

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

CHYTRÉ TLAČÍTKO PRO SMART HOME

SMART BUTTON FOR HOME AUTOMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Matula

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Beneš

BRNO 2021



Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Ondřej Matula

ID: 211161

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Chytré tlačítko pro smart home

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce se zabývá návrhem chytrého tlačítka v chytré domácnosti. Cílem práce je navrhnout a realizovat HW a SW tlačítkového modulu.

1. Seznamte se s koncepty smart home a dostupnými alternativními produkty
2. Definujte požadavky na chytré tlačítko
3. Navrhněte HW chytrého tlačítka
4. Navržený HW realizujte
5. Navrhněte koncepci SW
6. Implementujte SW
7. Zařízení otestujte a zhodnoťte dosažené výsledky

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Documentation - Home Assistant. Home Assistant [online]. Dostupné z: <https://www.home-assistant.io/docs/>

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem chytrého tlačítka jakožto periférii k chytré domácnosti. Chytré tlačítko kombinuje funkce standardního světelného vypínače s možností ovládat další zařízení. Komunikace probíhá pomocí drátové sběrnice CAN nebo PWI. V práci je obsažen postup návrhu hardwarové části, která zahrnuje výběr vhodných součástí a technického řešení. Další částí práce je návrh firmwaru tlačítka, který bude schopen komunikovat s nadřazeným systémem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chytré tlačítko, Chytrá domácnost, PWI, ATSAM11E16A, QTouch, PTC, Nízkopříkonové zařízení, CAN

ABSTRACT

This thesis deals with the design of a smart button which will be used as a periphery to a smart home. The smart button combines the functions of the standard light switch with the ability to control other devices. The smart button communicates via a wired CAN or PWI bus. Hardware designing process which include selection of a suitable components and most appropriate technical solutions is discussed. Another part of thesis deals with implementing a firmware that allows a smart button to communicate with the master system.

KEYWORDS

Smart home switch, Smart Home, PWI, ATSAM11E16A, QTouch, PTC , Low power device, CAN

MATULA, Ondřej. *Chytré tlačítko pro smart home*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021, 78 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Beneš

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Ondřej Matula
VUT ID autora: 211161
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2020/21
Téma závěrečné práce: Chytré tlačítko pro smart home

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno23. května 2021.....

.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomášovi Benešovi, za odborné vedení a ochotnou spolupráci, a také Ing. Ondřeji Baštánovi, za užitečné rady a cenné připomínky k dané problematice.

Obsah

Úvod	12
1 Požadavky	13
1.1 Hardwarové požadavky	13
1.2 Softwarové požadavky	13
1.3 Funkční požadavky	14
2 Současné řešení	15
2.1 Globální trend	15
2.2 Podobná zařízení	15
2.2.1 Loxone Touch Pure	15
2.2.2 Sonoff T3EU3C-TX	16
2.3 Funkční vybavenost	16
3 Obvodové řešení	19
3.1 Blokové schéma	19
3.2 Mikrokontrolér	20
3.2.1 Požadavky	21
3.2.2 Výběr	21
3.2.3 Zapojení	21
3.3 PWI	24
3.3.1 Komunikační rozhraní PWI	25
3.3.2 Akumulátor energie	28
3.3.3 Stabilizátory	29
3.4 CAN	31
3.4.1 Komunikační rozhraní CAN	31
3.4.2 Vstup napájení 24 V	32
3.4.3 Stabilizátory	33
3.5 Haptická odezva	34
3.5.1 Zapojení	35
3.6 Kapacitní snímače	35
3.6.1 Požadavky	36
3.6.2 Výběr a technologie	36
3.6.3 Konstrukce	39
3.7 Modularita	41
3.8 Ambientní podsvícení	42
3.9 Výkonová část	43

3.9.1	Spínací prvek	43
3.9.2	Konstrukce	43
3.10	Snímač proudu	45
3.10.1	Výběr a technologie	45
3.10.2	Zapojení ACS712	46
4	Mechanická konstrukce/DPS	48
4.1	Elektroinstalační krabice	48
4.2	Design	49
4.3	Konstrukce	49
4.4	Deska plošného spoje	50
5	Programové řešení	54
5.1	Vývojová platforma	54
5.2	MCU	55
5.2.1	Bezpečnost	55
5.3	Obsluha periférií	55
5.3.1	Řízení digitálních LED	56
5.3.2	QTouch	58
	Závěr	60
	Literatura	62
	Seznam symbolů a zkratk	66
	Seznam příloh	68
	A SCHÉMATA ZAPOJENÍ	69
	B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	75
	C Obsah příloženého CD	77
C.1	Elektronická verze závěrečné práce	77
C.2	Eagle projekt s návrhem schématu a DPS	77
C.3	Schéma a DPS ve formátu pdf	77
C.4	Výrobní podklady	77
C.5	Firmware	77
C.6	Adresářová struktura	77

Seznam obrázků

2.1	Tlačítko LOXONE	16
2.2	Tlačítko Sonoff	17
3.1	Blokový diagram	19
3.2	Blokový diagram MCU ATSAML11E16A	23
3.3	Schéma zapojení MCU	24
3.4	Vývodové schéma SWD	24
3.5	Schéma zapojení komunikačního rozhraní	25
3.6	Průběh simulace spínací logiky komunikačního rozhraní	26
3.7	Simulovaný průběh spínání komunikačního rozhraní.(vstup RX)	27
3.8	Simulovaný průběh spínání komunikačního rozhraní.(výstup TX)	28
3.9	Schéma zapojení napájecí větve 3,3 V PWI	30
3.10	Schéma zapojení napájecí větve 4,5 V PWI	30
3.11	Fyzické uspořádání sběrnice CAN	31
3.12	Schéma zapojení komunikačního rozhraní CAN	32
3.13	Schéma zapojení napájecí větve 5 V CAN	34
3.14	Princip použitého vibračního motorku	35
3.15	Schéma ovládání vibračního motorku	36
3.16	Princip metody určování stisku self-capacitance	37
3.17	Princip metody určování stisku mutual-capacitance	38
3.18	Blokové schéma PTC (self-capacitance)	39
3.19	Doporučená velikost elektrod	40
3.20	Schéma zapojení digitálních LED	40
3.21	Příklad upevnění prosvětlovacích diod na PCB	41
3.22	Schéma zapojení tranzistorového napěťového konvertoru	42
3.23	Rozložení vývodů připojovacího konektoru	42
3.24	Výsledná ambientní dioda	43
3.25	Schéma zapojení ovládací cívky bistabilního relé	44
3.26	Schéma zapojení přepínacích kontaktů bistabilního relé	44
3.27	Vizualizace principu technologie IMC Hall senzor	45
3.28	Příklad snímače MLX91206 opatřeným jádrem	46
4.1	3D model elektroinstalační krabice KP67-2 (KOPOS)	48
4.2	Návrh designu tlačítka	49
4.3	Rozložení mechanické konstrukce tlačítka v řezu	50
4.4	Nástin tvaru základní části	51
4.5	Model základní a přední části DPS	51
4.6	Základna, finální verze DPS	52
4.7	Základna, finální verze DPS	52

4.8	Přední panel, finální verze DPS	53
4.9	Přední panel, finální verze DPS	53
5.1	Vývoj na platformě Microchip Studio	54
5.2	Vývodový diagram MCU pro jednotlivé periferie (Atmel START) . .	56
5.3	Identifikace stavů sběrnice (digitální LED)	57
5.4	Příklad komunikace pro dvě digitálně řízené LED	57
5.5	Princip nastavení prahové úrovně a hystereze u QTouch	58
A.1	Základna: schéma zapojení MCU	70
A.2	Základna: schéma zapojení napájení	71
A.3	Základna: schéma zapojení výkonová část	72
A.4	Přední panel: schéma zapojení 1	73
A.5	Přední panel: schéma zapojení 2	74
B.1	Základna: deska plošného spoje TOP	75
B.2	Základna: deska plošného spoje BOTTOM	75
B.3	Přední panel: deska plošného spoje TOP	76
B.4	Přední panel: deska plošného spoje BOTTOM	76

Seznam tabulek

3.1	Základní parametry MCU ATSAML11E16A	22
5.1	Základní parametry chytrého tlačítka	61

Úvod

V současné době pojem „smart home“, systém navržen pro inteligentní ovládání domácnosti, nabývá na značné popularitě. Je to zapříčiněno zejména zlevňováním moderních technologií a s tím spojenou dostupností pro širokou veřejnost. Dopusud byl totiž pojem chytrá domácnost úzce spjat s vysokými pořizovacími náklady a mnohdy nezbytným odborným zásahem. Současný trend je však nastaven směrem integrace bezdrátových technologií a umožnění montáže koncovému uživateli.

Předložená práce se však přes nesporné výhody využití bezdrátových technologií vydává směrem spolehlivosti a energetické nenáročnosti, a to zejména díky dvouvo-
dičové sběrnici PWI (Power Wire Interface - drátová komunikační sběrnice)¹, která tvoří společně s alternativní sběrnici CAN (Controller Area Network - drátová komunikační sběrnice) bázi celého systému. Práce však není zacílena na zpracování celého systému chytré domácnosti, nýbrž pouze na jednu z jeho mnoha částí, a to konkrétně na konstrukci chytrého tlačítka, v rámci kterého se zabývá návrhem jak po stránce hardwarové, tak i po neodmyslitelně s prací spojenou stránkou softwarovou.

Navrhované tlačítko kombinuje dvě elementární funkce, pro které je primárně navrženo, konkrétně pak funkci standardního světelného vypínače (tlačítko je možné ovládat nezávisle na sběrnici) a funkci tlačítka chytrého. Definicí chytrého tlačítka se ve vztahu k této práci myslí zejména rozšířená funkčnost, kdy tlačítko kooperuje s nadřazeným systémem, který sjednocuje všechny systémy jenž jsou do celku chytré domácnosti implementovány. Tlačítko je primárně navrženo pro montáž do normovaných krabiček² a jako ovládací prvky jsou použity kapacitní snímače, jejímž návrhem se zabývá nemalá část práce.

Postup, kterým jsou situovány jednotlivé kapitoly práce, vychází ze zadání. První část práce se zaměřuje na požadavky, které jsou na tlačítko kladeny (kapitola 1), a to ať už z pohledu konkurenceschopnosti, oproti současným řešením, tak z pohledu požadavků zadavatele práce³. Druhá část se zaměřuje na zmíněné současné řešení, kterým by mělo být tlačítko schopno konkurovat (kapitola 2). Ve třetí části (nejobsáhlejší) jsou diskutována a zpracována jednotlivá obvodová řešení, jenž při návrhu práce byly brány v potaz (kapitola 3). Část čtvrtá se následně zaměřuje na tvorbu základního firmwaru, který by měl být schopen obsluhy použitých periférií, nacházejících se v zařízení (kapitola 5). Závěr, jakožto poslední část, sdružuje jednotlivá řešení, problémy spojené s konstrukcí a dosažené výsledky včetně parametrů dosažených parametrů tlačítka (kapitola 5.3.2).

¹Sběrnice PWI není ve finální verzi chytrého tlačítka implementována a je použita alternativní sběrnice CAN.

²Např.: KP-68, KI-68.

³Vedoucí práce.

1 Požadavky

V této kapitole jsou popsány požadavky jaké od chytrého tlačítka (dále jen tlačítka), popsaného v předložené práci, lze očekávat. Tlačítko implementuje kromě standardní funkce světelného vypínače (přepínače) i funkce rozšířené, které tlačítko činí chytrým. Rozšířenými funkcemi je myšlena zejména možnost ovládat pomocí tlačítka jiné zařízení, která jsou již v systému chytré domácnosti integrována. Systémem chytré domácnosti je, v konkrétním slova smyslu, myšlen soubor zařízení se zajištěním vzájemné kompatibility. Jelikož je v době návrhu, potažmo výroby, tlačítka systém zatím ve vývoji, vzájemnou kompatibilitu zařízení zajišťují pouze společné sběrnice, a to konkrétně sběrnice PWI (Power Wire Interface - drátová komunikační sběrnice), která nebyla na přání zadavatele projektu, ve finální verzi realizována a sběrnice CAN (Controller Area Network - drátová komunikační sběrnice). Tlačítko řadíme mezi periferie, které jsou určeny pro nepřetržitý provoz. Konstrukce je proto optimalizována pro nízkou spotřebu (low power), čemuž odpovídá jak výběr komponent, tak konstrukce celého zařízení.

1.1 Hardwarové požadavky

Požadavky jsou zvoleny zejména tak, aby vyhovovaly zadavateli tohoto projektu, za kterého lze považovat vedoucího práce. Soubor požadavků je v seznamu níže.

- Montáž do elektroinstalační krabice (př. KP-68, KI-68).
- Svorkovnice typu WAGO, jak pro sběrnici, tak pro silové vodiče.
- Kapacitní snímače pro ovládání.
- Integrovaný výkonový člen. ¹
- Haptická odezva. ²
- Snímání proudu, který teče přes výkonovou část.
- Indikační LED Light Emitting Diode - světelná dioda.
- Konstrukce krabičky realizovatelná na 3D tiskárně.
- Kompatibilita hardwarového rozhraní se sběrnici CAN nebo PWI.
- Odnímatelný přední panel.

1.2 Softwarové požadavky

V rámci práce je zpracován zejména firmware, který je určen pro komunikaci s nadřazeným systémem. Ten by měl být schopen s tlačítkem plně kooperovat a řídit tak

¹Prvek pro spínání silové části zařízení, jako je například relé

²Mechanická odezva stisku ovládacího prvku (např. ve formě vibrací)

většinu jeho „inteligentních“ funkcí. Tlačítko tedy nebude plně závislé na zmíněném systému a jeho firmware by měl být schopen ovládat některé funkce autonomně, jako třeba již zmíněné ovládání osvětlení. A to zejména z důvodu odezvy ovládacích prvků tlačítka, u kterých to bude vhodné (např. osvětlení). Firmware musí také disponovat možností aktualizace i po finální verzi hardwaru, proto by tlačítko mělo disponovat dobře přístupným programovacím portem. V rámci softwarové implementace se nepředpokládá aktualizace prostřednictvím nadřazeného systému a sdílené sběrnice.

1.3 Funkční požadavky

Funkční požadavky jsou zvoleny hlavně v závislosti na praktičnosti a konkurenceschopnosti vůči zařízením, které jsou již na trhu. Funkční vybavenost těchto zařízení je diskutována v kapitole 2.

Při definici funkčních požadavků je také nutné podotknout, že jednotlivé funkce nejsou závislé pouze na konstrukci tlačítka, ale na celém systému chytré domácnosti. Proto je při konstrukci tlačítka brán zřetel zejména na podporu jednotlivých funkcí a na budoucí kompatibilitu tlačítka se systémem chytré domácnosti. Požadované funkce, kterými by tlačítko mělo disponovat, jsou sepsány v seznamu níže.

- Optický alarm (upozornění na událost).
- Dětská pojistka (tlačítko lze v určitém časové intervalu deaktivovat).
- Úspora energií (v případě nepřítomnosti uživatele se zhasnou světla).
- Buzení světlem (v závislosti na nastavení budíku se aktivuje osvětlení).
- Noční mód osvětlení (decentní podsvícení tlačítka pro lepší orientaci).
- Ovládání žaluzií.
- Nastavení teploty v místnosti.
- Ovládání multimediální techniky (hlasitosti hudby, přepínání skladeb, atd.).
- Panikové tlačítko (v případě nebezpečí nebo úrazu umožňuje přivolat pomoc).

2 Současné řešení

Vzhledem ke skutečnosti, že by navrhované tlačítko mělo být schopno konkurovat současným řešením na trhu, je proto nezbytné, získat povědomí o technologiích a funkcích, které současný trh nabízí. Následující kapitola se proto bude zabývat již existujícími produkty, tak aby jim mohlo navrhované tlačítko konkurovat.

2.1 Globální trend

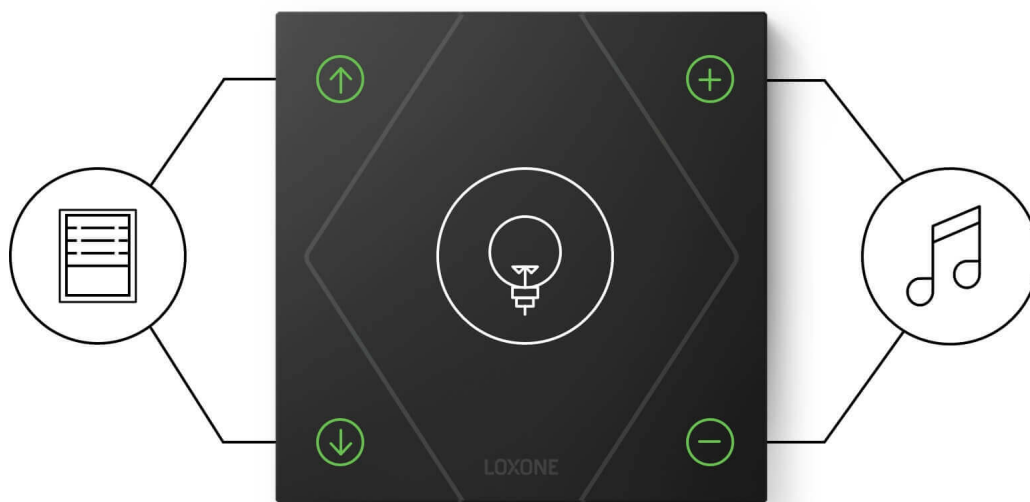
Současný trend, jak již bylo zmíněno v úvodu, jde směrem implementace drobných chytrých zařízení do jednoho centrálního systému pro ovládání chytré domácnosti. Takovým systémem je dnes zejména Home Assistant, který tomuto segmentu vévodí. Jeho značná popularita staví zejména na open source softwaru, možnosti instalace na jednodeskové počítače a integraci dnes již populárních systémů od ostatních výrobců. Jako příklad lze uvést: Amazon Alexa, Google Assistant, Chrome Cast, Phillips Hue atd. Důvod proč je tomuto systému věnována pozornost, je hlavně díky budoucímu plánu zastřešit zde popisované řešení chytré domácnosti právě pod tento systém. Jelikož ale otázka integrace nezávisí na konstrukci tlačítka, nýbrž na nadřazeném systému, nebude se tato práce zmíněnou možností zabývat.

2.2 Podobná zařízení

Kapitola obsahuje podobné konstrukce chytrých tlačítek, které lze na stávajícím trhu pořídit.

2.2.1 Loxone Touch Pure

Tlačítko od společnosti Loxone (obr.2.1) se nejvíce blíží tlačítku, které je konstruováno v rámci této práce. Tlačítko disponuje možností bateriového napájení nebo napájení skrze 24 V sběrnici. Tlačítko samotné neobsahuje žádný výkonový prvek a je tedy kalkulováno s použitím externí spínací komponenty. Možnost instalace do elektroinstalační krabice není podporována, je proto nutné použití speciální příchytky (mounting frame). Na čelním panelu se pak nachází pětice dotykových tlačítek, která jsou programovatelná a podporují gesta, ve formě více kliku. Bezdrátová varianta je napájena 2x AAA baterií a komunikuje na frekvencích (868 MHz a 915 MHz). Bezdrátové a drátové varianty od sebe odlišuje přívlastek v názvu, a to u bezdrátového „air“ a u drátového „tree“ [1].



Obr. 2.1: Loxone Touch Pure Tree layout [2]

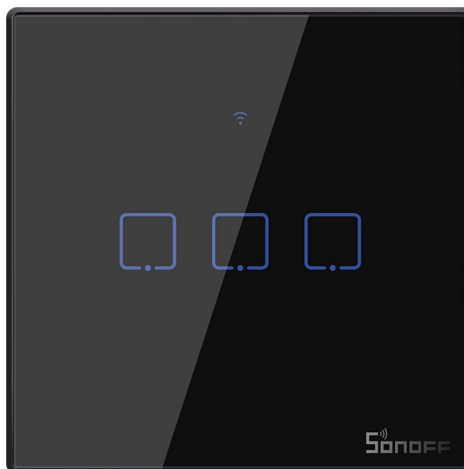
2.2.2 Sonoff T3EU3C-TX

Tlačítko od společnosti Sonoff (obr.2.2) je koncipováno jako bezdrátové. Tlačítko pracuje ve dvou frekvenčních pásmech, 2,4 GHz standartu IEEE 802.11 (Wi-fi) a RF 433 MHz. Dále obsahuje výkonový prvek, který v tomto konkrétním případě umožňuje spínat tři okruhy (počet ovládacích prvků závisí na verzi tlačítka), každý o maximální proudu 1 A. Tlačítko je kompatibilní se standardními elektroinstalačními krabicemi. Napájení tlačítka je možné pomocí síťového napětí, a to ve variantách včetně nulového vodiče, nebo bez nulového vodiče. V případě napájení bez nulového vodiče, je pak nutné paralelně ke svítidlu připojit kondenzátor, který umožňuje průchod klidového proudu daným okruhem. Úbytek napětí na tlačítku, který zajišťuje klidový proud, je následně použit pro napájení tlačítka v případě vypnutého svítidla. Ovládání je řešeno přes kapacitní snímače. Přední kryt je vyroben z tvrzeného skla [2].

2.3 Funkční vybavenost

V této kapitole jsou sumarizovány funkce, kterými disponují dnes používané systémy chytré domácnosti, v souvislosti s chytrými tlačítky. Podrobně sepsané jsou v seznamu níže.

- Osvětlení:
 - Stmívání.



Obr. 2.2: Sonoff T3EU3C-TX [3]

- Postupný náběh (Fade in/out).
- Optický alarm (upozornění na událost).
- Simulace přítomnosti (ochrana před zloději).
- Dětská pojistka (tlačítko lze v určitém časové intervalu deaktivovat).
- Úspora energií (v případě nepřítomnosti uživatele se zhasnou světla).
- Buzení světlem.
- Noční mód osvětlení (intenzita osvětlení v závislosti na denní době).
- Stínění (žaluzie):
 - Ochrana proti přehřátí a mrazu (v závislosti na venkovní a vnitřní teplotě ovládání žaluzií).
 - Zajištění soukromí po západu slunce.
 - Ochrana před větrem.
 - Řízení ve skupinách .
 - Ovládání žaluzií.
 - Přirozený budík (odtáhnutí žaluzií při aktivaci budík.u)
- Topení, klimatizace:
 - Ovládání teploty.
 - Měření teploty v místnosti.
- Audio.
 - Ovládání hlasitosti skladeb.
 - Přepínání skladeb.

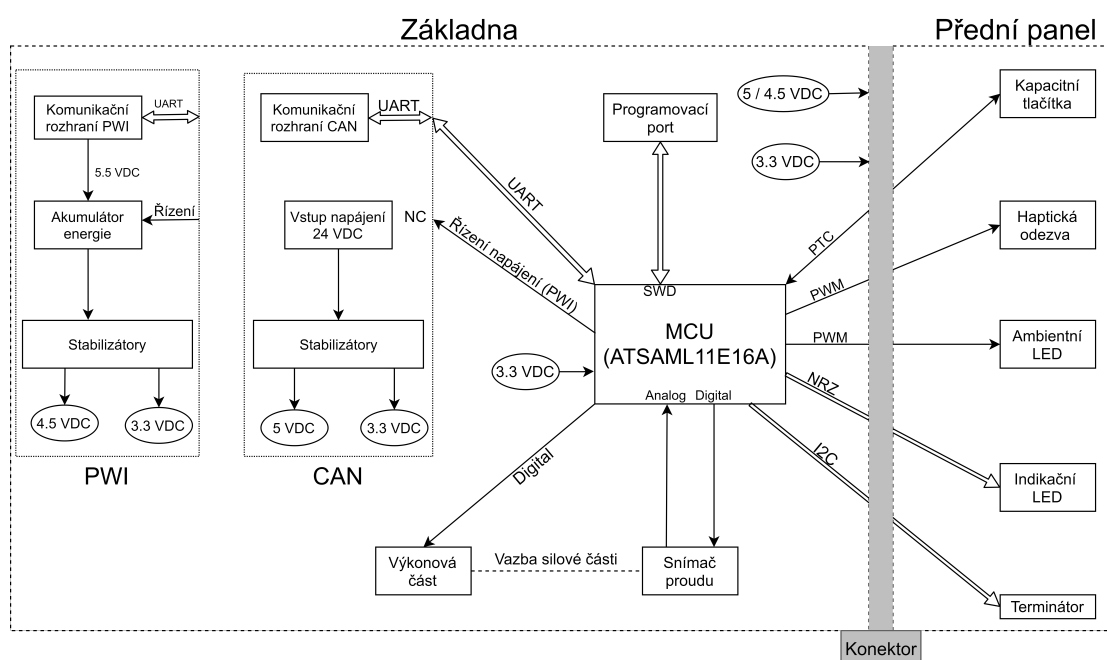
- Zabezpečení:
 - Panikové tlačítko.
 - Tichý alarm (indikace možnosti vniknutí osvětlením).
 - Zastřežovací panel (kódovací).
- Vlastnosti:
 - Kabelové připojení / baterie.
 - Varianta rámečková / bez-rámečková.
 - Rámečková varianta kompatibilní s ostatními elektroinstalačními prvky.
 - Ambientní podsvícení LED, zesponu vypínače.
 - Nástěnná varianta.
 - Implementace do různých povrchů (obklady, dřevo).

3 Obvodové řešení

V následujících kapitolách jsou podrobně rozepsány jednotlivé konstrukční řešení, které se při návrhu vyskytly.

3.1 Blokové schéma

V této části jsou zjednodušeně popsány funkční bloky, z nichž se tlačítko skládá, a jsou zaneseny na blokovém diagramu vyobrazeném na obrázku 3.1. Plnohodnotné řešení dané problematiky lze pak najít v příslušných kapitolách, které jsou uvedeny jako reference.



Obr. 3.1: Blokový diagram tlačítka

Základ zařízení tvoří dva bloky, a to blok základna (base) a přední panel (front panel). Bloky popisují fyzické oddělení plošných spojů, kdy základna je schopna pracovat nezávisle na předním panelu a přední panel je modulární jednotka. Práce jednotlivé bloky sdružuje do jednoho návrhu, avšak bloky jsou zároveň uzpůsobeny pro budoucí možnost rozšíření. Možnosti připojení dalších modulů je diskutována v kapitole 3.7.

Základní řídicí jednotku tvoří MCU (Microcontroller), jehož výběr je podrobněji popsán v kapitole 3.2. S volbou MCU také úzce souvisí programovací port, který je ve zmíněné kapitole také obsažen.

Blokový diagram obsahuje dvě různá řešení, respektive dva odlišné bloky PWI a CAN. Ve finálním řešení se vždy uplatňuje pouze jedna z těchto variant. V původní verzi zařízení, která byla ve finální verzi tlačítka přepracována, je použit blok PWI. Avšak později, na přání zadavatele práce, bylo zařízení přepracováno, tak aby bylo kompatibilní se sběrnici CAN. V následujících odstavcích je proto obvodové řešení přizpůsobeno takovým způsobem, aby bylo primárně kompatibilní se sběrnici CAN, ale zároveň zůstalo, po menších obvodových změnách, kompatibilní i s původní verzí PWI. Oba diskutované bloky v sobě sdružují komunikační a napájecí část, jenž jsou na sobě, v popsaných řešeních, závislé. Jednotlivá řešení jsou podrobněji popsána v kapitole 3.3 pro PWI a v kapitole 3.4 pro CAN.

Blok haptické odezvy plní funkci mechanické odezvy při aktivaci ovládacího prvku. Jeho konkrétní řešení je popsáno v kapitole 3.5.

Ovládací prvky zařízení tvoří zejména dotyková tlačítka. Tlačítka pracují na kapacitním principu. Konkrétní zapojení je závislé opět na zvoleném MCU. V mnou zvoleném řešení jsou tyto tlačítka připojeny jedním vodičem, který je napojen na port podporující PTC (Peripheral Touch Controller - periferní dotykový ovladač). Je však nutné kalkulovat s jedním vodičem navíc, zejména z důvodu nutnosti připojení aktivního stínění, které zlepšuje spolehlivost zvoleného řešení. Přidružená kapitola: 3.6.

S volbou ovládacích prvků souvisí také možnost jednoduché identifikace i za stížených podmínek (jako je tma). Pro tento případ byla zvolena varianta podsvícení digitálními LED (Light Emitting Diode - světelná dioda). Spojení mezi LED a MCU realizuje NRZ (Non Return to Zero - mechanismus sériového kódování), na jehož provoz je potřeba pouze jeden komunikační vodič. Podrobnější popis řešení je opět v kapitole 3.6.

Dalším z hlavních požadavků, jaké byly na tlačítko kladeny, je možnost ovládání svítidel, potažmo jiných zařízení. K tomuto účelu, jak bylo mnohokrát zmíněno, se v zařízení nachází výkonová část, která tuto funkci zastřešuje (kapitola 3.9). K výkonové části se, dle požadavků, vztahuje i měření protékajícího proudu a tak možnost sledovat dodávaný výkon do zařízení. K tomuto účelu je zde implementován snímač proudu, díky němuž je tato funkce možná. Problematice konstrukce je opět věnována samostatná kapitola 3.10.

3.2 Mikrokontrolér

Výběr MCU (Microcontroller) je klíčovým prvkem v souvislosti s konstrukcí zařízení. Je to dáno zejména tím, že spojuje veškeré komponenty, které zprostředkovávají požadované funkce. Proto je na jeho výběr kladen velký důraz.

3.2.1 Požadavky

Požadavky na MCU, které jsou klíčové při jeho výběru:

- Podpora kapacitních snímačů.
- Nízkopříkonová (Low power) konstrukce.
- Nízká pořizovací cena.
- SMD (Surface Mount Device - zařízení určeno pro povrchovou montáž).
- UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - sériové asynchronní komunikační rozhraní).
- ADC (Analog to Digital Converter - analogově digitální převodník).
- PWM (Pulse Width Modulation - pulzně šířková modulace).

3.2.2 Výběr

Výběr mikropočítačů, které odpovídají požadovaným vlastnostem, byl omezen na výrobce Microchip. Je to zapříčiněno především dřívější zkušeností s použitím jejich produktů. Původní záměr byl použit, zadavatelem práce doporučený, mikropočítač ATxmega32e5. I přes to, že je v katalogovém listu (datasheetu) podpora QTouch knihovny (knihovna zajišťující podporu kapacitních dotykových ovladačů) uvedena, není tomu tak. To bylo zjištěno, jak podle seznamu podporovaných zařízení pro QTouch [4], tak i praktickou zkouškou v Atmel studio 6.0/7.0, celá řada XMEGA E5 tedy není podporována. Díky požadavku na nízkou spotřebu byla od Microchipu zvolena řada ultra-low power, a to konkrétně SAM L11. Bází zvolené řady tvoří jádro 32 bit Arm Cortex-M23. Pro porovnání spotřeby jednotlivých architektur byl zohledněn parametr, který udává závislost protékajícího proudu zařízením na taktovací frekvenci ($\mu\text{A}/\text{MHz}$). V závislosti na dalších klíčových parametrech (3.2.1) byl zvolen MCU ATSAML11E16A [5]. Nevýhodou výběru je fakt, že Microchip nevyrobí ultra low power MCU dimenzované na pracovní napětí 5 V, na kterém pracuje většina použitých periférií. Je tedy nutné konstrukci tlačítka přizpůsobit nominálnímu napětí MCU. Základní parametry MCU ATSAML11E16A lze nalézt v tabulce 3.1.

3.2.3 Zapojení

Napájení

Obvodové zapojení MCU je na obrázku 3.3. K napájení zařízení je kromě standardních napájecích pinů (VDDANA, VDDIO), které v naší aplikaci pracují s nominálním napětím 3,3 V, potřeba také napětí pro jádro (core) mikroprocesoru (pin VDD-

Parametry	ATSAML11E16A
Programová paměť [kB]	64
Sram [kB]	16
EEPROM/HEF [B]	2048
Počet pinů [-]	32
Maximální frekvence CPU [MHz]	32
Architektura	ARM Cortex-M23
Maximální teplota [°C]	125
Pracovní napětí [V]	1,63 - 3,63
PWM výstupy [-]	6
UART [-]	3
ADC vstupy [-]	10
podpora PTC [-]	ano
Spotřeba [μ A/MHz]	25
Cena (Mouser_2.12.2020) [Kč]	55

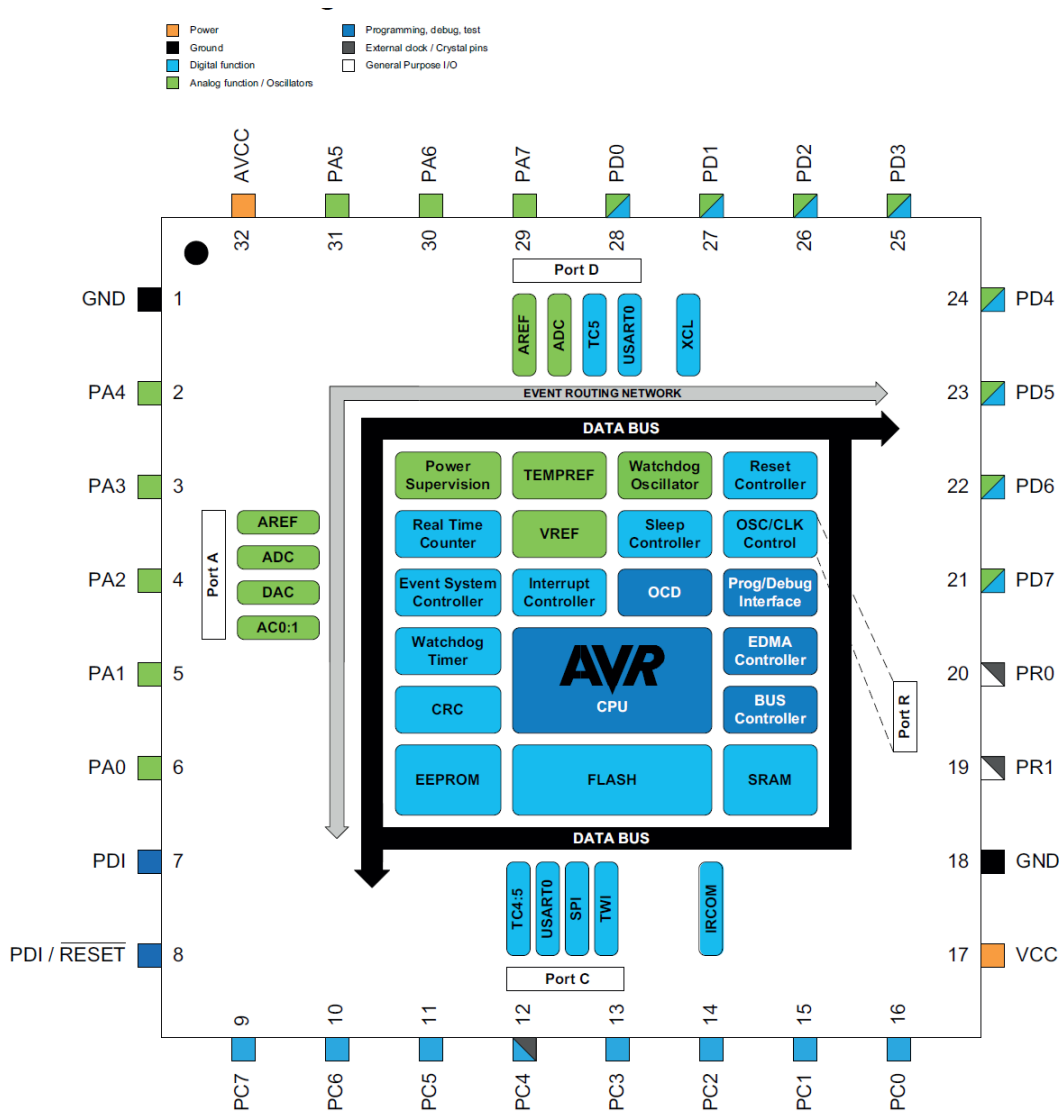
Tab. 3.1: Základní parametry MCU ATSAML11E16A

CORE). Napětí na jádro je laditelné samotným mikropočítačem a dává mu možnost snížit spotřebu v okamžiku nečinnosti. Ke správné funkci zmíněného mechanismu je zapotřebí použití pomocného napěťového regulátoru. Dle datasheetu výrobce umožňuje použití buď lineárního LDO (Low Dropout Regulator - regulátor s nízkým úbytkem) nebo spínaného regulátoru (Buck converter) [6]. V rámci konkrétní aplikace je výhodnější použití regulátoru spínaného, který má z principu větší účinnost a s tím spojenou i nižší spotřebu. Napájení MCU obsahuje tedy cívku L1 pro spínaný regulátor, filtrační a lokální blokovací kondenzátory C2, C3, C5, C6, C7 a feritovou perlu (ferrite bead) FL1, která tvoří LC filtr a zabraňuje průchodu vyšších kmitočtů do analogové části MCU přes pin VDDANA [7]. U kondenzátorů je kladen důraz zejména na jejich nízké ESR (Equivalent Series Resistance - ekvivalentní sériový odpor) a umístění co nejbližší MCU. Proto byly zvoleny MLCC (Multi Layer Ceramic Capacitors - vícevrstvý keramický kondenzátor) kondenzátory, a to i v případě, kdy výrobce doporučuje použití tantalových.

Oscilátor

Mikropočítač disponuje podporou pro externí (krystalový) i interní oscilátor. Parametry oscilátorů jsou uvedeny v seznamu níže.

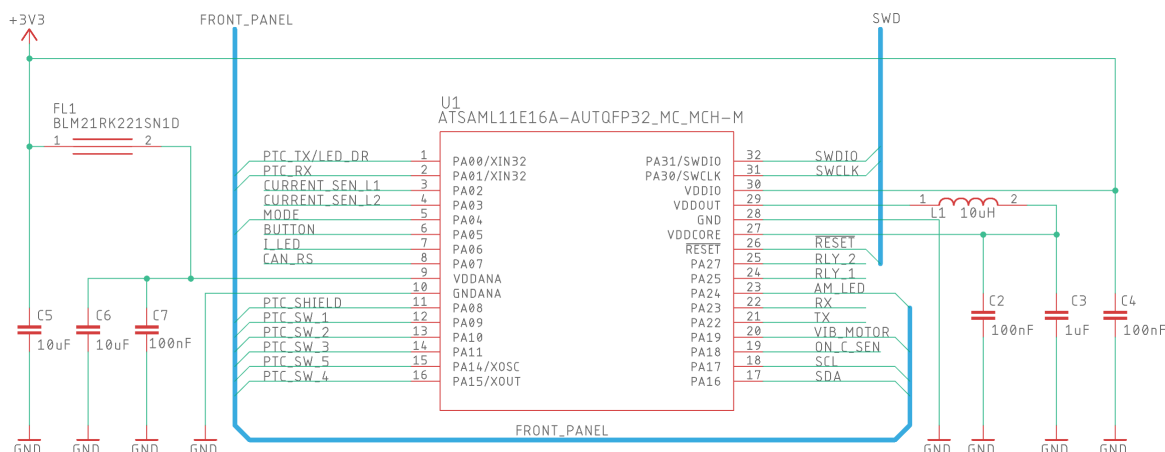
- Krystalový oscilátor 0.4 - 32 MHz.



Obr. 3.2: Blokový diagram MCU ATSAM11E16A [6]

- Interní 16 MHz RC oscilátor (včetně děličky) výstup: 4, 8, 12, 16 MHz.
- Interní (ultra low power) 32 KHz RC oscilátor reálného času.

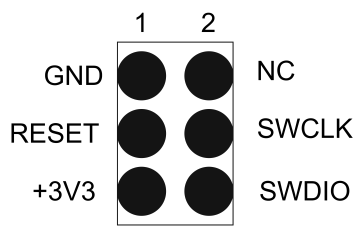
Jelikož v konstrukci klademe důraz na nízkou spotřebu, byl zvolen interní RC oscilátor na kmitočtu 16 MHz. Je to dáno zejména faktem, že RC oscilátory mají nižší spotřebu než je tomu u krystalových, které vynikají zejména svoji přesností. Kmitočet použitého oscilátoru nebude dále dělen z důvodu závislosti dalších použitých systémů mikropočítače. Jako je vzorkovací kmitočet AD převodníku, PWM, nebo rychlost zpracování strojových instrukcí.



Obr. 3.3: Schéma zapojení MCU (kompletní na obrázku A.1)

Programovací port

Mikropočítač ATSAM11E16A umožňuje programování skrze dva standardy a těmi jsou starší JTAG (Joint Test Action Group - standardizované programovací/ladící rozhraní) a novější SWD (Serial Wire Debug - sériové ladící rozhraní). V této aplikaci bude použit standard SWD, který pro svoji komunikaci používá MCU piny SWDIO, RESET a SWCLK. Pro konkrétní realizaci programovacího portu na DPS (Deska Plošných Spojů) byla zvolena varianta pin headru s roztečí 1,27 mm tak, aby se na DPS uspořil prostor. Vývodové schéma pro SWD konektor je na obrázku 3.4.



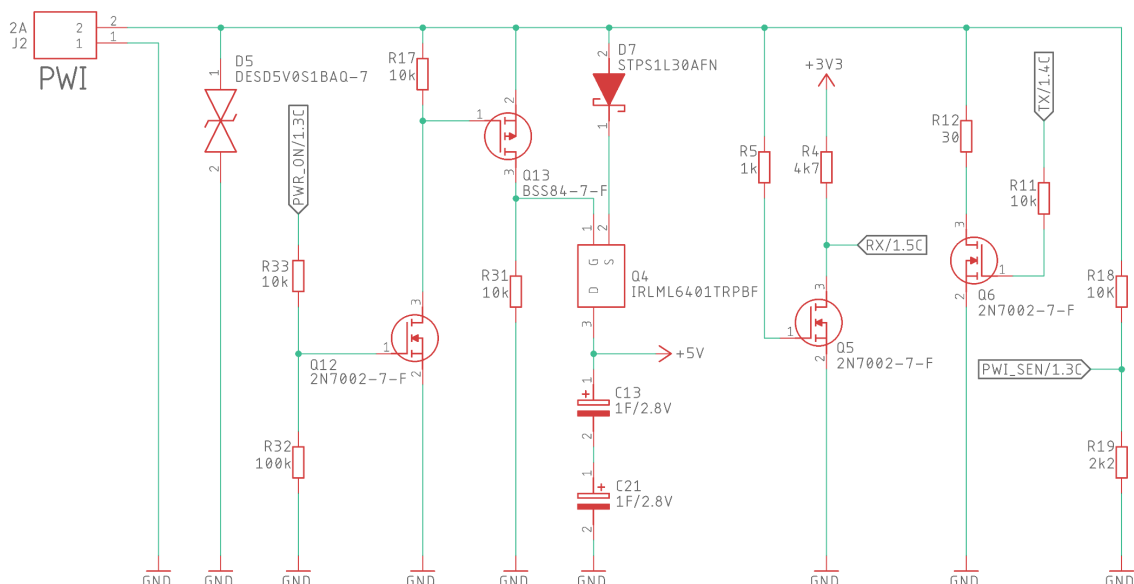
Obr. 3.4: Vývodové schéma SWD

3.3 PWI

V této kapitole je zpracována drátová sběrnice PWI. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, blok sběrnice PWI je členěn do podbloků, které plní jednotlivé funkce spojené se sběrnicí. V následujícím textu jsou detailněji popsány funkce jednotlivých podbloků návrhu.

3.3.1 Komunikační rozhraní PWI

Schéma komunikačního rozhraní je zaneseno na obrázku 3.5. Napájení po sběrnici je řešeno tím způsobem, že je komunikace rozdělena na dvě fáze. A to konkrétně komunikační a napájecí. Každá fáze má tedy vyhrazený čas, po který může trvat. Indikace stavu, ve kterém se sběrnice nachází, není řešena softwarově (informace o stavu pomocí komunikace), nýbrž je řešena hardwarově. Hardwarové snímání fáze je založeno na principu sledování napětí sběrnice, které se pro každou fázi liší. Pro zajištění napěťové kompatibility je napětí na sběrnici snímáno pomocí odporového děliče R18, R19 a přivedeno na v MCU integrovaný ADC. Při komunikační fázi je zařízení vůči sběrnici ve stavu tzv. „open collector“ tak, aby mohly ostatní zařízení komunikovat. Ze zde popsaného principu „fází“ je patrné, že zařízení, mezi jednotlivými komunikačními fázemi, bude bez napájení. Tento problém řeší blok zálohy napájení (obrázek 3.1), který v době, po kterou nebude možné připojit napájení na sběrnici, napájení zajistí.

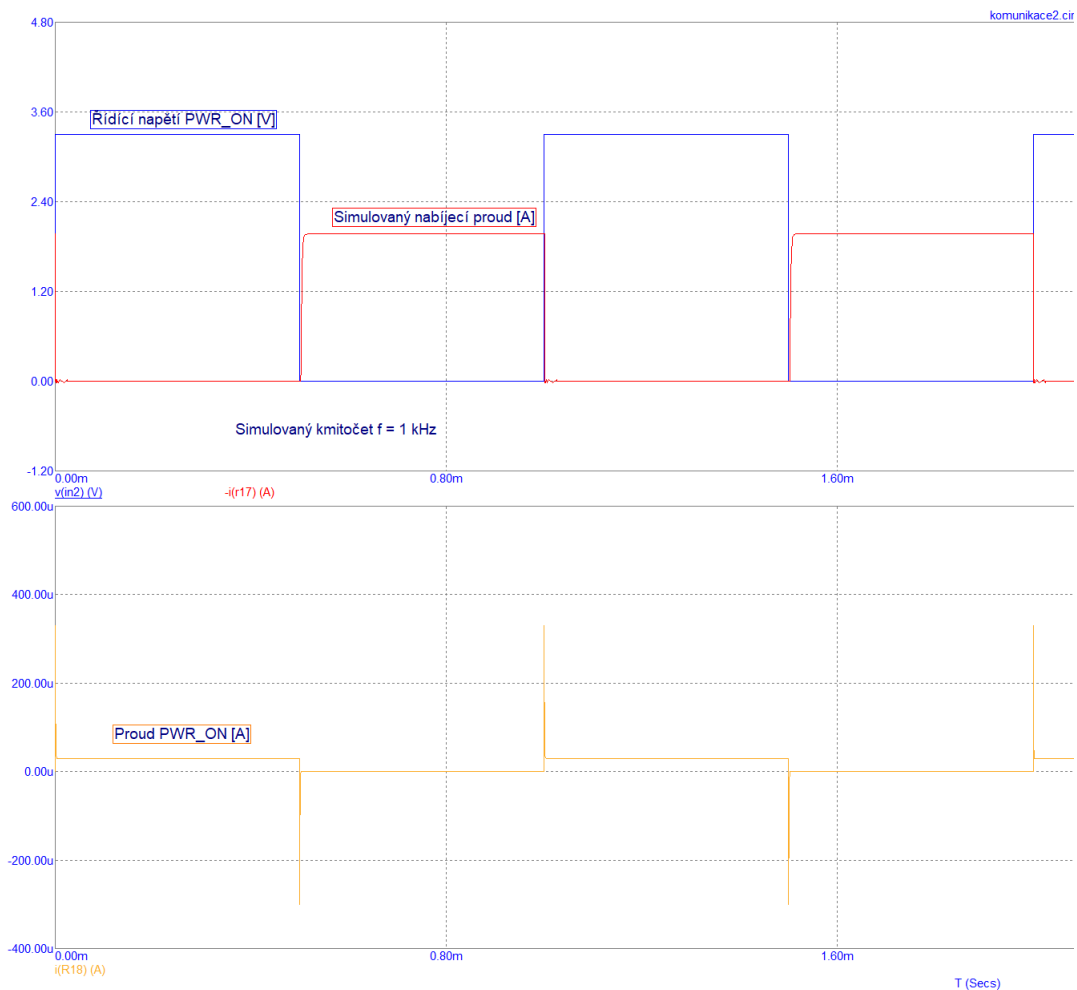


Obr. 3.5: Schéma zapojení komunikačního rozhraní PWI

Zapojení - napájecí část

Základ napájecí části tvoří P-kanálový unipolární transistor Q4, který odpojuje akumulátor energie od sběrnice v komunikační fázi. Problém nastává ve chvíli, kdy je zařízení připojeno na sběrnici, bez předchozího nabití akumulátoru energie. Pro tento případ je navržena právě spínací logika, která v klidovém stavu (MCU bez napájení) tranzistor Q4 udrží v otevřeném stavu. V konstrukci je počítáno s dočasným

omezením komunikace při připojení tlačítka s vybitým akumulátorem energie. Spínací logika se skládá z tranzistorů Q12, Q13, rezistorů R17, R32, R33 a shottkyho diody D7. Tranzistor Q4 byl volen zejména v souladu s nízkým odporem v sepnutém stavu $R_{DS} = 85 \text{ m}\Omega$ [9]. Dioda D7 plní funkci ochrany před zpětným vybitím do sběrnice a je zvolena ve stejném duchu jako transistor Q4 (nízký úbytek napětí). Požadavek na ostatní tranzistory v logice Q12, Q13 je nízká kapacita gate tak, aby byl přechodový děj co možná nejrychlejší. Simulované průběhy spínací logiky jsou na obrázku 3.6. V reálné aplikaci je předpokládána spínací frekvence zhruba $f_{PWR-ON} = 20 \text{ Hz}$, simulační frekvence je zvolena jen jako rezerva.

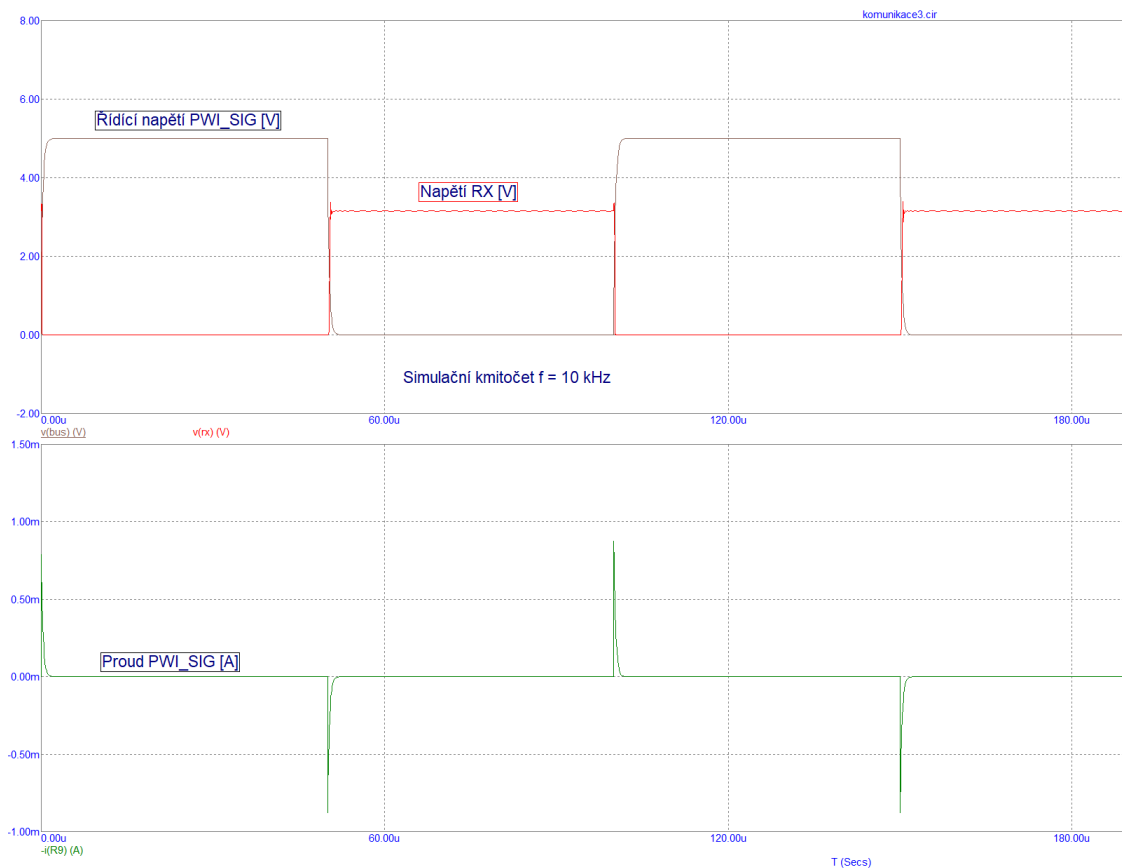


Obr. 3.6: Průběh simulace spínací logiky komunikačního rozhraní (Simulováno v programu Micro-cap 12.2.02)

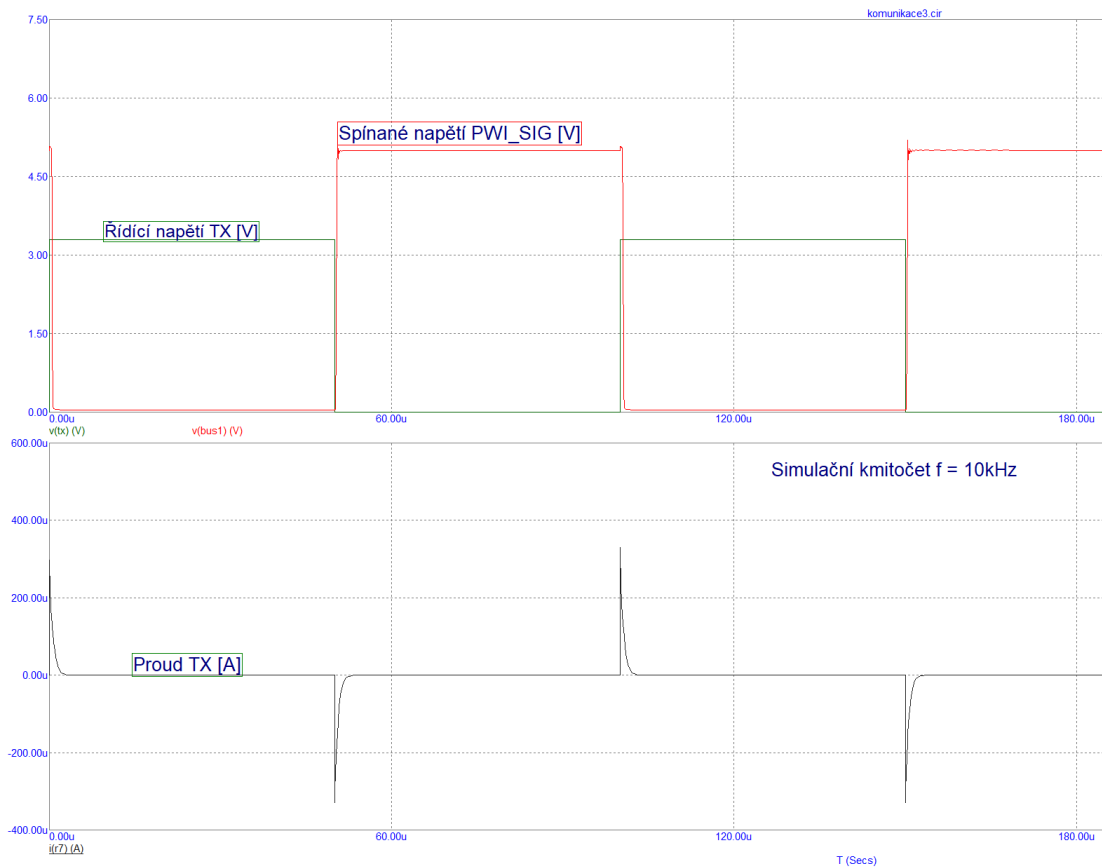
Zapojení - komunikační část

Základní funkce komunikační části je transformace napětí 3,3 V (MCU) na napětí sběrnice 5,5 V. Zároveň dané zapojení implementuje dvouvodičovou sběrnici

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - sériové asynchronní komunikační rozhraní), piny RX, TX, na jednovodičový standart sběrnice PWI. Zapojení se skládá z unipolárních tranzistorů Q5, Q6 a rezistorů R4, R5, R11, R12. Rezistory R5, R11 omezují špičkový proud do gate: $IG_{Q6} = 326 \mu A$ a $IG_{Q5} = 852 \mu A$. Návrh počítá s modulační rychlostí na sběrnici 9600 baud, což odpovídá frekvenci 9,6 kHz, pro kterou jsou komunikační obvody navrženy. Simulované průběhy jsou na obrázcích 3.8 (TX) a 3.7 (RX). Rezistor R12 je v zapojení umístěn jako ochranný prvek pro případ, kdy by sběrnice byla v napájecí fázi a zařízení se pokusilo komunikovat. V takovém případě, by při absenci tohoto rezistoru, byl tranzistor Q6 ve tvrdém zkratu. Rezistor R12 by v takovém případě proud omezil na hodnotu přípustnou pro tranzistor, $I_D = 183 \text{ mA}$ (omezená), $I_{Dmax} = 210 \text{ mA}$ (maximální přípustná pro Q6)[12].



Obr. 3.7: Simulovaný průběh spínání komunikačního rozhraní, vztaženo ke vstupu RX (Simulováno v programu Micro-cap 12.2.02)



Obr. 3.8: Simulovaný průběh spínání komunikačního rozhraní, vztaženo k výstupu TX (Simulováno v programu Micro-cap 12.2.02)

3.3.2 Akumulátor energie

Obecně definovaný akumulátor energie je z hlediska součástky superkondenzátor (dále jen kondenzátor), respektive dva sériově zapojené. Při volbě akumulátoru energie bylo voleno mezi kondenzátorem a li-ion baterií. Kondenzátor byl zvolen hlavně z důvodu (již zmíněného) fázování napájení, kdy jsou do akumulátoru energie posílány jen krátké pulsy, které by měly negativní vliv na životnost baterie. Další nevýhodou bateriového napájení je nutnost použití nabíjecích obvodů, samozřejmě při ideálním použití superkondenzátoru je také požadován nabíjecí obvod. V našem případě je však nabíjecí proud kondenzátorem omezen pouze za pomoci ESR. Dle autora by sběrnice PWI měla špičkový nabíjecí proud kondenzátorem akceptovat. Autor sběrnice také definoval maximální kapacitu akumulčního kondenzátoru, která činí: $C = 0,5 \text{ F}$. Díky nadefinovaným parametrům byly zvoleny dva sériově řazené kondenzátory, kdy každý z nich o kapacitě $C = 1 \text{ F}$ a $ESR = 200 \text{ m}\Omega$ [10].

3.3.3 Stabilizátory

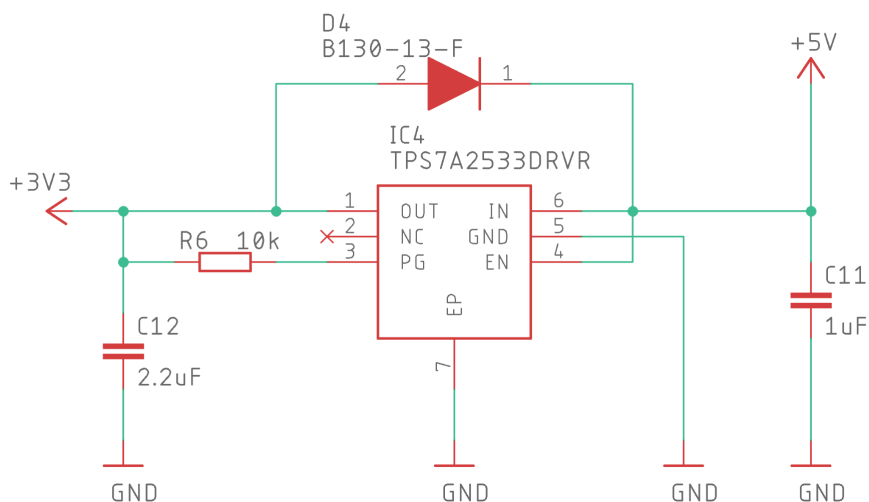
Napěťové stabilizátory byly vybírány v souladu s požadavkem na nízkou spotřebu. Ačkoli by bylo vhodnější z hlediska zmíněného požadavku volit spíše stabilizátory spínané (větší účinnost), nakonec byly zvoleny stabilizátory lineární, konkrétně LDO (Low Dropout Regulator - regulátor s nízkým úbytkem). Důvod této volby je větší množství použitých pasivních součástek a možnost zvýšeného výskytu rušení v napájecích větvích. Stabilizátory mají za úkol, v konkrétní aplikaci, stabilizovat proměnlivé napětí, které je na superkondenzátou. Stabilizátory se v konstrukci nacházejí dva, a to konkrétně pro větev 3,3 V a 4,5 V. Výkonové dimenzování stabilizátorů je na základě požadavku spotřeby proudu pro danou větev. Konkrétní hodnoty proudové náročnosti jsou sepsány v seznamu níže.

- 3,3 V:
 - MCU ATSAM11E16A (32 MHz) - 0,8 mA [6].
 - Haptická odezva (vibrační motorek ROB-08449) - 60 mA.
 - 3x bílá LED (KW-DELPS2RA) - 30 mA [15].
 - Rezerva - 100 mA.
- 4,5 V:
 - Proudový snímač (ACS712ELCTR-20A-T) - 11 mA [13].
 - 5x digitální LED (LTST-A683) - 95 mA [14].
 - Rezerva - 100 mA.

Celková proudová náročnost činí přibližně 200 mA na 3,3 V větev a 210 mA na 4,5 V větev.

Zapojení - větev 3,3 V

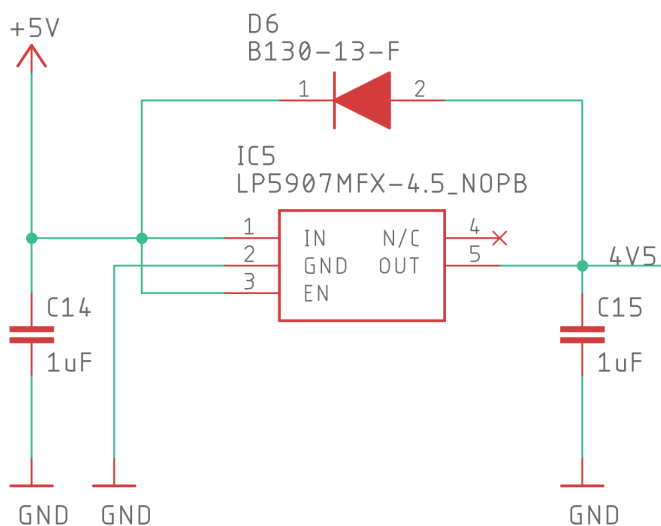
Schéma použitého zapojení je na obrázku 3.9. Jak již bylo řečeno v předchozím odstavci, regulátor je typu LDO. Požadavky při výběru byly kladeny na nízkou spotřebu, a to v případě zvoleného LDO TPS7A25 od výrobce Texas Instruments, je zajištěno. Výrobce deklaruje klidový proud $I_Q = 2 \mu\text{A}$ a kategorizuje obvod do segmentu „ultra-low-power“. Obvod je dimenzovaný na maximální proudový odběr 300 mA a nízký úbytek napětí $U_{\text{drop}} = 340 \text{ mV}$ (max). Zapojení bylo doplněno o ochranou schottky diodu D4, která zabraňuje aby se na výstupu stabilizátoru objevilo větší napětí jak na vstupu. Stabilizátor už takovou diodu obsahuje, nicméně ji dle datasheetu [16] výrobce doporučuje přidat externě. Vlastnosti pasivních součástek C12, C11, R6 a jejich zapojení je dle doporučení výrobce [16].



Obr. 3.9: Schéma zapojení napájecí větve 3,3 V PWI

Zapojení - větev 4,5 V

Schéma použitého zapojení je na obrázku 3.10. Stejně jako v případě 3,3 V stabilizátoru, jedná se o stabilizátor typu LDO. Vybraný stabilizátor LP5907 (Texas Instruments) je dimenzován na maximální proudový odběr 250 mA. Další klíčové parametry jsou: klidový proud $I_Q = 12 \mu\text{A}$ a úbytek napětí (na čipu) $U_{\text{drop}} = 120 \text{ mV (max)}$. Zapojení a vhodné parametry použitých součástek jsou realizovány dle doporučení výrobce [17]. Jedná se konkrétně o kondenzátory C14, C15 a mnou doplněnou ochrannou diodu D6 [17].

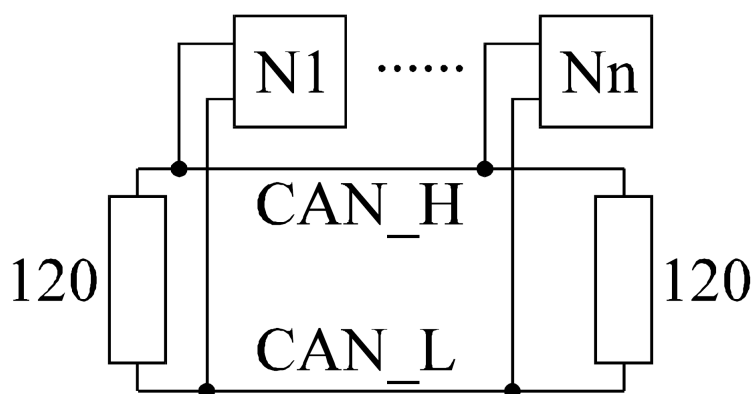


Obr. 3.10: Schéma zapojení napájecí větve 4,5 V PWI

3.4 CAN

V tomto odstavci je popsána implementace sběrnice CAN do konstrukce tlačítka. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, sběrnice je implementována ve finální verzi tlačítka.

Sběrnice CAN je hojně užívaný komunikační prostředek vhodný pro průmyslová použití. Byl původně vyvinut firmou Bosch pro potřeby automobilového průmyslu. Sběrnice především definuje fyzickou vrstvu, jenž specifikuje norma ISO 11898, díky zmíněnému zaměření sběrnice zaručuje velkou odolnost vůči rušení [18]. Fyzické přenosové médium je realizováno symetrickým vedením (kroucený dvojité vodič), díky čemuž se rušivý signál indukuje do obou vodičů téměř identicky jako souhlasné napětí, které se následně v rozdílovém zesilovači na vstupu přijímače odečte [7]. Sběrnici je nutné impedančně přizpůsobit tak, aby na ní nevzniklo stojaté vlnění. Řešením impedančního přizpůsobení sběrnice CAN je zakončení charakteristickou impedancí, respektive odporem o nominální hodnotě $R = 120 \Omega$. Fyzické uspořádání sběrnice CAN se nachází na obrázku 3.11 [18].

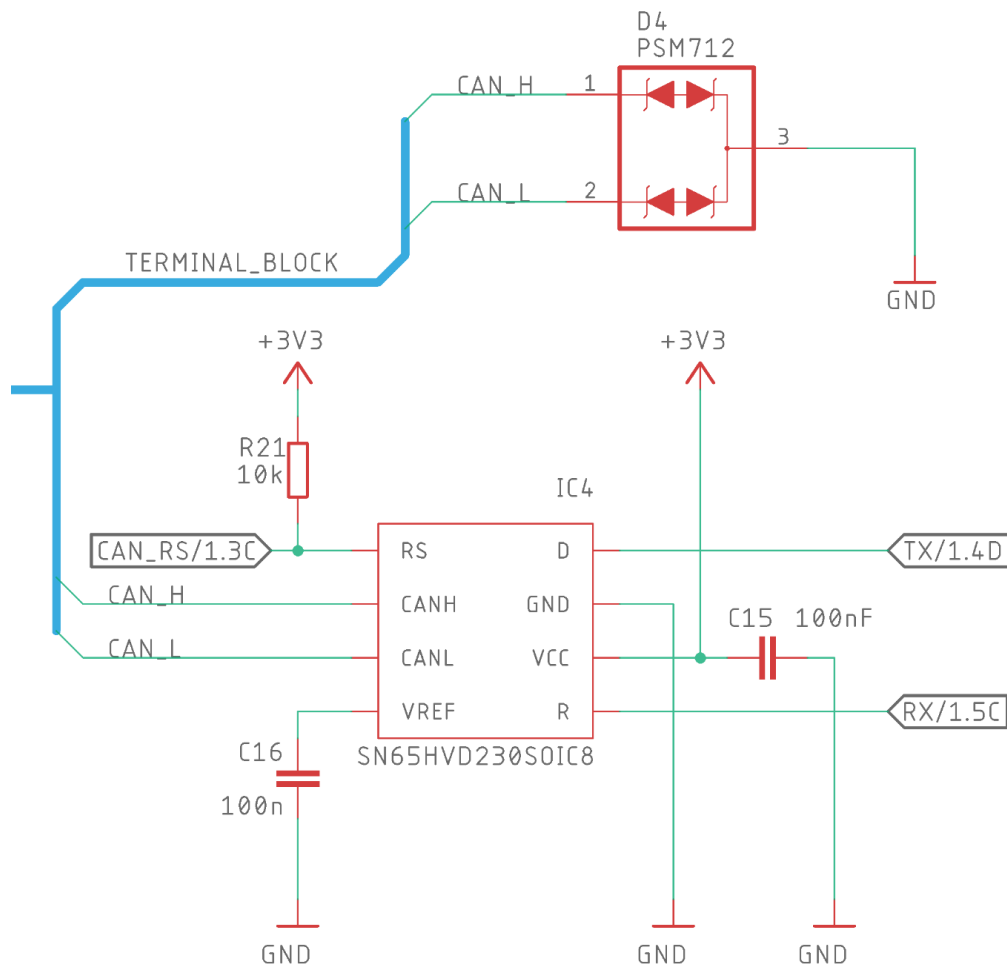


Obr. 3.11: Fyzické uspořádání sběrnice CAN [18]

3.4.1 Komunikační rozhraní CAN

Komunikační rozhraní je bránou mezi sběrnici UART a sběrnici CAN, jenž zajišťuje fyzickou vrstvu pro komunikaci s nadřazeným systémem. Schéma použitého zapojení pro zmíněnou „bránu“ je na obrázku 3.12. Elementární součástí v zapojení je 3,3 V převodník CAN SN65HVD230D. Převodník je klasifikován jako nízkopříkonový (proud v pohotovostním režimu typicky: $370 \mu A$) a je dimenzován na přenosovou rychlost až 1 Mbps [8]. Vstupy převodníku CANH, CANL jsou přímo napojeny na svorkovnici, je tedy nutné zajistit elementární ochranu obvodu proti přepětí duální TVS diodou D4. Obvod je opět opatřen lokálními blokovacími kondenzátory C15

a C16. V rámci převodníku je možné externě přepínat režimy (high speed mode, low power mode, slope control mode) řídicím pinem CAN-RS, který je připojen k MCU (ve výchozím stavu je nastaven „low power mode“, pomocí pull-up rezistoru R21). Ve fázi návrhu bylo uvažováno také připojení interního přepínače pro zakončovací rezistor (terminátor). Ve finální konstrukci je však přepínač absentován a v případě potřeby jsou na rezistor vyhrazeny svorky na konektoru.



Obr. 3.12: Schéma zapojení komunikačního rozhraní CAN

3.4.2 Vstup napájení 24 V

Vstup napájení obsahuje pouze vstupní svorkovnice podporující průřezy vodičů v intervalu 0,14 – 0,5 mm². Svorkovnice je sdílená s komunikační sběrnicí CAN. Pro každou ze signálových svorek disponuje dvěma vstupy, proto je možné zařízení na sběrnici připojit jako průběžné. Ve sběrnicovém zapojení jednotlivých periférií celku chytré domácnosti je nutné brát v potaz proudovou zatížitelnost svorkovnice,

která činí 3 A. Vstup pro napájení 24 VDC obsahuje ochrany proti přepětí (TVS dioda D6) a ochranu proti přepólování (sériově řazená schottkyho dioda D5).

3.4.3 Stabilizátory

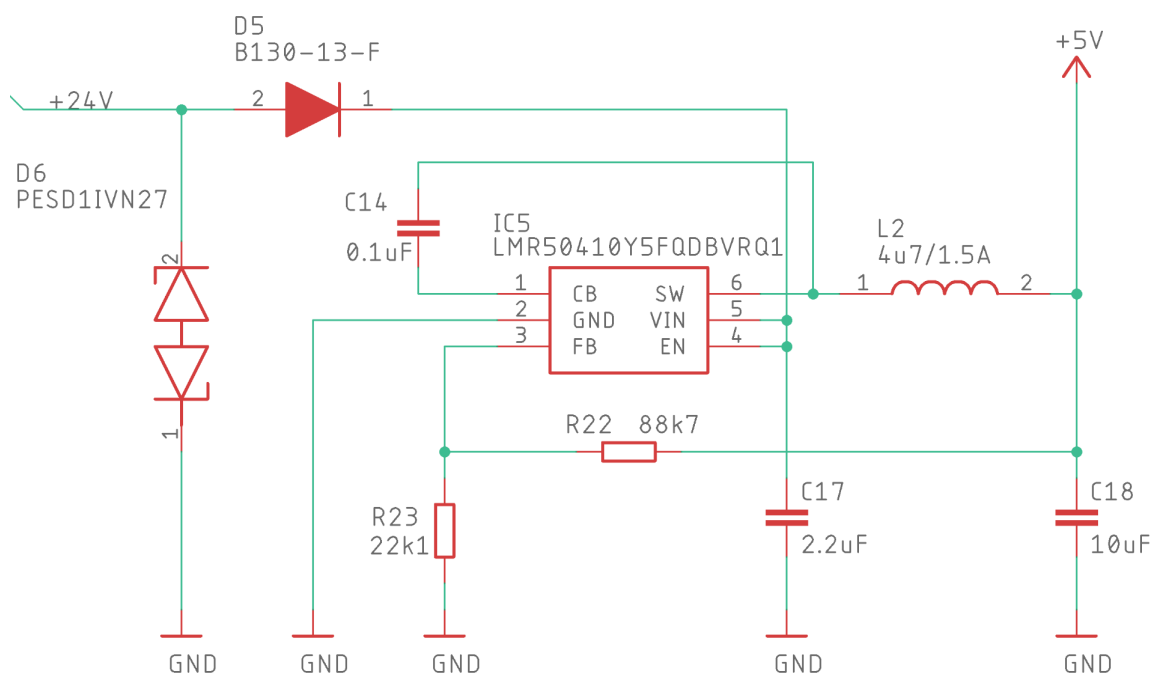
Stabilizátory jsou voleny v souladu s požadavky na napájení. Oproti řešení navrženém pro sběrnici PWI (kapitola 3.3.3) je zde kladen důraz na větší proudovou zatížitelnost, způsobenou díky požadavku na možnost připojení externích modulů, které kladou zvýšené nároky zejména na 5 V větev. Stabilizátory jsou zapojeny kaskádně (sériově), což hlavně při použití analogových obvodů, není obecně dobré řešení. Zapojení však počítá s dostatečným zablokováním digitálních vstupů, které by mělo impulsní rušení eliminovat na přípustnou hodnotu. Hlavním důvodem proč se v konstrukci nenachází dedikované stabilizátory pro analogovou a digitální část jsou zejména, s řešením spojené, pořizovací náklady.

Zapojení - větev 3,3 V

Stabilizátor pro 3,3 V větev se neliší od konstrukce stabilizátoru popsaného v kapitole 3.3.3 (stabilizátor integrovaný v rámci sběrnice PWI). Proudové nároky a ostatní požadavky jsou totožné jako v referované kapitole.

Zapojení - větev 5 V

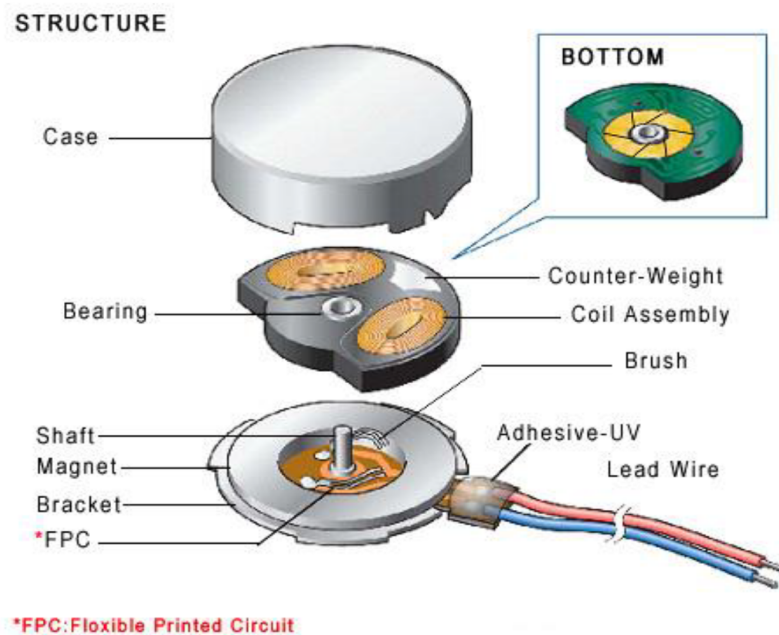
Jako stabilizátor pro 5 V větev je použit DC-DC měnič (buck converter). Spínané řešení je zde voleno v souladu s proudovými požadavky, které zahrnují zátěž na 3,3 V větvi (přibližně 90 mA) a na samotné 5 V větvi (přibližně 100 mA). Je zde však potřeba brát v úvahu požadavek na případnou možnost připojení externího zařízení, proto byl s dostatečnou rezervou zvolen stabilizátor dimenzován na 1 A, konkrétně LMR50410-Q1 [11]. Obvodové zapojení je na obrázku 3.13. Zvolená verze stabilizátoru je pro fixní napětí 5 V, výrobce ale nabízí i verze s nastavitelným výstupem ve stejném pouzdru, proto bylo zapojení doplněno o rezistory R22 a R23, jenž zajistí podporu i nastavitelných verzí (hodnoty rezistorů korespondují s nastavením pro 5 V). U fixní verze (která je použita) je proto nutné rezistor R23 neosazovat a rezistor R22 překlenout (zkratovat) kapkou pájky a připojit tak pin FB na výstup stabilizátoru. Pokud zmíněná zásada nebude dodržena, na výstupu stabilizátoru se může objevit vyšší než nominální napětí a dojít tak k případnému poškození obvodových prvků.



Obr. 3.13: Schéma zapojení napájecí větve 5 V CAN

3.5 Haptická odezva

Pojem haptická odezva (haptic feedback) vychází z řeckého slova „haptēin - dotýkat se“ a v konkrétním případě ke zmíněnému pojmu přisuzujeme funkci zpětné (hmátové/mechanické) vazby, při stisku ovládacího prvku. Nejčastější řešení haptické odezvy je ve formě vibrací, které generuje vibrační motorek. Vibrační motorek (dále jen motorek) lze v základu realizovat dvěma způsoby, a to excentricky uchyceným závažím na ose motorku nebo pohybem závaží v magnetickém poli elektromagnetu. Ve vybraném motorku ROB-08449 (Sparkfun) je použit 1. zmíněný způsob, a to excentricky uchycené závaží (princip je zobrazen na obrázku 3.14). Úchyt vibračního motorku je řešen za pomoci samolepicí pásky. Motorek je tímto způsobem přichycen na spodní straně DPS pro dotyková tlačítka. Většina komerčně používaných motorků nepodporuje přímé uchycení do DPS (metodou měkkého pájení), ale spojení buď za pomoci flexibilních kontaktů nebo (jako v tomto případě) slaněných vodičů. Takové řešení je voleno z důvodu velké pravděpodobnosti vzniku studených spojů díky vibracím přenášejících se na DPS. V útroběch motorku se nachází klasický DC motor, a to nám dává možnost ovládat jeho otáčky (sílu vibrací) za pomoci PWM signálu. Vybraný motorek podporuje otáčky až do 16000 rpm (revolutions per minute - otáčky za minutu) [21].



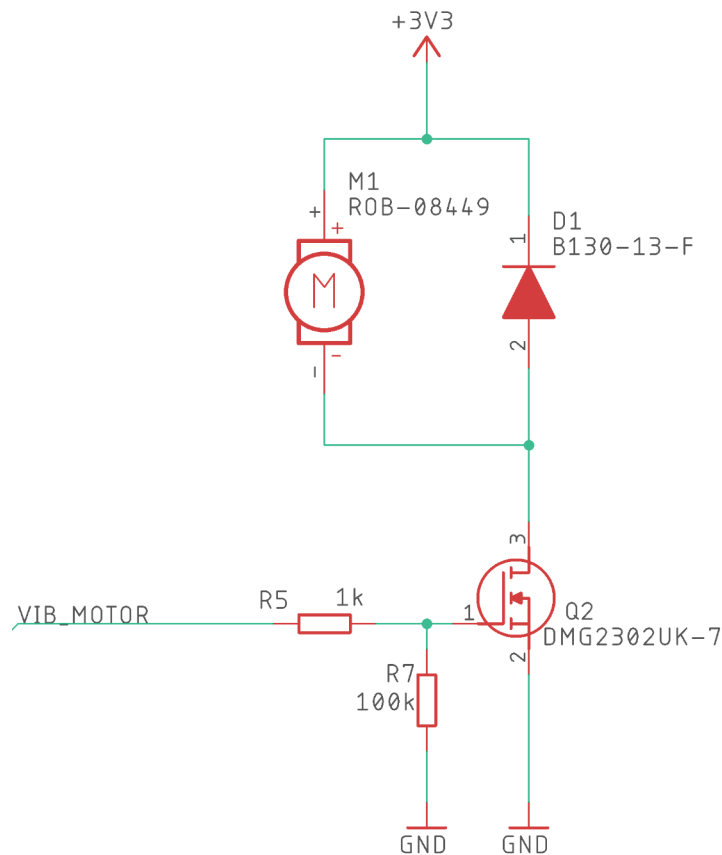
Obr. 3.14: Princip použitého vibračního motorku [20]

3.5.1 Zapojení

Schéma ovládní vibračního motorku je na obrázku 3.15. Zapojení proudově zesiluje signál od MCU (pin VIB-MOTOR) tak, aby bylo možno pomocí PWM ovládat otáčky vibračního motorku. Zapojení se skládá z N kanálového MOSFETu (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrickým polem) Q2, vybíjecího rezistoru R7 a omezovacího R5. Transistor je vybrán tím způsobem, aby při sepnutí byl ve stavu saturace a nebyla ne něm výkonová ztráta. Paralelně k motorku je připojena ochranná schottkyho dioda D1 omezující napěťové špičky (flyback diode), které vznikají na cívce DC motorku a chrání tím tranzistor před průrazem.

3.6 Kapacitní snímače

Dle požadavků na konstrukci ovládacích prvků (kapitola 1.1) je vhodné použití dotykový kapacitních snímačů. Následující odstavec popisuje problematiku konstrukce kapacitních snímačů. Veškerá problematika bude vztažena na řešení, které nabízí výrobce Microchip, a to z důvodu kompatibility v závislosti na vybraném MCU (kapitola 3.2).



Obr. 3.15: Schéma ovládání vibračního motorku

3.6.1 Požadavky

Seznam níže deklaruje požadavky, které jsou při konstrukci zohledněny.

- Počet dedikovaných tlačítek: 5.
- Umístění na PCB.
- Odolnost proti vlhkosti.
- Podsvícení ovládacích prvků.
- Možnost překrytí sklem.
- Řízení přes MCU.

3.6.2 Výběr a technologie

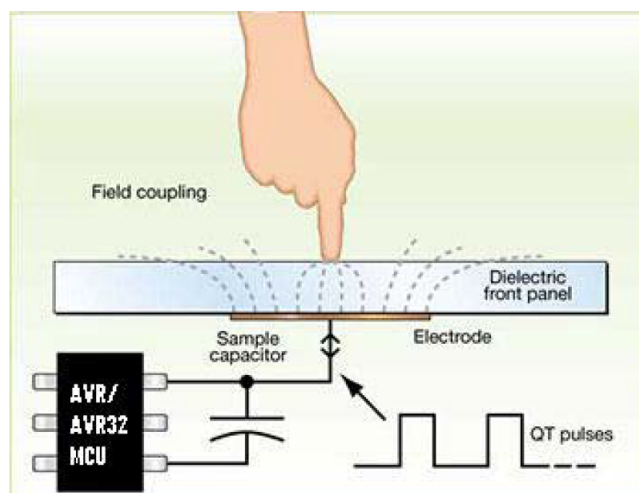
Jak již bylo řečeno, výběr je limitován pouze na výrobce Microchip. Obvodové řešení kapacitního snímače lze realizovat dvěma způsoby: „On-Chip“ (integrace v MCU) a nebo pomocí obvodu na klíč (dedikovaný obvod). V našem případě je technologie kapacitního snímače integrována do MCU, což je ve většině aspektů výhodnější

řešení. Za jedinou aplikaci, na kterou by zvolená možnost nebyla vhodná, lze považovat vzdálené umístění dotykových ploch od řídicího MCU. Důvod nevýhody spočívá v komplikovaném vedení přívodních cest ke kontaktním plochám (uplatnění parazitních kapacit a přeslechů mezi vodiči).

Globálně lze říci, že existují dvě majoritní technologie rozpoznávání dotyku, a to „Self-capacitance“ a „Mutual-capacitance“. V následujících řádcích jsou jednotlivé technologie rozvinuty.

Self-capacitance

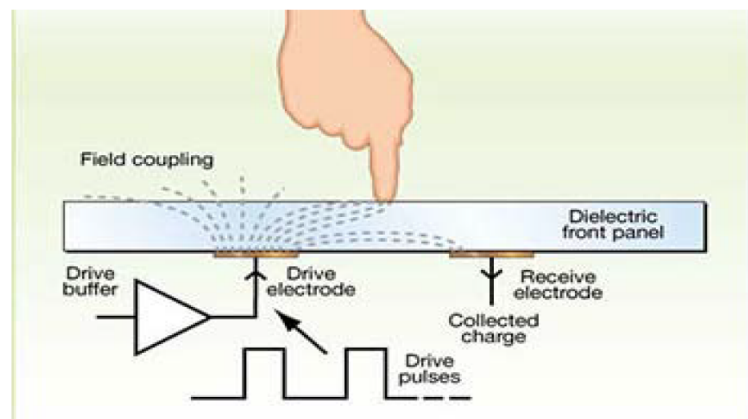
Self-capacitance je metoda snímání dotyku, která funguje na principu měření kapacity dotykové plochy, respektive měření kapacity konduktivní plochy (elektrody) vůči zemi. Při přiblížení vodivého předmětu k elektrodě (jako je třeba prst) se změní její vlastní kapacita, kterou obvod rozpozná a vyhodnotí jako stisk. Princip je zachycen na obrázku 3.16. Změnu kapacity měří vyhodnocovací obvod pomocí přímé Ohmovy metody měření kapacit. Metoda „self-capacitance“ vyniká v jednoduchosti zapojení a v možnosti použití jako proximity senzor (bezdotykové snímání). Dále umožňuje použití větší tloušťky dielektrika (panelu na elektrodě), díky čemuž byla také **vybrána pro konstrukci tlačítka**. Za nevýhody lze brát v potaz špatnou odolnost proti vlhkosti (moisture tolerance) a velký vliv okolního ručení. Zmíněné nedostatky kompenzuje metoda aktivního štítu tzv. driven shieldu [22].



Obr. 3.16: Princip metody určování stisku „self-capacitance“ [22]

Mutual-capacitance

Mutual-capacitance je metoda, která je založena na principu dvou elektrod, řídicí a vysílací. Elektrody mají vůči sobě kapacitní vazbu, jejíž změnu vyhodnocování obvod snímá. V praxi je pak změna vzájemné kapacity zapříčiněna (stejně jakou u předešlé metody) vytvořením kapacity parazitní, kterou tvoří opět konduktivní materiál vůči zemi. Princip je zachycen na obrázku 3.17. Hlavní výhoda metody tkví v případě realizace velkého množství tlačítek nebo dotykového displeje. Elektrody jsou totiž zapojeny maticově, díky čemuž je počet využitých pinů na snímacím obvodu násobně menší. Neméně podstatnou výhodou je pak odolnost proti rušení a vlhkosti, a to i při absenci driven shieldu [22].



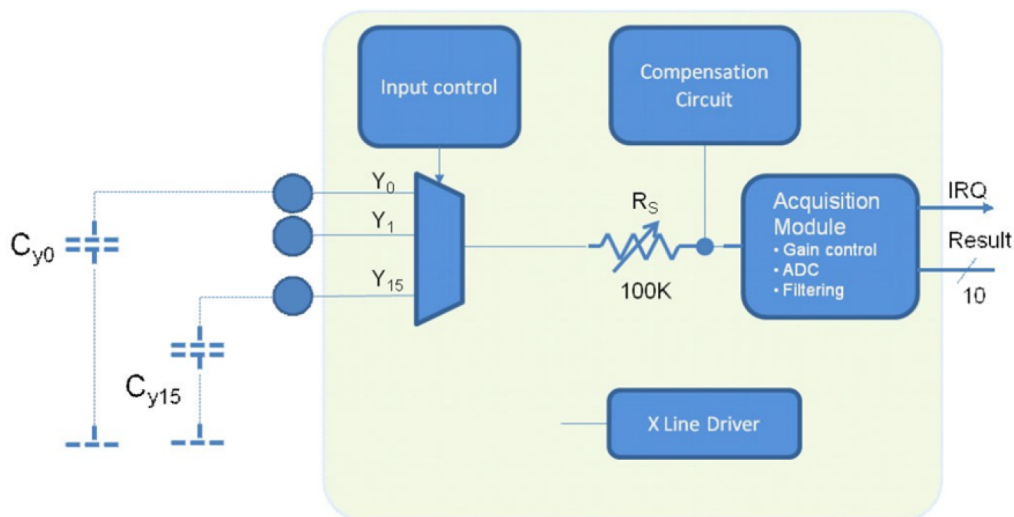
Obr. 3.17: Princip metody určování stisku „mutual-capacitance“ [22]

PTC

PTC je hardwarové rozhraní, které zprostředkovává vylepšené funkční vlastnosti knihovny QTouch. Rozhraní je složeno z ladících obvodů a filtračních obvodů tak, aby již nebyly nutné další externí součástky (neplatí pro všechny případy). Zároveň podporuje funkce automatického natavení citlivosti (self-calibration) a integruje driven shield [23]. Vnitřní blokové schéma PTC (self-capacitance) je na obrázku 3.18.

Driven shield

Driven shield je forma aktivního stínění, které kapacitním senzorům zajišťuje vyšší odolnost vůči vnějším vlivům. Mezi vnější vlivy, které driven shield eliminuje, řadíme: odolnost proti rušení, vlhkost, parazitní kapacity vůči zemi. Princip je založen na vysílání synchronizačních impulsů DC napětí do elektrody, která je rozlita okolo elektrod snímačů. Díky zmíněné konstrukci výrazně zlepšuje SNR (Signal to Noise



Obr. 3.18: Blokové schéma PTC (self-capacitance) [23]

Ratio - poměr signál k šumu) snímačů, a tím eliminuje falešné stisky. Z popsané konstrukce vyplývá, že aktivní štít tvoří anténu a způsobuje emise vysokofrekvenční signálu. Částečná eliminace emise je možná díky zmenšení plochy elektrody nebo sériově řazeného rezistoru [24].

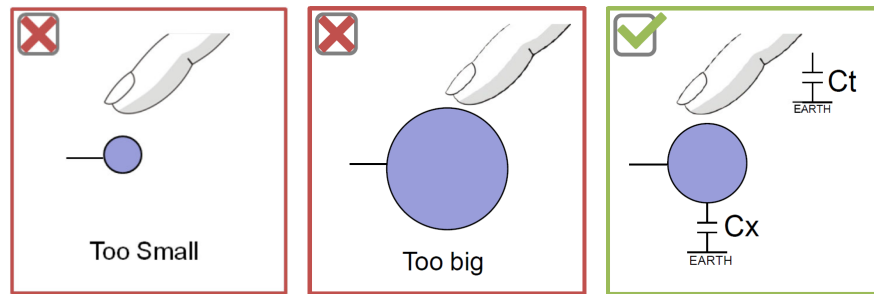
3.6.3 Konstrukce

Kompletní schéma zapojení je v příloze A.1. Metoda kapacitního snímání byla v kapitole 3.6.2 zvolena jako self-capacitance. Proto bude nadále zohledňována při konstrukci tlačítek.

Tlačítka

Z důvodu implementace tlačítek na MCU, které podporuje PTC je řešení velmi jednoduché. Hrubé zapojení je na obrázku 3.18. Zapojení je však doplněno o sériově řazené rezistory o velikosti 1 k Ω (doporučený interval 1 k Ω až 10 k Ω). To je dle doporučení výrobce [25], zejména z důvodu redukce šumu a ochrany proti případnému ESD. Velikost ovládacích elektrod výrobce doporučuje, „o trochu větší než je velikost jednoho prstu“ [25] (obrázek 3.19). Velikost elektrod bude však při konstrukci tlačítka, i přes rozpor s výrobcem, trochu větší než je doporučená velikost. Je to zejména z důvodu nemožnosti vyžadovat přesnost stisku na konstrukci vypínače. Navíc dle testování kvality odezvy stisku u velkých elektrod (testováno v rámci bakalářské práce pana Lukáše Michalíka [26]) se prokázala velikost elektrod jako nepříliš závislý parametr. Přívodní cesty musejí být, opět dle doporučení

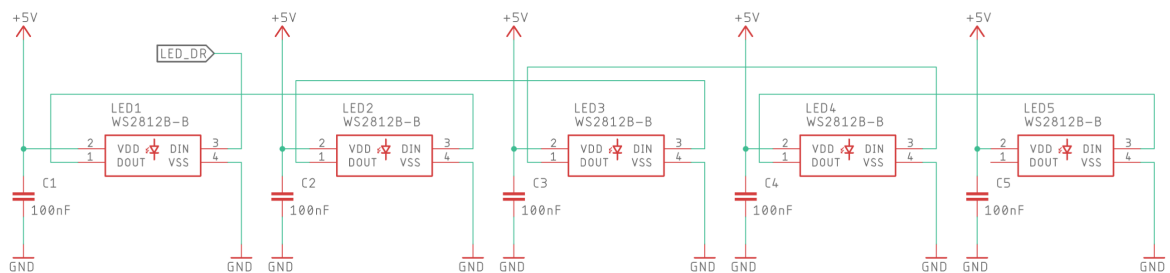
výrobce, taženy minimálně ve vzdálenosti $T/2$, kde T je tloušťka předního panelu (dielektrika kondenzátoru).



Obr. 3.19: Doporučená velikost elektrod [25]

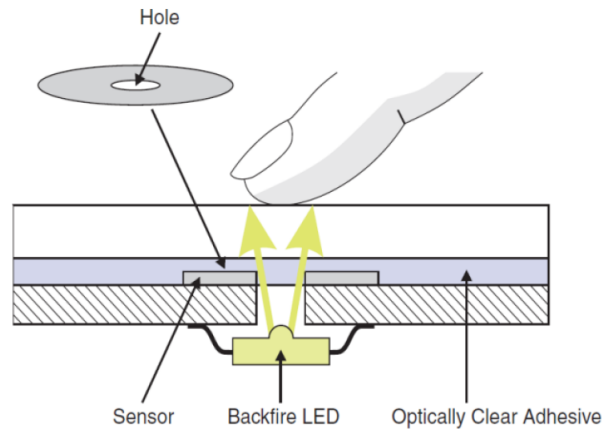
Podsvícení

Podsvícení zajišťují digitální RGB LTST-A683CEGBW [14]. Digitální LED jsou zvoleny díky možnosti ovládání pomocí jednovodičové sběrnice. V případě realizace klasickými RGB LED řízenými multiplexně by bylo nutné použít minimálně 8 řídicích pinů, což je vzhledem ke konstrukci nepřijatelné. Schéma zapojení digitálních LED [14] je na obrázku 3.20. Při výběru led je počítáno s inverzní montáží, respektive LED je upevněna na zadní straně DPS a svítí otvorem ve středu kapacitního snímače (obrázek 3.21). Pro otvor v DPS je deklarována nutnost použít průměr menší než 4 mm. V případě opačném by v místě otvoru snímač byl necitlivý [25].



Obr. 3.20: Schéma zapojení digitálních LED

Digitální LED pracují na napětí 5 V, proto se na sběrnici nachází napěťový konvertor (level shifter) z napětí 3,3 V na 5 V. V původním návrhu byla zvolena varianta konvertoru složeného z dvojice bipolárních tranzistorů Q1, Q4 (obrázek 3.22). To se při finálním řešení ukázalo jako nepříliš šťastné, jelikož pull-down rezistor R8 nestačil vybijet kapacitní zátěž, připojenou na výstup, při požadované frekvenci. Další špatnou vlastností řešení je velký „dead-time“, tedy čas, za který konvertor

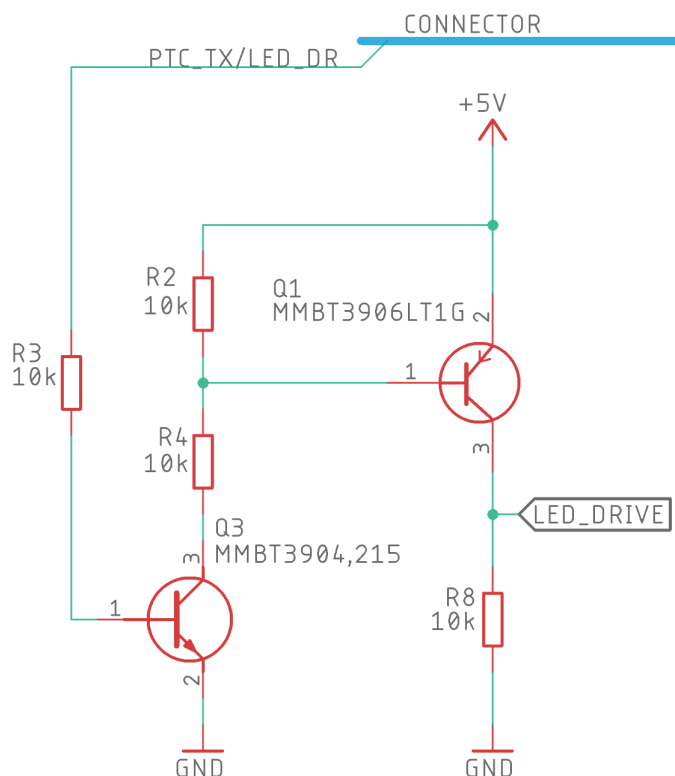


Obr. 3.21: Příklad upevnění prosvětlovacích diod na PCB [25]

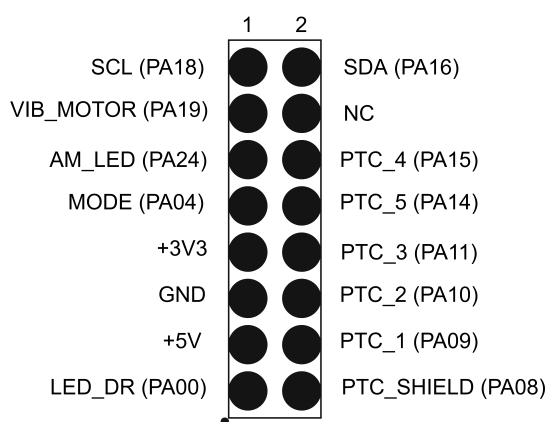
zareaguje změnou výstupu na změnu vstupu. Zmíněná vlastnost potom rozbíjí celkový princip komunikace, která je založena na PWM modulaci se závislostí logické úrovně na střídě obdélníkového signálu (více v kapitole 5.3.1). Frekvence, kterou by měl převodník zvládat převádět, je odvozena z katalogového listu [14] a činí přibližně 3,4 MHz. To žádně z jednoduchého tranzistorového zapojení nezvládá. Proto byl ve finální verzi vybrán sofistikovanější integrovaný odvod (bus transceiver) SN74LVC1T45, který zvládá komunikační rychlost 420 Mbps (při přechodu z 3,3 V na 5 V), což odpovídá náběžné (sestupné) hraně obdélníkového signálu přibližně 5 ns [27]. Výstup z MCU pro řízení digitálních LED (pin PTC-TX/LED-DR), je sdílený s „debug portem“ pro PTC (UART).

3.7 Modularita

Modularitou je při konstrukci tlačítka myšlena možnost připojit výměnné moduly (jako je přední panel). V souvislosti s tím, je připojovací konektor (16 pin header, s roztečí pinů 2,54 mm) opatřen přídatnými piny, které by ostatní periferie mohly v budoucnu potřebovat. Rozložení vývodů připojovacího konektoru je znázorněno na obrázku 3.23. Konektor je tedy speciálně opatřen sběrnici I2C (Inter Integrated Circuit - multi-masterová sériová sběrnice) a analogovým pinem „MODE“, který v závislosti na napětí, jenž se na něm nachází, identifikuje danou periferii. V případě předního panelu, v rámci práce zpracovaného tlačítka, je úroveň identifikačního napětí nastavena na hodnotu 1,65 V. Úroveň je dána poměrem rezistorů R1 a R6 v napěťovém děliči na předním panelu. Sběrnice I2C je na předním panelu nevyužita a připnuta pull-down rezistory.



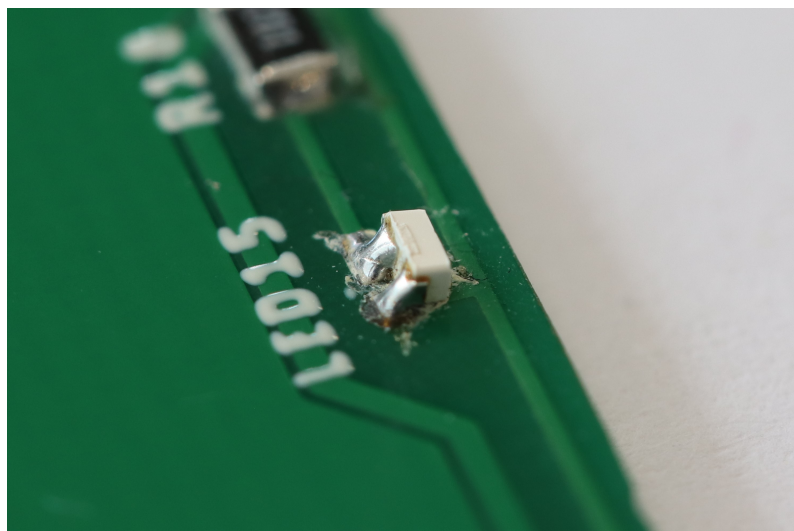
Obr. 3.22: Schéma zapojení tranzistorového napětového konvertoru



Obr. 3.23: Rozložení vývodů připojovacího konektoru (včetně pinů na MCU)

3.8 Ambientní podsvícení

Ambientní podsvícení je umístěno ze spodní straně vypínače. Je zde umístěno pro funkci lepší orientace ve tmě a jako indikátor události. V rámci osvětlení je zde 12 bílých nízkopříkonových LED (propustný proud - 2 mA [28]), jejichž jas lze ovládat za pomoci PWM. LED jsou umístěny na DPS nestandardně v úhlu 90° tak, aby vyzařovaly na stranu DPS (obrázek 3.24).



Obr. 3.24: Výsledná ambientní dioda

3.9 Výkonová část

Výkonovou částí se v souvislosti s konstrukcí tlačítka rozumí část, která přijde do styku se síťovým napětím, a to je spínací prvek a snímač proudu. Snímači proudu bude věnována samostatná kapitola 3.10, proto se tento odstavec zabývá pouze částí spínací.

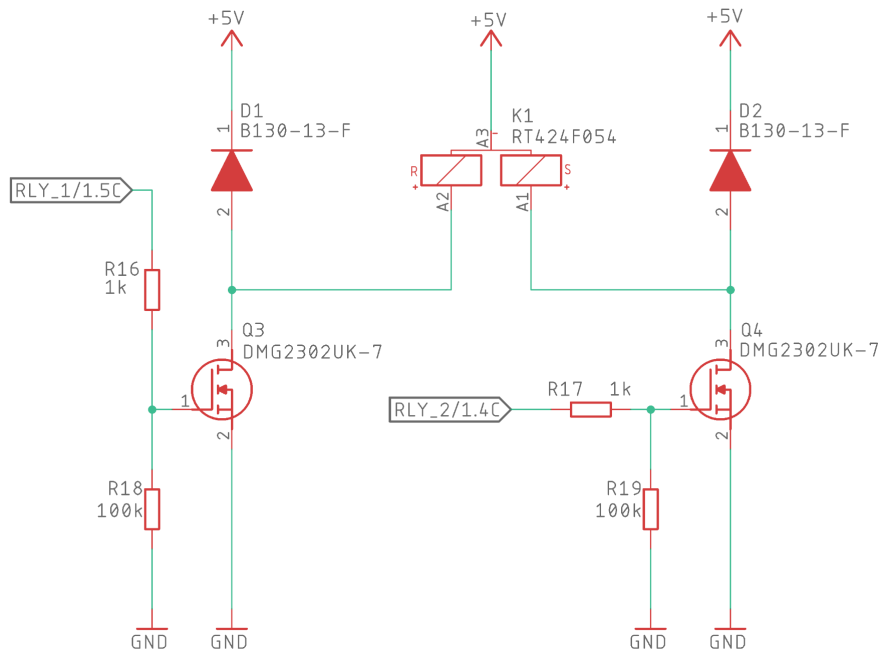
3.9.1 Spínací prvek

Pro funkci spínací prvku připadá v úvahu několik možných řešení, a to jsou elektromagnetické relé, SSR (Solid State Relay - polovodičové relé) nebo fázový regulátor. Výhodou SSR a fázového regulátoru je možnost stmívání osvětlení. Z důvodu masivního nahrazování odporových žárovek LED žárovkami (které většinou stmívání nepodporují), však zmíněné řešení postrádá smysl. Proto byla zvolena varianta s elektromagnetickým bistabilním relé.

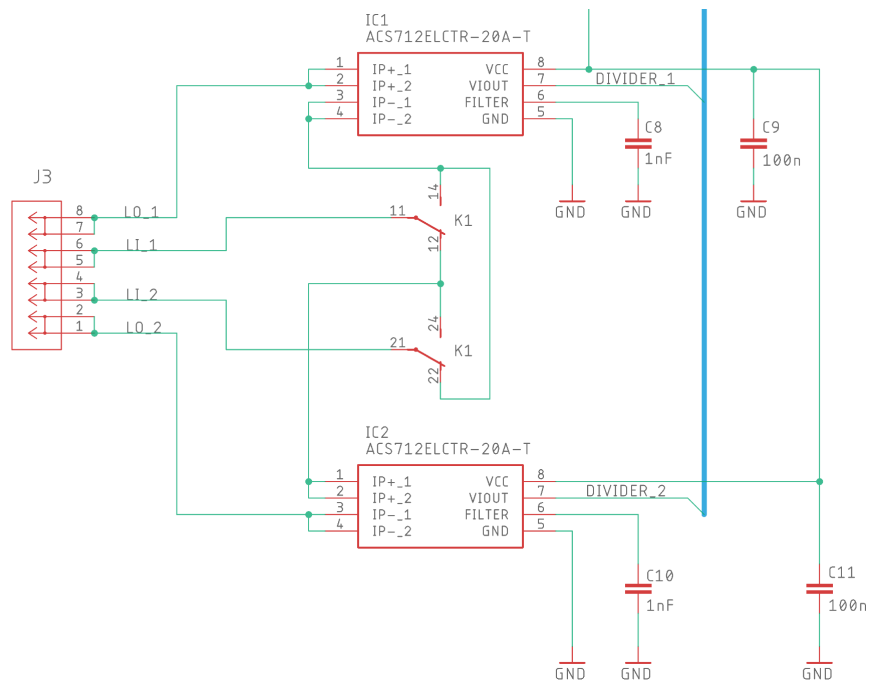
3.9.2 Konstrukce

Z důvodu požadavku zadavatele práce, na implementaci funkce křížového přepínače, bylo zvoleno relé bistabilní (RT424F05). Pro realizaci křížového přepínače jsou zapotřebí dva přepínací kontakty (označení: DPDT). Dostupné varianty bistabilních relé jsou buď jednocívkové nebo dvoucívkové. V konstrukci tlačítka je použito relé dvoucívkové, z důvodu jednoduššího ovládání, respektive absence nutnosti komutace (např. pomocí H-můstku). Konkrétní schéma zapojení buzení cívek relé je na

obrázku 3.25, kde se o ovládání relé stará dvojice tranzistorů Q1, Q2. Zapojení přepínacích kontaktů relé je pak na obrázku 3.26.



Obr. 3.25: Schéma zapojení ovládací cívky bistabilního relé



Obr. 3.26: Schéma zapojení přepínacích kontaktů bistabilního relé

3.10 Snímač proudu

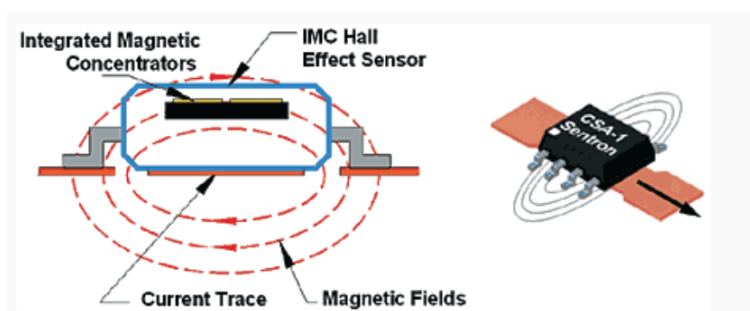
Snímač proudu je opět jedním ze základních požadavků na tlačítko. V případě výsledné funkce tlačítka nebude koncový zákazník chtít znát protékající proud, nýbrž odebíraný výkon. Ze vzorce pro zdánlivý výkon $S = U * I$ [VA] vychází potřeba informace o aktuálním síťovém napětí¹. Z praktického hlediska bude funkce snímání síťového napětí umístěna v centrální jednotce systému domácí automatizace a lokálně (v tlačítku) bude měřen pouze protékající proud.

3.10.1 Výběr a technologie

Do výběru byly zařazeny pouze obvody, které jsou galvanicky oddělené od síťového napětí. Takové obvody obecně používají technologii snímání magnetického pole pomocí Hallova snímače. Jelikož je bistabilní relé zapojeno v režimu křížového přepínače, při přepnutí proud začne téct jiným vodičem než dosavadním. Tato problematika je dále diskutována v následujících kapitolách.

MLX91206

MLX91206 je obvod založen na technologii IMC (Integrated Magnetic Concentrator - integrovaný magnetický koncentrátor). Ve zkratce je to technologie, která umožňuje snímat magnetické pole umístěné vně čipu, respektive zvyšuje citlivost snímače a tím dává čipu možnost snímat magnetické pole vodičů umístěných v jeho blízkosti [29]. Taková konstrukce je vhodná, zejména pokud potřebujeme snímat průchozí proud na několika vodičích zároveň (naš případ). Vizualizace principu je na obrázku 3.27.

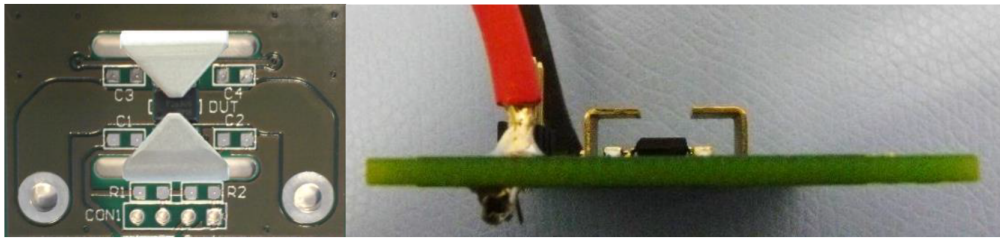


Obr. 3.27: Vizualizace principu technologie IMC Hall senzor [29]

Pro provedení výpočtu (dle výrobce [30]) bylo zjištěno, že pro použitelné snímání proudu (z hlediska citlivosti), by bylo nutné vodiče opatřit uzavřeným jádrem R, které by po dodržení izolačních mezer muselo mít velikost minimálně 20 mm na šířku a 7,5 mm na výšku (příklad na obrázku 3.28). Zároveň by každý z vodičů

¹Zdánlivý výkon je použit z důvodu zanedbání účinníku.

musel být veden přes jádro nejméně dvakrát. Řešení se tedy ukázalo jako velmi drahé a rozměrné v porovnání s obvodem ACS712, proto bylo od řešení upuštěno.



Obr. 3.28: Příklad snímače MLX91206 opatřeným jádrem [30]

ACS712

Snímač proud ACS712 na rozdíl od snímače MLX91206 funguje na principu integrovaného Hallova snímače, který snímá proud tekoucí přímo pouzdem čipu. Díky vedení vodiče přes chip je zajištěna ideální poloha snímače. Při konstrukci se tedy není nutné starat o jejich vzájemnou polohu [13]. Nevýhodou je fakt, že pro úspěšnou realizaci bude potřeba použít dva kusy obvodu. To je ale v porovnání s předchozím řešením stále výhodnější. Proto **je použit při realizaci tlačítka**.

3.10.2 Zapojení ACS712

Schéma zapojení je na obrázku 3.26. V navrženém obvodu je použit konkrétně snímač ACS712ELCTR-20A-T, ten je dimenzován na nominální proud ± 20 A. Vlastností zvolené verze je i citlivost 100 mV/A. Údaj citlivosti udává poměr výstupního napětí (pin VIOU) a proudu tekoucímu přes piny IP. Snímač je v zapojení napájen napětím $V_{CC} = 5$ V. Výstupní offset obvodu je dán vztahem: $V_{CC}/2$ [13], výsledný offset je tedy 2,5 V (napětí na výstupu, když piny IP protéká nulový proud). Interval napětí, ve kterém se výstupní napětí snímače pohybuje, je při tekoucím proudu 8 A (rms) roven $\langle 1,37$ V; 3,63 V \rangle .

Na vstup ADC mikropočítače musí být napětí sníženo tak, aby nedošlo k destrukci MCU. Nejjednodušší řešení je použití napěťového děliče. Vypočítaný přenos děliče (R9, R10, R13, R14) je přibližně 0,6 což odpovídá, pro efektivní hodnotu proudu 8 A, intervalu $\langle 0,82$ V; 2,18 V \rangle . V datasheetu [13] je stejný problém řešen jako příklad, nicméně je použit dělič včetně rozšíření o špičkový detektor. Po konzultaci ze zadavatel projektu byla zvolena možnost právě samotného napěťového děliče, kde samotná efektivní hodnota bude dopočtena z průběhu naměřeného maximálního napětí, které se následně vynásobí činitelem tvaru. Oba dva obvody ACS712

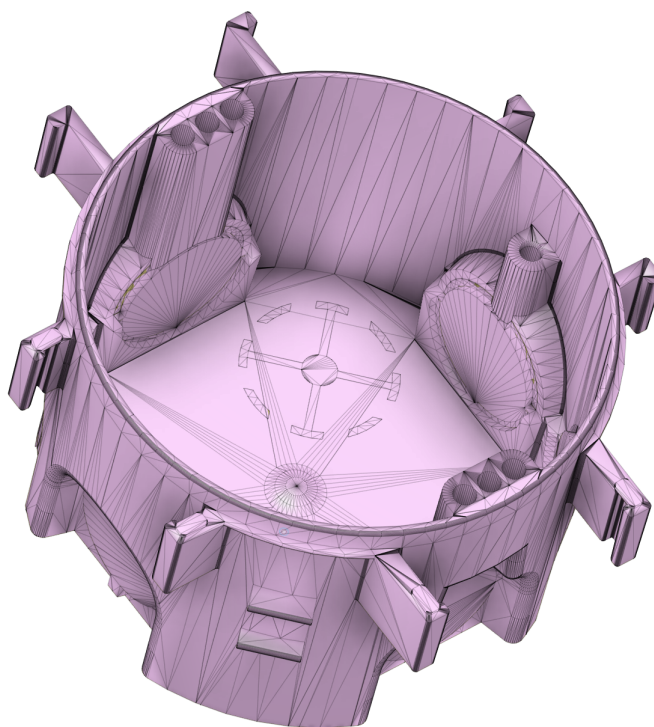
je možné odpínat od napájení (transistory Q7, Q9). Taková možnost je zde z důvodu relativně vysoké spotřeby $I_{CC} = 11 \text{ mA}$. Reference pro ADC, požitého pro snímání výstupu z obvodu, má nominální hodnotu 3,3 V.

4 Mechanická konstrukce/DPS

V rámci mechanické konstrukce je kladen důraz zejména na možnost, chytré tlačítko instalovat do elektroinstalační krabice. Současně s tím, je také zpracován požadavek na diskutovanou modularitu (kapitola 3.7). Mechanická konstrukce má být primárně realizovatelná na 3D tiskárně. Aspekty konstrukce jsou popsány v následujících odstavcích.

4.1 Elektroinstalační krabice

Elektroinstalační krabice, které tvoří klíčový prvek celé konstrukce, jsou vybrány s ohledem na rozměrové požadavky konstrukce. Z důvodu integrace rozměrných součástí (relé, konektory) je nutné použití tzv. „hlubokých“ elektroinstalačních krabic. Návrh do konkrétních elektroinstalačních krabic byl proveden díky 3D modelům, poskytnutých výrobcem KOPOS Kolín. Příklad poskytnutého modelu je na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: 3D model elektroinstalační krabice KP67-2 (KOPOS)

4.2 Design

V rámci požadavků na tlačítko byl zdefinován požadavek na konstrukci čelního panelu ze skla. S ohledem na tento požadavek byla vytvořena vizualizace (návrh) designu tlačítka. Návrh designu je na obrázku 4.2.



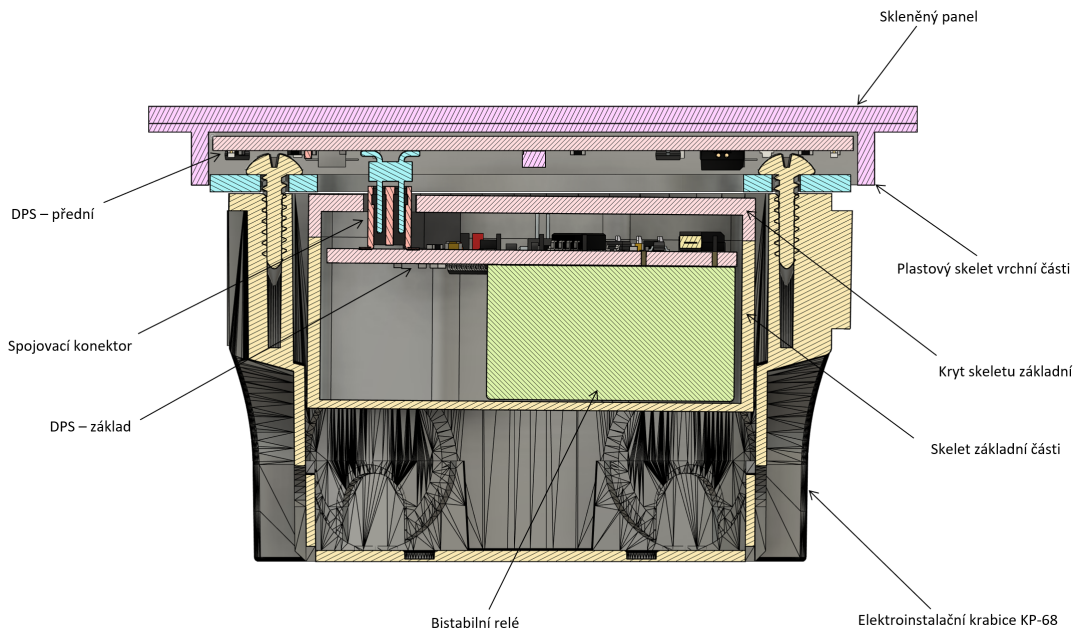
Obr. 4.2: Návrh designu tlačítka (Fusion 360)

Přední panel ze skla je přilepen na podpěrnou konstrukci tvořenou výtiskem z 3D tiskárny. Symboly ovládacích prvků jsou podsvíceny a ve skle budou zvýrazněny metodou pískování, přičemž se docílí matného povrchu. Symboly jsou vizuálně podobné symbolům, které jsou nanесeny v „silkscreenu“ na DPS předního panelu (obrázek 4.9).

4.3 Konstrukce

Kompletní sestava mechanické konstrukce, včetně umístění DPS a součástek, je na obrázku 4.3. Mechanická konstrukce spojuje dvě samostatné jednotky (základna, přední panel) do jednoho celku, které jsou k sobě elektricky spojeny pomocí konektoru popsaného v kapitole 3.7. Aretace je zajištěna pomocí šroubku umístěného vespod tlačítka (pohled kolmo na přední panel při montáži na stěně). Základ tlačítka je k přední části přichycen za pomoci vrutů do plastu, stejně jako je tomu u sešroubování základní části s jedním krytem. V řezu (obrázek 4.3) nejsou viditelné svorkovnice, jejichž vstupy jsou přístupné z útrob elektroinstalační krabice.

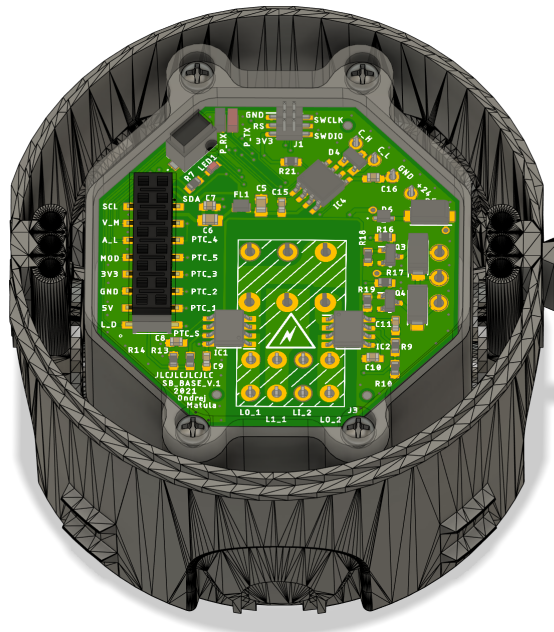
Základní část je ve tvaru hexagonu a v podstatě kopíruje obrys DPS-základ (obrázek 4.7). Tvar hexagonu byl v návrhovém programu odvozen, vzhledem k rozměrům různých druhů elektroinstalačních krabic, od stísněného prostoru v krabicích určených pro montáž do dutých stěn (např. KI-68). Nástin výsledného tvaru (tvar hexagon + konstrukční prvky) a situování DPS je na obrázku 4.4.



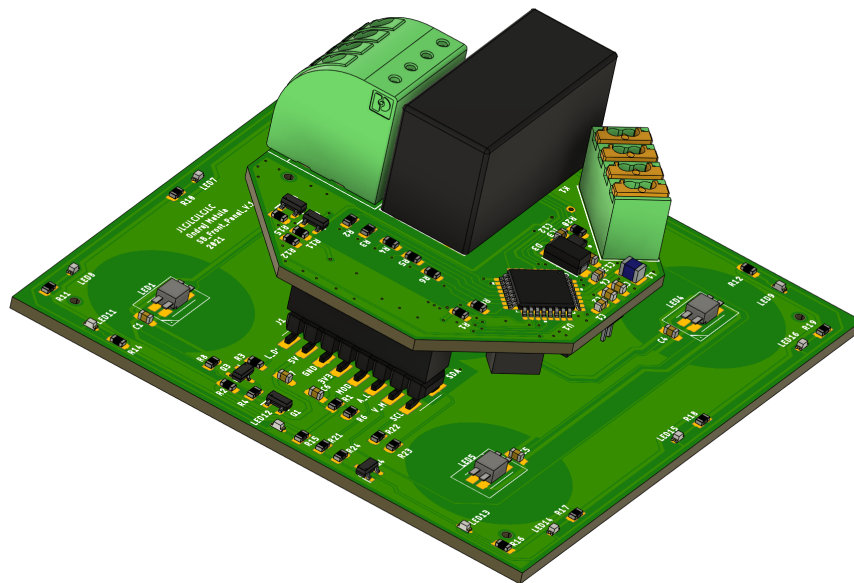
Obr. 4.3: Rozložení mechanické konstrukce tlačítka v řezu

4.4 Deska plošného spoje

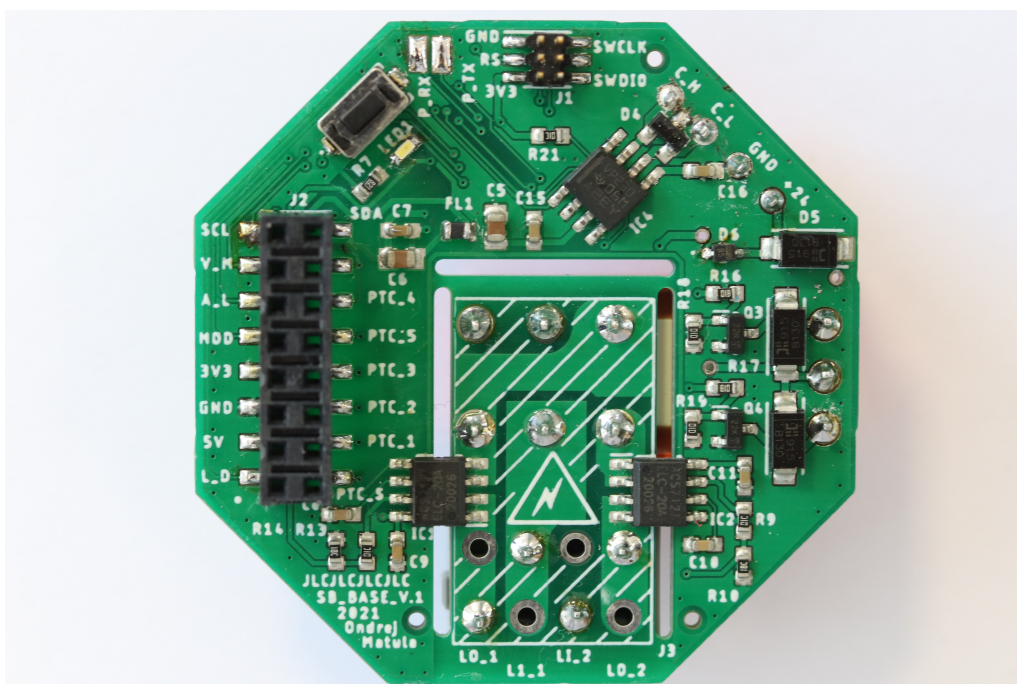
V této kapitole je popsána problematika spojená s návrhem a vizualizací DPS. Deska plošného spoje byla navržena primárně pro výrobu profesionální strojovou cestou, zejména pak konstrukční třída, popisy součástí a silkscreen jsou uzpůsobeny pro výrobu firmou JLCPCB. Základní předpoklad pro úspěšnou konstrukci je zejména v rozměrech a definování prvků tak, aby byly vzájemně kompatibilní modulové části se základnou. Díky zmíněným požadavkům byla zvolena cesta odvození tvarů DPS od požadavků na mechanickou konstrukci. Výsledný 3D model DPS je na obrázku 4.5 a reálné zpracování je pak znázorněno na obrázcích 4.6, 4.7, 4.8 a 4.9.



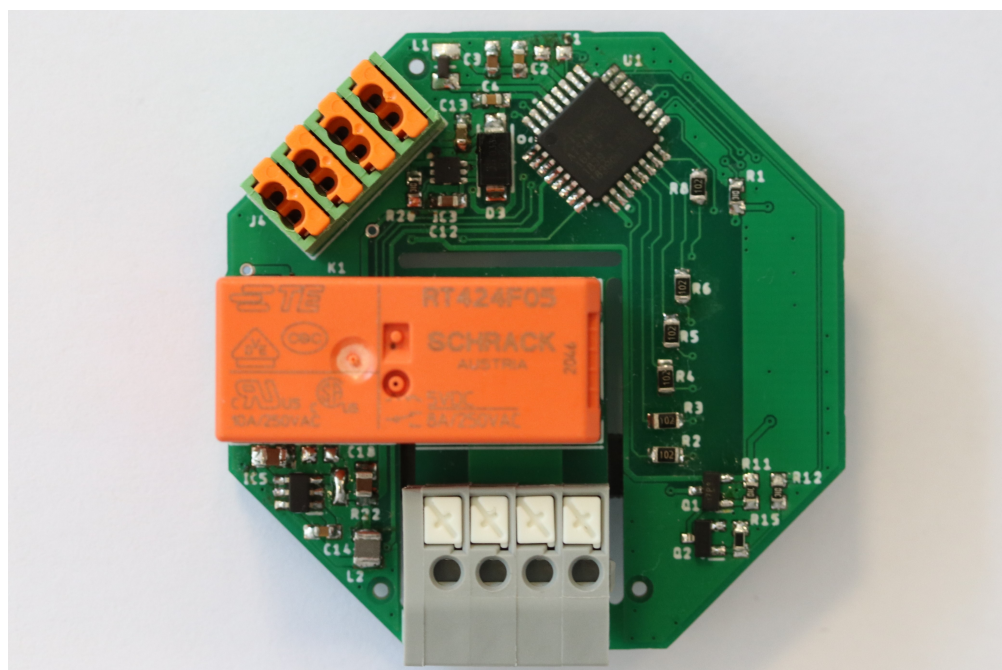
Obr. 4.4: Nástin tvaru základní části



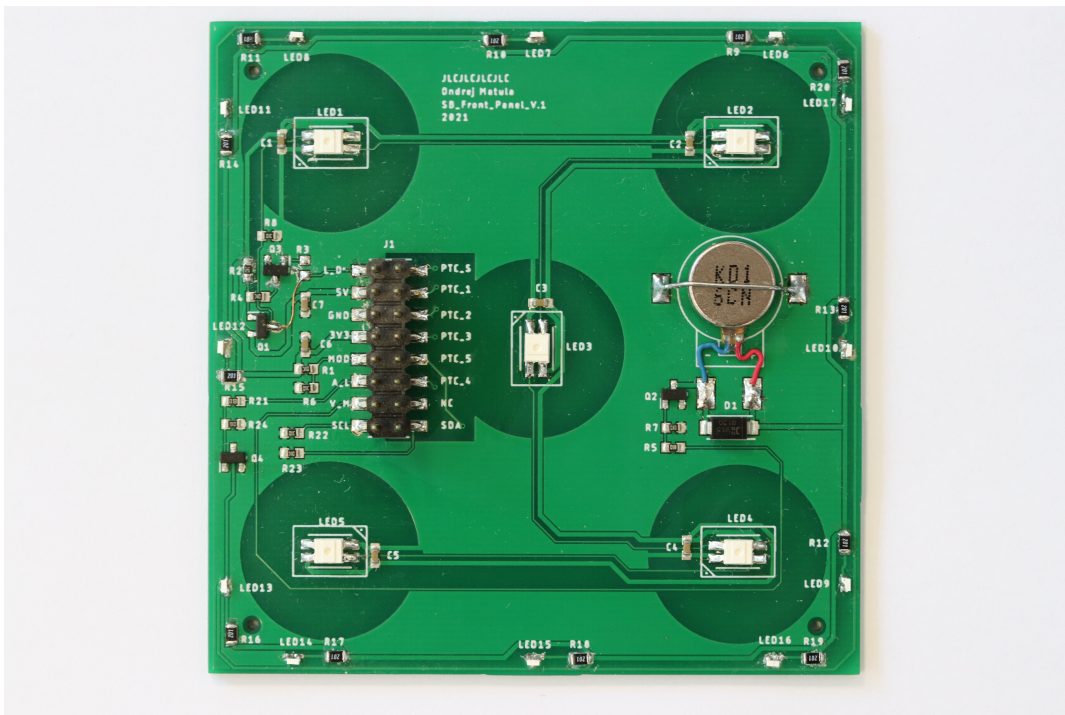
Obr. 4.5: Model základní a přední části DPS



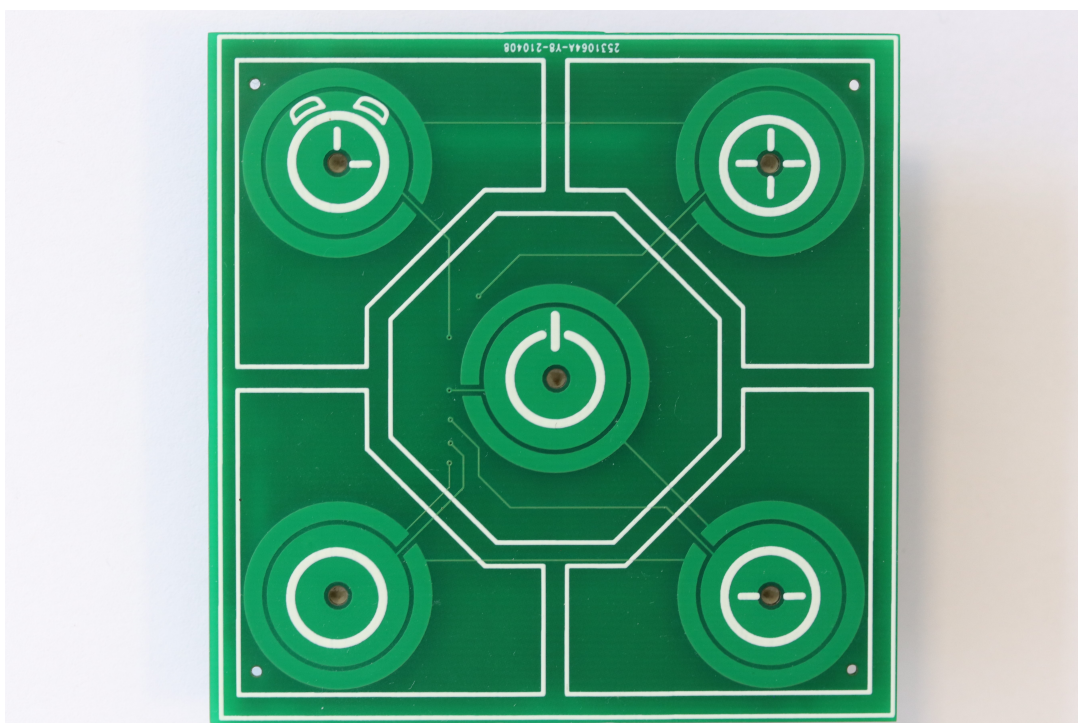
Obr. 4.6: Základna, finální verze DPS



Obr. 4.7: Základna, finální verze DPS



Obr. 4.8: Přední panel, finální verze DPS



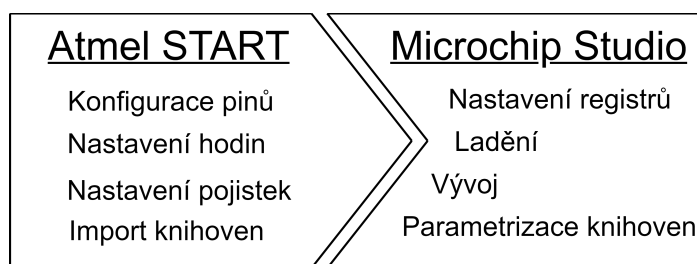
Obr. 4.9: Přední panel, finální verze DPS

5 Programové řešení

Programové řešení se v rámci tlačítka zabývá zejména vývojem základního firmwaru v programovacím jazyce C. Firmware v základu není primárně určen k reakci na vnější příkazy přes společnou sběrnici s nadřazeným systémem, a to díky faktu, že v době návrhu není od zadavatele práce určena fixní struktura protokolu, která by komunikaci jasně strukturovala. Obecné požadavky, které jsou v rámci návrhu kladeny na firmware, jsou specifikovány v kapitole 1. V následujících kapitolách proto budou diskutována výhradně témata, která konkrétně spadají pod návrh SW části.

5.1 Vývojová platforma

Při návrhu firmwaru byl použit vývojový a ladící software Microchip Studio IDE (Integrated Development Environment - integrované vývojové prostředí), který spadá pod obchodní společnost Microchip Technology. Microchip Studio z velké části vychází z původní aplikace, a to Atmel Studio (vyvíjeného společností Atmel). Vývojová platforma byla zvolena s ohledem na vybraný mikrokontrolér (architektura ARM 3.2), který kromě dobré podpory ladění, obsahuje i rozšířené funkce a pluginy, jenž výrazně zjednodušují vývoj. Neméně důležitá vlastnost je pak podpora programovacích jazyků C a C++. Kromě použité architektury ARM je Microchip Studio kompatibilní s architekturami AVR a PIC. Součástí Microchip Studio je také konfigurační nástroj Atmel START, který výrazně zjednodušuje elementární konfiguraci projektu pro zvolené MCU. Souvislost konfiguračního nástroje a IDE je na obrázku 5.1. Microchip studio však není jediný nástroj který Microchip poskytuje pro vývoj embedded zařízení, a tím je MPLAB-X¹, který je založen na rozsáhlé modularitě ve formě pluginů.



Obr. 5.1: Vývoj na platformě Microchip Studio

¹MPLAB-X IDE nebylo při návrhu využito.

5.2 MCU

V závislosti na požadavcích, které jsou shrnuty v sekci 1.3, byl vybrán MCU AT-SAML11E16A. Fyzické parametry procesoru jsou uvedeny v sekci 3.2.2.

5.2.1 Bezpečnost

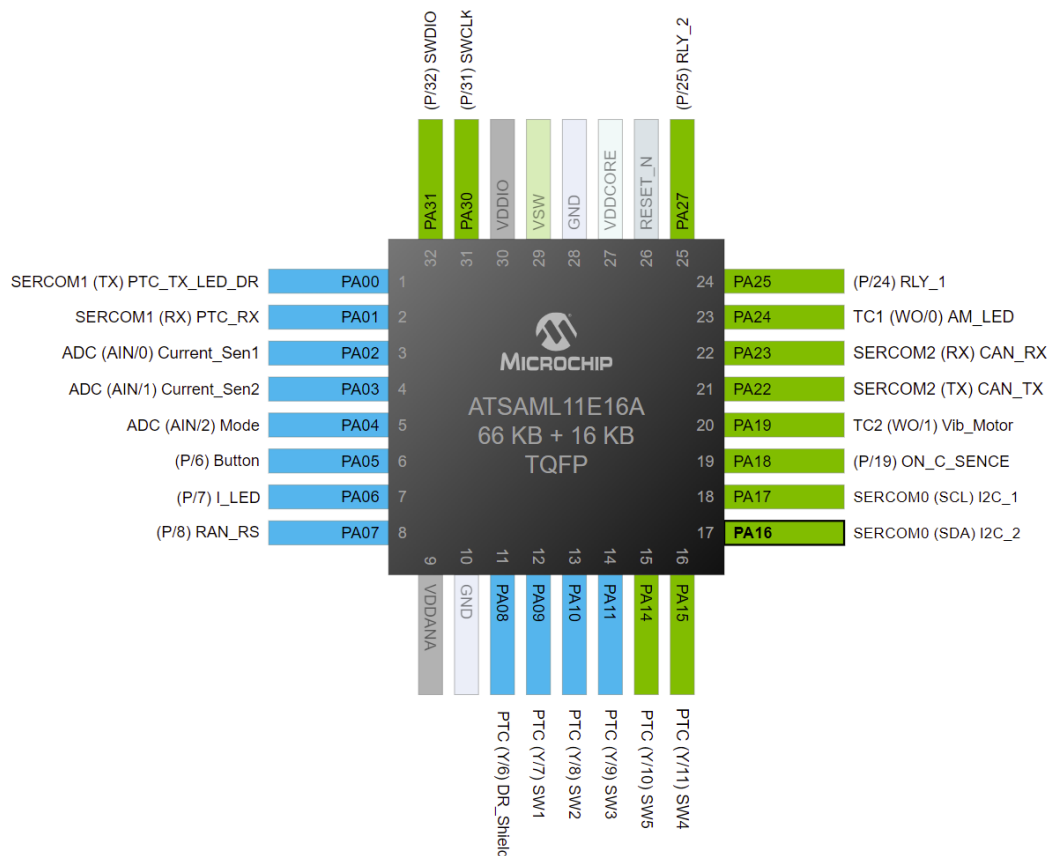
V době rozmachu IoT (Internet of Things - internet věcí), do kterého domácí automatizace nezpochybnitelně patří, je nutné myslet zejména na bezpečnost zařízení která jsou navrhována tak, aby nemohla být zneužita. Proto je nutné zajistit aby takové funkce byly dostupné. Mikropočítač proto kromě standardních funkcí obsahuje také funkce bezpečnostní (tzv. TrustZone), které by onu kýženu bezpečnost měly zajišťovat. Avšak vývoj aplikace kterou lze klasifikovat jako bezpečnou, není předmětem této práce. Bezpečná aplikace je totiž oproti aplikaci nezabezpečené náročnější na vývoj. Proto je s integrací bezpečnostních funkcí počítáno do budoucna.

I když nejsou bezpečnostní funkce implementovány (v nynější verzi), je nutné jim alespoň v základu porozumět, a to hlavně proto, že v základním nastavení jsou na MCU aktivní. Celý firmware je proto implementován v části zabezpečené, která má přístup i k části nezabezpečené. Oba zmíněné celky se promítají jak do HW, tak do SW vrstvy mikropočítače, kde se promítají do paměti programu, paměti dat, přístupu k periferiím, atd. Další funkce na HW úrovni, kterými MCU v rámci bezpečnosti disponuje jsou v seznamu níže.

- Kryptografický akcelerátory AES-128, SHA-256, a GCM.
- TRNG (True Random Number Generator - hardwarový generátor náhodných čísel).
- Šifrování adresy a dat pomocí uživatelem definovaného klíče.
- Zabezpečené spouštění (boot) pomocí ověřování na základě SHA.
- Odolnost proti microprobing útoku.
- Prevence remanence dat.

5.3 Obsluha periferií

Tato kapitola se zabývá obsluhou externích periferií, jenž se v konstrukci tlačítka nacházejí. V souvislosti s touto skutečností, je také spojena nutnost znát jednotlivé asociace oněch externí periferií k periferiím interním (integrovaných v mikrokontroléru). Jednotlivé asociace jsou znázorněny na vývodové diagramu 5.2.



Obr. 5.2: Vývodový diagram MCU pro jednotlivé periferie (Atmel START)

5.3.1 Řízení digitálních LED

Digitálně řízené LED (dále v této kapitole jen LED) LTST-A683C, byly z HW hlediska probrány už v sekci 3.6.3. V následujících řádcích bude rozvinuto jejich ovládání z hlediska komunikace a programového řešení. LED jsou na vývodovém diagramu označeny popiskem LED-DR na pinu (PA00).

Řadič

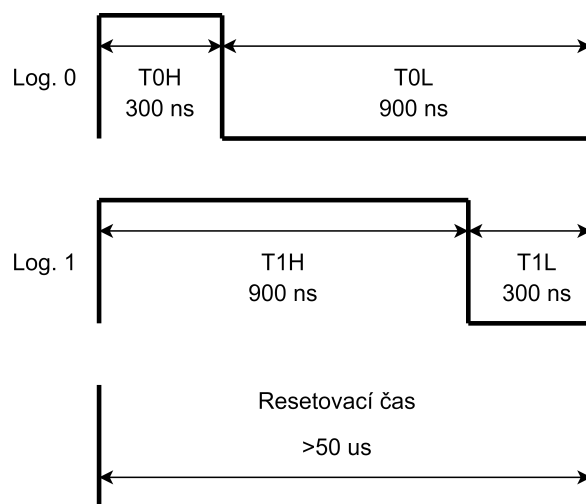
Základ LED (IC LED) tvoří řadič, který ovládá jednotlivé barvy, kterými LED disponuje. Řadič obsahuje posuvný registr, jehož interní výstup je napojen na PWM generátor pro jednotlivé barvy LED. Posuvný registr je také spojen s výstupním pinem tak, aby mohl přeposílat data do dalších sériově řazených LED [31]. Teoreticky je možné LED řadit do nekonečné řady², přičemž omezující je pouze doba, po kterou se do nich zapisují data.

²Integrovaný řadič totiž obsahuje zesilovač signálu.

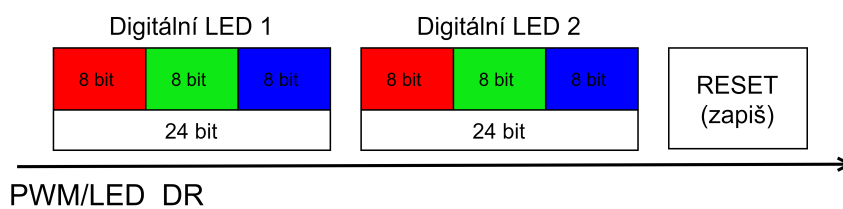
Protokol

Jednotlivé verze digitálně řízených LED, nacházejících se na trhu, se od sebe kromě ostatních parametrů liší bitovým rozlišením pro jednotlivé barvy (záleží výhradně na radiči). Konkrétně na tomto parametru závisí implementace komunikačního protokolu. Nejčastěji užívané rozlišení jsou 8, 10 a 14 bitů. V práci popisovaném zařízení se nacházejí 8 bitové a následující řádky budou tedy počítat s nimi.

Osmibitové rozlišení pro každou barvu definuje datový rámec o velikosti 24 bitů, který je potřebný pro obsluhu tří barev. Stav datového rámce, včetně definice časů, jsou na obrázku 5.3. V případě těchto sériově řazených LED je každý datový rámec (24-bit), načten do shift registru příslušné LED. Další příchozí datový rámec je přeposlán na výstupní pin DOUT (následující LED), kde se opakuje stejný proces. Všechny LED pak čekají na příchod RESET signálu, který je aktivuje všechny na jednou [31]. Příklad komunikace pro dvě LED je pak na obrázku 5.4.



Obr. 5.3: Identifikace stavů sběrnice (digitální LED)



Obr. 5.4: Příklad komunikace pro dvě digitálně řízené LED

5.3.2 QTouch

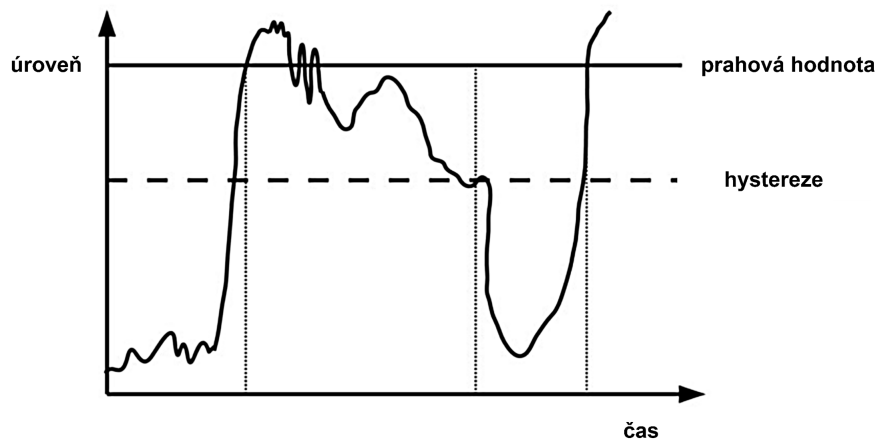
QTouch je knihovna která kooperuje s již zmíněným hardwarovým rozhraním PTC (kapitola 3.6.2) společně se kterým se stará o dotyková tlačítka umístěna na předním panelu. V rámci programového řešení pak byla knihovna parametrizována, a byl aktivován driven shield. Nastavení parametrů je pak silně závislé na dielektrických vlastnostech předního panelu, kdy větší míra stability stisku, roste s lepšími dielektrickými vlastnostmi předního panelu (permitivita větší než vzduch). Důležité parametry pro nastavení jsou rozepsány v následujících řádcích (nastavení je řazeno chronologicky).

Nastavení prahové hodnoty

Tento parametr definuje prahovou hodnotu, jenž určuje o kolik se musí signál zesílit, aby byl klasifikován jako potenciální dotyková událost. Nastavení větší prahové úrovně pak způsobuje znečtivění senzoru, protože se úroveň signálu musí více změnit aby byla prahová úroveň překročena. Snížením prahové hodnoty se pak projeví zvýšená citlivost senzoru [32].

Nastavení hystereze

Nastavení hystereze detekce senzoru je vyjádřena jako procento z nastavené prahové hodnoty senzoru. Když se senzor dostane do stavu detekce stisku, jeho prahová úroveň se sníží o úroveň hystereze tak, aby se zabránilo cyklování detekce stisku v okolí prahové hodnoty [32]. Princip závislosti hystereze na měřeném signálu je na obrázku 5.5.



Obr. 5.5: Princip nastavení prahové úrovně a hystereze u QTouch [32]

Další parametry

Další parametry, které bylo v průběhu nastavení dotykových senzorů nutné měnit jsou v seznamu níže.

- Skenovací frekvence (ms).
- Velikost sériově řazeného rezistoru.
- Analogové zesílení.
- Počet vzorků určujících detekci.
- Doba zdržení stisku (doba aktivního stavu po deaktivaci senzoru).
- Priorita přerušení PTC.

Závěr

V rámci práce jsem se zabýval návrhem chytrého tlačítka pro chytrou domácnost (smart home).

V první části práce jsem zdefinoval požadavky (kapitola 1), které od konstrukce chytrého tlačítka byly očekávány. Požadavky byly zaměřeny zejména na funkční stránku, ze které se následně odvíjely požadavky na hardware a firmware. Při volbě funkcí mě provázelo rozhodnutí, které funkční požadavky jsou vhodné k implementaci a které by korespondovaly s řešením nastíněným zadavatelem práce (vedoucí práce). Proto byl proveden průzkum trhu, kde byly z podobných zařízení (chytrých tlačítek) vybrány funkce, které by korespondovaly s koncepcí navrhovaného tlačítka. Dvě varianty chytrých tlačítek, které se funkčně podobají navrhovanému tlačítku (Loxon Touch Pure, Sonoff-T3EU3C), jsou rozvinuty v kapitole 2.

Návrhová část práce byla zaměřena na dvě různé koncepce, z nichž byla ve finální verzi realizována pouze jedna. Obě dvě koncepce definuje zejména sběrnice, pro které je tlačítko uzpůsobeno. První koncepce zaměřená na komunikaci přes sběrnici PWI kladla důraz hlavně na nízkopříkonové řešení tlačítka, což vyplývá z principu sběrnice (kapitola 3.3). Návrh koncepce založené na PWI vychází ze semestrální práce, která předložené bakalářské práci předcházela, avšak od koncepce bylo nakonec upuštěno na požadavek zadavatele práce. Druhá koncepce (finálně realizovaná) založena na bázi CAN sběrnice (kapitola 3.4), se diametrálně liší parametry od první koncepce, proto bylo tlačítko přepracována na verzi kompatibilní s tímto řešením.

Návrh obvodového řešení se kromě komunikačního a napájecího rozhraní (které spadá pod jednotlivé sběrnice) zaměřil také na realizaci kapacitních snímačů, použitých v souvislosti s ovládáním tlačítka, založených na základu QTouch knihovny. Část obvodů, které jsou navrhovány dle mých znalostí, jsou odsimulovány v programu Micro-cap 12, a to hlavně díky závislosti na frekvenci, pro kterou jsou navrženy. Při návrhu schémat je většina součástí importována včetně 3D modelu, pro následný jednodušší návrh mechanické konstrukce a s tím související dimenzování rozměrů. Schéma zapojení je po částech segmentováno (pro lepší orientaci) a zahrnuto v příslušných kapitolách, pojednávajících o dané problematice. Kompletní schéma zapojení (kapitola A) a návrhy desek plošných spojů (kapitola B) jsou umístěny v přílohové části. Mechanická konstrukce včetně 3D modelu zařízení se nachází v kapitole 4.3.

Softwarová část neboli firmware byla zaměřena hlavně na obsluhu periferií mikrokontroléru, v rámci předložené práce se totiž nepočítá s implementací, která by komunikovala s nadřazeným systémem, a to hlavně proto, že v době vývoje tlačítka není zdefinován protokol pro danou komunikaci. Firmware je proto ve stavu podpory obsluhy periferií a počítá se s budoucím integrováním do celku chytré domácnosti.

Parametry	ATSAML11E16A
Nominální napájecí napětí	24 V
Maximální napájecí napětí	28 V
Klidová spotřeba bez předního panelu	17,6 mW
Klidová spotřeba včetně předního panelu	24,1 mW
Maximální spotřeba bez předního panelu	1,01 W
Maximální spotřeba včetně předního panelu	1,54 W
Jmenovitý proud spínacím prvkem	8 A
Maximální proud spínacím prvkem (4 s)	15 A
Maximální napětí CAN (vůči GND)	13,3 V
Jmenovitý rozsah proudového snímače	0 - 8 A

Tab. 5.1: Základní parametry chytrého tlačítka

Programové řešení a vlastnosti periférií jsou popsány v kapitole 5.

Finální návrh tlačítka byl úspěšně oživen a ověřena funkčnost všech částí. Parametry tlačítka vyplývající z vlastností jednotlivých součástí a měření jsou pak zaneseny v tabulce 5.1.

Návrh tlačítka se také neobešel bez chybných řešení a konkrétně úrovněového převodníku použitého na konverzi napěťových úrovní pro digitálně řízené LED. Avšak chybně navržená část obvodu byla ve finálních dokumentech opravena, neměla by zmíněnou chybu obsahovat.

Chytré tlačítko je navrženo jako základ, a proto se počítá s budoucím rozšířením. Zejména pak s integrací do celku chytré domácnosti (komunikace), doplnění o bezpečnostní funkce podporované mikrokontrolérem a s vývojem dalších (výměnných) předních panelů, pro které je základna tlačítka uzpůsobena.

Literatura

- [1] Touch Pure Tree Anthracite. *Loxone* [online]. Austria: Loxone Electronics, 2020 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://shop.loxone.com/enuk/touch-pure-tree-anthracite-1236.html>
- [2] SONOFF TX Series. *SONOFF* [online]. China: SONOFF Official, 2021 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://sonoff.tech/product/wifi-smart-wall-swites/tx-series>
- [3] Sonoff T3EU3C-TX Wi-Fi Wall Switch 3-gang. In: *Megateh* [online]. Tallinn: Expresstime OÜ, 2015 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.megateh.eu/products/smart-home-automation-sonoff/sonoff-t3eu3c-tx-wi-fi-wall-switch-3-gang>
- [4] QTouch library selection guide. *Microchip* [online]. Chandler: Microchip Technology, 2015 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/QTouch_library_selection_guide.xls
- [5] 32-bit MCU Selection Guide. *Microchip* [online]. Chandler: Microchip Technology, c1998-2021 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/design-centers/32-bit>
- [6] *SAM L10/L11 Family datasheet* [online]. Rev B - 06/2018. U.S.A: Microchip Technology Incorporated, 2018 [cit. 2021-01-02]. ISBN 978-1-5224-6296-5. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM-L10L11-Family-DataSheet-DS60001513F.pdf>
- [7] VRBA, CSC., prof. Ing. Kamil a Ing. Pavel HANÁK, PHD. *Konstrukce elektronických zařízení* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2021/05 [cit. 2021-5-16]. ISBN 978-80-214-5957-1.
- [8] SN65HVD23x 3.3-V CAN Bus Transceivers datasheet. *Texas Instruments* [online]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2001 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/SN65HVD230?qgpn=sn65hvd230>
- [9] IRLML6401TRPbF datasheet. *Infineon* [online]. California: International Rectifier, 2014 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://cz.mouser.com/datasheet/2/196/irlml6401pbf-1732801.pdf>
- [10] BRP002R8L105FB BIGCAP. *Tme* [online]. Łódź: TME, c2021 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/en/details/brp002r8l105fb/supercapacitors/bigcap/>

- [11] LMR50410-Q1. *Texas Instruments* [online]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2020 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LMR50410-Q1?keyMatch=LMR50410-Q1&tisearch=search-everything&usecase=GPN>
- [12] 2N7002: N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE FIELD EFFECT TRANSISTOR. *Diodes* [online]. California: Diodes Incorporated, 2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/2N7002.pdf>
- [13] ACS712 datasheet. *Sparkfun* [online]. Massachusetts: Allegro MicroSystems, c2007 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- [14] LTST-A683CEGBW: Product Data Sheet. *optoelectronics.liteon* [online]. New Taipei City: LITE-ON Technology, 2019 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://optoelectronics.liteon.com/upload/download/DS35-2019-0032/LTST-A683CEGBW.PDF>
- [15] KW DELPS2.RA. *Mouser* [online]. Leibnizstraße: OSRAM Opto Semiconductor, 2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-5194326/KW%20DELP2.RA_EN.pdf
- [16] TPS7A25. *Texas Instruments* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated., c1995-2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/TPS7A25?qgpn=tps7a25>
- [17] LP5907. *Texas Instruments* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, c2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/LP5907>
- [18] ZEZULKA, František. *Prostředky průmyslové automatizace*. Brno: VUTIUM, 2004, 176 s. : il. ISBN 80-214-2610-1.
- [19] Haptika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, c2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Haptika&oldid=19019509>
- [20] Chen. Vibration Motor. Application note. *Docplayer* [online]. __: Yangyi Chen, 2013 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://docplayer.net/7250403-Chen-vibration-motor-application-note.html>
- [21] COIN TYPE VIBRATION MOTOR: B1034.FL45-00-015. *Tme* [online]. __: SparkFun Electronics, 2016 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Robotics/B1034.FL45-00-015.pdf>

- [22] Atmel QTouch Library: User Guide. *Microchip* [online]. Timbaud: ATMEL Corporation, c2012 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8207.pdf>
- [23] QTouch Library Peripheral Touch Controller: USER GUIDE. *Microchip* [online]. San Jose: Atmel Corporation, c2016 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/atmel-42195-qtouch-library-peripheral-touch-controller_user-guide.pdf
- [24] Guide for PTC Driven Shield Design. *Microchipdeveloper* [online]. _: Microchip Technology, c2021 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://microchipdeveloper.com/touch:guide-for-ptc-driven-shield-design>
- [25] AT02259: QTouch Schematic and Layout Checklist: APPLICATION NOTE. *Microchip* [online]. San Jose: Atmel Corporation, 2017 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/atmel-42094-qtouch-schematic-and-layout-checklist_applicationnote_at02259.pdf
- [26] *Aplikace kapacitních snímačů v technické praxi*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce DOC. ING. TOMÁŠ FRÝZA, PH.D.
- [27] SN74LVC1T45. *Texas Instruments* [online]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2017 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.ti.com/product/SN74LVC1T45?keyMatch=SN74LVC1T45&tisearch=search-everything&usecase=GPN>
- [28] KW DELPS2.RA: Datasheet. *Osram* [online]. _: OSRAM Opto Semiconductors, c2021 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-5194326/KW%20DELP2.RA_EN.pdf
- [29] Measuring Current with IMC Hall Effect Technology. *Fierceelectronics* [online]. Framingham: Questex, c2020 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://www.fierceelectronics.com/components/measuring-current-imc-hall-effect-technology>
- [30] MLX91208: Datasheet. *Mouser* [online]. _: Melexis NV, 2015 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: https://www.mouser.com/datasheet/2/734/LX91208_datasheet-706765.pdf

- [31] SMD PLCC Packages with IC Embedded Solutions. *Tme* [online]. Taiwan: LITEON Technology Corporation, 2018 [cit. 2021-5-22]. Dostupné z: https://www.tme.eu/Document/594934e57b4d934542266695a36c177d/AN500301_v3.0.pdf
- [32] QTouch® Sensor Parameters. *Microchip Developer Help* [online]. _: Microchip Technology, © 2021 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://microchipdeveloper.com/touch:qtouch-sensor-parameters>

Seznam symbolů a zkratek

- PWI** Power Wire Interface - drátová komunikační sběrnice
- LED** Light Emitting Diode - světelná dioda
- RF** Radio Frequency - rádiová frekvence
- PTC** Peripheral Touch Controller - periferní dotykový ovladač
- NRZ** Non Return to Zero - mechanismus sériového kódování
- SWD** Serial Wire Debug - sériové ladící rozhraní
- JTAG** Joint Test Action Group - standardizované programovací/ladící rozhraní
- UART** Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - sériové asynchronní komunikační rozhraní
- PWM** Pulse Width Modulation - pulzně šířková modulace
- IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers - Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
- MCU** Microcontroller
- SMD** Surface Mount Device - zařízení určeno pro povrchovou montáž
- ADC** Analog to Digital Converter - analogově digitální převodník
- LDO** Low Dropout Regulator - regulátor s nízkým úbytkem
- ESR** Equivalent Series Resistance - ekvivalentní sériový odpor
- MLCC** Multi Layer Ceramic Capacitors - vícevrstvý keramický kondenzátor
- ESD** Electrostatic Discharge - elektrostatický výboj
- DPS** Deska Plošných Spojů
- rpm** revolutions per minute - otáčky za minutu
- MOSFET** Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor řízený elektrickým polem
- SNR** Signal to Noise Ratio - poměr signál k šumu
- SSR** Solid State Relay - polovodičové relé

IMC Integrated Magnetic Concentrator - integrovaný magnetický koncentrátor

CAN Controller Area Network - drátová komunikační sběrnice

I2C Inter Integrated Circuit - multi-masterová sériová sběrnice

IDE Integrated Development Enviroment - integrované vývojové prostředí

IC Integrated Circuit - integrovaný obvod

IoT Internet of Things - internet věcí

TRNG True Random Number Generator - hardwarový generátor náhodných čísel

SHA Secure Hash Algorithms - rozšířená hašovací funkce

GCM Galois/Counter Mode - galoisovský/čítačový režim

R_{DS} Přechodový odpor Drain - Source (stav saturace)

f_{PWR-ON} Frekvence výstupního signálu na pinu PWR-ON

$I_{G_{Q6}}$ Proud Gate unipolárního tranzistoru Q6

$I_{G_{Q5}}$ Proud Gate unipolárního tranzistoru Q5

I_D Proud Drain unipolárního tranzistoru

$I_{D_{max}}$ Proud Drain unipolárního tranzistoru (maximální)

C Kapacita kondenzátoru

I_Q Klidový proud

U_{drop} Úbytek napětí

R Odpor

S Zdánlivý výkon

U Napětí

I Proud

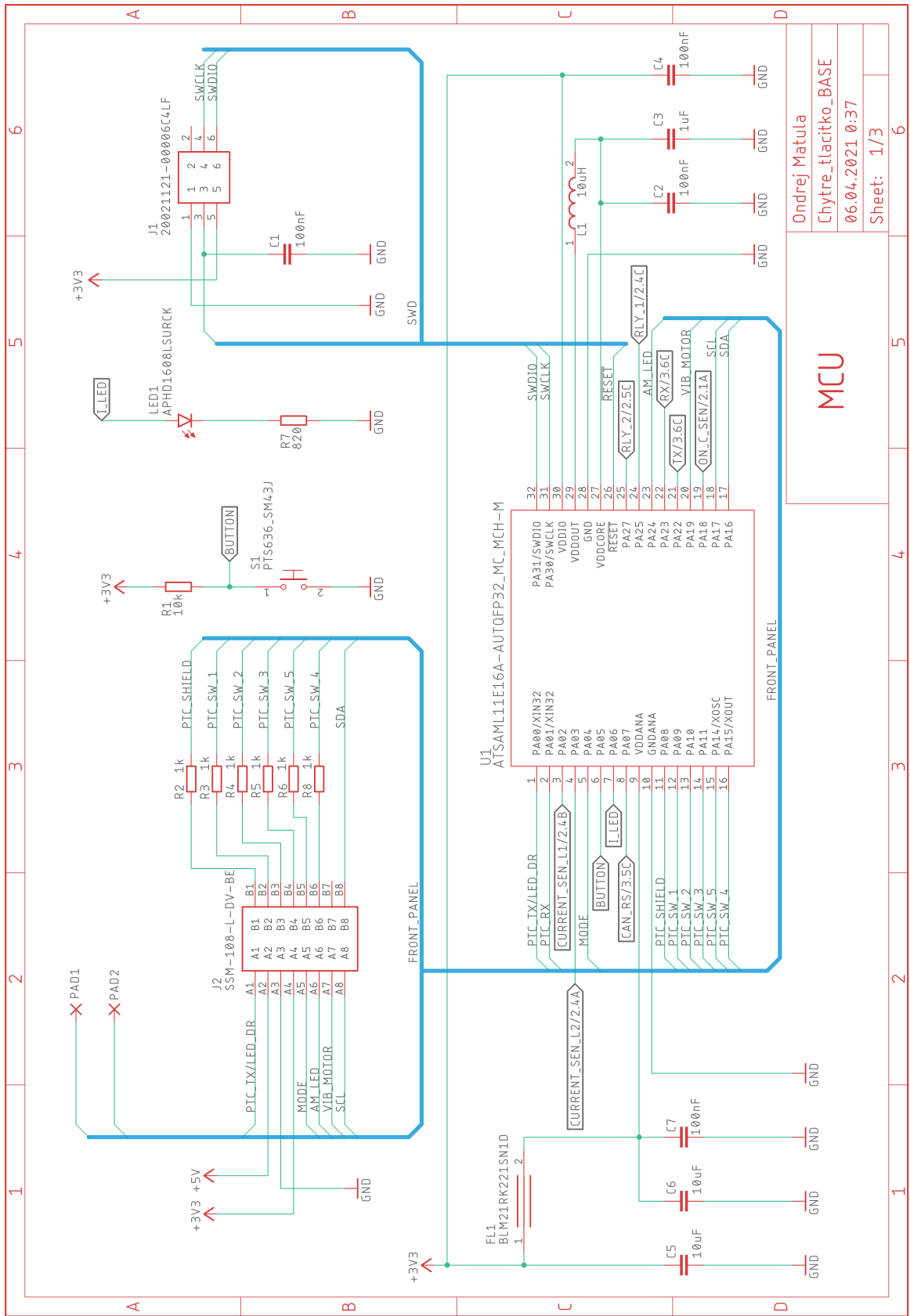
V_{CC} Napájecí napětí

I_{CC} Napájecí proud

Seznam příloh

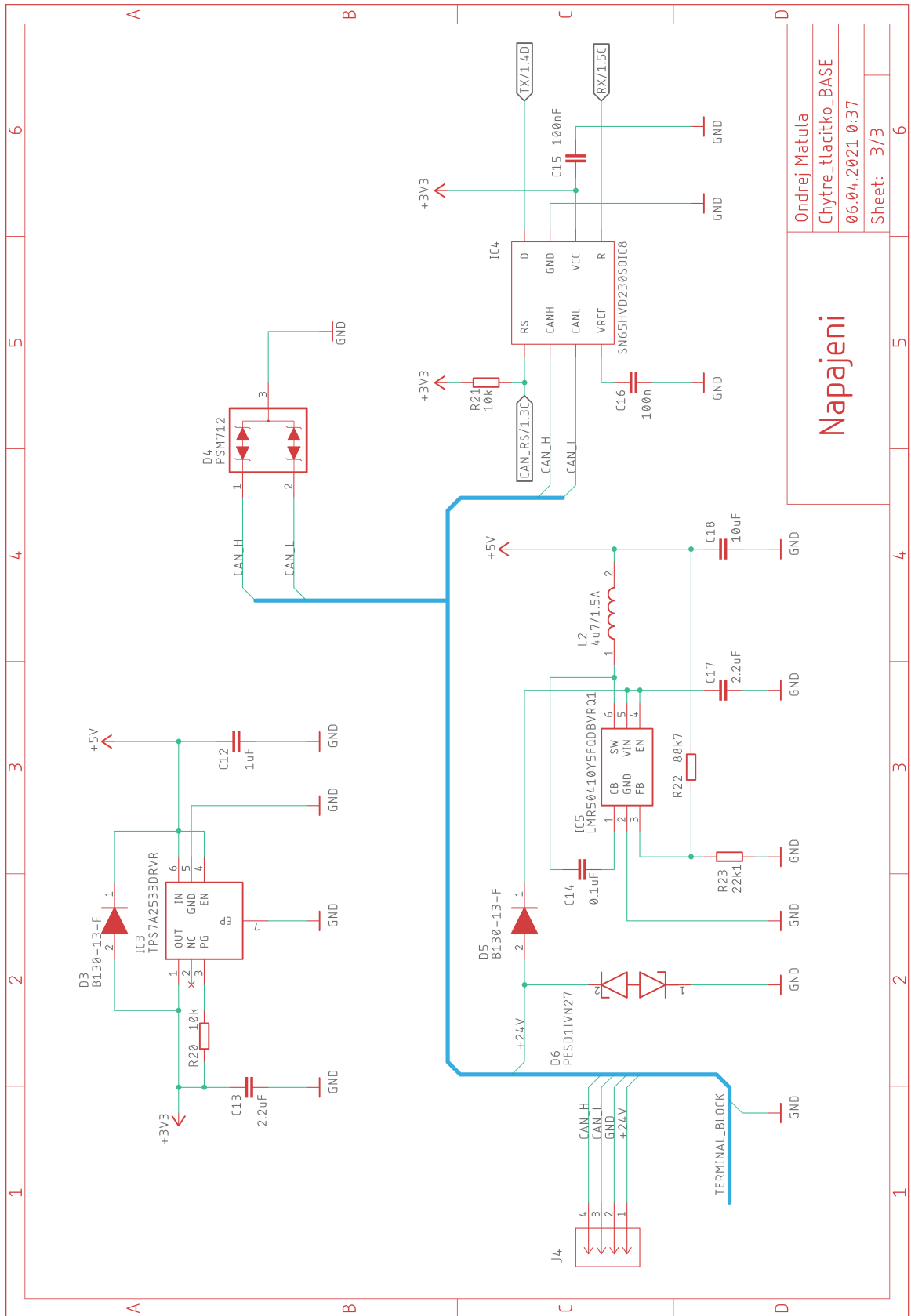
A	SCHÉMATA ZAPOJENÍ	69
B	DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	75
C	Obsah přiloženého CD	77
C.1	Elektronická verze závěrečné práce	77
C.2	Eagle projekt s návrhem schématu a DPS	77
C.3	Schéma a DPS ve formátu pdf	77
C.4	Výrobní podklady	77
C.5	Firmware	77
C.6	Adresářová struktura	77

A SCHÉMATA ZAPOJENÍ



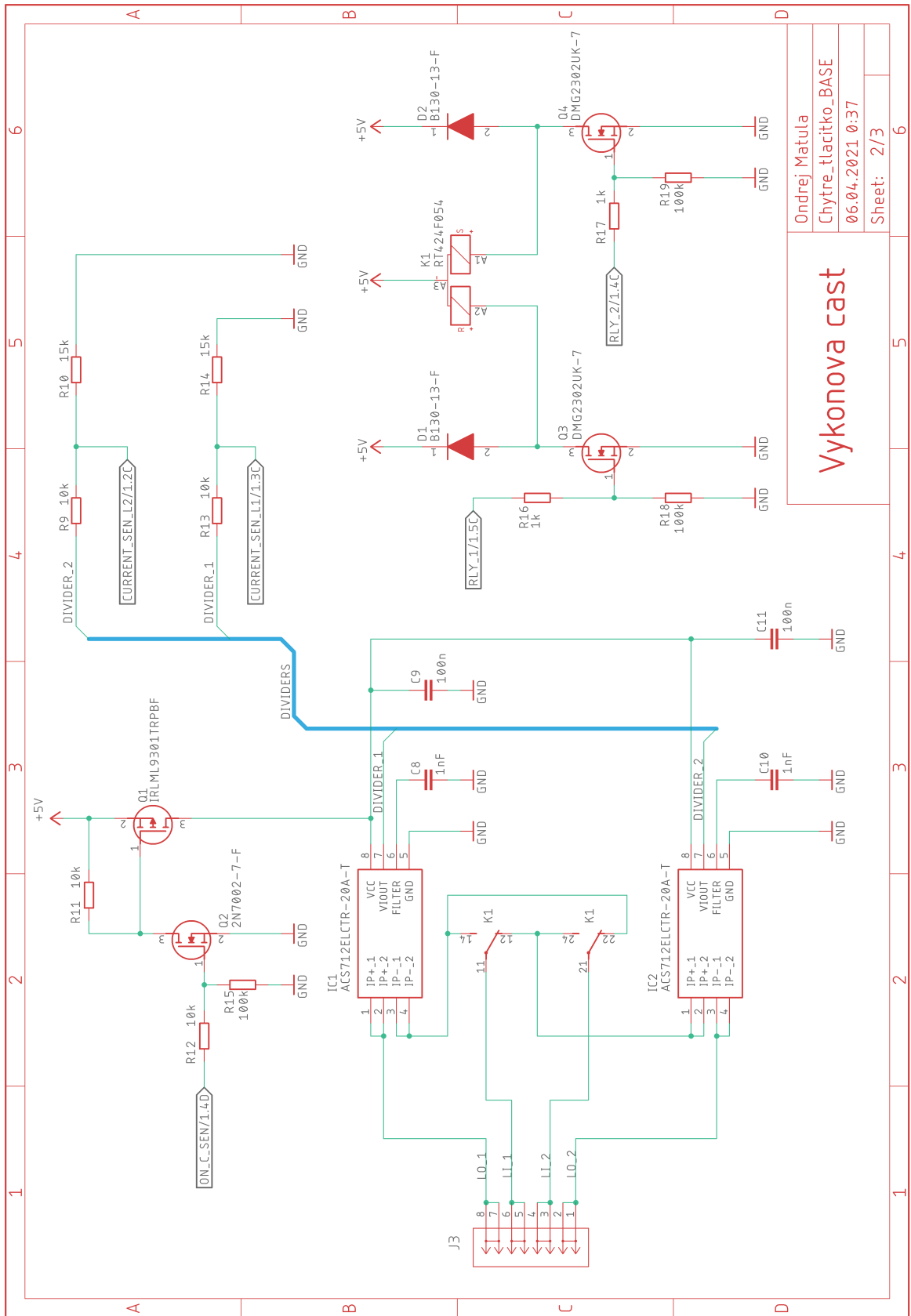
MCU		
Ondrej Matula		
Chytre_tlacitko_BASE		
06.04.2021 0:37		
Sheet:	1/3	6

Obr. A.1: Základna: schéma zapojení MCU

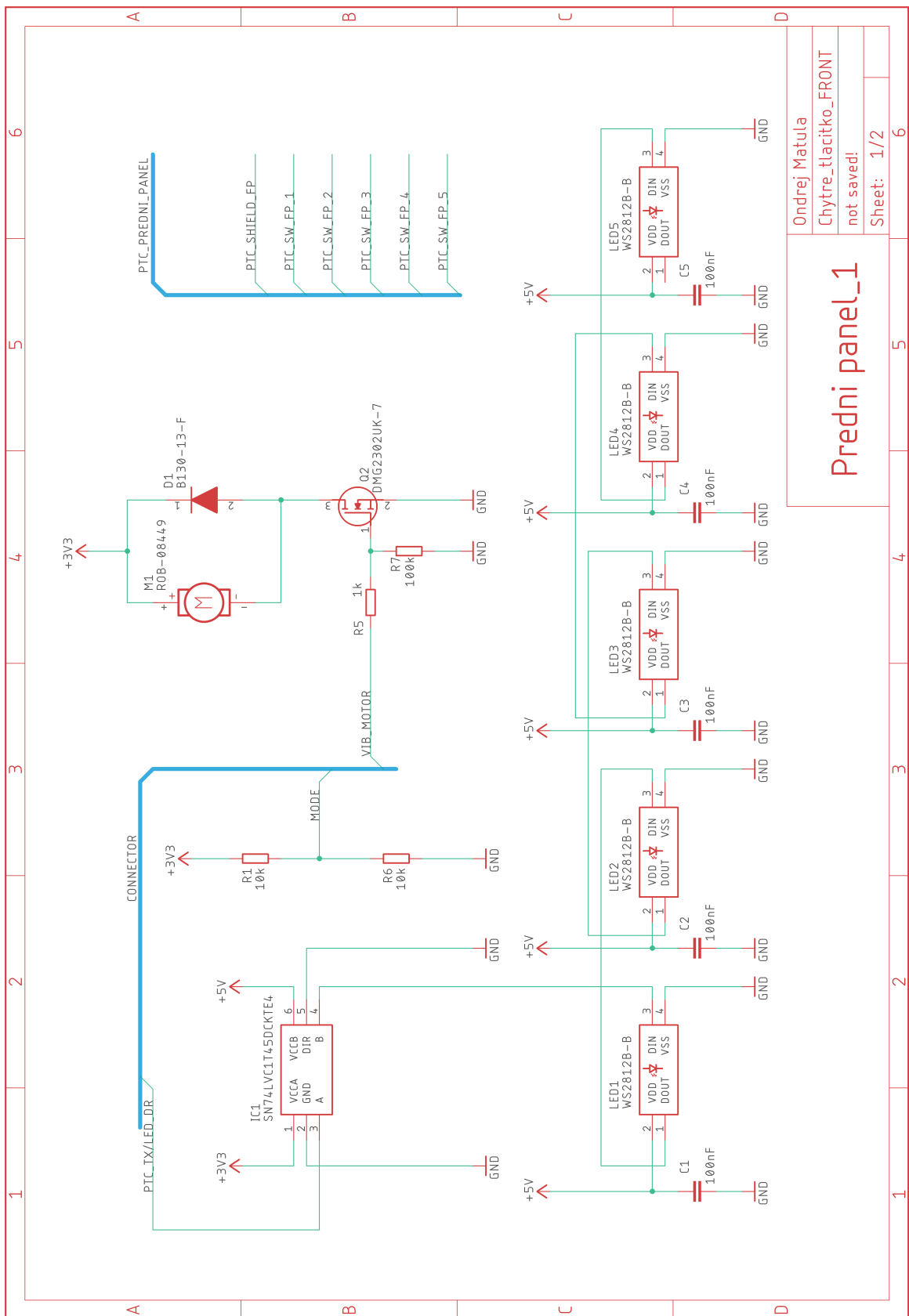


Napajeni	
Ondrej Matula	
Chytre_tlacitko_BASE	
06.04.2021 0:37	
Sheet:	3/3

Obr. A.2: Základna: schéma zapojení napájení



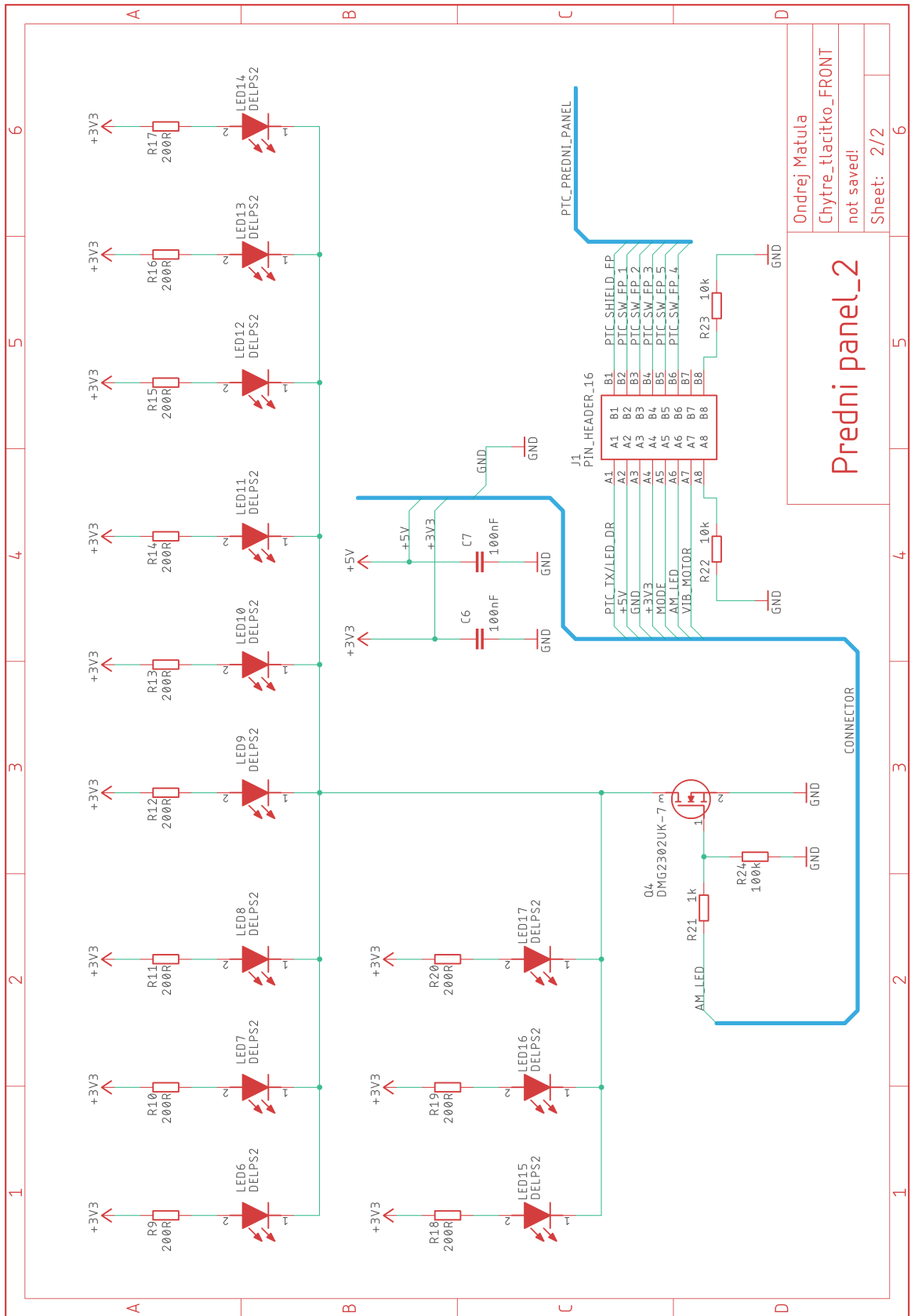
Obz. A.3: Zákkladna: schéma zapojení výkonová část



Predni panel_1

Ondrej Matula
 Chytre_tlacitko_FRONT
 not saved!
 Sheet: 1/2

Obr. A.4: Přední panel: schéma zapojení 1

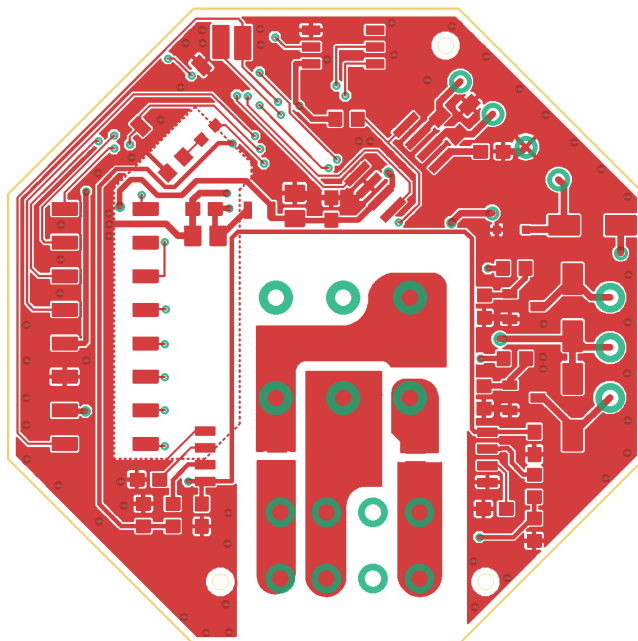


Ondrej Matula
 Chytre_tlacitko_FRONT
 not saved!
 Sheet: 2/2

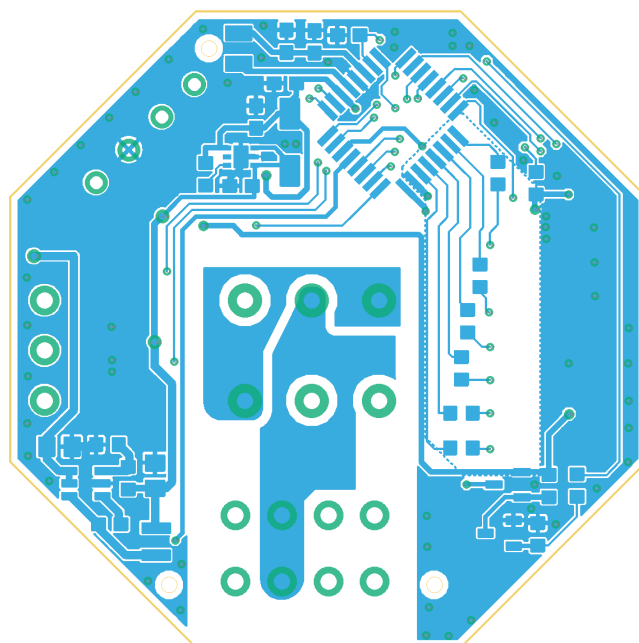
Predni panel_2

Obr. A.5: Přední panel: schéma zapojení 2

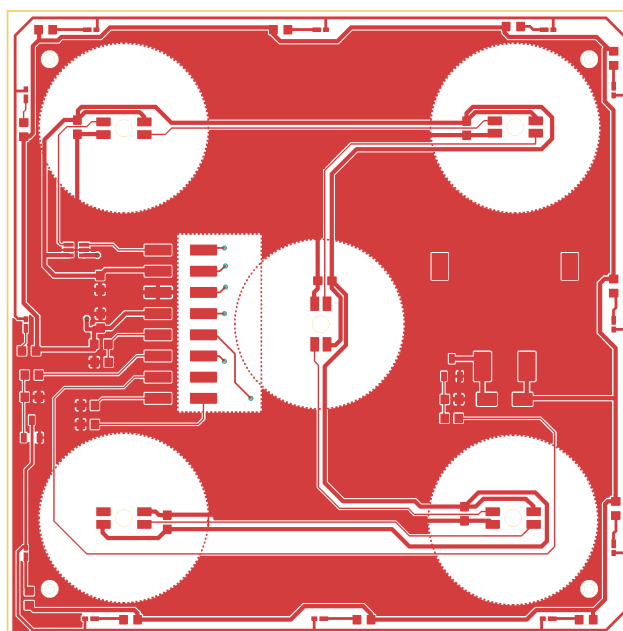
B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ



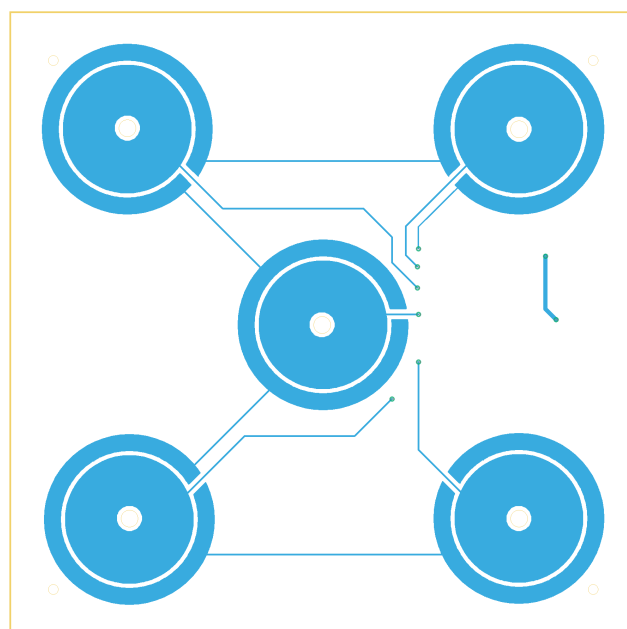
Obr. B.1: Základna: deska plošného spoje TOP



Obr. B.2: Základna: deska plošného spoje BOTTOM



Obr. B.3: Přední panel: deska plošného spoje TOP



Obr. B.4: Přední panel: deska plošného spoje BOTTOM

C Obsah příloženého CD

Kapitola zahrnuje obsah souborů na příloženém CD.

C.1 Elektronická verze závěrečné práce

Obsahuje elektronickou verzi práce.

C.2 Eagle projekt s návrhem schématu a DPS

Projekt byl vytvořen v programu Autodesk Eagle 9.6.2. Návrhová pravidla jsou kompatibilní s požadavky firmy JLCPCB na výrobu DPS.

C.3 Schéma a DPS ve formátu pdf

Obsahuje schéma a DPS ve formátu pdf. Součástí jsou návrhy předního panelu a základny.

C.4 Výrobní podklady

Podklady potřebné pro výrobu DPS.

C.5 Firmware

Tato část obsahuje projekt vytvořený v aplikaci Microchip Studio 7.0.2542.

C.6 Adresářová struktura

Organizace adresářů na přílohovém CD

```

/ ..... kořenový adresář přiloženého CD
├── C1_elektronicka_verze_documentace
│   └── 0.Matula_BP_chytre_tlacitko_pro_smart_home.pdf
├── C2_schemata_a_DPS_eagle_projekt
│   ├── Chytre_tlacitko_BASE
│   │   ├── Chytre_tlacitko_BASE.brd
│   │   └── Chytre_tlacitko_BASE.sch
│   ├── Chytre_tlacitko_FRONT
│   │   ├── Chytre_tlacitko_FRONT.brd
│   │   └── Chytre_tlacitko_FRONT.sch
│   └── C3_schemata_a_DPS_format_pdf.3 Predni_panel_DPS_bottom.pdf
│       ├── Predni_panel_DPS_top.pdf
│       ├── Predni_panel_osazovaci_list_bottom.pdf
│       ├── Predni_panel_osazovaci_list_top.pdf
│       ├── Predni_panel_schema.pdf
│       ├── Zakladna_DPS_bottom.pdf
│       ├── Zakladna_DPS_top.pdf
│       ├── Zakladna_osazovaci_list_bottom.pdf
│       ├── Zakladna_osazovaci_list_top.pdf
│       └── Zakladna_schemata.pdf
├── C4_vyrobní_podklady
│   ├── Chytre_tlacitko_BASE.zip.....gerber
│   ├── Chytre_tlacitko_BASE_top_bom.csv
│   ├── Chytre_tlacitko_BASE_top_cpl.csv
│   ├── Chytre_tlacitko_FRONT.zip.....gerber
│   ├── Chytre_tlacitko_FRONT_top_bom.csv
│   └── Chytre_tlacitko_FRONT_top_cpl.csv
├── C5_firmware
│   ├── qtouch12..... obsahuje kompletní strukturu projektu
│   └── Firmware_chytre_tlacitko.atsln

```