České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra řídící techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Řídící jednotka dvouválcového motoru

Praha, 2006 Milan Šafránek

České vysoké učení technické v Praze, fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky | Školní rok:2005/2006

Zadání bakalářské práce

Student: Milan Šafránek

Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: Jednotka pro řízení dvouválcového motoru

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se problematikou řízení zapalování a vstřikování u zážehových motorů.
2. Prostudujte vlastnosti a použití procesorů řady Atmel AVR.
3. Navrhněte a realizujte vhodný HW pro řízení chodu dvouválcového motoru.
4. Navrhněte a implementujte SW pro mikrokontrolér, který umožní základní řízení motoru na základě signálů z čidel.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Němeček

Datum zadání bakalářské práce: zimní semestr 2005/06

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 6. 2006

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

L.S.

Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
děkan

V Praze, dne 1. 2. 2006

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne ……. …….

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu práce Ing. Pavlu Němečkovi za cenné rady a ochotnou pomoc při řešení bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za jejich trpělivost a podporu při studiu na této škole.

Abstrakt

Cílem práce je seznámit se s řízením zážehových motorů, hlavně s řízením zapalování a vstřikování paliva u tohoto typu motorů. Na základě pochopení principu řízení zážehových motorů bych měl navrhnout vhodný hardware a software mikrokontroléru pro základní řízení dvouválcového zážehového čtyřtaktového motoru. Řídící jednotka by měla být schopna řídit vstřikování paliva pro optimální chod motoru na základě signálů z čidel.

Abstract

The aim of this thesis is to comprehend the control of spark-ignition engines, especially with control ignition and fuel injection in these types of engines. On the basis of understanding principle control, I would project suitable hardware and software for a microcontroller that will be able to control a two-cylinder four-stroke spark-ignition engine. The engine control unit would be able to control fuel injection for optimum engine run on the basis of the signals from the sensors.

Obsah

1. Úvod ..... - 8 -
2. Zážehové motory ..... - 9 -
   2.1. Základní princip ..... - 9 -
   2.2. Systémy vstřikování paliva ..... - 10 -
      2.2.1. Složení a tvorba směsi ..... - 10 -
      2.2.2. Okruhy přívodu paliva ..... - 12 -
      2.2.3. Snímače polohy klikové hřídele ..... - 13 -
   2.3. Soupravy zapalování ..... - 14 -
      2.3.1. Podmínky zážehu a spálení směsi ..... - 14 -
      2.3.2. Předstih a jeho vliv na spalování ..... - 15 -
3. Návrh hardware ..... - 17 -
   3.1. Specifikace parametrů ..... - 17 -
   3.2. Volba procesoru ..... - 19 -
      3.2.1. Vlastnosti mikrokontroléru AT90CAN128 ..... - 19 -
      3.2.2. Zapojení procesoru v obvodu ..... - 23 -
   3.4. Vstupy ..... - 25 -
   3.5. Výstupy ..... - 26 -
   3.6. RS 485 ..... - 29 -
   3.7. CAN ..... - 30 -
   3.8. Flash paměť ..... - 31 -
4. Software pro mikrokontrolér ..... - 32 -
   4.1. Požadavky na software ..... - 32 -
   4.2. Časování činnosti řídící jednotky ..... - 33 -
   4.3. Softwarové řešení jednotlivých bloků ..... - 35 -
5. Závěr ..... - 37 -

Použitá literatura ..... - 38 -

Přílohy ..... - 39 -

1. Úvod

Řízení řady procesů v moderním automobilu zajišťují různé řídicí jednotky, což jsou v podstatě mikropočítače s procesorem a paměťovými obvody. Elektronické řídicí jednotky pracují s digitálním signálem, které jsou schopné zpracovávat a na základě svého naprogramování a paměti vydávají pokyny jednotlivým řízeným součástem.

Svou vlastní řídicí jednotku má motor, elektronické systémy podvozku (ABS, ASR, TC, ESP a další), airbagy, posilovač řízení, ale také klimatizace a další součásti vozidla. Tyto jednotlivé řídicí jednotky mohou spolu vzájemně komunikovat a spolupracovat přes centrální řídicí jednotku. Nás zajímá pouze řídící jednotka motoru.

Úkolem řídící jednotky motoru úkolem je optimalizovat činnost vstřikování a zapalování vzhledem k provozním podmínkám a zátěži motoru. V paměti řídicí jednotky, která řídí celý proces, jsou uloženy pro každou polohu škrtící klapky a pro každé otáčky motoru údaje pro množství vstřikovaného paliva, okamžik vstřiku a předstih zážehu, případně i další údaje. Řídicí jednotka motoru neustále porovnává digitalizované skutečné údaje ze snímačů s údaji v paměti. Pokud je zjištěna odchylka snaží se pomocí regulačních zásahů tuto odchylku minimalizovat. Cílem řízení je to, aby složení směsi, činnost vstřikování a zapalování byla optimální z hlediska spotřeby, výkonu a emise škodlivých látek. Současně má správné řízení motoru vliv i na jeho opotřebení a tím i životnost.

Elektronická řídící jednotka zajišťující optimální plnění a u zážehových motorů také správný okamžik zapálení směsi se označuje výrazem „motormanagement“.

2. Zážehové motory

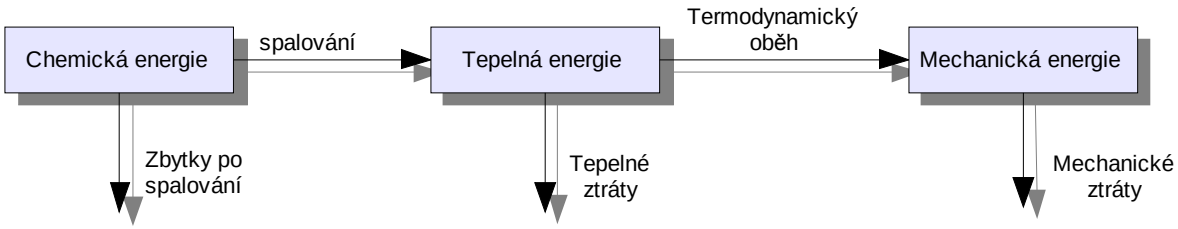
2.1. Základní princip

Motor je nejdůležitější částí automobilu i motocyklu. Slouží nejen k pohybu celého vozidla, ale ovlivňuje rozhodující mírou i ostatní vlastnosti vozidla. Spalovací motory se používají přes sto let a zatím jsou nejpoužívanějším pohonem. V dnešní době jsou již vyvíjeny jiné pohony, kterou jsou šetrnější k životnímu prostředí.

Spalovací motory lze rozdělit na zážehové (palivem benzín) a vznětové (palivem nafta). Jejich princip je podobný, ale je mezi nimi několik odlišností. Tato práce se však věnuje pouze motorům zážehovým.

Princip spalovacího motoru zůstává téměř shodný jako před sto lety. Využívá se přeměny chemické energie paliva spalováním na tepelnou energii a ta se potom mění hnacím mechanismem motoru na mechanickou energii.

U čtyřdobého zážehového motoru se dá činnost motoru rozdělit do čtyř fází. Sání komprese, expanze a výfuk. Nejprve se vytvoří zápalná směs paliva se vzduchem, pak se stlačí na nejmenší objem a potom se zapálí. Vzniklá tepelná energie se přeměňuje v motoru na mechanickou práci, potřebnou k pohonu. Jakmile je energie vyčerpána, musí se odstranit zbytky spalování, aby se mohlo přivést nové palivo a cyklus bylo možné opakovat.



Obr.1 – Transformace energie ve spalovacích motorech

Snahou je zabránit vzniku ztrát, které při vznikají přeměně energie. Hlavně chceme najít způsob, jak zefektivnit fázi spalování paliva. Tedy, jak připravit směs, kdy ji zapálit a aby shořelo co nejdokonaleji. Důležitým faktorem, na který je kladen důraz, je ochrana životního prostředí.

2.2. Systémy vstřikování paliva

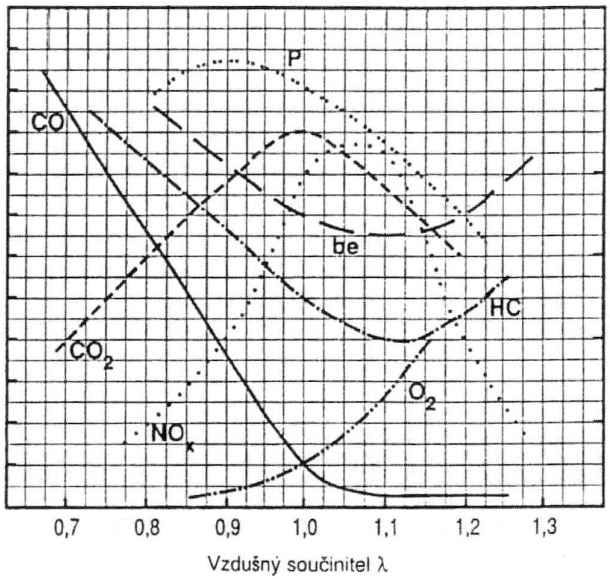
2.2.1. Složení a tvorba směsi

Zážehové motory jsou převážně poháněny automobilovým benzínem. Palivo potřebuje ke spalování kyslík. Ten je do motoru přiváděn spalovacím vzduchem. Složení směsi paliva se vzduchem je rozhodující pro přeměnu energie chemicky vázané v palivu na teplo a pro čistotu výfukových zplodin z hlediska emisí škodlivých plynů a sazí.

Při dokonalém spálení se uhlovodíky paliva spolu se vzdušným kyslíkem přemění na kysličník uhličitý a vodní páry. Množství vzduchu potřebné k úplnému spálení paliva bylo stanoveno výpočtem a je rovno 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva (tato hodnota se může mírně lišit podle chemického složení paliva). Při tomto složení pro součinitel přebytku vzduchu, označovaný řeckým písmenem λ (označován také jako vzduchové nebo též vzdušné číslo), platí $\lambda = 1$. Taková směs se nazývá stechiometrickou.

Směs s přebytkem vzduchu má $\lambda > 1$ a nazývá se chudou. Směs s $\lambda < 1$ je nazývána bohatou směsí. Zde se jedná o přebytek paliva a vede k přehřátí motoru a vzniku kouřivosti.

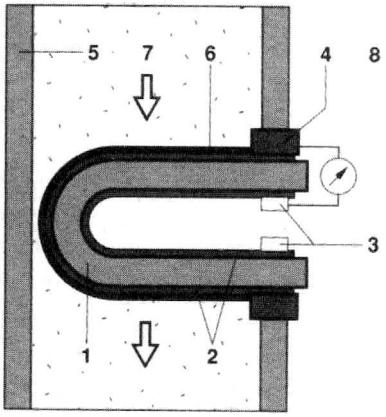
Ne každá směs paliva a vzduchu může vzplanout a hořet v motoru. Aby se mohla vznítit od elektrické jiskry, je nutno zachovat její určitý poměr. Ten leží v rozmezí zápalnosti směsi benzínu $0{,}5 < \lambda < 1{,}3$.



Obr. 2 – Závislost parametrů motoru na složení směsi vyjádřena součinitelem λ:
b_E – měrná spotřeba vztažená k výkonu motoru; p – specifický výkon motoru na jednotku plochy pístu; CO, CO_2, HC, NO_X, O_2 – emise složek výfukových plynů

Vzdušné číslo λ je možné měřit lambda sondou. Sonda je umístěna ve výfukovém potrubí. Čidlo snímače je z pevného keramického elektrolytu a tvoří galvanický článek. Galvanický článek vzniká na přepážce, která odděluje prostředí srovnávací (vzduch) a prostředí měřené (výfukové plyny). Obě prostředí se tak liší různým obsahem kyslíku, obsah kyslíku ve vzduchu je konstantní s hodnotou 20,89 objemových procent. Velikost napětí tohoto článku závisí zejména na parciálních tlacích kyslíku ve srovnávacím a měřeném prostředí. Snímače tohoto druhu jsou zhotoveny z aktivních oxidů různých kovů. Nejčastěji používaným druhem jsou snímače používající oxidu zirkoničitého.

Obr. 3 – Ukázka lambda sondy



Obr. 4 – Schéma napěťové lambda sondy: 1 – aktivní keramika sondy; 2 – elektrody; 3 – přípojný kontakt; 4 – upevnění v tělese; 5 – výfukové potrubí; 6 – ochranná porézní keramická vrstva; 7 - výfukové plyny; 8 – okolní čistý vzduch

Nejrychleji a nejjednodušeji se spolu mísí dva plyny. Pro dokonalé spalování tedy musíme převést kapalné palivo do plynného skupenství. U zážehových motorů se

vstřikováním rozstřikují vstřikovací trysky tekuté palivo do proudu nasávaného vzduchu ve formě kužele kapiček velmi malých rozměrů. Tvorba směsi začíná v místě vstřiku a končí ve válci během kompresního zdvihu.

Podle místa vstřiku se systémy dělí na jednobodové a vícebodové.

U jednobodového vstřikování je tryska umístěna na tělese škrticí klapky, která reguluje množství směsi přicházející do motoru a tím i jeho kroutící moment. Složení směsi je ovlivňováno délkou otevření trysky. Sací potrubí mezi vstřikovací jednotkou a sacími ventily musí být navrženo tak, aby všechny válce dostávaly stejné množství směsi a aby palivo nekondenzovalo na jeho stěnách.

U vícebodového vstřikování se palivo vstřikuje buď do sacího kanálu, těsně před sací ventil, nebo přímo do válce. Sací potrubí pouze rozvádí nasávaný vzduch, takže jeho konstrukce může být jednodušší. Množství směsi je opět dáno natočením škrticí klapky.

Podle místa, kde jsou vstřikovací trysky umístěny, se ovlivňuje velikost tlaku paliva dopravovaného k tryskám. Tlak musí být tak velký, aby nedocházelo k přeměně paliva v plyn uvnitř trysky vlivem její teploty. Tím by se znemožnilo přesné dávkování rozhodující o složení směsi.

Trysky jsou otevírány řídící jednotkou ve dvou různých režimech, synchronizovaném a nesynchronizovaném. V prvém případě se tryska otevírá při každé otáčce motoru. U systémů se dvěma tryskami se trysky zapínají střídavě. V nesynchronizovaném provozním režimu jsou trysky otvírány v periodických časových intervalech, nezávisle na referenčních impulsech o poloze klikové nebo vačkové hřídele.

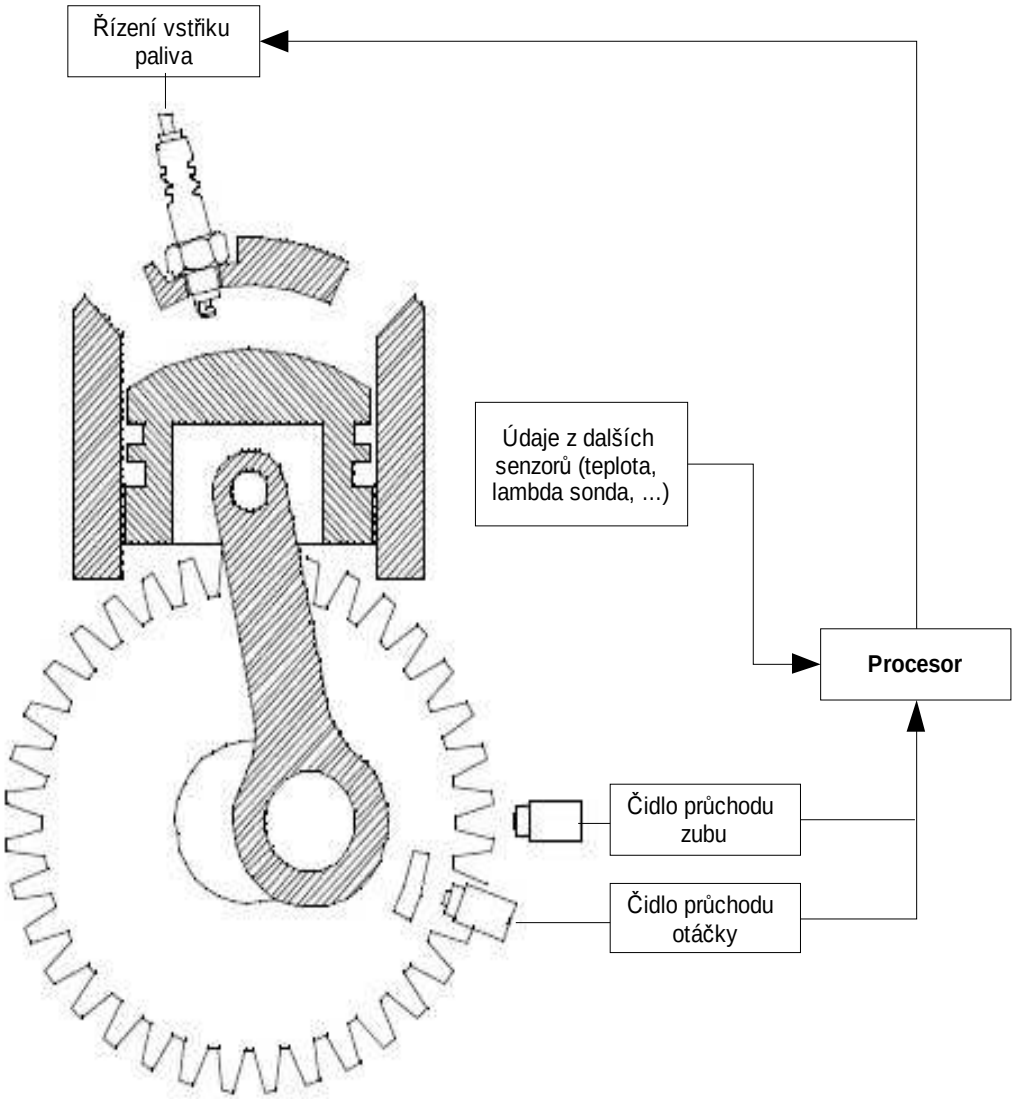
2.2.2. Okruhy přívodu paliva

Aby bylo zajištěno správné dávkování paliva, musí být v okruhu jeho přívodu zajištěn stálý tlak. Množství paliva pak bude záviset na délce otevření vstřikovací trysky (časované vstřikování) nebo na průřezu regulační štěrbiny (spojité vstřikování).

Palivo je čerpáno z nádrže čerpadlem, které je v ní zpravidla umístěno. U systémů s nižším tlakem bývá zpravidla dvoustupňové. Základní stupeň saje palivo z nádrže a hlavní stupeň pak uděluje palivu tlak potřebný pro činnost vstřikovacích trysek.

2.2.3. Snímače polohy klikové hřídele

Informaci o poloze klikového hřídele (tedy o otáčkách) lze získat jedním snímačem, který vyšle jeden impuls za otáčku při průchodu značky. Tato referenční značka může být tvořená kolíkem vsazeným do setrvačníku nebo otvorem vyvrtaným do tělesa setrvačníku. Poloha je potom při rovnoměrném otáčení pevně svázána s časem. Toto řešení vykazuje velké chyby pro nerovnoměrné otáčení klikového hřídele. Proto je výhodnější přidat druhý senzor, který vysílá impulsy po řádové menším úhlu než je celá otáčka. Jako optimální zdroj těchto impulsů se jeví zuby na setrvačníku motoru, které jsou využívány pro pastorek startéru při roztáčení motoru. Těchto zubů bývá od 80 do 380, což postačuje ke sledování polohy i při nerovnoměrném otáčení.



Obr. 5 – Princip snímání polohy klikové hřídele a jednoduchá řídící jednotka

Jako snímačů lze použít Hallovu sondu, indukční snímače, snímače optoelektronické, s dvojicí tvořenou světloemitující diodou a fototranzistorem a snímače elektromagnetické, tvořené oscilačním obvodem, jehož kmitočet se mění s otáčkami motoru, případně další. Vzhledem k velké pravděpodobnosti (dá se říci jistotě) výskytu nečistot se optoelektronické senzory nepoužívají. Proto se více používají snímače s Hallovým prvkem nebo levnější indukční čidla.

Indukční snímače využívají změny magnetického pole k tomu, aby se v indukčnostech nacházejících se v tomto poli, indukovalo střídavé napětí. Kmitočet tohoto napětí je závislý na počtu změn magnetického pole, velikost napětí na jejich rychlosti. Změny pole vytváří rotující část snímače. Nevýhodou indukčních snímačů je závislost velikosti výstupního signálu na rychlosti průchodu značky.

Snímač s Hallovým prvkem využívá toho, že polovodičem, na který je přivedeno stejnosměrné napětí, bude protékat proud, působí-li na něj magnetické pole.

Signály ze snímačů jsou přes konektor přivedeny do řídící jednotky, kde jsou zpracovány komparátory.

2.3. Soupravy zapalování

2.3.1. Podmínky zážehu a spálení směsi

Připravenou směs, přivedenou do spalovacího prostoru ve válcích motoru, je třeba zažehnout,. Při hoření směsi se energie obsažená v palivu přemění na mechanickou práci. Termodynamická účinnost přeměny je závislá na složení směsi. Při bohaté směsi ($\lambda < 1$) je výkon motoru vyšší, avšak měrná spotřeba roste. U chudých směsí ($\lambda > 1$) je výkon nižší, ale měrná spotřeba klesá. Účinnost roste strmě do $\lambda = 1$ a dále pak již jen pozvolně, ale trvale. Závislost platí pro ideální zážehový motor spalující tekutá uhlovodíková paliva. Chování reálného motoru je však odlišné. Maximum jeho účinnosti je při $\lambda = 1.2$, zatímco průběhy ideálních motorů maxima nemají. Je to způsobeno tím, že u ideálního motoru se směs během pracovního cyklu zapálí a shoří, zatímco u reálného dochází k selhání zážehu, opožděnému zapálení, prodlouženému hoření a obvykle ke kombinaci těchto jevů.

Čím dokonalejší je zapalování, s tím chudší směsí lze dosáhnout maxima termodynamické účinnosti a tím nižší bude spotřeba, emise i lepší jízdní vlastnosti motoru.

Podle průběhu závislosti měrné spotřeby a emisí, případně nerovnoměrnosti chodu motoru na součiniteli λ, pro různé parametry zapalování lze posuzovat jeho dokonalost.

Nemá-li dojít při ochuzování směsi ke zhoršení termodynamické účinnosti motoru vlivem zapalování, musí dojít nejen k zapálení směsi ve válci, ale zapálený objem musí být také dostatečně velký, aby hoření nezhaslo.

Zapalovací soustava tedy musí:

- Vytvořit napěťový impuls dostatečné velikosti, aby mezi elektrodami svíčky došlo k elektrickému výboji.
- Při elektrickém výboji uvolnit energii postačující k zažehnutí zápalné směsi a udržení jejího hoření.

Aby nedošlo k nadměrným emisím uhlovodíků v důsledku nedokonalého nebo neúplného shoření, musí být u chudých směsí zapálen dostatečně velký objem. Tím se zkrátí průběh procesu spalování, který je u chudých směsí delší, protože tyto hoří pomaleji. Z toho vyplývají některé požadavky na zapalovací svíčku. Má mít otevřené jiskřiště, aby se palivová směs lépe dostala k dráze jiskry. Aby se co nejvíce omezil odvod tepla přes elektrody a stěny válce, mají být elektrody tenké a jiskřiště vysunuto.

Mimo velikost zažehnutého objemu směsi má na průběh shoření směsi vliv i teplota jiskry, která směs zažehne. Ta je závislá na elektrické energii uvolněné do výboje. Tato energie je dána součinem proudu I tohoto výboje a času t jeho hoření. Doba hoření má být nejméně mezi 1 až 2 ms, aby nemusel být proud výboje příliš velký. U hořícího výboje se napětí mezi elektrodami zapalovací svíčky pohybuje podle složení směsi kolem 1 až 2 kV, takže energie výboje může dosáhnout až 200 mJ.

Parametry zapalovací soupravy jsou závislé na způsobu hromadění energie. Existují dva způsoby a to hromadění v indukčnosti a hromadění v kapacitě. Pro elektronické zapalovací soustavy je to zapalování tranzistorové a zapalování tyristorové.

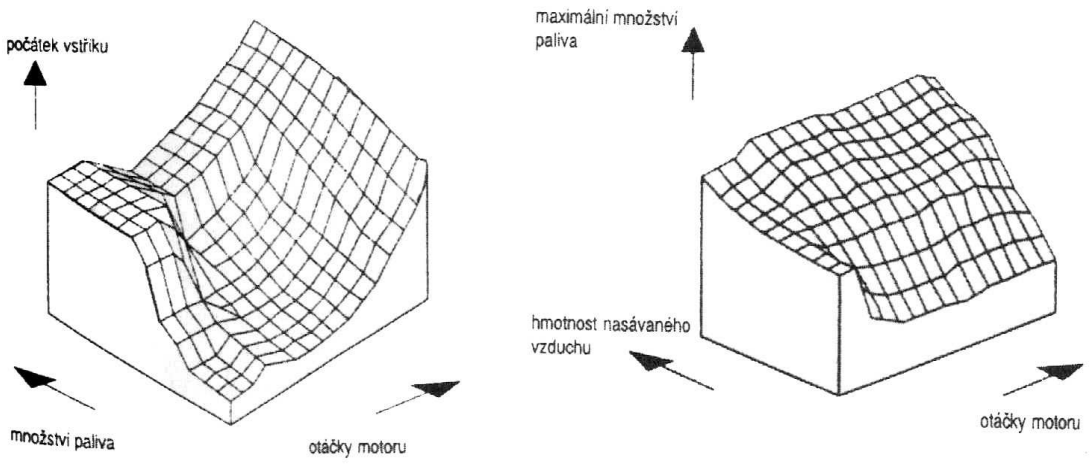
2.3.2. Předstih a jeho vliv na spalování

Termodynamickou účinnost zážehového motoru ovlivňuje i okamžik zážehu. Nastavení předstihu tedy ovlivňuje měrnou spotřebu. Na velikosti předstihu zážehu jsou také závislé emise škodlivin ve výfukových plynech. Vliv předstihu je na emise přesně obrácený, než je tomu u spotřeby. Aby se dosáhlo vhodného kompromisu mezi spotřebou paliva a hodnotou škodlivých emisí, je řízení okamžiku zážehu mnohdy složité, má-li být předstih ve všech provozních podmínkách optimalizován.

Optimální předstih je dán požadavky maximálního výkonu motoru, minimální spotřeby paliva, minimálních emisí a dobrých jízdních vlastností. Současně je nutné dbát na vedlejší požadavek zajistit bezpečný odstup od hranice klepání (detonačního hoření). Ke klepání dochází vlivem samozápalů čerstvé směsi, která ještě nebyla zapálena čelem plamene vzniklého jiskrou svíčky. Příčinou bývá především velký předstih, nízké oktanové číslo benzinu a také vysoký kompresní poměr válců. Detonační hoření vede k tlakovým oscilacím v kmitočtovém pásmu 5 až 10 kHz a ke zvýšení teploty ve spalovacím prostoru. Zvýšené tepelné a mechanické namáhání částí motoru (písty, pístní kroužky, těsnění hlavy, ojnicových ložisek atd.) může vést při delším působení k poškození motoru.

Doba, která proběhne od přeskoku jiskry k úplnému hoření se sice zkracuje s rostoucími otáčkami motoru, aby však spalovací tlak, vztažený na výkon motoru, zůstal s rostoucími otáčkami optimální, musí být předstih stále větší.

Optimální předstih je také závislý na zatížení motoru, které je obvykle úměrné otevření škrticí klapky. Při plném zatížení je škrticí klapka široce otevřena a směs je obohacena. Přitom je rychlost šíření čela plamene poměrně vysoká a zážeh má proběhnout později, než při částečném zatížení, kdy je škrticí klapka otevřena jen málo.



Obr. 6 - Příklady optimálních regulačních charakteristik vstřikovací soustavy

3. Návrh hardware

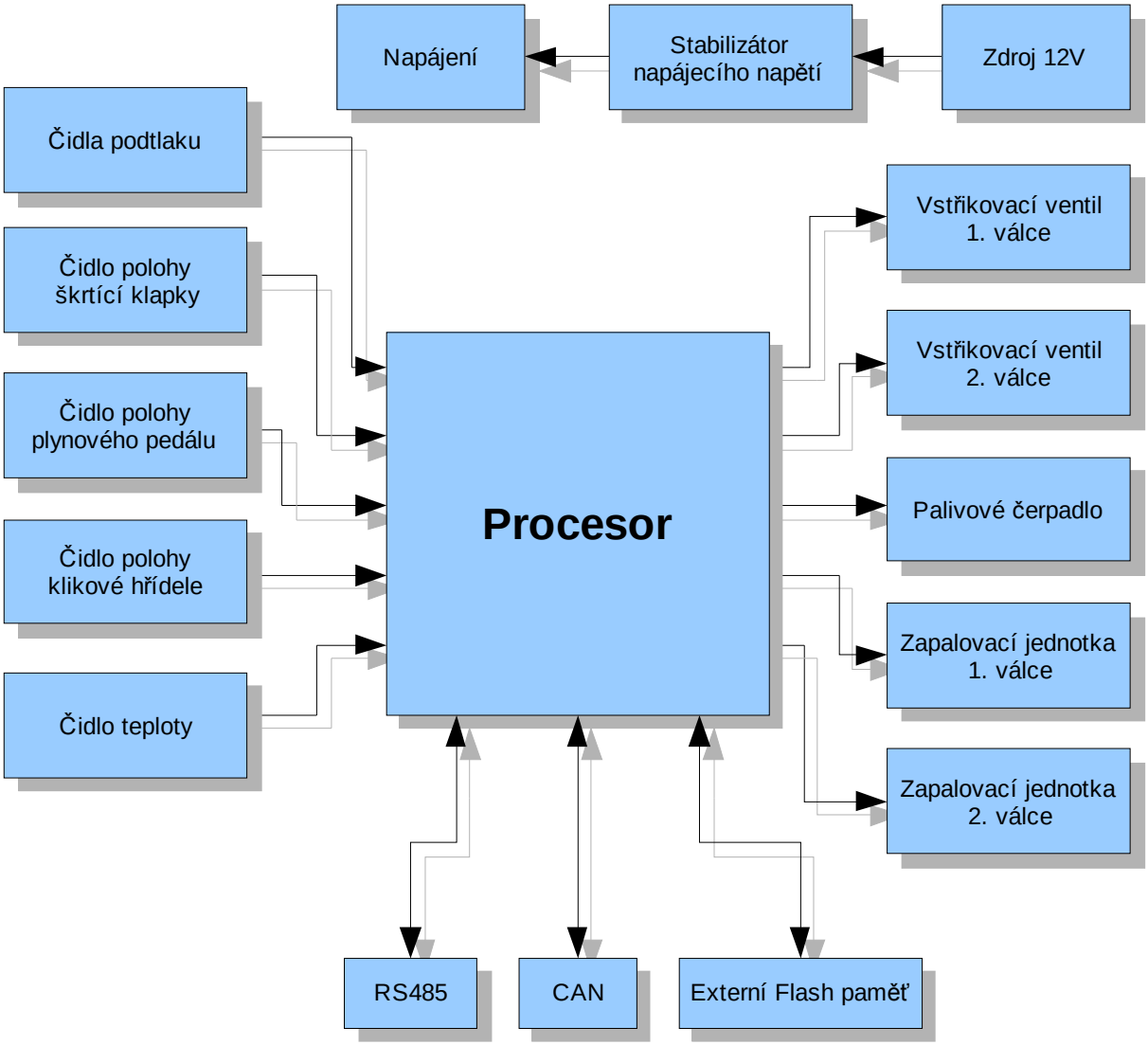
3.1. Specifikace parametrů

Nejprve je vhodné definovat pro řídící jednotku její vstupy a výstupy, které chceme využívat.

Vstupy můžeme rozdělit do dvou skupin, na analogové a digitální. Analogovými vstupy budeme zjišťovat podtlak a polohu škrtící klapky v sacím potrubí či polohu plynového pedálu. Digitální vstupy musí být velmi rychlé, protože jimi budeme měřit polohu klikové hřídele. Je tedy vhodné přivést tyto signály na vstupy externího přerušení.

Výstupy, které budeme využívat jsou dva silové výstupy pro vstřikovací ventily, silový výstup pro palivové čerpadlo, výstup pro zapalovací jednotku a výstup pro řízení stejnosměrného motorku.

Pro komunikaci s PC se ještě bude hodit sériové rozhraní RS485 a CAN pro komunikaci s případnými dalšími jednotkami. CAN je velmi vhodný pro automobilové řídící jednotky a je v automobilovém průmyslu široce rozšířen.



Obr. 7 – Blokové schéma řídící jednotky

3.2. Volba procesoru

Procesor pro řídící jednotku by měl být schopen pracovat v širším rozsahu teplot, měl by vydržet zimní mráz, ale i vysoké teploty způsobené zahřáním motoru. Bylo by vhodné, aby zvolený procesor měl dostatečný počet vstupů, abychom jejich počet nemuseli příliš rozšiřovat, protože by to lehce komplikovalo návrh. Jak již bylo v předchozí kapitole napsáno, měl by procesor obsahovat vstupy vnějšího přerušení, abychom mohli některé signály měřit rychle a přesně.

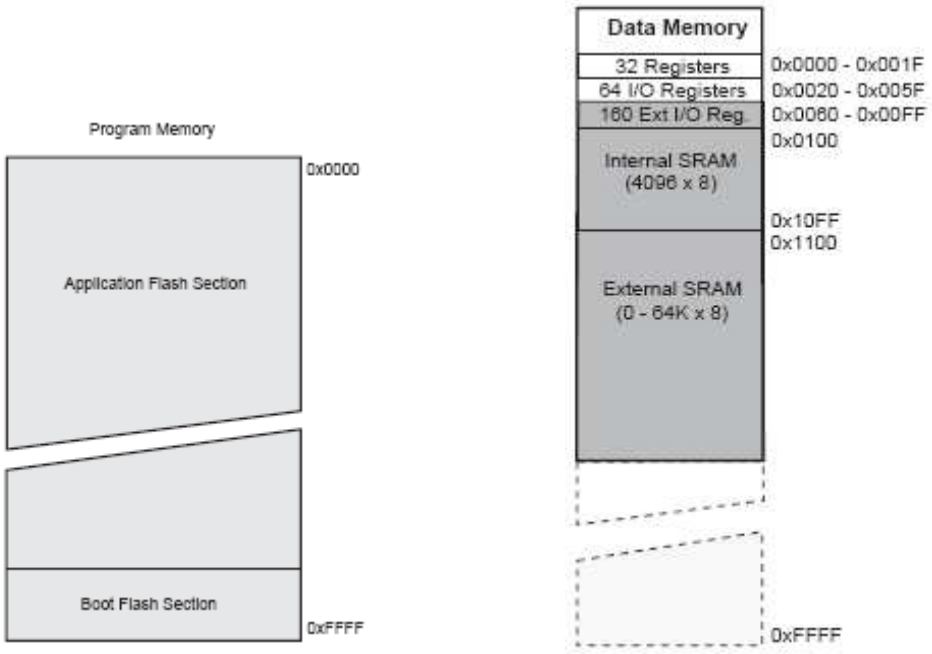
Pro měření spojitých signálů (podtlak, teplota, poloha klapky či pedálu) je dobré, aby procesor byl vybaven již zabudovaným AD převodníkem, abychom si ulehčili zapojení a nemuseli připojovat vnější AD převodník.

Firma Atmel vyrobila několik mikrokontrolérů vhodných pro automobilový průmysl. Jedním z nich je AT90CAN128. Ten splňuje mezinárodní normu ISO–TS–16949, která udává podmínky, které musí výrobek (procesor) v automobilovém průmyslu splnit. Dokáže pracovat při velkém rozsahu teplot a také obsahuje budič CAN.

3.2.1. Vlastnosti mikrokontroléru AT90CAN128

AT90CAN128 představuje 8bitovou nízkopříkonovou CMOS jednotku založenou na harvardské architektuře. To znamená, že má oddělenou paměť programu od paměti dat. Je schopen výkonu dosahujícího až 1 MIPS/MHz a nabízí vyváženou optimalizaci spotřeby proti rychlosti zpracování dat.

Obsahuje 32x8 univerzálních pracovních registrů, 128 kB Flash paměti (až 10 000 cyklů zápis/výmaz), 4 kB EEPROM (100 000 cyklů zápis/výmaz), 4 kB interní SRAM. Lze k němu připojit až 64 kB volitelné externí paměti.

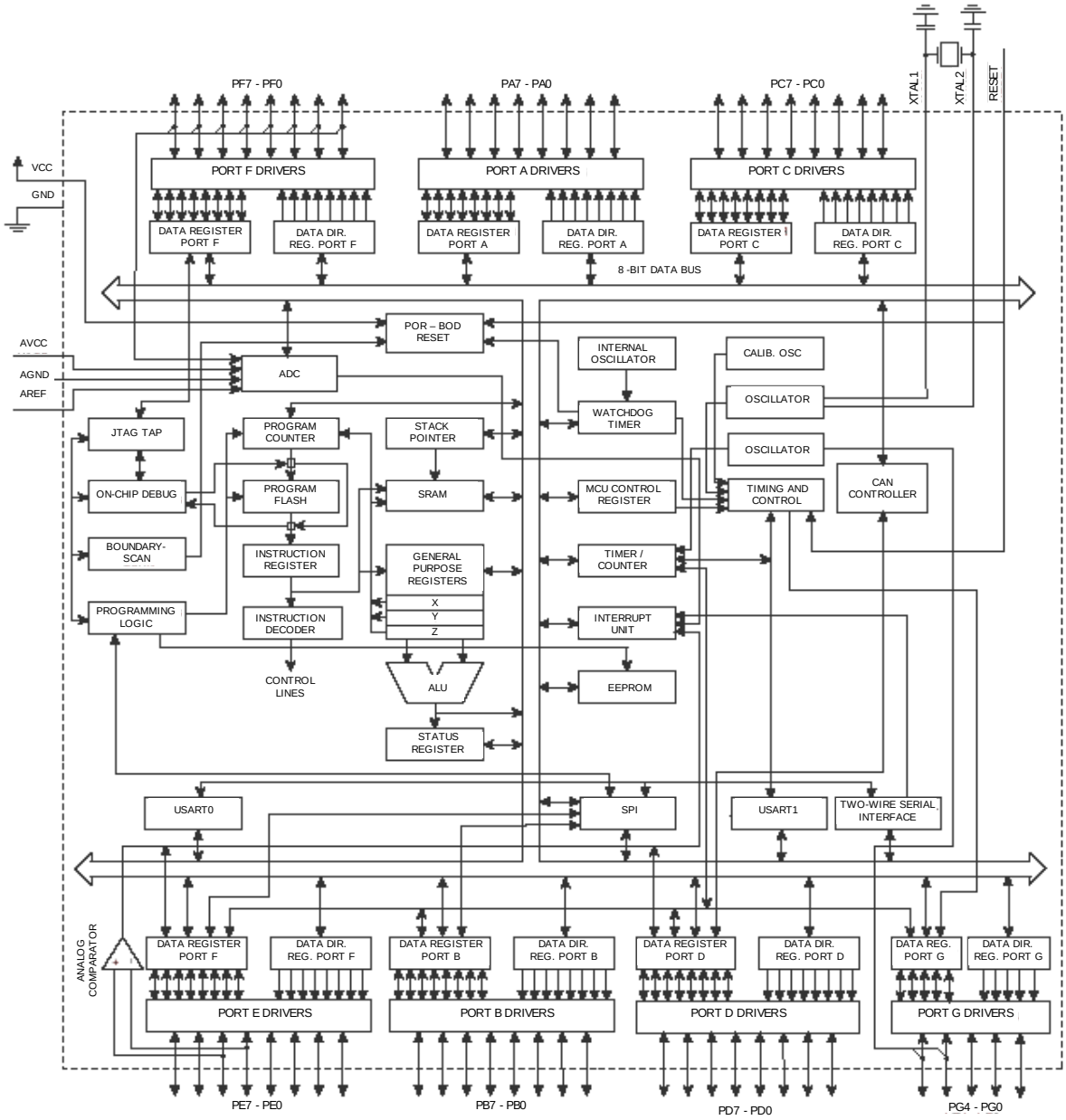


Obr. 8 – Mapy programové a datové paměti procesoru AT90CAN128

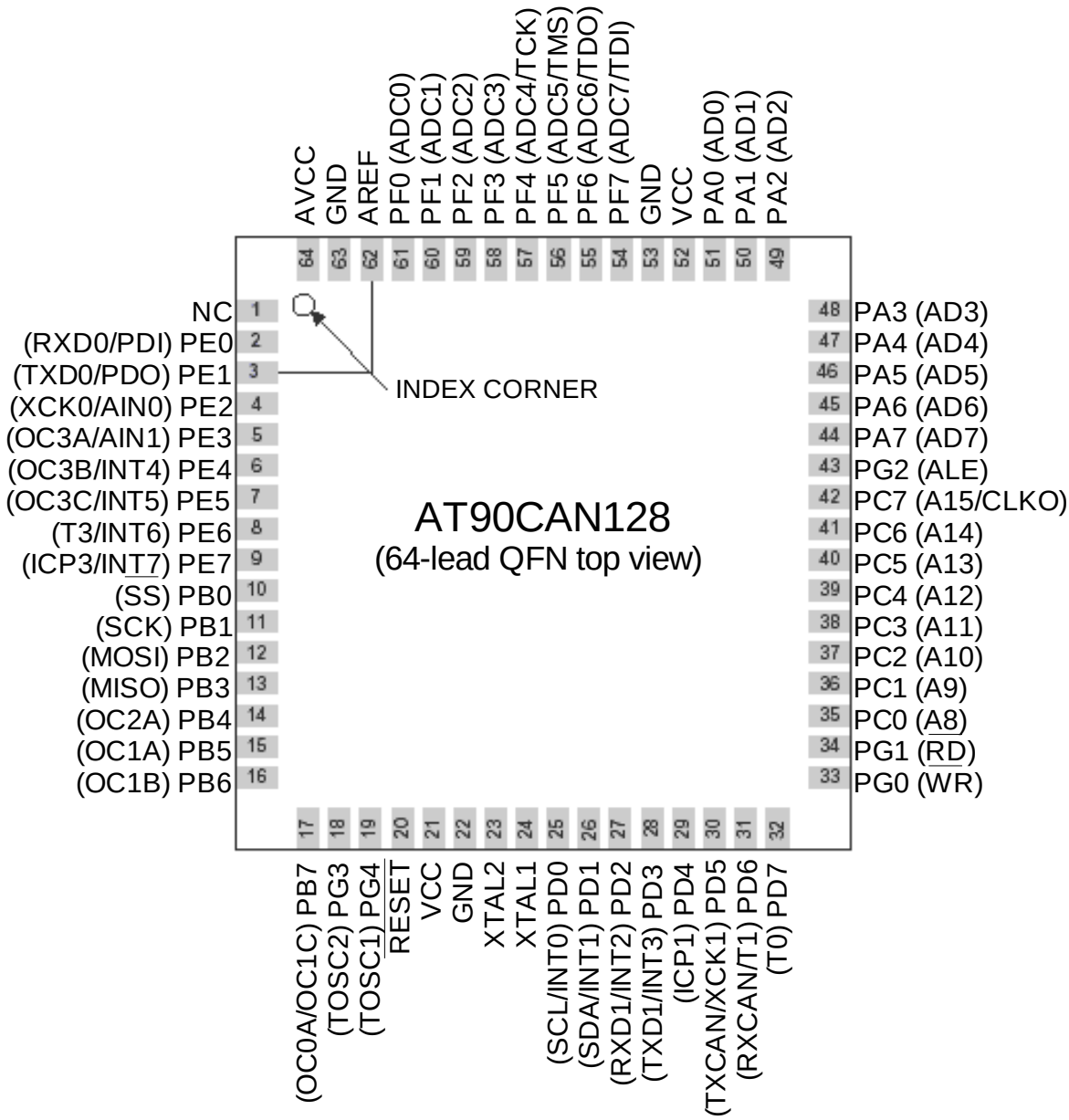
Dále obsahuje budiče CAN 2.0A a 2.0B, 8bitový synchronní časovač/čítač (Timer/Counter–0), 8bitový asynchronní časovač/čítač (Timer/Counter–2), duální 16bitové synchronní čítače/časovače, duální programovatelný sériový USART, Master/Slave sériové rozhraní SPI, analogový komparátor na čipu, interní kalibrovaný RC oscilátor, 8 externích zdrojů přerušení, pět režimů spánku (Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standy) a 53 programovatelných I/O linek.

Pracovní napětí tohoto procesoru je v rozmezí 2,7V až 5,5V a pracovní teplota v rozmezí -40°C až +125°C.

Maximální frekvence procesoru je závislá na hodnotě napájecího napětí. Tedy 8MHz při 2,7V a 16MHz při 4,5V.

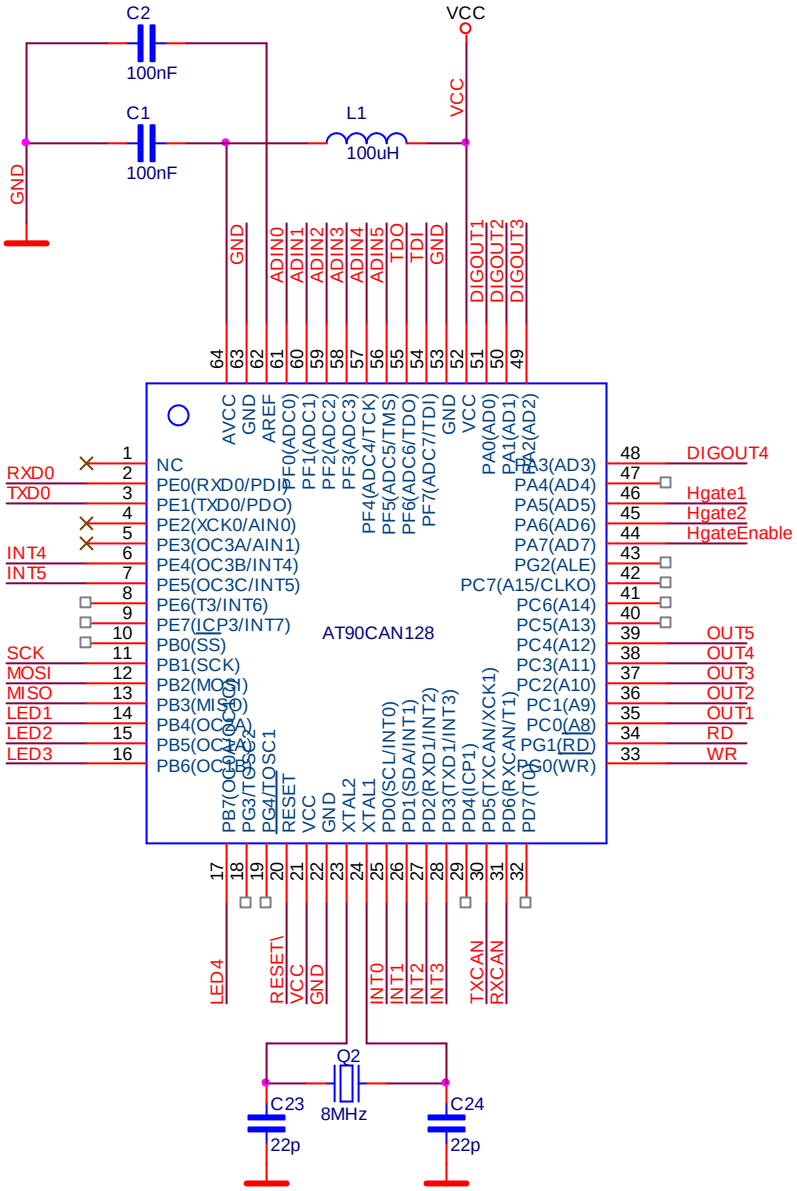


Obr. 9 – Blokový diagram mikrokontroléru AT90CAN128



Obr. 10 – Zapojení vývodů u AT90CAN128

3.2.2. Zapojení procesoru v obvodu

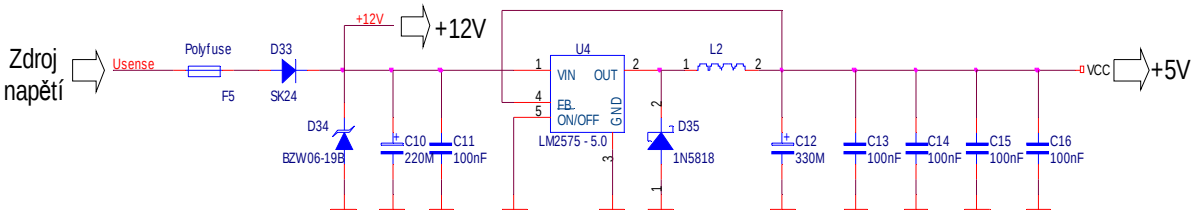


Obr. 11 – Připojení vstupů procesoru

Vstup analogového napájení připojíme přes filtrační článek L_1C_1, abychom snížili vliv šumu. Analogové napájení AV_{CC} nesmí být vyšší než. V_{CC} ± 0,3V. Vstup A_{REF} spojím se zemí přes kapacitor C_2 = 100nF. Mezi vstupy XTAl1 a XTAL2 je připojen zdroj hodinového signálu, který je tvořen krystalem a dvěma kapacitory.

3.3. Napájecí zdroje

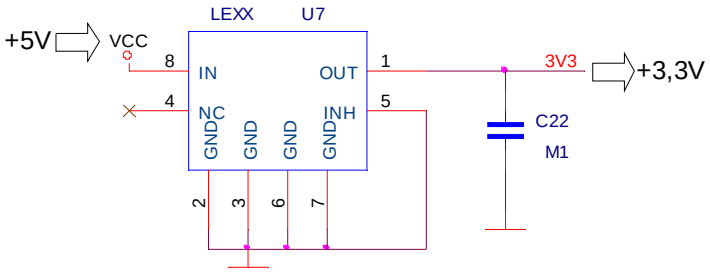
Baterie motocyklu je zdrojem napětí 12V. Ale většina integrovaných obvodů, které chci pro řídící jednotku využít, potřebuje napájecí napětí 5V. Proto potřebuji napájecí napětí na tuto hodnotu upravit. K tomuto účelu mi výborně poslouží integrovaný monolitický obvod LM2575-5.0. Jde o impulsní napájecí zdroj, jež využívá akumulace energie v akumulačních prvcích. Konkrétně v magnetickém poli cívky. Téměř veškerá akumulované energie je přenesena do zátěže a proto účinnost spínaného stabilizátoru dosahuje 80%.



Obr. 12 – Stabilizátor napájecího napětí

Na obr. 12 je zobrazen stabilizátor napájecího napětí. Abychom obvod ochránili, chráníme vstup obvodu, resetovatelnou pojistkou polyfuse. Dioda D33 je ochranou proti přepólování. Vstupní kapacitory C10 a C11 slouží k případnému vyfiltrování (vyhlazení a odrušení) napětí z baterie, které je přivedeno na vývod 1 integrovaného stabilizátoru. D34 je transil (obdoba Zenerovy diody), který ochraňuje obvod LM2575–5.0 proti přepětí.

Na výstupu obvodu LM2575–5.0 je připojen induktor L2 sloužící jako akumulační prvek. Schottkyho dioda D35 zajišťuje cestu pro proud induktorem v době, kdy je výstup spínaného zdroje rozepnut. Schottkyho dioda představuje nejlepší volbu pro svou rychlost spínání a pro nižší hodnotu prahového napětí. Úkolem výstupních kondenzátorů je minimalizovat zvlnění výstupního napětí a zajistit stabilitu signálu.



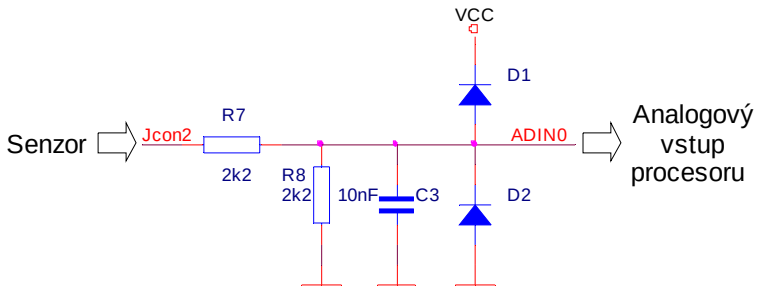
Obr. 13 – Zdroj napětí 3,3V

Protože paměť AT45DB potřebuje napájecí napětí pouze v rozmezí 2,7V až 3,6V, musíme pro tuto paměť napájecí napětí V_{CC} snížit z 5,0V na hodnotu 3,3V. K tomu nám

slouží obvod U7. Kapacitor C22 připojený na výstup tohoto obvodu je vlastně blokovacím kondenzátorem napájecího napětí Flash paměti. Ošetříme tím případný vznik parazitních úbytky napětí na vodiči.

3.4. Vstupy

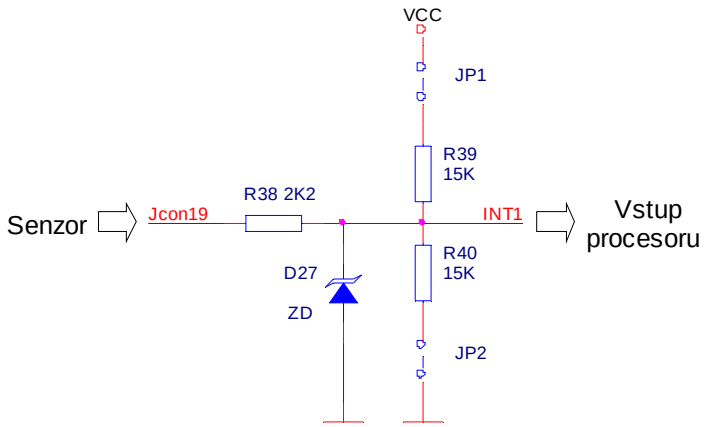
Analogový vstup



Obr. 14 – Zapojení analogového vstupu

Analogový vstup je vlastně jen přivedením analogového signálu přes dělič napětí na analogový vstup procesoru. „Diodový totem“, tvořený diodami D1 a D2, slouží k ochraně A/D vstupu proti zvýšenému napětí. Při zvýšeném napětí se D1 otvírá a odvádí proud pryč. Kondenzátor C3 potlačuje vysokofrekvenční rušení.

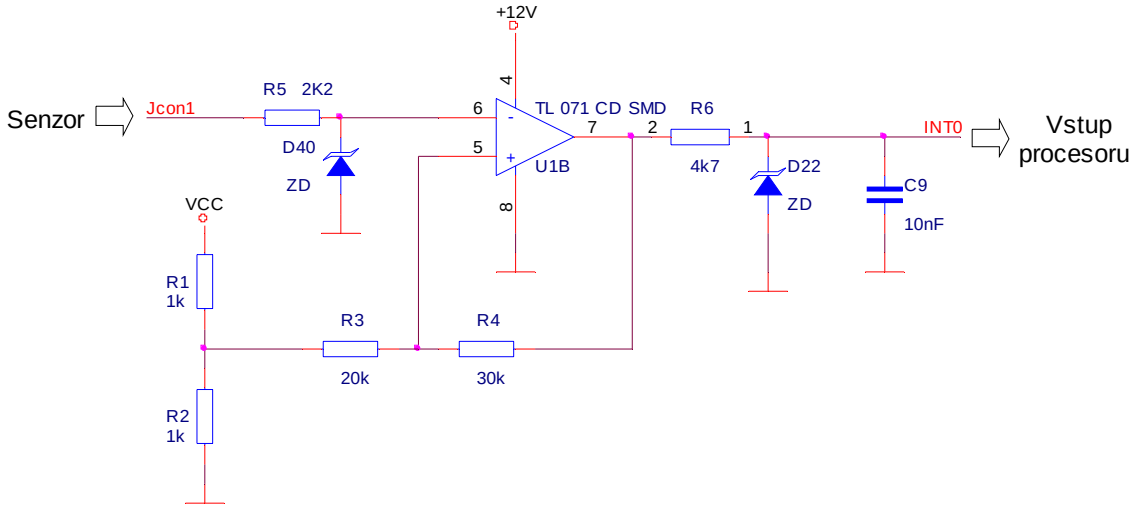
Digitální vstup



Obr. 15 – Zapojení digitálního vstupu

Digitální vstup je ošetřen pouze Zenerovou diodou a odporem (R38), který slouží pouze k omezení proudu. Propojka JP_X s odporem v sérii slouží k nastavení klidové úrovně vstupu.

Protože požadavkem na digitální vstup je, aby byl dostatečně rychlý, je přiveden na externí přerušení procesoru.



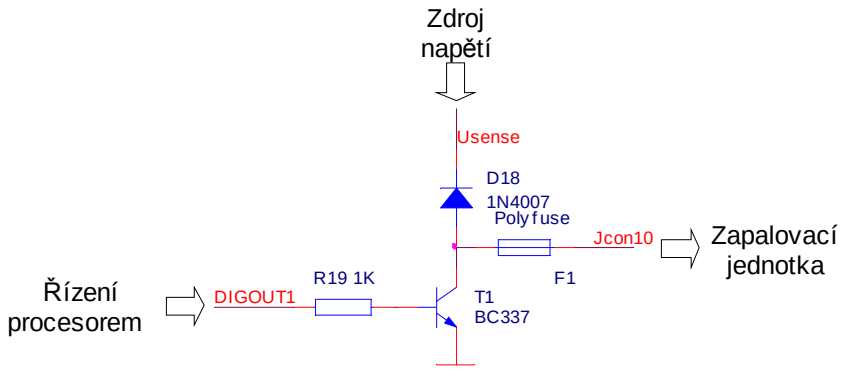
Obr. 16 – Zapojení digitálního vstupu s komparátorem

Tento vstup měl sloužit k úpravě signálu od Hallovy sondy, která měří polohu klikové hřídele. Protože však některé Hallovy sondy obsahují již zabudovaný komparátor, je toto zapojení zbytečné a nebude tedy tento vstup procesorem využit.

Jedná se vlastně pouze obdobu předchozího zapojení vstupu. Jen s tím rozdílem, že tento vstup je doplněn komparátorem.

3.5. Výstupy

Digitální výstup

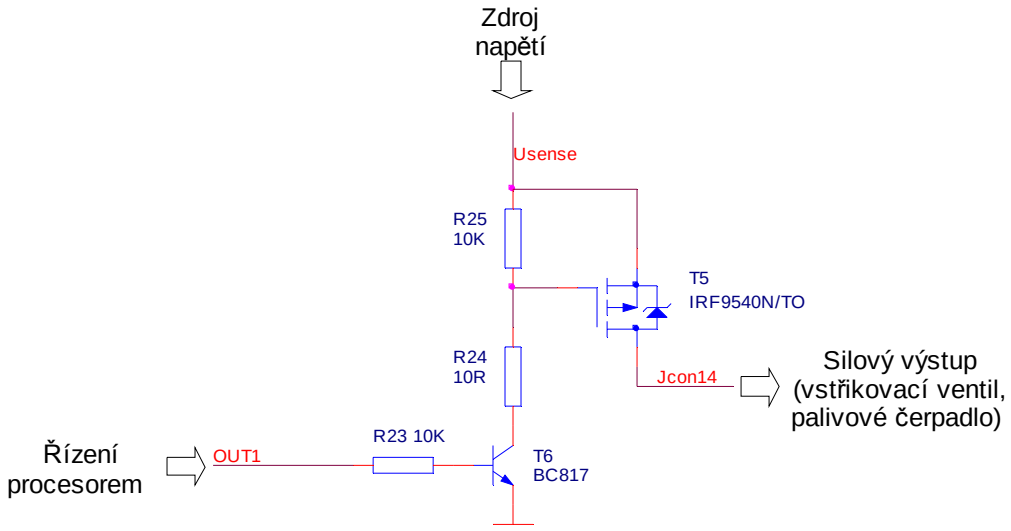


Obr. 17 – Zapojení digitálního výstupu

Digitální výstup je jen malý spínací bipolární tranzistor, kterým bude protékat proud pouze do cca 0,5A. Sloužit bude k zapalování paliva. Ochrana tohoto výstupu je zajištěna pojistkou Polyfuse, která odpojí zátěž tím, že při ohřátí polymeru plněného vodivými

částicemi se vodivé částice přestanou navzájem dotýkat a tím přestanou vést proud. Tyto pojistky jsou tedy resetovatelné (po ochladnutí mohou opět vést proud).

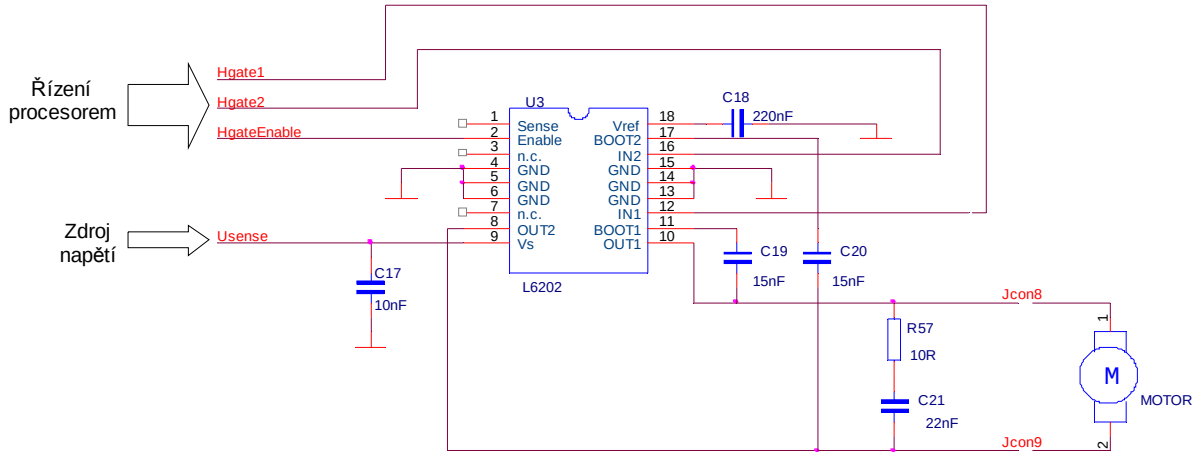
Silový výstup



Obr. 18 – Zapojení silového výstupu

Toto zapojení není úplně ideálním řešením, ale pro mou práci stačí. V tomto zapojení je dobré spínání tranzistoru MOSFET zajištěno bipolárním tranzistorem BC817, ale není zajištěno rychlé rozepínání MOSFETu. Může tedy docházet k tepelným ztrátám, které jsou nežádoucí. Vhodnějším zapojením by bylo použití integrovaných budičů, které bychom využili, jak pro spínání tak rozpínání. Tranzistor IRF9540N/T jsem zvolil, protože tímto tranzistorem budou protékat vysoké proudy. IRF9540N/T nám poskytuje dostatečnou proudovou rezervu.

Integrovaný H – můstek



Obr. 19 – Zapojení integrovaného H – můstku

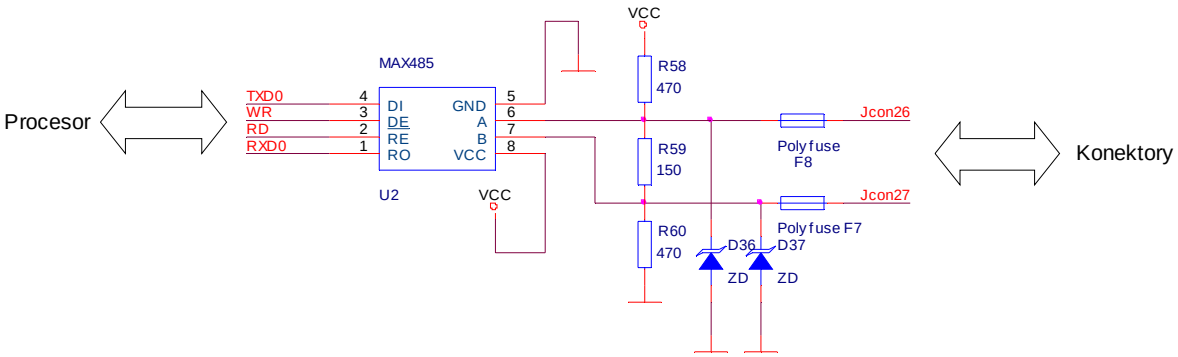
Obvod L6202 obsahuje integrovaný H–můstek, kterým budeme motor řídit. Existují podobné obvody L6201 a L6203, které mají jen jiné hodnoty maximálních proudů. Nám postačí hodnoty obvodu L6202.

Celé toto zapojení je vytvořeno dle doporučeného zapojení v katalogu. Kapacitor C17 slouží jako blokovací kondenzátor napájecího napětí (napětí baterie) integrovaného obvodu. Kondenzátory C19 a C20 zajišťují efektivnější řízení DMOS tranzistorů integrovaných v obvodu L6202. Jejich anglický název je „bootstrap capacitors“. Odpor R57 s kapacitorem C21 zajišťují přizpůsobení výstupů k motoru.

Aby bylo možné řídit spínání tranzistorů pomocí vstupů IN1 a IN2, musí být přivedena na vstup ENABLE logická jednička. OUT1 a OUT2 jsou výstupy můstku.

3.6. RS 485

Linka RS485 slouží k sériové komunikaci. Používá jeden pár vodičů pro oba směry toku dat.



Obr. 20 – Připojení RS 485 k řídící jednotce

Obvod MAX485 je integrovaný vysílač a přijímač pro RS 485. Umožňuje nám poloduplexní přenos rychlostí až 2,5Mb/s.

V zapojení jsou opět použity ochranné pojistky polyfuse a Zenerovy diody proti přepětí. Vedení je přizpůsobeno odporem R59. Protože při komunikaci po lince RS485 se vysílače odpojují, dochází k dobám, kdy na linku žádné zařízení nevysílá. V této době není stav linky definován a linka je extrémně citlivá na indukovaná napětí (poruchy), které se jeví jako přicházející data. Proto je třeba definovat klidový stav linky připojením rezistorů R58 a R60.

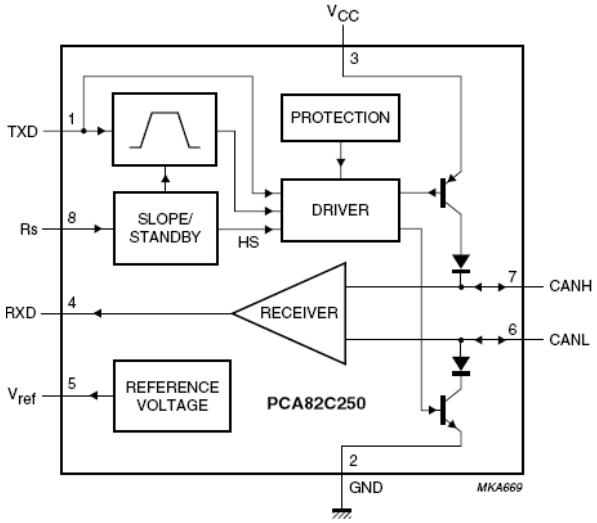
Číslo pinu	Označení pinu	Funkce pinu
1	RO	Výstup přijímaných dat (Receiver output) [jestliže A>B, pak RO = “1”; jestliže A<B, pak RO = “0”]
2	/RE	Výstup přijímaných dat povolen (Receiver output enable)
3	DE	Vstup vysílaných dat povolen (Driver input enable)
4	DI	Vstup vysílaných dat (Driver input)
5	GND	Zem
6	A	Neinvertující vstup a výstup vysílače
7	B	Invertující vstup a výstup vysílače
8	Vcc	Napájecí napětí (4,75 < Vcc < 5.25)

Tabulka 1 – Vysvětlení jednotlivých pinů obvodu MAX485

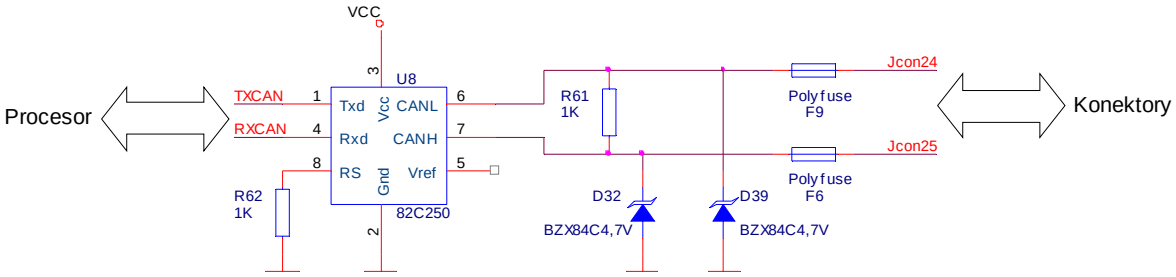
3.7. CAN

CAN je sériový komunikační protokol, který byl původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech. Jeho nasazení je levné, je spolehlivý a dokáže pracovat s přenosovou rychlostí 1Mbit/s.

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu, nejvyšší prioritu má zpráva s identifikátorem 0. Protokol CAN zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně a dále je možné na základě identifikátoru zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají.



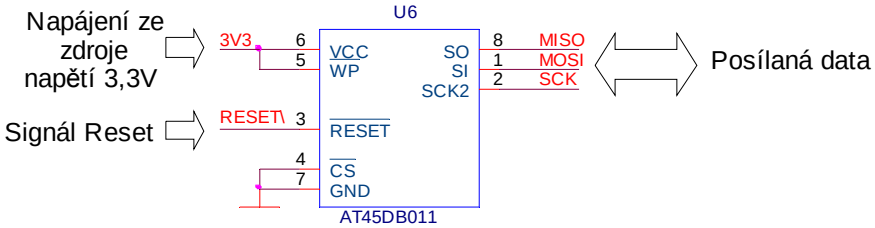
Obr. 21 – Blokové schéma CAN



Obr. 22 – Připojení CAN k řídící jednotce

Zapojení je obdobou zapojení u RS 485. Jako proudová ochrana jsou zde použity polyfuse pojistky, jako napěťová ochrana transily. Pomocí odporu R61 přizpůsobíme konec vedení (impedanční přizpůsobení konce vedení).

3.8. Flash paměť



Obr. 23 – Připojení Flash paměti

Flash pamět je do obvodu přidána, abychom byli schopni ukládat a později si přečíst data s řídící jednotky. Vyžaduje napájení v rozmezí 2,7V až 3,6V. Data je schopná přijímat,či odesílat po sériové lince.

Číslo pinu	Označení pinu	Funkce pinu
1	SI	Sériový vstup (serial input)
2	SCK	Synchronizační signál (serial clock)
3	/RESET	Reset obvodu (chip reset)
4	/CS	Výběr obvodu (chip select)
5	/WP	Ochrana proti zápisu (Write Protect Pin)
6	Vcc	Napájecí napětí
7	GND	Zem
8	SO	Sériový výstup (serial output)

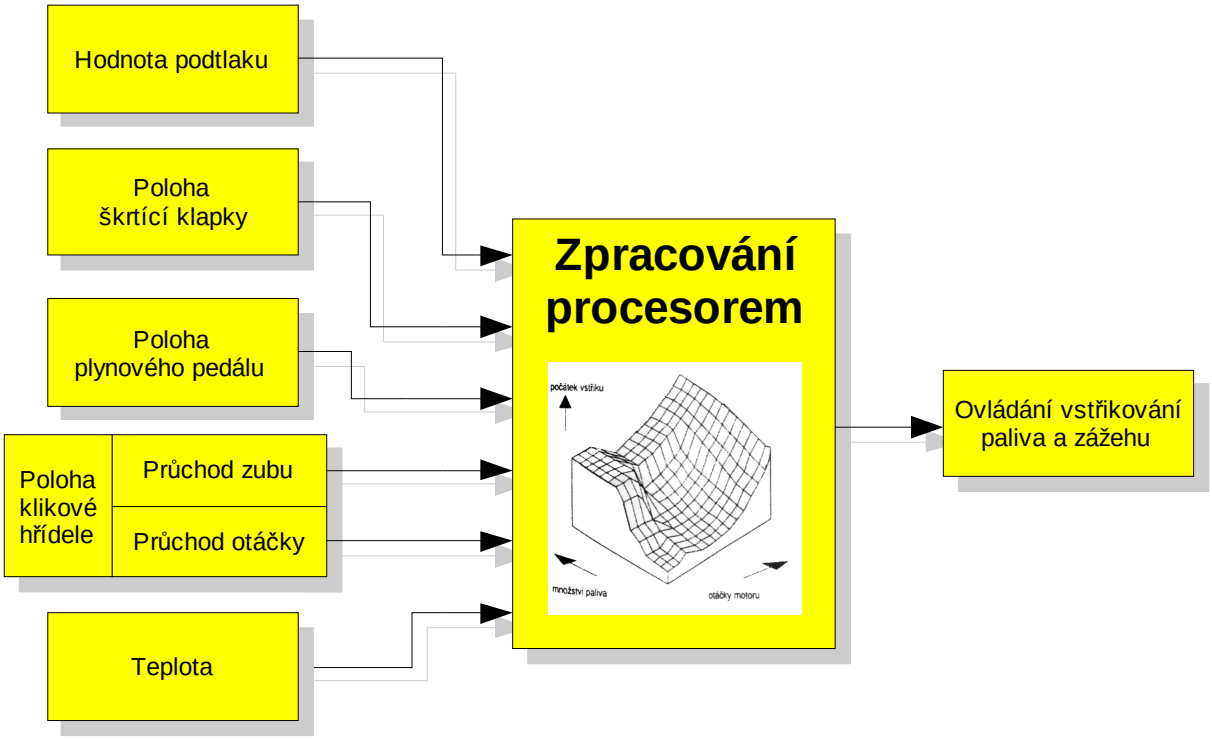
Tabulka 2 – Vysvětlení jednotlivých pinů paměti AT45DB011

4. Software pro mikrokontrolér

4.1. Požadavky na software

Program by měl být jednoduchý, přehledný a snadno čitelný. A také velmi rychlý, aby dokázal zpracovat informace a na jejich základě řídit činnost motoru během jedné otáčky setrvačníku. Měl by být schopen na základě údajů ze senzorů vypočítat množství vstřikovaného paliva a velikost předstihu, tak aby motor pracoval co nejefektivněji.

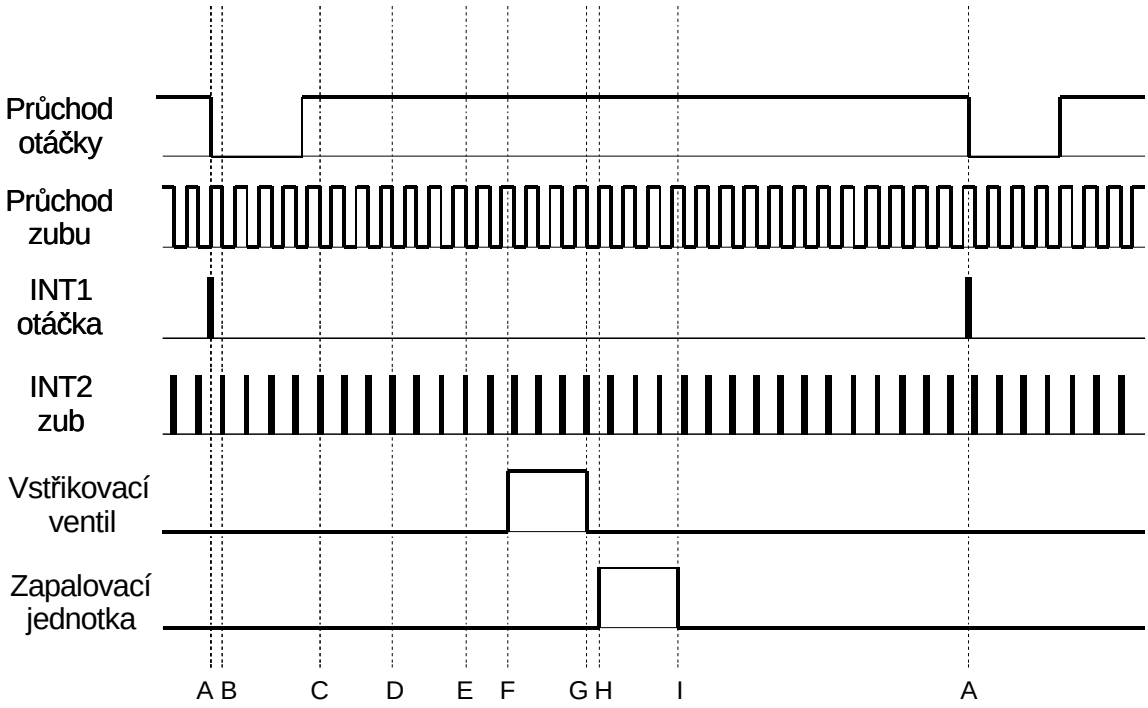
Mikrokontroléry Atmel AVR byly navrženy tak, aby bylo možné programovat je nejen v assembleru, ale také ve vyšším programovacím jazyce a to v jazyce C. Tyto dva jazyky lze ve zdrojovém kódu i kombinovat. Ve zdrojovém kódu C lze umístit kód assembleru pomocí direktiv #asm a #endasm. Programování v jazyce C je pro uživatele přehlednější.



Obr. 24 – Blokové řešení

Na obrázku 24 je ukázáno, jaké údaje ze senzorů musí procesor zpracovat a co musí ovládat.

4.2. Časování činnosti řídící jednotky

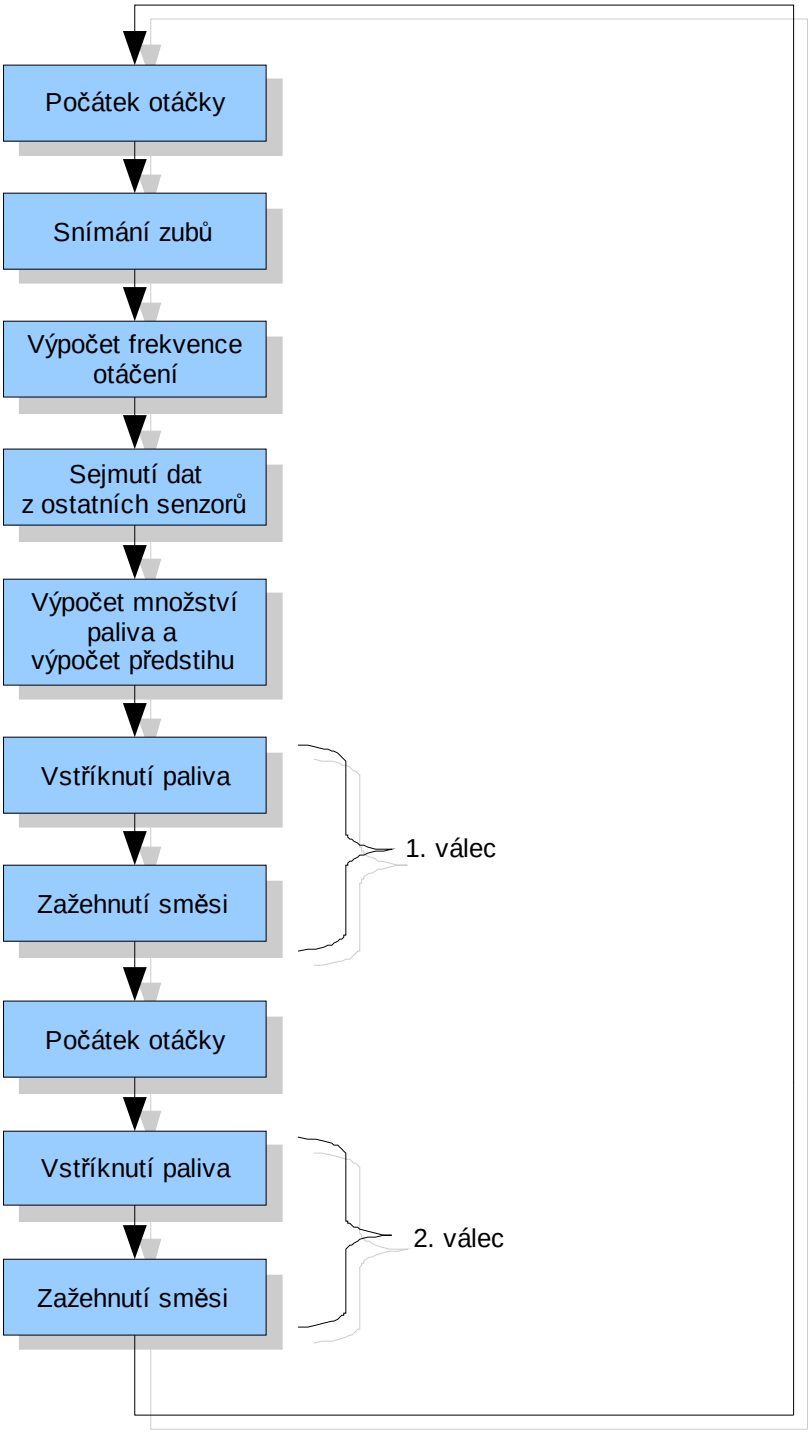


Obr. 25 – Časový diagram řídící jednotky

Na obrázku 25 je časová posloupnost činnosti řídící jednotky v průběhu jedné otáčky. Jak již bylo v kapitole 2.2.3. popsáno, rychlost otáčení lze celkem přesně určit, pokud kromě snímání otáčky snímáme navíc ještě průchod jednotlivých zubů senzorem.

Bod A je okamžik průchodu značky snímačem otáček. Zde by tedy měl být definován počátek otáčky. Protože se však poloha této značky nemusí úplně shodovat s průchodem zubu senzorem, je pro zpřesnění považován za začátek otáčky průchod prvního zubu po průchodu otáčky (Bod B). Mezi body B a C je měřena doba průchodu několika zubů, která nám poskytne možnost vypočítat frekvenci otáčení setrvačníku. Mezi body C a D přečteme důležité údaje z ostatních senzorů. Výpočty množství vstříknutého paliva a předstihu se provádí v době mezi body D a E. Na základě těchto výpočtů otevřeme vstřikovací ventil na dobu F až G. Poté zažehneme jiskru (H až I) a čekáme na další otáčku, v níž vstříkneme a zažehneme směs ve druhé válci. Bod H určuje velikost předstihu.

Na základě tohoto časového diagramu lze nakreslit jednoduchý blokový diagram řízení, který je uveden na obrázku 26.

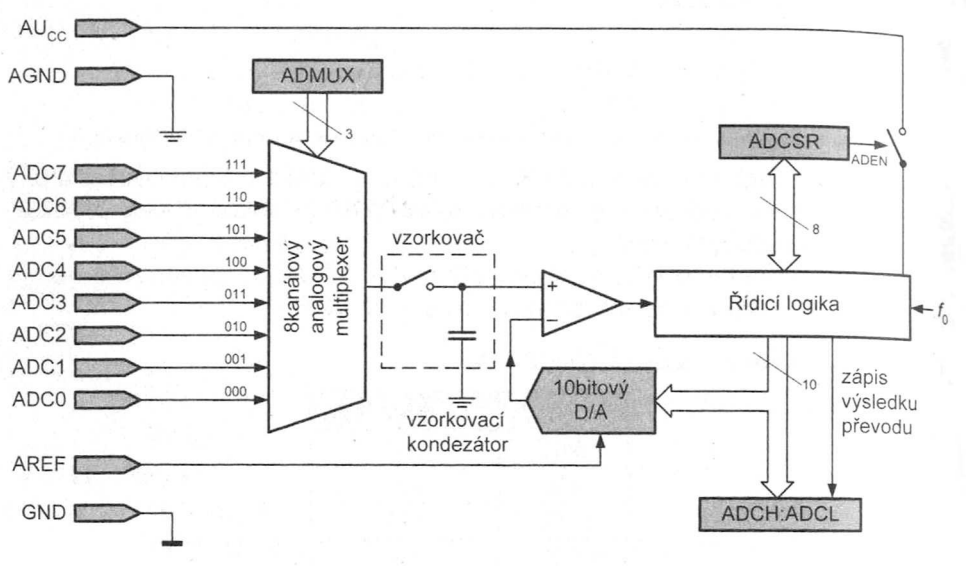


Obr. 26 – Blokový diagram řízení

4.3. Softwarové řešení jednotlivých bloků

Digitální vstupy (snímač otáčky, snímač zubů na setrvačníku) jsme přivedli na vstupy externího přerušení. Vnější přerušení musí být tedy v programu implementováno klíčovým slovem „interrupt“.

Mikrokontrolér AT90CAN128 obsahuje desetibitový A/D převodník, který využíváme k měření analogových signálů. Tento převodník je přiveden na osmikanálový analogový multiplexer. Abychom tedy mohli snímat více analogových signálů, musíme mezi vstupy těchto signálů přepínat pomocí multiplexeru. Jednotlivé kanály multiplexeru se volí zápisem čísla do registru ADMUX. Činnost převodníku se povoluje signálem ADEN (v log. 1 povolena) v registru ADCSR. Pro spuštění převodu je nutné ještě nastavit bit ADSC v registru ADCSR. Výsledek převodu je uložen do registrového páru ADCH:ADCL, přičemž ADCH jsou k dispozici pouze dolní dva bity.



Obr. 27 – Blokové schéma vnitřního A/D převodníku

Výpočet frekvence otáčení setrvačníku se provede dle vzorce $f = \frac{n_X}{N \cdot t_X}$, kde f je frekvence otáčení, n_X je počet několika zubů, jejichž průchod měříme, t_X je doba průchodu těchto zubů a N je počet zubů na setrvačníku.

Množství vstříknutí paliva je určeno dobou, na kterou pošleme signál na výstupní pin. Zažehnutí směsi paliva provedeme nastavením výstupního pinu po odpočítání počtu zubů, který odpovídá předstihu.

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo na základě pochopení možností řízení zapalování a vstřikování navrhnout jednoduchou řídící jednotku, která bude dle údajů ze snímače otáček, senzoru podtlaku či polohy plynového pedálu řídit vstřikování paliva a předstih zážehu. Řídící jednotka by mohla obsahovat mnoho dalších senzorů (např. lambda sondu, o které jsem se v práci zmínil), z jejichž informací bychom mohli dál vylepšovat funkčnost řídící jednotky. Tyto údaje však již nejsou pro základní řízení bezpodmínečně nutné.

Tato bakalářská práce je rozdělena do tří částí. První z nich vysvětluje principy zážehových motorů a možnosti jejich řízení, druhá popisuje návrh vhodného hardware a jeho realizaci a třetí část pojednává o implementaci software.

Použitá literatura

Ferenc, Bohumil: Spalovací motory, Computer Press, Praha 2004

Matoušek, David: Práce s mikrokontroléry Atmel AVR, BEN, Praha 2003

Váňa, Vladimír: Atmel AVR – Popis procesoru a instrukční soubor, BEN, Praha 2003

Váňa, Vladimír: Atmel AVR – Programování v jazyce C, BEN, Praha 2003

Mann, Burkhard: C pro mikrokontroléry, BEN, Praha 2003

Záhlava, Vít: OrCAD 10, Grada, Praha 2004

Šimek T., Burget P.: Elektronické systémy I., ČVUT, Praha l999

Vysoký O.: Elektronické systémy II., ČVUT, Praha l997

Vedral J., Fischer J.: Elektronické obvody pro měřící techniku, ČVUT, Praha 1999

Vobecký J., Záhlava V.: Elektronika, Grada, Praha 2001

http://www.atmel.com/

http://www.alldatasheet.com/

http://www.hw.cz/

http://www.ecom.cz/katalog.htm

http://www.mjauto.cz/

http://www.automatizace.cz/

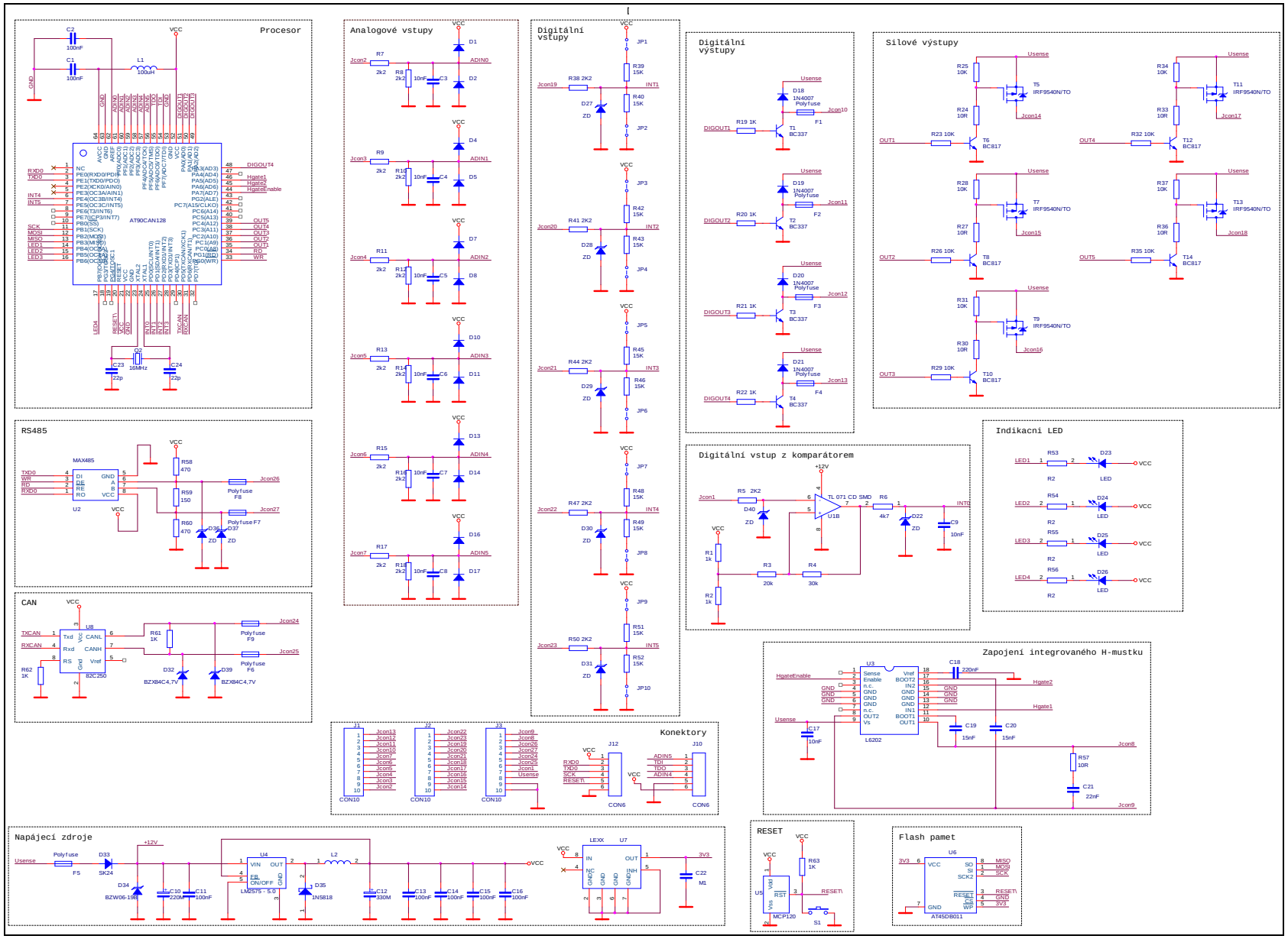
http://www.automatizace.hw.cz/

http://cs.wikipedia.org/

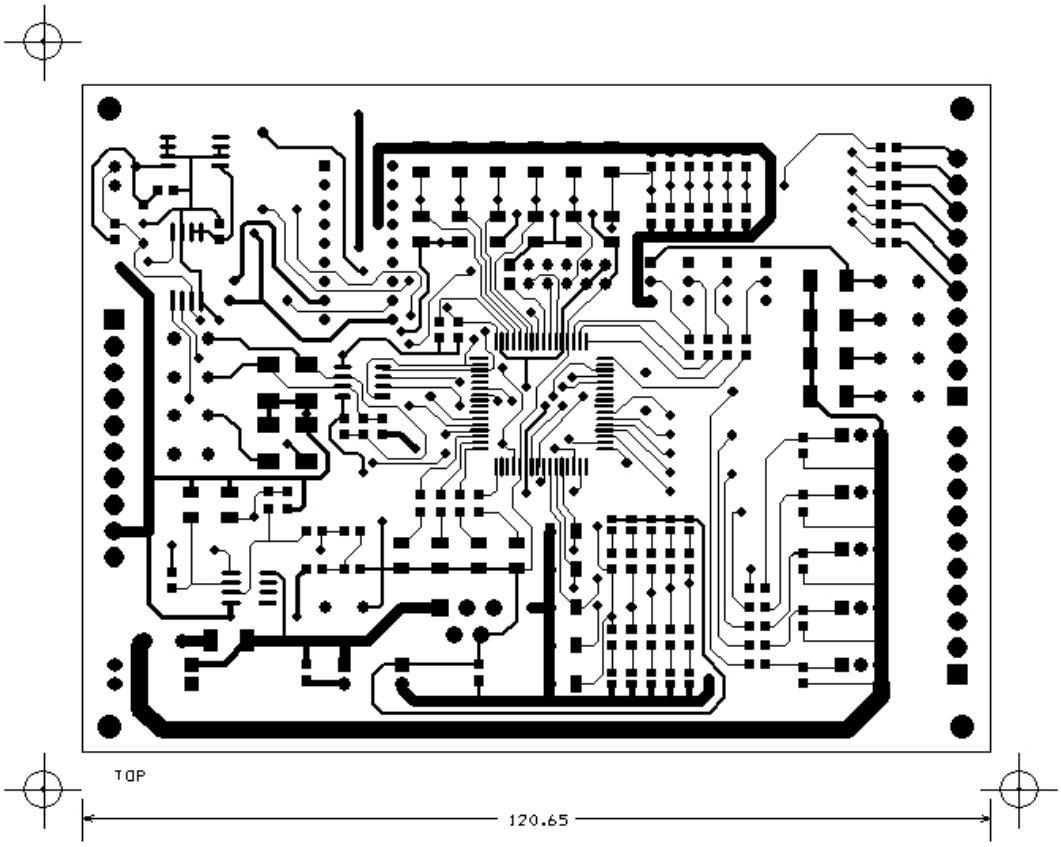
http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa

Přílohy

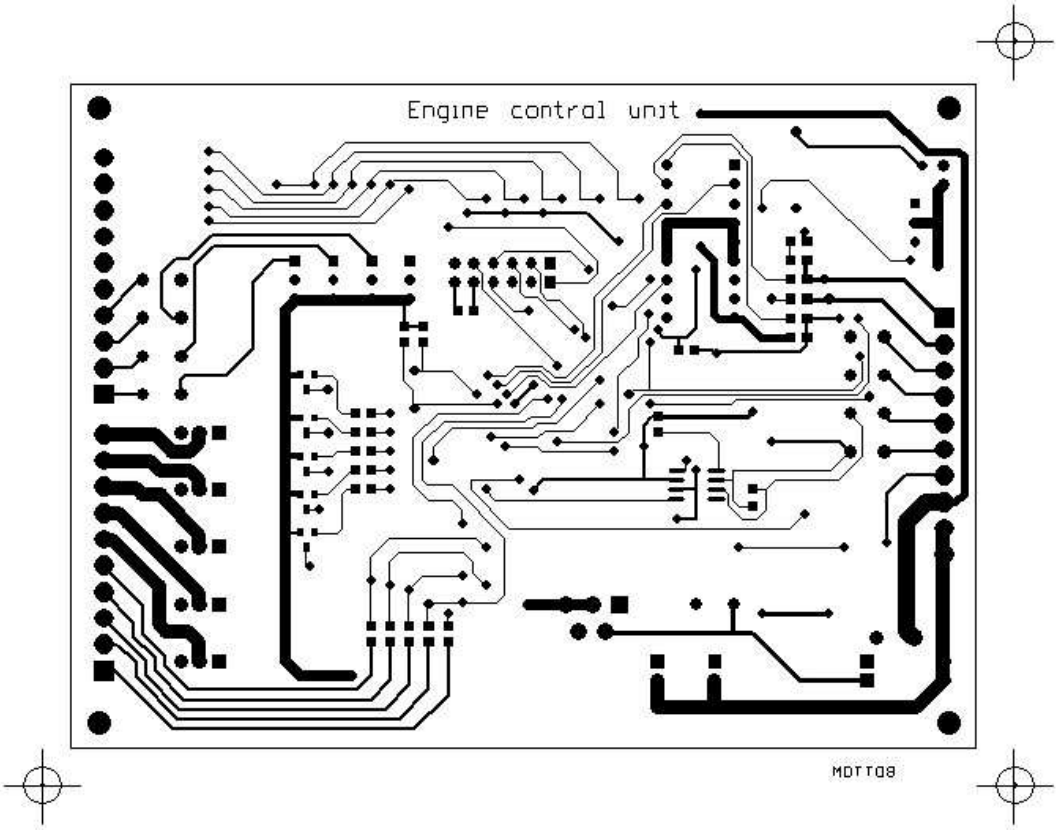
Schéma zapojení



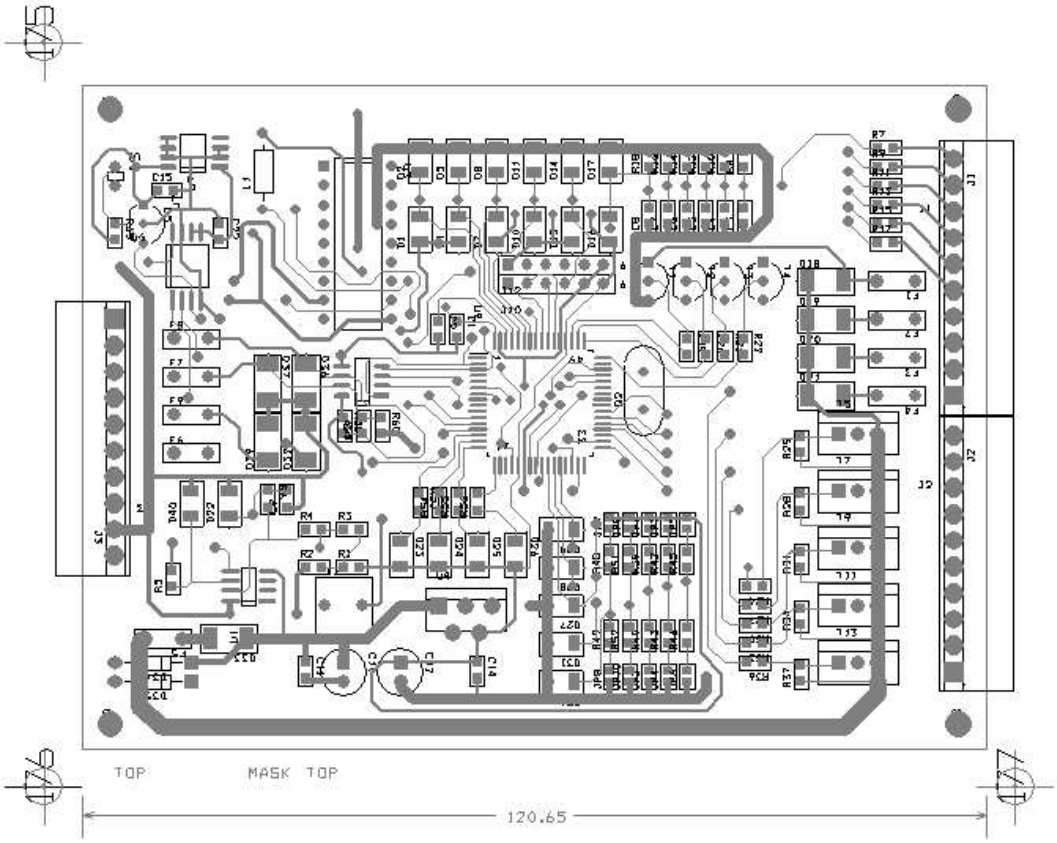
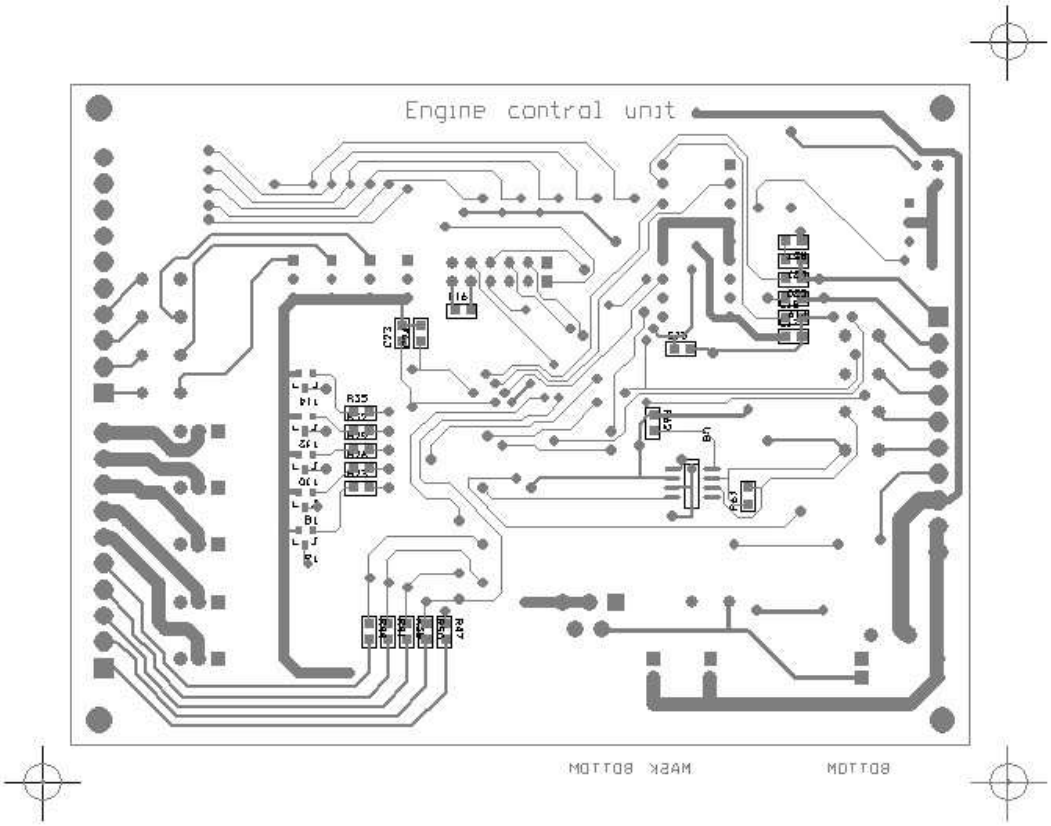
Deska plošného spoje (vrstva TOP)



Deska plošného spoje (vrstva BOTTOM)



Rozmístění součástek na desce (vrstva TOP)



Rozmístění součástek na desce (vrstva BOTTOM)