

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

System pro měření pomocí protokolu XCP

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: **Bc. Martin HÁS**
Osobní číslo: **E15N0071P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu: **Návrh a aplikace "systému pro měření protokolem CCP/XCP" pro mikroprocesory**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Podrobně prostudujte (z hlediska mikroprocesorových systémů) problematiku:
 - a) protokol CCP/XCP
 - b) testování softwaru
2. Navrhněte prototyp mikroprocesorového systému umožňující měření fyzikálních veličin (napětí, teplota,...) a vyčítání kalibračními protokoly.
3. Realizujte navržený systém a začleňte jej do stávajícího testovacího prostředí.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

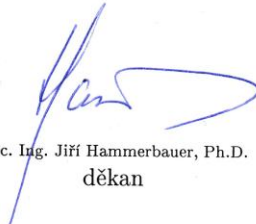
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


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




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací mikroprocesorového systému, komunikujícího s nadřazeným systémem pomocí měřícího a kalibračního protokolu XCP, realizovaného po sběrnici CAN. První část práce se zabývá principem kalibrace, protokolem XCP a testováním softwaru. Další část udává specifikaci požadavků na takový systém ze strany zadavatele. Zbývající část se věnuje fyzické realizaci tohoto systému. Práce bohužel není dokončena a zřejmě nebude obhajována.

Klíčová slova

XCP, CCP, kalibrační protokoly, měřící systém

Abstract

This diploma thesis deals with the design and realization of the microprocessor system, which would communicate with a system level above it via the measurement and calibration protocol XCP, which would be realized using a CAN bus. The first part of the work deals with the calibration principle, XCP protocol and software testing. The next part states the specification of the demands for the system by its contracting authority. The rest of the work deals with the physical realization of this system. The thesis is unfortunately not completed and probably won't be defended.

Key words

XCP, CCP, calibration protocols, measuring systems

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.

V Plzni dne 17. 5. 2017

Martin Hás

.....

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 TEORETICKÝ ROZBOR	12
1.1 KONCEPT KALIBRACE	12
1.2 PROTOKOL XCP	13
1.3 TESTOVÁNÍ SOFTWARE	15
2 STANOVENÉ POŽADAVKY NA MĚŘÍCÍ SYSTÉM	16
2.1 POŽADAVKY NA HARDWARE.....	16
2.2 POŽADAVKY NA SOFTWARE.....	17
3 HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ	18
3.1 MIKROKONTROLÉR	18
3.2 NAPÁJENÍ.....	19
3.3 OSTATNÍ OBVODY	19
3.4 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ	20
ZÁVĚR	22
POUŽITÁ LITERATURA	23

Úvod

Tato práce se zabývá realizací měřicího systému, který by měl užívat kalibračního a měřicího protokolu XCP.

První část této práce se skládá z teoretické rešerše. Ta se nejdříve věnuje konceptu kalibrace. Další částí je popis protokolu XCP samotného. Nakonec se věnuje testování softwaru.

Druhá část této práce udává požadavky, které na tento měřicí systém má jeho zadavatel. Ty požadavky jsou rozděleny na hardwarové požadavky a na požadavky na software. Poslední část práce se zabývá fyzickou realizací takového systému. Věnuje se výběru součástek a návrhu desky plošných spojů.

Seznam obrázků

OBR. 1 <i>HORNÍ STRANA DESKY, VIDĚNÁ V NÁVRHOVÉM SYSTÉMU ALTIVM DESIGNER. VLASTNÍ TVORBA.</i>	21
OBR. 2 <i>FOTOGRAFIE VÝSLEDNÉ DESKY. VLASTNÍ TVORBA.</i>	21

Seznam tabulek

TAB. 1 <i>VYBRANÉ VLASTNOSTI, JEVÍCÍ SE JAKO DŮLEŽITÉ Z HLEDISKA NAŠÍ APLIKACE, PRO MIKROKONTROLÉR TYPU STM8AF52A9TDY. VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ DLE [2].</i>	18
--	----

Seznam symbolů a zkratk

A/D	Analogově digitální
ASAM	Association for Standardisation of Automation and Measuring Systems
CAN	Controller Area Network
CCP	Can Calibration Protocol
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
I2C	Inter-Integrated Circuit
PC	Personal Computer
SPI	Seriál Peripheral Interface
XCP	Universal Calibration Protocol

1 Teoretický rozbor

1.1 Koncept kalibrace

Kalibrace obecně je způsob, jak na co nejnižší úroveň snížit odchylku dat, která jsou získávána určitým testovaným zařízením či měřícím systémem, vůči hodnotě dat, pořízených systémem s pevně danou odchylkou těchto dat od jejich reálné hodnoty. Minimalizaci odchylky takto získávaných dat lze mimo jiné docílit postupným iterováním různých „kalibračních“ dat, zavedených v paměti takto kalibrovaného systému. V případě docílení minimální či jinak požadované odchylky dat od etalonu, se pak takový systém považuje za „zkalibrovaný“.

V případě měřícího zařízení může taková kalibrace například vzít „fyzickou formu“ jako je pootáčení potenciometry či justování odporů za pomoci laserového parsku. Sofistikovanějším přístupem, umožňujícím snadnější automatizaci kalibračního procesu, je ovšem postupná změna kalibračních dat, která jsou v takovém případě zavedena do paměti mikroprocesoru. V případě tohoto přístupu je ale nutné nejdříve vyřešit klíčovou otázku – a to sice v jaké formě v paměti mikroprocesoru uchovávat kalibrační data.

Dnešní mikroprocesory obvykle využívají dvojici principiálně odlišných pamětí. Paměť typu FLASH je paměť napěťově nezávislou (non-volatile). Taková paměť nevyžaduje neustále přivedené napájecí napětí pro stálé uchování dat. FLASH paměť slouží mikroprocesoru k uchování samotného jím prováděného programu a k úschově dat, u nichž se nepředpokládá potřeba změny za běhu programu (konstanty). Naproti tomu paměť typu RAM je paměť napěťově závislou (volatile), která se bez připojeného napájecího napětí uvede do nedefinovaného stavu, čímž dojde ke ztrátě uchovaných dat. RAM paměť slouží k uchování často se měnících dat při běhu programu.

Z hlediska kalibrace systému by bylo ideální spojení toho nejlepšího z obou zmíněných pamětí – stálé uchování dat a zároveň jejich snadná změna během vykonávání programu. Nutnost kalibrace systému dokáže výrazně zlehčit použití kalibračního protokolu, jakým je třeba právě protokol XCP.

1.2 Protokol XCP

„Univerzální měřicí a kalibrační protokol“ XCP vychází z protokolu CCP (CAN Calibration Protocol), který je jako kalibrační protokol určen výhradně pro realizaci po sběrnici CAN. Protokol XCP je jakýmsi jeho vylepšením a „zobecněním“, přidávajícím kromě podpory sběrnice CAN i možnost jeho realizace na mnoha dalších často užívaných přenosových médiích („X“ v názvu symbolizuje právě variabilní fyzickou vrstvu). Protokoly CCP a XCP jsou standardizovány německou organizací ASAM, sdružující mezinárodní výrobce, dodavatele a vývojáře v oblasti automobilového průmyslu. Klíčovým přispěvatelem protokolu XCP je německá společnost Vector Informatik GmbH. Ta k protokolu XCP poskytuje informační podporu a mnoho vývojových nástrojů (např. nástroj CANape).

První verze protokolu CCP byla standardizována roku 1995 a poslední, stále aktuální verze pochází z roku 1999. Kromě rozdílných specifik přenosových vrstev standardizace CCP, na rozdíl od pozdější standardizace XCP, postrádá i některé významné části. Například neobsahuje časové známky, doprovázející získávaná data či nemá konzistentní podporu možnosti přeprogramování paměti FLASH. Navíc počátkem nového tisíciletí vznikla potřeba podpory dalších, značně rychlejších přenosových médií, než je sběrnice CAN (např. Ethernet). Proto byla v roce 2003 standardizována první verze protokolu XCP. Navíc existují tři aktualizace protokolu XCP. Jednotlivé verze protokolu XCP se vyznačují zpětnou kompatibilitou s verzemi předchozími.

Verze protokolu XCP jsou následující:

- XCP 1.0 (2003) – Specifikace základních prvků pro měření a kalibraci, synchronní stimuly, přepínání stránek a přeprogramování. Podpora transportních vrstev CAN, Ethernet (UDP a TCP/IP), SPI a USB.
- XCP 1.1 (2008) – Přidání podpory pro transportní vrstvu FlexRay.
- XCP 1.2 (2013) – Přidání podpory deskriptoru A2L-IF_DATA pro výpočet předpokládané využití prostředků v řídicí jednotce.
- XCP 1.3 (2015) – Přidání podpory základních prvků pro různé stavy řídicí jednotky, obcházení chybové obsluhy a časové korelace.

Z toho je patrné, že většina základní funkcionality nutné pro plnohodnotné fungování protokolu XCP byla obsažena již v původní standardizaci XCP 1.0 z roku 2003.

Při návrhu protokolu XCP byl dle jeho tvůrců kladen důraz především na vlastnosti, mezi které patří:

- Minimální záběr dostupných prostředků v řídicích jednotkách a snaha o jejich co nejefektivnější využití.
- Efektivní komunikace.
- Škálovatelnost.
- Přenositelnost.
- Jednoduchá implementace v podřízených jednotkách.
- Plug-and-play konfigurace jen s několika málo parametry.
- Synchronní stimulace dat.
- Přesná akvizice naměřených dat díky snímání časových značek.

Další z předností protokolu XCP je jeho nezávislost na transportní vrstvě a jeho možnost užití na mnoha různých transportních vrstvách. XCP lze tak provozovat v těchto variantách:

- XCP na CAN a CAN FD.
- XCP na SxI (SPI, SCI).
- XCP na Ethernetu (TCP/IP a UDP/IP).
- XCP na USB.
- XCP na FlexRay.

XCP pracuje na principu „single master – multi slave“, tedy že komunikaci vždy iniciuje řídicí prvek (tzv. XCP master), který musí být v uzavřené soustavě jediný. Touto nadřazenou jednotkou bývá nejčastěji PC s připojeným zařízením (např. CANape), které tvoří rozhraní mezi ním a transportní vrstvou. Naopak zařízení jemu podřízené je označováno jako XCP slave. Těchto zařízení může být na společné komunikační sběrnici více a master musí mezi nimi při snaze o komunikaci volit. XCP slave bývá nejčastěji tzv. elektronická řídicí jednotka (Electronic Control Unit – ECU), obvykle tedy zařízení ve formě nějakého mikrokontroléru, hradlového pole či programovatelného logického automatu aj.

Klíčová a nejdůležitější funkcionalita protokolu XCP je ta, že umožňuje čtení z paměti a zápis do paměti jednotek slave.

1.3 Testování softwaru

Testování softwaru je způsob zjištění a potvrzení toho, že vytvořený program či aplikace:

- Splňuje technické a obchodní požadavky, které byly stanoveny před jeho vytvořením.
- Je reálně použitelný.
- Může být spolehlivě implementován nezávisle na zařízení.
- Reaguje korektně na všechny vstupující stimuly.
- Vykonává svou funkci v předepsaném čase.

2 Stanovené požadavky na měřicí systém

2.1 Požadavky na hardware

Požadavky na mikrokontrolér:

- Interface sběrnice CAN s možností přenosové rychlosti až 1 MBaud/s (tzv. high speed CAN).
- Standardizované periferní sběrnice jako SPI, I2C, 1-Wire.
- Minimálně 24 digitálních výstupů, případně použití expandéru.
- Minimálně 8 analogových vstupů.
- Interní EEPROM, případně použití externí EEPROM.
- Dlouhodobá podpora mikrokontroléru jeho dodavatelem.

Požadavky na zbytek hardwaru:

- Napájecí napětí v rozsahu 6 až 24 voltů stejnosměrného napětí.
- Provozní teplota v rozsahu -40 až $+140$ °C.
- Galvanické oddělení digitálních výstupů – možnost spínání relé.
- Příprava pro připojení teplotních senzorů.

K těmto bodům bylo ještě navíc ústně doporučeno, že použitý mikrokontrolér by „ideálně měl být některý z mikrokontrolérů od společnosti STMicroelectronics či Freescale Semiconductors (resp. dnes NXP)“.

Po konzultaci bylo také upřesněno, že galvanické oddělení výstupů pro spínání relé není nutně vyžadováno, neboť by to mimo jiné neúměrně zvýšilo cenu systému a bohatě postačí elementární spínací prvky a jednoduché ochranné prvky pro zabezpečení mikrokontroléru před možnými napěťovými špičkami způsobenými spínáním relé.

2.2 Požadavky na software

- Implementace tzv. „slave“ pro protokol XCP do mikrokontroléru.
- Přítomnost struktury, konfigurovatelné pomocí protokolu XCP, v paměti EEPROM, obsahující:
 - Variabilní přenosovou rychlost sběrnice CAN.
 - Informace o zařízeních, připojených k mikrokontroléru.
 - ID zařízení.
- Možnost nastavování a čtení digitálních výstupů a dat z připojených senzorů.

3 Hardwarové řešení

3.1 Mikrokontrolér

Volba vhodného mikrokontroléru byla klíčovou otázkou aplikace. Požadavek na teplotní rozsah se ukázal být základním omezujícím faktorem výběru. Z toho důvodu musela být zamítnuta řada 32 bitových mikrokontrolérů STM32, jejíž užití bylo původně předpokládáno pro svou univerzálnost a jejich časté nasazování v praxi. Produkty této řady bohužel končí s teplotním rozsahem na horní hranici 125 °C. Proto nakonec padla volba na 8 bitový mikrokontrolér platformy STM8, konkrétně řadu STM8AF, jejíž teplotní rozsah u některých modelů zaručuje spolehlivou funkčnost až do teploty 150 °C.

Dalším zkoumáním výrobků této řady byl konečně jako mikrokontrolér ideální pro naši aplikaci zvolen typ STM8AF52A9 v distribuční variantě označené jako TDY.

Tab. 1 Vybrané vlastnosti, jevící se jako důležité z hlediska naší aplikace, pro mikrokontrolér typu STM8AF52A9TDY. Vlastní zpracování dle [2].

STM8AF52A9TDY	
Počet vývodů pouzdra	64
Maximální frekvence jádra	24 MHz
Paměť FLASH	128 Kbyte
Paměť RAM	6 Kbyte
Paměť EEPROM	2 Kbyte
Interface sběrnice CAN	High-speed 1 MBit/s CAN 2.0B
Další komunikační periférie	USART, LIN, SPI, I2C
A/D převodník	10 bitový, 16 kanálů
Napájecí napětí	3 – 5,5 V
Provozní teplotní rozsah	–40 – 150 °C

3.2 Napájení

Vzhledem k rozsahu napájecího napětí zvoleného mikrokontroléru přicházely v úvahu napájecí soustavy 3,3 V či 5 V. Zvoleno bylo napájecí napětí 5 V z důvodu větší robustnosti výsledného systému. Konverzi napětí ze vstupního rozsahu 6 – 24 V zajišťuje měnič typu step-down ve formě integrovaného obvodu A6985F výrobce STMicroelectronics [3]. Ten je určen primárně pro napájení automotive systémů z 12 či 24 voltových napájecích soustav. Konkrétně byla použita varianta tohoto obvodu s označením A6985F5V, disponující fixním výstupním napětím 5 V, což ušetří nutnost dávat na výstup navíc zpětnovazební napěťový dělič a zřejmě zlepší i přesnost výstupního napětí. Tento integrovaný obvod je na výstupu schopen dodávat až 500 mA proudu, což se pro naši aplikaci jeví jako dostačující. Obvod A6985F opět dokáže pracovat v širokém teplotním rozmezí od -65 do $+150$ °C.

Dále tento obvod poskytuje možnost nastavení spínací frekvence od 250 kHz do 2 MHz, výstup pro resetování připojeného zařízení při náběhu napájení a nastavitelnou prodlevu tohoto výstupu. A6985F umožňuje funkci ve dvou různých režimech. „Režim nízkého šumu“ slouží pro zachování co nejkvalitnější regulace v celém rozsahu odebíraného proudu, zatímco „režim nízkého odběru“ zajišťuje vyšší účinnost měniče při nižším odběru proudu, ale zhoršuje kvalitu regulace.

Napájecí obvod mimo součástek k těmto účelům obsahuje pro funkci měniče nutnou vstupní kapacitu (10 μ F a 1 μ F), výstupní kapacitu (10 μ F) a výstupní induktor k vyhlazování proudu (22 μ H). Návrh celku byl výrazně ulehčen použitím internetového simulačního nástroje eDesignSuite výrobce měniče STMicroelectronics. Součástí napájení je i vstupní EMC filtr, který by měl sloužit k utlumení možného nežádoucího rušení generovaného zpět do napájecí sítě spínáním měniče.

3.3 Ostatní obvody

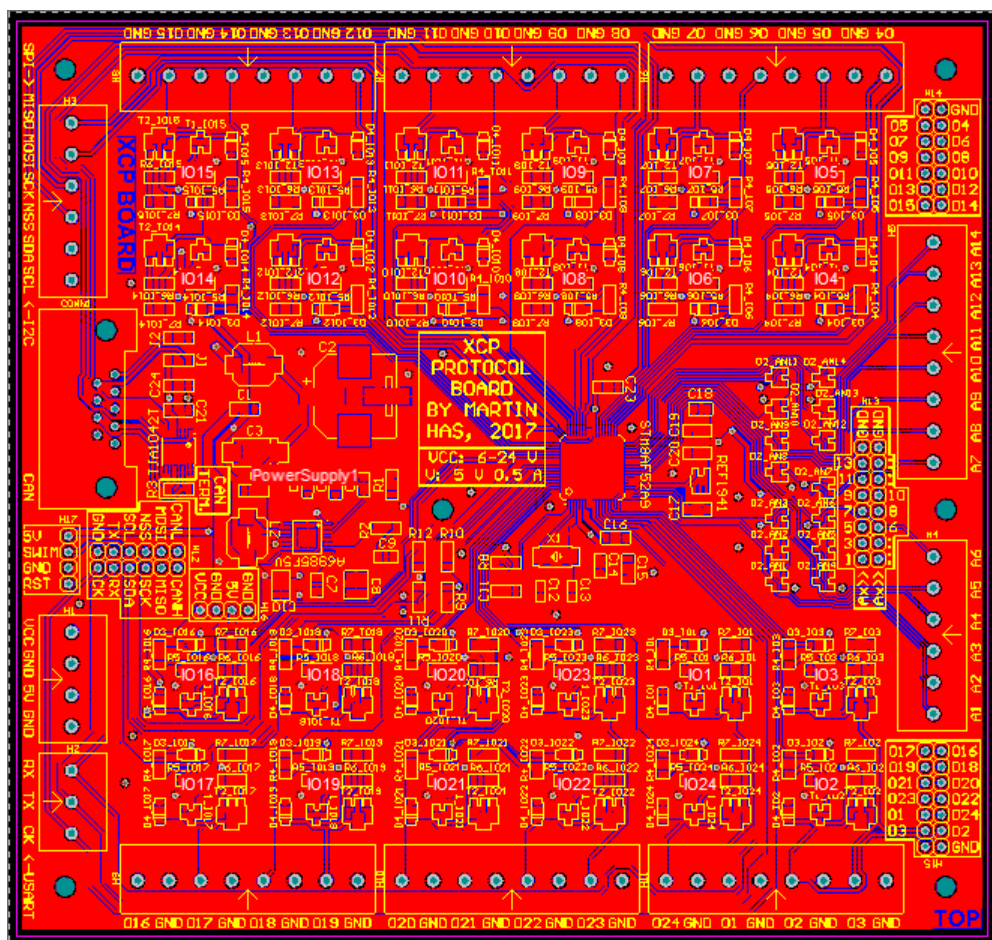
Kromě mikrokontroléru samotného a napájecího obvodu tvoří zbytek systému:

- Krystalový oscilátor pro přesné časování mikrokontroléru s rezonanční frekvencí 16 MHz a širokým provozním teplotním rozsahem. Ten je zatížen dvojicí zatěžovacích kondenzátorů o kapacitě 12 pF.

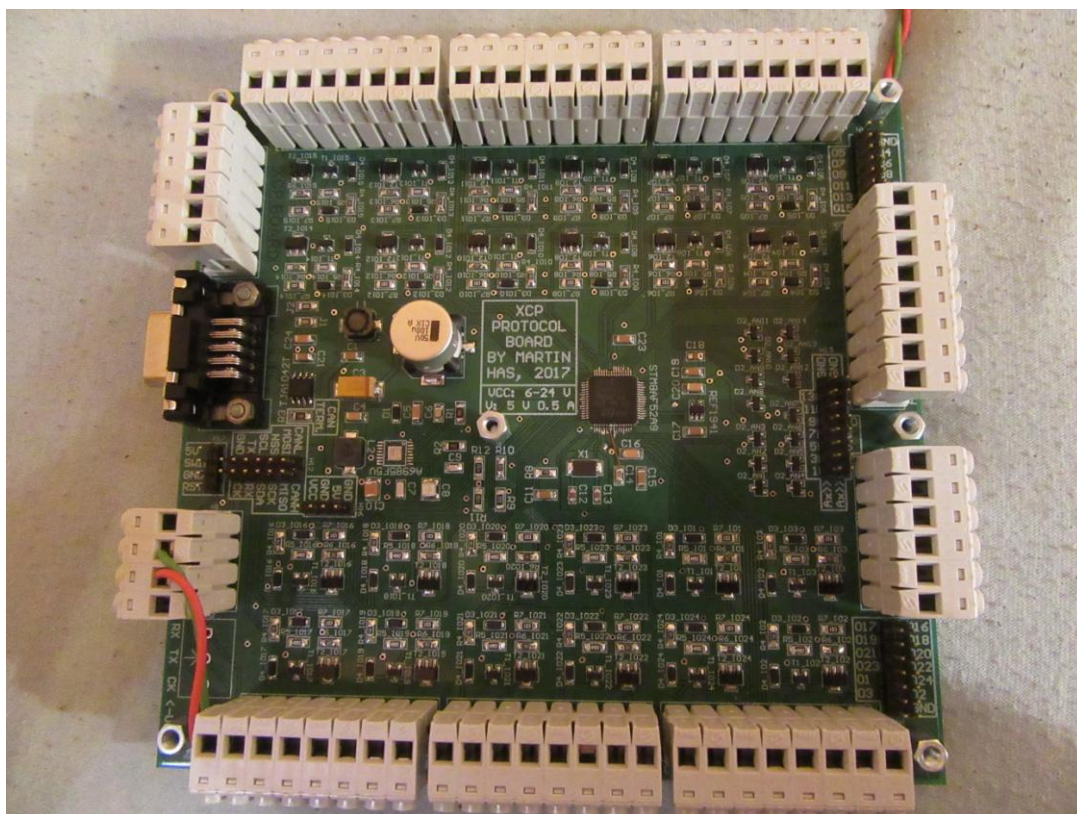
- Integrovaný obvod REF1941 jako zdroj referenčního napětí 4,096 V pro integrovaný A/D převodník. Obvod zároveň společně slouží i jako napájení této analogové části mikrokontroléru (referenční napětí REF1941 lze zatížit odebíraným proudem až 20 mA). Maximální provozní teplota tohoto obvodu činí 150 °C, zaručená stabilita jeho referenčního napětí končí ovšem už na hodnotě 125 °C.
- Transceiver pro sběrnici CAN typu TJA1042. Ten slouží jako mezivrstva, spojující interface sběrnice CAN v mikrokontroléru, jež produkuje digitální signály RX a TX, se samotnou fyzickou vrstvou sběrnice CAN, tvořenou diferenčními signály CANL a CANH.
- Dvacet čtyři spínačů, tvořených vždy dvojicí bipolárních tranzistorů, zapojených jako tzv. „high side“ spínač. Jsou určeny pro spínání reléových kontaktů. Ochranné prvky jsou realizovány jako rekuperační diody pro vybití proudu z indukčností reléových kontaktů a z toho vyplývající ochranu spínače proti napěťové špičce. Dále jsou diodami chráněny výstupy mikrokontroléru.
- Čtrnáct analogových vstupů do mikrokontroléru je dodatečně chráněno diodovými napěťovými omezovači.
- Všechny integrované obvody jsou dostatečně blokovány kondenzátory.

3.4 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů byla navržena v návrhovém systému Altium Designer. Deska plošných spojů má velikost zhruba 14 x 15 cm, na svou relativně jednoduchou funkci je tedy značně velká. Její velkou část zabírají buňky s tranzistorovými spínači. Po okolí desky to jsou pak poměrně robustní svorkovnice, které zajišťují, že veškeré vývody z mikrokontroléru mohou být fixně spojeny se zbytkem světa. Tyto konektory jsou ještě doplněny klasickými „pinheadery“, které umožňují realizovat „měkkí“ spojení se světem a ulehčují diagnostiku signálů. Diferenční signály CANL a CANH sběrnice CAN jsou vyvedeny na tzv. „D-Sub“ konektor v rozmístění doporučeném právě pro sběrnici CAN.



Obr. 1 Horní strana desky, viděná v návrhovém systému Altium Designer. Vlastní tvorba.



Obr. 2 Fotografie výsledné desky. Vlastní tvorba.

Závěr

Tato práce není bohužel kompletní. Byl realizován zevrubný výběr vhodných součástí a návrh desky plošných spojů. Tato deska je vyrobena, osazena a připravena k použití. Realizace programového vybavení bohužel není ještě z větší části hotova.

Autor se zřejmě nebude tuto práci v tomto stavu pokoušet obhajovat. Bude usilovat o to, aby ji mohl později dopracovat tak, aby tato práce mohla být splněna.

Použitá literatura

- [1] Patzer, Andreas a Zaiser, Rainer. *XCP – The Standard Protocol for ECU Development*. Stuttgart: Vector Informatik GmbH, 2014 [cit. 18. 5. 2017].
- [2] STMicroelectronics. *Automotive 8-bit MCU, with up to 128 Kbyte Flash, data EEPROM, 10-bit ADC, timers, LIN, CAN, USART, SPI, I2C, 3 to 5.5 V*. Ženeva: STMicroelectronics, 2017 [cit. 18. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/e0/31/79/8c/82/d7/40/21/CD00184072.pdf/files/CD00184072.pdf/jcr:content/translations/en.CD00184072.pdf>
- [3] STMicroelectronics. *Automotive 38 V, 500 mA synchronous step-down switching regulator with 30 μ A quiescent current*. Ženeva: STMicroelectronics, 2017 [cit. 18. 5. 2017]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/55/83/d4/c6/6e/6c/4f/ab/DM00176243.pdf/files/DM00176243.pdf/jcr:content/translations/en.DM00176243.pdf>