušet LiPower Shield (obr. 3.1.5)



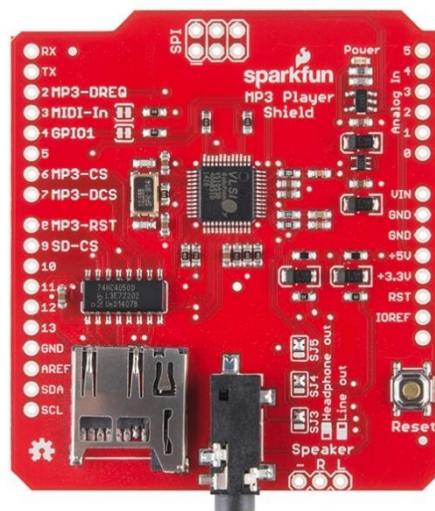
Obrázek 3.1.5 LiPower Shield
(z: <https://www.sparkfun.com/products/13158>)

- Bezdrátová komunikace – Wi-Fi, Ethernet, GPS, volání, SMS, na to mají Arduino shieldy řešení, jako příklad mohu uvést Arduino WiFi Shield (obr. 3.1.6)



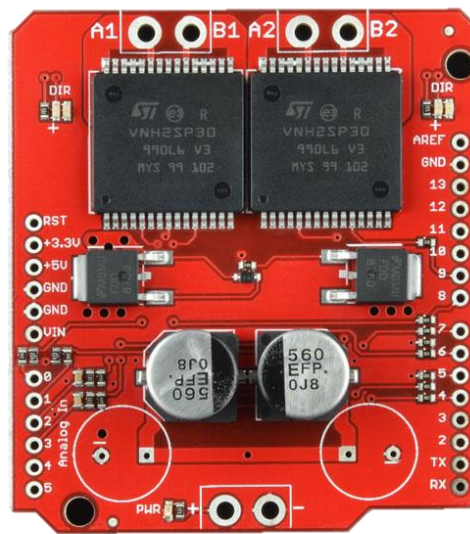
Obrázek 3.1.6 Arduino WiFi Shield
(z: <https://www.sparkfun.com/products/11287>)

- Hudba – tyto shieldy používají protokoly typu MIDI, MP3 (obr. 3.1.7)



Obrázek 3.1.7 MP3 Player Shield
(z: <https://www.sparkfun.com/products/12660>)

- Řízení motoru – jako příklad tu uvedu Monster Moto Shield (obr. 3.1.8), do které můžete použít napětí až 16 V.



Obrázek 3.1.8 Monster Moto Shield
(z: <https://www.sparkfun.com/products/10182>)

3.2. Intel Galileo

Tato platforma [8] (obr. 3.2.1) je založena na architektuře Intel a je navržena tak, aby byla kompatibilní se shieldy určené pro Arduino Uno. Podporuje operační systémy Windows, Mac OS a Linux. Lze taktéž pracovat ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Jádrem platformy je procesor Intel Quark SoC X1000, který je 32-bitový a má frekvenci 400 MHz. Platforma obsahuje 14 digitálních pinů a 6 analogových výstupních pinů místo pro mikro SD kartu, Ethernet a USB port.



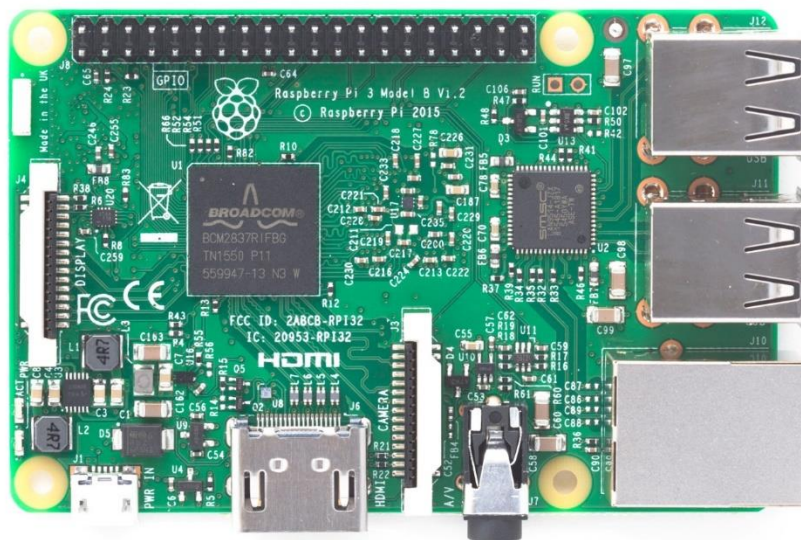
Obrázek 3.2.1 Intel Galileo
(z: http://www.inspirel.com/yami4/intel_galileo.html)

3.3. Raspberry Pi

Raspberry Pi [9] je počítač velikosti kreditní karty originálně navržena pro výuku. Tato platforma byla vytvořena v únoru 2012 a díky svým malým rozměrům a dostupné ceně se dostala do rukou mnoha elektronických nadšenců. Společnost vyvinula vlastní operační systém Raspbian, dále může platforma běžet na Linuxu. Raspberry Pi podporuje open source software.

3.3.1. Raspberry Pi 3 Model B

Raspberry Pi 3 [10] (obr. 3.3.1) je nejnovějším modelem, který nahradil Raspberry Pi 2 Model B v únoru 2016. Tato platforma už není jen náhradou stolního počítače, ale je designovaná i pro vývoj a vědu. Raspberry Pi 3 je zpětně kompatibilní s platformy stejné značky. Jádrem platformy je 1.2GHz 64-bit quad-core ARMv8 CPU, díky němuž je o 50% rychlejší než Raspberry Pi 2. Na platformě jsou zabudované, 4 USB porty, 1 GB RAM, 40 GPIO pinů, HDMI a Ethernet porty, místo pro mikro SD kartu. GPIO znamená, že si uživatel může libovolně volit, zdá chce, aby daný pin byl vstupní či výstupní. V oblasti bezdrátové komunikace nabízí BLE, bluetooth 4.1 a 802.11n wireless LAN.



Obrázek 3.3.1 Raspberry Pi 3
(z: <https://www.raspberrypi.org/magpi/pi-3-interview/>)

3.3.2. Raspberry Pi rozšíření

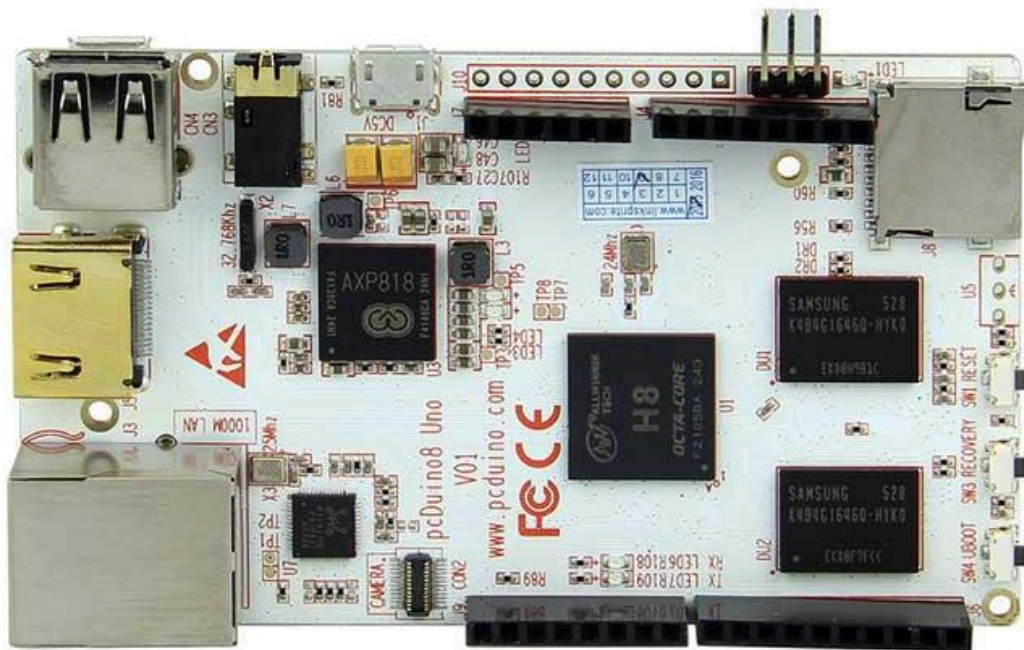
Raspberry Pi má obrovskou komunitu, a tak tu lze najít i velké množství rozšíření, navíc jsou nové platformy zpětně kompatibilní. Jedno z překvapujících věcí je, že jsou kompatibilní i se shieldy od Arduina.

3.4. pcDuino

Je vesměs podobný jako Raspberry Pi, akorát s větším výkonem a cenou. Platforma operuje na systému Linux, Android nebo Ubuntu a je softwarově i hardwarově open source. PcDuino je známý tím, že má kompatibilní piny s Arduinem.

3.4.1. pcDuino8 Uno

PcDuino8 Uno [11] (obr. 3.4.1) vypadá tvarově jako Arduino Uno, se stejným rozmístěním pinů, a je kompatibilní se shiedly této platformy. Připojení zajišťuje USB 2.0, 2x mikro USB a Ethernet port. Procesorem platformy je 2.0 Ghz AllWinner H8 8-Core Cortex-A7 a běží na 5 V. Na platformě najdeme 14 GPIO a 6 analogových pinů, místo pro paměťovou kartu.



Obrázek 3.4.1 pcDuino8 Uno

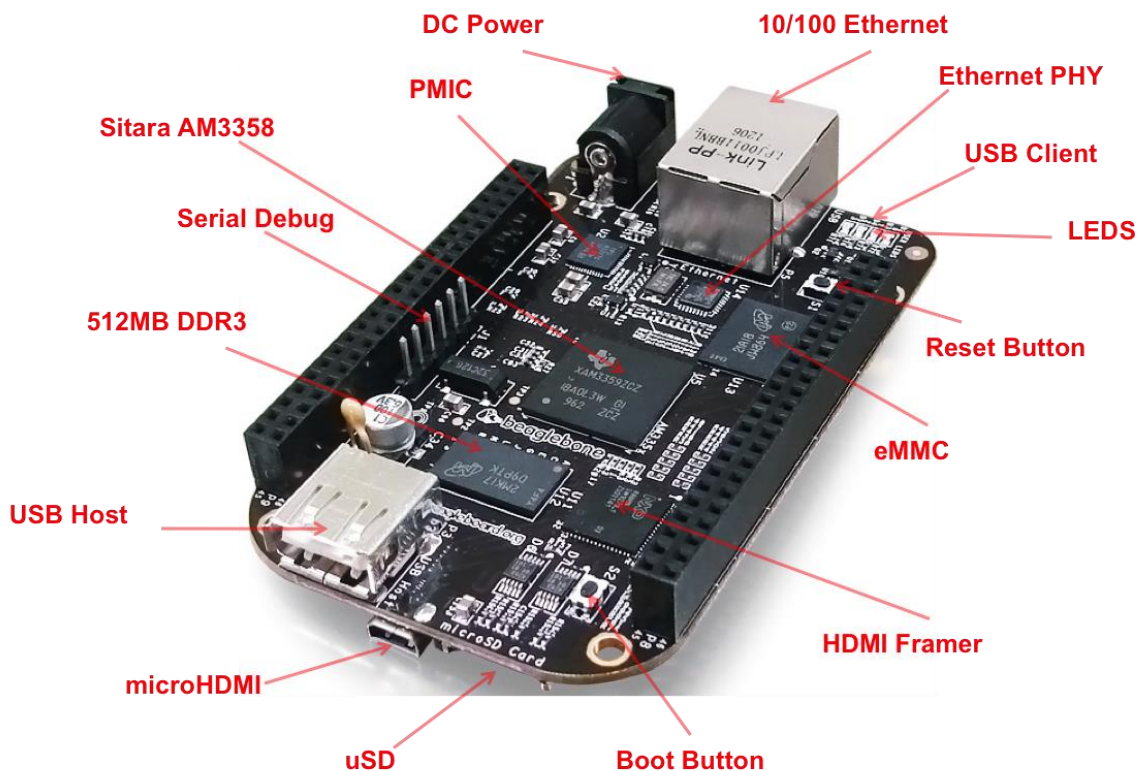
(z: <http://www.dx.com/p/pcduino8-uno-allwinner-h8-8-core-cortex-a7-development-board-416656#.V6TV3riLTIU>)

3.5. BeagleBoard

Beagleboard [12] platformy jsou výtvořem od neziskové společnosti BeagleBoard.org Foundation, vyráběné ve firmě Texas Instruments. Jejich platformy podporují open source hardware a software. Beagleboard platformy se dají aplikovat jako nízkonákladový Linux počítač, herní konzole, robotika a mnoho další. Vývojové prostředí Beagleboardu je BoneScript library, který používá jazyk node.js a vychází z programovacího prostředí Arduina a webu.

3.5.1. BeagleBone Black

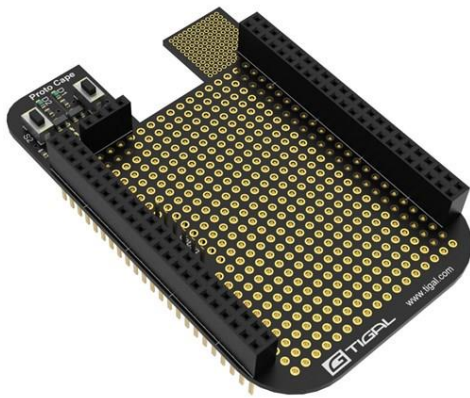
Beaglebone black [13] (obr. 3.5.1) je nízkonákladová vývojová platforma pro vývojáře a kutily. Procesorem je 1GHz ARM Cortex-A8. Obsahuje HDMI, Ethernet, 2 USB porty, místo ke vložení SD karty a 2x 46 pinů. Zajímavé jsou 2x 32-bit PRU (programmable real-time units), které slouží ke kontrole reálného času a dokáže dosáhnout frekvenci až 200 MHz. Softwarově je kompatibilní například s Debianem, Androidem nebo Ubuntuem.



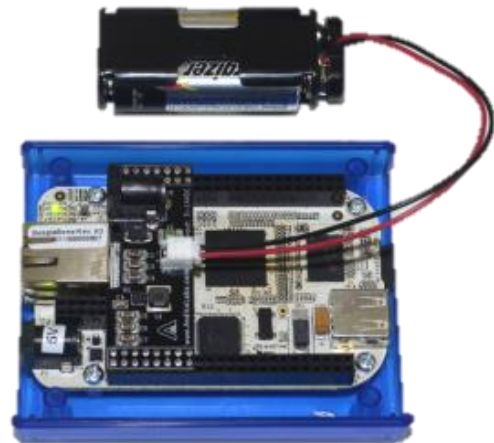
Obrázek 3.5.1 BeagleBone Black
(z <http://beagleboard.org/Support/bone101>)

3.5.2. BeagleBoard cape

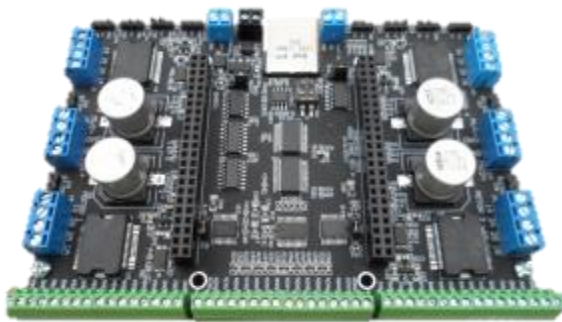
Cape [14] je označení pro rozšířené platformy, které jsou kompatibilní s Beagleboardy. Tento název vznikl z prostého důvodu, že jejich tvary zdánlivě připomínají pláště. Existuje už přes 80 druhů capů vytvořené komunitou BeagleBoard.org, mezi níž můžeme vyhledat capy na prototypování (obr. 3.5.3), k napájení (obr. 3.5.2) a řízení motorů (obr. 3.5.5), nebo jako LCD displej. Jsou tu i neobvyklé capy, které poskytují například informace o počasí (obr. 3.5.4).



Obrázek 3.5.3 ProtoCape
(z: http://elinux.org/Tigal:BeagleBone_ProtoCape)



Obrázek 3.5.2 Power Bar
(z: <http://elinux.org/AndiceLabs:PowerBar>)



Obrázek 3.5.5 Robo Cape
(z: http://elinux.org/Embedded_Toys_Robo_Cape)



Obrázek 3.5.4 Weather Cape
(z: http://elinux.org/CircuitCo:BeagleBone_Weather)

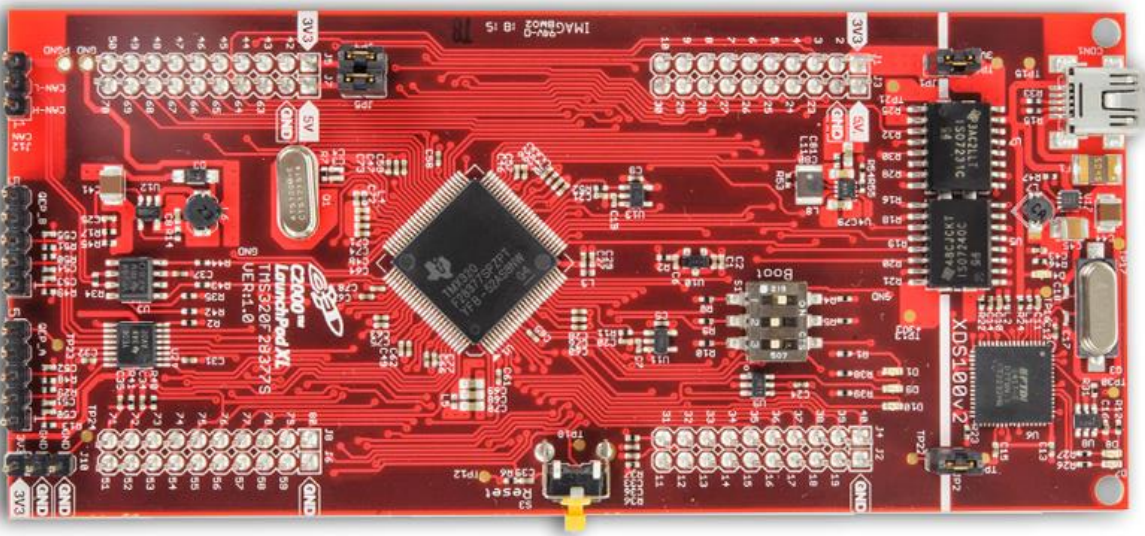
3.6. Texas Instruments

Historie [15] této společnosti začala v roce 1930, kde se věnovala těžbě ropy a zemního plynu. V roce 1954 společnost vynalezla křemíkový tranzistor a tím se dostala do dráhy polovodičového průmyslu. Od roku 2000 rozšířila svá zaměření o analogová a vestavěná procesní technologie.

TI nabízí především 3 vývojové prostředí [16] k programování platform: Energia, CCS Cloud a Code Composer Studio. Energia je založena na populárním Processing IDE, obsahuje velké množství intuitivních API od Wiring a také lze použít jazyk C. CCS Cloud umožňuje úpravu a kompilaci kódu v internetovém prohlížeči. Code Composer Studio je založena na Eclipse a je navržena pro profesionální využití.

3.6.1. C2000 LAUNCHXL-F28377S

Platformy třídy C2000 [17] jsou nadesignované k real-time řízení a LAUNCHXL-F28377S (obr. 3.6.1) je z nich nejvýkonnější. Procesor běží na frekvenci 200 MHz. Na platformě se nachází 2x 40 pinů, které slouží k zapojení BoosterPacku, dále obsahuje UART, SPI, I²C a McBSP pro seriálovou komunikaci.



Obrázek 3.6.1 Platforma LAUNCHXL-F28377S
(z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-c2000.html#tabs>)

3.6.2. BoosterPack

Takto se nazývají rozšíření [18] pro TI platformy. Jdou stejně naskládat na sebe jako shiely od Arduina. Objevují se ve variantě po 20 nebo 40 pinech. BoosterPacksy jsou vyrobené přímo od TI, jsou pak i platformy z jiné firmy nebo od komunit. Nachází se tu taktéž velké množství rozšíření s různou funkcí. Může být využito jako LCD displej, k nabíjení, řízení motoru (obr. 3.6.3), připojení k Wi-Fi (obr. 3.6.2) a další.



Obrázek 3.6.2 Wi-Fi BoosterPack
(z: <http://www.ti.com/tool>)



Obrázek 3.6.3 Motor Drive BoosterPack
(z: <https://store.ti.com/boostxl-drv8301.aspx>)

3.7. Loki

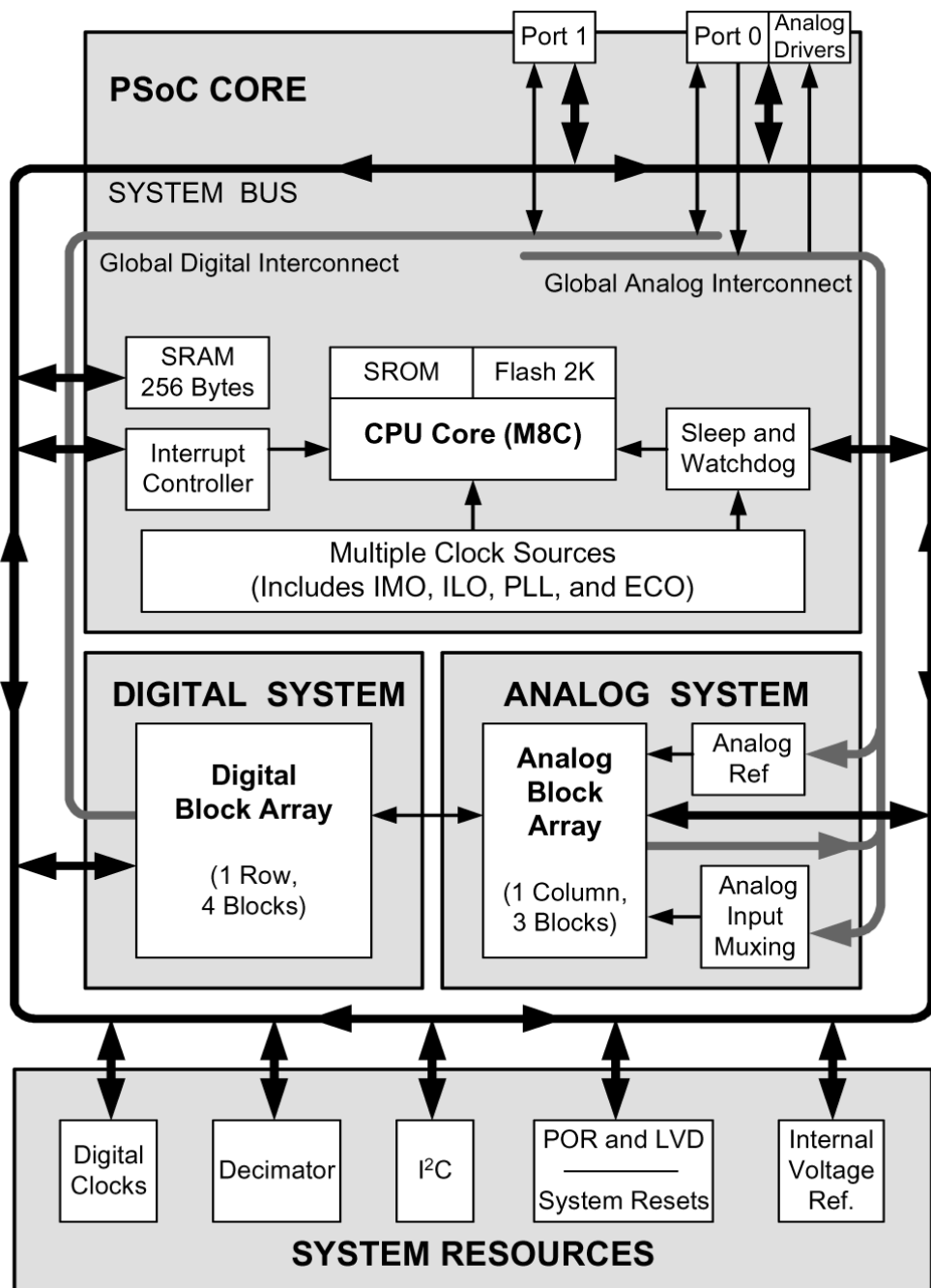
Loki [19] (obr. 3.7.1.) je vývojová platforma založena PSoC 5 procesoru. Obsahuje flexibilní programovací systém od PSoC a designově je kompatibilní se shiely od Arduina. Podrobný popis systému a prostředí PSoC Creator je v následující kapitole. Tato platforma je ještě ve vývoji.



Obrázek 3.7.1 Loki platforma
(z: <http://www.arachnidlabs.com/loki/>)

4 PSoC od Cypress

Společnost Cypress [20] byla založena v roce 1982 a je světovou jedničkou v oblasti kapacitních senzorů. PSoC znamená programovatelný systém v čipu, jeho obvod kombinuje osmibitový procesor s obvodem FPGA. Jeho architektura je poskládaná z programovatelných analogových a digitálních bloků, CPU subsystému a programovatelného obvodu. Blokové schéma pro PSoC je na obrázku 4.0.1.



Obrázek 4.0.1 Blokové schéma obvodu PSoC
(z: http://fl.hw.cz/new_comp/cypress/blok_celk.gif)

Programovatelný obvod umožní uživateli přesměrovat signály do volitelných pinů. Navíc, globální busy umožňují multiplexování signálů a logické operace, což eliminuje potřebu konstrukce digitálních logických hradel.

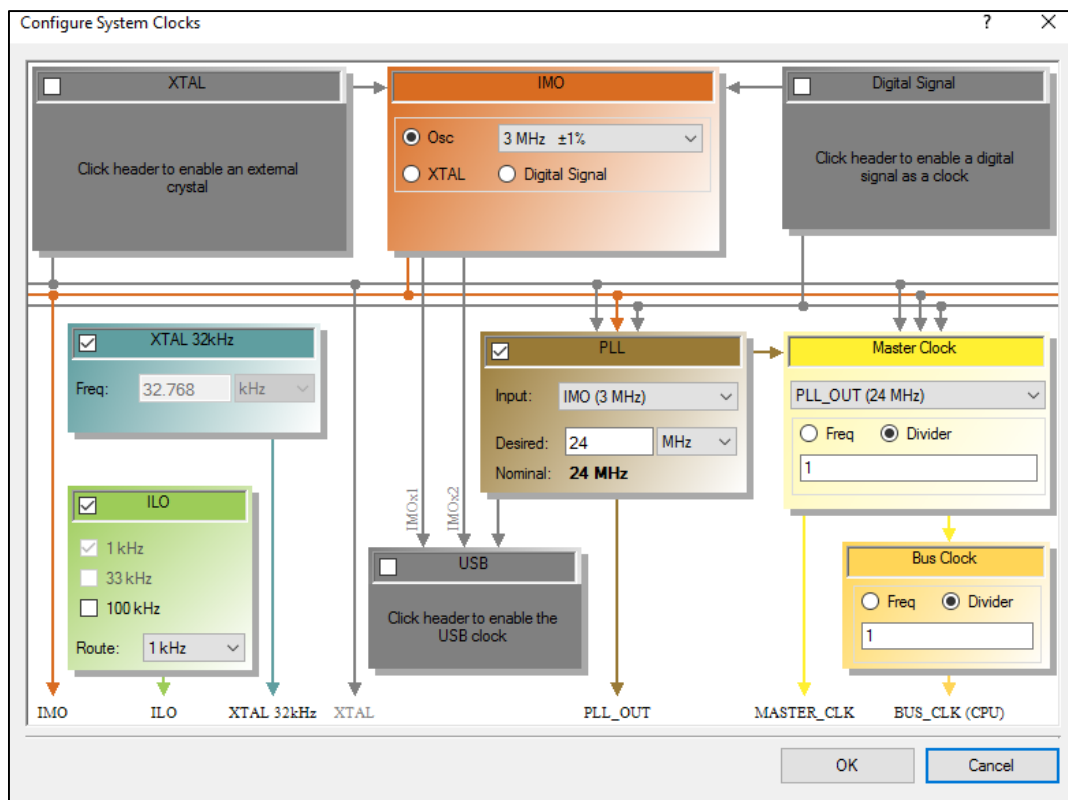
Analogové bloky slouží ke zpracování analogových signálů, přitom není potřeba téměř žádných externích součástek. Analogové bloky jsou založeny na obvodovém zapojení obsahující jeden operační zesilovač (OZ) obklopený různými součástkami připojovanými k OZ přes programovatelné spínače. OZ se dělí na *Continuous Time Blocks* a *Switched Capacitor Blocks*, obsahují filtry, AD a DA převodníky, komparátory, zesilovače, umožňující komplexní design analogových signálů. Ve vývojovém prostředí jsou předefinované moduly s předem nastavenými vnitřními bloky registrů.

Digitální bloky provádějí logické a aritmetické výpočty. Představují sady registrů, ve kterých se volí funkce bloku. Každý digitální blok je 8-bitový, jejichž sdružením lze vytvořit až 32-bitovou funkci. Bloky poskytují funkce časovače, čítače, PWM, sériové vysílače a přijímače, UART, SPI, I²C, IrDA nebo složitějších funkce jako CRC/PRS generátor, řízení LCDI. Bloky jsou uspořádány do více řad po čtyřech.

Zajímavé je také vývojové prostředí PSoC Creator, které umožňuje tvorbu a použití vnitřních bloků pomocí předdefinovaných knihoven. Software pracuje na "klikacím grafickém rozhraní", stačí vložit z knihovny obrázky bloků s předem danými funkcemi, propojit do obvodu a nadefinovat vstupní a výstupní piny součástky. Lze exportovat do prostředí Eclipse, μ Vision a IAR systems. Prostředí PSoC lze rozdělit na 3 hlavní části: soubor s příponou *cydwr* (Cypress design-wide resources) a soubory *main.c* a *TopDesign.cysch* (Cypress schematic).

V souboru *TopDesign.cysch* (obr. 4.1.5) lze najít dříve zmíněné digitální a analogové bloky. U některých bloků je třeba zapojit vstupní/výstupní piny a frekvence. Lze též přidat do schématu popisky bloků a schematické značky vnějšího hardwaru. Je to místo k sestavení potřebného obvodu.

Soubor s příponou *.cydwr* (obr. 4.1.6) obsahuje schéma celé platformy, interrupty, EEPROM. Tady najdeme systém platformy, které umožňuje programování, upravování stavu k operaci platformy a různé další konfigurace. Pro uživatele jsou nejdůležitější věci v tomto souboru místo k nadefinování pinů a frekvence komponentů. IMO jsou hodiny, které jsou zdrojem frekvence celé platformy. Tyto frekvence jsou předem upravené v továrně na určitou hodnotu. (Pro PSoC 3 a 5 jsou frekvence těchto hodin: 3, 6, 12, 24, 48, 62 a 74 MHz.) Může brát i frekvence z externích hodin nebo z vnějšího digitálního signálu. PPL hodiny umožňují uživateli vytvářet frekvenční signály, které jsou podílem frekvenčních hodin v systému. Nastavení těchto hodin lze vidět na obrázku 4.0.2.



Obrázek 4.0.2 Konfigurace systému pro frekvenční hodiny

Soubor *main.c* je hlavním místem k programování platformy. Zde můžeme říct, co od platformy očekáváme. Třeba jak chceme řídit motor, při jaké podmínce zachytit data nebo jak rychle blikat LED diodu. Na začátku je třeba napsat podmínku ke startu bloků, pokud se vyskytnou v schématu. Vlastnosti a funkce bloků se dá najít v datasheetu daného bloku. Ostatní aplikace k tomu, aby bloky správně fungovaly, dokáže vygenerovat PsoC Creator.

Společnost Cypress nabízí dodatečné sekundární softwary *Bridge Control Panel* a *Clock Programmer*. K použití programu *Bridge Control Panel* je třeba si zakoupit navíc CY8CKIT-002 PSoC® MiniProg3 kit (obr. 4.0.3), který dokáže komunikovat s počítačem pomocí protokolu I²C nebo SPI. Pomocí programu pak lze řídit platformu nebo číst data a z dat vykreslit různé grafy. Hlavní výhodou spočívá v jednoduchém použití programu bez komplikovaných kódů, jelikož tyto kódy jsou obsažené už v MiniProg3.

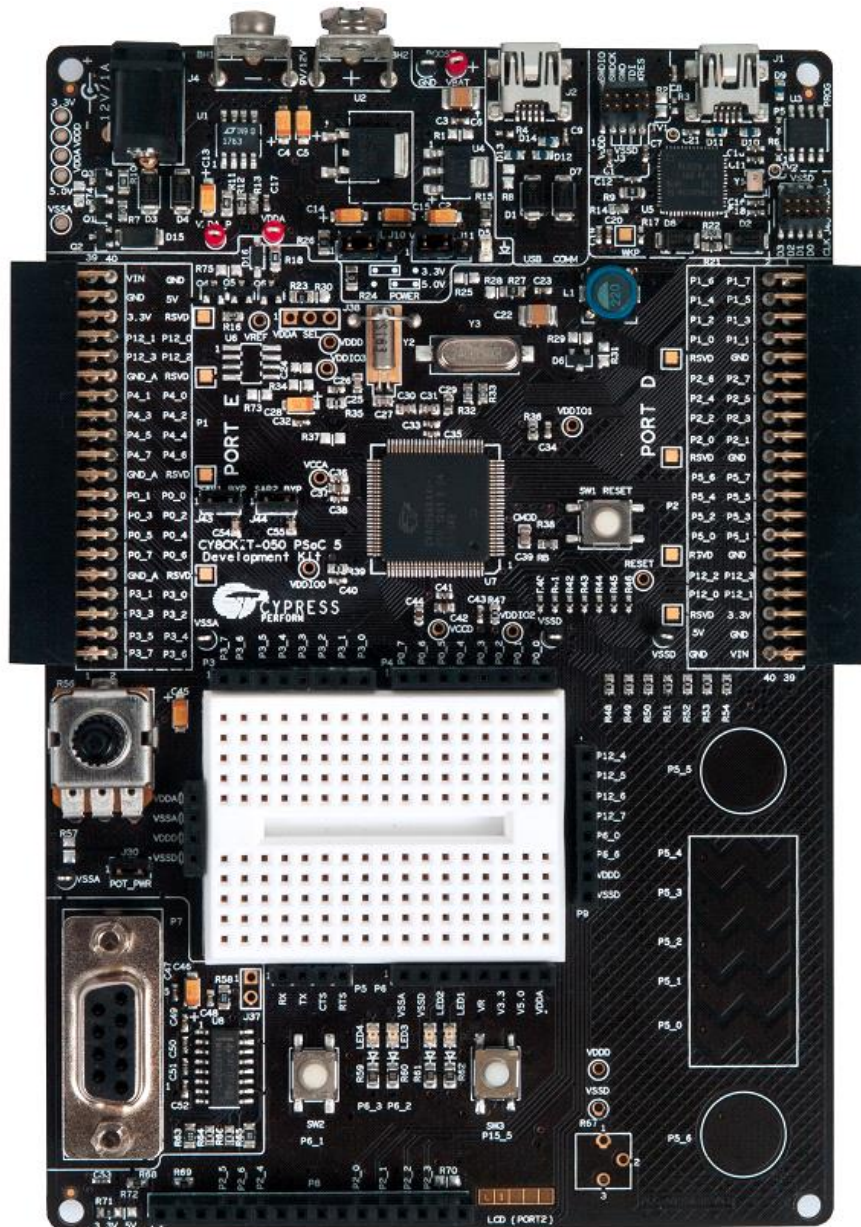


Obrázek 4.0.3 MiniProg3 kit

(z: <http://www.digikey.com/catalog/en/partgroup/psoc-miniprog3-programmer-debugger-cy8ckit-002/20080>)

4.1. CY8CKIT-050 vývojový kit

K dispozici jsem dostal kit CY8CKIT-050 (obr. 4.1.0), který patří do rodiny PSoC 5LP. Na desce se dá najít přes 80 pinů, na většině z nich lze volně programovat, pak jsou piny pro UART, SPI, I²C, výstupy s napětím 5 V a uzemnění. Dále jsou tu 2 externí krystaly s frekvencí 24 MHz a 32 kHz, capsense, potenciometr, piny pro LCD rozhraní a plocha k prototypování. K programování pak slouží mini USB port blíže k okraji, druhý USB je určen ke čtení dat, nebo lze data posílat přes RS-232 rozhraní. Platforma funguje na 3,3 V nebo 5 V, které se dá jednoduše nastavit prohozením 2 pinů.

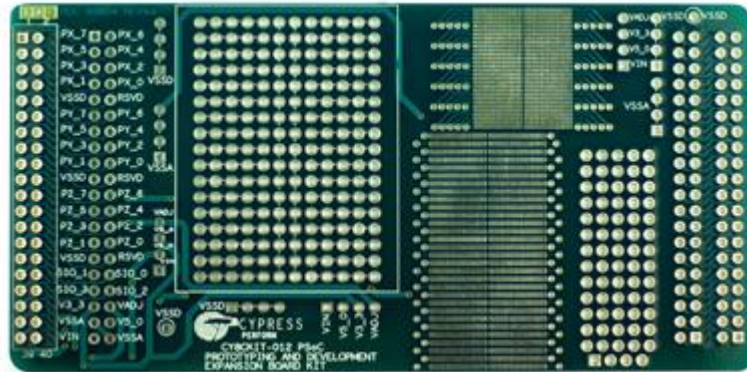


Obrázek 4.1.0 CY8CKIT-50 PSoC 5LP

(z: <https://github.com/RIOT-OS/RIOT/wiki/Board:-CY8CKIT-050-PSoC%C2%AE-5LP>)

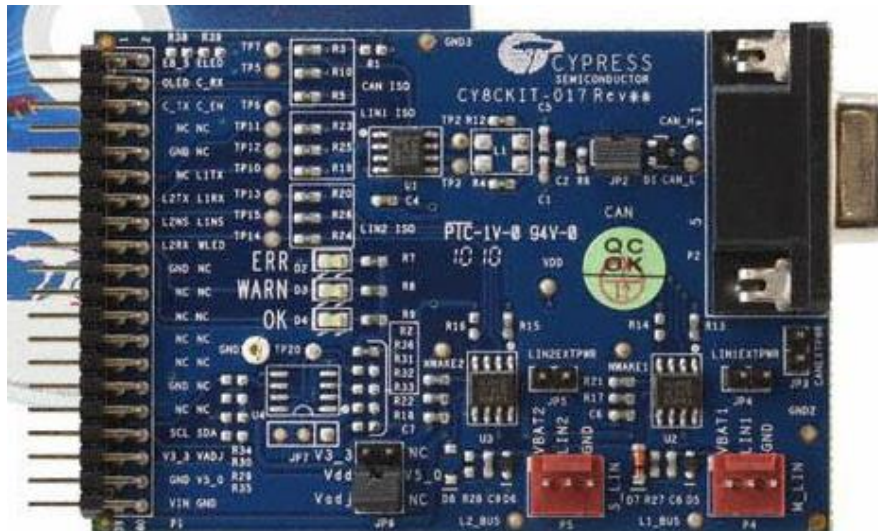
4.1.1. Rozšíření

- CY8CKIT-012 kit [21]
 - tato platforma (obr. 4.1.1) slouží k prototypování a vyvíjení obvodu
 - obsahuje desky s plošnými spoji, prototypovací plocha s průchozím otvorem, povrchové úchyty, desky připravené pro trvalé zapájení obvodů



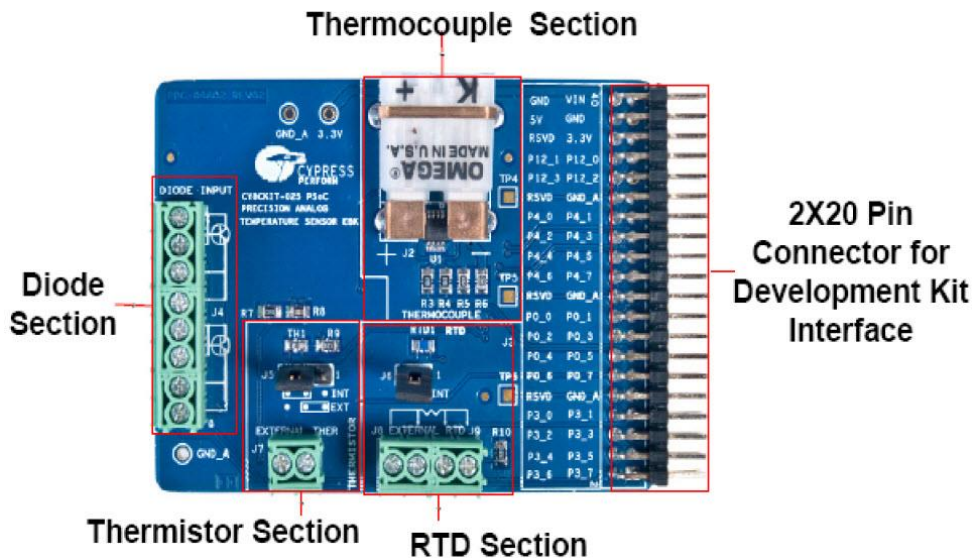
Obrázek 4.1.1 Prototypovací kit
(z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-012-psoc-prototyping-and-development-expansion-board>)

- CY8CKIT-017 kit [22] (obr. 4.1.2)
 - slouží jako prostředek ke komunikaci přes CAN nebo LIN



Obrázek 4.1.2 CAN/LIN kit
(z: <http://www.digikey.com/product-detail/en/cypress-semiconductor-corp/CY8CKIT-017/428-3108-ND/2658807>)

- CY8CKIT-025 kit [23]
 - tento kit (obr. 4.1.3) obsahuje různé senzory k přesnému měření teploty
 - druhy senzorů: odporová teplotní sonda (RTD), PT100, třída B
Termoelektrický článek typu K
NTC termistor
2 teplotní diody (2N3904 tranzistory)
Snímač teploty DS600 IC



Obrázek 4.1.3 Kit s teplotní senzory

(z: <http://www.cypress.com/blog/psoc-creator-news-and-information/cy8ckit-025-diode-temperature-measurement>)

- CY8CKIT-031 kit [24] (obr. 4.1.4)
 - obsahuje 2 platformy s různým typem capsense senzorů a 1 platformu k připojení

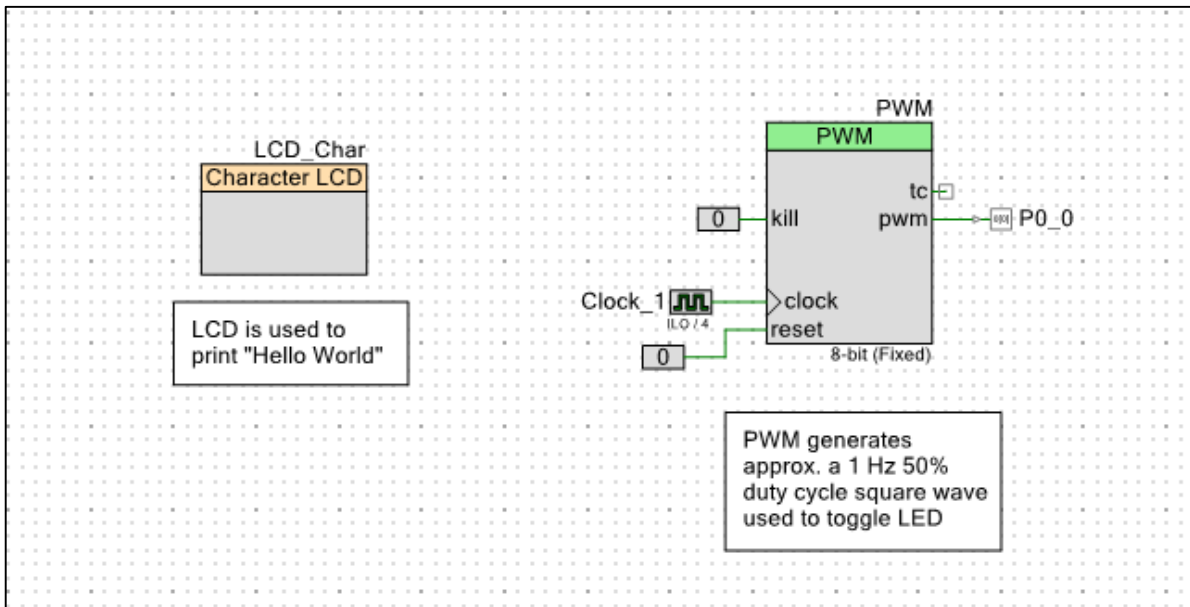


Obrázek 4.1.4 Capsense kit

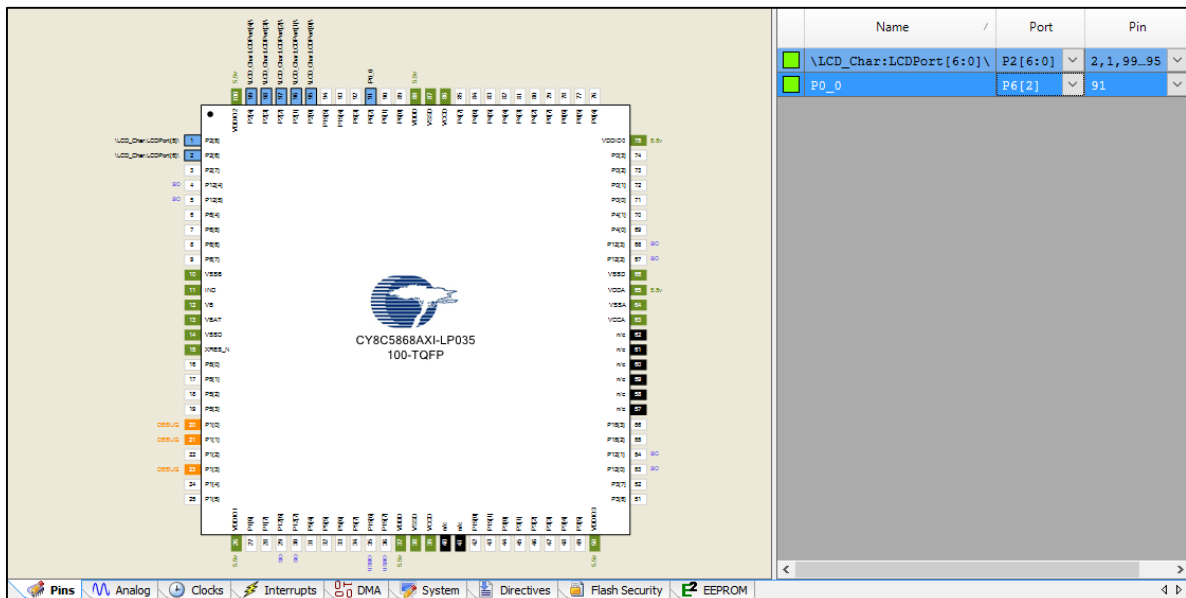
(z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-031-psoc-capsense-expansion-board-kit>)

4.1.2. Hello World Blinky

Tento příklad ukazuje na to, jak sestavit program na blikání LED zabudované na platformě dvěma odlišnými způsoby. První způsob zajišťuje PWM blok, který bliká LED pomocí pulsního signálu. Rychlost blikání světla zařizují frekvenční hodiny. Schéma bloku a umístění pinů je na obrázku 4.1.5 a 4.1.6.



Obrázek 4.1.5 TopDesign.cysch



Obrázek 4.1.6 Umístění pinů

K tomu, aby program fungoval, je ještě třeba napsat tento kód do souboru main.c:

```
#include <device.h>

int main()
{
    /* Start LCD and PWM */
    LCD_Char_Start();
    PWM_Start();

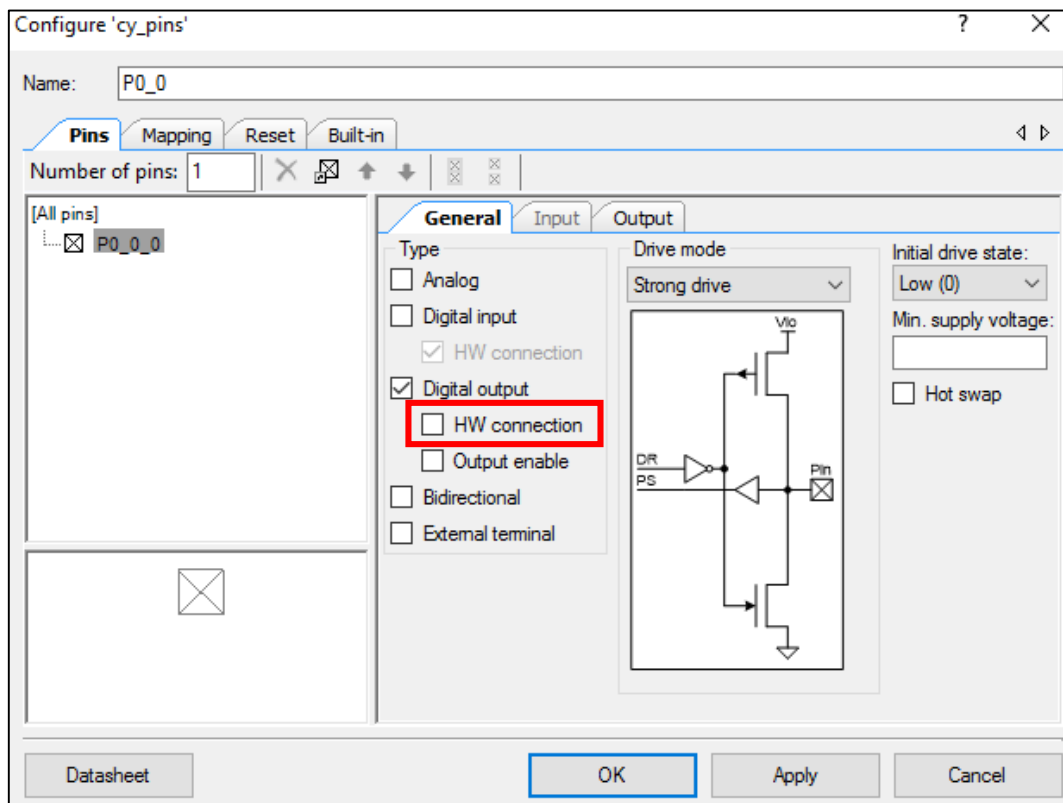
    /* Print Hello World on LCD */
    LCD_Char_PrintString("Hello World");

    /* Loop forever */
    for(;;)
    {
    }
}
```

Pro druhý způsob stačí stáhnout pouze pin z katalogu. V konfiguraci pinu se musí ještě zaškrtnout pole HW connection (obr. 4.1.7). Umístění pinů zůstává stejné. V souboru main.c je třeba vložit do příkazu `for (;;)` kód:

```
{
P0_0_Write(~ P0_0_Read() );
CyDelay(500);
}
```

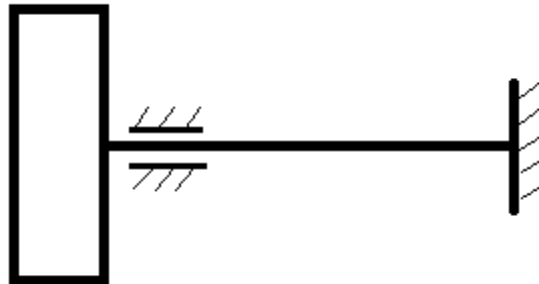
Příkaz *Write* vypíše hodnotu pinu, příkaz *Read* slouží ke čtení hodnoty pinu, příkaz *CyDelay* (500) zdrží předchozí příkazy po dobu 500 milisekund.



Obrázek 4.1.7 Konfigurace pinu

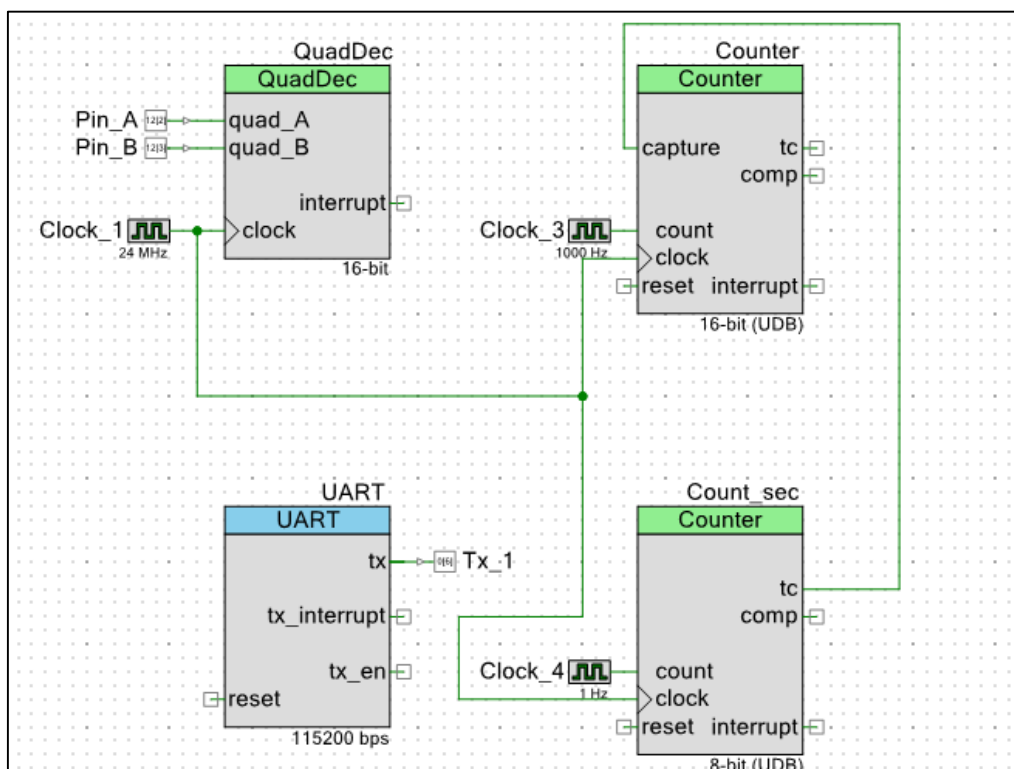
5 Experiment

Experiment vypadá následovně, na přístroji v podobě kotouče spojené s ocelovou tyčkou (obr. 5.0.1) vetknutou ke konci vybudím systém a pomocí inkrementálního enkodéru naměřím úhly kotouče. Naměřená data jsem poslal prostřednictvím UART do terminálu v počítači a z dat jsem vykreslil graf. Použil jsem program hercules.exe k načtení a uložení dat.



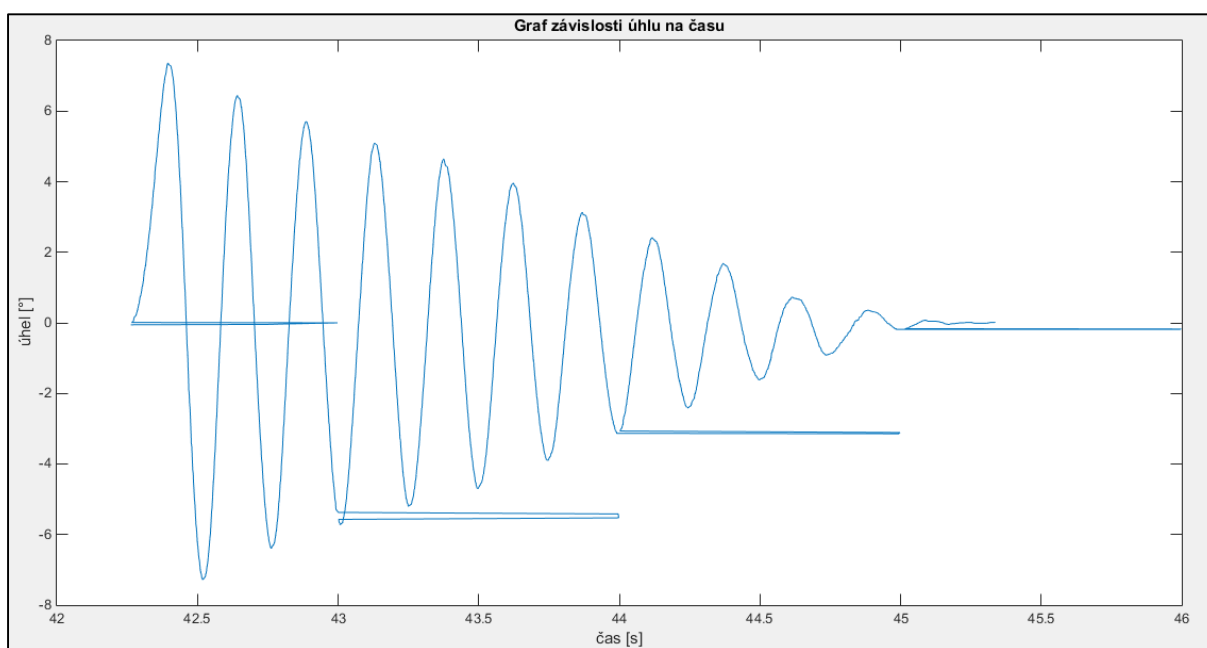
Obrázek 5.0.1 Schéma přístroje

Nejprve jsem vytvořil program v prostředí PsoC Creator. V souboru TopDesign.cysch (obr. 5.0.2) jsem stáhl 4 UDB bloky. První blok je UART, sloužící k přenosu dat přes RS-232 rozhraní. Dalším blokem je Quadrature Decoder, vytvořeny k přijímání dat z enkodéru. Zbývající bloky jsou čítače, které jsem použil k počítání sekund a milisekund. Vstupní piny jsou 4, 2 k přenosu dat z enkodéru do platformy, zbylé 2 jsou 5 V a uzemnění. K odeslání dat do počítače je třeba zapojit pin Tx se zvoleným výstupním pinem.



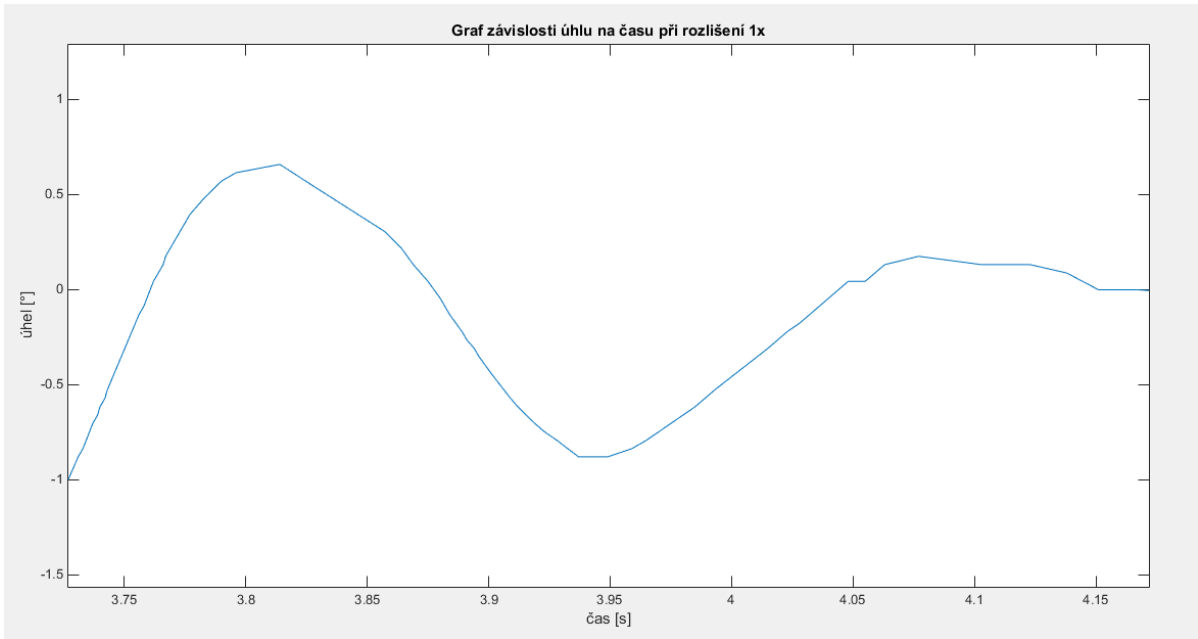
Obrázek 5.0.2 TopDesign.cysch pro měření dat

Blok Quadrature Decoder jsem zvolil 16-bitový, takže může počítat od -32768 do $+32767$ inkrementů. Pro sekundový čítač jsem použil 8-bitový blok, který počítá od 0 do 59. K počítání milisekund jsem musel použít 16-bitový blok, jehož počet je od 0 do 999. K čítači, který je použit k počítání sekund, jsem připojil hodiny s frekvencí 1 Hz, tyto hodiny berou frekvence z externího krystalu se 32,768 kHz. K počtu milisekund je třeba frekvence 1 kHz, jehož zdroj jsem nechal automaticky vybrat. Nakonec jsem připojil busové hodiny s frekvencí 24 MHz k čítačům a Quadrature Decoder. Pro UART je nastavena baud rate 115200 bitů za sekundu. Pro UART je požadována frekvence 921,6 kHz, ale nejbližší frekvence, které nabízí platforma, je 923,077 kHz. Kvůli tomu se liší časy pro sekundy a milisekundy (obr. 5.0.3). Proto jsem musel použít funkci *capture* pro milisekundový čítač, který resetuje čítač pokaždé, když dosáhne sekundový čítač nové sekundy.

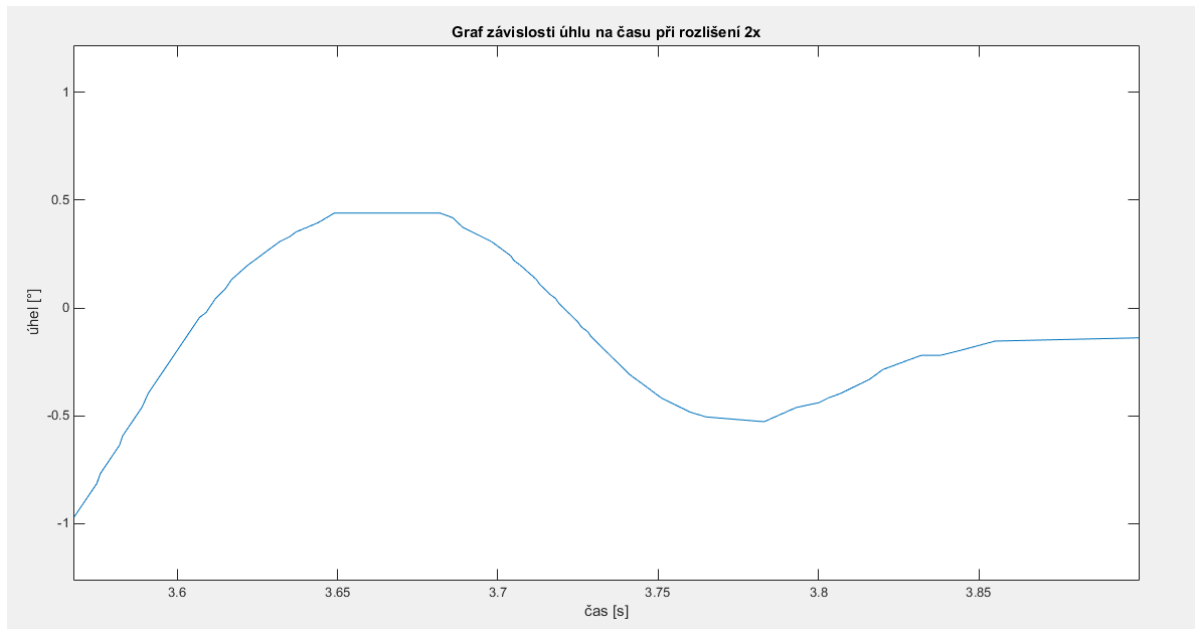


Obrázek 5.0.3 Odlišné časy

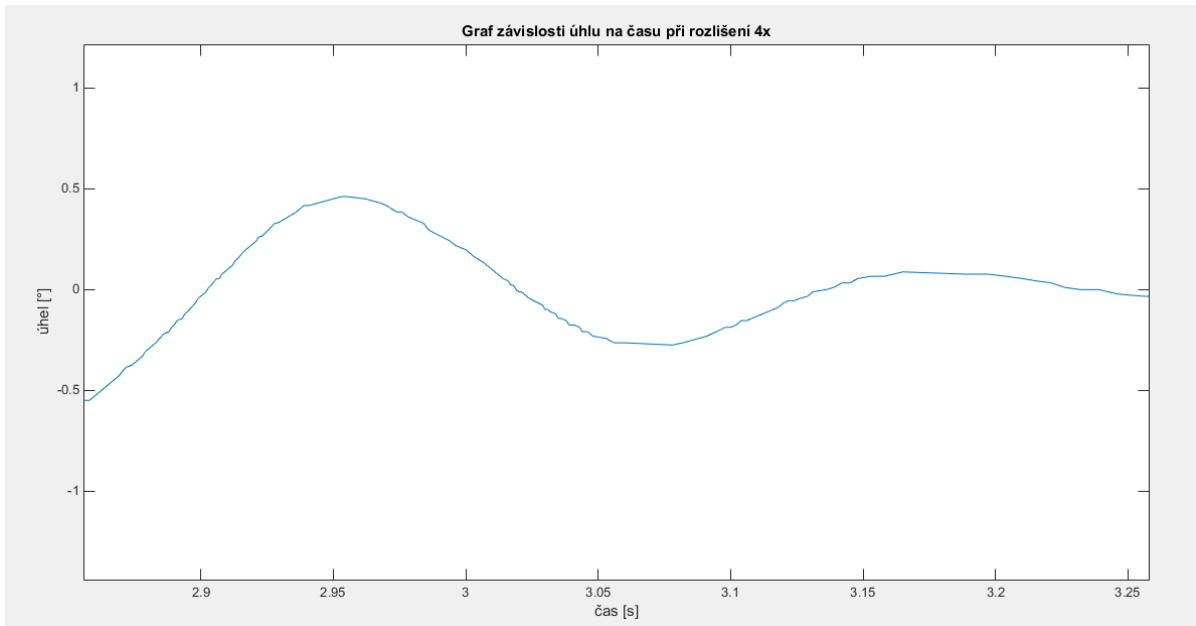
Blok Quadrature Decoder nabízí možnost zachytit data při rozlišení 1x, 2x a 4x. To znamená, že při rozlišení 1x se načte 1 puls pro každou otáčku enkodéru a při rozlišení 4x se načtou 4 pulsy pro každou otáčku enkodéru. Rozdíly při různém rozlišení lze vidět na obrázku 5.0.4 a), 5.0.4 b) a 5.0.4 c).



Obrázek 5.0.4 a) Rozlišení 1x



Obrázek 5.0.4 b) Rozlišení 2x



Obrázek 5.0.4 c) Rozlišení 4x

Načtená data jsem nechal vykreslit v Matlabu a z grafu jsem odečetl úhly a čas. K ověření správnosti naměřených dat jsem musel najít frekvenci soustavy. Ocelová tyč má délku $l = 0,87$ m a průměr $d = 0,006$ m. Hliníkový kotouč má průměr $d_k = 0,19$ m, tloušťku $h = 0,04$ m a hustotu $\rho_{Al} = 2700$ kg/m³. Rovnice volného kmitání tlumené soustavy (1) obsahuje 3 neznámé: moment setrvačnosti I , torzní tuhost k a tlumení b .

$$\ddot{\varphi} + \frac{b}{I}\dot{\varphi} + \frac{k}{I}\varphi = 0 \quad (1)$$

Pro výpočet I kotouče jsem našel vztah pro výpočet momentu setrvačnosti válce (2). Hmotnost m jsem zjistil vynásobením objemu a hustoty kotouče (3).

$$I = \frac{1}{2} \frac{m}{r^2} \quad (2)$$

$$m_k = \rho_{Al} \cdot V = \rho_{Al} \cdot \frac{\pi d_k^2}{4} \cdot h \quad (3)$$

Tuhost k_t tyče jsem našel pomocí vztahu (4), kde J_p je polární kvadratický moment kruhového průřezu tyče (5). Zvolil jsem modul pružnosti ve smyku $G = 65$ GPa, protože si myslím, že ocelová tyč není tak kvalitní.

$$k_t = \frac{GJ_p}{l} \quad (4)$$

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} \quad (5)$$

K zjištění neznámé b (6) jsem musel nalézt poměrný útlum b_r . Vlastní frekvence soustavy Ω (7) jsem našel pomocí rovnice kmitání soustavy (1).

$$\frac{b}{I} = 2b_r\Omega \quad (6)$$

$$\Omega^2 = \frac{k_t}{I} \quad (7)$$

Hodnotu b_r jsem našel v rovnici o logaritmickém dekrementu (8), kde T_b je perioda tlumeného kmitání, n je přirozené číslo výchylky v čase, které se liší o několik period.

$$\frac{\varphi(t)}{\varphi(t+nT_b)} = e^{b_r \Omega n T_b} \quad (8)$$

Potom jsem spočítal vlastní frekvenci tlumeného kmitu Ω_b (9).

$$\Omega_b = \Omega \sqrt{1 - b_r^2} \quad (9)$$

Rovnice tlumeného kmitání tlumené soustavy (1) má pouze homogenní řešení

$$\varphi(t) = e^{-b_r \Omega t} (A \cos \Omega_b t + B \sin \Omega_b t) \quad (10)$$

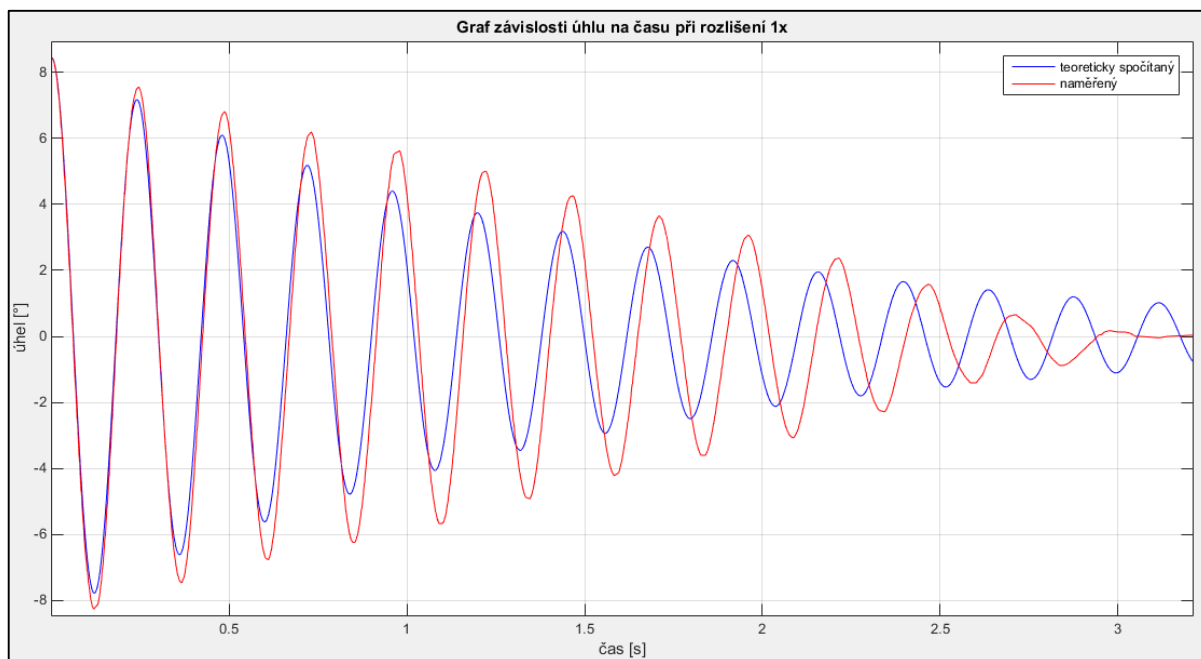
Průběh rychlosti se dá zjistit derivací homogenního řešení (10) podle času

$$\dot{\varphi}(t) = e^{-b_r \Omega t} [(-Ab_r \Omega + B \Omega_b) \cos \Omega_b t - (Bb_r \Omega + A \Omega_b) \sin \Omega_b t] \quad (11)$$

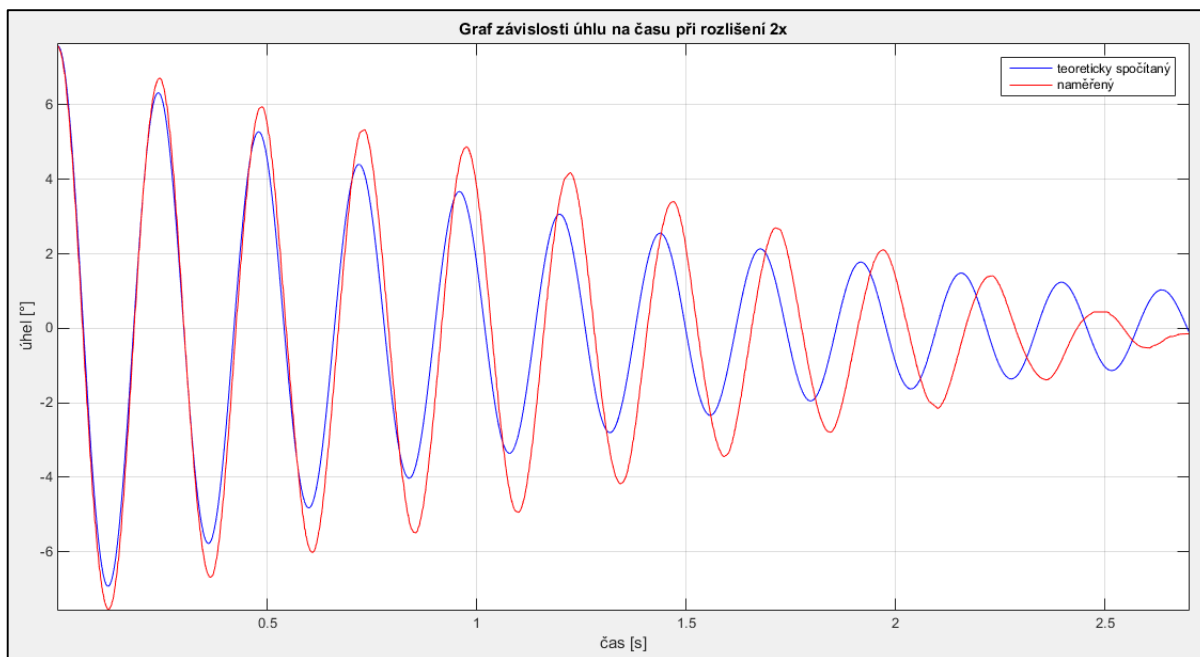
Konstanty A a B jsem zjistil dosazením počátečních podmínek do (10) a (11). Počáteční úhel φ_0 jsem zvolil v místě amplitudy kmitu, a tudíž je počáteční úhlová rychlost $\omega_0 = 0$.

$$\varphi_0 = A, \quad \omega_0 = -Ab_r \Omega + B \Omega_b \quad (12)$$

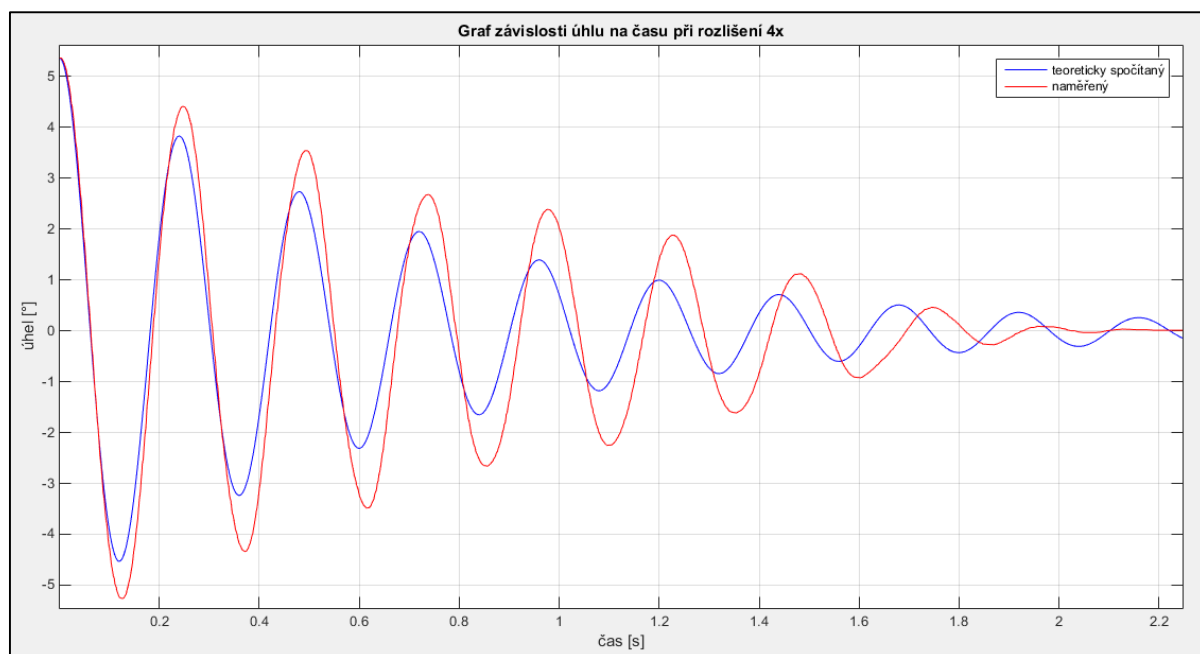
V experimentu jsem soustavu postupně měřil s rozlišením 1x, 2x a 4x. V grafech jsem našel potřebné úhly φ_i a periodu T_b . Dosadil jsem potřebné hodnoty a nakonec jsem v grafu porovnával teoreticky spočítané hodnoty s naměřenými. Grafy s rozlišením 1x, 2x a 4x lze vidět na obrázcích 5.0.5 a), b) a c). Všechny dosazené hodnoty ve výpočtu se dá najít v příloze.



Obrázek 5.0.5 a) Graf závislosti úhlu na času s rozlišením 1x



Obrázek 5.0.5 b) Graf závislosti úhlu na času s rozlišením 2x



Obrázek 5.0.5 c) Graf závislosti úhlu na času s rozlišením 4x

6 Závěr

V řešební části byly uvedené některé druhy řídicích platforem. Arduino je průkopníkem ve světě nízkonákladových mikrokontrolérů, a tak se dá očekávat, že ze všech druhů platforem je nejvíce rozšířené a nejpoblárnější. Je vhodná pro začátečníky, protože se snadno používá a lze nalézt rozsáhlé množství dokumentací. Samostatná platforma bohužel nepodporuje realtime. Intel Galileo má výhodu v tom, že je kompatibilní s vývojovým prostředím Arduino IDE a může používat shiely od Una, přitom je ale mnohem výkonnější. Arduino Uno pracuje s frekvencí 16 MHz, zatímco Intel Galileo běží při frekvenci 400 MHz. Tato platforma také nemá podporu realtime. Platformy od TI jsou mikrokontroléry, které také předčí Arduina ve výkonech. Jejich vývojové prostředí Energia jsou podobné jako Arduino IDE, navíc se dá vybrat i jiné vývojové prostředí. Nemá tolik rozšířených platforem jako Arduino, zato platformy z třídy C2000 jsou nadesignované s podporou realtime. PSoC má též podporu realtime, navíc je ze všech uvedených mikrokontrolérů nejvýkonnější. Má unikátní vývojové prostředí, která je velmi flexibilní, bohužel ne tak vhodná pro začátečníky. Další nevýhodou je malé množství rozšíření platformy.

Platformy Raspberry Pi, pcDuino, BeagleBoard jsou mikropočítače [25], to znamená, že mohou běžet na některých operačních systémech, např. Linux, Windows. To znamená, že k programování mikrokontrolérů potřebujete počítač, k programování mikropočítače pouze terminál. Další výhodou je, že jsou mnohem výkonnější než mikrokontroléry. Raspberry Pi byli ti, kdo jako první přinesli do světa levné mikropočítače, proto je po Arduinu nejrozšířenějším platformou a těší se velké komunitě. Tvůrci této platformy kladou důraz na zpětnou kompatibilitu. To znamená, že veškeré produkty vytvořené pro Raspberry Pi jsou kompatibilní se všemi verzemi této platformy. PcDuino běží s frekvencí 2 GHz a je z uvedeného seznamu platforem nejvýkonnější. Je kompatibilní se shiely od Arduina, navíc distributori této platformy už napsali potřebné programy pro správnou funkčnost shieldů. BeagleBone Black, narozdíl od Raspberry Pi a PcDuina, má podporu realtime. Má také velké množství rozšíření a BeagleBoard komunita je určená pro vývojáře a hobbyisty. Arduino, Intel, TI, Raspberry Pi, BeagleBoard mají podporu od Matlabu.

Z porovnání naměřených a vypočtených výsledků (obr. 5.5 a), b), c)) lze vidět, že se kmity dosti shodují. Dá se tedy říct, že platforma je dostatečně výkonná pro daný experiment. Tím jsem splnil cíle v praktické části práce. Rozdíly v kmitočtu je způsobena nesprávným odhadem modulu pružnosti k výpočtu tuhosti k_t tyče. Dále nepřesným odhadem amplitudy úhlu k výpočtu konstant A, B a podílu amplitud k řešení poměrného útlumu b_r . To je způsobeno nedostatkem naměřených dat, který souvisel se sériovým přenosem dat z platformy do počítače. Sériové rozhraní RS-232 nebyl dostatečně rychlý na to, aby dokázal poslat všechna naměřená data. Tento kit ještě nabízí možnost posílání dat přes USBUART, ale načtená data na počítači byly o hodně horší, jelikož port USB a terminál nemají stejnou rychlost přenosu dat. Řešením by mohlo být přímý zápis dat do paměťové karty, rozšíření s takovou funkcí jsem bohužel nedokázal najít. Jiná možnost je použití Bridge Control Panel, software, který je specializován na spojení SPI a I²C. K jejímu použití je ale potřeba zapojit MiniProg 3, to jsem ale neměl k dispozici. Jisté ale je, že přenos dat přes spojení SPI nebo I²C je rychlejší než přes UART.

7 Použitá literatura

- [1] How Microcontrollers Work. *HowStuffWorks* [online]. 1. duben 2000 [vid. 2016-07-16]. Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com/microcontroller.htm>
- [2] První mikroprocesor vznikl jenom náhodou. *iQ Czech Republic* [online]. 4. září 2014 [vid. 2016-07-16]. Dostupné z: <https://iq.intel.cz/prvni-mikroprocesor-vznikl-jenom-nahodou/>
- [3] How Microprocessors Work. *HowStuffWorks* [online]. 1. duben 2000 [vid. 2016-07-17]. Dostupné z: <http://computer.howstuffworks.com/microprocessor.htm>
- [4] *Teach-ICT OCR A2 ICT G063 Syllabus: processing methods, batch processing, interactive processing, real-time processing* [online]. [vid. 2016-07-18]. Dostupné z: http://www.teach-ict.com/as_a2_ict_new/ocr/A2_G063/332_designing_systems/processing_methods/min_iweb/pg4.htm
- [5] JOHN. *Invention Story and History of Development of Arduino* [online]. [vid. 2016-07-18]. Dostupné z: <http://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>
- [6] *Arduino - Home* [online]. [vid. 2016-07-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [7] *Arduino Shields - learn.sparkfun.com* [online]. [vid. 2016-08-04]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arduino-shields>
- [8] Intel® Galileo Gen 2 Development Board. *Intel* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.intel.com/content/www/us/en/embedded/products/galileo/galileo-overview.html>
- [9] What is a Raspberry Pi? *Opensource.com* [online]. [vid. 2016-07-23]. Dostupné z: <https://opensource.com/resources/what-raspberry-pi>
- [10] The New Raspberry Pi 3 — With Wi-Fi and Bluetooth | *Make: Make: DIY Projects and Ideas for Makers* [online]. 28. únor 2016 [vid. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://makezine.com/2016/02/28/meet-the-new-raspberry-pi-3/>
- [11] *Announcing pcDuino8 Uno! - LinkSprite* [online]. [vid. 2016-08-04]. Dostupné z: <http://www.linksprite.com/announcing-pcduino8-uno/>
- [12] *BeagleBoard.org - about* [online]. [vid. 2016-08-03]. Dostupné z: <http://beagleboard.org/about>
- [13] *BeagleBoard.org - black* [online]. [vid. 2016-08-03]. Dostupné z: <http://beagleboard.org/black>
- [14] *BeagleBoard.org - cape* [online]. [vid. 2016-08-03]. Dostupné z: <http://beagleboard.org/cape>

- [15] *About TI – History – TI.com* [online]. [vid. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/corp/docs/company/history.html>
- [16] *TI LaunchPad - Software* [online]. [vid. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/software.html>
- [17] *C2000 LaunchPad kits* [online]. [vid. 2016-08-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-c2000.html#tabs>
- [18] *TI LaunchPad - BoosterPacks* [online]. [vid. 2016-08-14]. Dostupné z: <http://www.ti.com/ww/en/launchpad/boosterpacks.html>
- [19] *Arachnid Labs* [online]. [vid. 2016-08-15]. Dostupné z: <http://www.arachnidlabs.com/loki/>
- [20] *About Cypress / Cypress* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/about-cypress>
- [21] *CY8CKIT-012 PSoC® Prototyping and Development Expansion Board Kit | Cypress* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-012-psoc-prototyping-and-development-expansion-board>
- [22] *CY8CKIT-017 CAN/LIN Expansion Board Kit | Cypress* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-017-canlin-expansion-board-kit>
- [23] *CY8CKIT-025 PSoC Precision Analog Temperature Sensor Expansion Board | Cypress* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-025-psoc-precision-analog-temperature-sensor-expansion>
- [24] *CY8CKIT-031 - PSoC® CapSense® Expansion Board Kit | Cypress* [online]. [vid. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/documentation/development-kitsboards/cy8ckit-031-psoc-capsense-expansion-board-kit>
- [25] *Arduino vs Raspberry Pi vs BeagleBone vs PCduino | Random Nerd Tutorials* [online]. [vid. 2016-08-15]. Dostupné z: <http://randomnerdtutorials.com/arduino-vs-raspberry-pi-vs-beaglebone-vs-pcduino/>

8 Obsah přiloženého CD disku

Na přiloženém disku jsou uloženy soubory k programování platformy PSoC, soubory s naměřenými hodnotami, soubory v prostředí Matlab sloužící k vykreslení grafů s naměřenými a teoreticky vypočtenými hodnotami a také elektronická verze této bakalářské práce.