

# Válcový BB-8

Soustředění mladých fyziků a matematiků

Josefův Důl 2021

Autoři:

Matěj Dvořák

Vojtěch Lančarič

Vedoucí:

Jakub Dvořák

Václav Kohout

Jiří Budil

## Anotace

V této práci se zabýváme návrhem a stavbou robota bez vnějších pohyblivých částí inspirovaného droidem BB-8 ze ságy Star Wars. Popisujeme teorii stojící za jeho pohybem, konstrukční a elektronické řešení. Podařilo se nám sestrojít funkčního robota schopného pohybu dopředu a dozadu na dálkové ovládání.

## Poděkování

Děkujeme vedoucím projektu:

Jakubu Dvořákovi za pomoc při sestavování elektrických obvodů.

Václavu Kohoutovi za asistenci při práci s Arduinem.

A zejména Jiřímu Budilovi za celkové vedení, návrhy a konzultace k projektu.

## Obsah

Anotace .....	2
Poděkování .....	3
Úvod .....	5
Teorie.....	6
Konstrukce.....	7
Koncept .....	7
Realizace .....	8
Elektronika.....	9
Prototyp.....	9
Druhý obvod .....	10
Bluetooth modul JDY-33 TTL .....	10
DC Zdroj .....	10
Lineární regulátor napětí LM 375.....	10
H-můstek .....	11
Software .....	11
Potíže během realizace .....	12
Závěr .....	13
Odkazy .....	14

## Úvod

Motivací projektu je droid BB-8 vyskytující se v posledních třech dílech Star Wars. Sestává ze dvou dílů – „hlavy“ a pohyblivé koule, volně spojených. Pohybuje se převalováním volně ve všech směrech. Během natáčení byl řešen kombinací loutek (jejichž podpěry zmizely až v postprodukci) a prototypů schopných jen omezených pohybů. Zcela funkční verze vznikla až po samotném natáčení pro promoční účely. [1] Cílem projektu je vytvořit robota se stejnou schopností pohybu bez vnějšího pohonu (koleček, pásů, vrtulí apod.).

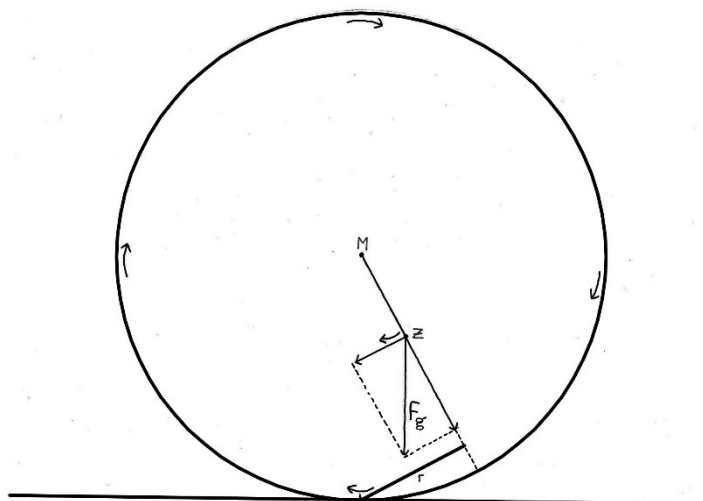


Obrázek 1: Původní BB-8

## Teorie

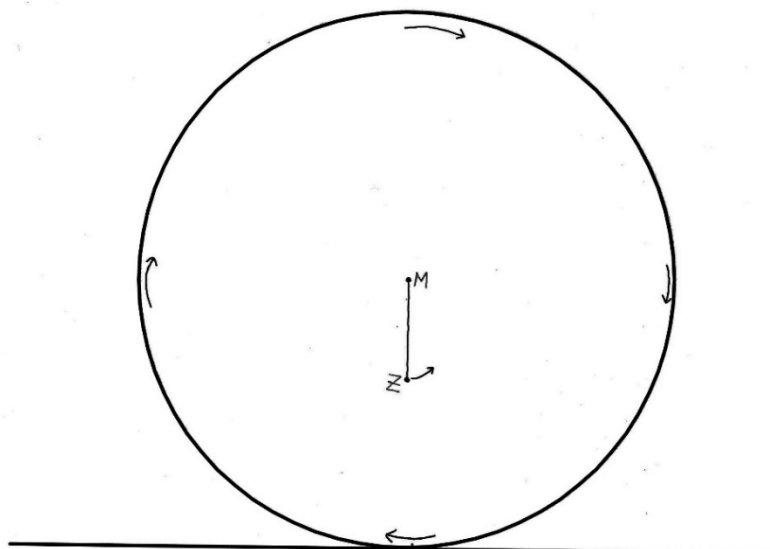
Pro pohon současně účinkují dva mechanismy působící ve stejném směru.

Obrázek 2: Pohled na válec ze strany. V bodě M je motor<sup>1</sup>, který přetočil závaží do bodu Z. Na závaží působí gravitační síla  $F_g$ , již můžeme rozložit na dvě složky. Jedna ze složek působí na závaží a roztáčí jej ve směru hodinových ručiček. Druhá působí na motor. Vůči ose kontaktu mezi válcem a zemí má tato síla moment, jenž válec roztáčí také ve směru hodinových ručiček.



Obrázek 2: Pohon převalováním

Obrázek 3: Motor zároveň účinkuje jako setrvačnick. Závaží vytahuje zpět proti směru hodinových ručiček, takže podle zákona zachování momentu hybnosti se tělo robota musí otáčet po směru hodinových ručiček.



Obrázek 3: Pohon setrvačnickem

<sup>1</sup> Přesněji je v tomto bodě osa válce, mechanicky s motorem spojená.

## Konstrukce

### Koncept

Rozhodli jsme se nejprve omezit na pohyb v jednom směru a tvar válce. Pohon měl být řešen jedním motorem sloužícím zároveň jako závaží. V geometrické ose válce je umístěna mechanická osa, která je napevno spojena se samotným válcem. Ve středu osy se nachází kolečko a ve fixní vzdálenosti od něj (mimo osu) motor, připojený řemenem. Motor by tedy měl po spuštění začít rotovat kolem kolečka. Osu s válcem jsme plánovali spojit výztuhou ve tvaru X z Merkurů, ke stěnám uchycenou tavnou pistolí.

U původního návrhu jsme narazili na problémy. Motor je totiž napojen kabelem na řídicí Arduino a baterii, takže se celý pohonný systém musí pohybovat společně. To se fyzicky nevejde do trubky tvořící tělo robota.

Proto jsme opustili myšlenku využití motoru jako závaží. Namísto toho jsme jej pevně připojili (tavnou pistolí) k jedné z podstav válce.

## Realizace

Základem konstrukce je plastová odpadní trubka o vnitřním průměru 14 cm, kterou jsme seřízli na délku 19 cm.

Z podstavy s motorem jsme udělali základovou desku, na které se také nachází baterie a řídicí Arduino, obojí přilepené oboustrannou lepicí páskou.

Motor je k ose se závažím připojen přes převodovku (viz Obrázek 4). Ta sestává ze dvou převodů, nejprve z motoru ( $d = 5 \text{ mm}$ ) na kolečko ( $d = 54 \text{ mm}$ ), poté z kolečka ( $d = 19 \text{ mm}$ ) na kolečko ( $d = 33 \text{ mm}$ ). Celkový převod je tedy zhruba 1:20 ve prospěch točivého momentu. Většina konstrukce mezi deskami je ze stavebnice Merkur. Jako řemeny slouží gumičky, jako závaží modelína. Tu jsme zvolili pro její snadné modelování a upevnění a její relativně vysokou hustotu.

Na druhé desce se nachází protizávaží, také z modelíny, zajišťující, že těžiště robota je v ose válce. Do této desky je také pro zpevnění protažena osa.

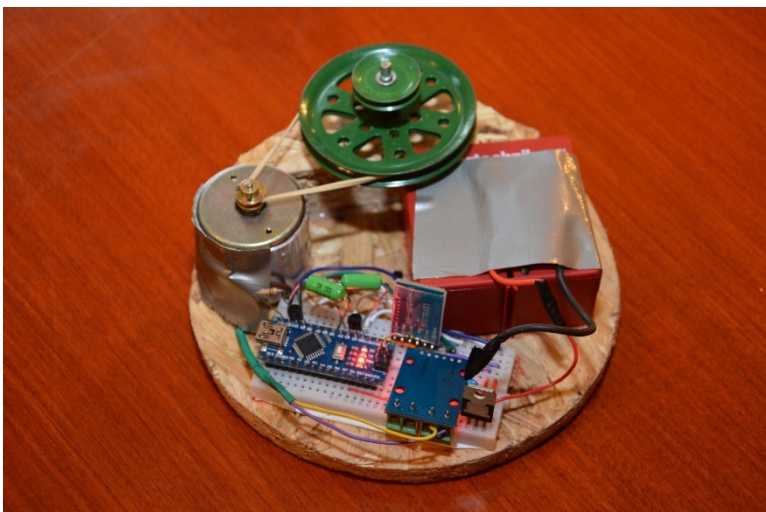
Na Obrázku 5 je vidět zapojení základní desky, na Obrázku 6 protizávaží.



Obrázek 4: Převodovka



Obrázek 5: Základní deska



Obrázek 6: Protizávaží

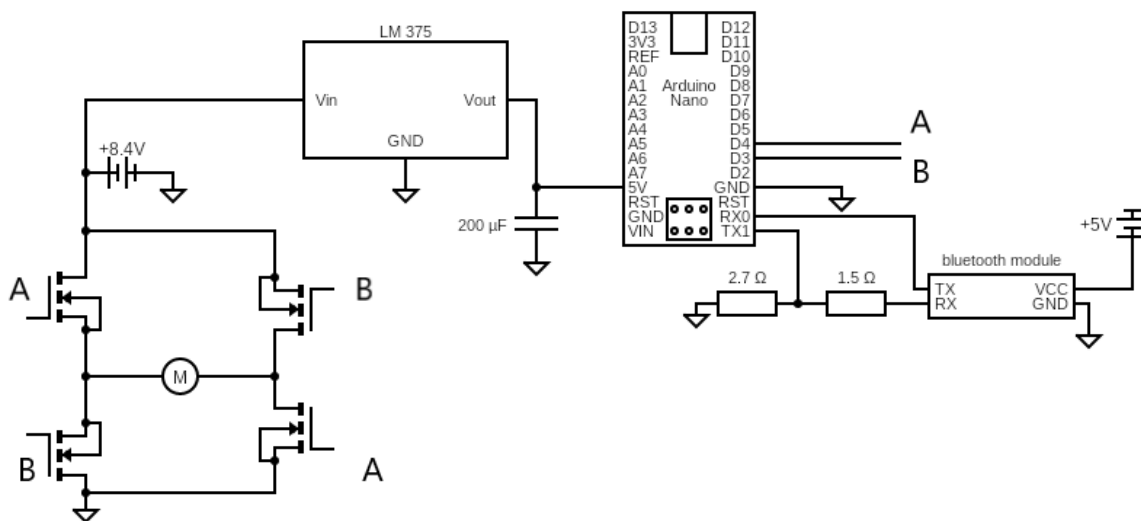


## Elektronika

### Prototyp

Obvod je zapojen podle schématu na Obrázku 7. Vodiče označeny písmeny A a B jsou propojeny.

Při zachycení signálu Bluetooth modulem je vyslán signál přes UART rozhraní pinem TX na Bluetooth modulu do pinu RX0 na Arduino. Arduino signál vyhodnotí a zvýší napětí na pinu D3, nebo D4, které sepnou MOSFET tranzistory na H-můstku. Proud ze zdroje napětí poteče přes motor, který se začne točit. Obvod jsme realizovali na nepájivém poli Breadboard.



Obrázek 7: Navrhované zapojení

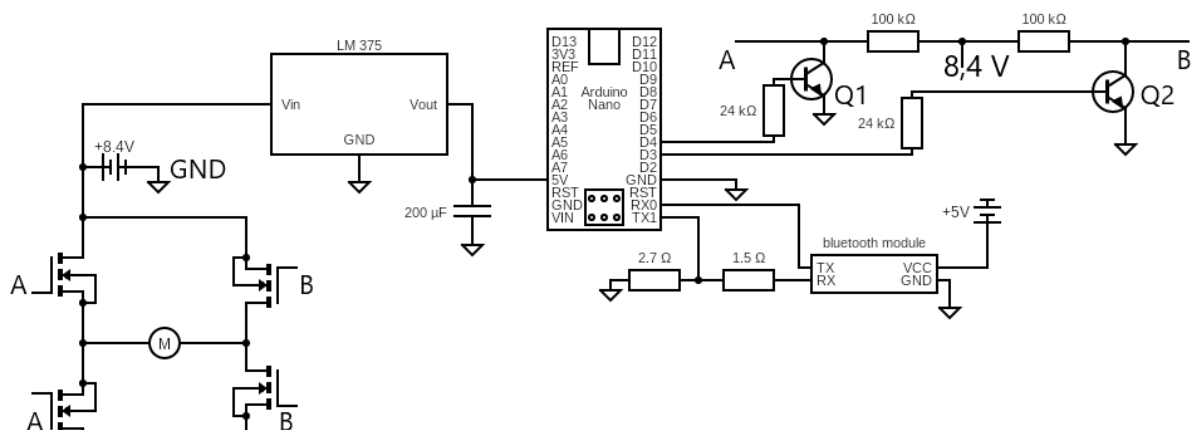
Později se ukázalo, že jde o nefunkční zapojení. H-můstek za referenční hodnotu HIGH bral 8.4 V, kterou byl napájen, a napětí 5 V z ovládacích pinů Arduino se ukázalo příliš nízké na jeho otevření. Kdybychom H-můstek, a tedy motor, připojili na napětí 5 V za lineárním regulátorem napětí, neměl by motor dostatečný výkon.

Při testování jsme obvod napájeli USB kabelem připojeným k Arduino z počítače, na němž bylo 5 V, takže H-můstek 5 V otevřít dokázalo a chybu jsme nepozorovali.

## Druhý obvod

Oproti původnímu návrhu jsme se rozhodli přidat tranzistory Q1 a Q2, které jsou otevírány signálem z Arduina. Při otevření tranzistoru poklesne napětí před tranzistorem, kde je napětím otevírán H-můstek, a H-můstek se zavře. Proto je potřeba v softwarovém řešení pro zapnutí motoru nastavit na pinu Arduina hodnotu LOW.

I v druhém obvodu jsme se potýkali s nefungujícím ovládním motoru. Problémem byl malý proud přivedený na bázi ovládacích tranzistorů. Potíže jsme vyřešili změnou hodnoty odporu rezistoru na bázi ovládacích tranzistorů ze 100 k $\Omega$  na 24 k $\Omega$ .



Obrázek 8: Druhé, upravené schéma

## Bluetooth modul JDY-33 TTL

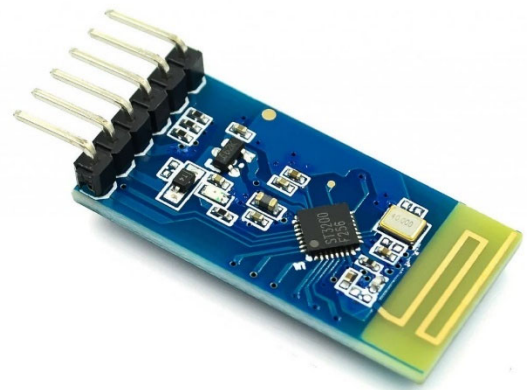
Slouží k bezdrátové komunikaci s ovládacím zařízením. V našem případě mobilní aplikaci Seriál Bluetooth Terminal.

## DC Zdroj

Naším zdrojem je plochá nabíjecí baterie o napětí 8,4 V.

## Lineární regulátor napětí LM 375

Pro snížení napětí pro napájení Arduina jsme využili lineární regulátor napětí LM7805. Pomocí regulátoru jsme byli schopni snížit napětí z 8.4 V na baterii na napětí 5 V.



Obrázek 9: Bluetooth modul [3]

## H-můstek

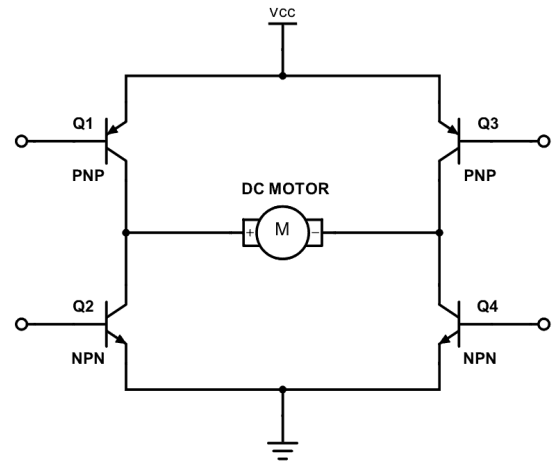
Pro otáčení motoru oběma směry jsme využili MOSFET tranzistory (tranzistory řízené elektrickým polem) zapojené v obvodu běžně známém jako H-můstek.

Sepnutím tranzistorů Q1 a Q4 (viz Obrázek 9), které jsou připojeny ke stejnému ovládacímu pinu ovládacího Arduina, dojde k sepnutí obvodu. Proud teče přes tranzistor Q1, motor, a tranzistor Q2 do země. Při sepnutí tranzistorů Q2 a Q3, opět připojených k jednomu ovládacímu pinu Arduina, bude motorem protékat proud opačným směrem a motor se bude také otáčet opačným směrem.

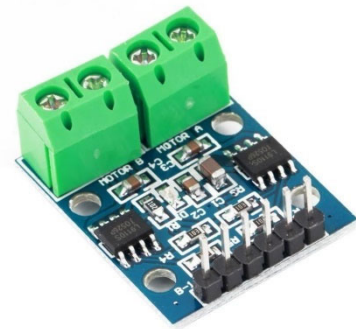
V projektu jsme pro usnadnění použili již integrovaný H-můstek.

## Software

Na programování Arduina jsme použili Arduino IDE s vestavěnými knihovnamí. V programu jsme pouze podle přijatého písmene z Bluetooth (F, B, S) přiváděli dvě hodnoty napětí (5V a 0V) na digitální piny D4 a D3, které dále ovládaly obvod.



Obrázek 10: Schéma H-můstku



Obrázek 11: Integrovaný H-můstek [4]

## Potíže během realizace

- Nefungovaly ovladače na Arduino, což jsme vyřešili až změnou pracovního počítače.
- Během testování ovládání Bluetooth začal z obvodu vycházet kouř. Rychle jsme vše vypnuli a všechny součástky se zdály v pořádku. Motor ale začal zvláště reagovat na Bluetooth signály – místo zastavení se spustil a místo jízdy dozadu zastavil. Příčinou bylo zřejmě nechtěné přepólování baterie během testování.
- Po připojení Bluetooth modulu přestalo fungovat nahrávání programu z počítače na Arduino. To jsme museli vždy obejít dočasným odpojením modulu během změny programu.
- Během testování jsme jednu polovinu integrovaného H-můstku spálili zkratem, proto jsme dále používali redundantní druhý H-můstek na stejné součástce.
- Náš motor má specifikované napětí 5 V. Nejprve jsme tedy využili rezistor jako dělič napětí. Rezistor jsme ale předimenzovali (na 50  $\Omega$ ). Proto byl na rezistoru velký úbytek napětí a na motoru napětí nedostatečné. Po konzultaci s vedoucím projektu jsme rezistor zcela odstranili z obvodu.

## Závěr

Podařilo se nám vyrobit zcela funkční pohyblivý model válcového robota inspirovaného droidem BB-8 z filmů Star Wars. Robot se pohybuje způsobem pro nezasvěceného pozorovatele zcela skrytým. Během práce jsme se potýkali s řadou problémů, převážně s elektronikou. Možnou úpravou na projekt by byl nejprve válcový robot schopný zatáčet, poté robot tvaru koule.



Obrázek 12: Výsledný robot

## Odkazy

[1] <https://www.starwars.com/news/droid-dreams-how-neal-scanlan-and-the-star-wars-the-force-awakens-team-brought-bb-8-to-life>

[2] <https://www.build-electronic-circuits.com/wp-content/uploads/2018/11/H-bridge.png>

[3] [https://cdn.myshoptet.com/usr/www.laskarduino.cz/user/shop/big/4400\\_jdy-33.jpg?5f3a3acd](https://cdn.myshoptet.com/usr/www.laskarduino.cz/user/shop/big/4400_jdy-33.jpg?5f3a3acd)

[4] [https://www.gme.cz/data/product/1024\\_1024/pctdetail.772-209.1.jpg](https://www.gme.cz/data/product/1024_1024/pctdetail.772-209.1.jpg)