

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Fotografická past pro monitorování šelem v Beskydech - řídicí  
část**

**Photographic Trap for Monitoring Beast of Prey in Beskydy Mountain  
- Control Subsystem**

2013/2014

Jan Dvořák

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Dvořák**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma: **Fotografická past pro monitorování šelem v Beskydech - řídicí část**  
**Photographic Trap for Monitoring Beast of Prey in Beskydy Mountain -**  
**Control Subsystem**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše a návrh koncepce fotografické pasti.
2. Návrh a realizace prototypu fotografické pasti.
3. Vytvoření řídicího firmware pro fotografickou past.
4. Testování a ověření dosažených parametrů.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PIHAN, Roman. *Mistrovství práce se světlem: průvodce fotografa pro každou světelnou situaci*. Vyd. 1. Praha: Institut digitální fotografie, 2008, 238 s. ISBN 978-80-87155-02-8.
- [2] VAN SICKLE, Ted. *Programming microcontrollers in C*. 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., c2001, 454 s. ISBN 1-878707-57-4.
- [3] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *Freescale semiconductor* [online]. 2012 [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: <http://www.freescale.com>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaromír Konečný**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval svému vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jaromíru Konečnému za cenné rady a připomínky, dále Ing. Martinu Stankušovi za odborné rady a pomoc při řešení programových problémů a nakonec Ing. Martinu Latochovi za rady a pomoc při výrobě hardwaru.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 5.5.2014

  
.....  
Jan Dvořák

## **Abstrakt**

Úkolem bakalářské práce je navrhnout a realizovat fotografickou past pro potřeby Hnutí DUHA na monitorování šelem v Beskydech. Součástí práce je také řešení v oblasti fotopastí, návrh koncepce jejich řešení s využitím snímacích čipů nebo komerčně dostupných zařízení. Práce také obsahuje návrh a realizaci prototypu fotopasti spolu s představením programování zvolené řídicí jednotky a vytvořením řídicího firmware. Dále je provedeno základní testování a ověření dosažených parametrů, zhodnocení výsledků a v závěru je uveden budoucí vývoj.

## **Klíčová slova**

Fotografická past, snímací čipy, elektronické spínače, spínaný zdroj, mikrokontrolér, Kinetis KL25Z, řízení spotřeby, programování mikrokontrolérů

## **Summary**

The task of thesis is to design and implement a photographic trap for needs of Friends of the Earth, to monitor beasts of prey in Beskydy mountain. Part of the work is to research in the field of photographic traps, concept design of their solutions using a sensor chip or commercially available devices. The task also includes design and realization of the prototype of photographic trap along with the creation of the control firmware. Further is performed basic testing and verification of the parameters, evaluation of results and in the end is shown future development.

## **Key words**

Photographic trap, sensor chips, electronic switches, switched power supply, microcontroller, Kinetis KL25Z, power management, programming microcontrollers

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

ADC	Analog-to-Digital Converter (analogově digitální převodník)
C	kondenzátor
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (technologie výroby integrovaných obvodů)
D	dioda
DO	dálkové ovládání
DPS	deska plošných spojů
$\Delta U$	zvlnění výstupního napětí zdroje
EN	Enable (povolení)
FB	Feedback (zpětná vazba)
FPS	Frames Per Second (počet snímků za sekundu)
G	Gate (řídící elektroda unipolárního tranzistoru)
GPCHR	Global Pin Control High Register (globální řízení nastavení horní poloviny pinů)
GPIO	General-Purpose Input/Output (obecné vstupy/výstupy)
GSM	Global System for Mobile Communications (komunikační standart pro síť mobilních telefonů)
HSENSE	Adjustable Hysteresis Input (vstup pro nastavení hystereze)
IR	InfraRed (infračervený světlo)
ISO	úroveň citlivost v digitální fotografii
J	konektor
L	cívka
LED	Light-Emitting Diode (dioda vyzařující světlo)
LOG0	logická úroveň 0
LOG1	logická úroveň 1
LSENSE	Adjustable sense input (vstup pro nastavení úrovně citlivosti)
MCU	Micro-Controller Unit (mikro počítač)
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (technologie unipolárních tranzistorů)
N	typ vodivosti (elektronová vodivost)
P	typ vodivosti (děrová vodivost)
PCB	Printed Circuit Board (deska plošných spojů)
PCOR	Port Clear Output Register (registr pro vynulování výstupu portu)
PCR	Pin Control Register (registr pro řízení pinu)
PDDR	Port Data Direction Register (registr řízení datového směru portu)
PDOR	Port Data Output Register (registr datového výstupu portu)
PG	Power Good (indikace nominální hodnoty výstupního napětí)
PIR	Passive InfraRed (pasivní infračervený senzor)
PORT	modul pro konfiguraci fyzických pinů na pouzdře MCU
PSOR	Port Set Output Register (registr pro nastavení výstupu portu)
PTOR	Port Toggle Output Register (registr pro překlopení výstupních hodnot portu)
Q	tranzistor

R	rezistor
RSTSENSE	Active-low open-drain reset output from LSENSE
S/H	Sample & Hold (vzorkovací obvody ADC)
SCGC	System Clock Gating Control (řízení přivedení hodin)
SD	Secure Digital (formát paměťových karet)
SDHC	Secure Digital High Capacity (formát paměťových karet)
SIM	System Integration Module (modul systémové kontroly a konfigurace čipu)
SPI	Serial Peripheral Interface (sériové komunikační rozhraní)
SYNC	vstup pro synchronizaci nebo volbu pracovního módu
TRI	trisi
$U_{AK}$	napětí akumulátoru
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (komunikační rozhraní)
$U_{FB}$	zpětnovazební napětí
$U_H$	vysoká úroveň napětí na HSENSE
$U_L$	nízká úroveň napětí na LSENSE
$U_O$	výstupní napětí
$U_{REF}$	referenční napětí
USB	Universal Serial Bus (universální sériová sběrnice)
VGA	Video Graphics Array (standart zobrazení)

## Obsah

1 Úvod.....	1
2 Teoretický rozbor požadavků a možností.....	2
2.1 Rozbor zadání.....	2
2.1.1 Zadání požadavků.....	2
2.1.2 Analýza požadavků.....	3
2.2 Návrhy řešení.....	4
2.2.1 Kompletní návrh a konstrukce fotopasti od nuly.....	4
2.2.2 Využití existujících zařízení.....	7
3 Teoretické rozpracování řešení.....	8
3.1 Teoretický rozbor funkce.....	8
3.2 Blokové rozvržení.....	8
3.2.1 Napájení 12 V.....	8
3.2.2 LowPower 3,3V.....	8
3.2.3 Zdroj 3,6V.....	8
3.2.4 Elektronické spínače.....	9
3.2.5 PIR.....	9
3.2.6 Bezdrátový UART.....	9
3.2.7 GSM.....	9
3.2.8 Fotoaparát.....	9
3.2.9 Blok F.....	9
3.2.10 Kinetis.....	9
3.3 Dálkové ovládání.....	9
3.4 Výběr řídicí jednotky.....	9
3.4.1 Jazyky pro řídicí jednotky [11] [12].....	10
4 Praktické řešení problému.....	12
4.1 Hardwarové řešení.....	12
4.1.1 Vstupní obvody napájecích zdrojů.....	12
4.1.2 Výstupní obvody napájecích zdrojů.....	13
4.1.3 DC/DC měnič pro fotoaparát.....	14
4.1.4 DC/DC měnič pro řídicí elektroniku.....	15
4.1.5 Obvod pro snížení spotřeby spínaného zdroje řídicí elektroniky.....	16
4.1.6 Napájecí obvody propojovací desky.....	17
4.1.7 Obvod měření stavu akumulátoru.....	18
4.1.8 Elektronické spínače.....	19
4.1.9 Obvod pro získání logické úrovně ze zvukového výstupu fotoaparátu.....	19
4.1.10 Spínací rozhraní mezi MCU a fotoaparátem.....	19
4.1.11 Fyzické řešení na PCB.....	20
4.2 Programování MCU Kinetis řady L.....	20
4.2.1 Základy programování MCU KL25Z [7] [11] [12].....	21
4.2.2 Struktura řídicího programu.....	23
5 Sestavení prototypu fotopasti v jednom konstrukčním boxu.....	24
6 Závěr.....	26
7 Použitá literatura a zdroje.....	27

8 Seznam příloh.....	29
----------------------	----



# 1 Úvod

Fotografická past (fotopast) je automatický fotoaparát určený pro sběr fotografií v místech, kde přítomnost lidské obsluhy je nereálná, nepraktická, či přímo brání účelné funkci fotoaparátu. Příkladem využití fotopasti je monitoring budov, prostorů a areálů pro účely zabezpečení a ostrahy, nebo také sledování a zaznamenávání zvířat a jejich zvyků ve volné přírodě, na místech často velmi vzdálených od měst, vesnic a různých staveb, např. rozlehlé lesy, hory a pohoří, pouště.

Na trhu se objevují fotopasti v cenovém rozsahu od 100 do 500 \$ a výše. Jednotlivé modely se od sebe liší délkou výdrže na baterie, rozlišením, typem blesku (bílé světlo, IR), konstrukcí a barevným provedením úložného boxu a maximální vzdáleností, na které jsou schopné zachytit objekt zájmu. Cílem práce je vyvinout fotopast splňující požadavky zadavatele, jímž je nestátní nezisková organizace Hnutí DUHA Olomouc organizující od roku 2002 terénní monitoring velkých šelem v Beskydech – projekt Vlčí hlídky.

V první kapitole je proveden rozbor zadání a podle výstupu rozboru navrženo několik možných řešení, jejich výhody a nevýhody a prvotní rozbor každého z řešení. Poté následuje vzájemné porovnání jednotlivých návrhů a výběr nejvhodnějšího z hlediska realizovatelnosti v daném časovém horizontu a z pohledu vlastních schopností a možností.

Obsahem druhé kapitoly je teoretické rozpracování vybraného řešení co do funkcionality celého systému a jeho jednotlivých funkčních bloků. V této části je také vybrána architektura řídicí jednotky, na které bude celá fotopast postavena a navržena a také je uveden základní popis vybraných programovacích jazyků, používaných pro programování MCU ať už v současnosti nebo v minulosti. Na konec je určeno v jakém jazyce bude probíhat vývoj firmwaru.

Třetí kapitola obsahuje návrh prototypů jednotlivých funkčních bloků a popis jejich výroby. Testování samostatné funkce každého z bloků i jejich propojení do funkčního celku a otestování vzájemné funkcionality a konektivity. V této fázi také podle potřeby probíhají úpravy a modifikace jednotlivých bloků pro zajištění optimálního chodu. V této kapitole jsou také popsány základy programování zvoleného MCU a je popsána struktura řídicího firmwaru spolu s vybranými úseky kódu.

Ve čtvrté kapitole zahrnující poslední fázi vývoje dojde, podle možností, ke sloučení návrhu jednotlivých bloků do většího funkčního celku a výrobě několika prototypů pro potřeby testování, experimentování a měření. Zároveň je proveden návrh a výroba úložného boxu a finální montáž celého systému.

V závěru je provedeno shrnutí dosažených výsledků a úroveň splnění požadavků na fotopast a nástin případného budoucího vývoje zařízení.

## 2 Teoretický rozbor požadavků a možností

Nyní následuje seznam požadavků a jejich analýza. Poté provedení teoretického návrhu několika řešení, vycházejících z analýzy požadavků. Jednotlivé návrhy jsou analyzovány, je proveden odhad časové a odborné náročnosti a předpokládaný praktický výstup spolu s výhodami a nevýhodami každého z návrhů. Takto získané informace jsou vzájemně porovnány a je zvolen nejlépe vyhovující návrh, který poté bude dále rozvinut.

### 2.1 Rozbor zadání

#### 2.1.1 Zadání požadavků

*Tab. 1: Stěžejní požadavky*

<b><u>Stěžejní požadavky na funkce a vlastnosti fotopasti jsou následující:</u></b>	
Dlouhá výdrž baterií:	minimálně 2 měsíce
Pracovní teplotní rozsah:	-30 °C – 30 °C
Výstup:	noční barevné focení, denní barevné focení a natáčení videa
Odolnost:	odolná proti dešti a dlouhodobému působení přírodních vlivů (výkyvy teplot, sluneční záření, mlha, koroze aj.)
Záznamové médium:	paměťové karty SD a SDHC (alespoň 4 GB)
Zvuk:	tichý chod fotopasti
Přídavná data snímku:	čas, datum, (zobrazení teploty) - možno jen zobrazení EXIF při zobrazení fotek
Rozsah focení:	základní 1,5 – 6,0 m (nejvyšší kvalita) rozšířené 6 – 10 m (může být nižší kvalita)
Funkce nastavení intenzity blesku	
Možnost nastavení minimální rychlosti závěrky	
Možnost nastavení minimální prodlevy mezi fotografiemi (0,5 – 2,0 sekundy) i v noci při použití bílého blesku	
Možnost současného natáčení kvalitního videa hned za pořízením fotografie za denního světla	
Možnosti dočasného omezení vysoké frekvence snímkování – pokud například po pěti minutách bude před kamerou stále pohyb, omezit na další půl hodinu množství snímků/video například max. jedna fotka / video za minutu, aby se zabránilo přeplnění karty v případě pohybu trávy nebo větvi při silném větru apod.	
Zabezpečení - nastavení a zapnutí jen přes USB připojení s možností nastavení čtyřmístného hesla	

Tab. 2: Návrhy vylepšení

<b>Zadavatelovy nápady vylepšení funkcionality:</b>
Externí blesk (drátový, bezdrátový)
Možnost externího bezdrátového úložiště dat, tzv. černá skříňka (SD karta uložena mimo fotopast)
Zabezpečení znemožněním čtení fotek na kartě
Nastavitelný úhel snímání - PIR čidlo s možností nastavení šířky záběru
Možnost připojení externího PIR čidla (možnosti s přihlédnutím na jiné finální parametry)
Co nejmenší a nejkompaktnější těleso vlastní fotopasti, barva přírodní šedo zelená (odstín kůry smrku či buku), jednotlivé barvy na ploše se prolínající s drobnou strukturou napodobující kůru (ne jednoduše celá fotopast – zvyšuje viditelnost v terénu), včetně upevňovacího popruhu této barvy

### 2.1.2 Analýza požadavků

Analýzou požadavků zprvu pouze ve stěžejní části je zjištěno, že hlavní úsilí bude třeba věnovat na dosažení dlouhé výdrže baterií, zajištění funkčnosti v požadovaném teplotním rozsahu a při působení přírodních vlivů. Pro zajištění funkce v požadovaném teplotním rozsahu je třeba vhodně vybrat součástky a konstrukční díly, takže splnění této podmínky záleží na dostupnosti potřebných součástek u distributorů při minimální ceně a potřebném výkonu. Odolnost proti povětrnostním vlivům záleží na konstrukci úložného boxu, vývodů z boxu a případných průchodek. Tento požadavek je nejnepříjemněji splnitelný, i když ne triviální. Posledním a nejobtížněji realizovatelným požadavkem je zajištění provozu fotopasti po dobu minimálně 2 měsíců. Tento požadavek v podstatě určuje další směr vývoje. Zároveň je třeba brát v úvahu, že extrémní teplotní podmínky způsobují snižování efektivity, a tím pádem účinnosti elektroniky a zkracují životnost baterií a akumulátorů.

Při postupu v analýze dále je zjištěno, že barevný výstup fotografií a videa ve dne je pouze otázkou barevného snímače, kdežto v případě barevného snímání i v noci je už nutné použít bílý blesk, který zvířatům naštěstí nevádí. Dále záznamové médium a jeho velikost. Tento požadavek je relativně snadné splnit, jedná se pouze o správné nastavení komunikace řídicí jednotky s kartou a tudíž realizace tohoto požadavku je víceméně nezávislá na zvoleném řešení. Tichý chod fotopasti je pouze otázkou nepřipojení akustického měniče. Přídavná data snímku jsou programovým problémem jednoduše řešitelným a tudíž neprobíraným při jednotlivých návrzích řešení. Rozsah focení určuje typ a nastavení optiky, tento požadavek je podmíněn buď dodatečným studiem, nebo použitím již předpřipraveného bloku snímače s optikou. Funkce nastavení intenzity blesku, minimální rychlosti uzávěrky, minimální prodlevy mezi fotografiemi a zbylé požadavky jsou otázkou programovou a tudíž neovlivňují výběr řešení.

Nápady na vylepšení funkcionality se budou uplatňovat až na zvolené řešení a tudíž je zbytečné

se s nimi zabývat před návrhem různých řešení.

## **2.2 Návrhy řešení**

Z analýzy zadání vycházejí dvě možná řešení: kompletní návrh a konstrukce fotopasti od nuly, nebo využití existujících zařízení. Při využití existujících zařízení by se dalo použít sériově vyráběných kompaktních digitálních fotoaparátů nebo sériově vyráběných webových kamer. Každá možnost je teoreticky zpracována do různé hloubky v závislosti na tom, jak dlouho je který postup považován za finální řešení.

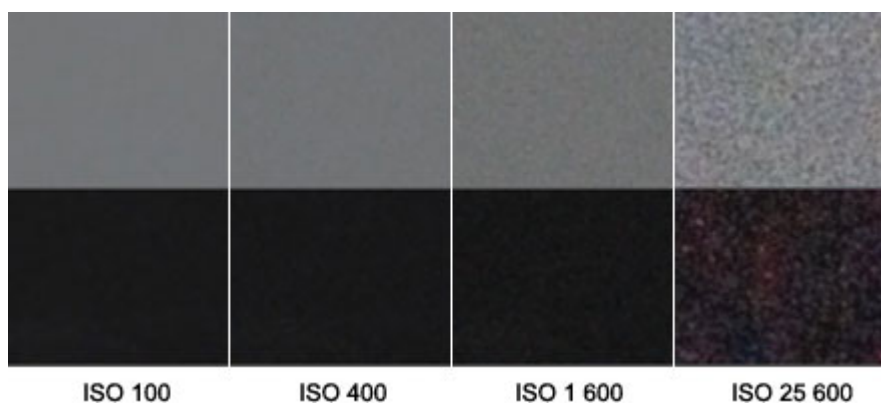
### **2.2.1 Kompletní návrh a konstrukce fotopasti od nuly**

Tato možnost je uvažována jako první z důvodu naprosté svobody a možností zkonstruovat fotopast přesně na míru. Při posuzování vhodnosti tohoto řešení podle kritérií uvedených v analýze zadání je utvoření závěru, že požadavky je možné splnit teoreticky všechny. Dlouhého provozu na baterie je možno dosáhnout chytrou a důslednou správou napájení, kdy existuje možnost řídit provoz veškeré elektroniky. Funkci v požadovaném rozsahu pracovních teplot lze zajistit a zaručit pro celé zařízení výběrem vhodných součástek, i když největším problémem je životnost akumulátorů při nízkých teplotách. Pro nízké teploty už teď vychází jako nejlepší možnost použít malé olověné akumulátory. Tato možnost je stejná pro všechny řešení, jež následují dále a proto už v této kapitole nebude zmiňována. Odolnost proti povětrnostním vlivům lze zaručit umístěním veškeré elektroniky do jednoho úložného boxu s minimem otvorů a odpovídající úrovní zaizolování a utěsnění, z podstaty konstrukce nezbytných spojů a otvorů.

Barevného výstupu, ať už videa nebo fotografie, lze dosáhnout výběrem barevného snímače. V době uvažování této možnosti řešení je provedena rešerše různých snímačů několika různých firem, s výběrem několika konkrétních snímačů. Výsledky této rešerše následují po dokončení prvotního rozboru tohoto řešení. Pro zajištění barevného výstupu i v noci je použit, jak již bylo řečeno v analýze požadavků, bílý zdroj světla. Existuje několik možností generování bílého světla: žárovkou, výbojkou a pomocí LED. Výbojka je pro potřeby fotopasti nepoužitelná, z důvodu obtížné regulovatelnosti jasu. Žárovky jsou z hlediska světelného výstupu nejlepší, neboť poskytují přirozené světlo o vlastnostech shodných se slunečním. Bohužel z důvodu požadavku na dlouhou provozní dobu nelze žárovku použít z důvodu nízké účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou ve viditelné oblasti spektra. LED vycházejí jako nejlepší možnost z důvodu vysoké účinnosti a snadné regulovatelnosti jasu. Použití paměťových karet typu SD a SDHC je z technického hlediska jednoduché, jde pouze o dodržení komunikačního protokolu. Tichý chod fotopasti lze zajistit buď nezabudováním akustického měniče, nebo jeho používáním podle volby uživatele. Nastavení rozsahu focení je záležitostí optického systému fotopasti. Je možnost optický systém buď vyrobit, což předpokládá získání znalostí pro návrh a konstrukci optických systémů i s konstrukcí v daném časovém rámci, nebo pořídit hotový. Pořízení hotové optiky se jeví jako nejlepší možnost z důvodu zaručení vyšší kvality pořizované optiky oproti

vyráběné a také kvůli nereálnosti výroby vlastního optického systému v potřebném čase.

Při výběru snímače je brán hlavní zřetel na výkon, minimální náročnost komunikace a cenu. Pro dosažení nízké ceny je potřeba vybírat čipy z masově vyráběných sérií. Z oblasti výkonu je posuzováno rozlišení, velikost pixelů a zpočátku i rychlost snímkování. V době provádění rešerše na snímací čipy došlo k upřesnění požadavků ze strany zadavatele ohledně video výstupu. Místo možnosti nahrávat video stačí snímat fotografie rychlostí alespoň dva snímky za vteřinu, díky tomu rychlost snímkování u čipu nehrála roli, neboť požadavek dvou snímků za vteřinu splňují prakticky všechny snímací čipy. Velikost rozlišení určuje, jak drobné detaily na zvířeti budeme schopni zaznamenat při požadavku nejlepší kvality do vzdálenosti až 6 metrů. Velikost (rozměry) pixelu určují kvalitu snímání, dobu osvitů, ale i cenu čipu. Větší pixely dokáží za stejný čas nashromáždit více světelné energie než menší pixely, takže doba osvitů může být menší a díky tomu v případě pohybujících se objektů dochází k menšímu rozmazání obrazu. Také dosahují menšího šumu, fotografie nejsou zašuměné a při přiblížení detaily lépe vyniknou. Bohužel pokud je nutné zajistit, aby se rozměry pixelů s rostoucím rozlišením nezmenšovaly, je třeba zvyšovat rozměry čipu, hlavně snímací části, což vede k rychlému nárůstu ceny. Alternativou k zvyšování rozměrů pixelů a tím pádem i čipů je elektronické zesílení výstupního signálu z pixelu (ISO). Bohužel se vzrůstající hodnotou ISO vzrůstá šum ve fotografii.



*Obr. 1: Ukázka růstu šumu u Nikonu D3 pro různá ISO. Je jasně vidět, že čím vyšší je ISO, tím vyšší je i šum. ISO 25 600 je proto použitelné jen opravdu nouzově. (<http://www.digimanie.cz/vse-o-formatu-raw-8dil/2236>)*

Jako první je při hledání výrobce snímacích čipů nalezena americká firma Aptina [1] zabývající se inovacemi CMOS zobrazovacích technologií. Firma má širokou nabídku snímacích čipů v rozsahu rozlišení od VGA rozlišení až do 14 MP, s velikostí pixelů od 1,1  $\mu\text{m}$  do 6  $\mu\text{m}$  a snímkovací frekvencí od 7,5 FPS do 60 FPS. Snímače, jejichž parametry jsou vyhledány, používají vysokorychlostní sérioparalelní rozhraní (čtyři paralelně uspořádané sériové linky). Zde je pravděpodobně třeba využít specializovaných obvodů pro zpracování obrazu. Čipy mají navíc vlastní jednoduchou logiku, která usnadní jejich řízení. Vyskytl se ovšem problém ohledně zjištění ceny a získání vzorků. Společnost nenabízí

možnost koupě senzorů ani zaslání vzorků, pouze odkazuje na různé distributory, případně nabízí uzavření dodacích smluv pro firmy. Bohužel při snaze získat bližší informace, kromě tabulkových zobrazujících základní parametry, o jednotlivých prvotně vybraných, i jiných s požadovanými parametry, čípech (katalogové listy, referenční manuály, definice registrů) se objevily těžko splnitelné podmínky pro získání přístupu k informacím, jež si společnost Aptina určila (např. elektronický podpis, podmínka vrácení vzorků nebo jejich certifikovaná likvidace). Po celkovém zhodnocení je dosaženo názoru, že firma se zabývá dodáváním technologií hlavně pro velkovýrobce elektroniky, případně distributory elektronických součástek, kteří ale už nenabízejí zvolené snímače, takže tato firma je vyloučena z další úvahy. Další nalezená firma je ON Semiconductor [2]. V její nabídce jsou barevné i monochromatické snímače s rozlišením od 0,25 do 25 MP, velikostí pixelů od  $3,5 \times 3,5 \mu\text{m}$  do  $25 \times 25 \mu\text{m}$  a snímkovacími frekvencemi od 5 do 850 FPS. Tato firma ovšem také nenabízí pro senzory možnost dodání vzorků nebo prodej, pouze se odkazuje na externí dodavatele. Navíc, přestože parametry senzorů jsou vynikající, pro potřeby fotopasti jsou až moc dobré, z pohledu minimálních rozměrů pixelů, přičemž u požadovaných rozlišení barevného snímače jsou pixely ještě rozměrnější, vychází příliš vysoké ceny. Z tohoto důvodu nejsou snímače této firmy nijak důkladněji zkoumány, přestože je dostupnost informací mnohem lepší než u předchozí firmy, a firma je vyloučena z další úvahy. V tomto okamžiku se objevují další možnosti řešení zadání, a proto, kromě dalších důvodů uvedených v shrnutí tohoto řešení, je rešerše v tomto bodě přerušena.

Před provedením shrnutí výhod a nevýhod tohoto řešení je třeba upozornit na hlavní problém této možnosti, který nakonec znamenal její vyloučení jako realizovatelné v požadovaném časovém rámci. Kromě obtíží spojených s výběrem snímače se objevila otázka samotné techniky fotografování. Pro úspěšné pořizování použitelných fotografií je třeba zvládnout problematiku správného ostření, přiměřený osvit scény po dobu snímání a nastavování celé řady parametrů snímače, jejichž výpis z pohledu důležitosti je příliš dlouhý, než aby zde byl rozebírán. Výrobci fotoaparátů měli na zvládnutí a zdokonalení těchto aspektů a jejich správného kvantifikování několik let a jejich dnešní přístroje nabízejí od možnosti nastavit si každý parametr fotografování u nejdražších a profesionálních přístrojů do možnosti plně automatického režimu vhodného pro všední focení.

Je-li tedy provedeno shrnutí veškerého výše řečeného, vykrystalizují tyto výhody:

- naprostá přizpůsobitelnost přístroje
- snadná rozšířitelnost v případě modulárního řešení
- možnost řízení spotřeby každého bloku, každé funkce

Na druhou stranu zde existují i značné nevýhody:

- stavba přístroje od nuly (velká pravděpodobnost chyb)
- nutnost nabýt značných znalostí ve velice krátkém čase

- možnost vzniku téměř nebo úplně neřešitelných problémů

Přestože výhody jsou jasné a pobízející k realizaci této možnosti, nevýhody, a hlavně poslední nepřímo vycházející z druhé, jsou odrazující a v konečném důsledku by mohli vést i k zmaření celé práce, proto je tato možnost opuštěna a označena za dočasně neproveditelnou.

### **2.2.2 Využití existujících zařízení**

Tato část je neveřejná

## **3 Teoretické rozpracování řešení**

Tato kapitola je zaměřena na teoretické rozpracování řešení s použitím zakoupeného fotoaparátu, aspekty komunikace s fotoaparátem, blokové rozvržení celého systému fotopasti spolu s nástínem funkcí a rozhraní mezi jednotlivými bloky. V této kapitole je také vybrána řídicí jednotka a jsou sepsány důvody vedoucí k tomuto výběru. Poté je uveden stručný popis vybraných programovacích jazyků a rozdílů mezi nimi a nakonec je vybrán jazyk, ve kterém bude realizován řídicí firmware.

### **3.1 Teoretický rozbor funkce**

Tato část je neveřejná

### **3.2 Blokové rozvržení**

Pro usnadnění návrhu a vývoje je celý systém fotopasti rozdělen do samostatných funkčních bloků, jejichž funkčnost je nezávislá na okolní elektronice. Následující diagram ilustruje toto rozvržení spolu se signálovým a napájecím propojením. Dále po popisu systému fotopasti následuje blokové schéma dálkového ovládání spolu se zbytným popisem jednotlivých bloků. V následující kapitole bude uvedeno praktické řešení každého ze zde popisovaných bloků, kromě bloku PIR.

#### **3.2.1 Napájení 12 V**

Pro napájení celého systému je použit olověný gelový akumulátor napájející přímo LowPower spínaný zdroj 3,3 V a přes elektronický spínač spínaný zdroj 3,6 V. Stav napětí akumulátoru je periodicky sledován.

#### **3.2.2 LowPower 3,3V**

Zdroj je spínaný, s vysokou účinností ještě povýšenou o obvody zajišťující LowPower mód funkce zdroje. LowPower mód je možné dle potřeby zapnout nebo vypnout pro dosažení optimálního chodu s minimálním zvlněním výstupního napětí. Tento zdroj je použit pro napájení veškeré obslužné elektroniky.

#### **3.2.3 Zdroj 3,6V**

Spínaný zdroj o vysoké účinnosti určený pro napájení fotoaparátu. Vyvedený PG výstup označuje dosažení 98,4% požadované hodnoty napětí [3]. Na LOG1 PG výstupu je reagováno zapnutím fotoaparátu.



### **3.2.4 Elektronické spínače**

Elektronické spínače jsou použity pro dosažení minimální spotřeby elektrické energie spínáním pouze potřebných bloků systému.

### **3.2.5 PIR**

Pasivní infračervený senzor je zde uvažován jako černá skříňka, neboť jeho řešení je součástí jiné bakalářské práce. Pouze se zjišťuje stav na výstupu řídicího podprogramu.

### **3.2.6 Bezdrátový UART**

Slouží ke komunikaci na krátkou vzdálenost s dálkovým ovládním. Pro tento funkční blok je použit jeden kompaktní modul s datovým vstupem UART a řídicími vstupy na jedné straně a připojením pro anténu na druhé straně.

### **3.2.7 GSM**

Tato část je zatím v plánu, proto je v blokovém schématu zobrazena přerušovanou čarou. Pro blok GSM bude použit jednoduchý modul, který umožní jednoduchou komunikaci na dlouhou vzdálenost s dálkovým ovládním.

### **3.2.8 Fotoaparát**

Tato část je neveřejná

### **3.2.9 Blok F**

Tato část je neveřejná

### **3.2.10 Kinetis**

Tento blok představuje řídicí centrum celé fotopasti. Obsahuje mikrokontrolér Kinetis KL25Z od firmy Freescale vyznačující s nízkou spotřebou a velkým výkonem. Důvody pro volbu zrovna tohoto MCU jsou uvedeny na konci kapitoly.

## **3.3 Dálkové ovládní**

Tato část je neveřejná

## **3.4 Výběr řídicí jednotky**

Řídicí jednotka je mozkiem celé elektroniky. Je v ní nahrán řídicí firmware, zajišťující správný chod celého zařízení. Vybraná řídicí jednotka rozhoduje o výpočetním výkonu, spotřebě elektrické energie a samozřejmě ceně. Vzhledem k povaze řešení, kdy jsou vlastně jenom ve správný okamžik

zapnuté odpovídající bloky elektroniky, není výkon řídicí jednotky nijak kritický, zato je významná spotřeba elektrické energie a cena.

Volba při výběru řídicí jednotky padla na MCU Kinetis KL25Z od firmy Freescale [4], jednak pro ultra nízkou spotřebu energie a bohatou výbavu periférií, relativně nízkou cenu, ale také z důvodu dostupnosti jednoduše použitelné a zároveň levné vývojové desky osazené tímto MCU.

### **3.4.1 Jazyky pro řídicí jednotky [11] [12]**

Programování MCU je možné provádět buď v jazyce symbolických adres neboli assembleru, nebo v jazyce C/C++, případně jiných specializovaných jazyků a programovacích technik, jež nebudou dále probírány z důvodu omezeného rozsahu práce.

Assembler je lidsky použitelný jazyk o nejnižší možné úrovni, níže v hierarchii jazyků se nachází pouze strojový kód. Rozdíl mezi assemblerem a strojovým kódem je v tom, že ačkoliv se u obou při programování zapisují jednotlivé instrukce odpovídajícího instrukčního souboru, tak v případě strojového kódu mají tyto instrukce podobu hexadecimálních čísel a výsledný program je tak pro člověka prakticky nečitelný a těžko udržitelný. Na druhou stranu v případě assembleru mají jednotlivé instrukce podobu několika znakových symbolů, které výsledný program dělají daleko jednodušeji čitelným a udržitelným. Dalším nešvarem strojového kódu je absolutní adresování. Existuje jen velice málo programů, které by se prováděly bez jediného skoku v kódu programu nebo bez větvení toku programu. S klidným svědomím je možné tvrdit, že takové programy prakticky neexistují. V případě strojového kódu vyvstává u absolutního adresování problém při změnách v programu. Dojde-li ke změně v programu, dojde ke změně adres všech instrukcí následujících za samotnou změnou a tudíž je nutné po změně změnit a opravit všechny skoky a řízení toku programu, to většinou znamená změnit několik desítek hodnot v celém programu, jež má navíc na první pohled podobu nefalšovaného chaosu různých znaků a číslic. Hlavně z těchto důvodů došlo k vytvoření jazyku symbolických adres. Kromě změny instrukcí na lépe čitelnou formu přináší assembler důležitou změnu v adresování, podle níž získal své jméno. Touto změnou je symbolické adresování. Při programování v assembleru se programové skoky provádějí nikoliv na absolutní adresu instrukce, ale na symbolickou, jež nezávisí na pozici v paměti, ale na pozici v programu. V praxi to vypadá tak, že programátor se v programu odkazuje na symbolickou adresu, kam má program při určité situaci skočit, nebo odkud načíst data a v případě změny v programu, symbolické adresy jsou stále tam, kde mají být a programátor tudíž nemusí upravovat po každé změně v kódu veškeré adresování. Kompilátor poté při sestavování strojového kódu nahradí symbolické adresování adresováním absolutním.

Symbolické adresování bylo sice velkým krokem kupředu, ale programování v assembleru stále vyžadovalo přesnou znalost procesoru a okolních systémů, navíc kód v assembleru nebyl přenositelný na jiné platformy, neboť se programovalo v určité instrukční sadě, jež se procesor od procesoru lišily a nebyly navzájem zaměnitelné. Z toho důvodu byly vyvinuty vyšší programovací jazyky, například jazyk C. Jazyk C přinesl několik důležitých změn. Za prvé „odstínil“ programátora od hardwaru.

To znamená, že programátor už nepsal program na určitý procesor a s využitím jeho instrukčního souboru, ale psal program nezávislý na systému, tudíž mu stačilo naučit se jazyk a mohl psát na jakýkoliv procesor. Jediné, co musel měnit, byl kompilátor, který napsaný kód překládal do strojového kódu daného procesoru, na rozdíl od assembleru, kde se programátor musel při přechodu na jiný typ procesoru znovu naučit celý jeho instrukční soubor. Další změnou byl samotný jazyk. V assembleru programátor sice psal instrukce, jež byly snadno zapamatovatelné (na rozdíl od strojového kódu), ale na vyřešení jednoduchých problémů (například sečtení dvou proměnných a uložení do třetí) bylo vyžadováno více kódu, který na první pohled neříkal co dělá, než v C, kde například stačí pouze napsat „ $C = A + B$ ;“ a člověk hned ví, o co se jedná. Jazyk C na rozdíl od assembleru využívá relační a matematické operátory usnadňující psaní kódu a sám si vystačí s několika klíčovými slovy na kterých je celý postaven. Poslední zde popisovanou změnou jsou proměnné. Assembler využívá hardware počítače, tudíž veškerá data programu je možné ukládat buď do několika málo pojmenovaných registrů procesoru, nebo do operační paměti na absolutní adresy. Jazyk C místo toho používá pojmenované proměnné různých typů, takovou obdobu symbolického adresování v assembleru, čímž zjednodušuje přehled o datech programu a jejich používání. [9] [10]

Programování MCU Kinetis je realizováno v jazyce C, jež umožňuje dostatečně nízkoúrovňový přístup k hardwaru a zároveň nezatěžuje nutností znát instrukční soubor cílového procesoru. Na konci následující kapitoly budou uvedeny nutné základní aspekty programování MCU Kinetis spolu s příkladovými úseky kódu. Poté bude shrnuta a popsána struktura řídicího firmwaru, přičemž samotné soubory zdrojového kódu jsou umístěny v příloze.

## 4 Praktické řešení problému

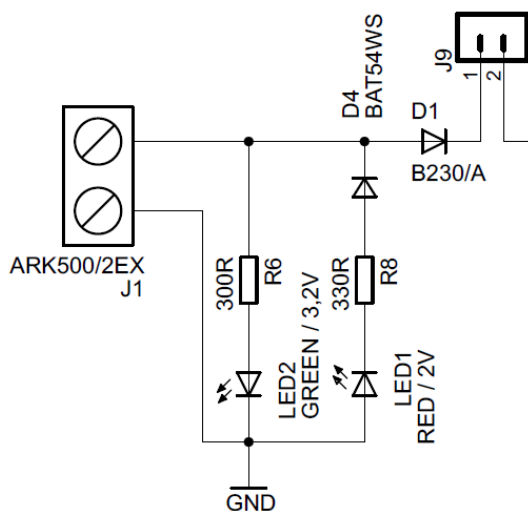
Nyní následuje popis praktické části řešení bakalářské práce. Zde bude popsán každý blok z uvedených v přecházející kapitole z elektrotechnického pohledu, s výjimkou PIR bloku, GSM a bezdrátové UART komunikace. Každému popisu bude předcházet odpovídající elektrotechnické schéma. Vedle bloků uvedených v blokovém schématu dojde na popis dalších sekcí elektroniky, které nemají samostatný funkční blok. Ke konci kapitoly jsou popsány základní aspekty programování MCU Kinetis s příkladovými úseky kódu následovány popisem struktury firmwaru.

### 4.1 Hardwarové řešení

Obsahem hardwarového řešení je standardizovaný popis elektroniky ve formě elektrotechnických schémat a, v případě nejasností, za pomoci fyzikálních vzorců. Přímým výsledkem tohoto popisu je fyzicky existující a funkční elektronické zařízení na PCB (v ČR také DPS) a případně v konstrukční krabici. Následovat tedy budou schémata jednotlivých bloků a neblokovaných částí elektroniky spolu s popisem a, v případě nutnosti, s uvedenými fyzikálně-elektrotechnickými vztahy.

Zde postupně následuje popis napájecích zdrojů, rozhraní a řízených výkonových výstupů. Popsán není každý blok elektroniky v případě, že změna je pouze v parametrech součástek nebo napájení. Číslování součástek také může být na první pohled matoucí, ale je třeba si uvědomit, že elektronika je realizována na třech samostatných deskách.

#### 4.1.1 Vstupní obvody napájecích zdrojů

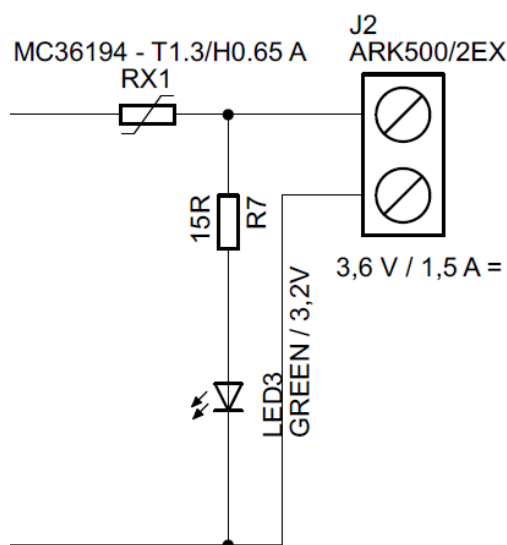


Obr. 2: Elektronika na vstupu spínaného zdroje

Vstupní obvody napájecích zdrojů obsahují dvě indikační LED, červená pro indikaci přepólování s předradným rezistore, a odlehčovací diodou z důvodu prakticky trvalého připojení závěrného

napětí a zelenou LED pro indikaci správně připojeného napětí. Dále se zde nachází ochranná dioda D1 pro případ přepólování, takto při přepólování svítí varovná červená LED a ochranná dioda nepustí napětí dále do obvodu. Použití LED pro oba stavy, přepólování i správné připojení, bylo zvoleno z důvodu zjednodušení kontroly, zda je napájecí napětí přítomné na vstupu bez ohledu připojení na zdroj. Posledním prvkem vstupního obvodu je propojka umožňující měření vstupujícího proudu do zdroje. Vstupní obvody jsou pro oba zdroje totožné.

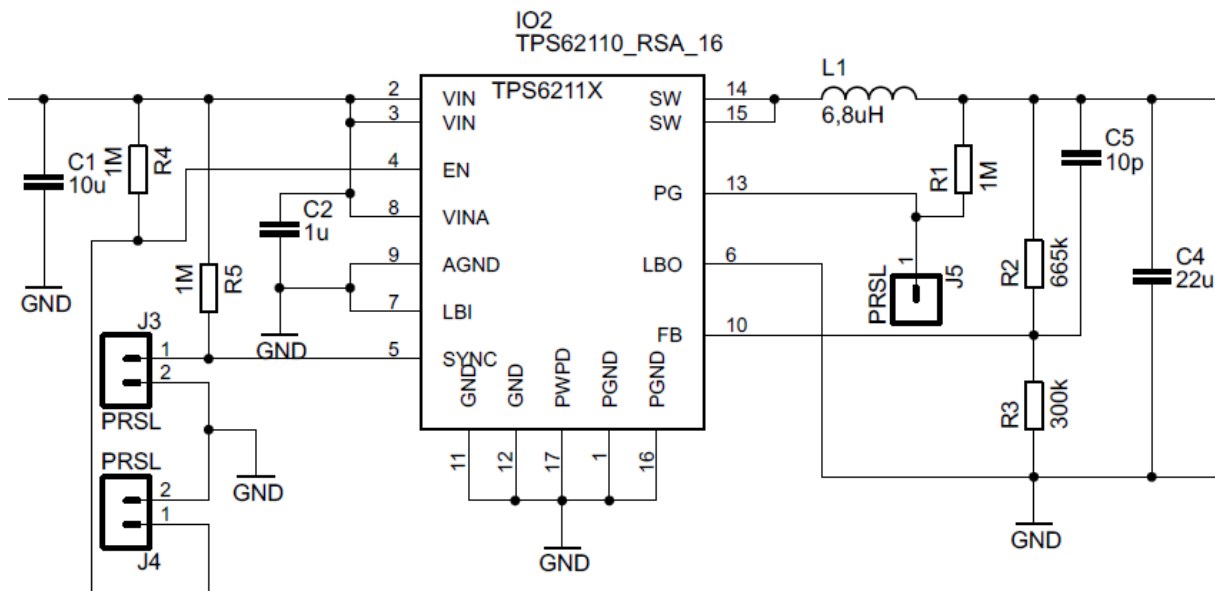
#### 4.1.2 Výstupní obvody napájecích zdrojů



*Obr. 3: Elektronika na výstupu ze spínaného zdroje*

Výstupní obvody mají funkci ochrannou a indikační. Ochranná funkce je realizována vratnou pojistkou chránící jak zdroj, tak napájený obvod před zkratem. Umístění indikační LED za vratnou pojistku umožňuje kontrolovat nejen to, zda zdroj běží, ale také to, jestli v napájeném obvodu nedošlo ke zkratu. Výstupní obvody se u každého zdroje liší pouze hodnotou předřadného rezistoru LED podle napětí zdroje.

## 4.1.3 DC/DC měnič pro fotoaparát



Obr. 4: Zdroj 3,6 V pro fotoaparát

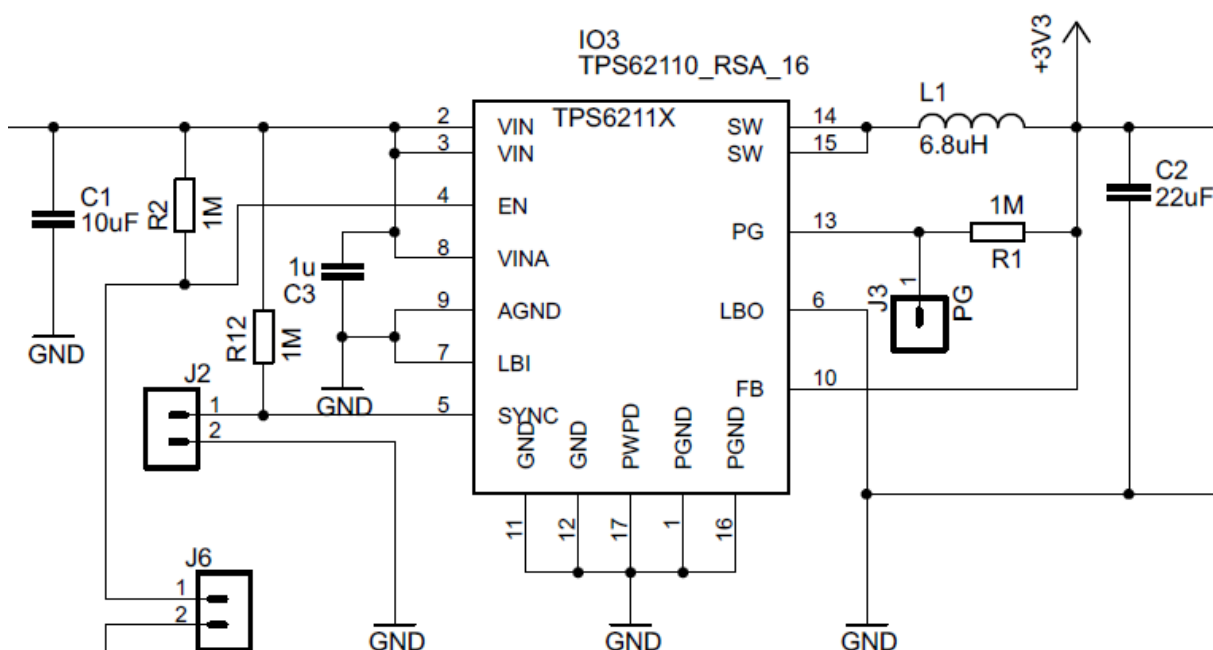
Pro realizaci napájení fotoaparátu z 12 V akumulátoru je použit spínaný zdroj TPS62110 [3] firmy Texas Instruments řešený jako samostatný integrovaný obvod požadující minimum dodatečných součástek. Pro zaručení funkčnosti zdroje jsou potřebné pouze kondenzátory C1, C2 a C4 a cívka L1. Ostatní součástky jsou nutné pro požadovanou funkcionalitu jako napájecího zdroje 3,6 V pro fotoaparát. Rezistor R4 přivádí na vstup obvodu EN LOG1, což spouští obvod, a díky připojené propojce je možné zdroj ovládat z externí elektroniky, nebo zkratováním na zem obvod vypnout. Vstup SYNC umožňuje v navrženém zapojení vybírat ze tří módů funkce obvodu. První mód, realizovaný rezistorem R5 přivádějícím LOG1, uvádí obvod do režimu nízkošumového chodu s fixní spínací frekvencí. Druhý mód, spouštěný zkratováním vstupu na zem, uvede obvod do režimu vysoké efektivity, kdy elektronika obvodu mění nejen střihu spínání, ale i frekvenci. Třetím módem provozu je synchronizace na externí hodinový signál. Pin PG je typu open-drain, proto je nutné na něj přivést rezistorem R1 napětí. Výstup PG signalizuje úroveň LOG1 dosažení 98,4 % nominální hodnoty napětí na výstupu. Výstupní napětí je monitorováno zpětnovazebním vstupem FB. Poněvadž obvod TPS62110 má říditelné výstupní napětí, je zpětnovazební napětí 1,153 V. Protože minimální požadované výstupní napětí je 3,6 V, je nutné pin FB připojit na napěťový dělič:

$$U_O = U_{FB} \cdot \frac{R_3 + R_2}{R_3}$$

Pro hodnoty rezistorů v děliči je výstupní napětí okolo 3,7 V, přesná hodnota výstupního napětí závisí na skutečné hodnotě rezistorů v děliči, jež se pohybuje v tolerančním rozmezí přesnosti rezisto-

ru okolo nominální hodnoty. Na napájecím vstupu fotoaparátu je uvedeno napětí 3 V, ale měřením bylo zjištěno, že fotoaparát při tomto napětí hlásí nízký stav baterie, a toto hlášení se přestalo objevovat až po navýšení na 3,6 V. Proto bylo napětí 3,6 V označeno jako minimální. Kondenzátor C5 je uveden jako potřebný pro verzi obvodu s říditelným výstupním napětím v katalogovém listě obvodu. Jako důvod je uvedena kompenzace parazitní kapacity mezi pinem FB a zemí.

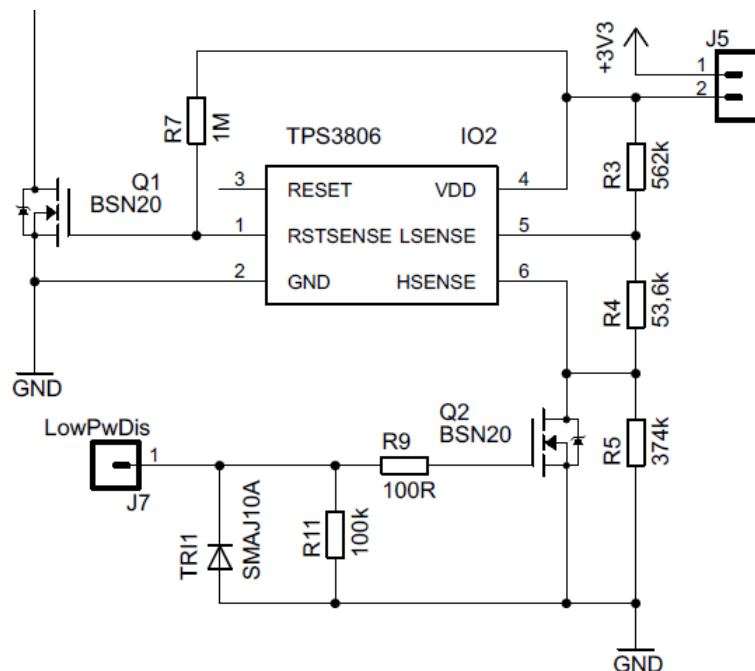
#### 4.1.4 DC/DC měnič pro řídicí elektroniku



Obr. 5: Zdroj 3,3 V

Zdroj napájející řídicí elektroniku je podobný zdroji pro fotoaparát. Hlavním rozdílem je použití verze obvodu TPS62111 [5] s fixním výstupním napětím 3,3 V. Tato změna umožňuje vynechat napěťový dělič a kompenzační kondenzátor, což ušetří trochu místa na DPS a zjednoduší její návrh. Výstupní napětí je poté přivedeno přímo na pin FB a přes něj napojeno na vnitřní zpětnovazební dělič napětí. Další změnou je odvedení pinu EN přes propojku J6 na obvod zajišťující provoz s nízkou spotřebou energie v době zmenšené činnosti elektroniky.

## 4.1.5 Obvod pro snížení spotřeby spínaného zdroje řídicí elektroniky



Obr. 6: Řízení spotřeby

Základem obvodu pro snížení spotřeby je integrovaný obvod TPS3806 [6] firmy Texas Instruments. Obvod vykonává funkci duálního detektoru napětí, jeho minimální pracovní napětí je 1,3 V a napájecí proud při napětí 3,3 V je maximálně 5  $\mu\text{A}$ , typicky 3  $\mu\text{A}$ . Výstup RSTSENSE je typu open-drain, proto je na něj přes rezistor připojeno napájecí napětí. Řečeno ve zkratce, obvod TPS3806 pracuje tak, že porovnává napětí na vstupech LSENSE a HSENSE s vnitřním referenčním napětím  $U_{REF} = 1,207 \text{ V}$ . Pokud napětí na vstupu LSENSE poklesne pod hodnotu referenčního napětí, výstup RSTSENSE přejde do LOG0. LOG0 na výstupu zůstává do té doby, než napětí na vstupu HSENSE překoná hodnotu referenčního napětí. Poté dojde k překlopení výstupu do LOG1. Výstupem RSTSENSE je řízen tranzistor Q1 uzemňující přes propojku J6 pin EN obvodu TPS62111. Protože na vstupy je přes děliče přivedeno výstupní napětí zdroje 3,3 V, obvod TPS3806 opakovaně zapíná a vypíná obvod TPS62111 podle hodnoty výstupního napětí. Tímto je dosaženo snížení spotřeby v době, kdy řídicí elektronika nepracuje na plný výkon a její odběr proudu je tak malý, že spínaný zdroj pracuje s nízkou efektivitou. Napěťové úrovně, při kterých dochází k zapínání a vypínání zdroje se spočtou podle následujících vzorců:

$$U_L = V_{REF} \cdot \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4 + R_5} \quad U_H = U_{REF} \cdot \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_5}$$

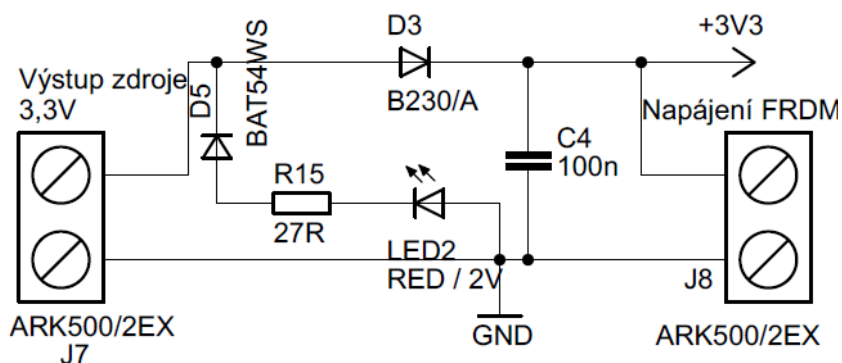
Pro použité rezistory jsou napěťové úrovně  $U_L = 2,793 \text{ V}$  a  $U_H = 3,194 \text{ V}$ . Přesné hodnoty napěťových úrovní závisí na skutečném odporu rezistorů, který se opět pohybuje v určitém rozsahu podle



přesnosti, avšak pro zjednodušení se počítá s nulovou odchylkou od nominální hodnoty. Podle předchozího textu se tedy zdroj zapne při poklesu napájecího napětí pod 2,793 V a k vypnutí zdroje dojde po překonání napětí 3,194 V.

Tento elektronický obvod sice snižuje spotřebu, ale zároveň s rostoucím odběrem roste i zvlnění výstupního napětí zdroje, proto je zapojení doplněno o možnost vypnutí režimu nízké spotřeby pomocí tranzistoru Q2. Přivedení LOG1 na tranzistor Q2 má za následek zkratování rezistoru R5. Dosazením hodnoty  $0 \Omega$  za R5 ve vzorcích napěťových úrovní dojde k posunu napětí na  $U_L = 13,862 \text{ V}$  a  $U_H = \infty \text{ V}$ . To v praxi znamená přivedení LOG0 na tranzistor Q1 a odpojení pinu EN od země, protože napájecí napětí bude vždy menší než  $U_L$  a hodnota  $U_H$  je v praxi nerealizovatelná. Připojené rezistory R9 a R11 spolu s trisilem TRI1 jsou použity jako ochrana před elektrostatickým výbojem pouze na tomto místě, v jiných částech elektroniky se z prostorových důvodů tato ochrana nenachází.

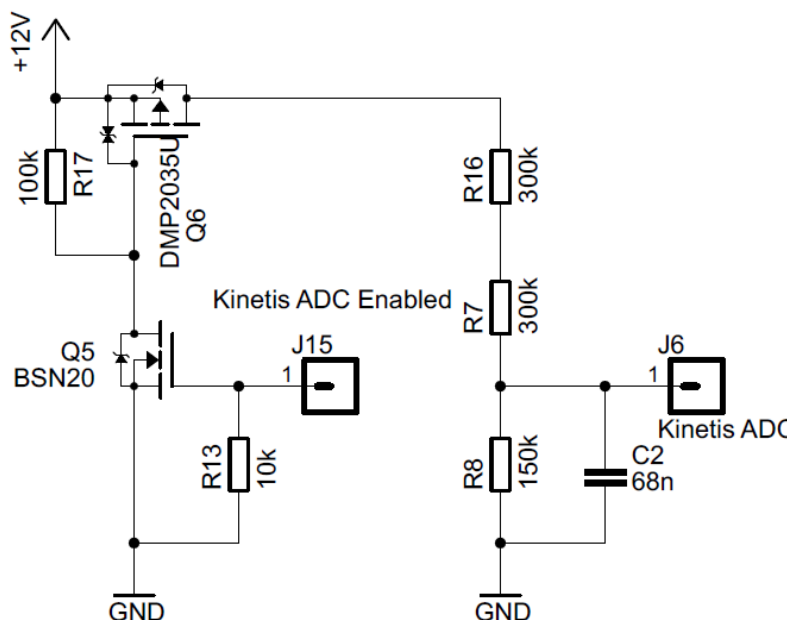
#### 4.1.6 Napájecí obvody propojovací desky



Obr. 7: Elektronika napájení propojovací desky

Elektronika napájecích obvodů propojovací desky je podobná vstupním obvodům zdrojů. Pro funkci indikace se zde nachází pouze LED oznamující přepólování s odlehčovací diodou a předřadným rezistorem. LED indikující správné zapojení zde není z důvodu funkční duplicity, neboť indikace funkčního napájení je již na desce spínaného zdroje. Také je zde ochranná dioda proti přepólování. Navíc je v napájecích obvodech přidán vyhlazovací kondenzátor pro vykrytí špiček, které by zbytečně namáhaly ochrannou diodu. Z napájecích obvodů jsou vyvedeny napěťové větve 12 V a 3,3 V.

## 4.1.7 Obvod měření stavu akumulátoru

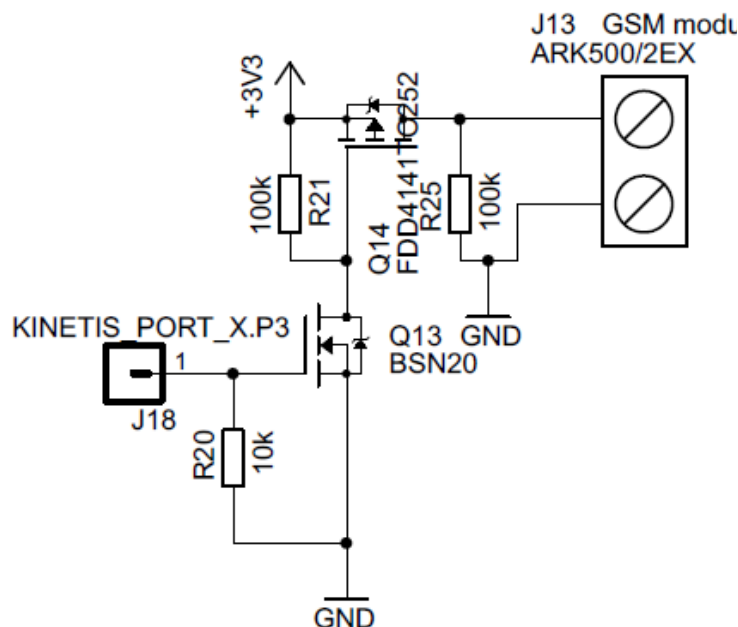


Obr. 8: Měření napájecího napětí

Pro dosažení minimální spotřeby je třeba nepoužívané bloky elektroniky vypínat, i když jejich vlastní spotřeba je zanedbatelná. Důvodem pro takové, na první pohled puntičkářské opatření je fakt, že dobu několika desítek dnů nepřerušovaného provozu se i nepatrný odběr proudu posčítá a ve výsledku vytvoří znatelnou ztrátu energie. To je důvod, proč je v případě měření přes napěťový dělič, kterým v případě napětí na akumulátoru 15 V prochází 20  $\mu\text{A}$ , použit elektronický spínač. Elektronické spínače budou popsány samostatně, zde je pouze popis obvodu pro jednoduchou úpravu napětí před vstupem do ADC MCU Kinetis. Po přivedení napětí na dělič a vyčkání krátkého času potřebného pro ustálení napětí na kondenzátoru je spuštěn samotný převod.

Hodnoty rezistorů v děliči jsou zvoleny s ohledem na fakt, že referenční napětí ADC je v době měření 3,3 V. Proto je nastaven poměr děliče na 1 ku 5, aby při maximálním možném napětí akumulátoru  $U_{AK} = 15 \text{ V}$  bylo výstupní napětí děliče 3 V. Zvolený poměr poté umožňuje jednoduchý přepočít v řídicím programu. Paralelní kondenzátor je připojen z důvodu udržení napětí při vzorkování, neboť při procesu vzorkování dochází k nabíjení malého kondenzátoru uvnitř ADC. V průběhu tohoto nabíjení dochází, z důvodu vysokého odporu děliče, k poklesu napětí na děliči a, protože je doba vzorkování velice krátká, dělič nestihne dodat dost energie na vyrovnání poklesu. Proto je k rezistoru R8 připojen paralelně kondenzátor C2, jež slouží jako dostatečně tvrdý zdroj napětí pro obvody S/H uvnitř ADC.

#### 4.1.8 Elektronické spínače



Obr. 9: Elektronický výkonový spínač

Elektronické spínače jsou použity z důvodu potřeby řízení napájení a v důsledku spotřeby celého zařízení. Na propojovací desce jsou umístěny čtyři výkonové spínače pro napájení zdroje fotoaparátu (jediný výkonový s napětím 12 V), bloku PIR čidla, bloku přijímač/vysílač dálkového ovládání a bloku s GSM modulem. Normální spínač je na desce pouze jeden, přivádějící napětí z akumulátoru na napěťový dělič pro měření stavu nabití.

Aktivními prvky výkonového spínače jsou dva MOSFET tranzistory vodivosti N a P. Na řídicí elektrodu G tranzistoru Q8 typu P je přes rezistor R19 přivedeno kladné napětí, což způsobí uzavření tranzistoru, takže celý spínač je okamžitě po přivedení napětí rozpojen. Pro otevření tranzistoru Q8 je třeba jeho řídicí elektrodu přivést k zemi. K tomuto účelu je mezi zemí a řídicí elektrodou umístěn tranzistor Q7 typu N, který je, díky rezistoru R18 spojujícího zem s řídicí elektrodou Q7, uzavřen. Při tomto způsobu zapojení navíc úroveň LOG1 přivedená na tranzistor Q7 odpovídá celkovému stavu sepnutého spínače. Rezistor R22 je připojený paralelně k výstupním svorkám desky jako užitečná zátěž výkonového tranzistoru pro případ, kdy při otevřeném tranzistoru není ke svorkám připojena žádná další elektronika.

#### 4.1.9 Obvod pro získání logické úrovně ze zvukového výstupu fotoaparátu

Tato část je neveřejná

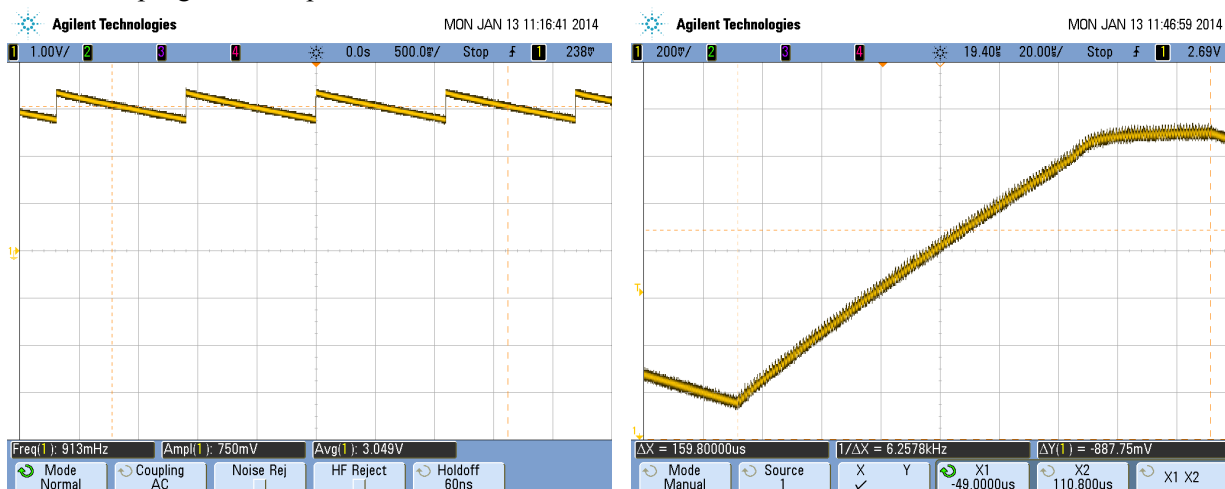
#### 4.1.10 Spínací rozhraní mezi MCU a fotoaparátem

Tato část je neveřejná

#### 4.1.11 Fyzické řešení na PCB

Celá elektronika je rozdělena na čtyři logické celky, každý celek na vlastní desce. Řídící část s MCU je umístěná na vývojové desce Freedom Development Platform od firmy Freescale. Dále jsou tři PCB vyráběné v rámci této práce: napájecí zdroj fotoaparátu, napájecí zdroj s obvodem pro snížení spotřeby pro řídicí elektroniku a propojovací deska obsahující spínací a pomocné obvody. Desky byly navrhovány v programu Eagle a jsou provedeny jako oboustranné. Soubory v Eagle formátu obsahující zde popisovaná elektrotechnická schémata a odpovídající návrhy PCB jsou přidány jako přílohy k této práci.

Při návrhu desek byla snaha každý blok zde popsany na deskách vizuálně seskupit pro snazší orientaci. Výroba navržených desek byla zadána firmě Marpos [13]. Při prvním pokusu o osazení desek pro napájecí zdroje bylo zjištěno, že použitý footprint integrovaného obvodu spínaného zdroje neodpovídá skutečnosti, proto bylo třeba udělat nový návrh, což zpozdilo výrobu prototypů. Jakmile byly k dispozici desky se správným footprintem, přešlo se na fázi osazování. Všechny tři desky byly osazeny ručně v laboratoři s následnou kontrolou funkčnosti. Poté následovalo měření zdrojů při různém zatížení a měření obvodu pro získání logické úrovně ze zvukového výstupu fotoaparátu. Všechny testy a měření dopadly podle předpokládaného odhadu, takže dalším krokem bylo vytvoření základního řídicího programu fotopasti.



Obr. 10: Měření zdroje řídicí elektroniky s aktivním obvodem pro snížení spotřeby; vlevo naprázdno, časová základna 0,5 s na dílek,  $\Delta U = \sim 0,75$  V; vpravo zátěž 80 mA, detail výstupního napětí při zapnutém zdroji, časová základna 20  $\mu$ s na dílek,  $\Delta U = \sim 1,3$  V;

## 4.2 Programování MCU Kinetis řady L

Programování MCU je realizováno v jazyce C za použití IDE CodeWarrior [13] od firmy Freescale. Čipem použitým pro řízení fotopasti je MKL25Z128VLK4. Označení slouží k jednoznačné iden-

tifikaci typu čipu [8]:

- M – verze normálně prodejná na trhu
- KL25 – označení rodiny
- Z – typ jádra procesoru (Cortex-M0+)
- 128 – velikost paměti flash (128 kB)
- V – rozsah pracovních teplot (-40 – 105 °C)
- LK – identifikace pouzdra (80 LQFP)
- 4 – maximální frekvence CPU (48 MHz)

Nyní budou následovat základní aspekty programování zvoleného MCU spolu s ukázkovými úseky kódu a nakonec přijde na řadu popis struktury firmware.

#### **4.2.1 Základy programování MCU KL25Z [7] [11] [12]**

Při programování KL25Z je třeba myslet na fakt, že toto MCU je navrženo pro minimální spotřebu energie. To v praxi znamená, že veškeré funkční moduly a komponenty nacházející se na čipu a nekritické pro běh MCU jsou vypnuty. Vypnutím se myslí nepřivedení hodinového signálu, což má za následek nepřístupnost konfiguračních a datových registrů inkriminovaného modulu. Pokud přesto dojde k pokusu o čtení nebo zápis do momentálně nepřístupné oblasti, dojde k chybě sběrnice s následným vygenerováním přerušení typu HardFault a procesor se pokusí skočit na odpovídající vektor přerušení. Protože odpovídající vektor přerušení není deklarován, procesor přejde na náhradní vektor přerušení, který předpřipravilo vývojové prostředí a programátor tak ztrácí možnost zjistit zdroj přerušení. Proto je vhodné si jako první věc po založení projektu vypsát všechny obsluhy přerušení a každou vzniklou funkci vyplnit instrukcí na pozastavení běhu programu pomocí assembleru, viz příklad obsluhy HardFault přerušení:

```
void HardFault_Handler ()
{
    __asm ("bkpt");
}
```

Toto jednoduché opatření umožňuje programátorovi jednoznačně zjistit zdroj přerušení a následně usnadní nalezení případné chyby. Dále kromě faktu, že většina čipu je odpojena od hodinového signálu, je třeba si uvědomit, že všechny vstupně/výstupní piny jsou nastaveny jako analogové vstupy. Díky tomu se spotřeba čipu ještě dále sníží. Poté, co je programátor připraven na všechny tyto aspekty, je možné přejít na samotný proces konfigurace používaných modulů.

Jako první konfigurovaný modul by měl být vstupně/výstupní port a z něj zvolený požadovaný

počet pinů, pro ověření pochopení programování daného MCU. Od této fáze programování je již naprosto nezbytné pracovat s referenčním manuálem používaného MCU. Od tohoto okamžiku budou používány úryvky kódu řešícího řízení chodu fotopasti. Prvním krokem je přivedení hodinového signálu na modul vstupně/výstupního portu:

```
SIM_SCGC5 |= (BIT9 | BIT10 | BIT11 | BIT13); //přivedeni hodin na porty A,B,C,E
```

Jak už komentář napovídá, tento řádek způsobí přivedení hodinového signálu na porty A, B, C a E. Použití operace binární OR a přiřazení „|=“ umožňuje kompaktně měnit hodnoty v jednotlivých registrech modulů. Zde konkrétně dojde k nastavení bitů 9 – 13 registru SCGC5 v modulu SIM. Modul SIM (System Integration Module) v sobě zapouzdřuje systémové konfigurační a řídicí registry. V tomto případě dochází k modifikaci pátého z registrů SCGC (System Clock Gating Control), jež mají na starost řízení připojení hodinového signálu k dalším modulům. Nyní, když je přiveden hodinový signál na vstupně výstupní porty, je možné tyto porty dále konfigurovat, ale aby se změna na portech projevila, je třeba je propojit s fyzickými vývody z MCU. Pro řízení jednotlivých pinů zde existuje PORT modul umožňující nastavení přerušení, připojení na moduly/periferie MCU, v případě podpory na pinu nastavení pull-up/pull-down, výkonu, rychlosti, pasivního filtru. Ve stavu po resetu jsou piny odpojené/nastaveny na analogovou funkci. Proto je třeba piny zapojit na požadovanou periferii:

```
PORTB_PCR0 = BIT8; //GPIO
PORTB_PCR1 = BIT8; //GPIO
PORTB_PCR2 = BIT8; //GPIO
```

Na těchto třech řádcích dojde k napojení pinů 0, 1 a 2 portu B na modul GPIO. Celý název registru (např. PORTB\_PCR0) říká, že se pracuje s pinem 0 na portu B. Zkratka PCR znamená Pin Control Register. Kromě napojení pinů na modul GPIO také dochází k vynulování všech ostatních přístupných bitů řídicího registru. Nepřístupné bity nejsou modifikovány a ponechávají si svou původní hodnotu. Toto je ukázka konfigurace každého pinu zvlášť využitelná pouze u malého počtu nebo různě konfigurovaných pinů. Pro případ potřeby nakonfigurovat více pinů na stejnou hodnotu existují dva registry určené pouze pro zápis, které dokáží na jednou změnit konfiguraci horních nebo spodních šestnácti pinů:

```
PORTE_GPCHR = ((BIT20 | BIT21 | BIT22 | BIT23) | (BIT8));
```

Prvních 16 bitů tohoto registru nastavuje konfiguraci pinů kromě nastavení přerušení, zatímco posledních 16 bitů určuje, na které piny se tato konfigurace bude aplikovat. Registr GPCHR (Global Pin Control High Register) má na starost horní polovinu pinů, to jest piny 16 – 31. Uvedený řádek kódu registru říká, aby konfiguračním registrům pinů 20, 21, 22 a 23 na portu E nastavil číselnou hodnotu odpovídající osmému bitu, to jest  $2^8$ . Tímto způsobem je k uvedeným pinům najednou připojen modul GPIO. Když už jsou piny napojené na moduly a tyto moduly mají připojený hodinový signál, je na čase provést samotnou konfiguraci modulů:

```
GPIOB_PCOR = (BIT0 | BIT1 | BIT2); //LOG0
```

Tento řádek nastavuje bity 0, 1 a 2 modulu GPIOB na LOG0. Zkratka GPIO znamená „General-Purpose Input/Output“, v překladu jsou to obecné vstupy/výstupy, a písmeno B označuje konfigurovaný port modulu. Registr PCOR (Port Clear Output Register) pracuje tak, že nastavením bitu tohoto registru dojde k vynulování odpovídajícího bitu v registru PDOR (Port Data Output Register), který přímo řídí připojené piny MCU. K nulovacímu registru PCOR existuje ještě nastavovací a přepínací ekvivalent registrů označené zkratkami PSOR (Port Set Output Register) a PTOR (Port Toggle Output Register). Registry PCOR, PSOR a PTOR jsou určeny pouze k zápisu, jejich čtení je nesmyslné a programátorovy se při čtení vrátí 0. Samozřejmě je možné výstupy řídit přímo pomocí registru PDOR, ale takové řešení je méně efektivní z hlediska výpočetního času. Při použití registrů PCOR, PSOR a PTOR dochází pouze k zápisu do registru, kdežto při použití registru PDOR je třeba nejdříve zjistit stav výstupního registru, poté programově provést potřebné bitové operace a nakonec výslednou hodnotu do registru opět zapsat:

```
GPIOB_PDOR = (PDOR | (BIT0 | BIT1 | BIT2));
```

Poté co je nastavena výchozí hodnota bitů výstupního registru, je třeba pro požadované bity nastavit modul jako výstupní:

```
GPIOB_PDDR |= (BIT0 | BIT1 | BIT2); //vystupni
```

K tomuto účelu slouží registr PDDR (Port Data Direction Register). Po pročtení části referenčního manuálu o registru PDDR programátor zjistí, že pro nastavení pinu jako výstupního je třeba odpovídající bit nastavit na hodnotu 1, a také že ve výchozím stavu je celý registr vynulován, tudíž všechny připojované piny jsou nastaveny jako vstupní. Uvedený řádek kódu vychází z těchto skutečností, načte obsah registru PDDR provede binární OR s hodnotami odpovídajícími bitům 0, 1 a 2 a výsledek uloží zpátky do registru PDDR. Od tohoto okamžiku jsou piny 0, 1 a 2 portu B nastaveny na výstup s výchozí hodnotou LOG0. Dále je možné používat tyto piny pro výstupní operace, měnit výstupní logické úrovně, nebo změnit je z výstupních na vstupní, případně je možné piny přiřadit k jinému modulu.

Při používání modulů je však vždy potřeba dodržet základní sekvenci dvou kroků, nejprve přivést hodinový signál na modul a poté je možné modul nakonfigurovat. Přiřazení pinů je možné provést buď před nakonfigurováním modulu nebo až po provedení konfigurace. V případě vstupně/výstupních portů je to jedno, protože jsou ve výchozím stavu nastaveny jako vstupní, ale u ostatních periférií může na pořadí záležet, zde je třeba připomenout nutnost neustále pracovat s referenčním manuálem. Proto, pokud bude programátor vždy připojovat piny až k nakonfigurovaným perifériím, rozhodně tím nic nezkaží a pravděpodobně si ušetří případné budoucí problémy. Na závěr ještě poznámka k přivádění hodinového signálu. Pokud je modul používán jen jednou za čas, je vhodné ho odpojovat od zdroje hodin, ušetří se tím energie, která je obzvlášť cenná při běhu na baterie.

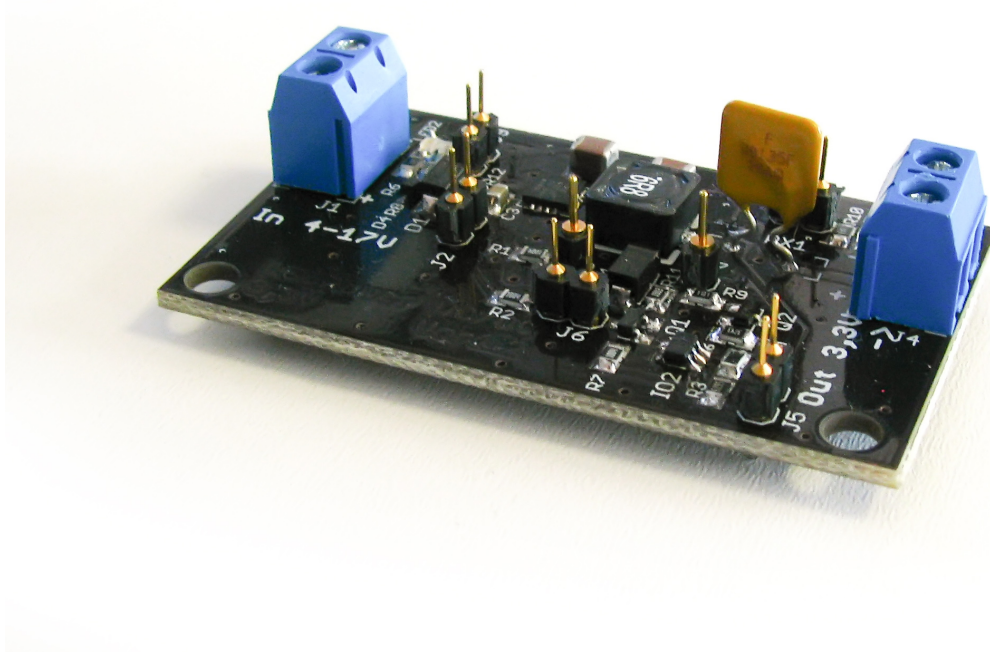
#### **4.2.2 Struktura řídicího programu**

Tato část je neveřejná



## **5 Sestavení prototypu fotopasti v jednom konstrukčním boxu**

Prototyp fotopasti je sestaven z jednotlivých funkčních částí ( vývojová deska Freedom, spínaný zdroj fotoaparátu, spínaný zdroj řídicí elektroniky, propojovací deska pro řídicí elektroniku, akumulátor, testovací fotoaparát, PIR čidlo) do jednoho konstrukčního boxu U-KP14. U-KP14 je dostatečně rozměrná, aby bylo možné do ní umístit veškerou elektroniku a akumulátor i s dostatečnou rezervou pro budoucí rozšíření. Po sestavení se ukázala potřeba první nezbytné modifikace. Z důvodu dosažení co nejlepší mobility pro potřeby testování je celá fotopast i s akumulátorem napevno zabudovaná do boxu, takže vyvstává problém s nabíjením akumulátoru. Proto bude třeba do boxu zabudovat nabíjecí konektor, přepínač pro možnost vypnutí celé fotopasti a jednoduchou elektroniku pro dobíjení akumulátoru. Dále z časových důvodů již není možné veškerou elektroniku sloučit na jedinou PCB. Nyní následuje krátká fotodokumentace prototypu fotopasti.



*Obr. 11: Prototyp napájecího spínaného LowPower zdroje*





## 6 Závěr

Cílem této práce bylo vyvinout levnou fotopast pro potřeby Hnutí DUHA. Tohoto cíle bylo dosaženo v celém rozsahu zadání bakalářské práce a výsledkem je základní prototyp fotopasti schopný na vnější stimul zareagovat a v případě nečinnosti aktivně omezit spotřebu energie a tím prodloužit výdrž na baterie.

V první kapitole byl proveden rozbor zadání a podle výstupu rozboru byly navrženy dvě možná řešení, kompletní výroba vlastního přístroje a nebo využití komerčně dostupných zařízení, konkrétněji fotoaparátů, jejich výhody a nevýhody a prvotní rozbor každého z řešení. Již při prvotním rozboru se objevil problém v dostupnosti informací v případě prvního řešení. Poté následovalo vzájemné porovnání obou návrhů a byl vybrán návrh počítající s využitím již zakoupeného fotoaparátu.

Obsahem druhé kapitoly bylo teoretické rozpracování vybraného řešení co do funkcionality celého systému a jeho jednotlivých funkčních bloků. V této části byla také vybrána architektura řídicí jednotky, na které byla nakonec celá fotopast postavena a navržena a byl proveden základní popis tří vybraných programovacích jazyků. Na konec byl zvolen programovací jazyk pro vývoj firmwaru.

V třetí kapitole byla popsána elektronika a funkce jejích jednotlivých částí, spolu s popisem samotné výroby. Dále byly zhruba popsány výstupy testů. Druhá část kapitoly se nejprve věnovala základům programování zvoleného MCU a poté byl proveden popis struktury řídicího firmwaru.

Ve čtvrté kapitole zahrnující poslední fázi vývoje došlo k sestavení jednotlivých prototypových desek spolu s vývojovou deskou Freedom, akumulátorem a fotoaparátem do konstrukčního boxu. Po připojení PIR čidla k boxu a napojení k elektronice fotopasti došlo k oživení prototypu a úspěšnému otestování funkce. Dále byly zjištěny drobné nedostatky, které ovšem negativně neovlivní činnost prototypu.

Na projektu fotopasti bude ovšem ještě dále probíhat práce. Teď momentálně přijde na řadu dlouhodobé testování, zatím v laboratorních podmínkách, nejdříve se zaměřením na výdrž baterie v aktuální funkční konfiguraci. V průběhu testování se práce soustředí na již dříve zmíněný nabíjecí obvod, poté dojde k přesunutí na vývoj dálkového ovládání. Dálkové ovládání bude zpočátku řešeno pouze na krátkou vzdálenost, a až po zvládnutí této problematiky dojde k přesunu prací na komunikaci na dlouhou vzdálenost pomocí GSM modulů. Výsledkem bude finální přístroj kompaktních rozměrů sestávající z jediné PCB s elektronikou spojenou s fotoaparátem, PIR čidlem a akumulátorem. Součástí fotopasti bude samozřejmě dálkové ovládání, které by mělo rozměrově odpovídat mobilnímu telefonu, případně by bylo použito přímo mobilního telefonu s odpovídající nainstalovanou aplikací.

## 7 Použitá literatura a zdroje

[1] Image Sensors - Aptina Imaging. *Image Sensors - Aptina Imaging* [online]. © 2012 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.apgina.com/products/image\\_sensors/](http://www.apgina.com/products/image_sensors/)

[2] CMOS Image Sensors. *CMOS Image Sensors* [online]. February 2013 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.onsemi.com/PowerSolutions/parametrics.do?id=101682>

[3] TEXAS INSTRUMENTS. *Tps62110.pdf* [online]. © 2005–2014, 29 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/tps62110>

[4] KL2x: Kinetis KL2x USB MCUs. FREESCALE. *KL2x: Kinetis KL2x USB MCUs* [online]. © 2004-2014 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC)

[5] TEXAS INSTRUMENTS. *Tps62111.pdf* [online]. © 2005–2014, 29 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/tps62111>

[6] TEXAS INSTRUMENTS. *Tps3806i33.pdf* [online]. © 2001–2004, 14 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/tps3806i33>

[7] FREESCALE. *KL25P80M48SF0M.pdf* [online]. September 2012, 807 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC&fjsp=1&tab=Documentation\\_Tab](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC&fjsp=1&tab=Documentation_Tab)

[8] FREESCALE. *KL25P80M48SF0.pdf* [online]. 03/2014, 57 s. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC&fjsp=1&tab=Documentation\\_Tab](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=KL2x&nodeId=01624698C9E3EC&fjsp=1&tab=Documentation_Tab)

[9] KERNIGHAN, Brian W a Dennis M RITCHIE. *The C programming language*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, © 1978, x, 228 p. ISBN 01-311-0163-3.

[10] KERNIGHAN, Brian W a Dennis M RITCHIE. *The C programming language*. 2nd ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, © 1988, xii, 272 p. ISBN 01-311-0362-8.

[11] SICKLE, Ted van. *Programming microcontrollers in C*. Eagle Rock, Va: LLH Technology Publ, 1994. ISBN 18-787-0714-0.

[12] VAN SICKLE, Ted. *Programming microcontrollers in C*. 2nd ed. Eagle Rock, Calif.: LLH Technology Pub., ©2001, xvi, 454 p. ISBN 18-787-0757-4.

[13] *MARPOS plošné spoje – printed circuit board* [online]. ©2008-11 [cit. 2014-05-01].

Dostupné z: <http://www.marpos.cz/>

[13] CodeWarrior Development Suite - Special. *Freescale Semiconductor | Embedded Processing Solutions* [online]. © 2004-2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: [http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod\\_summary.jsp?code=CW-SUITE-SPECIAL&tid=CWH](http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=CW-SUITE-SPECIAL&tid=CWH)

## **8 Seznam příloh**

- |             |   |
|-------------|---|
| Příloha I   | Archiv obsahující soubory schémat a PCB prototypů – není součástí veřejné části |
| Příloha II  | Archiv zdrojových kódů řídicího firmware – není součástí veřejné části          |
| Příloha III | Referenční manuál Kinetis KL25Z   |
| Příloha IV  | Archiv katalogových listů nenahraditelných součástek                            |