



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Automatická videohlava

Jiří Kyzlink

Střední průmyslová škola elektrotechnická a informačních technologií Brno

Purkyňova 97, Brno



Poděkování

Děkuji svému školiteli Jakubu Streitovi a Ing. Jiřímu Váchovi za cenné rady, věcné připomínky a nekonečnou trpělivost při pomoci na tomto projektu.

Také bych chtěl poděkovat firmě [Y Soft Corporation, a.s.](#) za poskytnutí perfektního zázemí pro osazení desek plošných spojů, jejich přetavení a za možnost vytištění konstrukčních dílu na 3D tiskárně [DeeGreen](#).

Dále bych chtěl poděkovat organizaci JUNIOR – Dům dětí a mládeže Brno, za poskytnutí zázemí a podpory.

Tato práce byla vypracována za finanční podpory Jihomoravského kraje a Jihomoravského centra pro mezinárodní mobilitu.

Anotace

Tato práce se zabývá vývojem a výrobou automatické videohlavy, použitelné ve filmovém a reklamním průmyslu. Videohlava je zařízení, určené pro plynulé a přesné polohování fotoaparátu. Hlava disponuje 2 rotačními osami. Pohyb hlavy zajišťují krokové motory spolu s řemenovými převody. Řízení pohybu obstarává mikrokontrolér a integrovaný obvod určeným pro buzení krokového motoru. Hlava komunikuje, prostřednictvím rozhraní bluetooth low energy, s mobilním telefonem, ve kterém se definuje její pohyb v čase. Vytvořené řešení disponuje lepšími vlastnostmi než podobné komerční produkty a přidává unikátní možnosti plánování pohybu celého funkčního celku.

Klíčová slova

automatická videohlava; modulární konstrukce; mobilní aplikace; bézierovy křivky; xmega; bluetooth low energy

Annotation

This work deals with the development and manufacture of an automatic video head, which can be used in film and advertisement production. The head consists of two rotating axes. The head's movement is realized with a stepper motors and belt drives. Motion control is handled by a microcontroller with a stepper motor driver. The head communicates via Bluetooth Low Energy interface with a smartphone, where the head's movement planning is done. The final solution has better quality characteristics than similar commercial products and gives unique movement planning possibilities.

Keywords

automatics video head; modular construction; mobile application; bézier curve; xmega; stepper motor; bluetooth low energy

Obsah

ÚVOD.....	7
1 HARDWARE	8
1.1 ZÁKLADNA MODULU	9
1.2 ROTAČNÍ ČÁST	9
1.2.1 Hřídel	10
1.2.2 Řemenový převod	11
1.3 KROKOVÝ MOTOR.....	11
1.4 KONEKTOROVÁ VÝBAVA.....	12
2 ELEKTRONIKA	13
2.1 HLAVNÍ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	13
2.1.1 DC-DC měnič napětí LM2840.....	14
2.1.2 Mikrokontrolér ATxmega128A4U.....	15
2.1.3 Obvod pro řízení krokového motoru L6472	16
2.1.4 Bluetooth Low Energy modul.....	17
2.1.5 Digitální teploměr TMP102	19
2.1.6 Dálková spoušť fotoaparátu.....	19
2.2 POMOCNÁ DPS S MAGNETICKÝM ENKODÉREM	21
2.2.1 Integrovaný obvod AS5048.....	21
2.3 NFC DESKA	22
2.3.1 NFC integrovaný obvod	23
3 SOFTWARE	24
3.1 PROTOKOL PŘENOSU DAT.....	24
3.2 APLIKACE PRO MOBILNÍ TELEFON	24
3.3 FIRMWARE MIKROKONTROLÉRU	26
ZÁVĚR	27
ZDROJE INFORMACÍ	28
SEZNAM OBRÁZKŮ	30
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK.....	31
SEZNAM ROVNIC	32
SEZNAM TABULEK.....	32
SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE	32
SEZNAM PŘÍLOH	32

Úvod

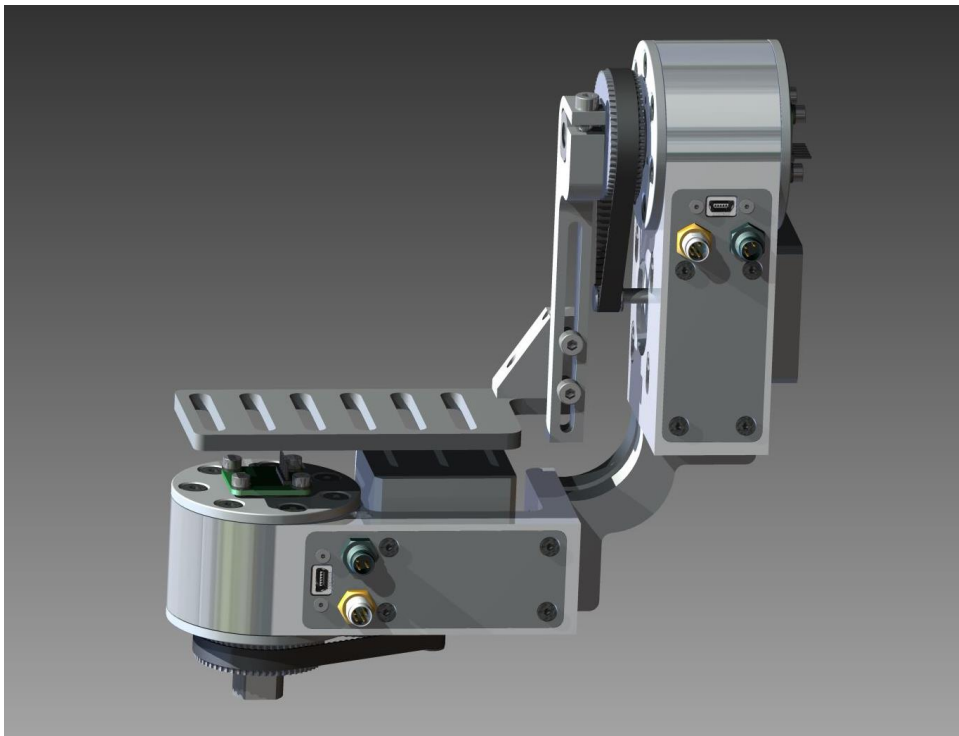
Projekt automatické videohlavy je zaměřen na vývoj a výrobu automatické videohlavy určené primárně pro filmová studia, amatérské a profesionální fotografy a reklamní agentury. Hlavní funkce automatické videohlavy spočívá ve velmi pomalém a plynulém pohybu, umožňujícím natáčet časosběrné záznamy tzv. time-lapse. Při použití zařízení, které umožňuje pomalý pohyb, ať už v translační nebo rotační ose dostává záznam něco navíc oproti prostému statickému snímání.

Pro výrobu vlastního zařízení jsem se rozhodl z důvodu zájmu v oblasti elektroniky, experimentálního filmu a extrémních cen komerčně dostupných produktů, které navíc nenabízejí očekávané funkce. Komerčně dostupná zařízení také využívají stejnosměrných motorů, u kterých je pro správnou funkci nutné přesné vyvážení kamery a jejich speciální ovladač určený pouze pro konkrétní modely motorizovaných videohlav.

Při vývoji jsem se rozhodoval, zda si práci zjednodušit, a použít dostupný hardware a elektroniku, nebo se vydat cestou vlastního návrhu, což je cesta složitější a časově i finančně nákladnější. Nakonec jsem zvolil kompletně vlastní návrh a jediný zakoupený elektronický celek je bluetooth low energy modul, veškerá ostatní elektronika je vlastní. Hardware jsem si také navrhl sám, a aby bylo možné s videohlavou hýbat, naprogramoval jsem si vlastní aplikaci pro mobilní telefon. Aplikace podporuje plánování pohybu pomocí bézierových křivek, které se později interpolují v mikrokontroléru.

1 Hardware

Hlavní myšlenou celého hardwaru je modulárnost, přesnost, pevnost. Z jednotlivých modulů lze poskládat nejen dvouosou motorizovanou hlavu, která je předmětem této práce, ale je možné vzít i jenom jeden modul a postavit z něj slider. Pro návrh hardwaru celého zařízení jsem, díky předchozím zkušenostem, zvolil Autodesk Inventor. Výroba probíhala dvojím způsobem: třískovým obráběním a 3D tiskem¹. Třískové obrábění bylo zvoleno v případech většího zatížení a vyšší požadované přesnosti. Naproti tomu 3D tisk byl volen pro díly, které by se hůře, resp. draze, obráběly a není u nich potřeba vysoká přesnost. Pro výrobu třískovým obráběním bylo využito kapacit střední školy technické a gastronomické v Blansku. 3D tisk probíhal ve firmě Y Soft Corporation, a. s., na tiskárně DeeGreen firmy be3D.



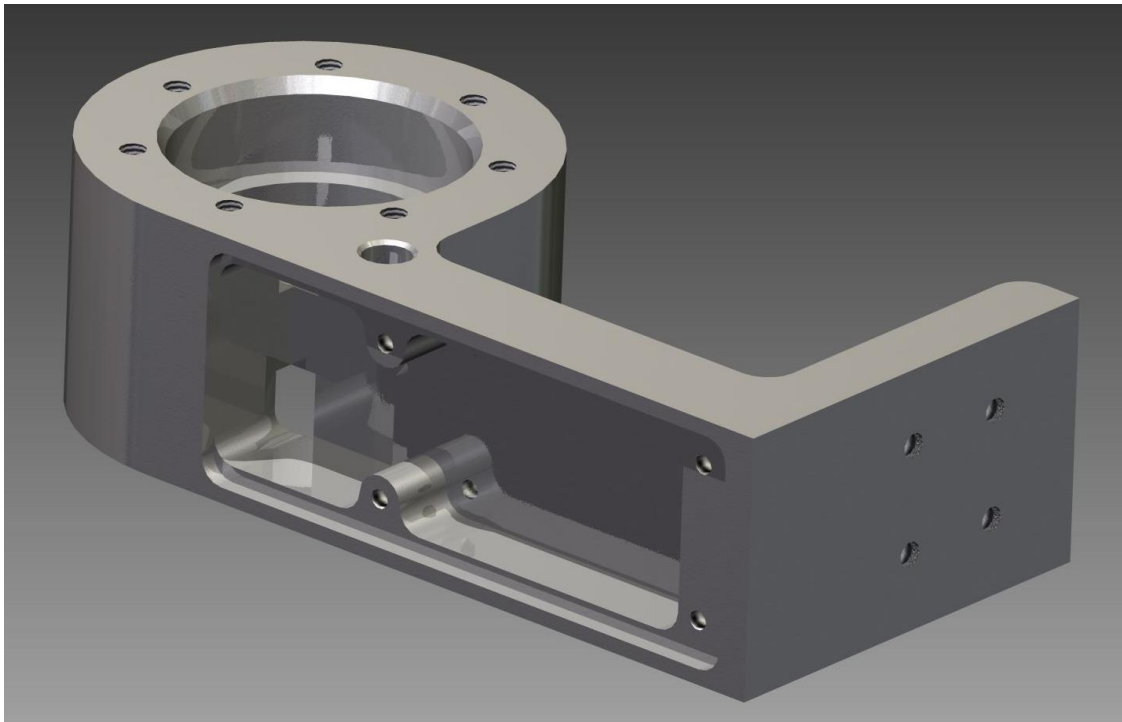
obr. 1: Celkový pohled na zařízení.

¹ Tisklo se technologií FDM, což znamená postupné nanášení roztaveného materiálu na sebe

1.1 Základna modulu

Základna modulu je vyrobena z jednoho kusu duralu (slitina AW-6082), konkrétně z tyče 60×40 mm. Dural byl zvolen z důvodů dostupnosti, dostatečné pevnosti, nízké hmotnosti a eloxovatelnosti². Mezi další kladné vlastnosti duralu patří snadné obrábění, díky tomu, že se „nelepí“ jako hliník. Rozměry základny jsou 118×56×34 mm, hmotnost 221 g. Pro výrobu byla využita mj. CNC frézka, stojanová vrtačka a ruční závitníky.

Na obr. 2 je vidět samotná základna. Na levé straně je vyfrézována díra pro hřídel s kuželíkovými ložisky, uprostřed kapsa pro desku s elektronikou, za ní místo pro krokový motor. Na pravé straně pak 4 závity velikosti M4 pro spojování více modulů.



obr. 2: Vzhled základny

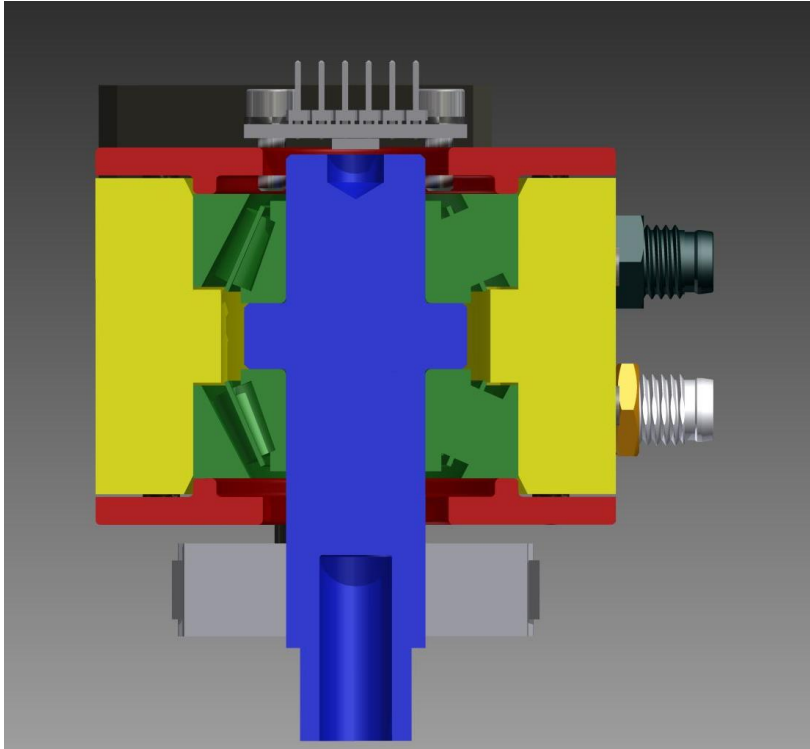
1.2 Rotační část

Pro umožnění plynulé a bezvůlové rotace osy v každém modulu je využito dvojice kuželíkových ložisek rozměru 30202 uspořádaných do „X“. To znamená, že tlačí proti sobě. Na obr. 3 jsou znázorněna zelenou barvou. Kuželíková ložiska byla zvolena z důvodu možnosti je zatížit jak axiálními, tak radiálními silami, které vznikají na řemenovém převodu. Což by v případě použití jiného typu ložisek (např. kuličková, soudečková, jehlová, ...) nebylo vhodné.

Díky použití dvojice kuželíkových ložisek je možné přesně vymezit vůli mezi základnou (žlutě) a hřídelí (modře). Vhodným seřízením předpětí lze dosáhnout bezvůlového chodu, který je pro automatickou videohlavu žádoucí.

² Vlastnost materiálu, umožňující eloxování (elektrolytická oxidace hliníku a jeho slitin)

Vymezovače vůle jsou znázorněny červeně a jejich úkolem je přitlačovat kuželíková ložiska k sobě a držet magnetický enkodér na správném místě. Spojení se základnou zajišťuje 7 imbusových šroubů velikosti M4 se zahlubenou hlavou. Vymezovače jsou vyrobené technologií 3D tisku z materiálu PLA³.



obr. 3: Řez rotační částí modulu.

1.2.1 Hřídel

Výroba hřídele probíhala na soustruhu a frézce. Je vyrobena také z duralu a to z důvodu jeho paramagnetismu, což znamená, že neovlivňuje magnetické pole, ve kterém se nachází a snadné obrobitelnosti. Paramagnetický materiál je zde důležitý z důvodu umístění magnetu ve hřídeli (horní díra ve hřídeli na obrázku). V případě použití jiného materiálu by mohlo docházet k ovlivňování magnetického enkodéru a nesprávnému vyhodnocení aktuální rotace hřídele. Spodní díra obsahuje Whitworthův závit ve velikosti 3/8-16 UNC. Tento závit se používá u fotografických stativů, na které se hlava umísťuje a jeho, pro Evropany nezvyklá, velikost je dána historickým vývojem fotografické techniky. Na spodní části hřídele se také nachází ozubená řemenice. Na samotném konci hřídele je sražení pro případné povolení závitu. Celková délka hřídele je 63,5 mm, průměr v nejširší části 24 mm a po stranách 15 mm. Šířka v oblasti sražení je 13 mm.

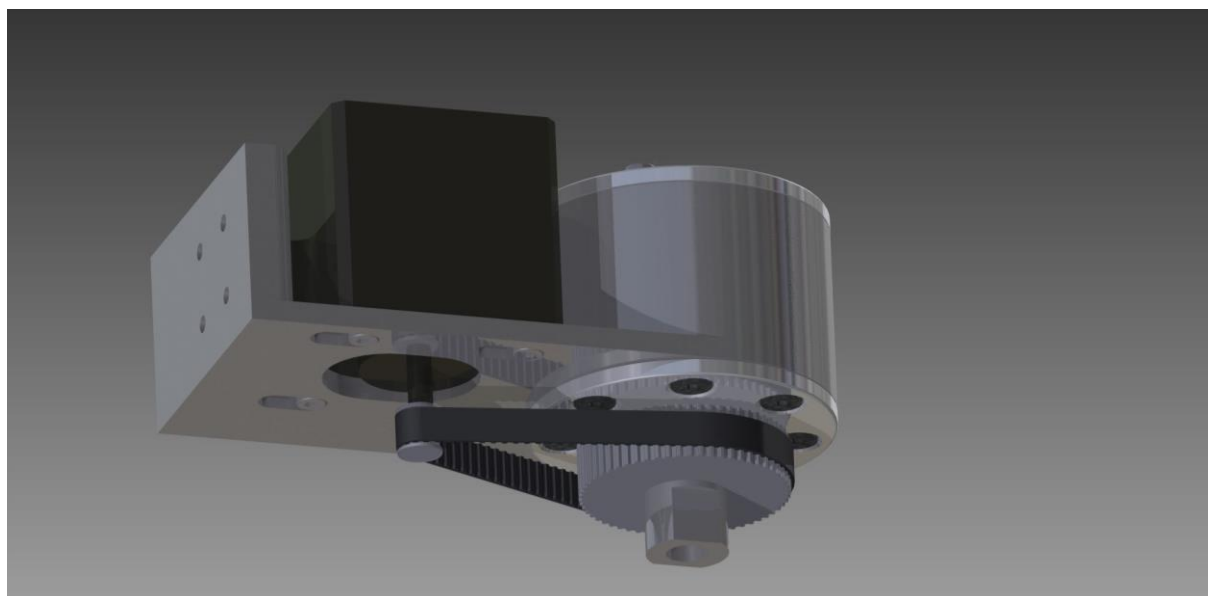
³ biologicky odbouratelný polymer vyrobený z kyseliny mléčné

1.2.2 Řemenový převod

Při výběru typu řemenu byly hlavní požadavky, aby nemohl proklouznout a co nejmenší dostupný modul. Z těchto požadavků bylo vytipováno několik vhodných kandidátů. Další výběr proběhl za asistence programu Autodesk Inventor, v němž byla funkce řemenu simulována, a na základě výsledků simulace byl zvolen řemen s profilem M3, což je metrický řemen s rozestupy mezi zuby 3 mm. Vhodná délka řemenu byla také vypočtena v programu Autodesk Inventor (204 mm, 68 zubů). Celé provedení řemenového převodu je patrné z obr. 4.

Při volbě řemenic byl důležitý co největší převodový poměr, a proto je na motoru osazena nejmenší dostupná a použitelná řemenice tj. 10 zubů. Na protější straně byla zvolena největší řemenice, která je menší než šířka modulu, tj. 48 zubů. Obě řemenice byly zakoupeny a dle tvrzení výrobce jsou vyrobené z hliníkové slitiny (1).

Převodový poměr je 4,8:1 do síly. Díky řemenovému převodu je možné osadit menší a lehčí krokový motor.



obr. 4: Uložení krokového motoru, řemenový převod.

1.3 Krokový motor

Krokový motor zajišťuje pohyb každé osy a od jeho vlastností se odvíjí kvalita výsledného záznamu. Při výběru krokového motoru hrál hlavní roli poměr velikosti a výkonu, což není vlastnost, ve které by se krokové motory mohli rovnat kupříkladu se servy⁴ jejichž dynamika je na úplně jiné úrovni. Dle mechanických možností byl vybrán krokový motor českého výrobce Microcon s.r.o. konkrétně typ SX17-1005. Na zmíněném typu krokového motoru je standardizovaná příruba NEMA17. Příruba má tvar čtverce se stranou 42,3 mm. V rozích pomyslného čtverce o straně 31 mm, v úrovni příruby, se nachází 4 závity velikosti M3. Použité šrouby pro pevné spojení motoru se základnou jsou M3x5 s válcovou hlavou. Uložení krokového motoru je patrné z obr. 4.

⁴ Zde nejsou myšlena modelářská serva, ale opravdový servopohon AC či DC servy s enkodérem.

Při výběru pohonu jsem se také rozhodoval mezi servy, které jsou ve většině vlastností lepší. Mají například daleko lepší poměr hmotnosti a výkonu. Klíčový argument pro nepoužití servopohonů je jejich složité řízení v uzavřené regulační smyčce vyžadující specializovaný a výkonný integrovaný obvod a také cena celého řešení.

1.4 Konektorová výbava

Všechny použité konektory jsou průmyslového typu se zvýšenou mechanickou odolností a vyšším stupněm krytí. Nejdůležitější konektor je typu M8 se čtyřmi piny (na obr. 5 dole), ten slouží jako napájecí a prostřednictvím něj komunikují mezi sebou jednotlivé moduly. Moduly mezi sebou komunikují pomocí sběrnice RS485. Další konektor použitý na výstupním panelu je opět typu M8, tentokrát tří pinový. Tento konektor je využitý pro dálkové spouštění fotoaparátu - blíže popsáno v kapitole Dálková spoušť fotoaparátu. Poslední konektor na celém modulu je USB a jak již název napovídá konektor je univerzální, momentálně je využíváný pouze pro aktualizace firmwaru mikrokontroléru, ale do budoucna může sloužit jakémukoliv účelu (kalibraci, rozšířenému nastavení, ...).



obr. 5: Konektorová výbava.

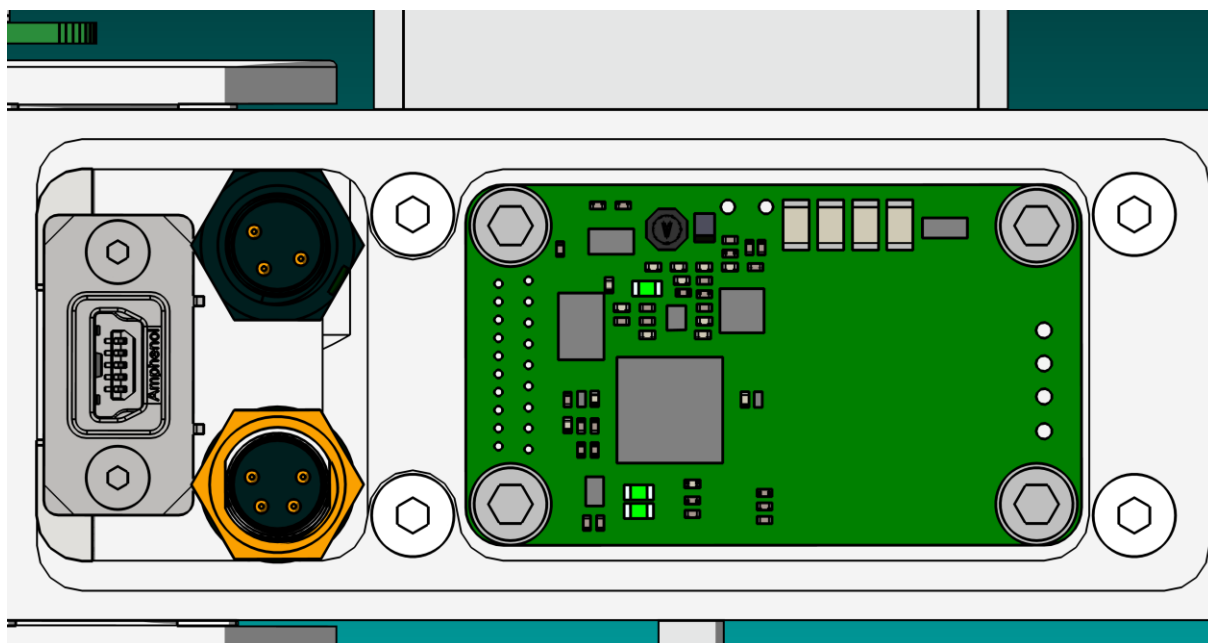
2 Elektronika

Při návrhu elektroniky jsem šel cestou modulů (jednotlivých rotačních os), které je možné spojit do větších společně fungujících celků. Proto také každá osa obsahuje mj. vlastní řídicí mikrokontrolér, bluetooth low energy (BLE) modul a integrovaný obvod pro řízení krokového motoru.

Napájení veškeré elektroniky je zajištěno externím akumulátorem. V mém případě se jedná o tříčlánkovou lithium-polymerovou baterii s nominálním napětím 11,4 V a kapacitou 2200 mAh.

2.1 Hlavní deska plošných spojů

Veškerá řídicí a podpůrná elektronika se nachází na oboustranné DPS o rozměrech 41×24 mm, je navržena v VI. třídě přesnosti tj. min. 150μm spoj-spoj/polygon. Návrh probíhal v Altium Designeru. Při jejím návrhu byl kladen extrémní důraz na miniaturizaci z důvodu pozdější integrace do mechanické části výrobku a také v neposlední řadě z důvodů ekonomických. Proto je osazena pouze součástkami typu SMD⁵. Uchytení DPS do mechanické části je řešeno pomocí 4 šroubů velikosti M3x8, umístěných v rozích. Umístění DPS v modulu je patrné z obr. 6.

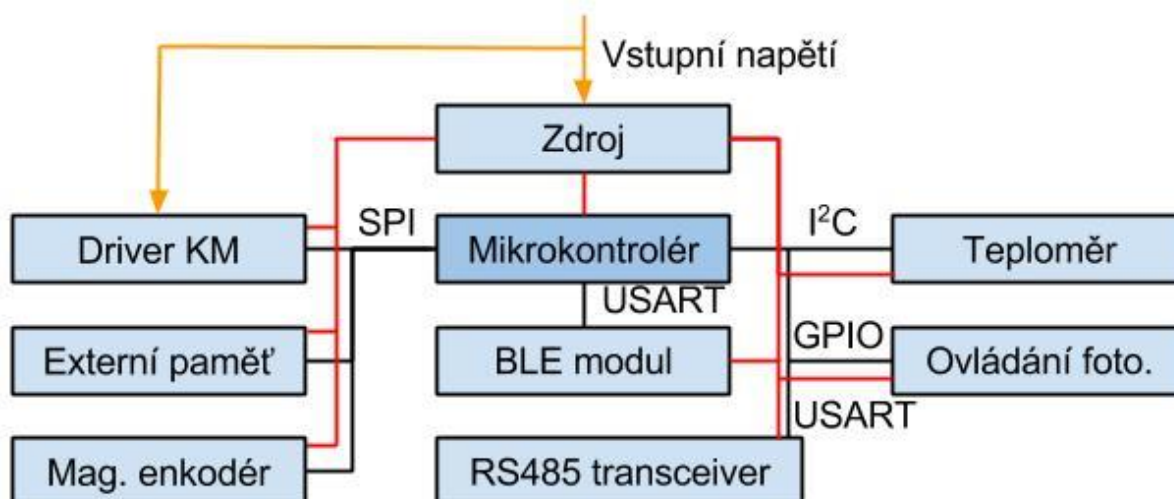


obr. 6: Umístění hlavní DPS v těle modulu.

Pasivní součástky byly voleny v obvykle nejmenší běžně dostupné velikosti 0402 (1×0,5 mm), pouzdra integrovaných obvodů byla volena stejným způsobem s přihlédnutím k tepelně-mechanickým vlastnostem výkonových součástek.

⁵Surface-mount devices -součástky využívající povrchové montáže.

Napájecí napětí celého modulu je omezeno použitým spínaným regulátorem LM2840 na rozmezí 8-35 V, maximálně 8-40 V. Regulátor je pomocí odporového děliče nastaven na výstupní napětí 3,3 V a poskytuje energii celé logické části modulu, jejímž mozkiem je procesor ATxmega128A4U. Procesor ovládá další periférie, např. integrovaný obvod pro ovládání krokového motoru L6472, BLE⁶ modul HM-11, digitální teploměr TMP102, sériovou paměť 25AA256, spínání výstupů určených pro odpalování fotoaparátu a RS485 transceiver SN65HVD72.



obr. 7: Schematický diagram hlavní desky.

2.1.1 DC-DC měnič napětí LM2840

Hlavním kritériem pro výběr měniče bylo maximální vstupní napětí, což značně snížilo počet možností. Dále dostatečný výstupní proud a napětí. V neposlední řadě pak také samotná velikost zapojení. Dle doporučení utility WEBENCH Power designer dostupné z (2) byl vybrán IO LM2840, který je pro tento druh aplikací přímo určen a nabízí následující vlastnosti:

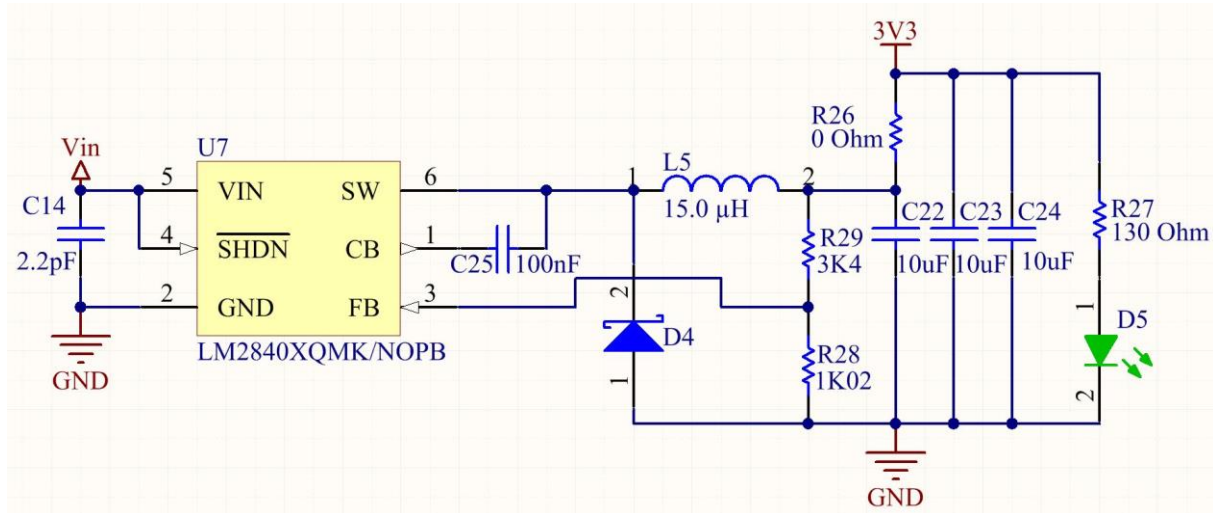
Vstupní napětí:	4,5 V-42 V
Výstupní napětí:	0,765 V-34 V
Výstupní proud:	100 mA
Topologie:	Buck
Spínací frekvence:	550kHz

Tabulka 1:Vlastnosti DC-DC měniče LM2840

Vstupní napětí	4,5V-42V
Výstupní napětí	0,765V-34V
Výstupní proud	100mA
Topologie	Buck
Spínací frekvence	550kHz

⁶Bluetooth low energy, někdy také označeno jako Bluetooth v. 4.

Pomocí odporového děliče R28,R29 je nastavené výstupní napětí na 3,3 V (napětí na vstupu zpětné vazby „FB“ je udržováno na 0,765 V). Je přidána indikační LED spolu s předřadným rezistorem R27 a nulový rezistor R26. Vstupní filtrovací kapacity provedené kombinací tantalových (nejsou vyobrazeny na obr. 8, C15-C21, každý 1µF) a keramických kondenzátorů se na první pohled mohou zdát, až zbytečně předimenzované, ale je to z důvodu PWM modulaace proudu do fází krokového motoru, které způsobují značné proudové špičky. Filtrace výstupního napětí je provedena pomocí keramických kondenzátorů C22-C24. Vše je patrné ze schématu na obr. 8, kde Vin je vstupní napájecí napětí.



obr. 8: Schéma zapojení DC-DC měniče LM2840.

2.1.2 Mikrokontrolér ATxmega128A4U

Jako řídicí mikrokontrolér byl zvolen IO fy. Atmel z rodiny AVR, řady XMEGA, konkrétně ATxmega128A4U. Většinu času je taktován interním oscilátorem na frekvenci 32MHz, což je frekvence maximální doporučená. Pouze s malou rezervou dostačuje na interpolaci křivek. Rodina procesorů XMEGA se oproti MEGA vyznačuje hlavně zvýšeným pracovním kmitočtem, podporou většího počtu sběrnic, tzv. event systémem a kvalitnějším ADC převodníkem.

Z celkového počtu 44 pinů zůstaly nezapojené jen 3. V návrhu jsou využity 2 SPI sběrnice pro komunikaci s IO řídicí krokový motor, magnetickým enkodérem, NFC⁷ čipem a přídatnou pamětí. 2 USARTy, jeden pro komunikaci s bluetooth modulem a druhý je po převedení napětíových úrovní použit jako RS485 transceiver⁸. Komunikaci skrz sběrnici I²C⁹ využívá digitální teplotní senzor TMP102.

⁷ Technologie komunikace na krátkou vzdálenost (max. desítky cm)

⁸ Zkrácené označení pro vysílač a přijímač

⁹ Atmel používá pro sběrnici I²C název TWI - dvou vodičová sběrnice, díky čemuž se vyhne sporům s NXP kvůli ochranné známce, ale jedná se prakticky o totéž.

2.1.3 Obvod pro řízení krokového motoru L6472

Pro řízení krokového motoru je využitý IO z rodiny dSPIN fy. STMicroelectronics. IO obsahuje dva výkonové h-můstky, každý schopný dodat 3A trvale, nějaký procesor komunikující s nadřazeným systémem skrz sběrnici SPI a LDO¹⁰. Z důvodu mizerné efektivity LDO při vyšším vstupním napětí je nahrazen hospodárnějším spínaným měničem na hlavní DPS.

Obvod umožňuje využít mikrokroků, což znamená, že se proud fázemi rozdělí dle obr. 9 v poměru $\sin(x)/\cos(x)$. Použitý IO dosahuje maximálně 128ti mikrokroků na celý krok, což s přihlédnutím k mechanickým vlastnostem krokových motorů plně dostačuje. Čip podporuje řízení více způsoby: přímým zadáním cílové pozice motoru, zadáním rychlosti a směru pohybu a přímé řízení pomocí signálů STEP/DIR kdy po detekci náběžné hrany signálu na vstupu STEP pootočí hřídel motoru a nastavený (mikro)krok, ve směru dle vstupu DIR.

Další vlastností pro výběr zmíněného IO je možnost nastavit RMS¹¹ hodnotu proudu fáze dle druhu vykonávané činnosti (akcelerace, běh, decelerace, stání), což značně zjednodušuje práci s krokovými motory. Mezi bezpečnostní funkce patří nastavitelná detekce nadproudu, příliš vysoké teploty a nízkého napětí.

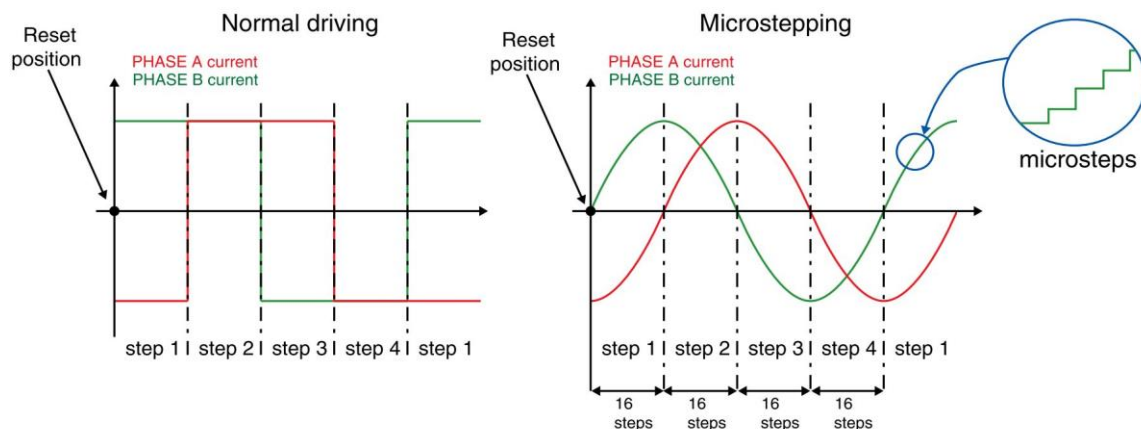
V aplikaci se IO používá ve dvou režimech:

Přímé zadání rychlosti v případě, že je zařízení v chodu a probíhá nahrávání sekvence. V tom případě probíhá interpolace dle bézierových křivek, jejímž výsledkem je kýžená rychlost za jednotku času. Tato rychlost se dále přepočítává na tvar vyhovující IO podle Rovnice 1.

$$\frac{\text{step}}{s} = \frac{\text{rychlost} * 2^{-28}}{250ns}$$

Rovnice 1: vztah kroků/s a registru SPEED

Přímé zadání pozice je používáno ve všech ostatních případech.



AM02381v1

obr. 9: průběh proudu fází při mikrokrokování, dostupné z (3).

Veškeré informace zmíněné o IO L6472 byly získány z katalogového listu ze (3).

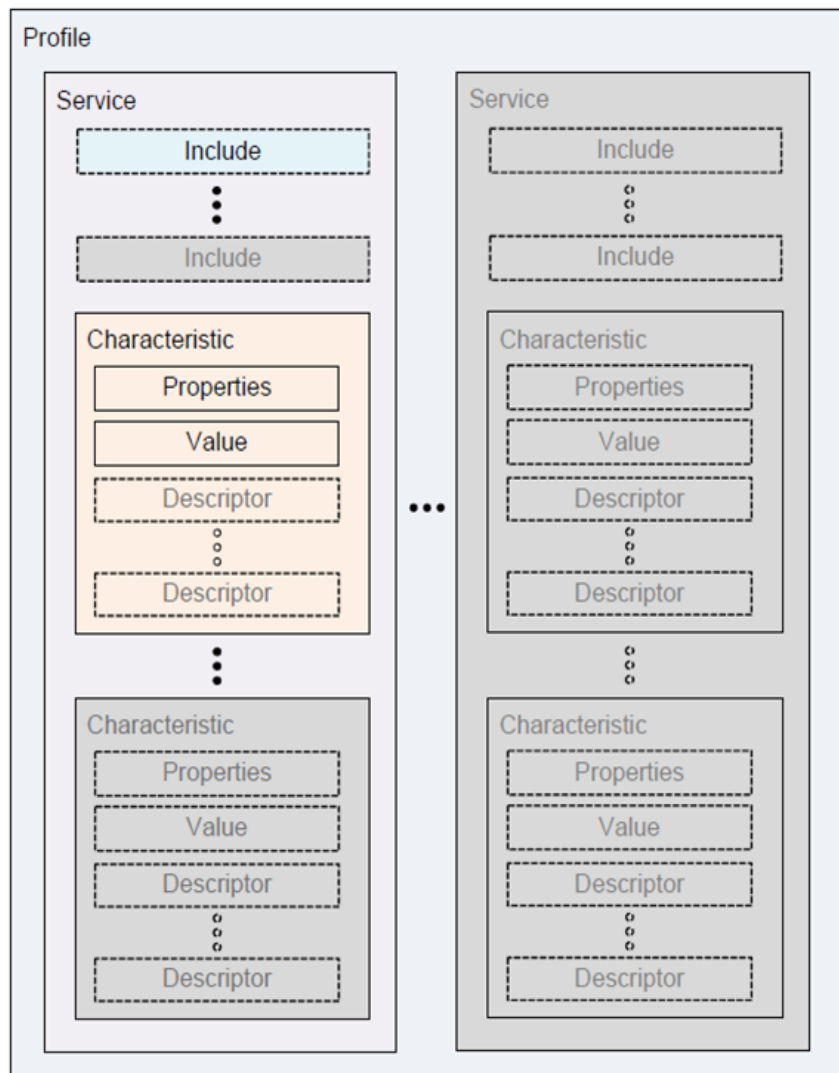
¹⁰Low drop out regulátor-lineární regulátor napětí

¹¹ Root Mean Square-efektivní hodnota

2.1.4 Bluetooth Low Energy modul

Bluetooth low energy modul, s označením HM-11, koupený na serveru ebay.com od neznámého výrobce, obsahuje poměrně rozšířený IO CC2540 fy. Texas Instruments. BLE modul se stará o komunikaci každé hlavní DPS s mobilním telefonem. Modul je prodáván s již naprogramovaným IO, který umožňuje jednoduché připojení do systému. Tento konkrétní modul byl vybrán hlavně z důvodu své velmi malé velikosti: 13,5×18,5 mm a nízké ceny. S nadřazeným systémem komunikuje pomocí RS232 v 3,3 V napěťových úrovních a ovládá se pomocí AT příkazů. Modul pracuje v režimu periférie. Po navázání komunikace s jiným BLE, který je v režimu centrály, se chová jako transparentní sériová linka

Bluetooth ve verzi 4 je následníkem bluetooth v. 2.1. Bluetooth v. 3 zavedl hlavě možnost vysokorychlostních přenosů pomocí protokolu 802.11. Při komunikaci se používají GATT profily, které obsahují typicky více tzv. služeb. Ty obsahují charakteristiky a ty obsahují vlastnosti, hodnoty a deskriptory. obr. 10 schematicky znázorňuje BLE GATT profil.

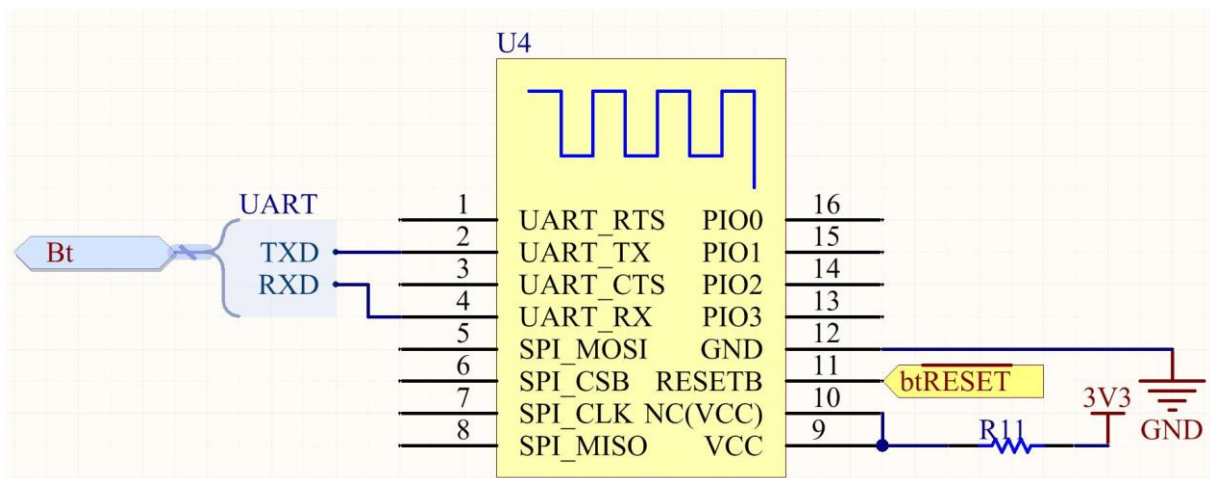


obr. 10: Schéma BLE GATT profilu, dostupné z (11).

Modul je řešen tak, že obsahuje 3 služby:

1. Služba tzv. generický přístup obsahuje charakteristiky: název zařízení, viditelnost, adresu pro opakované připojení a preferované parametry připojení.
2. Služba tzv. generické atributy obsahuje pouze jednu charakteristiku – změna služby, která se v tomto případě nepoužívá.
3. Služba, nejvíce důležitá, obsahuje také pouze jednu charakteristiku, jejíž hodnota je rovna ASCII znakům, které byly přijaté od nadřazeného systému, popř. při zápisu mobilním telefonem zapsané znaky odešle nadřazenému systému.

Na obr. 11 je patrná jednoduchost integrace modulu na DPS - je přímo připojen na USART mikrokontroléru. Napájený je přes nulový rezistor R11. Vstup externího resetu modulu je možno použít v případě, že by přestal odpovídat.



obr. 11: Schéma zapojení BLE modul.

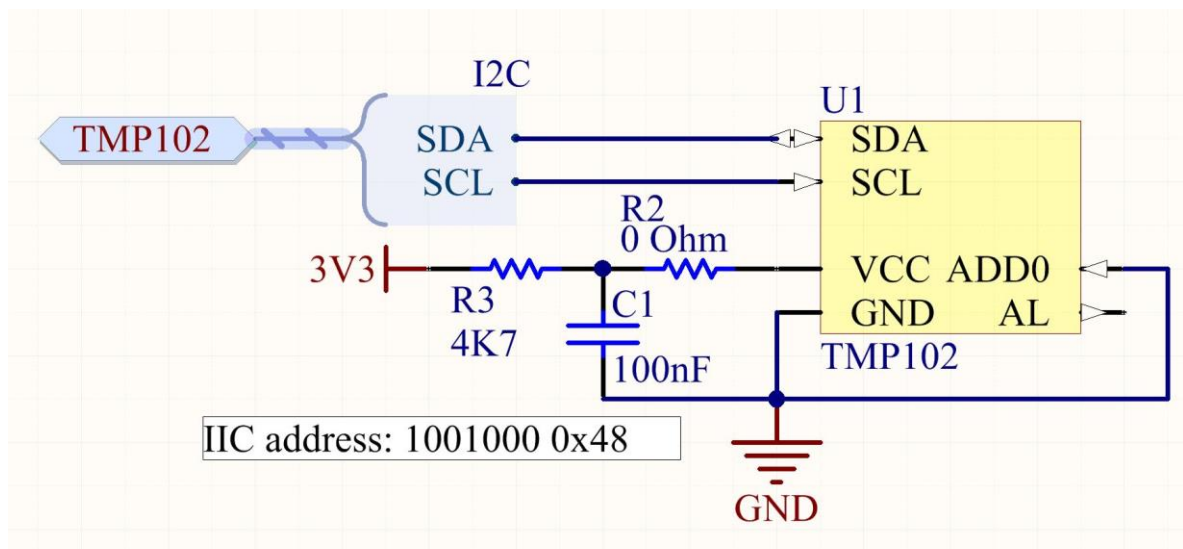
Veškeré informace o BLE modulu byly čerpány z (4), informace o CC2540 byly čerpány z (5).

2.1.5 Digitální teploměr TMP102

Integrovaný obvod TMP102 fy. Texas Instruments je 12bitový digitální teploměr s komunikační sběrnicí I²C. Zvolen byl díky jeho velmi malému půdorysu, pouze 1,6×1,6 mm, digitálnímu výstupu a kladným referencím. Použitelná teplota je -25 °C–85 °C, což s přehledem dostává požadavkům aplikace.

Teploměr je použitý z důvodu předvídání možného přehřátí elektroniky (L6472 má $P_{\max} = 3 \text{ W}$). V případě zvýšení teploty je uživatel informován. Pokud se teplota DPS dostane nad nastavenou mez, dojde k automatickému vypnutí výkonové části elektroniky z důvodu její ochrany.

Z obr. 12 je patrné schématické zapojení teploměru an sběrnicí I²C. Resistor R3 a kondenzátor C1 slouží jako RC filtr pro omezení rušení.



obr. 12: Schéma zapojení IO TMP102.

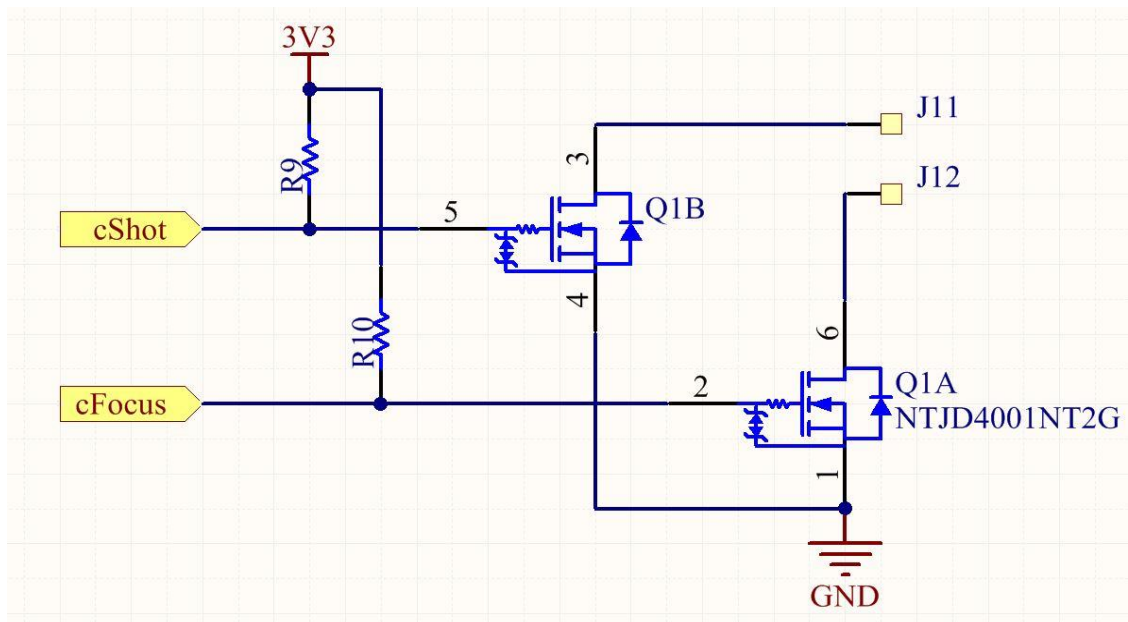
Informace o IO TMP102 byly čerpány z (6).

2.1.6 Dálková spoušť fotoaparátu

Při snímání fotografií se pro přesné načasování odpálení závěrky používá dálková drátová spoušť. Její funkčnost je ověřena s fotoaparáty značky Nikon a Canon. S ostatními by měla po připojení redukce fungovat taky, protože většina výrobců používá proprietární konektory.

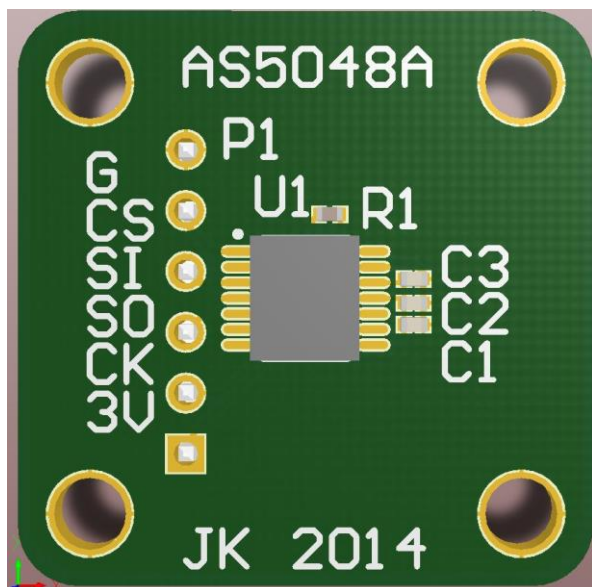
Její princip je velmi jednoduchý. Na konektoru dálkové spouště jsou obvykle minimálně 3 vodiče, z nichž jeden je zem fotoaparátu, další je vstup ostření a poslední je vstup závěrky. Při běžném chodu se na vstupech vyskytuje napětí kolem 2V a při „zkratování“ do země, přes interní rezistor s hodnotou v řádu tisíce ohmů, se vykoná daná akce (závěrka/ostření). Pro správný chod je nutné nastavit manuální režim ostření, při němž není třeba čekat, až automatika zaostří. V opačném případě nelze zaručit správnou funkčnost v důsledku chybějící zpětné vazby od fotoaparátu s informací o průběhu ostření, nehledě na to, že automatika bude v průběhu snímání ostřit pokaždé trochu jinak, což kazí celkový dojem ze záznamu.

obr. 13 znázorňuje schématické zapojení obvodu pro vzdálenou spoušť fotoaparátu. Princip funkce je následující: po přivedení napětí na gate MOSFETu (pin označený 5 a 2) se sepne J11 resp. J12 k zemi, což způsobí zaostření nebo vyfocení snímku.

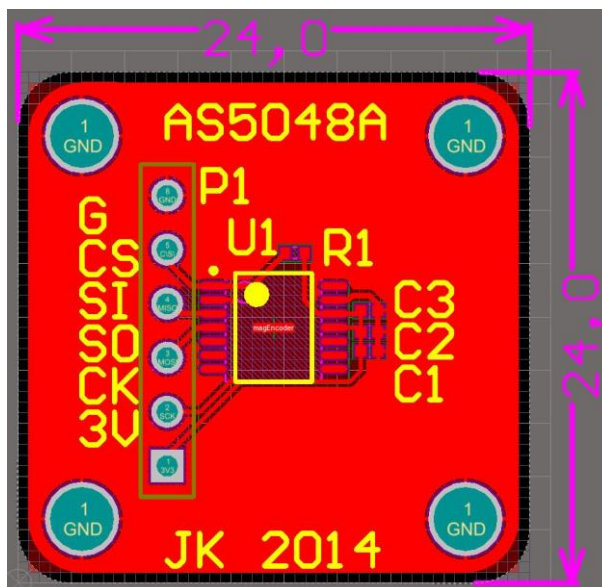


obr. 13: Schéma zapojení dálkové spouště.

2.2 Pomocná DPS s magnetickým enkodérem



obr. 15: Výsledný vzhled pomocné DPS



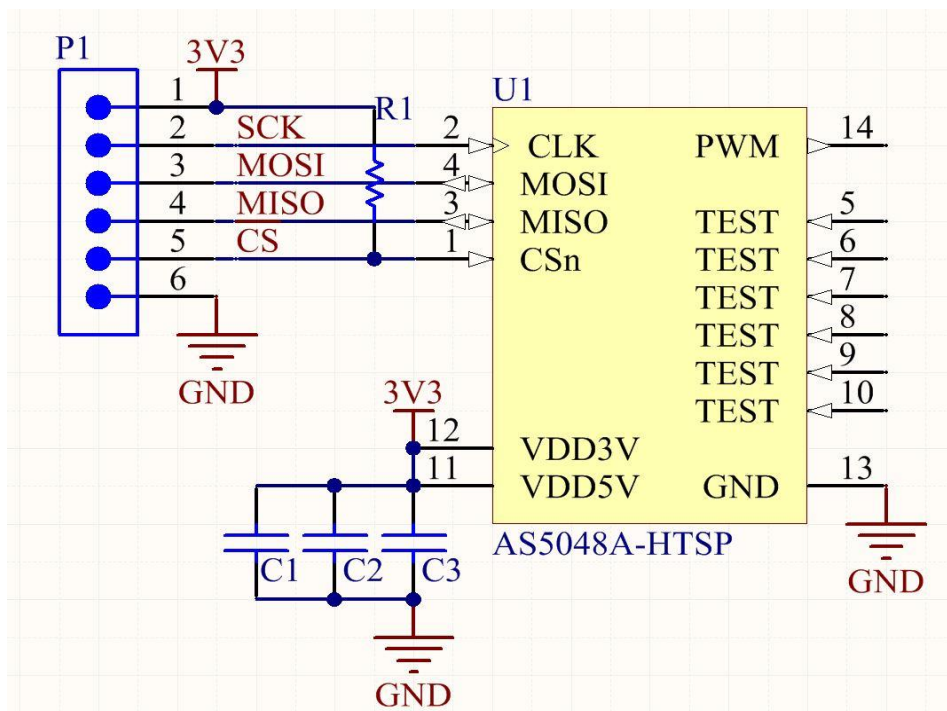
obr. 15: Návrh a rozměry pomocné DPS.

Velikost pomocné DPS je 24×24 mm. Jedná se o jednostrannou desku, navrženou v V. třídě přesnosti, v Altium Designeru. Je umístěna nad hřídelí každého modulu, pomocí 4 kusů šroubů velikosti M3 s imbusovou válcovou hlavou, tak, aby střed magnetického enkodéru byl v ose hřídele. Díky tomu je minimalizována nelinearita. Enkodér poskytuje přesnou a aktuální informaci o natočení hřídele vůči IO na desce samotné. obr. 16 znázorňuje zapojení celé pomocné desky. Obsahuje pouze enkodér, blokovací kondenzátory a pull-up rezistor R1, 39 kΩ na vstupu CS.

2.2.1 Integrovaný obvod AS5048

Možností, jak přesně snímat aktuální pozici hřídele je velké množství např. potenciometrem, optickým enkodérem, resolverem¹², magnetickým enkodérem... Při výběru patřily mezi nejdůležitější parametry přesnost, stabilita, nenáročnost implementace a cena. Z tohoto důvodu jsem zvolil právě magnetický enkodér. Ty se vyznačují nízkou cenou, vysokým rozlišením a v případě této aplikace také jednoduchou implementací. Mezi jejich nevýhody patří malá mechanická odolnost (jedná se jen o zapouzdřený křemík). IO AS5048a je 14bitový rotační absolutní magnetický enkodér fy. AMS. Byl zvolen z důvodu dostupnosti, předchozích kladných zkušeností, jednoduchého použití, spolehlivosti, odolnosti vůči magnetickému rušení a dalších kladných vlastností. Existují dvě verze IO, které se liší použitou komunikační sběrnici, první verze IO - AS5048A - disponuje sběrnici SPI. Druhá verze IO - AS5048B - komunikuje skrz I²C. V aplikaci je, vzhledem k nutné vyšší rychlosti vyčítání dat použit AS5048A (SPI sběrnice).

¹² Rotační transformátor



obr. 16: Schéma pomocné DPS s magnetickým enkodérem.

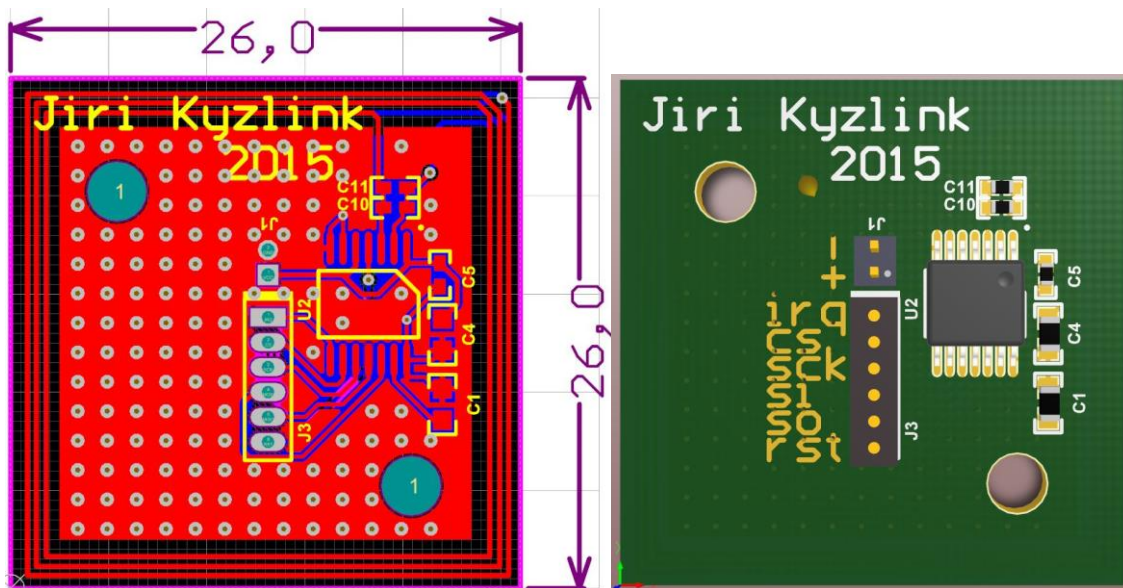
Pro správnou funkci stačí uložit magnet nad/pod střed pouzdra, do přesné vzdálenosti, zjištěné dle (7).

2.3 NFC deska

Určitě jste se už někdy setkali se zařízením, které obsahovalo bluetooth a před samotnou komunikací jste se museli s daným zařízením spárovat. Probíhalo to pravděpodobně tak, že jste někde v dokumentech k zařízení našli jeho bluetooth PIN a ten poté zadali to telefonu, který provedl proces párování.

Při využití technologie NFC k bluetooth párování odpadá nutnost opisovat PIN. Stačí pouze přiblížit telefon s podporou NFC k anténě a proces párování se provede automaticky. Zabezpečení je v tomto případě řešeno pouze krátkým dosahem NFC zařízení, popř. podmíněnou aktivací této funkce.

DPS implementující NFC technologii je opět navržena v Altium Designeru. Je oboustranná, s velikostí 26×26 mm, navržena v V. třídě přesnosti. Schematické zapojení a návrh plošného spoje vychází z vývojové desky výrobce použitého IO a jsou dostupné z (8). Upravené schéma je na obr. 19. Největší změnou je odstranění přebytečného mikrokontroléru a teploměru.

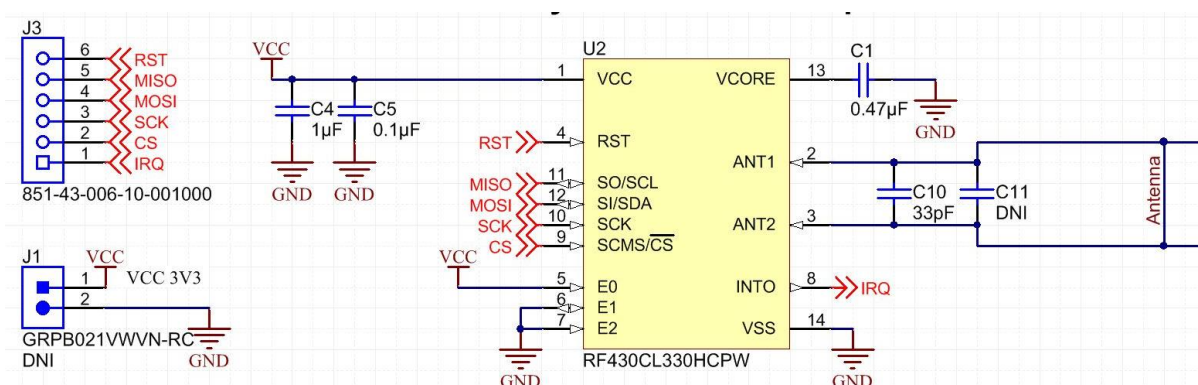


obr. 18: Návrh NFC DPS

obr. 18: Model NFC DPS

2.3.1 NFC integrovaný obvod

Použitý IO je RF430CL330H výrobce Texas Instruments. Jedná se o NFC transpondér. S nadřazeným systémem, mikrokontrolérem na hlavní DPS, komunikuje pomocí sběrnice SPI, kterou sdílí s magnetickým enkodérem a externí pamětí. Princip činnosti je poměrně prostý: při připojení elektroniky na napájení se do NFC IO pošle předem definovaná NDEF¹³ zpráva, která obsahuje mj. adresu bluetooth modulu, název, tzv. bluetooth třídu a další informace, které se v této aplikaci nevyužívají. Po přiblížení mobilního telefonu s podporou NFC a BLE, se přenese NDEF zpráva, mobilní telefon ji dekoduje, zeptá se uživatele, jestli chce párovat mobilní telefon se zařízením, popsáném v NDEF. V případě kladné odpovědi se pokusí připojit k BLE dle adresy ve zprávě. V případě, že se spojení povede navázat, může začít hledat služby atd.



obr. 19: Schéma zapojení NFC DPS

¹³ NFC Data Exchange Format – formát výměny dat u NFC rozhraní

3 Software

3.1 Protokol přenosu dat

Při přenášení dat mezi více zařízeními je nutné si předem přesně stanovit protokol, kterým se budou data přenášet. Existují dva základní typy protokolů: textový a binární. Binární protokoly jsou obvykle rychlejší. V aplikaci je použitý textový protokol z důvodu jednodušší integrace přenosu různých typů dat a snadného ladění, kdy se stačí na paket podívat a hned je jasné, co přenáší.

Při přenosu se využívají pakety, obsahující hlavičku, bit, který označuje čtení nebo zápis, požadované místo zápisu/čtení, argumenty a kontrolní součet. Orientační pohled na typ přenášených paketů ukazuje Tabulka 3. Ačkoliv samotné BLE implementuje metody pro detekce chyb při přenosu a jejich opravy, do protokolu je zahrnut kontrolní součet, protože na desce se vyskytují poměrně vysoké proudy a mohlo by se stát, že se na datové vodiče naindukuje parazitní napětí, které zapříčiní chybný přenos.

1. bajt	2. bajt, 1. bit	2. bajt, 2.–8. bit	3.–(N-1). bajt	N. bajt
hlavička	čtení/zápis	adresa	data	kontrolní součet

Tabulka 3: Struktura paketu

Komunikace probíhá stylem tzv. ping-pong, což znamená, že po příjmu každého paketu je zpět poslána zpráva indikující stav příjmu. V případě, že je vše v pořádku, tak se vykoná příslušný požadavek, v opačném případě, nepřijetí potvrzení nebo chyba kontrolního součtu, se paket pošle znovu a čeká se na potvrzení příjmu.

3.2 Aplikace pro mobilní telefon

Pro ovládání hlavy je využito zařízení, které nosí většina lidí v kapse, totiž mobilní telefon. Oproti vývoji vlastního hardwaru má mnoho výhod: vysoký výkon, komunitu, majorita lidí jej vlastní atd. Bohužel z důvodu náročnosti vývoje je prozatím dostupná pouze verze pro mobilní telefony s operačním systémem Android v minimální verzi 4.4.4 (KitKat, API19). Minimální verze se může zdát poměrně vysoká. Je to způsobeno použitím BLE, které bylo poprvé implementováno v API18. Po velkém ohlasu uživatelů a vývojářů, kteří oznamovali jeho nestabilitu, bylo přepracováno a API19 se už dá považovat za stabilní.

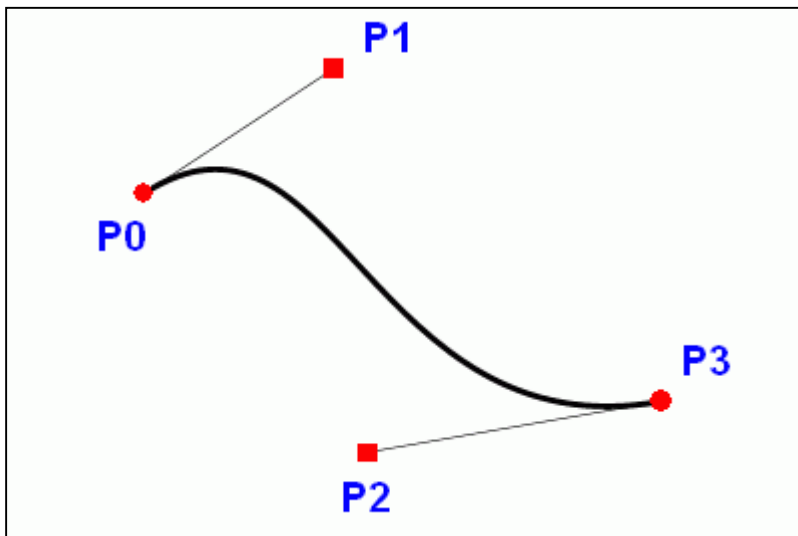
Aplikace je naprogramována v platformě Xamarin. Důvody tohoto rozhodnutí jsou hlavně osobní preference programovacích jazyků a pozdější jednoduchá rozšiřitelnost aplikace na další platformy (Apple iOS, Windows Phone). Použitý programovací jazyk je C#, GUI je stylováno v XML. Aplikace byla vyvíjena ve více prostředích, jako hlavní sloužilo Visual Studio 2015 CTP¹⁴, ve kterém probíhala editace kódu, debugování, kompilace a vše s ní spojené. Ačkoliv mohl být návrh GUI proveden taky ve Visual Studiu nahradil jsem jej Android Studiem z důvodu lepší podpory editace XML a intuitivnější práce. Pro profilování aplikace byl využitý nativní debugger Visual Studio a Xamarin Profiler.

¹⁴ Community Technology Preview – komunitní technologická ukázka

Pro komunikaci s BLE je využita knihovna z projektu Monkey.Robotics dostupná z (9), která je šiřitelná pod licencí Apache 2.0.

Připojení k BLE modulu resp. mikrokontroléru je možné dvojí cestou: vyhledat zařízení v dosahu, tradiční cestou je párovat a poté se připojit. Druhá možnost je přiložit mobilní telefon k plastu, kryjícímu elektroniku, pod nímž se nachází NFC deska. Ta následně provede automatické párování a připojení. Teprve poté je umožněno plánovat pohyb jednotlivých modulů a celé hlavy.

Hlavním úkolem aplikace je plánování pohybu pro jednotlivé osy (moduly) hlavy. Každý modul pracuje nezávisle a přitom synchronně s ostatními. Prozatím je implementován návrh bézierovy křivky, protože splňuje všechny požadované parametry: není ostrá, obsahuje pouze plynulé přechody, poměrně jednoduchá interpolace i vykreslení. A také není důvod pro implementaci jiného typu křivky např. Catmull-Romovy nebo B-spline, protože v jejich případě není přesně definovatelná trasa. V případě bézierovy křivky lze nastavit tzv. klíčové (na obr. 20 P0 a P3) a kontrolní body (na obr. 20 P1 a P2), klíčovým bodem křivka za všech okolností projde a kontrolním bodem lze nastavit její průběh mezi klíčovými body. Při potřebě složitějšího průběhu lze bézierovy křivky řetězit, a to tak, že koncový klíčový bod první křivky je zároveň počátečním klíčovým bodem druhé křivky a přilehlé kontrolní body jsou dle tohoto bodu souměrné. Návrh křivek probíhá v kartézském souřadném systému, kde osa X reprezentuje čas pohybu - začíná na 0 a směrem doprava se zvyšuje. Osa Y reprezentuje pozici motoru. Z toho je jasné, že ne každá bézierova křivka je validní, akceptovány jsou pouze ty, které mají pro každou hodnotu času právě jednu hodnotu pozice.



obr. 20: Kubická bézierova křivka, obrázek převzat z (15)

Dalším úkolem aplikace je navrženou křivku přenést do mikrokontroléru. Tato činnost se provádí tak, že se přenáší pozice každého bodu a jeho index (pořadí na křivce). Křivka se poté rekonstruuje v mikrokontroléru a interpoluje. Aplikace také zobrazuje stav modulu (aktuální pozici, teplotu, napájecí napětí, ...) a je možné s ní provádět drobné změny nastavení modulu.

3.3 Firmware mikrokontroléru

Mikrokontrolér ATxmega128A4U je vybaven 128KB vnitřní paměti pro firmware, což je část kódu, běžící v embedded zařízení, v tomto případě v mikrokontroléru na hlavní desce. Je napsán v jazycích C a C++, místy i Assembler. Vývoj zdrojového kódu probíhal v Atmel Studiu a samotná kompilace pak pomocí GNU/GCC Kompilátoru ve verzi 4.8.1. Pro programování byl využit programátor Forte české firmy ASIX.

Při vývoji je kladen důraz na postupnou rozšiřitelnost, modularitu jednotlivých částí kódu. Proto byl zvolen programovací jazyk C++, který umožňuje tvorbu jmenných prostorů, tříd, ... a v porovnání s „čistým“ C zjednodušuje další vývoj.

Úkolem mikrokontroléru je řídit celý modul podle požadavků nadřazeného systému, v tomto případě aplikace v mobilním telefonu. Požadavky jsou dvojího typu: dotazovací a příkazové. Dotazovací požadavky, zpravidla neobsahující argument, zjišťují stav modulu např. vstupní napájecí napětí, napětí logické části modulu, aktuální polohu hřídele, teplotu modulu atd. Požadavky příkazové, zpravidla obsahující argument, přikazují mikrokontroléru provést nějakou činnost např. otočit hřídel daným směrem a danou rychlostí na danou pozici, nastavit proud cívkou motoru atd. Nejsložitější a zároveň nejvíce výpočetně náročnou částí v celém řízení je proces lineární interpolace bodů křivky. Mezi další činnosti, mikrokontrolérem vykonávané, patří monitorování správného chodu všech periférií.

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit automatickou videohlavu s nižší cenou, než za jakou lze pořídit komerčně dostupné ekvivalenty, s ovládáním prostřednictvím mobilního telefonu a s unikátními možnostmi plánování pohybu. Z pohledu ceny vychází mé řešení na zlomek ceny komerčních produktů (např.: Kessler Cinedriver cca 100 000 Kč) . Celkové náklady na materiál se pohybují kolem 20 000Kč.

Ovládání videohlavy probíhá prostřednictvím mobilního telefonu, který díky použití bézierových křivek umožňuje přesně nastavit její pohyb v čase. Do budoucna lze poté díky tomu přidat téměř jakoukoliv funkčnost. Díky použití aplikačního frameworku Xamarin bude do budoucna možné rozšířit podporované mobilní operační systémy o Windows Mobile a iOS.

Vlastní návrh elektroniky a hardwaru se určitě vyplatil - díky minimální velikosti hlavní DPS ji lze zabudovat přímo do modulu a není třeba externí řídicí jednotky (jak to mají komerční řešení). Do budoucna by bylo vhodné nahradit mikrokontrolér za výkonnější, nejlépe s ARM jádrem, protože při interpolaci aktuálně používaný stíhá jen s malou rezervou. Díky vlastnímu návrhu hardwaru je možné, aby byl celý modul rozměrově kompaktní.

Výstupem práce je plně funkční modulární celek, který splňuje všechny požadavky na počátku práce stanovené. Uplatnění by určitě našla ve filmovém průmyslu, u amatérských a profesionálních fotografů a filmařů nebo také v reklamních agenturách. Videohlava byla vyzkoušena v praxi s kladným výsledkem.

Zdroje informací

1. **CHIARAVALLI GROUP SpA.** Katalog řemenic 3M. [Online] [Citace: 16. 12 2014.] http://www.chiaravalli.com/cz/specification_product.php?id_cat1=9&id_cat2=36&id_cat3=128&id_cat4=433&livello=4.
2. **Texas Instruments.** WEBENCH Power designer. [Online] [Citace: 10. 10. 2014.] <http://www.ti.com/lstds/ti/analog/webench/power.page>.
3. **STMicroelectronics.** Katalogový list integrovaného obvodu L6472. [Online] [Citace: 5. 10. 2014.] <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00047136.pdf>.
4. **Neznámý.** Katalogový list BLE modulu. [Online] [Citace: 12. 1. 2015.] http://txyz.info/b10n1c/datasheets/hm-11_bluetooth40_en.pdf.
5. **Texas Instruments.** Katalogový list BLE IO. [Online] [Citace: 25. 11. 2014.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc2540.pdf>.
6. **Texas Instruments.** Katalogový list k IO TMP102. [Online] [Citace: 10. 11. 2014.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tmp102.pdf>.
7. **AMS.** Aplikační poznámka pro výběru magnetu k enkodéru. [Online] [Citace: 7. 1. 2015.] <https://ams.com/eng/content/view/download/327375>.
8. **Texas Instruments.** Referenční návrh s NFC IO. [Online] [Citace: 5. 1. 2015.] <http://www.ti.com/tool/TIDA-00217>.
9. **Xamarin.** Zdrojový kód Monkey.Robotics. *Monkey.Robotics Git*. [Online] [Citace: 21. 11. 2014.] <https://github.com/xamarin/Monkey.Robotics/>.
10. **Bluetooth Special Interest Group.** GATT Profily. *bluetooth.org*. [Online] [Citace: 10. 2. 2015.] <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Documents/GATT%20profiles.png>.
11. **Texas Instruments.** Katalogový list NFC čipu. [Online] [Citace: 23. 11. 2014.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/rf430cl330h.pdf>.
12. **Texas Instruments.** Katalogový list dc-dc měniče LM2840. [Online] [Citace: 18. 10. 2014.] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2841.pdf>.
13. **AMS.** Katalogový list magnetického enkodéru. [Online] [Citace: 23. 10. 2014.] http://ams.com/jpn/content/download/438523/1341157/file/AS5048_Datasheet.pdf.
14. **Tišnovský, Pavel.** vytváříme křivky v postscriptu. *root.cz*. [Online] [Citace: 27. 1. 2015.] <http://www.root.cz/clanky/vytvarime-krivky-v-postscriptu/>.
15. **Doms, Martin.** Spliny a křivky, část I. - Bézierovy křivky. *blog Martina Domse*. [Online] [Citace: 26. 10. 2014.] <http://blog.martindoms.com/2012/04/25/splines-and-curves-part-i-bezier-curves/>.

16. **Kessler Crane Inc.** Kessler eshop. *Komerční automatická videohlava*. [Online] [Citace: 21. 1 2015.] http://www.kesslercrane.com/product-p/cinedrive_pan_tilt.htm.
17. **Láníček, Robert.** *Elektronika, obvody, součástky, děje*. Praha : BEN, 1998. ISBN 80-860-5625-2.
18. **JCMM, Roman Beránek, Jaroslav Páral.** Šablona SOČ. [Online] <http://www.jcmm.cz/cz/sablona-soc.html>.

Seznam obrázků

obr. 1: Celkový pohled na zařízení.....	8
obr. 2: Vzhled základny	9
obr. 3: Řez rotační částí modulu	10
obr. 4: Uložení krokového motoru, řemenový převod.	11
obr. 5: Konektorová výbava.....	12
obr. 6: Umístění hlavní DPS v těle modulu.	13
obr. 7: Schematický diagram hlavní desky.....	14
obr. 8: Schéma zapojení DC-DC měniče LM2840.....	15
obr. 9: průběh proudu fází při mikrokrokování, dostupné z (3).....	16
obr. 10: Schéma BLE GATT profilu, dostupné z (11).....	17
obr. 11: Schéma zapojení BLE modul.	18
obr. 12: Schéma zapojení IO TMP102.....	19
obr. 13: Schéma zapojení dálkové spouště.....	20
obr. 15: Výsledný vzhled pomocné DPS	21
obr. 15: Návrh a rozměry pomocné DPS.	21
obr. 16: Schéma pomocné DPS s magnetickým enkodérem.	22
obr. 18: Návrh NFC DPS.....	23
obr. 18: Model NFC DPS.....	23
obr. 19: Schéma zapojení NFC DPS.....	23
obr. 20: Kubická bézierova křivka, obrázek převzat z (15).....	25

Seznam symbolů, veličin a zkratek

A	ampér
ADC	analogově digitální převodník
Ah	ampérhodina
BLE	bluetooth low energy – bluetooth v. 4.
BT	bluetooth
DPS	deska plošných spojů
GUI	grafické uživatelské rozhraní
IO	integrovaný obvod
NFC	technologie komunikace na krátkou vzdálenost (max. desítky cm)
PLA	biologicky odbouratelný polymer vyrobený z kyseliny mléčné
SMT	surface-mount technology – technologie povrchové montáže součástek
SPI	serial peripheral interface – synchronní 3/4 vodičová sériová sběrnice
USART	univerzální synchronní/asynchronní vysílač přijímač
V	volt

Seznam rovnic

Rovnice 1: vztah kroků/s a registru SPEED	16
---	----

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti DC-DC měniče LM2840	14
Tabulka 3: Struktura paketu	24

Seznam použitého softwaru

- [1] Altium Designer ve verzi 15 a 14 – Návrh schémat a DPS
- [2] Atmel Studio 6.2 – Vývoj firmware pro mikrokontrolér
- [3] Android Studio 1.1 – Návrh GUI pro aplikaci na mobilní telefon
- [4] Autodesk Inventor 2015 – Návrh celého hardwaru
- [5] Visual Studio 15 CTP – Vývoj mobilní aplikace
- [6] JetBrains ReSharper – Formátování kódu
- [7] nRF Master Control Panel – Debugování BLE komunikace
- [8] Lorris Toolbox – Debugování komunikace
- [9] UP – Programování mikrokontroléru
- [10] Xamarin Studio – Vývoj mobilní aplikace
- [11] Xamarin Profiler – Profilování mobilní aplikace

Seznam příloh

Zip soubor, obsahující schémata, návrhy DPS a rendery.