

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Palubní analyzátor

Josef Řehák

Bakalářská práce
2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef Řehák**
Osobní číslo: **I11293**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Palubní analyzátor**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Cílem práce bude návrh měření otáček a dalších stavových veličin automobilu nevybaveného palubním počítačem. Teoretická část práce bude obsahovat rozbor měřitelných veličin, které nejsou na starších autech zobrazovány a jsou užitečné pro řízení či diagnostiku automobilu. Praktická část se pak bude zabývat návrhem, konstrukcí a oživením palubního analyzátoru. Návrh by měl být proveden s ohledem na možnost trvalého vestavění. Tomu by měla odpovídat i energetická šetrnost, dostatečná čitelnost údajů pro řízení (například otáčky motoru). Případný LCD displej by bylo vhodné doplnit o regulaci jasu v závislosti na okolním osvětlení. Analyzátor by měl viditelně upozornit na případné stavové chyby (podpětí na baterii), nebo nebezpečné situace (možnost námrazy).

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003. 336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
[2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
[3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. května 2014**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2014

Prohlášení autora:

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 5.4.2014

Josef Řehák

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce, Ing. Pavlu Rozsivalovi, za odborné rady a kritiku této práce, bez které by nebyla v této podobě.

V Pardubicích dne 5.4.2014

Josef Řehák

ANOTACE

V teoretické části je popsána teorie měření potřebných veličin. Poté je popsán výběr měřených veličin a způsob jejich měření s využitím teoretického základu. Měřeny jsou otáčky motoru, napětí autobaterie, dvě teploty a okolní osvětlení. Následuje fyzická realizace analyzátoru, kde je popsáno zapojení celého analyzátoru. Dále je popsán software analyzátoru.

KLÍČOVÁ SLOVA

otáčkoměr, teploměr, mikroprocesor

TITLE

On-board analyzer

ANNOTATION

Theory of required quantities is described in a theoretical part. Afterwards is delineated the selection of measured quantities and procedure of their measurement by using the theoretical background. The measured quantities are engine revolutions, car battery voltage, two temperatures and ambient lighting. Following is a physical realization of analyzer, with description of entire analyzer connexion. Finally is described analyzer software.

KEYWORDS

tachometer, thermometer, microcontroller

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam zkratk | 9 |
| Seznam obrázků | 10 |
| Seznam tabulek | 10 |
| Úvod | 11 |
| 1 Teoretická část | 12 |
| 1.1 Měření otáček..... | 12 |
| 1.1.1 Měření otáček mikroprocesorem | 12 |
| 1.2 Měření teploty..... | 14 |
| 1.2.1 Měření teploty polovodiči | 14 |
| 1.2.2 Negastory – NTC..... | 15 |
| 1.3 Měření intenzity osvětlení | 16 |
| 1.3.1 Fotorezistor..... | 16 |
| 1.3.2 Fototranzistor..... | 17 |
| 1.4 Měření napětí pomocí mikroprocesoru | 17 |
| 1.5 Měření odporu pomocí mikroprocesoru..... | 18 |
| 1.6 A/D převodník | 18 |
| 1.7 Oversampling..... | 18 |
| 2 Realizace analyzátoru | 20 |
| 2.1 Výběr měřených veličin | 20 |
| 2.2 Výběr zobrazovače..... | 20 |
| 2.3 Výběr způsobu měření otáček..... | 20 |
| 2.3.1 Přepočítání frekvence na otáčky | 21 |
| 2.4 Měření napětí autobaterie | 22 |
| 2.5 Měření teploty pomocí termistoru NTC..... | 23 |
| 2.5.1 Přepočítání hodnoty naměřené ADC na teplotu | 24 |
| 2.6 Měření okolního jasu..... | 25 |
| 2.6.1 Změna jasu displeje..... | 26 |
| 3 Hardwarová realizace | 27 |
| 3.1 Volba mikroprocesoru | 27 |
| 3.2 Napájecí zdroj..... | 27 |
| 3.2.1 Popis funkce zapojení | 28 |
| 3.3 Zapojení a popis funkce analyzátoru..... | 28 |
| 3.4 Návrh desky plošných spojů | 30 |
| 3.5 Výroba desky plošných spojů | 31 |
| 4 Software analyzátoru | 32 |
| 4.1 Main cyklus | 32 |
| 4.2 Měření otáček..... | 33 |
| 4.3 Měření napětí | 34 |
| 4.4 Měření teploty..... | 35 |

| | | |
|-----|----------------------------------|-----------|
| 4.5 | Měření okolního jasů..... | 37 |
| 4.6 | Multiplexní řízení displeje..... | 37 |
| | Závěr..... | 43 |
| | Literatura | 44 |

Seznam zkratek

| | |
|------------------|----------------------------------|
| A/D | Analog to Digital |
| NTC | Negative Temperature Coefficient |
| PTC | Positive Temperature Coefficient |
| PWM | Pulse Width Modulation |
| ISP | In System Programming |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| LED | Light Emitting Diode |
| SMD | Surface Mount Device |
| I ² C | Inter-Integrated Circuit |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| EM | Elektro Magnetický |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Graf měření frekvence čítáním pulzů po danou periodu | 12 |
| Obrázek 2: Graf měření frekvence čítáním mezi měřenými pulzy | 13 |
| Obrázek 3: Termistor s vývody připojenými na konektor | 16 |
| Obrázek 4: Schéma zapojení děliče napětí..... | 17 |
| Obrázek 5: Dělič pro měření napětí autobaterie | 22 |
| Obrázek 6: Zapojení pro měření teploty termistorem..... | 23 |
| Obrázek 7: Zapojení fototranzistoru | 25 |
| Obrázek 8: Schéma zapojení zdroje | 28 |
| Obrázek 9: Schéma zapojení analyzátoru | 29 |
| Obrázek 10: Deska plošných spojů | 30 |
| Obrázek 11: Osazovací plán spodní strany DPS | 30 |
| Obrázek 12: Fotografie prvního vzorku (zezadu)..... | 31 |
| Obrázek 13: Fotografie prvního vzorku (zepředu)..... | 31 |
| Obrázek 14: Přepínání stavů hlavní smyčky při měření teploty | 32 |
| Obrázek 15: Znázornění možných stavů stavové LED | 42 |
| Obrázek 16: Analyzátor umístěný na palubní desce zobrazující teplotu | 43 |
| Obrázek 17: Termistor umístěný pod tesněním ve dveřích automobilu | 43 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Oversampling 10bit hodnoty [1] | 19 |
| Tabulka 2: Materiálové konstanty NTC Vishay 10k 3770K [4] | 24 |
| Tabulka 3: Přepočební funkce pro jas displeje | 26 |

Úvod

Cílem bakalářské práce je návrh a konstrukce zařízení sloužící jako palubní analyzátor. Takový analyzátor je navržen pro měření otáček motoru, napětí baterie a dvou teplot (interiéru a exteriéru) u automobilů nedisponujících těmito funkcemi. V zadání není upřesněn typ vozidla, proto bylo nutné vymyslet univerzální způsob měření otáček. Ze stejného důvodu byl analyzátor navržen co nejmenší, aby se mohl umístit do velkého množství automobilů na palubní desku. To znamenalo i nutnost návrhu s nízkým množstvím odpadního tepla, aby analyzátor mohl být umístěn pod plexisklo a zároveň nedošlo k přehřátí. Dále bylo vhodné provést návrh tak, aby nebyl nutný žádný větší zásah do elektroniky automobilu. Zařízení také upozorňuje řidiče blikáním stavové LED v případě nízké teploty vozovky nebo nízkého napětí baterie. Poslední funkcí analyzátoru je stmívání displeje a stavových LED v závislosti na okolním osvětlení.

Práce je rozdělena na teoretickou část, kde je probrána teorie měření veličin potřebná k vytvoření tohoto zařízení. Dále část realizace analyzátoru, v níž jsou vybrány konkrétní způsoby měření. Následuje část hardwarové realizace, kde je popsána realizace funkčního vzorku. V poslední části je popsán program, bez kterého by analyzátor nemohl fungovat.

1 Teoretická část

1.1 Měření otáček

Otáčky se dají měřit na principu sepnutí spínače vačkou umístěném na hřídeli, přerušením světelného paprsku děrovaným diskem nebo přiblížení magnetu umístěného na hřídeli k hallově sondě. Všechny tyto způsoby dávají určitý počet pulzů za otáčku závisící na počtu výstupků na vačce, počtu děr v disku, počtu magnetů na hřídeli.

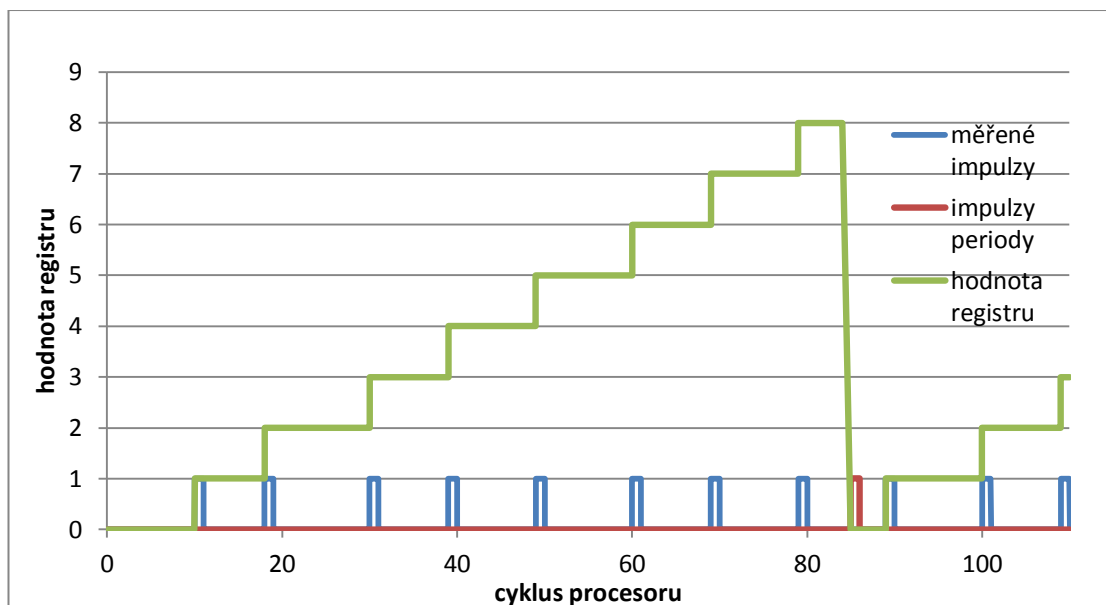
1.1.1 Měření otáček mikroprocesorem

Existují 2 hlavní způsoby, jak měřit otáčky (frekvenci). Prvním způsobem je nastavit konstantní periodu T a každým impulzem inkrementovat registr po dobu T. Vždy při konci periody lze vypočítat frekvenci ze vztahu:

$$f = \frac{T}{n} \quad (1)$$

kde f – měřená frekvence [Hz]
 T – perioda měření [s]
 n – počet měřených impulzů za periodu T [-]

Tento způsob je vhodný pro vysoké frekvence, přičemž perioda se volí v řádu stovek mikrosekund až desítek milisekund. Princip je znázorněn na obr. 1.



Obrázek 1: Graf měření frekvence čítáním pulzů po danou periodu

Druhým způsobem je inkrementace registru s taktovací frekvencí mikroprocesoru a měření počtu inkrementací registru mezi pulzy. Frekvence je pak dána podílem taktovací frekvence a hodnoty registru:

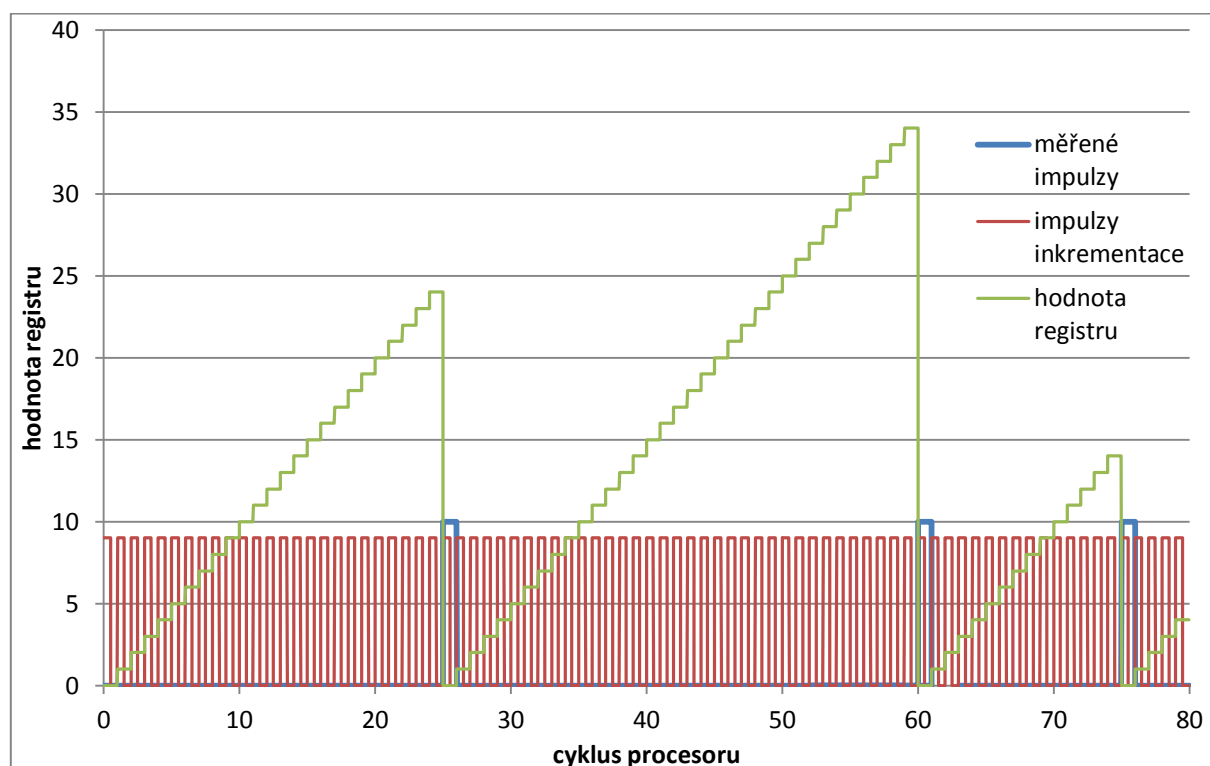
$$f = \frac{f_{ink}}{n} \quad (2)$$

kde f – měřená frekvence [Hz]

f_{ink} – frekvence inkrementace registru [Hz]

n – počet inkrementací mezi měřenými impulzy [-]

Tento způsob měření frekvence je mnohem rychlejší, protože novou hodnotu frekvence dává při každém příchodu měřeného pulzu. Není však použitelný pro frekvence blízké taktovací frekvenci. Princip je znázorněn na obr. 2.



Obrázek 2: Graf měření frekvence čítáním mezi měřenými pulzy

1.2 Měření teploty

Teplota se dá měřit různými způsoby od úbytku napětí na PN přechodu přes termistory, termoelektrické články až po integrované obvody, posílající procesoru teplotu v digitální podobě. Pro měření teploty úbytkem na PN přechodu je zapotřebí vysoké přesnosti převodu a stability referenčních napětí. Měří se úbytek na diodě v propustném směru, který je téměř lineárně závislý na teplotě a mění se cca o 2mV/°C. Termoelektrické články vytvářejí napětí na základě rozdílu teplot měřeného a referenčního konce čidla. Mají velký rozsah teplot, ale dávají nízké výstupní napětí. Integrované obvody určené pro měření teploty jsou kombinací analogového senzoru a A/D převodníku, který převádí naměřenou hodnotu na číslo odpovídající teplotě. Přesnost tohoto řešení je běžně 1°C v rozsahu -55 až 125°C. Naměřená hodnota teplota je posílána v digitální podobě pomocí sériové sběrnice, např. I²C, SPI.

1.2.1 Měření teploty polovodičů

Jedná se o odporové snímače využívající závislost odporu polovodiče na teplotě. Polovodiče jsou materiály, které mají měrný odpor v rozmezí cca 10⁴ až 10⁸ Ωm. Základní polovodiče jsou křemík, germanium, selen, tellur. Polovodiče s iontovou krystalickou vazbou jsou jednoduché sloučeniny jako CuO, MnO, Fe₂O₃, FeO, SiC atd. Hlavními vnějšími činiteli ovlivňující odpor polovodičů jsou teplota, dopad fotonu a působení EM pole. Tyto změny se využívají k měření veličin. Nás zajímá hlavně závislost na teplotě.

Měrná vodivost v pevné látce je ovlivněna koncentrací částic volných elektrických nábojů a jejich pohyblivostí. Hustota částic v polovodiči je dána jejich počtem na jednotku objemu.

$$n = \frac{N}{V} \quad (3)$$

| | | |
|-----|--------------------|--------------------|
| kde | n – hustota částic | [m ⁻³] |
| | N – počet částic | [-] |
| | V – objem | [m ³] |

Pohyblivost je definována jako rychlost částice v jednotkovém elektrostatickém poli.

$$p = \frac{v}{E} \quad (4)$$

| | | |
|-----|-------------------------------------|---|
| kde | p – pohyblivost | [m ² .V ⁻¹ .s ⁻¹] |
| | v – rychlost částice | [m.s ⁻¹] |
| | E – jednotkové elektrostatické pole | [V.m ⁻¹] |

Měrná vodivost je potom dána jako:

$$\gamma = e \cdot n \cdot p \quad (5)$$

| | | |
|-----|--|---|
| kde | γ – měrná vodivost | [S.m ⁻¹] |
| | e – elementární náboj elektronu (-1,602.10 ⁻¹⁹ C) | [C] |
| | n – hustota částic | [m ⁻³] |
| | p – pohyblivost | [m ² .V ⁻¹ .s ⁻¹] |

Podle materiálu se rozlišují polovodičové snímače teploty na:

| | |
|-----------------|---|
| Polykrystalické | – PTC |
| | – NTC |
| Monokrystalické | – bez přechodu PN |
| | – s PN přechodem (diodové, tranzistorové) |

1.2.2 Negastory – NTC

Jsou nelineární polovodičové součástky s velkou změnou elektrického odporu v závislosti na změně teploty. Změna odporu je 5-50x vyšší než u kovových teploměrů. Dominantní je teplotní závislost koncentrace nosičů náboje v polovodiči. Se zvyšující se teplotou se zvyšuje počet elektronů ve vodivostním energetickém pásmu. Velkou výhodou jsou malé rozměry. Nevýhoda tohoto řešení je menší stabilita a nelinearita charakteristiky. Vyrábějí se spékáním kysličníků Fe₂O₃+TiO₂, MnO + CuO atd. Jejich závislost je dána rovnicí:

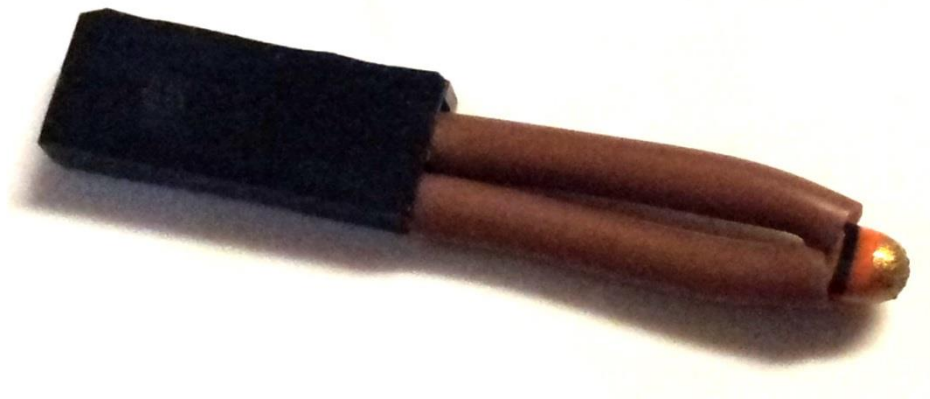
$$R = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (6)$$

| | | |
|-----|--|--------------|
| kde | R – odpor při teplotě T | [Ω] |
| | A – konstanta v určitém rozmezí teplot | [-] |
| | B – materiálová konstanta | [K] |
| | T – teplota | [K] |
| | e – Eulerovo číslo | [-] |

Tuto rovnici lze dále upravit na:

$$R_T = R_0 \cdot e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}\right)} \quad (7)$$

| | | |
|-----|---|--------------|
| kde | R_T – odpor termistoru při teplotě T | [Ω] |
| | R_0 – odpor termistoru při referenční teplotě | [Ω] |
| | T_0 – referenční teplota | [K] |
| | T – teplota | [K] |
| | B – materiálová konstanta | [K] |
| | e – Eulerovo číslo | [-] |



Obrázek 3: Termistor s vývody připojenými na konektor

1.3 Měření intenzity osvětlení

Je založeno na fotoelektrickém jevu. Vnitřní fotoelektrický jev vzniká při dopadajícím záření na polovodičovou strukturu. Zářením je dodávána energie elektronům valenční vrstvy, které přechází přes zakázaný pás až do vodivostního pásu. Elektrony opustí svůj atom a chovají se jako volný nosič náboje, což má za následek zvýšení vodivosti. Při dopadu záření v oblasti přechodu PN se mezi přechodem objevuje hradlové napětí, které u fototranzistoru má za následek otevření tranzistoru.

1.3.1 Fotorezistor

Je dvojbran, jehož odpor je závislý na dopadajícím záření. Může být vyroben např. z CdS (sirič kademičitý). Se zvyšujícím se osvětlením klesá odpor, tato závislost je přibližně logaritmická. Bez dopadajícího záření je odpor součástky velmi vysoký (řádově M Ω až G Ω). Pokud na součástku posvítíme, sníží se její odpor na stovky Ω . Nevýhodou fotorezistoru je

dlouhá doba, než dojde k ustálení hodnoty, tomuto jevu se říká setrvačnost. Pohybuje se v rozmezí 100ms až 100s v závislosti na technologii a materiálu.

1.3.2 Fototranzistor

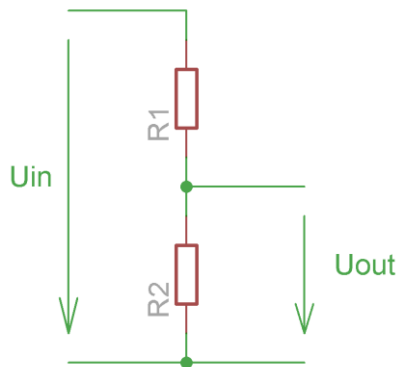
Jedná se o tranzistor s přechodem báze-emitor přístupným dopadajícím záření. Funguje tak, že přechod báze-emitor je otevírán dopadajícím zářením, počet nosičů se zvětšuje úměrně s dopadajícím zářením a je zesilován jako proud báze bipolárního tranzistoru. Díky tomu mají fototranzistory vysokou citlivost.

1.4 Měření napětí pomocí mikroprocesoru

Napětí se měří celkem jednoduše přes dělič, znázorněný na obr. 3. Výstupní napětí děliče je dáno vztahem:

$$U_{out} = U_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (8)$$

kde U_{in} – vstupní napětí [V]
 U_{out} – výstupní napětí [V]
 R_1, R_2 – odpory děliče [Ω]



Obrázek 4: Schéma zapojení děliče napětí

Toto napětí je přivedeno na vstup A/D převodníku a měří se oproti referenčnímu napětí. Přesnost tohoto měření je dost vysoká, protože se jedná o lineární závislost.

1.5 Měření odporu pomocí mikroprocesoru

Odpor můžeme měřit na základě stejného zapojení, jako je měření napětí (obr. 3). U_{in} je v tomto případě přivedeno na referenční napětí, poté je možno vypočítat R_2 na základě znalosti R_1 , U_{in} a U_{out} ze vztahu:

$$R_2 = \frac{U_{out}R_1}{U_{in}-U_{out}} \quad (9)$$

| | | |
|-----|--------------------------------------|--------------|
| kde | R_2 – měřený odpor | [Ω] |
| | U_{out} – výstupní napětí | [V] |
| | R_1 – referenční odpor | [Ω] |
| | U_{in} – vstupní referenční napětí | [V] |

1.6 A/D převodník

Je integrovaný obvod, který převádí vstupní napětí spojité v čase i hodnotě na číslo nespojité v čase i hodnotě. Hlavními parametry A/D převodníků je rozlišení a rychlost vzorkování. Rozlišení převodníku udává počet kvantizačních úrovní, kterých může napětí nabývat. Udává se zpravidla v bitech. Dalším významným parametrem je rychlost vzorkování, ta udává, s jakou frekvencí je schopen převodník převádět analogovou hodnotu na digitální. Převodníků existuje celá řada: paralelní, komparační, kompenzační, s postupnou aproximací, s dvojitou integrací, delta-sigma převodníky. Výstupní hodnota napětí A/D převodníku je dána vztahem:

$$U_{out} = ADC \cdot \frac{U_{ref}}{2^n} \quad (10)$$

| | | |
|-----|----------------------------------|-------|
| kde | U_{out} – vypočtené napětí | [V] |
| | ADC – hodnota převedeného napětí | [-] |
| | U_{ref} – referenční napětí | [V] |
| | n – rozlišení převodníku | [bit] |

1.7 Oversampling

Oversampling je statistická metoda, zvyšující přesnost měřené hodnoty na úkor rychlosti samplování. Pokud chceme zvýšit přesnost o 1 bit, je nutné měřený signál navzorkovat 4x, tyto vzorky sečíst a vydělit 2. Analogicky se dá zvyšovat přesnost prakticky do nekonečna, ale samplování pak trvá dlouhou dobu. Metoda oversamplingu se zakládá na měření šumu, při velkém počtu vzorků je podle Gaussova normálního rozdělení nejvyšší

pravděpodobnost změření hodnoty blízké skutečné hodnotě. Dále součet šumu více vzorků je průměrován a blíží se tím víc k nule, čím víc naměříme vzorků. Podle toho, kolikrát je hodnota odtazena šumem na kladnější kvantizační úroveň nebo zápornější kvantizační úroveň, je možno vypočítat přesnější hodnotu. Oversamplovanou hodnotu lze vypočítat obecně z rovnice:

$$ADC_{over} = \frac{\sum_{i=1}^{2^{N-n}} ADC_i}{2^{N-n}} \quad (11)$$

kde ADC_{over} – oversamplovaná hodnota [-]
 N – požadované rozlišení [bit]
 n – rozlišení A/D převodníku [bit]
 ADC_i – navzorkované hodnoty [-]

Pro příklad - pokud byla naměřena 233x hodnota 245, 20x hodnota 246, 2x hodnota 244 a 1x hodnota 247, poté oversamplovaná hodnota je dána rovnicí:

$$ADC_{over} = \frac{233 \cdot 245 + 20 \cdot 246 + 2 \cdot 244 + 1 \cdot 247}{16} = 3921 \quad (12)$$

Nesmíme zapomenout, že plný rozsah je nyní 14 bit, tedy 16384. Oproti měření bez oversamplování, kdy je rozlišení 10 bit, neboli 1024, tak dostáváme 16x přesnější hodnotu. Při snížení vzorkovací frekvence 256x.

V následující tabulce jsou uvedeny případy oversamplování A/D převodníku na 11 bit až 16 bit hodnotu v mikroprocesorech AVR pro referenční napětí 5V a taktování ADC 200kHz.

| Rozlišení | Kvantizační krok | Samplováno | vyděleno | Maximální vzorkovací frekvence |
|-----------|------------------|------------|---------------------|--------------------------------|
| 10 bit | cca 5mV | 1x | neděleno | cca 7600Hz |
| 11 bit | cca 2,5mV | 4x | 2 ¹ (2) | cca 1900Hz |
| 12 bit | cca 1,22mV | 16x | 2 ² (4) | cca 475Hz |
| 13 bit | cca 0,61mV | 64x | 2 ³ (8) | cca 118Hz |
| 14 bit | cca 0,30mV | 256x | 2 ⁴ (16) | cca 29Hz |
| 15 bit | cca 0,15mV | 1024x | 2 ⁵ (32) | cca 7Hz |
| 16 bit | cca 0,075mV | 4096x | 2 ⁶ (64) | cca 3Hz |

Tabulka 1: Oversamplování 10bit hodnoty [1]

Z tabulky je patrné zvýšení přesnosti při výrazném snížení maximální vzorkovací frekvence. Pro účely měření teploty a napětí je však důležitější přesnost měření než rychlost vzorkování.

2 Realizace analyzátoru

V této kapitole jsou vybrány měřené veličiny a popsán způsob jejich měření včetně rovnic potřebných k výpočtu zobrazitelné hodnoty. Dále je vybrán zobrazovač a popsán způsob řízení jeho jasu.

2.1 Výběr měřených veličin

Ve starších automobilech občas schází otáčkoměr, popř. některým uživatelům nestačí přesnost analogového otáčkoměru. Mně osobně digitální třímístný otáčkoměr vyhovuje více než analogový. Dá se s ním lépe určit rozsah optimálních otáček, kdy motor nejméně rezonuje. Měření otáček tedy bylo vybráno jako hlavní měřená veličina. Co automobilům, dokonce i novodobým, schází, je měření a zobrazení napětí autobaterie. Pokus o nastartování s vybitou baterií jí neprospívá. Z tohoto důvodu je požadována funkce měření napětí autobaterie s indikací příliš nízkého napětí. Indikace je nastavena na 11,9V, které je doporučeno pro zachování dlouhé životnosti baterie v [5] na straně 21. Ve starších automobilech také není standardem měření teploty exteriéru. Interiérová teplota se měří kvůli klimatizaci, ale exteriérová občas chybí nebo nelze zobrazit. Součástí analyzátoru je proto i měření dvou teplot, jedné interiérové a druhé exteriérové. U obou lze nastavit práh, kdy analyzátor začne upozorňovat uživatele na nízkou teplotu, a tím i možnost námrazy vozovky. U vnitřní teploty tato funkce nemá velký význam, ale její implementace je jednoduchá, proto zde je také.

2.2 Výběr zobrazovače

Z dostupných zobrazovačů se nám nabízí LCD nebo LED technologie. LCD je dobře čitelný pouze v určitém úhlu, pak jeho kontrast klesá. Další nevýhodou je, že sám nesvítí, ale pouze zatmívá určité oblasti, proto je také nutno podsvícení v noci. LED technologie sama generuje světlo a kontrast se zorným úhlem neklesá. Na přímém slunci je potřeba vysoký jas segmentů pro dobrou čitelnost. V analyzátoru je zvolen vysoce svítivý třímístný sedmisegmentový LED display BA56-12SRWA [11] firmy Kingbright.

2.3 Výběr způsobu měření otáček

Vymyslet univerzální způsob měření otáček je trochu komplikované. Některé motory mají na vačkovou nebo klikovou hřídel připevněny magnety a otáčky se snímají hallovou sondou. Tento způsob je komplikovaný na realizaci, vzhledem k nutnosti upevnit snímač a

magnety. Další možností je optická závora, ale je tu stejný problém s umístěním. Poté je tu možnost neměřit přímo otáčky motoru, ale měřit otáčky alternátoru. To má tu výhodu, že některé alternátory mají vyveden výstup na otáčkoměr a pokud ne, jde brát pulzy z jedné cívky alternátoru. Toto řešení vyžaduje pouze jediný drát se signálem. Další výhodou je skutečnost, že alternátory jsou vícepólové, tím pádem je měřená frekvence vyšší a přímo úměrná otáčkám klikové hřídele. Z výše uvedených důvodů je zvolen způsob měření otáček odvozený z pulzů alternátoru. Mezi periodou jednotlivých pulzů je čítána doba pomocí inkrementace 16bit čítače/časovače frekvencí 1MHz. Výsledná frekvence je dána rovnicí (2). Rozsah měřitelných frekvencí v tomto nastavení je:

$$f_{min} = \frac{f_{ink}}{2^{16}} = \frac{1\,000\,000}{65536} = 15,3Hz \quad (13)$$

kde 2^{16} reprezentuje nejvyšší možné číslo 16 bit čítače

Maximální frekvence je ovlivněna minimálním počtem cyklů potřebných ke změření pohybujících se kolem 32 cyklů

$$f_{max} = \frac{f_{ink}}{32} = \frac{1\,000\,000}{32} = 31250Hz \quad (14)$$

Tato závislost má průběh lineárně lomené funkce, proto je přesnost měření větší s nižším číslem registru. Tento způsob poskytuje více dat pro vyšší měřenou frekvenci, proto se v analyzátoru vypočte nová hodnota otáček každé 16. měření. Dále je z hodnoty vypočten klouzavý průměr pomocí 8. úrovnového zásobníku. Tímto je docíleno výrazného zvýšení stability údaje při drobných změnách frekvence způsobených nestálou silou působící na válce motoru.

2.3.1 Přepočet frekvence na otáčky

Převod řemenice z klikové hřídele k alternátoru je většinou 2:1, to dává dvounásobné otáčky alternátoru, který bývá v automobilech 6pólový. Můžeme tedy napsat rovnici popisující tuto závislost jako:

$$f = f_m \cdot p \cdot n \quad (15)$$

kde f – frekvence impulzů alternátoru [Hz]

f_m – frekvence otáčení motoru [Hz]

p - převod řemenic motor – alternátor [-]

n – počet pólů alternátoru [-]

Součin p a n nám říká, kolikrát musíme naměřenou frekvenci vydělit, abychom získali původní frekvenci. Pro získání otáček za minutu musíme ještě vynásobit 60x. Můžeme tak psát rovnici:

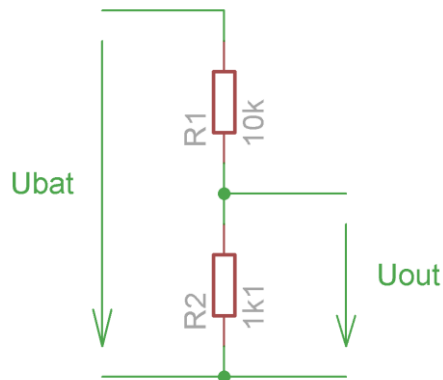
$$rpm = \frac{f}{12} \cdot 60 = f \cdot 5 \quad (16)$$

kde rpm – otáčky za minutu

Měřit otáčky motoru je potřebné v rozsahu přibližně 500-10000 ot/min, což podle rovnice (16) odpovídá 100-2000Hz.

2.4 Měření napětí autobaterie

Napětí z autobaterie je přivedeno na dělič s odpory o velikosti $R1 = 10k$, $R2 = 1,1k$ s tolerancí 1%, zapojenými podle schématu na obr. 5.



Obrázek 5: Dělič pro měření napětí autobaterie

Výstup tohoto děliče jde na vstup A/D převodníku. Vztah (8) můžeme upravit na:

$$U_{bat} = U_{out} \frac{R1+R2}{R2} \quad (17)$$

U_{out} je možno vypočítat z hodnoty naměřené A/D převodníkem pomocí rovnice (10). U_{ref} je referenční napětí, které bylo pro tento případ zvoleno 2,56V, n je rozlišení převodníku a ADC je diskretní hodnota napětí. Jelikož bylo z důvodu odstranění překmitů hodnoty vlivem šumu využito oversamplingu na 15 bit hodnotu, je měřené napětí samplováno 1024x, jak vyplývá z tabulky 1. Pro ušetření výpočtů není hodnota vydělena 32x, ale toto dělení je provedeno společně s výpočtem napětí. Dále se pro výpočet využívá pouze celočíselných datových typů a výsledek na 1 desetinné místo je realizován vynásobením hodnoty 10x.

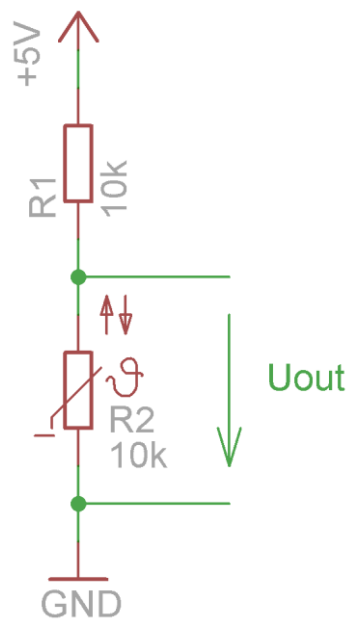
Hodnota 124 poté odpovídá 12,4V. Důvodem je výrazně rychlejší výpočet proti výpočtům s plovoucí desetinnou čárkou. Výsledný vzorec udávající hodnotu napětí tedy vypadá takto:

$$U_{bat} = \frac{\sum_{i=1}^{4^{15}-10} ADC_i}{2^{15}-10} \cdot \frac{U_{ref}}{2^{15}} \cdot \frac{R1+R2}{R2} \cdot 10 = \frac{ADC \cdot 2,56 \cdot 11100 \cdot 10}{2^5 \cdot 2^{15} \cdot 1100} = \frac{ADC \cdot 284160}{1153433600} = \frac{ADC}{4059} \quad (18)$$

kde ADC je součet 1024 měření 10 bit hodnoty.

2.5 Měření teploty pomocí termistoru NTC

Termistor je zapojen do děliče podle schématu na obrázku. Výstup děliče je připojen na vstup A/D převodníku, kde se z naměřené hodnoty vypočítává teplota. Za předpokladu 10 bit rozlišení A/D převodníku by bylo možné měřit teploty v rozsahu cca 10-40°C s přesností 0,1°C. Mimo tento rozsah je naměřená změna příliš malá. Z tohoto důvodu je měřená hodnota oversamplována na 16 bit. Snižuje se tím frekvence vzorkování na 3Hz pro tento účel to nevadí. Termistor je připojen podle schématu na obr 6.



Obrázek 6: Zapojení pro měření teploty termistorem

Dělič je připojen na napájecí napětí mikroprocesoru 5V, referenční napětí A/D převodníku je na stejném potenciálu, tím je docíleno částečného potlačení chyby vlivem kolísání napětí.

2.5.1 Přepočítání hodnoty naměřené ADC na teplotu

Odpor zvolených termistorů je definován rovnicí dle datasheetu [4] takto:

$$R_T = R_{25} \cdot e^{A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}} \quad (19)$$

| | | |
|-----|--------------------------------------|--------------|
| kde | R_T – odpor při teplotě T | [Ω] |
| | T – teplota | [K] |
| | R_{25} – odpor termistoru při 25°C | [Ω] |
| | A, B, C, D – materiálové konstanty | [viz tab. 2] |
| | e – Eulerovo číslo | [-] |

Další rovnicí z [4] je možno definovat teplotu pomocí odporu termistoru jako:

$$T_R = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{25}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{25}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{25}} \right)^{-1} \quad (20)$$

| | | |
|-----|--|--------------|
| kde | T_R – teplota při odporu R | [K] |
| | A_1, B_1, C_1, D_1 – materiálové konstanty | [viz tab. 2] |
| | R – naměřený odpor | [Ω] |
| | R_{25} – odpor při teplotě 25°C | [Ω] |
| | ln – přirozený logaritmus | [-] |

Hodnoty materiálových konstant pro zvolený termistor 10k jsou uvedeny v tabulce 2.

| | |
|----------------|---|
| A | -14,6337 |
| B | 4791,842 K |
| C | -115334*10 ⁵ K ² |
| D | -3730535*10 ⁶ K ³ |
| A ₁ | 3,354016*10 ⁻³ |
| B ₁ | 2,569355*10 ⁻⁴ K ⁻¹ |
| C ₁ | 2,62311*10 ⁻⁶ K ⁻² |
| D ₁ | 0,675278*10 ⁻⁷ K ⁻³ |

Tabulka 2: Materiálové konstanty NTC Vishay 10k 3770K [4]

Nyní je ještě potřeba zjistit hodnotu odporu z naměřené hodnoty napětí. Když budeme vycházet ze vztahu pro napěťový dělič (9), můžeme vypočítat hodnotu odporu:

$$R_2 = \frac{U_{out} \cdot R_1}{U_{in} - U_{out}} \quad (21)$$

kde $U_{in} = U_{ref} = 5V$, U_{out} je naměřená hodnota napětí, R_1 je rezistor s odporem 10k a tolerancí 1%. Napětí je měřeno A/D převodníkem, je potřeba vyšší přesnost, proto je měřená hodnota oversamplována na 16bit. S využitím rovnic (10), (11) a (21) můžeme napsat následující vztah:

$$R_2 = \frac{U_{out} \cdot R_1}{U_{in} - U_{out}} = \frac{ADC \cdot \frac{U_{ref}}{2^n} \cdot R_1}{U_{in} - ADC \cdot \frac{U_{ref}}{2^n}} = \frac{ADC \cdot \frac{5}{2^{16}} \cdot 10000}{5 - ADC \cdot \frac{5}{2^{16}}} \cdot \frac{2^{16}}{5} = \frac{ADC \cdot 10000}{2^{16} - ADC} \quad (22)$$

Nyní máme odpor, ze kterého můžeme pomocí rovnice (20) vypočítat teplotu. Pro zvýšení výkonu výpočtu mikroprocesorem a zobrazení ve stupních celsia je vhodné upravit rovnici následovně:

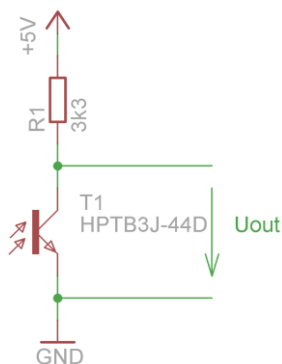
$$t = \frac{1}{A_1 + B_1 \cdot \ln R + C_1 \cdot \ln R \cdot \ln R + D_1 \cdot \ln R \cdot \ln R \cdot \ln R} - 273,15 \quad (23)$$

kde $-273,15^\circ C$ je teplota absolutní nuly. Dále je využít mezivýpočet v podobě

$$\ln R = \ln \frac{R_2}{R_{25}} = \ln \frac{ADC \cdot 10000}{2^{16} - ADC} = \ln \frac{ADC}{2^{16} - ADC} \quad (24)$$

2.6 Měření okolního jasu

Analyzátor by měl být dobře čitelný ve dne i v noci, proto je vybaven funkcí změny jasu displeje v závislosti na okolním světle. Měření okolního jasu je realizováno fototranzistorem umístěným v těsné blízkosti displeje. Fototranzistor je zapojen podle následujícího schématu:



Obrázek 7: Zapojení fototranzistoru

Na fototranzistor je přes omezovací rezistor s odporem 3k3 přiváděno předpětí z napájecího napětí 5V a vlivem dopadajícího světla se mění proud, který jím prochází resp. napětí U_{CE} . To se poté měří pomocí A/D převodníku. Hodnoty jasu jsou samplovány 256x kvůli zvýšení přesnosti. Z naměřených hodnot byla vytvořena následující přepočtení tabulka, ve které bylo využito linearizace po intervalech.

| Naměřená hodnota | jas |
|--------------------|--|
| >265000 | 1 |
| >230000 a <=265000 | $2+(26500 - \text{naměřená hodnota})/5000$ |
| >205000 a <=230000 | $9+(23000 - \text{naměřená hodnota})/3125$ |
| >180000 a <=205000 | $17+(205000 - \text{naměřená hodnota})/1562$ |
| >165000 a <=180000 | $33 + (180000 - \text{naměřená hodnota})/1071$ |
| <= 165000 | 47 |

Tabulka 3: Přepočtení funkce pro jas displeje

2.6.1 Změna jasu displeje

Měnit jas displeje lze mnoha způsoby, například zařazením tranzistorů realizující napěťový zdroj do společných anod, proud je poté omezován katodovými rezistory. Toto řešení je však náročné na místo a součástky, proto je zvolen způsob řízení jasu pomocí PWM. Funkce je taková, že s frekvencí 20kHz se spouští přerušení. Zde má každá číslice sedmisegmentového displeje rezervovanou dobu 48 period, kde se dá nastavit jas od 1 perioda svítí a 47 period nesvítí, až po 48 period svítí. Po uplynutí 48 period se přepne na další číslici na displeji, která má k dispozici zase 48 period atd. Přepínání mezi číslicemi displeje se děje s frekvencí přibližně 417Hz a celková obnovovací frekvence displeje je okolo 139Hz. Hodnoty jasu v rozmezí 1 až 47 jsou z naměřené hodnoty přepočteny tak, aby jas displeje byl dostatečný pro okolní jas.

3 Hardwarová realizace

Tato kapitola zahrnuje výběr mikroprocesoru, zdroje a realizace zapojení analyzátoru včetně popisu funkce obvodu.

3.1 Volba mikroprocesoru

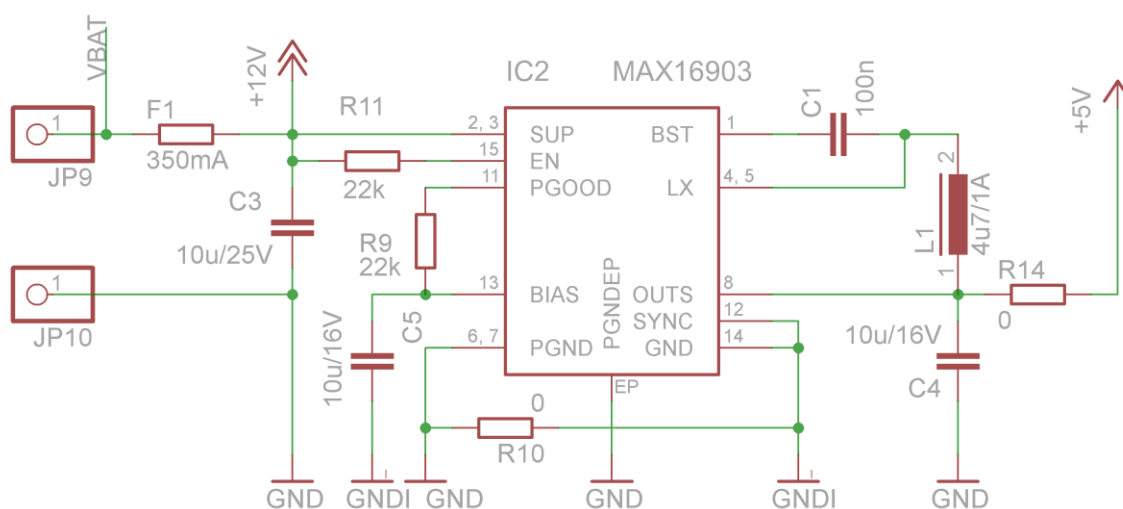
Jako mikroprocesor byl zvolen AVR čip firmy ATMEL, konkrétně ATmega8A. Při nákupu 25 ks je cena velmi nízká a dají se použít pro velké množství zařízení obdobných popisovanému analyzátoru. 8kb programové paměti na tuto aplikaci stačí, dále je nutné externí přerušení, to ale mají snad všechny mikroprocesory AVR. Potřeba je také 16 bit časovač/čítač pro měření frekvence, potažmo otáček, a jeden další čítač pro multiplex displeje. Pak ještě analogově-digitální převodník s minimálně 4 kanály. To jsou veškeré požadavky kladené na mikroprocesor.

3.2 Napájecí zdroj

Byl vybrán LED zobrazovač, kterému jsou navržnuty omezovací rezistory tak, aby při plném jasu měl maximální odběr přibližně 200mA. Při použití lineárního stabilizátoru je třeba odvést teplo dané rozdílem palubního napětí 14,4V a 5V napájecí analyzátor při proudu 0,2A. To odpovídá 1,88W odpadního tepla. V automobilu toto není vhodné řešení. Byl tedy zvolen spínaný zdroj. Jako základ zdroje posloužil integrovaný obvod firmy Maxim IC, konkrétně MAX16903SAUE50/V+. Jedná se o 1A step-down měnič pracující na frekvenci 2,1MHz. Rozsah vstupních napětí je od 3,5V do 28V. Je použito doporučené zapojení z datasheetu [3] s drobnými změnami hodnot součástek. Filtrační kondenzátory jsou použity všude 10uF namísto 2,2uF, 4,7uF a 10uF, které jsou doporučeny v [3]. Integrovaný obvod je nastaven do tzv. SKIP módu. V tomto módu má měnič mnohem vyšší účinnost při nízkých odběrech. Pro příklad při vstupním napětí 14V a odběru 20mA (nízký jas displeje) je účinnost kolem 87%, při odběru 200mA (vysoký jas displeje) je kolem 85%. Ztrátové teplo při plném odběru vychází na 1W při napětí 5V a odběru 0,2A. Tato hodnota odpovídá 85% spotřebované energie. Celkový odběr, neboli 100%, vychází 1,18W. Ztrátové teplo měniče je tedy rozdíl mezi celkovou spotřebou 1,18W a spotřebou samotného analyzátoru 1W. Vychází tedy na 0,18W, což se chladí mnohem lépe než lineární stabilizátor.

3.2.1 Popis funkce zapojení

Zapojení je velice jednoduché, obsahuje pouze několik součástek. Konektor JP9 je kladné napájecí napětí, JP10 je záporné napájecího napětí. F1 je vratná polymerová SMD 0805 pojistka 350mA, slouží pro ochranu zapojení. C3 je filtrační kondenzátor vstupního napětí, musí být umístěn bezprostředně u IC2. Z něj se bere náboj pro spínací část IC2. Rezistor R11 slouží pro zapnutí IC2, vstup EN má definované úrovně 0-0,6V pro vypnutí a 2,4-42V pro zapnutí. Hodnota odporu není důležitá, ale není vhodné jej nahrazovat propojkou. Kondenzátor C5 filtruje napájecí napětí interních obvodů logiky, je na něm napětí 5V. R9 slouží jako pull-up rezistor výstupu PGOOD, který je zapojen jako otevřený kolektor (drain). Není nutno jej osazovat, osazen byl pro účely vývoje a oživení obvodu. R10 je propojka spojující silovou a signálovou zem. Není nutno osazovat, byla osazena taktéž pro účely vývoje a oživení. C1 je boost kondenzátor pro vytvoření vyšší úrovně napětí než je vstupní, potřebuje IC kvůli sepnutí horního MOSFET tranzistoru pro nabití cívky. L1 akumuluje energii ze vstupu a odevzdává ji do výstupního kondenzátoru C4. R14 je propojka, v návrhu je kvůli možnosti oživení samostatné části zdroje a zbytku zařízení. Pro správnou funkci analyzátoru nutno osadit.

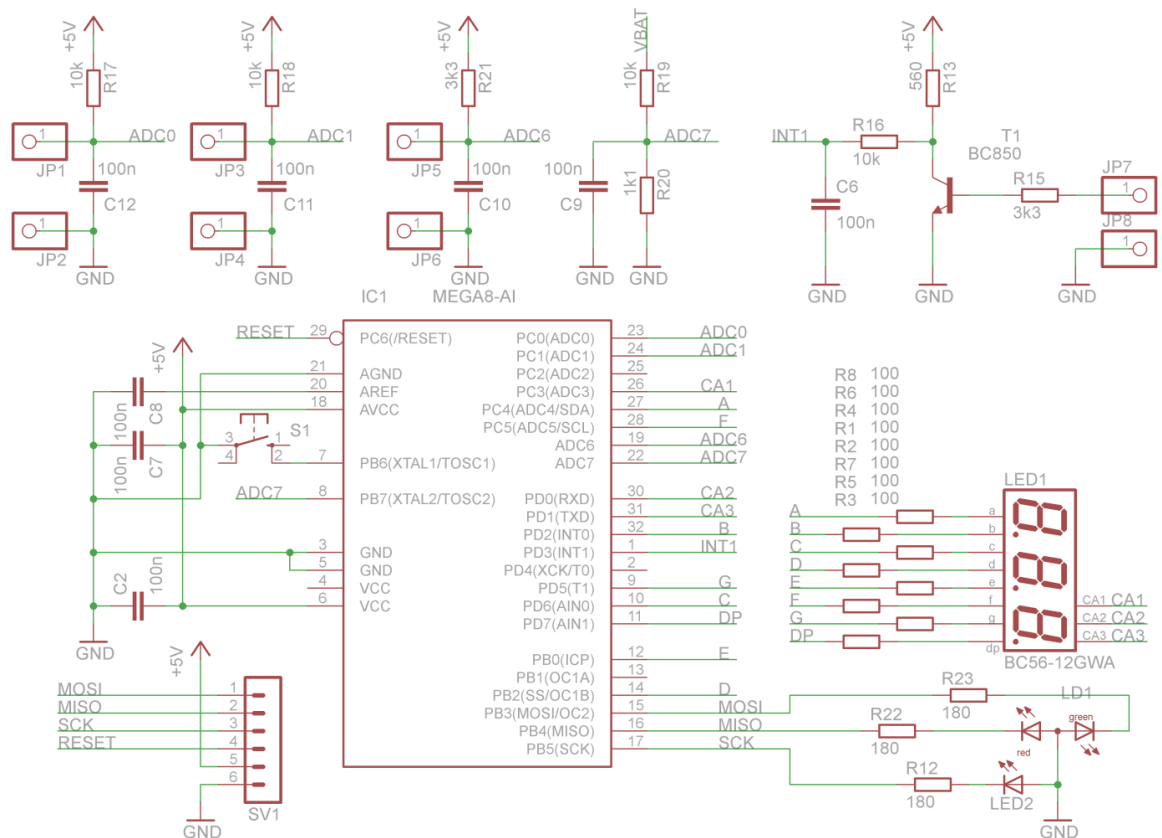


Obrázek 8: Schéma zapojení zdroje

3.3 Zapojení a popis funkce analyzátoru

Základem zapojení je mikroprocesor ATmega8A, ke kterému jsou připojeny veškeré měřené veličiny přes obvody umožňující jejich měření. Na piny JP1 a JP2 se připojuje 10k NTC termistor, ten společně s 1% rezistorem R17 tvoří dělič, a tak mění napětí v závislosti na teplotě. Jeho výstup se snímá A/D převodníkem na kanále 0. Stejně je to s piny JP3 a JP4,

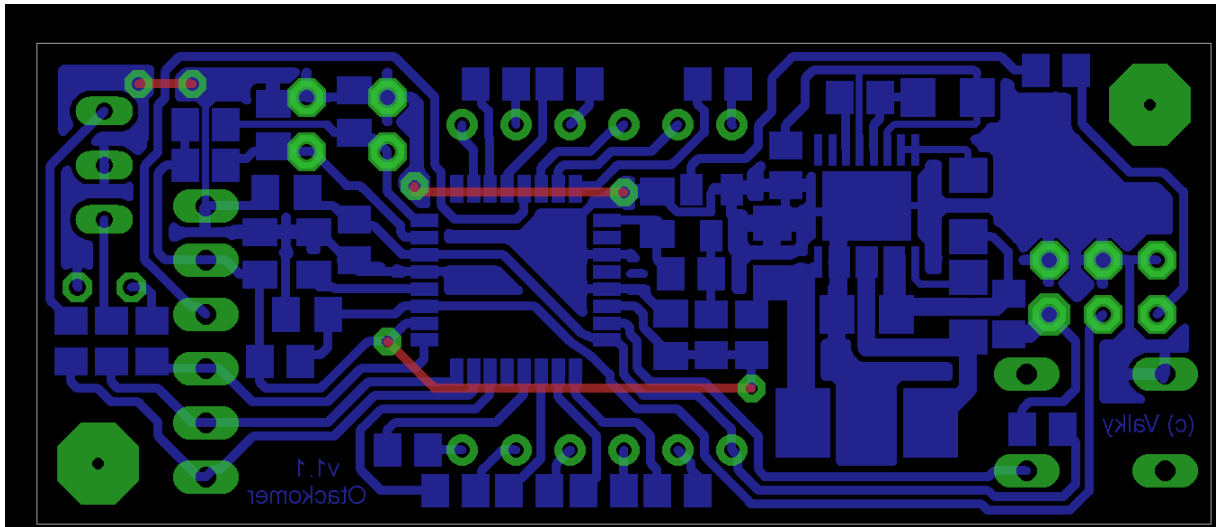
výstupní napětí se snímá A/D převodníkem na kanále 1. Na piny JP5 a JP6 je připojen fototranzistor. Rezistor R21 je kolektorový rezistor, napětí na přechodu U_{CE} se mění v závislosti na okolním osvětlení. Toto napětí se snímá A/D převodníkem na kanále 6. Odporový dělič tvořený z R19 a R20, bere vstupní napětí přímo z konektoru napájení analyzátoru ještě před zdrojem, to umožňuje měření napětí baterie. Napětí na výstupu děliče se měří A/D převodníkem na kanále 7. Všechny vstupy A/D převodníku mají proti zemi připojené kondenzátory kvůli filtraci měřených napětí. Na piny JP7 a JP8 je přiveden signál z alternátoru. Ten je zesílen a invertován tranzistorem T1, poté jsou odfiltrovány nežádoucí vysoké frekvence a výstup je přiveden na vstup externího přerušení INT1. Kondenzátor C8 slouží pro filtraci referenčního napětí A/D převodníku. Kondenzátor C7 je umístěn u pinů AVCC a AGND pro filtraci. Kondenzátor C2 je umístěn u pinů VCC a GND pro filtraci. Konektor SV1 je ISP programovací rozhraní. Odporů umístěné u displeje jsou katodové omezovací rezistory, maximální proud jedním segmentem je nastaven omezovacími odporů R1-R8 na 29mA. Odporů R12, R22 a R23 jsou omezovací odporů pro stavovou LED a LED reprezentující záporné znaménko, proud diodami je přibližně 15mA. Tlačítko S1 slouží pro přepínání módu, konkrétně otáčkoměr, voltmetr, interiérová teplota, exteriérová teplota.



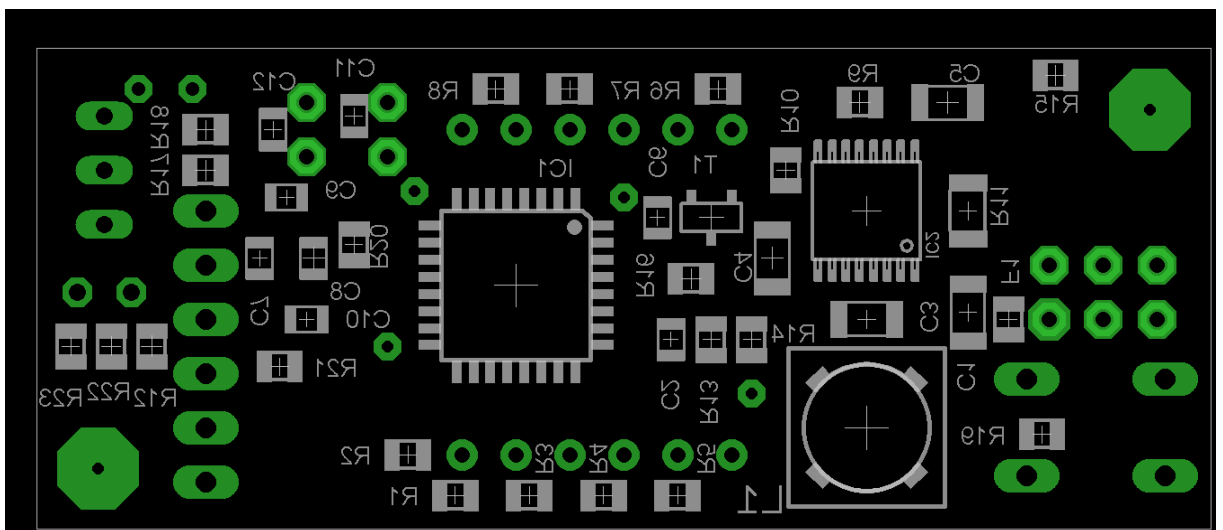
Obrázek 9: Schéma zapojení analyzátoru

3.4 Návrh desky plošných spojů

Velikost desky plošných spojů odpovídá velikosti displeje se stavovou diodou po straně a tlačítkem na druhé straně. Je proto celkem malá a bylo nutno využít SMD součástek o velikosti 0805 a některých kondenzátorů o velikosti 1206.



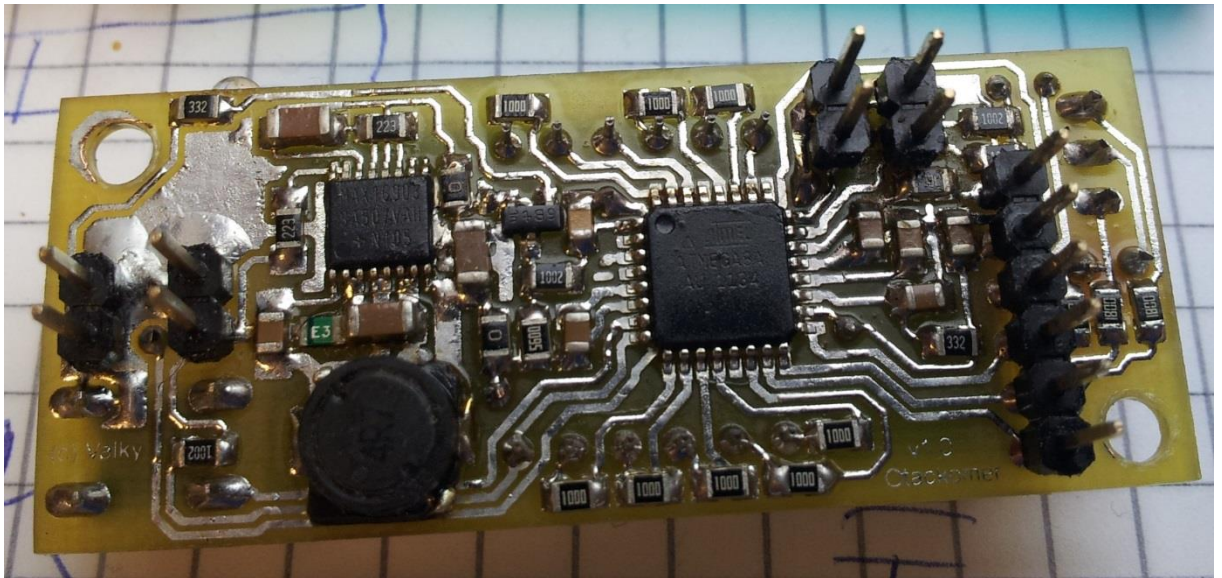
Obrázek 10: Deska plošných spojů



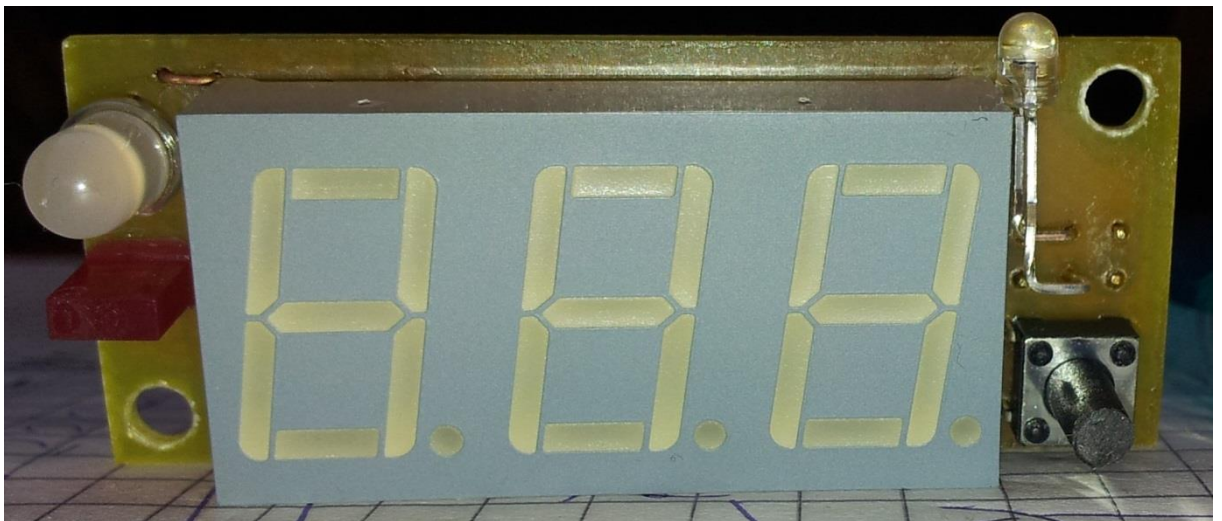
Obrázek 11: Osazovací plán spodní strany DPS

3.5 Výroba desky plošných spojů

Deska je vyrobena v domácích podmínkách pomocí fotocesty. Před osazením byla pocínována a po osazení natřena bezbarvým ochranným lakem.



Obrázek 12: Fotografie prvního vzorku (zezadu)



Obrázek 13: Fotografie prvního vzorku (zepředu)

4 Software analyzátoru

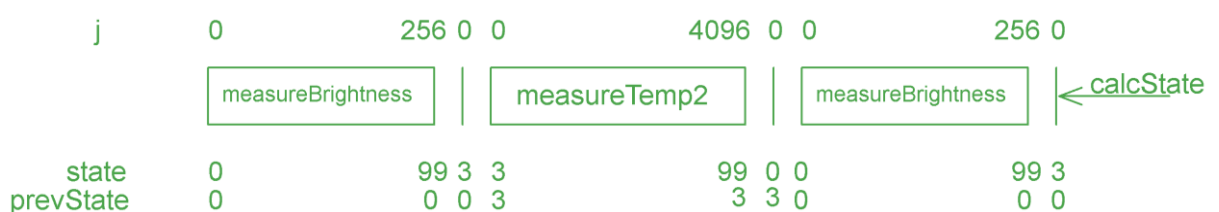
Program je rozčleněn na 3 samostatně běžící vlákna. První tvoří nekonečný cyklus main funkce. Další se spustí při externím přerušení na pinu INT1. Poslední je vyvoláváno konstantní dobou při přerušení od shody TCNT2 s OCR2.

4.1 Main cyklus

Nekonečný cyklus main funkce je psán jako stavový automat. Pracuje s interátorem j, který se inkrementuje každým průchodem nekonečného cyklu.

Program v nekonečné smyčce main funkce nejprve zjistí, jestli nebylo stisknuto tlačítko a podle toho přepne globalState na 0 – otáčkoměr, 1 – voltmetr, 2 – teploměr interiérový, 3- teploměr exteriérový. Při stisku dojde také k resetu hodnot zobrazených na displeji a vypíše se „Int“, dokud není naměřena nová hodnota.

Dále se v tomto cyklu na základě proměnné state, udávající aktuální stav, měří okolní osvětlení (state = 0), napětí autobaterie (state = 1), interiérová teplota (state = 2), exteriérová teplota (state = 3), napětí na pozadí (state = 4), interiérová teplota na pozadí (state = 5) a exteriérová teplota na pozadí (state = 6), posledním možným stavem proměnné state je 99, který znamená volnou frontu. Tento stav trvá vždy pouze několik instrukcí, protože bezprostředně po dokončení měřicí funkce je vypočítán potřebný následný stav a je nastaven na 0 až 6. Tímto způsobem je dosaženo maximálního využití výkonu procesoru pro měření veličin. Pro názornost je na obr. 14 vyobrazeno chování hlavní smyčky při globalState = 3;



Obrázek 14: Přepínání stavů hlavní smyčky při měření teploty

Interátor j se využívá pro oversampling měřených veličin. Některé funkce, jako čtení vstupů nebo výpočet překročení mezních hodnot, se provádí při každém průchodu hlavní smyčkou. Funkce pro měření za jeden průchod smyčkou samplují jednu hodnotu. Změření teploty tak trvá 4096 průchodů hlavní smyčkou. Tento způsob je zvolen kvůli plynulosti přepínání tlačítka. Kdyby bylo samplování hodnot ve for cyklu, čekali bychom cca 300ms, než by tlačítko zareagovalo.

Změřené hodnoty se poté přepočítají na zobrazitelné hodnoty. Dále se po každých 45000 průchodech hlavní smyčkou změní napětí, po dalších 45000 průchodech se změní interiérová teplota, po dalších 45000 průchodech se změní exteriérová teplota. Vše se měří na pozadí bez ohledu na aktuální zobrazované veličině.

4.2 Měření otáček

Je realizováno pomocí externího přerušení. Když nastane, zapíše se obsah registru TCNT1 do proměnné rpm, vyresetuje se TCNT1. Každé 16. měření se zprůměruje předchozích 16 měření a zapíše do osmiúrovňového zásobníku, ze kterého se vypočítá klouzavý průměr. Tímto je dosaženo velkého ustálení hodnoty při neustálých odchylkách otáček motoru. V programu je tento způsob zapsán následovně:

```
// měření otáček T = 1/8MHz = 0,00000125 s = 0,125us
// TCNT1 <0-65535> dělička 8
// f = 1/t t = TCNT1*8*T f = 1/(TCNT1*8*0,125e-6) = 1000000/TCNT1;
// f <10-999> Hz
// 170Hz * 5 = 850rpm
// rpm = f * 5 = 5*1000000/TCNT1 = 5000000/TCNT1
// na 3 místa /10 rpm = 500000/TCNT1
ISR(INT1_vect, ISR_NOBLOCK)
{
    rpm = TCNT1; // zapsání TCNT1 do rpm
    TCNT1 = 0; // vynulování TCNT1
    k++; // inkrementace k
    rpmt += rpm; // přičtení rpm k rpmt (16x)
    if(k == 16) // pokud je k = 16
    {
        k = 0; // k = 0
        rpm1 = rpmt/16; // vyprůměrování rpmt do rpm1
        rpmt = 0; // vyresetování rpmt
        rpmCalc();
        if(globalState == 0)
        {
            rpm02Digit(); // převod rpm0 na digity
        }
    }
}
//-----

// funkce pro výpočet klouzavého průměru otáček, kvůli kmitání poslední číslice
void rpmCalc()
{
    rpm0 = 4000000/(rpm1+rpm2+rpm3+rpm4+rpm5+rpm6+rpm7+rpm8); // výpočet otáček z
    rpm8 = rpm7; // klouzavého průměru předchozích otáček
    rpm7 = rpm6; // // posun hodnot níže
    rpm6 = rpm5;
    rpm5 = rpm4;
    rpm4 = rpm3;
    rpm3 = rpm2;
    rpm2 = rpm1;
}
//-----
```

4.3 Měření napětí

Funkce pro měření napětí pracuje s interátorem `j` a stavovým registrem `state`. Pokud `state` je rovno 1 nebo 4, nastaví se `prevState` na 4. Pokud `j = 1`, vynuluje se proměnná `voltage`, nastaví se reference na 2,56V, počká se na ustálení referenčního napětí a nastaví se kanál A/D převodníku pro měření napětí. Pro `j` z intervalu `<1;1024>` se přičítá změřená hodnota do proměnné `voltage`. Při `j = 1024` se vypočítá napětí jednoduchým výpočtem podle rovnice (18). Nastaví se příznak `voltageVCpl` na 1. Pokud `state = 1`, nastaví se `prevState` na 1 a naměřena hodnota napětí se přepočítá na zobrazitelnou hodnotu na displeji. Poté se vynuluje `j` a `state` se nastaví na 99.

```
// funkce pro přečtení hodnoty napětí z ADC a přepočítání na hodnotu voltageV (<0;255>
0 = 0V 143 = 14,3V)
// spustí se pouze pokud je state = 1 nebo 4, prevState nastaví na 4
// při j = 1 se nastaví reference ADC na 2,56V, zavolá se fce ADC_read pro nastavení
muxu, a vyresetuje se proměnná voltage
// při j = <1;1024> se přičte hodnota z ADC do proměnné bright1 (samlování 1024x pro
zpřesnění)
// při j = 1024 se vypočítá proměnná voltageV (fce calcVoltage), nastaví příznak
voltageVCpl
// pokud state = 1 pak prevState = 1 a převede se na digitální hodnota voltageV
// vyresetuje se j a nastaví state na 99 (volná fronta)
void measureVoltage()
{
    if((state == 1)|| (state == 4)) // pokud je state 1 nebo 4
        prevState = 4; // nastav prevState na 4

    if(j == 1) // pro j = 1
    {
        voltage = 0; // resetuj proměnnou voltage
        ADC_setRef(2); // nastav referenci ADC na 2,56V
        ADC_read(VOLTAGE); // přepni kanál na VOLTAGE
    }

    if((j >= 1) && (j <= 1024)) // pro j <1;1024>
    {
        voltage += ADC_read(VOLTAGE); // přičítej do voltage hodnotu z
    }

    if(j == 1024) // pro j = 1024
    {
        calcVoltage(); // vypočítej napětí z naměřených dat
        voltageVCpl = 1; // nastav příznak dokončení převodu
        if(state == 1) // pro state = 1
        {
            prevState = 1; // nastav prevState na 1
            voltageV2Digit(); // přepočti napětí na digitální
        }
        j = 0; // vyresetuj j
        state = 99; // nastav state na 99
    }
}
//-----
```

```

// funkce pro výpočet voltageV z voltage
// 2,56V ... 1024
// 0,453V ... 181,2
// 0,453V ... 185548 samplováno 1024x
// 185548/45,7 = 4059
//-----
void calcVoltage()
{
    voltageV = voltage/4059;
}
//-----

```

4.4 Měření teploty

Funkce pro měření teploty pracuje s interátorem j a stavovým registrem $state$. Pokud $state$ je rovno 2 nebo 5, nastaví se $prevState$ na 5. Měření druhé teploty je velmi podobné, pouze jsou použity hodnoty $state$ 3 a 6. Pokud $j = 1$, vynuluje se proměnná $temp1$, nastaví se reference na 5V a počká se na ustálení referenčního napětí a nastaví se kanál A/D převodníku pro měření teploty. Pro j z intervalu $\langle 1;4096 \rangle$ se přičítá změřená hodnota do proměnné $temp1$. Při $j = 4096$ se vypočítá teplota pomocí rovnic (23) a (24). Nastaví se příznak $temp1CCpl$ na 1. Pokud $state = 2$, nastaví se $prevState$ na 2 a naměřená hodnota teploty se přepočítá na zobrazitelnou hodnotu na displeji. Poté se vynuluje j a $state$ se nastaví na 99. Výpočet teploty využívající logaritmus a hodnoty s plovoucí desetinnou čárkou je sice jednoduše popsán rovnicí, ale výpočet trvá 5034 cyklů. Z tohoto důvodu byla vytvořena přepočtení funkce s využitím linearizace funkce po intervalech 5°C . Tento zápis je mnohem delší, ale výpočet trvá okolo 500-1000 cyklů. Kód programu je prakticky stejný jako výše uvedené měření napětí, proto uvádím pouze výpočet teploty z naměřené 16 bit hodnoty.

```

// převod z teploty naměřené ADC na °C
// výpočet trvá 5034 strojových cyklů
//-----
void NTCMathCorrection()
{
    double Rt = num;
    Rt/= 65535-Rt;
    Rt = log(Rt);
    num = 10/(A1 + B1*Rt + C1*Rt*Rt + D1*Rt*Rt*Rt)-2731+OFFSETTEMP;
}
//-----

```

Následuje stejná funkce zapsaná pomocí linearizace po intervalech 5°C . Vzhledem k tomu, že je velice dlouhá, je zobrazeno pouze 5 intervalů z celkového počtu 29. Funkce zapsaná tímto způsobem zabírá mnohem více programového místa, ale rychlost výpočtu je 5-10x vyšší.

```

// převod z hodnoty teploty naměřené ADC na °C
// převodní funkce využívá částečné linearizace po 5°C pro rozsah -40 až 100°C
// hodnoty byly kalibrovány podle rtuťového teploměru s rozsahem 0 až 100°C po 5°C v
// rozsahu 0 až 100°C
// výpočet trvá cca 500-1000 cyklů v závislosti na počtu podmínek, kterými funkce
// projde než narazí na správné rozmezí hodnot
//-----
void NTC_Correction()
{
    if((num >= 3626) & (num < 4157))
    {
        num = 4157 - num;
        num = num*3086;
        num /= 32768;
        num += 1000 + OFFSETTEMP;
    }
    else if((num >= 4157) & (num < 4775))
    {
        num = 4775 - num;
        num = num* 2651;
        num /= 32768;
        num += 950 + OFFSETTEMP;
    }
    else if((num >= 4775) & (num < 5496))
    {
        num = 5496 - num;
        num = num* 2273;
        num /= 32768;
        num += 900 + OFFSETTEMP;
    }

    .
    .
    .

    else if((num >= 61997) & (num < 62914))
    {
        num = 62914 - num;
        num = num* 1787;
        num /= 32768;
        num += -350 + OFFSETTEMP;
    }
    else if((num >= 62914) & (num < 63620))
    {
        num = 63620 - num;
        num = num* 2321;
        num /= 32768;
        num += -400 + OFFSETTEMP;
    }
    else
    {
        num = -600;
    }
}
//-----

```

4.5 Měření okolního jasu

Funkce pro měření jasu pracuje s interátorem *j* a stavovým registrem *state*. Pokud *state* je rovno 0, nastaví se *prevState* na 0. Pokud *j* = 1, vynuluje se proměnná *bright1*, nastaví se reference na 5V, počká se na ustálení referenčního napětí a nastaví se kanál A/D převodníku pro měření jasu. Pro *j* z intervalu <1;256> se přičítá změřená hodnota do proměnné *bright1*. Při *j* = 256 se vypočítá jas displeje pomocí přepočetni tabulky 3. Pokud *globalState* = 0, vypočítají se otáčky pro zobrazení na displeji. Poté se vynuluje *j* a *state* se nastaví na 99. Kód programu je opět velmi podobný měření napětí. Přepočetni funkce pro výpočet jasu displeje z naměřené hodnoty vypadá takto:

```
// funkce pro výpočet bright z bright1
//-----
void calcBrightness()
{
    if(bright1 > 265000)    // hodnoty 265000-180000 jsou experimentálně nastavené
    {                      // pro dobrou čitelnost sedmisegmentovky BA56-12SRWA
        bright = 1;       // jas je řešen rozdělením multiplexu do 48 podperiod,
    }                     // kde display svítí 1/48 až 47/48 podperiod
    else if((bright1 <= 265000)&&(bright1 > 230000))
    {
        bright = 2 + ((265000-bright1)/5000);
    }
    else if((bright1 <= 230000)&&(bright1 > 205000))
    {
        bright = 9 + ((230000-bright1)/3125);
    }
    else if((bright1 <= 205000)&&(bright1 > 180000))
    {
        bright = 17 + ((205000-bright1)/1562);
    }
    else if((bright1 <= 180000)&&(bright1 > 165000))
    {
        bright = 33 + ((180000-bright1)/1071);
    }
    else
    {
        bright = 47;
    }
}
//-----
```

4.6 Multiplexní řízení displeje

Display má své samostatné vlákno vyvolávané přerušením od čítače časovače 2. Ten je nastaven s předděličkou 8 a čítá do 50. Interval přerušení tedy nastane s frekvencí 20000Hz. Tato frekvence se ještě dělí 48x, kvůli nastavení jasu, a 3x, protože jsou 3 číslice.

Při shodě TCNT2 s OCR2 se vyvolá přerušení, to spouští funkci *blik*. Ta pracuje s interátorem *i* (*jas*) a *digit* (zobrazovaná číslice). Když *i* = 0, nastaví se katody na

požadovanou číslici. Když `i < bright` (vypočtená proměnná požadovaného jasu displeje) a `digit = 0`, sepne se první anoda. Je sepnutá tak dlouho, dokud v některém z dalších vyvolání přerušení výše uvedená podmínka přestane platit. Při `i = 48` se `i` vynuluje a přepne digit. Popsaný princip je analogický i pro další číslice. Program této části vypadá takto:

```
//pravidelný multiplex od shody TCNT2 s OCR2
//-----
ISR(TIMER2_COMP_vect)
{
    TCNT2 = 0;          // vyresetování TCNT2
    blik();             // zavolání fce na rozsvícení číslice sedmisegmentovky
    n++;
    if(n == FREQBLIK)
    {
        n = 0;
        o++;
        if(o == 9*INTBLIK)
            o = 0;
    }
}
//-----

// funkce pro spínání anod a katod sedmisegmentovek a LED diod
// funkce pracuje s interátorem i v rozsahu 0-47, který pomocí PWM určuje jas
// displeje, příklad i = 5, 0-5 segment svítí, 6-47 segment nesvítí
// funkce pracuje s interátorem digit v rozsahu 0-2, určující aktuálně zobrazovaný
// segment, 0 první segment, 1 druhý, 2 třetí
// pokud i == 0 && digit = 0 sepnou se katody pro zobrazení čísla z proměnné dig1
// pokud digit = 0 a i < bright sepne se anoda prvního segmentu, jinak se vypne
// pokud digit = 1 a i < bright sepne se anoda druhého segmentu, jinak se vypne
// pokud digit = 2 a i < bright sepne se anoda třetího segmentu, jinak se vypne
// pokud i < bright rozsvítí se stavová LED a znaménko podle potřeby + blikání led při
// překročení hranice
//-----
void blik()
{
    if((i == 0))          // pokud je i = 0
    {
        setCathodes();   // nastavit katody podle globální proměnné digb
    }

    setAnodesDigit0();    // pro i <1,47> nastavit jas prvního digitu
    setAnodesDigit1();    // pro i <1,47> nastavit jas prostředního digitu
    setAnodesDigit2();    // pro i <1,47> nastavit jas posledního digitu

    setAnodesLEDs();     // pro i <1,47> nastavit jas LED diod

    i++;                  // inkrementovat i

    if(i == 48)          // omezit i na 48
    {
        i = 0;           // reset i
        digit++;         // přehodit digit na další
        if(digit == 3)   // omezení pro 3 digity
            digit = 0;
    }
}
//-----
```

Funkce pro spínání katod sedmissegmentového displeje je zapsána pomocí switche. Je schopna zobrazit číslice 0-9 a znaky n,c,I,t,-. Funkce je velice dlouhá, proto je uveden kód pouze pro 3 číslice. Proměnná digb obsahuje zobrazovanou číslici, nastavuje se ve funkcích setAnodes, aby nemusela být v samostatné funkci.

```
//-----
void setCathodes()
{
    switch(digb) // větvit podle hodnoty v digb
    {
        case 0 : // číslice 0
        {
            PORTC &= ~(1<<4);
            PORTD &= ~(1<<2);
            PORTD &= ~(1<<6);
            PORTB &= ~(1<<2);
            PORTB &= ~(1<<0);
            PORTC &= ~(1<<5);
            PORTD |= (1<<5);
        }
        break;
        case 1 : // číslice 1
        {
            PORTC |= (1<<4);
            PORTD &= ~(1<<2);
            PORTD &= ~(1<<6);
            PORTB |= (1<<2);
            PORTB |= (1<<0);
            PORTC |= (1<<5);
            PORTD |= (1<<5);
        }
        break;
        case 2 : // číslice 2
        {
            PORTC &= ~(1<<4);
            PORTD &= ~(1<<2);
            PORTD |= (1<<6);
            PORTB &= ~(1<<2);
            PORTB &= ~(1<<0);
            PORTC |= (1<<5);
            PORTD &= ~(1<<5);
        }
        break;
        .
        .
        .
    }
}
//-----
```

Následuje funkce spínající anody první číslice sedmissegmentového displeje

```
// funkce pro sepnutí anody první číslice sedmissegmentovky
// funkce pracuje s interátorem i, digit a proměnnou digb + dig2
// pokud digit = 0
// pokud i < bright zapíše se do digb dig2
// pokud dig1 není 0 nebo globalState je 0, zapne se anoda 1 a pokud je dot = 1 sepne
se i desetinná tečka jinak se vypne
// pokud dig1 je 0 a sign je 0 zapne se anoda, pokud je dot = 1 sepne se i desetinná
tečka (nutno pro sepnutí - na místě prvního segmentu pokud je číslo složeno jen z 2 a
3 segmentu)
// anody se vypnou pokud i >= bright
//-----
void setAnodesDigit0()
{
    if(digit == 0) // pokud digit = 0
    {
        if(i < bright) // pokud i < bright
        {
            digb = dig2; // přepsat do digb hodnotu z dig2

            if((dig1 != 0) || (globalState == 0)) // pokud dig1 je nenulový nebo
            { // globalState = 0
                turnOnAnode1(); // vypnout anody u 2. a 3. číslice a sepnout u 1.
                if(dot == 1) // pokud dot = 1 sepnout katodu tečky
                {
                    PORTD &= ~(1<<7);
                }
                else
                {
                    PORTD |= (1<<7); // jinak vypnout tečku
                }
            }

            if((dig1 == 0) && (sign == 1)) // pokud dig1 je nula a znaménko = 1 (pokud je
            { // možno zobrazit třeba -5,6 znaménko - se
                // zobrazí na sedmissegmentovce, proto je nutné
                // mít aktivní první digit

                turnOnAnode1(); // vypnout anody u 2. a 3. číslice a sepnout u 1.
                if(dot == 1) // pokud dot = 1 sepnout katodu tečky
                {
                    PORTD &= ~(1<<7);
                }
                else
                {
                    PORTD |= (1<<7); // jinak vypnout tečku
                }
            }
        }
    }
    else // pokud i < bright neplatí vypnout anody sedmissegmentovek i LED diod
    {
        turnOffAllAnodes();
    }
}
//-----
```


Funkce spínající anody druhé číslice sedmissegmentového displeje je o poznání jednodušší a vypadá následovně:

```
// funkce pro sepnutí anody první číslice sedmissegmentovky
// funkce pracuje s interátorem i, digit a proměnnou digb + dig2
// pokud digit = 1
// pokud i < bright zapíše se do digb dig3
// zapne se anoda 2 a pokud je dot = 2 sepne se i desteinná tečka jinak se vypne
// anody se vypnou pokud i >= bright
//-----
void setAnodesDigit1()
{
    if(digit == 1)
    {
        if(i<bright)           // pokud i < bright
        {
            digb = dig3;      // přepsat do digb hodnotu z dig3
            turnOnAnode2();    // vypnout anody u 1. a 3. číslice a sepnout u 2.

            if(dot == 2)      // pokud dot = 2 sepnout katodu tečky
            {
                PORTD &= ~(1<<7);
            }
            else
            {
                PORTD |= (1<<7); // jinak vypnout tečku
            }
        }
        else // pokud i < bright neplatí vypnout anody sedmissegmentovek i LED diod
        {
            turnOffAllAnodes();
        }
    }
}
//-----
```

Poslední číslice má velice podobný kód. Má navíc pouze snížení jasu v režimu zobrazování otáček. Snížení jasu má navíc tento kód:

```
if((i<((bright/4)+1))&&(globalState == 0)) // pokud globalState = 0 (otáčkoměr) a
}
turnOnAnode3(); // tak poslední digit rozsvěcet pouze čtvrtinu času
// vypnout anody u 1. a 2. číslice a sepnout u 3.

if(dot == 3) // pokud je proměnná dot = 3
{
    PORTD &= ~(1<<7); // sepnout katodu tečky
}
else
{
    PORTD |= (1<<7); // pokud není vypnout
}
}
```

Dále je zde funkce pro nastavení anod stavové LED a LED zobrazující záporné znaménko. Funkce pracuje s příznaky překročení povolené hodnoty napětí, interiérové a exteriérové teploty. Pokud je překročena jen jedna hodnota, stavová LED blikne jednou za cca 2 sec barvou dané hodnoty (zelená – napětí, žlutá – interiérová teplota, červená – exteriérová teplota). Všechny možné stavy stavové LED pro globalState = 1 jsou znázorněny na obr 15. Pro ostatní stavy je funkce obdobná, jen se místo výchozí zelené zobrazuje barva podle globalState. Rychlost blikání je možno nastavit konstantou FREQBLIK a interval zhasnutí mezi bliknutím pomocí INTBLIK. Kód funkce je velice dlouhý, proto zde není uveden.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|---|---|---------|---|---|---|---|--------|---|----|----|----|----|---------|----|----|----|----|----|--------|----|
| INTBLIK = 4 | 36 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | ... | 36 |
| o | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| globalState | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| voltageExceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp1Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp2Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LED | zelená | off | | | zel-Off | | | | | žl-off | | | | | | čer-off | | | | | | zelená | |
| exceed | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| INTBLIK = 4 | 36 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | ... | 36 |
| o | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| globalState | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| voltageExceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp1Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp2Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LED | zelená | off | | | zel-Off | | | | | žl-off | | | | | | čer-off | | | | | | zelená | |
| exceed | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| INTBLIK = 4 | 36 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | ... | 36 |
| o | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| globalState | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| voltageExceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp1Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp2Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LED | zelená | off | | | zel-Off | | | | | | | | | | | čer-off | | | | | | zelená | |
| exceed | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| INTBLIK = 4 | 36 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | ... | 36 |
| o | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| globalState | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| voltageExceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp1Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp2Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LED | zelená | off | | | žl-off | | | | | | | | | | | čer-off | | | | | | zelená | |
| exceed | 0 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |
| INTBLIK = 4 | 36 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | ... | 36 |
| o | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| globalState | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| voltageExceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp1Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| temp2Exceeded | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LED | zelená | off | | | čer-off | | | | | | | | | | | čer-off | | | | | | zelená | |
| exceed | 0 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 | |

Obrázek 15: Znázornění možných stavů stavové LED

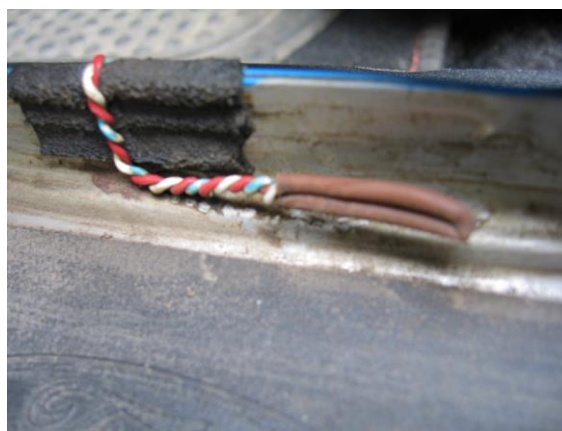
Závěr

Byl vytvořen palubní analyzátor malých rozměrů, který měří všechny potřebné veličiny s dostatečnou přesností. Hlavní měřená veličina, otáčky, je měřena oproti internímu RC oscilátoru mikroprocesoru. Frekvence tohoto oscilátoru je kalibrována výrobcem na maximální odchylku 3% při napájení 5V a teplotě 25°C. U všech ostatních měření se využívá A/D převodníku. Pro měření napětí baterie se využívá interní reference 2,56V, která podle datasheetu není tak přesná, jak bychom očekávali. V datasheetu je udáváno napětí min: 2,3V, typ: 2,56V max: 2,8 V. Naštěstí je tato hodnota velmi stabilní s teplotou i změnou napájecího napětí. Interní reference byla proměřena pomocí multimetru UNI-T 70B a Limit 600. První přístroj naměřil napětí 2,556V, druhý 2,562V. Byla překontrolována i přesnost měření napájecího napětí analyzátoru, resp. napětí autobaterie. Teplota se měří pomocí odporového děliče, který je napájen 5V, stejný potenciál se při tomto měření používá jako reference. Tím se částečně eliminuje chyba nepřesností referenčního napětí. Naměřená hodnota svou přesností odpovídá použitému typu snímače teploty. Byla dále kalibrována pomocí laboratorního rtuťového teploměru. Na základě naměřených odchylek byla vytvořena přepočtení funkce využívající linearizace po intervalech. Chyba oproti rtuťovému teploměru je po kalibraci menší než 1°C.

V běžném provozu je přesnost dostatečná, v případě otáčkoměru vyšší než analogový ukazatel. Napětí autobaterie je po kalibraci dostatečně přesné. Přesnost měřené teploty odpovídá běžným teploměrům. Díky rozměrům je analyzátor použitelný prakticky v jakémkoliv automobilu a je využitelný i mimo automobil jako teploměr, popř. jednoduchý voltmetr.



Obrázek 16: Analyzátor umístěný na palubní desce zobrazující teplotu



Obrázek 17: Termistor umístěný pod tesněním ve dveřích automobilu

Literatura

1. **ATMEL. AVR121:** Enhancing ADC resolution by oversampling. *Atmel Corporation* [online]. 2005 s. 14 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc8003.pdf>
2. **GUPTA, Sachin a Umanath KAMATH.** Make accurate temperature measurements using semiconductor junctions. *EE Times* [online]. 2012, 2012-06-20 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279718
3. **MAX16903:** 2.1MHz, High-Voltage, 1A Mini-Buck Converter. [online]. s. 14 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX16903.pdf>
4. **NTCLE100E3:** NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. [online]. 2012-08-24 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf>
5. **MARCONI.** Skoro vše o akumulátorech a nabíjení: aneb letem světem startovacích olověných akumulátorů. [online]. 2008-12-20 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
6. **FRIBERT, Miroslav.** Měření technologických veličin. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://pikachu.googlecode.com/svn/branches/INZO/MTVKapAll.pdf>
7. **ATmega8A:** 8-bit Atmel Microcontroller with 8KB In-System Programmable Flash. [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/atmel-8159-8-bit-avr-microcontroller-atmega8a_datasheet.pdf
8. **POOLE, Ian.** Light dependent resistor, photo resistor, or photocell. *Radio-Electronics.com: Resources and analysis for electronics engineers* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.radio-electronics.com/info/data/resistor/ldr/light_dependent_resistor.php
9. **POOLE, Ian.** Phototransistor Tutorial. *Radio-Electronics.com: Resources and analysis for electronics engineers* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/phototransistor/photo_transistor.php
10. **LAZARIDIS, Giorgos.** Frequency Measuring. *PCBheaven.com* [online]. 2009-12-26. 2009 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.pcbheaven.com/wikipages/Frequency_Measuring/
11. **BA56-12SRWA:** 14.22mm (0.56INCH) THREE DIGIT NUMERIC DISPLAY. *Us.kingbright.com* [online]. 2011-03-23 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.us.kingbright.com/images/catalog/spec/ba56-12srwa.pdf>

12. **KESTER, Walt.** Which ADC Architecture Is Right for Your Application?. Analog Dialogue. 2005, roč. 06, č. 39, s. 1-8. Dostupné z:
<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-06/architecture.pdf>
13. **INFRARED PRODUCTS SPECIFICATION: HPTB3J-44D.** In: [online]. 2008 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z:
<http://www.tme.eu/nl/Document/a24b9461832ac96e5e3959d478f3bcc8/hptb3j-44d.pdf>