

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Automotivní zabezpečovací zařízení s využitím
moderních technologií**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Miroslav MARTÍŠEK
Osobní číslo: E10N0135P
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronika a aplikovaná informatika
Název tématu: Automotivní zabezpečovací zařízení s využitím moderních technologií
Zadávací katedra: Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte moderní inteligentní elektronické zabezpečovací systémy (proti odcizení) vyskytující se v automobilovém průmyslu, jejich klady a nedostatky.
2. Navrhněte vlastní zabezpečovací zařízení pro automobily využívající moderních prvků na trhu (GSM, GPS, senzory CDC, gyro, ap.).
3. Diskutujte složitost, rentabilitu a finanční náročnost, stanovte základní požadované parametry a funkce od navrhovaného zařízení a dané zařízení realizujte.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky, stanovte limity daného systému, příp. dané zařízení otestujte v praxi.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimír Pavlíček, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Pavlíček, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hamperbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Tato práce popisuje návrh zabezpečovacího zařízení pro automobily, které dokáže na základě příjmu GPS souřadnic informovat oprávněnou osobu pomocí GMS sítě o své aktuální poloze. Jako detekční čidla jsou kromě dveřních spínačů použity kapacitní senzory a akcelerometr, který plní funkci náklonoměru. Zařízení je vybaveno záložním zdrojem na bázi Li-Ion článků.

Klíčová slova

automobil, autoalarm, zabezpečovací zařízení, GPS, GMS, SMS, akcelerometr, náklonoměr, kapacitní senzor, kondenzátor, spínaný měnič, zdroj, PIC, AD7151, filtr, MAX1837, MAX837, MAX16053, LT3650, TPS5430, Li-Ion

Abstract

This master thesis describes design of a security device for vehicles, which is able to receive the GPS coordinates and inform some authorized person of current position via GSM network. As detection sensors are used, in addition to door contacts, capacitive sensors and accelerometer, which serves as incliner. The device is equipped with backup power source based on Li-Ion cells.

Key words

car, car alarm, safety device, GPS, GSM, SMS, accelerometer, incliner, capacitive sensor, capacitor, switching converter, power supply, PIC, AD7151, filter, MAX1837, MAX837, MAX16053, LT3650, TPS5430, Li-Ion

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 2.5.2012

Miroslav Martíšek

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Pavlíčkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Děkuji též své rodině za podporu při studiu.

Obsah

Obsah	7
Význam symbolů a zkratk	9
Úvod	11
1. Přehled trhu s elektronickými zabezpečovacími zařízeními	12
1.1 Autoalarmy	12
1.2 GPS/GMS autoalarmy	13
2. Koncepce a funkce zařízení	16
3. Návrh řešení – bloková schémata	18
3.1 Hlavní část	19
3.2 Inteligentní kapacitní senzor	21
4. Inteligentní kapacitní senzor	22
4.1 Pojem kapacitní senzor a princip jeho funkce	22
4.2 Typy detekovaných předmětů	26
4.3 Způsob měření a detekce kapacity senzoru	27
4.3.1 Měřicí obvody pro běžně používané kapacitní senzory	29
4.3.2 Příklady použití kapacitních senzorů	35
4.4 Aplikace kapacitního senzoru v oblasti automotive	36
4.4.1 Požadavky kladené na senzor	36
4.4.2 Situace senzor – člověk v automobilu	36
4.4.3 Měřicí obvod	38
4.4.4 AD7151	38
4.4.5 Návrh kondenzátoru	42
4.5 Konstrukce inteligentního senzoru	49
4.5.1 Mikrokontrolér	50
4.5.2 Spínaný měnič MAX1837	51
4.5.3 Napěťový hlídač MAX16053	53

5.	GPS	55
5.1	GPS modul	56
5.2	Protokol NMEA 0183	58
6.	GSM modul	61
6.1	Použité AT příkazy	63
6.2	Příjem a zpracování SMS	64
6.3	Odesílání SMS zprávy	66
7.	Akcelerometr	69
7.1	Pojem akcelerometr	69
7.2	Akcelerometr MMA7455L	70
7.3	Funkce akcelerometru	72
7.4	Použití akcelerometru	75
8.	Zdrojová část	78
8.1	Nabíjecí obvod LT3650	81
8.2	Spínaný měnič TPS5430	83
8.3	Napěťový hlídač MAX837	87
8.4	Vstupní filtr	88
9.	Mikroprocesorová část	89
9.1	RTC DS1307	87
9.2	Vstupně – výstupní obvody	91
9.3	Zapojení konektorů	92
10.	Programové vybavení	94
11.	Cenová rozvaha	96
12.	Právní aspekty	98
13.	Závěr	99
14.	Seznam literatury	102
	Seznam příloh	106

Seznam symbolů a zkratek

GPS	Global Position System, globální poziční systém
GSM	Global systém for Mobile Communication, globální komunikační systém pro mobilní telefony, standard mobilní komunikace
SMS	Short Message Service, krátká datová zpráva
SMSC	Short Message Service Centrum, centrum krátkých textových zpráv
PDU	Protocol Data Unit, formát datových zpráv
NMEA	National Marine Electronics Association, asociace producentů elektroniky pro námořnictvo
ESR	Equivalent Series Resistance, ekvivalentní sériový odpor, důležitý parametr kondenzátoru
MEMS	Microelectromechanical Systems, mechanický a elektronický systém v jednom celku, pouzdrě
CAPDAC	kompensační kapacita
PWM	Pulse-width Modulation, pulzně šířková modulace
MCU	Microcontroller Unit, mikrokontrolér
ROM	Read Only Memory, paměť pouze pro čtení
RAM	Random Access Memory, paměť s náhodným přístupem
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, technologie pro výrobu polovodičů
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, univerzální sériové rozhraní
CAN	Controller Area Network, sériová sběrnice původně určená pro automobily
I2C	Inter-Integrated Circuit, synchronní komunikační sběrnice
SOIC	Small Outline Integrated Circuit, pouzdro obvodu pro plošnou montáž, rozteč vývodů 1,27 mm
MSOP	Mini Small Outline Package, pouzdro obvodu pro plošnou montáž, rozteč vývodů 0,65 mm
TDFN	Thin Dual Flat No-lead, pouzdro obvodu pro plošnou montáž, bezvývodové pouzdro
LGA	Land Grid Array, pouzdro obvodu pro plošnou montáž, bezvývodové pouzdro
SHDN	Shut Down, přepnutí obvodu do režimu spánku
SMD	Surface Mount Device, obvod pro povrchovou montáž

HIGH-SIDE	druh tranzistoru spínající kladný potenciál
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field-effect Transistor, tranzistor řízený polem na bázi oxidu kovu
GATE	řídící elektroda (báze) unipolárního tranzistoru
SOURCE	emitor unipolárního tranzistoru
DRAIN	kolektor unipolárního tranzistoru
EMC	Electromagnetic Compatibility, elektromagnetická kompatibilita
CDC	Capacitance to Digital Converter, převodník kapacita – číslo
NiCd	Nickel Cadmium, niklkadmiový akumulátor
NiMh	Nickel Metal Hydride, niklmetalhydridový akumulátor
Li-Ion	Lithium-Ion, lithium-iontový akumulátor
RTC	Real Time Clock, obvod reálného času
STEP-DOWN	Snižující (měnič)
H	High, logická „1“
L	Low, logická „0“
F	Farad, jednotka kapacity
H	Henry, jednotka indukčnosti
A	Ampér, jednotka elektrického proudu
V	Volt, jednotka elektrického napětí
Hz	Herz, jednotka frekvence
ϵ_0	permitivita, $8,89 \cdot 10^{-7}$ F/m
g	jednotka tíhového zrychlení, $g = 9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
I/O	In/Out, vstupy a výstupy
EEPROM	Electric Erased ROM, elektricky mazatelná ROM paměť
UTC	Coordinated Universal Time, koordinovaný univerzální čas, základ pro měření času, založen na atomových hodinách
oktet	dvojice hexadecimálních čísel, například B6
bit	Binary Digit, základní jednotka informace
B	Byte, bajt, osm bitů
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, kódovací tabulka pro znaky anglické abecedy

Úvod

Podle policejních záznamů [20] dochází každý den ke zcizení přibližně čtyřiceti automobilů, převážně novějšího data výroby. Při pohledu do statistik je patrné, že se v hledáčku zlodějů ocitají nejčastěji vozidla značky Škoda, následované dalšími vozy koncernu Volkswagen (VW, Seat), dále vozy Renault a Citroën, na druhou stranu u automobilů asijské provenience dochází ke krádežím nejméně. I když je u nás po několik let patrný sestupný trend v páchání tohoto druhu trestné činnosti, pro ilustraci uvedme, že zatímco v roce 2002 bylo ukradeno cca. 26100 vozidel, v loňském roce byl tento počet o polovinu menší, je téma zabezpečení automobilů mezi motorizovanou veřejností stále aktuální.

Zabezpečovací zařízení pro ochranu automobilů můžeme rozdělit do dvou základních skupin: na zařízení pracující čistě na mechanické bázi, jako například zámek řadící páky a převodovky a na zařízení elektronická – alarmy a imobilizéry. Rozdíl mezi alarmem a imobilizérem spočívá v aktivním přístupu k zabezpečení vozidla vůči krádeži. Zatímco alarm pouze upozorní na nestandardní situaci v užívání vozidla a to nejčastěji pomocí akustické signalizace, imobilizér se snaží zabránit zloději v manipulaci s vozidlem, například pomocí rozpojení napájení pro palivové čerpadlo. I když jsou odborníky považována mechanická zabezpečení za účinnější než elektronická, jeví se jako optimální zkombinovat tyto dva druhy dohromady pro dosažení co největšího stupně ochrany.

Bohužel je nutné konstatovat, že s vývojem v oblasti zabezpečovacích zařízeních a uplatňováním moderních technologií stoupá i um zlodějů tato zařízení obejít, proto se nelze na žádný zabezpečovací systém plně spolehnout v tom, že na 100% ochrání hlídaný objekt.

Tento projekt sleduje dva základní cíle: vytvořit elektronické zabezpečovací zařízení, které po vestavění do automobilu bude moci přesně určit jeho polohu, kdekoli se bude toto vozidlo nacházet a otestovat možnost použití kapacitních čidel v zabezpečovacích systémech v oblasti automotive.

Pro určení polohy bude využit externí GPS modul s integrovanou anténou, pro komunikaci s uživatelem a předávání zpráv o poloze v případě odcizení bude sloužit mobilní telefon komunikující pomocí AT příkazů. Srdce zařízení bude představovat naprogramovaný mikrokontrolér, řešící vlastní inteligenci zařízení.

K určení nestandardní situace v užívání vozidla - ukradení automobilu jako takového či některé jeho části, budou použity tyto senzory: dveřní spínače, akcelerometr pro detekci náklonu vozidla a případná externí, na trhu dostupná čidla (mikrovlnné čidlo, detektor rozbití skla...).

Zvláštní typ senzoru bude představovat kapacitní čidlo zapojené jako samostatná jednotka ve formě tzv. smart senzoru.

1. Přehled trhu s elektronickými zabezpečovacími zařízeními

Na českém trhu se vyskytuje poměrně široká škála typů elektronických zabezpečovacích zařízení pro aplikaci v automobilech, jejichž užitné vlastnosti se odvíjí od jejich pořizovací ceny. Od těch nejjednodušších, jenž jsou představovány pouze blikajícími kontrolkami plnicích spíše „psychologickou“ funkcí, přes autoalarmy hlídající případné odcizení vozidla pomocí skrytých kontaktů umístěných ve dveřích a motorovém prostoru, dále přes sofistikovanější autoalarmy s funkcí imobilizéru, vybavené otřesovými čidly, čidly rozbití oken či detektory poklesu palubního napětí, který vzniká při pokusu o nastartování vozidla, až ke komplexním systémům schopným dálkové lokalizace odcizeného vozu, kdy je nemalá část pořizovací ceny zařízení tvořena non-stop vyhledávací službou, která zajistí v případě krádeže všechny potřebné kroky k nalezení vozidla. Záleží pouze na zákazníkovi, pro které zabezpečovací zařízení se rozhodne, a které bude v adekvátní relaci s chráněným objektem.

Pro všechna zabezpečovací zařízení napříč cenovým spektrem platí několik obecných vlastností: nesmí v žádném případě omezit funkci a bezpečnost vozidla, pokud je užíváno oprávněným uživatelem, musí být snadným způsobem uvedeno do a z aktivního stavu, nejčastěji pomocí dálkového ovladače s plovoucím kódováním, musí dosahovat co nejmenší spotřeby proudu v aktivním stavu, což je důležité především v případech, kdy je vozidlo odstavené.

1.1 Autoalarmy

Zabezpečovací zařízení s funkcí alarmu patřily mezi nejrozšířenější v devadesátých letech 20. století, kdy se elektronika nenacházela na takové úrovni, jako v dnešní době. Většinou se jednalo o zařízení sestavená na bázi číslicových obvodů, či v případě těch jednodušších z analogových obvodů, příkladem budiž operační zesilovač LM741 a časovač NE555. Výstup takovýchto alarmů byl představován většinou sirénou, která svým hlasitým akustickým projevem upozorňovala na pokus o odcizení vozidla, v případě lepších přístrojů imobilizačními kanály, které rozpojily v případě poplachu napájení pro podstatné partie pohonu vozu (vstříkovaní, palivové čerpadlo...). Protože se jednalo o jednoduchá zařízení málo odolná vůči generování falešných poplachů, docházelo u veřejnosti k postupné rezistivitě k akustickým projevům těchto alarmů, i když se jednalo o upozornění na skutečnou krádež. Z policejních spisů lze zjistit, že nemalá část zlodějů odjela i s houkajícím vozem na rušné ulici, aniž by se jim v tom někdo pokusil zabránit, či na krádež upozornil. Pro zkušenějšího zloděje nepředstavovalo větší problém ani vyřazení autoalarmu z funkce, většinou stačilo zespodu motorového prostoru přerušit kleštěmi napájecí vedení z akumulátoru, což představovalo dostatečný úkon v případě alarmu bez záložního zdroje. V případě použití alarmu, který byl vybavený záložním zdrojem, nejčastěji v podobě olověného bezúdržbového akumulátoru, bylo nadále nutné přerušit vedení k siréně, popřípadě spojit ručně rozpojené imobilizační okruhy, pokud jimi byl alarm vybaven. Situaci zlodějům usnadňoval a i nadále usnadňuje i unifikovaný způsob montáže komerčně dostupných autoalarmů, kdy je známo jejich umístění ve vozidle a k jaké části palubní elektroinstalace jsou připojené.

Navzdory uvedeným nedostatkům se jednoduché alarmy používají i v dnešní době, hlavně díky nízké pořizovací ceně a také pokud chceme zabezpečit vozidlo staršího data výroby, u kterého by se nevyplatilo investovat do dražšího, byť dokonalejšího, zařízení.

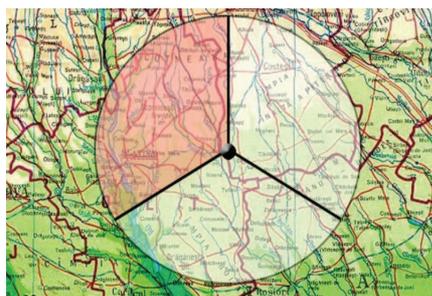
Jako příklad komerčně dostupného alarmu je možno uvést typ Fighter 31 od firmy Legendford / www.dstechnik.cz / v ceně přibližně 800 Kč. Tento alarm je vybavený otřesovým čidlem, dveřními kontakty a kontakty kapoty a kufru, dále lze v případě potřeby připojit externí čidlo, například mikrovlné. Pro aktivaci slouží dálkové ovládání s plovoucím kódováním. Výstup je tvořený sirénou a imobilizačním okruhem.

S vývojem elektroniky, hlavně na poli mikrokontrolérů, a s klesajícími cenami komunikačních technologií, došlo k podstatnému zdokonalení autoalarmů, kdy se z prostředku, jehož hlavní funkce byla představována signalizací neoprávněné manipulace s vozem, stal prostředek dovolující lokalizovat odcizený automobil a to i v případě, že se s ním přesune zloděj na větší vzdálenost a že krádež zjistíme až po delší době. O těchto alarmech pojednává následující kapitola.

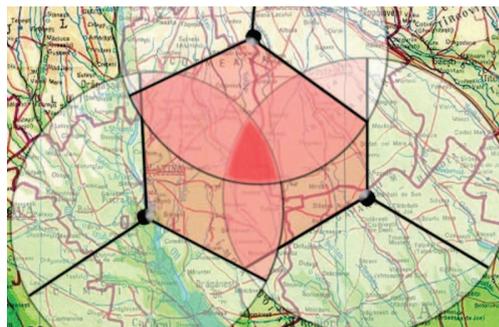
1.2 GPS/GSM autoalarmy

Autoalarm, který je vybavený GSM modulem, umožňuje informovat majitele vozidla nebo jinou oprávněnou osobu o jeho krádeži, i když netráví čas v blízkosti vozu nebo alespoň ve vzdálenosti, na kterou by byl slyšet zvuk sirény. Informování spočívá v odeslání SMS zprávy na mobilní telefon uživatele. V dnešní době lze předpokládat, že většina lidí nosí telefon neustále u sebe, takže můžou neprodleně reagovat na krádež svého majetku. U levnějších alarmů bývá GSM modul nahrazen radiovým modulem vysílajícím zprávu na speciální pager. Nevýhoda tohoto řešení spočívá především v poměrně malé vzdálenosti, na kterou se můžeme vzdálit od vozu, aniž by došlo k výpadku této funkce. Naproti tomu u GSM autoalarmů je garantována funkčnost všude tam, kde se nalézá dostatečné pokrytí signálem některého mobilního operátora.

U vozidla, které je vybavené alarmem s GSM modulem, je možné stanovit jeho aktuální polohu odvozením od polohy základové stanice, se kterou modul v daném okamžiku komunikuje, avšak tato metoda neoplývá přílišnou přesností, hlavně ve venkovských oblastech, kdy jsou základové stanice rozmístěny poměrně řídce (např. 20 km od sebe). Situace je patrná z obrázku Obr. 1.1. Zpřesnění polohy nastává, pokud se vůz pohybuje v městských aglomeracích. Určitého zlepšení můžeme dosáhnout pomocí triangulace ze tří a více základových stanic, s podmínkou, že tuto funkci použítý GSM modul podporuje. Schématické naznačení, jak tato metoda funguje, ukazuje obrázek Obr. 1.2.



(Obr. 1.1) Základní stanice
Převzato z [42]



(Obr. 1.2) Triangulace ze 3 základ. stanic
Převzato z [42]

Nejelegantnější metoda, jak určit aktuální pozici vozu, spočívá v doplnění alarmu GPS modulem. Poté můžeme stanovit polohu sledovaného objektu za příznivých podmínek s přesností řádově v metrech.

Nevýhodou je vyšší pořizovací cena. Zatímco GSM autoalarm CA-1802 „Athos“ od jablonecké firmy Jablotron, vybavený dvoukanálovým GSM modulem, stojí k březnu 2012 u většiny prodejců 6999 Kč, tak stejný alarm rozšířený o GPS modul, prodáváný pod označením CA-1803 „Athos“, atakuje cenu 12000 Kč. Na druhou stranu, oba uvedené alarmy představují výrobky nejvyšší kvality, v obchodech lze zakoupit i levnější, avšak méně kvalitní, modely vyrobené na Dálném východě za cenu téměř o polovinu menší.

V nabídce některých firem se vyskytuje možnost sledování autoalarmu na dálku a v případě, že je vozidlo ukradeno, vyjíždí do terénu, po potvrzení majitele o odcizení vozu, lokalizační tým, jehož úkolem je nalezení automobilu a následně v součinnosti s Policií ČR jeho získání zpět. Tuto službu nabízejí například firmy Sherlog.cz / www.sherlog.cz /, která provozuje vlastní radiovou síť s pokrytím celé České republiky, pomocí níž jsou nezávisle na provozovateli mobilních sítí monitorovány dodávané alarmy, a firma Jablotron se svým systémem OKO / www.oko2.cz /.

GPS/GMS alarmy nabízející i další funkce, které nesouvisí přímo se zabezpečením vozidla, ale které zlepšují komfort v užívání vozu: možnost dálkového řízení systémů vozidla pomocí mobilního telefonu, např. zapnutí vytápění, vedení knihy jízd a další.

Pro ilustraci stavu dnešní techniky v oblasti zabezpečení vozidel následuje krátký popis již zmíněného autoalarmu nejvyšší kategorie s GPS/GSM modulem CA-1803 „Athos“. Tento popis je převzatý ze stránek výrobce, kde se nacházejí i další doplňující informace [43].

Tento alarm kombinuje v jednom zařízení jak zabezpečení automobilu, imobilizér, komunikaci na mobilní telefon, sledování provozu vozidla, tak i přijímač GPS souřadnic. Pro ovládání alarmu je možno použít vlastní dálkové ovladače či k jeho ovládání využít původního dálkového ovládání automobilu. Ovládání GSM alarmu je možné i z nastavených mobilních telefonů pomocí textových zpráv nebo také pouhým prozvoněním.

Alarm reaguje na otevření dveří, zapnutí klíčku zapalování, otevření kufru nebo kapoty a na pokles napětí vyvolaný zapnutím spotřebiče ve vozidle. Alarm lze rozšířit o bezdrátové detektory, které mohou střežit prostor vozu nebo jeho okolí (garáž). Pro snadnější přístup například do garáže lze u těchto detektorů nastavit zpoždění poplachu.

Při poplachu je aktivována siréna, jsou odeslány SMS zprávy o narušení a dojde k zavolání na přednastavená telefonní čísla. Texty SMS obsahují podrobnou informaci o zdroji a typu narušení, GPS souřadnice s časem, nadmořskou výšku, rychlost, datum a čas místní GSM sítě.

Pomocí zprávy SMS lze na dálku zapnout imobilizační okruh a znemožnit tak použití vozu v době, kdy dojde například ke zcizení klíčů. Alarm lze doplnit hands-free sadou, díky níž lze během poplachu odposlouchávat dění ve vozidle.

Stav autobaterie je neustále monitorován a pokud dojde k jejímu vybití, je o této skutečnosti zaslána zpráva na daný mobilní telefon a alarm se přepne na záložní zdroj.

Souřadnice poskytnuté GPS modulem neslouží pouze k nalezení vozidla během jeho odcizení, ale i k záznamu ujeté dráhy, k čemuž se v alarmu nachází zabudovaná paměť pro několik tisíc údajů. Navíc jsou data z GPS bezdrátově vysílána během jízdy z alarmu pomocí technologie Bluetooth. Tyto informace lze využít jako zdroj dat GPS pro kapesní počítač nebo mobilní telefon s operačním systémem a ve spolupráci s navigačním software využít pro navigaci při jízdě.

Nadstandardní funkci představuje možnost komunikace jednotky Athos se vzdáleným serverem pomocí datových přenosů GPRS. Server zpracovává data z jednotky do přehledné knihy jízd, může zobrazovat momentální polohu vozidla nebo víc vozidel pro potřeby dispečera. Server má i bezpečnostní část, která upozorní operátora pultu centrální ochrany na napadení vozidla.

Operátor se v případě poplachu okamžitě pokusí kontaktovat majitele vozidla a jestliže ho nezastihne, nebo je poplach potvrzen, posílá na místo zásahovou jednotku. Služby střežení a kniha jízd jsou placené, ale cenově velmi dostupné.

Kromě popsaných funkcí obsahuje alarm možnost definovat velké množství volitelných funkcí, které je možno nastavovat pomocí programovacích SMS nebo i přístupem přes chráněnou webovou stránku GSMLink s heslovaným přístupem.

Podoba nenamontovaného alarmu se nachází na obrázku Obr. 1.3.



(Obr. 1.3) Autoalarm Athos CA-1803
Převzato z [43].

Z krátké recenze uvedeného autoalarmu je patrná technická vyspělost zařízení a velké množství funkcí, kterými tento alarm disponuje. Ve světle těchto faktů se zdá výše ceny za tento výrobek oprávněná.

V rámci své diplomové práce na téma konstrukce zabezpečovacího zařízení se budu snažit u svého výrobku některým funkcím popsanému autoalarmu přiblížit, avšak se zachováním co nejnižších nákladů na vývoj a výrobu.

2. Koncepce a funkce zařízení

Jak již bylo nastíněno v úvodu, cílem tohoto projektu bylo navrhnout a fyzicky realizovat elektronické zabezpečovací zařízení pro použití v automobilech, jenž bude schopné v případě odcizení vozu poslat majiteli zprávu o tomto činu, spolu se zeměpisnými souřadnicemi, kde se aktuálně vozidlo nalézá. To, že ke krádeži došlo, zařízení pozná na základě vyhodnocení vstupních signálů, které budou zprostředkovány několika druhy senzorů.

Autoalarm bude vycházet z konceptu GPS/GMS autoalarmů, které jsou popsány výše. Ke zjišťování geografické polohy bude nasazen komerčně vyráběný GPS modul s integrovanou anténou, jako GMS transceiver bude sloužit, hlavně z cenových důvodů, vyřazený, ale funkční mobilní telefon. Alarm bude vybavený opticky oddělenými vstupy pro připojení dveřních kontaktů, kontaktů kapoty a kufru a vstupem pro detekci sepnutí klíčku v zapalování. Podobné vstupy budou sloužit i pro připojení externích čidel a hlavně kapacitního senzoru, jehož vývoj a otestování v aplikaci automotive zabezpečení, představuje jeden ze stěžejních bodů této práce. Pro detekci náklonu vozidla, například při pokusu o krádež pneumatiky, bude sloužit tříosý akcelerometr ve funkci měření statického zrychlení.

Zařízení bude vybaveno imobilizačním okruhem, který bude řešený pomocí silového relé s jmenovitým proudem kontaktů alespoň 10 A, další výstupy budou realizovány pomocí výkonových MOSFET tranzistorů, jejichž prostřednictvím bude možno řídit například centrální zamykání či spínat interiérovou tlakovou sirénu, vytvářející fyziologicky silně nepříznivé prostředí uvnitř vozu.

Zvláštní doplňkové vstupní a výstupní rozhraní bude představováno komunikační sběrnici CAN bus, která bude sloužit pro styk s dalšími elektronickými systémy, jako např. s palubním počítačem.

K aktivaci či deaktivaci alarmu bude sloužit komerční dálkové ovládání s plovoucím kódováním, v případě ztráty klíčů či vybití baterie bude k tomuto úkonu sloužit speciální SMS zpráva odeslaná na číslo GSM modulu – telefonu. Potvrzení o aktivaci/deaktivaci bude zprostředkováno probliknutím blinkrů, tyto budou spínány pomocí druhého silového relé.

Pro interakci s uživatelem bude použita kromě GSM modulu svítivá dioda a malá piezo sirénka.

Alarm bude detekovat napětí autoakumulátoru a při poklesu jeho napětí pod nastavenou úroveň podá o tomto faktu zprávu uživateli, funkčnost zařízení bude jistěna při výpadku palubního napětí pomocí záložního zdroje, jenž bude při znovuzapojení hlavního zdroje automaticky dobit.

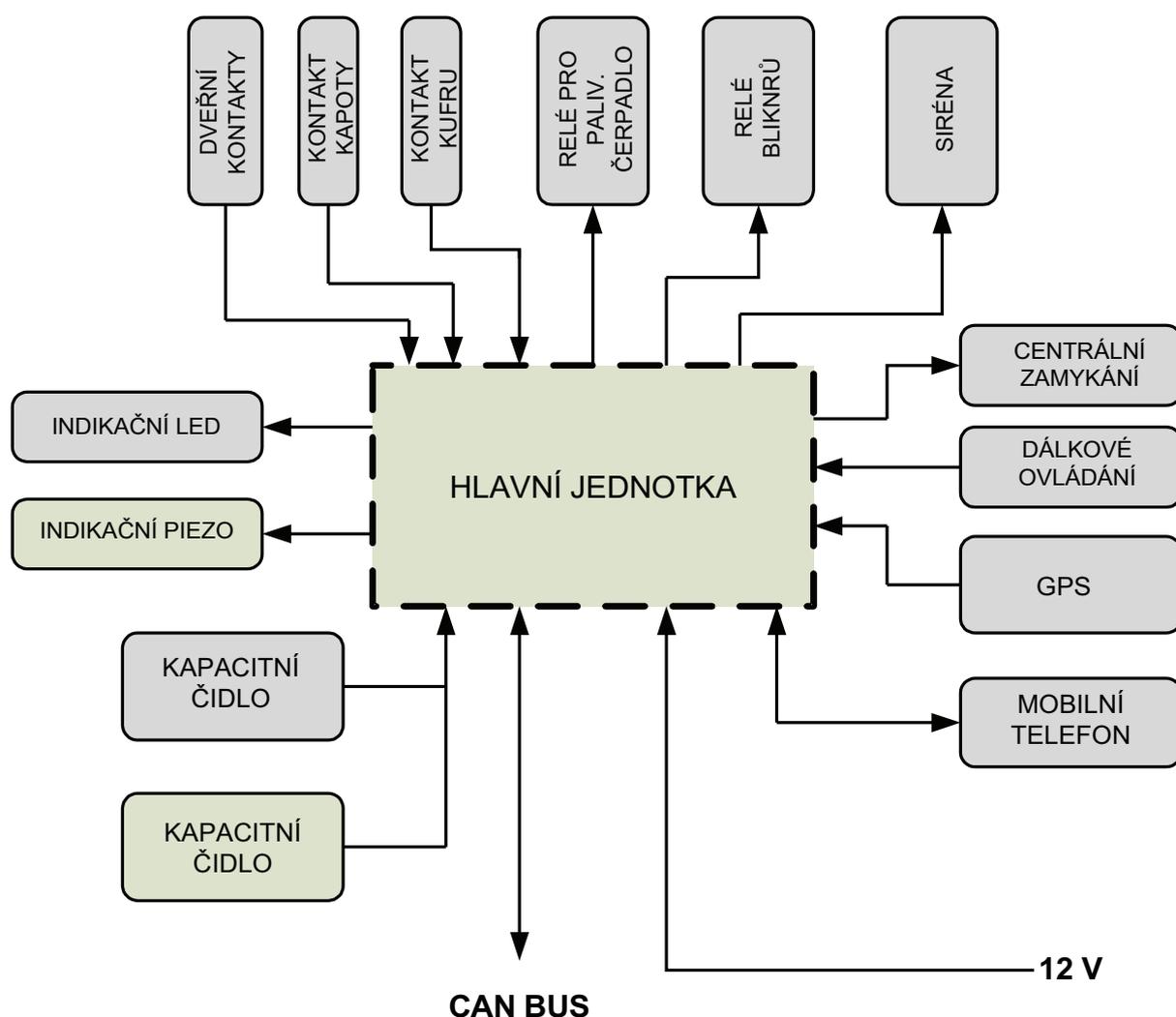
Celé zařízení bude umístěno v plastové krabičce KP45D, určené pro průmyslové aplikace. K připojení vstupních a výstupních vodičů budou součástí desky dostatečně proudově dimenzované konektory.

Protože bude zařízení pracovat ve specifických podmínkách, se kterými se lze setkat v oblasti automotivní, bude muset splňovat několik podmínek :

- velmi malá spotřeba v aktivním stavu, nejlépe kolem 1 mA
- odolnost vůči vysokým či naopak nízkým teplotám
- odolnost vůči vlhkosti
- odolnost vůči vibracím
- v případě poruchy zařízení musí být vozidlo plně provozuschopné
- zařízení nesmí rušit ostatní palubní elektroniku a ani nesmí být cizím rušením ovlivněno
- co nejnižší cena

3. Návrh řešení – bloková schémata

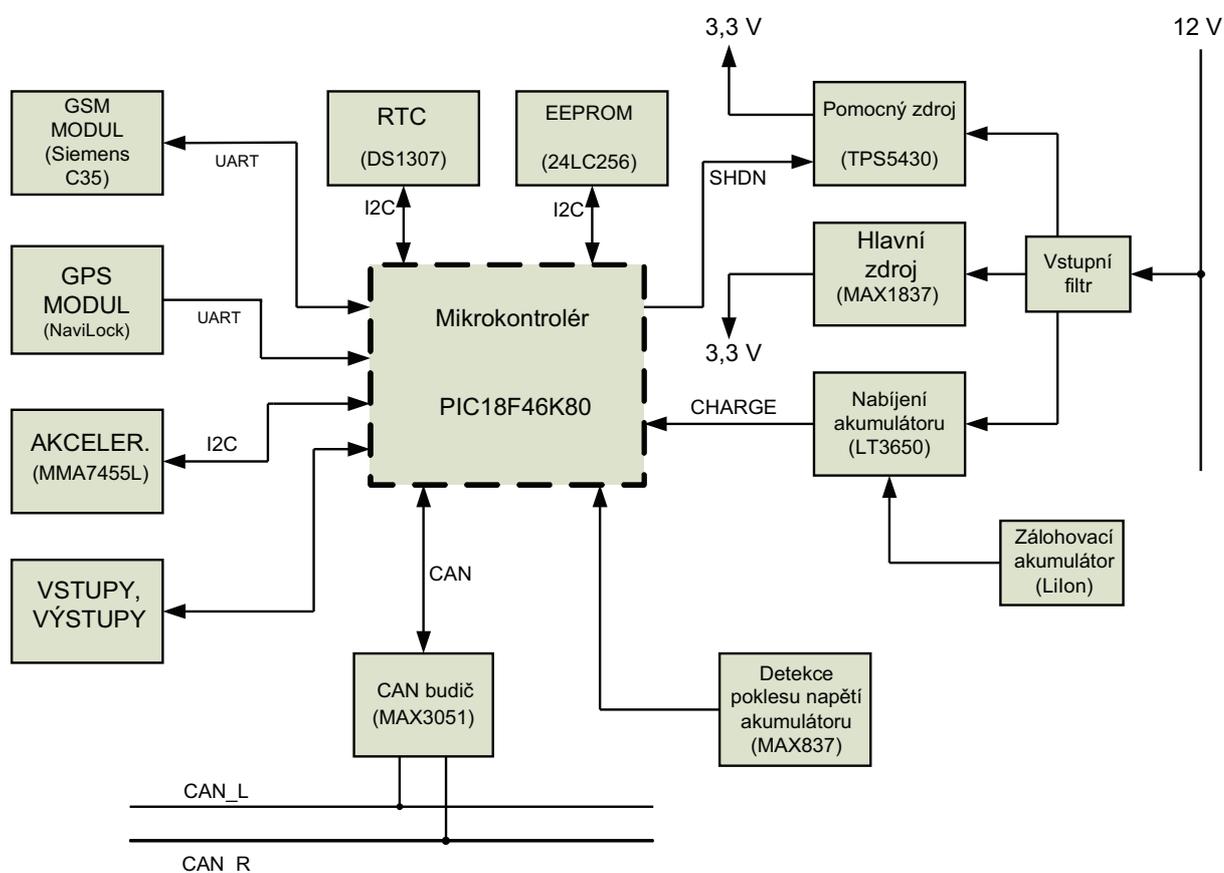
Na obrázku Obr. 3.1 se nachází blokové schéma vyvíjeného zařízení z celkového pohledu. Jádrem systému je tvořeno hlavní jednotkou, ke které jsou pomocí konektorů připojena čidla pro detekci nedovolené manipulace s vozidlem. Hlavní jednotka je propojena přes pojistku umístěnou uvnitř přístroje s palubní sítí vozidla. Přes silové výstupy jsou ovládány blinkery a jističe palivového čerpadla. Dislokované inteligentní kapacitní senzory umožňují pomocí rozbočovacích konektorů kaskádní připojení dalších senzorů za sebou, což vede k úspoře vodičů a vstupních konektorů hlavní jednotky. GPS modul musí být umístěn takovým způsobem, aby nebyl odstíněn od signálu, ale zároveň nebyl snadno vyřaditelný z provozu. To samé platí i pro mobilní telefon. Sběrnice CAN bus nebyla v projektu využita ke konkrétní funkci, ale počítá se s jejím využitím do budoucna.



(Obr. 3.1) Celkové blokové schéma systému
Kresba autor

Celá konstrukce byla vytvářena na míru pro vůz Škoda Felicia, ale neměla by se vyskytnout podstatnější překážka bránící tomu, aby bylo zařízení namontováno do jiného typu vozidla. Způsob připojení alarmu k palubní elektroinstalaci automobilu je naznačen v kapitole 9.3. Z obrázku Obr. 3.1 není patrná vnitřní struktura řídicí části a inteligentních kapacitních čidel, proto byly vytvořeny další dvě bloková schémata, nacházející se na obrázcích Obr. 3.2 a Obr. 3.3.

3.1 Hlavní část



(Obr. 3.2) Blokové schéma řídicí jednotky
Kresba autor

Celá hlavní část sestává z několika bloků, které jsou řízené osmibitovým mikrokontrolérem PIC18F46K80 od severoamerického výrobce polovodičových součástek, firmy Microchip.

Mezi tyto bloky patří obvod reálného času (RTC) typu DS1307 od firmy Maxim, pomocná paměť EEPROM o velikosti 32 kB – typ 24LC256, která nebyla v projektu aplikačně využita, ale v budoucnu se uvažuje její nasazení ve funkci dataloggeru, dále tříosý digitální akcelerometr MMA7455 komunikující po sběrnici I2C, pro navázání výstupních silových obvodů k mikrokontroléru je použito tranzistorové pole ULN2003, samotné výstupy jsou tvořeny dvěma relé GL05V – 12 a dvěma HIGH-SIDE MOSFET tranzistory IRF7240.

Vstupní obvody ve formě optočlenů PC817 zajišťují galvanické oddělení hlavní jednotky od senzorů.

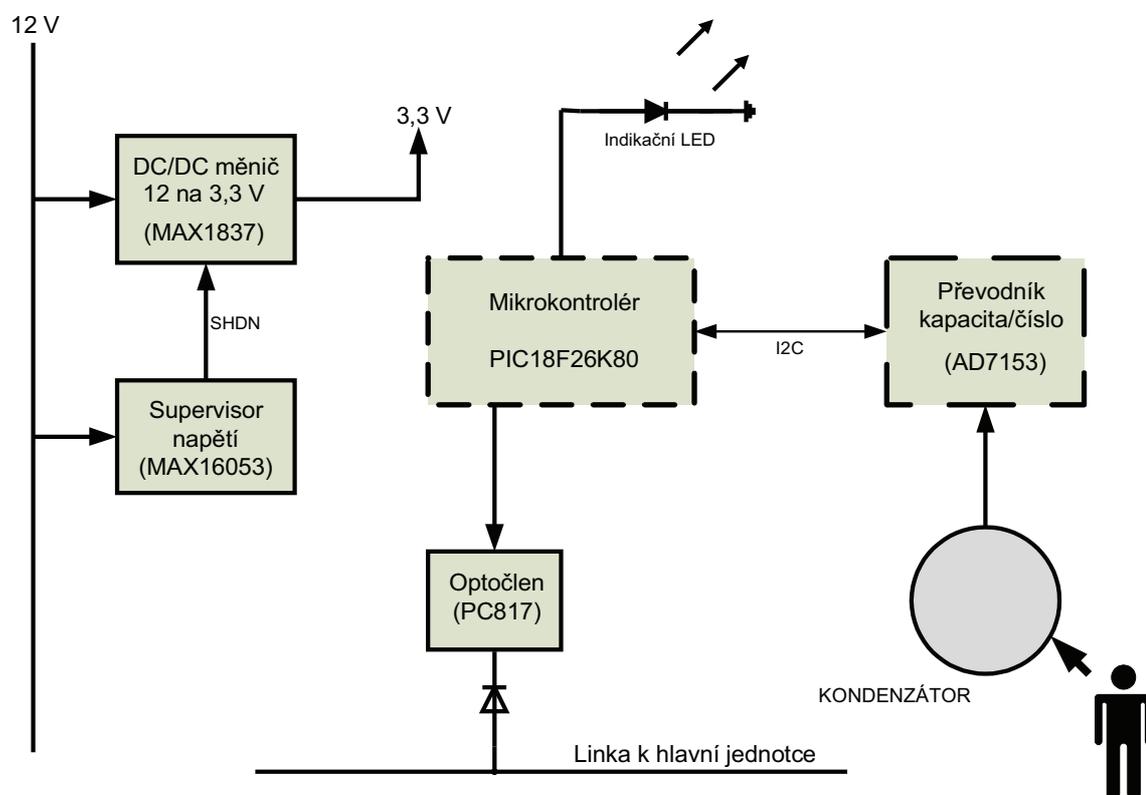
Protože se jedna z podmínek funkce zařízení týkala nízké spotřeby v aktivním režimu, obsahuje hlavní část dva zdroje, z nichž první, představovaný spínaným STEP-DOWN měničem MAX1837, je neustále v provozu bez ohledu na to, v jakém stavu se systém nachází (aktivní režim, poplach, jízda vozem), zatímco druhý měnič TPS5420 od firmy Texas Instrument je aktivován zvláštním signálem v případě potřeby získání dat z GPS přijímače či potřeby komunikace pomocí telefonu. V případě výpadku palubního napájení je funkčnost alarmu zálohována dvěma Li-Ion akumulátory typu 18650 s kapacitou 3000 mAh od výrobce Sony. Dobíjení vybitých akumulátorů je zajištěno pomocí spínaného nabíjecího obvodu pro dva Li-Ion články LT3650 od firmy Linear Technology. Velikost napětí autobaterie je hlídána pomocí supervisorového obvodu MAX837, který v případě poklesu napětí vyvolá svým výstupem přerušování mikrokontroléru. Jako budič CAN sběrnice se v hlavní jednotce nachází nízkoodběrový obvod MAX3051.

Palubní napájecí napětí je na vstupu hlavní jednotky filtrováno z důvodu zmenšení rušení pomocí LC filtru tvořeného proudově kompenzovanou tlumivkou a dvěma kondenzátory, pro eliminaci vlivů přepětí obsahuje jednotka tranzil pro rychlé děje a pro pomalé s vyšší energií varistor a pojistku.

Z konstrukčního hlediska je hlavní část realizována na dvou deskách plošných spojů, které jsou navzájem spojené pomocí hřebenových propojek. Na první desce se nachází spínané zdroje a akumulátory včetně nabíjecího obvodu, na druhé zbytek obvodů.

Jednotlivá schémata zapojení hlavní části (zdrojová část, vstupně – výstupní obvody a mikroprocesorová část) se nacházejí v příloze A.

3.2 Inteligentní kapacitní senzor



(Obr. 3.3) Blokové schéma inteligentního kapacitního senzoru
Kresba autor

Srdce inteligentního kapacitního senzoru je představováno mikrokontrolérem PIC18F26K80, který je napájen ze spínaného nízkoodběrového měniče napětí MAX1837. Správná velikost vstupního napájecího napětí z autobaterie je hlídána pomocí hlídače napětí MAX16053, který v případě nedefinovaných stavů (pokles napětí, zakmitávání...) vyřadí měnič a tím celý senzor z provozu. K měření kapacity a jejímu převodu do digitální podoby slouží konvertor kapacita/číslo (CDC) AD7153, tento obvod komunikuje s nadřazeným mikrokontrolérem pomocí I2C sběrnice. Měřený kapacitor musí být izolován od zemního potenciálu, musí být takzvaně plovoucí.

Pro navázání k hlavní jednotce alarmu je použit výstupní obvod v podobě optočlenu s diodou, která vytváří logickou funkci OR, což umožňuje připojit více senzorů na stejnou linku.

Jako indikační prvek slouží světloemitující dioda.

CDC obvod a měřená kapacita představují jeden celek, jednu desku plošných spojů, zatímco mikrokontrolér a napájecí obvody jsou umístěny na desce druhé. Oba celky jsou pak spojeny navzájem pomocí konektoru a plochého vícežilového kabelu.

4. Inteligentní kapacitní senzor

V následující kapitolách bude vysvětlen pojem kapacitní senzor, jeho použití, výhody a nevýhody, principy měření kapacity s ohledem na jejich praktické využití, problematika a nasazení kapacitních senzorů v oblasti automotive, konstrukce inteligentního senzoru s obvody firmy Analog Device.

4.1 Pojem kapacitní senzor a princip jeho funkce

Kapacitní senzory se používají k detekci vodivého či nevodivého předmětu v blízkosti senzoru na základě změny měřené kapacity, kterou detekovaný předmět svou přítomností vyvolává.

Jako snímací prvek se používá kovová elektroda, u běžných průmyslových senzorů ve tvaru kotouče, umístěna uvnitř válcového vodivého pouzdra tvořícího stínění, tyto dvě části pak spolu tvoří kondenzátor, jehož kapacita sestává ze dvou složek – základní kapacity C_z závislé jak na fyzikálních vlastnostech použitého materiálu kondenzátoru senzoru, které by měly být neměnné v čase, tak na geometrickém tvaru konstrukce, a kapacity C_p , která vyjadřuje svou proměnlivostí přítomnost předmětu v blízkosti senzoru.

Celková kapacita kondenzátoru je pak tvořena součtem obou složek:

$$C_c = C_p + C_z \quad [F] \quad (1)$$

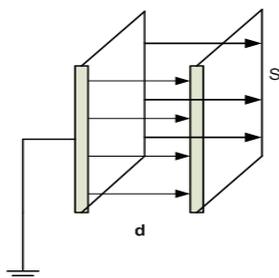
Na proměnlivé složce C_p závisí detekční schopnosti senzoru, pokud nastane požadavek na detekci malého předmětu, předmětu z nevyhovujícího materiálu (viz typy předmětů) nebo, v častém případě, požadavek na detekci předmětu nacházejícího se relativně daleko od senzoru, musí být senzor zkonstruovaný takovým způsobem, aby došlo vlivem přítomnosti těchto předmětů k takové změně kapacity, jejíž velikost budeme schopni změřit a vyhodnotit, což představuje problém hlavně u běžných průmyslových senzorů vybavených jednoduchým elektronickým měřicím a vyhodnocovacím systémem. Více informací o způsobech měření kapacity je uvedeno v kapitole 4.3.1.

V průmyslové praxi se lze především setkat se dvěma typy kapacitních senzorů pro detekci předmětů. První, méně častý, používaný převážně v agrovýrobě pro detekci pícnin a podobných surovin v zásobnících, využívá rovinný dvoudeskový kapacitor, mezi jehož deskami se pohybují detekované předměty. Kapacitu takového kondenzátoru můžeme vyjádřit pomocí následujícího vzorce:

$$C_{\text{DESKKAP}} = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d} \quad [C] \quad (2)$$

kde ε_0 permitivita vakua ($8,89 \cdot 10^{-7}$ F/m)
 ε relativní permitivita
 S plocha elektrod
 d vzdálenost elektrod

Situace je schématicky znázorněna na obrázku Obr. 4.1.



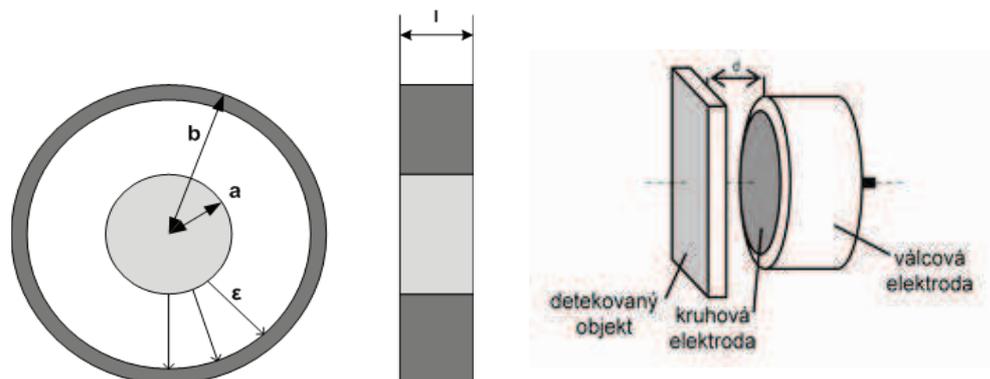
(Obr. 4.1) Deskový kondenzátor
Kresba autor.

Druhý typ, se kterým se lze setkat téměř na každém kroku v průmyslové výrobě, využívá kapacitor se soustředně umístěnými elektrodami (válcový kondenzátor), jehož kapacitu lze vyjádřit pomocí vzorce:

$$C_{\text{KULKAP}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{l}{\ln \frac{b}{a}} \quad [\text{F}] \quad (3)$$

kde ε_0 permitivita vakua ($8,89 \cdot 10^{-7}$ F/m)
 ε relativní permitivita
 b poloměr
 a poloměr
 l délka

Situace je schématicky znázorněna na obrázku Obr. 4.2.



(Obr. 4.2) Válcový kondenzátor
Část kresba autor, část převzata z [2].

Způsob výpočtů obou kapacit se nachází ve skriptech [15].

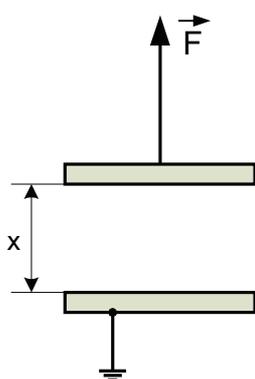
Z obou vzorců (2) a (3) vyplývá, že velikost změny kapacity kondenzátoru je závislá na mechanické konstrukci senzoru samotného, na dielektrických vlastnostech detekovaného předmětu (dáno hodnotou relativní permitivity) a na způsobu, jakým je senzor předmětem ovlivňován.

Z hlediska detekce předmětu existují tři základní způsoby ovlivňování senzoru, které vedou buď ke zmenšení nebo zvětšení kapacity kondenzátoru:

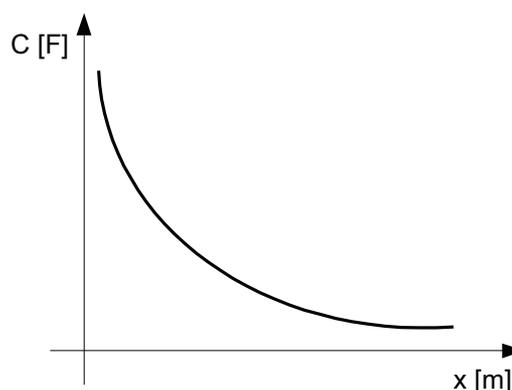
1. Změna vzdálenosti elektrod

Při tomto způsobu ovlivňování senzoru je závislost kapacity na vzdálenosti x představována nepřímou úměrou, čím nastane větší vzdálenost mezi elektrodami kondenzátoru, tím menší bude kapacita a obráceně. Dosažitelná vzdálenost se pohybuje v jednotkách až desítkách milimetrů.

Situace je patrná z obrázku Obr. 4.3 a grafu Graf 4.1.



(Obr. 4.3) Kondenzátor s proměnlivou vzdáleností elektrod.
Překresleno z [1].

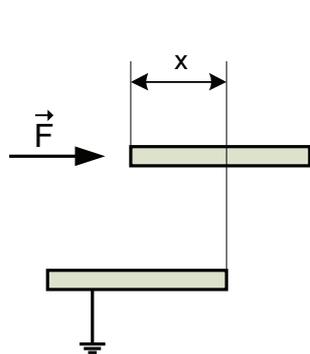


(Graf 4.1) Závislost kapacity na vzdálenosti
Překresleno z [1].

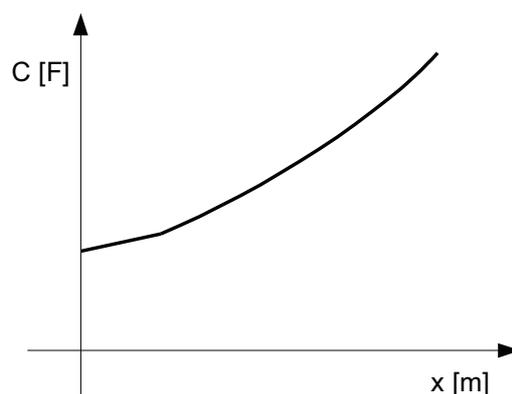
Takové to ovlivňování kondenzátor je využíváno spíše v senzorech, jejichž cílem není detekovat přítomnost či vzdálenost předmětu, ale pomocí změny kapacity měřit různé fyzikální veličiny, např. tlak či akceleraci (viz kapitola 7.1).

2. Změna aktivní plochy kondenzátoru

Tento způsob ovlivňování kapacitního senzoru je charakterizován vzájemným posuvem elektrod kondenzátoru v podélném směru. Situace je patrná z obrázku Obr. 4.4. Na rozdíl od předchozího bodu je závislost lineární, čím větší je aktivní plocha kondenzátoru, tím větší je naměřená kapacita, s výjimkou minimálního překryvu (Graf 4.2).



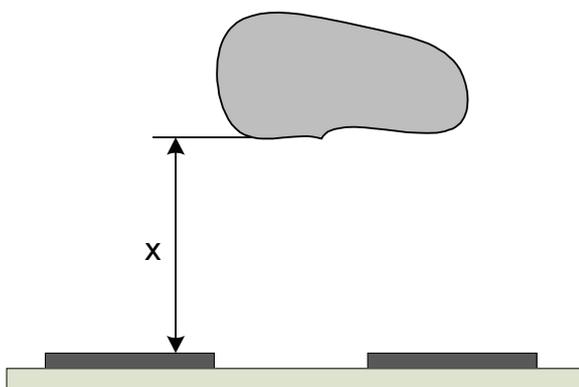
(Obr. 4.4) Kondenzátor s překryvnými elektrodami
Překresleno z [1].



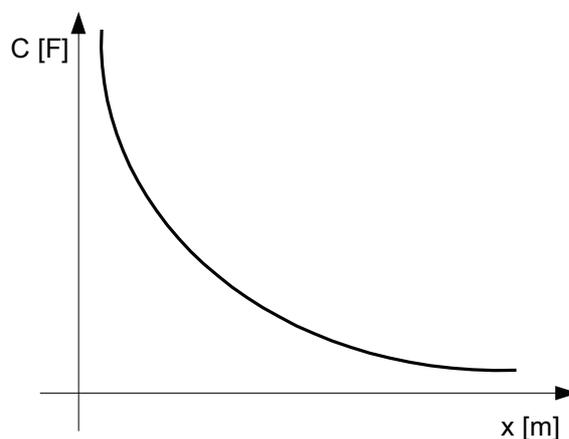
(Graf 4.2) Závislost kapacity na překryvu
Překresleno z [1].

3. Změna dielektrika kondenzátoru

Jedná se patrně o nejčastější způsob, jak zapříčinit změnu kapacity senzoru. Pokud se vyskytne v blízkosti senzoru předmět s dielektrickou konstantou, jejíž hodnota je větší než dielektrická konstanta vzduchu, projeví se to zvětšením kapacity kondenzátoru (Obr. 4.5). Závislost velikosti kapacity na vzdálenosti předmětu o určité permitivitě se vyznačuje nelineárním průběhem (Graf 4.3), z tohoto důvodu nejsou kapacitní senzory vhodné pro přesné měření vzdálenosti, ale spíše pro stanovení, jestli se nějaký předmět nachází v blízkosti senzoru či ne.



(Obr. 4.5) Kondenzátor vs. dielektrikum
Kresba autor



(Graf 4.3) Závislost kapacity na vzdálenosti
Kresba autor

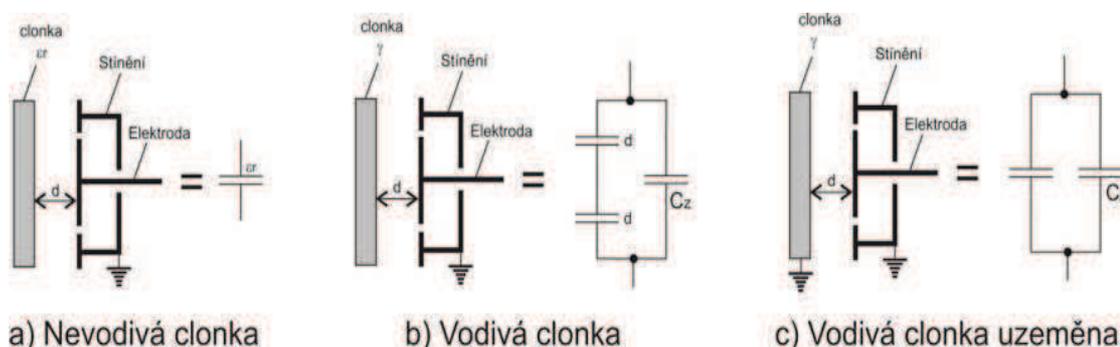
4.2 Typy detekovaných předmětů

V zásadě je možné ovládat kapacitní senzory třemi způsoby v závislosti na elektrických vlastnostech předmětu: pomocí elektricky nevodivého předmětu či předmětu vodivého, který může být uzemněný či izolovaný od země.

V případě přiblížení nevodivého předmětu (např. plasty, sklo) dochází ke zvýšení celkové kapacity kondenzátoru vlivem změny dielektrika v rozsahu elektrického pole senzoru, avšak tato změna je poměrně malá a silně závislá na rozměrech a dielektrické konstantě ϵ_r detekovaného předmětu (Obr. 4.6a). Čím větší bude poměr mezi permitivitou detekovaného předmětu a základní permitivitou kondenzátoru senzoru, tím větší detekovatelné vzdálenosti dosáhneme.

Přiblížením vodivého předmětu o měrné vodivosti γ , například z kovu, který je izolovaný od zemního potenciálu, dojde ke vzniku dvou, v sérii zapojených kondenzátorů, jejichž celková kapacita je orientována paralelně k základní kapacitě senzoru (Obr. 4.6b). První ze vzniklých kondenzátorů symbolizuje kapacitu mezi aktivní elektrodou a předmětem a druhý kapacitu mezi stíněním senzoru a předmětem. Nárůst kapacity a tím i detekovatelné vzdálenosti dosahuje větších hodnot než v případě předmětu nevodivého.

Největší detekovatelné vzdálenosti dosáhneme v případě detekce vodivé, uzemněné překážky. Její přiblížení zapříčiní vznik přídavné kapacity mezi aktivní elektrodou kondenzátoru senzoru, která je připojena paralelně ke kapacitě základní (Obr. 4.6c). Při detekci uzemněného předmětu můžeme využít pouze jednu elektrodu, protože tu druhou tvoří samotný detekovaný předmět. Jeho přibližováním a oddalováním se pak mění vzájemná vzdálenost obou elektrod a tím i kapacita. Dielektrikum je pak představováno volným prostorem mezi nimi, tedy obvykle vzduchem.



(Obr. 4.6) Ovlivňování kondenzátoru
Převzato z [1].

Jak již bylo uvedeno výše, v případě detekce nevodivého předmětu dochází k rozdílné změně kapacity ΔC , která je závislá na materiálu překážky a její relativní permitivitě ϵ_r . Tento jev je potom pozorovatelný na výstupu senzoru jako změna spínacího bodu. Proto došlo v praxi k zavedení tzv. redukčního činitele. Ten říká, kolikrát se zmenší spínací vzdálenost u daného materiálu překážky, vzhledem ke jmenovité spínací vzdálenosti, která platí pro referenční, uzemněný kovový předmět.

V tabulce Tab. 4.1 jsou shrnuty hodnoty ϵ_r a redukčního činitele pro některé běžné látky.

(Tab. 4.1) Vlastnosti materiálů, zdroj [2].

Materiál	ϵ_r	Redukční činitel
vzduch	1	0
teflon	2	0,2
olej	2,2	0,25
polyethylen	2,3	0,26
PVC	2,9	0,27
plexisklo	3,2	0,29
led	4	0,32
FR4 (cuprexit)	4,7	0,38
sklo	5	0,4
mramor	8	0,5
alkohol	25,8	0,72
voda	80	1
kov	-	1

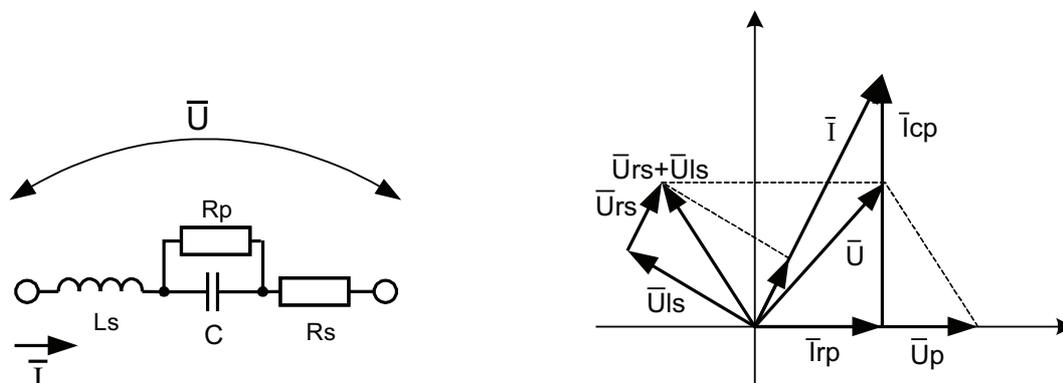
Dielektrické materiály jako plexisklo či sklo z počátku tabulky o nízké relativní permitivitě se někdy používají jako krycí vrstvy kapacitních senzorů za účelem ochrany vůči vnějším vlivům a zvýšením odolnosti vůči nezodpovědnému zacházení. Tyto materiály zapříčiní sice zvětšení základní kapacity senzoru, ale tato změna je v relaci se změnami vyvolanými detekovanými předměty velmi malá.

4.3 Způsoby měření a detekce změny kapacity senzoru

Schopnost detekce předmětu pomocí kapacitního senzoru nezávisí pouze na provedení vlastního kondenzátoru senzoru, typu a materiálu detekovaného předmětu, ale i na způsobu a kvalitě měření kapacity. Je dobré si uvědomit, že v případě detekce nevodivého předmětu se hodnoty změny kapacity pohybují v řádech fF. I na tyto nepatrné změny musí čidlo adekvátně reagovat, což si žádá nasazení stabilního, citlivého měřicího obvodu s vysokým rozlišením, jehož výroba a nastavení představuje poměrně komplikovaný proces.

Celou situaci komplikuje navíc fakt, že v reálném světě neexistuje kondenzátor jevící pouze kapacitní složku, ale kondenzátor, který vykazuje navíc i ztráty způsobené nedokonalou izolací dielektrika, projevující se jako svodový odpor, a ohmickým odporem elektrod. V případě, že je kondenzátor zapojený do obvodu střídavého proudu, začnou se projevovat od určitých kmitočtů i indukčnosti přívodů a ztráty způsobené střídavou polarizací dielektrika. V případě vysokého impulsního zatížení kondenzátoru stoupá i vliv tzv. zbytkové indukčnosti. Ideální kondenzátor obrací fázi proudu o 90° , zatímco u reálného je možno pozorovat fázový rozdíl mezi napětím a proudem menší, v závislosti na parazitních prvcích kondenzátoru.

Rozdíl mezi ideální fází, který činí 90° a fází reálného kondenzátoru, se nazývá ztrátový úhel δ . V praxi je ale spíše možno narazit na veličinu $\text{tg}\delta$. Na obrázku Obr. 4.7 se nachází kompletní náhradní schéma reálného kondenzátoru, spolu s fázorovým diagramem.

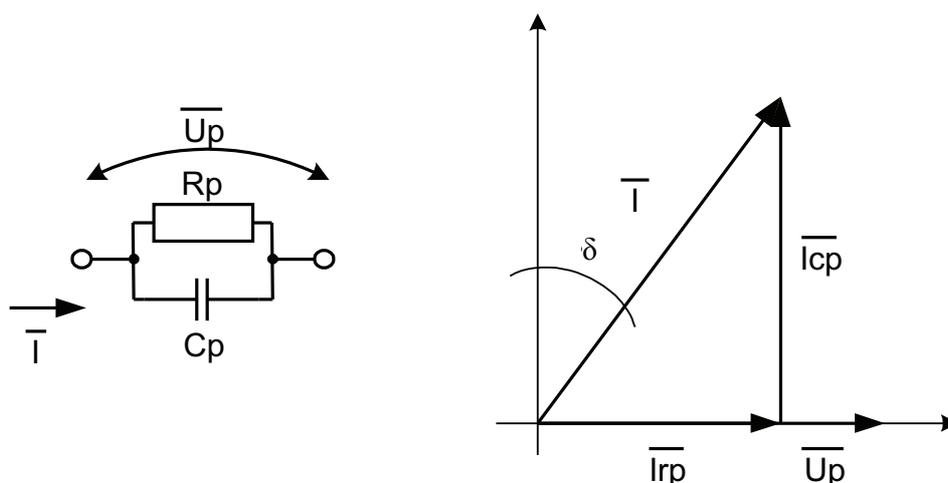


(Obr. 4.7) Reálný kondenzátor
Kresba autor

Rezistor R_s představuje vnitřní ztráty kondenzátoru, vliv dielektrických ztrát a vliv odporu přívodů. Pro tento parazitní rezistor se vžil v praxi pojmenování ESR (ekvivalentní sériový rezistor), jeho hodnota by se měla pohybovat v řádech stovek miliohmů. Rezistor R_p vyjadřuje konečné hodnoty izolace dielektrika.

Indukčnost L_s a kapacita C tvoří navzájem sériový rezonanční obvod, jehož impedance závisí na velikosti kmitočtu procházejícího proudu. Při vysokých kmitočtech ztrácí kondenzátor vliv kapacitní složky a začíná se chovat jako indukčnost.

Toto náhradní schéma můžeme za jistých okolností zjednodušit, v případě kondenzátoru s nedokonalým dielektrikem pracujícím při nízkých kmitočtech můžeme vypustit všechny parazitní sériové prvky a ponechat pouze paralelní kombinaci odporu R_p a kapacity C_p . Situace se nachází na obrázku Obr. 4.8.



(Obr. 4.8) Paralelní kombinace R a C
Kresba autor

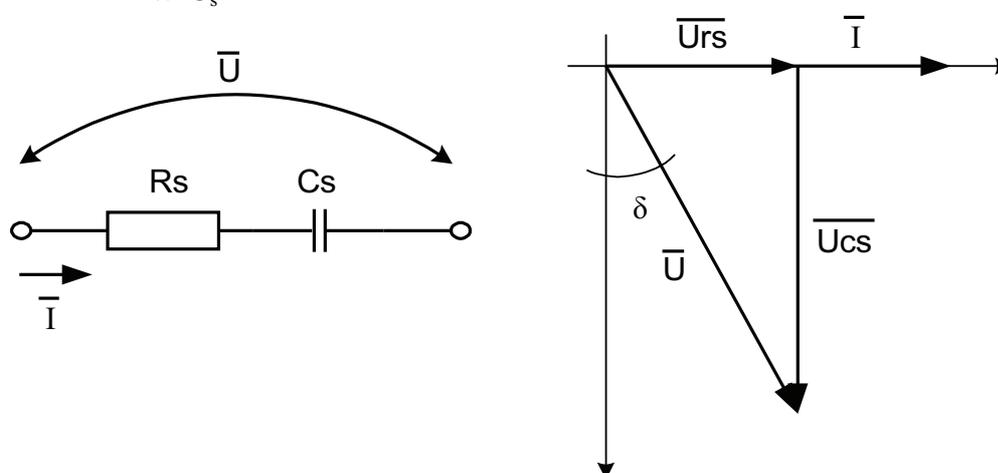
V tomto případě se velikost ztrátového úhlu $\text{tg}\delta$ spočítá pomocí vzorce:

$$\text{tg}\delta = \frac{I_{Rp}}{I_{Cp}} = \frac{U_p}{R_p} \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_p \cdot U_p} = \frac{1}{\omega \cdot C_p \cdot R_p} \quad (4)$$

V případě kondenzátoru s vysokým odporem přívodů je možno zjednodušit náhradní schéma reálného kondenzátoru z Obr. 4.7 na schéma na Obr. 4.9 zanedbáním svodového odporu, za podmínky práce při nízkém kmitočtu.

Velikost ztrátového úhlu $\text{tg}\delta$ se stanoví dle vzorce:

$$\text{tg}\delta = \frac{U_R}{U_{Cs}} = \frac{R_s \cdot I}{\frac{I}{\omega \cdot C_s}} = \omega \cdot C_s \cdot R_s \quad (5)$$



(Obr. 4.9) Sériová kombinace R a C
Kresba autor

Čím menšího ztrátového úhlu u kondenzátoru dosáhneme, tím je kondenzátor kvalitnější a vhodnější pro práci v obvodech se střídavými či impulsními proudy.

4.3.1 Měřící obvody pro běžně používané kapacitní senzory

Aby kapacitní senzory správně pracovaly, je potřeba vyloučit vliv parazitních kapacit přívodů od vlastních elektrod kondenzátoru k měřicímu obvodu. Jejich škodlivý účinek se projevuje jak zmenšením citlivosti senzoru růstem základní složky kapacity C_z , tak i vznikem chyby při změnách polohy přívodů či jejich teploty. Jeden ze způsobů řešení tohoto problému spočívá ve zkrácení přívodů mezi kondenzátorem a měřicím obvodem jejich umístěním co nejbliž k sobě. V případě nemožnosti použít toto řešení je nutné eliminovat parazitní kapacity speciálními měřicími obvody, jejichž konstrukce závisí především na typu elektrod kondenzátoru (uzemněné či neuzemněné).

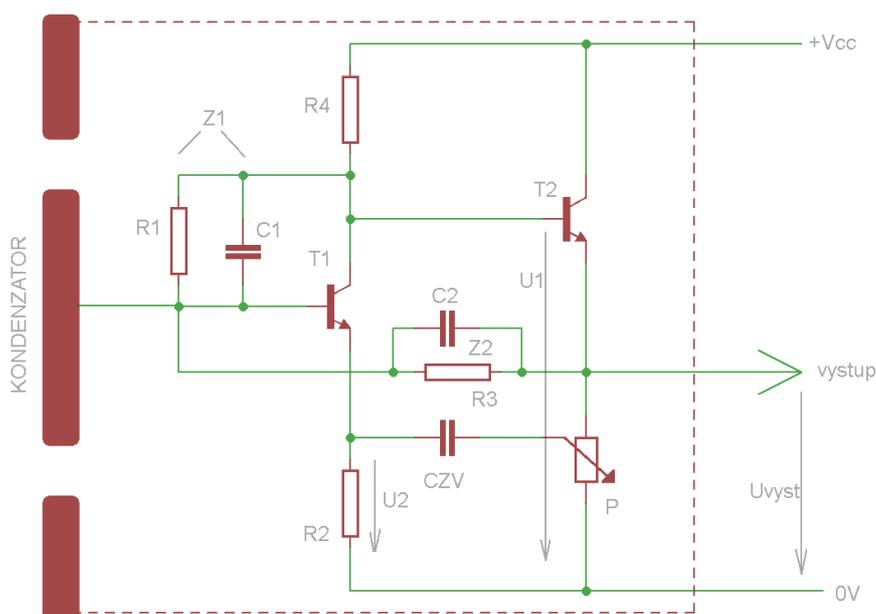
K měření kapacity se u kapacitních senzorů používá několik způsobů a zapojení obvodů, zejména se jedná o tyto:

- oscilační obvody
- můstkové metody
- astabilní klopné obvody
- zpětnovazební obvody
- rezonanční obvody
- přímé měření kapacity převodem na napětí

RC oscilátor

U běžných kapacitních senzorů používaných v průmyslu je detekce změny kapacity při přiblížení hlídaného předmětu realizována pomocí dvoustupňového RC obvodu, který se v přítomnosti detekovaného předmětu rozkmitá.

Orientační vnitřní zapojení vyhodnocovacího obvodu se nachází na Obr. 4.10.



(Obr. 4.10) Vnitřní zapojení průmyslového senzoru
Překresleno z [2].

Princip funkce takového obvodu spočívá ve splnění dvou podmínek pro vznik oscilací: musí být splněna amplitudová podmínka $\beta \cdot A \geq 1$ (6)
a zároveň celkový fázový posuv mezi vstupem a výstupem musí být nulový:

$$2 \cdot k \cdot \pi = 0 \quad k \in (0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

Pro zesílení prvního stupně s T1 platí vztah: $A_1 = \frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2}$ (8)

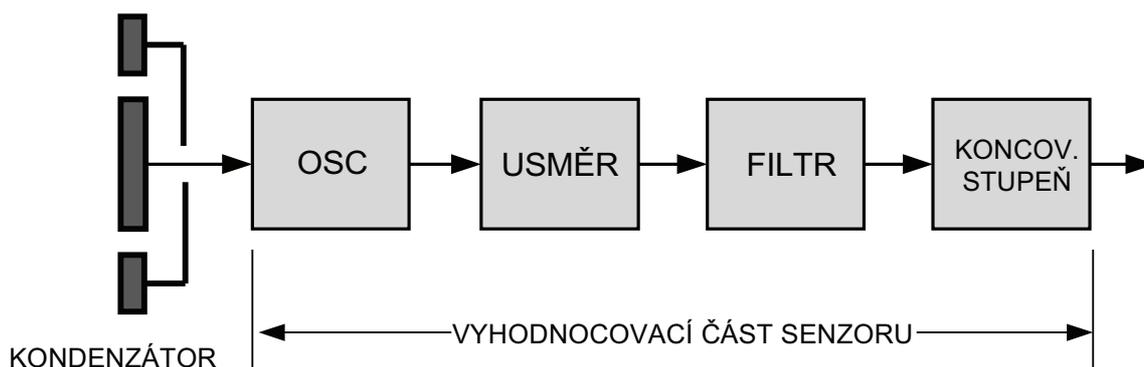
Pro zesílení druhého stupně s T2 pak vztah: $A_2 = \frac{U_{\text{vyst}}}{U_1}$ (9)

Pro zpětnou vazbu následně vztah: $\beta = \frac{U_2}{U_{\text{vyst}}}$ (10)

V nepřítomnosti detekovaného předmětu se musí pomocí potenciometru nastavit taková úroveň celkového zesílení, aby nebyla splněna amplitudová podmínka oscilace a oscilátor tak nekmital: $A_1 \cdot A_2 \cdot \beta < 1$. (11)

Při přiblížení předmětu dojde ke zmenšení impedance Z_2 , tím se zvětší zesílení jak prvního stupně A_1 , tak celého obvodu, což vede ke splnění oscilačních podmínek a rozkmitání oscilátoru, výstupní napětí U_{vyst} je následně přivedeno do bloku usměrňovače, filtrace a přes blok eliminující poruchy do koncového stupně.

Orientační blokové schéma běžného kapacitního senzoru se nachází na obrázku Obr. 4.11.

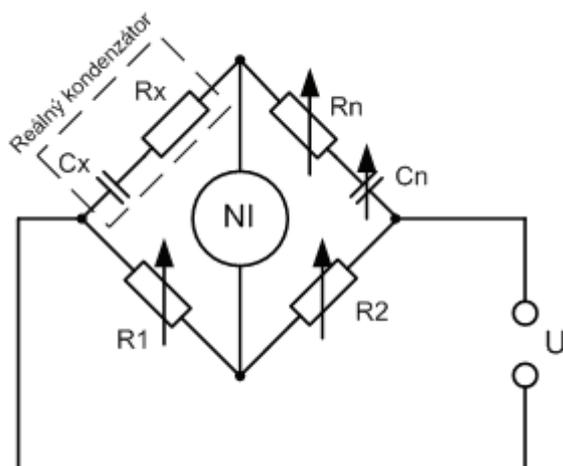


(Obr. 4.11) Kapacitní senzor
Překresleno z [2].

Podstatnou nevýhodu RC oscilátoru představuje závislost pracovního bodu na teplotě, kdy teplotní drift dokáže ovlivnit spínací vzdálenost až z 20% jmenovité vzdálenosti. Další problém představuje vysoká vstupní impedance, díky níž se mohou indukovat přes vstupní elektrodu do obvodu rušivá napětí, jenž mohou zapříčinit falešné kmitání oscilátoru, i když se v blízkosti nenalézá hlídaný předmět. I přes uvedené nevýhody se detekce změny kapacity pomocí RC oscilátoru používá především v průmyslových senzorech přiblížení.

Můstkové metody

U některých senzorů, které využívají měření kapacity zprostředkovaně pro měření jiné fyzikální veličiny, se používá můstkových metod, se kterými je možné docílit vysokých měřicích přesností. Můstkových metod existuje poměrně velké množství, mezi nejpoužívanější však patří měření pomocí Wheatstoneova můstku (Obr. 4.12), pomocí něhož se řeší nejčastěji snímače, určené pro detekci teploty, tlaku, zatížení či dalších fyzikálních veličin. Můstek lze přitom osadit libovolným počtem prvků, tj. jedním až všemi čtyřmi, které budou vhodně reagovat na fyzické podněty. Mezi výhody Wheatstoneova můstku patří kmitočtová nezávislost, poměrně široký rozsah měření a při kvalitním provedení přesnost až 0,1%.



(Obr. 4.12) Wheatstoneův můstek
Kresba autor

Obecně můžeme použít můstky dvěma způsoby:

a) vyvážený můstek

Tato metoda se používá většinou pro „manuální“ cílené měření hodnoty neznámé impedance, v obrázku Obr. 4.12 prezentované reálným kondenzátorem, kdy se snažíme pomocí laditelných přesných impedancí v druhé větvi (C_n a R_n) nastavit můstek takovým způsobem, aby nulovým indikátorem NI netekl žádný proud. Pokud tato situace nastane, mluvíme o vyváženém můstku.

Pro vyvážený můstek obsahující obecné impedance platí vztah: $\bar{Z}_x \cdot \bar{Z}_2 = \bar{Z}_n \cdot \bar{Z}_1$ (12)

Pokud do vztahu (12) dosadíme parametry můstku z Obr. 4.12, změní se vztah na:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x}\right) \cdot R_2 = \left(R_n + \frac{1}{j\omega C_n}\right) \cdot R_1 \quad (13)$$

Po separaci reálné a imaginární části rovnice (11) získáme dvě rovnice pro výpočet velikosti R_x a C_x :

$$R_x \cdot R_2 = R_N \cdot R_3 \rightarrow R_x = \frac{R_N \cdot R_1}{R_2} \quad [\Omega] \quad (14)$$

$$\frac{R_2}{j \cdot \omega \cdot C_x} = \frac{R_1}{j \cdot \omega \cdot C_n} \rightarrow C_x = C_n \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad [F] \quad (15)$$

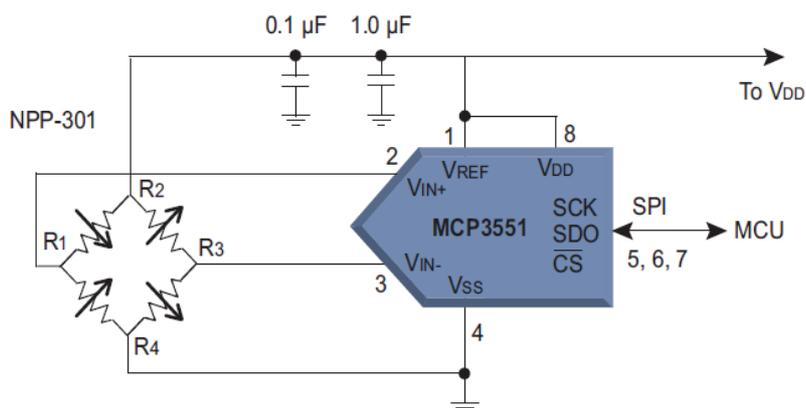
Při vyváženém můstku platí pro velikosti ztrátových úhlů $\text{tg}\delta$ vztah:

$$\text{tg}\delta_x = \text{tg}\delta_n = \omega \cdot C_n \cdot R_n \quad (16)$$

Pro měření kapacity je nutné budít můstek střídavým napětím o určité frekvenci, s její rostoucí hodnotou sice klesá minimální měřitelná velikost kapacity, ale na druhou stranu se začínají projevovat parazitní vlivy na kapacitu senzoru, jako jsou svody kondenzátorů, dielektrické ztráty, odpory a indukčnosti vedení k senzoru a kapacity kabelů.

b) nevyvážený můstek

Při této metodě neobsahuje můstek laditelné součástky, cílem není jeho vyvážení, ale měřením napětí na pozici nulového indikátoru NI sledovat změny parametrů impedance Z_x , vyvolané určitým fyzikálním jevem, například tlakem či silou, ale i přiblížením předmětu k detekčnímu kondenzátoru. Tento způsob vyhodnocení změny kapacity používají miniaturní senzory přiblížení od firmy B&R, určené pro detekci malých předmětů, jako mincí apod. Pro měření napětí, jež dosahuje velmi malých hodnot, řádově mikrovoltů, je nutné použít speciální obvody. Pro jeho zesílení na úroveň zpracovatelnou A/D převodníkem se nasazují z důvodu vysokého potlačení souhlasného signálu precizní přístrojové zesilovače a pro usměrnění střídavého budícího signálu namísto diod synchronní detektory. Produkují se i speciální obvody slučující dohromady jak zesilovač, přizpůsobovací obvody, tak A/D převodník. Příkladem může být obvod MCP3551 od firmy Microchip (Obr. 4.13)



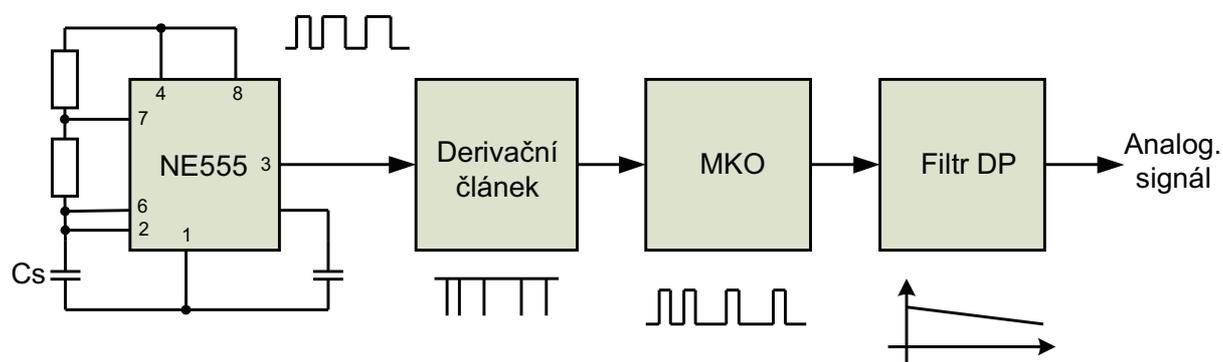
(Obr. 4.13) Můstkový měřicí obvod
Převzato z [49].

Kromě uvedeného Wheatstoneova můstku se používají i jiné typy můstků, například Maxwellův, DeSautyho, Scheringův. Jejich popis a aplikace je nad rámec této práce.

Astabilní klopný obvod

V některých kapacitních senzorech pro stanovení vzdálenosti hlídáného předmětu se používá jako vyhodnocovací obvod astabilní klopný obvod sestavený z populárního časovače NE555, který se chová jako relaxační generátor, jenž na svém výstupu produkuje frekvenční signál (hovoříme o převodníku $C \rightarrow f$), jehož šířka je funkcí měřené kapacity C_s . Tento signál se buď zpracovává číslicovými obvody nebo dále přivádí do převodníku frekvence – napětí, který je tvořený derivačním článkem, z jehož výstupu se spouští monostabilní klopný obvod, za kterým je zařazen filtr v podobě dolní propusti.

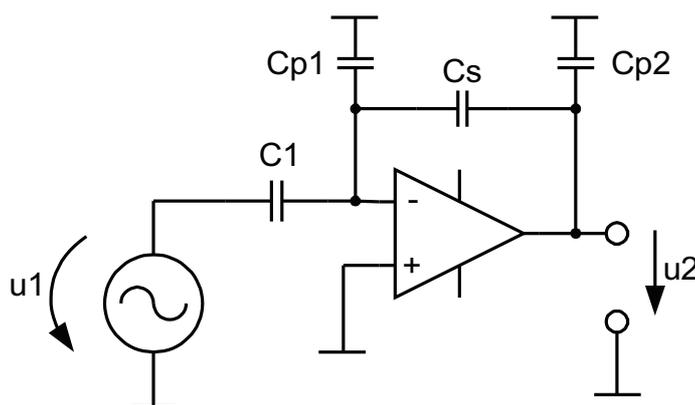
Celá sestava je zobrazena na obrázku Obr. 4.14. Výhodou tohoto zapojení je nepoměrně vyšší odolnost vůči teplotním driftům, než je tomu u RC oscilátoru.



(Obr. 4.14) Astabilní klopný obvod ve funkci měřiče kapacity
Kresba autor.

Zesilovač se zpětnou kapacitní vazbou

Používá se převážně v kapacitních senzorech s proměnnou vzduchovou mezerou, kdy je jedna elektroda kondenzátoru pevná a druhá připojená ke kolmo, na senzor pohybujícímu se, hlídánému předmětu. Základní zapojení je uvedeno na obrázku Obr. 4.15.



(Obr. 4.15) Zesilovač se zpětnou kapacitní vazbou
Překresleno z [1].

Toto zapojení dokáže eliminovat vliv parazitních kapacit, parazitní kapacita C_{p1} se nachází na nulovém potenciálu díky virtuální zemi a C_{p2} je připojena k nízké výstupní impedanci operačního zesilovače.

Pro výstupní napětí U_2 platí vztah: $u_2(t) = -\frac{C_1}{C_s} \cdot u_1(t)$ [V] (17)

Rezonanční měřicí obvod

Tento způsob měření kapacity dokáže podobně jako zesilovač se zpětnou vazbou odstranit vliv parazitních kapacit přívodů a tím zvýšit citlivost měření. Základní část tohoto měřiče je tvořena sériovým či paralelním LC rezonančním obvodem, pro který platí Thomsonův vztah, vyjadřující hodnotu rezonančního kmitočtu:

$$f_{\text{rez}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{Hz}] \quad (18)$$

Z tohoto vztahu vychází princip rezonančního měřiče kapacity. Samotný měřič se skládá ze zdroje střídavého (harmonického) signálu, rezonančního obvodu, jehož součástí je měřená kapacita, a indikátoru reagujícího na napětí na kmitavém obvodu.

Samotný rezonanční obvod může být sériový nebo paralelní. Pro sériový rezonanční obvod se používá napěťové buzení a pro paralelní proudové. Potřebný způsob buzení je zajištěn pomocí vazebního členu, který je zapojený za harmonickým oscilátorem.

Po připojení měřené kapacity se rezonanční obvod musí naladit do rezonance, což se projeví v případě paralelního rezonančního obvodu maximální hodnotou napětí na výstupu obvodu, u sériového je tomu naopak. Vyladění do rezonance se dosáhne nejčastěji nastavením kmitočtu budícího signálu nebo vlastního kmitočtu rezonančního obvodu.

4.3.2 Příklady použití kapacitních senzorů

Na rozdíl od indukčních snímačů umožňují kapacitní senzory detekovat předměty z libovolného materiálu. I přes tuto výhodu bývají tyto senzory méně často využívány, hlavně z důvodu vysoké teplotní závislosti u jednoduchých senzorů s elektronikou tvořenou na bázi RC oscilátoru, a malé odolnosti vůči rušení.

Typickou oblast nasazení představuje hlídání kapalin a práškových hmot všeho druhu v zásobnících, v případě nádrží z nevodivých materiálů umožňují tyto senzory hlídání surovin i přes jejich stěnu.

Miniaturní kapacitní senzory našly své uplatnění v detekci drobných kovových součástí, kde už by indukční senzory selhávaly ve své funkci.

V dnešní době se s kapacitními senzory setkáváme stále častěji ve funkci dotykových i bezdotykových tlačítek a to nejen u mobilní elektroniky, ale i v průmyslové praxi u operátorových panelů pro obsluhu různých zařízení. Tyto tlačítka neobsahují žádné mechanické prvky, což vede k jejich dlouhé životnosti a provozní spolehlivosti, navíc je u nich možno dosáhnout vysokého stupně krytí až IP68.

4.4 Aplikace kapacitního senzoru pro automotive zabezpečení

Při průzkumu trhu s komerčně dostupnými zabezpečovacími systémy pro automobily jsem nenalezl ani jediný produkt, ve kterém by se využívaly jako detekční prvky narušení kapacitní senzory. Ve výrobních programech automobilek sice našly kapacitní senzory využití jako bezdotyková tlačítka pro ovládání funkcí některých palubních systémů, například navigace, klimatizace apod., ale v oblasti zabezpečení používány nejsou. Z toho je patrné, že jeden z cílů tohoto projektu v sobě nese určitý inovátorský a výzkumný potenciál. V dalších podkapitolách bude uveden návrh kapacitního senzoru, který by našel využití jako detekční prvek nepovoleného zacházení s vozidlem.

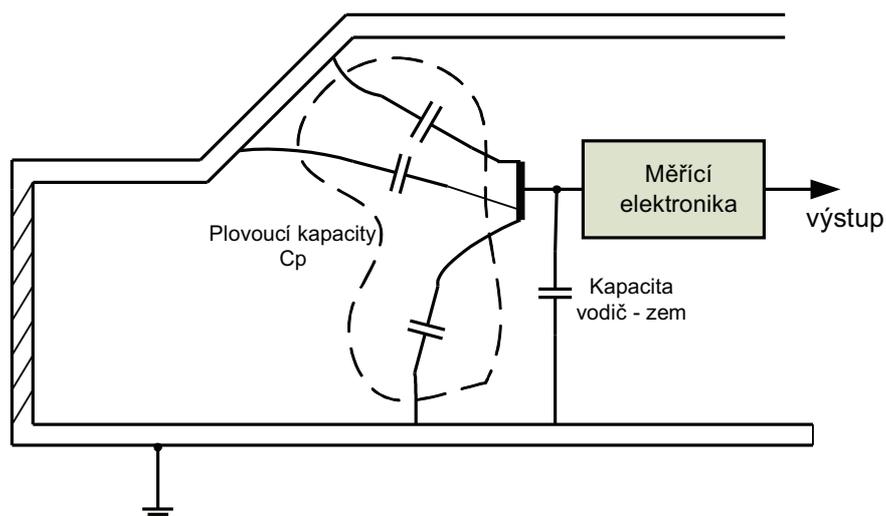
4.4.1 Požadavky kladené na senzor

Na rozdíl od průmyslových senzorů, jejichž detekční vzdálenost se pohybuje v jednotkách centimetrů, bude muset navržený senzor reagovat na přítomnost narušitele, tedy člověka, na větší vzdálenosti, ideálně se jeví dosah cca. 20 cm. Při takovéto vzdálenosti jsou změny kapacity velmi malé, pohybující se v desítkách až stovkách aF dle konfigurace elektrod a materiálu kondenzátoru. Pro tyto potřeby bylo nutné zajistit velmi přesné měření kapacity a specifický návrh senzoru, kterým by bylo možné detekovat i vzdálenější objekt.

Další požadavek na senzor představuje odolnost vůči rušení, které se v automobilech či jejich okolí vyskytuje v hojné míře a které by mohlo vést k vyvolání falešného poplachu. Jelikož bude senzor napájen při odstavení vozidla z jeho autobaterie, musí odebírat co nejméně proud.

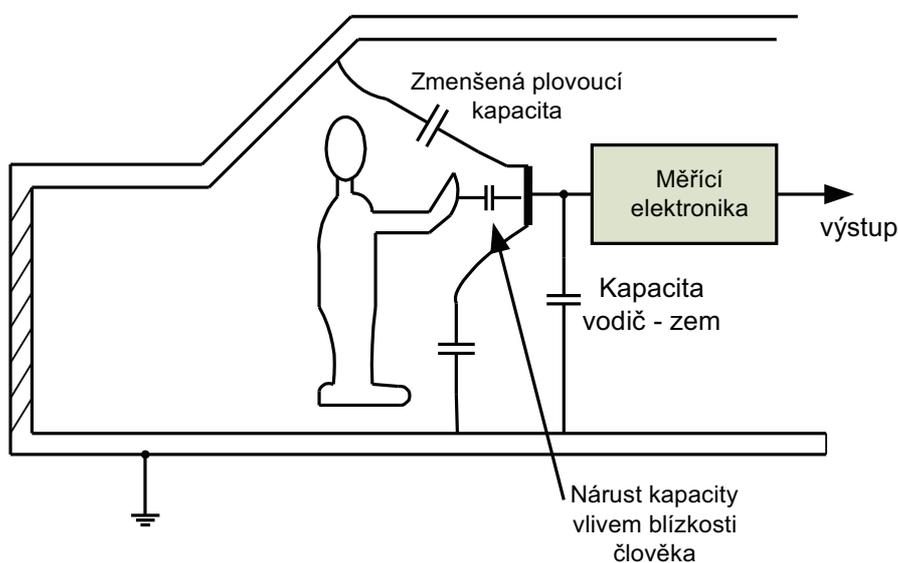
4.4.2 Situace člověk – senzor v automobilu

Při určitém zjednodušení můžeme člověka považovat za vodivý a alespoň částečně uzemněný předmět s poměrně vysokou hodnotou relativní permitivity, která je dána vysokým objemem vody obsažené v těle. Vodivost souvisí jednak s přítomností železa v krvi, tak i s obsahem iontů ve tkáních. Je empiricky dokázáno, že při dotyku či přiblížení prstu k dotykové plošce kapacitního tlačítka dojde ke zvýšení základní kapacity C_z o hodnotu mezi pěti až patnácti pF. Prst se tak chová jako druhá uzemněná elektroda [18]. Pokud umístíme kapacitní senzor s jednou aktivní elektrodou do vnitřního prostoru automobilu za nepřítomnosti člověka, vzniknou mezi touto elektrodou a kovovým skeletem vozidla parazitní plovoucí kapacity C_p . Navíc se nesmí zapomenout ani na kapacitu přívodu elektrody vůči zemi (skeletu). Za této situace měří vyhodnocovací obvod kromě základní kapacity senzoru i tyto přídatné kapacity (Obr. 4.16).



(Obr. 4.16) Stav kapacit ve vozidle bez člověka
Kresba autor

Pokud se objeví ve vozidle člověk, dochází jednak k odstínění a tím poklesu plovoucích kapacit mezi senzorem a kostrou vozu, ale i k vytvoření kapacity mezi senzorem a narušitelem. Do určité vzdálenosti lidského těla od senzoru se tato situace projeví celkovým nárůstem kapacity, problém může nastat u větší vzdálenosti, kdy pokles plovoucích kapacit dosáhne větší či stejné úrovně jako vytvořená kapacita člověk-senzor. V tomto mezním případě není schopna měřící elektronika detekovat výskyt člověka, protože nenastala adekvátní změna kapacity senzoru. Situace je schématicky uvedena na obrázku Obr. 4.17.



(Obr. 4.17) Výskyt člověka ve vozidle
Kresba autor

4.4.3 Měřicí obvod

Jak již bylo uvedeno výše, při detekci předmětu na větší vzdálenost budou změny kapacity velmi malé, proto bude nutné použít měřicí systém s dostatečnou citlivostí a přesností.

Pro realizaci takového obvodu by bylo možné využít jako základ některého ze zapojení a principů z kapitoly 4.3.1, s tím, že by bylo nutné následně provést komplexní návrh celého měřicího systému včetně rozhraní pro připojení k mikrokontroléru. Navíc by se u tohoto způsobu dala předpokládat malá odolnost vůči rušení a patrně i teplotní závislost, především při použití systému založeného na principu RC oscilátoru.

Druhou možnost představuje využití speciálního integrovaného obvodu určeného přímo k měření kapacity. Tyto obvody bývají často vybavené komunikačním rozhraním, pomocí něhož je naměřená kapacita podávána v digitální formě k dalšímu zpracování. Takovéto obvody jsou již i teplotně stabilizované a vyznačují se odolností vůči okolnímu rušení.

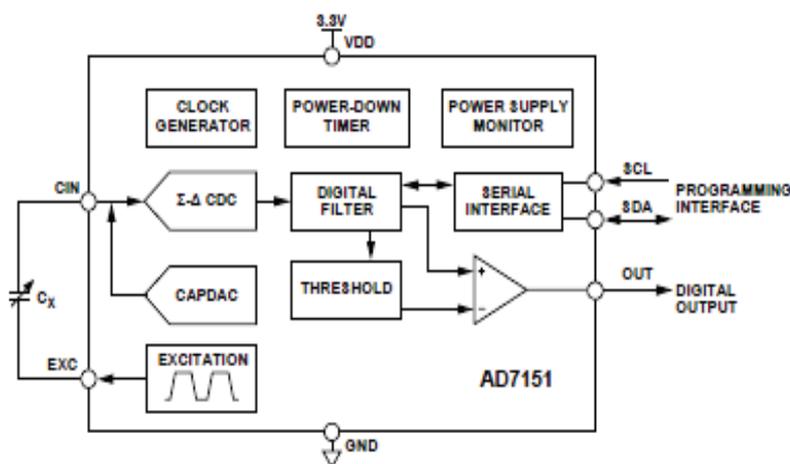
Výrobci takových obvodů existuje poměrně malé množství, patrně nejvýznamnějším s nejširší nabídkou je americká firma Analog Devices.

Tato firma produkuje několik typů převodníků kapacita-číslo (CDC), které jsou určené pro nejrůznější aplikace, jako například senzory přiblížení, dotyková tlačítka a další.

Z jejich nabídky jsem vybral jako nejvhodnější pro zamýšlenou aplikaci kapacitního senzoru přiblížení obvod AD7151, jehož popis následuje v další kapitole.

4.4.4 AD7151

Jedná se o převodník kapacita-číslo určený pro low-power aplikace, měřící jednu plovoucí kapacitu a vyznačující se vysokou vstupní citlivostí a odolností vůči parazitním kapacitám proti zemi. Jeho schématické vnitřní zapojení se nachází na obrázku Obr. 4.18 a přehled nejdůležitějších vlastností v tabulce Tab 4.2.



(Obr. 4.18) Vnitřní blokové zapojení obvodu AD7151
Převzato z [33].

(Tab. 4.2) Parametry obvodu AD7151

Parametr	Hodnota	Jednotka
Napájecí napětí	2,7 – 3,6	V
Odběr proudu v provozním režimu	70 – 80	μ A
Odběr proudu ve spánku (25°C)	1 - 5	μ A
Vstupní rozsah kapacity	0,5 1 2 4	pF
Rozlišení	2 pro rozsah 4 pF	fF
	1,6 pro rozsah 2 pF	
	1,4 pro rozsah 1 pF	
	1 pro rozsah 0,5 pF	
Povolená velikost parazitní kapacity k zemi	150	pF
Maximální vstupní kapacita	12	pF
Nelinearita	0,1	%
Frekvence budícího signálu	16	kHz
Doba konverze	10	ms
Prahová hodnota napájecího napětí	2,45	V
Frekvence I2C	400	kHz
Pracovní teplota	- 40 až 85	°C
Adresa I2C	0x3A	-

Měřená kapacita se připojuje mezi budící výstup EXC a vstup Σ/Δ převodníku 2. řádu CIN, izolovaně od země. Rozlišení převodníku činí 12 bitů, měří kapacitu s rozlišením 1fF a vstupní citlivostí 1 fF. Díky vestavěnému kompenzačnímu obvodu CAPDAC, na který je možno pohlížet jako na „zápornou“ kapacitu, lze připojit i větší vstupní kapacitu než představuje maximální vstupní rozsah 4pF. Hodnota této kapacity může dosáhnout velikosti až 13 pF.

Obvod dokáže eliminovat parazitní kapacity vůči zemi až do hodnoty 150 pF.

Výstupní data jsou k dispozici nadřazenému systému přes sběrnici I2C, jejíž provozní rychlost činí 400 kHz.

Obvod je vybaven separátním výstupem vyvedeným z vnitřního komparátoru, který se překlopí, pokud měřená kapacita překročí nastavené prahové hodnoty. Pomocí tohoto výstupu lze vyvolat přerušování u nadřazeného mikrokontroléru, či jej probudit ze spánkového režimu. Prahové hodnoty mohou být nastaveny napevno (Obr. 4.19) nebo se měnit v rámci adaptabilního režimu, pomocí něhož se eliminují dlouhodobé či pomalé změny základní kapacity měřeného kondenzátoru způsobené vlhkostí, teplotou nebo změnami dielektrika vlivem stárnutí (Obr. 4.20).

Funkce adaptabilního režimu je založena na výpočtu průměru z předchozích dat. Odezva tohoto průměrovacího filtru na změnu ve vstupních datech je dána exponenciálním průběhem, který lze popsat pomocí vztahu :

$$\text{Průměr}(N) = \text{Průměr}(0) + \text{Změna}(1 - e^{-N/\text{Čas.konst}}) \quad (19)$$

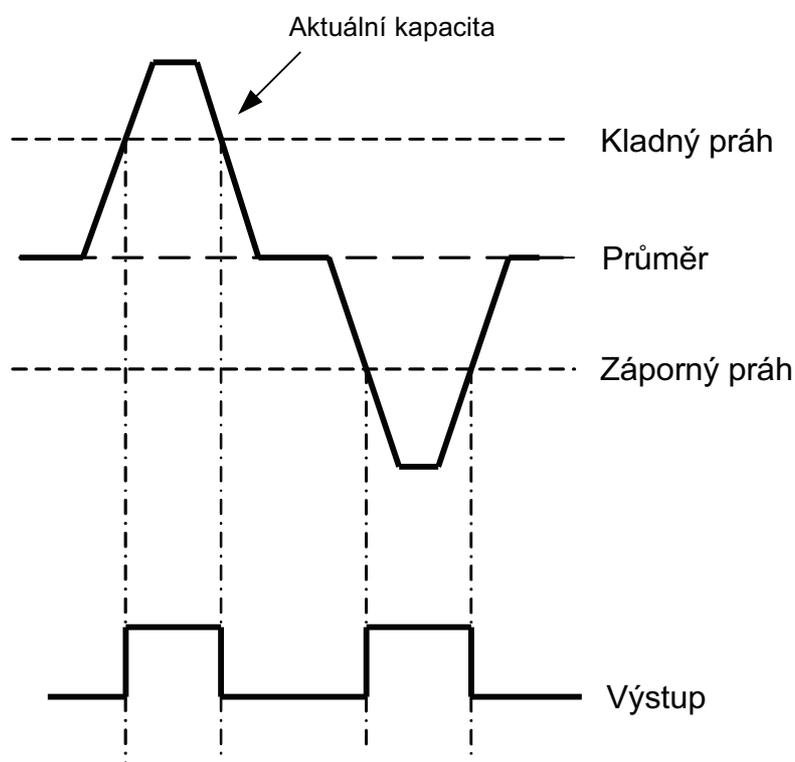
kde Průměr(N) představuje průměrnou hodnotu z N vstupních dat po změně vstupní kapacity

Průměr(0) představuje hodnotu před změnou

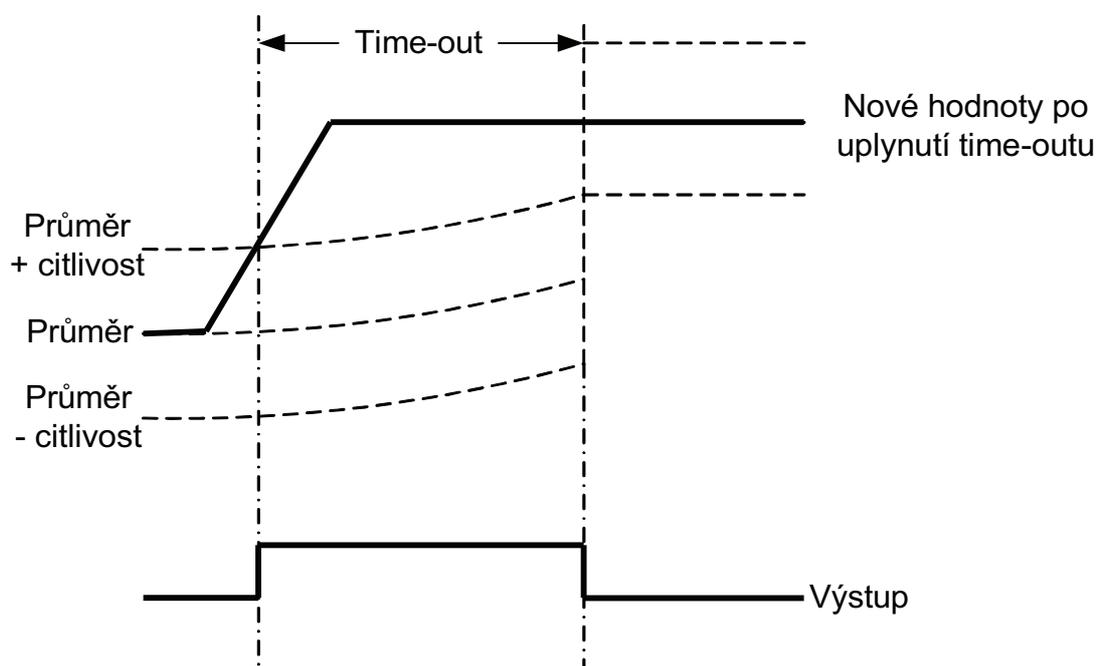
Časová konstanta je uživatelsky nastavitelná hodnota od 2 do 65535

Při velkých a dlouhotrvajících změnách kapacity by trvalo poměrně dlouhou dobu, než by se filtr adaptabilního průměru přizpůsobil novému stavu, proto byl do jeho funkce implementován timeout o nastavitelném časovém intervalu. Pokud nastane podstatná změna, spustí se timeout, po jehož uplynutí se započne průměr počítat z nových dat. Situace je patrná z obrázku Obr. 4.20.

Během adaptabilního režimu je možné zapnout automatické nastavování mechanismu CAPDAC, pomocí něhož je udržován optimální vstupní měřící rozsah. Inkrementace hodnoty CAPDAC započne, pokud hodnota průměru přesáhne hranici $\frac{3}{4}$ navoleného rozsahu a naopak, při poklesu pod hranici $\frac{1}{4}$ dojde k dekrementaci.



(Obr. 4.19) Pevně nastavené prahy
Kresba autor



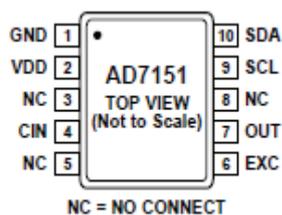
(Obr. 4.20) Adaptabilní průměr
Kresba autor

V projektu automotivního zabezpečovacího kapacitního senzoru je využito adaptabilního režimu, zejména kvůli výskytu vzdušné vlhkosti v automobilu během zimních měsíců a následnému rosení studených ploch, které může případně způsobit změnu kapacity senzoru.

V případě aplikací, u nichž je kladen silný důraz na spotřebu, je možné přepnout obvod do nízkoodběrového režimu, kdy klesne spotřeba proudu až k hodnotě $1 \mu\text{A}$. Těto funkce není v projektu využito.

Provozní parametry obvodu se nastavují pomocí vnitřních registrů, jejichž detailní popis a další informace se nalézají v [33].

Obvod je dodáván na trh v deseti vývodovém pouzdře MSOP10, jeho náhled a popis pinů se nachází na obrázku Obr. 4.21 a tabulce Tab. 4.3.



(Obr. 4.21) Pouzdro obvodu
Převzato z [33].

(Tab. 4.3) Význam jednotlivých pinů

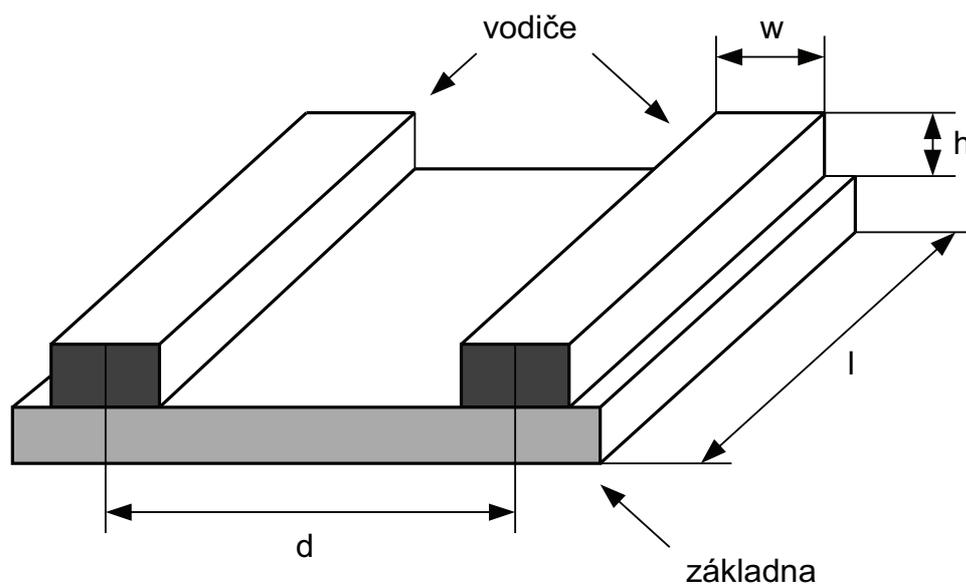
Pin	Význam
GND	Zem
VDD	Kladný pól napájení
CIN	Vstup pro kondenzátor
SDA	Data I2C
SCL	Hodiny I2C
OUT	Výstup komparátoru
EXC	Budící signál pro kondenzátor
NC	Nepřipojeno

4.4.5 Návrh kondenzátoru

Důležitý aspekt při návrhu kondenzátoru senzoru představuje požadavek na nízkou základní kapacitu, která je daná vstupním rozsahem měřicího obvodu AD7151. Tomuto faktu musí odpovídat jak rozměrová, tak materiální konstrukce.

Tento požadavek vylučuje použití válcového kondenzátoru, jehož základní kapacita dosahuje poměrně vysokých hodnot.

Jako základní koncept pro návrh kondenzátoru jsem zvolil plošný kondenzátor. Schématický náčrt takového kondenzátoru se nachází na obrázku Obr. 4.22.



(Obr. 4.22) Plošný kondenzátor
Kresba autor

Pro návrh rozměrů a materiálu takového kondenzátoru je nutné znát vztah pro výpočet kapacity, pro jejíž velikost platí obecně rovnice: $C = \frac{Q}{U}$ [F] (20)

Pokud předpokládáme, že je kondenzátor nabit nábojem Q , stačí pro určení kapacity najít velikost napětí U , které představuje absolutní hodnotu rozdílu potenciálů φ mezi jeho elektrodami.

K výpočtu napětí je potřeba znát hodnotu elektrické intenzity \vec{E} , kterou lze získat z Gaussova zákona: $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$ (21)

Pro velikost napětí lze psát integrační vztah: $U_{\text{kond}} = |\varphi_a - \varphi_b| = \int_a^b E \cdot dr$ [V] (22)

Integrační plocha ze vztahu (21) a integrační křivka ze vztahu (22) je určena na základě konstrukce kondenzátoru.

Konkrétní metoda výpočtu kapacity kondenzátoru z obrázku Obr. 4.22, která vychází ze vztahu (20), se nachází v [15].

Výsledný vztah pro výpočet kapacity lze psát jako: $C = \frac{\pi \cdot l \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_{(\text{eff})}}{\ln\left(\frac{\pi \cdot (d-w)}{w+h} + 1\right)}$ [F] (23)

Význam parametrů w, h, l je patrný z obrázku Obr. 4.22, hodnota $\epsilon_{(\text{eff})}$ představuje tzv. efektivní permitivitu prostředí.

$$\epsilon_{(\text{eff})} = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} \quad (24)$$

kde ϵ_r relativní permitivita základny

Pomocí vztahu (23) a s respektováním požadavku na nízkou hodnotu základní kapacity jsem navrhnul několik plošných kondenzátorů lišících se rozměry a materiálem základny a elektrod. Rozměry a další parametry těchto kondenzátorů jsou shrnuty v tabulce Tab. 4.4. S těmito kondenzátory jsem poté provedl několik měření, jejichž výsledky jsou vyjádřeny pomocí grafů. Úkolem prvního měření bylo zjistit závislost změny kapacity kondenzátoru na vzdálenosti lidské ruky od senzoru (Graf 4.4). Při tomto měření byl kondenzátor umístěn na dřevěném stole a nebyl ničím přikrytý. Při dalších měřeních byl povrch vybraného kondenzátoru postupně přikrýván deskami plexiskla o různých tloušťkách. Protože bude senzor umístěn v automobilu, kde lze očekávat nepříznivé klimatické podmínky, zejména vliv vlhkosti, sestávalo jedno měření z testování odolnosti vůči výskytu vody na ploše kondenzátoru, jenž byl zakrytý plexisklem.

Nakonec byla změřena závislost změny kapacity prvního kondenzátoru na přiblížení aluminiového profilu s rozměry 12x12x6 cm, jež byl nejprve izolován od země a podruhé uzemněn.

Schématické uspořádání měřícího pracoviště je zobrazeno na obrázku Obr. 4.23.

(Tab. 4.4) Parametry kondenzátorů

kondenzátor	d [cm]	w [cm]	h [μm]	l [cm]	C [pF]	C _{měř} [pF]
1	3	1	35	9	5,89	6,35
2	5	1	35	15	7,48	8,2
3	9	5	35	9	9,31	10,42
4	3	1	15	9	2,88	2,71
5	3	1	15	9	2,51	2,62

C_{měř} skutečná naměřená kapacita, měřeno pomocí RLC metru Escort 132A

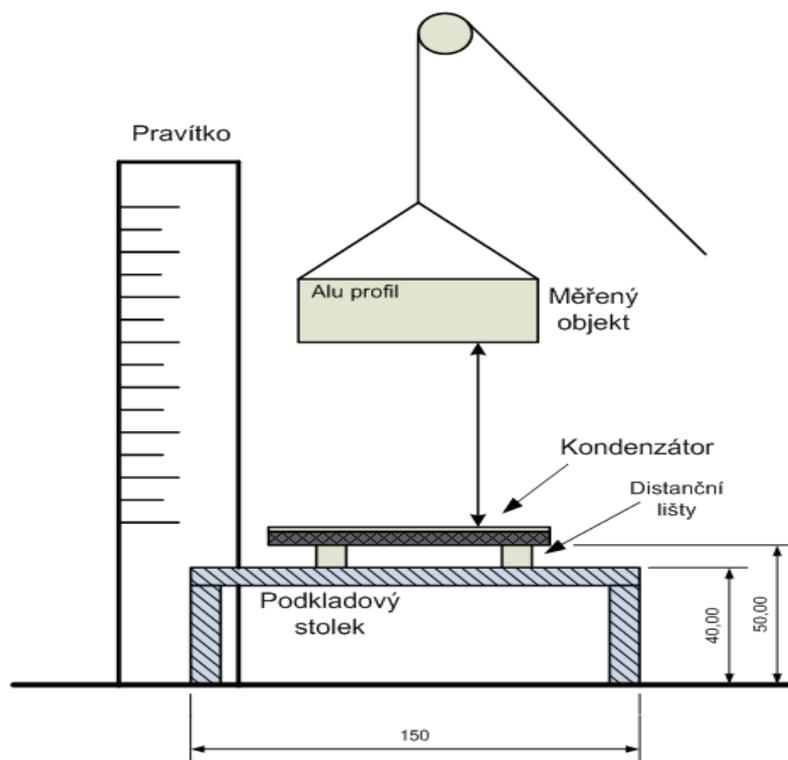
Kondenzátory 1 až 3 byly zhotovené podobně jako plošné spoje pomocí leptání z kuprexitu, který se skládá z měděné, 35 μm tlusté, fólie naplátované na podkladovém materiálu FR4 s relativní tabulkovou permitivitou 4,7.

Kondenzátor 4 byl zhotoven vystřížením patřičných tvarů z hliníkové fólie (alobalu) tloušťky 15 μm a jejich nalepením na podkladový materiál tvořený polyethylenem s relativní tabulkovou permitivitou 2,3.

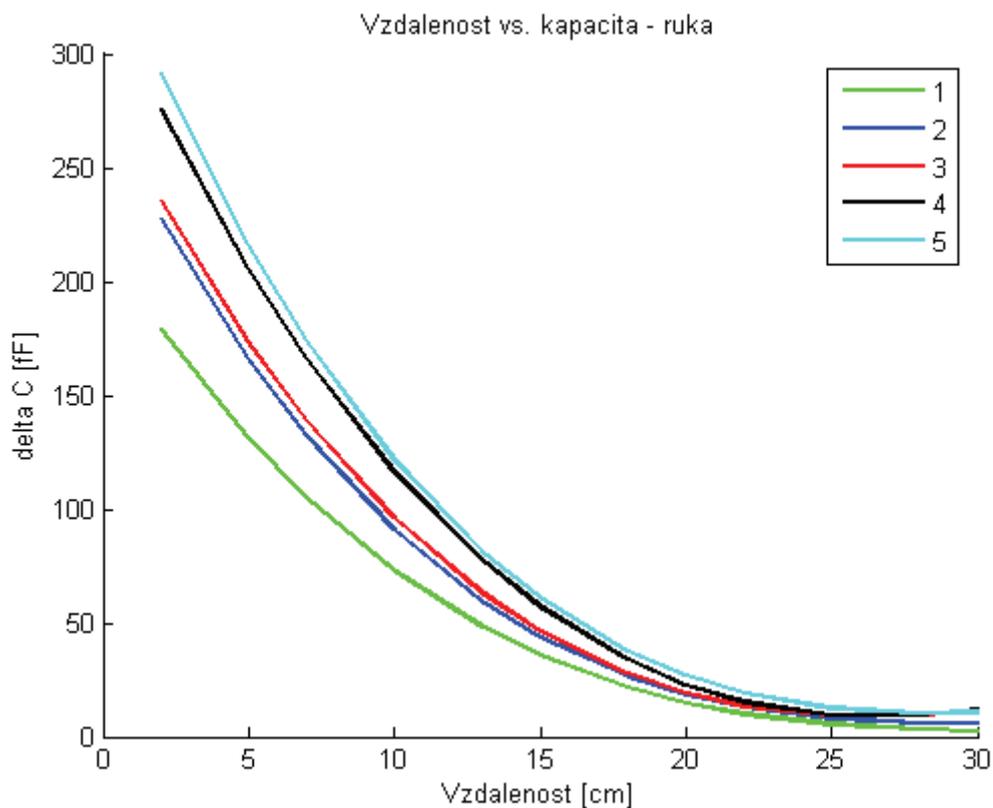
Kondenzátor 5 byl zhotoven podobným způsobem jako předchozí, ale jako podkladový materiál posloužila lesklá lepenka s relativní tabulkovou permitivitou 2.

Samotné měření bylo realizováno pomocí vývojového kitu sestaveného z mikrokontroléru PIC18F26K80, převodníku UART-USB FT232RL a CDC obvodu AD7151, ke kterému byly pomocí pin-headerů připojovány jednotlivé kondenzátory. Schéma měřícího přípravku se nachází v příloze A. Měřené hodnoty byly odesílány do PC a ukládány do soubory, ze kterého byly následně zpracovány pomocí programu MatLab do grafů.

Vzdálenost předmětu se měnila s krokem 2 cm, měření započalo ze vzdálenosti 30 cm a skončilo ve vzdálenosti 2 cm od kondenzátoru.



(Obr. 4.23) Měřící pracoviště
Kresba autor



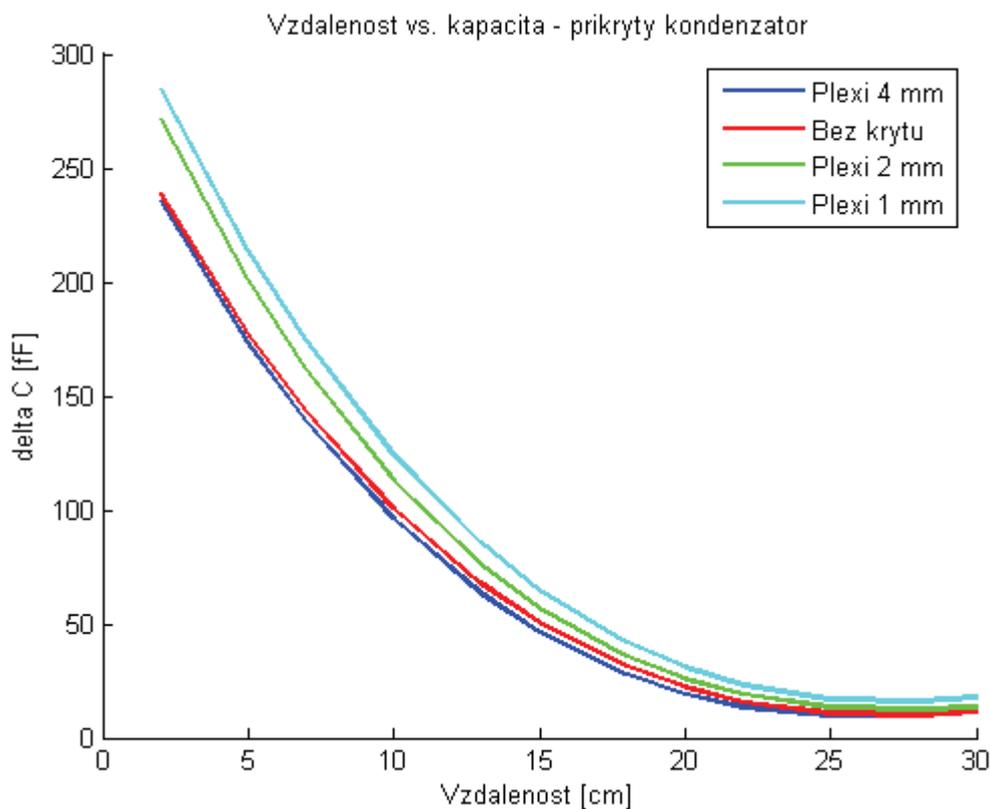
(Graf 4.4) Změna kapacity v závislosti na vzdálenosti

Z grafu Graf. 4.4 vyplývá, že největších změn kapacity na přiblížení ruky bylo dosaženo u kondenzátoru číslo 5, jehož základna byla vyrobena z materiálu o nízké hodnotě relativní permitivity, zatímco s rostoucí permitivitou byly změny menší. Obecně je možné říci, že čím větší bude poměr mezi permitivitou detekovaného předmětu a permitivitou dielektrika kondenzátoru, tím větších změn se při přiblížení dosáhne. K podobnému závěru lze dojít i v případě velikosti ploch elektrod kondenzátoru, čím jsou tyto plochy větší, tím větších změn lze dosáhnout. Na druhou stranu je třeba při stanovování velikosti těchto ploch pamatovat na velikost maximální kapacity, která je plochám úměrná.

Ale i u kondenzátoru číslo 1 byly změny více než dostatečné pro praktickou aplikaci v senzoru přiblížení postaveného na bázi obvodu AD7151, který pracuje s rozlišením 1 fF.

Pro testování vlivu krytu kondenzátoru na velikost změny kapacity byl vybrán kondenzátor číslo 2. Z měřených hodnot byl sestaven graf Graf 4.5. Tloušťka prvního použitého plexiskla činila 4 mm, dalšího polovinu a třetího 1 mm.

Z grafu je patrný vliv krytu na citlivost kondenzátoru. Při jeho malé tloušťce došlo ke zlepšení detekčních schopností, kdy byl nárůst kapacity při přiblížení předmětu ztelnější než u kondenzátoru bez krytu. Pokud ale zvětšíme tloušťku krycího materiálu nad určitou mez, kterou je potřeba určit empiricky, dochází ke zhoršení citlivosti kondenzátoru.



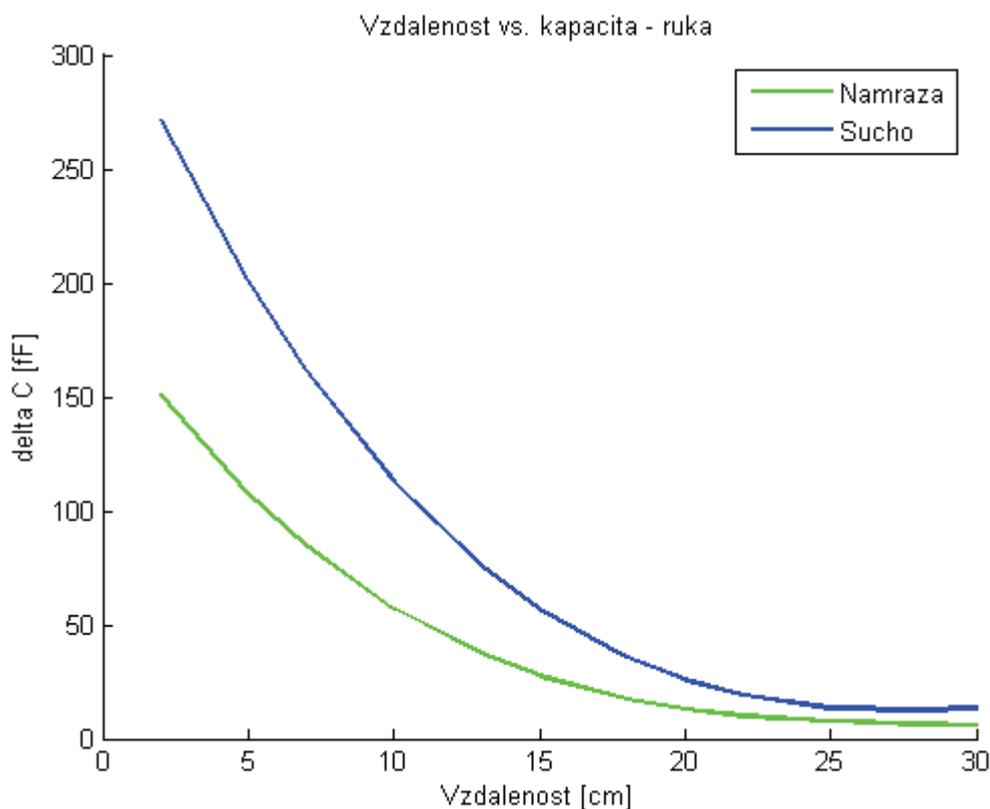
(Graf 4.5) Vzdálenost – kapacita versus kryt kondenzátoru

Pro otestování vlivu vlhkosti byl vybrán kondenzátor číslo 2, na který byl přilepen pomocí silikonu kryt tvořený plexisklem o tloušťce 1 mm. Tento celek byl poté umístěn po dobu dvou hodin do mrazáku. Po jeho vyjmutí se na vrchní straně krytu začala tvořit vlivem okolní vlhkosti nesouvislá vrstva námrazy.

Po prodlevě 20 minut byla změřena základní kapacita kondenzátoru s tím výsledkem, že došlo k jejímu zvětšení o hodnotu cca. 60 fF. Taková to velikost změny je ekvivalentní přiblížení ruky na vzdálenost přibližně 12 cm od povrchu senzoru. Tato skutečnost by se mohla v praxi projevit jako falešné vyhodnocení - přiblížení detekovaného objektu, což by mohlo vést ke vzniku nepodloženého poplachu. Pokud by se u obvodu AD7151 použila funkce adaptabilního průměru (kapitola 4.4.4), mohl by se vliv orosení či námrazy, za předpokladu jejich pomalé tvorby, do určité míry eliminovat. Podmínkou je ale koncipování systému takovým způsobem, aby jeho primární funkci představovalo hlídání větší změny kapacity v krátkém časovém úseku, zatímco skutečná velikost kapacity představuje až sekundární informaci.

Pokud by se měřila kontinuálně kapacita kondenzátoru, nebyly bychom schopni na základě její absolutní velikosti vyhodnotit, jaký vliv vedl k její změně. Při kontinuálním měření polohy objektu by se navíc projevil problém se sníženou citlivostí kondenzátoru, kdy by i nesouvislá vrstva vody ve formě vlhkosti či námrazy částečně odstínila vliv detekovaného předmětu.

Pro ilustraci, jak se projevuje vliv námrazy na citlivosti kondenzátoru, bylo provedeno měření vlivu přiblížení ruky na změnu kapacity, výsledky jsou shrnuté pomocí grafu Graf. 4.6. Pro srovnání je v grafu umístěna i křivka změn kapacity kondenzátoru na „sucho“.



(Graf. 4.6) Vliv prostředí na citlivost kondenzátoru

Po provedeném měření vlivu okolního prostředí na citlivost kondenzátoru byl kolem téhož kondenzátoru zhotoven rámeček z lepenky, do něhož byla nalita souvislá vrstva vody. Při pokusu změřit kapacitu tohoto celku byl překročen maximální měřicí rozsah obvodu AD7151 i s nastaveným „záporným“ kompenzačním kondenzátorem CAPDAC na největší úrovni.

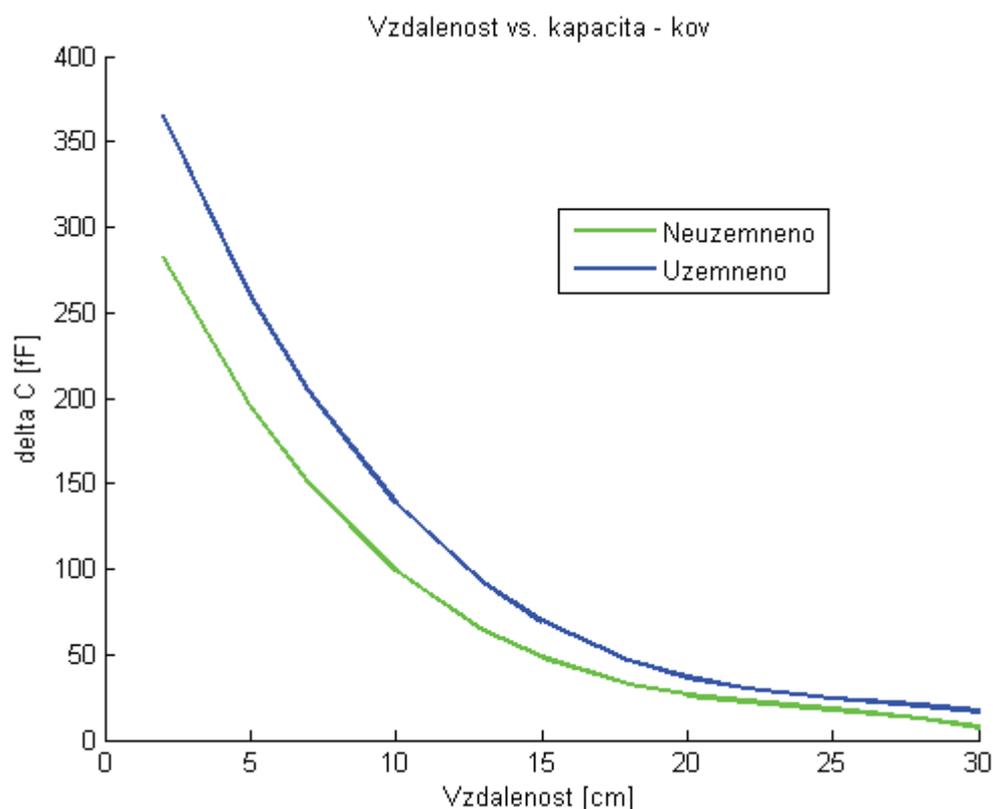
Ve světle této a i výše diskutované skutečnosti lze dojít k závěru, že výskyt vody (ale i jiné látky o vysoké permitivitě – různé nečistoty apod.) na aktivní ploše kondenzátoru kapacitního senzoru ovlivňuje jeho činnost, záleží pouze na velikosti vrstvy a jejího rozložení, jak vysoké toto ovlivnění bude. Zatímco při pouhém orosení či námraze může senzor díky adaptabilnímu mechanismu pracovat dál, byť s poněkud sníženou citlivostí, při výskytu souvislejší vrstvy vody, například při dešti, dojde k prudkému nárůstu kapacity, v krajním případě i za hranici měřitelnosti použitým systémem, aniž by byl systém schopen identifikovat původce nového stavu.

Pokud bychom uvažovali o nasazení kapacitních senzorů jako zabezpečovacích prvků v automobilu, bylo by nutné vyřešit jejich umístění takovým způsobem, aby byly co nejlépe odstíněny od vlivu vnějšího prostředí. Zatímco s umístěním v interiéru by neměly nastat výraznější komplikace, v případě exteriéru je situace diametrálně odlišná.

Je nutné si uvědomit, že zatímco u kapacitních senzorů používaných například v průmyslu vždy víme, na jaký podnět reagují (přiblížení ramene manipulátoru...), u senzorů v automobilu nelze vždy stoprocentně predikovat původce podnětu. Proto jsem došel k názoru, že samostatné použití kapacitních senzorů ve funkci detektorů neoprávněného nakládání s vozidlem by nevedlo k adekvátním výsledkům. Riziko falešných poplachů, hlavně při instalaci těchto senzorů v exteriéru (kliky dveří, víko kufru....) by bylo enormní. Řešení představuje redundance čidel, kdy by kapacitní senzory sloužily pouze jako doplňkové detektory narušení.

Jako poslední měření jsem provedl měření vlivu přiblížení kovového předmětu, v tomto případě hliníkového profilu, na změnu kapacity kondenzátoru. Toto měření bylo rozděleno na dvě části, nejprve byl měřen neuzemněný předmět a podruhé uzemněný. K měření byl použit kondenzátor číslo tři, bez krytí.

Výsledky měření byly opět shrnuty do grafu Graf 4.7. Podle předpokladu byly u uzemněného předmětu dosaženy větší změny kapacity než u předmětu izolovaného.



(Graf. 4.7) Vliv vzdálenosti kovového předmětu na změnu kapacity

4.5 Konstrukce inteligentního senzoru

I když je obvod AD7151 schopen samostatné činnosti bez nadřazeného řídicího systému, byl celý kapacitní senzor koncipován jako mikroprocesorové zařízení.

Vestavěný mikrokontrolér řídí CDC obvod, zajišťuje zpracování naměřených dat a v případě zjištění narušení informuje pomocí opticky odděleného výstupu hlavní jednotku alarmu.

Pokud připojíme k senzoru napájecí napětí o správné velikosti, rozběhne se DC-DC měnič, jenž na svém výstupu poskytuje stabilizované napětí o velikosti 3,3 V.

Při startu se snaží mikrokontrolér navázat komunikaci s obvodem CDC, pokud je úspěšná, dojde k nastavení jeho vnitřních registrů a proběhne měření referenční kapacity. Při této proceduře musí zůstat senzor volný. Poté mikrokontrolér přechází do režimu spánku. Pokud je detekován v blízkosti senzoru narušitel, objeví se na výstupním pinu OUT obvodu CDC vysoká úroveň, která probudí mikrokontrolér ze spánku. Ten poté načítá v sekundových intervalech z CDC obvodu aktuální velikost kapacity, pokud se kapacita výrazně nemění po dobu půl minuty, je podnět považován za korektní a je vybuzena vnitřní infradioda v optočlenu. Indikační LED slouží k zobrazení aktuálního stavu senzoru. Při chybě komunikace bliká s periodou 0,5 s, při správné inicializaci svítí nepřerušovaným svitem, ve spánku je zhasnutá a při detekci narušitele 10 krát zabliká.

Blokové schéma inteligentního kapacitního senzoru se nachází v kapitole 3.2, schéma elektroniky a návrh plošných spojů v příloze A a B.

V následujících kapitolách jsou uvedeny některé aspekty použitých součástek senzoru.

4.5.1 Mikrokontrolér

Jako řídicí mikrokontrolér jsem zvolil na základě svých zkušeností s touto platformou mikrokontrolér PIC 18F26K80 od firmy Microchip. Jedná se o moderní, výkonný, sériově programovatelný MCU v provedení CMOS s Harvardskou architekturou – má oddělenou sběrnici pro paměť programu a paměť dat.

Mikrokontroléry řady PIC 18F patří mezi osmibitové mikrokontroléry s redukovanou instrukční sadou (RISC) vyšší třídy, od oblíbené střední řady PIC 16F se liší vyšším výkonem, větším paměťovým prostorem pro program i data, obsáhlejší výbavou periferiemi, např. CAN busem, dvěma vektory přerušení a rozsáhlejším instrukčním souborem. Velikým plus je integrovaná hardwarová násobička, jejíž použití zrychluje nepoměrně aplikace využívající násobení. Nezanedbatelná je také optimalizace jádra MCU pro programování v jazyce C.

Hlavní devizu tohoto mikrokontroléru představuje nízká spotřeba jak v aktivním režimu, tak v režimu spánku, ve kterém může proudový odběr klesnout až na desítky nA. Dále pro použití tohoto mikrokontroléru hovořila poměrně nízká cena, dostatečný počet vstupních a výstupních pinů a rozsáhlá paměť programu FLASH dovolující programování takřka bez omezení.

PIC 18F26K80 obsahuje 10 bitový AD převodník multiplexovaný na 8 kanálů, dva 8 bitové čítače/časovače, tři 16 bitové čítače/časovače, 2 sériové komunikační kanály UART, má vnitřní obvod pro komunikaci po sběrnici I2C, pětikanálovou pulsní šířkovou modulaci PWM, analogové komparátory, sběrnici CAN používanou v automobilovém průmyslu a vývody pro sériově programování přímo v aplikaci speciálním programátorem.

S vnějším okolím mikrokontrolér komunikuje pomocí tří vstupně/výstupních portů. Dva porty (RB, RC) mají šířku 8 bitů, z nichž každý bit může být zvlášť definován jako vstupní nebo výstupní. Port RA má pět, v případě použití vnitřního oscilátoru sedm vývodů. Vývody portů jsou sdílené s ostatními periferiemi (např. A/D převodník, sériové rozhraní UART, atd.). Pokud je některé z těchto zařízení využíváno, jsou tyto vývody odpojeny od portu a jsou propojeny s danou periferií. Není možné je pak využívat jako vstupně/výstupní piny.

Určení, jaká periferie bude aktivní nebo konfigurace portů ohledně vstupů a výstupů se provádí zápisem požadovaných hodnot do speciálních registrů mikrokontroléru.

Tento obvod se dodává na trh v několika pouzdrech, v konstrukci je použito pouzdro SOIC určené pro povrchovou montáž.

Podstatné parametry mikrokontroléru PIC 18F26K80 jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.6.

(Tab. 4.6) Podstatné parametry mikrokontroléru PIC18F26K80

Parametr	Hodnota	Jednotka
Napájecí napětí	1,8 – 5,5	V
Proud. odběr v aktivním režimu	6	mA
Proud. odběr v režimu spánku	13	nA
Velikost paměti programu	64	kB
Velikost paměti dat	3,6	kB
Velikost paměti EEPROM	1	kB
Taktovací frekvence	0 - 64	MHz
Počet vývodů	28	ks
Počet I/O pinů	24	ks
Pracovní teplotní rozsah	-40 až + 85	°C

4.5.2 Spínaný měnič MAX1837

Protože se velikost palubního napětí automobilu pohybuje okolo hodnoty 13,5 V, zatímco elektronika senzoru pracuje s napětím podstatně menším (3,3 V), které musí být navíc pro korektní funkci celého zařízení poměrně přesně dodrženo, je nutné použít stabilizátor napětí.

S ohledem na požadavek co nejnižší spotřeby, vysoké účinnosti a s ohledem na fakt přítomnosti vysokého rozdílu mezi vstupním a výstupním napětím, je v aplikaci použit spínaný snižující měnič. Z poměrně širokého portfolia těchto stabilizátorů vyskytujících se na trhu, jsem zvolil typ MAX1837 od americké firmy Maxim Semiconductor.

Jedná se o měnič s pevně nastavenou hodnotou výstupního napětí 3,3 V, regulující výstupní napětí pomocí změny střidy, respektive frekvence spínání vstupního napětí pomocí vnitřního P-MOSFET tranzistoru. Pokud ani při maximální střidě není možno dosáhnout požadované velikosti výstupního napětí, zůstává tranzistor trvale sepnutý. Frekvence spínání je přímo úměrná rostoucí zátěži, což umožňuje použít cívku s menší indukčností.

Vlastnosti obvodu MAX1837

- rozsah vstupního napětí 5,5 až 24 V
- klidový napájecí proud 12 μ A
- minimální rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím 120 mV
- výstupní napětí 3,3 V
- maximální výstupní proud 250 mA
- frekvence spínání až 120 kHz
- účinnost cca. 85%
- pouzdro SOT23 nebo TDFN
- funkce uspání obvodu (SHDN)

Pro dosažení co největší účinnosti a správnou funkci měniče je potřeba věnovat péči i volbě vhodných součástek, zejména tlumivce a filtračním kondenzátorům.

Tlumivka

Pro minimalizaci ztrát musí mít použitá tlumivka co nejnižší hodnotu ohmického odporu a dále musí být proudově dimenzovaná na velikost protékajícího proudu většího než I_{peak} . Pro výpočet hodnoty indukčnosti platí vztah:

$$L_{min} = \frac{(V_{INmax} - V_{OUT}) \cdot t_{ONmin}}{I_{LM}} \quad [H] \quad (25)$$

kde

- V_{INmax} maximální velikost vstupního napětí, zvolena nejnepríznivější hodnota 24V
- V_{OUT} výstupní napětí, zde 3,3 V
- t_{ONmin} minimální doba sepnutí tranzistoru, zde 1 μs
- I_{LM} maximální rozpínací proud cívkou, zde 0,625 A

Podosazení:

$$L_{min} = \frac{(24 - 3,3) \cdot 10^{-6}}{0,625} = 33 \mu H$$

Maximální proud protékající tlumivkou je určen dle vzorce:

$$I_{PEAK} = I_{LM} + \frac{(V_{INmax} - V_{OUT}) \cdot 300ns}{L} \quad [A] \quad (26)$$

kde L zvolená indukčnost na základě výpočtu z (25), L = 47 μH

$$I_{PEAK} = 0,625 + \frac{(24 - 3,3) \cdot 300 \cdot 10^{-9}}{47 \cdot 10^{-6}} = 0,625 + 0,13 = 0,75 A$$

I když vyšla minimální indukčnost tlumivky 33 μH , je lepší použít hodnotu větší, především z důvodu zlepšení účinnosti měniče, snížení rizika překročení maximálního proudu cívkou a redukce rušení. Proto byla na základě těchto faktů vybrána indukčnost Matsuta TL.SMT75 s indukčností 47 μH , sériovým odporem 0,17 A a velikostí maximálního proudu 1,19 A.

Výstupní kondenzátor

Jako výstupní kondenzátor C_{OUT} byl zvolen tantalový kondenzátor s nízkou hodnotou ekvivalentního sériového odporu (ESR) od amerického výrobce, firmy AVX. Velikost jeho kapacity dosahuje 330 μF , maximální napětí 10V a při 100 kHz vykazuje ESR cca. 35 m Ω .

Na základě volby kondenzátoru a tlumivky je možné vypočítat hodnotu zvlnění výstupního napětí:

$$V_{RIPPLE} = V_{RIPPLE(ESR)} + V_{RIPPLE(C)} \quad [V] \quad (27)$$

$$V_{\text{RIPPLE}(C)} = \frac{L \cdot (I_{\text{PEAK}} - I_{\text{OUT}})^2}{2 \cdot C_{\text{OUT}} \cdot V_{\text{OUT}}} \cdot \left(\frac{V_{\text{INmax}}}{V_{\text{INmax}} - V_{\text{OUT}}} \right) \quad [\text{V}] \quad (28)$$

$$V_{\text{RIPPLE}(C)} = \frac{47 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^2}{2 \cdot 330 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3} \cdot \frac{24}{20,7} = 0,006 \text{ V}$$

$$V_{\text{RIPPLE}(ESR)} = I_{\text{PEAK}} \cdot \text{ESR} \quad [\text{V}] \quad (29)$$

$$V_{\text{RIPPLE}(ESR)} = 0,75 \cdot 0,035 = 0,026 \text{ V}$$

$$V_{\text{RIPPLE}} = 0,032 \text{ V}$$

Tato hodnota je vypočtena pro maximální zatížení měniče, v případě nízkého odběru v řádech mA bude zvlnění prakticky neměřitelné.

Vstupní kondenzátor

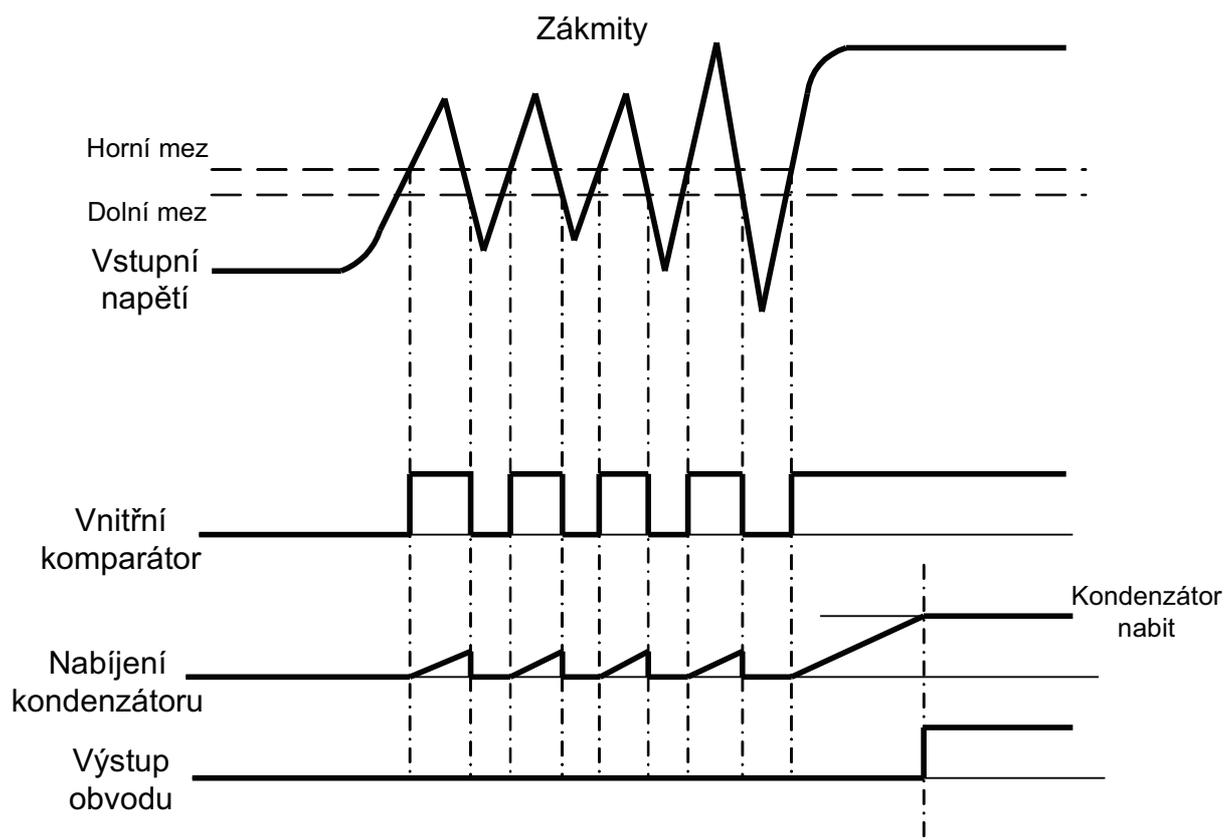
Na vstupní kondenzátor nejsou kladeny takové požadavky jako na kondenzátor výstupní, dle výrobce měniče je vhodné použít netantalové typy, například keramické s materiálem dielektrika X7R, s kapacitou 10 μF . V konstrukci senzoru jsem použil dva kusy keramických kondenzátorů 10 a 2,2 μF , s maximální hodnotou provozního napětí 25 V.

Kromě kondenzátorů a tlumivky je potřeba správně zvolit i rekuperační diodu. Na této diodě vznikají při provozu ztráty, které se podepisují na snížení celkové účinnosti měniče. Největší podíl na ztrátách způsobených diodou nese velikost jejího propustného napětí U_f , které by mělo být co nejmenší. Tento požadavek splňuje Schottkyho dioda s $U_f = 0,4 \text{ V}$. Navíc se tento typ diody vyznačuje poměrně rychlou dobou zotavení, což vede ke zmenšení spínacích ztrát. Jako vhodná dioda byla vybrána Schottkyho dioda SK24A s maximální proudovou propustností 2 A. Kvůli dokonalejší eliminaci rušení způsobeného činností měniče jsem na jeho výstup včlenil, na základě mých předchozích kladných zkušeností, filtr sestávající ze dvou indukčností a širokopásmového kondenzátoru. Prvky filtru jsou uvnitř něho zapojeny ve tvaru „T“, na trh se dodává pod označením EMIFIL. Dle katalogového listu činí útlum tohoto filtru v pásmu 2 až 1000 MHz 20 dB.

4.5.3 Napěťový hlídač MAX16053

Protože se velikost palubního napětí automobilu může měnit a to v některých případech i poměrně razantně, například při startování vozidla může napětí poklesnout až k hodnotám okolo 6V, či mohou nastat v síti nestále stavy, projevující se zákmity (markantní hlavně při vypnutí spotřebiče s vyšší hodnotou indukčnosti, např. motoru topení...), je potřeba tyto nestandardní stavy řešit. Pro hlídání spodní úrovně napětí a eliminaci vlivu zákmitů je použit v konstrukci obvod MAX16053 od firmy Maxim Semiconductor. Jedná se o obvod speciálně vyráběný pro oblast automotive, o čemž svědčí široký rozsah napájecího napětí a provozních teplot. Vnitřní zapojení obvodu a další informace se nacházejí v [29].

Tento obvod pracuje v podstatě jako komparátor s hysterezí, kdy je porovnáváno vstupní napětí na neinvertujícím vstupu s napětím vnitřní reference o hodnotě 0,5 V na vstupu invertujícím. Oproti prostému komparátoru nabízí MAX16053 zpožďovací obvod, sloužící k redukci negativních vlivů zákmitů. Pokud tedy přesáhne vstupní napětí zmenšené děličem prahovou hodnotu, dojde k překlopení komparátoru, jehož výstup je připojen na vnitřní logiku, která započne s nabíjením časovacího kondenzátoru. Po jeho nabití a za předpokladu, že je hodnota vstupního napětí dostatečně vysoká, se výstup obvodu změní na vysokou úroveň a tím „probudí“ z režimu spánku měnič napětí. Chování obvodu je patrné z obrázku 4.24.



(Obr. 4.24) Relace vstup – výstup obvodu MAX16053
Kresba autor

Protože je vstupní napětí oproti prahovému poměrně vysoké, je nutné ho snížit pomocí odporového děliče napětí. Pro velikost odporu R_1 (viz [29]) platí vztah:

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{V_{\text{monitor}}}{V_{\text{TH}}} - 1 \right) \quad [\Omega] \quad (30)$$

kde V_{monitor} vstupní napětí
 V_{TH} prahová hodnota, zde 0,5 V

Hodnotu vstupního napětí, při kterém má dojít k aktivaci měniče, jsem stanovil na 9 V. Při volbě hodnoty odporu R_2 36 k Ω vychází hodnota rezistoru R_1 620 k Ω .

Pro volbu časovacího kondenzátoru platí vztah:

$$t_{\text{DELAY}} = C_{\text{CDELAY}} \cdot (4 \cdot 10^6) + 30 \mu\text{s} \quad [\text{s}] \quad (31)$$

Při volbě kondenzátoru s kapacitou 220 nF vychází doba zpoždění na 0,88 s.

5. GPS systém

GPS představuje družicový systém založený a provozovaný ministerstvem obrany Spojených států amerických, s jehož pomocí lze určit polohu všude tam, kde je dostupný signál alespoň ze tří družic. V současné době se na oběžné dráze kolem Země vyskytuje 32 aktivních družic, které jsou rozmístěny takovým způsobem, aby na každém místě zemského povrchu bylo viditelných minimálně 6 družic. Projekt GPS byl založen jako vojenský podpůrný prostředek pro armádu operující v neznámém terénu, avšak po roce 1994 došlo ke zprovoznění a zpřístupnění části systému i pro civilní sektor. Celý systém je možné rozdělit na tři základní části:

- a) kosmický
- b) řídicí
- c) uživatelský

Kosmický segment tvoří v současné době 32 družic na 6 kruhových drahách s elevací 55° ve vzdálenosti cca. 20 200 km nad zemským povrchem. Do budoucna se plánuje nasadit 6 družic na každou dráhu, což znamená celkem 36 družic. Kromě nezbytné řídicí elektroniky představují součást každé družice atomové hodiny s vysokou přesností vybavené cesiovým nebo rubidiovým oscilátorem, antény pro komunikaci v přidělených pásmech pro pozemní a vzájemnou komunikaci a detektory kontrolující dodržování mezinárodní úmluvy o testování jaderných zbraní. Pro komunikaci bylo vyčleněno několik frekvencí vybraných takovým způsobem, aby byly co nejméně ovlivňovány atmosférou:

- L1 = 1575,42 MHz, na této frekvenci se vysílá C/A kód dostupný civilním navigačním stanicím a také šifrovaný kód P(Y) určený pro vojenské účely
- L2 = 1227,62 MHz, tato frekvence slouží pro vysílání vojenského zabezpečeného kódu P(Y)
- L3 = 1381,05 MHz, tato frekvence obsahuje signály související s doplňkovými funkcemi GPS družic, jako je např. odhalování startů balistických raket, detekce jaderných testů či jiných zdrojů vysokoenergetických záření
- L4 = 1842,4 MHz, tato frekvence slouží pro měření ionosférické refrakce – zakřivení dráhy elektromagnetického záření procházejícího ionosférou
- L5 = 1176,45 MHz, tato frekvence se plánuje využívat jako civilní nouzový signál

Samotné řízení celého systému obstarává velitelství NAVSTAR lokalizované na letecké základně u města Los Angeles v Kalifornii. Dále provoz zajišťují 3 povelové stanice s pozemními anténami a 18 monitorovacích stanic.

Uživatelský segment představují samostatné GPS přijímače s navigačními systémy, pro civilní sektor je deklarovaná přesnost určení polohy mezi 15 metry až 1 metrem, pro vojenský až desítky centimetrů. Přesnost určení polohy je závislá na mnoha faktorech, mezi nejvýznamnější patří počet viditelných satelitů, refrakce a povětrnostní podmínky. Navíc byla do roku 2000 zanášena do civilní frekvence záměrně systematická chyba, jejíž vliv způsoboval proměnnou odchylku polohy až v řádech desítek metrů.

K určení pozice jsou zapotřebí minimálně 3 satelity (podmínka triangulace) nacházející se ve viditelné části oblohy, tedy přibližně 5 až 10° nad obzorem. Za podmínky viditelnosti právě tří satelitů lze určit pouze tzv. neúplnou polohu, která je představována zeměpisnou šířkou a výškou. Při dostupnosti čtyř satelitů může přijímač určit kromě zeměpisné polohy také výšku nad elipsoidem, ze které je možné pomocí vhodné aproximace spočítat nadmořskou výšku.

Při viditelnosti více než 4 satelitů je výsledná poloha určena jako vážený průměr takovým způsobem, aby družice s výhodnější polohou a kvalitnějším signálem měly vždy větší váhu.

V dnešních dnech je na území České republiky průměrně zároveň dostupných 8 družic, maximálně pak 12 a minimálně 6, z čehož vyplývá po většinu doby garance bezproblémového určení polohy.

5.1 GPS modul

Tento modul bude sloužit k příjmu signálu z GPS družic, jeho zpracování a převedení do podoby vhodné pro zpracování nadřazeným systémem. V dnešní době, kdy došlo k masivnímu rozšíření přístrojů vybavených GPS přijímači, jako například navigací a mobilních telefonů, se vyskytuje na trhu veliké množství už hotových modulů určených jak k zabudování do stávajících zařízení, tak pro vývojové účely.

Moduly pro vývojové účely jsou charakteristické použitím poměrně velké desky plošných spojů, na které je umístěn jak samotný přijímač, tak i obvody komunikačních rozhraní (RS232, USB), anténa či anténní konektor spolu s vysokofrekvenčními součástkami, stabilizátor napětí a konektory – většinou pinové hřebínky - pro snadnou integraci modulu do testovaného zařízení.

Pro obě základní skupiny se používají nejčastěji dva čipsety – SIRF3 a MTK. Dle katalogových listů výrobců a zkušeností se mezi nimi nevyskytují zásadnější rozdíly, navíc jsou z hlediska komunikačního protokolu jednotné.

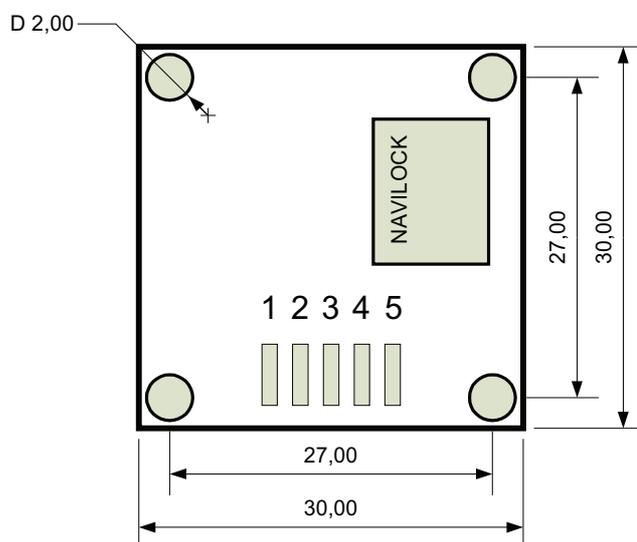
Pro projekt autoalarmu bylo nutné zvolit modul vybavený sériovým komunikačním rozhraním s úrovněmi kompatibilními s CMOS logikou 3,3 V, dále s konektorem umožňujícím snadné propojení s hlavní jednotkou a pokud možno integrovanou anténou, díky níž odpadají problémy s vysokofrekvenční částí. Neméně důležitý požadavek představuje mechanické provedení modulu, které by mělo umožňovat snadnou montáž na zvolené místo v automobilu.

Z na trhu nabízených modulů jsem nakonec zvolil modul NAVILOCK NL-504ETTL, jehož základní parametry jsou shrnuty níže [37]:

- Čipset MediaTek MT3318
- Rozsah napájecího napětí: 3 až 4,2 V
- Odběr proudu: 41 mA
- Náběhový čas při studeném startu: 36 s
- Náběhový čas při teplém startu: 2 s
- Obnovovací frekvence: 1 Hz
- Komunikační protokol NMEA 0183
- CMOS 3,3 V kompatibilní
- Průměrná přesnost 3 m
- Malé rozměry 3x3 cm
- Montážní otvory o průměru 2 mm
- Záložní baterie
- Rozsah provozních teplot: -30 až 85 °C

Použitý modul obsahuje integrovanou anténu, která je umístěna ze spodní strany plošného spoje. I přes její malé rozměry by podle výrobce neměl nastat problém s přijímáním dat v automobilu. Při zapnutí modulu se nejprve načtou z paměti souřadnice, které byly získané při posledním stanovení polohy. Tato funkce nepoměrně zrychluje celý proces náběhu.

K řídicímu mikrokontroléru se modul připojuje pomocí pájecích pinů, jejichž umístění a význam se nachází v tabulce Tab. 5.1 a na obrázku Obr. 5.1.



(Obr. 5.1) GPS modul
Kresba autor

(Tab. 5.1) Význam pinů GPS modulu

Číslo pinu	Popis	Význam
1	VDD	Kladný pól napájecího napětí
2	RX	Příjem sériových dat
3	TX	Vysílání sériových dat
4	GND	Zem napájení
5	GND	Zem napájení

5.2 Protokol NMEA 0183

GPS moduly používají standardně ke komunikaci sériové rozhraní UART, které bývá v případě novějších modulů vnitřně propojeno s interním převodníkem UART/USB či v menší míře s převodníkem UART/I2C. Komunikační rychlost je stanovena většinou na 9600 bitů/s. Celý přenos dat je realizovaný několika typy vět (= rámců), jejichž formát je specifikován dle asociace NMEA [24].

Specifikace vlastního protokolu NMEA 0183 není veřejně přístupná, získat ji lze pouze po zaplacení poplatku cca. 100\$. Ale i přesto se lze k informacím dostat, avšak s rizikem jejich zastaralosti a chybovosti. Jednotlivé věty lze rozdělit do následujících tří skupin:

- věty ze strany mluvčího, které slouží k předávání informací od přijímače GPS. Samotné vysílání dat probíhá kontinuálně s periodou jedné sekundy a není řízené mikrokontrolérem
- proprietární věty, tyto věty si může definovat každý výrobce přijímače sám
- dotazovací věty, pomocí kterých žádá posluchač o zaslání konkrétní odpovědi od GPS přijímače

V projektu alarmu jsou využity pouze věty ze strany mluvčího, jejichž rámce jsou uvozeny znaky \$GP, za kterými následuje tříznakový identifikátor typu rámce. Význam jednotlivých identifikátorů je shrnutý v tabulce Tab. 5.2.

(Tab. 5.2) Typy identifikátorů

Identifikátor	Popis
GGA	Přesné stanovení polohy v třírozměrném prostoru
GLL	Zeměpisné souřadnice
GSA	Počet viditelných satelitů a přesnost určení polohy
GSV	Detailní informace o satelitech
RMC	Souřadnice, čas, rychlost
VTG	Kurz a rychlost vůči povrchu

Za identifikátorem už následují po oddělení čárkou vlastní údaje. Správnost dat je jištěna kontrolním součtem, který začíná znakem hvězdička '*' a za níž následují dvě hexadecimální číslice představující logickou operaci XOR (exclusive OR) ze všech znaků mezi '\$' a '*'. Samotný „dolar“ a hvězdička se do kontrolního součtu nezapočítávají. Každá věta může obsahovat nejvýše 80 znaků plus '\$' a <CR><LF> (= ukončení a zalomení řádku), celkem tedy 83 bajtů.

Celý rámeček pak může vypadat například takto:

```
$GPRMC,101521.000,A,5512.2233,N,01120.8745,W,0.12,287.23,040312,,A*CS<CR><LF>
```

V projektu autoalarmu jsou využívány rámce VTG, RMC a GGA. Vysvětlení údajů, které jsou obsaženy v použitých rámcích, je uvedeno v tabulkách Tab. 5.3 až Tab. 5.5. Samotný obsah údajů v záhlaví tabulky je pouze ilustrační, bez významového vztahu k práci. Pro zjištění konkrétního údaje je potřeba postupovat ve dvou krocích, nejprve se zjistí typ rámce testováním přijímaných dat na úvodní řetězec, ve kterém se údaj nachází. Poté je třeba určit začátek požadovaného údaje, což lze realizovat na základě faktu, že jsou jednotlivé údaje od sebe odděleny znaky ','. Pokud tedy budeme chtít například získat 5. údaj v rámci, přečteme znaky mezi 5. a 6. čárkou.

Z rámce VTG byly v projektu autoalarmu použity údaje o kilometrové rychlosti a kurzu vzhledem k zeměpisnému pólu, z rámce RMC údaje o zeměpisné šířce a výšce a z rámce GGA pak hodnota nadmořské výšky.

(Tab. 5.3) Rámec VTG

\$GPVTG,190.34,T,,M,0.33,N,0.61,K,A*CS		
Údaj	Význam	Jednotka
190.34	Kurz	stupně
T	Kurz vztažen k zeměpisnému pólu	
-	Kurz	
M	Kurz vztažen k magnetickému pólu	
0.33	Rychlost	uzly
N	Jednotka výše uvedené rychlosti jsou uzly	
0.61	Rychlost	km/h
K	Jednotka výše uvedené rychlosti jsou km/h	
A	Typ módu (A = autonomní)	
*CS	Kontrolní součet	

(Tab. 5.4) Rámec RMC

\$GPRMC,101521.000,A,5512.2233,N,01120.8745,W,0.33,190.34,140312,,,A*CS		
Údaj	Význam	Jednotka
101521.000	UTC čas (10h 15min 21,000s)	hhmmss.sss
A	Platnost dat (A = platná, N = neplatná)	
5512.2233	Zeměpisná šířka (55° 12,2233´)	stupně, minuty
N	Zeměpisná šířka (N = severní, S = jižní)	
01120.8745	Zeměpisná délka (11° 20,8745´)	stupně, minuty
W	Zeměpisná délka (E = východní, W = západní)	
0.33	Rychlost	uzly
190.34	Kurz vztažený k zeměpisnému pólu	stupně
140312	Datum (14.3.2012)	
-	Magnetická deklinace	
-	Směr deklinace (E = východní, W = západní)	
*CS	Kontrolní součet	

(Tab. 5.5) Rámec GGA

\$GPGGA,101521.000,5512.1233,N,01120.8745,W,1,8,1.33,560.9,M,87.2,M,*CS		
Údaj	Význam	Jednotka
101521.000	UTC čas (10h 15min 21,000s)	hhmmss.sss
5512.2233	Zeměpisná šířka (55° 12,2233´)	stupně, minuty
N	Zeměpisná šířka (N = severní, S = jižní)	
01120.8745	Zeměpisná délka (11° 20,8745´)	stupně, minuty
W	Zeměpisná délka (E = východní, W = západní)	
1	Přesnost dat	
8	Počet použitých satelitů	
1.33	Horizontální přesnost dat (1.33 = výborná)	
560.9	Nadmořská výška	m
M	Jednotkou nadmořské výšky je metr	
87.2	Rozdíl mezi zemským elipsoidem a střední úrovní moře	m
M	Jednotkou rozdílu je metr	
*CS	Kontrolní součet	

6. GSM modul

Pro hlášení narušení či pro vzdálené řízení autoalarmu se používá obousměrného přenosu dat pomocí sítě GSM určené pro mobilní telefony. V zařízení by bylo možné použít samostatný GSM modul, ale z cenových důvodů a snadné dostupnosti postačí i starší mobilní telefon podporující sériovou komunikaci a ovládání pomocí AT příkazů. Z široké palety mobilních telefonů splňujících tyto požadavky byl vybrán starý Siemens C35. Pro výběr tohoto telefonu hovořilo několik důvodů:

- bohatá sada AT příkazů
- hardwarový modem
- napěťové úrovně kompatibilní s CMOS 3,3 V
- citlivý přijímač
- poměrně vysoká odolnost
- nízká cena

Jako nevýhodné se mohou jevit velké rozměry a s tím spojené obtíže při skryté montáži ve vozidle, a menší spolehlivost než průmyslový GSM modul.

Telefon je propojený s hlavní jednotkou alarmu pomocí systémového konektoru, jehož podoba a zapojení jednotlivých pinů je uvedena na obrázku Obr. 6.1 a v tabulce Tab. 6.1. Tento konektor je s drobnými odlišnostmi ve funkci pinů používán i u telefonů Siemens řady M a S.



(Obr. 6.1) Systémový konektor Siemens C35
Převzato z [28].

(Tab. 6.1) Zapojení systémového konektoru

Pin	Název	Směr	Popis
1	GND	-	Záporný pól napájení
2	SELF-SERVICE	vstup/výstup	Stav/řízení nabíjení akumulátoru
3	LOAD	vstup	Zapnutí/vypnutí telefonu
4	BATTERY	výstup	Výstup baterie (pouze u S25)
5	DATA OUT	výstup	Vysílání sériových dat
6	DATA IN	vstup	Příjem sériových dat
7	Z_CLK	-	Časová linka pro užití jako DCD
8	Z_DATA	-	Datová linka pro užití jako CTS
9	MICG	-	Signálová zem pro mikrofon
10	MIC	vstup	Vstup pro mikrofon
11	AUD	výstup	Reproduktor
12	AUDG	-	Signálová zem pro reproduktor

Komunikace s telefonem je realizovaná pomocí sériového kanálu UART s parametry:

- rychlost 19 200 bit/s
- 1 stop bit
- počet bitů: 8
- bez parity

Z hlediska napájení nastává u mobilních telefonů značky Siemens komplikace s automatickým nabíjením prázdného akumulátoru. Pokud je mobilní telefon neustále připojen k externímu napájení, tak po nabití baterie na 100% dojde k programovému odpojení nabíjecího napětí a telefon začne pracovat z akumulátoru. Bohužel není telefon schopen po vybití akumulátoru zpětně programově připojit napájení a tím dobít akumulátor. Řešení tohoto problému spočívá v provozování telefonu bez vložené akumulátorové baterie, jeho napájení bude tudíž realizováno pomocí, k tomuto úkolu určeného, měniče napětí, který tvoří součást hlavní jednotky. Povolený napájecí rozsah telefonu činí 3,2 až 5,5 V, mimo tyto hodnoty dochází k vypnutí telefonu. Proto je výstupní hodnota napájecího napětí z měniče stanovena na 3,6 V. Samotné zapnutí telefonu je v případě modelu C35 realizováno pomocí přivedení kladného impulsu o délce větší než 60 ms na třetí pin systémového konektoru. Pokud toto provedeme při zapnutém telefonu, dojde k jeho vypnutí. Telefon komunikuje po sériovém rozhraní pomocí AT příkazů, které můžeme v případě telefonu Siemens C35 rozdělit na dvě skupiny:

- AT příkazy dle specifikace GSM 07.07
- specifické příkazy Siemens

V projektu jsou použity příkazy dle standardu GSM 07.07, které by měly být podporovány všemi mobilními telefony. Proto by neměly nastat podstatnější obtíže při nasazení jakéhokoliv telefonu či GSM modulu, který umožňuje komunikaci po sériovém rozhraní.

6.1 Použité AT příkazy

- **AT<CR>**
Tento příkaz slouží k testovacím účelům, pokud je telefon ve funkčním stavu, vrátí „OK“.
- **ATE0<CR>**
Po odeslání tohoto příkazu dojde k vypnutí echa, pokud bychom ho nevypnuli, tak by telefon vrátil po každém příkazu znaky zpět. Při úspěšně přijatém příkazu vrátí telefon „OK“.
- **AT+CVIB=0<CR>**
Při tomto příkazu dojde k vypnutí vibračního vyzvánění. Opačným příkazem je **AT+CVIB=1<CR>**. Při úspěchu vrátí telefon „OK“.
- **AT+CALM=1<CR>**
Používá se k vypnutí vyzvánění. Příkazem **AT+CALM=0<CR>** se vyzvánění naopak zapne.
- **AT^SMSO<CR>**
Tento příkaz vypne mobilní telefon, pozor, není definováno ve specifikaci GSM 07.07. Při úspěchu vrátí „OK“.
- **AT+CMGR=2<CR>**
Tímto příkazem přečteme z paměti telefonu SMS zprávu na pozici uvedené za znakem '='. V uvedeném příkladě na druhé pozici. Telefon vrátí délku zprávy a SMS s metainformacemi v PDU formátu.
- **AT+CMGD=2<CR>**
Tímto příkazem smažeme z paměti telefonu SMS zprávu na pozici uvedené za znakem '='. V uvedeném příkladě na druhé pozici. Při úspěchu vrátí telefon „OK“.
- **AT+CMGS=+420720358908<CR>**
Pomocí tohoto příkazu dojde k odeslání SMS zprávy v PDU formátu na číslo uvedené ve formě řetězce za znakem '='.
- **AT+CPMS="SM"<CR>**
Tímto příkazem se definuje paměť pro práci s SMS zprávou. "SM" = SIM karta, "ME" = paměť telefonu. Při úspěchu vrátí telefon „OK“.
- **ATD=+420720358908<CR>**
Tento příkaz slouží pro volání na číslo uvedené ve formě řetězce za znakem '='. Při úspěchu vrátí telefon „OK“.

Poznámka : symbol <CR> znamená carriage return, používá se při ukončení řádku, jeho hexadecimální hodnota je 0x0D, v jazyce C se zapisuje jako \r.

6.2 Příjem a zpracování SMS

Čtení a smazání SMS zprávy představuje jednu ze tří skupin operací, které lze nad množinou zpráv realizovat. Druhá skupina je představována zápisem zprávy a jejím odesláním do sítě, třetí uložení zprávy po jejím přijetí. Každé ze tří vyjmenovaných skupin operací lze přiřadit paměťový prostor, se kterým pak operace z dané skupiny přednostně pracují. Pro správu tohoto přiřazení je v sadě AT příkazů přítomen příkaz AT+CPMS. Operace příjmu zprávy bude sloužit v případě autoalarmu k ovládní jeho výstupů, zjišťování aktuálního provozního stavu a získání aktuálních GPS souřadnic.

Maximální délka jedné SMS zprávy činí 140 B, což by při použití 8 bitové abecedy představovalo 140 znaků. Protože jsou ale znaky z ASCII tabulky kódovány pomocí 7 bitů, je možné bit s nejvyšší vahou (MSB) u každého znaku vypustit a zápis tak zredukovat na 7 bitů. Při kapacitě zprávy 140 B je tudíž možné odeslat až 160 znaků. Na tomto způsobu zápisu znaků je založen způsob PDU kódování SMS zprávy.

Ve své podstatě představuje formát PDU (Protocol Data Unit) protokol, který obstarává, mimo jiné, šifrování SMS zpráv takovým způsobem, aby obsahovaly všechny potřebné informace nutné pro cestu od odesílatele k příjemci a zároveň byly datově co nejúspornější. Jednotlivých typů PDU formátů se vyskytuje několik, pro projekt autoalarmu byl využit SMS-DELIVER pro příjem SMS zprávy a SMS-SUBMIT pro odeslání zprávy [25].

Požadovaný PDU rámec lze získat z telefonu pomocí příkazu AT+CMRG=*x*\r, kde znak '*x*' značí pořadí SMS zprávy v paměti, které může nabývat u telefonu Siemens C35 hodnot od 1 do 10. Po provedení příkazu vrátí telefon soubor hexadecimálních ASCII znaků ve formě různě dlouhého rámce. Dva hexadecimální znaky tvoří tzv. oktět.

Popis částí PDU rámce a způsob kódování je proveden na příkladě CMRG rámce:

```
+CMRG: 1,,39
0791246020099990240C91247002539880002130414182134000D47E814749C364
1416650DA04
OK
```

kde +*CMRG*: značí odpověď na příkaz CMRG, následující číslice v prvním řádku (=1) definuje stav SMS zprávy:

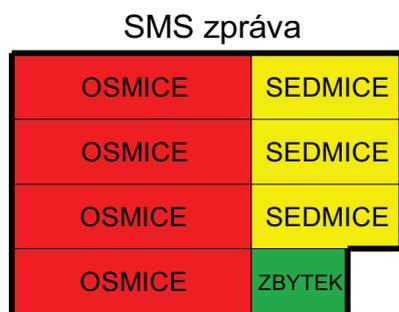
- 0 = přijatá nepřečtená zpráva
- 1 = přijatá přečtená zpráva
- 2 = uložená neposlaná zpráva
- 3 = uložená poslaná zpráva

Druhé součíslicí (39) určuje délku zprávy v dvojicích hexadecimálních znaků (= oktětů). Význam znaků z druhé řádky je vysvětlen v tabulce Tab. 6.2.

(Tab. 6.2) Význam jednotlivých znaků v PDU rámci

Znak	Význam
7	Počet oktetů (= dvojice hexadecimálních údajů) SMSC informace
91	Formát čísla SMS centra, 91 = mezinárodní formát
24 60 20 09 99 90	Číslo SMS centra (=SMSC), číslo je rozděleno na dvojice, kdy čísla v každé dvojici jsou prohozená. Výsledné číslo je tedy: +420602909909
24	První oktet rámce, 24 = bude se odesílat potvrzení o doručení a nebude se posílat navazující SMS
0C	Délka čísla příjemce (= 12)
91	Formát čísla odesílatele, 91 = mezinárodní formát, 81 = národní formát
247002539880	Telefonní číslo odesílatele, číslo je rozděleno na dvojice, čísla v každé dvojici jsou prohozená. Výsledné číslo je tedy: +420720358908
0	Identifikace protokolu
0	Způsob kódování dat
213041418213400	Čas a datum doručení, znaky jsou přeházené po dvojicích v pořadí: rok-měsíc-den-hodina-minuta-sekunda-časová zóna, která je udávána v jednotkách čtvrt hodin. Výsledný čas a datum je tedy: 14.03.2012 14:28:31
0D	Počet oktetů ve zprávě, 0x0D=13
47E814749C3641416650DA04	Vlastní zpráva

Dekódování vlastní zprávy se provede v několika krocích, při prvním se celá zpráva rozdělí na konglomeráty osmi a sedmi oktetů, které se opakují přes celou zprávu (Obr. 6.2). Následně se jednotlivé oktety převedou do binárního zápisu.



(Obr. 6.2) Způsob rozdělení zprávy
Kresba autor.

Pro konkrétní případ vlastní zprávy z tabulky Tab. 6.2 bude vypadat první osmice oktětů a jejich binární vyjádření takto: **47E814749C3641416650DA04**

(Tab. 6.3) Osmice znaků, oktětů

Oktet	47	E8	14	74	9C	36	41	41
Binar	01000111	11101000	00010100	01110100	10011100	00110110	01000001	01000001

Nyní je potřeba přetransformovat 8 bitové hodnoty, znaky na 7 bitové. Tato operace se realizuje tím způsobem, že se u prvního znaku (oktetu) odtrhne 1 bit, u druhého 2 bity, u třetího 3 bity atd. a tyto bity se vždy připsou k následujícímu znaku. U osmého znaku zůstane celé 8bitové slovo, které poslouží jako první byte dalšího řetězce (= sedmice). Celá realizace je ukázána v tabulce Tab. 6.4.

(Tab. 6.4) Bitová transformace

Bin	01000111	11101000	00010100	01110100	10011100	00110110	01000001	01000001
Bin dekod.	1000111	1010000	1010011	0100000	1000111	1010011	1001101	0100000
Hex	47	50	53	20	47	53	4D	20
Znak	G	P	S	mezera	G	S	M	mezera

V případě zbytku zprávy se postupuje stejným způsobem jako u úvodní osmice, nejprve se oktety převedou do binární podoby a poté přetransformují.

(Tab. 6.5) Zbývající znaky

Oktet		66	50	DA	04
Binar	01000001	01100110	01010000	11011010	00000100

(Tab. 6.6) Bitová transformace

Bin	01000001	01100110	01010000	11011010	00000100
Bin dekod.	1000001	1001100	1000001	1010010	1001101
Hex	41	4C	41	52	4D
Znak	A	L	A	R	M

Výsledná podoba textu je pak takováto: **GPS GMS ALARM**

6.3 Odesílání SMS zprávy

Při odesílání SMS zprávy se jako při příjmu zprávy používá redukce znaků na 7 bitů. Celé odesílání je realizováno pomocí AT příkazu: $AT+CMGS=x/r$, kde znak x značí počet bytů v PDU rámci, bráno bez úvodního bytu. Pokud se příkaz úspěšně zpracoval, mobilní telefon odešle nazpátek znak '>', který představuje výzvu pro zadání PDU rámce.

Způsob sestavování PDU rámce a odeslání zprávy pomocí AT příkazu je ukázán na příkladu, kdy budeme chtít odeslat řetězec „ZAPNI ALARM“.

První operaci představuje rozdělení odesílaného řetězce po osmi ASCII znacích (započítány jsou i mezery): **ZAPNI ALARM**, následně se znaky převedou, podobně jako v případě dekódování zprávy, do binární podoby. Poté se vezme nejnižší bit druhého znaku a přesune se na pozici nejvyššího bitu znaku prvního. Následně se provede bitový posuv vpravo u bitů druhého znaku a na místo dvou nejvyšších bitů se přesune trojice nejnižších bitů znaku třetího. Stejným způsobem se postupuje až k poslednímu znaku. Po provedení kódování je zřetelně patrná hlavní výhoda tohoto nakládání s daty spočívající v úspoře místa, kdy z původních osmi znaků zůstává sedm.

(Tab. 6.7) Způsob kódování PDU

Znak	Z	A	P	N	I	<Mezera>	A	L
Hex	5A	41	50	4E	49	20	41	4C
Bin	01011010	0100000 1	010100 00	01001 110	0100 1001	001 00000	01 000001	0 1001100
Kod	1 1011010	00 100000	110 10100	1001 1001	00000 100	000001 01	1001100 1	-----
Hex	DA	20	D4	99	04	05	99	

(Tab. 6.8) Způsob kódování PDU

Znak	A	R	M
Hex	41	52	4D
Bin	01000001	0101001 0	010011 01
Kod	0 1000001	01 101001	00010011
Hex	41	69	13

Po provedeném kódování můžeme už zapsat zprávu jako posloupnost ASCII znaků:
DA20D499040599416913

Po vytvoření podoby PDU zprávy je potřeba vytvořit celkový rámec, který bude odeslán pomocí AT příkazu do telefonu. Jak již bylo uvedeno výše, k odeslání rámce se použije příkaz *AT+CMGS=x\r*, kde proměnná x značí délku zprávy v oktetech. Celá zpráva se skládá z délky PDU textu zprávy (počtu dvojic znaků v PDU formátu) a z délky PDU hlavičky.

Obsah hlavičky představují informace o telefonním čísle střediska SMS zpráv, typu zprávy a o čísle odesílatele, do délky hlavičky se nezapočítává první oktet, který obsahuje dvě nuly.

Podoba hlavičky je shrnuta v tabulce Tab. 6.9.

(Tab. 6.9) Hlavička zprávy

Znak	Význam
00	Nese informace o středisku SMS zpráv, při 00 je použito nastavení uložené v telefonu, při 07 následuje 7 oktetů určujících SMSC
01	Odesílání doručky
00	Odkaz na SMS zprávu, nabývá hodnot od 0 do 255, telefon si nastaví sám
0C	Délka telefonního čísla
91	Určuje formát telefonního čísla příjemce, 91 = mezinárodní, 81 = národní
247002539880	Telefonní číslo příjemce zprávy, číslo je rozděleno na dvojice, ve kterých se čísla prohodí. Výsledné číslo tudíž je: +420720358908
0B	Délka textu před konverzí
DA20D499040599416913	Vlastní zpráva
1A	Ukončení rámce, tento oktet se NEZAPOČÍTÁVÁ do celkového počtu bytů zprávy

Délka zprávy činí 22 bytů.

Celý postup vedoucí k odeslání SMS zprávy pak vypadá takto:

Nejprve se odešle příkaz *AT+CMGS=22<CR>*, po kterém by měl telefon vrátit znak *><CR>*. V případě úspěchu odešleme vlastní znaky zprávy:

```
0001000C91247002539880DA20D4990405994169131A
```

Pokud byly znaky přijaty telefonem a korektně odeslány, vrátí telefon *+CMGS:X OK* značící, že bylo zprávě přiřazeno číslo *X* a že byla v pořádku odeslána.

7. Akcelerometr

Jako jeden ze senzorů pro detekci neoprávněného zacházení s vozidlem byl zvolen akcelerometr plnící funkci ochrany před odcizením kol a před naložením vozidla na odtahové vozidlo. Ještě v nedávné době se k tomuto úkonu používala čidla založená ryze na mechanickém principu, která se vyznačovala pouze malou odolností vůči falešným poplachům. V dnešních dnech představují náklonové senzory samostatné jednotky vybavené mikroprocesorem, který na základě svého vnitřního algoritmu zajišťuje robustní funkci a odolnost vůči vlivům vedoucím k falešným poplachům. Základem těchto jednotek bývá právě akcelerometr.

7.1 Pojem akcelerometr

Akcelerometr představuje senzor sloužící k měření velikosti veličiny představující jednu z nejdůležitějších charakteristik pohybu – akcelerace, která popisuje, jakým způsobem se mění rychlost tělesa v čase (jedná se tedy o dynamický jev).

Pro výpočet okamžité velikosti akcelerace platí vztah: $a = \frac{dv}{dt} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad (32)$

kde a zrychlení

v rychlost

t čas

d/dt derivace podle času

Samotné akcelerometry měří jak zrychlení způsobené různými dynamickými jevy, např. vibrace, tak i statické zrychlení představované tíhovým zrychlením o velikosti $g = 9,823 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Akcelerometry můžeme rozdělit podle různých hledisek do několika základních skupin:

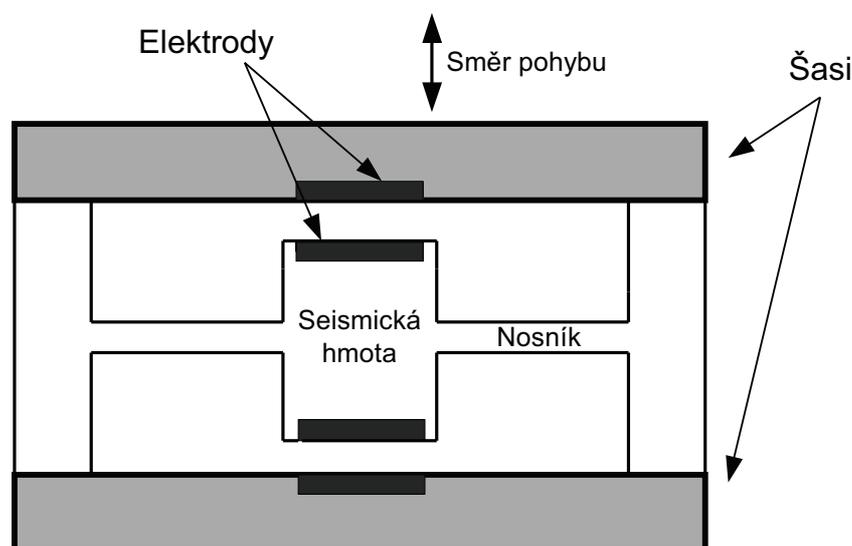
- hledisko principu funkce: a) elektrické
b) optické
c) mechanické
d) kombinované
- hledisko počtu měřených os: a) jednoosé
b) dvouosé
c) tříosé
- hledisko typu výstupu: a) analogové
b) digitální
- hledisko měřicího rozsahu: a) nízká zrychlení do hodnoty přibližně 10 g
b) střední zrychlení do hodnoty přibližně 100 g
c) vysoká zrychlení do hodnoty přibližně 300 g

Detailní popis všech těchto skupin přesahuje rámec této diplomové práce, pro více informací doporučuji zdroj [1].

V dnešní době došlo k masivnímu rozšíření akcelerometrů vlivem jejich aplikace v přenosných zařízeních, jako jsou mobilní telefony, tablety apod., kde plní funkci ovládacího prvku. Tyto akcelerometry jsou vyráběny na bázi technologie MEMS, která integruje v jednom pouzdře obvod elektronické a (mikro)mechanické prvky. Z hlediska principu funkce jsou tyto akcelerometry založeny na změně kapacity integrovaného měřicího kondenzátoru vlivem působících sil, které jsou zapříčiněny akcelerací dle vztahu:

$$\vec{F} = \vec{a} \cdot m \quad [\text{N}] \quad (33)$$

Celá situace je naznačena na obrázku Obr. 7.1.



(Obr. 7.1) Kapacitní akcelerometr
Kresba autor

Vlivem působící síly ve směru šipky dojde k vychýlení seismické hmoty k jedné nebo druhé straně a tím i ke změně kapacity kondenzátorů, které jsou tvořeny dvojicemi elektrod.

7.2 Akcelerometr MMA7455L

Pro projekt alarmu byl zvolen z důvodu digitálního výstupu a dostupnosti tříosý akcelerometr MMA7455L od firmy FreeScale, která patří mezi přední výrobce MEMS obvodů, zejména pro automobilový průmysl.

Vybraný akcelerometr patří mezi levné typy akcelerometrů s nízkou spotřebou v aktivním režimu, vyznačující se digitálním výstupem ve formě I2C sběrnice nebo rychlejším SPI rozhraním, malými rozměry, vysokou odolností vůči rázům a mechanickým šokům, vysokou citlivostí a nastavitelným měřicím rozsahem od ± 2 do ± 8 g.

Obvod je vybavený diagnostickou funkcí Self-test, pomocí které lze otestovat integritu mechanické a elektronické části obvodu. Pro navázání obvodu k nadřazenému mikrokontroléru neslouží pouze zvolená sběrnice, ale i dvojice separátních výstupů, které, dle nastavení, poskytují informaci o překročení prahových hodnot akcelerace nebo o dostupnosti dat. Pomocí těchto výstupů je možné generovat přerušování mikrokontroléru nebo ho probudit z režimu spánku.

Podstatné parametry jsou shrnuté v tabulce Tab. 7.1.

(Tab. 7.1) Parametry akcelerometru MMA7455L

Parametr	Hodnota	Jednotka
Napájecí napětí	2,4 až 3,6	V
Odběr proudu v aktivním stavu	400	μA
Odběr proudu ve stavu spánku	2,5	μA
Měřené osy	X,Y, Z	-
Měřicí rozsahy	$\pm 2, \pm 4, \pm 8$	g
Citlivost	Rozsah : $\pm 2\text{g} = 64$ $\pm 4\text{g} = 32$ $\pm 8\text{g} = 16 / 8 \text{ bit}$ $\pm 8\text{g} = 64/10 \text{ bit}$	číslo/g
Šířka měřicího pásma	62,5 nebo 125	Hz
Nelinearita	± 1	%
Rozsah provozních teplot	-40 až 85	$^{\circ}\text{C}$

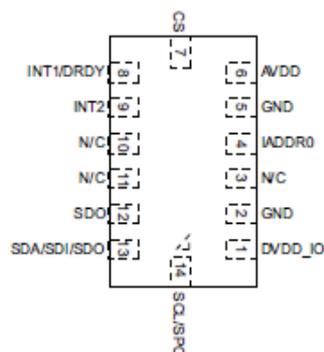
Více informací o akcelerometru se nachází v datovém listě výrobce [34].

Obvod je dodáván v pouzdře LGA-14, které se vyznačuje vývody ve formě malých plošek umístěných zespodu pouzdra. Z těchto důvodů je osazení součástky v domácích podmínkách poměrně komplikované, ale ne nemožné. Kvůli obavě ze zničení hlavní desky alarmu při pájení tohoto obvodu jsem akcelerometr umístil na malou separátní destičku, která je s hlavní deskou rozebíratelně spojena pomocí pinových lišt.

Celé pájení bylo realizováno za pomoci horkovzdušné pistole, kdy byly nejprve kontaktní plošky akcelerometru a plošného spoje pocínovány tenkou vrstvou cínu, poté bylo pouzdro obvodu přiloženo na plošný spoj a pečlivě vycentrováno. K jeho zajištění posloužily velké „krokodýlové“ svorky. Nakonec byla destička vystavena toku horkého vzduchu horkovzdušné pistole nastavené na teplotu 300°C . Doba pájení se pohybovala okolo 10 sekund.

Tímto způsobem byl zapájen celý obvod už na první pokus, aniž by došlo k jeho poškození.

Zapojení pouzdra obvodu se nachází na obrázku Obr. 7.2, význam jednotlivých pinů v tabulce Tab. 7.2.



(Obr. 7.2) Pouzdro akcelerometru
Převzato z [34]

(Tab. 7.2) Význam pinů akcelerometru MMA7455L

Pin	Význam
DVDD_IO	Kladný pól napájení pro číslic. část
GND	Zem
IADDR0	Spodní bit I2C adresy
AVDD	Kladný pól napájení pro analog. část
CS	Chip Select pro SPI sběrnici
INT1/DRDY	Přerušovací výstup 1
INT2	Přerušovací výstup 2
SDO	SPI výstup dat
SDA/SDI	I2C data, SPI vstup dat
SCL/SPC	Hodiny pro I2C či pro SPI
N/C	Nepropojeno

7.3 Funkce akcelerometru

Akcelerometr bude v automobilu plnit funkci, jak již bylo zmíněno výše, detektoru náklonu. Ve své podstatě se jedná o měření velikosti statického zrychlení, které představuje funkční hodnotu tíhového zrychlení.

Velikost gravitačního zrychlení vyplývá ze vztahu: $g = \kappa \cdot \frac{M}{R^2} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (34)$

kde κ Newtonova konstanta

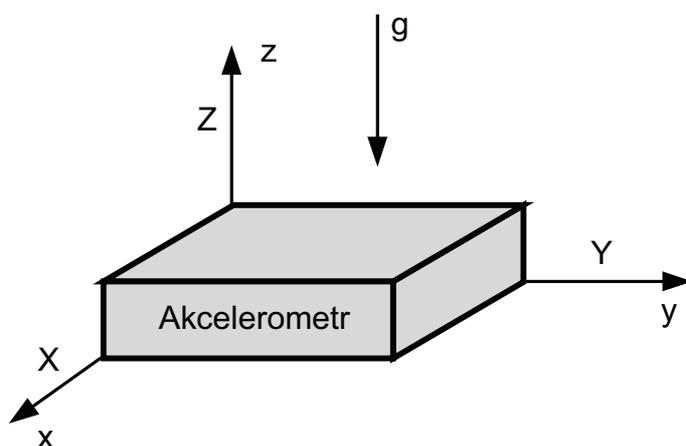
M hmotnost Země, $5,9736 \times 10^{24}$ kg

R poloměr Země ve formě „ideální koule“, $R = 6371$ km

Po vyčíslení vztahu (34) vychází hodnota zrychlení $g = 9,823 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Protože Země vykonává rotační pohyb kolem své osy, nepůsobí na tělesa pouze síla vyvolaná gravitačním zrychlením g , ale i síla odstředivá, která dosahuje největší velikosti na rovníku a naopak nulové na pólech. Obě síly se vektorově sčítají, jejich produktem je tzv. tíhová síla projevující se tíhovým zrychlením. Zatímco gravitace míří přesně do středu planety, tíhová síla působí ve směru mírně odlišném. Na různých místech povrchu planety se velikost tíhového zrychlení mírně liší (v řádu setin $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), zatímco na rovníku je jeho hodnota nejmenší, směrem k pólům se postupně zvětšuje. Proto byla dohodnuta střední hodnota tíhového zrychlení, tzv. normální tíhové zrychlení o velikosti $g = 9,80665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

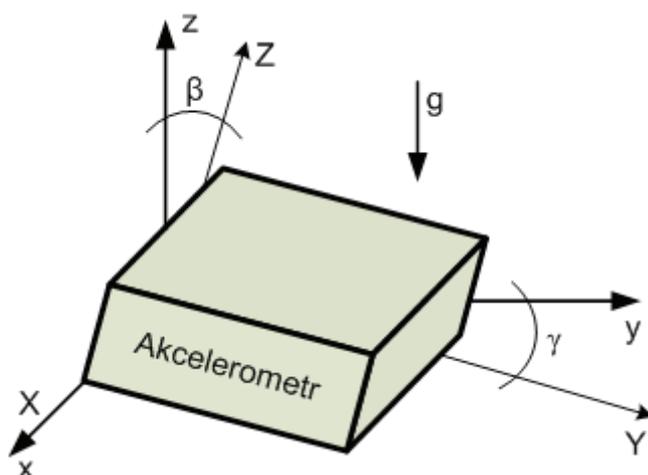
Pokud umístíme akcelerometr do ortogonální souřadné soustavy, která setrvává v klidu nebo pohybu přímočarém rovnoměrném, a jejíž osa Z se překrývá s vektorem tíhového zrychlení, takovým způsobem, že jsou jeho měřené osy X , Y , Z rovnoběžné s osami soustavy (Obr. 7.3), naměříme zrychlení pouze v ose Z . Velikost tohoto zrychlení je totožná s velikostí tíhového zrychlení g .



(Obr. 7.3) Ortogonální systém
Kresba autor

Pokud vychýlíme akcelerometr do pozice patrné na obrázku Obr. 7.4, zjistíme po vyčtení vnitřních registrů měřených os, že se hodnota zrychlení v ose Z zmenšila a naopak u osy Y zaznamenáme nárůst. Vychýlení akcelerometru totiž vede k pohybu seismické hmoty integrovaných měřících kondenzátorů akcelerometru (Obr. 7.1) a tím ke změně jejich kapacity reprezentující aktuální velikost zrychlení.

Dle polohy natočení můžeme změřit kladné nebo záporné zrychlení. Pod pojmem „záporné zrychlení“ je myšleno, jakou stranou je orientován akcelerometr vůči vektoru zrychlení. Například pokud otočíme akcelerometr z obrázku Obr. 7.3 o 180° , bude měřit v ose Z záporné tíhové zrychlení, i když vlastní směr vektoru tíhového zrychlení je neměnný.



(Obr. 7.4) Natočení akcelerometru
Kresba autor

V případě potřeby je možné určit velikost úhlů α (úhlu k ose x), β a γ a tím i velikost výchylky pouze pomocí znalosti zrychlení všech tří os akcelerometru:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{A_X}{\sqrt{A_Y^2 + A_Z^2}}\right) \quad [\text{rad}] \quad (35)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{A_X^2 + A_Y^2}}{A_Z}\right) \quad [\text{rad}] \quad (36)$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{A_Y^2}{\sqrt{A_X^2 + A_Z^2}}\right) \quad [\text{rad}] \quad (37)$$

Při použití akcelerometru ve vozidle nás nezajímá ani tak přesná absolutní hodnota náklonu, ale spíše velikost její změny vůči hodnotě referenční.

Pro funkci náklonoměru je potřeba měřit ustálenou hodnotu tíhového zrychlení s vyloučením střídavých, časově proměnných složek reprezentujících dynamické jevy, mezi něž patří zejména otřesy a vibrace. Tyto jevy je nutné pro korektní chod náklonoměru eliminovat, proto je součástí programového vybavení mikrokontroléru filtr typu klouzavého průměru a jednoduchý filtr typu dolní propust daný diferenciální rovnicí:

$$x_M = y_F + T_F \cdot \frac{dy_F}{dt} \quad (38)$$

kde y_F filtrovaná hodnota
 T_F časová konstanta
 x_M měřená hodnota
 d/dt derivace podle času

Pokud nahradíme derivaci $\frac{dy_F}{dt}$ přibližným vztahem $\frac{\Delta y_F}{T_s}$, kde T_s značí vzorkovací periodu, dostáváme po úpravě vztah pro exponenciální filtr:

$$y(n) = K_F \cdot x_M + (1 - K_F) \cdot y(n-1) \quad (39)$$

kde $y(n)$ nová vyfiltrovaná hodnota
 $y(n-1)$ předchozí vyfiltrovaná hodnota
 x_M měřená hodnota
 K_F koeficient filtrace, $0 < K_F \leq 1$

Hodnota K_F se volí podle účelu, ke kterému se filtrovaný signál využívá. Pokud budeme chtít, aby filtr reagoval jen na dlouhodobé změny, volí se velmi malá, například 0,01. To je i případ akcelerometru, kde se ukázala po několika testech jako nejvhodnější velikost této konstanty hodnota 0,1.

Akcelerometr je nutné před měřením správně nastavit, k tomu slouží banka vnitřních registrů.

7.4 Použití akcelerometru

Použitý akcelerometr dokáže pracovat ve čtyřech módech, které se nastavují pomocí registru Mode Control Register [34]:

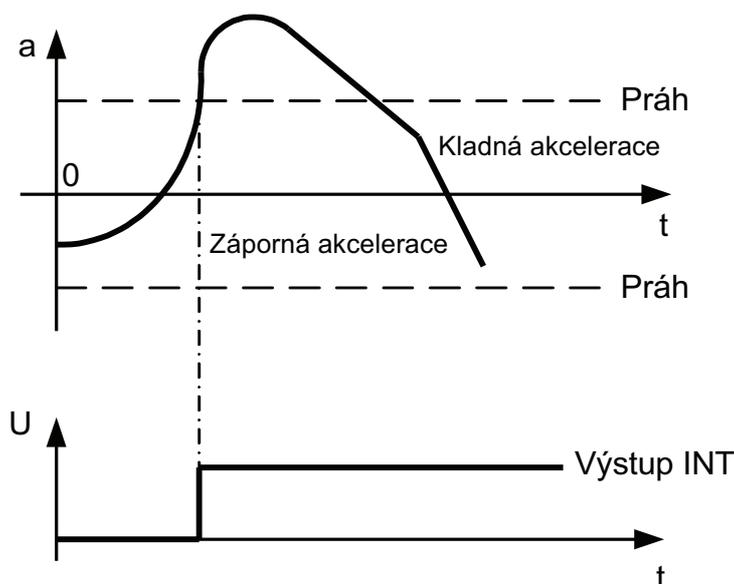
- mód snížené spotřeby, během tohoto stavu je vyřazeno z funkce samotné měření akcelerace, ale komunikace zůstává plně funkční
- měřicí mód, během tohoto módu se provádí kontinuální měření akcelerace jednotlivých os, měřicí rychlost je nastavitelná mezi 62,5 a 125 Hz pomocí registru Control 1, o faktu, že jsou k dispozici naměřené hodnoty, informuje výstup obvodu DRDY
- mód detekce překročení prahové hodnoty, při tomto módu nejsou k dispozici aktuální hodnoty zrychlení, pokud je hodnota akcelerace větší či menší (nastavuje se v registru Control 2) než hodnota prahová, jejíž velikost se nastavuje v registru Level Detection Threshold, změní se logická úroveň výstupního pinu z L na H. Navrácení vysoké úrovně zpět do stavu L neproběhne automaticky, ale je potřeba provést zápis do registru Interrupt Latch.

V zásadě je možné detekovat tyto stavy:

- a) hodnota zrychlení osy X *nebo* Y *nebo* Z překročí prahovou hodnotu
 - b) absolutní hodnota zrychlení osy X *nebo* Y *nebo* Z překročí prahovou hodnotu, tato situace má za následek vytvoření 2 prahů (Obr. 7.5)
 - c) hodnota zrychlení osy X *a zároveň* osy Y *a zároveň* osy Z (podmínka AND) překročí prahovou hodnotu
 - d) absolutní hodnota zrychlení osy X *a zároveň* osy Y *a zároveň* osy Z (logická podmínka AND) překročí prahovou hodnotu
- mód detekce pulzu, funkce je podobná předchozímu módu, akorát se místo překročení prahové hodnoty hlídá výskyt pulzu

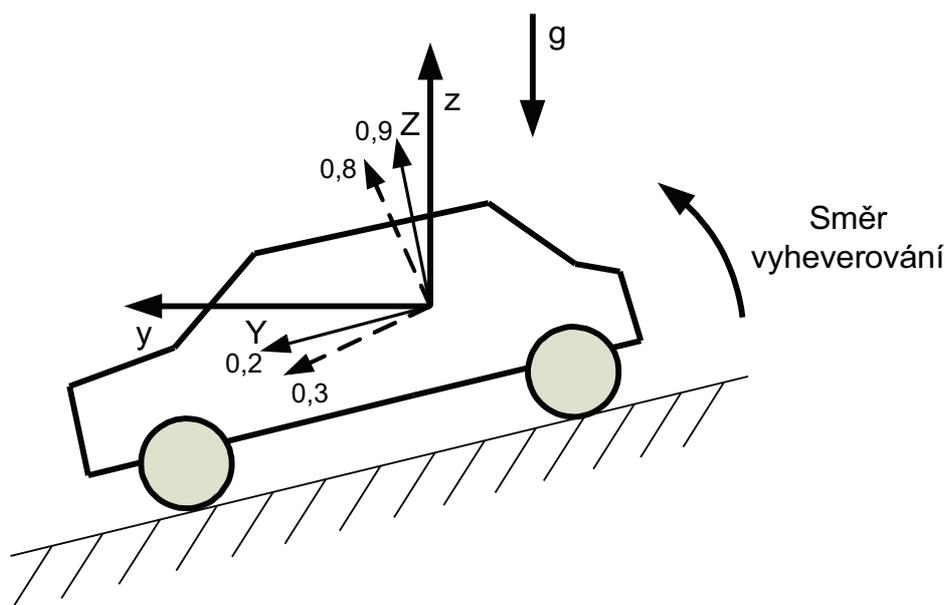
Více informací ke způsobům nastavení detekce prahové hodnoty se nachází v katalogovém listě [34] na straně 11.

Původní myšlenka bylo nechat pracovat akcelerometr ve dvou módech: měřícím a prahově detekčním, kdy by byly po odstavení vozidla změřeny aktuální hodnoty zrychlení všech os, z nich spočteny jejich absolutní hodnoty a následně podle největší z nich nastavena prahová hodnota. Poté by byl mikrokontrolér uspán a akcelerometr přepnut do módu detekce úrovně dle bodu **b**). Po jejím překročení (Obr. 7.5) by byl mikrokontrolér probuzen a akcelerometr následně přepnut zpět do režimu měření, kdy by bylo periodicky odečteno několik hodnot zrychlení a po jejich vyfiltrování rozhodnuto, jestli nastal náklon či ne.



(Obr. 7.5) Detekce úrovně zrychlení
Kresba autor

Při praktických testech se ale ukázalo, že ne při všech náklonech dojde k překročení prahové hodnoty, například poté, co zaparkujeme vozidlo na svahu dle obrázku Obr. 7.6. Pokud se někdo pokusí o vyheverování zadní části vozidla za účelem zcizení kola, zmenší se například hypotetická hodnota zrychlení osy Z z 0,9 g na hodnotu 0,8 g a zároveň se zvýší zrychlení osy Y z 0,2 na 0,3 g. Prahová hodnota byla nastavena dle nejvyšší hodnoty původního zrychlení plus navýšení o 0,05, tedy na hodnotu 0,95 g. Ze situace je patrné, že k překonání prahové hodnoty nedošlo a tudíž nebyl ani vyvolán poplach.



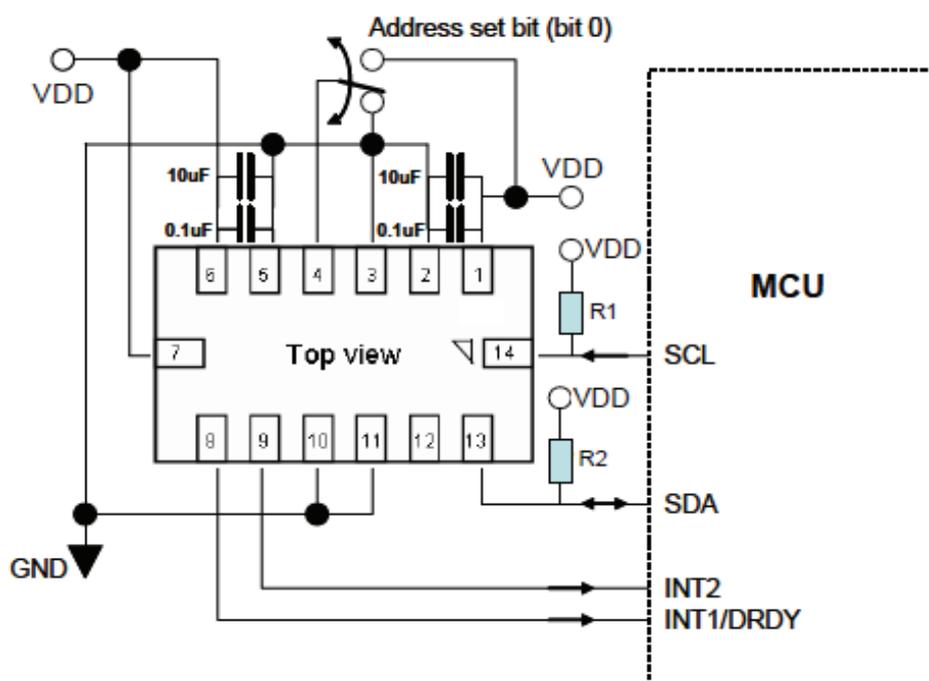
(Obr. 7.6) Vozidlo na svahu
Kresba autor

Řešení této situace představuje kontinuální měření akcelerace a sledování absolutní velikosti jejího přírůstku oproti referenční hodnotě. Pokud by došlo ke změně zrychlení o hodnotu Δa jakéhokoliv z os, byl by tento fakt brán jako korektní náklon a důvod k vyhlášení poplachu.

Negativum metody sledování přírůstku představuje požadavek na víceméně stálý běh řídicího mikrokontroléru, což se podepisuje na zvýšeném proudovém odběru oproti metodě s přerušením, kdy by se mikrokontrolér nacházel většinu doby v režimu spánku.

Kromě výběru pracovního módu je nutné u akcelerometru provést výběr měřicího rozsahu, kdy máme na výběr jednu ze tří hodnot: ± 2 , ± 4 a ± 8 g. Pro projekt autoalarmu, kde bude sloužit akcelerometr ve funkci náklonoměru, bylo vybrán rozsah ± 2 g, se kterým dosáhneme největší citlivosti. Samotné nastavení se realizuje pomocí registru Mode Control.

Aby akcelerometr komunikoval s nadřazeným mikrokontrolérem po sběrnici I2C, musí být zapojen dle obrázku Obr. 7.7.



(Obr. 7.7) Zapojení akcelerometru pro I2C
Převzato z [34].

8. Zdrojová část

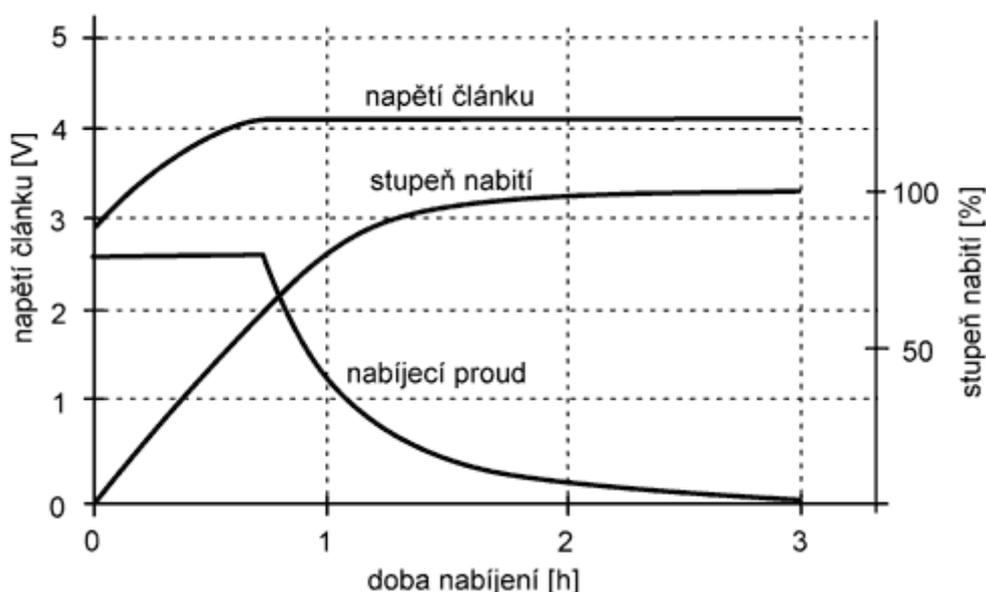
Zdrojová část představuje součást hlavní jednotky, jejím hlavním úkolem je zajistit jak kvalitní napájecí napětí pro mikroprocesorovou část s přidruženými obvody, GPS modul a mobilní telefon, tak i zálohu v případě výpadku palubní sítě. Schéma zdrojové části se nachází v příloze A. Jak již bylo zmíněno v úvodní části práce, jeden z podstatných požadavků na zařízení se týkal nízkého odběru proudu. Proto je vlastní napájecí systém realizovaný pomocí dvou nezávislých měničů napětí, kdy jeden slouží v nepřerušovaném režimu a druhý je aktivován až v případě potřeby. Jako první měnič je použit obvod MAX1837 určený svým nízkým klidovým odběrem pro low-power aplikace, zatímco v případě druhého obvodu TPS5430 je určujícím parametrem dostupná velikost výstupního proudu. Oba měniče pracují na spínané bázi, kdy je základ obvodu tvořený spínacím tranzistorem a výstupním LC filtrem. Použitím spínaného zdroje lze dosáhnout poměrně vysoké účinnosti konverze napětí, ale za cenu produkce rušení a zvýšeného nároku na použité součástky. Zapojení měniče MAX1837 a volba součástek pro napájecí část je identická s jeho aplikací v inteligentním senzoru, celý postup je popsán v kapitole 4.5.2.

Při volbě záložního napájení bylo nejprve uvažováno použití hermetického bezúdržbového olověného akumulátoru, jehož svorkové napětí by mělo být stejně veliké jako napětí akumulátoru vozidla (= 12 V). Způsob zálohování těmito akumulátory je velice častý v oblasti automotivní zabezpečovací techniky, kde kromě výhod v podobě jednoduchosti a určité robustnosti nastávají i problémy s jejich značnou hmotností a rozměry, díky nimž bývají ve vozidle upevněny samostatně mimo vlastní zabezpečovací jednotku, se kterou jsou propojeny pomocí vodičů. Z tohoto faktu vyplývá jejich velká "zranitelnost", kdy pro zkušenějšího zloděje nepředstavuje podstatnější problém tento akumulátor najít a odpojit. Z tohoto důvodu a z důvodu snahy o navržení kompaktního zařízení typu „vše v jednom“, bylo použití olověného záložního akumulátoru zavrženo.

Další možností by bylo použít akumulátory na bázi niklu: NiMh nebo NiCd, tyto akumulátory dosahují malých rozměrů při zachování poměrně vysoké kapacity, například z nabídky [44] lze vybrat články Ni-Mh v pouzdře AA s kapacitou až 3000 mAh. Výhodou těchto akumulátorů je schopnost dodat vysoký výstupní proud, jehož velikost se může pohybovat až okolo desetinásobku kapacity akumulátoru (= 10C). Mezi zápory těchto akumulátorů patří nízké jmenovité napětí 1,2 V a úzký rozsah provozních teplot. Pokud se teploty pohybují mimo rozsah doporučený výrobcem (často od 0 °C do 40 °C), dochází velmi rychle ke ztrátě dostupné kapacity a degradaci článku. Jelikož by byly tyto akumulátory provozovány v automobilu, kde nelze zaručit příznivé klimatické podmínky, hrozilo by podstatné zkrácení jejich životnosti. Navíc nejde opomenout ani fakt problematického nabíjení těchto článků, kterým nesvědčí, pokud by byly nabíjeny, aniž by předtím nebyly úplně vybity. Kromě těchto důvodů svědčí proti použití tohoto typu akumulátorů i jistá nemodernost, kdy bývají tyto akumulátory stále častěji nahrazovány lithiovými akumulátory, ať už v oblasti mobilní techniky, tak i nářadí a podobných aplikací.

Nakonec byly pro záložní zdroj zvoleny lithiové akumulátory, konkrétně lithium-iontové (Li-Ion). Tyto akumulátory představují v porovnání s výše uvedenými typy akumulátorů nejkvalitnější zdroj energie – jsou malé, lehké a přitom dosahují vysokých výkonů. Příznačné je pro ně malé samovybíjení a jednoduchý způsob nabíjení. Nevadí jim záporné teploty až do -20 °C a i při vysokých teplotách okolo 40 °C jsou plně provozuschopné. Hodnota jmenovitého napětí dosahuje 3,6 V, ztráty samovybíjením se pohybují okolo 0,5 % kapacity denně. Životnost činí přibližně 600 cyklů. Na rozdíl od niklových článků je lze nabíjet kdykoliv, ne jen pokud jsou vybity, ale na druhou stranu vyžadují šetrnější zacházení, mezi nejdůležitější aspekty patří hlídání spodní a horní úrovně napětí, kdy při jejich překročení hrozí zničení celého článku. Proto bývá součástí těchto akumulátorů hlídací obvod, který v případě hrozícího přebíjení či hlubokého vybití odpojí článek od spotřebiče. Bez tohoto obvodu by mohla hrozit v mezním případě i exploze článku, hlavně z důvodu nestability lithia. S horní úrovní souvisí i způsob nabíjení těchto akumulátorů, které je standardně realizováno pomocí zdroje napětí s omezením nabíjecího proudu. Podobným způsobem se nabíjejí také bezúdržbové olověné akumulátory. Při nabíjení Li-ion článků je třeba velmi přesně dodržet konečnou úroveň nabíjecího napětí, mnohem přesněji, než je tomu u jiných akumulátorů. Uvádí se, že již malé překročení nabíjecího napětí podstatně zkrátí dobu života článku, při napětí menším hrozí, že se článek nenabije na plnou kapacitu. Konečné nabíjecí napětí je podle typu článku 4,1 nebo 4,2 V, a je třeba je dodržet s přesností ± 1 %. Naopak v případě nabíjecího proudu není nutné hlídat jeho přesnou hodnotu, čím menší bude, tím déle bude nabíjení trvat. Velikost maximálního nabíjecího proudu uvádějí výrobci od 0,1 do 2 C. V dnešní době, kdy se tyto akumulátory nebývale rozšířily, se objevilo ve výrobních programech producentů součástek veliké množství obvodů pro jejich nabíjení.

Většinou se jedná o inteligentní obvody, které během nabíjení hlídají celou řadu parametrů zajišťující bezpečné a rychlé nabíjení. Průběh nabíjecího proudu a napětí se nachází na obrázku Obr. 8.1.

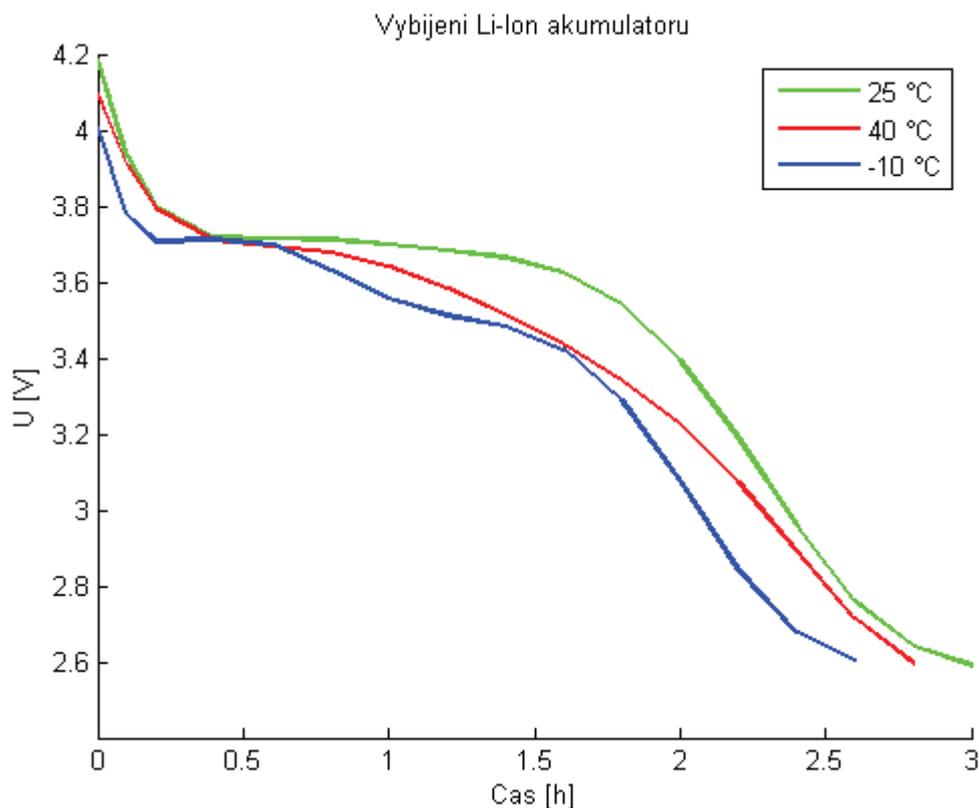


(Obr. 8.1) Nabíjení Li-Ion akumulátoru
Převzato z [38].

Pro projekt autoalarmu jsem zvolil dva kusy Li-Ion akumulátorů typu 18650 od firmy Sony, které jsou za účelem získání většího napětí zapojené do série. Číslo 18650 značí rozměry těchto akumulátorů, jejich průměr činí 18 mm a délka 6,5 cm. Na trhu jsou tyto články dostupné s širokou škálou kapacit od přibližně 1500 mAh až k 5500 mAh. Své uplatnění našly jako napájecí zdroje pro notebooky, nářadí, radiostanice a LED svítidly. Lze je sehnat i v průmyslovém provedení vyznačujícím se větší odolností a robustností.

Uvedené akumulátory jsem zakoupil v počtu 10 kusů na aukčním portálu www.ebay.com, jejich kapacita činí 3000 mAh a dle prohlášení prodejce by měly odolat hrubějšímu zacházení. Při praktických testech se nakonec ukázalo, že z objednaného množství jich bylo schopných funkce pouze 4 kusy, ostatní bylo nutné vyřadit, hlavně z důvodu jejich neschopnosti udržet kapacitu. Po podrobnějším prozkoumání etikety akumulátoru vyplynulo, že se jedná o plagiáty. Tomu by odpovídala i cena 2\$ za kus. Ale i přesto se zatím jeví, že vybrané dva kusy akumulátorů budou pracovat správně. Ještě před zapájením do desky plošných spojů jsem je podrobil sérii testů, kdy byly akumulátory jednotlivě vybíjeny proudem 1 A pomocí zapůjčené umělé zátěže při různých teplotách. Výsledné vybíjecí křivky obou článků byly téměř stejné, proto jsou zobrazeny v jediném grafu Graf 8.1. Patrná je zejména spodní velikost napětí, při které dojde k odpojení akumulátoru: 2,6 V.

Záporné teploty bylo dosaženo umístěním akumulátorů do mrazáku, ze kterého byly po jejich vyjmutí umístěny do izolované vypnuté pece na plošné spoje. Díky izolaci byla fluktuace teplot během měření poměrně malá. Zahřátí akumulátorů na teplotu 40 °C bylo řešeno tou samou pecí, která je vybavená číslicovým regulátorem, díky němuž byla teplota po celou dobu konstantní.



(Graf 8.1) Vybíjecí křivky Li-Ion akumulátoru při různých teplotách

Z výsledků měření vyplývá, že při záporné či na druhou stranu vysoké kladné teplotě dochází k určité ztrátě kapacity článku, která se projeví rychlejším poklesem napětí v průběhu vybíjení.

Pro nabíjení akumulátorů byl zvolen obvod LT3650 od firmy Linear Technology.

8.1 Nabíjecí obvod LT3650

Jedná se o spínaný, monolitický obvod určený pro nabíjení dvou článků Li-Ion akumulátorů. Svými parametry, zejména širokým rozsahem vstupního napětí, je určený pro použití v automotive oblasti. Pro volbu tohoto obvodu hovořila schopnost automatického spuštění nabíjení při poklesu napětí akumulátoru o 2,5 %, dále nízká hodnota klidového napájecího proudu cca. 85 μ A, schopnost poskytnout vysoký nabíjecí proud až do hodnoty 2A, vysoká bezpečnost nabíjení a malý počet diskrétních součástek okolo obvodu.

Obvod v sobě sdružuje jak nabíjecí část, tak i spínaný step-down měnič, díky němuž se dosahuje vysoké efektivity nabíjení i při velkém rozdílu jmenovitého napětí akupacku a vstupního napětí. Nabíjecí proces lze ukončit dvěma způsoby: pomocí vnitřního časovače, jehož interval se nastavuje externím kondenzátorem, nebo při poklesu nabíjecího proudu pod desetinu maximálního, nastaveného proudu. V projektu je použit druhý způsob.

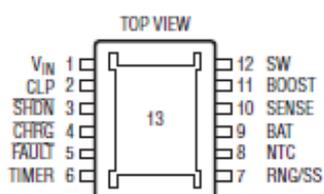
Obvod obsahuje funkci soft-start, která omezuje proudový náraz při zahájení nabíjení.

Pro indikaci stavu a ke komunikaci s uživatelem slouží dva výstupy typu otevřený kolektor. První, označený jako $\overline{\text{CHRG}}$, je aktivní během procesu nabíjení, druhý - $\overline{\text{FAULT}}$ - indikuje připojení špatného akupacku.

V případě požadavku na minimalizaci spotřeby je možné přepnout obvod do neaktivního stavu, ve kterém činí proudová spotřeba pouhých 15 μA .

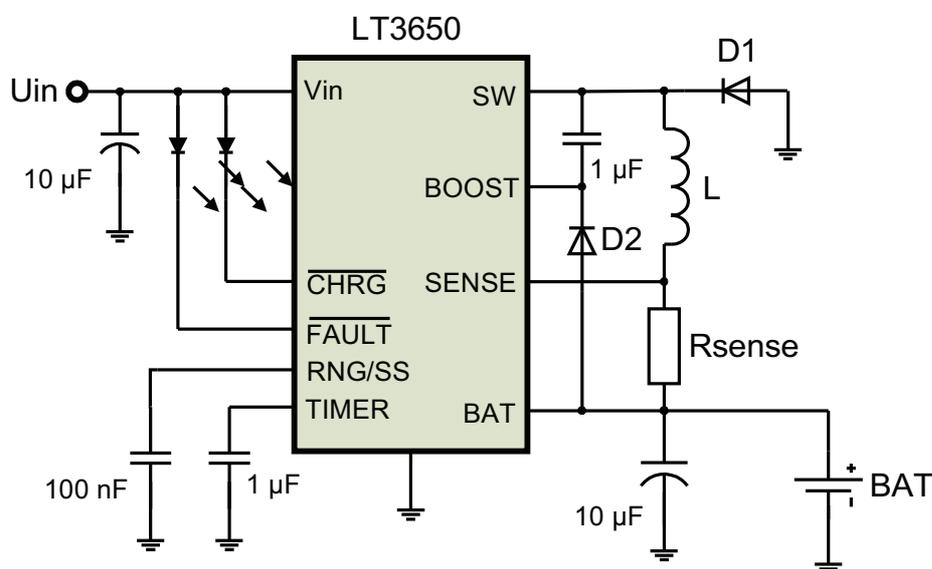
Další informace k obvodu jsou k nalezení v [45].

Obvod se dodává na trh v pouzdře DFN-12 nebo MSOP-12 (Obr. 8.2), které bylo použito v projektu. Devizou tohoto pouzdra je absence zemního pinu, na místo něj se na spodní části pouzdra nachází zemní ploška, která slouží zároveň k chlazení obvodu.



(Obr. 8.2) Pouzdro MSOP-12
Převzato z [45].

Doporučené zapojení obvodu se nachází na obrázku Obr. 8.3.



(Obr. 8.3) Doporučené zapojení obvodu LT3650
Překresleno z [45].

Pomocí rezistoru R_{SENSE} se nastavuje maximální velikost nabíjecího proudu I_{MAX} . Jeho velikost je dána vztahem: $R_{\text{SENSE}} = \frac{0,1}{I_{\text{MAX}}} \quad [\Omega]$ (40)

Velikost maximálního proudu jsem stanovil na 0,8 A, proto velikost snímacího odporu R_{SENSE} dosahuje hodnoty 0,125 Ω . Tato hodnota je realizovaná pomocí 4 kusů paralelně zapojených rezistorů o odporu 0,5 Ω .

Velikost indukčnosti L se určí na základě vztahu:

$$L = \left(\frac{10}{\Delta I_{\text{MAX}}} \right) \cdot R_{\text{SENSE}} \cdot (V_{\text{BAT}} + V_{\text{F}}) \cdot \left(1 - \left[\frac{V_{\text{BAT}} + V_{\text{F}}}{V_{\text{I(MAX)}} + V_{\text{F}}} \right] \right) \quad [\mu\text{H}] \quad (41)$$

kde R_{SENSE} snímací rezistor

ΔI_{MAX} zvlnění proudu, typicky 30% nabíjecího proudu 0,8 A

V_{BAT} napětí akumulátoru, 8,4 V

V_{F} závěrné napětí diody D1, typicky 0,5 V

$V_{\text{I(MAX)}}$ maximální velikost vstupního napětí, 24 V, dáno vstupní částí

$$L = \left(\frac{10}{0,26} \right) \cdot 0,125 \cdot (8,4 + 0,5) \cdot \left(1 - \left[\frac{8,4 + 0,5}{24 + 0,5} \right] \right) = 26 \mu\text{H}$$

Po dosazení do vztahu (41) získáváme hodnotu indukčnosti 26 μH , zvolena byla tlumivka s hodnotou 33 μH .

Kromě proudového dimenzování a vypočítané hodnoty indukčnosti je nutné při výběru tlumivky pamatovat na fakt, že kmitočet spínacího zdroje nabíječky činí 1 MHz, proto musí být hodnota maximálního pracovního kmitočtu cívky větší. Těmto požadavkům odpovídá tlumivka Matsuta TL.SC75F 33 μH , která je schopna pracovat až do 2,5 MHz. S ohledem na frekvenci je také nutné věnovat pozornost výběru vhodné diody D1, u které je určujícím parametrem doba zotavení. Pokud by byla tato doba příliš dlouhá, dioda by vedla i během části spínací periody, kdy by měla být v nevodivém stavu. Z dostupných diod byla zvolena dioda SK36A.

8.2 Spínaný měnič TPS5430

Jedná se o měnič schopný na svém výstupu poskytnout proud o velikosti 3 A při účinnosti konverze napětí až 95 %. Díky svému rozsahu vstupního napětí od 5,5 do 36V a provozním teplotám od -40 do 125 $^{\circ}\text{C}$ je vhodný pro použití v oblasti automotive. Na rozdíl od obvodu MAX1837 nemá jeho výstupní napětí pevnou hodnotu, ale je nastavitelné pomocí vnějších rezistorů. Dostupné velikosti výstupního proudu odpovídá také odběr samotného obvodu, který činí 3 mA, tato hodnota sice diskvalifikuje tento obvod pro použití v low-power aplikacích, ale na druhou stranu je tento obvod vybavený vstupem (ENA) sloužícím k jeho přepnutí do nízkoodběrového režimu. Pokud na tento vstup přivedeme napětí mezi 1,3 až 7 V nebo pokud ho necháme nepřipojený, nachází se obvod v aktivním stavu.

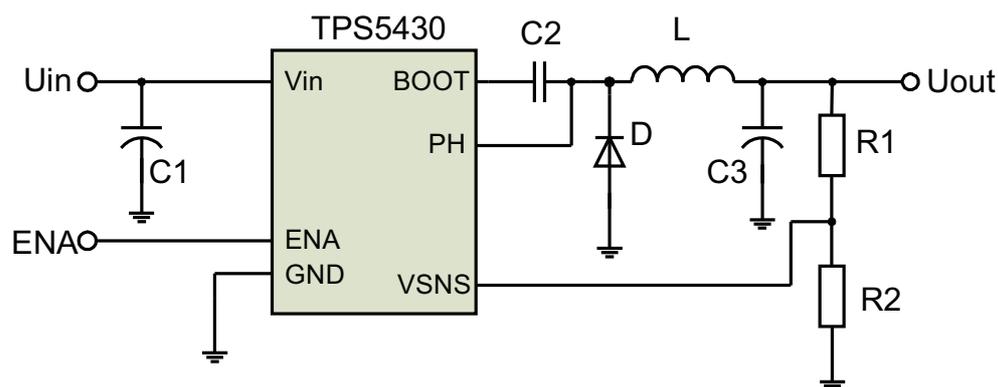
Při uzemnění se obvod uspí. Obvod pracuje s pevně nastavenou frekvencí 500 kHz a proměnlivou střídou (= pulsně šířková modulace, PWM).

Pro případ přehřátí a přetížení obsahuje obvod ochranné mechanismy, které v případě překročení limitů odstaví měnič z provozu.

Vlastnosti obvodu TPS5430

- rozsah vstupního napětí 5,5 až 36 V
- klidový napájecí proud 3 mA
- minimální výstupní napětí 1,2 V
- maximální výstupní proud 3 A
- frekvence spínání 500 kHz
- účinnost cca. 95%
- funkce uspání obvodu (ENA)
- pouzdro SO8 s chladicí ploškou

Více informací o obvodu se nachází v [32].



(Obr. 8.4) Zapojení měniče TPS5430
Překresleno z [32].

Velikost indukčnosti se vypočte na základě vztahu:

$$L_{\text{MIN}} = \frac{V_{\text{OUT}} \cdot (V_{\text{INmax}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{INmax}} \cdot K_{\text{IND}} \cdot I_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{SW}} \cdot 0,8} \quad [\text{H}] \quad (42)$$

kde V_{OUT} výstupní napětí, 3,6 V
 V_{INmax} maximální velikost vstupního napětí, 24 V, dáno vstupní částí
 I_{OUT} výstupní proud, zde 2 A
 K_{IND} konstanta daná výrobcem, zde 0,3
 f_{SW} spínací frekvence, 500 kHz

Po dosazení dostáváme minimální hodnotu indukčnosti:

$$L_{\text{MIN}} = \frac{3,6 \cdot (24 - 3,6)}{24 \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 12,75 \mu\text{H}$$

Pro praktické nasazení je lepší zvolit hodnotu větší, v katalogu GME např. typ **TL.SC105F** s indukčností 22 uH (=L_{OUT}), která vyhoví i z hlediska efektivní a saturační proudové hodnoty.

Efektivní hodnota výstupního proudu, význam veličin vysvětlen u (42):

$$I_{L(\text{RMS})} = \sqrt{I_{\text{OUTmax}}^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{V_{\text{OUT}} \cdot (V_{\text{INmax}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{INmax}} \cdot L_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{SW}} \cdot 0,8} \right)^2} \quad [\text{A}] \quad (43)$$

$$I_{L(\text{RMS})} = \sqrt{2^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{73,44}{24 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 0,8} \right)^2} = 2,0 \text{ A}$$

Maximální hodnota výstupního proudu, význam veličin vysvětlen u (42):

$$I_{L(\text{PK})} = I_{\text{OUTmax}} + \frac{V_{\text{OUT}} \cdot (V_{\text{INmax}} - V_{\text{OUT}})}{1,6 \cdot V_{\text{INmax}} \cdot L_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{SW}}} \quad [\text{A}] \quad (44)$$

$$I_{L(\text{PK})} = 2 + \frac{73,44}{1,6 \cdot 24 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 1000} = 2,2 \text{ A}$$

Výstupní filtr tvoří kromě indukčnosti L také kondenzátor C3 (Obr. 8.4), u kterého je kromě jeho kapacity důležitá i velikost ekvivalentního sériového odporu ESR. Obě veličiny se vypočítají na základě následujících vztahů:

Kapacita kondenzátoru:

$$C_{\text{OUT}} = \frac{1}{3357 \cdot L_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{CO}} \cdot V_{\text{OUT}}} \quad [\text{F}] \quad (45)$$

kde L_{OUT} indukčnost L, 22 μH

V_{OUT} velikost výstupního napětí, 3,6 V

f_{CO} frekvence daná výrobcem, 25 kHz

Po dosazení do vztahu (45) dostáváme velikost kapacity kondenzátoru:

$$C_{\text{OUT}} = \frac{1}{3357 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 10^3 \cdot 3,6} = 150 \mu\text{F}$$

$$\text{ESR}_{\text{MAX}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{CO}}} \quad [\Omega] \quad (46)$$

$$\text{ESR}_{\text{MAX}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot 10^{-6} \cdot 25 \cdot 10^3} = 45 \text{ m}\Omega$$

Jako výstupní kondenzátor byl použit tantalový kondenzátor 220 μF z výrobního portfolia firmy AVX, konkrétně se jednalo o typ TPMD227K006#0035, jehož ESR dosahuje hodnoty pouhých 35 $\text{m}\Omega$.

Pokud máme vypočítané hodnoty výstupního kondenzátoru a indukčnosti, zbývá určit velikost zvlnění výstupního napětí, pomocí vztahu:

$$V_{\text{PP}} = \frac{\text{ESR}_{\text{MAX}} \cdot V_{\text{OUT}} \cdot (V_{\text{I(MAX)}} - V_{\text{OUT}})}{N_{\text{C}} \cdot V_{\text{I(MAX)}} \cdot L_{\text{OUT}} \cdot f_{\text{SW}} \cdot 0.8} \quad [\text{V}] \quad (47)$$

kde ESR ekvivalentní sériový odpor, 35 $\text{m}\Omega$
 V_{OUT} výstupní napětí, 3,6 V
 $V_{\text{IN(MAX)}}$ maximální hodnota vstupního napětí, 24 V
 N_{C} počet paralelně spojených kondenzátorů, 1
 L_{OUT} indukčnost L, 22 μH
 f_{SW} spínací frekvence, 500 kHz

$$V_{\text{PP}} = \frac{0,035 \cdot 3,6 \cdot (24 - 3,6)}{1 \cdot 24 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,01 \text{ V}$$

Tato hodnota je o polovinu menší než typická hodnota udávaná výrobcem (25 mV).

Velikost výstupního napětí se nastavuje pomocí odporového děliče R_1 a R_2 dle vztahu:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot 1,221}{V_{\text{OUT}} - 1,221} \quad [\Omega] \quad (48)$$

Pokud zvolíme velikost odporu R_1 10 $\text{k}\Omega$, vychází velikost R_2 při hodnotě výstupního napětí 3,6 V 5,1 $\text{k}\Omega$. Nejbližší v řadě E24 je hodnota 4,7 $\text{k}\Omega$.

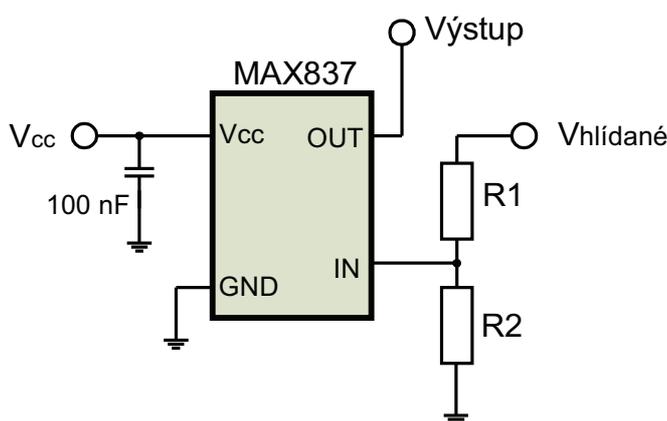
Jako vstupní kondenzátor C_1 je použit dle doporučení výrobce keramický kondenzátor 10 μF , konkrétně se jedná o kondenzátor v SMD pouzdře 1210 s maximálním provozním napětím 25V.

8.3 Napěťový hlídač MAX837

Pro hlídání, zda je připojen palubní akumulátor vozidla nebo zda jeho napětí dosahuje dostatečné výše, slouží napěťový hlídač MAX837. Princip jeho funkce je obdobný napěťovému hlídači MAX16053, který je popsán v kapitole 4.5.3. Na rozdíl od tohoto hlídače není ale vybaven vnitřním zpožďovacím obvodem sloužícím k eliminaci zákmitů. V podstatě se jedná o spojení komparátoru a napěťové reference v jednom pouzdře. Obvod se vyznačuje nízkou spotřebou, typicky kolem 5 μA a je dodáván v pouzdře SOT143. Více informací o funkci obvodu, jeho vnitřní struktuře a doporučeném zapojení se nachází v [30].

Obvod podává pomocí svého výstupu informaci o autobaterii nadřazenému mikrokontroléru, s nímž sdílí z důvodu kompatibility stejné napájecí napětí 3,3 V zprostředkované měničem MAX1837. Kromě informování mikrokontroléru slouží výstup obvodu k přepnutí nabíječe LT3650 do režimu spánku, pokud klesne napětí autobaterie pod hlídanou úroveň. Viz schéma v příloze A.

Hlídané napětí je ke vstupu obvodu přivedeno pomocí odporového děliče, situace je patrná na obrázku Obr. 8.5.



(Obr. 8.5) Zapojení obvodu MAX837
Překresleno z [30].

Pro výpočet odporového děliče slouží vztah:

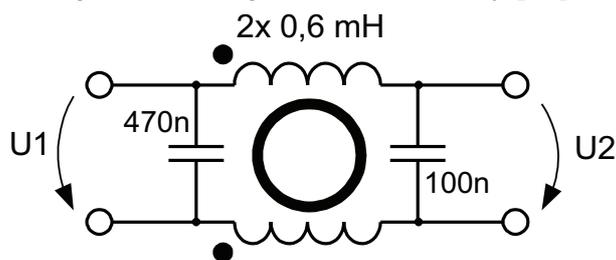
$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{V_{\text{prah}}}{1,204} - 1 \right) \quad [\Omega] \quad (49)$$

kde V_{prah} prahové napětí

Velikost prahového napětí jsem stanovil na hodnotu 10,5 V, pokud zvolíme velikost odporu R_2 100 k Ω , vychází dle vztahu (49) odpor R_1 750 k Ω . Pro omezení rušení a nejistot okolo prahové hodnoty je vhodné propojit výstup obvodu a jeho vstup pomocí rezistoru a zavést tak hysterezi. Dle výrobce by měla být velikost tohoto odporu o řád větší než hodnota R_2 , tedy 1 M Ω .

8.4 Vstupní filtr

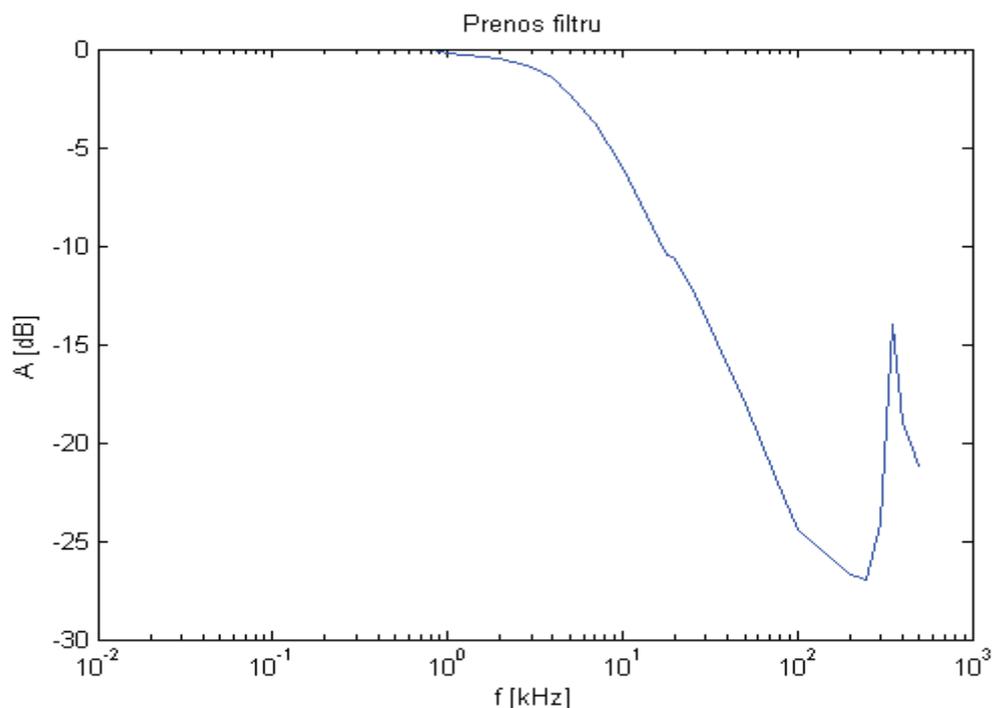
Protože se v palubní síti automobilu vyskytuje poměrně silné rušení a tranzientní jevy způsobené různými vlivy, například zapalováním, spínáním zátěží indukčního charakteru a dalšími, je vhodné toto rušení nějakým způsobem eliminovat. Na základě mých zkušeností s odrušením průmyslových zařízení pracujících s nízkým napětím jsem zvolil jako odrušovací prvek spojení proudově kompenzované tlumivky a dvou kondenzátorů dle obrázku Obr. 8.6. Toto zapojení je účinné proti oběma druhům rušení: protifázovému, které redukuje indukčnost a soufázovému, jenž odstraňují oba kondenzátory [48].



(Obr. 8.6) Vstupní filtr
Kresba autor

Tento filtr je vložen do napájecí cesty, kde působí svojí impedancí proti pronikajícímu rušení. Celý koncept hlavní jednotky je pojat takovým způsobem, aby rušení přítomné v palubní síti nemohlo pronikat do zařízení jinou cestou, než přes vstupní filtr.

Změřený přenos $A(j\omega) = \frac{U_2(j\omega)}{U_1(j\omega)}$ použitého filtru se nachází v grafu Graf 8.2.



(Graf 8.2) Přenos vstupního filtru

Kromě rušení se lze v palubní síti automobilu setkat i s přepětím, které může mít destruktivní následky pro citlivou elektroniku. Pro případ výskytu déletrvajícího přepětí s vysokou energií je v zařízení zapojený varistor o jmenovitém napětí 18 V, který po přechodu do vodivého režimu způsobí přerušování vložené pojistky. Pro eliminaci přepětí s charakteristikou úzkého impulsu slouží tranzil SM6T18CA, který svým působením tento impuls „odřízne“. Celá vstupní část je koncipována takovým způsobem, aby se k měničům nedostalo větší napětí než 24 V.

9. Mikroprocesorová část

Mikroprocesorová část je tvořena jak samotným řídicím mikrokontrolérem, přidruženými obvody, tak i obvody zajišťující interakci s vnějším prostředím. Struktura této části je patrná z obrázku Obr. 3.1 (kromě zdrojových obvodů).

Jako mikrokontrolér jsem zvolil typ PIC18F46K80, který patří do stejné rodiny jako mikrokontrolér PIC18F26K80 použitý v inteligentním senzoru, jenž je popsán v kapitole 4.5.1. Na rozdíl od něj se ale vyznačuje větším počtem I/O vývodů a kanálů A/D převodníku. Z hlediska rozsáhlosti paměti a vybavení periferiemi jsou tyto obvody zaměnitelné, proto pro více informací odkazují na kapitolu 4.5.1 nebo na katalogový list [26].

Z hlediska výkonosti pracuje mikrokontrolér ve dvou základních režimech, v prvním se nachází ve stavu spánku, kdy jsou jádro systému a stejně tak periférie vypnuté a odběr klesá k hodnotám jednotek mikroampér, z tohoto stavu je periodicky probouzen signálem z akcelerometru, který tak dává najevo připravenost dat o aktuálním zrychlení. Po probuzení začíná mikrokontrolér pracovat na maximální taktovací frekvenci 64 MHz, která je daná vnějším krystalem 16 MHz a zapnutou PLL násobičkou 4x.

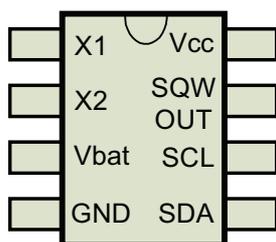
Z mikrokontroléru je vyvedena sběrnice I2C, ke které je kromě akcelerometru připojena EEPROM paměť a obvod reálného času (RTC) DS1307 od firmy MAXIM.

9.1 RTC DS1307

Tento obvod slouží v zapojení ke dvěma účelům, jednak poskytuje informaci o sekundách, minutách, hodinách, dnech, měsících a roce. Může pracovat jak ve 12hodinovém, tak ve 24hodinovém režimu. Má ošetřeny počty dní v měsíci (31,30,28,29), i přestupné roky až do roku 2100.

Za druhé díky svému výstupu SQW/OUT slouží k odměřování intervalů, například pro kontrolu přijatých SMS zpráv.

Na obrázku Obr. 9.1 se nachází vzhled pouzdra a zapojení vývodů.



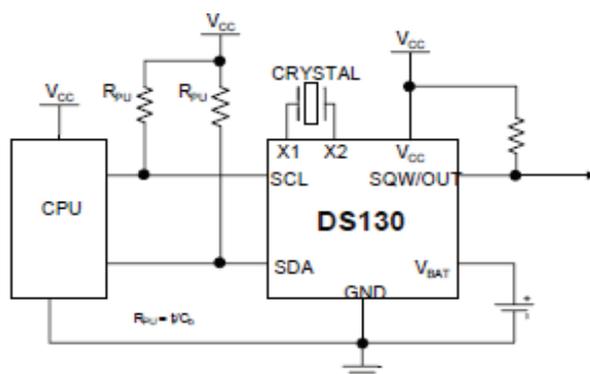
(Obr. 9.1) Zapojení vývodů DS1307
Překresleno z [35]

K vývodům X1 a X2 je připojen krystal o frekvenci 32 768 Hz, který řídí čítání hodin. K vývodu Vbat a GND je připojena záložní baterie, která udržuje hodiny v činnosti při odpojení napájení. Pokud je napájecí napětí odpojeno, vypíná obvod reálného času své komunikační rozhraní a s obvodem se nedá komunikovat. V činnosti je pouze čítání hodin.

K přepojení na záložní baterii dojde, klesne-li napájecí napětí U_{cc} pod 1,25 Vbat. Napětí záložní baterie by mělo být v rozsahu od 2 do 3,5 V, zvolil jsem proto lithiovou primární baterii typu CR2032 o napětí 3V.

Vývody SCL a SDA slouží ke komunikaci po sběrnici I2C. Na vývodu SQW/OUT se nacházejí během aktivní funkce obvodu a dle jeho nastavení impulzy odvozené od vnitřních hodin obvodu. Frekvence těchto impulzů může být 1, 4096, 8192 nebo 32768 Hz. Nastavení těchto impulzů se děje skrze sedmý registr obvodu. Vývod SQW/OUT musí být pro svoji funkci připojený přes pull-up rezistor ke kladnému potenciálu. V zapojení hlavní jednotky je výstup SQW/OUT přiveden na vstup čítače/časovače 3, který se nachází na pinu RB5 mikrokontroléru.

Na obrázku Obr. 9.2 se nachází výrobcem doporučené zapojení tohoto obvodu.

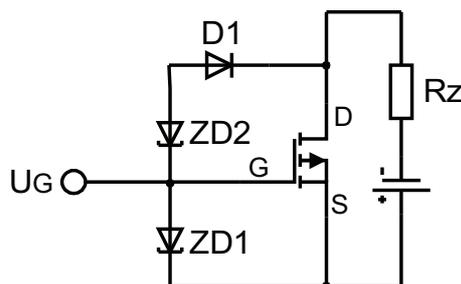


(Obr. 9.2) Doporučené zapojení obvodu DS 1307
Převzato z [35].

Údaje o času a datu jsou uloženy v obvodu v osmi registrech, ze kterých je možno tyto informace číst a i je tam po provedené modifikaci zapsat. Informace o těchto registrech a dalších aspektech použití tohoto obvodu se nacházejí v katalogovém listě výrobce [35].

9.2 Vstupně - výstupní obvody

Pro navázání čidel narušení hlídaného vozidla slouží optočleny PC817, které zajišťují jak přizpůsobení napěťových hladin mezi senzory a hlavní jednotkou, tak i galvanické oddělení podporující ochranu elektronických obvodů alarmu proti výskytu přepětí a rušení. Výstupy optočlenů jsou jednak navázány přímo k portům mikrokontroléru, jednak přes sadu diod plnících logickou funkci OR k jeho přerušovacímu vstupu INTO. Zapojení optovazebních členů je patrné ze schématu VstupVýstup v příloze A. Pro navázání výstupních silových obvodů k mikrokontroléru je použito tranzistorové pole ULN2003, ke kterému je připojena dvojice relé GL05V – 12 a dvojice HIGH-SIDE MOSFET tranzistorů IRF7240. Okolo každého tranzistoru se nacházejí součástky zajišťující jeho ochranu (Obr. 9.2). Zenerova dioda ZD1 mezi vývodem GATE a SOURCE chrání vstupní hradlo proti přepětí, vhodná velikost jejího Zenerova napětí činí 15 V, protože při této hodnotě je už většina výkonových tranzistorů sepnutá a zároveň je toto napětí menší než maximální přípustné napětí $U_{GS} = 20$ V. Soustava diod mezi vstupní elektrodou a elektrodou DRAIN zajišťuje ochranu vůči průrazu, který by mohl nastat při spínání indukivní zátěže. Jako indukivní zátěž se může projevit i delší vodič běžně se vyskytující ve vozidle. Zenerovo napětí diody ZD2 by mělo ležet přibližně v polovině rozsahu mezi povoleným maximálním napětím U_{DS} a napětím U_{GS} , v případě alarmu velikost tohoto napětí činí 27 V. Dioda D1 by měla snést nárazový proud kolem 1 A, postačí běžný typ 1N4007.



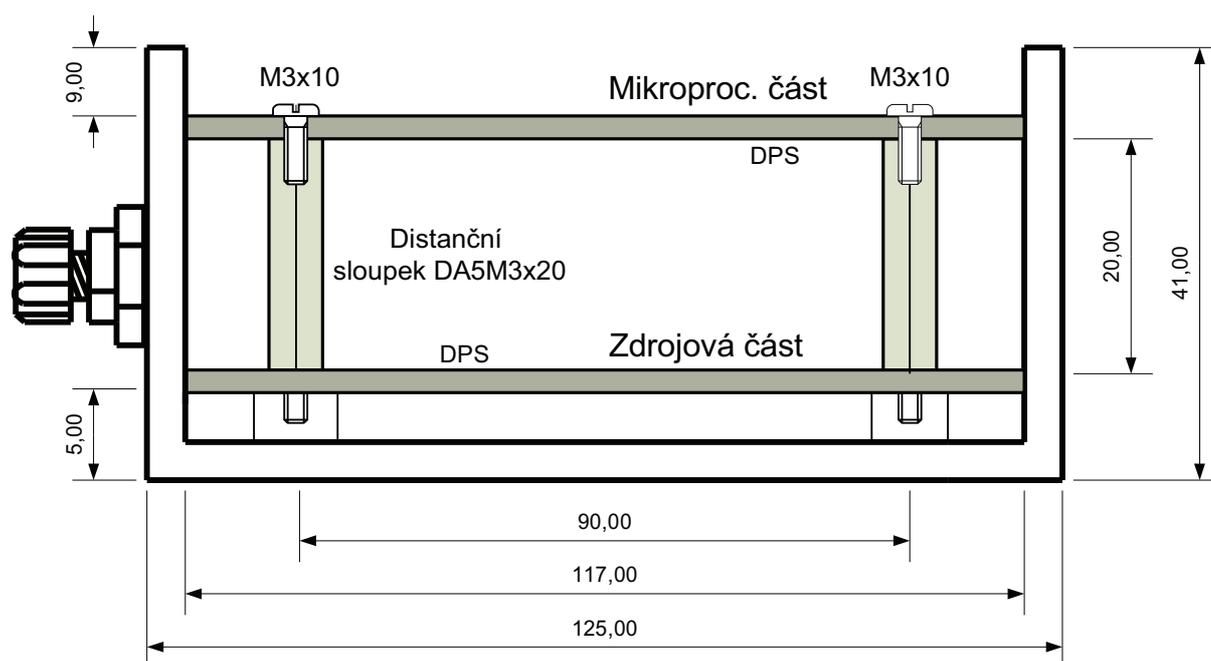
(Obr. 9.2) Ochranné prvky tranzistoru
Kresba autor.

K ochraně obvodu ULN2003 proti přepětí, které vzniká při rozepínání relé, slouží běžné křemíkové diody 1N4007.

Datové linky pro mobilní telefon a GPS přijímač jsou ošetřeny proti přepětí pomocí speciálních ochranných prvků, jenž se vyznačují funkcí podobnou funkci tranzilu či varistoru, ale s minimální vlastní kapacitou, díky níž mohou pracovat v obvodech s vysokými frekvencemi. Tyto součástky vyrábí firma AVX pod označením CANAT01 [41].

Zdrojová část je s mikroprocesorovou částí spojena pomocí pinových lišt a rozpěrných distančních sloupků, pomocí nichž je i soustava desek připevňována ke krabičce KP45D. Situace z předního pohledu je znázorněna včetně rozměrů na obrázku Obr. 9.3.

Mobilní telefon a modul GPS jsou připojeny k hlavní části pomocí jednořadých konektorů typu SPK, jenž jsou běžně používány v počítačové technice. Přívodní kabely jsou do krabičky zavedeny skrz šroubovací průchodky, které je chrání proti vytržení.

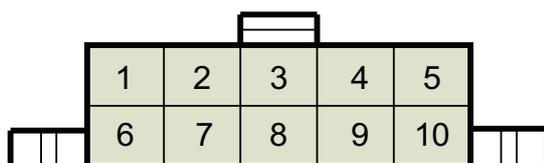


(Obr. 9.3) Upevnění DPS v krabičce KP45D zepředu.
Kresba autor

Další konstrukční nákresy se nacházející v příloze D.

9.3 Zapojení konektorů

Pro interakci s elektroinstalací vozidla a připojení senzorů slouží desetipinové výkonové konektory typu MiniFit, jejichž nákras a způsob číslování se nachází na obrázku Obr. 9.4.



(Obr. 9.4) Konektor MiniFit, pohled z přední strany
Kresba autor

Ve schématu VstupyVýstupy v příloze A jsou tyto konektory označeny jako K8 a K9. Pro vstupy a výstupy jsou použity separátní konektory, význam jejich pinů a přípojná místa ve vozidle Škoda Felicia [46] se nacházejí v tabulkách Tab. 9.1 a Tab. 9.2. Přípojná místa jsou v tabulce definována pomocí označení části palubní instalace, ke které by se měl daný vstup či výstup alarmu připojit, v závorce je uvedena strana a lokace (souřadnice) přípojného místa v souboru schémat dle [46]. Schémata jsou součástí přílohy na disku CD-ROM.

(Tab. 9.1) Vstupní konektor

Pin	Význam	Auto	Poznámka
1	Kapacitní senzor	Separátní instalace	
2	Dálkové ovládání	Separátní instalace	
3	Externí senzor	Separátní instalace	
4	Dveřní spínač	135/S	Palubní lampička, hnědobílý vodič
5	Kapota	Separátní instalace	
6	Plus pól napájení	6/30A (str. 3/D3)	Zapojit před pojistku, červený vodič
7	Klíček zapalování	5/15 (str. 3/B1)	
10	Kufr	Separátní instalace	

(Tab. 9.2) Výstupní konektor

Pin	Význam	Auto	Poznámka
1	Siréna	Separátní instalace	Umístit skrytě
2	Centrální zamykání	Separátní instalace	Odvislé od výrobce
3	Plus pól napájení	6/30A (str. 3/D3)	Zapojit před pojistku, červený vodič
4	Blinkry	110/L (str. 10/E5)	Přepínač blinkrů, černobílý vodič
5	Blinkry	110/R (str. 10/E5)	Přepínač blinkrů, černošedý vodič
6	Vnitřní sirénka	Separátní instalace	Umístit, aby byla slyšet
7	Indikační LED	Separátní instalace	Umístit, aby byla vidět
8	Relé zapalování	31/1 (str. 3/B7)	Červený vodič přerušit a vložit relé alarmu
9	Relé zapalování		
10	Plus pól napájení	6/30A (str. 3/D3)	Zapojit před pojistku, červený vodič

10. Programové vybavení

Pro vývoj obslužného firmware hlavní jednotky a inteligentního senzoru byl použit program MPLAB 8.1 od společnosti Microchip, který tento vývojový software poskytuje zdarma k nekomerčnímu použití. Jedná se o kompletní vývojové prostředí s integrovaným editorem programu, assemblerem, simulátorem, debuggerem a podporou široké škály programátorů a emulátorů této společnosti. Bohužel mezi součásti tohoto programu nepatří překladač jazyka C, který je nutné zakoupit a doinstalovat samostatně. I když se v případě tohoto překladače jedná o komerční produkt, jehož cena se pohybuje dle stupně optimalizace v řádech desítek tisíc korun, nabízí firma Microchip na svých internetových stránkách ke stažení školní verzi toho kompilátoru. Po nainstalování pracuje tato verze po dobu dvou měsíců ve stejném rozsahu jako zakoupený překladač, po uplynutí této doby přestávají fungovat některé optimalizace kódu a dochází k vypnutí podpory tzv. rozšiřujících instrukcí. I přes tyto „handikapy“ se jeví tato verze jako dostačující pro vývoj nekomerčních obslužných programů. Podstatnou výhodou představuje neomezená velikost kódu, což nebývá u školních verzí jiných firem častým pravidlem. V této práci byla použita školní verze překladače C18, kterou jsem měl nainstalovanou v PC více než dva roky, proto probíhal překlad méně efektivně.

Obslužný program pro mikrokontrolér hlavní jednotky a inteligentního kapacitního senzoru byl napsán z větší části v jazyce C, pouze některé funkce či části programu byly vytvořeny v jazyce symbolických adres – assembleru. Jednalo se zejména o funkce, které jsem měl vytvořené v tomto jazyce pro dřívější projekty, či o funkce, kde byl kladen požadavek na determiničnost a vyšší rychlost provádění kódu.

Programové vybavení pro inteligentní kapacitní senzor bylo realizováno jako konečný stavový automat pracující v přerušení od časovače TMR0. Samotný program není tvořený jediným souborem, ale je rozčleněn do modulů, které mají za úkol řešit určitou specifickou činnost při chodu senzoru. Jejich výpis se nachází v příloze E na disku CD-ROM. Použité moduly jsou tyto:

- **CDC.c**, tento modul obstarává komunikaci s CDC obvodem, realizuje jeho nastavení a zpracování dat
- **System.c**, úkolem tohoto modulu je nastavení mikrokontroléru, řízení periférií
- **Main.c**, nutná funkce, bez které by neproběhl překlad programu, řeší přerušení
- **Core.c**, v tomto modulu se nachází vlastní výkonný program (=stavový automat) senzoru

Celý program je koncipován takovým způsobem, aby se mikrokontrolér nacházel po většinu času v režimu spánku, ze kterého by byl probuzen na základě aktivního signálu z kapacitního převodníku AD7151. Po naprogramování a připojení napájecího napětí se mikrokontrolér pokusí o komunikaci s obvodem CDC, pokud je úspěšná, dojde k nastavení jeho vnitřních registrů a proběhne měření referenční kapacity. Při této proceduře musí zůstat senzor volný.

Hodnoty a adresace registrů CDC obvodu se nacházejí ve strukturách v modulu CDC.c. Poté mikrokontrolér přechází pomocí makroinstrukce *Sleep* do režimu spánku. Pokud je detekován v blízkosti senzoru narušitel, objeví se na výstupním pinu OUT obvodu CDC vysoká úroveň, která probudí mikrokontrolér ze spánku. Ten poté načítá v půlsekundových intervalech přerušovací smyčky, která je odměřována vnitřním časovačem, z CDC obvodu aktuální velikost kapacity. Pokud se kapacita výrazně nemění po dobu 8 sekund, je podnět považován za korektní. Pro indikaci aktuálního stavu senzoru slouží připojená luminiscenční dioda, která při chybě komunikace bliká s periodou 0,5 s, při správné inicializaci pouze krátce problikne, ve spánku je zhasnutá a při detekci narušitele 10 krát zabliká.

Obslužný software pro hlavní jednotku byl realizován pouze ve formě jednotlivých modulů (příloha E), které zaobalují funkce pro jednotlivé části zařízení. Samotný výkonný program pracující s těmito funkcemi nebyl zatím z důvodu přílišné rozsáhlosti a nedostatku času realizován, i když je jeho koncept hotový. Kostra tohoto programu by měla být tvořena stavovým, událostně řízeným automatem, který představuje určitou alternativu k systémům reálného času. I když se takovýto způsob řešení programu nepoužívá moc často, nese v sobě řadu výhod, díky nimž se mi toto řešení jeví pro použití v autoalarmu perspektivní. Více informací o tomto typu stavového automatu se nachází v [40], zajímavá je zejména diskuze v [39].

Jednotlivé moduly byly otestovány samostatně a jsou plně funkční.

Vytvořené moduly jsou tyto:

- **Akcelerometr.c**, tento modul obsahuje funkce pro práci s akcelerometrem, jako je jeho nastavení, vyčítání, filtrace a zpracování dat
- **GMS.c**, v tomto modulu se nacházejí funkce pro komunikaci s mobilním telefonem pomocí AT příkazů, sestavování PDU rámců, odesílání a příjem SMS zpráv, dále se v tomto modulu nacházejí řetězcová data pro tvorbu zpráv
- **GPS.c**, tento modul obsahuje funkce, které slouží pro příjem a dekódování informací z GPS přijímače, celý příjem je realizovaný pomocí smyčky, ve které jsou data načítána ze sériového rozhraní a po detekci řetězce \$GPVTG nebo \$GPRMC nebo \$GPGGA ukládána do příslušných bufferů. Po jejich naplnění je smyčka ukončena.
- **Periferie.c**, tento modul v sobě nese funkce pro práci s obvodem reálného času, EEPROM pamětí, vstupy a výstupy, jejichž čtení je ošetřeno vůči zákmitům
- **System.c**, v tomto modulu se nastavuje mikrokontrolér, sběrnice

Kromě zhotovení řídicího programu pro hlavní jednotku se v budoucnu plánuje zprovoznit komunikační rozhraní CAN bus, pomocí něhož by alarm komunikoval s jinými elektronickými jednotkami ve vozidle, například palubním počítačem.

11. Cenová rozvaha

V tabulce Tab. 11.1, Tab. 11.2, Tab. 11.3 se nachází výčet předpokládaných cen součástek a materiálu použitého pro konstrukci alarmu a kapacitního senzoru. V rozpisu není započítán instalační materiál nutný pro montáž alarmu do vozidla. Uvedené ceny jsou maloobchodní a platné pro kusový odběr.

(Tab. 11.1) Cenová rozvaha mikroprocesorové části

Součástka	Cena/ks [Kč]	Celkem	Součástka	Cena/ks	Celkem
PIC18F46K80	95	95	Baterie CR2032	32	32
MMA7455	52	52	Konektor MiniFit	51	102
Siemens C35	200	200	Krystal 16 MHz	10	10
GPS modul	1100	1100	Krystal 32768 Hz	8	8
DS1307	45	45	Svorkovnice ARK120	8	8
24LC256	20	20	SM6T18CA	9	18
IRF7240	32	64	CANAT01	15	105
PC817 SMD	8	56	ULN2003	10	10
Relé 05V-12	35	70	MAX3051	125	125
Rezistory	0,6	10	Zener. diody	2	8
Tantalové kond.	5	30	Diody	2	18
Keramické kond.	1	15	Výkonové diody	24	48
Plošný spoj	80	80	Pinové lišty	10	80
Cín, ochranný lak	25	25	Krabička		65
Celkem					2499

(Tab. 11.2) Cenový rozpis pro zdrojovou část

Součástka	Cena/ks [Kč]	Celkem	Součástka	Cena/ks [Kč]	Celkem
Li-Ion aku.	45	90	Fóliové kond.	10	20
MAX1837	75	75	Elektrolyt. kond.	15	30
LT3650	172	172	Rezistory	0,6	8
TPS5430	170	170	Kompenz. cívka	18	18
MAX837	53	53	ARK120	8	8
Tlumivky	10	30	EMI filtr	9	18
Dioda SK54C	8	16	Varistor	12	12
Dioda SK36A	5	10	Pojist. držák	15	15
Dioda SK24A	5	10	Pojistka	13	13
SM6T18CA	9	9	Pinové lišty	10	10
Tantalové kond.	5	10	Plošný spoj	80	80
Keramické kond.	1	15	Cín, lak	25	25
Celkem					917

(Tab. 11.3) Cenový rozpis pro inteligentní kapacitní senzor

Součástka	Cena/ks [Kč]	Celkem	Součástka	Cena/ks [Kč]	Celkem
PIC18F26K80	83	83	SM6T18CA	9	9
MAX1837	75	75	1N4148	1	1
MAX16053	88	88	LED 3mm	3	3
AD7151	91	91	Rezistory	0,6	4
PC817	8	8	MLW10A	12	24
Tlumivka	8	8	EMI filtr	9	9
Tantalové kond.	5	20	Krystal 32768 Hz	8	8
Keramické kond.	1	8	Konektor SPOX	7	14
Dioda SK24A	5	15			
Celkem					468

Po sečtení výsledných cen z jednotlivých tabulek vychází cena alarmu s jedním kapacitním senzorem na přibližně **4000 Kč**. Tato cena platí za předpokladu, že bychom uvedené součástky nakupovali v malém množství v maloobchodě, pokud bychom se však rozhodli vyrábět tento autoalarm sériově, cena by byla jistě alespoň o polovinu nižší. Další možnost ke snížení nákladu představuje využití samplového programu výrobců elektronických součástek, kdy je možné řadu součástek získat zdarma. Do uvedené ceny není započítána cena práce. V porovnání s cenou profesionálního autoalarmu Athos CA – 1803 vychází cena vyrobeného autoalarmu třetinová, což se jeví jako perspektivní záležitost.

12. Právní aspekty

Uvedená konstrukce autoalarmu je určena k montáži do osobního vozidla. Tato činnost má kromě technické stránky i legislativní rámec upravující, které zařízení a za jakých okolností smí nebo nesmí být do vozidla namontováno.

Autoalarm spadá dle přílohy číslo 15 dle vyhlášky č. 341/2002 Sb. o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích mezi zařízení, které musí projít před zahájením sériové výroby a montáží do vozidla schvalovacím procesem ohledně jeho technické způsobilosti [47].

Vlastnosti zařízení montovaných do vozidel stanovuje zákon č. 15/2001 Sb. o podmínkách provozu na pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů. Pokud splňuje zařízení dané předpisy a normy, získá homologační značku E8, která označuje stálou shodu vlastností výrobku s danými předpisy.

Homologaci provádí v ČR několik firem, nejznámější je patrně společnost DEKRA, a.s.

Sestavený autoalarm slouží jako testovací platforma, u které se nepočítá s pozdější homologací, hlavně z finančních a byrokratických důvodů. Proto by nemělo být toto zařízení provozováno na pozemních komunikacích, pokud by bylo sestaveno druhou osobou!

13. Závěr

V diplomové práci byl probrán návrh zabezpečovacího zařízení pro automobily, které je vybavené GPS přijímačem, GSM modulem ve formě mobilního telefonu Siemens C35, akcelerometrem sloužícím k detekci náklonu, galvanicky oddělenými vstupy a silovými výstupy. Jako nestandardní čidlo narušení je použit kapacitní senzor.

S kapacitními senzory se můžeme především setkat v průmyslové praxi, kde už po léta představují poměrně spolehlivé a cenově dostupné řešení pro detekci různých předmětů či zajištění bezpečnosti obsluhy, aby se nepřiblížila k pracujícímu stroji. V dnešní době nalezly též uplatnění v dotykově či bezdotykově ovládaných zařízeních, jakými jsou mobilní telefony, tablety nebo operátorské panely pro řízení strojů. Po zmapování trhu a vytvoření přehledu o stavu používané elektroniky v automobilech, především z hlediska zabezpečení proti krádeži, lze konstatovat, že se v této oblasti kapacitní senzory prakticky nepoužívají.

Jedním z cílů diplomové práce bylo zjistit, zda by bylo možné a popřípadě za jakých okolností, použít kapacitní senzory pro oblast ochrany vozidla proti krádeži. V rámci plnění tohoto úkolu byl zhotoven kapacitní senzor, jehož měřicí elektronika byla realizovaná převodníkem kapacita–číslo AD7151 od firmy Analog Devices. Tento obvod umožňuje měřit i velmi malé změny kapacity, řádově v jednotkách fF, což ho činí velmi vhodným pro nasazení v senzorech schopných detekovat i vzdálenější předměty. Jako vlastní kondenzátor senzoru bylo zhotoveno několik typů plošných kondenzátorů, jejichž specifikace se nalézá v kapitole 4.4.5.

Při následujících testech byly potvrzeny teoretické předpoklady o chování kapacitního senzoru. Čím větší byla plocha elektrod kondenzátoru a čím větší byl poměr mezi permitivitou detekovaného předmětu a vyrobeného kondenzátoru, tím větší detekovatelné vzdálenosti bylo možné dosáhnout. S uvedenými kondenzátory jsem dosáhl průměrné maximální detekční vzdálenosti cca. 25 cm, což dle mého soudu spolehlivě stačí pro zamýšlenou oblast použití.

Bohužel byla také zjištěna značná citlivost kondenzátoru na výskyt vody či jiných látek o vysoké permitivitě na jeho aktivní ploše, i přesto, že byl chráněný krytem. Tato situace se projevovala vznikem falešných poplachů, kdy nebylo možné s určitostí definovat, co tvoří příčinu změny kapacity, jestli narušitel či pouze voda. Při uvažovaném nasazení kapacitních senzorů jako zabezpečovacích prvků v automobilu, by bylo nutné vyřešit jejich umístění takovým způsobem, aby byly co nejlépe odstíněny od vlivu vnějšího prostředí. Zatímco s umístěním v interiéru by neměly nastat výraznější komplikace, v případě exteriéru je situace diametrálně odlišná. Proto jsem došel k názoru, že samostatné použití kapacitních senzorů ve funkci detektorů neoprávněného nakládání s vozidlem by nevedlo k adekvátním výsledkům. Riziko falešných poplachů, hlavně při instalaci těchto senzorů v exteriéru (kliky dveří, víko kufru...) by bylo enormní. Řešení představuje redundance čidel, kdy by kapacitní senzory sloužily pouze jako doplňkové detektory narušení.

Jako čidlo náklonu byl použit tříosý akcelerometr MMA7455L od firmy FreeScale. Původním záměrem bylo použít pro detekci náklonu vnitřní logiku obvodu, kdy by byl při překročení prahové hodnoty aktivován mikrokontrolér, který by následně vyčetl a vyhodnotil aktuální hodnoty zrychlení. Při praktických testech bylo zjištěno, že ne při každém náklonu by došlo k překročení prahové hodnoty (kapitola 7.4). Proto bylo zvoleno kontinuální periodické čtení akcelerace a její porovnávání s referenční hodnotou stanovenou při odstavení vozidla.

Důležitým aspektem konstrukce alarmu bylo dosažení co nejnižší spotřeby, proto byl zvolen jako zdrojový obvod spínaný měnič MAX1837 s klidovým proudovým odběrem pouhých 12 μA . Po sestavení alarmu bylo provedeno několik měření spotřeby jednotlivých částí, měření proběhlo při pokojové teplotě a výsledky jsou zaznamenány do tabulky Tab. 13.1.

(Tab. 13.1) Odběr proudu jednotlivých částí

Část	Odběr [μA]	Poznámka
Samotný obvod MAX1837	18	Obvod nezatížen
Zdrojová část	137	Nabíječ v stand-by režimu
Hlavní část s uspaným mikrokontrolérem	387	Odpojený akcelerometr
Hlavní část s aktivním mikrokontrolérem	6825	Odpojený akcelerometr
Hlavní část se střídavě aktiv. mikrokontrolérem	2474	Průměrná hodnota frekvence určená akcelerometrem : 65,5 Hz

Na proudovém odběru hlavní části se ve stavu, kdy je alarm aktivován, podílí kromě vlastního měniče, mikrokontroléru, akcelerometru, nabíjecího obvodu pro záložní akumulátor i obvod reálného času, paměť EEPROM, budič rozhraní CAN bus a tranzistorové pole ULN2003. Průměrná hodnota tohoto odběru dosáhla téměř 2,5 mA, což je o něco více, než jsem původně počítal (1 mA). Příčinu nárůstu představuje specifická činnost náklonoměru, při které se nachází mikrokontrolér střídavě v aktivním režimu a v režimu spánku. Ale i takováto velikost spotřeby je téměř desetkrát menší než spotřeba komerčně vyráběného autoalarmu Athos CA-1803 BT od firmy Jablotron, jehož popis se nachází v kapitole 1.2.

Pro případ vybití palubního akumulátoru nebo jeho odpojení je autoalarm vybavený záložním Li-Ion akupackem, který je tvořený dvojicí článků typu 18650. Tyto akumulátory byly zakoupeny od producenta z Dálného východu, později se ukázalo, že se jedná o falzifikáty akumulátorů firmy Sony. Zatím byly testovány pouze v laboratorních podmínkách, při nasazení v provozu lze s vysokou pravděpodobností očekávat, že budou tvořit „nejslabší“ místo alarmu. Řešením by bylo zakoupit tento typ akumulátorů v průmyslovém provedení přímo od renomovaného výrobce, bohužel, za několikanásobně vyšší cenu. Ale i přesto se jeví použití akumulátorů na bázi lithia perspektivní pro zálohování bezpečnostních zařízení v automobilech, především z důvodů jejich kompaktnosti, výborných elektrických vlastností a schopnosti pracovat za ztížených podmínek.

Po sestavení alarmu byla provedena cenová kalkulace, kdy se náklady na použitý materiál vyšplhaly na hranici 4000 Kč, což představuje asi třetinu tržní ceny výše uvedeného alarmu Athos. Při výpočtu ceny nebyla brána v potaz cena práce.

Hlavní jednotka alarmu byla realizovaná na dvou samostatných dvouvrstevných deskách plošných spojů, jejichž vnější rozměry byly stanoveny na základě krabičky KP45D, do které byl alarm usazen. Tyto desky byly vytvořeny v domácích podmínkách pomocí fotocesty, čemuž byl uzpůsoben i jejich návrh, zejména bylo důležité omezit na minimum počet prokovů. To se ne vždy povedlo, proto jsou součástí desek drátové propojky spojující vrchní a spodní stranu. Menší problém nastal s usazením akcelerometru, jehož pouzdro neobsahuje drátové vývody, ale pouze pájecí plošky ze spodní strany. Z tohoto důvodu byl tento obvod usazen na samostatnou destičku. I když se zapájení povedlo na první pokus, dá se předpokládat, že by v ostrém provozu došlo po čase vlivem vibrací a rázů k jeho odtržení.

Pokud by bylo zařízení zamýšleno jako komerční výrobek, bylo by nutné plošné spoje předělat, zejména s ohledem na normy EMC a kvalitní usazení součástek, aby nedošlo v budoucnu k jejich uvolnění. Kromě plošných spojů by bylo nutné nahradit mobilní telefon kompaktním GSM modulem, který dosahuje nižší spotřeby, menších rozměrů a větší spolehlivosti. Vhodné by byly zejména moduly kombinované s GPS přijímačem, například SIM548C od firmy SIMCOM.

Při testování komunikace pomocí SMS zpráv byla používána v telefonu karta s nabitým kreditem, pro seriózní použití by bylo lepší zvolit některý z dostupných tarifů našich operátorů.

14. Seznam literatury

- [1] Ďaďo, S., J. Novák, P. Ripka a M. Kreidl. *Senzory a převodníky*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
- [2] Martínek, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [3] Huang, Han-Way. *PIC Microcontroller: An Introduction to Software&Hardware Interfacing*. New York: Delmar Learning Publisher, 2005. ISBN 1-4018-3967-3.
- [4] Wilmshurt, Tim. *Designing embedded systems with PIC microcontrollers: Principles and Application*. Oxford: Elviesier Ltd., 2010. ISBN 978-1-85617-750-4.
- [5] Huddleston, Creed. *Intelligent Sensor Design: Using the Microchip dsPIC*. Oxford: Elviesier Ltd., 2007. ISBN 0-7506-7755-4.
- [6] Krejčířík, Alexandr. *Napájecí zdroje I – Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1997. ISBN 80-88056-02-3.
- [7] Mann, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-077-6.
- [8] Herout, Pavel. *Učebnice jazyka C*. České Budějovice: Nakladatelství Kopp, 2003. ISBN 978-80-7232-351-7.
- [9] Myslík, Jiří. *Elektrické obvody*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-19-8.
- [10] Láníček, Robert. *Elektronika, obvody – součástky – děje*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-25-2.
- [11] Dietmeier, Ulrich. *Vzorce pro elektroniku*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-53-8.
- [12] Myslík, Jiří. *Elektromagnetické pole*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-43-0.
- [13] Rozehnal, Zdeněk. *Mikrokontroléry Motorola HC11*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2001. ISBN 80-86056-77-5.
- [14] Doleček, Jiří. *Základy elektroniky, ideální a reálné prvky*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-146-2.
- [15] Mayer, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. Plzeň: Vydavatelství ZČU, 2004. ISBN 80-7082-826-9.

- [16] Pinker, Jiří a Václav Koucký. Analogové elektronické systémy 1. část. Plzeň: Vydavatelství ZČU, 2010. ISBN 978-80-7043-917-3.
- [17] Vojáček, Antonín. Kapacitní senzory přiblížení [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2005101001>>.
- [18] Vojáček, Antonín. Pravidla pro konstrukci kapacitních dotykových tlačítek mTouch [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/pravidla-pro-konstrukci-kapacitnich-dotykovych-tlacitek-mtouch>>.
- [19] Vojáček, Antonín. Kapacitní senzory pro dotykové i bezdotykové ovládání a detekci [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/kapacitni-senzory-pro-dotykovye-i-bezdotykovye-ovladani-detekci>>.
- [20] Česko. Ministerstvo vnitra. Statistika ukradených vozidel [online]. MVČR ©2011 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.mvcr.cz/clanek/bezpecnost-a-prevence-kradeze-motorovych-vozidel.aspx>>.
- [21] Cebia, s.r.o. [online]. ©2012 [cit. 2012-03-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.cebia.cz/cz/historie-a-profil-spolecnosti>>
- [22] Martínek, Jan. GPS a komunikační protokol NMEA – 1, 2, 3 [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-1-princip-historie>>
- [23] Encyklopedie Wikipedia. Global systém for Mobile Communications [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications>
- [24] Mihai. NMEA – 0183 Protocol Description [online]. [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.berik.net/docs/nmea0183.pdf>>
- [25] Hankovec, David. Vytvoření PDU formátu SMS zprávy a odeslání mobilním telefonem [online]. [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <http://www.dhservis.cz/dalsi/construction_pdu.htm>
- [26] Microchip Corporation. PIC18F66K80 Family Data Sheet [online]. [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <[PIC18F66K80 Family Data Sheet](#)>
- [27] Encyklopedie Wikipedia. Protocol data unit – PDU [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_data_unit>
- [28] Bramo. Konektory mobilních telefonů [online]. [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://bramo.ic.cz/mtkon.htm>>

- [29] Maxim Semiconductor. Step-Down Converter MAX1837 [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1836-MAX1837.pdf>>
- [30] Maxim Semiconductor. MAX836, MAX837: 4-Pin Micropower Voltage Monitors [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX836-MAX837.pdf>>
- [31] Maxim Semiconductor. MAX16052, MAX16053: High-Voltage, Adjustable Sequencing/Supervisory Circuits [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX16052-MAX16053.pdf>>
- [32] Texas Instrument. Step-Down Converter TPS5430 [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps5430.pdf>>
- [33] Analog Devices. Ultra-Low Power, 1-Channel, Capacitance Converter for Proximity Sensing [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7151.pdf>
- [34] Freescale Semiconductor. MMA7455L: Low-g digital output accelerometer [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z WWW: <http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf
<[fsrch=1&sr=3](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf)>
- [35] Maxim Semiconductor. I²C Real-Time Clock [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1307.pdf>>
- [36] International Rectifier. Power MOSFET IRF7240 [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/irf/irf7240.pdf>>
- [37] Navilock Europe. Datasheet of GPS smart antenna module, NL-50x MTK series [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.mercateo.com/pdf/DCI/P247994.PDF>>
- [38] Belza, Jaroslav. Li-Ion akumulátory a jejich nabíjení [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.belza.cz/charge/liion1.htm>>
- [39] Samek, Miro. I hate RTOSes [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://embeddedgurus.com/state-space/2010/04/i-hate-rtoses>>
- [40] Curtis, Keith. Embedded multitasking with small MCUs: Part 1 - State Machine Constructs [online]. [cit. 2012-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.eetimes.com/design/automotive-design.htm>>
- [41] AVX Corporation. High Temperature CAN Bus Varistor [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.avx.com/docs/Catalogs/canat.pdf>>
- [42] Snášel, Jaroslav. Jak určit polohu mobilního telefonu [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné na WWW: <<http://www.mobilmania.cz/default.aspx?article=1107567>>

- [43] Jablotron, s.r.o. GSM alarm CA-1803 BT “Athos” [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.jablotron.cz/cz/Katalog/autotechnika/gsm+autoalarmy/autoalarm+ca1803+bt+athos>>
- [44] Fulgur Battman,s.r.o. NiMh akumulátory [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://eshop.fulgurbattman.cz/kategorie/baterie-akumulatory/baterie-akumulatory-prumyslove/prumyslove-nimh/>>
- [45] Linear Technology. LT3650: 2-cell Li-Ion Battery Charger [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.linear.com/product/LT3650-8.X>>
- [46] Škoda Felicia, schéma zapojení [online]. Dostupné z WWW: <http://wrp.cz/rock/felicia/el_felicia.pdf>
- [47] Česko. Ministerstvo dopravy. Zákon 341/2002 Sb. [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z WWW: <www.mdcr.cz/NR/rdonlyres/8FF6B685-39BE-4360.../v34102.rtf>
- [48] Svačina, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <http://webs.zcu.cz/fel/kae/emk/EMC_Sva%e8ina_VUT_Brno_pdf/>
- [49] Robenek, Jan. Senzory, snímače a čidla v praxi – 4. díl [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/senzory-snimace-a-cidla-v-praxi-4-dil.html>>

Seznam příloh

Příloha A : Schémata zapojení jednotlivých modulů zařízení

Příloha B : Plošné spoje

Příloha C : Osazení součástkami

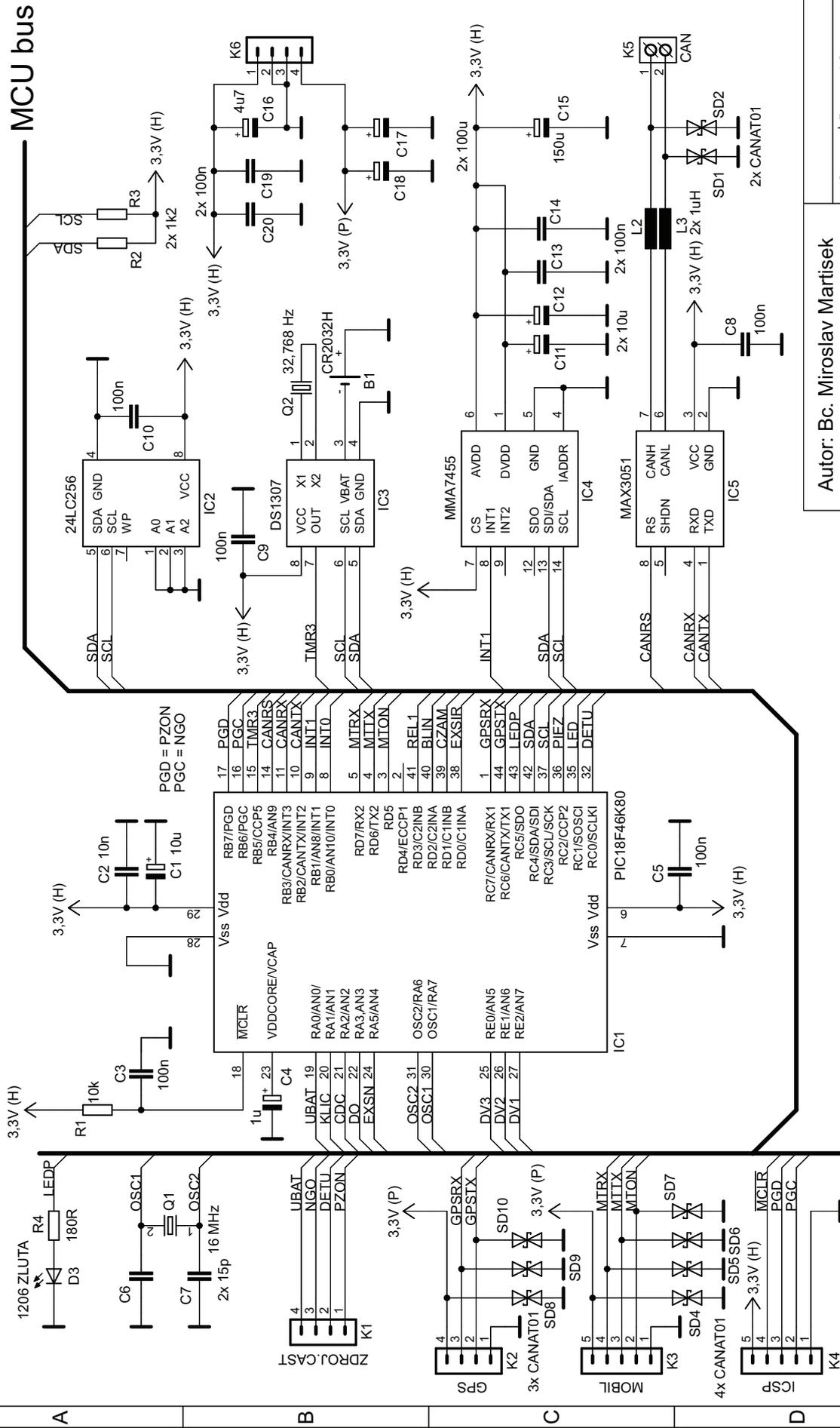
Příloha D : Osazení do krabičky KP45D

Příloha E : Zdrojové kódy firmware [disk CD-ROM]

Příloha F : Soubor schémat elektroinstalací Škoda Felicia [disk CD-ROM]

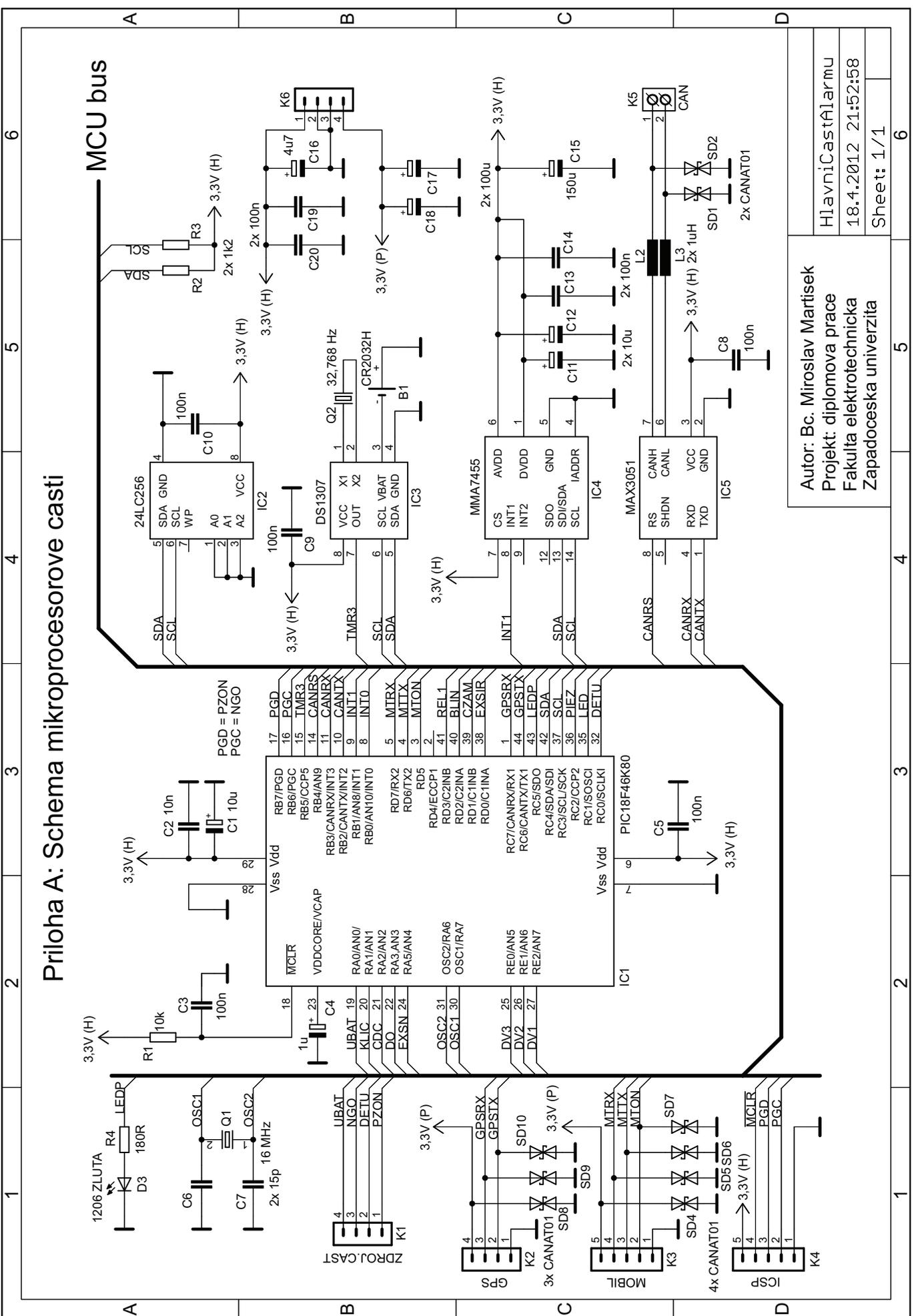
Příloha G : Fotografie výrobku [disk CD-ROM]

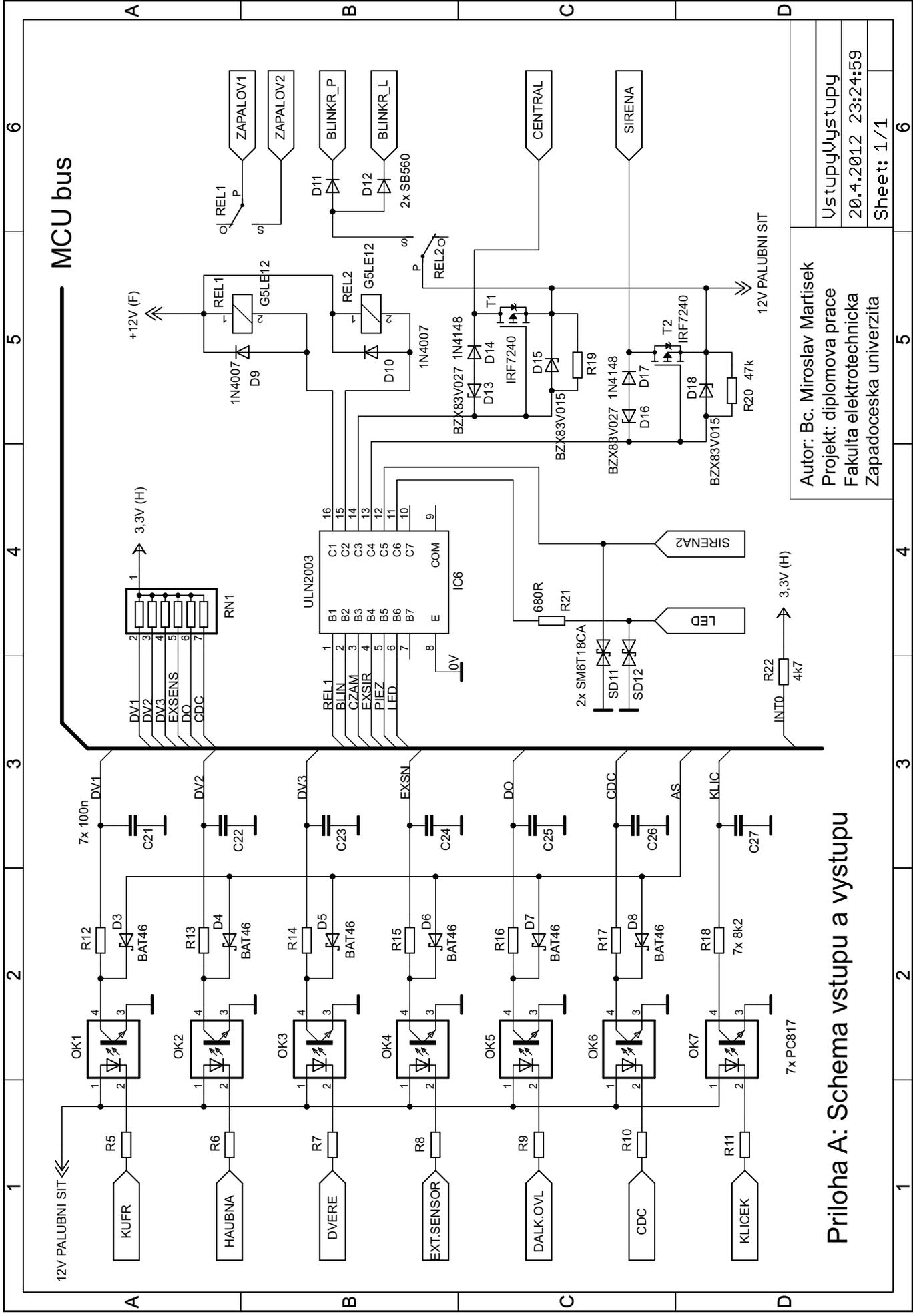
Priloha A: Schema mikroprocesorove casti



Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

HlavniCastA1armu
 18.4.2012 21:52:58
 Sheet: 1/1



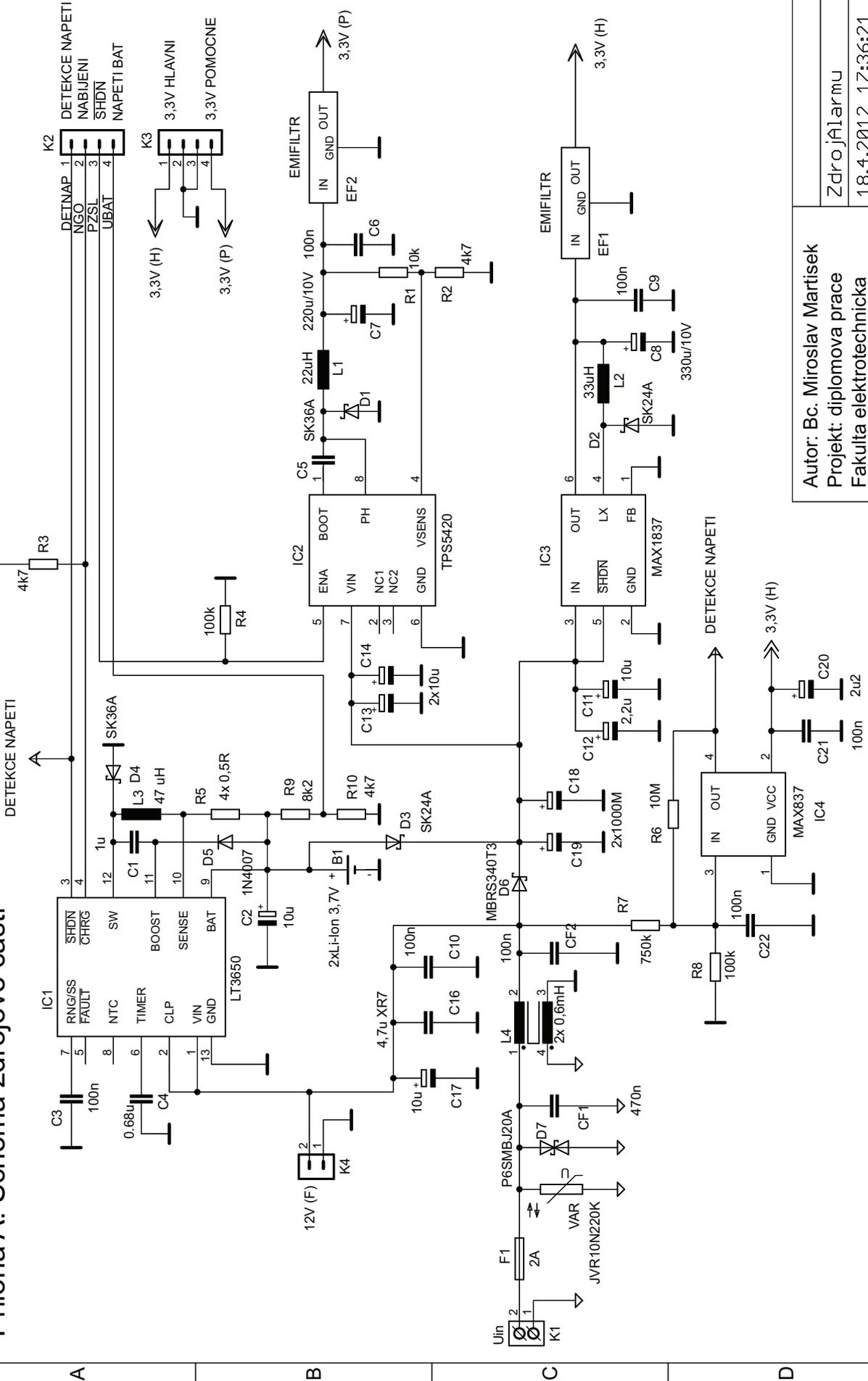


Priložba A: Schema vstupu a výstupu

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

Ústupy výstupy
 20.4.2012 23:24:59
 Sheet: 1/1

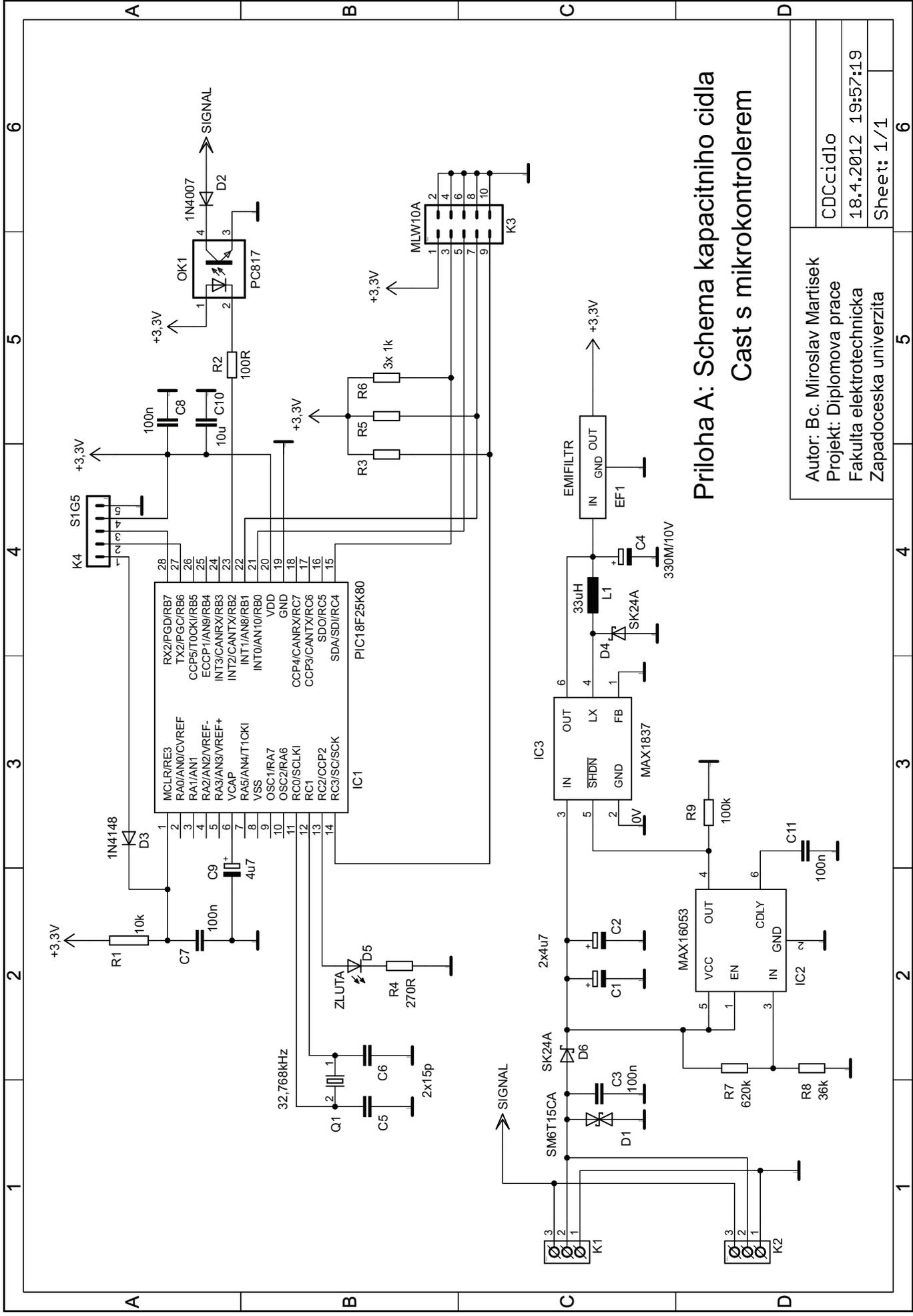
Priloha A: Schema zdrojove casti



Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

ZdrojAlarmu
 18.4.2012 17:36:21
 Sheet: 1/1

1 2 3 4 5 6

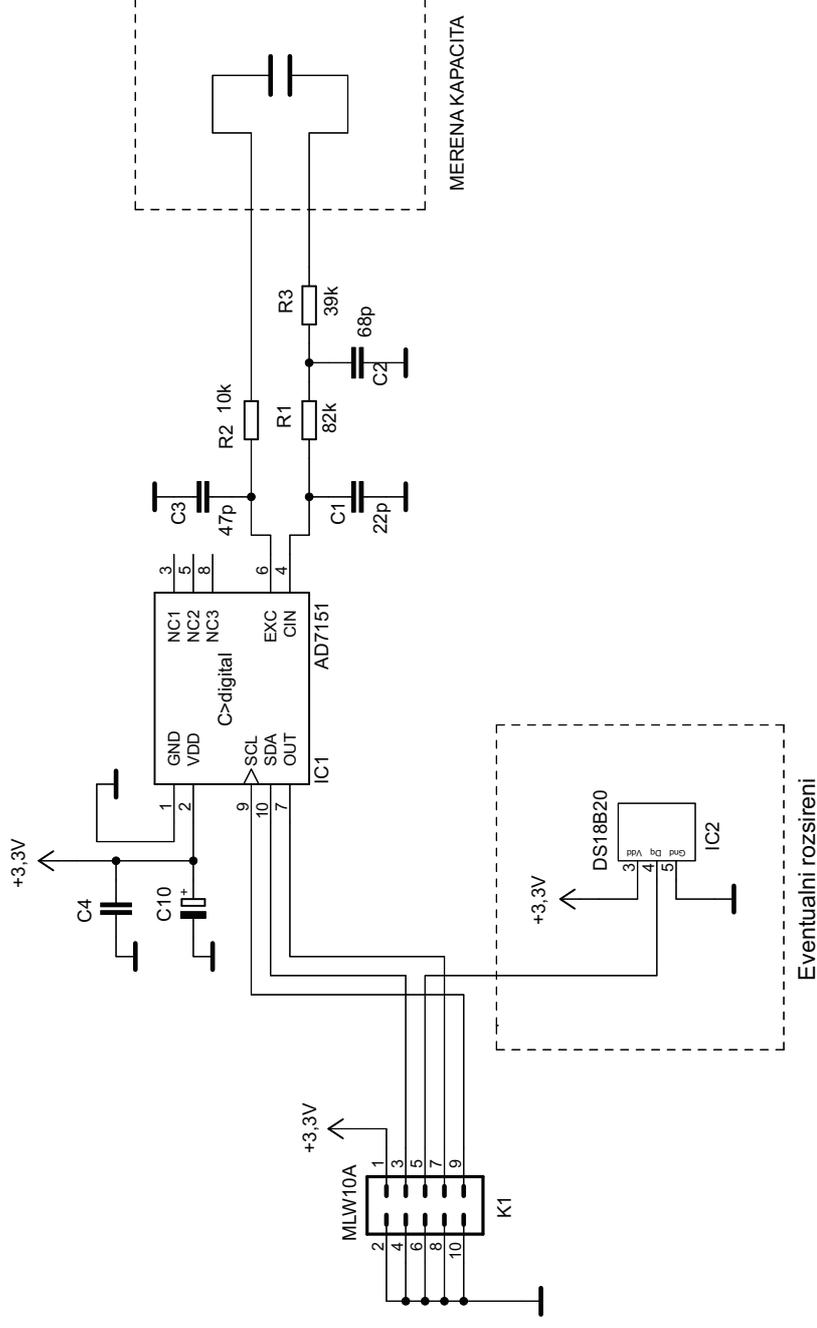


Priloha A: Schema kapacitniho cidla Cast s mikrokontrolerem

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

CDCcidlo
18.4.2012 19:57:19
Sheet: 1/1

Priloha A: Schema kapacitniho cidla Cast kondenzatoru



Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

CDCKapacitor

18.4.2012 21:04:07

Sheet: 1/1

6

5

4

3

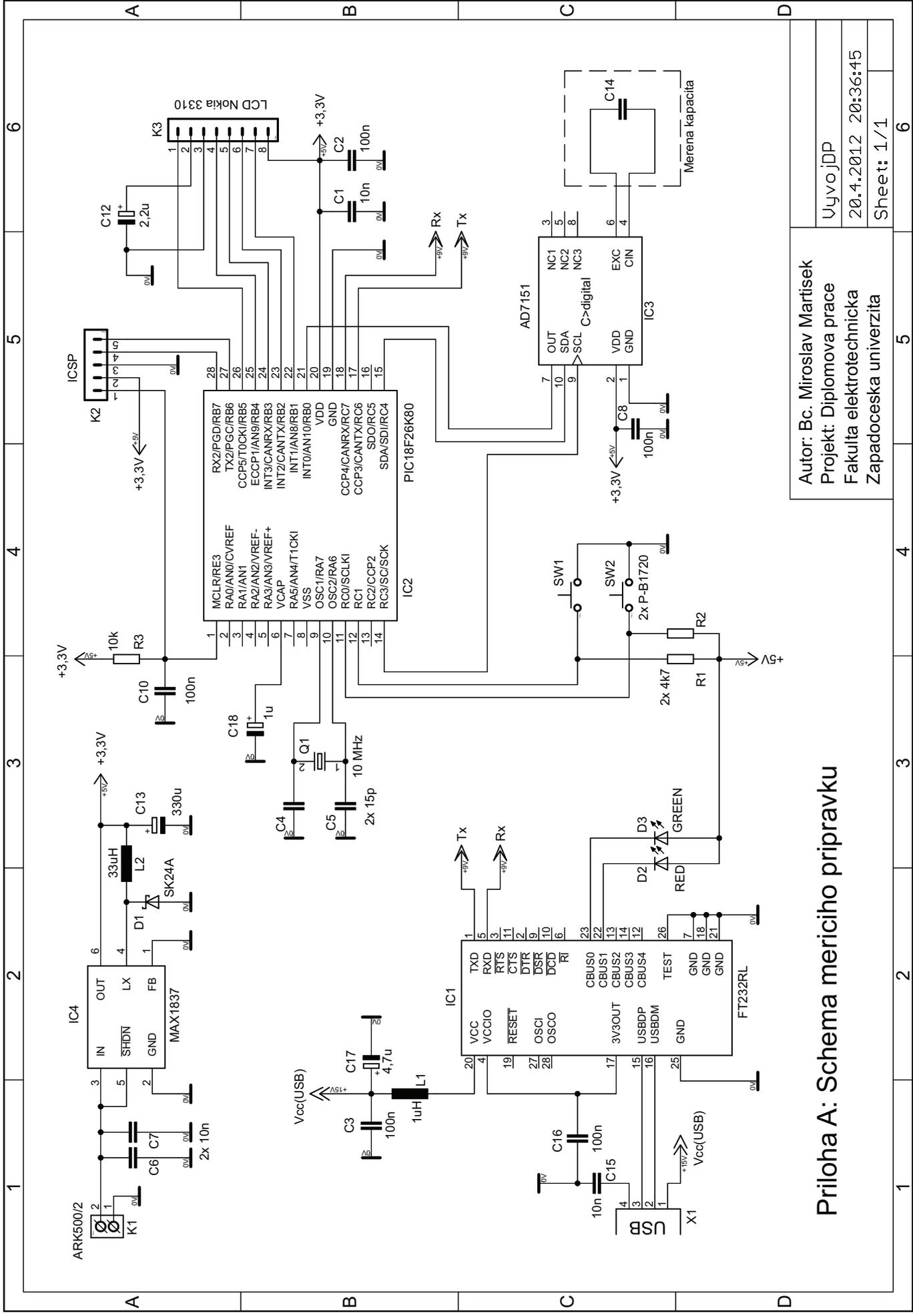
2

1

6 5 4 3 2 1

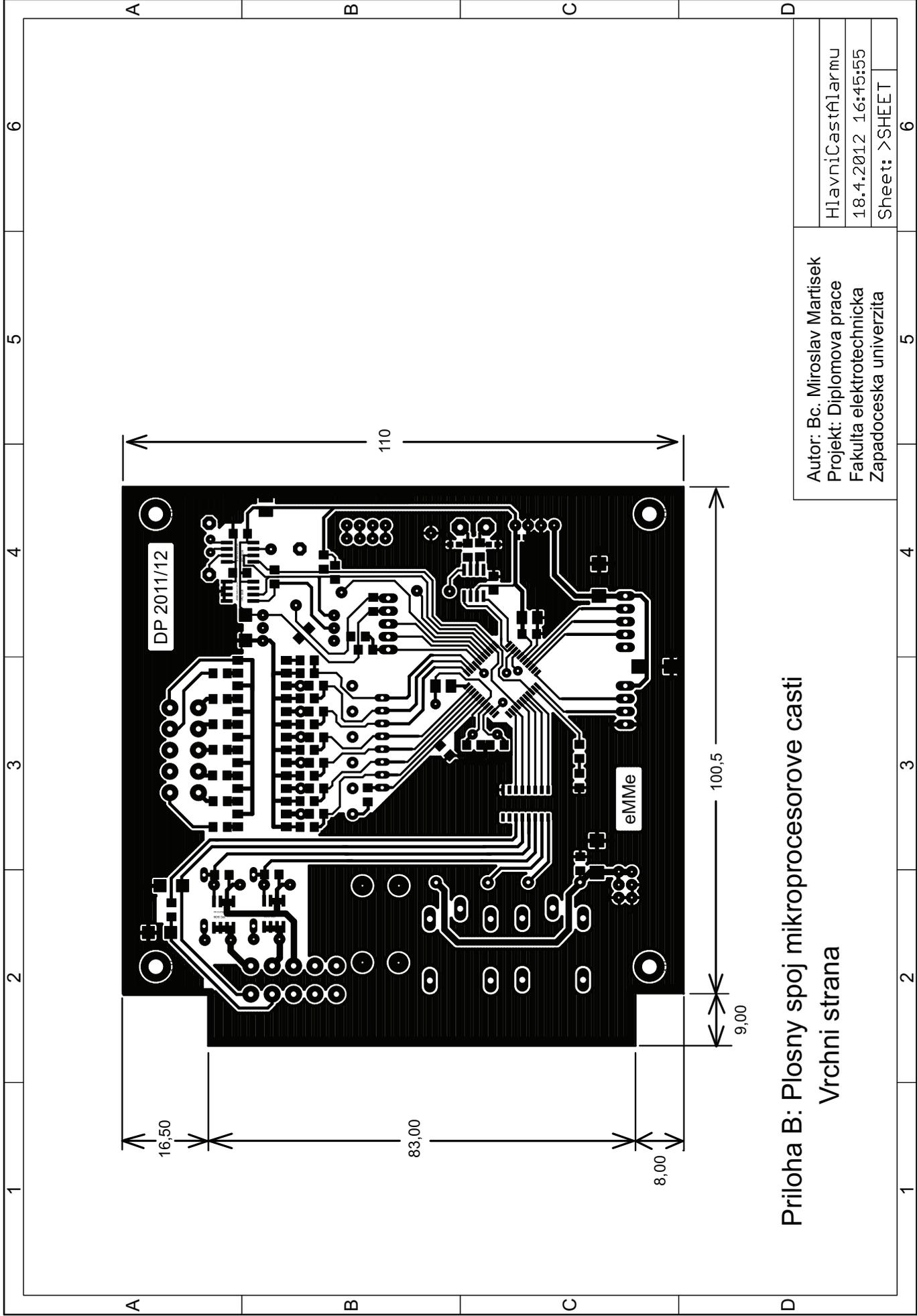
A B C D

A B C D



Priloha A: Schema mericicho pripravku

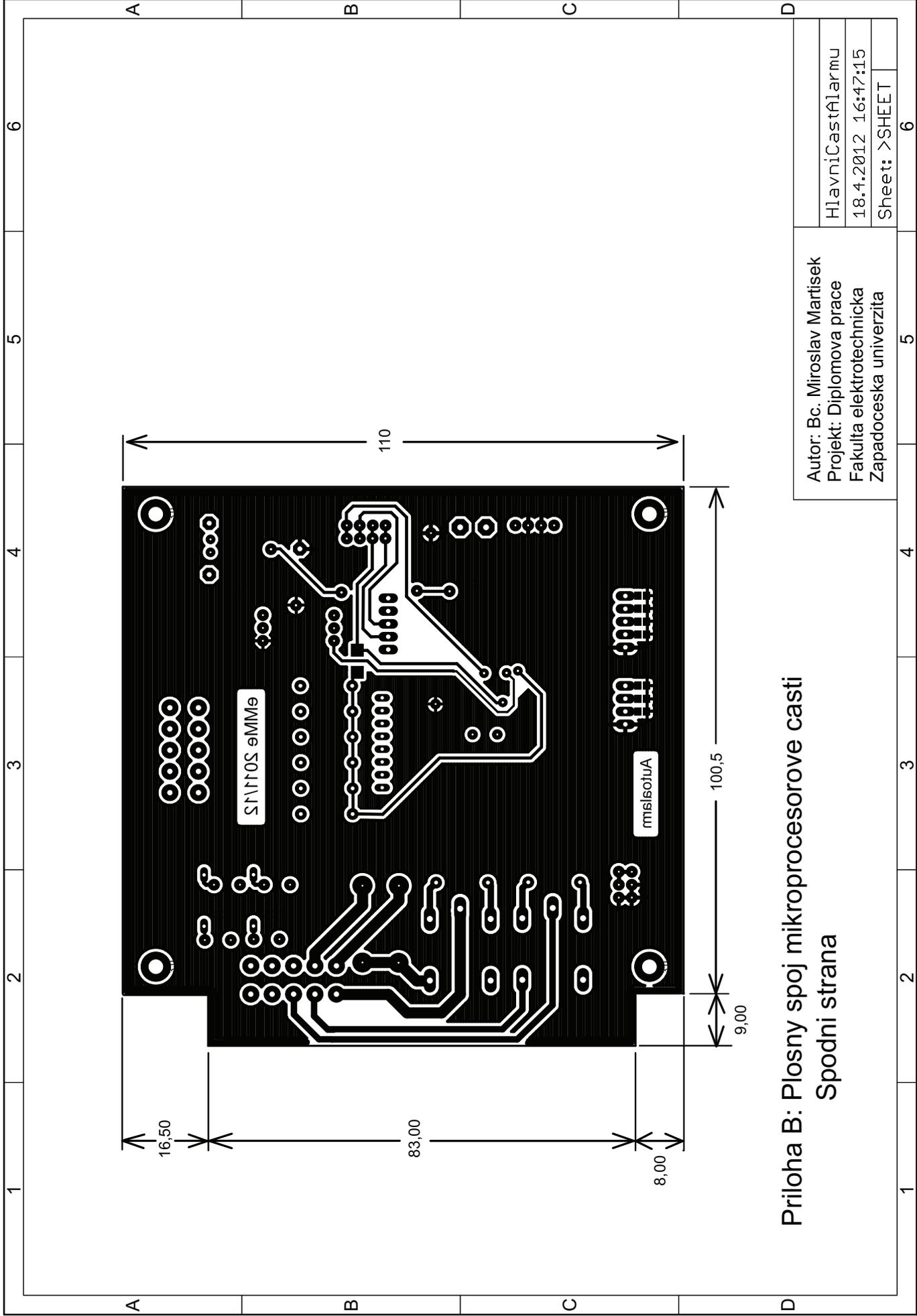
Autor: Bc. Miroslav Martisek	
Projekt: Diplomova prace	
Fakulta elektrotechnicka	
Zapadoceska univerzita	
Uyvoj JDP	
20.4.2012	20:36:45
Sheet: 1/1	



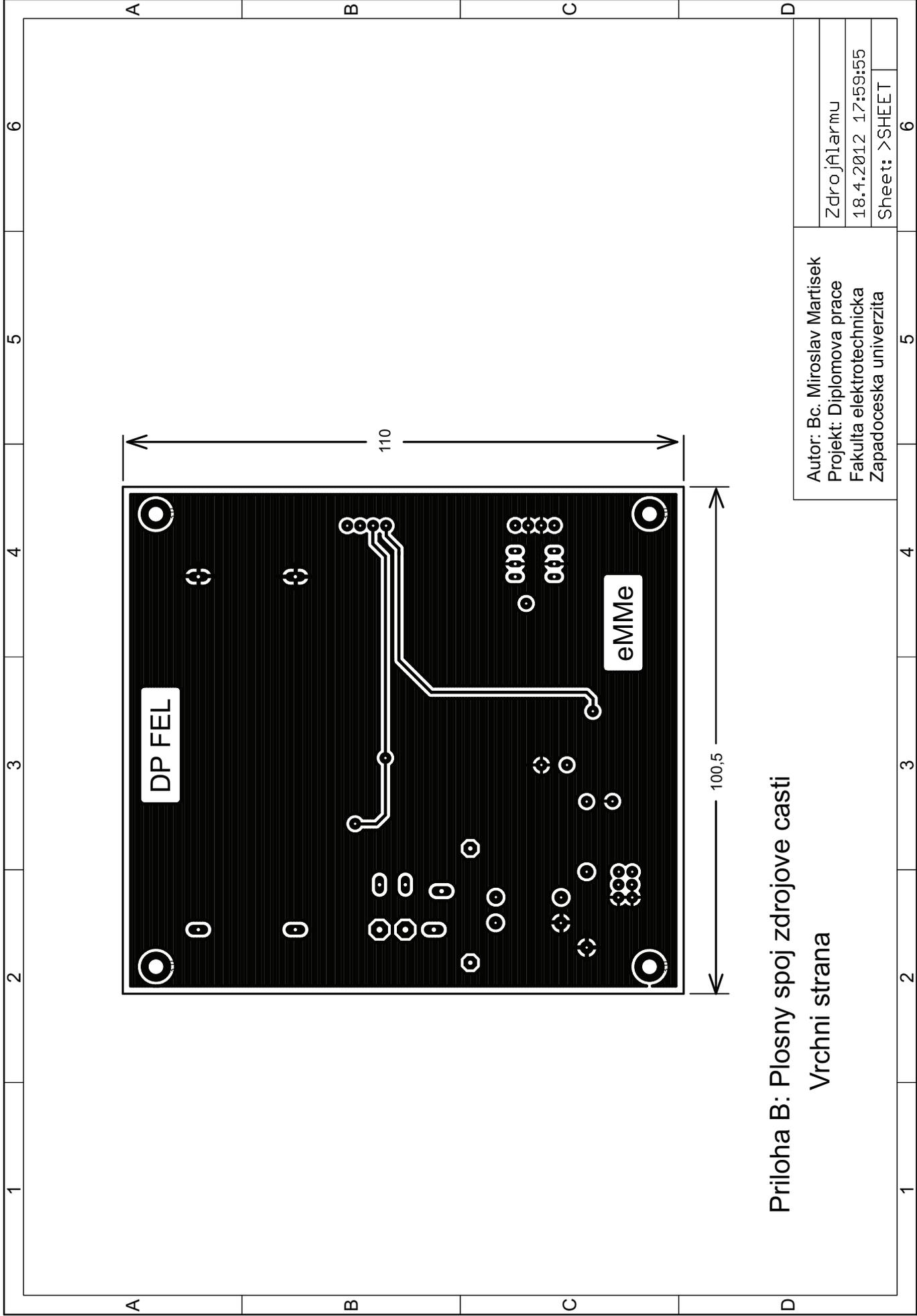
Priloha B: Plosny spoj mikroprocesorove casti
Vrchni strana

Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

HlavniCastA1armu
18.4.2012 16:45:55
Sheet: >SHEET



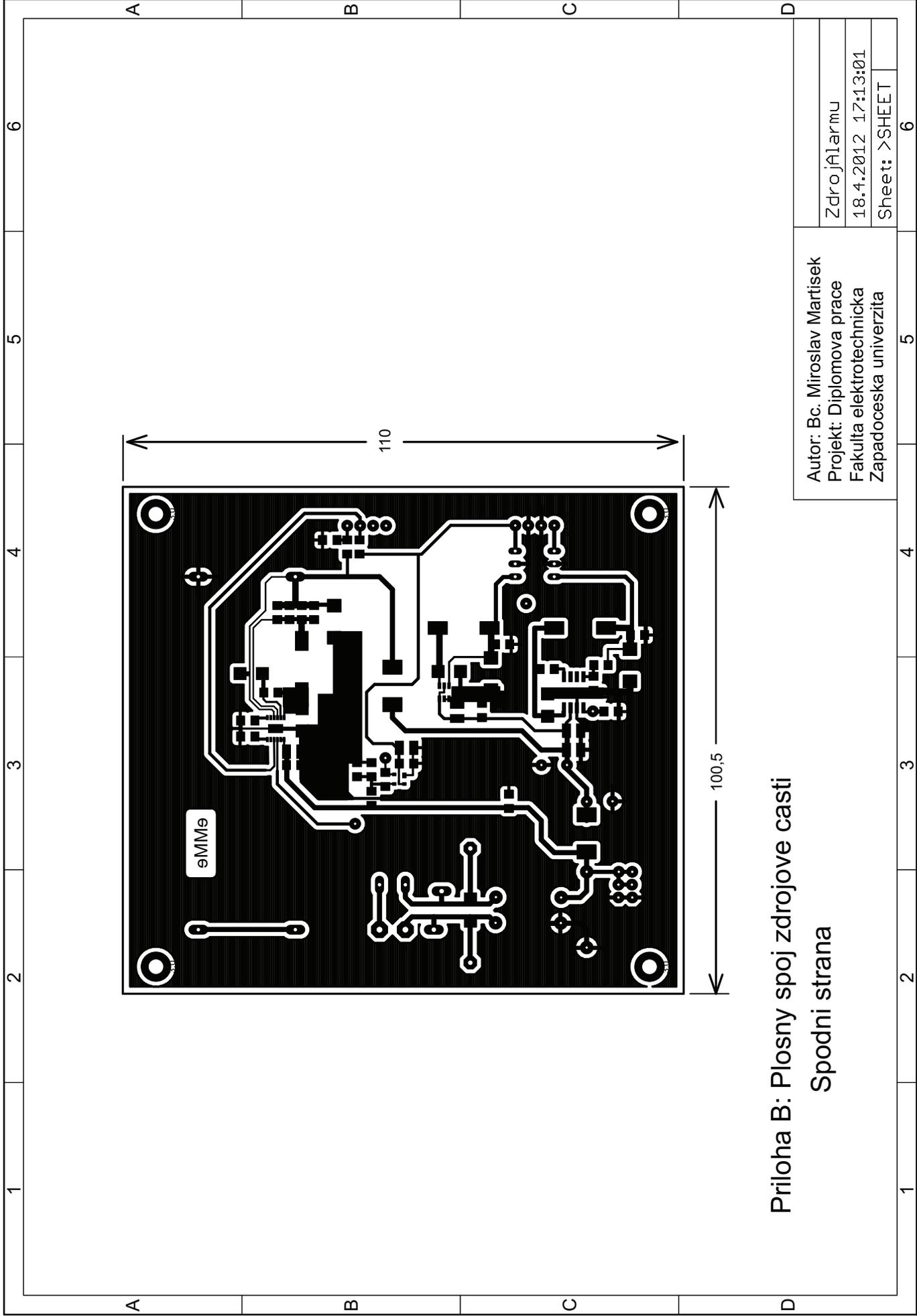
Priloha B: Plosny spoj mikroprocesorove casti
Spodni strana



Priloha B: Plosny spoj zdrojovej casti
Vrchni strana

Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

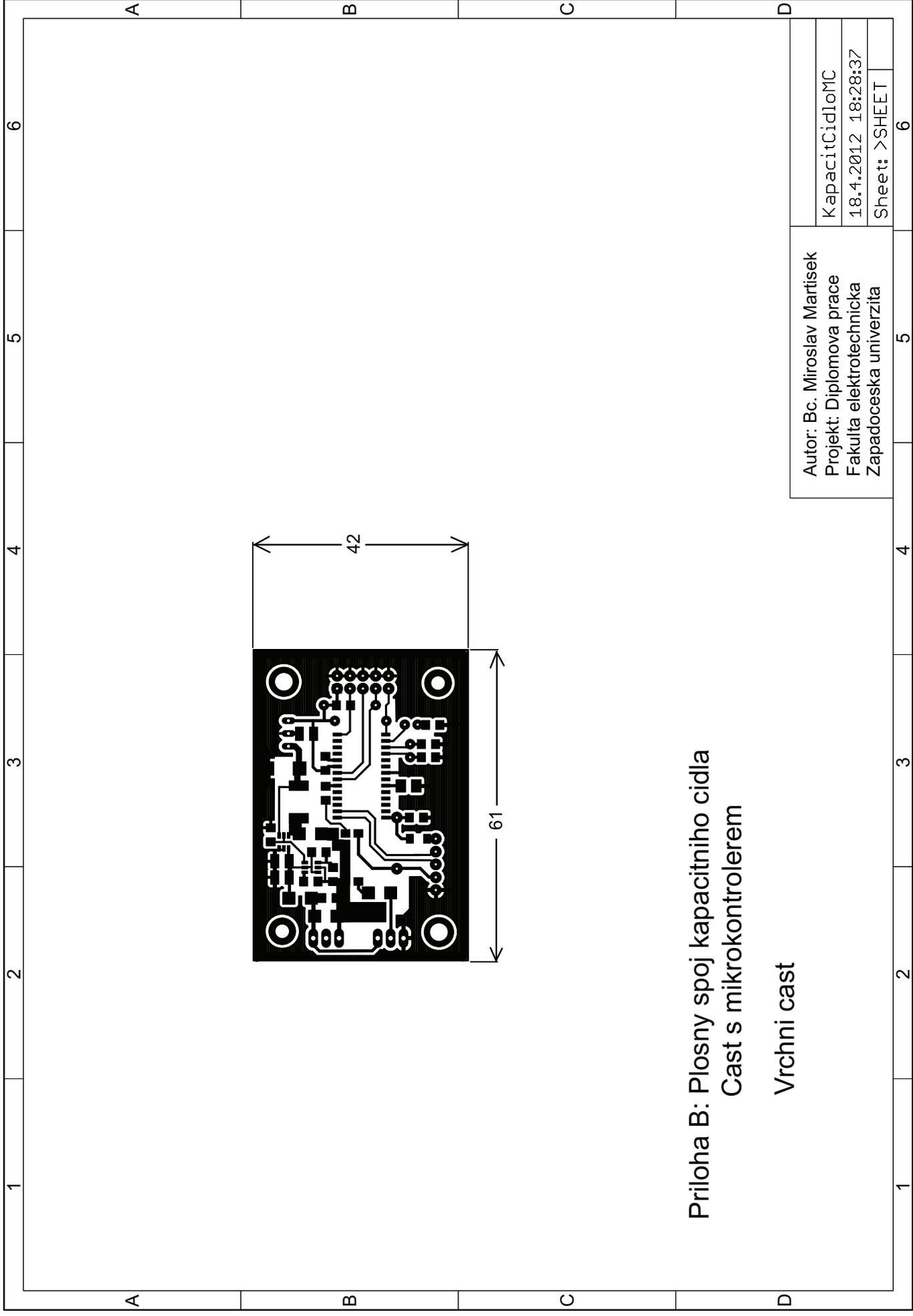
ZdrojAlarmu
18.4.2012 17:59:55
Sheet: >SHEET



Priloha B: Plosny spoj zdrojove casti
Spodni strana

Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

ZdrojAlarmu
18.4.2012 17:13:01
Sheet: >SHEET

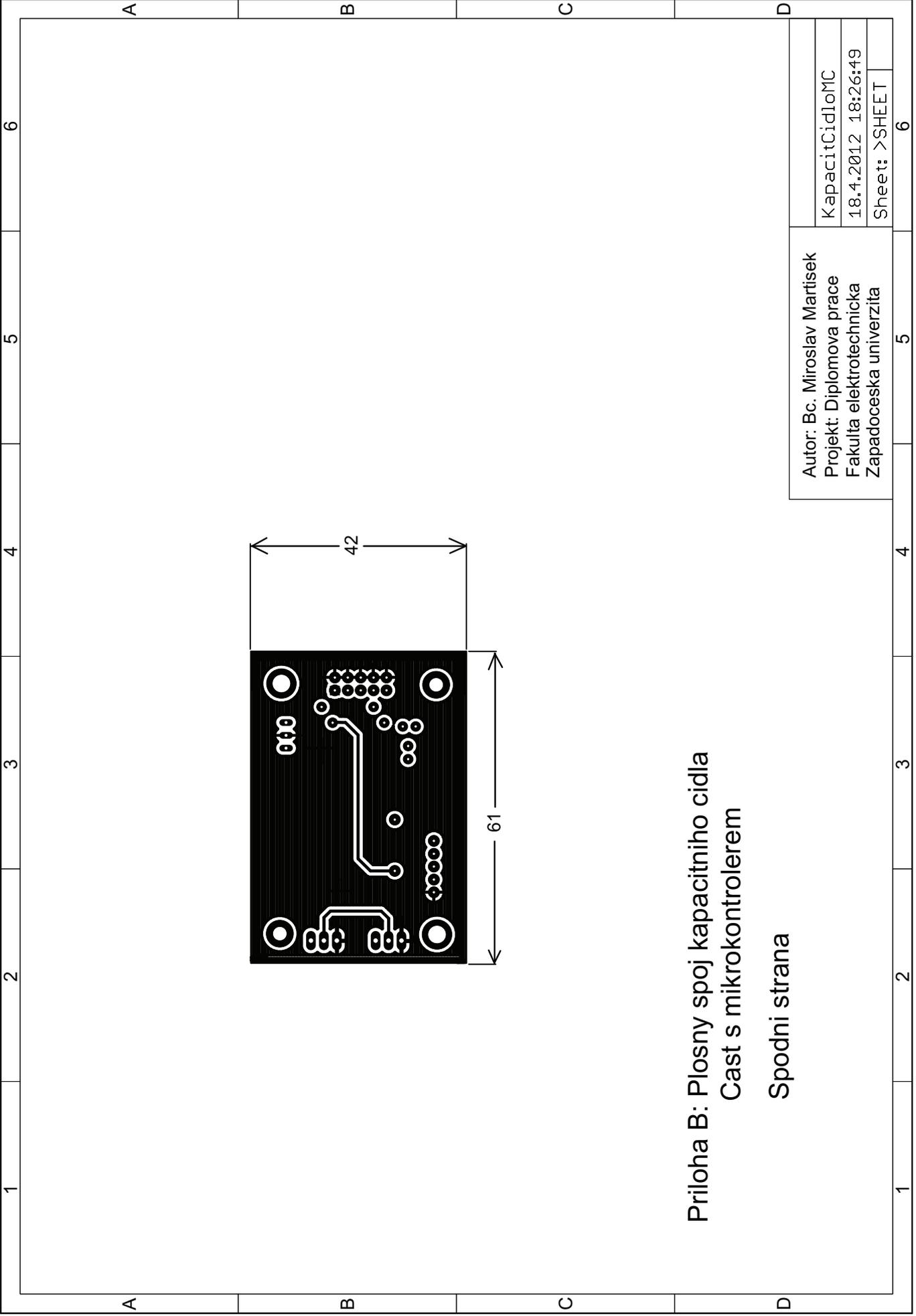


Priloha B: Plosny spoj kapacitniho cidla
 Cast s mikrokontrolerem

Vrchni cast

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

KapacitCidIoMC
 18.4.2012 18:28:37
 Sheet: >SHEET

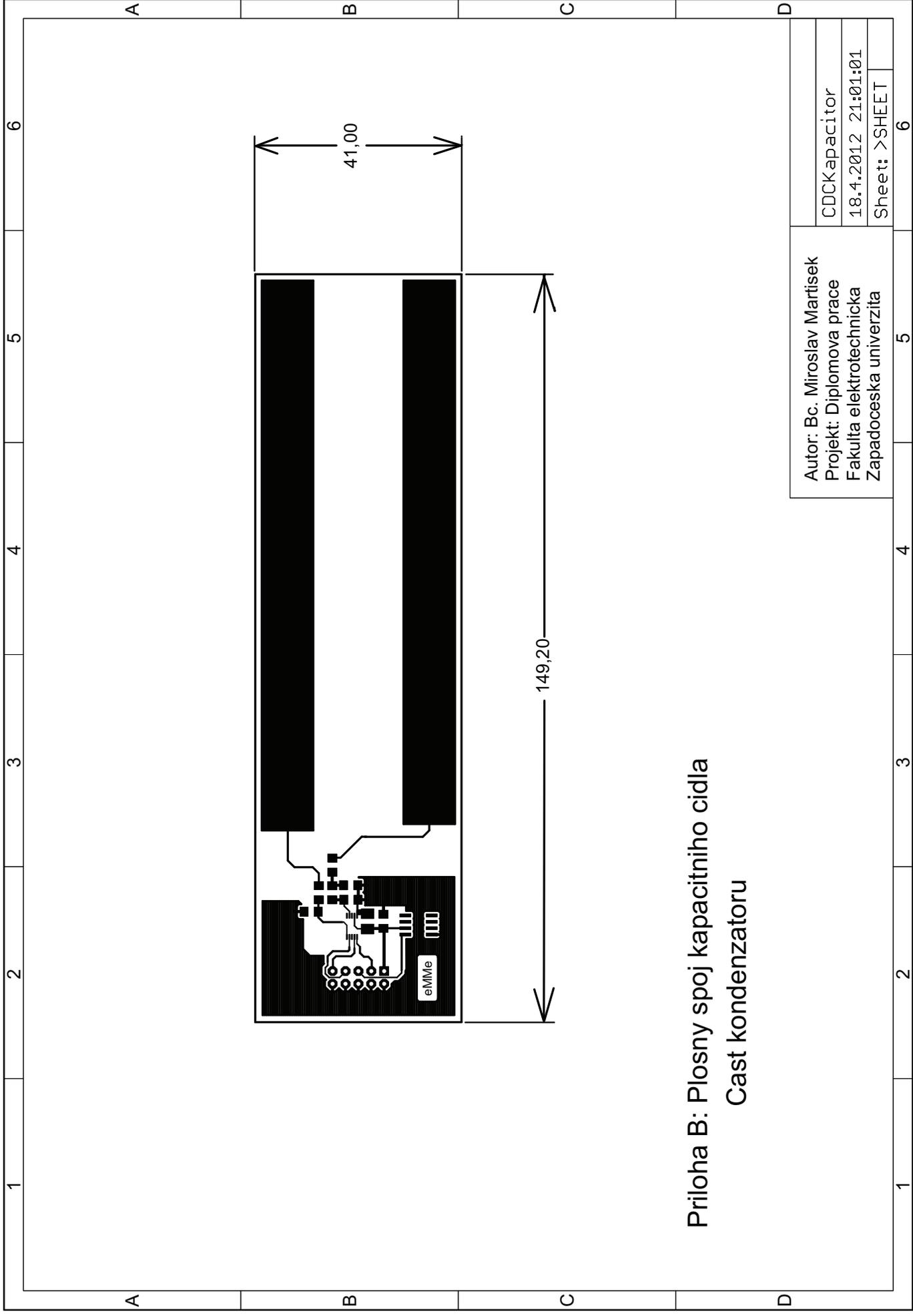


Priloha B: Plosny spoj kapacitniho cidla
 Cast s mikrokontrolerem

Spodni strana

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

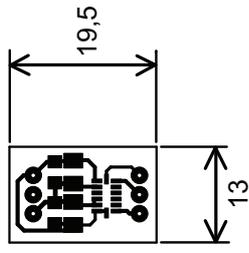
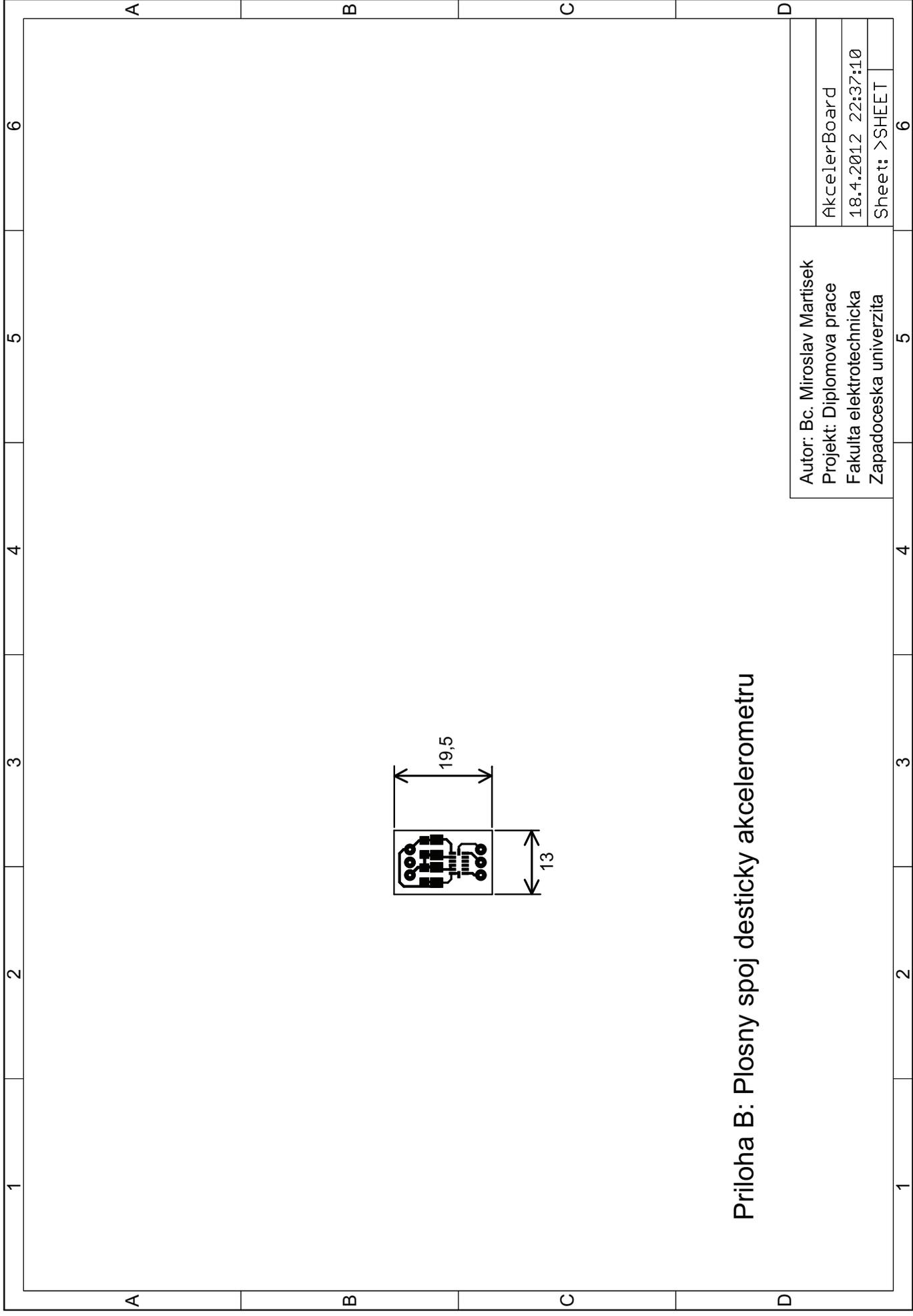
KapacitCidloMC
 18.4.2012 18:26:49
 Sheet: >SHEET



Priloha B: Plosny spoj kapacitniho cidla
Cast kondenzatoru

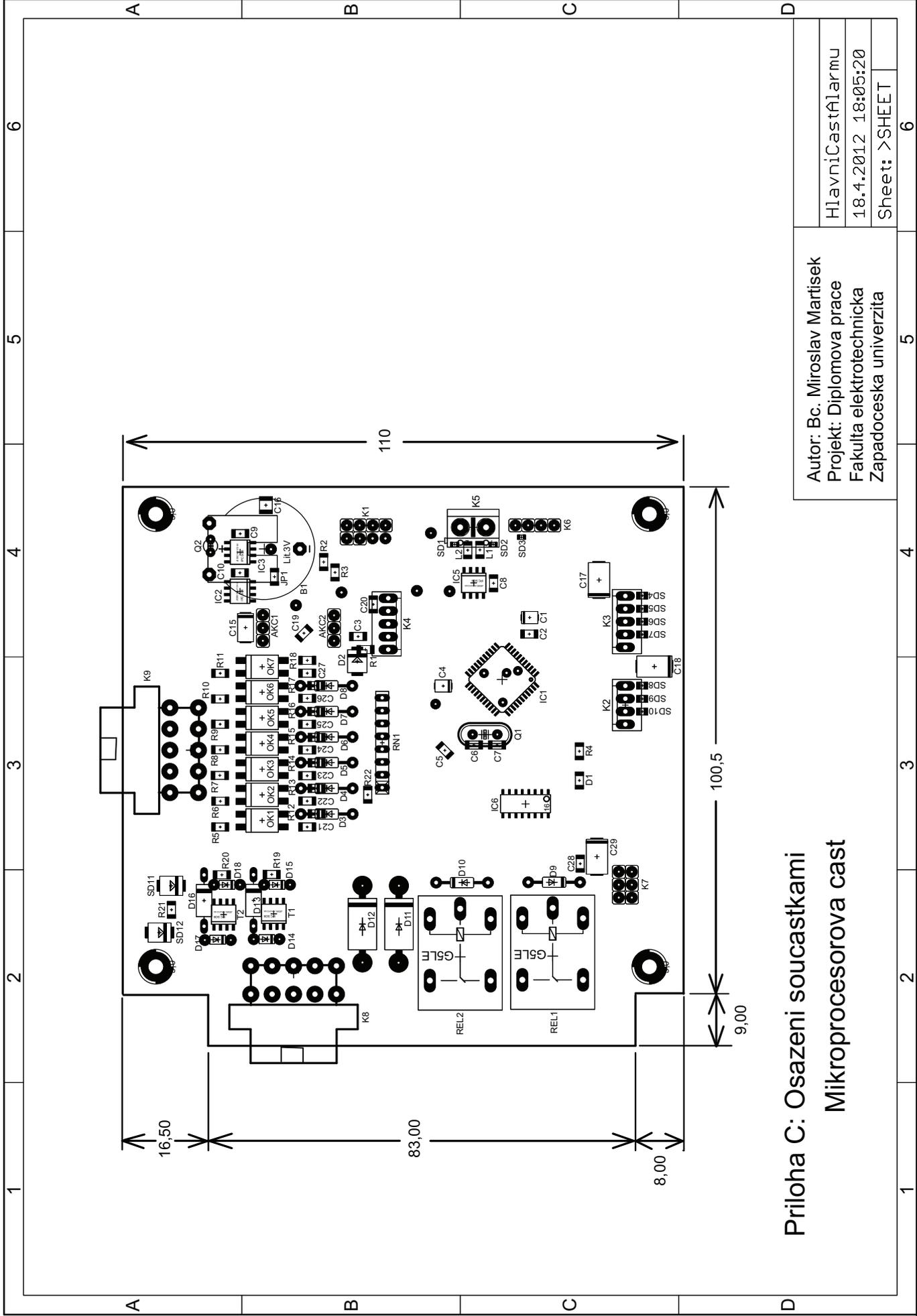
Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

CDCKapacitor
18.4.2012 21:01:01
Sheet: >SHEET



Priloha B: Plosny spoj desticky akcelerometru

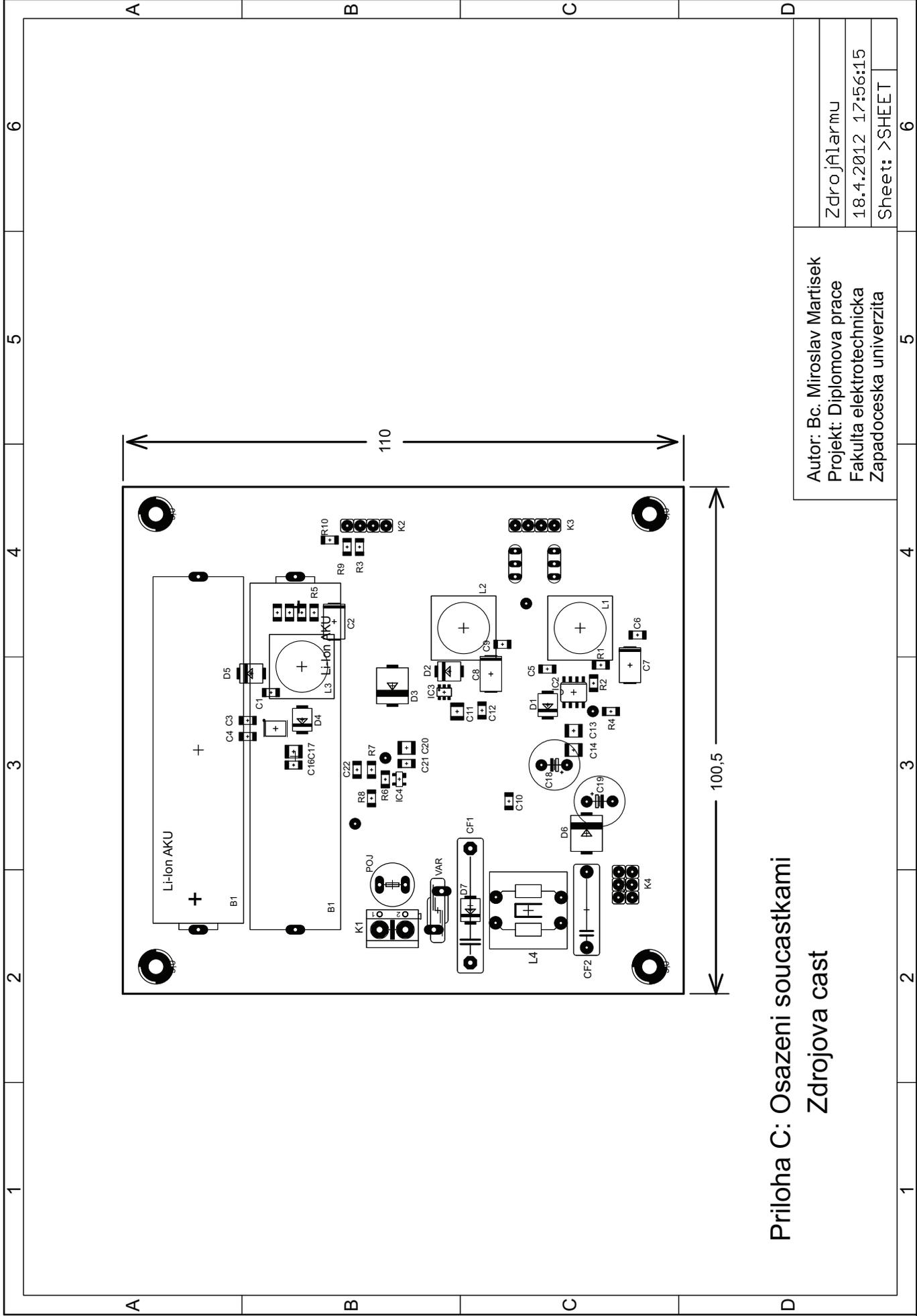
Autor: Bc. Miroslav Martisek		AkcelerBoard	
Projekt: Diplomova prace		18.4.2012 22:37:10	
Fakulta elektrotechnicka		Sheet: >SHEET	
Zapadoceska univerzita		6	



Priloha C: Osazeni soucastkami
Mikroprocesorova cast

Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

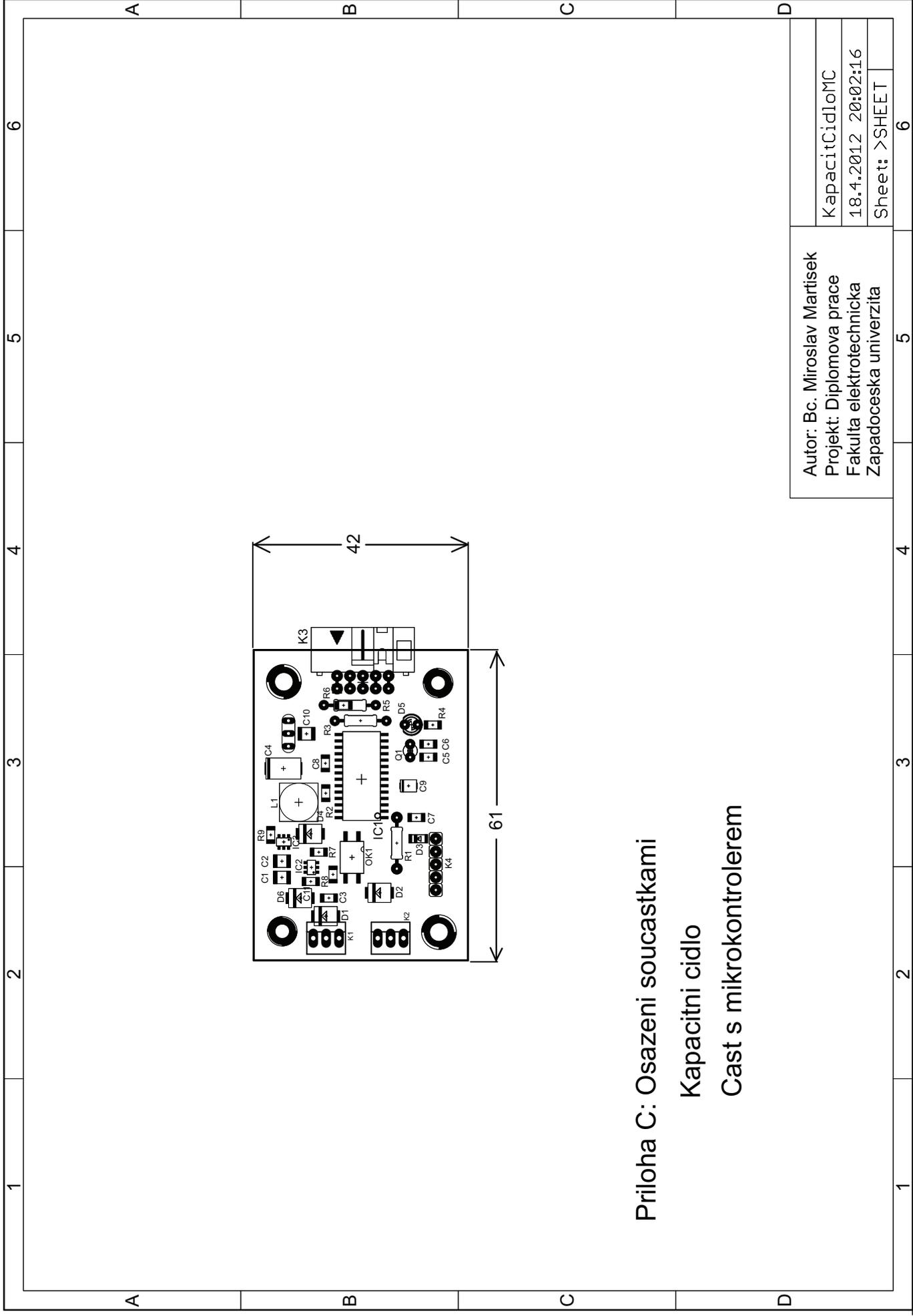
HlavniCastA1armu
18.4.2012 18:05:20
Sheet: >SHEET



Priloha C: Osazeni soucastkami
Zdrojova cast

Autor: Bc. Miroslav Martisek
Projekt: Diplomova prace
Fakulta elektrotechnicka
Zapadoceska univerzita

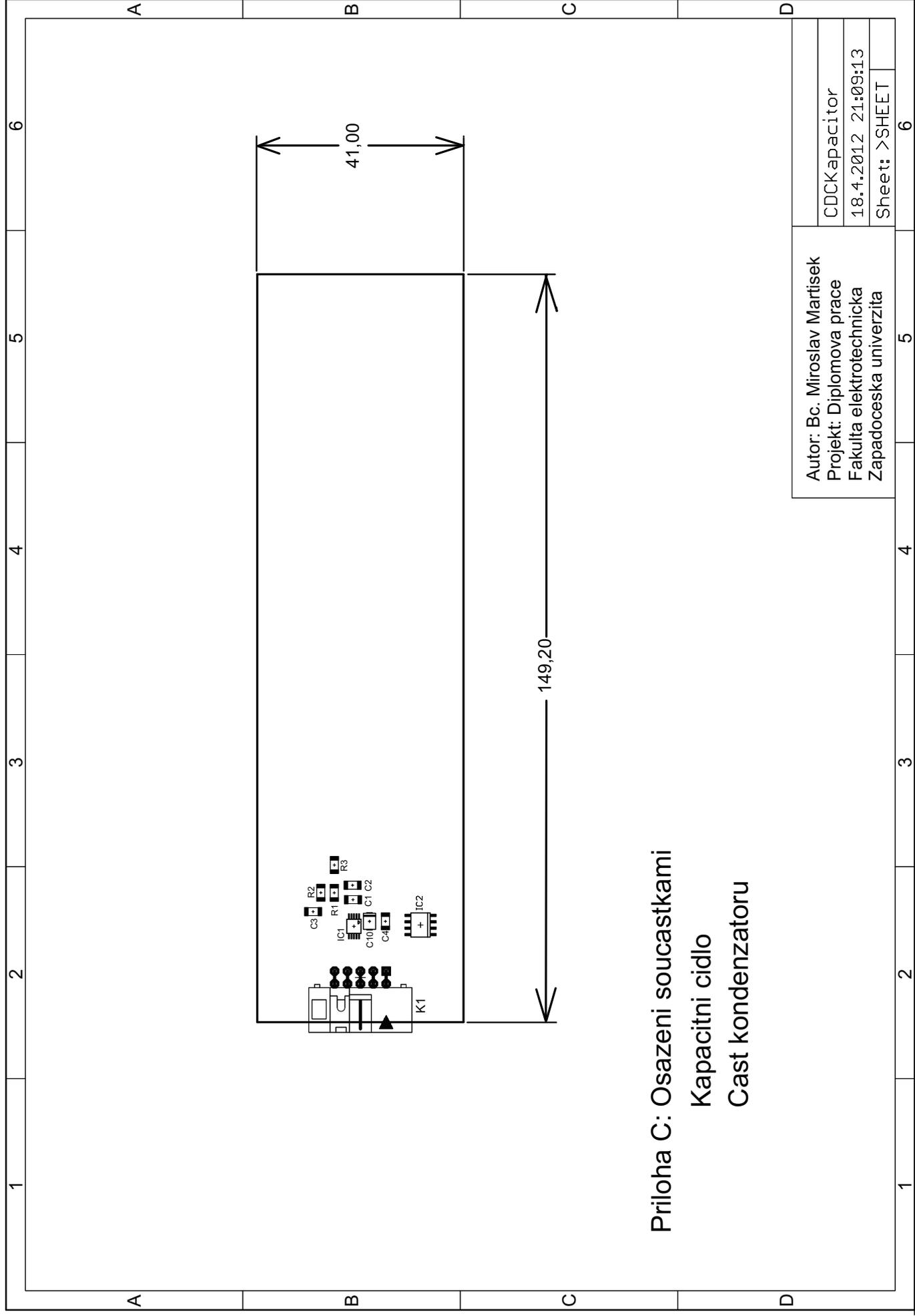
ZdrojAlarmu
18.4.2012 17:56:15
Sheet: >SHEET



Priloha C: Osazeni soucastkami
 Kapacitni cidlo
 Cast s mikrokontrolerem

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

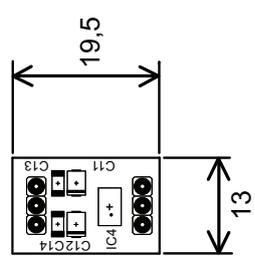
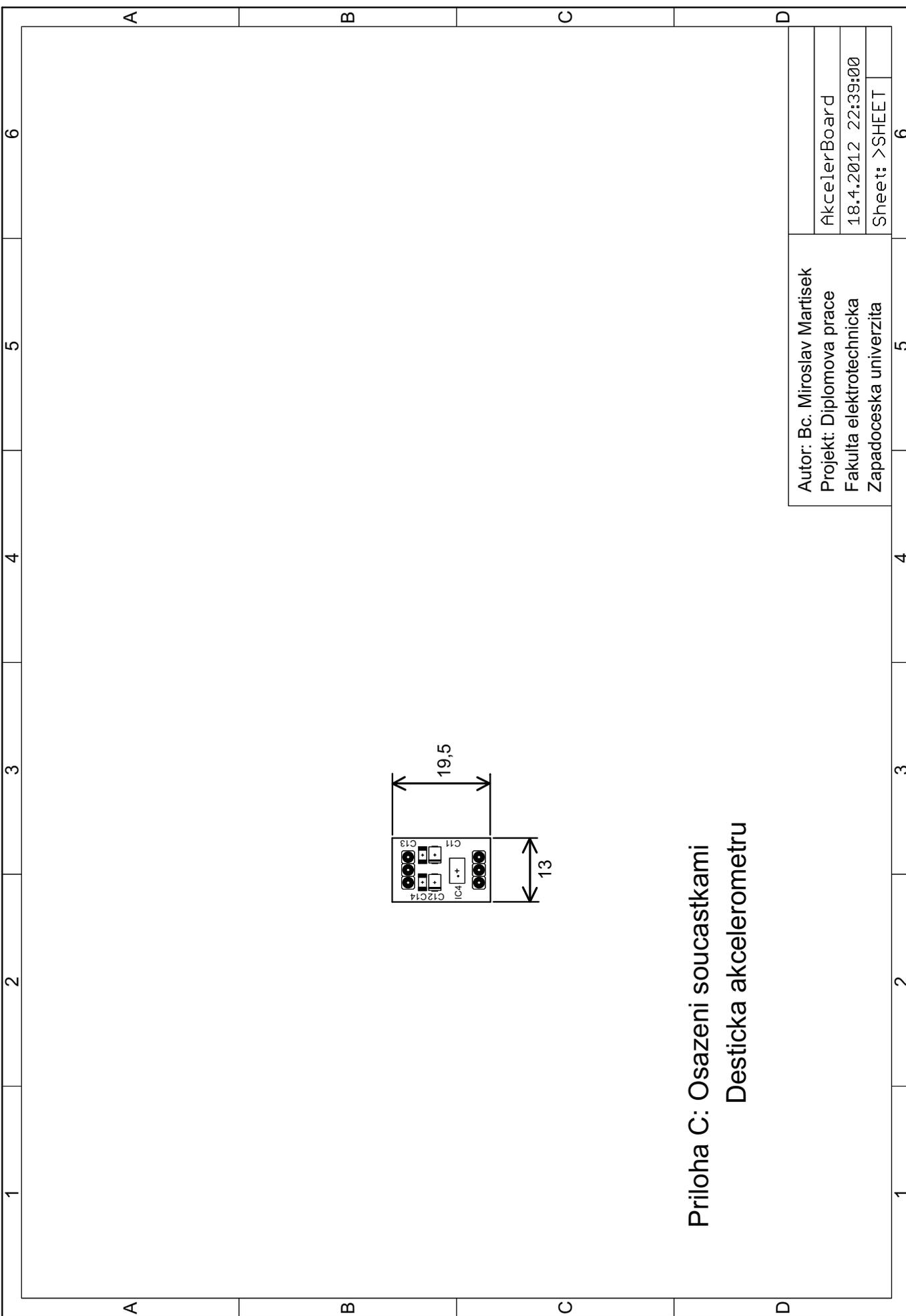
KapacitniCidloMC
 18.4.2012 20:02:16
 Sheet: >SHEET



Priloha C: Osazeni soucastkami
 Kapacitni cidlo
 Cast kondenzatoru

Autor: Bc. Miroslav Martisek
 Projekt: Diplomova prace
 Fakulta elektrotechnicka
 Zapadoceska univerzita

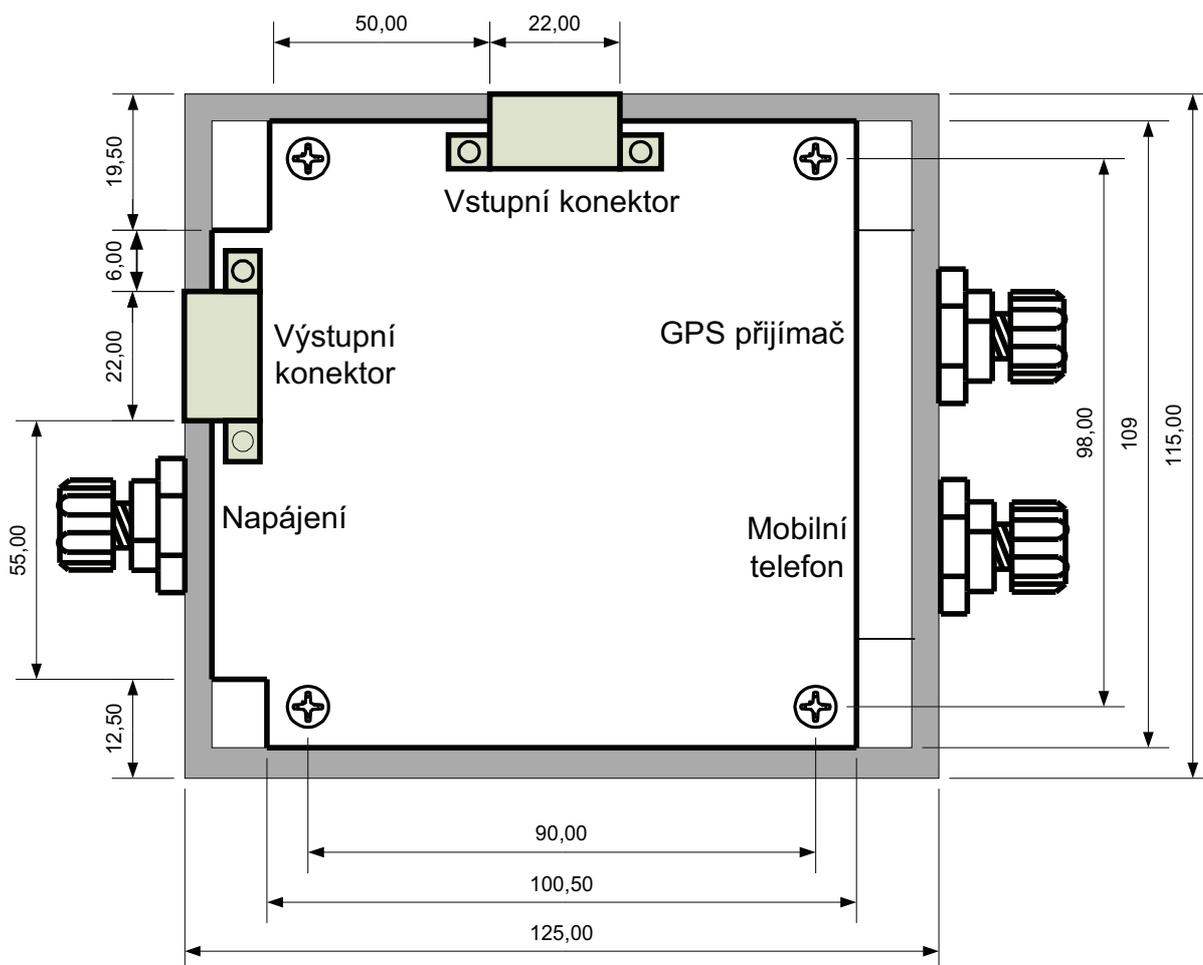
CDCKapacitor
 18.4.2012 21:09:13
 Sheet: >SHEET



Priloha C: Osazeni soucastkami
Desticka akcelerometru

Autor: Bc. Miroslav Martisek	
Projekt: Diplomova prace	
Fakulta elektrotechnicka	
Zapadoceska univerzita	
AkcelerBoard	
18.4.2012 22:39:00	
Sheet: >SHEET	

Příloha D: Usazení plošného spoje do krabičky, pohled shora
Kótovány podstatné rozměry



**Příloha D: Usazení plošného spoje do krabičky, pohled shora
Kótováno usazení průchodek**

