

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Solární vozítko

David Kaplan

Bakalářská práce
2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Kaplan**
Osobní číslo: **I09023**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Solární vozítko**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Navrhněte a sestrojte vozítko poháněné pomocí solárních panelů o maximální ploše 10x10cm. Panely budou napájeny ze zdroje světla o maximálním výkonu 0,5 kW a ve stanovené minimální výšce. Cílem je urazit stanovenou vzdálenost v minimálním čase při optimálním využití získané energie s regulací motoru pomocí mikroprocesoru.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

ELEKTRICKÉ POHONY

(Skripta VŠB-TU Ostrava, Ivo Neborák, Václav Sládeček)

STEJNOSMĚRNÉ STROJE

(Skripta VŠB-TU Ostrava, Ing Stanislav Kocman)

REGULACE OTÁČEK

(Skripta VŠB-TU Ostrava)

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Štěpánek

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

12. prosince 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2012



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.

děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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 se zveřejněním práce a s prezenčním zpřístupněním v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9.5.2012

David Kaplan

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Štěpánkovi, který mě po celou dobu vedl správným směrem účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomocí. Dále děkuji Ing. Pavlu Rozsivalovi za cenné odborné rady, připomínky při návrhu zařízení a v neposlední řadě za pomoc při výrobě samotné desky a zapůjčení programátoru. Také bych rád poděkoval kamarádům, kteří mě po celou dobu pomáhali a hlavně rodičům za dobrou podporu.

Anotace

Tématem této bakalářské práce je návrh a praktická realizace solárního vozítka, jenž je primárně určeno k závodům solárních modelů. V teoretické části je stručně popsána teorie fotovoltaiky, dále hlavní informace o spínaných zdrojích a jejich základní zapojení. Tato část ještě obsahuje popis funkce stejnosměrného motoru a základní informace o mikropočítačích. Praktická část se věnuje podrobně návrhu vozítka. Je zde popsána mechanická konstrukce, řídicí elektronika a obslužný software zařízení. Na konci práce je ke shlédnutí fotodokumentace hotového vozítka.

Klíčová slova

Solární článek, měnič, mikroprocesor ATtiny43u, PWM, EAGLE.

Title

The solar vehicle

Annotation

The topic of this thesis is the design and practical realization of solar vehicle, which is primarily intended for model solar vehicle races. The theoretical section briefly describes the theory of photovoltaics and provides key information about switching sources and their basic involvement types. It also includes information about the function of DC motor and basic information about microcomputers. The practical part is devoted to detailed design of the vehicle. It describes mechanical design, main electronic parts and operation software of the device. At the end photo documentation of the vehicle can be seen.

Keywords

Solar cell, converter, central processing unit ATtiny43u, PWM, EAGLE

Obsah

Úvod	8
1 Teorie fotovoltaiky.....	9
1.1 Princip fotovoltaického jevu.....	9
1.1.1 Přechod PN - polovodičová dioda	9
1.2 Fotodioda.....	12
1.3 Fotovoltaický článek	13
1.3.1 Monokrystalické články	14
1.3.2 Polykrystalické články.....	14
2 Spínané zdroje	15
2.1 Blokové schéma spínaného zdroje, popis.....	16
2.2 Spínané zdroje bez indukčnosti – Nábojové pumpy	17
2.3 Spínané zdroje s indukčností.....	18
2.3.1 BUCK Snižující měnič STEP-DOWN	18
2.3.2 BOOST Zvyšující měnič STEP-UP	19
2.3.3 BUCK-BOOST Invertující měnič	20
3 Stejnosměrný motor	21
3.1 Popis a princip činnosti stejnosměrného motoru.....	21
3.2 PWM regulace otáček stejnosměrného motoru	22
4 Mikropočítač	23
4.1 Obecné schéma mikropočítače s blokovým schématem CPU.....	23
4.2 Dělení mikropočítačů	24
4.2.1 Von Neumannovo schéma - společná paměť dat a programu.....	24
4.2.2 Harwardské schéma – oddělená paměť programu a dat.....	25
4.2.3 CISC – soubor instrukcí s kompletní sadou	25
4.2.4 RISC – soubor instrukcí s redukovanou sadou.....	25
4.3 Polovodičové paměti – blokové uspořádání, dělení	26
4.3.1 Energeticky nezávislé paměti ROM.....	27
4.3.2 Energeticky závislé paměti RAM.....	27
4.4 Sběrnice v mikropočítači	28
4.4.1 Typy sběrnic	29
4.5 Programování mikropočítačů.	29

4.5.1	Assembler	30
4.5.2	Vyšší programovací jazyky	30
5	Praktická část – Výroba vozítka	31
5.1	Základní technické údaje	31
5.2	Mechanická konstrukce	32
5.2.1	Podvozek	33
5.2.2	Deska se Solárními články, zapojení a parametry článků.	34
5.2.3	Návrh desky plošných spojů.....	35
5.3	Elektronika	37
5.3.1	Mikroprocesor ATtiny43u.....	37
5.3.2	Blokující měnič pro nabíjení akumulátoru	41
5.3.3	PWM spínání motoru pro plynulý rozjezd	43
5.4	Programové vybavení.....	44
5.4.1	Nastavení registrů v mikropočítači.....	45
5.4.2	Nastavení programovacích propojek.....	46
5.4.3	Vývojový diagram softwaru	47
	Závěr	48
	Seznam Literatury	49
	Seznam zkratk.....	50
	Seznam obrázků.....	51
	Příloha A – Celkové schéma zapojení.....	53
	Příloha B – Seznam součástí	54
	Příloha C – Zdrojový kód souboru	55
	Příloha D – Fotodokumentace	57

Úvod

V dnešní době je hitem každé zařízení, které využívá obnovitelný zdroj energie, mezi které bezesporu patří i solární energie. Cílem této práce je navrhnout a sestavit solární vozítko, které bude poháněné solárními panely o maximálně ploše 100cm^2 . Vozítko může na začátku akumulovat 15 sekund energii a poté je třeba urazit stanovenou vzdálenost v co možná nejkratším čase. Vozítko je primárně určené pro závody solárních modelů Napájení Sluncem VŠB-TU Ostrava. Aby se dosáhlo co nejlepšího času je v konstrukci použit mikroprocesor, který řídí blokující step-up měnič, jenž nabíjí akumulaci kondenzátor na vyšší napětí než mají solární články. Po 15 sekundách mikroprocesor pomocí PWM regulace sepne motor, aby byl rozjezd co nejefektivnější.

V první kapitole teoretické části této práce je popsán princip fotovoltaického jevu, funkce fotodiody a typy solárních článků. Druhá kapitola teoretické části práce pojednává o spínaných zdrojích. Je zde blokově popsána funkce takového zdroje a dále základní typy zdrojů jak bez indukčnosti, takzvané nábojové pumpy, tak jsou zde i uvedeny 3 hlavní typy spínaných zdrojů s indukčností. V další části je stručně popsán princip stejnosměrného motoru a řízení otáček pomocí PWM regulace. Poslední kapitola teoretické části se dále zabývá teoretickým popisem mikropočítače, který je srdcem celého zapojení.

Praktická část se věnuje podrobně návrhu a konstrukci vozítka. Ze začátku jsou uvedeny hlavní technické informace. Praktickou část můžeme dále rozdělit na základní 3 bloky. První blok řeší mechanickou konstrukci vozítka, popisuje zapojení solárních článků a výrobu desky plošných spojů. Druhý blok obsahuje kompletní popis elektronických částí. Je zde uvedeno zapojení mikroprocesoru, který je srdcem celého zařízení, dále je podrobně popsána funkce blokujícího měniče a také řízení rozjezdu pomocí PWM regulace. Třetí blok praktické části obsahuje popis programového vybavení, tedy tvorbu software a základní nastavení registrů řídicího mikroprocesoru, což je doplněno vývojovým diagramem.

V závěru práce je uvedeno celkové zhodnocení výsledků a možné budoucí vylepšení vozítka. Pro ilustraci je na konci práce možné shlédnout fotodokumentaci hotového zařízení.

1 Teorie fotovoltaiky

Množství sluneční energie, které dopadne na naši planetu ze slunce, dosahuje 180000TW, což je cca jedna dvoumiliardtina celkového výkonu slunce. Tolik energie v jednom okamžiku není lidstvo schopno ani spotřebovat. Sluneční záření nám neposkytuje pouze teplo, ale lze jej využít i na výrobu elektrické energie. Ovšem se musíme spokojit s faktem, že takto získávat energii není možné 24 hodin denně a 365 dní v roce. Sluneční paprsky nedopadají na určité místo Země celý den (s výjimkou pólů Země, kde tomu tak v určitých případech je) a rovněž celý rok nejsou stejné slunečné dny, ale buď je hezky nebo je troposféra plná oblak a srážek což má významný vliv na útlum dopadajících slunečních paprsků na určité místo. Z hlediska ochrany životního prostředí se jedná o mimořádně čistý způsob výroby energie, při němž nevznikají žádné škodlivé emise ani hluk a „vstupní,, energie je prakticky nevyčerpatelná.

➔ Fotovoltaický jev = fyzikální proces, který umožňuje přeměnu slunečního záření na elektrickou energii.

➔ Fotovoltaický článek = zařízení na výrobu elektrické energie, využívající fotovoltaický jev.

[1]

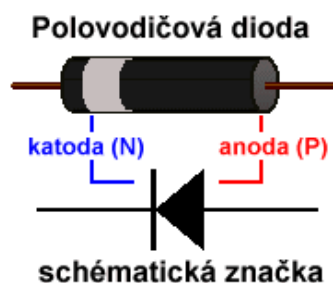
1.1 Princip fotovoltaického jevu

Počátky objevení fotovoltaického jevu sahají do roku 1839, kdy francouzský experimentální fyzik Edmund Becquerel, zjistil při pokusech s 2 kovovými elektrodami umístěnými v elektrovedivém roztoku že, při osvětlení zařízení vzrostlo na elektrodách napětí. Podstatou fotovoltaického jevu ve fotovoltaických článcích je vznik volných elektronů a "děr" osvětlením přechodu PN. Tímto způsobem se světelná energie přímo přeměňuje na elektrickou energii. Becquerel tedy dokázal využít světlo, respektive částic světla, fotonů, k přeměně na zmiňovanou elektrickou energii.

1.1.1 Přechod PN - polovodičová dioda

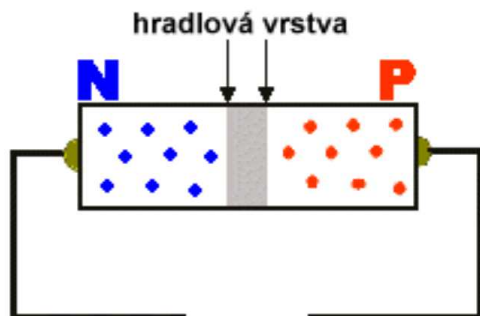
Základem většiny polovodičových součástek (diod, tranzistorů, svítivých diod, mikroprocesorů, fotočlánků aj.) je tzv přechod PN. Jedná se o oblast styku dvou polovodičů s opačným typem vodivosti. Typickou vlastností přechodu PN je jeho usměrňovací účinek. Mohou nastat tři případy:

[3]



obrázek 1 (převzato z [3])

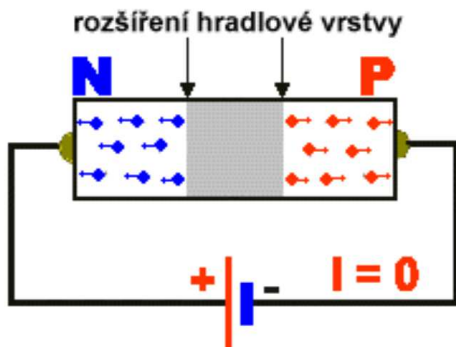
1) Přechod PN není připojen ke zdroji napětí:



→ v oblasti přechodu PN přejde část volných elektronů z oblasti N do oblasti P a tam rekombinují s "děrami". V tomto prostoru se vytvoří oblast bez volných nábojů o šířce několika tisíců milimetrů [3]

Obrázek 2 (převzato z [3])

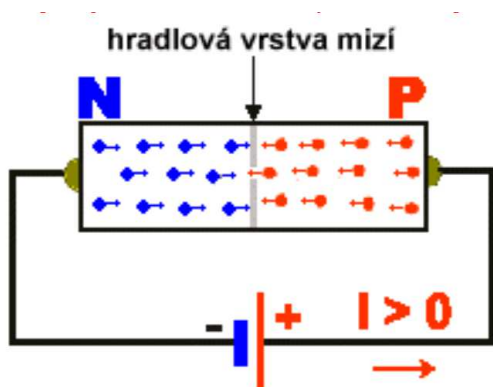
2) Přechod PN v závěrném směru:



→ k polovodiči P se připojí záporný pól a k polovodiči N kladný pól zdroje, volné náboje se vzdalují působením elektrických sil. Oblast bez volných nábojů se rozšíří, její odpor vzroste a elektrický proud přechodem PN nemůže procházet. Hradlová vrstva je nevodivá oblast bez volných nábojů. [3]

Obrázek 3 (převzato z [3])

3) Přechod PN v propustném směru:



→ k polovodiči P se připojí kladný pól a k polovodiči N záporný pól zdroje, tím začnou přecházet působením elektrických sil volné elektrony přes přechod PN ke kladnému pólu a "díry" jsou přitahovány k zápornému pólu. Hradlová vrstva prakticky zanikne a její odpor se výrazně zmenší. Takto zapojeným přechodem PN proud prochází. [3]

Obrázek 4 (převzato z [3])

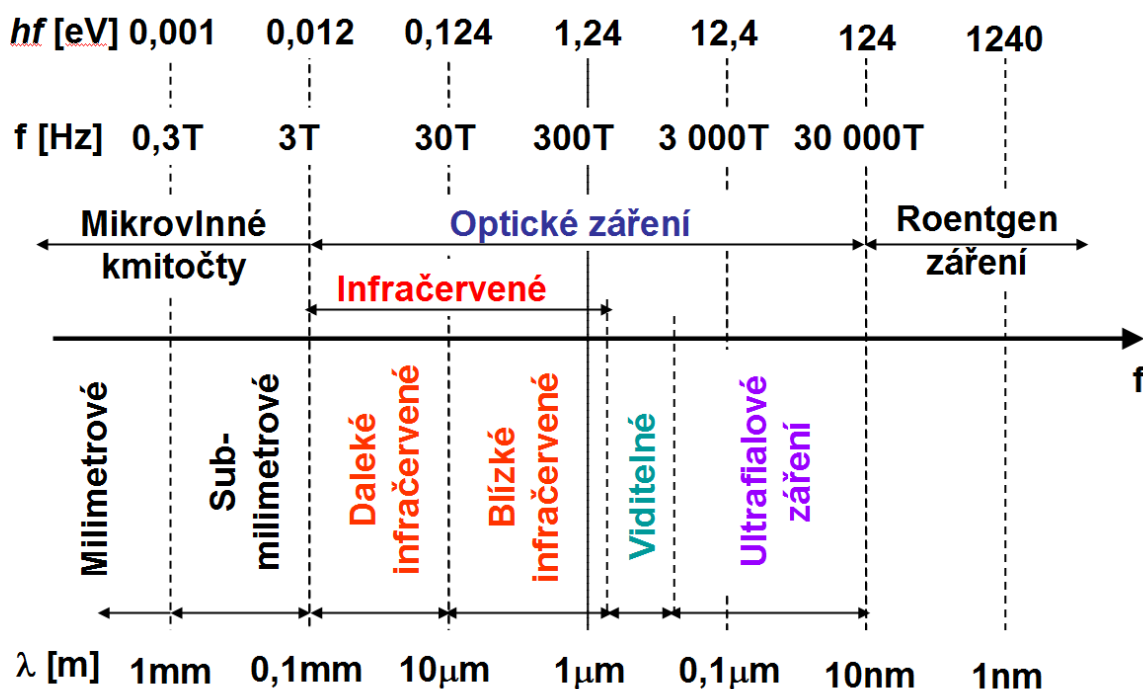
Podstatou fotovoltaického jevu ve fotovoltaických článcích je vznik volných elektronů a "děr" osvětlením přechodu PN a dodáváním fotonů na tento přechod. Takto se světelná energie přímo přeměňuje na elektrickou energii. Z mnoha důvodů je nejvhodnější prvek pro použití na P-N přechodu křemík. Fotony jsou částice elektromagnetického záření, jejichž energie závisí především na vlnové délce. Z níže zobrazené části spektra elektromagnetického vlnění můžeme vyvodit následující:

→ Čím kratší vlnová délka záření, tím větší energii mají jeho fotony.

Strukturou P-N přechodu je dána minimální energie pro vznik toku volných elektronů:

→ Aby vznikl fotovoltaický jev, musí mít fotony energii minimálně 1,12 eV.

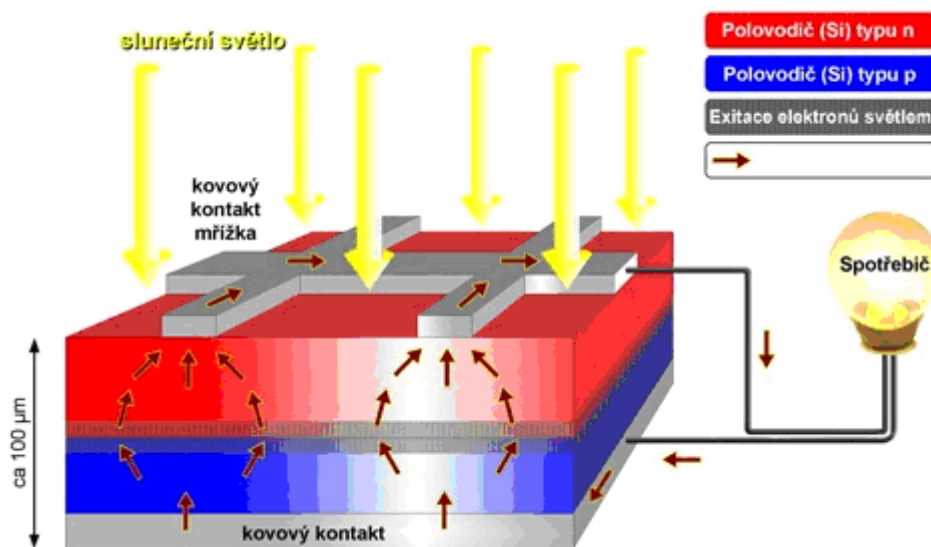
Této energii odpovídá tzv. mezní vlnová délka asi 1 105 nm - a to je infračervené záření. Fotony záření s kratší vlnovou délkou (např. fotony viditelného světla) mají dostatek energie a elektrony mohou z mřížky uvolnit. Záření s větší vlnovou délkou (např. mikrovlny) fotovoltaický jev nevyvolají. [2] [3]



Pozn.: $T = 10^{12}$, $\mu = 10^{-6}$, $n = 10^{-9}$, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js, $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J

Obrázek 5 – Spektrální pásmo optických kmitočtů (převzato z [12])

Princip přeměny světelné energie na elektrickou je následující:

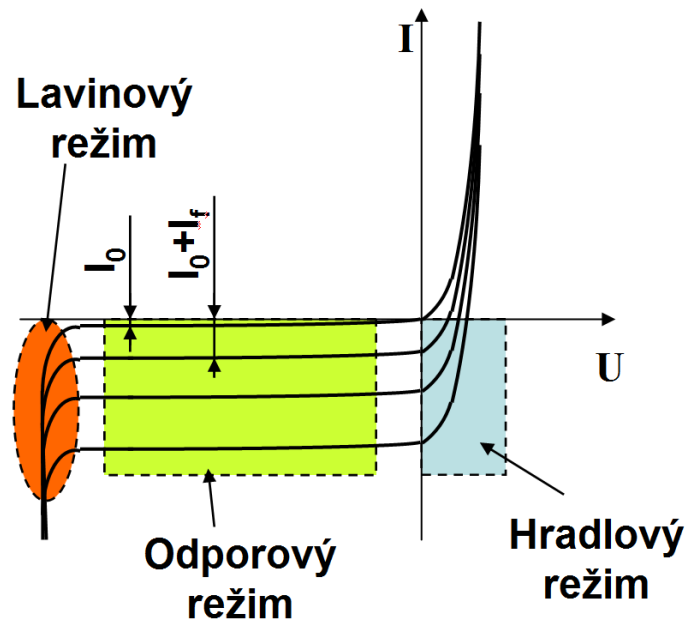


Obrázek 6 – Princip fotovoltaického jevu [převzato z internetu]

Dopadající světelné částice (fotony), dopadají na článek a svou energií z krystalů křemíku uvolňují z N-vrstvy polovodičového materiálu volné elektrony, které se přesouvají k p-vrstvě. N-vrstva je materiál s přebytkem volných elektronů a naopak P-vrstva je materiál s jejich nedostatkem. Kdyby mezi oběma vrstvami nebyla bariéra přechodu PN, přecházely by v krystalu elektrony volně z místa přebytku do místa nedostatku a fotočlánek by se nemohl stát zdrojem napětí. Elektrony uvolněné světlem ve vrstvě P naopak mohou přes přechod PN přecházet do vrstvy N a počet elektronů se v ní dále zvyšuje. Nahromaděním volných elektronů vznikne mezi horní a spodní vrstvou elektrické napětí o velikosti kolem 0,6 V. Přesun volných elektronů v materiálu se nazývá průtok proudu a probíhá vždy od – k +. [3]

1.2 Fotodioda

Fotodioda je běžná polovodičová dioda s takovou úpravou, že do její oblasti PN přechodu může pronikat světlo. Na obrázku níže je uvedena V-A charakteristika této speciální diody, z něhož je patrné, že tato dioda může pracovat ve více režimech. Pokud na přechod žádné světlo nedopadá, chová se fotodioda jako normální dioda – režim 1 kvadrantu. Pokud na přechod začne dopadat světlo - optické záření, fotodioda se v závěrném směru začne chovat jako odpor závislý na osvětlení. Hradlový režim, což je 4. kvadrant V-A charakteristiky, je pro nás z hlediska zdroje proudu nejzajímavější. Dioda se zde chová jako zdroj elektrické energie. Na anodě vzniká kladné napětí a na katodě záporné. Velikost tohoto napětí je cca 0.5 Voltu. Bodům, ve kterých anodové charakteristiky protínají svislou osu, odpovídá proud diody nakrátko a průsečíky charakteristik s vodorovnou osou určují napětí naprázdno. [12]



Obrázek 7 – V-A charakteristika fotodiody a režim činnosti (převzato z [12])

→ V případě, že na diodu nedopadá žádné světelné záření, nemůže dojít k fotovoltaickému jevu a vzniku napětí a rovněž nevzniká tok žádného proudu. Proud bez záření = I_1 .

→ Pokud na diodu začne dopadat záření, v polovodiči se začnou generovat páry elektron-díra a ty, které jsou v dosahu vyčerpané oblasti přechodu disociují (driftují pod vlivem pole na opačné strany) a vytvoří proud I_f . Proud se zářením = I_2 .

$$I_1 = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right]$$

$$I_2 = I_0 \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] + I_f \quad [12]$$

1.3 Fotovoltaický článek

Jak již bylo uvedeno výše, fotovoltaický článek je zařízení, jenž využívá ke své funkci fotovoltaický jev. Je to v podstatě polovodičová dioda s přechodem PN. Osvětlením článku vznikne v polovodiči vnitřní fotoelektrický jev a v polovodiči se z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí, které dosahuje u křemíkových článků velikosti zhruba 0,5 V. Energie dopadajícího světla se v článku mění na elektrickou energii. Připojením spotřebiče na článek se začnou kladné a záporné náboje vyrovnávat čímž vznikne tok elektronů a tím i elektrický proud. Samozřejmě napětí a proud jednoho článku nám nestačí k dostatečnému výkonu a tak je

možné jednotlivé články zapojovat sériově či paralelně a tím tvořit takzvané velkoplošné fotovoltaické panely.

→ pro výrobu fotovoltaických (neboli solárních či slunečních) článků se používá tzv. krystalická a tenkovrstvá technologie.

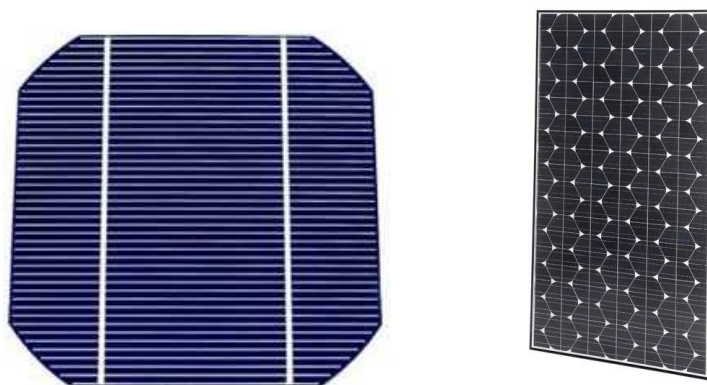
→ velmi vhodným materiálem pro výrobu článků je křemík (Si).

→ články se vyrábí monokrystalické nebo polykrystalické

[2] [3]

1.3.1 Monokrystalické články

Tyto články se vyrábějí z monokrystalického křemíku, který je vysoce čistý a vyznačují se nejvyšší možnou účinností. Nejlepší panely na trhu dosahují dnes účinnosti téměř 20%. Všechny krystaly křemíku mají stejnou orientaci - podobně jako v diamantu. Pro dosažení stejného výkonu stačí monokrystalickému panelu menší plocha než polykrystalickému panelu. [4]



Obrázek 8 – Monokrystalický solární článek, Solární panel SANYO HIT 240 HDE4
[převzato z internetu]

1.3.2 Polykrystalické články

Tyto články se vyrábějí z méně kvalitního a ne tolik čistého polykrystalického křemíku jako monokrystalické články. V článku jsou viditelné různě orientované krystaly křemíku. Mají menší účinnost než monokrystalické články cca 12-14%. Patří mezi nejpoužívanější typy článků z důvodu nízké ceny a nenáročných výrobních metod. [4]



Obrázek 9 – Polykrystalický solární článek, Solární panel Koycera KD 210 GH-2PU
[převzato z internetu]

2 Spínané zdroje

V dnešní době je použití spínaných zdrojů značné a to téměř v každém odvětví elektroniky. Používají se hlavně pro svoji vysokou účinnost, dále pro svoji malou váhu a rozměry. Najdeme je v počítačích, moderních nabíječkách a dalších zařízeních, kde je potřeba dosáhnout výše uvedených požadavků. Ze známé transformátorové rovnice můžeme jednoduše dokázat funkci a výhodnost spínaných zdrojů.

$$U_i = 4,44 * f * S_{FE} * B * N$$

U_i – efektivní hodnota indukovaného napětí [V]

4,44 - konstansta ($U_{EF} * \omega \Rightarrow \sqrt{2} * 2\pi f \Rightarrow 4,44$)

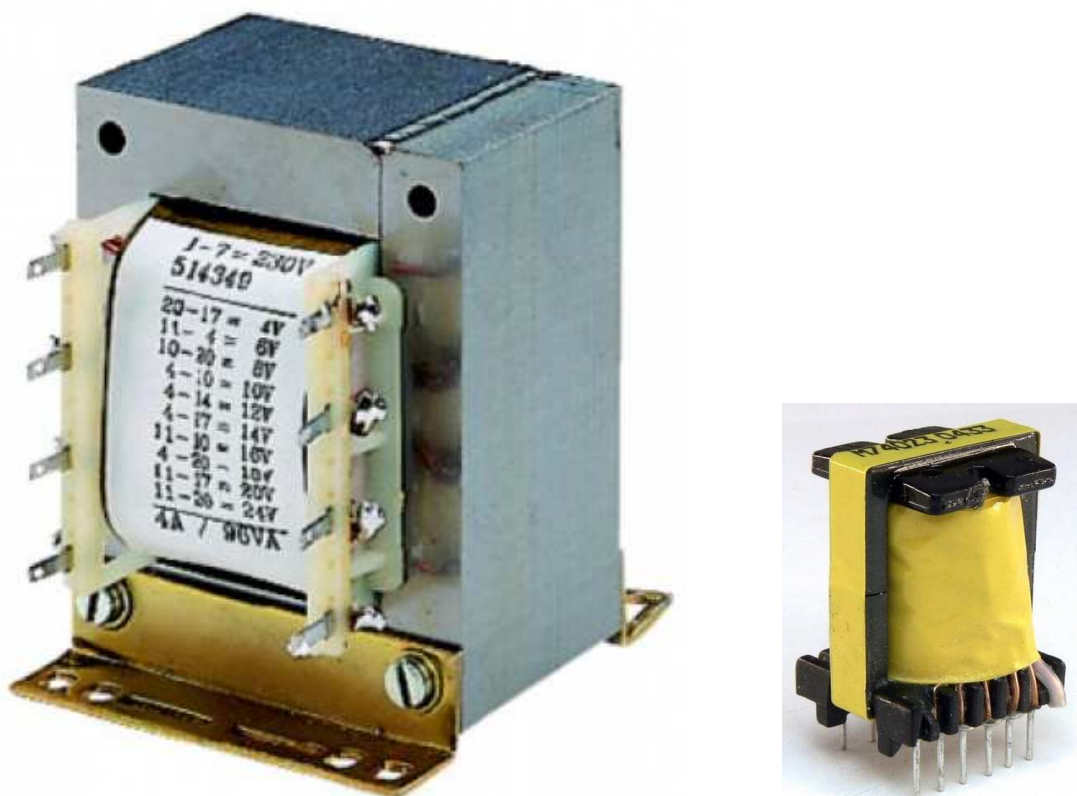
f – frekvence napájecího napětí [Hz]

S_{FE} – průřez jádra transformátoru [m^2]

B – magnetická indukce v jádře transformátoru [T]

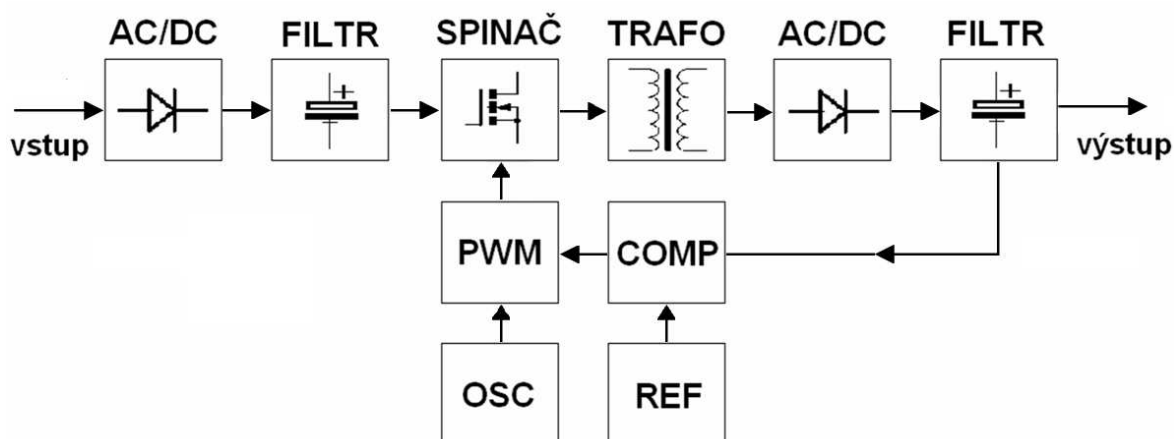
N – počet závitů cívky transformátoru [závit]

Pokud bychom použili klasický transformátor, budeme pracovat s frekvencí $f = 50$ Hz. Takový transformátor bude značně veliký a těžký. Pokud ovšem použijeme zapojení se spínaným zdrojem, budeme pracovat s frekvencí spínání například 20kHz, z výše uvedené rovnice vyplývá že při zvýšení frekvence dosáhneme několikanásobně vyššího indukovaného napětí. My však tak vysoké napětí, které by nám vzniklo bez dalších úprav, nepotřebujeme a je tedy možné snižovat hodnoty S_{FE} a N , čímž se dostaneme na stejný výsledek jako s frekvencí 50Hz, z čehož vyplývá že můžeme použít daleko menší transformátor jak co do hmotnosti tak do objemu. Účinnost zůstane minimálně zachována, naopak je někdy i daleko lepší protože nedochází k takovým ztrátám jako ve vinutém transformátoru. [5]



Obrázek 10 – Ukázka klasického síťového vinutého transformátoru a menšího transformátorku určeného do spínaných zdrojů [převzato z internetu]

2.1 Blokové schéma spínaného zdroje, popis



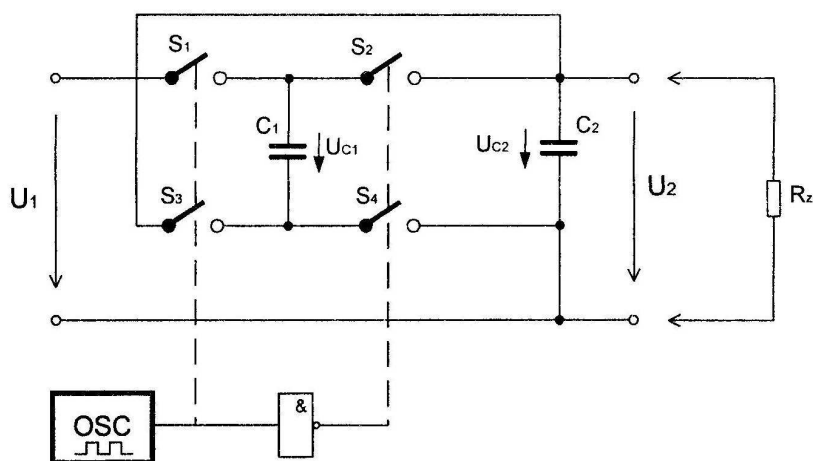
Obrázek 11 – Blokové schéma spínaného zdroje (převzato z [5])

Klasické obvodové zapojení spínaného zdroje je na obrázku 8. Skládá se z jednotlivých funkčních bloků které lze jednoduše popsat. Vstupní střídavé napětí je usměrněno v bloku AC/DC a dále jednoduše filtrováno. Pokud používáme spínaný zdroj pouze jako napěťový měnič, blok usměrňovače nemusí být zapojen. Širokopásmový

filtr na vstupu zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje napětí (síťového) a dále minimalizuje napěťové zvlnění. Nejpodstatnější je blok elektronického spínače, který je tvořen vysoce rychlými spínacími tranzistory pracujícími s frekvencí desítky kHz až 1MHz. Tento spínací tranzistor je řízen zpětnovazebně v závislosti na výstupním napětí, tedy tak, aby při případné větší zátěži na výstupu, kdy dojde logicky k poklesu napětí, byl schopen změnit rychlost spínání a minimalizovat tak výstupní zkreslení. Takovýmto spínáním dostáváme za tranzistorem potřebný obdélníkový průběh napětí který přivádíme na vstup impulsního transformátoru s feritovým jádrem. Na výstupu transformátoru dostáváme změněné – přetransformované napětí které dále usměrníme Schottkyho diodami a odfiltrujeme výstupním filtrem. Vysoký nárok je kladen na usměrňovací diody, které musí být schopny pracovat bezproblémově s vysokými frekvencemi. K odfiltrování vysokých kmitočtů na výstupu se nejčastěji používají LC články. [5]

2.2 Spínané zdroje bez indukčnosti – Nábojové pumpy

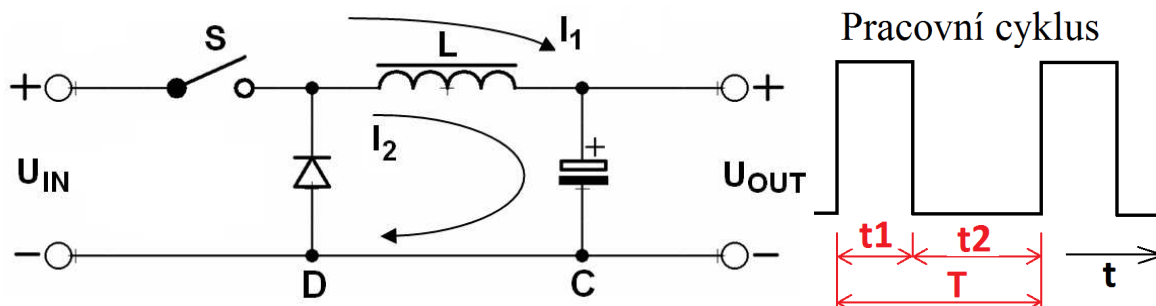
Naprostá většina spínaných zdrojů konstruovaných v dnešní době je založena na principu přechodového děje - indukce napětí na cívce. U spínaných zdrojů kde nevyužíváme indukčnosti, dochází k násobení napětí pomocí spínání a různého přepojování kondenzátorů. Například seriově nabitě kondenzátory se seřadí paralelně, čímž se sníží výstupní napětí na polovinu vstupního. U tohoto zapojení lze získat i napětí inverzní, tedy opačné polarity než je napětí vstupní. Výhodou takovýchto zdrojů je, že nezpůsobují elektromagnetické rušení, mají velmi malé ztráty a jejich účinnost dosahuje až 90%. Hlavní důvod malého využití a tedy i velkou nevýhodou takového zdroje je jejich neschopnost dodat velký výstupní proud. [5]



Obrázek 12 – Nábojová pumpa: $U_{out} = \frac{1}{2} U_{in}$ (převzato z [5])

2.3 Spínané zdroje s indukčností

2.3.1 BUCK Snižující měnič STEP-DOWN



Obrázek 13 – Zapojení STEP-DOWN měniče: $U_{out} < U_{in}$ (převzato z [5])

Měnič je tvořen integrujícím LC článkem složeným z cívky a výstupního kondenzátoru, který je vlivem proudu I_1 v době t_1 (spínač S sepnut) dobíjen. V době t_2 je spínač rozepnut. Pokud tedy dojde k sepnutí spínače S, dochází k nabíjení kondenzátoru C a tím i k nárůstu výstupního napětí. Pokud dojde k rozepnutí spínače S, tak se indukčností L snaží, aby směr a velikost proudu byla stejná. Během počáteční etapy, kdy došlo k naakumulování energie při sepnutém spínači S, se tato energie mění na proud I_2 , kterým je dobíjen výstupní kondenzátor C. Pro funkčnost tedy musíme obvod doplnit diodou, která nám umožní uzavření proudového okruhu I_2 . Rychlým spínáním a rozepínáním, dochází ke vzniku přerušovaného výstupního napětí U_{out} , které má stejnou frekvenci jako je rychlost spínání spínače S. Výstupní napětí U_{out} může nabývat pouze takové hodnoty, jako je vstupní napětí U_{in} . Prodloužíme-li dobu sepnutí spínače S, tedy dobu t_1 a nebo zkrátíme-li dobu t_2 , dojde vlivem změny doby nabíjení a vybíjení kondenzátoru k zvětšení výstupního napětí. Pokud chceme aby měnič pracoval jako snižující, musíme zkrátit dobu sepnutí a tím zároveň zvýšit dobu rozepnutí spínače S. [6]

➔ Matematicky lze tuto činnost popsat následovně ve dvou částech:

1. sepnutí spínače S na dobu t_1 - dojde k nárůstu proudu indukčností podle vztahu:

$$U_L = L * dI / dt \rightarrow (U_{IN} - U_{OUT}) * t_1 / L = dI_1 \quad - \text{ napětí na indukčnosti } U_L$$

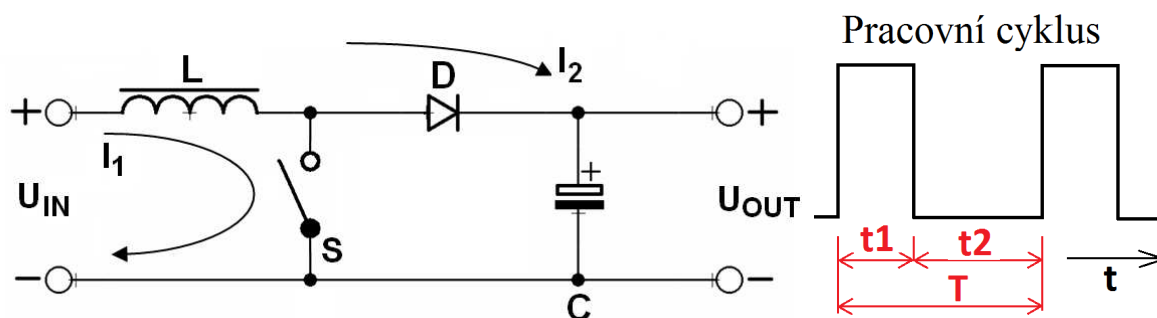
2. rozepnutí spínače S na dobu t_2 - proud cívkou bude mít stejný směr a velikost:

$$dI_1 = dI_2$$

po úpravách získáme:

$$U_{OUT} = U_{IN} * [t_1 / (t_1 + t_2)] = U_{IN} * t_1 / T = U_{IN} * s \quad (s = t_1 / (t_1 + t_2); s \text{ je vždy } < 1) \quad [6]$$

2.3.2 BOOST Zvyšující měnič STEP-UP



Obrázek 14 – Zapojení STEP-UP měniče: $U_{out} > U_{in}$ (převzato z [5])

Jedná se o stejné zapojení spínaného zdroje jako v předchozím případě, s tím rozdílem, že spínač je připojen paralelně na společnou svorku. Během doby t_1 , kdy je sepnut spínač S, dochází k vybíjení kondenzátoru do zátěže. K zamezení vybíjení přes sepnutý spínač, je v obvodu zapojena dioda D. Ze zdroje U_{in} , který nám dodává stejnosměrné napětí do obvodu, teče proud I_1 , který prochází přes indukčnost L a spínač S a dochází k akumulaci energie v magnetickém poli cívky. Proud cívku narůstá až do rozpojení spínače, poté se snaží indukčnost opět udržet velikost a směr proudu I_1 a tím pádem na ní vznikne indukované napětí. Napětí, které se indukuje na indukčnosti L se sčítá s napětím na vstupu, tedy s napětím napájecího zdroje U_{in} . Toto výsledné napětí zdroje a napětí na indukčnosti společně dodávají proud I_2 do kondenzátoru C, který je zapojen na výstupu a případně aj do připojené zátěže. Velikost indukovaného napětí U_{ind} je závislé na velikosti indukčnosti cívky L a na rychlosti rozepnutí spínače S (dt) a na hodnotě původního proudu I_1 . Výstupní napětí je vždy vyšší než vstupní protože vzniká složením právě vstupního napětí a napětí naindukovaném na cívce L. Teoreticky může růst až do nekonečných hodnot. [6]

→ Matematicky lze tuto činnost popsat následovně ve dvou částech:

1. sepnutí spínače S na dobu t_1 :

$$U_{IN} * t_1 / L = dI_1 \quad - \text{ napětí na indukčnosti } U_L$$

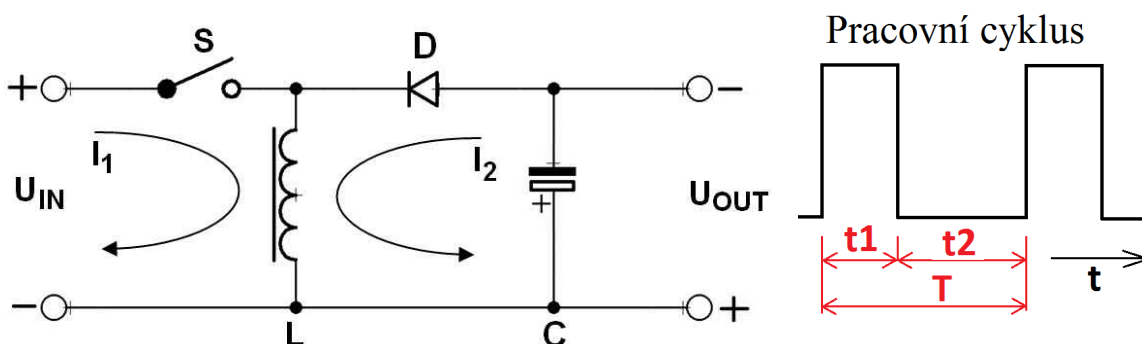
2. rozepnutí spínače S na dobu t_2 :

$$(U_{IN} - U_{OUT}) * t_2 / L = -dI_2$$

po úpravách získáme:

$$U_{OUT} = U_{IN} / (1 - s) \quad (s = t_1 / (t_1 + t_2); s \text{ je vždy } < 1) \quad [6]$$

2.3.3 BUCK-BOOST Invertující měnič



Obrázek 15 – Zapojení Invertujícího měniče: $U_{out} \leq - U_{in}$ (převzato z [5])

Pozorujeme zde zapojení měniče, které jednak upravuje napětí a také otáčí fázi, takže na výstupu dostáváme napětí opačné polaroty než je přiváděno na vstup měniče. Spínač S je zapojen do série s indukčností L a ta je následně spojena se společnou svorkou obvodu. Po dobu t_1 protéká přes sepnutý spínač S a indukčnost L proud I_1 a tím dochází k hromadění energie v cívce. Když dojde k odpojení spínače S na dobu t_2 , snaží se indukčnost, podle Lenzova pravidla zachovat směr a velikost proudu I_1 proudem I_2 , který se dostává na kondenzátor a začne se tedy proudem I_2 nabíjet. Dioda D brání zpětnému vedení proudu a je polarizována v závěrném směru tak, aby nedošlo k přebíjení kondenzátoru na opačnou polaritu. Na výstupu U_{out} tak dostaneme výsledné napětí, které má opačnou polaritu oproti U_{in} a může nabývat jak vyšší, tak nižší hodnoty. [6]

→ Matematicky lze tuto činnost popsat následovně ve dvou částech:

1. sepnutí spínače S na dobu t_1 :

$$- U_{IN} * t_1/L = dI_1$$

2. rozepnutí spínače S na dobu t_2 :

$$- (U_{OUT}) * t_2/L = - dI_2$$

po sloučení rovnic získáme vztah:

$$U_{OUT} = - U_{IN} * s / (1 - s) = - U_{IN} / [1/s - 1]$$

Hodnota $s = t_1/(t_1+t_2)$ může ve vzorci nabývat celkem 3 různých stavů:

$$s = 0.5 \rightarrow U_{OUT} = - U_{IN}$$

$$s < 0.5 \rightarrow U_{OUT} < - U_{IN}$$

$$s > 0.5 \rightarrow U_{OUT} > - U_{IN}$$

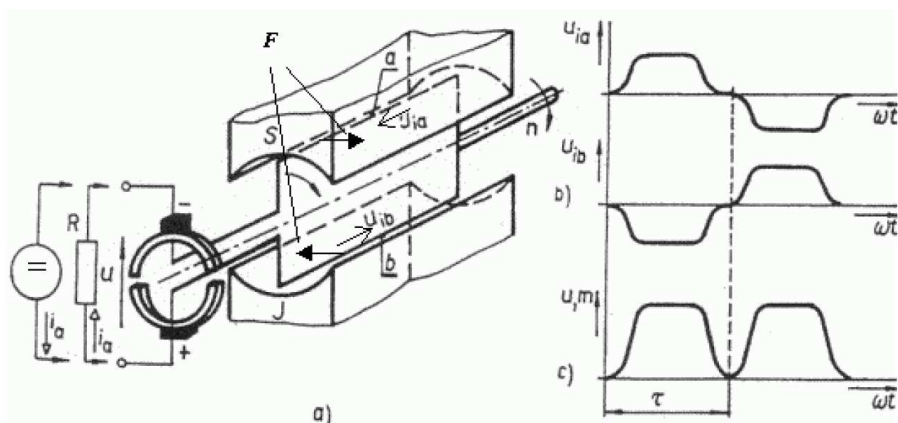
[6]

3 Stejnoseměrný motor

Stejnoseměrné stroje jsou nejstarší elektrické stroje a nejprve se používaly jako generátory pro výrobu stejnosměrného proudu. V současnosti se používají hlavně jako motory v nejrůznějších pohonech. Stejnoseměrné stroje jsou vzhledem k asynchronním strojům daleko složitější, avšak stále existují odvětví kde se používají díky svým výhodným vlastnostem a speciálním charakteristikám. [7]

- ➔ Stejnoseměrný motor je točivý stroj napájený stejnosměrným proudem. Skládá se ze STATORU - pevné části a ROTORU - pohybující se části (zvaným též kotva)
- ➔ Stator je pevná část stroje. Je tvořen permanentními magnety které vytvářejí mezi sebou magnetické pole, kde se otáčí rotor.
- ➔ Rotor je otočná část stroje s magnetickým obvodem, vinutím a hřídelí na které jsou nasazeny kroužky nebo komutátor.

3.1 Popis a princip činnosti stejnosměrného motoru



Obrázek 16 - Princip činnosti stejnosměrného stroje (převzato z [7])

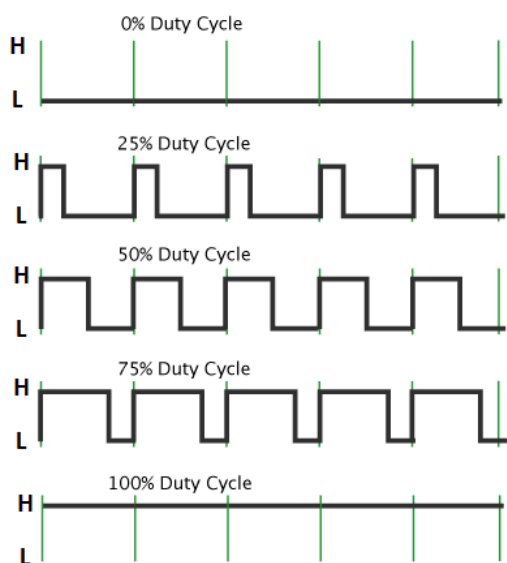
- a) schéma elementárního stroje b) indukované napětí v jednotlivých vodičích
- c) indukované napětí na svorkách stroje a moment stroje

Chceme-li aby se nám motor roztočil, připojíme ke kartáčům zdroj stejnosměrného napětí. Na vodiče, jimiž prochází proud a které jsou v magnetickém poli působí síla o určité velikosti, je dána vztahem: $\mathbf{F} = \mathbf{B} * \mathbf{I}_A * \mathbf{l}$ (I_A - proud procházející vodičem; B – magnetická indukce; l – délka vodičů). Síly působící na jednotlivé vodiče vytvoří točivý moment a rotor se roztočí. Za polovinu otáčky se prohodí vodiče, vlivem komutátoru se změní směr proudu a tím i orientace síly působící na vodič. Tím pádem dojde k pulzujícímu otáčení rotoru.

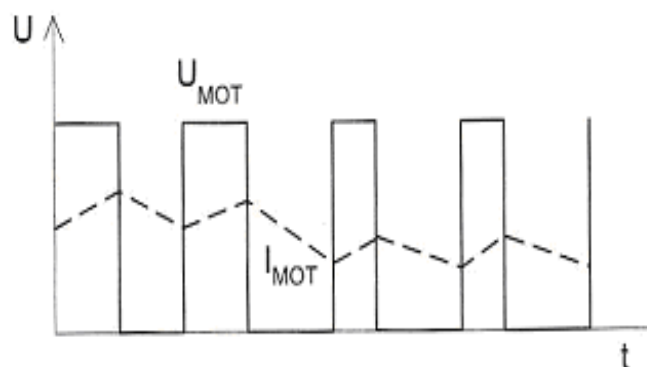
- ➔ Komutátor u motoru mění smysl proudu ve vodičích (cívce) rotoru tak, že se rotor otáčí jedním směrem. [7]

3.2 PWM regulace otáček stejnosměrného motoru

Otáčky stejnosměrných motorů lze řídit plynule, změnou stejnosměrného napájení. Toto řešení není však výhodné z energetického hlediska, výhodnější je využití tzv. pulzně šířkové modulace (PWM, PŠM). Jedná se o regulaci využívající změny poměru času, kdy motor běží/neběží, tím se tedy liší od obyčejné spojité regulace proudu, kde nedochází jen ke snižování proudu ale i napětí. Motor takto regulovaný má větší sílu i při nižších otáčkách, ale hlavně je tento druh regulace prakticky bezztrátový, protože spínací tranzistor přechází do plně otevřeného stavu velice rychle. Když je otevřen má velmi malý odpor mezi C-E a tak nemají ztráty kde vznikat. Spínání motoru probíhá vysokou frekvencí, takže je zajištěný plynulý chod motoru bez pozorovatelného šubání. Pokud je střída (poměr) 1:1, pak je výkon motoru přesně poloviční oproti tomu, kdybychom motor připojili na stálo ke zdroji. Zvyšováním střídy se otáčky motoru zvyšují. Čím je delší kladný pulz oproti nulovému pulzu tak tím roste výkon a i otáčky motoru. Výstupní napětí je dáno poměrem periody kdy motor běží ku poměru kdy motor neběží. [8]



Obrázek 18 - Princip PWM regulace

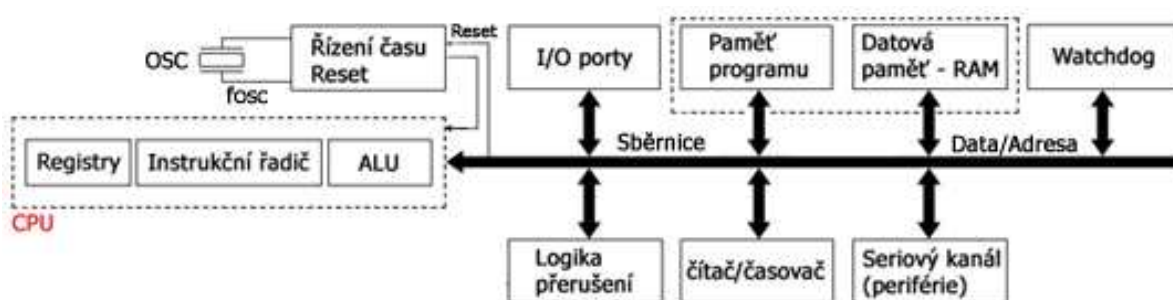


Obrázek 17 - Průběh proudu při PWM
(převzato z [8])

4 Mikropočítač

Mikropočítač neboli mikrokontrolér je elektronická součástka nejčastěji v podobě integrovaného obvodu, který obsahuje celou řadu dalších zařízení a součástí. Můžeme ho naprogramovat na určitou funkci v námi navrhovaném elektronickém zapojení. V dnešní době je mikropočítač součástí téměř každého elektronického zařízení a to hlavně z toho důvodu, že dokáže nahradit nesmírně velké množství elektronických součástek. Mikropočítač je někdy špatně označován za procesor, což je špatně, protože samotný procesor je uvnitř mikropočítače spolu s dalšími zařízeními. Mikropočítač je na rozdíl od procesoru plně soběstačná jednotka která je schopna po připojení napájení samostatně fungovat. Na mikropočítač se tedy můžeme dívat jako na zařízení, které se velice podobá normálnímu PC.

4.1 Obecné schéma mikropočítače s blokovým schématem CPU



Obrázek 19 - Obecné schéma mikropočítače (převzato z [9])

Z obrázku jsou patrné základní bloky které se nacházejí téměř ve všech mikropočítačích. Aby mezi sebou mohli komunikovat a mikropočítač byl schopen samostatně pracovat, je třeba vše propojit sběrnicí. Nejzákladnější blok je CPU – procesor který vykonává strojové instrukce. Tento blok však ke své funkci potřebuje ještě blok paměti, kde je uložen program (strojový kód) + data a dále blok řízení času, který zajistí zdroj správné taktovací frekvence (hodiny). K připojení výstupních zařízení nebo pro vstup externích dat se využívají vstupně/výstupní porty – blok I/O porty. Dále schéma obsahuje watchdog, který hlídá správný chod MCU, v případě chyby aktivuje reset. Důležitou součástí je též blok logiky přerušení, sloužící k obsluze podprogramů. Čítač/časovač zajišťuje generování časových intervalů nebo čítání interních či externích impulsů. Pomocí bloku seriový kanál se připojuje MCU například k PC a dalším perifériím.

CPU – Central Procesor Unit, též procesor, je hlavní část mikropočítače. Dá se přirovnat k mozku v lidském těle. Obsahuje aritmetickologickou jednotku ALU, která provádí veškeré výpočty, uživatelské registry, kam se nadefinuje jak má mikropočítač fungovat a instrukční řadič obsluhující instrukční soubor. [9]

4.2 Dělení mikropočítačů

Nejzákladnější dělení mikropočítačů je podle typu vnitřní architektury:

→ Von Neumannovo schéma – společná paměť programu a dat

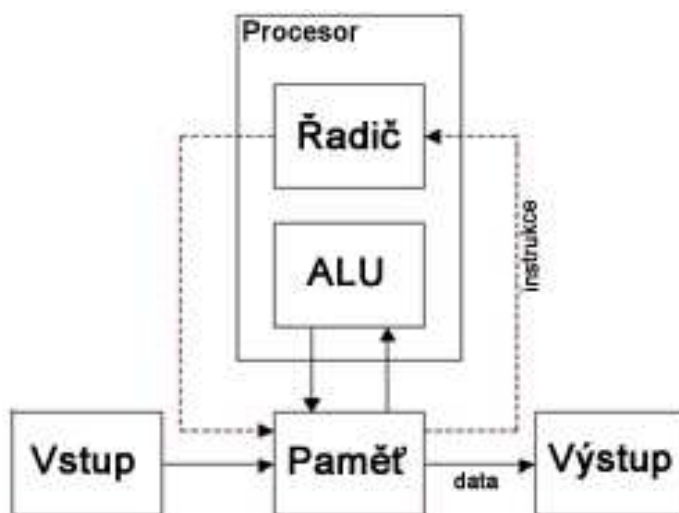
→ Harwardské schéma – oddělená paměť programu a dat

Dále můžeme dělit mikropočítače podle toho, s jakou instrukční sadou pracují procesory, a to na:

→ CISC (Soubor s kompletní instrukční sadou)

→ RISC (Soubor s redukovanou instrukční sadou)

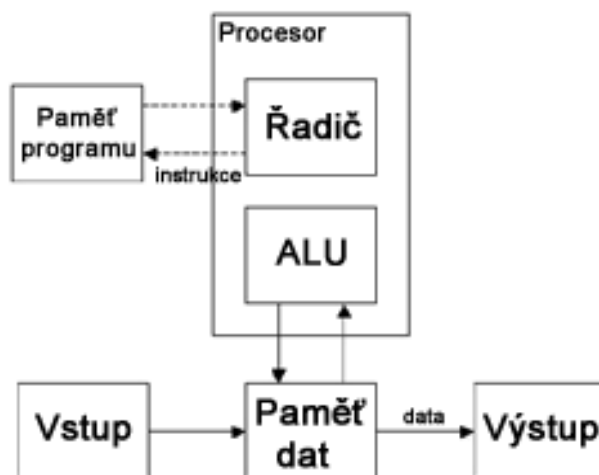
4.2.1 Von Neumannovo schéma - společná paměť dat a programu



Obrázek 20 - Von Neumannovo schéma mikropočítače (převzato z [9])

Tento způsob realizace počítače vymyslel světově známý vědec a matematik John Von Neumann a to hlavně pro potřebu složitých výpočtů na návrh vodíkové bomby. Architektura je navržena tak že se do paměti ukládají jak data, tak program dohromady. Vstupní/výstupní periferie (I/O) poskytují možnost komunikace s okolním prostředím. Aritmeticko logická jednotka (ALU) provádí aritmetické a logické operace na datech, např. sčítání, logický součin AND apod. Řadič řídí tok informací mezi komponentami pomocí řídicích, adresových a datových linek (sběrnice). Tuto architekturu využívají běžné PC, kde máme data a program uloženy společně na pevném disku a v operační paměti. [9]

4.2.2 Harwardské schéma – oddělená paměť programu a dat



Obrázek 21 - Harwardské schéma mikropočítače (převzato z [9])

Architektura této technologie je založená na oddělené části paměti pro program a data. Výhodou této technologie je použití různých typů technologií pro jednotlivé paměti, které mohou být odlišně konstruované a mít jinou velikost. Tuto architekturu využívají s oblibou jednočipové mikrokontroléry, na které nejsou kladeny takové nároky jako na PC, ale využije se zde větší spolehlivosti tím, že během zápisu například načítaných dat nemůže dojít k přepsání programu a že nedochází k ovlivňování mezi programem a daty, jenž jsou uloženy odděleně. [9]

4.2.3 CISC – soubor instrukcí s kompletní sadou

→ Complex Instruction Set Computer)

Toto označení představuje rozsáhlou instrukční sadu instrukcí pro vykonávání operací. Na každou složitější situaci, například dělení dvou čísel, existuje speciální instrukce, která je poměrně náročná a musí se vykonávat ve více strojových cyklech což trvá déle než u RISC. Řídící obvody u CISC-architektury zabírají na čipu přibližně 60% místa, kdežto u RISC-architektury je to pouze 6-10%. [9] [10]

4.2.4 RISC – soubor instrukcí s redukovanou sadou

→ Reduce Instruction Set Computer)

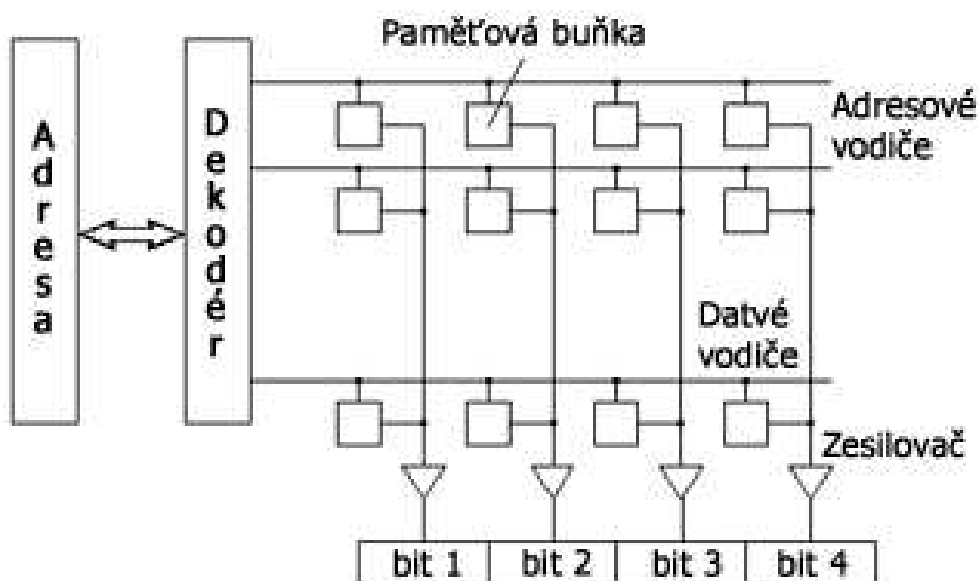
První návrh RISC procesoru byl roku 1974 představen Johnem Cockem z firmy IBM, který si šiml, že většina programátorů si k řešení konkrétního problému osvojí poměrně malou část (redukovanou část) instrukční sady. RISCový stroj proto obsahuje pouze malý počet jednoduchých instrukcí a je na programátorovi, jak se s nimi vypořádá. Všechny instrukce mají pevnou délku, v poslední době většinou 32 bitů. Všechny instrukce jsou jednoduché, tzn. žádná neprovádí více věcí najednou, narozdíl od komplexní instrukce v CISC. Omezená sada jednoduchých instrukcí a jejich pevná délka výrazně zrychlí práci procesoru, jak při dekódování instrukce tak při jejím načítání. To má za následek, že RISC procesor na stejné pracovní frekvenci je výrazně rychlejší než CISC procesor. [9] [10]

4.3 Polovodičové paměti - blokové uspořádání, dělení

→ Energeticky nezávislé paměti ROM

→ Energeticky závislé paměti RAM

Protože u mikrokontroléru nemůžeme použít paměť typu pevný disk, jako u stolního PC, je potřeba minimalizace a to na polovodičové úrovni. Polovodičové paměti, které se tedy nacházejí v každém mikrokontroléru, se dělí do dvou základních skupin na ROM (Read Only Memory) a RAM (Random Access Memory). Obě skupiny mají architekturu propojení jednotlivých paměťových buněk shodnou. Abychom mohli data do paměti ukládat nebo je číst, je nutné paměťové místa adresovat. Podle bitové velikosti adresy, můžeme přistupovat a navolit 2^B adresovatelných míst - buněk, čímž je dána velikost paměti daného mikrokontroléru. (např. 8bitová adresa může neadresovat $2^8=256$ Bytu). [9]



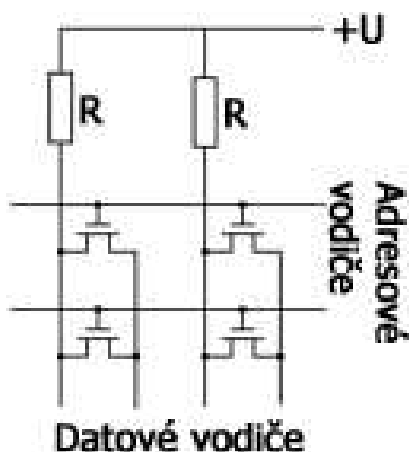
Obrázek 22 - Obecná struktura paměti (převzato z [9])

4.3.1 Energeticky nezávislé paměti ROM

Tyto paměti po odpojení napájení dokáží nadále uchovat nahraná data, která mají uložena na svých paměťových místech. Oproti závislým pamětem se data neztráčí. Tuto skupinu pamětí dělíme na základní typy:

- ROM (Read Only Memory)
- PROM (Programmable Read Only Memory)
- EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)
- EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)
- Flash (Flash memory)

Na ukázkou je zde uvedena Paměť EEPROM, kterou je možné naprogramovat a později z ní informace vymazat, což se provádí elektricky a ne osvětlením jak tomu je u paměti EPROM. Paměťové buňky jsou tvořeny pomocí MNOS tranzistorů. Obdobou EEPROM je paměť FLASH, s tím rozdílem že paměťová místa jsou tvořeny hradly NAND a NOR. [9]



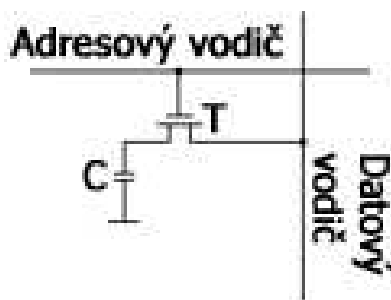
Obrázek 23 - Paměťová buňka EEPROM (převzato z [9])

4.3.2 Energeticky závislé paměti RAM

U těchto pamětí dojde po odpojení napájení k vymazání - ztracení nahraných dat, která jsou uložena v paměťových místech. Tuto skupinu pamětí dělíme na základní typy:

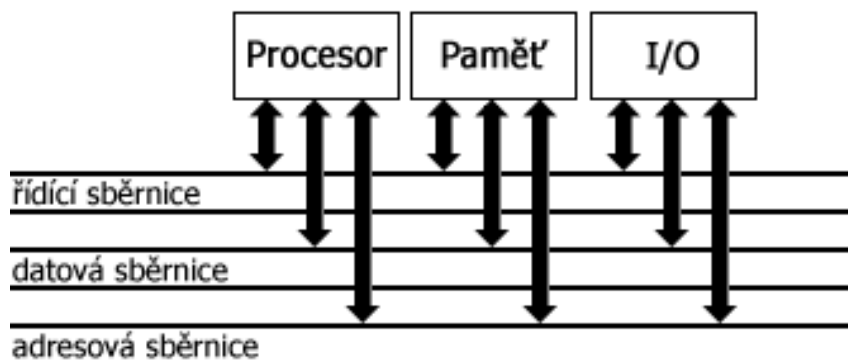
- DRAM (Dynamická paměť RAM)
- SRAM (Statická paměť RAM)

Na ukázkou je zde uvedena paměť DRAM, kde je informace uložena pomocí elektrického náboje na kondenzátoru. Tento náboj má však tendenci se vybíjet i v době, kdy je paměť připojena ke zdroji elektrického napájení. Aby nedošlo k vybití a tím i ke ztrátě uložené informace, je nutné periodicky provádět tzv. refresh, tj. obnovení logické hodnoty v paměťové buňce. Tyto paměti mají jednoduchou strukturu a velkou kapacitu z čehož plyne nízká cena těchto pamětí. S pamětí typu DRAM se můžete setkat např. v PC (operační paměť). [9]



Obrázek 24 - Paměťová buňka DRAM (převzato z [9])

4.4 Sběrnice v mikropočítači



Obrázek 25 - Základní typy sběrnic (převzato z [9])

Úkolem sběrnic je přenášet data a veškeré signály v rámci mikropočítače mezi jeho jednotlivými částmi. Sběrnice umožňují stavebnicovou koncepci, rozšiřování počítače o další jednotky, a to vše beze změn ve vnitřním zapojení jednotek. Činnost sběrnice je v každém okamžiku řízena procesorem, ale v některých případech může dočasně přebírat řízení i jiná jednotka. Hlavními parametry sběrnice jsou:

- ➔ Šířka přenosu [bit] - počet bitů, které lze zároveň po sběrnici přenést
- ➔ Frekvence [Hz] - maximální frekvence, se kterou může sběrnice pracovat
- ➔ Rychlost (propustnost) [B/s] – počet Bytů přenesených za jednotku času

4.4.1 Typy sběrnic

Datová sběrnice slouží k předávání dat a její šířka (počet vodičů) je zpravidla celým násobkem osmi (tj. jednoho byte). Jednotka, připojená na sběrnici, může být zdrojem dat (pak se z ní čte), příjemcem dat (pak se do ní zapisuje), nebo střídavě obojím. Jednotka, která je zdrojem dat, se na datovou sběrnici zásadně připojuje prostřednictvím třístavových členů.

Adresová sběrnice je nutná pro adresování paměti (případně i jiných adresovatelných obvodů) a pro rozlišování mezi jednotkami, připojenými na datovou sběrnici. Šířka adresové sběrnice určuje maximální počet adres. U osmibitových počítačů má adresová sběrnice šířku nejčastěji 16 bitů, u šestnáctibitových počítačů bývá minimálně 20bitová.

Řídicí sběrnice přenáší signály a obsluhuje čtení, zápis a další aktivity jednotek. Většina řídicích signálů je generována procesorem, ale některé mohou být generovány i ostatními jednotkami, které tak mohou částečně ovlivňovat činnost procesoru - takovéto signály jsou pak na řídicí sběrnici připojeny zpravidla přes členy s otevřeným kolektorem. Řídicích signálů bývá obecně větší počet a podoba řídicí sběrnice je silně závislá na celkové architektuře počítače. [9] [11]

4.5 Programování mikropočítačů.

Každý mikropočítač má trochu jiný způsob zápisu programu. Vždy se však ale jedná o nutnost nahrání zdrojového kódu – programu, který je třeba nahrát do paměti mikropočítače většinou v hexadecimální podobě. Program pro mikropočítač většinou tvoříme na osobním PC, pomocí vývojového prostředí, například AVR Studia. Znalost instrukčního souboru mikropočítače je potřebná při tvorbě programu a to ať jde o programování v assembleru, tak i při programování ve vyšších programovacích jazycích. Vytvořený program musíme v osobním PC nejprve zkompileovat – přeložit do strojového kódu. Zkompileováním vznikne spustitelný program, který musíme přenést do našeho mikropočítače. K tomu slouží zařízení jméno programátor, které zajistí přenos dat mezi osobním PC a mikropočítačem. Přenášet data lze mnoha způsoby, například sériově či paralelně a přes různá počítačová rozhraní. Jednoduché amatérské programátory využívají paralelní (LPT) nebo sériové (COM) rozhraní. Dražší profesionální programátory se většinou připojují přes sběrnici USB. Sériové programování má výhodu, že využívá jen malý počet pinů mikropočítače. Když tyto piny zůstanou volné a nebudou použity k jinému účelu, je možné programovat, aniž by bylo třeba vyjmát mikropočítač ze zařízení, což značně urychluje vývoj programu. [11]

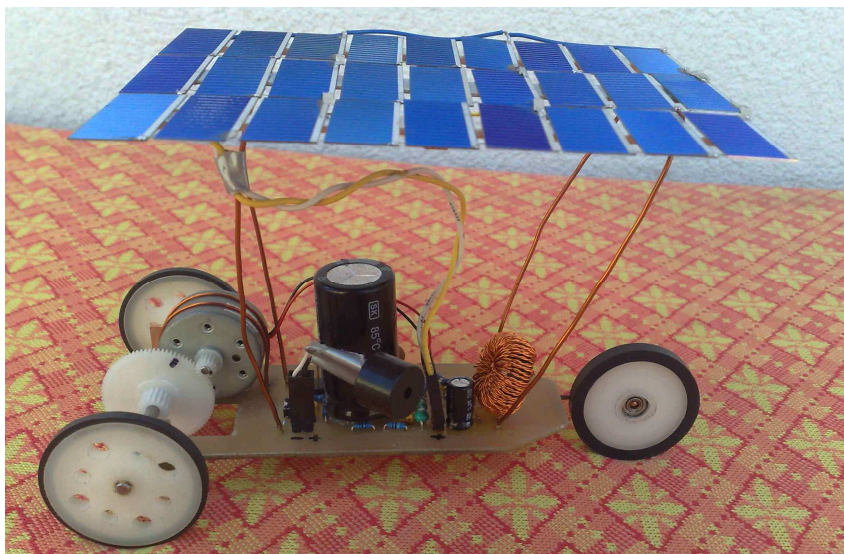
4.5.1 Assembler

Jazyky symbolických adres patří mezi nejstarší programovací jazyky se kterými se setkáváme již u počítačů první generace, tj. před několika desítkami let. Před nimi se programovalo přímo ve strojovém kódu, v binární, oktálové nebo hexadecimální soustavě. Zápis takového programu byl nepřehledný a zdlouhavý, přičemž postačoval pouze v začátcích, kdy byly programy jednoduché. S růstem nároků na obsáhlost programů vznikl požadavek na označování instrukcí, konstant a proměnných symbolickými jmény místo číselného vyjádření. Zpětné přeložení těchto symbolických jmen na číselný kód pak zajišťoval specializovaný program - tzv. překladač symbolických adres (assembler). V dalším vývoji byly do jazyka symbolických adres vkládány nové prostředky (např. makrojazyk, makra) s tím, jak se rozšiřovalo množství symbolických objektů. Assemblerů existuje velké množství, z důvodů různých instrukčních sad procesorů. Vždy je tedy nutné při změně zařízení, které chceme programovat, se seznámit s konkrétním typem assembleru pro daný hardware. Assemblery umožňují programátorovi zůstat v bližším kontaktu s hardwarem, což má za následek při správném psaní větší optimalizaci kódu a rychlejší vykonávání ve srovnání s vyššími programovacími jazyky. [11]

4.5.2 Vyšší programovací jazyky

Naštěstí, kvůli lepší orientaci, máme možnost využít některého vyššího programovacího jazyku s mezinárodně uznávanou normou, např. jazyk C (ANSI C, ANSI C++). C jazyk má přehlednou syntaxi, ale zároveň zůstává pořád relativně blízký hardwaru (např. co se týče práce s pamětí). Je to tedy vhodný kompromis mezi čitelností kódu a efektivitou výsledného programu. Při psaní kódu v jazyce C pro jednočipový mikropočítač je však potřeba mít na paměti, že cílová platforma je jednočipový mikropočítač s omezenou velikostí paměti a výpočetního výkonu. Výhoda použití vyšších programovacích jazyků je zejména v tom, že se programátor může soustředit na abstrakci řešeného problému a přehlednost zdrojového kódu, přičemž všechnu ostatní práci s optimalizací a přeložením nechává na překladači. Výsledný kód je obvykle delší, než kód psaný v assembleru, použití jazyka je tedy vždy závislé na konkrétní aplikaci a omezeních, které z ní vyplývají. Další výhodou psaní v C je, že je program přenositelný. Jeden a ten samý zdrojový kód můžeme přeložit do instrukcí pro rodinu AVR, ale stejně i do strojového kódu konkurenčních mikrokontrolérů PIC. Výrobce mikrokontrolérů Atmel nabízí zdarma vývojové prostředí AVR Studio. V základní instalaci podporuje AVR Studio pouze assembler. Podporu jazyka ANSI C je možné doplnit doinstalováním externího kompilátoru GCC. Vývojové prostředí obsahuje nástroje pro krokování a diagnostiku programu, je tedy možné simulovat běh programu, aniž by bylo potřeba jej nahrávat do mikropoče. [11]

5 Praktická část – Výroba vozítka



Obrázek 26 - Hotové solární vozítko

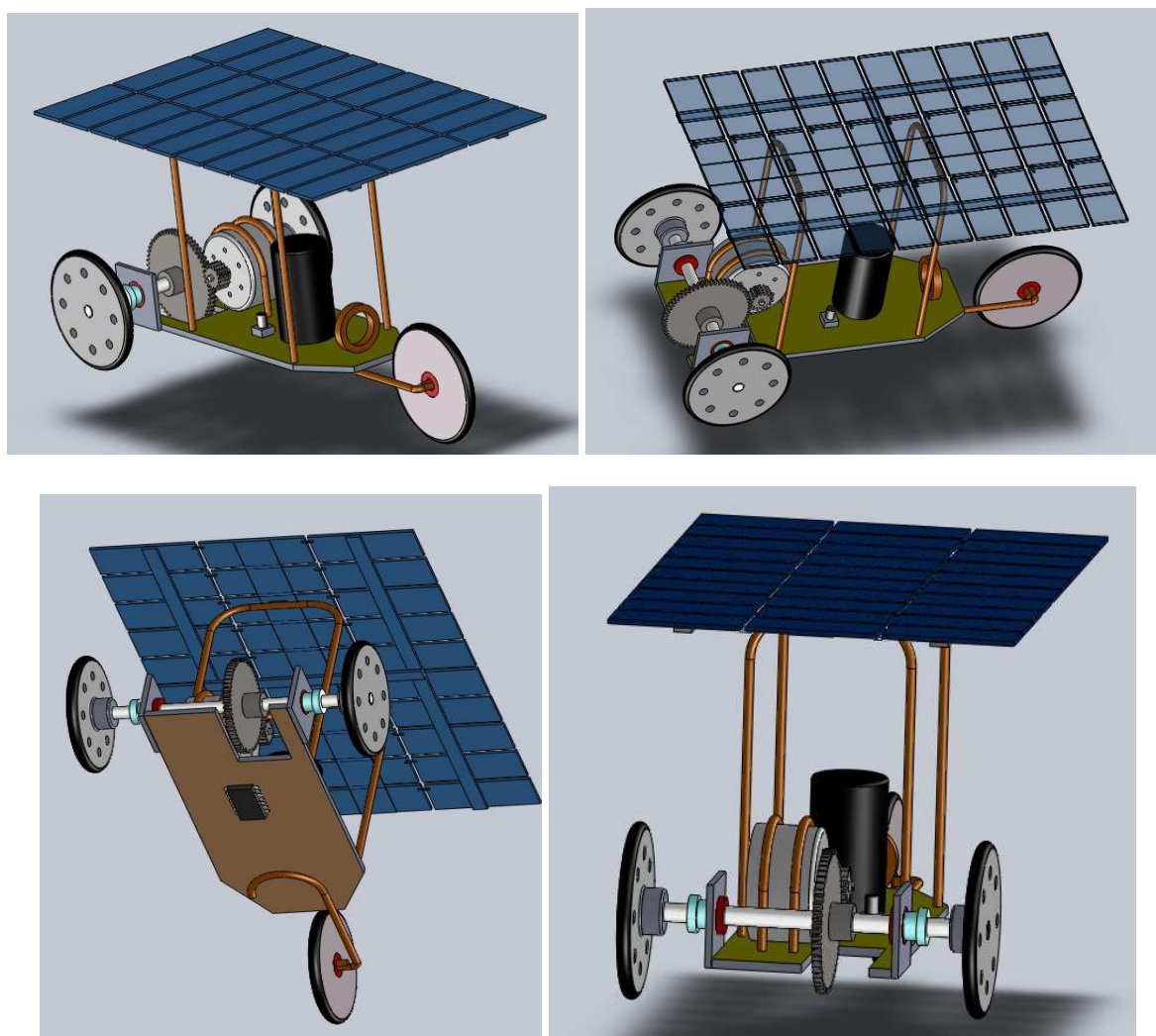
Cílem bylo navrhnout vozítko které ujede stanovenou vzdálenost za co nejmenší čas. Možnost napájení je pouze ze solárních článků o maximální ploše 100 cm². Na začátku své jízdy 15 sec akumuluje energii ze solárních článků a poté se snaží co nejefektivněji rozjed a ujed stanovenou vzdálenost c nejrychleji. Popisované vozítko bylo od začátku navrhováno jako prototypové zařízení s možností menších dodatečných úprav během celé jak mechanické tak elektronické a softwarové konstrukce. Fáze a části výroby lze rozdělit na mechanickou konstrukci podvozku, elektroniky a plochy solárních panelů. Dále na vývoj funkční elektroniky a programu pro mikroprocesor. Protože se jedná o konstrukci zařízení kde je použit velice měkký napájecí zdroj, tak celý proces výroby vyžaduje mnoho experimentů. První úkol je, jak co nejlépe nabít akumulací kondenzátor na co nejvyšší energii a dále řešíme problém plynulého rozjezdu. První problém byl vyřešen použitím měniče, který řídí mikroprocesor a nabíjí tak kondenzátor až na napětí 16V a druhé úskalí rozjezdu motoru bylo rovněž vyřešeno pomocí mikroprocesoru, kterým regulujeme rozjezd a to tak že do motorku pouštíme energii po částech regulací PWM.

5.1 Základní technické údaje

Napájení	27 článků; každý 0,5V a 40mW
Akumulační prvek	Kondenzátor 10mF/16V; cca 1,28J
Řízení	uPC ATtiny43u; U_{cc} = 0,7V – 5,5V; f = 1MHz
Hmotnost	Panely + podvozek; celkově 92g
Rozměry	Vozítko 150x90x100; panely 100cm²

5.2 Mechanická konstrukce

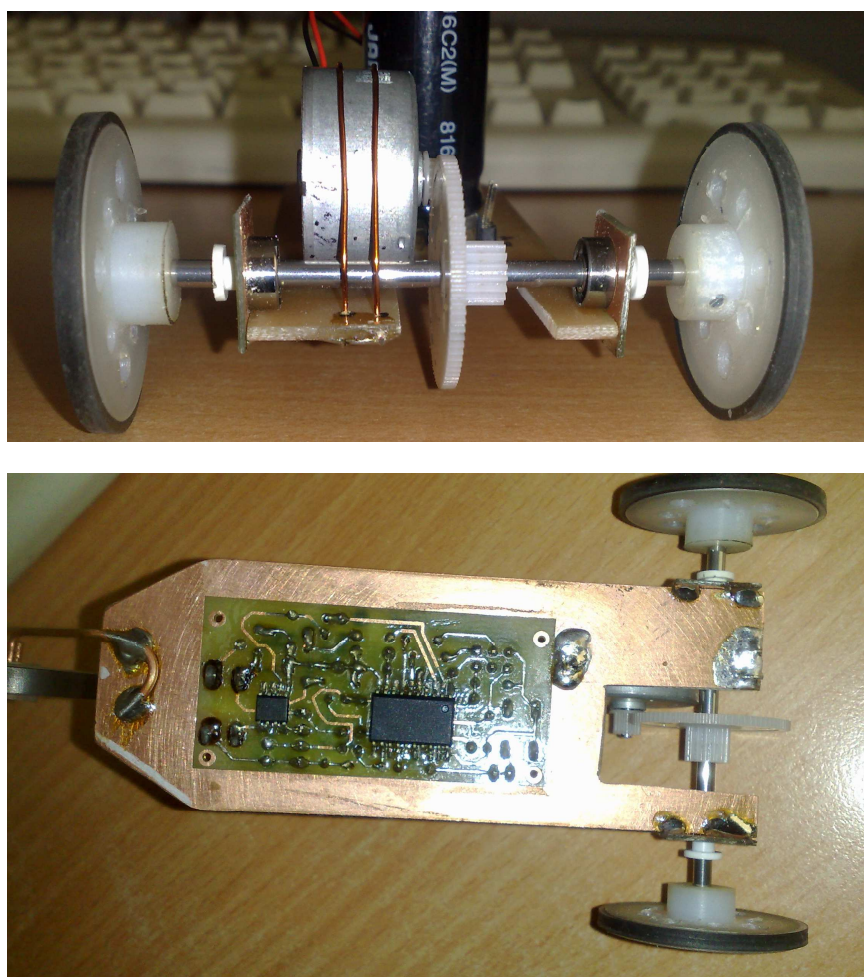
Celé vozítko je navrhované co nejjednodušeji a nejefektivněji tak, aby mělo co nejmenší hmotnost a to ještě při zachování velké mechanické pevnosti, takže deska plošných spojů tvoří zároveň i podvozek, kde je pomocí drátků připevněn hnací motorek. Horní část se solárními panely je k podvozku připevňována rovněž pomocí drátků které jsou zapájeny do desky plošných spojů. Tato myšlenka konstrukce vznikla hned na začátku, ještě před zrodem elektroniky takže bylo možné veškeré části konstruovat s tímto ohledem. Jako softwarový nástroj byl použit program SolidWorks, pomocí něhož vznikl základní návrh celého vozítka.



Obrázek 27 - Návrh vozítka v programu SolidWorks

5.2.1 Podvozek

Jak již bylo uvedeno, podvozek je řešen z důvodu úspory hmotnosti a částečně i kvůli zvýšení mechanické pevnosti jako součást desky plošných spojů. Nejdříve byla navržena samotná deska plošných spojů obdélníkového tvaru a poté podle předpokládané velikosti převodů a motorku rozšířena na konečnou velikost 110x40mm. Kola o průměru 30mm jsou vyrobena na soustruhu ze silonu, jsou odlehčena provrtanými otvory a potažena gumovým řemínkem, který pochází z mechanického náhonu kazetového magnetofonu. Spolu s mechanickým převodem 6:1, který je vymontován z nefunkční disketové mechaniky a s ložisky jsou kola nasazena na osičku průměru 3mm délky 70mm. Ložiska pochází ze starého pevného disku a jsou vtlačena do vyvrtaného otvoru v kuprexitovém čtverečku, který je připájen k základní desce. Při práci je vhodné vše nasadit na osičku a čtverečky pájet k základní desce co možná nejpřesněji, aby nám nevznikl velký odpor vlivem vyosení hnací hřídele z ložiskového uložení. Motorek je k desce přilepen umělou hmotou z rychlotavné pistole a následně stáhnutý drátky které jsou zapájeny do základní desky. Přední kolečko je nasazené rovněž na ložisku do kterého je nasazen drát a připájen k základní desce. Vše je patrné z přiložených obrázků.



Obrázek 28 - Detailní zobrazení podvozku a hnacího ústrojí

5.2.2 Deska se Solárními články, zapojení a parametry článků.

Pro pohon celého vozítka je využívána sluneční energie, aby bylo možné ji co nejlépe převést na elektrickou používáme solární články. Ty jsou ovšem velmi křehké a je třeba na ně dávat zvýšenou opatrnost. Při spojování pájením je třeba je náležitě chránit před možným poprskáním od tavidel. Jak již bylo uvedeno, solární články jsou zdrojem velice měkkým. Proto je řazení článků voleno spíše jako paralelní, aby zdroj snesl určité zatížení. Články jsou zapojeny 3 sériově, čímž vznikne napětí na prázdko cca 1,7V a dále je tato kombinace zapojena 9 x paralelně což nám zajistí určitou tvrdost zdroje. Je použito celkem 27 monokrystalických článků od firmy Solartec. Články jsou zesponu nalepeny na balzovém dřevě a uprostřed je přidělena kuprexitová destička, ke které jsou připájeny měděné dráty, které celou desku s články drží. Tyto dráty jsou rovněž připájeny do základové desky. Články jsou umístěné ve výšce 10cm na povrchem.

Parametry jednoho článku SSC2.-Z8-24:

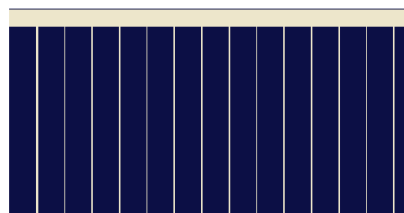
Délka 29,4 mm; Šířka 12,3 mm; Tloušťka 0,2 mm; Plocha 361 mm²; Hmotnost 0,6 g;

Elektrické vlastnosti při 1000 W/m², 25°C, AM 1,5:

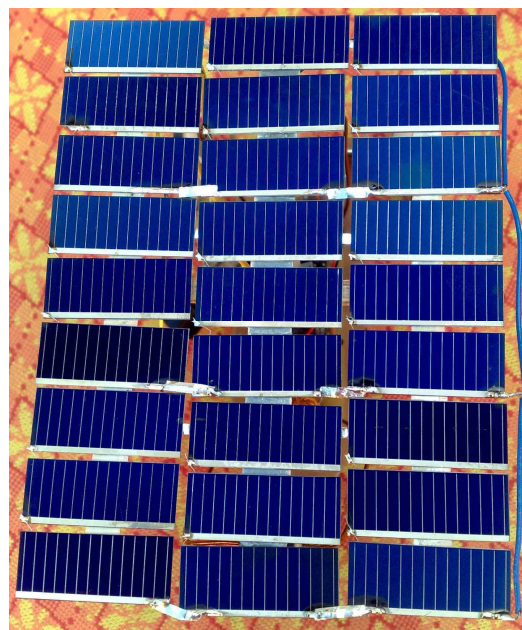
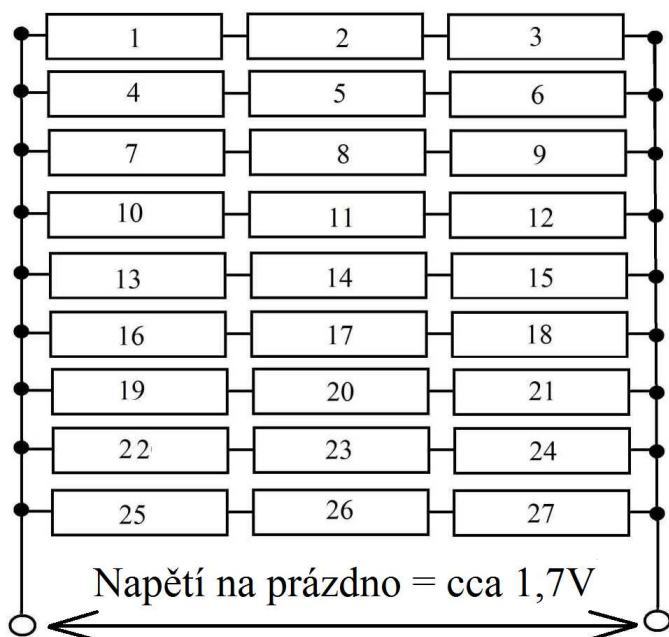
Napětí naprázdno (U_{oc}) = 0,57 V

Proud nakrátko (I_{sc}) = 90 mA

Výkon (P_m) = 40 mW



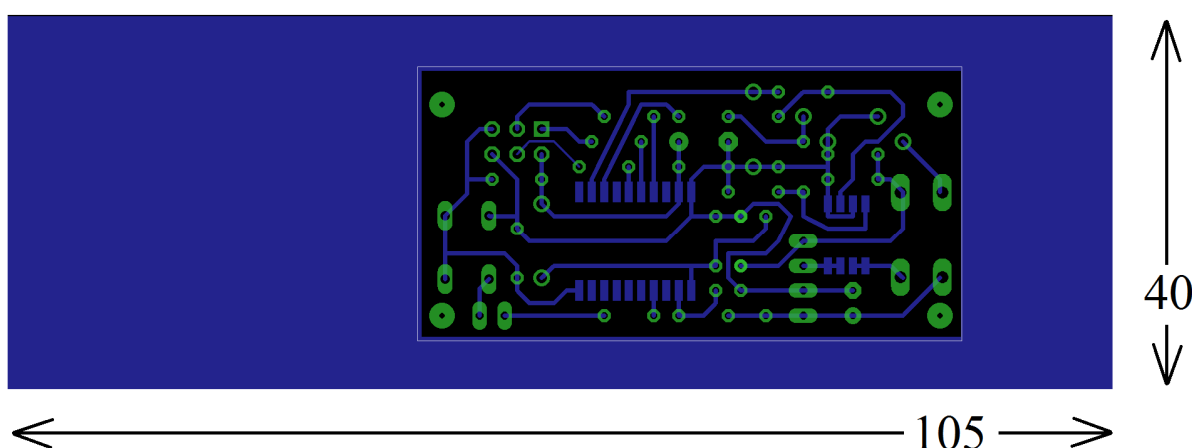
Zapojení jednotlivých solárních článků:



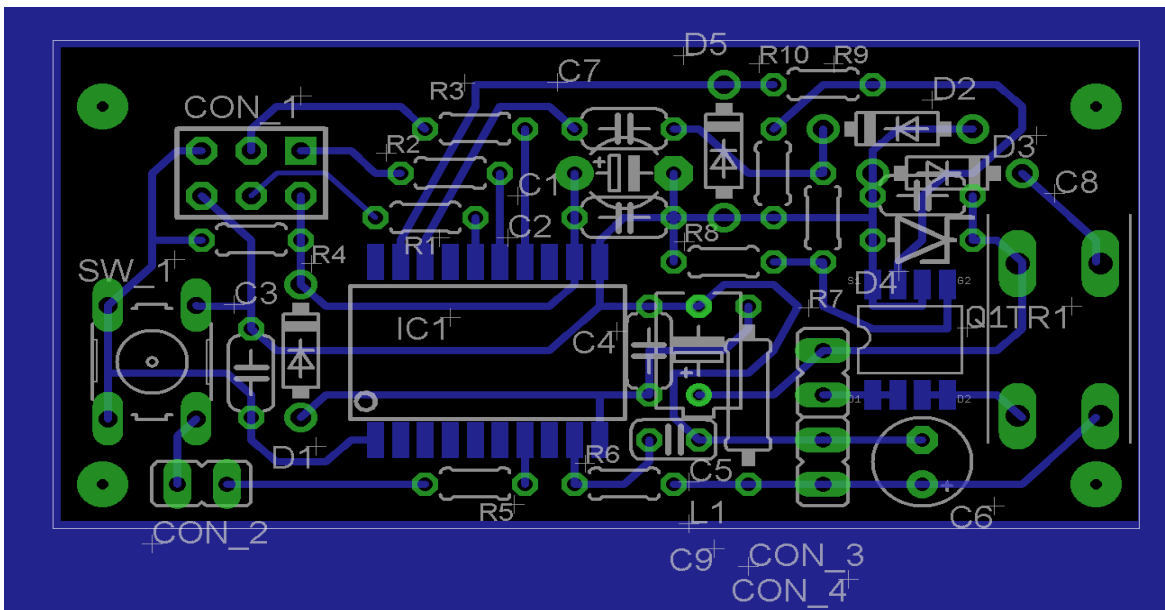
Obrázek 29 - Sériově-paralelní zapojení solárních článků

5.2.3 Návrh desky plošných spojů

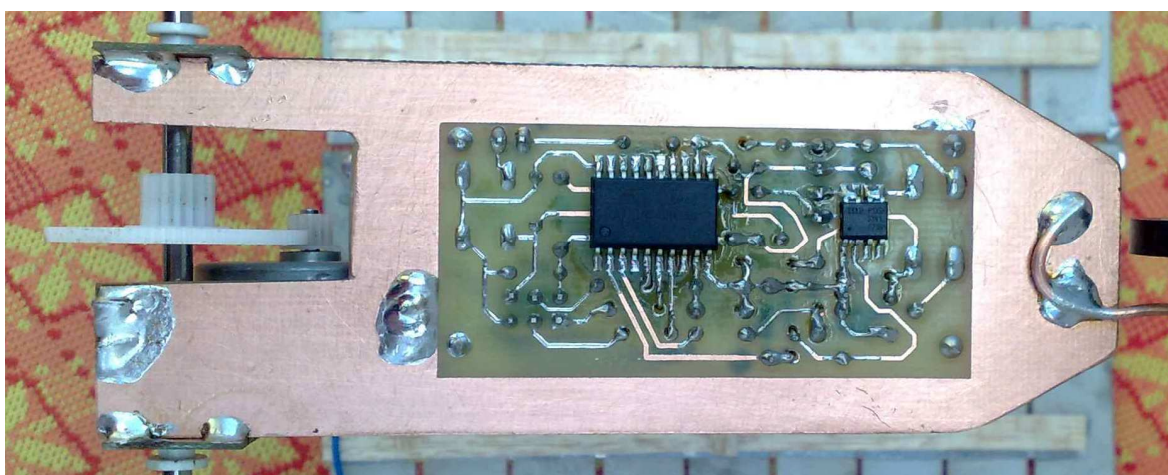
Deska plošných spojů byla vytvořena s ohledem na způsob použití i jako podvozků. Nejprve bylo vytvořeno schéma a potom deska plošných spojů. Vše bylo uděláno v programu EAGLE 6.0 od firmy Cadsoft, který je světově známý a používaný. Veškeré součástky byly vybírány s přihlédnutím na jejich pouzdra, použití SMD typů nebylo uvažováno, protože celé zapojení se navrhovalo jako prototyp a bylo počítáno s tím že se bude případně ještě lehce upravovat, proto jsem zvolil větší součástky, aby se vše lépe testovat a celý modul snadno měřit apod. V EAGLE byly individuálně vytvořeny pouzdra jak pro mikroprocesor, tak pro spínací MOSFET tranzistory a dále pro transformátorek. Zvýšenou pozornost je třeba dát při návrhu pouzdra pro mikroprocesor a tranzistory, které jsou umístěny ze strany tištěných spojů. Mnoho součástek a knihovny lze snadno dohledat na oficiálních stránkách Cadsoftu. Po nakreslení schématu je možné přepnout do módu kreslení desky plošných spojů. Desku byla kreslena tak, aby byla co nejmenší, pouzdra součástek jsou několikrát v návrhu umístěny přes sebe, neboť se ve skutečnosti počítá s tím že se součástky vejdou. Základem minimalizace bylo umístění mikroprocesoru na spodní část DPS, tedy na část plošných spojů a velký kondenzátor zrcadlově k mikroprocesoru ze strany součástek. Tím je docíleno značné úspory místa, protože právě tento akumulací kondenzátor je největší součástka v zapojení. Při kreslení je vhodné pracovat pouze v hladině bottom+vias+pads+dimension+place. Ostatní hladiny nejsou potřeba. Dále byly k desce přikresleny obdélníky z každých stran, čímž deska nabyla na rozměrech. Je to z toho důvodu, že při návrhu bylo počítáno s tím, že deska bude zároveň podvozkem a budou se k ní přidělovat ložiska s osičkou pro kolečka a dále motorek a deska se solárními články. Navržená deska byla vyrobena známou metodou a to osvětlením světlo citlivé kuprexitové desky pomocí fotocesty a následným vyleptáním v roztoku chloridu $FeCl_3$.



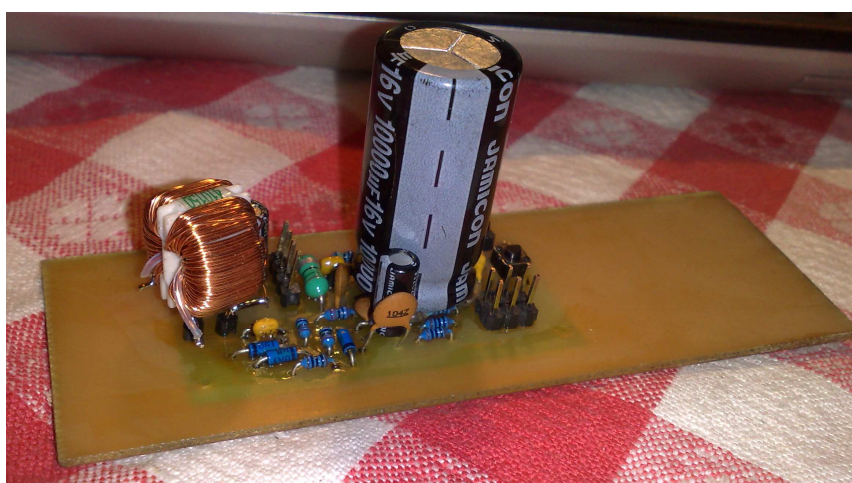
Obrázek 30 - Deska plošných spojů; pohled ze strany spojů



Obrázek 31 - Deska plošných spojů; pohled ze strany součástek

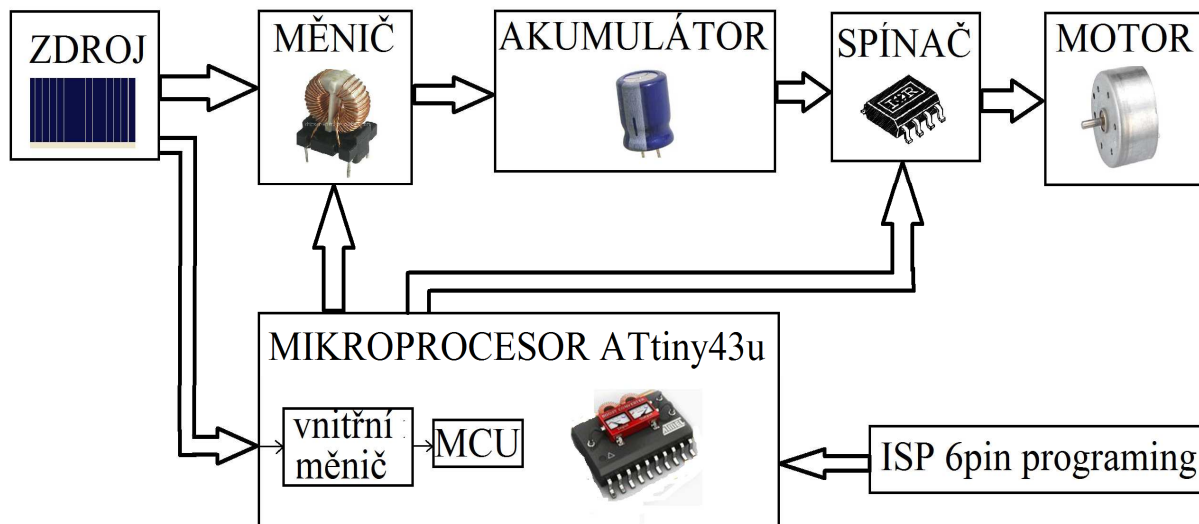


Obrázek 32 - Osazená deska plošných spojů; pohled ze strany spojů



Obrázek 33 - Osazená deska plošných spojů; pohled ze strany součástek

5.3 Elektronika



Obrázek 34 – Blokové schéma zapojení

Srdcem celého zapojení je mikroprocesor ATtiny43u, který řídí veškeré funkce vozítka. Výhodou tohoto procesoru je, že díky svému integrovanému vnitřnímu měniči dokáže pracovat už od 0,7V. Napájení zajišťuje, již dříve popsaná deska se solárními články, které jsou řazeny sério-paralelně tak, aby tvořily dostatečně tvrdý zdroj při zatížení měničem. Energie ze solárních článků je tedy zvyšujícím měničem přetransformována do nabíjecího kondenzátoru. Měnič je řízen pomocí PWM regulace jedním z časovačů mikroprocesoru. Pokud jsou solární panely osvětleny, nebo po resetu, spustí se akumulace energie do kondenzátoru a po 15 sekundách mikroprocesor sepne PWM regulaci spínače rozjedu motoru.

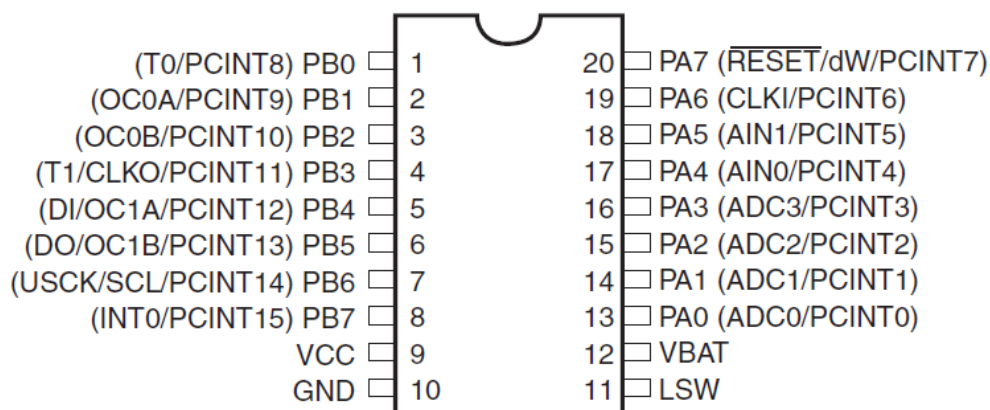
5.3.1 Mikroprocesor ATtiny43u

Mikroprocesor řídí chod celého zařízení. Hlavním kritériem byl výběr takové obvodu, který bude pracovat spolehlivě i při velmi nízkém napájecím napětí okolo 1V. Řídící obvod byl vybírán z nabídky firem Microchip a Atmel. Procesory PIC mají sice výhodu že při nízkých kmitočtech mají velmi nízkou spotřebu ale nepodařilo se mi sehnat takový, který by byl schopen pracovat již od 0,7V, tak jako mikroprocesor firmy ATMEL z rodiny AVR ATtiny43u. Jedná se o speciální LOW-POWER mikroprocesor určený pro bateriové napájení s integrovaným Boost měničem. Využívá Harvardské architektury a omezené instrukční sady RISC. Má 4 KB velkou programovatelnou Flash paměť.

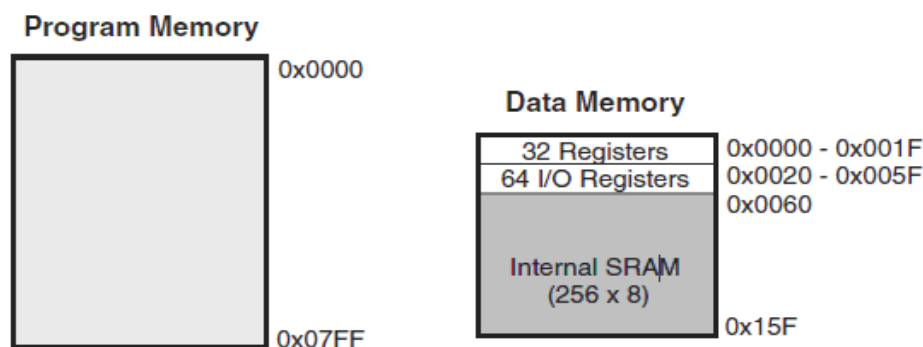
Základní parametry ATtiny43u podle katalogového listu:

- nízkonapěťový 8 Bitový mikropočítač
- napájecí napětí 0,7 V – 5,5 V
- rozšířená RISC architektura s 120 instrukcemi
- 32 registrů délky 8bitů
- oddělená paměť dat a programu
- paměť programu Flash; kapacita 4 kB, počet přeprogramování 10 000 cyklů.
- datová paměť EEPROM; kapacita 64 B, 100 000 x přepis
- Datová paměť RAM kapacity 256 B
- dva 8-Bit čítače/časovače s PWM kanálem (režimy Output Compare, Input Capture, PWM a další)
- 16 programovatelných I/O pinů
- programovatelný WatchDog, Brown-out detektor
- analogový komparátor, 10-bit A/D převodník
- hodinový kmitočet 0 - 4 Mhz při použití Boost měniče
- pouzdro 20-Pin SOIC nebo 20-Pin QFN/MLF
- ISP 6pin programování; ladící debugWIRE

SOIC

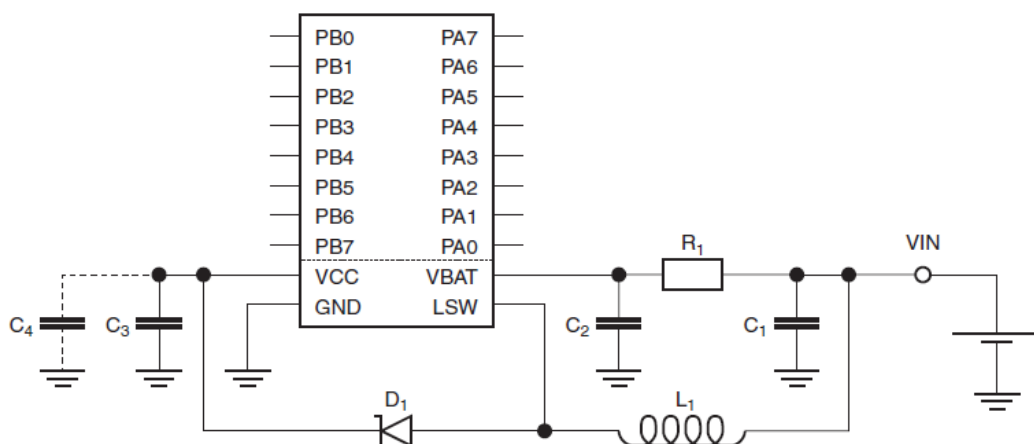


Obrázek 35 – Mikroprocesor ATtiny43u – zapojení vývodů (převzato z [13])



Obrázek 36 – Harvardské uspořádání paměti ATtiny43u (převzato z [13])

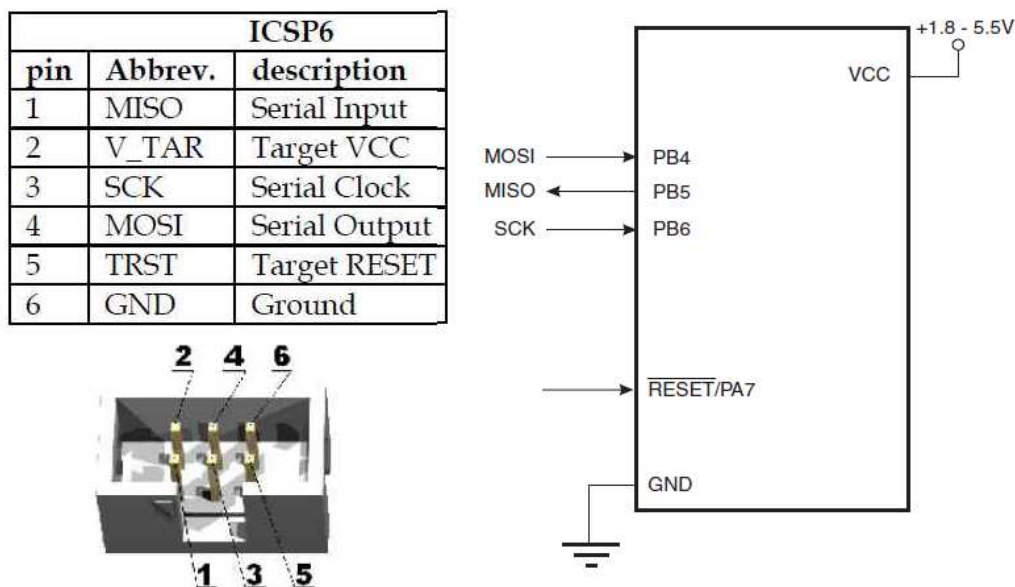
Aby mohl pracovat vnitřní měnič mikroprocesoru, je třeba doplnit některé externí součástky, které jsou moc velké a do miniaturního čipu by se nevešly. Jedná se především o indukčnost a blokující kapacitory. Měnič je zapojen podle níže uvedeného schématu a hodnoty součástek jsou dodrženy též podle doporučení výrobce, tak jak je uvedeno v katalogovém listu. Kondenzátory je vhodné volit s nízkým vnitřním odporem (low ESR) a spínací diodu je nutno použít Shottkyho kvůli vysokým frekvencím spínání.



Component	Recommended Value	Min	Max
C ₁	C = 4.7μF	1μF	
C ₂	C = 100nF		
C ₃	C = 22μF, ESR < 100mΩ	10μF	
C ₄	C = 100nF	100nF	100nF
D ₁	I _R = 1μA @ 25°C, V _F = 0.5V @ 1A		
L ₁	L = 15μH ±20%, I _{MAX} = 700mA, R < 150mΩ	15μH	15μH
R ₁	R = 680Ω		1kΩ

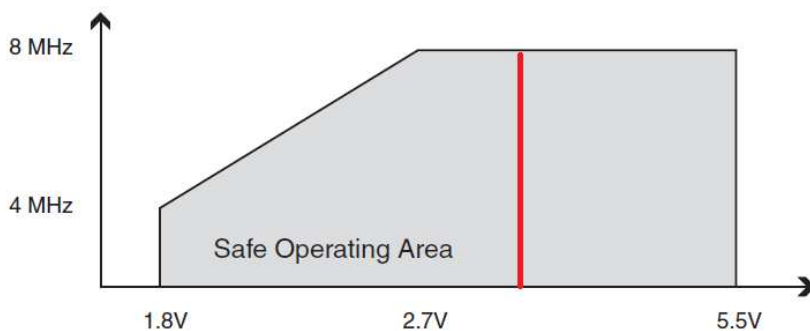
Obrázek 37 – Typické zapojení vnitřního BOOST měniče a doporučené hodnoty součástek od výrobce (převzato z [13])

Mikroprocesor je možné naprogramovat v patici programátoru ještě před zapájením do desky, avšak výhodnější a daleko využitelnější je možnost systémového sériového programování (ISP). Pokud využíváme mikroprocesor jen na několik málo funkcí, snadno se stane, že nám piny pro sériové programování zůstanou nezapojené a potom je možné na desce přímo vytvořit 6-pinový konektor, pomocí něhož zařízení spojíme s programátorem a dále s osobním počítačem s vývojovým softwarem. Ve schématu jsou na datových vodičích MISO, MOSI a SCLK ještě zapojeny sériově ochranné rezistory 100R. Mikroprocesor již nevyžaduje další součástky. Ještě je vhodné obvod doplnit resetovacím tlačítkem na pin 20 a to blokovat keramickým kondenzátorem 100nF vůči zemi.



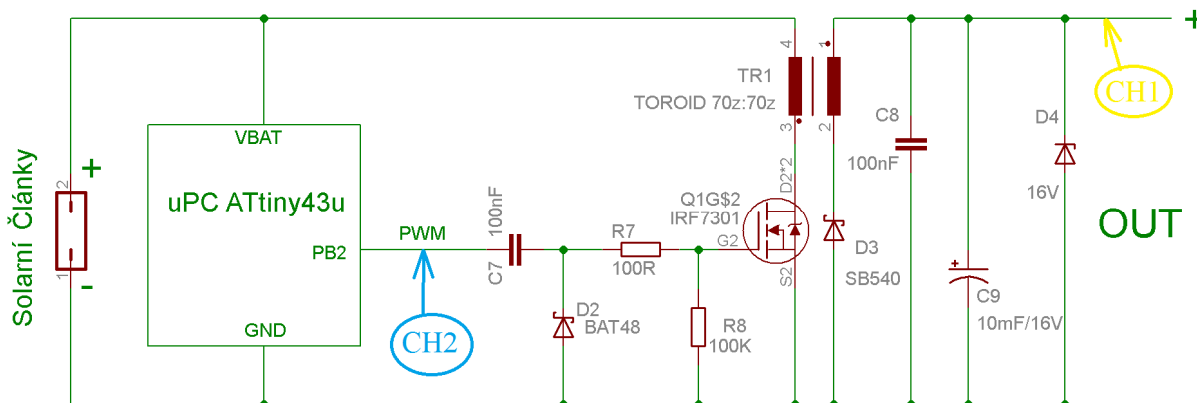
Obrázek 38 – Sériové programování FLASH paměti mikroprocesoru ATtiny43u přes standardní konektor ISP6 (převzato z [13])

V našem zapojení používáme vnitřní oscilátor mikroprocesoru ATtiny43u. Výrobce garantuje při napájecím napětí nad 2,7 V a dodržení teploty 25 °C maximální odchylku 10% od továrně nastavené hodnoty 8Mhz. Díky internímu měniči, který upravuje napětí na 3,3V tak máme zaručenou hodinovou frekvenci v rozmezí 7,2 MHz až 8,8 MHz.



Obrázek 39 – frekvence vnitřního oscilátoru X napětí na pinu VCC (převzato z [13])

5.3.2 Blokující měnič pro nabíjení akumulátoru



Obrázek 40 – Zapojení blokujícího měniče pro nabíjení akumulárního kondenzátoru

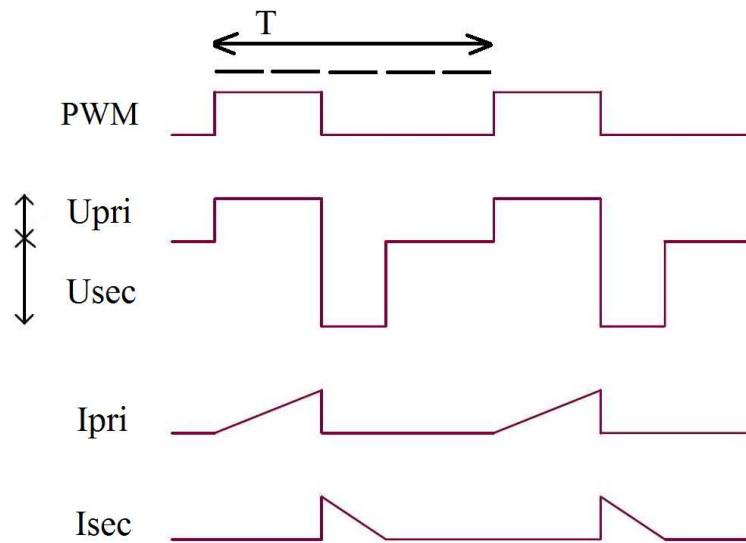
Velmi důležitá část zapojení je tvořena tímto blokujícím měničem, který má ideální vlastnosti. Pomocí něj transformujeme energii o velmi malém napětí ze solárních článků do akumulárního kondenzátoru až na 16V. Měnič je řízen pomocí časovače z mikroprocesoru (pin PB2). Na spínací tranzistor přivádíme přes oddělovací kondenzátor 100nF obdélníkový signál s amplitudou $V_{cc} = 3,3V$ o frekvenci 4kHz se střídou 2:3. Velikost výstupního napětí měniče by mohla ještě růst, avšak aby nedošlo k proražení spínacího tranzistoru Q1, nebo kondenzátoru C9, je toto napětí omezeno stabilizační zenerovou diodou D4 16V.

Funkci měniče lze jednoduše popsat:

Při kladné hraně PWM signálu (3,3V) se sepne tranzistor Q1 a dochází k ukládání energie v podobě magnetického pole cívky:

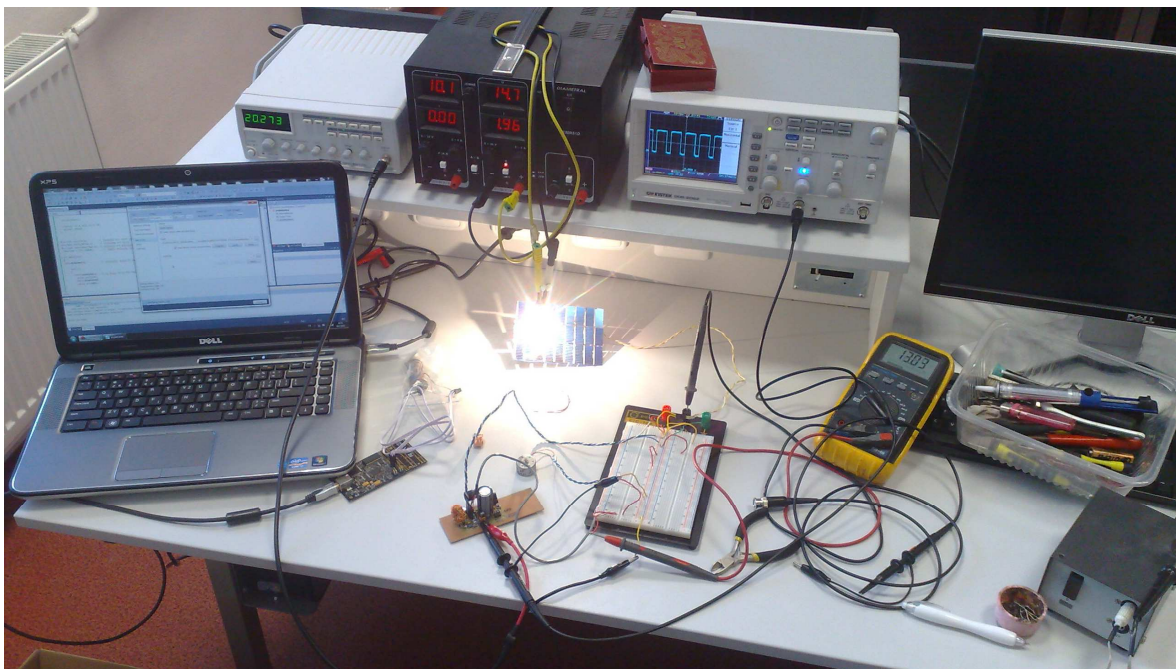
$$i(t) = (U/L) * t \quad [A;V,H,s] \quad E = (1/2) * L * I^2 \quad [J;H,A] \quad E = (1/2) * C * U^2 \quad [J;F,V]$$

Protože je transformátor TR1 vinutý v poměru 1:1, tak nárůst proudu na primáru způsobí vznik opačného napětí na sekundáru transformátoru. Při rozpojení spínače Q1, přestává téci proud primárním vinutím a transformátor vrací naakumulovanou energii přes diodu D3 do akumulárního kondenzátoru C9. Napětí na sekundáru je pak v každém cyklu dáno jako součet napětí na kondenzátoru C9 + úbytek napětí na výstupní Shottkyho diodě D3. Aby měl měnič nejlepší účinnost, je třeba zajistit, aby se jádro transformátoru nepřebuzovalo. To je vyřešeno tak, že má vzduchovou mezeru. Jádro toroidního transformátoru je použito ze spínacího zdroje z PC. Je přelomeno na 2 části, mezi nimiž je papírová izolace. Vinutí 70závitů drátkem o průměru 0.3mm je namotáno bifilárně – tedy obě vinutí najednou. Transformátor bylo třeba vyrábět zkusmo, aby při vybuzení měl účinnost alespoň 80%. Rezistor R8 zajišťuje vypnutý klidový stav tranzistorů. Rezistor R7 spolu s diodou D2 zajišťuje ochranu mikroprocesoru proti záporným špičkám od spínacího FET tranzistoru. Oddělovací kondenzátor C5 zajišťuje funkci měniče pouze při správném provozním napětí mikroprocesoru. Na níže uvedeném obrázku jsou patrné napěťové a proudové průběhy měniče, při buzení spínacího FETu signálem PWM z mikroprocesoru . [14]

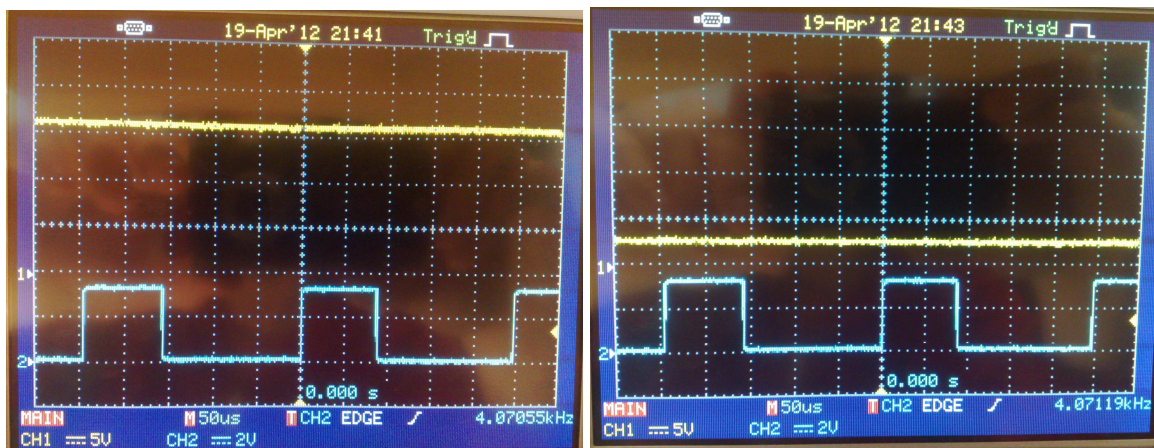


Obrázek 41 – Napět'ové a proudové průběhy měniče při buzení signálem PWM

Protože funkci měniče bylo třeba nastavit co nejlépe, aby mělo zařízení dostatečnou účinnost, bylo využito laboratorního generátoru funkcí, pomocí něhož byl částečně experimentálně určen finální výstupní signál z mikroprocesoru pro spínání měniče. Při pokusech byla vyzkoušena i vyšší frekvence obdélkového pulzu až 20kHz se střídou 1:3, to však nebylo vhodné, protože se akumulací kondenzátor nabíjel pomalu. Nejlepších výsledků měnič dosahoval při spínací frekvenci 3,5 kHz – 8 kHz se střídou 2:3. Tento signál byl tedy nastaven do mikroprocesoru a byla provedena zkouška funkčnosti.



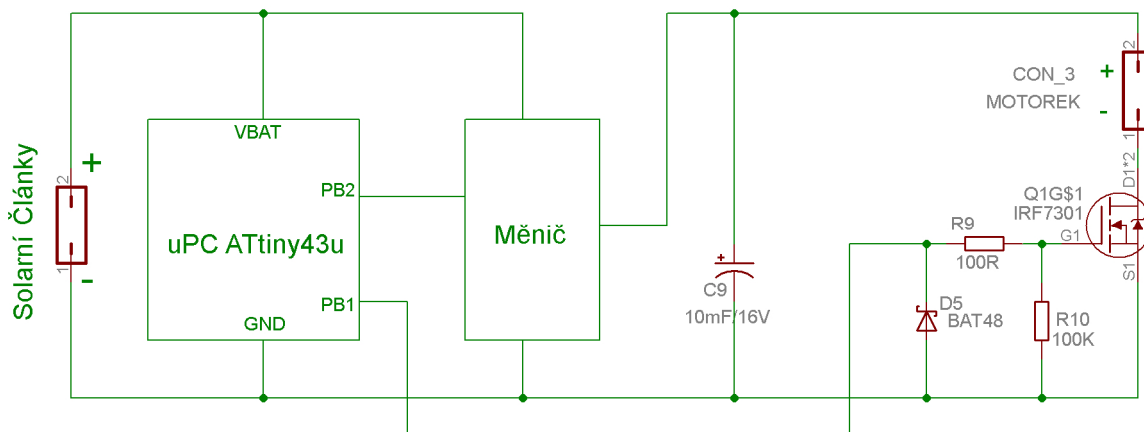
Obrázek 42 – Nastavování spínacího signálu pro měnič pomocí generátoru funkcí.



Obrázek 43 – Napět'ové a signálové poměry na vstupu měniče (CH2) a na akumulacním kondenzátoru (CH1)

Na výše zobrazených oscilogramech je vidět průběh spínací frekvence měniče a hodnota napětí na akumulacním kondenzátoru. Vlevo je situace po 15sec po resetu, tedy v době, kdy je akumulacní kondenzátor maximálně nabit. CH2 (modrý průběh) je spínací frekvence vstupující do měniče a CH1 je kladné napětí naměřené na kondenzátoru. Na oscilogramu vpravo je situace v době, kdy je již vozítko v plném pohybu a jede dostatečnou rychlostí. Je vidět, že napětí na akumulacním kondenzátoru, ani při trvalém připojení motorku neklesne na 0V ale drží se okolo 2,5V, což je důsledek toho, že měnič i při plném zatížení dokáže bez problému transformovat dodávanou energii ze slunečních článků o napětí cca 1,5V na již zmiňovaných 2,5V.

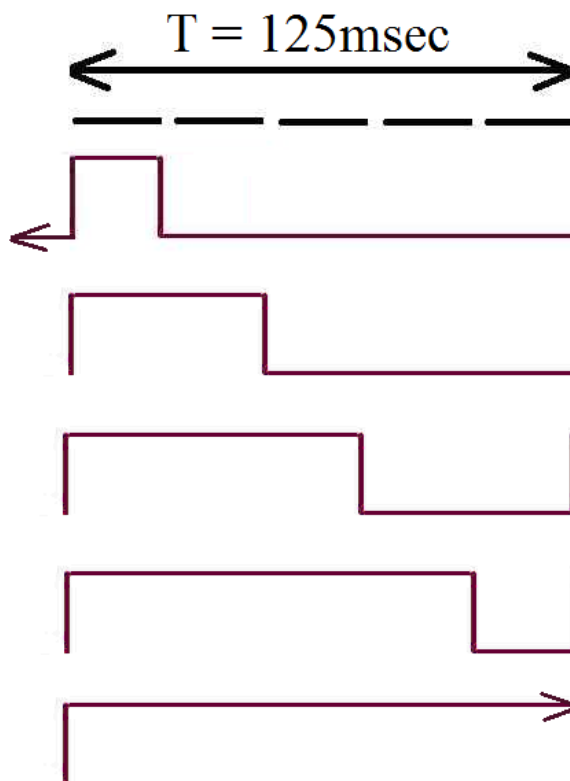
5.3.3 PWM spínání motoru pro plynulý rozjezd



Obrázek 44 – Zapojení spínače motorku

Aby při rozjezdu vozítka nedošlo k protočení kol, případně i k převrácení vlivem velkého počátečního impulsu, je použita jednoduchá regulace PWM bez zpětné vazby. Prosté přímé připojení motorku k plnému napětí (16V) na akumulacním kondenzátoru C9 vede ke špatným výsledkům. Funkce spočívá v tom, že se na motorek pustí jednoduchá posloupnost zapnuto/vypnuto a to vše v minimálním časovém intervalu. Jízda pak na pohled vypadá jako plynulá, ve skutečnosti však dochází k nepatrnému přerušování napájení

motorku, právě kvůli tomu, abychom dosáhli efektivnějšího rozjezdu. Rezistor R10 zajišťuje vypnutý klidový stav tranzistorů. Rezistor R9 spolu s diodou D5 zajišťuje ochranu mikroprocesoru proti záporným špičkám od spínacího FET tranzistoru. Na níže uvedeném obrázku je naznačeno spínání tranzistoru z mikroprocesoru, ten samý průběh spínání se je tedy i na motorku. Experimentálně byla vyzkoušena jako nejlepší a nejúčinnější proměnná – kladně se zvyšující PWM regulace v periodě 125msec. Po proběhnutí těchto sekvencí zůstává motorek trvale sepnut a to až do doby, dokud nedojde k resetu nebo ztrátě napětí na solárních článcích.

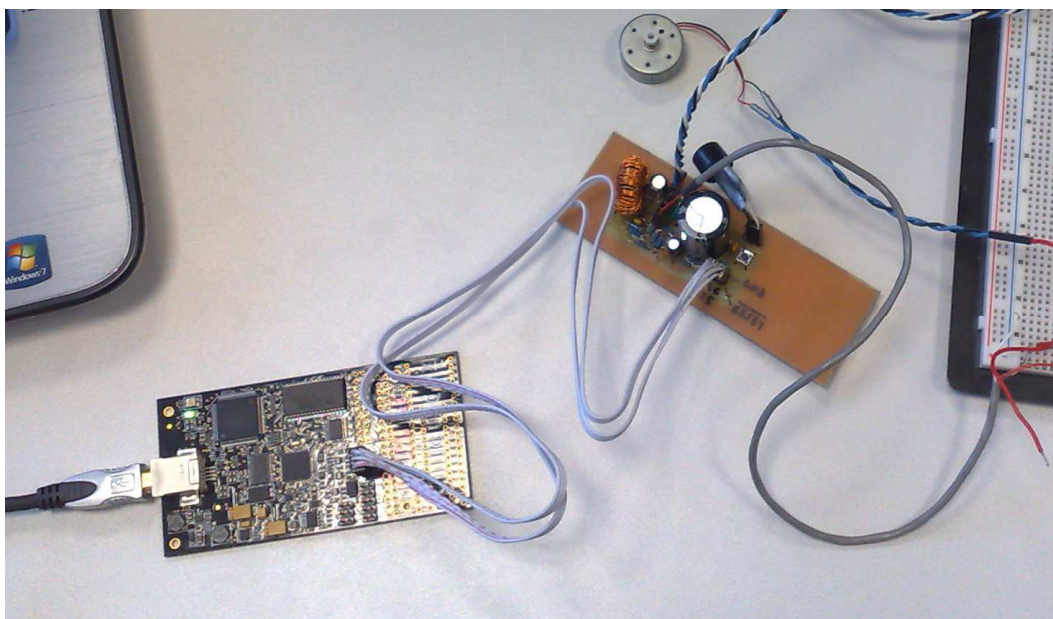


Obrázek 45 – Průběh spínání motorku v jednotlivých cyklech

5.4 Programové vybavení

Program pro mikroprocesor ATtiny43u byl napsán v jazyce C. Bylo využito vývojové prostředí AVR Studio 5, které nabízí zdarma firma Atmel a obsahuje nástroje pro krokování a diagnostiku programu, je tedy možné simulovat běh programu, aniž by bylo potřeba jej nahrávat přímo do mikroprocesoru. Překlad z jazyka C do Hexadecimálního kódu pro mikroprocesor byl proveden překladačem GCC, který je součástí AVR Studia a lze ho také užívat bezplatně. Pro spojení počítače a vozítka byl využit zapůjčený programátor AVR Dragon, který rovněž nabízí velmi levně firma Atmel. Je velmi dobré, že mikroprocesor, vývojové prostředí a samotný programátor je od jednoho výrobce, protože tak máme zaručenou naprostou kompatibilitu. Kit AVR Dragon podporuje všechny programovací módy rodiny AVR mikrokontrolérů. Pro nás je důležité, že dragon rovněž

podporuje ISP 6pin programing. Samotný program je velmi jednoduchý protože bylo třeba řešit pouze 2 hlavní úkoly celé elektroniky. Za prvé je to nastavení signálu pro měnič a za druhé je to sepnutí motorku po 15 sekundách. Oba úkoly byly vyřešeny pomocí jednoho časovače který je třeba správně nastavit. Protože byl program psán až na úplném konci výroby zařízení tak bylo počítáno s možnými problémy a potřebným laděním programu. Proto bylo přidáno do zařízení piezo na bránu PA1, které sloužilo k odladění programu a nyní signalizuje start vozítka. Při samotném programování je důležité ještě správně nastavit některé propojky (FUSES), které jsou zapsané ve třech registrech Fuse High Byte, Fuse Low Byte, Extended Fuse Byte.



Obrázek 46 – Připojení programátoru AVR DRAGON k zařízení přes ISP6 rozhraní

5.4.1 Nastavení registrů v mikropočítači

Jak již bylo uvedeno, pro funkci časovače je třeba nastavit správně příslušné registry. Zde je uveden pouze velmi stručný popis těchto registrů a nastavení. Více informací o různých módech a variantách nastavení lze najít v katalogovém listu [13].

TCCR0A – Timer/Counter Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x30 (0x50)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	-	-	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Nastavení v programu:

$TCCR0A=(1\ll COM0B1)|(1\ll WGM00)|(1\ll WGM01);$

COM0B1 znamená, že při komparaci (shodě) časovače s registrem OCR0B, se výstup (PIN na mikroprocesoru) přepne z UCC na GND.

WGM00 a **WGM01** nastaví režim časovače FAST PWM, kdy časovač bude počítat do maximální hodnoty. Protože je 8-mi bitový tak bude počítat do hodnoty 256.

TCCR0B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x33 (0x53)	TCCR0B								
	FOC0A	FOC0B	-	-	WGM02	CS02	CS01	CS00	
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Nastavení v programu:

TCCR0B=(1<<CS00);

CS00 znamená, že časovač počítá bez děličky.

TIMSK0 – Timer/Counter 0 Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x39 (0x59)	TIMSK0								
	-	-	-	-	-	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Nastavení v programu:

TIMSK0=(1<<OCIE0B);

OCIE0B je pro porovnání registru s registrem OCR0a a při jejich shodě se povolí přerušení - program skočí do metody ISR(TIM0_COMPB_vect)

OCR0B – Output Compare Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x3C (0x5C)	OCR0B								
	OCR0B[7:0]								
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Nastavení v programu:

OCR0B=90;

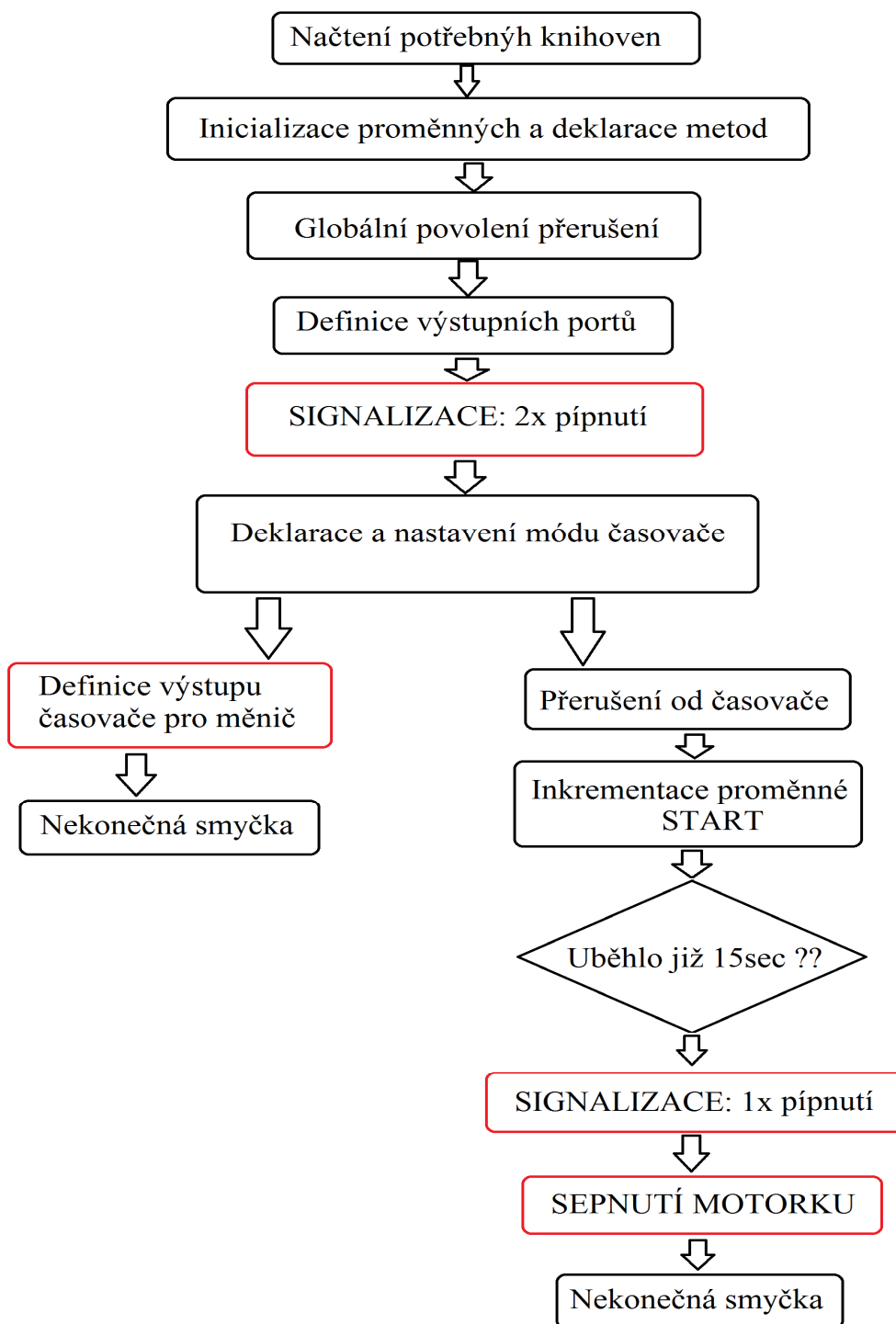
- nastavení na jaký port timer0 časuje a s jakou střídou, nastavení je v rozmezí 0 až 255
128==> střída 1:1

5.4.2 Nastavení programovacích propojek

Toto nastavení se provádí až při programování v dialogovém okně v záložce Fuses. Pro naše zapojení je třeba nechat bit **SPIEN** na **enable!!!** (původní nastavení povoleno). **BODLEVEL** nastavuje úroveň napájecího napětí při kterém se vyvolá Brown-out reset. V našem případě je nutné nastavit na **disable** (doporučení výrobce při použití vnitřního

měníče). Bit **CKDIV8** nastaví dělení frekvence oscilátoru 8 – necháme na původním nastavení – **enable**. Pomocí **SUT-CKSEL** je možno zvolit hodinové řízení mikroprocesoru. My použijeme vnitřní oscilátor 8 MHz s 4ms zpožděním: **INTRCOSC_8MHZ_6CK_14CK_4MS**. V kombinaci s aktivním bitem ckdiv8 tak dosáhneme taktovací hodinové frekvence 1MHz. Ostatní bity necháme jako disabled.

5.4.3 Vývojový diagram softwaru



Obrázek 47 – Vývojový diagram softwaru

Závěr

V rámci bakalářské práce se mi podařilo navrhnout a úspěšně sestrojít můj první prototyp solárního vozítka, které je primárně určené k závodům solárních modelů. Dle předběžného měření a testování předpokládám, že vozítko bude schopné konkurovat těm nejlepším konstrukcím z předchozích ročníků soutěže.

Možnost napájení je pouze ze solárních článků o maximální ploše 100cm². Na začátku své jízdy vozítko 15 sekund akumuluje energii ze solárních článků a poté se snaží co nejefektivněji rozjet a ujet stanovenou vzdálenost co nejrychleji. Protože se jedná o konstrukci zařízení, kde solární článek je měkký proudový zdroj, tak celé zařízení vyžaduje použití měniče, díky kterému napětí zvyšujeme a dále pomocí akumulárního prvku po dobu 15 sekund uchováváme. Měnič i start po 15 sekundách řídí mikroprocesor.

Mé řešení spočívá v použití řídicího mikroprocesoru Atmel ATtiny43u, který má v sobě integrován vlastní zvyšující měnič, díky kterému je reálně schopen pracovat již od 0,8V. Tento měnič je řízen automaticky tak, že se při poklesu pod stanovenou mez (cca 1,8V) sám aktivuje a tím pádem je možné mikroprocesor napájet v rozsahu od 0,8V až 5,5V. Když je měnič v aktivním režimu, poskytuje napětí 3,3V s možným proudovým zatížením až 100mA, což je velmi vhodné pro řízení spínacích FET tranzistorů které řídí další zvyšující měnič a rozjezd motoru. Hlavní měnič je řízen z mikroprocesoru a je konstruovaný jako blokující, protože dokáže transformovat energii jak směrem dolů - když je akumulární kondenzátor zcela vybitý a napětí na člancích je kolem 1.5V, tak i směrem nahoru - když se akumulární kondenzátor nabíjí a napětí na člancích je stále 1.5V. Aby byl rozjezd vozítka plynulý, je použita řízená PWM regulace motorku, ovládána přes spínací FET tranzistor pomocí mikroprocesoru.

Protože jsem takové zařízení konstruoval prvně, počítal jsem s tím, že vše nebude fungovat napoprvé, tak jak má. DPS jsem proto navrhoval univerzálněji a větší, abych mohl dodatečně upravit vzniklé problémy, které jsem nemohl předvídat. I přesto, že jsem se snažil ke konstrukci elektroniky použít „šuplíkové zásoby“, a pro stavbu podvozku díly ze starých CD mechanik a pevných disků, nevyvaroval jsem se koupě nového mikročipu a solárních článků. Ač se to nemusí zdát, celá konstrukce vozítka mě vyšla na cca 500kč.

V budoucnu bych chtěl celé vozítko od základu přestavět a navrhnout zcela jinak. K řízení bych použil opět mikrokontrolér ATtiny43u, protože se mi osvědčilo zapojení s vnitřním měničem. Použitím SMD součástek bych chtěl miniaturizovat DPS, dále odlehčit podvozek a v neposlední řadě sehnat jiné solární články, které by měli při stejné ploše 100cm² větší výkon. Dále mám v úmyslu do čela vozítka přidat senzory, které by v případě detekce překážky vozítko včas zastavily. K lepším výsledkům je třeba zvětšit akumulární kondenzátor pro nashromáždění více energie a pokusit se ho nabít na ještě vyšší napětí než jen 16V.

Seznam Literatury

- [1] **Teorie fotovoltaiky**. [online] **2009** [cit. 26. 4 2012.] Dostupný z WWW: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [2] **Martin Libra, Vladislav Poulek** - *Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie*. Česká zemědělská univerzita Praha, **2010**. 160stran. ISBN: 80-904311-0-2
- [3] **Jaroslav Kusala** - *Solární Energie – Součást Světu Energie*. [online] **2006** [cit. 28. 4 2012.] Dostupný z WWW: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/solar.htm>
- [4] **Vít Kopunec** - *Analytické metody solárních panelů a systémů*. [online] Brno **2011** [cit. 28. 4 2012.] Dostupný z WWW: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38558
- [5] **Alexandr Krejčířík** - *Napájecí zdroje*. 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, **1996**. 352 stran. ISBN 80-86056-02-3
- [6] **Petr Skoupý** - *Vzorové moduly DC/DC měničů*. [online] Brno **2010** [cit. 29. 4 2012.] Dostupný z WWW: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28545
- [7] **Stanislav Kocman** - *Stejnoseměrné stroje*. Skripta: Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB-TU. Ostrava 2002
- [8] **Petr Novák** - *Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení*. 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, **2005**. 243 stran. ISBN 80-7300-141-1
- [9] **Miroslav Duch** - *Mikroprocesory AVR Tiny*. Skripta. [online] Trutnov **2009** [cit. 1. 5 2012.] Dostupný z WWW: <http://www.spstrutnov.cz/o-skole/projekty/moderni-vyuka-mikroprocesorove-techniky/mikroprocesory-avr-tiny-skripta.pdf>
- [10] **Jiří Marchalín** - *Historie procesorů od počátku až po současnost*. [online] Praha **2004** [cit. 1. 5 2012.] Dostupný z WWW: <http://artax.karlin.mff.cuni.cz/~marcj1am/download-files/hist.pdf>
- [11] **Jiří Pinker** - *Mikroprocesory a mikropočítače*. 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, **2004**. 160 stran. ISBN 80-7300-110-1
- [12] **Pavel Bezoušek** - *Optoelektronické součástky*. Skripta. Katedra elektrotechniky FEI Pardubice 2004
- [13] **Atmel**. *Datasheet AVR ATtiny43u* [online]. **2010** [cit. 1. 5 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.atmel.com/Images/doc8048.pdf>
- [14] **Milan Horkel**. *Robot Dart01B* [online]. **2005** [cit. 1. 5 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.mlab.cz/Designs/ROBOTS/DART01B/DOC/DART01B.cs.pdf>

Seznam zkratek

ALU Aritmetical and Logical Unit

CD Compact Disc

CPU Central processor unit

DPS Deska Plošných Spojů

EAGLE Easily Applicable Graphical Layout Editor

FET Field effect tranzistor

I/O Input/Output

ISP In Systém Programing

LSB Least Significant Bit

MCU Microcontroller Unit

MISO Master In Slave Out

MOSI Master Out Slave In

MSB Most Significant Bit

OS Operating System

PCB Printed Circuit Board

PWM Pulse Width Modulation

RAM Random-access Memory

ROM Read Only Memory

SCI Seriál Communication Interface

SDO Serial Data In

SDI Serial Data Out

SMD Surface Mount Device

SOIC Small outline integrated circuit

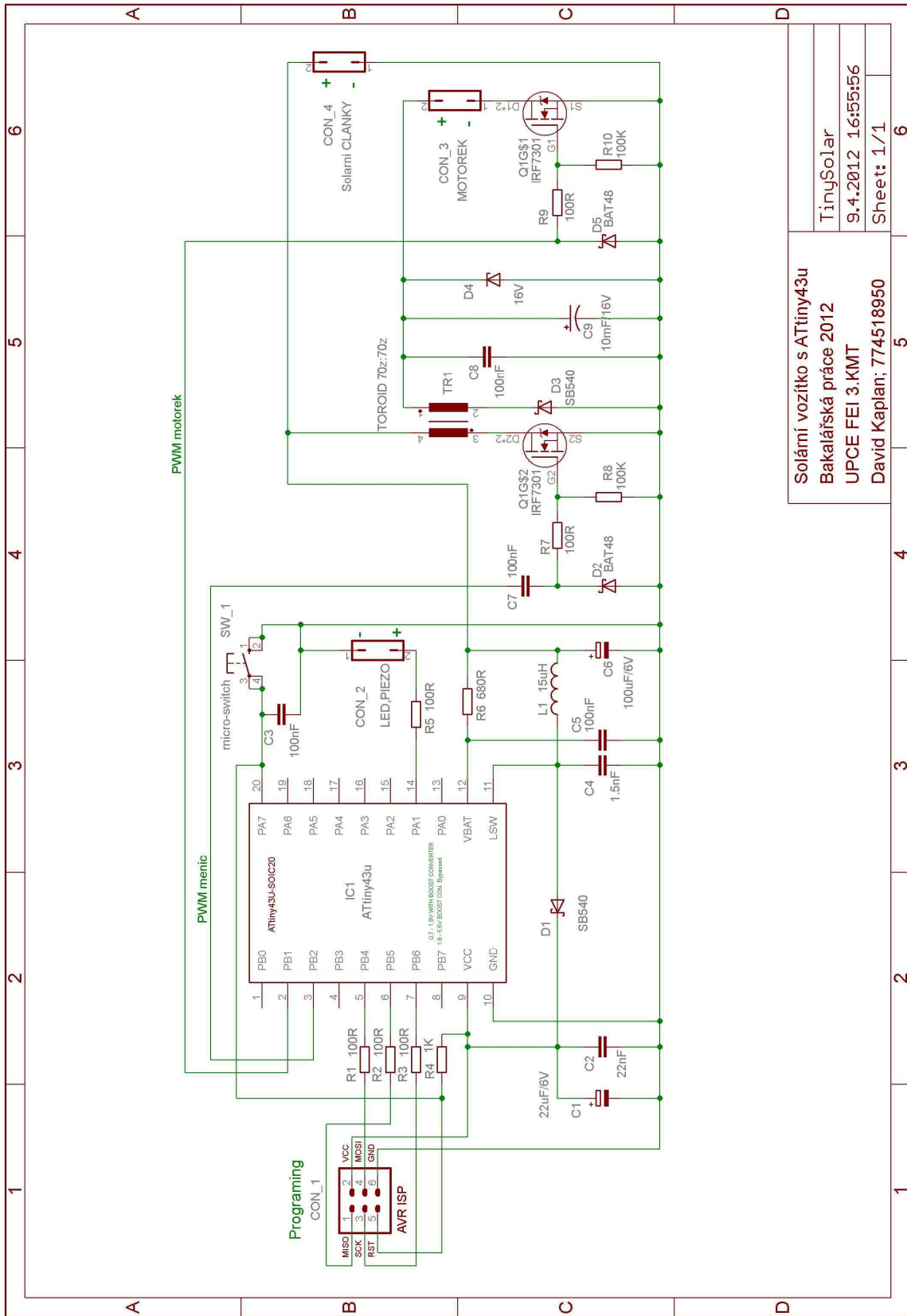
SPI Serial Peripheral Interface

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Polovodičová dioda.....	9
Obrázek 2 - Hradlová vrstva.....	10
Obrázek 3 - Rozšíření hradlové vrstvy.....	10
Obrázek 4 - Hradlová vrstva mizí.....	10
Obrázek 5 - Spektrální pásmo optických kmitočtů	11
Obrázek 6 - Princip fotovoltaického jevu.....	12
Obrázek 7 - V-A charakteristika fotodiody a režim činnosti.....	13
Obrázek 8 - Monokrystalický solární článek, Solární panel SANYO HIT 240 HDE4.....	14
Obrázek 9 - Polykrystalický solární článek, Solární panel Koycera KD 210 GH-2PU.....	15
Obrázek 10 - Ukázka klasického síťového vinutého transformátoru a menšího transformátoru určeného do spínaných zdrojů.....	16
Obrázek 11 - Blokové schéma spínaného zdroje	16
Obrázek 12 - Nábojová pumpa: $U_{out} = \frac{1}{2} U_{in}$	17
Obrázek 13 - Zapojení STEP-DOWN měniče: $U_{out} < U_{in}$	18
Obrázek 14 - Zapojení STEP-UP měniče: $U_{out} > U_{in}$	19
Obrázek 15 - Zapojení Invertujícího měniče: $U_{out} \leq - U_{in}$	20
Obrázek 16 - Princip činnosti stejnosměrného stroje.....	21
Obrázek 17 - Průběh proudu při PWM.....	22
Obrázek 18 - Princip PWM regulace.....	22
Obrázek 19 - Obecné schéma mikropočítače.....	23
Obrázek 20 - Von Neumannovo schéma mikropočítače.....	24
Obrázek 21 - Harwardské schéma mikropočítače.....	25
Obrázek 22 - Obecná struktura paměti	26
Obrázek 23 - Paměťová buňka EEPROM	27
Obrázek 24 - Paměťová buňka DRAM.....	28
Obrázek 25 - Základní typy sběrnic.....	28

Obrázek 26 - Hotové solární vozítko.....	31
Obrázek 27 - Návrh vozítka v programu SolidWorks.....	32
Obrázek 28 - Detailní zobrazení podvozku a hnacího ústrojí.....	33
Obrázek 29 - Sériově-paralelní zapojení solárních článků.....	34
Obrázek 30 - Deska plošných spojů; pohled ze strany spojů.....	35
Obrázek 31 - Deska plošných spojů; pohled ze strany součástek.....	36
Obrázek 32 - Osazená deska plošných spojů; pohled ze strany spojů.....	36
Obrázek 33 - Osazená deska plošných spojů; pohled ze strany součástek.....	36
Obrázek 34 – Blokové schéma zapojení.....	37
Obrázek 35 – Mikroprocesor ATtiny43u – zapojení vývodů	38
Obrázek 36 – Harwardské uspořádání paměti ATtiny43u.....	39
Obrázek 37 – Typické zapojení vnitřního BOOST měniče a doporučené hodnoty součástek od výrobce.....	39
Obrázek 38 – Sériové programování FLASH paměti mikroprocesoru ATtiny43u přes standardní konektor ISP6.....	40
Obrázek 39 – frekvence vnitřního oscilátoru X napětí na pinu VCC.....	40
Obrázek 40 – Zapojení blokujícího měniče pro nabíjení akumulárního kondenzátoru.....	41
Obrázek 41 – Napěťové a proudové průběhy měniče při buzení signálem PWM	42
Obrázek 42 – Nastavování spínacího signálu pro měnič pomocí generátoru funkcí.....	42
Obrázek 43 – Napěťové a signálové poměry na vstupu měniče (CH2) a na akumulárním kondenzátoru (CH1).....	43
Obrázek 44 – Zapojení spínače motorku.....	43
Obrázek 45 – Průběh spínání motorku v jednotlivých cyklech.....	44
Obrázek 46 – Připojení programátoru AVR DRAGON k zařízení přes ISP6 rozhraní.....	45
Obrázek 47 – Vývojový diagram softwaru.....	47

Příloha A – Celkové schéma zapojení



Solární vozítko s ATtiny43u	TinySolar
Bakalářská práce 2012	9.4.2012 16:55:56
UPCE FEI 3.KMT	Sheet: 1/1
David Kaplan: 774518950	6

Příloha B – Seznam součástek

C1	22uF/6V
C2	22nF
C3	100nF
C4	1.5nF
C5	100nF
C6	100uF/6V
C7	100nF
C8	100nF
C9	10mF/16V
CON_1	AVR-ISP 6_PinHead
CON_2	LED,PIEZO 2_PinHead
CON_3	MOTOREK 2_PinHead
CON_4	Solarni CLANKY 2_PinHead
D1	BAT48
D2	BAT48
D3	BAT48
D4	Zenerka 16V
D5	BAT48
IC1	ATtiny43u / SOIC20
L1	15uH
Q1	IRF7301
R1	100R
R2	100R
R3	100R
R4	1K
R5	100R
R6	680R
R7	100R
R8	100K
R9	100R
R10	100K
SW_1	micro-switch
TR1	TOROID 70z / 70z

Příloha C – Zdrojový kód souboru

```
/*
 * ATtiny43u_nasobic.c
 * LOW POWER, Ucc= 0.7V - 5.5V
 * Created: 16.4.2012 10:43:52
 * Author: DAVID
 * Interní osc 1Mhz
 * frekvence pro měnič 4kHz
 * cas sepnutí po 15s
 */

#include <avr/io.h> // Knihovna pro input output
#include <util/delay.h> // knihovna pro pauzu
#include <avr/interrupt.h> // knihovna pro přerušení
volatile unsigned int start=0; // proměnná, viditelná všude-proto volatile, vše
// pro načasování cca 15s na start

void cas25ms(); // deklarace funkce pro 25ms pauzu, vše kvůli
// spoření paměti (delay zabere moc paměti)
void cas50ms(); // deklarace funkce pro 50ms pauzu, vše kvůli
// spoření paměti (delay zabere moc paměti)

int main(void) //
{ //
sei(); // Globalní povolení přerušení
DDRB=0b0000110; // nastavení brány PB aby byla výstupní
// ==> pro motorek na PB1 a měnič na PB2
DDRA=0b000010; // nastavení brány PA aby byla výstupní
// ==> pro piezo na PA1

//__signalizace ==> dvojjapíání při spuštění zařízení, též vždy po resetu__
PORTA=0b000010; // na bránu PA na PIN PA01 posílám log1
cas50ms(); //
PORTA=~PORTA; // negace celé brány PA tj log0
cas50ms(); //
cas50ms(); //
PORTA=0b000010; // na bránu PA na PIN PA01 posílám log1
cas50ms(); //
cas50ms(); //
cas50ms(); //
cas50ms(); //
PORTA=~PORTA; // negace celé brány PA tj log0

//__inicializace a nastavení časovačů__
TCCR0A=(1<<COM0B1)|(1<<WGM00)|(1<<WGM01);
//COM0B1=>znamená, že při komparaci (schodě) časovače s registrem OCR0B, se nožička
//přepne z UCC na GND
//WGM00 a WGM01 => nastaví režim časovače takový, že se jmenuje FAST PWM, kdy
//ČASOVAC BUDE POČÍTAT DO MAXIMÁLNÍ HODNOTY (ČITAČ JE OSMI BITOVÝ takže se to
//==256).....OK CHODI; f=4kHz střída 2:3
TCCR0B=(1<<CS00);
// CS00 znamená že časovač počítá bez děličky, počítá tak rychle jak jen to jde,
//rychleji to už nelze... s tímto nastavením vnitřního krystalu...
TIMSK0=(1<<OCIE0B);
// OCIE0B je pro porovnání registru OCR0a a při schodě se povolí přerušení - program
//skočí do metody ISR(TIM0_COMPB_vect)
OCR0B=90;
// nastavení na jaký port timer0 časuje a s jakou střídou, 0 až normálně je 256
//cyklů, 128==> střída 1:1
while (1) {};
// smyčka, ve které se program zacyklí a nepokračuje dále - čeká na přerušení od
//časovače
}
```



```

void cas25ms()    { _delay_ms(25); //funkce cas25ms - vytvoření pauzy 25 milisekund
void cas50ms()    { _delay_ms(50); //funkce cas50ms - vytvoření pauzy 50 milisekund
//
ISR(TIM0_COMPB_vect){ //povolení přerušení od časovače 0 vždy při náběžné
// hraně pulzu
start = start+1; // postupná inkrementace proměnné start
if (start==62000) // číselná hotnota přetečení odpovídá časové prodlevě
//15sec (max je 65535)
{
//
//
//_____signalizace ==> pípnutí před rozjezdem
PORTA=0b00000010; // na bránu PA na PIN PA01 posílám log1
cas50ms(); //
cas50ms(); //
PORTA=~PORTA; // negace cele brány A tj log0
PORTB=0b00000010; // na pin PB1-motorek pustím 1
cas25ms(); //
PORTB=0b00000000; // na pin PB1-motorek pustím 0
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
PORTB=0b00000010; // na pin PB1-motorek pustím 1
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
PORTB=0b00000000; // na pin PB1-motorek pustím 0
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
PORTB=0b00000010; // na pin PB1-motorek pustím 1
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
cas25ms(); //
PORTB=0b00000000; // na pin PB1-motorek pustím 0
cas25ms(); //
PORTB=0b00000010; // na pin PB1-motorek pustím 1
while (1) {}; // smyčka, ve které se program zacyklí a nepokračuje dále
// a motorek zůstává seplý (log1)
}
}
}

```

Příloha D – Fotodokumentace

