



Středoškolská technika 2012

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Foucaultovo kyvadlo

Jan Hofman, Tomáš Fišer

SPŠST Panská

Panská 3, Praha 1

Foucaultovo kyvadlo představuje důležitý experiment potvrzující otáčení planety Země kolem své osy. Původní pokus byl proveden v roce 1851 v pařížském Pantheónu, kde bylo v kopuli zavěšeno závaží o hmotnosti 28 kilogramů na 68 metrů dlouhém laně. Doba kmitu kyvadla byla 16 sekund. Na závaží kyvadla byl hrot, kterým se do písku na podlaze zakresloval pohyb kyvadla. Pozorovatelé tak mohli vidět, jak se postupně mění rovina kyvu.....

1	FOUCAULTOVO KYVADLO	6
2	ZÁKLADNÍ POPIS ZAŘÍZENÍ	8
3	MAGNETISMUS VS OPTIKA.....	9
3.1	OPTIKA.....	9
3.1.1	<i>Řešení pomocí diody</i>	<i>9</i>
3.1.2	<i>Řešení pomocí trubky.....</i>	<i>10</i>
3.2	MAGNETISMUS.....	11
3.2.1	<i>Hallova sonda.....</i>	<i>11</i>
3.2.2	<i>Jazyčkové relé.....</i>	<i>12</i>
3.3	ZÁVĚR:.....	12
4	DETEKCE KYVADLA	13
5	POPIS HW.....	13
5.1	NAPÁJECÍ OBVOD.....	13
5.1.1	<i>Obvod pro PICa</i>	<i>13</i>
5.1.2	<i>Obvod pro cívky.....</i>	<i>14</i>
5.2	SPÍNANÍ ZDROJE	14
5.3	MIKROPROCESOR 12F675	15
5.4	CELKOVÉ SCHÉMA DESKY:.....	16
5.5	CÍVKY.....	16
5.5.1	<i>Hlavní cívka</i>	<i>16</i>
5.5.2	<i>Vedlejší cívka.....</i>	<i>17</i>
5.6	KYVADLO	18
5.7	ZÁVĚSNÉ LANKO	19
6	PROGRAMOVÁ ČÁST	20
6.1	VÝZNAČNÉ REGISTRY	20
6.2	VÝVOJOVÝ DIAGRAM	20
7	PODĚKOVÁNÍ	21
8	POUŽITÉ ZDROJE	21
9	POUŽITÝ SOFTWARE.....	21
10	ZÁVĚR.....	21
11	PŘÍLOHA 1 – OBRÁZEK MECHANISMU	22

Anotace:

Cílem tohoto projektu je sestavit funkční Foucaultovo kyvadlo, které bude umístěné v SPŠST v Panské ulici. Tento dokument je přípravou k realizaci tohoto projektu jako dlouhodobé maturitní práce. Je v něm popsán život Léona Foucaulta, teorie Foucaultova kyvadla, jeho účel a také dva návrhy na samotnou realizaci kyvadla a spínání mechanismu udržujícího kyvadlo stále v chodu.

Annotation:

The aim of this project is to construct Foucault's pendulum which is going to be located in SPŠST in Panská street. The life of Leon Foucault is in details described in this work and the function of the pendulum is explained. Some proposals how to deal with the motion mechanism could be found there. It is possible to implement the project according to this description.

1.Foucaultovo kyvadlo

Foucaultovo kyvadlo představuje důležitý experiment potvrzující otáčení planety Země kolem své osy. Původní pokus byl proveden v roce 1851 v pařížském Pantheónu, kde bylo v kopuli zavěšeno závaží o hmotnosti 28 kilogramů na 68 metrů dlouhém laně. Doba kmitu kyvadla byla 16 sekund. Na závaží kyvadla byl hrot, kterým se do písku na podlaze zakresloval pohyb kyvadla. Pozorovatelé tak mohli vidět, jak se postupně mění rovina kyvu.

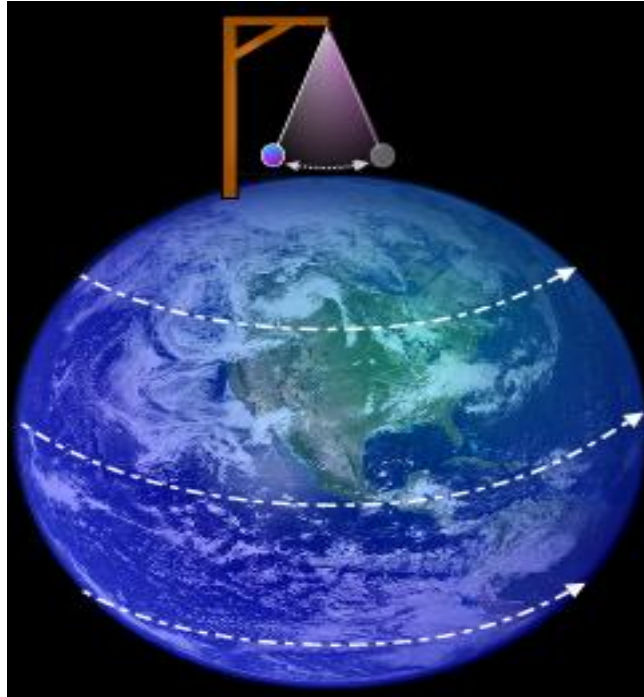
V roce 1851 bylo všeobecně známo, že se Země otáčí. Bylo také pozorováno zploštění Země na pólech. Foucaultovo kyvadlo však bylo prvním jasně viditelným důkazem a způsobilo tak velkou senzaci jak v odborných kruzích, tak u široké veřejnosti.

Na obou pólech Země se rovina kyvu nemění vzhledem k okolním hvězdám, zatímco Země se jednou za den zcela otočí. Vzhledem k Zemi se tedy rovina kyvu na severním nebo jižním pólu jednou za den zcela otočí po směru nebo proti směru hodinových ručiček (o 15° za hodinu). Pokud bychom Foucaultovo kyvadlo zavěsili na rovníku, rovina kyvu zůstane vzhledem k Zemi nezměněna. V ostatních zeměpisných šířkách se rovina kyvu vzhledem k Zemi sice otáčí, ale pomaleji, než na pólech.

Zeměpisná šířka je definována jako kladná a záporná (severní a jižní). Například rovina kyvu kyvadla na 30° jižní šířky při pohledu shora rotuje vzhledem k Zemi o 180° denně po směru hodinových ručiček. Za účelem demonstrace zemské rotace bez komplikací, které přináší závislost na zeměpisné šířce, uvedl Foucault v roce 1852 gyroskop. Jeho rotor sleduje přímo hvězdy. Osa rotace se tak vrací do stejné polohy vzhledem k Zemi, a to bez ohledu na zeměpisnou šířku (není tedy ovlivněna sinusovým faktorem).

Foucaultovo kyvadlo je konstrukčně velmi náročné, protože i malá nepřesnost může způsobit další odchylky roviny kyvu, které pak převládnu nad vlivem zemské rotace. Kritické je také samotné spuštění kyvadla. To se provádí přepálením lanka, které drží kyvadlo ve výchozí poloze, čímž se zabrání nechtěným pohybům kyvadla do stran. Odpor vzduchu kyvadlo brzdí, proto jsou kyvadla v muzeích často elektromagneticky nebo jinak poháněna, případně opakovaně spouštěna. Celý experiment byl uspořádán právě proto, aby dokázal existenci tohoto jevu, který Foucault teoreticky odvodil na základě předpokladů o vlivu Coriolisovy síly. Tato síla způsobuje vychylování kyvadla proti směru hodinových

ručiček. Tento jev je důsledkem toho, že zvolená soustava (tedy otáčející se Země) není soustavou inerciální. Ve skutečnosti se totiž neotáčí kyvadlo, neboť kyvadlo si pouze zachovává rovinu kyvu, zatímco pod ním se otáčí planeta Země.



Obr 1. Foucaultovo kyvadlo na severním pólu. Toto kyvadlo se kýve ve stejné rovině jako se Země otáčí pod ní.

Pro periodu kyvu můžeme použít vzorec pro matematické kyvadlo, jelikož Foucaultovo kyvadlo splňuje podmínku, že závěs musí mít zanedbatelnou hmotnost oproti kyvadlu.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

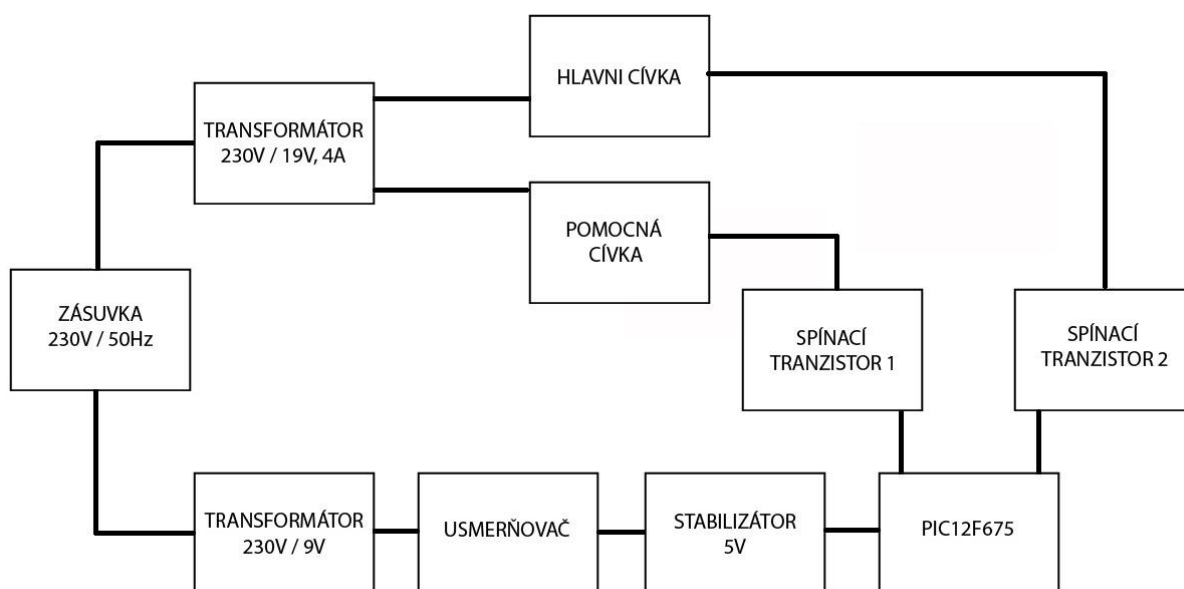
2. Základní popis zařízení

Základem celého zařízení je mikroprocesor PIC 12f675 od firmy Microchip. Rozhodli jsme se jej použít kvůli jeho snadnému programování, vyhovujícímu počtu portů a absenci přídavných periférií.

PIC začne startovací sekvenci, která uvede kyvadlo do pohybu, poté je řízen jazýčkovým relé, jež je umístěno ve středu cívky. Cívky jsou napájeny ze zdroje od firmy Compaq computers.

O spínání cívek se starají unipolární tranzistory SUP70n06.

Jako napájení pro desku a zdroj jsme použili elektrickou síť 230V/50Hz. Dále jsme si napájení upravili pro naše potřeby.



Obr 2. Blokové schéma ovládacího mechanismu

3. Magnetismus vs optika

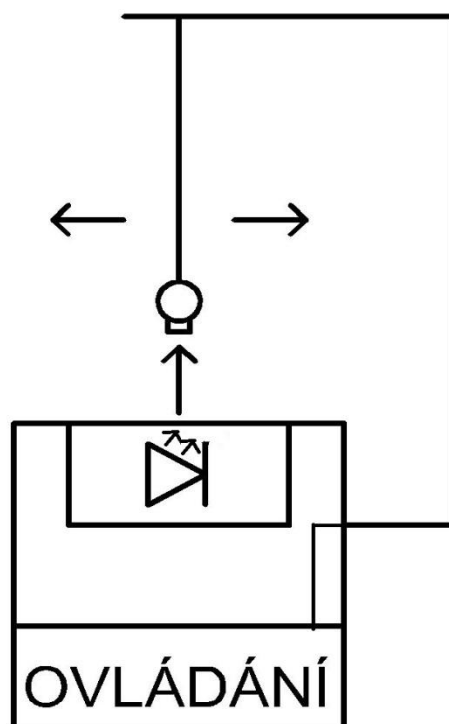
Pro ovládnání kyvadla existuje více způsobů řešení. V této kapitole se budeme zabývat jednotlivými možnostmi a jejich výhodami. a naším výběrem.

3.1 Optika

U toho způsobu jsme brali v potaz dvě možná řešení mechanismu.

3.1.1 Řešení pomocí diody

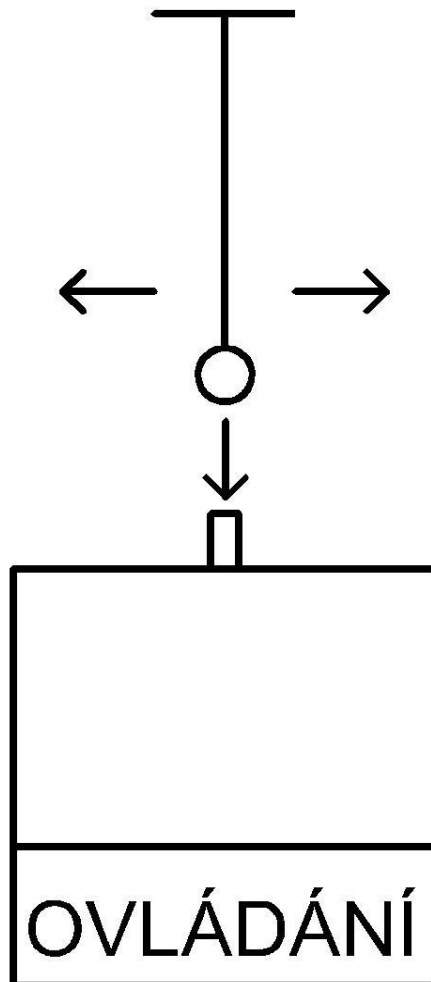
Ve spod dioda vysílajících paprsek. Kyvadlo by obsahovalo detektor, jehož signál by se vyhodnocoval v PICovi. Nevýhoda – kyvadlo musí být propojeno s deskou => zbytečně složité, nemožné řešení.



Obr 3. Ovládnání s diodou

3.1.2 Řešení pomocí trubky

Vespod trubka, do které by dopadalo světlo. Jakmile kyvadlo přejede, v trubce bude tma a začne se PIC sepne. Výhoda – odstranění propojení kyvadla s deskou . Nevýhoda – v noci dodávat do trubky neustále světlo => plýtvání zdrojů energie, nutnost napájení v kyvadle



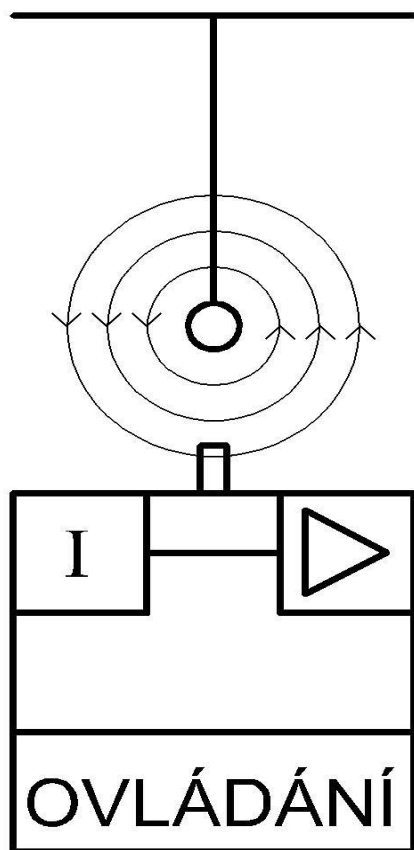
Obr 4. Ovládání s trubkou

3.2 Magnetismus

U tohoto mechanismu jsme brali v potaz také dvě možnosti řešení.

3.2.1 Hallova sonda

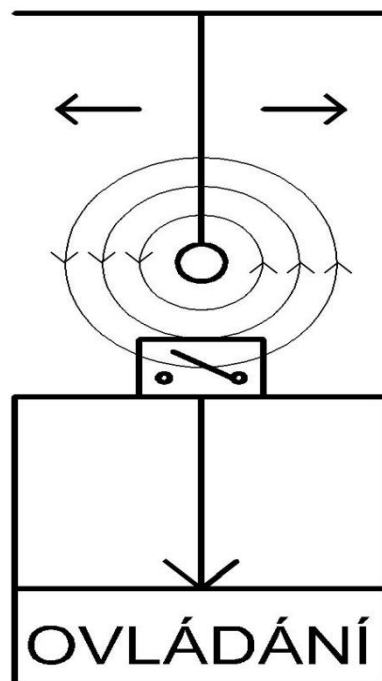
Řízení by se provádělo přes Hallovu sondu - při průchodu kyvadla by Hallova sonda vytvořila proud, který by vyhodnocoval PIC. Výhoda – kyvadlo nemusí být propojeno s deskou . Nevýhoda – Hallova sonda dává malý proud => nutné zesílit



Obr 5. Ovládaní s Hallovou sondou

3.2.2 Jazyčkové relé

Je velice podobné Hallově sondě, s tím rozdílem, že relé se chová jako spínač a nemusíme nic zesilovat. Při přiblížení magnetického pole relé sepne obvod. Výhoda – jednoduché efektivní řešení, kyvadlo nemusí být spojeno s deskou.



Obr 6. Ovládaní s jazýčkovým relé

3.3 Závěr:

Vybrali jsme si konstrukci s jazýčkovým relé, protože je to nejefektivnější způsob řešení, které nás napadlo.

4. Detekce Kyvadla

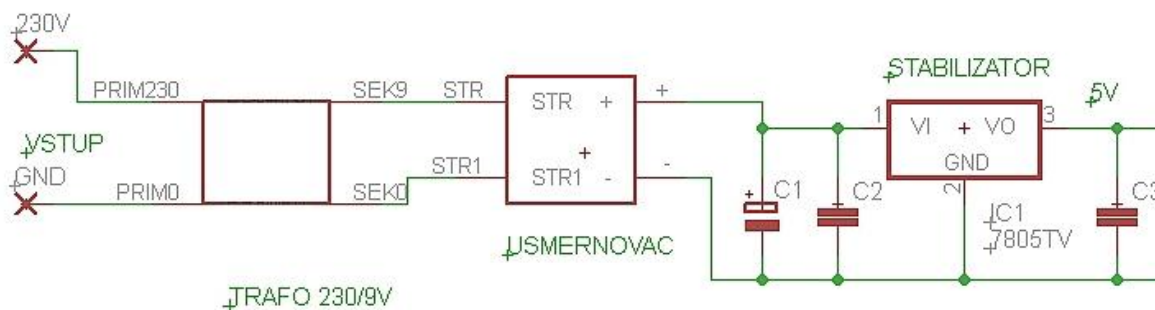
Jak už bylo řečeno v předešlé kapitole, vybrali jsme si detekci pomocí relé. V našem případě máme přivedeno na relé 0V. Jakmile relé sepne, PIC vyhodnotí přijímaný signál a začne ovládat tranzistory. Nesmíme zapomenout zapnout pull-up rezistory, protože na pinu se stále objevovala rušivá napětí, která znehodnocovala náš program a PIC vysílal, kdy neměl.

5. POPIS HW

5.1 Napájecí obvod

– skládá se ze dvou částí – napájení pro PICA a vstup pro zdroj.

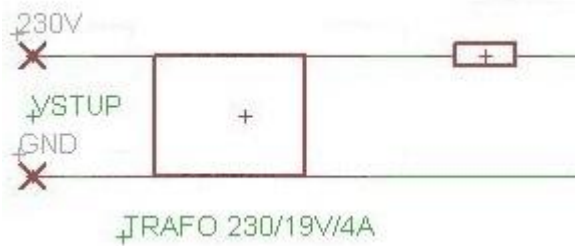
5.1.1 Obvod pro PICA



Obr 7. Napájení pro PICA

Jak vidíme z obrázku, obvod se skládá se z transformátoru 230/9V , poté je výstupní signál usměrněn integrovaným obvodem, který je vlastně Gratzův můstek. Stejnoseměrný signál je stabilizován na 5V pomocí IO 7805.

5.1.2 Obvod pro cívky



Obr 8. Napájení pro cívky

Opět je obvod napájen ze sítě, ale použili jsme jiné trafo. Odpor se musí volit minimálně kolem 1Ω , jinak se transformátor vypíná. My jsme to řešili namotáním odporového drátu.

5.2 Spínání zdroje

Zvolili jsme MOSFET SUP70n06. Tento unipolární tranzistor se nám hodil díky svým elektrickým vlastnostem, jak je vidět z charakteristik tranzistoru. GATE je řízen 5V od mikroprocesoru.

Parametry:

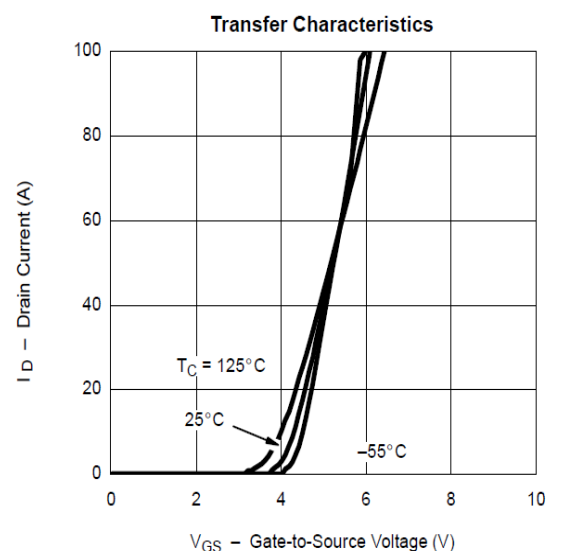
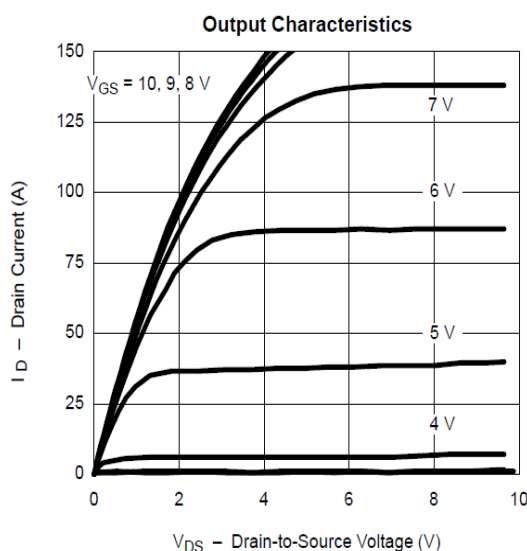
$I_{dss}=70A$

$U_{ds}=60V$

$U_{gs}=20V$

$P_d=142W$

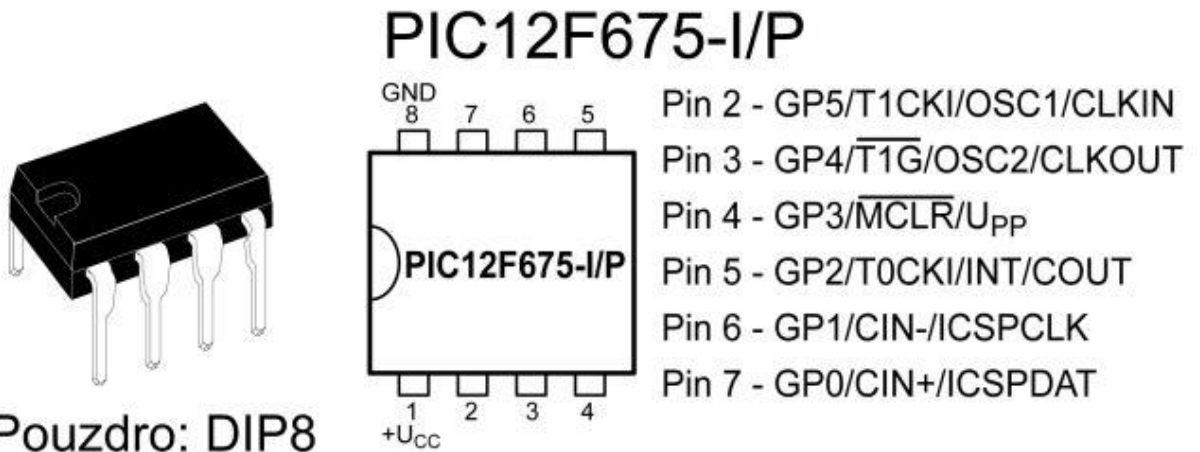
$R_{ds}=0,014\Omega$



Obr 9. Charakteristiky SUP70n06

5.3 Mikroprocesor PIC12f675

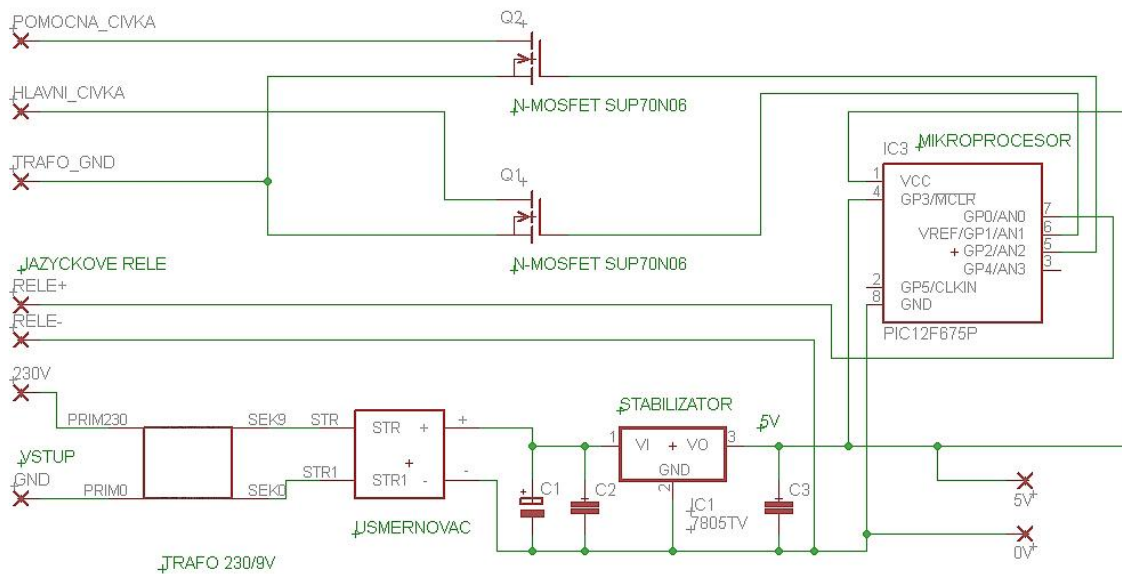
Jako základní ovládací prvek jsme si vybrali mikroprocesor PIC12f675. K ovládání obvodu nám stačí 3 piny procesoru. Jeden vstupní pro detekci sepnutí jazýčkového relé a dva výstupní, ovládající tranzistory. K našim účelům by postačil procesor z řady 10F(šestipinové), ale tento PIC se špatně shání.



Program	- 1024 words	U _{CC} = 2,2V..5,5V
Data RAM	- 64 bytes	I _{CC} = 3mA max. (5V, 20MHz)
Data EEPROM	- 128 bytes	I _{CC} = 54μA max. (5V, 32kHz)
8bit Timer	- 1	f _{CPU} = 20MHz max.
16bit Timer	- 1	
A/D convertor	- 4 × 10bit	
Analog. comp.	- 1	
I/O	- 6	

Obr 9. Parametry PICa

5.4 Celkové schéma desky:



Obr 10. Schéma ovládacího mechanismu

5.5 Cívky

5.5.1 Hlavní cívka

Slouží k udržení kyvadla v kyvu. Drát je namotaný na novodurové trubce a měří přibližně 50m.



Obr 11. Hlavní cívka



Obr 12. Pohled na cívku shora

5.5.2 Vedlejší cívka

Slouží k uvedení kyvadla do pohybu, aby mohl začít fungovat mechanismus spínání velké cívky. Bez této cívky bychom museli uvést kyvadlo do pohybu ručně.



Obr 13. Vedlejší cívka

5.6 Kyvadlo

Je vyrobeno z oceli a vysoustruženo podle našich představ. Kyvadlo je duté, aby se do něj vložil magnet. Bohužel magnet jsme použili slabý, a tak jsme museli dodat ještě jeden do spod kyvadla. Kyvadlo váží 7Kg.



Obr 14. Otevřené kyvadlo



Obr 15. Kyvadlo



Obr 16. Zavěšené kyvadlo s přidavným magnetem

5.7 Závěsné lanko

Požadavek byl sehnat co nejtenčí lanko, ale muselo vydržet nápor kyvadla. Nakonec jsme použili klasické rybářské lanko. Máme ještě váhovou rezervu 5kg. Ke kyvadlu je přiděláno šroubkem s dírou a na lanku je velký uzel, který je tam zachycen.



Obr 17. Závěsné lanko

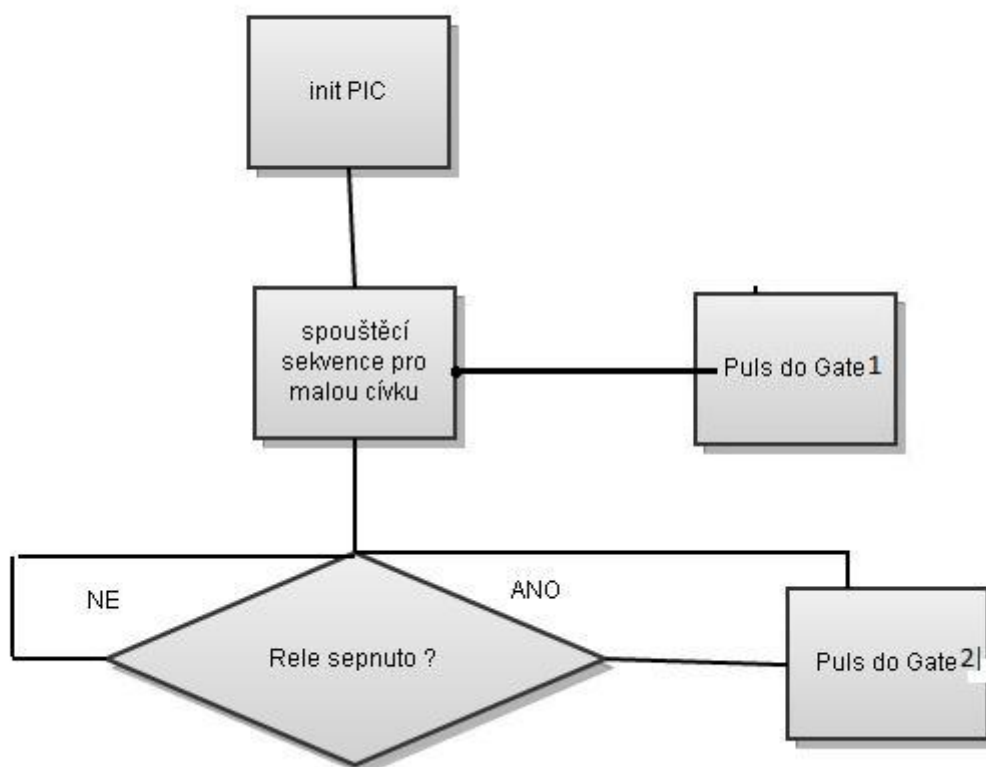
6. Programová část

6.1 Význačné registry

20h, 21h, - Pomocné registry pro čekací smyčku 0,1s
40h, 41h - Registry používané při spouštění první cívky

GPOI - Testování hodnoty ze spínacího relé (0. bit) a vysílání ovládacích signálů k tranzistorům (1. a 2. bit)

6.2 Vývojový diagram



Obr 18. Vývojový diagram

Program začíná nezbytným nastavením PICa(vnitřní hodiny, vstupy, výstupy...). Dále se spustí sekvence pro malou cívku, která uvede kyvadlo do potřebného pohybu, pak nastává rozhodování, kdy bude dodán proud do hlavní cívky.

7. Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu profesoru Ing. Šerých za poskytnutí užitečné pomoci a cenných rad při vytváření naší praktické zkoušky.

8. Použité zdroje

<http://wikipedia.org>

<http://fyzika.jreichl.com>

Datasheet PIC 12f675 (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41190G.pdf>)

Datasheet – SUP70n06 (<http://www.gme.cz/dokumentace/213/213-191/dsh.213-191.1.pdf>)

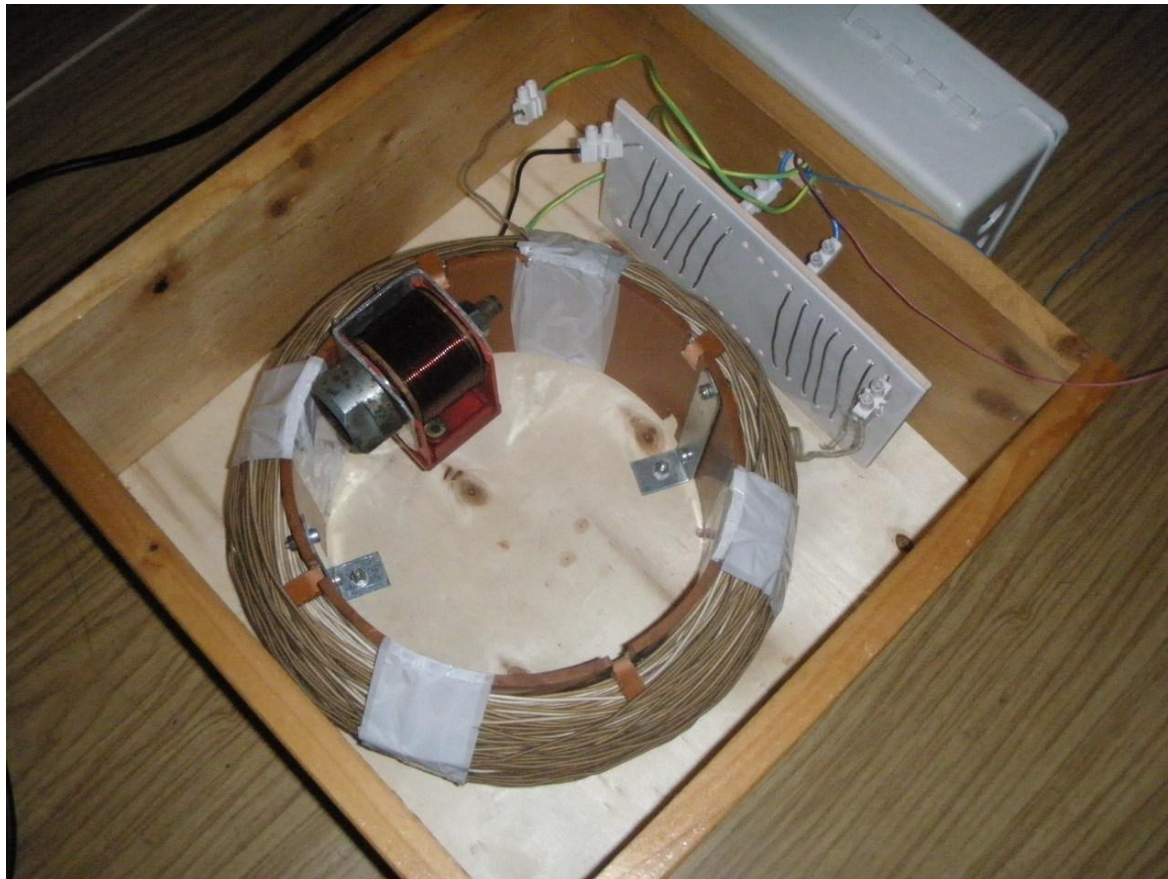
9. Použitý software

- Eagle 5.11 – návrh plošného spoje
- Microsoft Word – tvorba dokumentace
- Microsoft PowerPoint – tvorba prezentace
- MPLAB verze 8.80 – tvorba firmware mikroprocesoru
- Gliffy – tvorba vývojového diagramu
- Malování

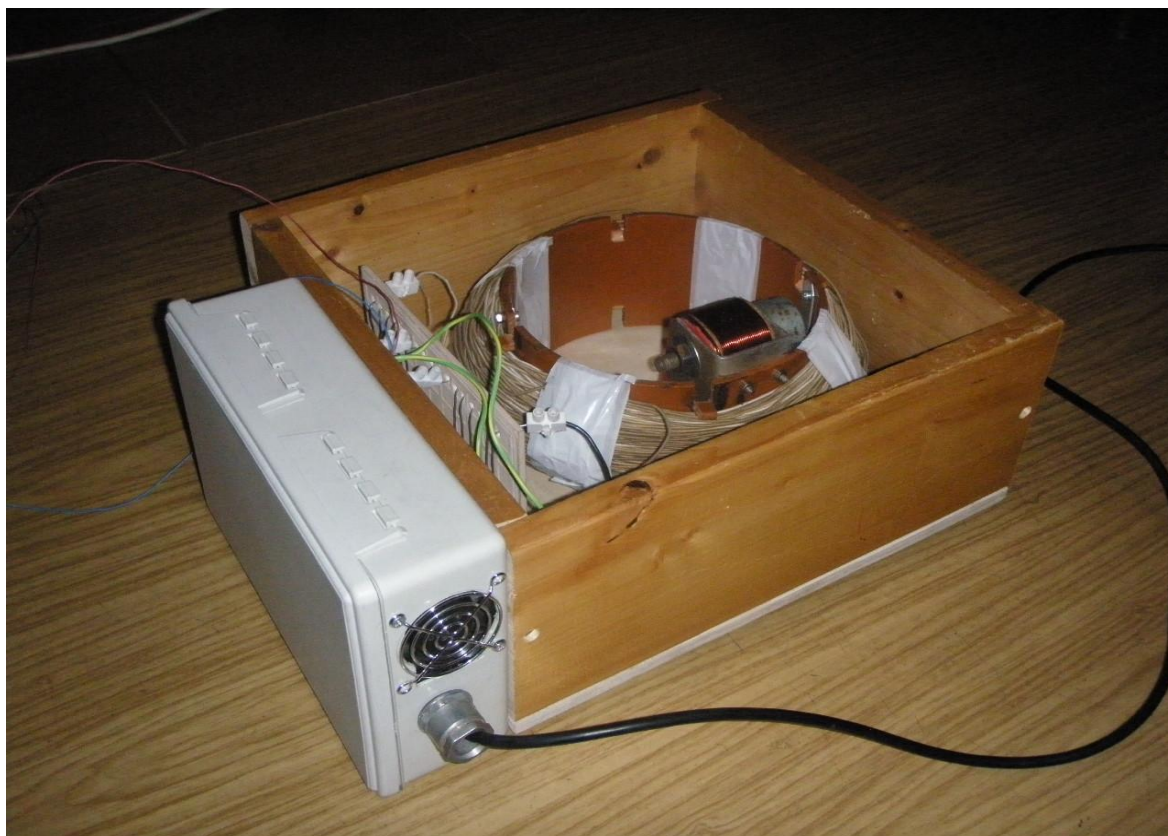
10. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo sestavit funkční model Foucaultova kyvadla. Doufáme, že tento dokument objasnil celou problematiku, nastínil možné způsoby řešení ovládacího mechanismu a bude podle něj možné postavit funkční model. V praktické části jsme narazili na problémy, se kterými jsme nepočítali, a tak jsme museli prozkoumat různé možnosti řešení. Největší překážkou bylo vypínání transformátoru od notebooku. Poté jsme ještě museli řešit problém s přehříváním tranzistorů. Práci se nakonec podařilo dovést do zdárného konce. Byli bychom rádi, kdyby tato publikace byla zajímavá jak pro laiky, tak pro odborníky.

11. Příloha 1 – Obrázek mechanismu



Obr 19 Cívky



Obr 20 Zařízení s ovládáním



Obr 21 Krabice s ovládáním