

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2012

Lukáš Pátek

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

**Vestavný systém pro měření a vizualizaci příkonu během
nabíjení elektrických vozidel**
**Embedded system measuring and visualizing power
during charging of electric vehicles**

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Pátek**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma: Vestavný systém pro měření a vizualizaci příkonu během nabíjení
elektrických vozidel
Embedded System for Measuring and Visualizing Power during
Charging of Electric Vehicles

Zásady pro vypracování:

1. Seznámit se s měřením výkonu na 3-fázových soustavách.
2. Seznámit se se sběrnici CAN.
3. Seznámit se s protokolem CANOpen.
4. Navrhnout řešení pro měření příkonu elektromobilu.
5. Realizace funkčního modelu navrženého řešení.
6. Testování zhotoveného zařízení.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HUSAIN, I. *Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals*. 2nd Edition. CRC Press. 2010. 288 s. ISBN-13: 9781439811757.
2. VOSS, W. *A Comprehensive Guide to Controller Area Network*. Copperhill Media Corporation, 2005. 164 s. ISBN-13: 978-0976511601.
3. SANTIN, J. J. et al. *The World's Most Fuel Efficient Vehicle : Design and Development of PAC-Car II*. Zürich : vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, c2007. 339 s. ISBN 978-3-7281-3134-8.
4. LARMINIE, J.- LOWRZ, J. *Electric Vehicle Technology Explained*. Chichester : Wiley, c2003. 296 s. ISBN 0-470-85163-5.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Vala**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

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



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lukáš Pátek', is written above a horizontal dotted line.

Lukáš Pátek

Datum odevzdání bakalářské práce: 6. 5. 2012

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Davidu Valovi za cenné rady, konzultace a připomínky spojené s mou prací.

Abstrakt

Tento projekt se zabývá vizualizací (zobrazením) hodnoty příkonu během dobíjení baterie elektromobilu. Na grafický displej se zobrazují měřené aktuální hodnoty příkonu a spotřeby elektrické energie. Vizualizace je doplněna o světelné podsvícení zásuvky. Základem je měření v jedno nebo tři fázové síti pomocí integrovaného obvodu ADE7878. Ten je propojený sériovou komunikací I^2C s mikrokontrolérem ARM Cortex M3 Stellaris S8962, který celý obvod řídí. Následně odesílá naměřené hodnoty po sběrnici CANopen do jiných funkčních jednotek v elektromobilu, podporované jmenovaným komunikačním protokolem. Součástí je program pro komunikaci a kalibraci integrovaného obvodu. Celé zařízení by mělo být po spuštění schopno samostatně měřit veličiny potřebné pro zjištění příkonu elektromobilu. Funkční model by měl být použitelný k měření na většině elektrických spotřebičů. Tím by se mohlo zařízení stát univerzální a prodejné.

Klíčová slova

Canopen; ADE7878; Elektroměr; Elektromobil; Mikrokontrolér; Sběrnice; Led; RGB; I^2C ; PWM.

Abstract

This project deals with the visualization (display) power values during battery recharging an electric vehicle. The graphic display shows the current measured values and the power consumption of electrical energy. Visualization is supplemented by illumination light socket. It is based on measurements in single or three phase network using the integrated circuit ADE7878. It is connected to serial communication with microcontroller Stellaris ARM Cortex M3, S8962, which controls the entire circuit. Then sends the measured value of the CANopen bus to other functional units in the electric car, supported by designated communication protocol. The program is for communication and calibration of the integrated circuit. The whole device should be able to run the self-measured quantities needed to determine the electric power. The functional model should be applicable to measurements on most electrical appliances. This would allow the equipment to be versatile and marketable.

Keywords

Canopen; ADE7878; Electric meter; Electric car; Microcontroller; Bus; Led; RGB; I^2C ; PWM.

Seznam použitých zkratek a symbolů

A/D – Analog / digital
ATA – Advanced technology Attachment
BLDC – Brush less DC motor
CAN - Controller Area Network
CSMA - Carrier sense multiple Access
CT – Current Transformer
DPS – Deska plošných spojů
EEPROM – Electrically erasable programmable read only memory
FSB – Front side bus
FSTN – Film super twisted nematic
GPIO – General purpose input output
GPS - Global positioning systém
HSDC – High speed data Capture
IEC – International Electrotechnical Commission
ISA – International sociological Association
IBM – International business machines
IEEE – Institute of electrical and electronics engineers
ISO/OSI – international standarts organization / Open systém interconnection
IO – Integrovaný obvod
LED - Light emitting diode
Li – ion – Lithium iontová
Li – pol – Lithium polymer
LPT – Line print terminal
Ni – Cd – Nikl Cadmium
NI –Mh – Nikl metal
PCB – Printed circuit board
PCI – Peripheral Component Interconnect
PLC – Programmable logic controller
PWM – Pulse width modulation
RAM – Random access memory
RFID – Radio frequency identification
RGB - Red Green Blue
RMS – Root mean square
SAE – Society of automotive engineers
SCSI – Small komputer systém interface
SMD – Surface mount technology
STN – Super twisted nematic
TPC/IP – Transmission control internet protokol
USART – Universal synchronous / asynchronous receiver and transmitter
USB - Universal Serial Bus

Obsah:

1.	Úvod.....	1
1.1	Cíl.....	1
2.	Popis elektromobilu (hybridu a jeho součástí)	2
2.1	Historie a vývoj elektromobilu.....	2
2.2	Princip a možnosti elektrického pohonu	3
2.3	Dobíjecí zásuvka a stanice	3
2.4	Baterie	5
3.	Elektroměr-měření výkonu, proudu a napětí.....	7
3.1	Základní pojmy veličin pro měření	8
3.2	Měření třífázové soustavy	11
3.3	Chyby měření	12
4.	Možnosti měření.....	14
4.1	Proudové senzory	14
4.2	Napěťový senzor	16
4.3	Integrované obvody pro měření výkonu	17
4.4	Vývojový kit pro měření energie	18
4.5	Integrovaný obvod ADE7878	19
4.6	Mikrokontrolér TI ARM Stellaris Cortex M3 LM3S8962.....	21
5.	Možnosti komunikace	23
5.1	Druhy a způsob komunikace	23
5.2	<i>I²C</i>	25
5.3	Canopen	27
6.	Možnosti vizualizace – zobrazení	32
6.1	Podsvícení zásuvky s využitím RGB led diod	32
6.2	Displej – funkce a druhy	36
7.	Příprava a realizace	37
7.1	Blokové schéma	40
7.2	Schéma	40
7.3	Návrh desky plošných spojů	43
8.	Programové vybavení.....	45
8.1	Vývojový diagram:.....	45
8.2	Popis programu	46
8.3	DPS a měřicí model elektroměru	50
9.	Měření a testování	51
10.	Závěr	53

1. Úvod

Při současné snaze co nejvíce snížit obsah škodlivých látek v ovzduší, se začíná stále více v automobilové dopravě uvažovat o alternativních pohonech a zdrojích dopravních prostředků. Oproti dopravním prostředkům poháněným spalovacími motory, se jako jeden z nejefektivnějších jeví elektromobil, poháněný elektrickou energií. Možností je také tzv. hybrid. Hybridní auta kombinují různé druhy pohonů. U veškerých dopravních prostředků je důležitá součást komunikace s uživatelem, která může být realizována např. analogovým budíkem, světelnou signalizací, displejem atd. nebo jejich kombinací. Na displej elektromobilu jsou zobrazovány potřebné informace pro užívání vozidla: stav baterie, vozu, motoru a řidiče, celkový a aktuální dojezd vozidla, spotřeba a vyúčtování elektrické energie, přehled o dobíjecích stanicích pomocí GPS a několik dalších. Vylepšením zobrazovací části může být i ovládání přímo v programu ve vizualizační jednotce (např. dotykový displej), nebo pomocí tlačítek a spínačů.

1.1 Cíl

Elektromobil se vzhledově velice podobá běžným dopravním prostředkům poháněným spalovacími motory, rozdílem je pohon pomocí elektromotoru. Zdrojem proudu je baterie, solární panely nebo palivový článok. Nezbytnou součástí je dobíjecí stojan umístěný většinou ve městech nebo benzínových stanicích. Hlavním cílem vizualizace dobíjení baterie je co nejsnadněji a nejsrozumitelněji sdělit uživateli potřebné informace.

Zadaným úkolem je sestavit elektroměr pro měření 3 – fázového proudu. Elektroměr měří množství odebrané elektrické energie při dobíjení elektromobilu a umožňuje komunikovat s mikrokontrolérem. Pro tento úkol jsem jako nejvýhodnější řešení navrhl sestavit digitální elektroměr pomocí integrovaného obvodu ADE7878 a vybraných snímačů napětí a proudu pro jednotlivé fáze. Proud na každé fázi je měřen pomocí Rogowského cívky. Napětí je upraveno děličem před vstupem do elektroměru. Základním řídicím prvkem bude mikrokontrolér ARM Stellaris CortexM3. Ten bude řídit podsvícení zásuvky v elektromobilu podle stavu dobíjení, řídit odesílání a zobrazování dat na displej, zpracovávat a odesílat informace dalším zařízením v elektromobilu po sběrnici Canopen.

Další potřebnou součástí je komunikace ve vozidle pro dorozumívání většiny elektronických jednotek (snímačů, spínačů, zobrazovacích jednotek, mikropočítačů). V dnešní době je více možností s různými parametry. V mém případě jsem využil Can (Controller Area Network) s komunikačním protokolem Canopen. Další komponenty uvnitř elektromobilu taktéž komunikují pomocí uvedeného protokolu.

Mikrokontrolér bude odesílat informace pro nastavení a spuštění elektroměru, přijímat a vyhodnocovat naměřená data po sběrnici *I²C*.

V dnešní době je to aktuální téma, které je z velké části ve vývoji a stále se posouvá vpřed. Moje řešení je z velké části navrženo pro daný typ elektromobilu. Zvolené řešení není vyráběno sériově, proto je velmi obtížné sehnat potřebné informace. Pokud už existují, tak je společnosti tají z důvodu velké konkurence.

2. Popis elektromobilu (hybridu a jeho součástí)

Na obrázku 1 vidíme elektromobil vyvíjený na VŠB v rámci projektu VAVE mobil. Elektromobily jsou poháněny elektrickými motory většinou synchronními nebo asynchronními. Elektrickou energii dodávají baterie. V současnosti se nejvíce používají lithiium iontové baterie. Nabíjí se připojením přípojky z dobíjecí stanice do zásuvky elektromobilu. Dobíjecí stanice je na benzínových pumpách nebo vlastních stanicích.



Obr. 1: Popis elektromobilu.

2.1 Historie a vývoj elektromobilu

První elektromobil byl navržen již v roce 1835 profesorem Sibrandusem Stratinghem a postaven jeho asistentem Christopherem Beckerem v Nizozemí. Jeho rychlost 100 km/h byla překonána elektromobilem Belgičana Camilla Jenatzyho již v roce 1899. Vozidlo na elektrický pohon Torpédo Kid dosáhlo v roce 1902 dokonce rychlosti 170 km/h. Český vynálezce Ing. František Křížík vynalezl svůj první elektromobil v roce 1895 a byl poháněn stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW. Ve spojených státech jezdilo v roce 1900 více elektromobilů než vozů se spalovacím motorem. Ke změně došlo teprve až po zavedení sériové výroby automobilu Ford T, kdy díky jeho ceně a vysoké spolehlivosti došlo k vytlačení elektromobilu do ústraní. Elektromobily se dostaly znovu do popředí zájmu až v roce 1965, kdy byla ve světě ropná krize. V Česku se vývoji věnoval Brněnský VÚES (výzkumný ústav elektrických strojů), který vytvořil dva prototypy dodávkového a dva prototypy osobního vozidla. Vývojem a výrobou Brněnský VÚES pověřili státní orgány právě na základě zhoršujícího se životního prostředí v centrech měst a prohlubující se ropné krize. Další pověřenou organizací byl ústav silniční a městské dopravy v Praze. V tomto ústavu byl vybraným vozem určeným k přestavbě Fiat 127. Po provedení veškerých potřebných jízdních testů byl elektromobil předán městskému orgánu k používání. Za nedlouho byl však elektromobil odstaven a později sešrotován. Od té doby se vývoji věnovali tzv. amatéři a nadšenci v domácím prostředí. Ve skutečnosti se však jednalo o odborníky, kteří nemohli své zkušenosti uplatnit v zaměstnání. Jejich výsledky tak mnohdy předčily specializovaná pracoviště. V dnešní době jsou již na světě elektromobily, které v průměru na jedno nabití mohou dojet 200 - 400 km a doba rychlého nabití činí jen 15 minut. Alternativou samotných elektromobilů jsou tzv. hybridní vozidla nebo vozidla poháněná vodíkem. Hybridní vozidla fungují na principu dvou oddělených pohonných jednotek. V dnešní době jde především o spalovací motor a elektromotor. [1], [2]

2.2 Princip a možnosti elektrického pohonu

Elektromobil funguje stejně jako klasický automobil, ale se dvěma rozdíly. První rozdíl je, že místo spalovacího motoru je použit elektromotor. Druhý rozdíl je, že místo nádrže na palivo se používá sada sériově zapojených baterií. Pro pohon elektrických vozidel se nejčastěji používají stejnosměrné motory s elektronickou komutací (BLDC) a střídavé synchronní nebo asynchronní motory, doplněné frekvenčním měničem. Základním principem, na němž jsou elektromotory založeny, je vzájemné silové působení elektromagnetických polí vytvářených elektrickými obvody, kterými protéká elektrický proud. Tuto sílu popisuje Lorentzův zákon síly:

Definice: Elektrický proud procházející vodičem sestává z pohybujících se elektrických nábojů. Nachází-li se tedy vodič v magnetickém poli, bude na něj také působit Lorentzova síla, která působí na pohybující se náboj silou: [3], [4]

$$F = qv \times B \quad (1)$$

kde: F je síla [N - Newton]
q je elektrický náboj [C - Coulomb]
v je rychlost náboje [m/s – Metr za sekundu]
B je magnetická indukce [T - Tesla]
x je vektorový součin

Elektromotor je elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Většinou jde o točivý stroj, ale existují i netočivé elektromotory, např. lineární elektromotor. Opačnou přeměnu, tedy změnu mechanické práce na elektrickou energii, provádí generátor, např. dynamo či alternátor.

Nejjednodušší motor na stejnosměrný proud má stator tvořený permanentním magnetem a rotující kotvu ve formě elektromagnetu s dvěma póly. Rotační přepínač zvaný komutátor mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházejícího kotvou dvakrát během každé otáčky.

Asynchronní motor má proti synchronnímu jinou konstrukci rotoru. Rotor se obvykle skládá ze sady vodivých tyčí, uspořádaných do tvaru válcové klece. Tyče jsou na koncích vodivě spojeny a rotor se pak nazývá „kotva nakrátko“. Tím, že se tyče rotoru (nebo vodiče vinutí rotoru) pohybují v magnetickém poli vytvářeném státorem, se v rotoru indukuje elektrický proud. [4], [5]

2.3 Dobíjecí zásuvka a stanice

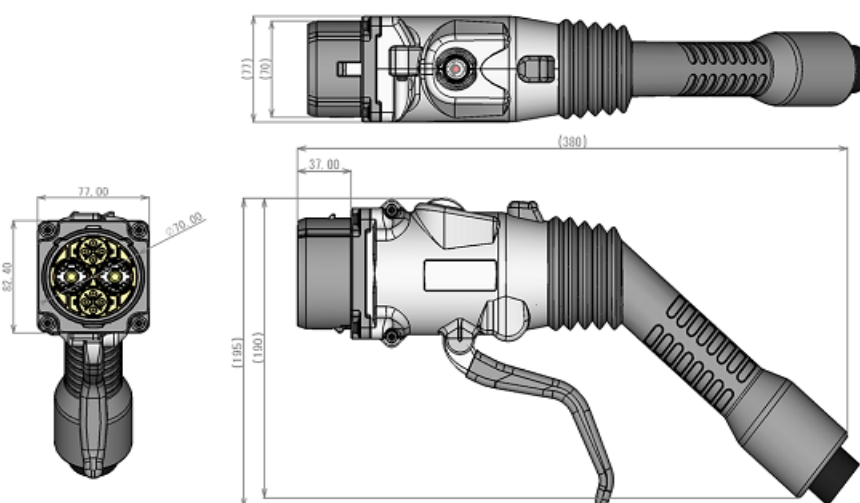
Nezbytnou součástí infrastruktury pro elektromobily je dobíjecí stojan umístěný většinou ve městech nebo benzínových stanicích, případně v domácnostech. Připojení je pomocí kabelu s koncovkou do zásuvky v elektromobilu. Na stojanu se spustí dobíjení po přiložení karty a zadání pinu na klávesnici stojanu. Existuje velmi široká škála stojanů a koncovek což je velice špatné z praktického hlediska. Jako možné řešení je použití různých redukcí, nebo standardizace zásuvky. Jak jsem zmínil, další potřebná součást je zásuvka umístěná někde na snadno přístupném místě např. místo otvoru na doplnění benzínu. I těch existuje celá řada, na naší škole jsem se setkal např. s pětikolíkovou zásuvkou, vyrobenou pro Kaipan podobná jako norma IEC 62196. Řešením je také dobíjení přímo v domácnosti z elektrické sítě na $U = 230$ [V] pomocí redukce nebo bezdrátovým dobíjením ve městech. To jsou spíše možnosti do budoucna z důvodu velkých nároků na cenu a vývoj.

Zásuvka

General Motors vyzývala ke standardizaci dobýjecího systému. V USA se aktuálně prosadil standard dobýjecího konektoru SAE J1772. V Evropě se mezitím rozhodly firmy nejvíce se podílející na elektromobilismu a elektrifikaci, že vytvoří návrh konceptu modulárního konektorového systému IEC 62196 - 2 (IEC je International Electrotechnical Committee). Standardní systém bude moci pracovat s jedno až třífázovým dobíjením střídavým proudem. V přípravě je pak rozšíření pro velmi rychlé dobíjení stejnosměrným proudem na benzínových stanicích do 35 minut, protože se vysokonapěťové dobíjení stejnosměrným proudem pokládá za jedinou reálnou cestu k radikálnímu urychlení celého procesu. Samozřejmostí je možnost propojení pomocí sběrnic CAN/PLC tak, aby bylo možné obousměrně přenášet množství nezbytných informací. Cílem je, aby byl tento standardizovaný systém zaveden jak automobilkami, tak stranami, které se budou starat o výrobu dobýjecích stanic a další infrastruktury. Má zajistit výkon, bezpečnost, komfort a připravenost na budoucnost. Např. v Japonsku se ale začíná uplatňovat rychlodobíjení stejnosměrným proudem díky protokolu konektoru CHAdeMO. [5], [6]



Obr. 2: Evropský standart IEC 62196 – 2. [7] **Obr. 3:** Americký standart SAE J1772. [8]



Obr. 4: Japonsko – francouzský standart CHAdeMO. [9]

Dobíjecí stanice:

Je to vlastně čerpací stanice pro elektromobily. Každá stanice se liší jak vzhledem, tak počtem dobíjecích vývodů (zásuvek, konektorů) a softwarovými službami. V základních komponentech se neliší. Uvnitř každé stanice je elektroměr, který měří spotřebu elektrické energie. V každé stanici je umístěn displej, na kterém se zobrazují základní údaje (cena za jednotku odebrané energie, celková cena odebrané energie, množství odebrané energie...). Přístupové rozhraní realizované čtečkou platebních karet s RFID čipem a klávesnice pro zadaná pínu. Dnes je možnost nabíjení střídavým tak i stejnosměrným proudem do požadované kapacity baterie. Plánem do budoucnosti je vyhledávání dobíjecích stanic pomocí např. GPS, kde by se zobrazila na display pozice a volnost dobíjecích stanic.

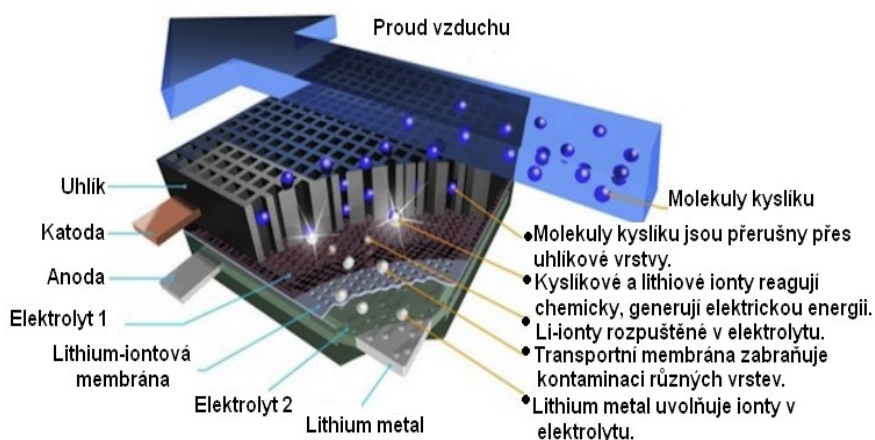
2.4 Baterie

Je jedna ze základních součástí elektromobilu. V minulosti byla baterie elektromobilu nejdražší součástí vozu a navíc se vyznačovala krátkou životností. Výhodou baterií elektromobilů je jejich vysoká účinnost – energii dokážou převést na pohyb s 90% účinností (v případě asynchronního motoru). Běžná účinnost spalovacích motorů se pohybuje kolem 30 – 40 %. Celková účinnost pohonu elektromobilu závisí pochopitelně také na účinnosti výroby elektřiny z primárního zdroje a energetické účinnosti použitých akumulátorů nebo palivových článků (dle použité technologie NiMH, Li-ion nebo Li - pol se pohybuje kolem 50 –80 %).

Pro elektromobily se nejčastěji používají lithium - iontové baterie. Jejich energetická hustota je v porovnání se staršími Ni - Cd bateriemi zhruba dvojnásobná, nicméně jejich potenciál sahá ještě dále. Nabíjecí vlastnosti li-ion baterií jsou velice dobré, což platí i o vybíjení, které je srovnatelné s Ni - Cd. Další výhodou li-ion baterií je, že na rozdíl od většiny srovnatelných typů, nevyžadují prakticky žádnou údržbu. Nemají žádný paměťový efekt, kvůli prodloužení životnosti nepotřebují pravidelně dobíjet a samovybíjení u nich nedosahuje ani poloviny toho, co u technologie Ni - Cd. Kromě toho při likvidaci představují pouze malou zátěž pro životní prostředí. Ačkoli by se mohlo zdát, že li-ion technologie představuje něco jako ideální řešení, mají i tyto skvělé baterie své nedostatky. Jsou dost křehké a vyžadují bezpečnostní okruhy, které na každé buňce při nabíjení omezují maximální napětí a při vybíjení zabraňují tomu, aby napětí kleslo příliš nízkou. Kromě toho je u každé buňky sledována její teplota, protože extrémní teploty mají negativní účinky. Výrobci však technologii li-ion baterií stále vylepšují, přičemž zhruba co půl roku se objeví nějaké vylepšené chemické složení. Například vědci z University of Illinois se důkladně zaměřili na chemické vlastnosti dobíjecích lithium-iontových baterií použitých v mobilech, digitálních fotoaparátech a další přenosné elektronice.[10]

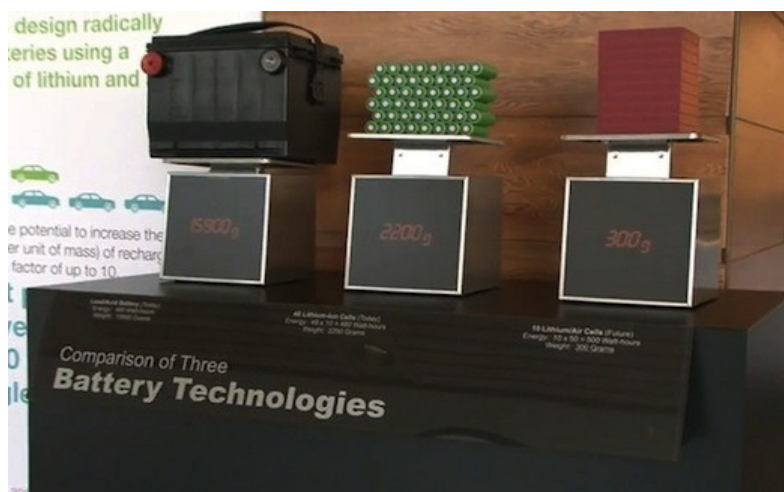
Budoucnost baterií se jeví jako nejslibnější Lithium - vzduchové baterie (neboli lithium-air/lithium - oxygen) slibují několikanásobně vyšší kapacitu a nižší hmotnost, než v případě klasických li-ion akumulátorů. Zajímají se o ně takoví giganti jako IBM nebo General Motors. Profesorka Yang Shao Horn společně se svými studenty zjistila, že pokud elektrody obsahují prvky jako zlato nebo platina sloužící jako katalyzátory, vykazují pak mnohem vyšší aktivitu a tedy i vyšší účinnost než běžné uhlíkové elektrody. Oba prvky představují velmi vzácné kovy, nicméně podle výzkumu by mohlo být v budoucnu možné je nahradit např. jinými levnějšími kovy nebo jejich oxidy. Hodně pozornosti se věnuje testování množství různých materiálů a sledování trendů v jejich chování. [11]

Battery 500 je název střednědobého výzkumného projektu společnosti IBM. Klade si za cíl vyvinout lithium - vzduchovou baterii, která dá elektromobilům dojezd až 800 km na jedno nabití. Princip baterie Battery 500 technologie je otevřený systém, ve kterém molekuly kyslíku jsou společně se vzduchem, kde reagují s ionty lithia k následné výrobě elektřiny. Po nabití se pak uvolní kyslík zpět do životního prostředí.[12]



Obr. 5: Lithium-vzduchové baterie. [11]

V současné době mají lithium-kyslíkové baterie stále mnoho nedostatků. Jednak je to bezpečnost, lithium v podobě kovu je vysoce reaktivní při styku i s malým množstvím vody. Dále mají tyto baterie problém s dostatečným počtem cyklů nabíjení a vybití. Pokud se výzkum a vývoj bude dařit, je pravděpodobné, že první praktické nasazení nového typu baterií uvidíme v notebookech, mobilech a další přenosné elektronice. Teprve později, po dalším rozsáhlém testování a především snížení ceny bychom se mohli dočkat nasazení v elektromobilech. [11], [12]



Obr. 6: Porovnání hmotnosti akumulátorů: olověného, lithium – iontového a lithium – vzduchového. [10]

Lithium-kyslíkové baterie však nejsou jediná cesta. Jiné vědecké týmy např. pracují na využití nanotechnologií. Anoda se v takovém případě skládá z křemíkových nanodrátků, katoda z mezoporézní uhlíkové složky. Taková baterie pak teoreticky získává energii 1550 Wh kg^{-1} , což je 4x více než v případě běžných li-ion baterií. Plánem do budoucna je i možnost bezdrátového dobíjení, které je zatím ve fázi vývoje. Např. společnost WiTricity, která technologii dobíjení na dálku vyvíjí do praxe a používá ji k nabíjení elektromobilů a plug - in hybridů[11]

3. Elektroměr-měření výkonu, proudu a napětí

Elektroměr je elektrický měřicí přístroj, který měří množství odebrané elektrické energie, tj. práci elektrického proudu. Na jeho základě probíhá stanovení a vyúčtování spotřebované elektrické energie. Elektroměry pracují jako dokonalé integrátory, integrují výkon v čase. Pracují na podobném principu jako wattmetry (napěťová a proudová cívka). Práci stejnosměrného proudu ve starých stejnosměrných sítích měřily elektroměry obsahující stejnosměrný motorek a počítadlo. Při měření spotřeby elektrické energie ve střídavých jednofázových i trojfázových sítích se používají indukční elektroměry pro měření činné energie.

Rozdělení:

Dnes se používají elektroměry pro měření práce střídavého proudu a dělí se na:

- elektroměry pro měření činné energie,
- elektroměry pro měření jalové energie,
- více sazbové elektroměry,
- měřidla pro měření maximální spotřeby.

Podle principu měřicí soustavy dělíme elektroměry na:

- indukční elektroměry,
- elektronické impulzní elektroměry,
- digitální elektroměry.

Princip indukčního elektroměru:

- princip je založen na asynchronním motoru s kotvou nakrátko,
- otočný hliníkový kotouč je uložen mezi napěťovou a proudovou cívkou,
- magnetické toky cívek vytváří otáčivé magnetické pole,
- otáčivé pole vyvolává točivý moment v hliníkovém poli počítadla,
- točivý moment je tím větší, čím větší je odběr výkonu za elektroměrem,
- brzdící magnet vytváří v kotouči vířivé proudy, které zabraňují tomu, aby se kotouč netočil rychleji, než odpovídá zátěži.

Elektronické elektroměry

Jsou to měřicí zařízení, která se používají ke stanovení spotřeby energie uživatelem. Jsou vhodné k přímému připojení nebo k měření prostřednictvím měřících transformátorů. Tyto elektroměry se tradičně využívají při řízení spotřeby energie, pro analýzu nákladových středisek, jako generátor naměřených hodnot pro nadřazená PLC nebo v centrálních systémech správy budov. Pro úkony spojené s fakturací lze elektroměry kalibrovat a plombovat, aby byla zajištěna neustálá přesnost a nebylo možné měřicí přístroj neúmyslně přeprogramovat nebo zneužít

Digitální elektroměr

Je určen pro měření spotřeby el. energie, tedy funkci sofistikovaného elektroměru. Možnost pro měření různých analogových signálů napětí a proudů. Pro tyto účely obsahují logické vstupy GPIO a hlavně reálný hardwarový A/D převodníky ADC. Většinou obsahují integrátor k zpracování změřených hodnot na vstupech, vstupní hodnoty bývají malé okolo jednotek voltu a ampér. S dalšími hardwarovými prvky jako displej, komunikace a případně snímače veličin je možné jedním obvodem vytvořit celý "inteligentní" digitální elektroměr. [13] [14]

3.1 Základní pojmy veličin pro měření

Elektrické napětí U – Volt [V]

Je určeno jako práce vykonaná elektrickými silami při přemístování kladného jednotkového elektrického náboje mezi dvěma body v prostoru. Elektrické napětí lze také vyjádřit jako rozdíl elektrických potenciálů v obou bodech v prostoru.

Definice: Napětí 1 V je takové napětí, které je mezi konci vodiče, do kterého konstantní proud 1 A dodává výkon 1 W. V takovém případě má vodič odpor 1 Ω . [15]

Napětí lze ve střídavé síti popsat vztahem:

$$u(t) = U_{max} \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

kde: $u(t)$ je hodnota střídavého napětí [V - Volt]

U_{max} je amplituda napětí [V - Volt]

ω je úhlová frekvence [rad - Raidán]

t je čas [s - Sekunda]

Rozdělení napětí podle změn polarity:

- Stejnoseměrné napětí je takové napětí, které nemění v čase svoji polaritu, velikost měnit může.
- Střídavé napětí je napětí, které se v čase mění s určitou periodou, přičemž jeho střední hodnota nemusí být nulová. Časový průběh (tvar) napětí může být libovolný, nejčastěji se můžeme setkat se sinusovým průběhem. Dalšími průběhy mohou být pilovité, obdélníkové nebo libovolné jiné.

Elektrický proud I – Ampér[A]

Je uspořádaný pohyb nositelů elektrického náboje. Proud je fyzikální veličina, v běžných elektrických rozvodech může být stejnosměrná a střídavá. Dohodnutý směr toku stejnosměrného proudu je od kladného pólu zdroje přes spotřebič k zápornému pólu zdroje. Dohodnutý směr je opačný ke skutečnému směru toku elektronů v pevných vodičích. Směr toku střídavého proudu se v čase cyklicky mění. V běžných elektrických rozvodech má proud harmonický (sinusový) průběh.

Definice: Elektrický proud je roven celkovému množství elektrického náboje, které projde průřezem vodiče za jednotku času.

Stejnoseměrný proud je takový proud, který v čase nemění směr svého toku. Velikost proudu se měnit může.

Střídavý proud je proud, jehož velikost a směr se v čase mění s určitou periodou, přičemž jeho střední hodnota je nulová..[16]

Ohmův zákon - výpočet:

$$I = \frac{U}{R} \quad (3)$$

kde: I je proud [A - Ampér]

U je napětí [V - Volt]

R je odpor [Ω - Ohm]

Okamžitá hodnota střídavého proudu - výpočet

$$i(t) = I_m * \sin(\omega t + \varphi_0 + \varphi) \quad (4)$$

kde: $i(t)$ je hodnota střídavého proudu [A - Ampér]

I_m je amplituda střídavého proudu[A - Ampér]

ω je úhlová frekvence [rad - Raidán]

φ_0 je počáteční fáze střídavého napětí [-]

φ je fázový posuv mezi napětím a proudem (fáze)

Výkon P – Watt [W]

Je to práce vykonaná za jednotku času, měříme ji wattmetrem. Zdroj výkon odevzdává a spotřebič ho odebírá, výkon odebraný spotřebičem se nazývá příkon. [20]

Výkon v obvodu napájeném ze stejnosměrného zdroje je výkon odebíraný zátěží, značíme ji P a jednotkou je W (watt):

$$P = U * I \quad (5)$$

kde: P je výkon [W]

U je napětí [V]

I je proud [A]

Při měření výkonu střídavého proudu je součin okamžitých hodnot napětí a proudu okamžitý výkon:

$$p(t) = u(t) * i(t) \quad (6)$$

kde: $p(t)$ je okamžitá hodnota výkonu [W]

$u(t)$ je okamžitá hodnota napětí [V]

$i(t)$ je okamžitá hodnota proudu [A]

Výkon je také sinusový, ale s dvojnásobnou frekvencí oproti napětí.

Elektrický příkon P – Watt[W, kW]

Elektrický příkon udává energetickou náročnost elektrického zařízení. Jeho základní jednotkou je Watt. V praxi se velmi často používá odvozená jednotka kilo -Watt (1kW = 1000W).

Elektrický příkon ve střídavé 1f soustavě: [34]

$$P_{AC1f} = U * I * \cos\varphi \quad (7)$$

kde: P_{AC1f} je jednofázový výkon [W]

U je napětí [V]

I je proud [A]

$\cos\varphi$ je účinník [-]

účinnost η - [%]

Je to poměr výkonu a příkonu. U elektrických strojů a přístrojů rozlišujeme výkon, který spotřebiči dodáváme a tzv. příkon P_1 a užitečný výkon P_2 . Rozdíl mezi příkonem a výkonem tvoří ztráty, které se nejčastěji mění v teplo. [34]

Výpočet účinnosti:

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} * 100 \quad (8)$$

kde: η je účinnost [%]

P_1 je příkon [W]

P_2 je užitečný výkon[W]

Fázový posuv

Závisí na charakteru zátěže. Pro čistě rezistivní zátěž bude roven nule, pro indukční zátěž bude nabývat záporných hodnot. Proud se bude zpoždovat za napětím a pro kapacitní zátěž bude naopak kladný

Spotřebovaná elektrická energie W - Watthodina [Wh, kWh]

Spotřebovaná elektrická energie je definovaná jako odebíraný příkon za daný časový úsek se vypočítá jako integrál činného výkonu podle času. Základní používanou jednotkou je Watt-hodina (jinak také (J) Joule). V praxi se používá KiloWatt - hodina [14]

Pro spotřebovanou elektrickou energii v 1f střídavé soustavě platí:

$$W = \int_{t_0}^{t_1} p_c(t) dt = \int_{t_0}^{t_1} u(t)i(t) \cos \varphi dt \quad (9)$$

kde: W je spotřebovaná elektrická energie [Wh]

p_c je činný výkon [W]

t je čas [s]

$u(t)$ je okamžitá hodnota napětí [V]

$i(t)$ je okamžitá hodnota proudu [A]

$\cos \varphi$ je účinník [-]

Z výše uvedené rovnice je vidět, že libovolný elektroměr musí brát v úvahu jak velikost napětí, tak i proudu.

Účinník $\cos \phi$ - [-]

Účinník vyjadřujeme podílem mezi činným a zdánlivým příkonem v elektrickém obvodu střídavého proudu. Vyjadřuje, jak velkou část zdánlivého výkonu lze přeměnit na užitečnou energii. Účinník závisí na vzájemném fázovém posuvu proudu a napětí. Je bezrozměrný a jeho hodnota se pohybuje se od 0 do 1, přičemž jednotkový účinník znamená, že celý výkon je činný (fázový posuv je nulový), nulový účinník znamená, že celý výkon je jalový, zátěž je čistě kapacitní nebo čistě indukční a fázový posuv je tedy $\pm 90^\circ$. Nízké hodnoty účinníku znamenají v obvodu vyšší ztráty energie. Účinník $\cos \phi$ by se měl pohybovat mezi hodnotami 0,95 až 0,99. [34]

$$\cos \varphi = \frac{P_{AC1f}}{S} \quad (10)$$

kde: $\cos \varphi$ je účinník [-]

P_{AC1f} je jednofázový výkon [W]

S je zdánlivý výkon [VA]

Činný výkon P - Watt [W]

To je výkon skutečný dodávaný nebo odebíraný a závisí na úhlu fázového posunu φ mezi proudem a napětím. Z praktického měření nás nejvíc zajímá hodnota činného výkonu, protože je to hodnota za kterou platíme Pro harmonický průběh napětí a proudu s efektivními hodnotami U a I a fázovým posunem φ platí pro činný výkon vztah: [34]

$$P = U * I * \cos \varphi \quad (11)$$

kde: P je činný výkon [W]

U je napětí [V]

I je proud [A]

$\cos \varphi$ je účinník [-]

Jalový výkon Q – VoltAmpér reaktanční [VAr]

Jalový výkon je spotřebičem přijímán na vytváření magnetického nebo elektrického pole a při zániku se zase vrací zpět do sítě, tudíž se ve skutečnosti neodebírá, je to spotřeba zpožděná za napětím o $\pm 90^\circ$ - nekoná práci

$$Q = U * I = U * I * \sin\varphi \quad (12)$$

kde: Q je jalový výkon [VAr]
 U je napětí [V]
 I je proud [A]
 φ je fázový posuv mezi vektory proudu a napětí. [rad]

Zdánlivý výkon S - VoltAmpér [VA]

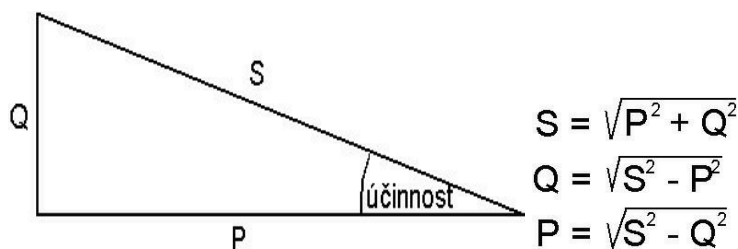
Je to součin efektivních hodnot napětí a proudu, je důležitý k definování elektrických strojů a elektrických sítí, podle něj se určuje skutečný zdánlivý výkon

$$S = U * I \quad (13)$$

kde: S je zdánlivý výkon [VA]
 U je napětí [V]
 I je proud [A]

Trojúhelník výkonů:

Protože výkon je hodnota proměnná, je definován činný (P), jalový (Q) nebo zdánlivý (S) výkon. [34]



Obr. 7: Trojúhelník výkonů.

3.2 Měření třífázové soustavy

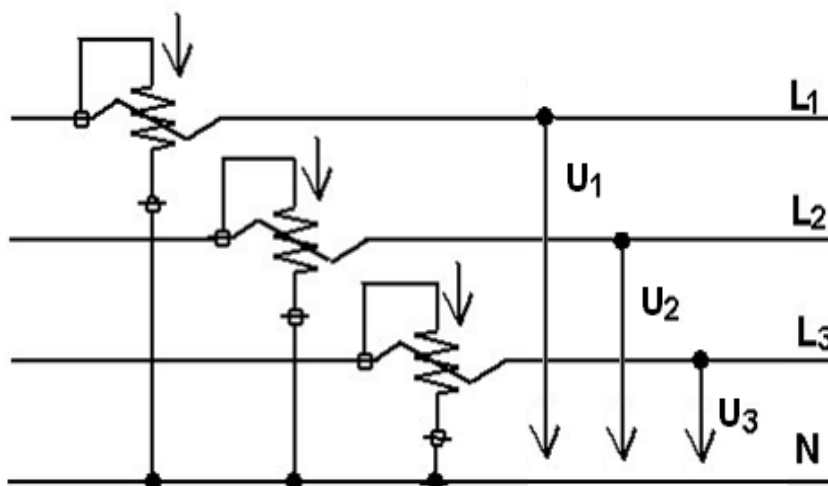
Měření třífázového výkonu střídavého třífázového proudu

Trojfázový proud vzniká sdružením proudů jednofázových. Trojfázová elektrická energie se rozvádí soustavou třívodičovou nebo čtyřvodičovou. Třívodičová soustava může vzniknout i ze čtyřvodičové soustavy vynecháním nulového vodiče. Zatížení v obou soustavách bývá souměrné (všechny fáze stejně zatížené) nebo nesouměrné. Metodu měření výkonu volíme podle soustavy a podle druhu zatížení. Činný výkon v třífázové soustavě je dán součtem výkonů v jednotlivých fázích kde U_1, U_2, U_3 je fázové napětí, I_1, I_2, I_3 je proud fází a $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ úhel mezi příslušnými napětími a proudy.

Zvláštním případem je souměrná síť, tzn. fázová napětí mají stejnou velikost a úhly mezi nimi jsou 120° . Mezi fázemi je sdružené napětí. Jejich fázory tvoří rovnostranný trojúhelník. Sdružené napětí je 3 krát větší než fázové.

Nesouměrně zatížená třífázová soustava při nesouměrném zatížení, kdy se spotřebiče připojují jednak mezi fázové vodiče nebo mezi fázový vodič a nulový vodič (elektromotory, žárovky a jiné spotřebiče), se použijí tři wattmetry. Celkový výkon se vypočítá podle vzorce $P = P_1 + P_2 + P_3$. Tři wattmetry se musí použít proto, že v každé fázi může mít výkon různou velikost.

Stejně jako wattmetr, který na výstupu zobrazuje výkon, bude obdobně pracovat zpracování signálu měřením napětí a proudu na jednotlivých fázích pomocí měřících přístrojů nebo senzorů. A následné zpracování např. mikroprocesorem nebo jiným integrovaným obvodem. Sice dojde k tomu že obvod bude složitější a cenově nákladnější ale výhodou je přesnější měření, větší měřicí rozsah a hlavně možnost dalšího zpracování hodnot pro vyhodnocení nebo řízení dalších akčních členů. [20]



Obr. 8: Čtyřvodičové měření výkonu.

3.3 Chyby měření

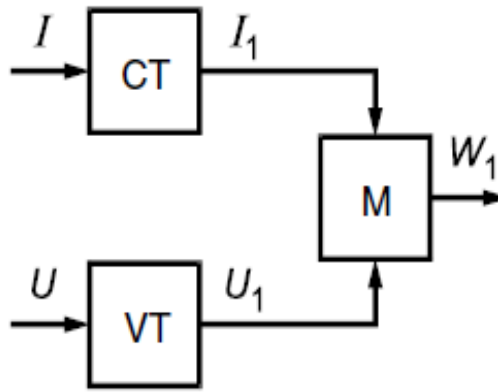
Abychom vyjádřili přesnost měření nebo měřícího přístroje, zavádíme pojem chyba měření, která vykazuje v jakém rozmezí se může skutečná hodnota veličiny pohybovat okolo údaje námi změřeného. V oblasti měření elektrické energie se musí chybou měření vážně zabývat, aby nedošlo k nepřesnému měření a tím možnému špatnému vyúčtování.

Z hlediska původu chyb můžeme rozdělit do následujících kategorií:

- omyly neboli hrubé chyby,
- systematické chyby,
- náhodné chyby.

Hrubé chyby vznikají například použitím vadného měřiče, systematické chyby mají jednu příčinu a ovlivňují všechny naměřené hodnoty stejnou měrou. Náhodné chyby jsou například šum.

Pro popis chyb digitálních elektroměrů budeme vycházet z uspořádání zařízení na Obrázku 8 kde CT je proudový transformátor, M je měřič a VT je napěťový transformátor. [34]



Obr. 9: Schematické uspořádání digitálního měřiče.

Při popisu chyb specifických pro digitální elektroměry budeme vycházet z obrázku 9. Průběhy veličin i se systematickými chybami popisuje sada rovnic:

$$U = U_m \cdot \sin \omega t; \quad (14) \quad U_1 = U_m(1 + \delta_U + \delta_I) \sin(\omega t + \theta_U) \quad (15)$$

$$I = I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi); \quad (15) \quad I_1 = I - m(1 + \delta_I) \sin(\omega t + \varphi + \theta_I) \quad (16)$$

$$W = \int_0^T IU dt; \quad W_1 = (1 + \delta_{ma}) \int_0^T I_1 U_1 dt \quad (17)$$

$$\delta_W = 100\% \frac{W_1 - W}{W} \quad (18)$$

kde: U je okamžitá hodnota napětí na vstupu transformátorů [V]
 I je okamžitá hodnota proudu na vstupu transformátorů [A]
 ω je úhlová rychlost [rad]
 t je čas [s]
 φ je fázový posuv mezi proudem a napětím [-]
 U_1 a I_1 jsou hodnoty napětí a proudu na vstupu měřiče
 U_m a I_m jsou amplitudy napětí a proudu
 θ_U a θ_I jsou chyby fáze napěťového a proudového transformátoru
 W je hodnota práce neovlivněná chybami [Watt/hodina]
 W_1 je hodnota práce změřená zařízením [Wat/hodina]
 δ_W je chyba změřené práce vyjádřená v procentech [%]
 δ_U , δ_I , δ_{ma} , δ_{mr} , δ_l jsou systematické složky chyb po řadě napěťového transformátoru, proudového transformátoru, měření činné a reaktivní složky výkonu, ztrát v přírodních vodičích mezi transformátory a měřičem

Řešením uvedených rovnic a vynecháním členů druhého řádu nevýznamnosti dostaneme následující vztahy pro výsledné chyby měření:

$$\delta_{W_a} = 0,029 \tan \varphi (\theta_I - \theta_U) + (\delta_I + \delta_U + \delta_l + \delta_{ma}) \quad (19)$$

$$\delta_{W_r} = 0,029 \cot \varphi (\theta_I - \theta_U) + (\delta_I + \delta_U + \delta_l + \delta_{mr}) \quad (20)$$

Při znalosti některé ze systematických chyb, můžeme upravit měřené výsledky.

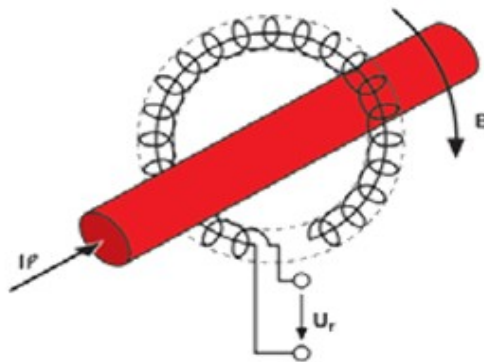
4. Možnosti měření

Měřicí převodník u elektrických měřicích přístrojů může upravovat velikost měřené veličiny tak, aby ji měřicí ústrojí mohlo bez poškození a s dostatečnou přesností měřit, nebo může převádět jednu elektrickou veličinu na elektrickou veličinu jiného druhu. Integrované měřiče pracují s hodnotami napětí, které jsou několikrát menší než hodnoty v rozvodné síti. Vhodnou metodou je potřeba transformovat vysokonapěťové hodnoty na jejich nízkonapěťovou reprezentaci. Nejpoužívanější metody měření napětí a proudu jsou pomocí níže uvedených prvků.

4.1 Proudové senzory

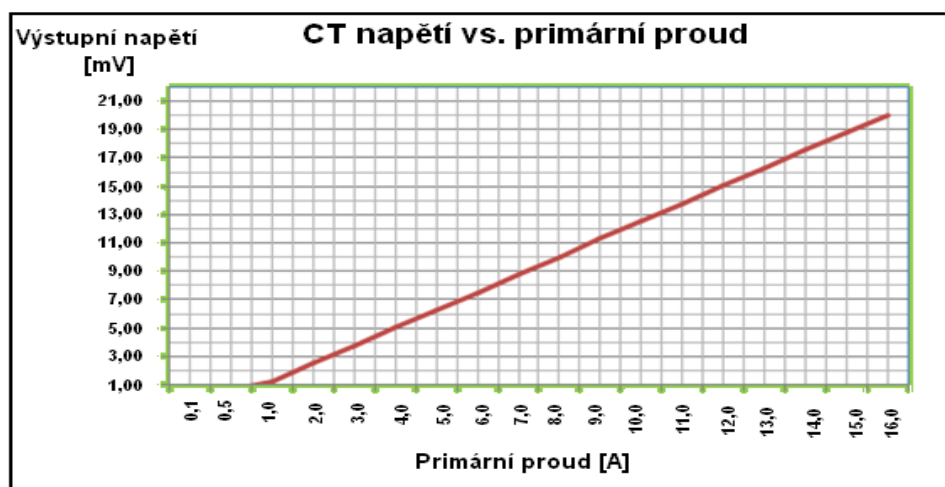
Rogowského cívka

Pro bezkontaktní a zároveň velmi přesné měření střídavého proudu se dnes nejčastěji využívá tzv. Rogowského cívka. S její pomocí se silový proud převádí na lineární hodnotu napětí. Jde tedy o bezkontaktní měření proudu proudovým transformátorem, viz. obr. 10.



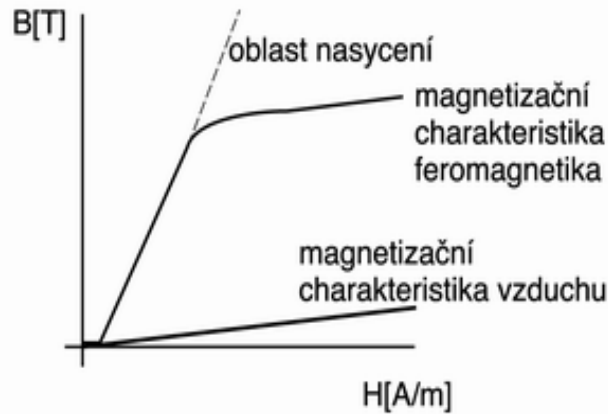
Obr. 10: Rogowského cívka. [17]

Rogowského cívka patří do skupiny proudových transformátorů s rozsahem od 0,1 do 80 A. Výstupní napětí Rogowského cívky je přímo úměrné primárnímu proudu. Na obr. 11 vidíme závislost výstupního napětí a měřeného proudu na proudovém transformátoru (CT) při zatížení odporem $R_B = 10 \text{ k}\Omega$.



Obr. 11: Průběh výstupní závislosti Rogowského cívky. [17]

Nevýhodou Rogowského cívky je měření proudů pod 1 A. Například při měření 100 mA je na výstupu Rogowského cívky dostupné napětí pouze 125 μ V. Porovnání nelineární magnetizační charakteristiky feromagnetika (klasického měřicího transformátoru) a lineární závislosti vzduchu (vzduchové Rogowského cívky)



Obr. 12: Porovnání nelineární magnetizační charakteristiky. [17]

Princip Rogowského cívky jako měřicího prvku měřící změny proudu ve sledovaném vodiči díky indukovanému napětí ve vodiči cívky. Princip je tak podobný jako u běžného transformátoru. To znamená, že střídavý proud sledovaného vodiče vytváří kolem sebe střídavé magnetické pole, které způsobí indukci napětí ve vodiči toroidní vzduchové (Rogowského) cívky. Výsledné napětí je tak úměrné změně magnetického toku a tedy i hodnotě střídavého proudu, který ho vyvolal. Z pohledu magnetického obvodu, je cívka s měřeným vodičem spojena vzájemnou induktivní vazbou M . Výstupní napětí cívky je tak definováno následujícím vztahem:

$$U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = M \frac{dI}{dt} \quad \text{nebo}$$

$$U_{\text{VÝSTUPNÍ}} = 2\pi f I M \quad (21)$$

kde: M je vzájemná indukčnost []
 I je měřený proud []
 f je frekvence []

Nejllepší metodou pro zpracování napěťového výstupu cívky je napětí elektronicky integrovat. Integrovaný výstup je frekvenčně nezávislý a přesně reprezentuje průběh měřeného proudu. Použitím vhodných integrátorů lze použít ohebné cívky na měření proudů v rozsahu od méně než jednoho ampéru až do několika milionů ampér.

Vlastnosti Rogowského cívky

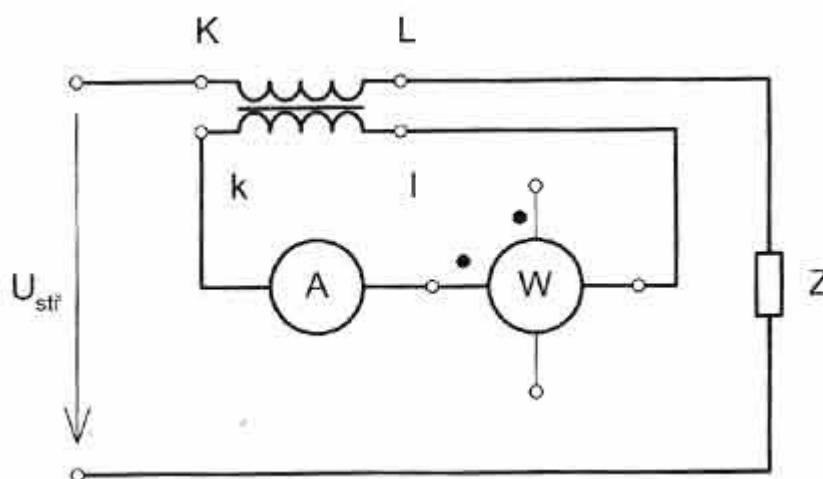
Pevné Rogowského cívky mají větší přesnost a stabilitu než ohebné cívky a jsou mimořádně odolné proti rušení způsobené vnějšími magnetickými poli. Jsou vhodnější na měření malých proudů a nižších frekvencí než ohebné cívky. Na měření proudů se cívky se používají společně s vhodným integrátorem. Určitým nedostatkem tohoto řešení je malé výstupní napětí (cca 1 mV/A).

Transformátor proudu

Měřicí transformátor je měřicí převodník, který není součástí měřících přístrojů. Slouží ke změně velikosti měřeného proudu a galvanicky odděluje primární a sekundární obvod. Podíl primárního proudu k sekundárnímu se nazývá jmenovitý přenos p a je udáván zlomkem (100/5A) to znamená, že proud 100A je snížen na 5A.

Při měření měřícím transformátorem proudu se nesmí rozpojit sekundární obvod, dokud primárním vinutím prochází proud. Pokud dojde k rozpojení je jádro magnetováno primárním proudem do nasycení. Magnetická indukce pak má obdélníkový průběh a indukované napětí dosahuje vysokých špičkových hodnot. Měřicí transformátory proudu mají na sekundární straně zkratovací zařízení protože, když napětí dosahuje špičkových hodnot, může dojít k průrazu izolace mezi primárním a sekundárním vinutím nebo úrazu elektrickým proudem.

Zapojení do obvodu se provádí podle obr.13. Primární vinutí se připojí do série se zátěží, kterou protéká měřený proud a na sekundární vinutí měřicího transformátoru se připojují jednotlivé přístroje (ampérmetr, proudová cívka wattmetru, elektroměr atd.) sériovým připojením.[18]



Obr. 13: Zapojení měřicího transformátoru do obvodu. [18]

Jako další proudový senzor je možno použít bočník.

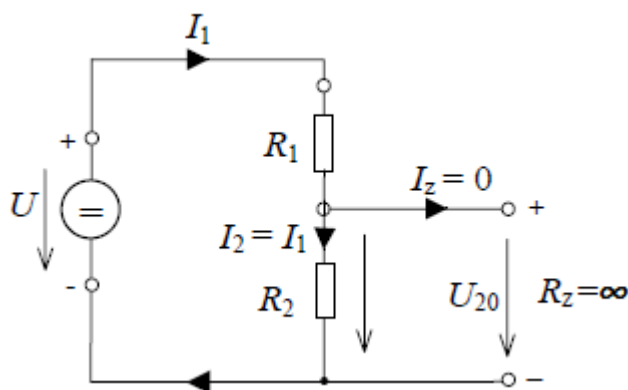
4.2 Napěťový senzor

Nejpoužívanější volbou pro utlumení napětí v síti na hodnotu vstupu měřiče (typicky menší než 1V) je rezistorový dělič napětí.

Dělič napětí

Jsou zpravidla tvořeny dvěma rezistory (R_1, R_2) zapojeným do série ke svorkám zdroje. Výhoda děliče napětí je jeho cena, protože rezistory jsou základní součástky a tudíž velmi levné oproti například proudovému transformátoru. Vysokou hodnotu odporu R_1 , na kterém je téměř celé napětí sítě, je dobré rozdělit do série menších odporů. To především platí pro provedení v SMD, protože SMD rezistory mají tendenci měnit svoje vlastnosti, pokud jsou trvale vystaveny vysokému napětí. Další výhodou napěťového děliče spočívá v jeho snadné rozšiřitelnosti. Je potřeba mít na paměti, že mezi prvním a posledním rezistorem je prakticky celé napětí sítě, tudíž napětí zdraví nebezpečné. Alternativou k dělič napětí je použití signálového napěťového transformátoru. Tato alternativa je výrazně dražší než dělič napětí.

Nezatížený dělič napětí – z odbočky není odebírán proud zátěží R_z ($R_z = \infty \rightarrow R_z = 0$) [19]



Obr. 14: Principiální zapojení nezatíženého děliče. [19]

Napětí na výstupu nezatíženého děliče (napětí naprázdno) je rovno úbytku napětí na rezistoru R_2 , protékaného proudem I_2 , resp. I_1 .

Napěťový transformátor

U skutečného transformátoru dochází k úbytkům napětí na odporech vinutí a na rozptylových indukčnostech reaktancí obou vinutí. Z toho plyne, že měřicí napěťové transformátory způsobují chybu převodu a chybu fáze. Měřicí transformátor napětí se vzhledem k malým impedancím vinutí chová jako zdroj napětí. Při zkratu na sekundárních svorkách může dojít ke zničení transformátoru velkými zkratovými proudy. Proto musí pracovat blízko stavu naprázdno – v sekundáru je připojen velký odpor. Nelze ho použít tam, kde by docházelo k magnetování jádra stejnosměrnou složkou průběhu. Jeho výhodou je malá spotřeba.

4.3 Integrované obvody pro měření výkonu

S výběrem integrovaného obvodu pro měření spotřeby souvisí mnoho požadavků a kritérií, aby splňoval účel, pro který byl vybrán. Hlavním požadavkem je měření spotřeby alespoň v 3 – fázové soustavě. Další požadované funkce jsou: vhodný měřicí rozsah, možnost komunikace s mikrokontrolérem pomocí I^2C nebo SPI, spojení s počítačem přes USB, rychlost zpracování dat a vysoká přesnost měření. Vybraný obvod by měl být schopen měřit okamžité veličiny napětí, proudu, výkon na jednotlivých fázích a celkový příkon pro zjištění spotřebované energie. Obvod by měl měřit spotřebu na jakémkoli elektrickém spotřebiči. Pro mojí práci jsem si zvolil ADE7878 protože je k němu množství dokumentace a možnost testování na vývojovém kitu. Dále splňuje nejlépe moje požadavky a je cenově dostupný. Srovnání některých komerčně prodávaných integrovaných obvodů pro měření spotřeby je vidět v tabulce 1.

Tab. 1: Výběr IO pro elektroměr. [36]

	Počet měřených fází	Rozlišení A/D	I^2C	SPI	Pouzdro
ADE7878	3	24 bitů	Ano	Ano	LFCSP-40
EM773FHN33	2	8/16 bitů	Ano	Ano	HVQFN-32
MCP3909	1	16 bitů	Ne	Ano	SSOP-24
Teridian 71M65xx	1	8 bitů	Ne	Ne	LQFP-100
MC9S08GW64/32	1	16 bitů	Ano	Ano	LQFP-64/80

4.4 Vývojový kit pro měření energie

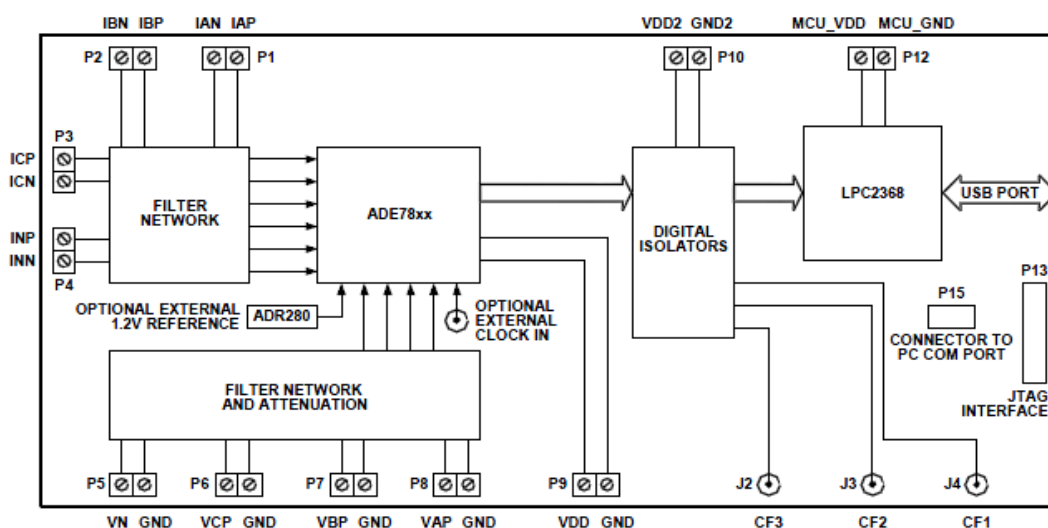
Využil jsem možnost otestování integrovaného obvodu ADE7878 na vývojovém kitu od společnosti Analog Devices. Před vlastní výrobou elektroměru jsem si tak mohl ověřit funkce a měření elektrické energie pomocí integrovaného obvodu ADE. Součástí zařízení je mikrokontrolér LPC2368, který komunikuje s IO pomocí sériového rozhraní SPI nebo I^2C . Dále bylo součástí CD s dokumentací a softwarem ADE78xx_eval_software pro nastavení IO elektroměru a vyzkoušení využití jednotlivých funkcí.

Vlastnosti:

Hodnotící deska s doprovodným softwarem umožňuje realizovat měření 3- fázového obvodu pro velmi přesné vyhodnocení elektrické energie. Dále měření celkového výkonu a činný, jalový a zdánlivý výkon a výpočty RMS hodnot napětí a proudu. Snadné připojení externích snímačů přes šroubovací svorky, snadnou modifikaci komponentů pro úpravu signálu pomocí PCB konektorů. Opticky izolované měřicí komponenty a komunikace přes USB s PC. [32]

Zvolená deska vyžaduje dva externí zdroje napětí na $U = 3,3$ [V]. Vhodné napěťové a proudové snímače.

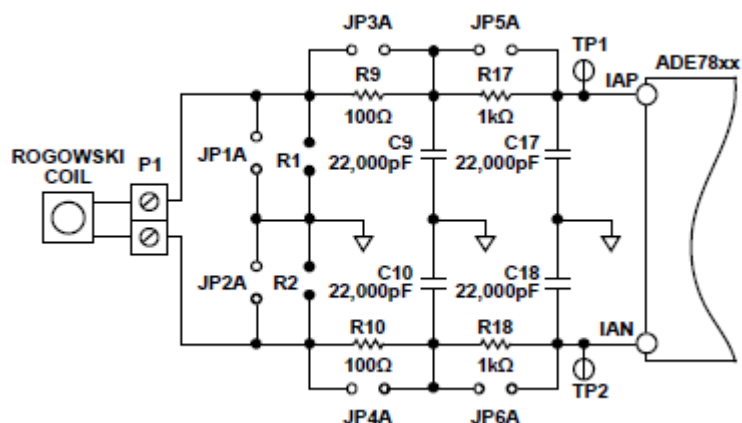
Schéma vývojového kitu:



Obr. 15: Schéma zapojení. [32]

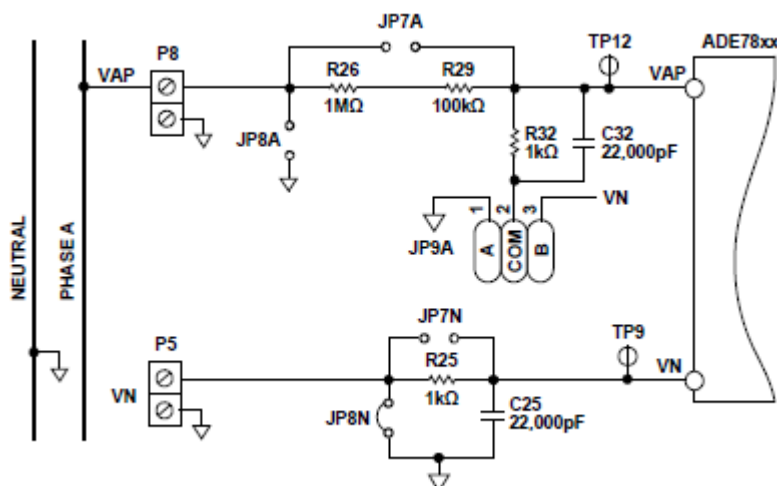
Napájení pro ADE7878 je na konektoru P9 a pro mikrokontrolér je na P12. Analogové vstupy jsou pro napěťové a proudové signály, které jsou připojeny na svorky P1 až P4 pro proudové a P5 až P8 pro napěťové signály, kde P5 je pro pracovní vodič N . Všechny analogové vstupní signály jsou filtrovány pomocí antialiasing filtrů a až poté připojeny k ADE7878. Jako proudové senzory je možné použít proudové transformátory nebo v mém případě Rogowského cívky a jako napěťové senzory jsou použity děliče napětí.

Použití Rogowského cívky jako proudový snímač jsem zvolil z důvodu malých finančních nákladů, jednoduchosti výroby a vhodnější instalace. Obrázek 15 ukazuje, jak lze Rogowského cívky použít jako proudový snímač v jedné fázi 3 - fázového zapojení (FázeA). Další dvě fáze a nulový vodič vyžadují podobné zapojení. Měřicí část je galvanicky oddělena od části s mikrokontrolérem.



Obr. 15: Příklad připojení Rogowského cívky.

Na napěťové vstupy ADE7878 lze přímo připojit síťové napětí. Jednotlivá napětí jsou potlačena pomocí jednoduchého děliče napětí před dodáním signálu do čipu pro měření spotřeby.

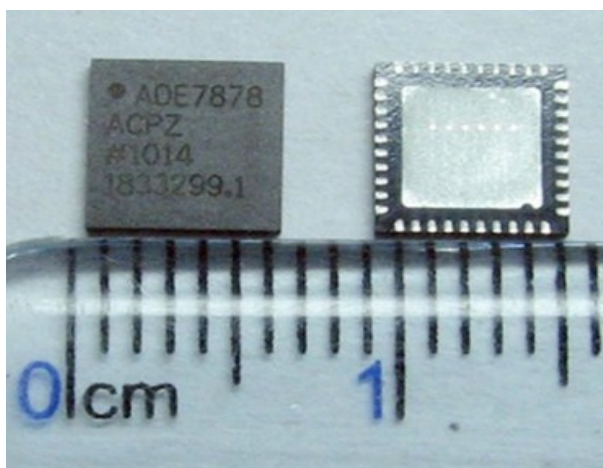


Obr. 16: Připojení fáze vstupního signálu.

Po připojení napájecích zdrojů pro Ade7878 a mikrokontrolér LPC2368, poté vstupních snímačů je možné v dodaném softwaru vyčítat jednotlivé veličiny uložené v registrech a případné nastavení vstupních a výpočetních prvků. Program obsahuje několik funkcí pro nastavení a reset, dále pro měření a nastavení hodnot a celkové zobrazení použitých registrů.

4.5 Integrovaný obvod ADE7878

Je to vysoce přesný 3 – fázový měřicí obvod elektrické energie se sériovým rozhraním a má 3 flexibilní pulzní výstupy. Má 7 analogových vstupů skládající se z proudových a napěťových kanálů. Obsahuje digitální integrátor druhého řádu, referenční obvody a všechny signály nezbytné k zpracování celkového výkonu (základní a harmonický) činný, jalový a zdánlivé měření výkonu a výpočty. Měření fázových napěťových a proudových rms hodnot. Méně než 0,1% chyb, způsobené při měření činného a jalového výkonu, napětí a proudu rms hodnot nad dynamický rozsah 1000 při 1 až 25 °C. při větším dynamickém rozsahu je chyba maximálně do 0,2% chyb při měření hodnot. Flexibilní sériová rozhraní I^2C , SPI, HSDC (High Speed Data Capture) port, lze použít ve spojení s I^2C a poskytuje přístup k informacím z ADC výstupům v reálném čase. [32]

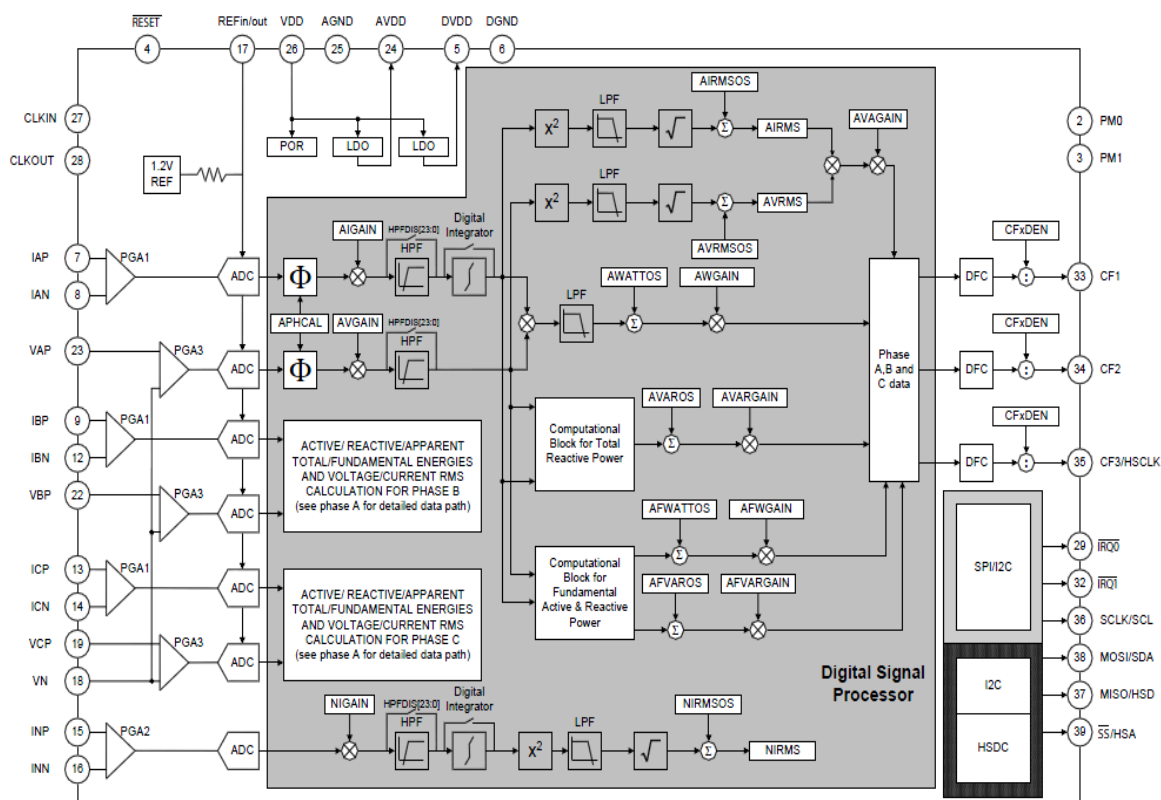


Obr. 17: ADE7878.

Parametry:

- je to 40 ti pinový čip vyráběný v pouzdrech LFCSP
- $VDD = 3,3\text{ V} \pm 10\%$, $AGND = DGND = 0\text{ V}$,
- $CLKIN = 16,384\text{ MHz}$,
- provozní teplota -40° až 85° C ,
- rozměry jsou $6 \times 5,75 \times 1$.

Na dalším obrázku je funkční blokové schéma IO.



Obr. 18: ADE7878 funkční blokové schéma. [32]

Analogové vstupy:

- Proudové kanály se skládají ze čtyřech párů plně diferenčních napěťových vstupů: IAP a IAN, IBP a IBN, ICP a ICN, a INP a INN. Tyto napěťové vstupní páry mají maximální diferenční signál ± 0.5 V
- Všechny vstupy mají programovatelný (GAIN) vstupní zesilovač (PGA), s možným výběrem zesílení z 1, 2, 4, 8, nebo 16.
- Napěťové kanály mají tři jednopaticové analogové signály: VAP, VBP a VCP. Tyto napěťové vstupy mají maximální vstupní napětí $\pm 0,5$ V, s ohledem na VN.

ADE7878 má čtyři provozní režimy PSM0 až PSM3 dané stavem PM0 a PM1 pinů (viz. Tabulka 2. Přes tyto piny máme úplnou kontrolu nad provozem a může se přes ně připojit k externímu mikroprocesoru. [32])

Tab. 2: ADE7878 režimy Napájení.

Režimy Napájení	Pin PM1	Pin PM0	Popis
PSM0	0	1	normální režim napájení
PSM1	0	0	režim se sníženou energií
PSM2	1	0	režim nízká spotřeba
PSM3	1	1	režim spánku

Analog/Digital převodník

ADE7878 má sedm sigma-delta (Σ - Δ) analog / digital převodníků (ADCs). V PSM0 módu, jsou všechny ADCs aktivní.

Antialiasing filtr:

Je umístěn mimo čip, který má za úkol odfiltrovat frekvence vyšší než je schopný A/D převodník zpracovat. Podmínka vzniku aliasingu. je aby byl splněn tzv. Shannonův teorém.

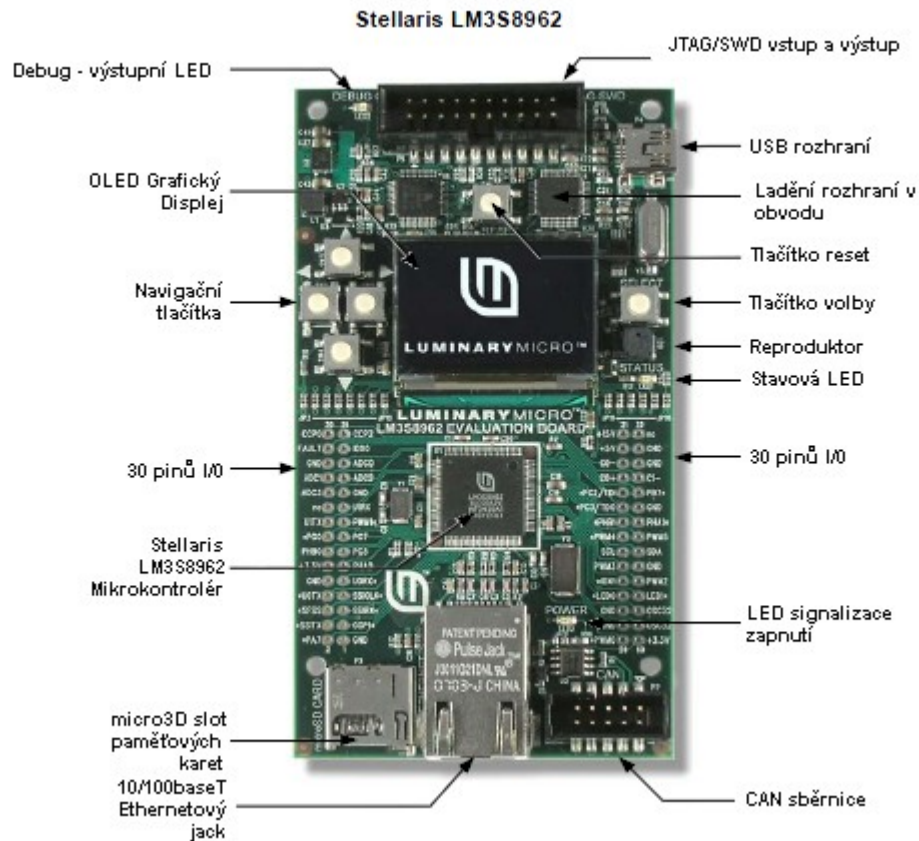
Aliasing znamená, že frekvence komponentů vstupního signálu do ADC, které jsou vyšší než polovina vzorkovací frekvence ADC, se objeví ve vzorkovaném signálu na frekvenci nižší než polovina vzorkovací frekvence. Frekvenční složky nad polovinou vzorkovací frekvence (také známý jako frekvence Nyquist, tedy 512 kHz). To se děje se všemi ADC bez ohledu na architekturu. [32]

4.6 Mikrokontrolér TI ARM Stellaris Cortex M3 LM3S8962

Desku pohání 32bitový procesor s jádrem ARM Cortex M3. Deska je osazena procesorem LM3S8962, disponuje OLED displejem s 128x96 pixely, síťovým rozhraním, pěti tlačítky, slotem pro microSD kartu. Na následujících obrázku je popis zařízení. Schéma viz příloha.

Specifikace dané desky

- palubní napájecí napětí: 4.37-5.25 DC z USB konektoru
- napájecí proud: 240 mA typicky (plně aktivní, CPU na 50 MHz)
- výstupní výkon: 3,3 Vdc (60 mA max.), 15 V DC (15 mA)
- rozměry: 4.55 "x 2.45" x 0.7 "(D x Š x H) [33]



Obr. 19: Popis mikrokontroléru. [33]

Vývojové nástroje

K dispozici jsem měl uvedenou verzi kitu a IO ade7878 s vývojovým prostředím CoCox CoIde pro Windows. Při vývoji aplikace byl použit překladač od CoCox CoIde a jejich produkt Sourcery G++ Lite. Při vývoji byla dále použita knihovna Stellarisware, ta obsahuje ovladače pro periferie MCU a ukázkové kódy pro různé desky s procesory ARM Cortex. Knihovny se nachází na příloženém CD k development kitu. Dále k uvedeným zařízením jsou datasheety ke stažení z domovských stránek společností distribuující tyto produkty. Jsou v nich veškeré potřebné informace k zařízením.

5. Možnosti komunikace

Dnes je dobrá možnost kvalitní komunikace pro zadané požadavky. Je velké množství druhů komunikace, komunikačních protokolů a jejich norem. Liší se způsobem připojení jako např. vodičem, bezdrátovým přenosem, optickým kabelem atd. Rozdíly jsou i ve způsobu přenosu informací, jako je sériová a paralelní komunikace. Důležitou součástí je rychlost přenosu, kde jednotkou je [bit /s - bit za sekundu].

5.1 Druhy a způsob komunikace

Sběrnice (anglicky bus)

Je skupina signálových vodičů, kterou lze rozdělit na skupiny řídicích, adresových a datových vodičů v případě paralelní sběrnice nebo sdílení dat a řízení na společném vodiči (nebo vodičích) u sériových sběrnic. Sběrnice má za účel zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi dvěma a více elektronickými zařízeními. Přenos dat na sběrnici se řídí stanoveným protokolem. V případě modulární architektury elektronického zařízení nebo počítače je sběrnice po mechanické stránce vybavena konektory uzpůsobenými pro připojení modulů.[21] , [22]

Průmyslové sběrnice

Jsou v současnosti v technickém světě důležitým nástrojem pro sběr, distribuci a vyhodnocení dat různého informačního charakteru. Slouží především pro měření fyzikálních veličin pomocí sensorových systémů nebo elektronické řízení nějakého technického systému, např. dopravního prostředku, energetického či telekomunikačního zařízení. Vybrané typy moderních průmyslových sběrnic CAN, HPIB, GPIB, ProfiBus, FieldBus a AS-Interface. Trendem posledních let jsou také sběrnice založené na Ethernetu. [22]

Sériová sběrnice

Sériová komunikace nebo sériový přenos je v telekomunikacích a informatice proces přenosu dat postupně po jednotlivých bitech (tj. sekvenčně) pomocí komunikačního kanálu nebo sběrnice. Je v přímém protikladu s paralelní komunikací. Používá se na dálkových linkách a většině počítačových sítí, kde činí cena kabelu a synchronizační potíže paralelní komunikaci nepraktickou. Na krátké vzdálenosti se sériová komunikace v počítačových sběrnících v poslední době prosazuje čím dál více, protože odstraňuje problémy, na které narazila paralelní komunikace (parazitní kapacity, přeslechy, problém synchronizace hodin mezi vodiči) a vyplatí se složitější zařízení. Vylepšená technologie učinila sériovou komunikaci konkurenceschopnou (například přechod od PCI sběrnice na PCI-Express). Sériová sběrnice používá pro přenos dat a řízení sběrnice jeden vodič (resp. dvojici signál-nulový vodič) nebo více vodičů. Po fyzikální stránce se datová informace přenáší buď pomocí změny elektrického napětí, nebo změny elektrického proudu. Realizace pomocí změny napětí je jednodušší, pomocí změny proudu je složitější, ale má větší odolnost proti elektromagnetickému rušení. Data jsou většinou přenášena v sériové posloupnosti pomocí jednoho signálu. Řízení sběrnice, je buď realizováno pomocí samostatných signálových vodičů, nebo je společně s daty přenášeno pomocí jednoho signálu. [23]

Jaký je formát přenášených dat, časování přenosu, řízení přenosu atd. popisuje protokol sběrnice. Standard sběrnice popisuje také elektrické a mechanické parametry sběrnice.

Rozdělení sériových sběrnic podle implementace:

- Napětím řízené - napětí vůči společnému bodu (signálová zem),
- diferenciální (rozdíl napětí na dvou vodičích).
- Proudem řízené - směr toku proudu (dva stavy),
- Dvou vodičové (signál-zem nebo diferenciální),
- Více vodičové (většinou oddělené řízení a data).

Příklady sériové komunikace: Morseova abeceda – telegrafie, RS-232, RS-422, USB, CAN-BUS, Ethernet a mnoho dalších.

Paralelní sběrnice

Paralelní komunikace nebo paralelní přenos je v telekomunikacích a informatice proces přenosu dat, kdy je několik bitů posíláno najednou (tj. několik zároveň) pomocí komunikačního kanálu nebo sběrnice. Paralelní komunikační rozhraní obsahuje několik drátů. Paralelní kanál obsahuje typicky další řídicí signály, jako jsou hodiny, které ukazují, že data jsou platná, a možná i další signály pro řízení toku a směrové řízení přenosu dat.

Příklady paralelních komunikačních systémů: počítačové sběrnice: ISA, ATA, SCSI, PCI a FSB univerzální měřicí systém GPIB [24]

Porovnání sériové a paralelní komunikace

Osmibitový paralelní kanál vysílá osm bitů (neboli jeden bajt) současně, zatímco sériový kanál posílá bity jeden za druhým. Pokud by byly oba kanály provozovány na stejné frekvenci, paralelní kanál by byl osmkrát rychlejší než sériový. Ještě před vysokorychlostními sériovými technologiemi, byla volba paralelního propojení přes sériové linky ovlivňována těmito faktory:

Rychlost - Na první pohled, rychlost paralelního datového spojení je rovna počtu bitů zasláných najednou krát přenosová rychlost každé jednotlivé linky. Zdvojnásobení počtu bitů odeslaných najednou, zdvojnásobuje rychlost přenosu dat. V praxi hodiny snižují rychlost každé linky podle nejpomalejší z nich.

Délka kabelu - Omezení paralelního přenosu je dáno vzdáleností, protože kterékoli zpoždění na některém z drátů znamená nesrozumitelný znak při příjmu. To klade horní limit na délku paralelního datového spojení, které je obvykle kratší než sériové připojení.

Složitost - Paralelní datová spojení, jsou snadno realizována v hardwaru, což je logickou volbou. Vytvoření paralelního portu v počítačovém systému je poměrně jednoduché, vyžaduje pouze klopný obvod na kopírování dat na datovou sběrnici. V kontrastu, musí být většina sériové komunikace nejprve převedena zpět do paralelní podoby univerzální pomocí asynchronního přijímače/vysílače (USART), před tím, než může být připojen přímo k datové sběrnici.

Klesající náklady na výrobu integrovaných obvodů v kombinaci s větší poptávkou spotřebitelů po rychlosti a délce kabelu, vedlo ke kritice paralelního přenosu ve prospěch přenosu sériového (například paralelní port IEEE 1284 (LPT) vs. USB, Parallel ATA vs. Serial ATA a SCSI vs. FireWire).

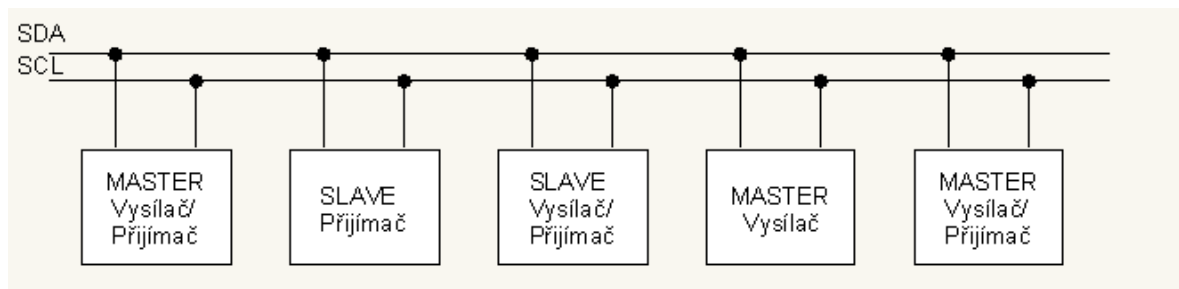
Na druhé straně, paralelní datový přenos našel uplatnění v rádiové komunikaci. Spíše než přenášet jeden bit za druhým (jako v Morseově abecedě). [22], [23], [24]

5.2 I²C

Sběrnice I²C (I²C-bus, Inter-IC-bus) je dvou vodičové datové propojení mezi jedním nebo několika procesory (Masters) a speciálními periferními součástkami (Slaves). Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány svými adresami. Adresy i data se přenášejí týmiž vodiči. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a bezproblémové dodatečné rozšiřování.

Protokol sběrnice

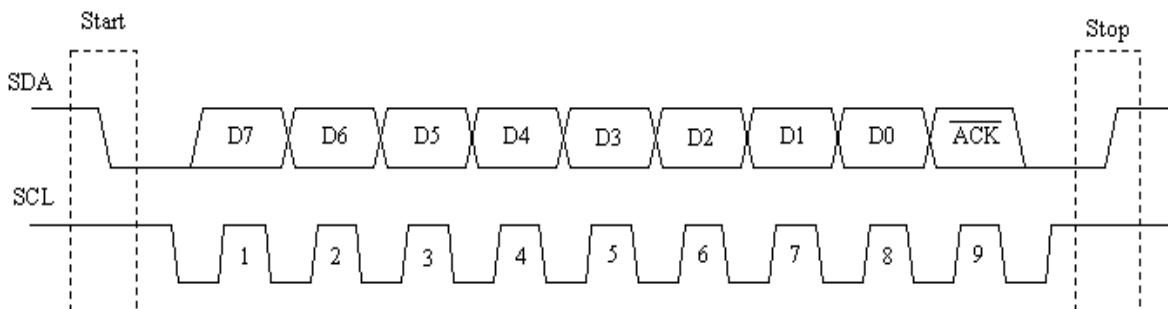
Mohou být připojeny všechny integrované obvody, které zvládají speciální protokol sběrnice. Mimo integrovaných obvodů RAM, EEPROM, obvodů pro rozšíření portů, A/D a D/A převodníků a obvodů hodinových signálů existuje ještě celá řada speciálních integrovaných obvodů, jako například budiče displejů nebo integrovaných obvodů pro televizní a audio techniku. Sběrnice I²C používá sériovou datovou linku SDA a linku hodinového signálu SCL. Data a adresy se přenášejí podobně jako v posuvných registrech společně hodinovými impulsy. Obě linky je možno používat jako obousměrné. Obr. 20 ukazuje princip propojení sběrnice. Neaktivní účastníci sběrnice mají vysokou impedanci, neustále však vyhodnocují signály na sběrnici. Je-li použit jen jeden master, vydává hodinový signál jen on. Data však může vysílat jak master, tak slave. [25]



Obr. 20: I²C komunikace.

Protokol I²C rozeznává řadu přesně definovaných situací, které každému účastníkovi umožňují rozeznat začátek a konec přenosu a také své možné adresování. Klidový stav, podmínka startu a podmínka stopu. Přenos začíná bitem s nejvyšší vahou.

Potvrzení (acknowledge) probíhá že příslušný přijímač potvrzuje příjem bytu nízkou úrovní na SDA, dokud master nevyšle devátý hodinový impuls na SCL. Potvrzení současně znamená, že se má přijímat další byte. Požadované ukončení přenosu se musí ohlásit neexistencí potvrzení. Vlastního ukončení přenosu se dosahuje podmínkou stopu. [25]



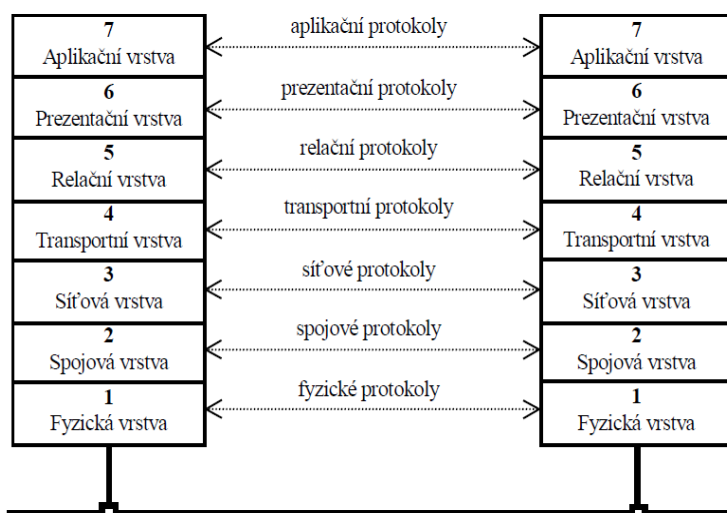
Obr. 21: I²C přenos.

Přenos a potvrzování adres se provádí přesně stejně jako přenos dat. V nejjednodušším případě přenosu dat od mastera k podřízenému zařízení (slave), např. výstupnímu portu, probíhají následující děje: master vyrobí podmínku startu a pak v bitech 7 až 1 přeneše adresu portu (součástky) a v bitu 0 požadovaný směr přenosu dat, totiž 0 pro "zápis". Podřízené zařízení (slave) adresu potvrdí. Pak master vyšle datový byte, který rovněž bude potvrzen. Master nyní může spojení přerušit zasláním podmínky stopu nebo může témuž zařízení slave posílat další byty.

ISO/OSI model

Obdobou OSI modelu je TCP/IP, u kterého můžeme říci, že vychází z OSI modelu, ale upravuje jej, aby byl více flexibilní. Podle OSI modelu je vždy možno komunikovat pouze s vrstvou nad nebo pod. A všechny vrstvy musí být v komunikaci obsaženy, což v řadě praktických úloh přináší zbytečnou zátěž (časovou i datovou).

Architektura ISO OSI – model ISO/OSI zachycuje vnitřní hierarchii činností, které zajišťují přenos dat mezi zařízeními. Činnosti, které musí probíhat, se dělí na sedm vrstev.



Obr. 22: Model ISO OSI.

Sběrnice CAN

Před patnácti lety, v únoru 1986, představila firma Robert Bosch GmbH na kongresu Společnosti automobilových inženýrů SAE (Society of Automotive Engineers) v Detroitu novou sběrnici – CAN. V současné době se sběrnice CAN stala jedna z nejrozšířenějších sběrnic, která se nepoužívá zdaleka jen v automobilovém průmyslu, pro nějž byla původně určena ke komunikaci mezi automobilovými řídicími jednotkami. Sběrnice nachází široké uplatnění v širokém spektru průmyslových aplikací..

CAN je sériový komunikační protokol vzniklý v laboratořích společnosti BOSCH. Umožňuje připojení jednotlivých systémů a senzorů. Její přesný popis a zároveň i standard je definován mezinárodní normou ISO-11898, kde je uvedena nejen specifikace elektrického rozhraní (fyzická vrstva), ale i specifikace datového protokolu (linková vrstva). Z obecného modelu komunikace se v případě sběrnice CAN využívá pro systémy distribuovaného řízení v reálném čase vrstva č.7 (Application Layer), která zprostředkovává služby nutné pro chod celého systému. Tyto služby nezahrnují jen distribuci aplikačních a řídicích dat, ale také i možnost konfigurace, správy a testování funkčnosti jednotlivých uzlů i celého systému. [26]

Ke sběrnici se přistupuje metodou CSMA/CD (CSMA – náhodný přístup k médiu, CD – detekce kolize přístupu), která zaručuje velmi rychlý průchod zpráv s vysokou prioritou (doba odezvy již od 100us pro přenosovou rychlost 1Mb/s). Pro své standardizované vlastnosti zejména pro datovou vrstvu se CAN používá i jako procesní sběrnice na úrovni PLC, IPC a řídicích systémů. Zpravidla se používá dvou vodičové vedení, ovšem někdy lze použít i optické vlákno nebo bezdrátový přenos. Sběrnice sama o sobě je symetrický nebo asymetrický dvou vodičový obvod, který může být odstíněný či neodstíněný. Dovoluje snadné nastavení (konfiguraci) systému a umožňuje centrální diagnostiku. Vysílané data nemají žádnou adresu, obsah zprávy je dán identifikátorem (ID), který je v celé síti jedinečný. Příjem zpráv může být mnohonásobný (jedna zpráva může být přijata několika zařízeními). Maximální rychlost přenosu je na sběrnici 1Mbit/sec.

Informace a naměřená data se budou odesílat po sběrnici CAN – komunikační protokol Canopen. Další komponenty uvnitř elektromobilu taktéž komunikují pomocí protokolu Canopen.

Další možné komunikace sběrnice jsou Lin a o něco rychlejší komunikační protokol FlexRay. [27]

5.3 Canopen

ISO 11898 specifikuje sériové komunikační technologie, tzv. Controller Area Network , který podporuje distribuované řízení v reálném čase a multiplexování pro použití v silničních vozidlech.

Nyní si proto popíšeme nejen tento protokol, ale také možnosti jeho využití ve spojení s USB-CAN adaptérem, který nyní nově CANopen podporuje.

Controller Area Network ve zkratce CAN je velmi zdařilá sběrnice pro kterou byla vyvinuta řada komunikačních standardů. Zřejmě nejzdařilejším je vyšší komunikační protokol CANopen definovaný organizací CiA (CAN in Automation) založenou sdružením výrobců a uživatelů CAN sběrnice. Organizace CiA vydala specifikaci CiA DS 301, která byla od verze 4.01 byla přijata jako norma EN 50325-4. Jedná se o široce konfigurovatelný standardní protokol pro vestavné řídicí sítě pro stroje a zařízení. V současné době je využíván v mnoha rozličných odvětvích v průmyslu, v lékařské technice, automobilech, námořních systémech, ve veřejné dopravě, při automatizaci ve stavebnictví. [28]



Obr. 23: Canopen.

CANopen

Aplikační vrstva CANopen a komunikační profil dle CiA DS 301 podporuje přímý přístup k parametrům zařízení a přenos jeho časově kritických procesních dat. Síťový management CANopen výrazně zjednodušuje návrh řídicích systémů, poskytuje síťové služby NMT, časovou synchronizaci procesů SYNC a TIME STAMP, zabezpečení provozu NODE GUARDING, chybová hlášení EMERGENCY, přenos řídicích dat PDO (Process Data Objects) a především poskytuje možnost rozsáhlých servisních nastavení prostřednictvím SDO (Service Data Objects).

Identifikátory protokolu CANopen

Každému komunikačnímu objektu je přiřazen jeden nebo více identifikátorů. Tento identifikátor definuje obsah přenášené zprávy a zároveň i prioritu zprávy při pokusu o její odeslání na sběrnici. Vyšší prioritu mají zprávy s nižší hodnotou identifikátoru. Přiřazení identifikátorů jednotlivým komunikačním objektům je jednou ze zásadních otázek při návrhu systému. K usnadnění návrhu jednoduchých sítí definuje protokol CANopen výchozí hodnoty identifikátorů pro všechny povinné objekty. Tyto hodnoty se inicializují v předprovozním stavu sítě, a je-li to nutné, lze je dále dynamicky modifikovat. [28]

Tab. 3: Seznam objektů s identifikátory protokolu CANopen.

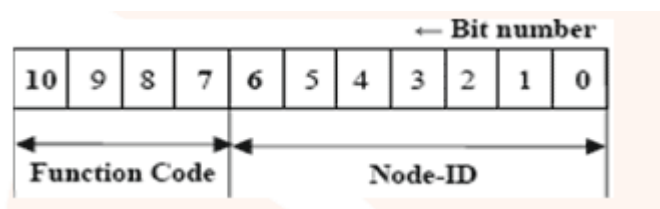
Broadcast objects of the CANopen Predefined Master/Slave Connection Set			
Object	Function code (ID-bits 10-7)	COB-ID	Communication parameters at OD index
NMT Module Control	0000	000h	-
SYNC	0001	080h	1005h, 1006h, 1007h
TIME STAMP	0010	100h	1012h, 1013h

Peer-to-Peer objects of the CANopen Predefined Master/Slave Connection Set			
Object	Function code (ID-bits 10-7)	COB-ID *	Communication parameters at OD index
EMERGENCY	0001	081h - 0FFh	1024h, 1015h
PDO 1 (transmit)	0011	181h - 1FFh	1800h
PDO 1 (receive)	0100	201h - 27Fh	1400h
PDO 2 (transmit)	0101	281h - 2FFh	1801h
PDO 2 (receive)	0110	301h - 37Fh	1401h
PDO 3 (transmit)	0111	381h - 3FFh	1802h
PDO 3 (receive)	1000	401h - 47Fh	1402h
PDO 4 (transmit)	1001	481h - 4FFh	1803h
PDO 4 (receive)	1010	501h - 57Fh	1403h
SDO (transmit/server)	1011	581h - 5FFh	1200h
SDO (receive/client)	1100	601h - 67Fh	1200h
NMT Error Control	1110	701h - 77Fh	1016h, 1017h

Protokol CANopen definuje všechny komunikační objekty spolu s nezbytnými informacemi o vlastnostech a funkčních schopnostech jednotlivých zařízení. Komunikační objekty jsou zařazeny v tzv. slovníku objektů (Tab.3. - Object Dictionary) uloženém v zařízení, které je součástí sítě, a sloužícím jako rozhraní mezi samotným zařízením a aplikačním programem. Každý komunikační objekt je dostupný prostřednictvím SDO (Service Data Objects) pomocí šestnáctibitového indexu, v případě objektů typu polí a záznamů (objektů složených s několika dalšími objekty) doplněného osmibitovým subindexem. [28]

Node ID

Zařízení pracující podle protokolu CANopen směřují používat jen identifikátory odpovídající komunikačním objektům podporovaným protokolem. Implicitní schéma přiřazení identifikátorů má funkční část, určující prioritu objektu, a část označenou jako Node-ID, která umožňuje rozlišovat mezi dvěma zařízeními plnícími stejnou funkci. Nastavení Node-ID je obvykle provedeno HW přepínačem. Rozsah Node-ID je 1 až 127. V případě nulové hodnoty Node-ID je zpráva adresována všem uzlům (All-Node ID). Identifikátor jednotlivých komunikačních objektů je označen zkratkou COB-ID (Communication Object ID) a pro 11bit CAN identifikátor má následující tvar: [28]



Obr. 24: Bitové rozložení identifikátoru.

NMT Control Object

Objekt poskytuje prostředky pro řízení stavu podřízených zařízení v CAN síti. Zpráva má díky nulovému identifikátoru nejvyšší prioritu. Zpráva se skládá ze dvou byte z nichž první Byte CS (Command Specifier) obsahuje příkaz a druhý Byte jednoznačnou identifikaci uzlu dle Node-ID.

Tab. 3: Identifikátor komunikačních objektů.

COB-ID	Byte 0	Byte 1
0x000	CS	Node-ID

Stavový model zařízení komunikujících podle protokolu CANopen obsahuje tyto stavy: inicializace (Initialization), předprovozní (Pre-operational), v chodu (Operational) a zastaveno (Stopped).

Tab. 4: Stavový mode zařízení.

Command Specifier	NMT Service
1	Start Remote Node
2	Stop Remote Node
128	Enter Pre-operational State
129	Reset Node
130	Reset Communication

Node Guarding Object

Správce sítě periodicky monitoruje přítomnost a stav Slave zařízení zasláním datových requestů, dotazů podřízeným zařízením s cílem zjistit, zda jsou aktivní. Podřízené zařízení odpovídá zprávou, která obsahuje informaci o jeho stavu a doplňkový (toggle) bit mění svoji hodnotu při každém dotazu. Doplňkový bit umožňuje zjistit, zda došla odpověď je odpovědí na aktuální dotaz. Z odvráceného pohledu může podřízené zařízení provádět kontrolní činnost Life-guarding řídicího zařízení s využitím pravidelnosti dotazů Node-guarding. Jestliže podřízené zařízení neobdrží tento dotaz do plynutí určené doby, oznámí tuto okolnost nadřazenému aplikačnímu programu, který na ni může zareagovat. [28]

Sync Object

Tato zpráva slouží pro synchronizaci měření a zasílání hodnot vstupních veličin uzlů. Základní taktování sítě zajišťuje SYNC Object (objekt SYNC), periodicky vysílaný jedním ze zařízení. Perioda vysílání této zprávy je definována ve slovníku objektů (Communication Cycle Period Object) a může být nastavována konfiguračním nástrojem při uvádění zařízení do provozu. Při vysílání objektu SYNC může dojít k jeho zpoždění v důsledku přítomnosti jiných objektů s identifikátory s větší prioritou v síti. Objekt SYNC se skládá z jedné CAN zprávy. [28]

Tab. 5: Objekt SYNC.

COB-ID
0x080

Time Stamp Object

Časová značka (Time Stamp Object) je objekt poskytující zařízením informaci o aktuálním datu a aktuálním čase. Zpráva má délku 6 Byte a obsahuje počet milisekund od půlnoci a počet dnů od 1. ledna 1984. Časové značky jsou vysílány jedním ze zařízení a neodpovídá se na ně.

Emergency Object

Zpráva je zaslána v případě vzniku závažné chyby v zařízení. Díky nízké hodnoty COB-ID má zpráva vysokou prioritu. Informace o chybách je uložena v Error registru (0x1001). Zpráva obsahuje rezervovanou oblast pro rozšířenou specifikace chyby.

Tab. 6: Objekt COB-ID informace o chybách.

COB-ID	Byte 0-1	Byte 2	Byte 3-7
0x080 + Node_ID	Emergency Error Code	Error Register (Object 0x1001)	Manufacturer specific error field

Bitová mapa chybového hlášení z Error registru (0x1001)

Tab. 7: Error Register.

Bit	Error type
0	generic
1	current
2	voltage
3	temperature
4	communication
5	device profile specific
6	reserved (=0)
7	manufacturer specific

PDO Object

Zprávy PDO (Proces Data Objects) přenášejí technologická data. Každý PDO musí mít unikátní identifikátor CAN a může být vysílán pouze jediným uzlem sítě, přičemž přijat může být libovolným počtem zařízení. Vyslání zprávy s PDO může být inicializováno vnitřní událostí, vnitřním časovačem, požadavky vznesenými jinými zařízeními v síti nebo přijetím synchronizační zprávy. [28]

Tab. 8: PDO – Přenášení technologických dat.

COB-ID	Byte 0	Byte 1	Byte 2
0x280 + Node ID	8-bits digital in	LSB 16-bit analog in	MSB 16-bit analog in

SDO Object

Objekty nesoucí servisní data (Service Data Object – SDO) neboli servisní objekty (SDO) umožňují číst a zapisovat jednotlivé položky slovníku objektů (OD). Protokol pro přenos SDO dovoluje přenášet objekty libovolné délky. Je-li objekt delší než čtyři bajty, je rozdělen do několika CAN zpráv zvaných segmenty nebo skupin CAN zpráv zvaných bloky. První bajt prvního segmentu obsahuje bity nezbytné pro komunikaci a ošetření chyb rámce SDO. Následující tři bajty obsahují index a subindex položky slovníku objektů, která je čtena nebo zapisována. Zbývající čtyři bajty jsou k dispozici pro přenos uživatelských dat. [28]

Tab. 9: PDO – Přenášení technologických dat

Byte 0	Byte 1-2	Byte 3	Byte 4-7
SDO Command Specifier	Object Index	Object Subindex	**

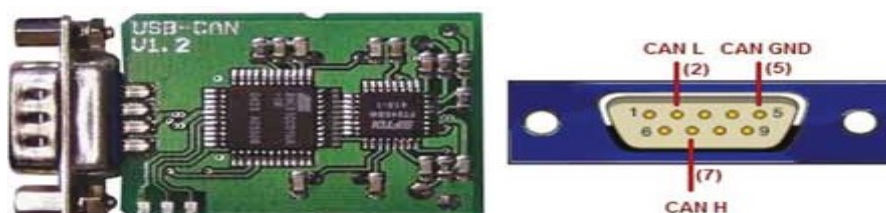
Druhý a další segmenty (zprávy CAN se stejným identifikátorem CAN) obsahují bajt řídicí komunikaci, následovaný až sedmi bajty uživatelských dat. Příjemce segmentu nebo bloku segmentů musí jeho příjem signalizovat odpovědí.

USB-CAN Adapter

USB-CAN převodník je zařízení určené zejména pro snadné dynamické ladění CAN aplikací a pro okamžitou a přehlednou diagnostiku CAN linky. Převodník je řízen prostřednictvím sběrnice USB z aplikace USB-CAN adapter, z vlastní uživatelské aplikace vytvořené modifikací aplikace CAN Start ve vývojovém prostředí Delphi nebo nově s použitím Dll knihovny.

Hardwarové řešení převodníku je založeno na obvodu FTDI FT245BM, mikroprocesoru Atmel T89C51CC01 a budiči PCA80C251(High), PCA80C252(Low) nebo L9615(High/Low speed). Integrovaný mikroprocesor s vyrovnávací pamětí výrazně snižuje zatížení operačního systému při zpracování zpráv přijatých z CAN linky a současně umožňuje velmi přesné nezávislé vysílání až 8 paralelních zpráv současně s rozlišením 1ms.

Pro široké použití a význam protokolu CANopen byla jeho podpora nově implementována do aplikace USB-CAN adaptéru (viz. obr.27.). Aplikace poskytuje veškeré nástroje pro řízení jednoho Slave zařízení komunikujícího dle standardu CANopen CiA DS 301. Umožňuje vysílání, příjem a zpracování objektů (zpráv) NMT, PDO a SDO. Časování periodických zpráv je volitelné od 10ms do 10s. Konfiguraci signálů zobrazených v panelu PDO object je nutné předem provést prostřednictvím okna Signals database configuration nebo přímo při volbě signálu ke zobrazení.



Obr. 25: USB – CAN Adapter. [28]

6. Možnosti vizualizace – zobrazení

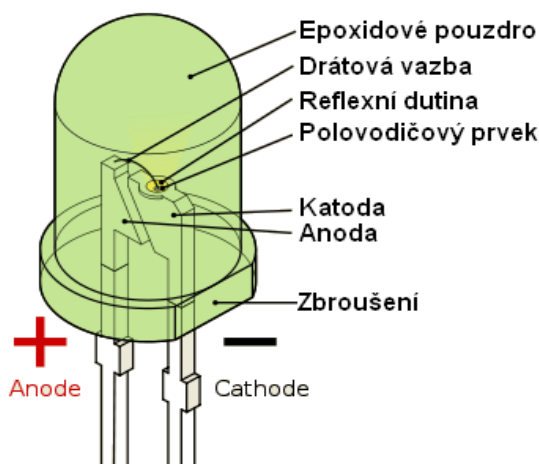
Pod pojmem vizualizace se rozumí zobrazování skutečnosti, jejichž výsledky jsou znázorněny a jsou vnímány pomocí zrakových receptorů. Vizualizace slouží k lepší názornosti dané věci, nebo objektu. K zobrazení skutečných hodnot nebo objektů je možné použít např., Obrazovky, Displej, signalizační světla nebo zvuky, softwarové prostředky, vše co nám je schopno sdělit určitou informaci. Já se zabývám zobrazením změřených hodnot při dobíjení elektromobilu, kde jsou změřená data zpracována a potřebná zobrazena na Grafický displej. Důležitou veličinou je příkon, tedy množství spotřebované energie při nabití. Zobrazením docílíme možnost kontroly přímo ve voze a následné zjištění ceny dobité energie, spotřeby a dalších údajů. Průběh a stav dobíjení baterie elektromobilu je doprovázen podsvícením zásuvky pomocí RGB Led diod pro snazší kontrolu a manipulaci stavu nabíjení.

6.1 Podsvícení zásuvky s využitím RGB led diod

Hlavním použitým prvkem jsou rgb led diody podobné klasickým led diodám, které vytváří světelný efekt podle stavu nabíjení. Stav nabíjení je zpracováván mikrokontrolérem lm3S8962 Stellaris a následně rozsvící pomocí řízeného PWM signálu dané barvy led diod podle aktuálního průběhu nabíjení Jsou umístěny přímo v zásuvce, která je v zadní části vozidla.

Led dioda:

Svítící LED (z anglického názvu Light-Emitting Diode - dioda emitující světlo) slouží dnes v mnoha odvětvích, nejčastěji jako indikátor. Je to elektronická polovodičová součástka, je tvořena ze dvou vodičů – anoda a katoda jsou zastavěné v průhledném plastovém pouzdře s vypuklým vrchem, což umožňuje aby se světlo rozptylovalo. Princip je podobný jako u klasické polovodičové diody, která obsahuje přechod P-N. Na rozdíl od klasických diod, LED vyzařuje viditelné světlo, infračervené případně UV v úzkém spektru. Jako polovodič je použit Křemík, Germánium, Galenit arsenu, prvek který za určitých podmínek vede nebo nevede elektrický proud. [30]



Obr. 26: Popis led diody.

Prochází-li přechodem elektrický proud v propustném směru, přechod vyzařuje (emituje) nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Může emitovat i jiné druhy záření. Tento jev je způsoben elektroluminiscencí. Když je dioda zapojena opačně než má být, říkáme že je zapojena v závěrném směru a neprochází skrz ní téměř žádný proud a ani nevyzařuje žádné světlo.

Při nedodržení propustného napětí, které je přibližně od 0,5V do 3V v závislosti na použité barvě se může stát, že diodu spálíme. Proud v propustném směru u nízkopříkonových LED se pohybuje od 1-2 mA, u standardních LED 10~25 mA až po proudy nad 1 A u speciálních LED používaných v osvětlovací technice.

Vysvětlivka:

- Koherentní světlo (lasery)
- Nekoherentní světlo (spontánní záření s chaoticky měnící se fází)

Oproti jiným elektrickým zdrojům světla (žárovka, výbojka, doutnavka) mají LED tu výhodu, že pracují s poměrně malými hodnotami proudu a napětí. Z toho vyplývá jejich užití v displejích (ve tvaru cifer a písmen – digitální budík). Kombinací LED základních barev (červená, zelená, modrá) je možno získat i barevné obrazovky.

Možnosti regulace jasu LED - Obecně platí čím více proudu, tím více světla. Nejjednodušší (a nejčastější) způsob nastavení proudu diodou je pomocí předřadného odporu (který je zapojen v sérii s diodou LED). K regulaci jasu LED je možné použít i jednoduchý regulátor s tranzistorem, až po trochu složitější pulzně šířkový modulátor - PWM.

Zajímavostí je, že každá barva potřebuje ke svému vyzařování rozdílné hodnoty napětí, které vidíme v tabulce.

Tab. 10: Úrovně napětí a vlnová délka pro Led diody.

	Napětí(V)	Vlnová délka(nm)
Infračervená	<1,9	>760
Rudá	1,63 - 2,03	610 - 760
Oranžová	2,03 - 2,10	590 - 610
Žlutá	2,10 - 2,18	570 - 590
Zelená	1,9 - 4	500 - 570
Modrá	2,48 - 3,7	450 - 500
Fialová	2,76 - 4	400 - 450
Ultrafialová	3,1 - 4,4	< 400
Bílá	3,5	Celé spektrum

RGB led dioda:

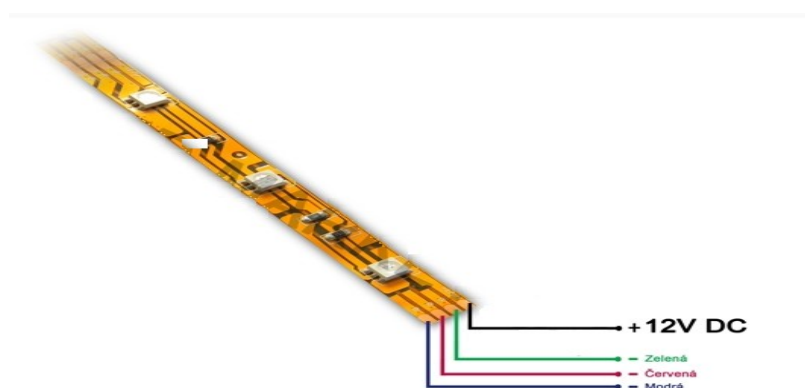
Postupem času se přišlo na to, že kombinací základních barev ze složky RGB (červená, zelená, modrá) je možno získat i barevné odstíny, tedy za použití 3 LED diod vedle sebe, které tvoří jeden obrazový bod u plochých displejů OLED. Pokud bychom potřebovali barvu změnit, stačí u diod snížit, nebo zvýšit jejich jas, čehož docílíme změnou napětí. RGB LED vypadá jako normální LEDka, jenže má 4 vývody, z nichž jedna je společnou anodou nebo katodou (podle typu).

Pro řízení RGB LED se používá obvykle tříkanálová PWM, jednodušší variantou je řízení pomocí součástek, stačí tři oscilátory s nastavitelnou střídou. [31]

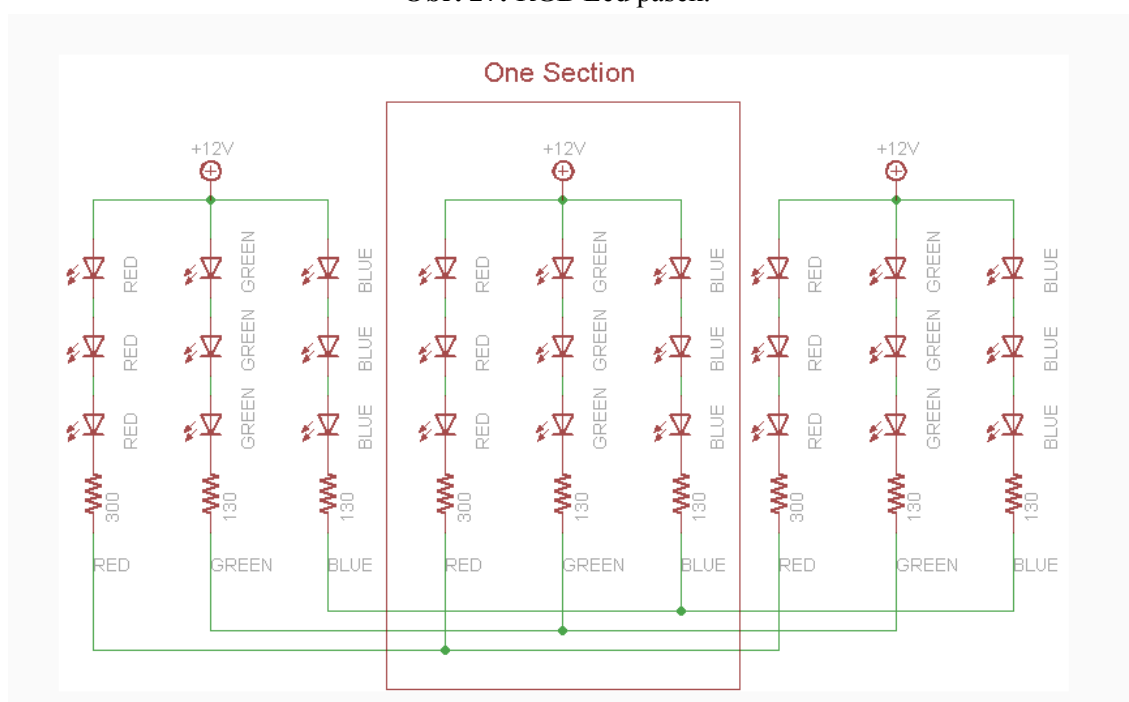
Tab. 11: RGB barevný model.

R	G	B	Barva
0	0	0	Černá
1	0	0	Červená
0	1	0	Zelená
0	0	1	Modrá
1	1	0	Žlutá
1	0	1	Purpurová
0	1	1	Azurová
1	1	1	Bílá

Já jsem použil RGB Led pásek, kde jsou rezistory připojeny k jednotlivým vývodům SMD Led diody pro docílení požadované základní barvy a následné svícení v poměrně širokém spektru barev. Celé je to chráněné gumovým pouzdrům. Výhodou je dobrá ochrana proti okolním vlivům, ohebná mechanická konstrukce, snadné využití.



Obr. 27: RGB Led pásek.



Obr. 28: Schéma RGB led diod. [31]

Pulsně šířková modulace

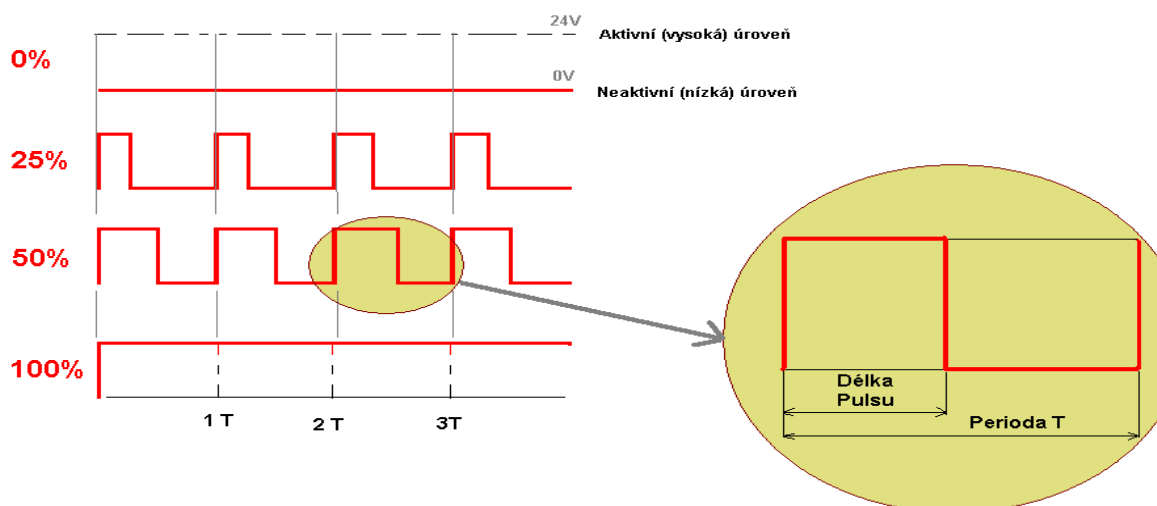
Pulsně šířková modulace, neboli PWM (Pulse Width Modulation) je diskretní modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu. Jako dvouhodnotová veličina může být použito například napětí, proud, nebo světelný tok. Signál je přenášen pomocí střídy. Pro demodulaci takového signálu pak stačí dolnofrekvenční propust. Vzhledem ke svým vlastnostem je pulsně šířková modulace často využívána ve výkonové elektronice pro řízení velikosti napětí nebo proudu. Kombinace PWM modulátoru a dolnofrekvenční propusti bývá rovněž využívána jako levná náhrada D/A převodníku.[35]

PWM signál:

- Může být použita pro přenos dat
- Nebo pro řízení výkonu dodaného nějakému spotřebiči (např. topení)
- Jednoduchá náhrada Digitálně-Analogového (D/A) převodníku.

Princip PWM:

- Signál s konstantní periodou T
- Mění se délka pulsu (aktivní úrovně) v rámci každé periody



Obr. 29: PWM signál.

Střída (Duty cycle) je poměr mezi délkou pulsu a délkou periody signálu.

Příklady:

- $T = 2 \text{ s}$, puls dlouhý $0,2 \text{ s}$ Střída: $0,2 / 2 = 0,1 = 10\%$
- $T = 2 \text{ s}$, puls dlouhý 1 s Střída: $1 / 2 = 0,5 = 50\%$

Použití PWM

Řízení výkonu topení

Signál se střídou např. 50% znamená, že se dodává poloviční příkon, topení topí na 50% max. výkonu.

Řízení jasu žárovky nebo LED

Pokud je perioda dostatečně malá (např. 10 ms), oko nevnímá, že LED vlastně bliká, zdá se, že svítí. Jas je úměrný délce pulsu. Pokud je perioda delší (např. 1 s), řídí PWM délku bliknutí – použití pro různé blikače.

Řízení otáček stejnosměrných motorů

Frekvence PWM v řádu kHz (perioda pod 1 ms). Protože PWM spíná plné napětí, má motor velký výkon i při nízkých otáčkách – na rozdíl od řízení otáček snížením napětí.
Přenos dat

Např. dlouhý puls znamená log. 1 a krátký puls znamená log. 0.

Realizace PWM na mikropočítači

- a) Hardwarově – jako funkce časovače
- b) Softwarově – přepínáme digitální výstup v požadovaných časových okamžicích.

PWM LEDkou protékají krátkodobé impulzy proudu. Tyto impulzy se přivádějí v daleko vyšší frekvenci, než je lidské oko schopné zachytit, takže LEDka vypadá jako by svítila trvale. Změnou střídy pak měníme jas. Jedná se o řešení používané zejména v zapojeních s mikrokontroléry.

6.2 Displej – funkce a druhy

Pro skutečnou realizaci je zde celkem velká škála displejů. Např. Odporové, Povrchových akustických vln, Kapacitní, Povrch kapacitní, Infračervené, optické zobrazování a nebo dotykové. Displej z tekutých krystalů (anglicky liquid crystal display, zkratkou LCD) je tenké a ploché zobrazovací zařízení skládající se z omezeného (velikostí monitoru) počtu barevných nebo monochromatických pixelů seřazených před zdrojem světla nebo reflektorem. Vyžaduje poměrně malé množství elektrické energie; je proto vhodné pro použití v přístrojích běžících na baterie. Jako nejvhodnější připadá dotykový LCD display (Touchscreen).

Dotyková obrazovka je elektronický zobrazovací, že dokáže detekovat přítomnost a umístění dotek uvnitř zobrazovací plochy. Termín obecně se odkazuje na dotyku displeje zařízení s prstem nebo rukou. Dotykové obrazovky jsou běžné v zařízeních, jako jsou all-in-one počítače, počítače Tablet a smartphonů.

Technologie výroby grafických LCD displejů. Dobrých optických parametrů lze dosáhnout technologií STN, která se používá např. v řádkových LCD. Podstatně vyšší kontrast při jen mírně vyšších nákladech nabízí modernější technologie FSTN. Jde o black & white zobrazení, kde je téměř černý nebo temně modrofialový bod umístěn na bílém podsvíceném podkladu. Pokud budete mít možnost porovnávat dva stejné displeje s technologií STN a FSTN, určitě nebudete nad brilantním FSTN displejem váhat. [29]

7. Příprava a realizace

Před začátkem testování a měření na vývojové desce s integrovaným obvodem ADE7878 určené k měření spotřeby jsem se musel ujistit o správném nastavení propojek a jumperů. Rozhodl jsem se použít Rogowského cívky jako proudový senzor. Důvodem byla malá velikost konstrukce, malá hmotnost a malé cenové náklady. Jelikož je samotná Rogowského cívka velice těžko prodejně dostupná, bylo m s 300 závitů. Zkoušel jsem i menší počet závitů ale výstupní signál z cívky byl nevyhovující. Rozměry byly ovlivněné použitím, aby vně cívky mohl procházet vodič použitý v elektromobilu. Experimentálně jsem ověřil různé velikosti konstrukce, hlavní vliv měla tloušťka drátu a počet závitů.

Z rozměrů cívky můžeme určit vzájemnou indukčnost cívky:

$$M = \frac{\mu_0}{2\pi} nW \cdot \ln \frac{b}{a} = \frac{4\pi \cdot 10^{-3}}{2\pi} \cdot 300 \cdot 0,004 \cdot \ln \frac{0,014}{0,01} = 807 \mu H$$

kde: M je vzájemná indukčnost [H]

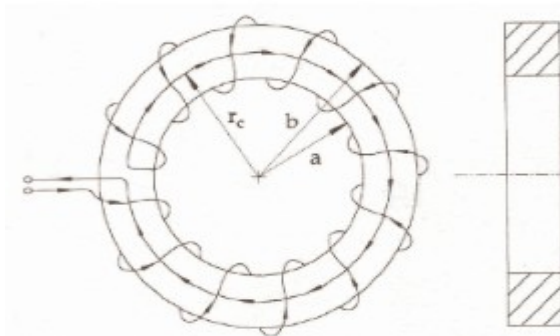
μ_0 je permeabilita vzduchu [H/m]

n je počet závitů

W je tloušťka jádra [m]

b je vnější poloměr jádra [m]

a je vnitřní poloměr cívky [m]



Obr. 31: Rozměry Rogowského cívky.

Vyrobil jsem 3 cívky pro jednotlivé fáze. Změřil jsem si výstupní napětí na cívce, které je úměrné derivaci měřeného proudu, je tedy nutné následně integrovat toto napětí o to se stará ADE7878, kde jenom povolíme zapnutí integrátoru.



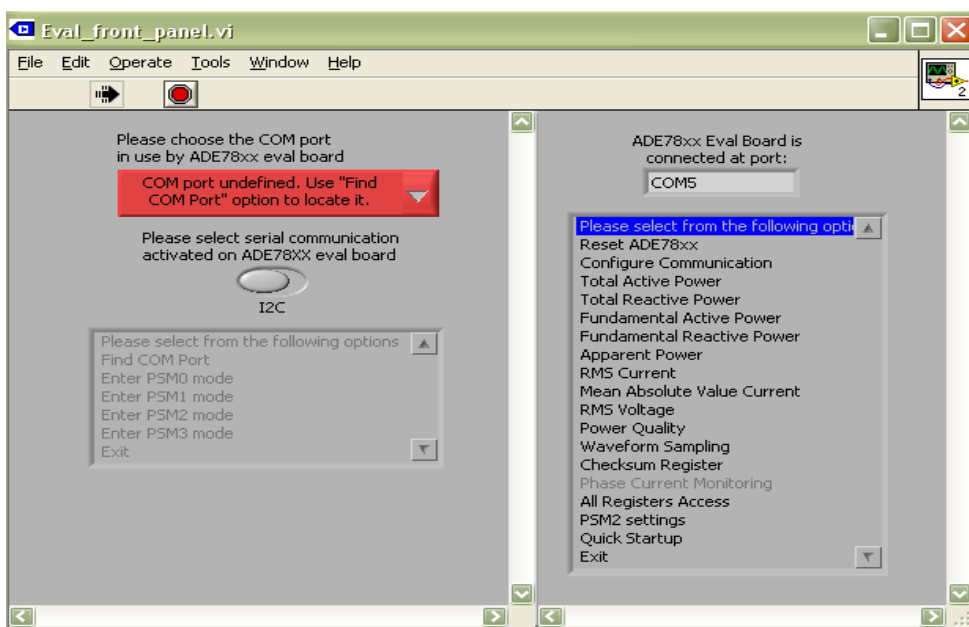
Obr. 32: Vyrobená Rogowského cívka.

K měření spotřeby je nutná zátěž realizovaná provizorně pomocí žárovky napájené transformátorem s výstupním napětím $U = 12 \text{ V}$ a proudem $I = 4 \text{ A}$. Na napěťovou svorku P6 a pracovní kanál (N) a na svorce P5 jsem připojil vývody ze žárovky. Pro měření tří fází jsem přemostil fázi A na zbylé dvě fáze B, C do svorky P7 a P8. Vodiče mezi zdrojem a zátěží jsem protáhl Rogowského cívkami, které jsem připojil na konektory P1 – P3.

Po připojení dvou zdrojů s napětím $U = 3,3 \text{ [V]}$, proudových snímačů a zapojení vodičů ze zátěže do napěťových svorek, jsem mohl začít měřit a testovat výrobek pomocí konfigurace v přiloženém softwaru. Před zapnutím je důležité zkontrolovat správnost zapojení, nastavení jumperů a propojek podle přílohy č. 2.

Nastavení a testování kitu:

Po spuštění softwaru se otevře přední panel. Tento panel obsahuje tři oblasti, hlavní menu na levé straně, výběr funkcí na pravé straně a okno, které zobrazuje jméno komunikačního portu používaného pro připojení k PC. V základním nastavení je použita komunikace SPI, já jsem využíval I^2C sběrnici. Tlačítkem Find COM Port (COM port slouží k připojení počítače s vývojovým kitem) program zobrazí seznam aktivních COM portů.



Obr. 33: Přední panel softwaru.

Zvolil jsem režim PSM0, který umožňuje plně využívat všechny možnosti. Kalibraci vstupních kanálů provedeme ve funkci Total Active Power nastavením proudového zesílení PGA, PGB, PGC na hodnotu 8. Měřené hodnoty napětí byly téměř stejné jako reálné, ale proudové kanály se museli vynásobit konstantou v registru AIGAIN, BIGAIN, CIGAIN podle vzorce:

$$\text{Current Waveform} = \text{ADCOutput} \times \left(1 + \frac{\text{Content of Current Gain Register}}{2^{23}} \right)$$

$$4 = 115271 \times \left(1 + \frac{x}{2^{23}} \right)$$

$$4 \cdot 2^{23} = 115271 \cdot 2^{23} + 115271x$$

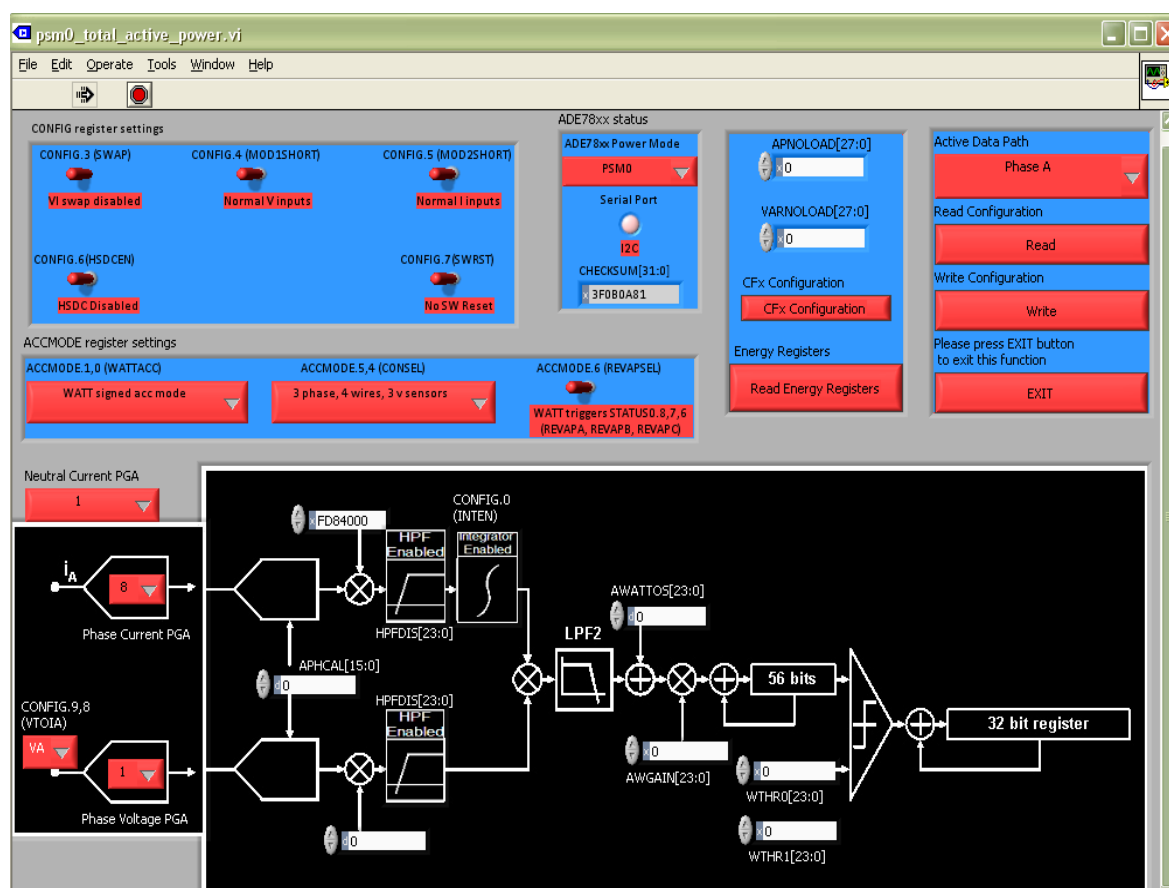
$$x = 838317_d = \text{CCAAC}_h$$

kde: Current Waveform je skutečný proud procházející vodičem [A]
 ADCOutput je naměřená hodnota ve vývojovém software [-]
 Content of Current Gain Register je požadovaná hodnota [mA]

Nastavení zjištěných GAIN vstupních signálů :

- AIGAIN = FD84000
- BIGAIN = FCF4000
- CIGAIN = FCC4000

Hodnoty GAIN registrů byli upraveny a doladěny podle rms hodnot proudu aby se co nejvíce shodovali s hodnotami měřenými pomocí digitálního multimetru a klešťového měřáku. Kalibrace GAIN vstupů je důležitá pro správnou a přesnou činnost měřiče spotřeby. Je vhodné upravit hodnoty přímo pro dané zařízení, abychom dosáhli co nejpřesnějších výsledků. Při použití Rogowského cívek jsem musel aktivovat integrátor INTEN0 v CONFIG0 registru. Aby hodnoty spotřeby byly měřeny správně, je nutné nastavit registr LCYCMODE na hodnotu 0.

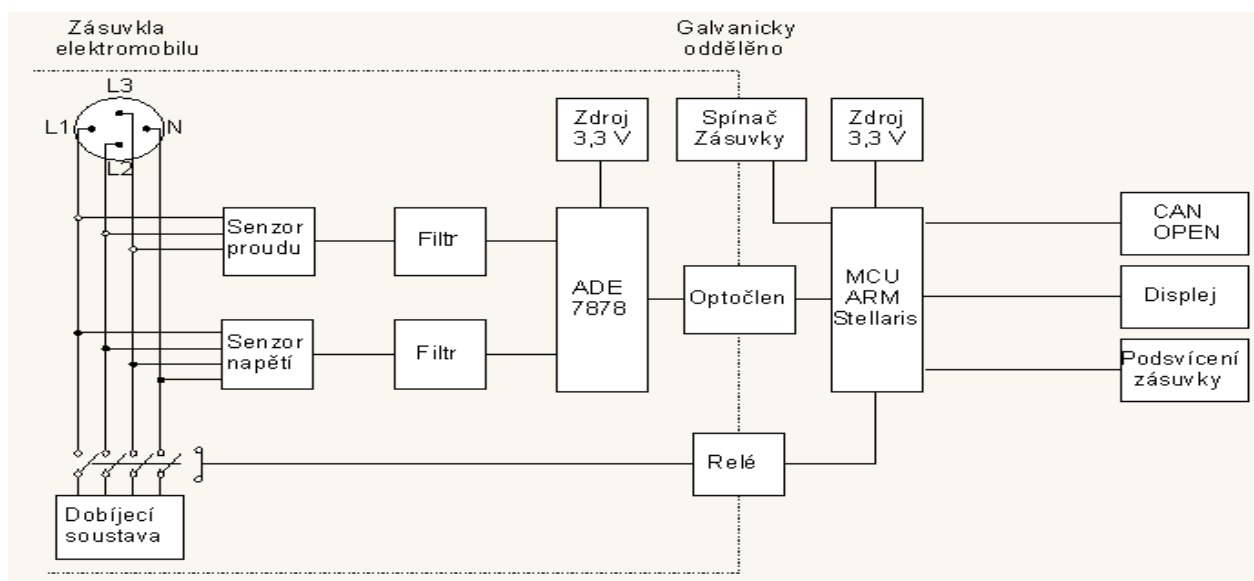


Obr. 34: Panel pro nastavení měření příkonu

V příloze 3 a 4 jsou vidět naměřené rms hodnoty napětí, proudu. Po ověření a nastavení funkcí vývojového kitu jsem mohl zahájit vlastní výrobu elektroměru a propojení s vybraným mikrokontrolérem, který spustí a nastaví přes sběrnici I²C integrovaný obvod ADE7878 aby bylo zahájeno měření spotřeby a následná vizualizace a odeslání hodnot pomocí sběrnice CANopen. Návrh jsem přizpůsobil pro použití do elektromobilu, a proto byla důležitá velikost zařízení, tak jsem zvolil většinu součástek v SMD provedení.

7.1 Blokové schéma

Na začátku je dobíjecí stojan, z něho je připojena přes spínací kontakty zásuvka do elektromobilu. Spínací kontakty jsou sepnuty nebo rozepnuty řídicí jednotkou ve stojanu. Sepnutí je podmíněno signálem z RFID čtečky. Např. jedním ze způsobů spuštění dobíjení je přiložení karty a zadáním pinu na klávesnici stojanu. Na fáze jsou připojeny senzory proudu a napětí. Jako senzory proudu jsou použity Rogowského cívky a jako senzory napětí jsou použity děliče napětí. Za senzory je použit antialiasing filtr, který je tam z důvodu odfiltrovat frekvence vyšší než je schopný A/D převodník zpracovat. Za antialiasng filtrem je připojen ADE7878, který je napájen zdrojem 3,3V. Celý měřicí obvod je galvanicky oddělen optočlenem ADUM1250. Za ním je vyvedena pin lišta pro připojení vývojového kitu Stellaris LM3S8962 a napájecího napětí. Mikrokontrolér řídí měření a zobrazení spotřeby na displej a následné odesílání hodnot. Zásuvka elektromobilu je podsvícena podle stavu nabíjení.

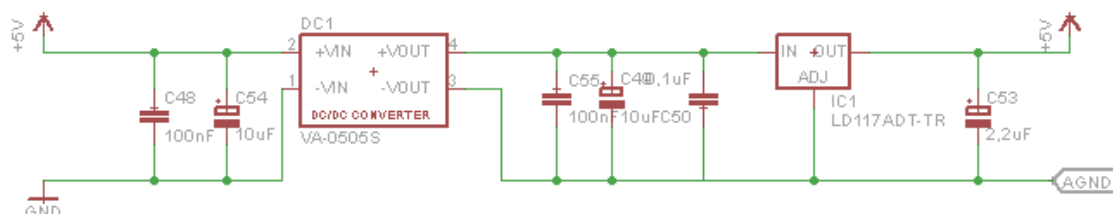


Obr. 35: Blokové schéma řešení.

7.2 Schéma

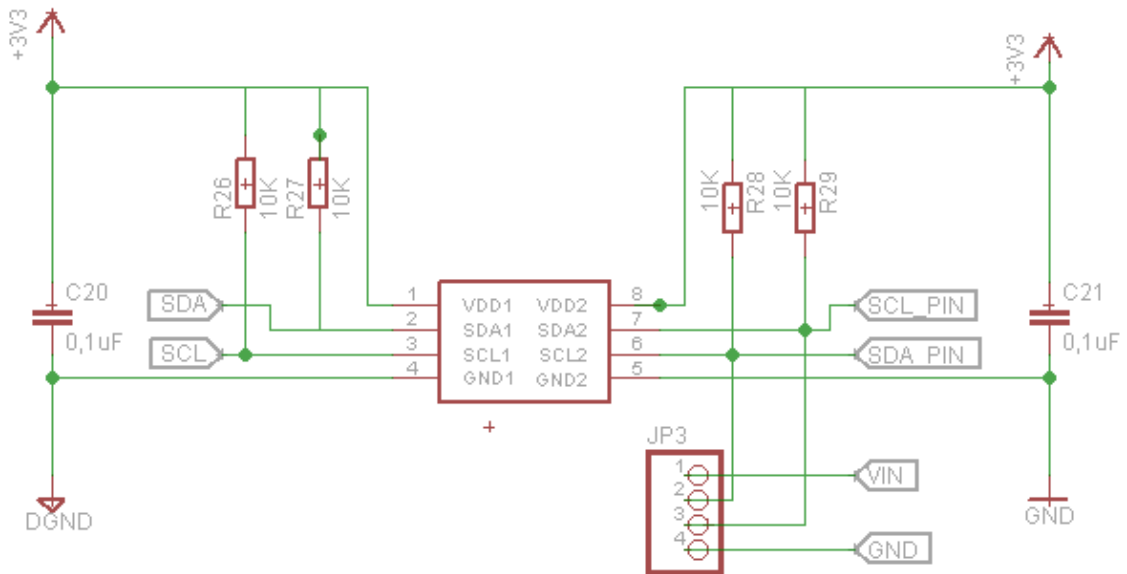
Schéma a desku plošných spojů jsem navrhl v programu Eagle 7.0 Professionall. Většinou jsem čerpal z datasheetu o vývojovém kitu, kde jsem využil části potřebné pro mé měření.

Na Obr. 36. je zobrazen návrh zdroje pro ADE7878. Na port VIN + a - se připojí zdroj na 5 V (pro případné připojení na PLC). DC1 je galvanické oddělení a na jeho výstupních svorkách je napětí 5V. Potom je připojen stabilizátor napětí, na jehož výstupu je 3,3V. Filtrační kondenzátory jsou zapojeny podle doporučeného zapojení výrobce.



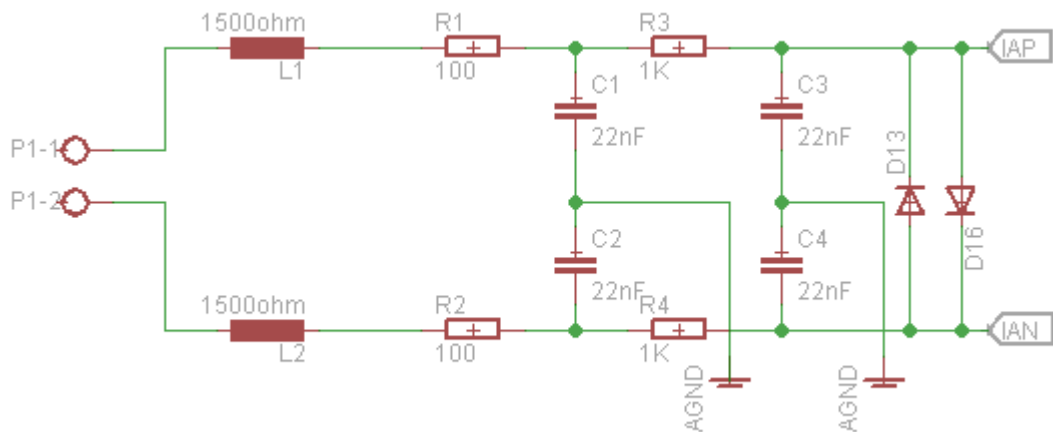
Obr. 36: Zdroj napájení pro ADE7878.

Na obr. 37 je zapojení galvanického oddělení ADUM1250ARZ měřicího čipu od MCU. Na JP3 jsou přivedeny datové cesty SCL SDA, které se propojí přes piny s MCU. Zbylé dva piny jsou pro napájecí napětí.



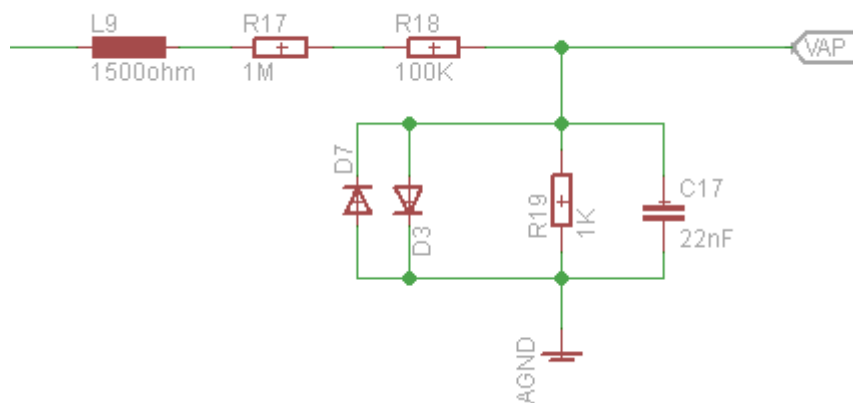
Obr. 37: Galvanické oddělení, výstup dat pro I^2C a napájení.

Na Obr. 38: Antialiasing filtr pro proudový vstup je návrh antialiasing filtru pro proudový vstup se dvěma diodami, které chrání ADE7878 před přepětím V celkovém zapojení jsou tyto filtry čtyři (pro každou fázi jeden).

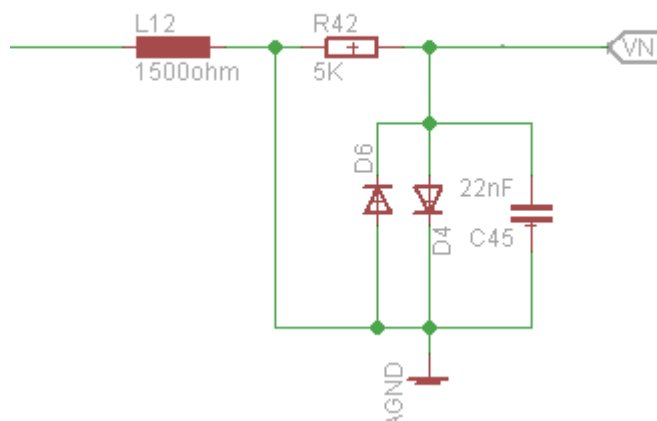


Obr. 38: Antialiasing filtr pro proudový vstup.

Na Obr. 39 je zobrazen dělič napětí pro fázi A. Celé napětí sítě je na dvou rezistorech. Dva rezistory jsou použity proto, že je použita SMD technologie a tím se celé napětí rozdělí mezi ně. Dále jsou použity ochranné diody, které chrání ADE7878 před přepětím.

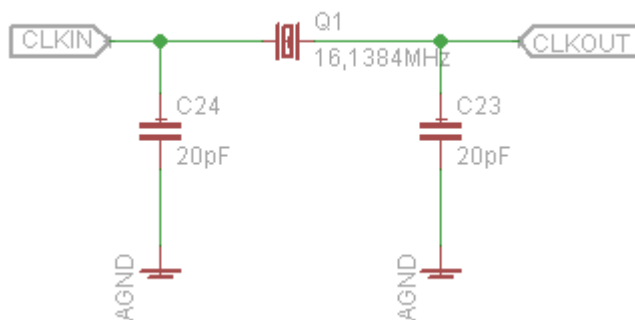


Obr. 39: Dělič napětí ochranou ADE7878.



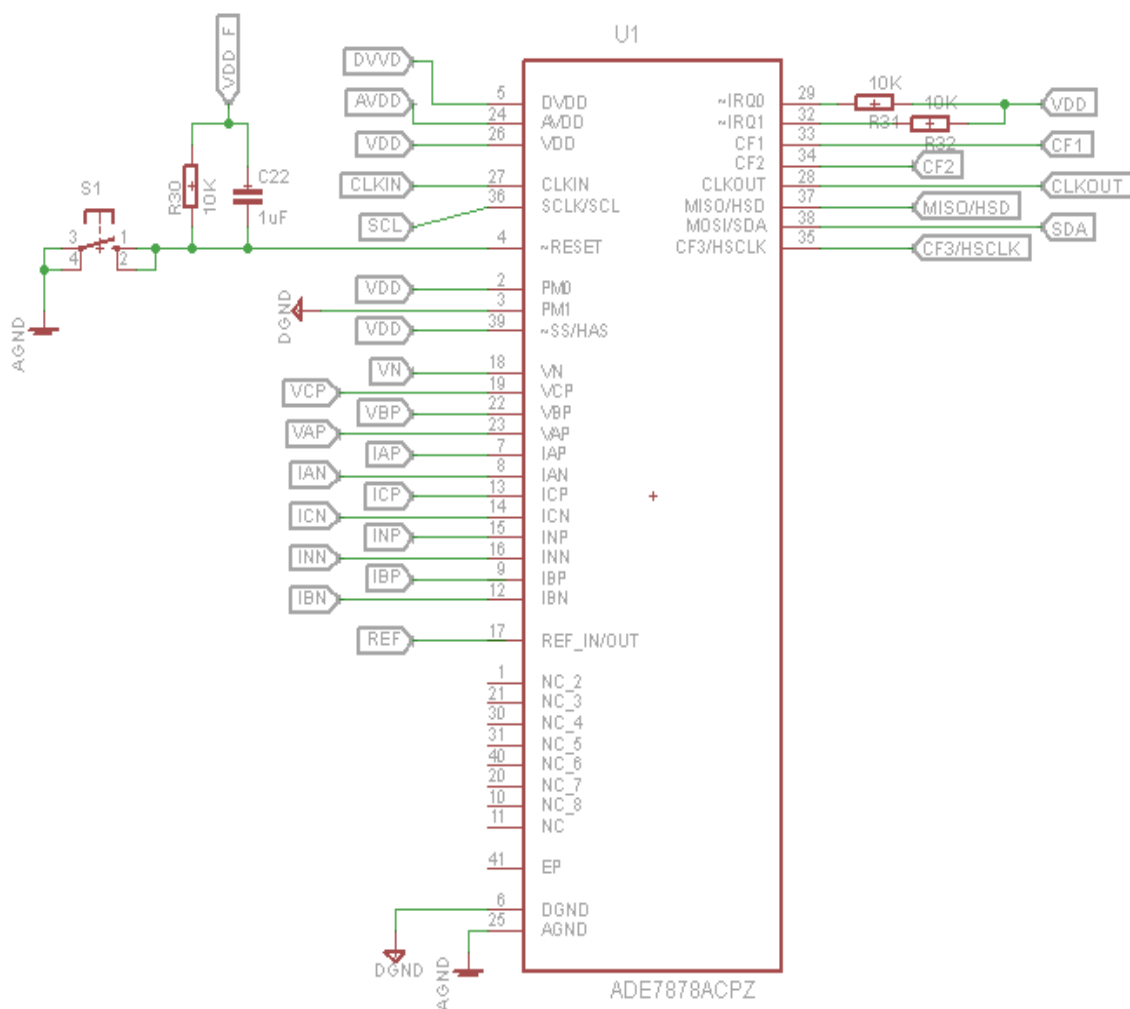
Obr. 40: Dělič napětí pro pracovní vodič N.

Na obr. 40: je schéma zapojení krystalu k ADE7878



Obr. 41: Oscilátor k ADE7878.

Na Obr. 42 je zapojení ADE7878, ke kterému jsou připojeny proudové a napěťové vstupy. Dále je hardwarově nastavený normální režim, kde PM0 a SSB/HSA jsou připojeny na napětí 3.3 V (logická 1) a PM1 je připojeno na digitální zem pro připojení logické 0. Dále je vidět připojení resetu, oscilátoru a výstupních dat. Schéma zapojení mikrokontroléru je v příloze č. 1.

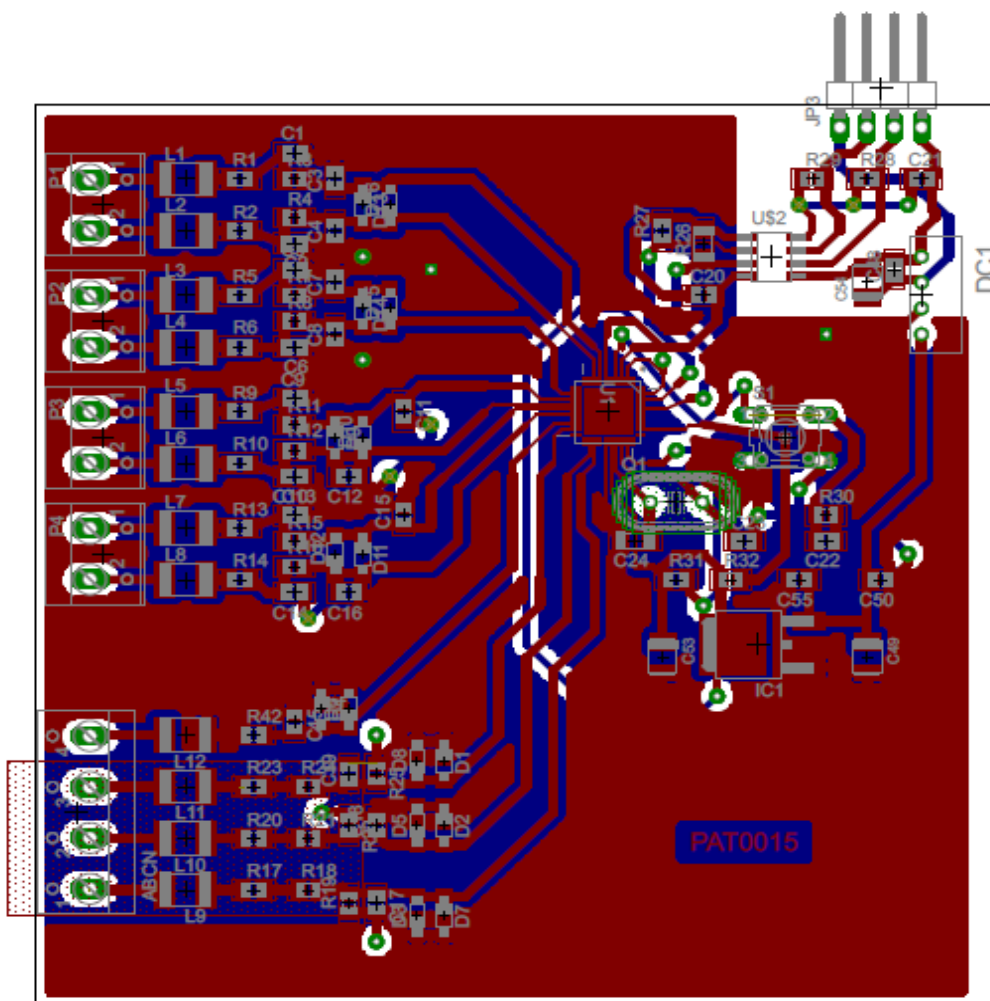


Obr. 42: Zapojení IO ADE7878.

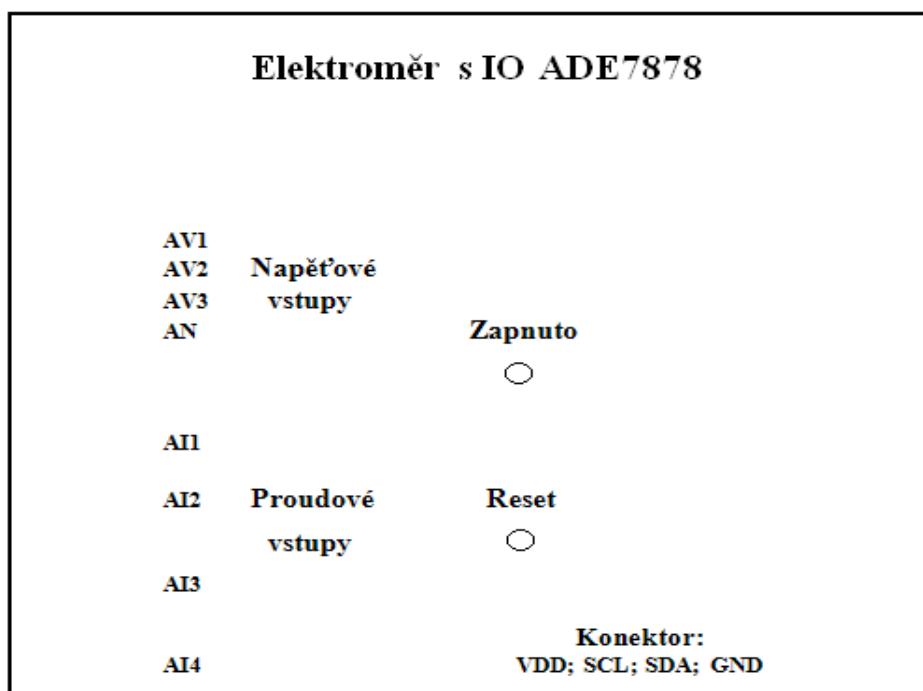
7.3 Návrh desky plošných spojů

Na obrázku 43 jsou na levé straně umístěny napěťové a proudové vstupy. Širší mezera mezi napěťovými a proudovými vstupy je z důvodu bezpečnosti, protože na rezistorech za napěťovými vstupy je celé napětí sítě. Uprostřed je ADE7878 pod kterým základní zapojení ADE7878 a jeho zdroj. Vpravo nahoře je galvanické oddělení pomocí ADUM1250ARZ. Z bezpečnostních důvodů není vylitá zem pod galvanickým oddělením a pod napěťovými vstupy.

Pro připojení vstupních svorek jsou připraveny šroubovací svorky. Výroba desky plošných spojů byla vyrobena podle standardního postupu při výrobě DPS. Celá deska po osazení součástkami byla umístěna do krabičky s popisem prototypu.



Obr. 43: Oboustranný návrh DPS elektroměru s ADE7878.

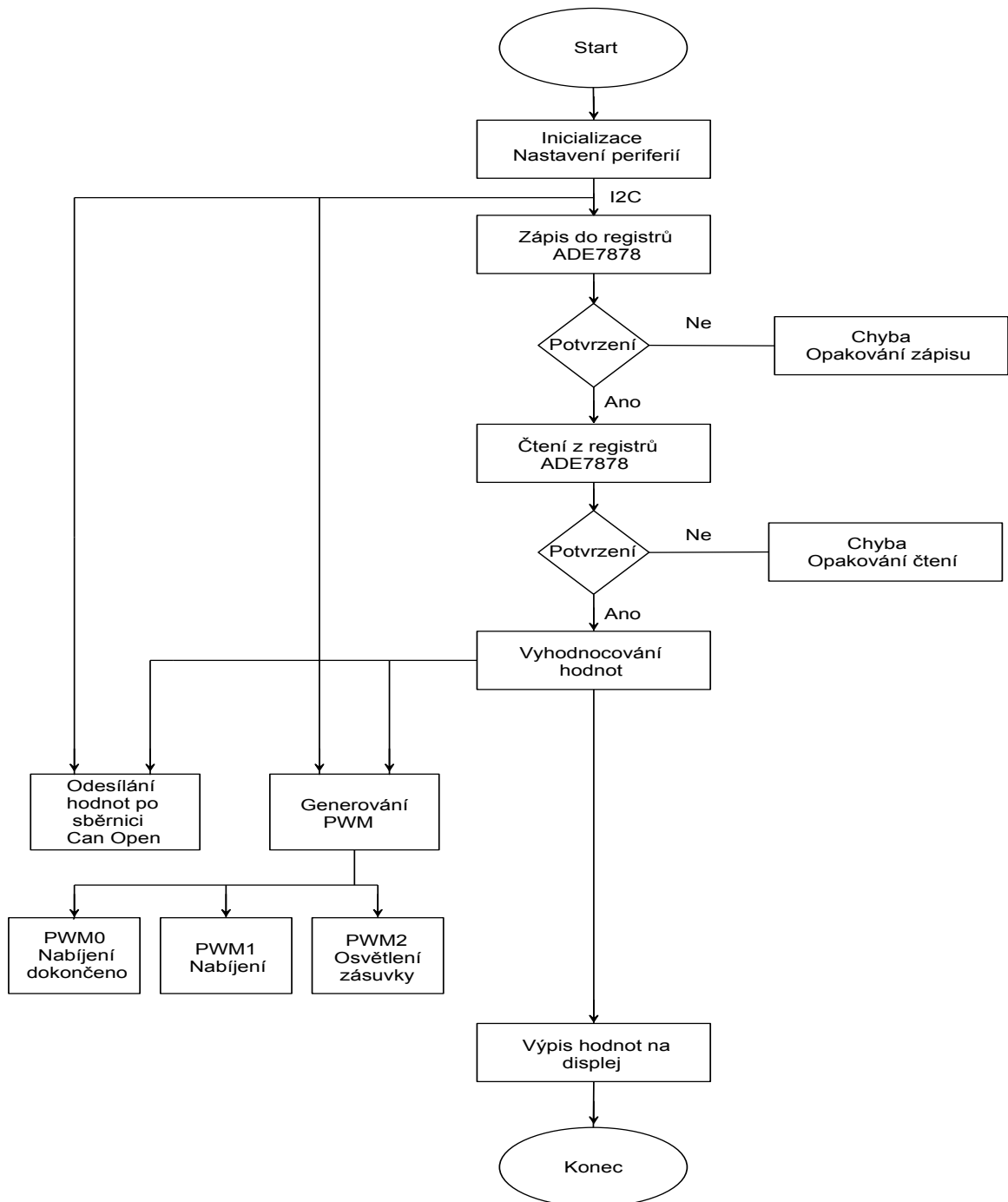


Obr. 44: Popis prototypu ADE7878.

8. Programové vybavení

K programování jsem měl možnost pracovat s mikrokontrolérem ARM cortex M 3 Stellaris S8962. Je vhodný pro moje zadání, obsahuje komunikaci po sběrnici I^2C k propojení s měřicím obvodem a port pro sběrnici CANopen. Další výhodou je vestavěný displej pro zobrazování aktuálních hodnot příkonu. Velký počet výstupních pinů mi umožnil využít tři nezávislé pwm kanály pro řízení led diod.

8.1 Vývojový diagram:



Obr. 45: Vývojový diagram programu.

Program začíná inicializací periférií a celého mikrokontroléru. Začne zápis do IO ADE7878 přes sériovou linku *I²C* a bez ohlášení chyby pokračuje čtením hodnot z registrů, jinak se čtení a zápis opakuje. Paralelně s měřením spotřeby je odesílání naměřených dat po sběrnici CANopen. Další souběžnou činností je řízení podsvícení zásuvky pomocí RGB led diod svítící na základně vyhodnocení průběhu měření při dobíjení baterií elektromobilu.

8.2 Popis programu

Aby zařízení fungovalo samostatně, jako celek měřící soustavy je nutné nejprve nastavit pomocí programu vhodné registry. V programu jsem si založil nový projekt a vložil zdrojové knihovny pro použité periférie jako – GPIO, *I²C*, PWM, CAN a C library. Celý program jsem psal do souboru main.c a pro používané proměnné jsem si vytvořil vlastní soubor ADE78xx.h který jsem následně vložil do hlavního programu. K využití displeje je potřeba vložit do projektu knihovny rit128x96x64.h a rit128x96x64.c. V inicializaci jsem povolil zmiňované periférie a port B, F, H.

I²C

Použité porty pro komunikaci jsou PB2 pin 70 a PB3 pin 71. Proběhne inicializace displeje a výpis popisu na displej. Nejdřív jsem vytvořil funkci send I2C a její proměnné leg_Adr a lData obě datového typu int. Proměnou ADE78xx_Adr s hodnotu 0x38 jsem povolil zápis. lReg_Adr je proměnná pro adresu registru a je poslána po dvou částech z důvodu omezení kapacity přenosu komunikace *I²C*. lData je proměnná pro hodnotu zapsanou do registru, používám osmi ciferné číslo, a proto musím hodnotu rozdělit na 4 části po dvou cifrách. Spojení hodnoty dohromady je pomocí příkazu:

```
lData = (lData1<<24) + (lData2<<16)+(lData3<<8+(lData4)
return lData;
```

Zde je část programu, která obsluhuje zápis do integrovaného obvodu ADE7878.

```
void sendI2C(int lReg_Adr,int lData) {
    // inicializace Master ve sběrnici I2C
    I2CMasterInitExpClk( I2C_MASTER_BASE, SysCtlClockGet(), false );
    // funkce nastavuje rychlost sběrnice a umožňuje master modul
    I2CMasterSlaveAddrSet(I2C_MASTER_BASE, ADE78xx_ADR, false);
    // ADE78xx_ADR přenášení dat 0x38 je adresa pro provoz zápisu
    I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, (lReg_Adr&0xff00)>>8);
    // adresa registru pro zápis je rozdělena na 2x
    I2CMasterControl( I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_START );
    // start
    while(I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE))
        {
        }
    I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, lReg_Adr&0xff);
    // posláni dalších 8bitů pro adresu registru
```

```

I2CMasterControl( I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_CONT );
    while(I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE))
        {
        }

    // poslání hodnoty která je rozdělena na 4 části a poté spojena
    I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, (IData&0xff000000)>>24);
    I2CMasterControl( I2C0_MASTER_BASE,
I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_CONT );
while(I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE))...

```

Pro čtení do ADE 7878 je použita funkce readI2C, kde je obsaženo nastavení registrů integrovaného obvodu pro spuštění a samostatnou činnost měření.

Nastavené registry Registry:

- Registr 0xE60F RUN zapíšeme hodnotou 0x1 – ke spuštění ADE7878
- Registr 0xE618CONFIG zapíšeme hodnotou 0x1 – zapnutí integrátoru
- Registr 0xE60F PGA zapíšeme hodnotou 0x3 – nastavení zesílení proudových kanálů na hodnotu 8
- Registr 0xE702 LCYCMODE zapíšeme hodnotou 0x0 – nastavení pro měření spotřeby

Nastavení proudových registrů:

- Registr 0x4380 AIGAIN zapíšeme hodnotu FD84000
- Registr 0x4382 BIGAIN zapíšeme hodnotu FCF4000
- Registr 0x4384 CIGAIN zapíšeme hodnotu FCC4000

Seznam vyčítaných registrů:

- Registr 0x43C0 AIRMS
- Registr 0x43C2 BIRMS
- Registr 0x43C4 CIRMS
- Registr 0x43C1 AVRMS
- Registr 0x43C3 BVRMS
- Registr 0x43C5 CVRMS
- Registr 0xE400 AWATTHR
- Registr 0xE401 BWATTHR
- Registr 0xE402 CWATTHR

Příklad funkce zápisu do registru na fázi A:

```
sendI2C(ADE78xx_AIGAIN, 0xFD4000);
```

Příklad čtení a zobrazení hodnoty registru proudu fáze A na displej::

```

dataR = readI2C(ADE78xx_AIRMS);
sprintf(&pole[0], "AIRMS: %d", dataR);
RIT128x96x4StringDraw(&pole[0], 5, 34, 15);

```

PWM

Pro řízení led diod pomocí pwm jsem použil výstupy PWM0, PWM1 a PWM 2, kde pro první dva kanály je použit generátor 0 a pro třetí kanál generátor 1 protože jeden generátor obsluhuje dva kanály pwm.

Pro PWM0 jsem povolil port F pin 0

Pro PWM1 jsem povolil port H pin 1

Pro PWM2 jsem povolil port B pin 1

Definováním proměnné perioda se mění šířka pulzu a tím i jas diody, rozsvícení diod je určeno definováním jednotlivých kanálů a podle stavů nabíjení elektromobilu se rozsvítí zvolné kanály s nastavenou periodou a tím i barva podsvícení.

Příklad generování PWM0:

void pwm1()

```
{
    perioda =5;
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOH);           // povolení portu F
                    //nastavit GPIO H1 jako pin PWM. Je používán k výstupu PWM1 signálu
    GPIOPinTypePWM(GPIO_PORTH_BASE, GPIO_PIN_1);
                    // konfigurace generátor PWM pro odpočítávací režim s okamžitým změnách
                    parametrů
    PWMGenConfigure(PWM_BASE, PWM_GEN_0,
    PWM_GEN_MODE_DOWN |
    PWM_GEN_MODE_NO_SYNC);
                    // nastavení periody. Pro frekvenci 50 kHz, perioda = 1/50, 000, nebo 20
                    // mikrosekund. Pro 20 MHz časovače, to znamená až 400 ticků časovače
                    // touto hodnotou nastavit periodu
    PWMGenPeriodSet(PWM_BASE, PWM_GEN_0, 400);
    PWMPulseWidthSet(PWM_BASE, PWM_OUT_1,perioda); // pwm 1
                    // spuštění časovače v generátoru 0
    PWMGenEnable(PWM_BASE, PWM_GEN_0);
                    // povolit výstup
    PWMOutputState(PWM_BASE, PWM_OUT_1_BIT , true);
}
```

CANopen

Poskytuje soubor funkcí pro přístup k Stellaris CAN modulům. Funkce jsou k dispozici pro konfiguraci CAN řadiče, konfigurovat zprávy objekty a řízení CAN přerušování přijímání a odesílání zpráv. Stellaris CAN modul poskytuje hardwarové zpracovávání dat na linkové vrstvě. Po nastavení periferie, bufferů a objektu TX pro zápis hodnot.

```

// Příklad inicializace:
    unsigned char ucBufferIn[8];
    unsigned char ucBufferOut[8];
    tCANBitClkParms CANBitClk;

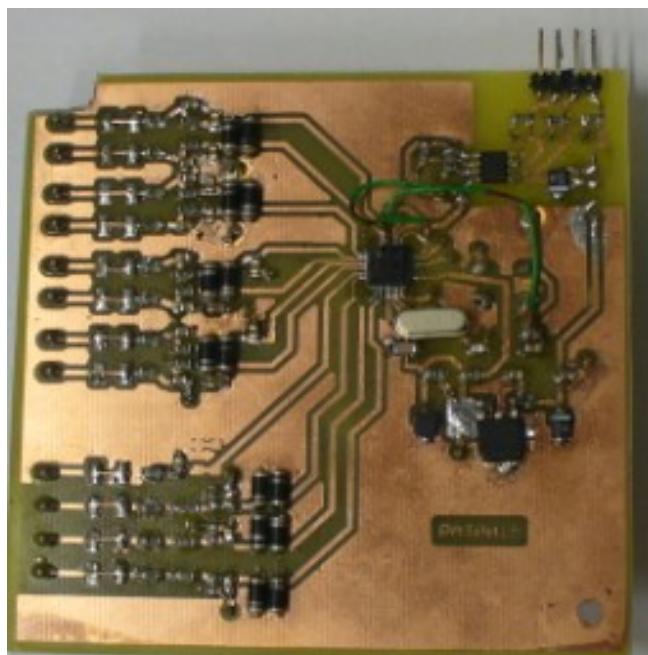
// zapouzdření objektu zpráv
    tCANMsgObject sMsgObjectTX;

// program v hlavním programu main.c – nastavení a odeslání objektu
    CANInit(CAN0_BASE);
    CANBitRateSet(CAN0_BASE, 8000000, 250000); //SysCtlClockGet()
    CANEnable(CAN0_BASE);

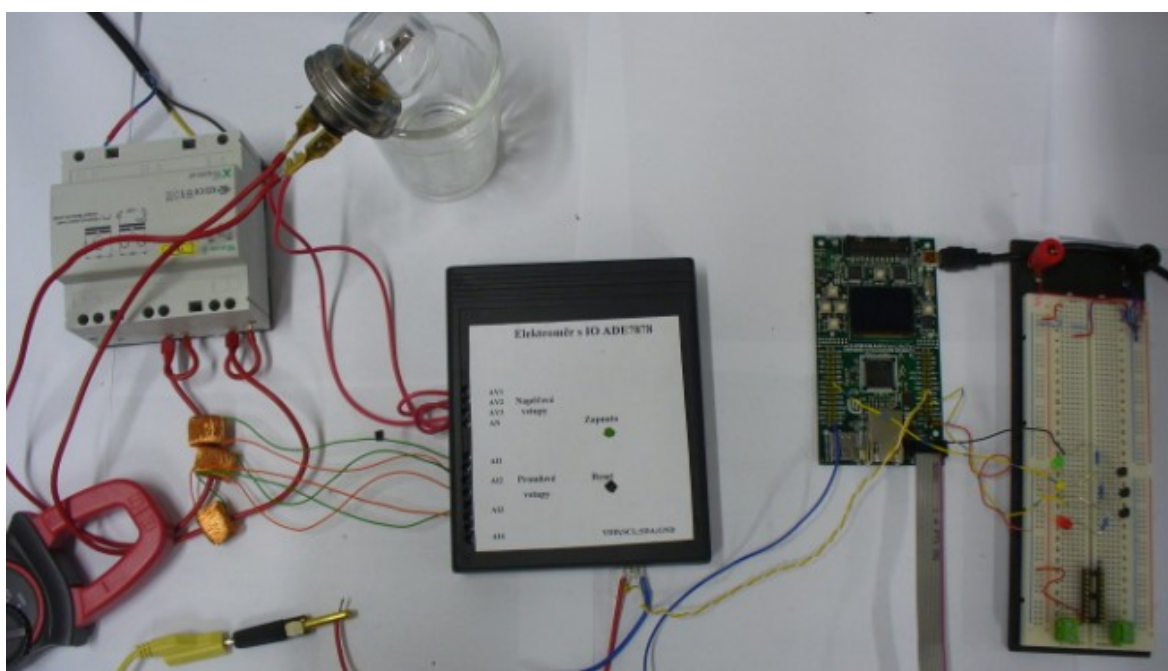
// přerušení ovladače CAN
// přerušení zdroje
    CANIntRegister(CAN0_BASE, CANInterruptHandler);
    CANIntEnable(CAN0_BASE, CAN_INT_MASTER | CAN_INT_STATUS |
    CAN_INT_ERROR);
    IntEnable(INT_CAN0);
// konfigurace CAN TX modulu
// CAN identifikátor zprávy
    sMsgObjectTX.ulMsgID = CAN_IDENTIFIKATOR_TX;
// identifikátor masky zprávy
    sMsgObjectTX.ulFlags = MSG_OBJ_FIFO;
// počet bajtů dat v objektu zprávy
    sMsgObjectTX.ulMsgLen = 8;
// ukazatel na na obejkt zprávy s daty
    sMsgObjectTX.pucMsgData = ucBufferOut;
// konfigurace objektu zprávy
    CANMessageSet(CAN0_BASE, 1, &sMsgObjectTX, MSG_OBJ_TYPE_TX);
    sMsgObjectTX.ulMsgID = CAN_IDENTIFIKATOR_TX;
    sMsgObjectTX.ulFlags = 0;
    sMsgObjectTX.ulMsgLen = 8;
//sMsgObjectTX.pucMsgData = ucBufferOut;

```


8.3 DPS a měřící model elektroměru



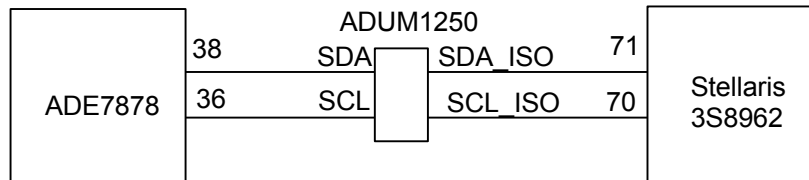
Obr. 46: Deska plošných spojů a součástek



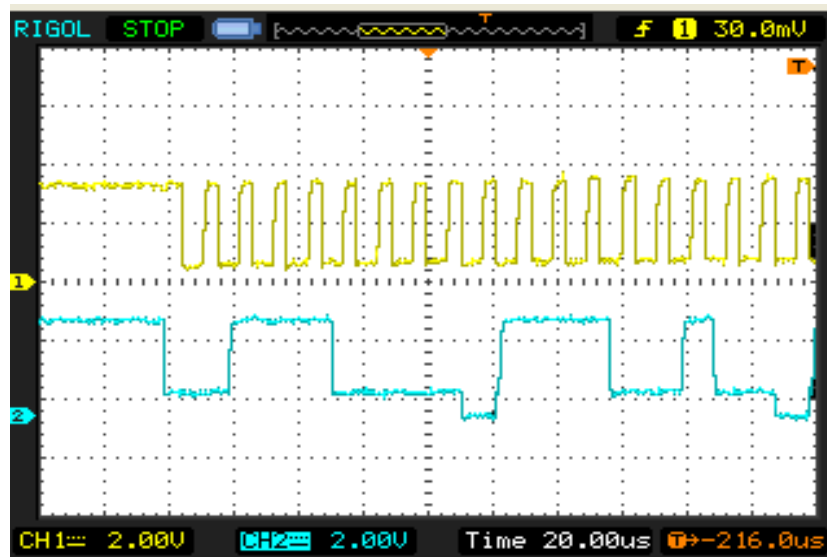
Obr. 47: Celé zapojení pro měření spotřeby

9. Měření a testování

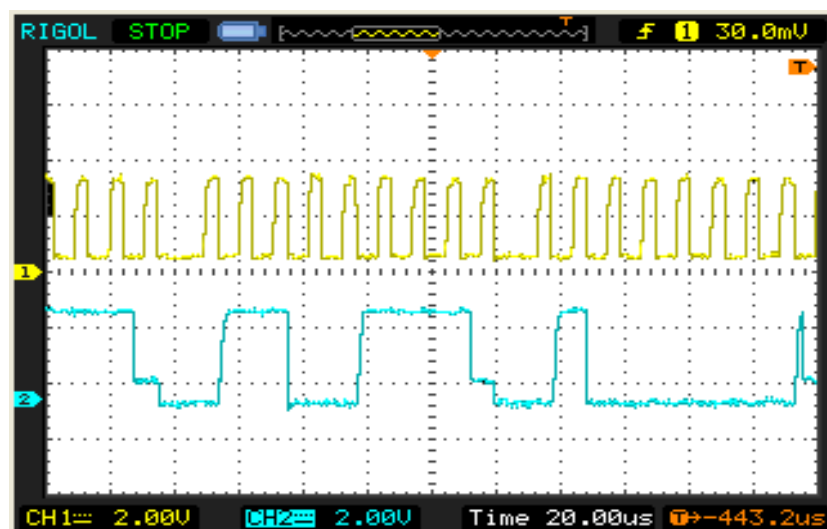
Propojení MCU a IO jsem udělal podle obrázku 47 a nastavením bitu na jedničku SSB/HSA a PM0 jsem mohl změřit průběh toku informací po sběrnici I^2C . Na mikrokontroléru jsem povolil port B piny 70 – PB2 a 71 – PB3. Na obr. 48 je vidět průběh zápisu. Horní signál SCL je časování signálu a spodní kanál je SDA pro přenos dat. První bit s hodnotou 0 určuje zápis do registrů. Dalších 7 bitů přenáší data a 9 bit je v nule pro potvrzení zápisu.



Obr. 48: Propojení pomocí I^2C .



Obr. 49: Průběh zápisu sběrnice I^2C .



Obr. 50: Průběh čtení sběrnice I^2C .

Pro řízení RGB led diod jsem použil předřadné odpory $R = 1\text{K}\Omega$ připojené sériově před vstupy led pásku. Pro bezpečné a rychlé spínání pwm výstupu jsem využil transistory BC33725 na 45V a proud kolektorem až 1A. Uvnitř zásuvky v elektromobilu je namontován led pásek a spínací kontakt sepnutý po zapojení zásuvky do konektoru pro signalizaci připojení.

Základní stavy podsvícení :

- Bílá - Odpojená zásuvka
- Modrá - Připojená zásuvka
- Červená - Nabíjení
- Zelená - Nabito



Obr. 51: Různé podsvícení zásuvky.

10. Závěr

Uvedené řešení je novinkou v oblasti elektromobility a z velké části je určené pro vlastní kontrolu a fakturaci spotřebované energie při dobíjení baterií elektromobilu. Je provázeno podsvícením zásuvky různých barev, podle průběhu nabíjení. Umožňuje rychlou kontrolu stavu a moderní vzhled. Ačkoliv byl vývoj vozidel na elektrický pohon v pozadí. V současnosti je to celkem aktuální téma a stále je z velké části ve formě vývoje. Otázkou je taky možnost sdílení rozdílných pohonných jednotek ve vozidle a tím použití hybridního pohonu. Variantou je taky dobíjení pomocí solárních panelů, ale zatím žádné řešení efektivně nenahradí současné vozidlo pohaněné spalovacím motorem. Tak bude asi otázkou času a vývoje nových technologií než se prokáže efektivní a praktický dopravní prostředek. Důležitým požadavkem je šetrnost k životnímu prostředí, které už dostatečně strádá pod kouřem sálajícím z běžných automobilů. Největší soustředění ve vývoji elektromobilů je zaměřené na baterie. Jejich složení a princip činnosti ovlivní základní parametry jako je rychlost, vzdálenost ujetí na jedno nabití, hmotnost, rychlost nabíjení a další.

K dané problematice jsem zpracoval teoretickou část, seznámil jsem se s velmi rozlišnými tématy v oblasti elektrotechniky a programování. Od principu a funkce elektroměru realizovaného pomocí integrovaného obvodu ADE7878 až po práci a programování s mikrokontrolérem ARM. Na vstupy měřicího obvodu jsou připojeny Rogowského cívky pro bezkontaktní měření proudu. Cívky jsem vyrobil po výpočtech rozměrů, které jsou ovlivněny měřenými veličinami a průměrem měřeného vodiče. Napěťové vstupy jsou přizpůsobeny pomocí děličů napětí. Velkým přínosem pro mě byli zkušenosti nabrané časem stráveným nad problematikou celé programové funkčnosti. Zjistil jsem potřebné informace pro práci s displejem, řízením pwm signálu, sběrnici CANopen a sériovým rozhraním I^2C , pomocí kterého jsem nastavil celý měřicí čip, který následně vyčítal měřené hodnoty. Změřená hodnota spotřeby a její vyhodnocení je odesíláno po sběrnici Canopen pro např. následné uložení na paměťovou kartu pro pozdější kontrolu vyúčtování spotřeby.

Navrhl a realizoval jsem celé schéma modelu elektroměru i se zdrojem napětí. Vyroběním desky plošných spojů a následným osazením součástkami jsem mohl otestovat vlastní výrobek. S několika úpravami prototypu jsem zhotovil funkční model, měřící spotřebu a aktuální hodnoty rms veličin pro zjištění příkonu. Celý průběh měření je v zásuvce elektromobilu zvýrazněn barevným podsvícením zhotoveným pomocí RGB led diod. Efekt osvětlení by měl zpříjemnit a usnadnit průběh čerpání elektrické energie.

Výsledek tohoto projektu by se mohl uplatnit i v reálném životě a být případně i komerčně využit. Nevýhodou u elektroměru je přesnost měření dané normou a tím i složitější nasazení do prodeje. Muselo by být použito několik úprav a vylepšení zjištěné testováním a zpětnou kalibrací k určení přesné kvality měření. Silnou konkurencí mu ovšem budou zařízení komunikující pomocí bezdrátových protokolů (WiFi, ZigBee) nebo pomocí PLC.

Věřím, že zanedlouho bude elektromobil běžnou součástí našich životů, a proto je důležitá jeho dostupnost a snadné ovládání ulehčené např. pomocí detailní zobrazovací jednotky s ovládáním a např. i s vyhledáváním a rezervováním dobíjecích stanic přes veřejnou síť.

Seznam literatury

- [1] Historie elektromobilu. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>
- [2] Elektromobily a hybridy. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz>
- [3] Lorentzova síla. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lorentzova_síla
- [4] Druhy a princip motorů. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Motor>
- [5] Elektromotory. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://www.elektromobily.org/w/images/a/ad/Reluktancni_motor_Kopecky.pdf
- [6] Zásuvky pro elektromobil. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novinky/standardizovana-zastrcka-pro-elektromobily-je-na-svete>
- [7] Standart zásuvky IEC 62196-2 Type 2. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://www.autoweek.cz/cs--aktuality-nemci_se_dohodli-772
- [8] Standart zásuvky SAE J177. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://carstations.com/types/j0>
- [9] Standart zásuvky CHAdeMO. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://chademo.com/01_Standards_Normatives.html
- [10] Baterie elektromobilu. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://www.electricmotorsport.com/store/ems_ev_parts_batteries_lpf_ts_40ah.php
www.ti.com/tool/ek-lm3s8962
- [11] Lithium-vzduchové baterie. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/lithium-vzduchove-baterie>
- [12] Baterie pro elektromobil. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ibm-ma-nove-partnery-v-projektu-pristi-generace-baterii-pro-elektromobily>
- [13] Elektroměr. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.elektro.utb.cz/prednasky/prednaska10.pdf>
- [14] Měření spotřeby el. energie. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://www.vosvdf.cz/cmsb/userdata/487/FVS_014_cviceni/014_mereni_prikonu.pdf
- [15] Definice napětí. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrické_napětí
- [16] Definice proudu. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrický_proud
- [17] Rogowského cívka. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/co-je-k-cemu-je-jak-funguje-rogowskeho-civka>

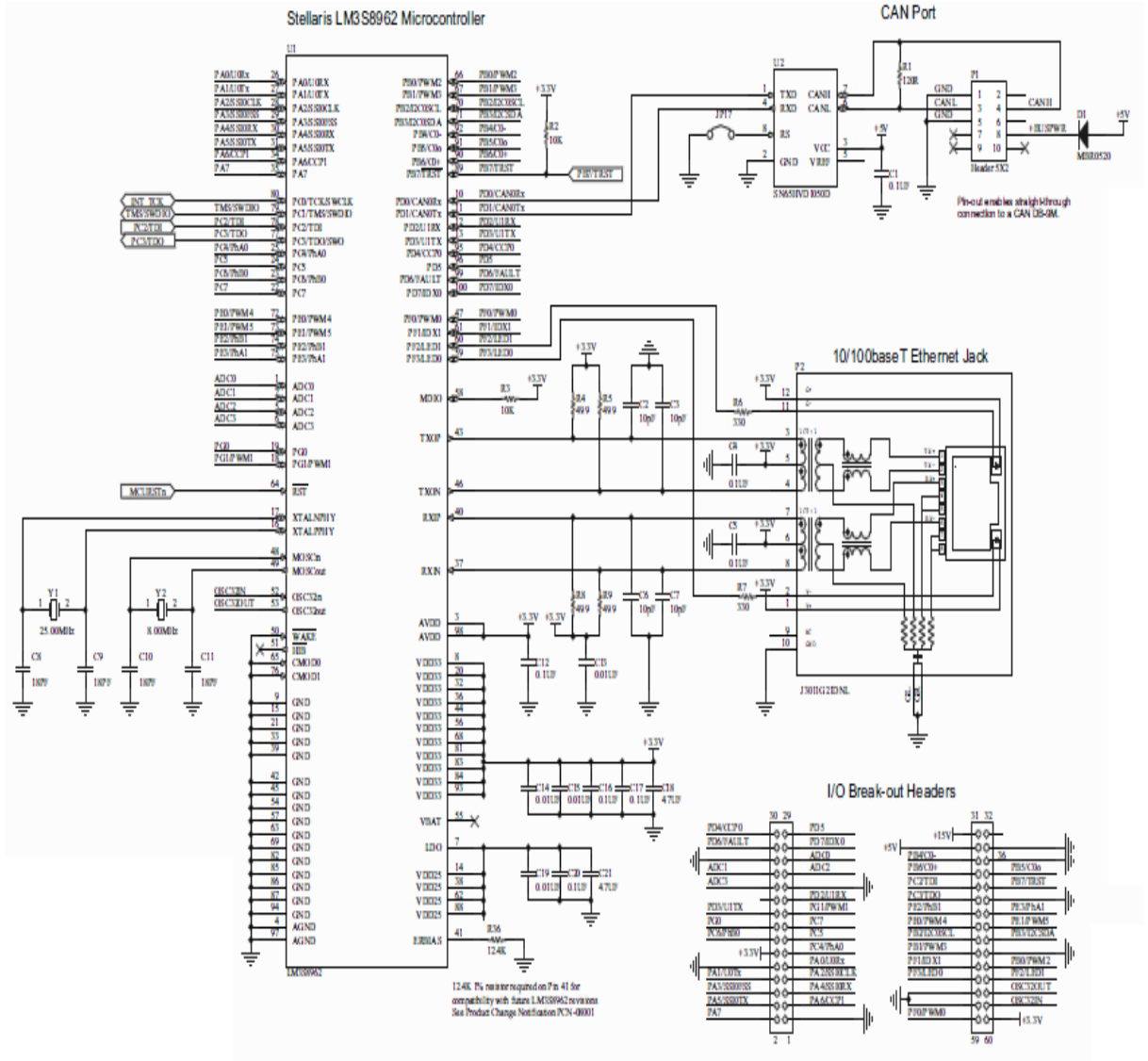
- [18] Transformátor proudu. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://elektrika.cz/terminolog/merici-transformator-trafo-proudu>
- [19] Dělič napětí. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FS/prednasky/sylab_prechdej%20delic%20slouznik_bc%20FSb.pdf
- [20] Výkon 1-fázového a 3-fázového proudu. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://www.maturitanazamku.kvalitne.cz/pdf/ELN25B.pdf>
- [21] Popis sěrnice. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sběrnice>
- [22] Druhy komunikace. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap_4.pdf
- [23] Sériová komunikace. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Sériová_komunikace
- [24] Paralelní komunikace. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Paralelní_komunikace
- [25] Sběrnice I^2C . [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://www.dhservis.cz/iic.htm>
- [26] CAN sběrnice. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://www.electric.cz/canopen_cz.htm
- [27] CAN sběrnice. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://translate.google.cz/translate?hl=cs&langpair=en%7Ccs&u=http://www.canbuskit.com/what.php>
- [28] Sběrnice Canopen . [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://www.hw.cz/produkty/co-je-canopen-a-jak-na-nej.html>
- [29] Řízení displejů. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://www.hw.cz/firemni_clanky/elatec/clanky/rizeni_displeju.html
- [30] Popis led diod. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [31] RGB led pásek. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://translate.google.cz/translate?hl=cs&langpair=en%7Ccs&u=http://www.ladyada.net/products/rgbledstrip/>
- [32] Datasheety ADE7878 a vývojový kit. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/energy-measurement/ade7878/products/product.html>
- [33] Datasheety k MCU Stellaris. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
<http://www.ti.com/tool/ek-lm3s8962>
- [34] BIČOVSKÁ, Blanka. Elektrická měření. VŠB – TUO. Fakulta elektrotechniky a informatiky: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007.
- [35] Pulzně šířková modulace. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Pulzně_šířková_modulace

- [36] Porovnání inteligentních měřičů spotřeby. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z:
http://www.silica.com/publications/designers-choice.html?eID=dam_frontend_push&docID=13586

Seznam příloh

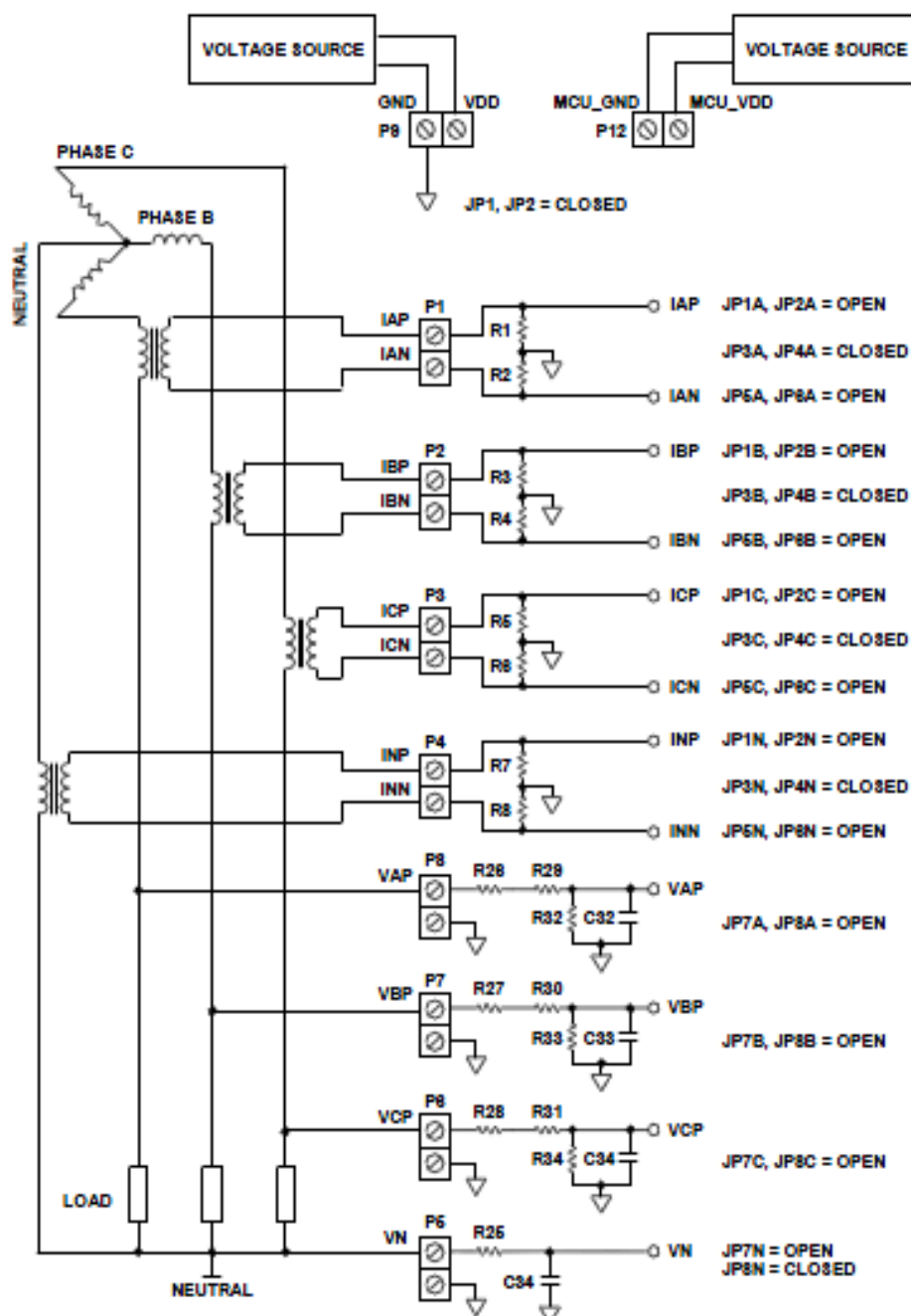
- I Příloha č.1 - Schéma mikrokontroléru Stellaris L M3 S8962.**
- II Příloha č.2 - Typické nastavní kitu s ADE7878.**
- III Příloha č.3 - Změřené rms hodnoty napětí pomocí kitu.**
- IV Příloha č.4 - Změřené rms hodnoty proudu pomocí kitu.**
- V Příloha č.5 - Celkové schéma elektroměru.**
- VI Příloha č.6 - Návrh DPS funkčního modelu ve vrstvě Top.**
- VII Příloha č.7 - Návrh DPS funkčního modelu ve vrstvě Bottom.**
- VIII Příloha č.8 – Rozmístění součástek na DPS.**

Příloha č. 1 - Schéma mikrokontroléru Stellaris L M3 S8962.



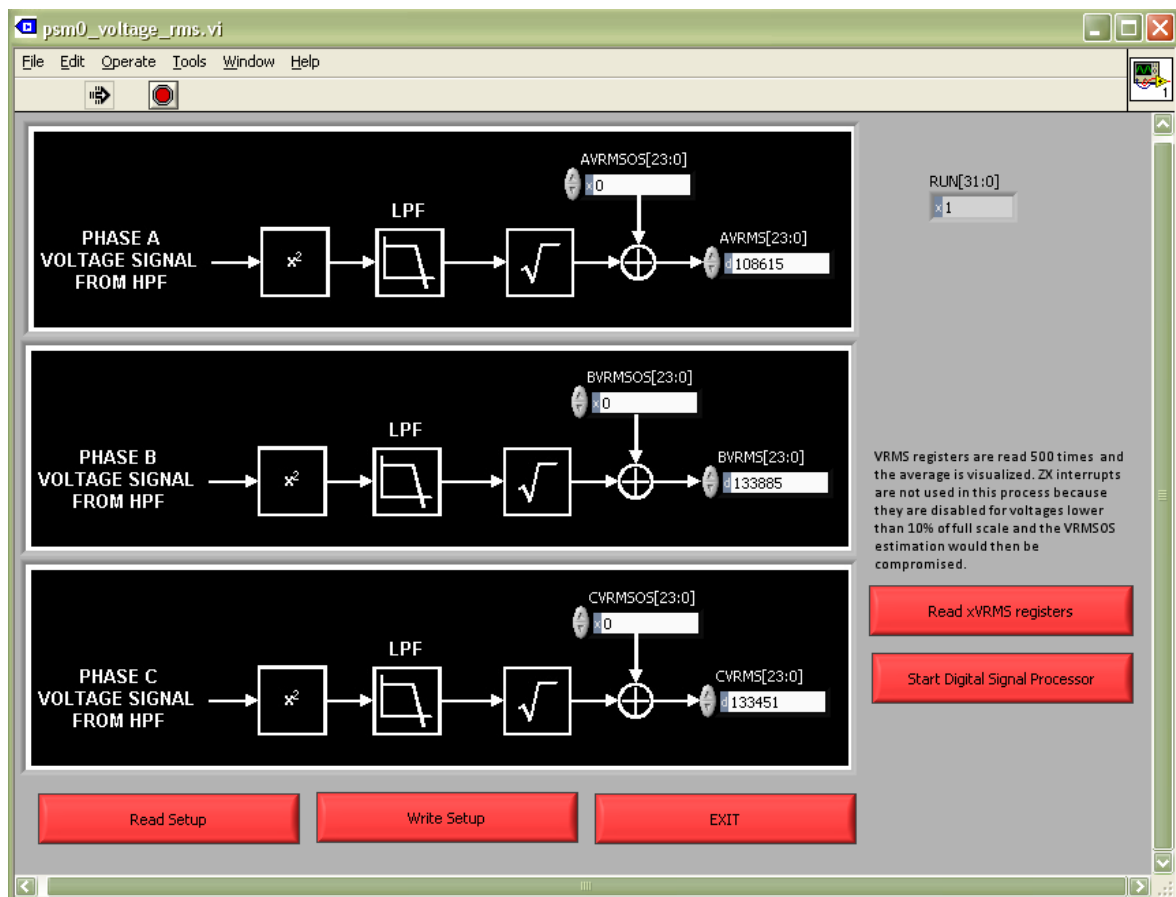
Ve schématu s mikrokontrolérem LM3 S8962 je vidět připojení CAN portu a Ethernetového jacku. Vlevo je vidět připojení dvou krystalů s frekvencí 8 a 21 MHz.

Příloha č. 2 - Typické nastavní kitu s ADE7878.



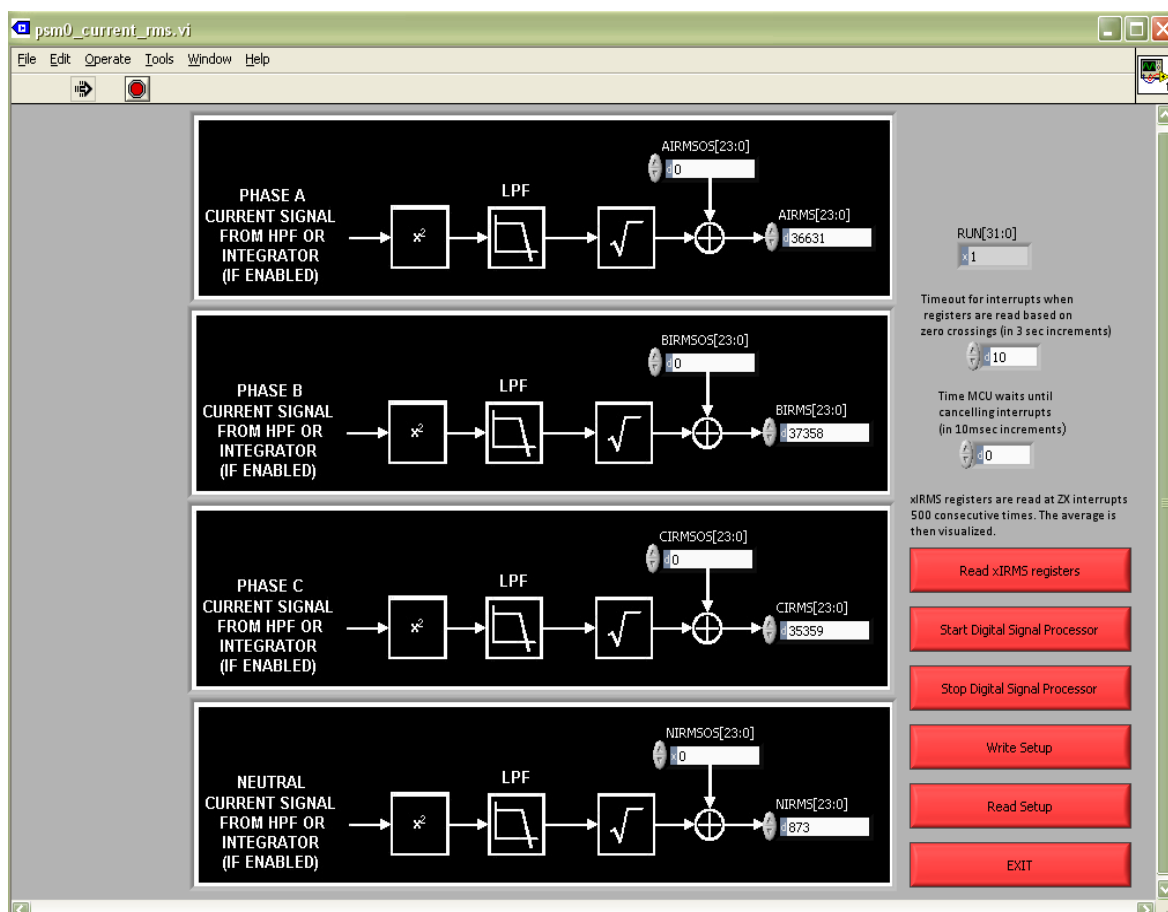
Pro snadné a rychlé použití je výrobcem definované základní nastavení vývojového kitu pro měření spotřeby. K třířázové soustavě jsou připojeny proudové snímače na vstupy IAP až INP a napěťové kanály na vstupy VAP, VBP a VCP proti pracovnímu vodiči N. Dané nastavení je možno měnit pomocí tzv. jumperů, otevřením nebo zavřením se nastavují různé parametry a vlastnosti desky.

Příloha č. 3 - Změřené hodnoty rms napětí pomocí kitu s ADE7878



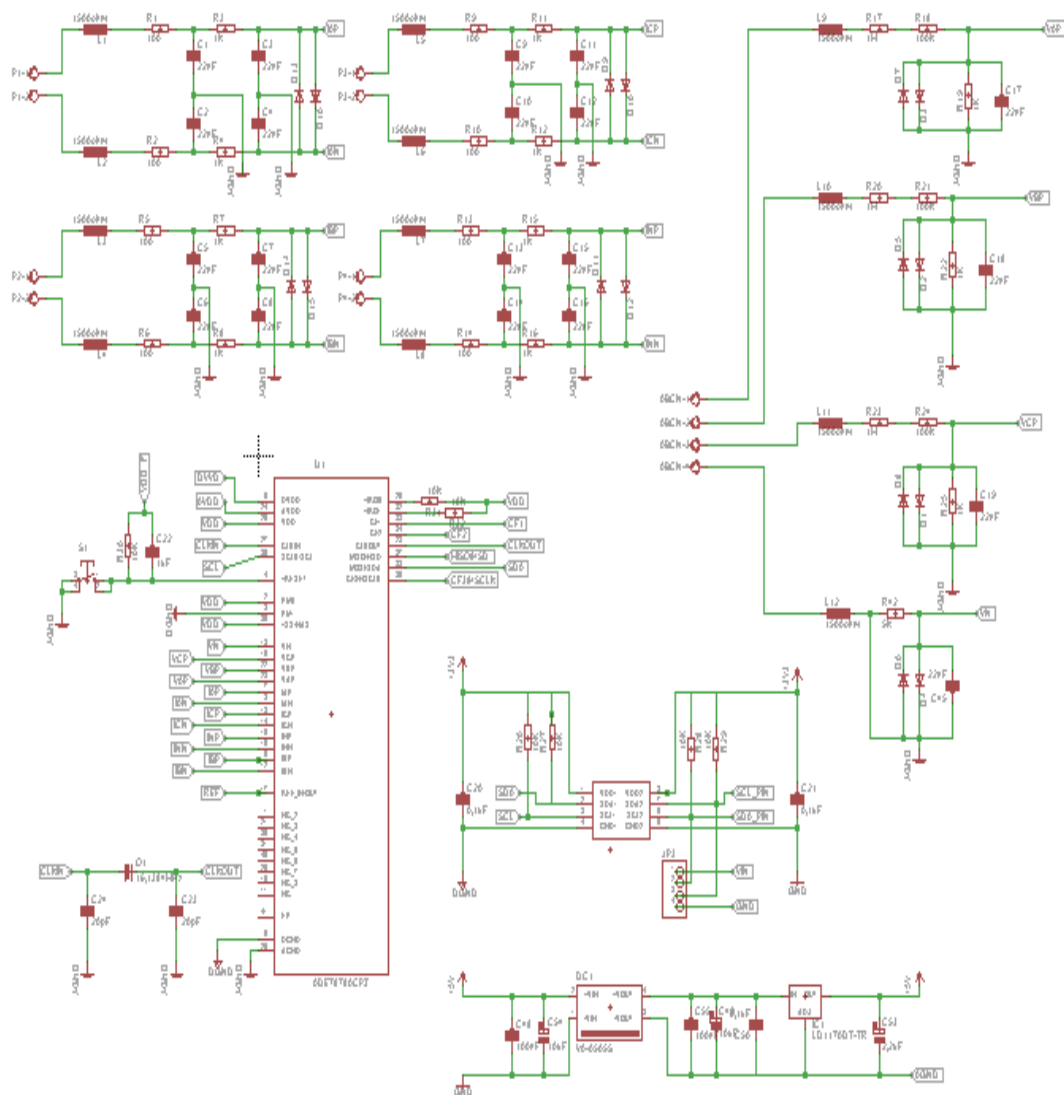
Na obrázku jsou vidět 3 napěťové signály vedené přes mocnitel do nízko pásmového filtru, do odmocňujícího členu. Před výstupem je možné kalibrovat hodnoty pomocí sčítačky zapsáním do registrů AVRMSOS, BVRMSOS, CVRMSOS. Výstupní hodnoty rms napětí jsou vyčítány pomocí tlačítka Read Setup a uloženy do registrů AVRMS, BVRMS, CVRMS. Registr RUN znázorňuje spuštění IO zapsanou hodnotou na jedničku. Na fázi a je napětí sníženo pomocí potenciometru, aby bylo vidět, že měřicí kanály opravdu měří. Výstupní hodnoty se shodují s hodnotami změřenými pomocí digitálního multimetru, kde výstupní napětí $U = 13$ [V].

Příloha č. 4 - Změřené rms hodnoty proudu pomocí kitu s ADE7878



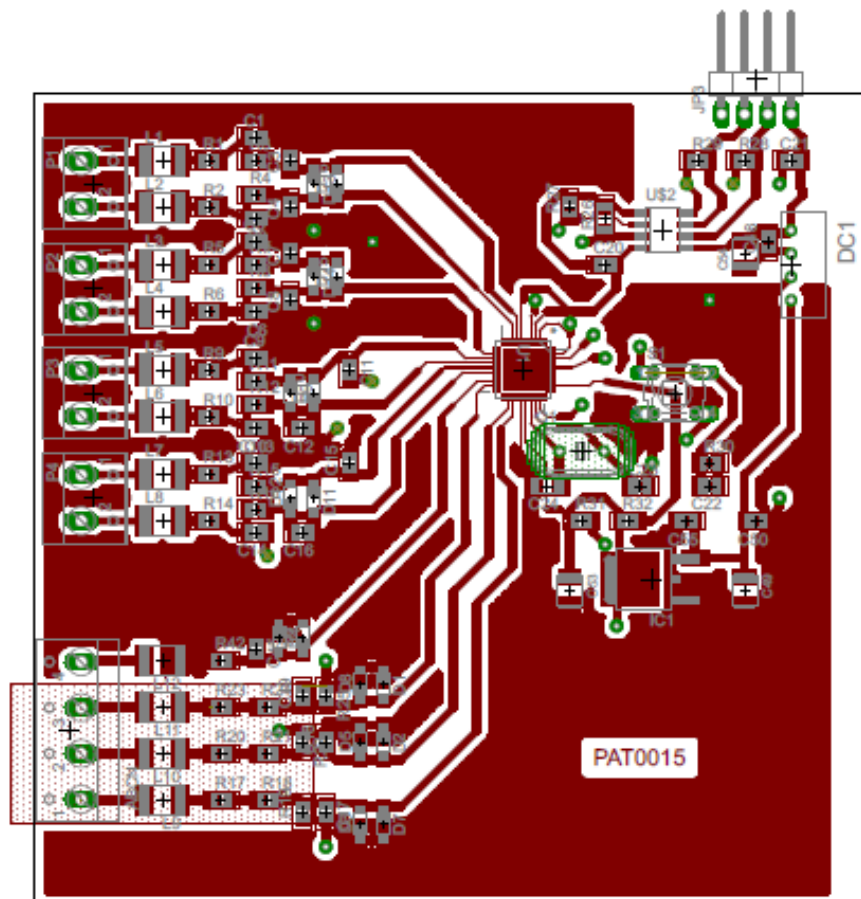
Na proudovém panelu jsou vidět čtyři proudové signály vedené přes mocnitel do nízko pásmového filtru, do odmocňujícího členu. Před výstupem je možné kalibrovat hodnoty pomocí sčítačky zapsáním do registrů AIRMSOS, BIRMSOS, CIRMSOS. Výstupní hodnoty rms napětí jsou vyčítány pomocí tlačítka Read Setup a uloženy do registrů AIRMS, BIRMS, CIRMS. Registr RUN znázorňuje spuštění IO zapsanou hodnotou na jedničku. Výstupní hodnoty se téměř shodují s hodnotami změřenými pomocí digitálního multimetru, kde výstupní proud $I = 4$ [A]. Přesnost měření se dá zvýšit citlivějšími nastavením vstupních zesilovacích kanálů.

Příloha č. 5 - Celkové schéma elektroměru.

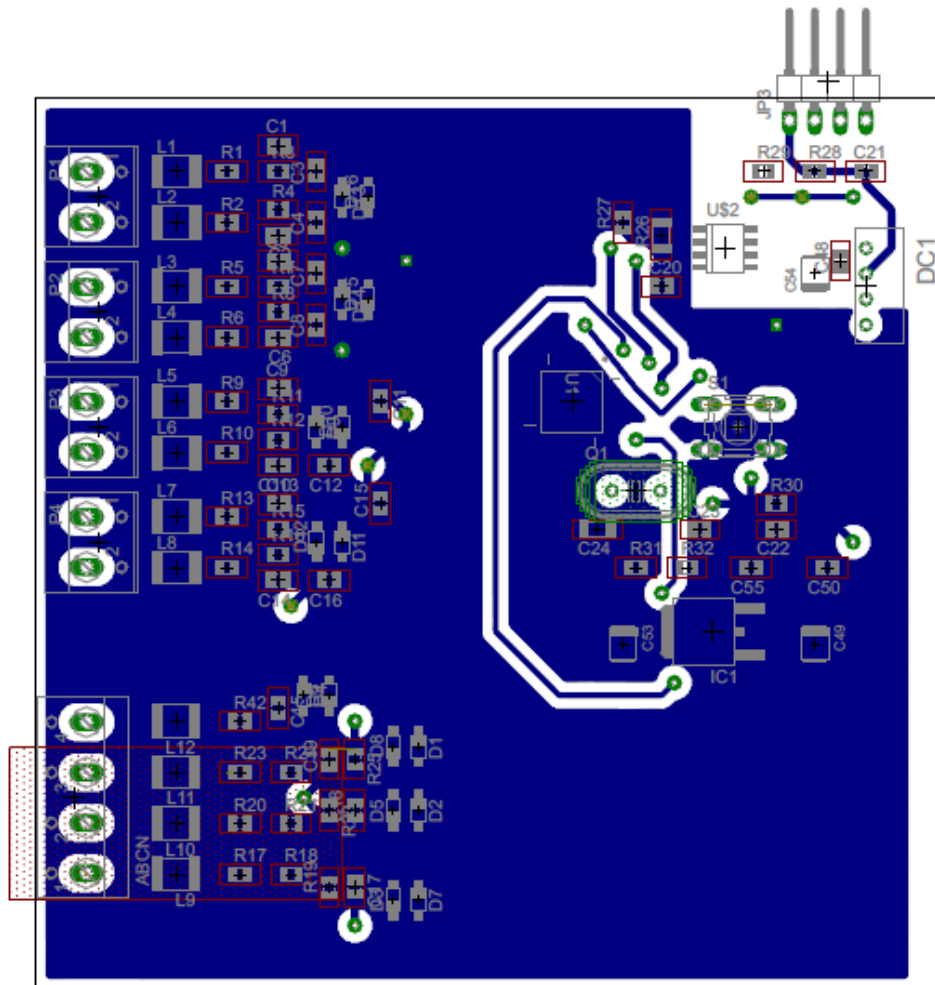


Hlavní část tvoří integrovaná obvod ADE7878. Je napájen pomocí zdroje, který je vykreslen ve spodní části. Celé je to připojeno přes galvanické oddělení a vstupní signály připojené přes filtry a děliče napětí.

Příloha č. 6 - Návrh DPS funkčního modelu ve vrstvě Top.



Příloha č. 7 - Návrh DPS funkčního modelu ve vrstvě Bottom.



Příloha č. 8 - Rozmístění součástek na DPS.

