

Kruhový urychlovač kuliček (KUK)

J. Kořenek, V. Kráčmar, J. Nikl, D. Roesel*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*roesel@gmail.com

Abstrakt

Hlavním cílem projektu bylo vytvořit funkční kruhový urychlovač pro magnetické kuličky s měřením rychlosti a uražené vzdálenosti. Postupným urychlováním jsme plánovali několikanásobně překonat výsledky railgunů z předchozích ročníků fyzikálního semináře. Součástí projektu byl i v reálném čase vynášený graf na internetu.

1 Úvod

Existuje mnoho druhů lineárních urychlovačů na principu magnetismu. Liší se v délce, způsobu spínání a počtu cívek, materiálu dráhy, velikosti kuliček a dalších parametrech. Vedle lineárních urychlovačů existují cyklotrony, které urychlují objekty po uzavřené dráze pomocí jednoho, v centru dráhy umístěného, magnetu.

My jsme se pokusili zkombinovat tyto přístupy a dráhu sice zacyklit, ale urychlovat stále jako u lineárních urychlovačů - tedy pomocí několika cívek.

2 Cíl

Cílem projektu bylo vytvořit kruhový urychlovač pro magnetické kuličky. Nejprve jsme se snažili postavit kruhový "zpomalovač zpomalování" kuličky, poté zkusit kuličku udržet v kontinuálním pohybu a nakonec ji i trochu urychlit na maximální rychlost, kterou nám podmínky dovolily. Rychlost jsme pak vynášeli do grafu v reálném čase. Co největší část programování jsme chtěli dělat sami a zaměřit se na to, aby šly snadno měnit parametry urychlování.

3 Postup

3.1 Úvahy

Nejprve bylo třeba vyřešit, jaké použít součástky. Po delších úvahách jsme se rozhodli pro feromagnetickou kuličku ze stavebnice GeoMag a k jejímu počátečnímu urychlení pro tyčinku ze stejné stavebnice. Poloměr hadice jsme následně vybrali právě podle velikosti kuličky. Po prostudování výsledků z předchozích experimentů minulých ročníků jsme se rozhodli pro spínání cívek pomocí infradiod a fototranzistorů, což zároveň určilo, že musí být hadice průhledná, aby ji diody prosvítily. Cívek jsme použili tolik, kolik jich bylo k dispozici alespoň trochu stejných - tedy čtyři.

3.2 Princip funkčního modelu

Základní princip je velmi jednoduchý: proud protékající cívkou indukuje magnetické pole, které přitahuje feromagnetickou kuličku. Cívky jsou navlečeny na hadici a rozmístěny rovnoměrně po jejím obvodu. Na každé cívce je uchycen optický senzor, který detekuje průchod kuličky cívkou. Tento senzor je umístěn před cívkou, takže kulička projde senzorem, ještě než se celým objemem dostane do cívky. Cívky jsou spojeny do párů, každá s tou ležící naproti ní. Jakmile kulička projde senzorem a ten ji zaznamená, vypne s určitým zpožděním Arduino daný pár cívek a sepne pár následující. Detekce pohybu kuličky je rovněž důležitá pro výpočet rychlosti, který taktéž obstarává Arduino, a následný výpočet zpoždění, se kterým má být pár cívek vypnut. Toto zpoždění jsme zjišťovali experimentálně. Nejprve jsme pracovali s pevným zpožděním a snažili se udržet kuličku co nejdéle v pohybu. Nejlepších výsledků dosahoval urychlovač při zpoždění kolem 200 ms. Poté jsme začali sestavovat funkci, která by vypočítávala zpoždění v závislosti na aktuální rychlosti. Ve finální podobě je nepřímá úměrná rychlosti kuličky a přímo úměrná konstantě, kterou nastavujeme na začátku urychlování a případně během urychlování můžeme měnit.

Zde je nutno osvětlit, proč je podle nás zpoždění tak důležité. Jak se kulička přibližuje cívce, je magnetickou silou této cívky urychlována. Vzhledem k tomu, že senzor je umístěn na vstupní straně cívky, bylo by vypnutí cívky v okamžiku detekce zbytečně neefektivní. Proto je třeba cívku vypnout až v době, kdy je kulička někde uvnitř. Takové místo se nachází blízko středu cívky, neboť proletí-li kulička středem cívky, začne být opět přitahována zpět a bude tím bržděna. Žádná cívka se zároveň nevypne hned, magnetickému poli chvíli trvá, než opadne, a vzhledem k rozdílnosti cívek je jejich setrvačnost různá. Když jsme funkci vyladili tak, aby udržela kuličku v kontinuálním, byť pomalém pohybu, začali jsme se snahou o její urychlení. Urychlení bylo dosaženo díky zvýšení proudu protékajícího cívkami mírně nad předepsanou hodnotu a jemnému doladění funkce. Výpočet zpoždění byl pro větší efektivitu (především z hlediska času) implementován přímo do kódu pro Arduino.

Velmi důležité je také iniciační urychlení, které je prozatím realizováno ručně a to tahem malého tyčového magnetu po povrchu hadice.

3.3 Hardware

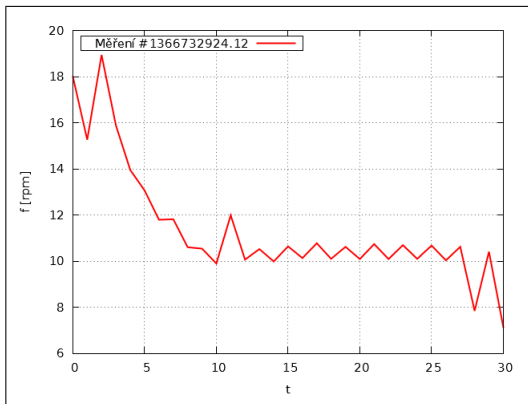
Pro řízené rychlé spínání cívek bylo zapotřebí vytvořit odpovídající obvod. Ten obsahuje dva nezávisle řízené výstupy, které jsou spínány tranzistory. Cívky jsou spínány vždy po dvojicích, které jsou připojené na společný výstup obvodu. Nakonec jsme vybrali paralelní zapojení cívek, takže obvod byl napájen 7 – 9 V a 3 – 5 A, ale cívky by mohly být zapojeny i sériově. Pro signalizaci sepnutí jsou navíc výstupy opatřeny LED diodami. Řídící vstupy jsou pak od výkonové části galvanicky odděleny optočleny, takže řízení může přímo provádět mikrokontroler – v našem případě Arduino. Úkolem Arduina je především reagovat na detekce na jednotlivých cívkách a vhodně spínat a vypínat tyto cívky. Jako detektory jsou použity páry IR LED dioda a fototranzistor, které jsou zapojeny do nepájivého pole a napájeny čistě z Arduina. Fototranzistory jsou vždy dva (z protějších cívek) zapojeny do série, což je umožňuje připojit na 2 vstupy Arduina pro externí přerušování.

3.4 Software

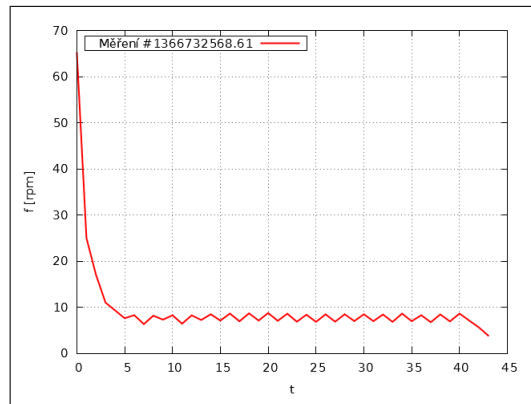
Sami jsme si napsali kód pro Arduino, který měří rychlost kuličky s počtem průchodů a nastavuje podle ní zpoždění vypínání cívek. Arduino komunikuje s počítačem přes sériovou linku (USB), kterou v počítači zpracovává stále běžící Python [1] skript a v něm knihovna PySerial [2]. Z Python skriptu se data o aktuální rychlosti ukládají na tři místa, zaprvé do lokální databáze, zadruhé do textového souboru a zatřetí do vzdálené databáze na internetu. Dále se v něm dají upravovat parametry funkce, která ovládá zpoždění vypínání cívek. Na internetu je pak umístěna webová stránka, která pomocí PHP a AJAX v reálném čase vynáší graf údajů ze vzdálené databáze. Textové soubory se zpracovávají skriptem pro GNUplot, který vytvoří grafy průběhu experimentu.

4 Výsledky

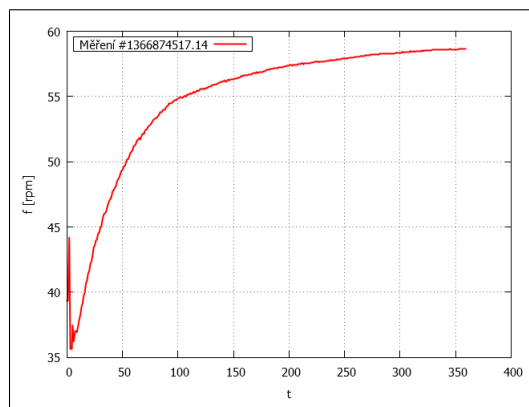
Nejprve se nám podařilo zpomalit zpomalování kuličky (Obr. 1(a)), následně kuličku udržet do vypnutí v konstantním pohybu (Obr. 1(b)) a nakonec i urychlit na maximální rychlost dosažitelnou v našem urychlovači (Obr. 1(c)).



(a) Zpomalování zpomalování



(b) Udržení rychlosti



(c) Urychlení

Obr. 1: Ukázka výsledků.

5 Diskuse

5.1 Náměty na zlepšení

Výsledky experimentu se dají dozajista dramaticky zlepšit. V první řadě by bylo třeba hadici vyrovnat tak, aby byla ve všech místech vodorovná. To nebylo s naší hadicí prakticky možné, protože byla velmi znatelně deformovaná. Tyto deformace byly patrné i zevnitř - pokud by se je podařilo vyhladit na vnitřních stěnách, výsledek by se s klesajícím třením zaručeně zlepšil. Další zdokonalení by bylo třeba ve spoji hadice, kde kulička ztrácí na rychlosti. Dala by se také použít kratší hadice, což by vedlo k menší vzdálenosti ztrátových a neurychlovaných úseků a tím k větší rychlosti pohybu kuličky. Dále by se velmi hodilo zařídit konstantní předurychlení kuličky, protože v našem případě záviselo na tom, jak se úvodní roztažení kuličky povedlo danému členovi týmu. Lepších výsledků by pak šlo dosáhnout také s větším množstvím cívek, případně s vlastnoručně namotanými cívkami, které nejsou ohořelé a přemotávané.

6 Závěr

Projekt dosáhl svého cíle, kuličku se podařilo urychlit a udržet v terminální rychlosti. Zdrojové kódy ke všem součástem experimentu a dokumentace projektu je k dispozici online [3], stejně jako prezentace projektu [4].

Poděkování

Rádi bychom poděkovali ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za materiální a psychickou podporu a také ing. Gabrielu Vondráškovi za motivaci a rady nejen technického rázu.

Reference

- [1] G. Rossum a kol., *Programovací jazyk Python*,
<http://www.python.org/>
- [2] C. Liechti, *Knihovna PySerial*,
<http://pyserial.sourceforge.net/>
- [3] Kol. autorů, *Repozitář projektu “kuk”*,
<http://www.github.com/roesel/kuk/>
- [4] Kol. autorů, *Prezentace “Kruhový urychlovač kuliček”*,
<http://david.roesel.cz/server/kuk.pptx>
- [5] V. Svoboda, *Pravidla proceedings pro FyzSem*,
<http://fyzsem.fjfi.cvut.cz/public/html/proceedings-rules.html>