

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Vozítko poháněné vodíkovým palivovým článkem

Radovan Svatoš

Bakalářská práce

2013

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radovan Svatoš**
Osobní číslo: **I09053**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Vozítko poháněné vodíkovým palivovým článkem**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a sestrojte vozítko poháněné vodíkovým palivovým článkem, jehož cílem bude urazit maximální vzdálenost na jedno nabití článku. Při řízení úsporného pohybu elektromotoru aplikujte mikroprocesorovou jednotku, která bude respektovat i změnu charakteru trasy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

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

Seznam odborné literatury:

Novotný a kol. : Napájení elektronických obvodů, VUT 2004

Neboral J, Sládeček J. : Elektrické pohony, VŠB-TU Ostrava 2005

Vacek V. : Učebnice programování PIC, BEN 2002

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Štěpánek
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **21. prosince 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2013**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. března 2013

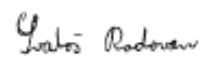
Prohlášení autora

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 s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9.5. 2013


Svatoš Radovan

Poděkování

Velice rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Štěpánkovi za jeho cenné rady a pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Po celou dobu mě vedl při bakalářské práci správným směrem účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomocí. Také bych rád poděkoval kamarádům, kteří mě po celou dobu podporovali, pomáhali a také samozřejmě bych rád poděkoval hlavně rodičům za velkou podporu.

Anotace

Tématem této bakalářské práce je návrh a praktická realizace vozítka poháněného vodíkovým palivovým článkem. V teoretické části je stručně popsán princip palivových článků, dále hlavní informace o spínaných zdrojích a jejich základní zapojení.

Tato část bakalářské práce ještě obsahuje základní informace o mikropočítačích a popis funkce stejnosměrného motoru. Praktická část se věnuje podrobně návrhu vozítka. Je zde popsána mechanická konstrukce, řídicí elektronika a obslužný software zařízení. Na konci práce jsou ke zhlédnutí fotky při kompletním dokončení vozítka poháněného vodíkovým palivovým článkem.

Klíčová slova

Vodíkový palivový článek, měnič, eagle, mikroprocesor PIC12F617

Title

The vehicle powered by Hydrogen fuel cell

Annotation

The topic of this thesis is the design and practical realization of a vehicle powered by Hydrogen fuel cell. The theoretical section briefly describes the principle of the fuel cell and provides key information about switching sources and their basic involvement types. Thesis also includes basic information about microcomputers and the function of DC motor.

The practical part is devoted to detailed design of the vehicle. It describes the mechanical design, main electronic parts and operation software of the device. At the end of the thesis there are photos of the vehicle powered by hydrogen fuel cell.

Keywords

Hydrogen fuel cell, converter, eagle, central processing unit PIC12F617

Obsah

Seznam obrázků.....	3
Seznam tabulek.....	4
Úvod.....	1
1 Historie	2
2 Základní princip a složení palivového článku.....	4
2.1 Elektrody	7
2.2 Palivo.....	7
2.3 Výroba vodíku	7
2.4 Elektrolyzér	7
2.5 Uskladnění a transport paliva	8
2.6 Vodíková infrastruktura.....	8
2.7 Skládání palivových článků.....	8
2.8 Výhody a nevýhody palivových článku	8
2.8.1 Výhody	8
2.8.2 Nevýhody	9
3 Vodík.....	9
3.1 Nejběžnější výrobní technologie vodíku	10
3.2 Atomová struktura vodíku	11
3.3 Skladování vodíku	11
3.4 Využití vodíku	12
3.5 Bezpečnost při použití vodíku	13
3.6 Vodík jako palivo pro vozidla	13
4 Palivové články	14
4.1 Zjednodušený popis principu funkce palivového článku	15
4.2 Čtyři základní skupiny využití palivových článků	16
4.3 Typy palivových článků	17
4.4 Reakce palivového článku	18
5 Spínané zdroje	18
5.1 Blokové schéma spínaného zdroje, popis.....	20
5.2 Spínané zdroje s indukčností.....	21
5.2.1 BUCK Snižující měnič STEP-DOWN	21
5.2.2 BOOST Zvyšující měnič STEP-UP	22

5.2.3	BUCK-BOOST Invertující měnič	23
6	Stejnsměrný motor	24
6.1	Princip funkce stejnosměrného stroje.....	24
6.2	Výhody a nevýhody stejnosměrného motoru	25
6.3	PWM regulace otáček stejnosměrného motoru	25
7	Mikropočítač a obecné schéma mikropočítače s blokovým schématem CPU	26
7.1	Jednotlivé bloky.....	27
7.2	Dělení mikropočítačů	28
7.2.1	Von Neumannovo schéma - společná paměť dat a programu.....	29
7.2.2	Harwardské schéma – oddělená paměť programu a dat.....	29
7.3	CISC – soubor instrukcí s kompletní sadou	30
7.4	RISC – soubor instrukcí s redukovanou sadou.....	30
8	Polovodičové paměti	30
8.1	Energeticky nezávislé paměti ROM.....	30
8.2	Energeticky závislé paměti RAM.....	31
9	Sběrnice v mikropočítači	31
9.1	Typy sběrnic	32
10	Programování mikropočítačů.....	32
10.1	Assembler	33
10.2	Vyšší programovací jazyky	33
11	Praktická část.....	33
11.1	Základní technické údaje	33
11.2	Konstrukce vozítka	34
11.3	Podvozek	34
11.4	Palivový článek	36
11.5	Charakteristiky palivového vodíkového článku	37
11.6	Návrh desky plošných spojů.....	39
11.7	Popis schéma zapojení.....	40
11.8	Elektronika	42
11.9	Mikroprocesor PIC 12F617	43
11.10	Motorek	45
11.11	Celkové odladění obvodu.....	46
11.12	Nastavení registrů v mikropočítači	51

11.13 Programové vybavení.....	52
Závěr	53
Literatura	55
Příloha A – Zdrojový kód	57
Příloha B – Seznam součástí	61
Příloha C – První obvod.....	62

Seznam zkratek

CO ₂	Oxid uhličitý
H ₂	Vodík
O ₂	Kyslík
H ₃ PO ₄	Kyselina fosforečná
KOH	Vodný roztok hydroxidu draselného
LPG	Liquefied Petroleum Gas
CNG	Compressed Natural Gas
H	Hydrogenium
PEMFC	Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell
AFC	Alkaline Fuel Cell
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PWM	Pulse Width Modulation
CPU	Central Processor Unit
ALU	Aritmetical and Logical Unit
RI	Obsahuje aktuální instrukci
DI	Dekóduje instrukce
PC	Program Counter
SP	Stack Pointer
CISC	Complex Instruction Set Computer
RISC	Reduced Instruction Set Computer
IBM	International Business Machines
RAM	Random access Memory

ROM	Read Only Memory
AS	Adresová Sběrnice
DS	Datová Sběrnice
ŘS	Řídící Sběrnice
DPS	Deska Plošných Spojů
EAGLE	Easily Applicable Graphical Layout Editor
I/O	Input/Output

Seznam obrázků

Obrázek 1 - První palivový článek [3]	3
Obrázek 2 - Obecná ukázka funkce vodíkového palivového článku [převzato z internetu] .	4
Obrázek 3 - Princip činnosti palivového článku [4]	5
Obrázek 4 - Schematické zobrazení funkce primárního článku [6]	6
Obrázek 5 - Schematické zobrazení funkce akumulátoru [6].....	6
Obrázek 6 - Schematické zobrazení kyslíkovodíkového palivového článku [6].....	7
Obrázek 7 - Diafragmatický elektrolyzér [10]	8
Obrázek 8 - Celosvětová produkce vodíku [11].....	9
Obrázek 9 - Schéma elektrolýzy vody [12]	10
Obrázek 10 - Atomová struktura molekuly vodíku [převzato z internetu].....	11
Obrázek 11 - Pohled na vodíkový autobus [13]	12
Obrázek 12 - Test úniku a vznícení vodíku z vozidla [15].....	13
Obrázek 13 - Grafit s rozptýlenými částicemi platiny (tmavé tečky) [12]	15
Obrázek 14 - Princip palivového článku [14].....	16
Obrázek 15 - Reakce palivového článku [1]	18
Obrázek 16 - Transformátor podrobný popis[25]	19
Obrázek 17 - Ukázka klasického síťového vinutého transformátoru	20
Obrázek 18 - Klasické obvodové zapojení spínaného zdroje [převzato z internetu]	20
Obrázek 19 - Snižující měnič [17].....	21
Obrázek 20 - Pracovní periody signálu [převzato z internetu]	21
Obrázek 21 - Zvyšující měnič [17].....	22
Obrázek 22 - Invertující měnič [17]	23
Obrázek 23 - Stejnoseměrný motor [převzato z internetu]	24
Obrázek 24 - Princip PWM regulace [20]	26
Obrázek 25 - Schéma mikropočítače [převzato z internetu]	26
Obrázek 26 - Von Neumannovo schéma [21]	29
Obrázek 27 - Harwarská architektura [21]	29
Obrázek 28 - Sběrnice v počítači [21].....	31
Obrázek 29 - Vozítko pohled zespodu	35
Obrázek 30 - Vozítko pohled z vrchu s připojeným kondenzátorem	35
Obrázek 31 - Vozítko pohled zprava	35
Obrázek 32 - Palivový článek.....	36
Obrázek 33 - Typická polarizační křivka palivového článku [16]	38
Obrázek 34 - Typická výkonová křivka palivového článku [16]	39
Obrázek 35 - Schéma obvodu v EAGLE	40
Obrázek 36 - Návrh desky před vyleptáním	41
Obrázek 37 - Návrh desky pouze součástky.....	42
Obrázek 38 - Blokové schéma obvodu.....	42
Obrázek 39 - Deska zapájená se součástkami	43
Obrázek 40 - Zapojení pinů procesoru	44
Obrázek 41 - Ukázka programování mikroprocesoru do sběrnice ISP	44

Obrázek 42 - Ukázka programování mikroprocesoru do nepájivého pole	45
Obrázek 43 - Charakteristiky motorku M 25 E-4L [28].....	45
Obrázek 44 - Graf odběru výkonu z článku	47
Obrázek 45 - Dojezdy vozítka v grafu.....	48
Obrázek 46 - Zkoumání funkčnosti obvodu	49
Obrázek 47 - Porovnání ujetých vzdáleností v různých případech	50
Obrázek 48 - Ujeté vzdálenosti	51
Obrázek 49 - Programátor pro programování PIC [převzato z internetu].....	52

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Způsoby výroby vodíku	7
Tabulka 2 - Parametry motorku [28]	45
Tabulka 3 - Porovnání odebíraného výkonu z palivového článku	46
Tabulka 4 - Různé varianty dojezdů vozítka	48
Tabulka 5 - Výstupní a výstupní napětí bez procesoru	48
Tabulka 6 - Výstupní a výstupní napětí s procesorem.....	49
Tabulka 7 - Použití kondenzátoru při různém nabití místo palivového článku.....	50
Tabulka 8 - Porovnání článku a kondenzátoru	54

Úvod

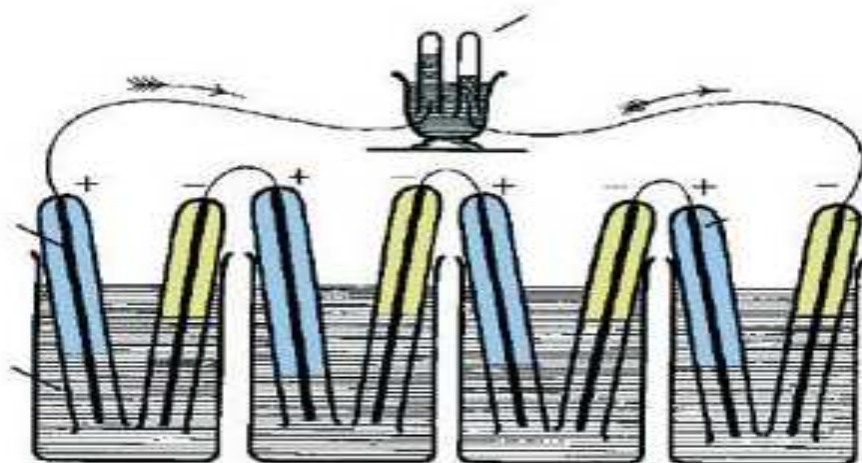
Dostatek levné energie je podmínkou pro stabilní hospodářský růst všech států i kvalitu života jejich obyvatel. Protože se v průběhu technického rozvoje stala většina států energeticky nesoběstačná, stal se obchod s energií, prakticky uskutečňován obchodem s energetickými surovinami, velmi silným ekonomickým i politickým nástrojem malého množství států s velkými energetickými surovinovými zdroji. Téměř veškerá lidská činnost vyžaduje v dnešní době nějakou formu energie. Prakticky od počátku průmyslové revoluce je většina energie zajišťována z fosilních paliv. Alternativní paliva jsou prozatím pouze drobným doplňkem, ekonomicky schůdným často pouze díky výrazným daňovým zvýhodněním oproti standardním palivům. Získávání energie je v současnosti založeno v převážné míře na využívání tzv. „neobnovitelných zdrojů“. Tvoří je především ropa, uhlí a zemní plyn. U těchto zdrojů budou zásoby při současných celosvětových trendech produkce energie vyčerpány u ropy za 40 let, zemního plynu za 65 let a uhlí za 200 let. A to i přes nově objevovaná naleziště, neboť jejich přídatný potenciál je kompenzován rostoucí spotřebou. Primární energetický sektor ve světě dnes využívá kromě fosilních paliv (uhlí 23%, ropa 35%, zemní plyn 21%) v menší míře i uran (7%) a na významu začínají nabývat i tzv. obnovitelné zdroje energie (voda 2%, biomasa 11%, ostatní 1%). Energie ze všech jmenovaných zdrojů je spotřebovávána v elektroenergetice, teplárenství, dopravě, průmyslu, domácnostech a službách. Je zřejmé, že dominantním zdrojem energie je stále spalování fosilních paliv. Kromě problému tzv. „neobnovitelnosti zdroje“ je zde další alarmující varování, a to značná produkce CO₂ a ostatních látek negativně působících na naše životní prostředí. Hned v úvodu je třeba zdůraznit, že vodík není klasické palivo, ale energetický vektor, neboli nosič energie. V praxi to znamená, že jej nelze levně a energeticky efektivně těžit a využívat k produkci primární energie, ale naopak jej musíme pracně a s nemalými ztrátami energie vyrábět. Vodíkové technologie jsou tedy pouze maximálně tak ekologicky čisté, jak čisté jsou primární zdroje energie a suroviny, které jsou při výrobě vodíku využity. Z těchto aspektů plyne možné využití vodíkových technologií. Nejperspektivnější oblastí jejich využití je pravděpodobně doprava. Nalezení alternativního konceptu ke spalování fosilních paliv je v současné době motivováno více paralelními požadavky. Tím prvním je potřeba snížit dopady spalování uhlovodíkových paliv, především tedy snížit produkci látek poškozující zdraví člověka i životního prostředí a současně snížit produkci skleníkových plynů. Začneme se zabývat palivovým článkem. Palivový článek je elektrochemické zařízení, které přímo mění chemickou energii, uvolněnou při oxidaci paliva, v elektrickou energii. Palivový článek je zvláštním typem galvanického článku. Podobně jako každý galvanický článek, skládá se ze dvou elektrod-anody a katody oddělených membránou, nebo elektrolytem. Nejjednodušší typ palivového článku je napájený vodíkem a kyslíkem, pracuje přesně opačně než zařízení, které vyrábí vodík a kyslík při elektrochemické reakci elektrolyzy vody. Dodáváme-li vodík do anody a kyslík do katody, vznikne mezi oběma elektrodami rozdíl elektrických potenciálů. Po připojení zátěže k elektrodám lze využít zařízení jako zdroj elektrické energie, jehož zápornou elektrodou je anoda a kladnou katoda.

Palivové články mohou pracovat nepřetržitě, dokud není přerušen přívod paliva nebo okysličovadla k elektrodám. Existuje mnoho kombinací paliva a okysličovadla. Např. kyslíko-vodíkový článek používá vodík jako palivo a kyslík jako okysličovadlo. Jiné články užívají jako paliva uhlovodíky a alkoholy, místo čistého kyslíku se jako okysličovadla může použít například vzduch, chlór a oxid chloričitý. Palivový článek není tepelný zdroj. Jeho účinnost může být značně větší než účinnost tepelného zdroje. [1]

1 Historie

Roku 1802 Sir Davy Humphrey dokázal pomocí elektrického proudu rozložit vodu na kyslík a vodík. Při svých experimentech přišel na zajímavý fakt, že po odpojení zdroje elektrického proudu dojde na elektrodách k vytvoření slabého náboje. Bohužel zatím nebyl schopen tento jev uspokojivě vysvětlit. Termín „Palivový článek“ patrně použili jako první v roce 1889 Charles Langer a Ludwig Mond, kteří se pokusili vyvinout článek napájený svítíplynem. Jejich článek ale byl příliš drahý. Tvůrcem názvu mohl být i William Jacques, který poprvé zkusil jako elektrolyt použít v článku kyselinu fosforečnou. Ale první pokusy s konstrukcí galvanických článků s nepřetržitým dodáváním aktivních látek se konaly v první polovině 19. století. Princip palivového článku byl objeven už v roce 1838 švýcarským vědcem Christian Friedrich Schönbeinen. Popsal jej v článku, který vyšel v lednu 1839. Na základě této teoretické práce sestavil první fungující prototyp Sir William Grove, byl to profesor londýnské univerzity. Ten v roce 1839 prováděl elektrolýzu roztoku kyseliny sírové, při použití platinových elektrod umístěných ve skleněných nanotrubičkách, jejichž dolní konec byl ponořen do roztoku kyseliny sírové jakoby v elektrolytu a horní uzavřená část byla vyplněna kyslíkem a vodíkem (Obrázek 1) zjistil, že mezi platinovými dráty, jejichž vyořené konce byly v atmosféře vystupujících plynů, prochází po přerušení elektrolýzy proud opačným směrem. Napětí takového článku bylo přibližně 1 V. Jako indikátor generovaného elektrického napětí a proudu sloužila nádoba, ve které probíhala elektrolýza vody. Celé zařízení neprodukovalo dostatek elektřiny, aby bylo použitelné v průmyslu. Na základě tohoto objevu se zkonstruoval první vodíko-kyslíkový článek. Později byl tento článek zdokonalen, ale s ohledem na drahé platinové elektrody se nedočkal většího rozšíření. V polovině 20. století roku 1959 oživil zájem o tuto technologii anglický vědec Francis Thomas Bacon, který se svými spolupracovníky sestrojil 5kW alkalický článek, který byl schopen pohánět svářecí stroj. Jeho úspěch nezůstal bez odezvy a Pratt&Whitney zakoupil od Bacona licenci na jeho patent a vyrobil palivové články pro mise Apollo, kde sloužily jako zdroj elektrické energie a pitné vody pro astronauty. V šedesátých letech dvacátého století zažil palivový článek pozvednutí, bylo to především díky kosmickému výzkumu, protože článek má proti jiným zdrojům výhodnější poměr energie/hmotnost. Byly jim vybaveny kosmické lodi programu Apollo, kde byl potřeba lehký a ekologicky čistý zdroj tepla i napájení přístrojů, ale jsou zdrojem energie i pro současné raketoplány. Ve stejném roce postavil Harry Ihrig z Allis-Chalmers Manufacturing Company první vozidlo s palivovým článkem, traktor s dvaceti koňskými silami napájeného elektrickým proudem z palivového článku. Taková předvádění se stala počátkem rychlého růstu zájmu o výzkum a rozvoj palivového článku.

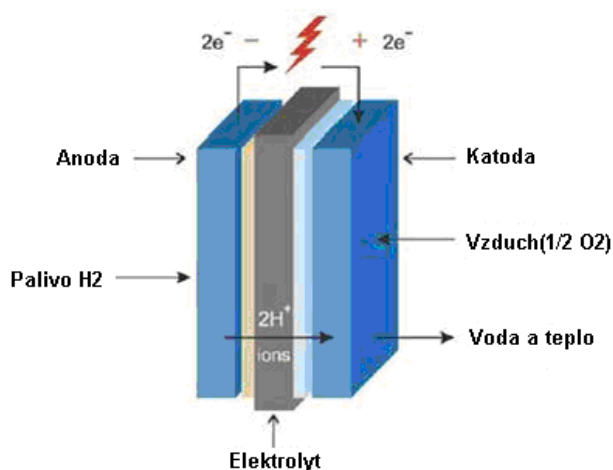
Po druhé světové válce má německé námořnictvo zákaz používání jaderných ponorek, z tohoto důvodu hledalo náhradní řešení zdroje elektrické energie. Jako jedna z eventualit se ukázalo použití palivových článků, kdy ve starších generacích plavidel, byly používány články o výkonu 30 kW. V novějších jsou již používány články o výkonu 120 kW. Již v roce 1966 představila firma General Motors první automobil poháněný palivovými články, který se však kvůli hmotnosti dosahující dvojnásobku váhy běžných vozů do sériové výroby nedostal. Na přelomu osmdesátých a devadesátých let byly prakticky tytéž palivové články použity například v pokusném nízkoenergetickém domě Fraunhoferova ústavu. Spotřebovávaly zde vodík, vyrobený přes léto elektrolýzou vody elektrickým proudem, získaným ze sluneční energie pomocí fotovoltaických článků. Byla ověřena dobrá funkce systému, přičemž palivové články byly umístěny dokonce přímo ve vzduchovodu klimatizace domu. Je patrné, že v obou případech se jedná o velmi výjimečné projekty, kde příliš nezáleželo na penězích, byly zde daleko důležitější výhodné vlastnosti palivových článků. Takový přístup, ale není myslitelný při plošném nasazení v praxi. Od roku 2002 se palivové články používají v ponorkách Type 212 německého námořnictva. V roce 2008 podnikl několik pokusných letů elektrický letoun firmy Boeing napájený palivovými články. V letech 2005 – 2008 byla v Norsku zprovozněna první vodíková dálnice s názvem HyNor o délce 560 km. V roce 2008 byla v USA zprovozněna ve městech Los Angeles, San Francisco a Las Vegas síť tankovacích stanic na vodík a půjčoven automobilů s palivovým článkem. V současnosti se nejvíce nadějí vkládá do kyslíko-vodíkového palivového článku v rámci vodíkového pohonu automobilů. Vodík totiž může být získán například pomocí elektrolýzy vody. Potřebný kyslík pro palivový článek, je možno získávat z atmosféry. Skladování vodíku v automobilových nádržích je v neustálém vývoji. Velké nebezpečí je kvůli tomu, že vodík ve směsi se vzduchem je vysoce výbušný. Dlouhodobé skladování vodíku v nádržích naráží na jejich těsnost. [1][3][6]



Obrázek 1 - První palivový článek [3]

2 Základní princip a složení palivového článku

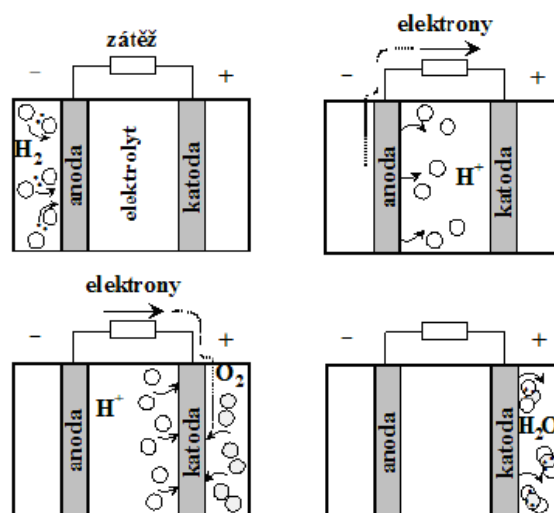
Palivový článek je elektrochemické zařízení, které přímo mění chemickou energii uvolněnou při oxidaci paliva na elektrickou. Palivové články jsou velmi efektivní elektrochemické generátory. Princip je jednodušší než u tradičních generátorů energie. Energie z nosičů je transformována přímo na energii elektrickou. Základní princip palivového článku je generování elektřiny při použití paliva H_2 a okysličovadla O_2 v elektrochemickém procesu, který je prakticky obrácená elektrolýza. Využívá se zde polymerní membrána, která vykazuje protonovou vodivost. Palivový článek má dvě elektrody - katodu a anodu. Termínem katoda označujeme elektrodu, kde uvolněné elektrony představují elektrický proud s vnějším obvodem pohybující se ke kladné elektrodě - katodě. Na kladnou elektrodu, kam se přivádí okysličovadlo, se odehrává redukční reakce (nárůst záporného náboje chemických prvků a sloučenin). Termínem záporná elektroda označujeme elektrodu, které říkáme palivová. Na anodu se přivádí aktivní látka-palivo. Na anodě probíhá oxidační reakce (nárůst kladného náboje chemických prvků a sloučenin). Při reakci v palivovém článku je katoda nabitá kladně a anoda záporně. Při zpětné reakci, elektrolýze, je katoda elektricky záporná a anoda elektricky kladná. Elektrony protékají samovolně od elektricky záporného pólu k pólu elektricky kladnému. Na anodě jsou vodíkové molekuly rozloženy na kladně nabitě vodíkové ionty a volné elektrony. Vodíkové ionty jsou rozptýleny přes membránu (elektrolyt) na katodu. Na katodě tyto ionty reagují s kyslíkem a volnými elektrony, které prošly přes vnější zátěž a vykonaly práci. Při použití reverzibilního článku je při nabíjení přesně opačný princip. Je to vlastně elektrolýza vody. V palivovém článku zásobují palivový a oxidační plyn přímo anodu a katodu a to v tomto pořadí. Fyzická struktura palivového článku je tedy taková, že plyny protékají kanálky po obou stranách elektrolytu. Elektrolyt je základem, pro rozdělení palivových článků na jednotlivé druhy. Různé elektrolyty vedou různé druhy iontů. Princip je znázorněn na Obrázku 2. [3]



Obrázek 2 - Obecná ukázka funkce vodíkového palivového článku [převzato z internetu]

Pokud se vnější obvod se zátěží přeruší, probíhající reakce se z důvodu deficitu elektronu okamžitě zastaví. Možný průběh reakcí v palivovém článku, pro případ, že palivem je

vodík a okysličovadlem kyslík, je znázorněn na Obrázku 3. Výsledkem spalování je v závislosti na pracovní teplotě článku voda či vodní pára. [4]



Obrázek 3 - Princip činnosti palivového článku [4]

Elektrody jsou většinou zhotoveny z různých kovů, nebo může jít o uhlíkové nanotrubičky. Mohou být potaženy katalyzátorem (např. platinou), čímž se dosahuje vyšší účinnosti. Dnes se standardně používají elektrody s množstvím katalyzátoru 5g/m^2 . Jako elektrolyt mohou sloužit různé kyseliny (převážně H_3PO_4) nebo zásady (nejčastěji KOH), keramiky nebo membrány. U specifických palivových článků se používá jako elektrolyt plyn pod vysokým tlakem. Dnes nejpoužívanějším elektrolytem je KOH , který byl použit už u článků v projektu Apollo. Jeho nevýhodou však je, že se oxidovadlo musí čistit od CO_2 , aby nedocházelo k reakci oxidu uhličitého s elektrolytem. Neboť vzniklý uhličitán draselný by přestal plnit funkci elektrolytu. Vznikající elektrické napětí je teoreticky okolo 1,23 voltu a závisí na typu paliva a kvalitě článku. U dnes nejpoužívanějších článků dosahuje nejčastěji napětí 0,5 - 0,95 V. Aby se dosáhlo vyššího napětí, zařazuje se více palivových článků do série. Velikost proudu závisí na ploše článku.

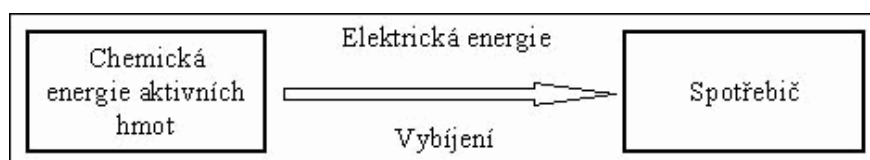
Elektrochemické zdroje proudu

Je možné definovat jako zařízení, ve kterých dochází k přímé přeměně chemické energie na energii elektrickou. Rozdílem je energie, kterou reagující soustava přijímá nebo dodává svému okolí. Většina samovolně probíhajících chemických reakcí, tedy i vybíjení elektrochemických zdrojů, probíhá tak, že látky vstupující do reakce mají větší obsah vnitřní energie nežli reakční produkty, takže rozdíl energie je dodáván okolí formou tepla, světla, mechanické práce, elektrické energie. Elektrochemické zdroje proudu jsou uspořádány tak, aby většina uvolněné energie byla energie elektrická a tak bylo dosaženo co největší účinnosti.

Elektrochemický článek

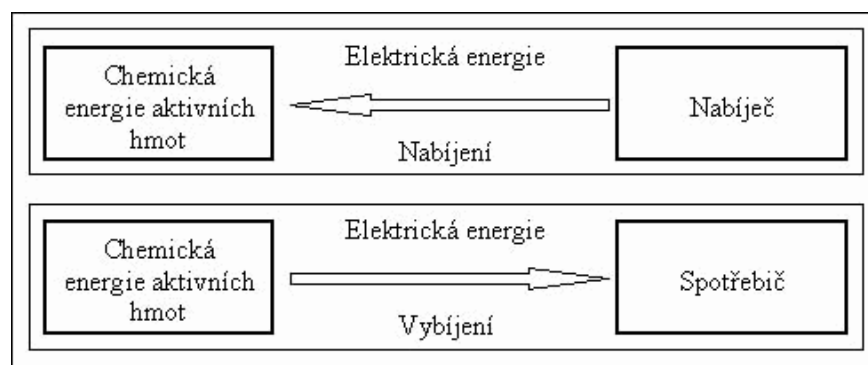
Základem všech elektrochemických zdrojů proudu je elektrochemický článek, který je tvořen dvojicí elektrod a iontově vodivým elektrolytem, tato soustava je umístěna ve vhodné nádobě. Elektrochemicky aktivní materiál elektrod musí být volen tak, aby na jedné z nich probíhala oxidace a na druhé redukce. Elektroda na které probíhá oxidace se nazývá anoda, elektroda, na které probíhá redukce katoda. Elektrody bývají oddělené porézním separátorem, aby se zabránilo přímému kontaktu (zkratu) elektronově vodivých částí elektrod. Základní rozdělení elektrochemických zdrojů proudu se dělí na články primární, neboli nenabíjecí články, články sekundární, neboli akumulátory a články palivové.

Primární články mají pouze schopnost přeměnit při vybití chemickou energii na energii elektrickou, ale akumulovat energii již nemají.



Obrázek 4 - Schematické zobrazení funkce primárního článku [6]

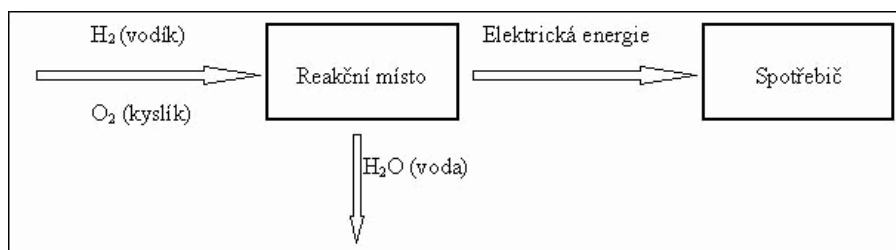
Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou v průběhu nabíjení schopné přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a ukládat ji ve svých elektrodách jako energii chemickou. Při vybití dodává akumulátor elektrickou energii do spotřebiče, při tom se mění chemické složení aktivních složek elektrod, chemická energie v nich akumulovaná se mění na energii elektrickou. Schematické zobrazení je na obrázku.



Obrázek 5 - Schematické zobrazení funkce akumulátoru [6]

Je důležité si uvědomit, že polarita článku se nezmění, když změním směr proudu (vybití na nabíjení). Při této změně dojde k tomu, že na elektrodě, kde probíhala redukce, bude probíhat oxidace a obráceně. V elektrochemii není termín „katoda“ (elektroda, na níž probíhá redukce) a termín „anoda“ (elektroda, na níž probíhá oxidace) spojen s polaritou článku (plus a minus pól), nýbrž se směrem procházejícího proudu. Tyto termíny mají smysl, jen pokud prochází proud. Proto se používají výrazy kladná elektroda a záporná elektroda.

Kyslíkovodíkový palivový článek se používá jako vstupující materiály plynný kyslík a vodík, reakčním produktem je destilovaná voda. [6]



Obrázek 6 - Schematické zobrazení kyslíkovodíkového palivového článku [6]

2.1 Elektrody

Palivový článek obsahuje dvě elektrody:

- Záporná (anoda) – na ni je přiváděno palivo
- Kladná (katoda) – na ni je přiváděno oksyličovadlo

Elektrody jsou většinou zhotoveny z různých kovů, nebo může jít o uhlíkové nanotrubičky. Pro zvýšení účinnosti mohou být potaženy katalyzátorem. Dnes se standardně používají elektrody s množstvím katalyzátoru 5g/m^2 .

2.2 Palivo

Nejčastěji se používá vodík v plynném, nebo kapalném stavu. Dále mohou být použity nepřímé, vodík obsahující paliva. Z nich se vodík získává tzv. reformovacím procesem.

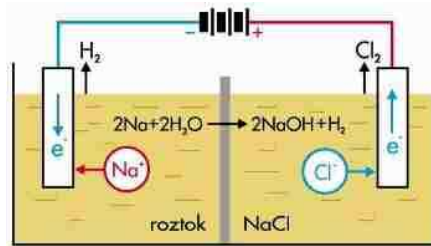
2.3 Výroba vodíku

Způsob výroby	Surovina pro výrobu	Poznámka
Elektrolýza	Voda	Finančně nákladné z důvodu potřeby elektrické energie
Parní reforming	Lehčí uhlovodíky, nejčastěji zemní plyn	vysoká efektivita a nízké náklady
Parciální oxidace ropných frakcí	Těžší uhlovodíkové frakce	
Redukce vody uhlíkem	Uhlí a koks	Proces je označován Zplyňování uhlí
Zahříváním vody na teplotu 2800°C	Voda	V běžných podmínkách nemožné, pouze při využití plazmy nebo jaderné reakce

Tabulka 1 - Způsoby výroby vodíku

2.4 Elektrolyzér

Zařízení pro výrobu vodíku díky elektrolýze vody. Na elektrolýzu je zapotřebí stejnosměrný proud, proto se u elektrolyzérů často nachází solární panel. [10]



Obrázek 7 - Diafragmatický elektrolyzér [10]

2.5 Uskladnění a transport paliva

Vodík lze skladovat buď stlačený nebo zkapalněný. Transport vodíku je nejnáročnější. Provádí se ve formě stlačeného a zkapalněného vodíku

2.6 Vodíková infrastruktura

Vodíková infrastruktura zajišťuje možnost využívání palivových článků v automobilech. Palivo se dá dočerpávat na speciálních čerpacích stanicích. Vodíkové čerpací stanice provozuje např. společnost Shell. V České republice funguje od roku 2009 čerpací stanice v Neratovicích.

2.7 Skládání palivových článků

Využívá se z důvodu zvýšení jmenovitého napětí a výkonu. Elementární články se spojují do série. Spojovat lze články do větších celků o desítkách, stovkách až tisících článků. Vlastně neexistuje žádné omezení počtu článků, proto lze konstruovat celky v širokém rozmezí výkonů od wattů až po megawatty. Účinnost malých článků je srovnatelná s velkými články

2.8 Výhody a nevýhody palivových článků

2.8.1 Výhody

- Vysoká účinnost energetické přeměny chemické energie paliva na elektrickou energii
- Možnost konstruovat palivové články v širokém rozmezí výkonů při téměř stejné účinnosti
- Nízké emise škodlivin mnohem menší než u ostatních technologií spalování fosilních paliv
- Dlouhé periody mezi občasnými poruchami
- Možnost použití různých množství plynných paliv (po úpravě).
- Nehlučný provoz v důsledku absence pohyblivých částí
- Vyřazené palivové články nezatěžují životní prostředí těžkými kovy jako klasické olověné akumulátory

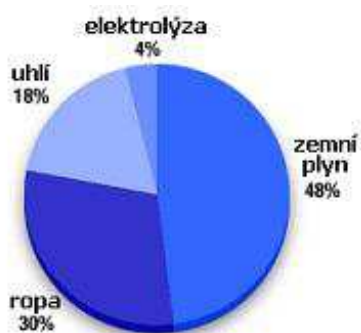
[16][5]

2.8.2 Nevýhody

- Citlivost k některým příměsím v palivu, případně v oksličovadle
- Vysoké investiční náklady, tvoří třaskavou směs se vzduchem, problém větrání garáží
- Příliš nízká životnost u tohoto modelu co je použit v mé bakalářské práci, je přibližně tři roky
- Účinnost klesá s dobou provozu, stlačování a zkapalňování vyžaduje značné výdaje energie
- díky malé molekule proniká téměř každým těsněním, šroubením i ventily [16][5]

3 Vodík

V oblasti výroby elektrické energie a tepla již dnes existují funkční alternativy v podobě jaderné energie a obnovitelných zdrojů. V oblasti dopravy je situace značně komplikovanější. Bateriová vozidla mají vysoký komfort a účinnost pohonu, ale potýkají se s nízkým dojezdem a dobou dobíjení. Vodík se zdá jako optimální palivo pro blízkou budoucnost. Zvyšující se důraz na kvalitní životní prostředí a zajištění bezpečných dodávek energie jsou právě ty argumenty, které posunují vodík na čelní místa v hodnocení alternativních paliv. To, že se s vodíkem v budoucnosti počítá, dokazují investice všech předních výrobců automobilů, ropných společností i zájem jaderného průmyslu podílet se vývoji technologií pro masovou výrobu vodíku. Vodík (Hydrogenium - H) je nejhojnějším prvkem ve vesmíru a třetím nejhojnějším prvkem na Zemi. Volný vodík tvoří 75 % materiálu všech viditelných hvězd a galaxií a v pozemských zdrojích je zastoupen téměř výhradně ve formě sloučenin. Je nejjednodušší ze všech prvků. V palivových článcích slouží jako přenašeč energie. Většina, vodíkových jader je tvořena pouze z jednoho protonu. Vodík může být vyráběn mnoha způsoby z širokého spektra vstupních zdrojů. V celosvětové produkci vodíku dominuje v současné době výroba z fosilních paliv. Podrobněji následující obrázek 8. [11]



Obrázek 8 - Celosvětová produkce vodíku [11]

Využívání takto vyrobeného vodíku může pomoci lokálně snížit produkci některých zdraví poškozujících látek. Další možností je výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. Vodík se získává pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotního rozkladu vody a nebo zplynováním.

Pro výrobu vodíku přímo z vody se jeví vhodné také některé vyvíjené jaderné reaktory čtvrté generace. Vysoká teplota chladiva na výstupu z reaktoru je postačující pro některé perspektivní chemické cykly i vysokoteplotní elektrolýzu. Hlavním motorem rozvoje vodíkového hospodářství je nalezení alternativy k využívání fosilních paliv a to především v dopravním sektoru. Každý den je na světě vyprodukováno přibližně 1,4 mld. Nm³, neboli 127 tis. tun vodíku. Hlavní výhodou vodíku je především čistota spalování. Negativním prvkem je, že se vodík v pozemských podmínkách téměř nevyskytuje v čisté formě, čímž vzniká problém při jeho získávání a zpracování. [11]

3.1 Nejběžnější výrobní technologie vodíku

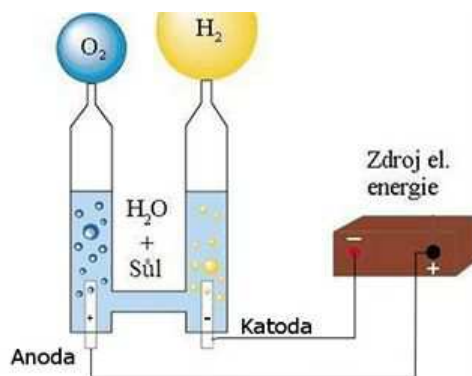
Parní reforming zemního plynu:

Tato technologie je v současnosti nejlevnějším a nejrozšířenějším způsobem výroby vodíku. Teplo pro reformní reakci i následnou konverzi oxidu uhelnatého je dodáváno z přímého spalování části zemního plynu.

Elektrolýza

Elektrolýza je proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

H⁺ poté reaguje na katodě za vzniku plynu, který je následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho chod je nutná pouze elektrická energie. Tímto způsobem jsou vyrobeny asi 4 % z celkové světové produkce vodíku. [12]

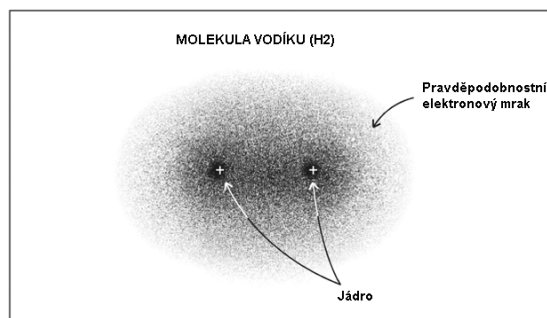


Obrázek 9 - Schéma elektrolýzy vody [12]

Ideální napětí je 1,229 V, ale reálné napětí se pohybuje v rozmezí 0,85 – 0,9 V. Výstupem elektrolýzy je kyslík a vysoce čistý vodíkový plyn. Elektrolýza je výhodná zejména tam, kde je levná elektřina a dostatek vody. Výhoda elektrolýzy je možnost použití různých zdrojů vstupní energie a vysoká čistota elektrolytického vodíku. Nevýhodou jsou vysoké náklady na membránu v elektrolýzátoru a vysoké ceny el. energie. Celková účinnost elektrolýzy se pohybuje přibližně v rozmezí 25 - 35 %. [12]

3.2 Atomová struktura vodíku

Vodíkový atom si můžete představit jako husté centrální jádro, které obíhá jeden elektron, stejně jako jedna planeta na oběžné dráze kolem Slunce. Vědci dávají přednost představě elektronu, že jádro obklopuje.



Obrázek 10 - Atomová struktura molekuly vodíku [převzato z internetu]

Ve většině atomů vodíku se jádra skládají z jednoho protonu. Existují i další formy vodíku. Deuterium obsahuje jeden proton a jeden neutron. Tritium obsahuje dva neutrony a jeden proton. Izotop tritia je nestabilní a jeho rozklad je radioaktivní. Většina hmotnosti vodíkového atomu je koncentrována v jeho jádře. Ve skutečnosti je proton více než 1800krát těžší než elektron. Neutrony mají téměř stejnou hmotnost jako proton. Průměr elektronové oběžné dráhy, který definuje velikost atomu, je přibližně 100 000krát větší než průměr jádra. Je zřejmé, že vodíkové atomy se z větší míry skládají z prázdného prostoru. Proton má kladný (pozitivní) elektrický náboj, elektron má záporný (negativní) elektrický náboj. Neutrony nenesou náboj. Náboje protonů a elektronů každého atomu vodíku se navzájem zruší tak, že jednotlivé atomy vodíku jsou elektricky neutrální. Chemicky je jeden elektron obíhající jádro velmi reaktivní. Z toho důvodu se atomy vodíku samovolně spojují do molekul obsahujících dva atomy vodíku.

3.3 Skladování vodíku

Vodík je možné skladovat několika způsoby. V podobě stlačeného, zkapalněného vodíku. U stlačeného vodíku nám stačí zajistit nádobu, která vydrží vysoký tlak, u kapalného vodíku je třeba navíc udržovat velmi nízkou teplotu. Při teplotě 14K se vodík udržuje v rovnováze s pevným a kapalným skupenstvím. Dalším snížením teploty se vodík stává pevnou látkou a následným zvýšením tlaku získáme kovový vodík. Vývoj bezpečného, cenově dostupného a energeticky efektivního způsobu uskladnění vodíku je klíčový pro budoucnost vodíkových technologií a palivových článků. Vodík má ze všech paliv nejmenší hustotu a nejnižší bod varu, což značně komplikuje jeho skladování.

Vodík jako plyn

Tento způsob je nejčastějším způsobem skladování vodíku. Stlačený vodík je obdobný stlačenému zemnímu plynu. Vodík má menší hustotu, v důsledku čehož jsou zvýšeny

požadavky na těsnění kompresorů. Vodík je pro uskladnění obvykle stlačen na požadovaný tlak 200 až 350 barů a je uchováván v nádobách. [12][7][15]

Vodík jako kapalina

Běžně využívaná fosilní paliva je možné skladovat v kapalném stavu za běžných teplot a při relativně nízkých tlacích. Oproti tomu kapalný vodík je skladován při teplotě -253 °C , s tím souvisejí zvýšené nároky na použité materiály a vysoké energetické nároky na zkapalnění. Tato metoda je velice složitá, neboť musíme být schopni trvale chladit vodík na teplotu nižší než -253 °C . Proces ochlazení a komprese přitom znamená až 30 % ztrát energie, kterou v sobě vodík uchovává. Výhodou tekutého vodíku je jeho vysoký energetický obsah, třikrát vyšší než u benzínu. Vodík je tedy palivo s nejvyšším energetickým obsahem, jaké člověk využívá (mimo nukleární energie). [12][15]

3.4 Využití vodíku

Využití vodíku jako paliva kompletně eliminuje veškeré znečišťující emise. Jediným doprovodným produktem výroby elektrické energie z vodíku a kyslíku je čistá voda. V současné době je vodík velmi atraktivní komoditou. Hlavními důvody zájmu mnoha světových výrobních společností o vodík jsou ekonomická výhodnost a rychlost růstu spotřeby vodíku. Vodík je dále používán k hydrogenační úpravě motorových paliv. Jistá část vodíku je používána v jiných odvětvích průmyslu, např. průmysl metalurgický, elektronický, farmaceutický a potravinářský.

První vodíková stanice v České republice byla otevřena 5. 11. 2009 v areálu firmy Veolia Transport v Neratovicích. Tato stanice vznikla na základě projektu vodíkového autobusu Triple Hybrid Hydrogen Bus, který jezdí na městské lince v Neratovicích. [13]



Obrázek 11 - Pohled na vodíkový autobus [13]

Provoz je cenově srovnatelný s dnešními palivy, přepočteno na energii, kterou potřebujeme na ujetí nějakého počtu kilometrů. Za předpokladu, že cena klasických paliv bude vzrůstat, potom výhodnost vodíku jako paliva bude stále větší, protože náklady na jeho výrobu jsou prakticky konstantní. Takový článek pracuje na obráceném principu elektrolýzy vody. Hodně zjednodušeně řečeno, na jednu elektrodu je přiváděn vodík, na druhou kyslík nebo vzduch a můžeme z elektrod odebírat elektrickou energii. Podstatné je, že chybí proces spalování a palivový článek nemá žádnou pohyblivou část. Účinnost takového článku je vysoká. Je asi dvojnásobná oproti klasickému spalovacímu motoru. [13]

3.5 Bezpečnost při použití vodíku

Téměř všechna paliva jsou nějakým způsobem nebezpečná. Vysoká hustota energie, hořlavost a výbušnost jsou vlastnosti, které jsou společné všem druhům paliv. Skladování takových paliv v prostoru vozidla představuje riziko vznícení, případně výbuchu paliva vně spalovací komory tepelného motoru nebo palivového článku. Vodík není v tomto ohledu výjimkou, přesto je jeho chování v mnoha ohledech velmi odlišné od stávajících fosilních paliv.

- Vodík tvoří spolu se vzduchem hořlavou a výbušnou směs
- Při rychlé expanzi může dojít k samovznícení.
- Vodík má velmi nízkou zápalnou energii
- Nízká viskozita a malá velikost vodíkové molekuly kladou zvýšené nároky na utěsnění palivové soustavy.
- Únik vodíku není možné rozpoznat lidskými smysly.
- Velmi nízká hustota plynu napomáhá rychlému rozptýlu do okolí
- Nebyly zjištěny toxické účinky na člověka, při hoření nevznikají toxické zplodiny.
- Za denního světla není vodíkový plamen téměř viditelný.

Například vzplanutí vodíkové nádrže na vozidlo i menší riziko pro posádku. Na následující obrázku je test úniku a následného vznícení vodíku oproti benzínu.



Obrázek 12 - Test úniku a vznícení vodíku z vozidla [15]

Při destrukci nádrže stoupá vodík díky své nízké hustotě velmi rychle vzhůru a případný požár vzniká ve větší míře vně vozidla. Bezpečnost se dá dále zvýšit vhodným umístěním skladovací nádrže (například na střeše). [15]

3.6 Vodík jako palivo pro vozidla

Abychom mohli hodnotit vodík jako palivo, je třeba připomenout několik základních chemicko-fyzikálních parametrů vodíku a srovnat je s běžně využívanými fosilními palivy. Vodík má nejnižší hustotu a druhý nejnižší bod varu ze všech známých látek. Přibližně $20\text{K} = -253\text{ °C}$. Má ale také největší výhřevnost ze všech uvažovaných paliv. Pro většinu aplikací je však mnohem důležitějším parametrem hustota energie. Kapalný vodík má přibližně desetinovou měrnou hustotu a přibližně čtvrtinovou hustotu energie ve srovnání s benzínem. Pokud uvažujeme o použití vodíku pro mobilní aplikace, je technologicky

mnohem jednodušší použít stlačený vodík. Podle použitého tlaku je hustota energie až dvanáctinásobně nižší oproti benzínu. Obtížné uskladnění v současné době značně komplikuje využívání vodíku v mobilních aplikacích. Každá větší automobilka má jeden nebo několik prototypů vozidel s palivovými články, které se chystají uvést na trh v blízké budoucnosti. Současnost v oblasti palivových článků by se dala charakterizovat jako období intenzivního vývoje a výzkumu, demonstračních projektů a příprav pro uvedení na trh. Hlavním cílem je zkonstruovat ekologicky čistou náhradu pístových spalovacích motorů, ovšem za přijatelnou cenu. O vodíku se již dlouho uvádí, že je palivem budoucnosti. Jeho největší přednosti jsou možnosti výrazného snížení obsahu škodlivých emisí ve spalinách a velká výhřevnost kilogramu vodíku. Prakticky vodík může být palivem v kterémkoliv ze současných druhů spalovacích motorů, jako je pístový, proudový, nebo raketový. Motory k tomu musí být ovšem upraveny, ale odpadají nám emise CO a CO₂. Nezbytné úpravy se týkají spalovacího prostoru motoru, palivové soustavy a nádrží ve vozidle. Vně vozidla musí být vybudován samostatný systém distribuce a plnění vodíkového paliva. Výdejní stojany nádrže a systém rozvozu. U vodíku to však bude technicky náročnější než u LPG a CNG. [13]

Vysoká výhřevnost kilogramu vodíku je lákavá, ale v praxi je také důležité, kolik kilogramů bude přitom vážit a kolik místa ve vozidle zabere silnostěnná a tepelně izolovaná palivová nádrž. Vozidlo s dojezdem 500 km bude mít tedy přibližně čtyřikrát až šestkrát objemnější nádrž oproti vozidlu spalujícímu benzín a dvakrát až třikrát vyšší hmotnost nádrže. Hmotnostní kapacita je závislá především na materiálu skladovací nádoby. Nejlepšího výsledku dosáhlo vozidlo na "vodíkový pohon" ze Švýcarska se spotřebou 1litr paliva na 1800km. Vodík je předmětem současného intenzivního výzkumu jako potenciální palivo pro motorová vozidla. Využití vodíku v dopravě je v podstatě dvojitě.

4 Palivové články

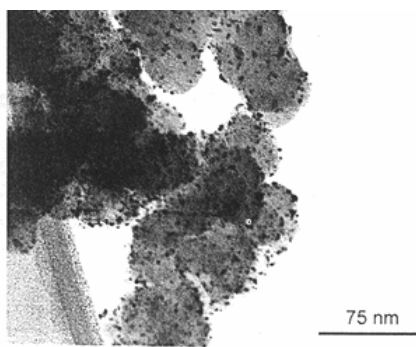
Můžeme si tedy položit otázku, co jsou to palivové články, na jakém principu jsou založeny? Palivový článek je zařízení, které při elektrochemické reakci přeměňuje chemickou energii na energii elektrickou. Oproti tepelným strojům s generátorem el. energie dosahují palivové články při výrobě elektrické energie vysokých účinností, a to až 60 % v laboratorních podmínkách. Reálná účinnost dosahuje 40-55 %, dle zatížení a typu palivového článku. Vysoká účinnost je dána zejména tím, že přeměna energie je přímá, nikoliv přes mezistupně jako je tomu např. u spalovacích motorů. Palivové články sice samy nejsou motorem, protože neprodukují přímo mechanickou práci, ale ve spojení s elektromotorem mohou vytvořit kvalitní pohon vozidla. Palivové články samy o sobě nepředstavují žádný pohon. Palivový článek se skládá ze dvou elektrod, které jsou odděleny membránou nebo elektrolytem. Jako palivo pro palivové články je nejvhodnější vodík. Jenže ten je vysoce výbušný. Palivový článek je měnič, v němž se uvolňuje chemická energie během oxido-redukční reakce a transformuje se v energii elektrickou.

Získanou elektrickou energii můžeme použít k napájení elektromotoru, který může pohánět např. vozidlo. Ale co je to vlastně ten palivový článek?

K jedné elektrodě palivového článku přivádíme vodík a ke druhé elektrodě kyslík nebo kysličovadlo. Za přítomnosti katalyzátoru zde dochází k chemickému slučování kyslíku a vodíku na vodu, přitom na elektrodách vzniká elektrické napětí a mimo to reakce produkuje obvykle i teplo. Nevznikají žádné výbuchy ani žádné škodlivé emise, pouze vodní pára. Probíhá přeměna energie paliva na elektrickou energii. Jediná nevýhoda je cena. V mobilních zařízeních a také v automobilech lze použít články s polymerní membránou. Například automobily vybavené takovými palivovými články by bylo možné „nabíjet“ přímo doma nebo na dobíjecích stanicích. Oproti automobilům na elektřinu zde odpadá nutnost vybíjet akumulátory před každým nabíjením pro zachování kapacity. Navíc je zde však nutné vyrobený vodík stlačit nebo navíc i chladit a to může být energeticky náročné. Vznikající elektrické napětí je teoreticky okolo 1,23 voltu a závisí na typu paliva a kvalitě článku. Dnes nejpoužívanější článek dosahuje nejčastěji napětí 0,9V. Aby se dosáhlo vyššího napětí, zařazuje se více palivových článků do série. [12]

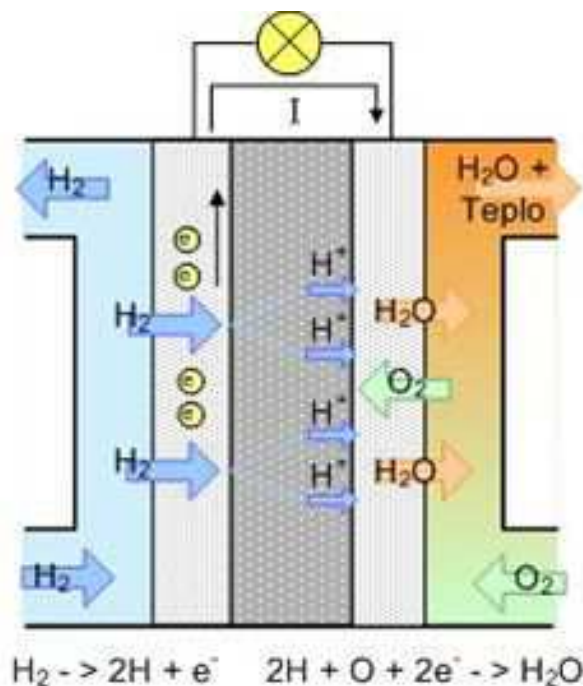
4.1 Zjednodušený popis principu funkce palivového článku

Princip palivového článku lze nejnázorněji objasnit na palivovém článku s polymerní membránou. Tento článek se skládá ze dvou elektrod, na jejichž povrchu se nachází slabá vrstvička uhlíku (většinou ve formě grafitu) obsahující malé množství platiny, která zde slouží jako katalyzátor.



Obrázek 13 - Grafit s rozptýlenými částicemi platiny (tmavé tečky) [12]

Elektrody jsou od sebe odděleny tenkou polymerní membránou, která propouští kladně nabitě ionty – protony. Vodík je přiváděn k anodě, kde na povrchu katalyzátoru dochází k jeho disociaci na protony a elektrony. Protony procházejí skrze polymerní vrstvu, elektrony jsou nuceny procházet externím okruhem a mohou tedy konat užitečnou práci. Na katodě pak sloučením dvou kladně nabitých vodíkových iontů (protonů), dvou elektronů a atomu kyslíku vzniká voda, vzhledem k provozní teplotě palivového článku obvykle v podobě páry. Tato voda je pak spolu s elektrickou energií jediným produktem reakce. Na stranu katody je přiváděn čistý kyslík. [14][12]



Obrázek 14 - Princip palivového článku [14]

4.2 Čtyři základní skupiny využití palivových článků

a) Přenosné palivové články

Jedná se o zdroje elektrické energie pro elektrické přístroje, jaké jsou např. notebooky, digitální fotoaparáty a vysílačky. Jmenovitý výkon je v řádu desítek wattů a většinou se jedná o nízkoteplotní články (membránové, nebo etanolové palivové články).

b) Mobilní palivové články

Zdroje elektrické energie pro nejrůznější dopravní prostředky. Jmenovitý výkon se u těchto palivových článků pohybuje v řádech desítek kilowattů na bázi iontoměničných membrán, které jako palivo využívají především plynný či zkapalněný vodík. Např. jízdní kola, malé automobily, vozítka, autobusy a lodě.

c) Stacionární palivové články

Používají se jako zdroje elektrické a tepelné energie s širokým rozsahem instalovaných výkonů. Především se používají jako zdroje energie a tepla pro byty, rodinné domy, administrativní budovy, hotely, nebo jako záložní zdroje. Pro toto použití se hodí všechny typy článků, s výjimkou alkalických a přímých methanolových. Většinou se jako palivo používá zemní plyn, který se na vstupu do palivového článku přeměňuje na vodík.

d) Speciální palivové články

Zařízení určené především jako zdroje pro kosmický výzkum. Výhodou je stabilita a jejich vysoká provozní spolehlivost. [8]

4.3 Typy palivových článků

Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Jako elektrolyt slouží iontoměničová polymerní membrána, která je výborným protonovým vodičem. Vzhledem k tomu, že jedinou kapalinou v tomto typu je voda, jsou minimalizovány problémy s korozí. Voda se nesmí odpařovat rychleji než je produkována. Vysoký stupeň hydratace membrány je podmínkou pro její dobrou protonovou vodivost. Operační teplota je limitována použitým polymerem, většinou je nižší než 120°C. Palivem je v tomto případě čistý vodík, nebo methanol.

Alkaline Fuel Cell (AFC)

Pracuje při vyšších teplotách kolem 250°C. Elektrolyt je udržován v porézním materiálu, kterým je ve většině případů azbest. Výhodou tohoto typu je možnost využití širokého spektra katalyzátorů. Největším problémem je čistota paliva a oxidačního činidla, kdy i malé množství CO₂ způsobuje znehodnocování elektrolytu.

Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

Tento druh pracuje při 150-220°C, přičemž jako elektrolyt používá 100% kyselinu fosforečnou. Kyselina fosforečná je stabilnější než ostatní běžné kyseliny, proto je schopná pracovat v širokém rozsahu teplot. Navíc použití 100% kyseliny minimalizuje parciální tlak vodních par, takže udržet správný vodní režim není složité.

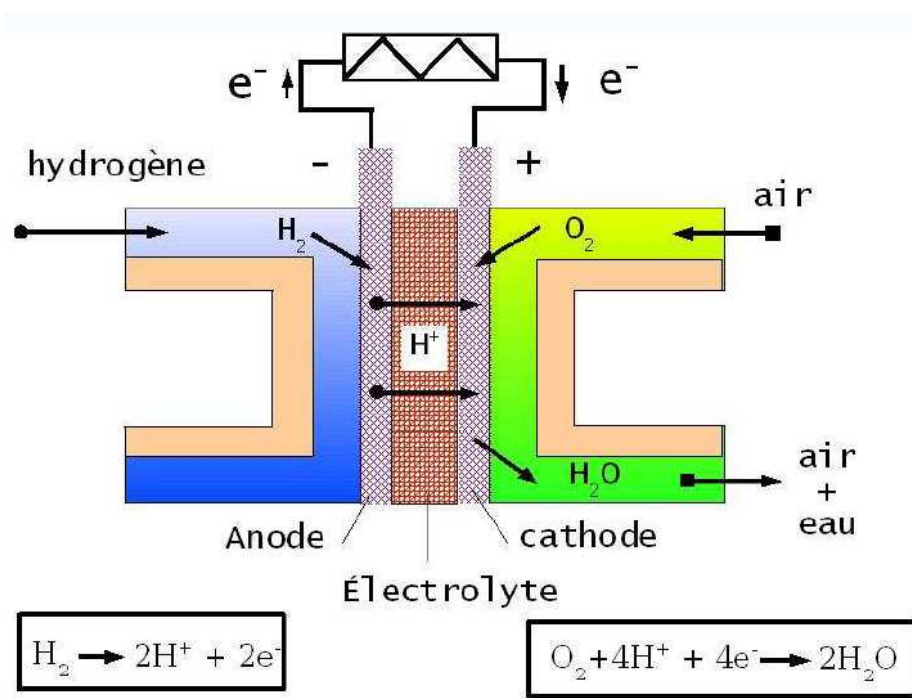
Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

Elektrolytem je většinou směs alkalických uhličitánů. Provozní teplota je od 500°C do 700°C. V tomto rozmezí tvoří směs uhličitánů vysoce vodivou roztavenou sůl, ve které zprostředkovávají vodivost uhličitánové ionty. Díky vysokým teplotám není nutné používat vzácné kovy pro katalyzátory, využívá se Ni pro anodu a NiO pro katodu.

Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

Tento typ je výjimečný tím, že jeho elektrolyt je pevný, neporézní kovový oxid. Pracovní teplota je 600-1000°C, přičemž vodivost zprostředkovávají kyslíkové anionty. Skutečnost, že elektrolyt je pevný, má velký význam pro zjednodušení systému, vyskytují se zde na rozdíl od všech ostatních typů pouze dvě fáze, pevná a plynná. [9]

4.4 Reakce palivového článku



Obrázek 15 - Reakce palivového článku [1]

Palivem je vodík, který je na anodě katalyticky přeměněn ionty H⁺. Uvolněné elektrony jsou navázány anodou a vytváří elektrický proud, který proudí přes elektrický spotřebič ke katodě. Na katodě se oxidační činidlo, kterým je kyslík, redukuje na anionty a ty pak reagují s H⁺ ionty a přeměňují se na vodu.

Oxidace-odevzdání elektronu: Anoda: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

Katoda: $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$

Redukce přijmutí elektronu: $2\text{O}^{2-} + 4\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Souhrn: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ [1]

5 Spínané zdroje

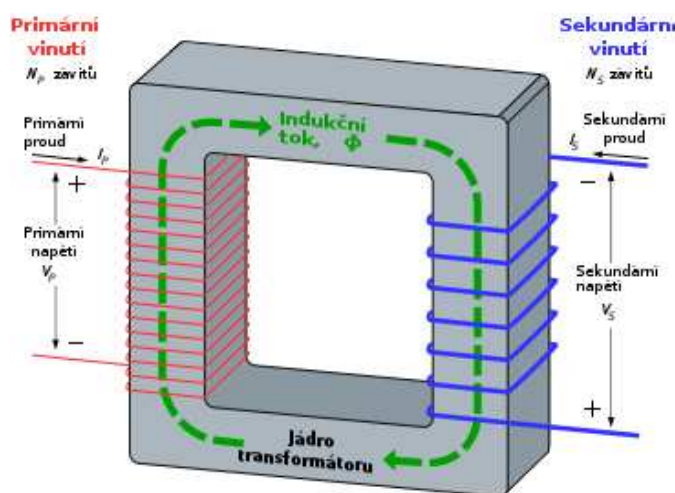
Spínané zdroje se v dnešní době velice používají a to ve všech odvětvích elektroniky. Začaly se objevovat až s příchodem výkonných spínacích tranzistorů většinou typu MOSFET. Najdeme je v počítačích, moderních nabíječkách a dalších zařízeních. Výhodou spínaných zdrojů je jejich malá velikost, zejména velikost transformátoru, který má ve srovnání se síťovým transformátorem shodného výkonu mnohem menší rozměry. Např. zdroj v PC o výkonu 350W váží cca 0,5kg. Nevýhodou může být rušení, které vzniká při spínání výkonových tranzistorů. Toto rušení může vadit v Audio technice, kde by se mohlo projevit nepříjemným pískotem, nebo ve VF technice, kde by mohlo docházet k modulaci

spínacího kmitočtu. Dá se částečně odfiltrovat, ale zpravidla nedosáhneme kvality zdroje lineárního. Z transformátorové rovnice můžeme jednoduše dokázat funkci a výhodnost spínaných zdrojů.

$$U_{ef} = 4,44 * f * S * B * N^2$$

- U_{ef} – efektivní hodnota indukovaného napětí [V]
- 4,44 - konstanta ($U_{EF} * \omega \Rightarrow \sqrt{2} * 2\pi f \Rightarrow 4,44$)
- f – frekvence napájecího napětí [Hz]
- S – průřez jádra transformátoru [m^2]
- B – magnetická indukce v jádře transformátoru [T]
- N^2 – počet závitů cívky transformátoru [závit]

Při použití klasického transformátoru, který pracuje s frekvencí 50Hz, nelze dosáhnout velké přesnosti stabilizace. Je těžší a objemnější, ale podstatně levnější. Jejich použití není omezeno přenášeným výkonem. Vyhovují pro méně náročné aplikace, kde nepotřebujeme extrémní stabilitu, přesnost a kde nejsou kladeny požadavky na zvlnění výstupního napětí. Konstrukci stabilizátorů s vyšším pracovním kmitočtem umožnila výroba polovodičových a výkonových spínacích součástí, feritových jader a malých kondenzátorů s velkou kapacitou. Tyto zdroje jsou menší a lehčí. Při použití spínaných zdrojů, budeme pracovat např. s frekvencí 20kHz. Když zvýšíme frekvenci, dosáhneme vyššího indukovaného napětí. Vysoké napětí není potřeba, proto si můžeme dovolit snížit průřez vodiče a počet závitů na sekundární straně. Tím dostaneme stejné napětí jako s frekvencí 50Hz. Proto používáme daleko menší transformátor. Účinnost bude téměř zachována a v některých případech bude naopak i daleko lepší. Výrobci dodávají často řídicí obvody v integrované verzi. Zpravidla stačí připojit cívku a kondenzátor a impulsní zdroj je hotov. [17]

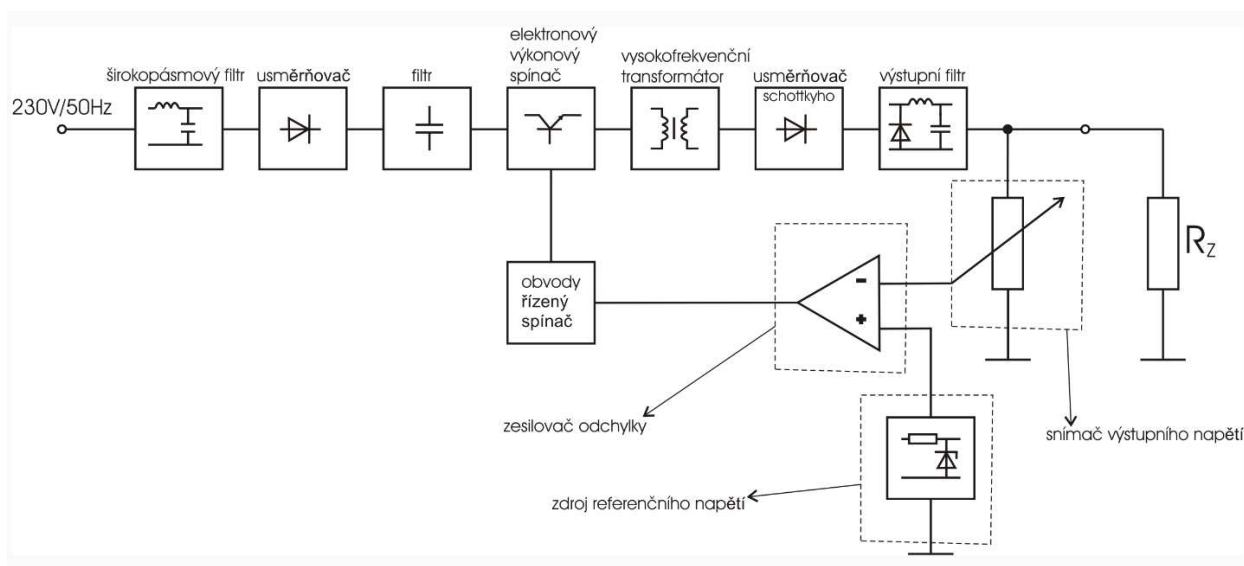


Obrázek 16 - Transformátor podrobný popis[25]



Obrázek 17 - Ukázka klasického síťového vinutého transformátoru [převzato z internetu]

5.1 Blokové schéma spínaného zdroje, popis

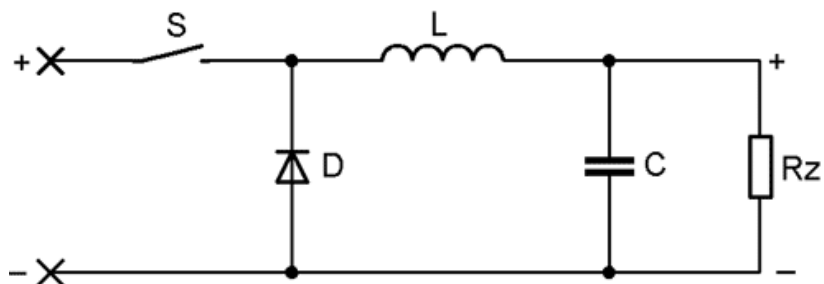


Obrázek 18 - Klasické obvodové zapojení spínaného zdroje [převzato z internetu]

Napětí přicházející z rozvodné sítě 230 V / 50 Hz, které nejdříve usměrníme pomocí diodového můstku a kondenzátoru, napětí vyhladíme. Širokopásmový filtr na vstupu zabraňuje pronikání rušivých signálů ze zdroje do sítě a minimalizuje napěťové zvlnění. Pak se napětí rozstřídá pomocí spínacích tranzistorů na frekvenci řádově desítek kHz. Tento spínací tranzistor je řízen zpětnovazebně v závislosti na výstupním napětí tak, aby při případné větší zátěži na výstupu došlo logicky k poklesu napětí a byl schopen změnit rychlost spínání a minimalizovat tak výstupní zkreslení. Takovýmto spínáním dostáváme za tranzistorem potřebný obdélníkový průběh. Toto napětí je přivedeno na primární vinutí vysokofrekvenčního transformátoru. Ze sekundární strany je napětí opět usměrněno, vyhlazeno a připraveno k použití. O stabilitu výstupního napětí se stará zpětná vazba, která je z výstupu zavedena do obvodu, který řídí spínání. Zdroj zpětné vazby je stejný jako u lineárních zdrojů, navíc je zde obvod buzený spínačem, který mění stejnosměrné napětí na obdélníkové napětí. Pokud bychom nepoužili v zapojení vstupní část, vzniklo by zapojení stejnosměrného měniče. [17]

5.2 Spínané zdroje s indukčností

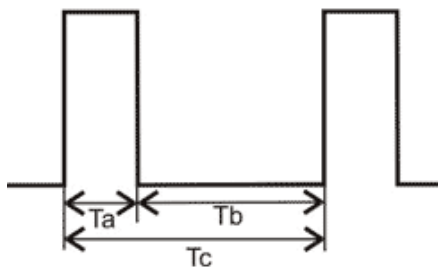
5.2.1 BUCK Snižující měnič STEP-DOWN



Obrázek 19 - Snižující měnič [17]

Pracovní cyklus regulátoru:

Podstata regulace spočívá v řízení vzájemných časových relací aktivního T_a a pasivního T_b intervalu pracovního cyklu. Celý pracovní cyklus se pak označuje jako T_c .



Obrázek 20 - Pracovní periody signálu [převzato z internetu]

Pracovní cyklus T_c může být ovládán těmito způsoby:

Konstantní interval T_a a proměnná perioda T_c , konstantní interval T_b a proměnná perioda T_c proměnný poměr intervalů T_a/T_b , konstantní T_c (PWM modulace).

Pokud chceme, kvalitnější zdroj je vhodné použít následující koncepci spínaného zdroje. Ne vždy je nutné měnič galvanicky oddělovat od vstupního napětí. Při bateriovém napájení je to dokonce i nevyhovující. Proto jsou i zdroje bez vstupního transformátoru. V době T_a je spínač S sepnut. V době T_b je spínač rozepnut. Pokud tedy dojde k sepnutí spínače S , dochází k nabíjení kondenzátoru C a tím stoupne i výstupní napětí. Pokud je spínač S rozepnut, tak se indukčnosti L snaží, aby směr a velikost proudu byla stejná. Při sepnutém spínači S došlo k naakumulování náboje, tím se tato energie mění na proud I_2 , kterým je dobíjen výstupní kondenzátor C . Dioda 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 . Pokud zvýšíme dobu sepnutí spínače S , tedy dobu T_a , nebo zkrátíme dobu T_b , vlivem změny času nabíjení a vybíjení kondenzátoru dojde k zvětšení výstupního napětí. Když budeme chtít, aby měnič

pracoval jako snižující, musíme zkrátit dobu sepnutí a tím zároveň zvýšit dobu rozepnutí spínače S. [18]

Matematicky popsané spínání a rozpínání kontaktů:

- sepnutí spínače S na dobu T_a - dojde k nárůstu proudu indukčností podle vztahu:

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

- rozepnutí spínače S na dobu T_b - proud cívkou bude mít stejný směr a velikost:

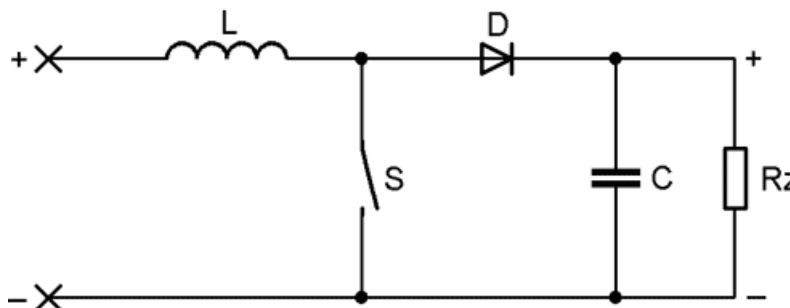
$$dI_1 = dI_2$$

- po úpravách získáme:

[18]

$$U_{OUT} = U_{IN} \cdot [T_a / (T_a + T_b)] = U_{IN} \cdot T_a / T = U_{IN} \cdot s \quad (s = T_a / (T_a + T_b); s \text{ je vždy } < 1)$$

5.2.2 BOOST Zvyšující měnič STEP-UP



Obrázek 21 - Zvyšující měnič [17]

V tomto případě se jedná o zapojení, kde na výstupním obvodu dostáváme napětí vyšší, než je vstupní napětí. V době sepnutí tranzistoru T_a se akumuluje energie v indukčnosti a proud zátěže je dodáván z kondenzátoru ve výstupním filtru. V okamžiku vypnutí tranzistoru T_b se napětí na cívce otočí a přičte se k napájecímu napětí. O toto napětí pak bude napětí na výstupu vyšší. V době T_a je spínač S sepnut, dochází k vybíjení kondenzátoru do zátěže. Pro zamezení vybíjení kondenzátoru je v obvodu, zapojena dioda D. Zdroj U_{in} , nám dodává stejnosměrné napětí do obvodu, teče proud I_1 , který jde přes cívku L a spínač S a dochází k akumulaci energie v magnetickém poli cívky. Proud, který prochází cívkou, narůstá až do rozpojení spínače, pak se bude indukčnost opět udržovat na velikosti a směru proudu I_1 , tím na cívce vznikne indukované napětí, které se sčítá s napětím vstupním. Výsledné napětí zdroje a napětí na indukčnosti společně dodávají proud I_2 do kondenzátoru C, který je zapojen na výstupu. Velikost indukovaného napětí U_{in} závisí na velikosti indukčnosti cívky L a rychlosti rozpínání spínače S (dt) a hodnotě proudu I_1 . Výstupní napětí je vždy vyšší než vstupní napětí, tím, že vzniká složením vstupního napětí a napětím indukovaným na cívce L. [18]

Matematicky popsané spínání a rozpínání kontaktů:

- sepnutí spínače S na dobu T_a :

$$U_{IN} * T_a / L = dI_1 \text{ - napětí na indukčnosti UL}$$

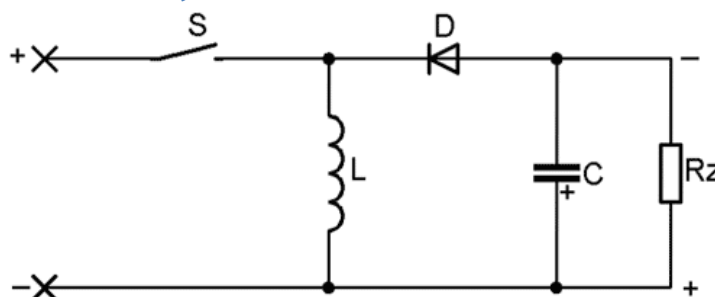
- rozepnutí spínače S na dobu T_b :

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

- po úpravách získáme:

$$U_{OUT} = U_{IN} / (1 - s) \quad (s = T_a / (T_a + T_b); s \text{ je vždy } < 1) \quad [18]$$

5.2.3 BUCK-BOOST Invertující měnič



Obrázek 22 - Invertující měnič [17]

Tento měnič otáčí polaritu vstupního napětí a upravuje napětí. Proto budeme mít napětí na výstupu opačné polarity než je na vstupu měniče. Existuje ještě další možnosti zapojení měničů, např. protitaktní nebo s více spínači. V době T_a je sepnut spínač S, přes který protéká proud I_1 a tím dochází k hromadění energie v cívce. V době T_b je spínač rozepnut a tím se snaží indukčnost, (podle Lenzova pravidla) zachovat směr a velikost proudu I_1 proudem I_2 . Proudem I_2 se začne kondenzátor 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} dostaneme výsledné napětí, to má opačnou polaritu oproti U_{in} a může nabývat jak vyšší, tak nižší hodnoty. [18]

Matematicky popsané spínání a rozpínání kontaktů:

- sepnutí spínače S na dobu T_a :

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

- rozepnutí spínače S na dobu T_b :

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

- po sloučení rovnic získáme vztah:

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

- Hodnota $s = t_1/(t_1+t_2)$ nabývá celkem 3 různých stavů:

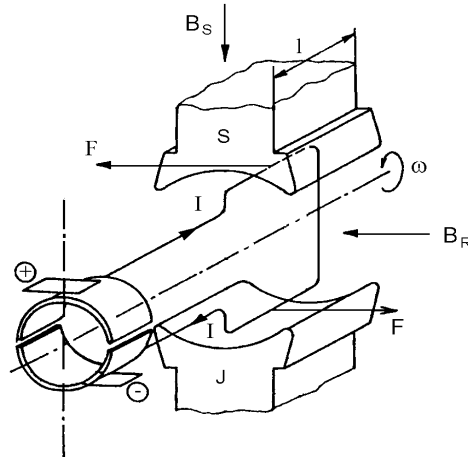
$$s < 0.5 \rightarrow U_{OUT} < - U_{IN}$$

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

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

[18]

6 Stejnosměrný motor



Obrázek 23 - Stejnosměrný motor [převzato z internetu]

6.1 Princip funkce stejnosměrného stroje

Stejnosměrné elektrické stroje se nejprve používaly jako generátory pro výrobu stejnosměrného proudu. Princip funkce spočívá v chování vodiče, který je umístěn v magnetickém poli. Vodič se buď pohybuje, např. dynamo nebo jím protéká elektrický proud např. motor. Počet pólů nemá vliv na rychlost otáčení. Motor využívá elektrickou energii. Ve vnitřním magnetickém poli se nachází smyčka, kterou protéká proud, ten indukuje magnetické pole, které je vždy orientováno stejně jako vnější magnetické pole. Toho je dosaženo díky komutátoru, který změni směr proudu smyčkou pokaždé, kdy dojde k překlopení. Energie této soustavy bude nižší, pokud budou magnetická pole orientována proti sobě. Proud protékající smyčkou se vlastně chová stejně jako permanentní magnet, který se může otáčet. Díky komutátoru se navíc dvakrát za otáčku změni jeho polarita. Jelikož souhlasné póly magnetů se odpuzují a je komutátor nastavený tak, že se polarita magnetů změni v okamžiku, kdy jsou jejich opačné póly nejbližší, budou na pohyblivý magnet neustále působit síly, které budou motor nutit k pohybu. Síla působící na jednotlivý vodič vytvoří točivý moment a rotor se točí. Za polovinu otáčky se prohodí vodiče, vlivem komutátoru se změni směr proudu a tím i orientace síly působící na vodič. Tím pádem dojde k pulzujícímu otáčení rotoru. Komutátor u motoru měni smysl proudu v cílce rotoru tak, že se rotor otáčí jedním směrem. [19]

Složení:

- STATOR – stojící pevné části a ROTOR - otáčející se části
- Stator je pevná část stroje. Je tvořen permanentními magnety, které vytvářejí mezi sebou magnetické pole, kde se otáčí rotor.
- Rotor je otáčející část stroje s magnetickým obvodem, vinutím a hřídelí, na které jsou nasazeny kroužky nebo komutátor.
- Síla působící na vodič, kterým protéká proud: $F = BIl$
- Indukované napětí v pohybuujícím se vodiči: $U_i = Blv = k\Phi\omega$
- Elektromagnetický moment: $M = k\Phi I$

I - proud procházející vodičem, B – magnetická indukce, l – délka vodičů

6.2 Výhody a nevýhody stejnosměrného motoru

Výhody

- snadné řízení se provádí změnou budícího napětí na rotoru
- lineární charakteristika závislosti otáček na budícím napětí rotoru

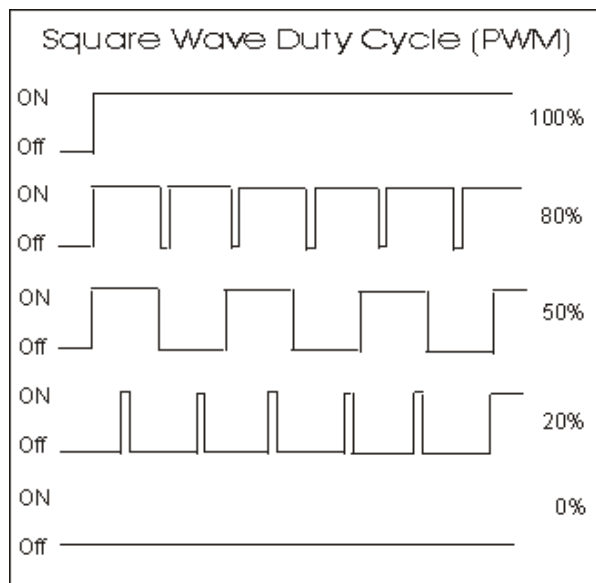
Nevýhody

- u komutátoru je nutná údržba uhlíkových kartáčů. Vzniká zde také jiskření, které v kombinaci s průmyslovým prachem může zapříčinit výbuch, konstrukčně náročné, rozměrné

6.3 PWM regulace otáček stejnosměrného motoru

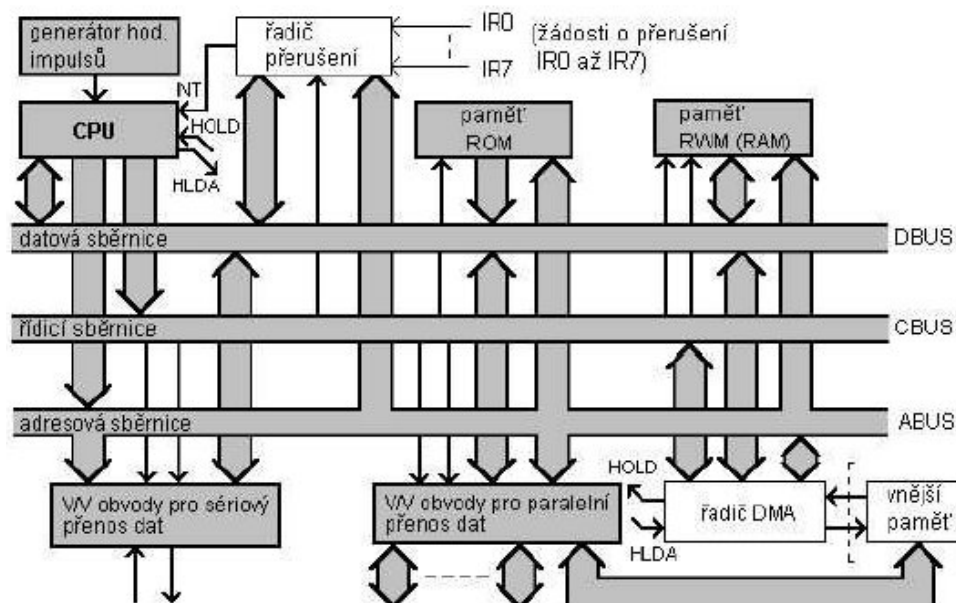
Otáčky stejnosměrných motorů se dají řídit, tak že budeme měnit stejnosměrné napětí. Avšak moc výhodné z hlediska účinnosti to není. Výhodnější je použití pulzně šířkové modulace, která funguje tak, že chvíli je kladné napětí a chvíli je nulové napětí. Takto regulovaný motor má větší sílu i při nižších 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 sekání. Pokud je poměr 1:1, pak je výkon motoru přesně poloviční oproti tomu, kdybychom motor připojili nastálo ke zdroji. Zvyšováním střídy se otáčky motoru zvyšují. Čím je delší kladný pulz oproti nulovému pulzu, tím roste výkon i otáčky motoru. Výstupní napětí je dáno poměrem periody, kdy motor běží, ku poměru, kdy motor neběží.

[20]



Obrázek 24 - Princip PWM regulace [20]

7 Mikropočítač a obecné schéma mikropočítače s blokovým schématem CPU



Obrázek 25 - Schéma mikropočítače [převzato z internetu]

Mikroprocesor, neboli CPU, je základní jednotkou mikropočítače, řídí jeho činnost. Monolitický mikroprocesor se skládá z jediného pouzdra. Řezový mikroprocesor se skládá z několika pouzder.

Základní části mikroprocesoru:

- aritmetickologická jednotka (ALU)
- registry (univerzální a jednoúčelové)
- řídicí obvody (řadič)

Mikroprocesor sám o sobě nemůže vykonávat žádnou činnost. Musí být doplněn pamětí s uloženým programem a daty, pro komunikaci s okolím jsou nutné vstupní a výstupní obvody. Tak vznikne základní sestava mikropočítače:

Mikropočítač = mikroprocesor + paměť + obvody vstupu a výstupu.

Mikropočítač neboli mikrokontrolér je elektronická součástka, nejčastěji v podobě integrovaného obvodu. Mikropočítač je zařízení (počítač) s jedním nebo více procesory. V dnešní době je mikropočítač součástí téměř každého elektronického zařízení a to hlavně z důvodu, že dokáže nahradit nesmírně velké množství elektronických součástek. Mikropočítač je někdy špatně označován za procesor, ale samotný procesor je uvnitř mikropočítače spolu s dalšími zařízeními. Mikropočítač je, na rozdíl od mikroprocesoru, plně soběstačná součástka, je schopen samostatné a smysluplné činnosti, pokud je do jeho paměti vložen program. Program se skládá z jednotlivých příkazů, které se nazývají instrukce. Každá instrukce předepisuje jednoduchou dílčí operaci mikroprocesoru (např. přesun dat mezi registry, mezi registrem a pamětí, vykonání aritmetické operace). Princip činnosti mikroprocesoru spočívá v postupném čtení jednotlivých instrukcí z paměti, jejich dekódování a provádění určené činnosti. Instrukce jsou v paměti uloženy v tzv. strojovém kódu, to znamená jako kombinace nul a jedniček. Tato kombinace nul a jedniček je pro každou instrukci specifická a představuje její operační znak. Součástí instrukce, kromě operačního znaku, mohou být také data, s kterými mikroprocesor vykoná předepsanou operaci nebo adresa, ukazující na určité místo v paměti. Mikroprocesor ovšem nezjistí, zda je v paměti uložen program nebo je její obsah náhodný. Co z paměti načteme, považujeme za instrukce. Mikropočítač se skládá z výše vyjmenovaných částí, přenos signálů mezi nimi se uskutečňuje prostřednictvím sběrnic.

Kromě základních částí je na obrázku 39 znázorněn řadič, přerušení a řadič DMA. Obsahuje také 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 může obsahovat watchdog, který v případě chyby aktivuje reset. Důležitou součástí je též blok logiky přerušení, sloužící k obsluze podprogramů. Čítač/časovač zajišťuje generování časových intervalů. Pomocí bloku sériový kanál se připojuje MCU například k PC. [21]

7.1 Jednotlivé bloky

- Mikroprocesor je centrální jednotka počítače. Vykonává program a na jeho základě zpracovává data. Jedna součástka, není však schopna samostatné funkce. Počítač bez periférií a bez pamětí. Základem je řadič + ALU:

- Řadič podle programu dává pokyny ke zpracování dat, produkuje výstupní data a řídí činnost.
- ALU podle pokynů řadiče se provádí jednotlivé výpočty a zpracovávají data. Provádí se aritmetické a logické operace nad vstupními daty.
- Mikro počítač je zařízení (počítač) s procesorem, pamětí a I/O obvody
- Činnost CPU má několik úrovní abstrakce od obvodů CPU: Hodinový cyklus → fáze → strojový cyklus → instrukční cyklus
- Hodinový cyklus - CPU je synchronní obvod – nutné hodiny (f_{CLK})
- RI - Obsahuje aktuální, právě vykonávanou instrukci. Podle jejího obsahu řídí dekodér instrukcí činnost procesoru
- DI - dekoduje instrukce
- Soubor registrů (register file). Zvláštní paměťové buňky, integrovány na čipu CPU
- PC (program counter) je v něm uložena adresa instrukce, které mají být vykonány
- SP (stack pointer) je ukazatel na zásobník. Zásobník je specifické místo v RAM, kam jsou ukládána dočasná data.
- Instrukce je kódovaný příkaz (číslo) k vykonání strojové operace
- Instrukční cyklus je doba potřebná pro vykonání jedné instrukce. Nejnižší úroveň přístupná programátorovi

Strojové cykly:

- IF = instruction fetch, čtení instrukce
- ID = instruction decode, dekodování instrukce
- OF = operand fetch, čtení operandů
- IE = instruction execution = vykonání instrukce
- WB = result store, zápis výsledku

7.2 Dělení mikro počítačů

Nezákladnější dělení mikro počítačů je podle typu vnitřní architektury:

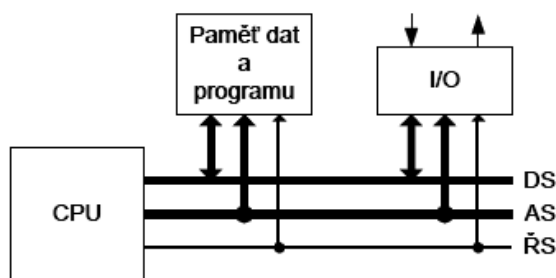
Architektura je uspořádání jednotlivých komponent mikro počítače. Má zásadní vliv na výkon a možnosti práce systému. Architektura CPU je znalost vnitřní struktury CPU (časování, instrukční soubor, způsoby práce s pamětí.)

- Von Neumannovo schéma – společná paměť programu a dat
- Harwardské schéma – oddělená paměť programu a dat

Dále můžeme dělit mikro počítače podle toho, s jakou instrukční sadou pracují procesory:

- CISC (Soubor s kompletní instrukční sadou)
- RISC (Soubor s redukovanou instrukční sadou)

7.2.1 Von Neumannovo schéma - společná paměť dat a programu



Obrázek 26 - Von Neumannovo schéma [21]

Výhody

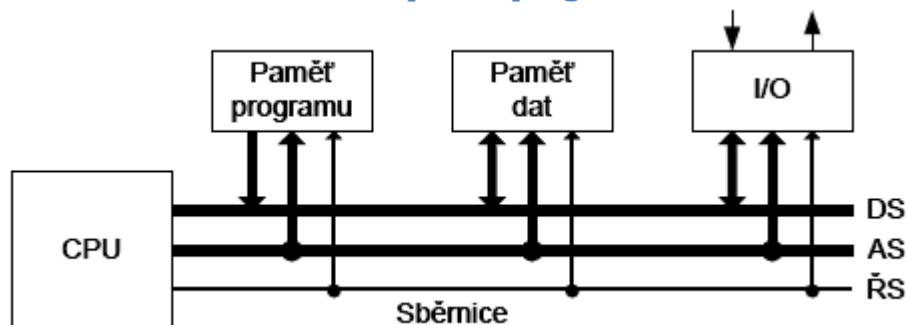
- Možnost zpracovávat program jako data, možnost samočinného vývoje (lze napsat program, jehož výstupem je jiný program)
- Možnost krátkých programů s velkým objemem dat, tak i dlouhých programů s malým objemem dat – univerzální pro různé algoritmy

Nevýhody

- program+data = jedna paměť, proto může dojít k přepsání programu daty
- Koncepce tvoří brzdu výkonu, neustálými přesuny instrukcí a daty mezi rychlejším CPU a pomalou RAM po stejné sběrnici – nelze přenášet najednou data i program. Pro zmírnění vyrovnávací paměť (cache).

Roku 1946 matematik John von Neumann vymyslel schéma univerzálního počítačového stroje a to hlavně pro potřebu složitých výpočtů na návrh vodíkové bomby. Vytvořil základ architektury většiny současných „stolních“ počítačů. Vstupní/výstupní periferie (I/O) poskytují možnost komunikace s okolním. Aritmeticko logická jednotka (ALU) provádí aritmetické a logické operace na datech, např. sčítání. Řadič řídí tok informací mezi komponentami pomocí řídicích, adresových a datových linek, což jsou sběrnice. Tuto architekturu využívají běžné PC, kde máme data a program uloženy společně na pevném disku a v operační paměti. [21]

7.2.2 Harwardské schéma - oddělená paměť programu a dat



Obrázek 27 - Harwardská architektura [21]

Zásadní znak této technologie jsou oddělené paměti pro program a data. Lze načítat data i program zároveň, moderní CPU pro PC představují kombinaci obou přístupů (z vnějšku se CPU chová jako von Neumann, uvnitř jako Harvard, což je oddělená cache pro instrukce a pro data). Harwardskou architekturu využívají jednočipové mikrokontroléry, protože během zápisu například načítaných dat nemůže dojít k přepsání programu a také nedochází k ovlivňování mezi programem a daty, protože jsou uloženy odděleně. [21]

7.3 CISC – soubor instrukcí s kompletní sadou

(Complex Instruction Set Computer) je vývojově starší, dnes postupný ústup ze slávy. Řídící obvody CISC architektury zabírají kolem 65% místa na čipu. [21][22]

7.4 RISC – soubor instrukcí s redukovanou sadou

(Reduced Instruction Set Computer) Řídící obvody RISC architektury zabírají kolem 8% místa na čipu. Malý počet tranzistorů na čipu CPU, což znamená menší spotřebu a cenu. Nejčastější instrukce jsou přesuny, skoky, porovnání. První návrh RISC je zaznamenán kolem roku 1974, který vynalezl John Cock z firmy IBM. RISC obsahuje pouze malý počet jednoduchých instrukcí (neprovádí více věcí najednou), na rozdíl od komplexní instrukce v CISC. Jednoduché instrukce a pevná délka zrychlí práci procesoru, jak při dekódování instrukce, tak při jejím načítání, z toho plyne, že RISC procesor na stejné pracovní frekvenci je výrazně rychlejší než CISC procesor. [21][22]

8 Polovodičové paměti

Dělení:

Energeticky nezávislé paměti ROM a energeticky závislé paměti RAM.

8.1 Energeticky nezávislé paměti ROM

Paměti typu ROM po odpojení napájení nadále uchovávají nahraná data, která mají uložena na svých paměťových místech. Ale závislé paměti např. RAM data ztrácejí.

Skupinu pamětí dělíme na:

- ROM-Read Only Memory
- PROM-Programable Read Only Memory
- EPROM-Eraseable Programable Read Only Memory
- EEPROM-Electrically Eraseable Programable Read Only Memory
- Flash-Flash memory

Paměť EEPROM můžeme naprogramovat a následně také z ní data můžeme elektronicky vymazat. Paměť EPROM můžeme naprogramovat a následně z ní data můžeme osvětlením vymazat. Paměťové buňky jsou tvořeny pomocí MNOS tranzistorů. Obdobou EEPROM je paměť FLASH. [21]

8.2 Energeticky závislé paměti RAM

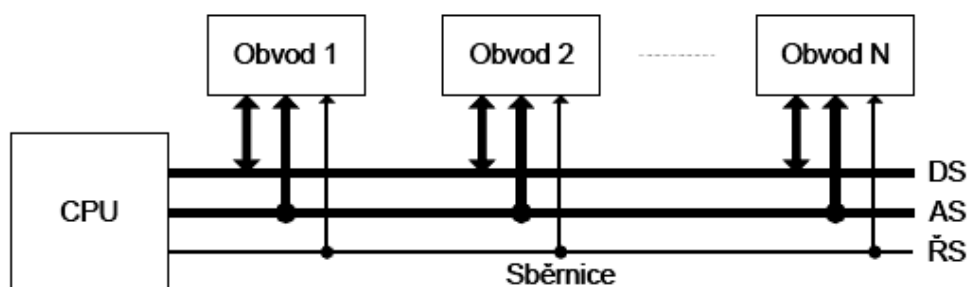
Závislé paměti RAM, po odpojení napájení svá data ztrácejí, data jsou uložena v paměťových místech.

Skupinu pamětí dělíme na:

- DRAM-Dynamická paměť RAM
- SRAM-Statická paměť RAM

V DRAM paměti jsou data uložena pomocí elektrického náboje na kondenzátoru. Ten má tendenci se vybít i v době, když je paměť připojena ke zdroji elektrického napájení. Aby nedošlo k vybití a tím i ke ztrátě uložené informace, je nutné periodicky provádět obnovení logické hodnoty v paměťové buňce. Paměti mají jednoduchou strukturu a velkou kapacitu. S pamětí typu DRAM se můžete setkat v počítačích. [21]

9 Sběrnice v mikropočítači



Obrázek 28 - Sběrnice v počítači [21]

Sběrnice je soustava vodičů propojujících jednotlivé části počítače – AS, DS, ŘS. Komunikace různými směry v různých časech obr.43

Výhody:

- snadné přidávání dalších obvodů – paměti, zařízení (např. grafická karta)
- zařízení lze přidat do různých počítačů se stejnou sběrnici
- nízké náklady

Nevýhody:

- nižší rychlost komunikace oproti přímému připojení

Master sběrnice - řídí sběrnici a zahajuje komunikaci dělíme je na:

- single master sběrnice
- multimaster sběrnice (např. PCI) - nutnost arbitra - komu bude sběrnice přidělena

Slave - Podřízená jednotka

Komunikační protokol - je specifikace posloupnosti kroků a jejich časování nutných pro přenos informace

Sběrníkový cyklus – je komunikace dvou zařízení

Typická transakce:

- požadavek přístupu na sběrnici, když je jeden vybrán = master
- master – umístí na sběrnici adresu a typ transakce
 - zápis: master → slave
 - čtení: slave → master

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 [B/s] – počet bitů přenesených za jednotku času

9.1 Typy sběrníc

Datová sběrnice slouží k předávání dat a její šířka znamená počet vodičů a je celým násobkem osmi (jeden bit). Jednotka, připojená na sběrnici, může být zdrojem dat (ke čtení), příjemcem dat (k zápisu), nebo střídavě obojím.

Adresová sběrnice je nutná pro adresování paměti. Šířka adresové sběrnice určuje maximální počet adres. U osmibitových počítačů má adresová sběrnice šířku nejčastěji 16 bitů. Když ukládáme data do paměti nebo je čteme, je nutné paměťová místa adresovat. Podle velikosti adresy můžeme přistupovat a navolit 2^B adresovatelných míst neboli buněk. Např. 8bitová adresa 2^B=256Bytu.

Řídící sběrnice řídí čtení a zápis. Řídící signály jsou generovány procesorem, ale mohou být generovány i ostatními jednotkami, které mohou částečně ovlivňovat činnost procesoru. Řídících signálů bývá obecně větší počet. [21][23]

10 Programování mikropočítačů

Do mikropočítače vždy musíme nahrát zdrojový kód, který nahráváme přímo do paměti mikropočítače v hexadecimálním tvaru. Program pro mikropočítač píšeme na počítači např. v programu visual studio, AVR studio, nebo MPLAB studio, samozřejmě musíme znát programovací jazyky. Napíšeme program, ten v počítači zkomprimujeme a tím ověříme, zda neobsahuje hrubé chyby. Pak je přeložíme do strojového kódu a ten nahrajeme do mikropočítače. To provedeme pomocí programátoru, ten zajistí přenos dat mezi počítačem a mikropočítačem. Přenos dat lze buď sériově, nebo paralelně. Nejzákladnější programátory využívají paralelní (LPT), nebo sériové (COM) rozhraní.

Vyspělejší programátory se připojují přes sběrnici USB nebo mini USB. Sériové programování má výhodu, že využívá jen malý počet pinů mikropočítače. [23]

10.1 Assembler

Nejdříve se programovalo ve strojovém kódu, binární, nebo hexadecimální soustavě. Zápis byly velice nepřehledný, chaotický a zdlouhavý a postačoval jen v začátcích, pro velice jednoduché programy. Jelikož nároky programů neustále rostly, začaly se pro přehlednost označovat konstanty, instrukce a proměnné jmény místo konkrétních čísel. Přeložení těchto symbolických jmen na číselný kód zajišťuje program assembler. Pro vylepšení programovacího jazyka byly vkládány nové prostředky (makra). Verzí assembleru je velké množství, pokud změníme zařízení, které hodláme programovat, musíme se seznámit s typem assembleru pro dané zařízení. Psaní v assembleru umožňuje programátorovi větší optimalizaci kódu a rychlejší vykonávání oproti vyšším programovacím jazykům. Již v první generaci počítačů již byl použit jazyk symbolických adres. [23]

10.2 Vyšší programovací jazyky

Vyšší programovací jazyky jsou například (ANSI C, ANSIC++). Pokud píšeme kód v jazyce C pro mikropočítač, je třeba mít na paměti, že paměť jednočipového mikropočítače je omezená. Největší výhoda je taková, že program můžeme přenášet a bude nám vždy fungovat stejně. Další výhodou použití vyšších programovacích jazyků je, že optimalizaci a přeložení necháváme na daném překladači. Většinou je výsledný kód delší, než kód napsaný v assembleru, použití jazyka je tudíž závislé na konkrétní aplikaci. [23]

11 Praktická část

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vozítko, které ujede co nejdelší vzdálenost na jedno nabití palivového článku. Vozítko bylo od začátku navrhováno jako prototypové zařízení s možností menších dodatečných úprav. Výroba se dá rozdělit na mechanickou konstrukci podvozku, elektroniky, smontování palivového článku, vývoj funkční elektroniky a programu pro mikroprocesor. Protože se jedná o zařízení, kde je použit velice měkký napájecí zdroj, celý proces výroby požaduje mnoho pokusů. První úkol je, aby se na rozjezdu nespotřebovala velká část energie z palivového článku. Rozjezd regulujeme tím, že do motorku pouštíme energii po částech regulací PWM, která je řízena mikropočítačem.

11.1 Základní technické údaje

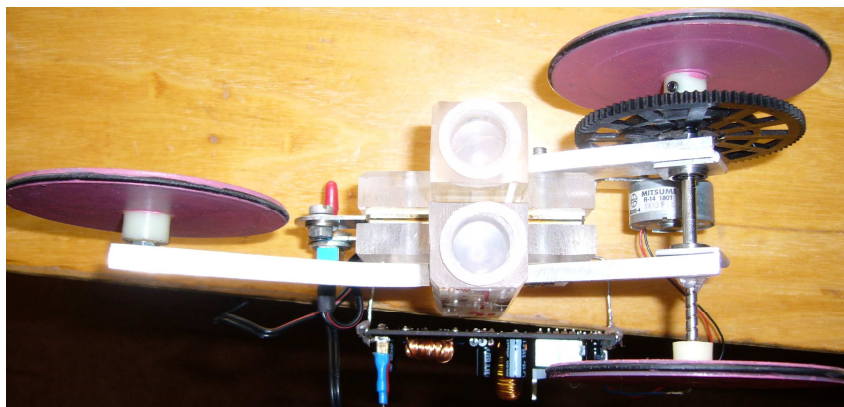
- Palivový článek napětí 0,9V; výkon 0,2W; váha 145g
- Hmotnost celého vozítka 328 g
- Rozměry vozítka 208mm x 84mm x 100mm
- Napájení 0,9V
- Mikropočítač PIC12F617

11.2 Konstrukce vozítka

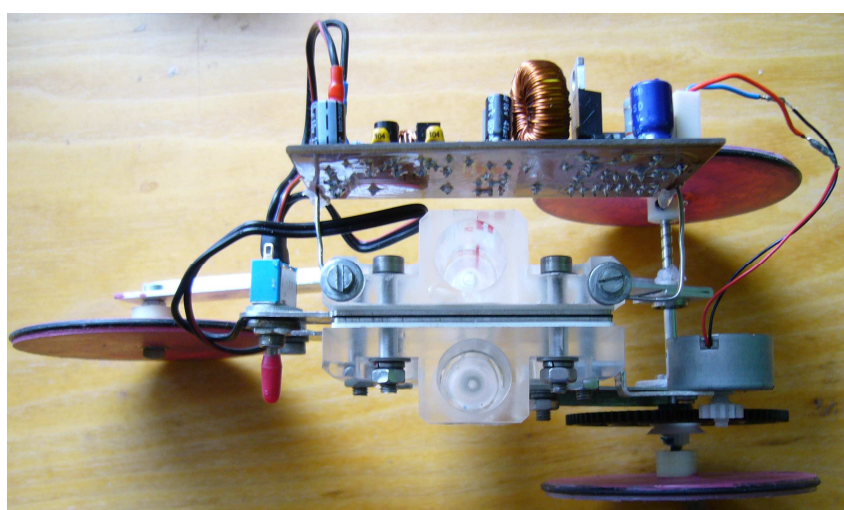
Vozítko je navrhované tak, aby bylo co nejjednodušší a nejefektivnější a aby mělo co nejmenší hmotnost. Deska plošného spoje je přichycena ze strany k palivovému článku pomocí nerezového drátu, který má průměr 1mm a umělé hmoty, která pochází z tavné pistole. Původní myšlenka byla taková, že DPS měla být připevněna na vrch palivového článku, jenomže destilovaná voda je ze spodních zásobníků vytlačována do horních zásobníků a mohl by vzniknout zkrat při vylévání vody. Kola k palivovému článku jsou přichycena pomocí hliníkových profilů typu L o síle 1mm, totéž i použitý hliníkový pásek na přichycení elektromotorku. Hliníkový profil, který mě drží přední kolo má tvar typu L, jeho rozměry jsou 15mm x 6mm a délka profilu 85mm. Hliníkové profily, které mně drží zadní osu kol mají tvar typu L a jeho rozměry jsou 15mm x 6mm a délka profilu 59 mm. Hliníkový plíšek pro přichycení elektromotorku má rozměry 40mm x 12mm. V hliníkových profilech pro zadní kola jsou vtlačena kuličková ložiska o vnějším průměru 10mm, vnitřním průměru 3mm a tloušťce ložisek 5mm. Ložisky prochází hřídelka o průměru 3mm a délce 82mm, ke které jsou přichycena zadní kolečka. Přední kolo má v sobě vtlačeno kuličkové ložisko o vnějším průměru 7mm a vnitřním 3mm a tloušťce ložiska 3mm. Ložiskem na předním kolečku prochází šroub M3 o délce 15mm, který drží celé přední kolo. Ložiska jsou zvolena proto, aby vozítko mělo co nejmenší odpor při pohybu. Motorek je připevněn k palivovému článku pomocí hliníkového pásku. Vše je patrné z příložených obrázků č.29, 30 a 31.

11.3 Podvozek

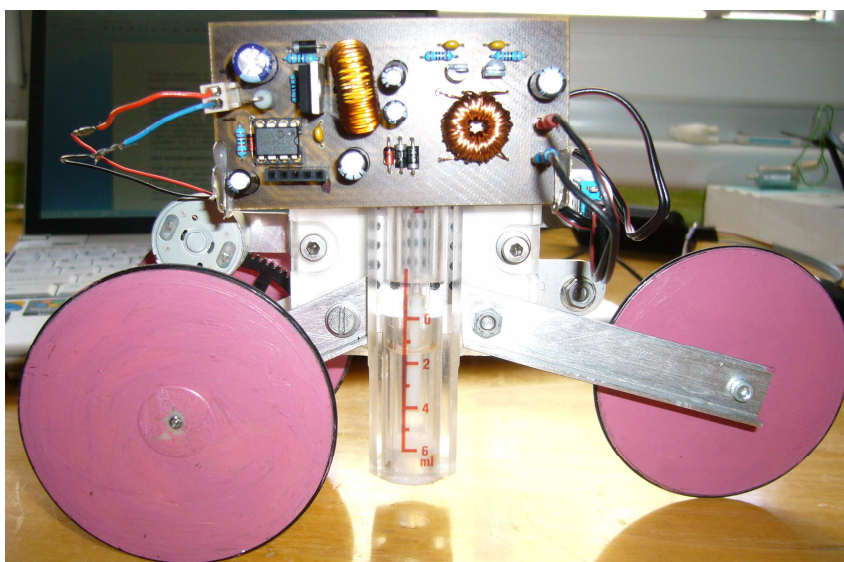
Podvozek byl řešen tak, aby byl co nejpevnější, ale zároveň lehký. Nejdříve byla vyrobená konstrukce a pak DPS. Kola o průměru 70 mm jsou vyrobena na soustruhu ze silonu a potažena gumovým řemínkem s průměru 60 mm a síle gumičky 1,2 mm. Kola jsou natřeny namíchanou akrylátovou barvou. Mechanický převod 5,8:1, je vymontován z disketové mechaniky, nasazen na osičku o délce 82 mm a průměru 3 mm. Motorek je použit ze staré CD mechaniky. Pohyb motorku je přenášen pomocí ozubených koleček na zadní osičku. Ložiska pocházejí z pevného disku a jsou vtlačeny do hliníkových plechů. Při práci jsem musel pracovat opatrně, abych si neohnul osičku, protože pak by mně vzniklo vyosení hřídelky z ideální pozice. Přední kolečko je nasazené rovněž na ložisko, které je připevněno na šroubek k hliníkové konstrukci. Vše je patrné z příložených obrázků č.29, 30 a 31.



Obrázek 29 - Vozítko pohled zespodu



Obrázek 30 - Vozítko pohled z vrchu s připojeným kondenzátorem



Obrázek 31 - Vozítko pohled zprava

11.4 Palivový článek



Obrázek 32 - Palivový článek

Hmotnost palivového článku je 193 gramů po ořezání zbytečných plastů jsem palivový článek dokázal odlehčit o 48 gramů a tedy celková váha palivového článku je 145 gramů viz. Obrázek 32. Pro pohon celého vozítka je využit palivový článek, je to zdroj velice měkký. Palivový článek dodává napětí 750 až 850mV a proud maximálně 500mA. Tyto parametry jsou celkem problematické pro další použití. Jedná se o rezervibilní palivový článek typu PEM o jmenovitém výkonu cca 0,2W. Reverzibilní znamená, že si reakční plyny vytváří sám pomocí elektrolýzy vody. PEM (Proton Exchange Membrane) ke své funkci využívá iontoměničovou membránu s protonovou vodivostí. V mém vozítku je použit článek typu PEMFC, což je palivový článek s polymerní membránou. Funkci elektrolytu zde plní polymerní membrána, která musí být zvlhčována. Jako katalyzátor se nejčastěji používá platina nebo slitiny platinových kovů, které jsou nanesené na povrchu plynově difúzní vrstvy, a tak vytváří plynově difúzní elektrodu. Jako palivo slouží vodík nebo methanol a jako okysličovadlo kyslík nebo vzduch. Pracovní teplota je do 90 °C. Nevýhodou je vysoká citlivost katalyzátoru na katalytické jedy, především na oxid uhelnatý. Tento palivový článek se hodí pro mobilní zařízení. Palivový článek použitý v mém vozítku má parametry (850 mV, 500 mA), a proto jsem postavil měnič, který tyto hodnoty mění na použitelnější pro elektromotorek. Měnič jelikož výstupní napětí je pro elektroniku malé, tak je proto zde použit zvyšující se měnič. Použitý měnič má dvě části. První část je hlavní měnič a druhá část je pomocný měnič.

Základní informace o článku, který je použit ve vodíkovém vozítku:

Jde o miniaturní reverzibilní palivový článek určený experimentálním účelům. Pomocí proudu se voda rozloží na vodík a kyslík. Plyny jsou uloženy v uskladňovacích rezervoárech. Plyny jsou přiváděny k membráně.

Postup naplnění palivového článku a uvedení do provozu:

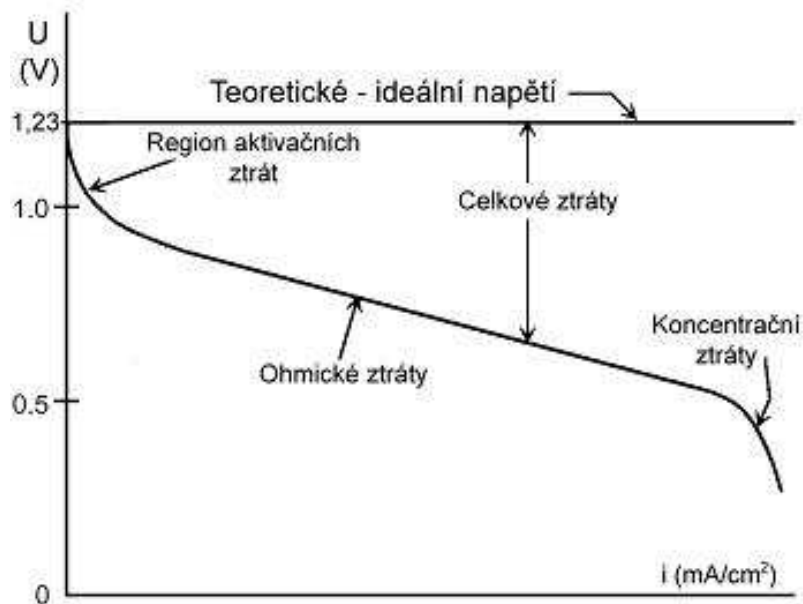
- 1. Otočím palivový článek dnem vzhůru.
- 2. Odstráním zátku z jednoho zásobníku, naplním jej až po okraj vnitřních trubek destilovanou vodou. Tento proces zopakují i pro druhý zásobník.
- 3. Vrátím zátky zpět a zkontroluji těsnost. Otočím palivový článek na bok a nechám jej v této poloze po dobu přibližně deset minut, aby se membrána zvlhčila.
- 4. Tento postup zopakujte vždy, když se bude palivový článek plnit, nebo se bude do něj destilovaná voda pouze dolévat.
- 5. Nastavím nabíjecí zdroj na hodnotu 1,5V, 200mA a připojím jej k palivovému článku. Hlavně si musím dávat pozor na správnou polaritu
- 6. Palivový článek nabiji přibližně asi do $\frac{3}{4}$ horních zásobníků.
- 7. Odpojím napájecí zdroj a nechám palivový článek asi minutu ustálit.
- 8. Palivový článek mohu použít

Palivový článek nesmí být použit pro vytváření elektrické energie pro obecné použití, například pro pracující elektrická zařízení a vytváření vodíku pro jiné než experimentální účely. [24]

11.5 Charakteristiky palivového vodíkového článku

Polarizační charakteristiky vodíkového článku (U-I charakteristiky)

V ideálním případě by na elektrickém výstupu palivového článku bylo při jakémkoliv provozním proudu ideální teoreticky stanovené napětí, tedy 1,23 V. Ve skutečnosti dosahují palivové články svého nejvyššího výstupního napětí při stavu naprázdno (bez zatížení). S rostoucím proudem procházejícím článkem napětí článku klesá. Tento jev je znám jako polarizace článku a je představován polarizační křivkou, již vidíme na Obrázku 33. Polarizační křivka znázorňuje závislost napětí článku na jeho proudu. Velikost proudu je závislá na velikosti elektrické zátěže, která je připojena k palivovému článku. Polarizační křivka ve své podstatě ukazuje elektrochemickou účinnost palivového článku při jeho zatížení příslušným provozním proudem. [16]



Obrázek 33 - Typická polarizační křivka palivového článku [16]

Ideální napětí palivového článku je 1,23 V, což odpovídá ideální účinnosti 83 %. Účinnost reálného článku je pak velmi jednoduše vyčíslitelná ze skutečného napětí článku dle vztahu:

$$\eta = \frac{0,83 \times V_{cell}}{V_{ideal}} = \frac{0,83 \times V_{cell}}{1,23} = 0,675 \times V_{cell}$$

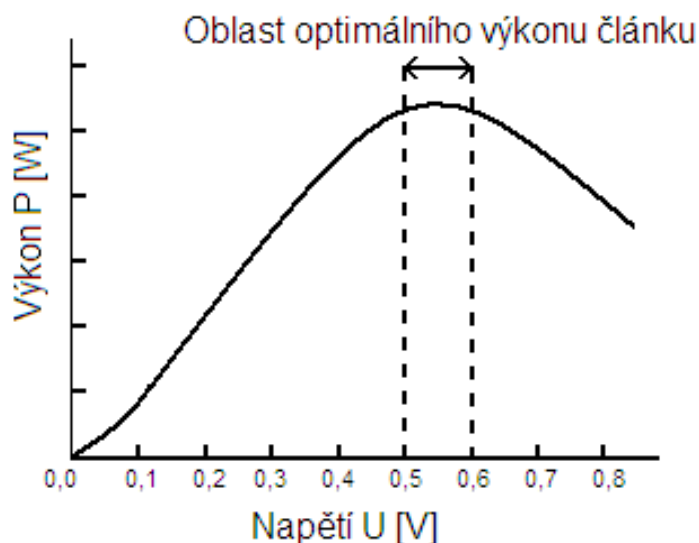
Charakteristický tvar křivky je určen čtyřmi vlastnostmi:

- Aktivační ztráty - způsobeny pomalou kinetikou reakce na povrchu elektrod, jsou vysoce nelineárního charakteru.
- Přechod paliva, vnitřní proudy - tato ztráta je způsobena nedokonalostí elektrolytu, kdy dochází k průniku paliva z anody ke katodě a dále průchodem elektronů přes membránu.
- Ohmické ztráty - tento pokles napětí je způsoben el. odporem elektrolytu, elektrod a elektrických propojení.
- Koncentrační ztráty - způsobeny snížením koncentrace reaktantů v důsledku nedokonalého přenosu hmoty.

Výkonová charakteristika

Výkonostní charakteristika je zajímavá při jakém napětí má palivový článek největší výkon. Je to závislost výkonu na napětí. Elektrický výkon je výsledkem existence napětí a proudu v obvodu ($P = U \cdot I$). Maximální výkon je u skutečného palivového článku dosažen při napětí mezi 0,5 a 0,6 V. Největší hodnotu křivka dosáhne v okamžiku, kdy vnitřní rezistence článku je rovna elektrické rezistenci vnějšího obvodu. Protože účinnost článku

klesá s narůstajícím napětím, musí dojít ke kompromisu mezi výkonem a vysokou účinností. [16]

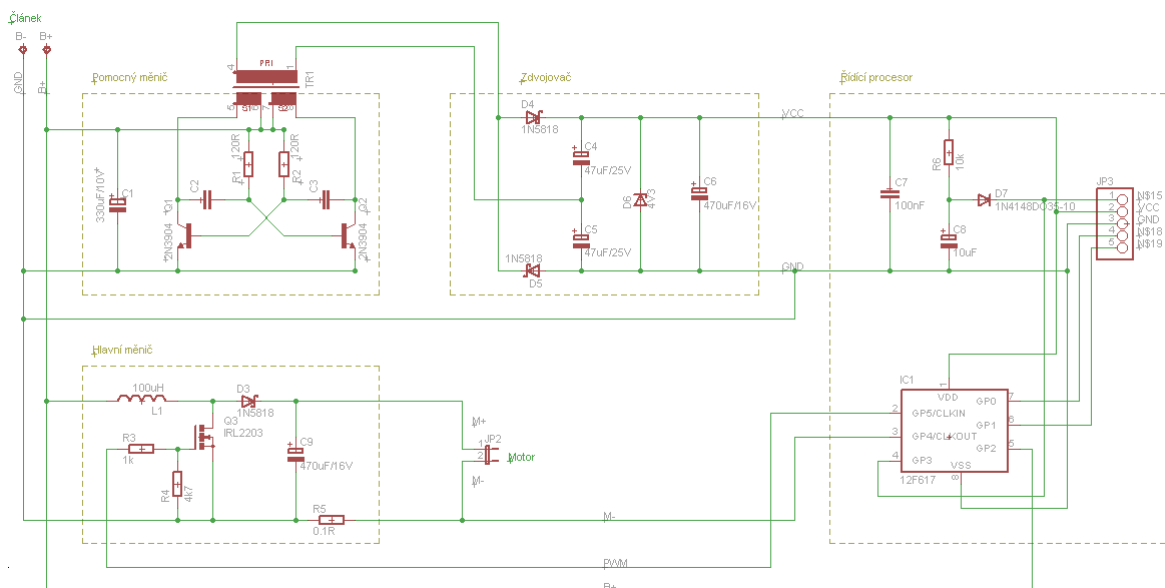


Obrázek 34 - Typická výkonová křivka palivového článku [16]

11.6 Návrh desky plošných spojů

Nejdříve jsem vytvořil schéma a pak jsem DPS. Deska plošných spojů byla vytvořena v programu EAGLE 6.3 od firmy Cadsoft, který je velice známý. Tento program jsme využívali ve škole pro návrh elektronických obvodů. Použití SMD součástek jsem neuvažoval. Celé zapojení jsem navrhoval, tak aby v případě komplikací se daly součástky lehce pozměnit a lépe měřit. V programu EAGLE byly vytvořeny pouzdra jak pro mikroprocesor, tak pro spínací MOSFET tranzistory a dále pro transformátor. Součástky a knihovny lze také samozřejmě dohledat na oficiálních stránkách Cadsoftu, nebo případně na internetu, ale to si pak musíme zkontrolovat rozměry pouzdra a správně rozmístění pinů. Po nakreslení schématu se přepneme do módu kreslení desky plošných spojů. Desku jsem kreslil tak, aby byla co nejmenší. Při kreslení stačí pracovat v hladině bottom + vias + pads + dimension + place. Navržená deska plošného spoje byla vyrobena známou metodou a to osvětlením. Světlo citlivé kuprexitové desky pomocí fotocesty a následným vyleptáním v roztoku chloridu FeCl_3 a přetřená lakem. Výsledná deska plošných spojů má rozměr 80mm x 40mm.

11.7 Popis schéma zapojení



Obrázek 35 - Schéma obvodu v EAGLE

Palivový článek nám napájí celou elektroniku a dodává nám napětí 850mV a proud maximálně 500mA. Tyto hodnoty jsou problematické pro další použití. Před každým začátkem jízdy musíme dát vodíkový článek nabít. Článek se nabíjí napětím 1,5V a proudem 200mA po dobu 40s. Po zapnutí vypínače se vodíkové vozítko snaží co nejefektivněji rozjet a ujet co nejdelší vzdálenost. Jedná se o konstrukci zařízení, kde vodíkový článek je velice měkký zdroj, tak celé zařízení vyžaduje použití hlavního a pomocného měniče, díky kterému napětí zvyšujeme. Hlavní měnič a start řídí mikroprocesor. Moje řešení spočívá v použití řídicího mikroprocesoru PIC12F617. Aby se vozítko rozjelo a nespotřebovalo při rozjezdu veškerou energii, je použita řízená PWM regulace motorku, ovládána přes spínací FET tranzistor pomocí mikroprocesoru.

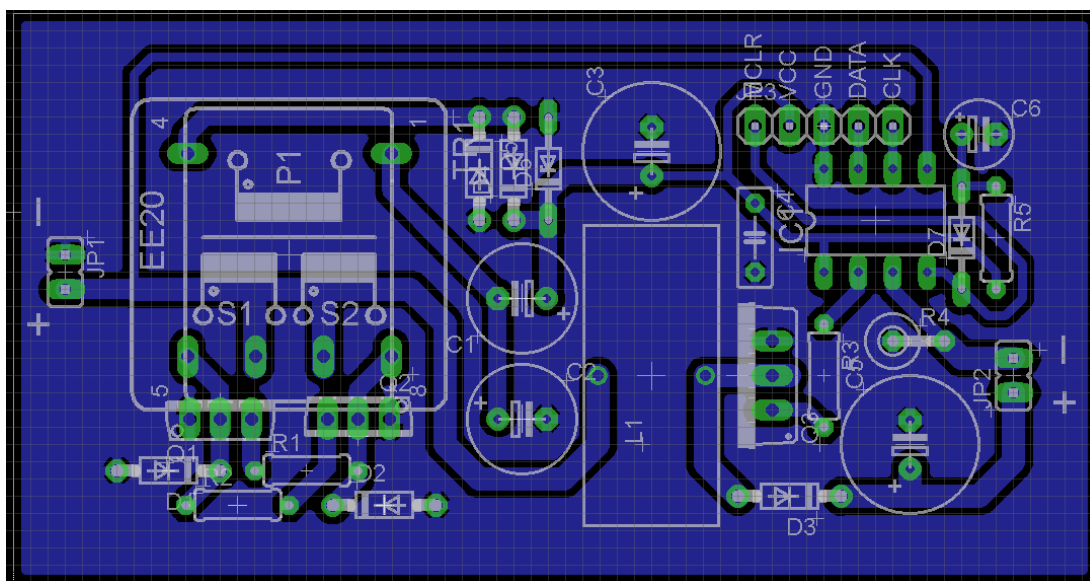
V mém případě je tedy nutné, pokud chceme napájet elektroniku, napětí nejprve zvýšit. Protože nejnižší napětí, při kterém fungují nejčastější typy obvodů, je kolem dvou voltů. Germaniový tranzistor má sice potřebné napětí do báze 300mV, saturační napětí kolem 200mV a malý vstupní a velký výstupní odpor. Křemíkový tranzistor dokonce požaduje vstupní napětí alespoň 600mV. Je pravda, že tranzistory lze spínat i nižším napětím, ale potom vykazují nižší proudový zesilovací činitel β a tím i nízkou účinnost. Proto se jako nejvhodnější jeví unipolární MOSFET tranzistor. Jeho velký vstupní odpor (jeví se jako řízený odpor) dosahuje hodnoty desítek M Ω . Nevýhodou MOSFET tranzistoru je však nutnost vysokého budícího napětí na řídicí (GATE) elektrodě, cca 3V.

Napětí z palivového článku jde do hlavního měniče, ale také do pomocného měniče (astabilní klopný obvod), který napájí řídicí procesor. Nechť v pomocném měniči je sepnut tranzistor T_1 a tranzistor T_2 je rozepnut. Potom se přes odpor R_1 a tranzistor T_1 začne nabíjet kondenzátor C_1 . V okamžiku, kdy napětí na kondenzátoru C_1 dosáhne hodnoty +0,7V, tak toto kladné napětí otevře tranzistor T_2 a malé napětí U_{CE2} v tranzistoru T_2

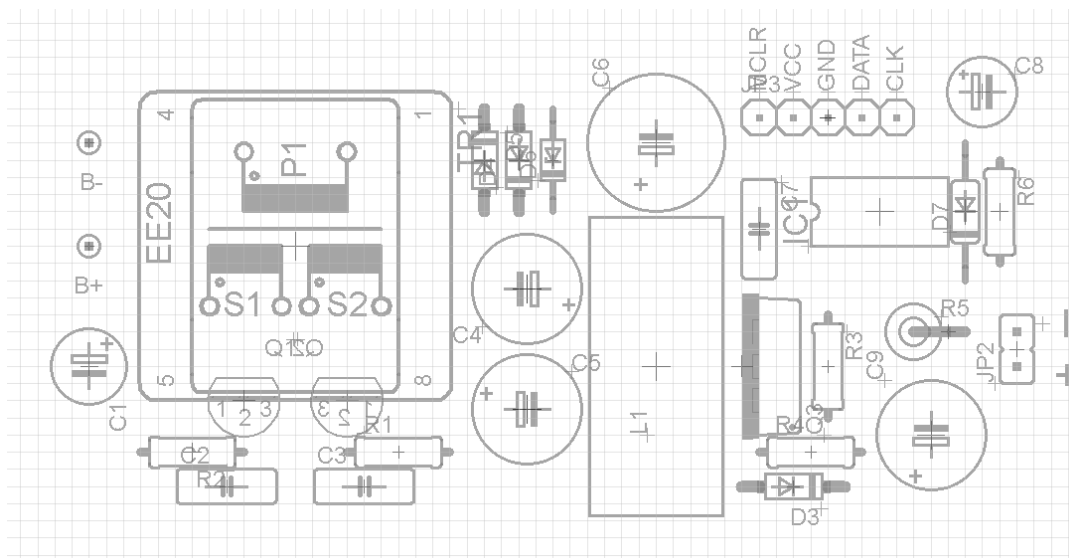
v sepnutém stavu způsobí uzavření tranzistoru T_1 . Kondenzátor C_2 se začne nabíjet přes R_2 a T_2 a v okamžiku, kdy napětí U_{C2} dosáhne hodnoty $+0,7\text{ V}$ se opět otevře T_1 . V této době se nabíjel i kondenzátor C_1 přes cívku S_1 a bázi tranzistoru T_2 . V okamžiku otevření T_1 urychlilo záporné napětí na kondenzátoru C_1 uzavření tranzistoru T_2 . Tranzistory se střídají ve vedení a způsobují změnu proudu v cívkách S_1 a S_2 . Vede-li tranzistor T_1 , potom i rozepnutí T_2 způsobí stejný směr proudu v S_2 a změny magnetického toku v primárním vinutí impulsního transformátoru se sčítají a v sekundárním vinutí P_1 se indukuje větší napětí. To se ještě následně zvýší ve zdvojovači (diody D_4 a D_5 , kondenzátory C_4 a C_5). Pomocný měnič vykazuje na svém výstupu 4V a napájí obvody řídicího procesoru proudem cca 10 mA .

Pomocný napájecí měnič pracuje nuceně na frekvenci 30kHz . Každý tranzistor má kladnou zpětnou vazbu přes transformátor. Kondenzátory s odpory v pomocném měniči tvarují řídicí napětí tranzistorů a tím řídí jejich otevírání, udávají tedy jeho takt.

Hlavní měnič je zvyšující indukční měnič s regulací. Střídu a frekvenci spínání tranzistoru MOSFET měníme mikropočítačem PIC 12F617. Ovládací signál přivádíme přímo na tranzistor, který spíná akumulární tlumivku, která svou energií po rozepnutí předá výstupnímu kondenzátoru. Na něm se uchová energie po dobu nabíjení tlumivky.

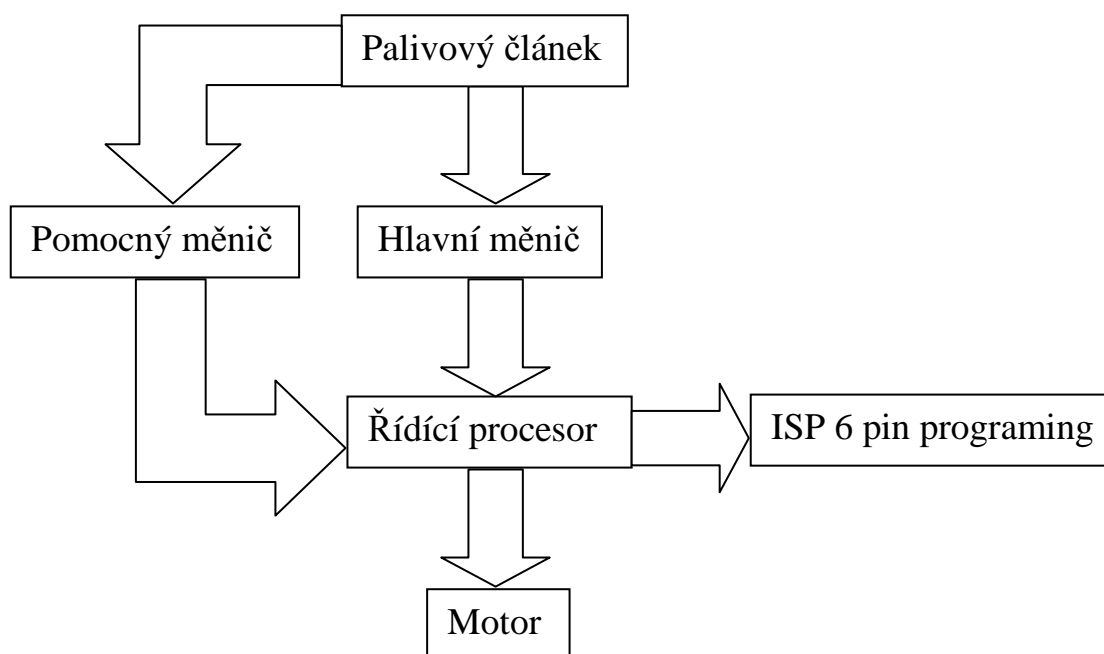


Obrázek 36 - Návrh desky před vyleptáním



Obrázek 37 - Návrh desky pouze součástky

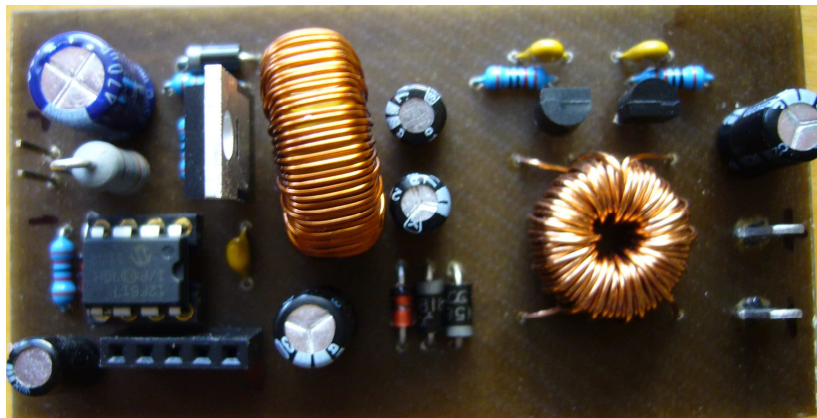
11.8 Elektronika



Obrázek 38 - Blokové schéma obvodu

Základem zapojení je mikroprocesor PIC 12F617, ten řídí veškeré funkce vozítka. Napájení zajišťuje palivový vodíkový článěk. Měnič je řízen pomocí PWM regulace jedním z časovačů mikroprocesoru. Hlavní měnič pro napájení motoru je extra a je řízen mikropočítačem. Obsahuje pomocný pulzní měnič s transformátorem na 4.3V pro napájení procesoru a buzení tranzistoru. Hlavní měnič je Step-Up s tlumivkou. Procesor se stará o měření napětí palivového článku a proudu motorkem. Na základě toho lze vytvářet rozmanité řídicí algoritmy. Díky procesoru lze vše upravovat i frekvenci, na které Step-Up měnič pracuje. Když je dobrý zdroj, měnič dokáže při střídě 83% dodat maximum výkonu.

O použití SMD součástek jsem neuvažoval, protože celé zapojení bylo navrhováno jako prototyp a také aby se lépe hledaly případné chyby a mohly se ještě opravit nebo obvod vylepšit.



Obrázek 39 - Deska zapájená se součástkami

11.9 Mikroprocesor PIC 12F617

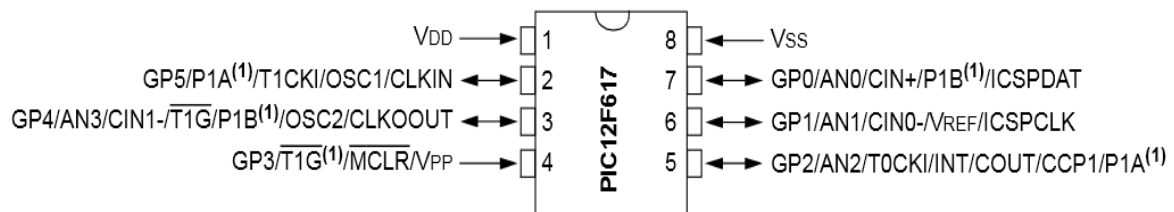
Mikroprocesor řídí chod celého obvodu. Výběr takového obvodu musel být takový, aby pracoval spolehlivě i při nízkém napájecím napětí okolo 2V. Rozhodoval jsem se, zda vybrat Mikroprocesor řady PIC, nebo ATMEL. Nakonec jsem rozhodl pro PIC. Procesory PIC mají výhodu, že při nižších kmitočtech mají velmi nízkou spotřebu. Použitý mikroprocesor je od firmy Microchip PIC 12F617. Mikroprocesor je také možné programovat v patici programátoru ještě před zapájením nebo zasunutím do patice, ale mnohem výhodnější a praktičtější je možnost systémového sériového programování (ISP). Při využití mikroprocesoru jen na pár funkcí, se může stát, že piny pro sériové programování zůstanou nezapojené a potom je možné na desce přímo vytvořit šestipinový konektor, přes který spojíme programátor s osobním počítačem, kde je nainstalován vývojový software.

Informace o produktu:

- MCU, 8BIT, 3.5K FLASH, 6 I/O, 8PDIP
- Controller Family/Series: PIC12
- Core Size: 8bit
- No. of I/O's: 6
- Supply Voltage Min: 2V
- Supply Voltage Max: 5.5V
- Digital IC Case Style: DIP
- No. of Pins: 8
- Program Memory Size: 2Kwords
- RAM Memory Size: 128Byte
- CPU Speed: 20MHz
- Operating Temperature Min: -40°C
- Operating Temperature Max: 85°C
- Base Number: PIC12

- Clock Frequency: 20MHz
- Flash Memory Size: 3.5KB
- Interface Type: Serial
- Logic Function Number: 12F617
- No. of ADC Inputs: 4
- No. of I/O's: 5
- No. of PWM Channels: 2
- No. of Timers: 3
- Number of bits in ADC: 10
- Operating Temperature Range: -40°C to +85°C
- Oscillator Type: External, Internal
- Package / Case: PDIP
- Program Memory Size: 3.5KB
- Supply Voltage Range: 2V to 5.5V

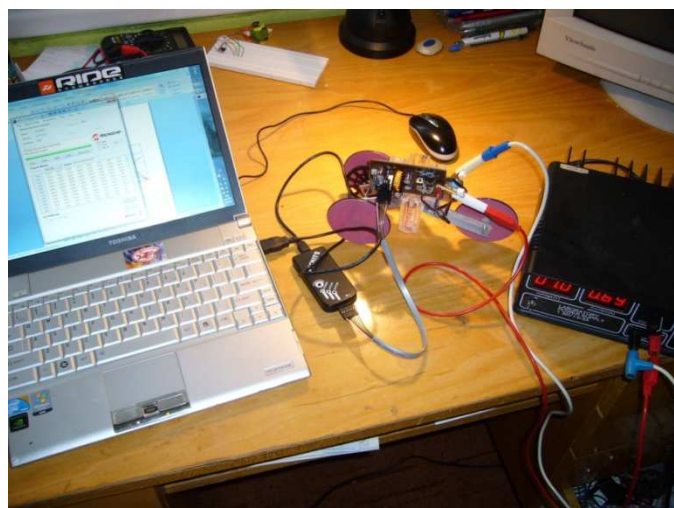
[26]



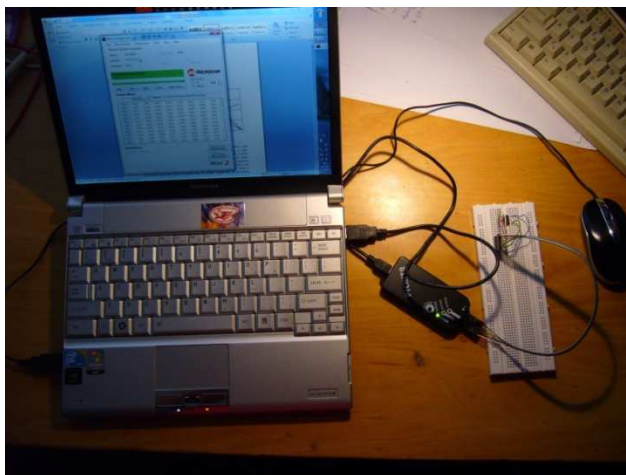
Obrázek 40 - Zapojení pinů procesoru

[27]

Mikroprocesor jsem raději nepřipajoval a vložil jsem ho do patice, kterou mně doporučili v eletro součástkách. Udělal jsem to proto, abych zjednodušil případnou výměnu.



Obrázek 41 - Ukázka programování mikroprocesoru do sběrnice ISP



Obrázek 42 - Ukázka programování mikroprocesoru do nepájivého pole

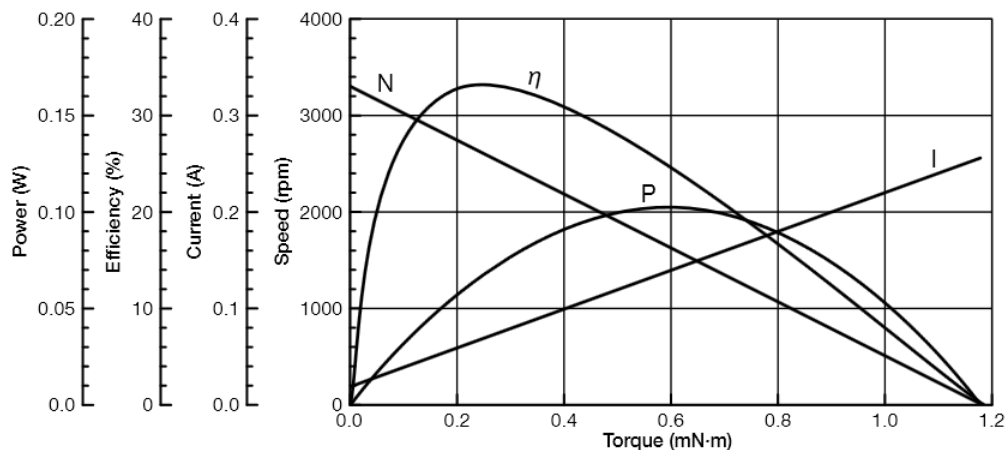
11.10 Motorek

U motorku jsem se rozhodl ze čtyř motorků. Dva motorky jsem koupil a dva motorky jsem vyndal ze starých CD mechanik. Vše jsem důkladně otestoval. Motorek vyndaný z CD mechaniky se mně osvědčil jako nejvhodnější. Použitý motorek je M25E-4L Series.

Specifikace motorku:

Items	Specifications
Rated Voltage	3.0V
Voltage Range	1.0~7.0V
Rated Load	0.39mN·m
No Load Speed	3,300rpm
No Load Current	100mA or less
Starting Torque	1.18mN·m
Rotation	CW/CCW

Tabulka 2 - Parametry motorku [28]



Obrázek 43 - Charakteristiky motorku M 25 E-4L [28]

Při tvrdém zdroji se motorek Mitsumi, které pohání vozítko začíná rozjíždět při napětí 0,35V a proudu 70mA. Pokud je vozítko zvednuto, tak při tvrdém zdroji se motorek Mitsumi, které pohání vozítko začíná roztáčet při napětí 0,25V a proudu 15mA.

11.11 Celkové odladění obvodu

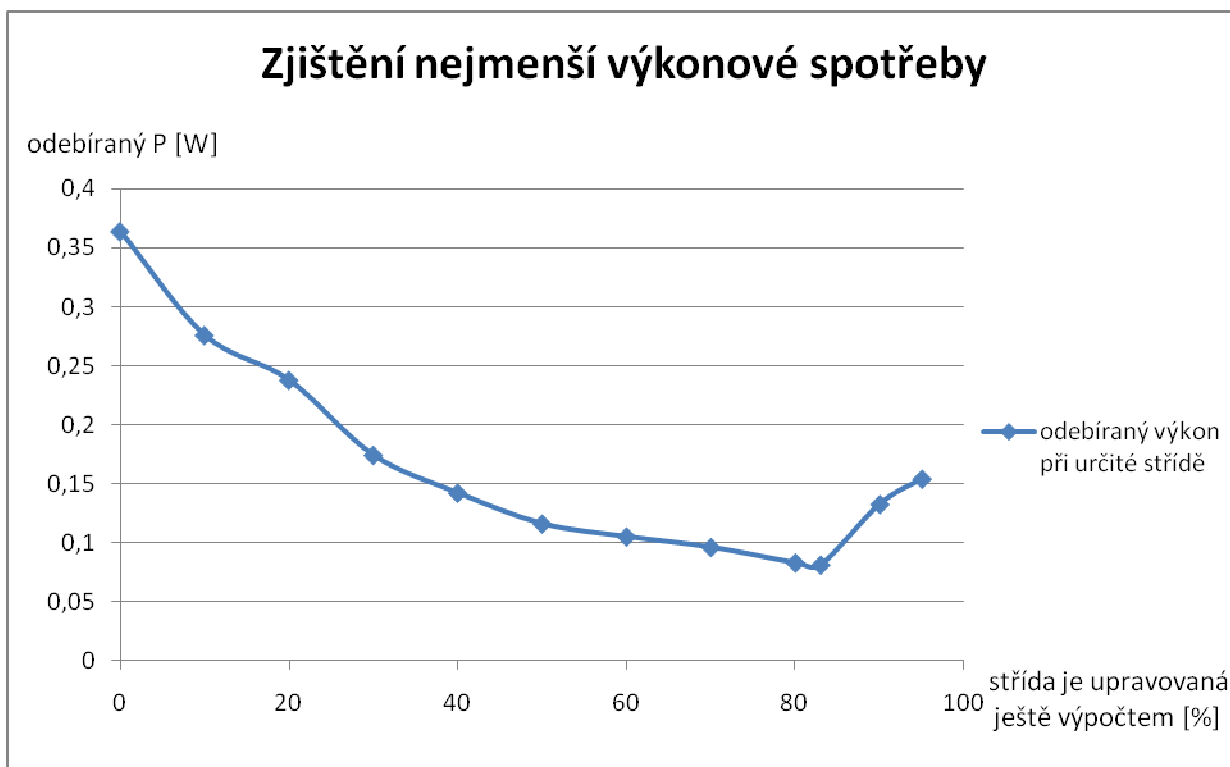
Funkci měniče bylo třeba nastavit co nejlépe, aby mělo zařízení dostatečnou účinnost. Bylo použita řada měření, které je uvedeno v následující tabulce. Střída se mění podle vzorce, který je uveden v programu.

```
{PWM_Calc = 10 + ((Current/2) - 20);} //z kopce
```

V této tabulce je zobrazeno, kdy se nám vozítko dokáže pohnout z místa. Např. při střídě 0% potřebuje vozítko napětí 1,04V a proud 0,35A, aby se vůbec vozítko pohnulo z místa.

Tvrdý zdroj s obvodem a motorkem			
Střída [%]	Vstupní Napětí [V]	Vstupní Proud [A]	Odebíraný výkon [W]
0	1,04	0,35	0,364
10	0,89	0,31	0,2759
20	0,82	0,29	0,2378
30	0,67	0,26	0,1742
40	0,58	0,245	0,1421
50	0,52	0,223	0,11596
60	0,5	0,21	0,105
70	0,48	0,2	0,096
80	0,46	0,18	0,0828
83	0,45	0,18	0,081
90	0,53	0,25	0,1325
95	0,55	0,28	0,154

Tabulka 3 - Porovnání odebraného výkonu z palivového článku



Obrázek 44 - Graf odběru výkonu z článku

To co jsem se v literatuře dočetl, že palivový článek má největší účinnost kolem 83% střídá se mně potvrdilo. Nejdříve jsem zjišťoval jak obvod nejlépe odladit, aby vozítko ujelo ještě o několik desítek centimetrů dále. Vyměnil jsem odpor na měření AD převodníku, který měl hodnotu 1Ω za hodnotu $0,1\Omega$ za menší. Sice se mně zhoršila přesnost, ale celkový odběr jsem snížil o pár desítek mA. Dále jsem vyměnil kondenzátor na výstupu $220\mu\text{F}$ za větší $470\mu\text{F}$. Největší problém je, že maximální výkon je u skutečného palivového článku dosažen při napětí mezi 0,5 a 0,6 V. Ale bohužel kolem 0,5V začínají součástky přestávat pracovat.

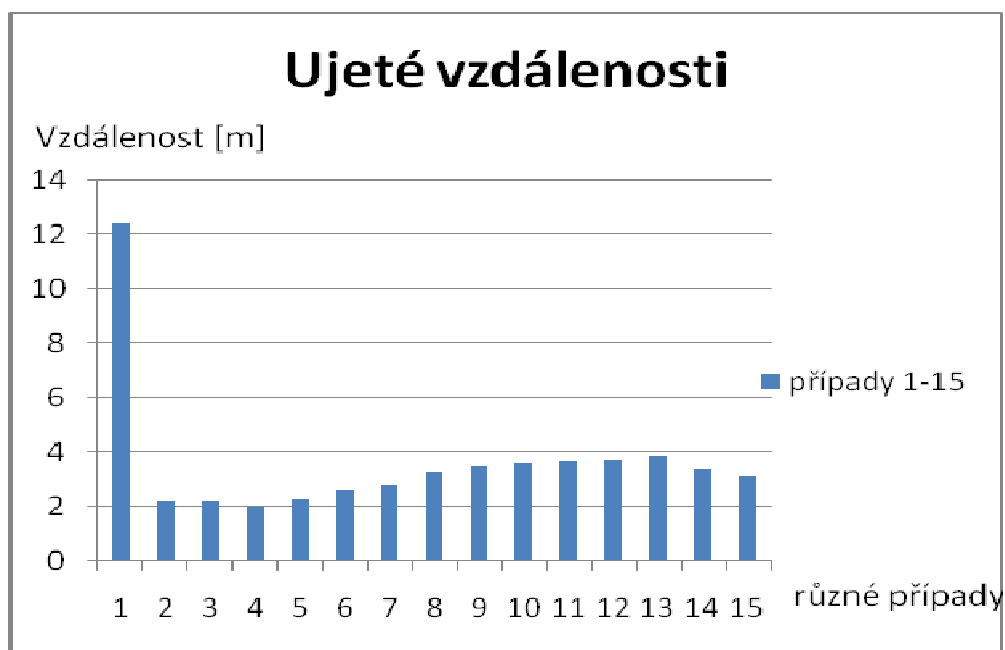
Bylo provedeno mnoho experimentů, při kterých jsem měnil frekvenci střídá a zjišťoval, kdy má vozítko největší dojezd.

Měření ujetí vzdálenosti palivového vodíkového vozítka:	vzdálenost [m]
vzdálenost ujetí bez elektroniky - spojení palivového článku a motorku (motorek se točí dokud nedojde energie) - případ 1	12,4
vzdálenost s elektronikou pouze měniče bez mikroprocesoru - případ 2 vyndán procesor a je spojen pin 2 a 8 (motorek se točí dokud nedojde energie)	2,2
vzdálenost s určitými podmínkami - případ 3	2,23
Inteligentní řízení motorku případ střída 0 - případ 4	1,98
Inteligentní řízení motorku případ střída 10 - případ 5	2,27
Inteligentní řízení motorku případ střída 20 - případ 6	2,58
Inteligentní řízení motorku případ střída 30 - případ 7	2,81
Inteligentní řízení motorku případ střída 40 - případ 8	3,24

Měření ujetí vzdálenosti palivového vodíkového vozítka:	vzdálenost [m]
Inteligentní řízení motorku případ střída 50 - případ 9	3,47
Inteligentní řízení motorku případ střída 60 - případ 10	3,59
Inteligentní řízení motorku případ střída 70 - případ 11	3,67
Inteligentní řízení motorku případ střída 80 - případ 12	3,73
Inteligentní řízení motorku případ střída 83 - případ 13	3,92
Inteligentní řízení motorku případ střída 95 - případ 14	3,42
Inteligentní řízení motorku případ střída 95 - případ 15	3,1

Tabulka 4 - Různé varianty dojezdů vozítka

V následujícím grafu jsou zobrazeny různé případy střídy.



Obrázek 45 - Dojezdy vozítka v grafu

To co vidíme z grafu je způsobeno nejspíše nedokonalostí pomocného měniče, který je zabudován v mém obvodu. Měnič, který má účinnost kolem 90% se pohybuje v řádu tisíců.

Pokud mám obvod bez mikroprocesoru, tak by na vstupu mělo být to co je na výstupu když spojím v patici pin 2 a pin 8.

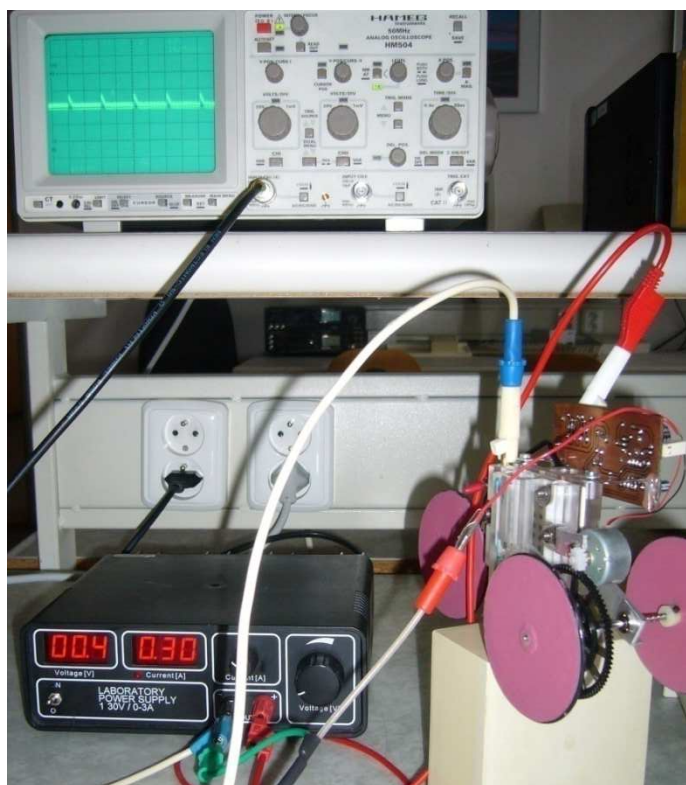
obvod bez mikroprocesoru spojeny pin 2 a 8		
Vstupní napětí [V]	Vstupní proud[A]	výstupní napětí [V]
0,5	0,02	0,51
1,0	0,11	1,05
1,5	0,21	1,59
2,0	0,28	2,05

Tabulka 5 - Vstupní a výstupní napětí bez procesoru

Pokud mám obvod s mikroprocesorem		
Vstupní napětí [V]	Vstupní proud[A]	výstupní napětí [V]
0,5	0,02	11,3
1,0	0,16	14,1
1,5	0,25	16,7
2,0	0,33	19,8

Tabulka 6 - Výstupní a vstupní napětí s procesorem

Bylo využito laboratorního generátoru. Pomocí kterého jsme si ověřili zobrazené průběhy. Pro spínání měniče byla při pokusech vyzkoušena i vyšší frekvence obdélníkového pulzu 10kHz, to však nebylo vhodné, protože se kondenzátor na výstupu nabíjel pomalu. Nejlepších výsledků hlavní měnič dosahoval při spínací frekvenci kolem 5kHz se střídou 3:1. Tento signál byl tedy nastaven do mikroprocesoru a byla provedena zkouška funkčnosti.



Obrázek 46 - Zkoumání funkčnosti obvodu

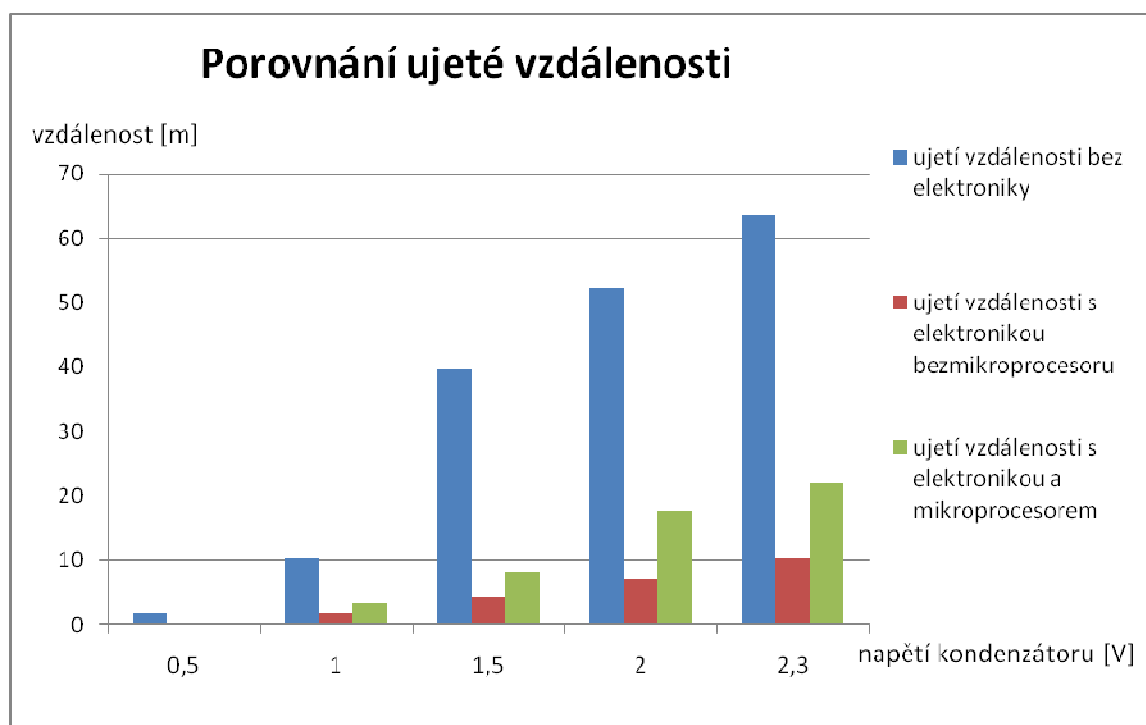
Aby při rozjezdu vozítka nedošlo k protočení kol, je použita jednoduchá regulace PWM. Kdybychom připojili motorek přímo na palivový článek, tak to vede k protočí zadních kol při startu a to nám vede k horším výsledkům. Funkce spočívá v tom, že mikropočítač nám posílá na motorek pulzy zapnuto a vypnuto a to vše v minimálním časovém intervalu. Jízda vypadá na pohled jako plynulá, ale ve skutečnosti dochází k nepatrnému přerušování napájení motorku právě kvůli tomu, abychom dosáhli efektivnějšího rozjezdu. Předpoklady jsou takové, pokud bude trasa rovná, tak motorku pro nějaký pohyb postačí například střída

20%, při zvyšující se náročnosti trasy (například cesta do kopce) by se zvyšovala střída až do maxima. Aby měl motorek dostatek energie na překonání překážky, tak při případné cestě z kopce by střída byla 0%.

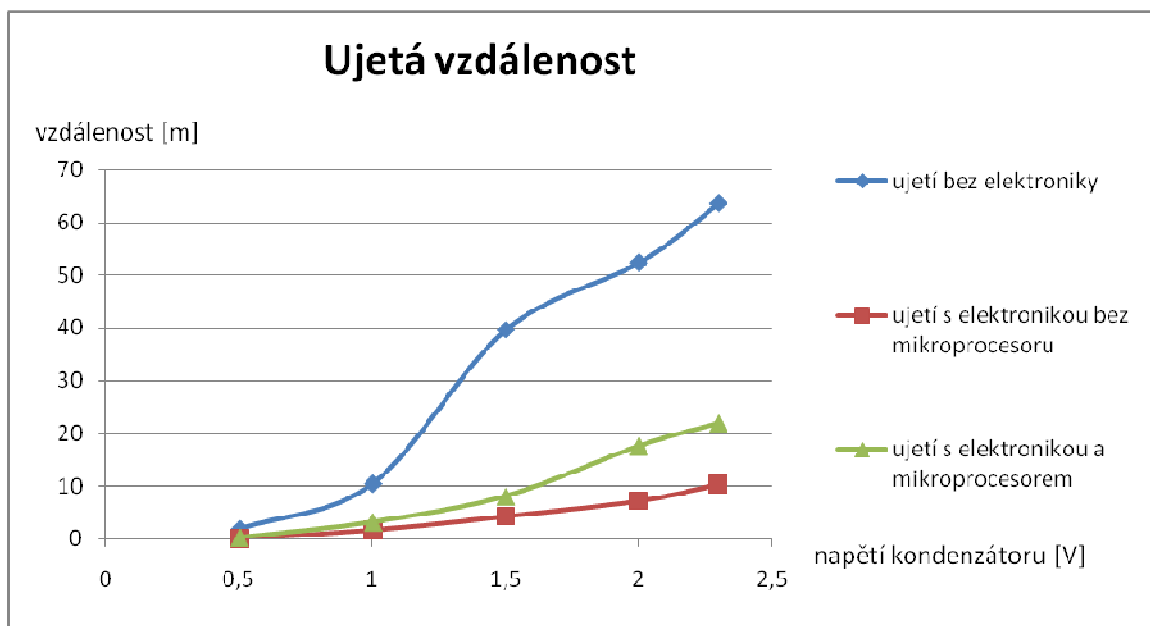
Dále jsem provedl měření s kondenzátorem a motorkem a s kondenzátorem elektronikou a motorkem. Kondenzátor jsem použil elektrolitycký, s kapacitou 3F. Postupně jsem ho nabíjel na určitá napětí a měřil ujetí trasy vozítka.

	Obvod bez elektroniky	Obvod s elektronikou bez mikroprocesoru	Obvod s elektronikou a mikroprocesorem
Napětí kondenzátoru [V]	vzdálenost [m]	vzdálenost [m]	vzdálenost [m]
0,5	1,78	0,09	0,23
1	10,39	1,72	3,17
1,5	39,57	4,3	8,1
2	52,3	7,24	17,6
2,3	63,57	10,36	21,91

Tabulka 7 - Použití kondenzátoru při různém nabití místo palivového článku



Obrázek 47 - Porovnání ujetých vzdáleností v různých případech



Obrázek 48 - Ujeté vzdálenosti

11.12 Nastavení registrů v mikropočítači

Pro funkci časovače je třeba nastavit správně registry. Zde je uveden stručný popis těchto registrů a nastavení. Více informací o nastavení lze najít v katalogovém listu. Vše je popsáno v programu a v komentářích jsou čísla stránek použitých nastavení viz. program.

Oscilator: OSCTUNE = 0b00000000;

REGISTER 4-1: OSCTUNE: OSCILLATOR TUNING REGISTER

U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	
—	—	—	TUN4	TUN3	TUN2	TUN1	TUN0	
bit 7								bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
 -n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Přerušení: INTCON = 0b00000000; a Timer 0: OPTION_REG= 0b11000111;

REGISTER 6-1: OPTION_REG: OPTION REGISTER

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	
GPPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	
bit 7								bit 0

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
 -n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

11.13 Programové vybavení

Program pro mikroprocesor microchip PIC12F617 byl napsán v jazyce C. Bylo použito vývojové prostředí mikrochip MPLAB v 8.9, které je dostupné zdarma. Obsahuje nástroje pro krokování a diagnostiku programu. Je tedy možné simulovat běh programu, aniž by bylo potřeba jej nahrávat přímo do mikroprocesoru. K programu MPLAB se ještě musí stáhnout program HI-TECH C, který nám umožní debugging v programu MPLAB. Pro spojení počítače a vozítka byl využit programátor PICKIT 2. Pro nahrání programu z PC do mikropočítače je použit program PICkit 2 v2.61. Je dobré, že mikroprocesor, vývojové prostředí a samotný programátor je od jednoho výrobce, protože tak máme zaručenou naprostou kompatibilitu. Samotný program je velmi jednoduchý je potřeba, abych co nejvíce uspořil energii. Při cestě z kopce potřebuji, aby mělo vozítko minimální odběr a při cestě do kopce mělo takový odběr, aby kopec dokázalo vyjet. Program byl psán až na úplném konci výroby.



Obrázek 49 - Programátor pro programování PIC [převzato z internetu]

Závěr

V bakalářské práci se mi podařilo navrhnout a sestavit vozítko, poháněné vodíkovým palivovým článkem, které je inteligentně řízené mikropočítačem. ***Při řešení bakalářské práce jsem řešil základní problém – optimální využití energie*** (využít každý miliampér proudu):

- Totiž vodíkový palivový článek je velice měkký zdroj a řídicí elektronika spotřebovává určitou elektrickou energii, a proto vozítko ujede bez elektroniky delší vzdálenost.
- Běžné polovodičové součástky vyžadují prahové napětí kolem 0,6 V, což je u palivového článku se jmenovitým napětím 0,9 V velký konstrukční problém.
- Bylo proto nutné navrhnout optimální pracovní režim všech bloků schématu. Zejména pomocný měnič nutný pro napájení řídicího procesoru (napájecí napětí 4V) si pro dosažení maximální účinnosti vyžádal optimální (přesné) nastavení a odladění (volba pracovního kmitočtu).
- Velkou pozornost jsem věnoval konstrukci pomocného měniče, který se pro správnou funkci vozítka jeví jako rozhodující. Závisí na provedení symetrického impulsního transformátoru a volbě vhodných germaniových spínacích tranzistorů u tohoto měniče, neboť potřebujeme malé spínací napětí U_{BE} . Nakonec jsem se rozhodl pro typ 2N 904, který spíná již při napětí $U_{BE} = 250$ mV. Navržený pomocný měnič pracuje v nuceném režimu na frekvenci cca 30kHz, kdy dochází k účinnějšímu přenosu energie přes impulsní transformátor.
- Hlavní měnič pracuje v režimu Step-Up na 5kHz. Testoval jsem frekvence od cca 3kHz do 30kHz s různými hodnotami indukčností cívek. Nejlepší výsledky jsem naměřil při hodnotě indukčnosti 100 μ H a právě na frekvenci 5kHz, kdy se výstupní napětí pohybuje kolem 20 V.
- V průběhu vlastní realizace nastaly komplikace s vlastním palivovým článkem, při nabíjení z laboratorního zdroje o napětí 1,5 V proudem 200 mA po dobu 40 sekund jsem naměřil na výstupních svorkách po časovém ustálení 5 minut napětí 0,9 V. Toto napětí se postupně snižovalo na 0,75 V. Proto jsem se rozhodl použít místo palivového článku kondenzátor s 5F/2,4 V, který jsem nabíjel stejným způsobem.
- Dosažené výsledky měření a provedených pokusů dokazují, že to byla správná volba, která ještě více prokázala, že zadání bakalářské práce bylo splněno (viz. tabulka níže).

	Ujetá vzdálenost vozítka na jedno nabití zdroje		
Použitý zdroj	Bez elektroniky	S elektronikou	S řízenou regulací
Palivový článěk	12,4 m	1,89 m	3,92 m
kondenzátor	14,8 m	2,7 m	5,24 m

Tabulka 8 - Porovnání článku a kondenzátoru

Celý program byl napsán až na úplném konci výroby. Samotný program není až tak složitý, je potřeba, abych co nejvíce uspořil energii. Při cestě z kopce potřebuji, aby mělo vozítko minimální odběr a při cestě do kopce mělo takový odběr, aby kopec dokázalo vyjet. V definici jsem si ošetřil podmínku, že mohu zvolit maximální střídu 83%. Pak jsem si nastavil analogový port 3, který provádí čtení proudu a analogový port 2, který provádí čtení napětí. U analogových portů se počítá průměr. Potřebný čas pro nabíjení kondenzátoru obstarává "GO_nDONE". Dělíme celočíselně, takže se ztrácí desetinná místa, což ale v tomto případě vůbec nevadí. Místo dělení by mohl být Bitový posun (je méně náročný na výpočet), ale v případě dělení sudými čísly. V hlavním programu jsem udělal čekací smyčku 500ms proto, aby nám hnedka vozítko neujíždělo pod rukama po zapnutí vypínače, ale představuje to nepatrnou ztrátu výkonu. Procesor jede vždy na 100% výkonu, který je nastavený oscilátorem. Přerušení je obsluhováno pouze v době, kdy je vybaveno. Jinak se procesor věnuje hlavní smyčce, proto v ní mám delay, aby smyčka neběhala tak rychle (delay je jen řízené zdržování procesoru, aby pracoval na něčem po stanovenou dobu). Smyčka programu funguje tak, že při určitém poklesu napětí na článku zvedne střídu. V přerušení TRIS nastavuje vše do 1 (vstup). U analogových portů přepínání TRIS 0/1 řeší ovladač PWM, který je aktivní. Obsluha přerušení T2 je nutná, jinak by nedošlo ke smazání ukazatele vybavení přerušení TMR2IF. Zároveň se načte nová hodnota PWM do registru CCPR1L, hodnoty načítám tímto způsobem, aby se načetla až konečná vypočítaná hodnota a hodnota, vytažená během výpočtu. Pokud bych vypnul GIE (globální vypínač přerušení), tak by nic nejelo.

Poněvadž jsem takovéto zařízení konstruoval poprvé, myslel jsem si, že vše nebude fungovat hned. Proto jsem DPS navrhoval větších rozměrů, abych mohl dodatečně upravit chyby a případně snadněji vypájet vadnou součástku. Ke konstrukci vodičového vozítka jsem se snažil použít součástky, které jsem měl doma, co mně dali kamarádi (např. ze starých CD mechanik a pevných disků), zbytek jsem samozřejmě dokoupil.

V budoucnu bych plánoval vozítko přestavět a navrhnout trochu jinak. Základní konstrukci bych ponechal, ale použil bych měnič TPS60300 a mikropočítač nejspíše řady A Tiny, ale vše by se muselo pečlivě zvážit. Také bych použil SMD součástky a tím bych celkově zmenšil DPS. Dále bych zkusil vozítko vylepšit a přidat na vozítko senzory na přední část a zadní část, které by v případě překážky vozítko zastavily. Také bych přidal na přední a zadní stranu nějaké nízkoodběrové diody jako např. světla, aby vozítko pěkně vypadalo.

Literatura

- [1] **Úvod do palivových článků.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Palivov%C3%BD_%C4%8DI%C3%A1nek
- [2] **První vodíkové vozidlo.** JANÍK, Ing. Luďek. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/vodik-palivo-budoucnosti-ktere-nahradi-benzin-i-naftu-pf4-/tec_technika.aspx?c=A071028_001202_software_jza
- [3] **První vodíkový článek.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: www.miros-m3.wz.cz/automobily-technologie/palivovy_clanek.htm
- [4] VLK, František. **Alternativní pohony motorových vozidel.** [s.l.] : [s.n.], 2004. 198 s.
- [5] **Palivový článek.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://3pol.cz/181-co-je-to-palivovy-clanek>
- [6] **Chemické zdroje.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektrochemicke-zdroje-proudu-obecne/definice>
- [7] **Pidanič J.; Starý K.: Vodík jako alternativní palivo;** Univerzita Pardubice, 2001.
- [8] **BENEŠ, Štěpán Ctibor: Energetické využití palivových článků.** *Biom.cz* [online]. 2005-09-29 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-palivovych-clanku>>. ISSN: 1801-2655.
- [9] **Typy palivových článků.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://3pol.cz/201-palivove-clanky-ii>
- [10] **Elektrolyzér.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://mrtva-ziva-voda.blog.cz/0810/elektrolyzer>
- [11] **Výroba vodíku.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse
- [12] **Stručný přehled výrobních technologií vodíku.** JANÍK, Ing. Luďek. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-/tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse
- [13] **Vodík v dopravních prostředcích.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.autobusovenoviny.cz/clanek/1204/prakticka-aplikace-vodikoveho-pohonu-se-priblizila>
- [14] **Popis palivového článku.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.trihibus.cz/palivove-clanky>

- [15] **Skladování vodíku a jeho bezpečnost.** JANÍK, Ing. Luďek. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/jak-se-vyrabi-palivo-budoucnosti-vodik-pro-auta-i-elektroniku-p6d-tec_technika.aspx?c=A080127_234744_tec_technika_vse
- [16] **Výhody a nevýhody palivových článků, VA charakteristiky.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://amper.ped.muni.cz/~svobodka/CTI_SI/Moduly2012/palivove_clanky.pdf
- [17] **Alexandr Krejčířík - Napájecí zdroje.** 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, 1996. 352 stran. ISBN 80-86056-02-3
- [18] **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
- [19] **Stanislav Kocman - Stejnoseměrné stroje.** Skripta: Katedra obecné elektrotechniky FEI VŠB-TU. Ostrava 2002
- [20] **Petr Novák - Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení.** 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, 2005. 243 stran. ISBN 80-7300-141-1
- [21] **Miroslav Duch - Mikroprocesory AVR Tiny.** Skripta. [online] Trutnov 2009 [cit. 1. 5 2012.] Dostupný z WWW: <http://www.spstrutnov.cz/o-skole/projekty/moderni-vyukamikroprocesorove-techniky/mikroprocesory-avr-tiny-skripta.pdf>
- [22] **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/~marcjlam/download-files/hist.pdf>
- [23] **Jiří Pinker - Mikroprocesory a mikroočítače.** 1. vydání, Praha: BEN technická literatura, 2004. 160 stran. ISBN 80-7300-110-1
- [24] **Plnění vodíkového článku.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.gr-net.cz/INFORMACE/KUTIL/VSB/clanek.html>
- [25] **Transformátor.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A1tor>
- [26] **MICROCHIP PIC 12F617.** [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en544446>
- [27] **Microchip PIC 12F617.** [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41388A.pdf>
- [28] **Technická dokumentace k motoru MITSUMI M25E-4L.** [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.mitsumi.co.jp/latest/Catalog/pdf/motorav_m25e_4l_e.pdf

Příloha A – Zdrojový kód

```
#include <htc.h>
#include <stdio.h>
//#include <stdlib.h>
//#include <math.h>
#include "Init_PIC.h"
#include "Init_PORT.h"

//*****//
// **                               D E F I N I C E                               ** //
//*****//

// Frekvence OSC.
#define _XTAL_FREQ 8000000           //vnitřní oscilator frekvence 8Meg

// Pocet urovni PWM, spolu s nastavenim Timeru 2 udava periodu T
unsigned char      PWM_Tmr          =      100;
//unsigned char      PWM_Tmr          =      50;

// Maximalni možna strida PWM, menic nesmi mit stridu 100% !!!, není
doporučeno více jak 90%
// Nejvyššího výkonu je dosaženo při 83%, dále už výkon neroste, naopak
klesá.
unsigned char      PWM_Max          =      83;

// Požadovaná strida PWM v rozmezí 0..PWM_Max, je obsluhováno níže v
programu
unsigned char      PWM_Set          =      1;

// Pomocná pro výpočet
int               PWM_Calc          =      0;

// Analog - proud motorem           1000 ~ 1A;
int               Current           =      100;

// Analog - napětí clanku           1000 ~ 1V;
int               Voltage           =      100;

// *****//
// **                               P R O C E D U R Y                               ** //
// *****//

// Čtení analogové portu 3
void Read_An_3 (void)
{
    int           AN_Read           = 0;
    char ix       = 0;
    CHS0 = 1;    // Select Analog3 port 3
    CHS1 = 1;
    CHS2 = 0;
    for (ix = 0; ix < 16; ix++)
    {
        GO_nDONE = 1;
        while (GO_nDONE) {__delay_us (5);}
        ADIF = 0;
        // AN_Read = (ADRESL);
        AN_Read = 40 * ((ADRESL) + (unsigned short)(ADRESH<<8));
        //bitový posuv 0,1 ohm násobení x40
        __delay_ms (1);
    }
}
```

```

        Current = Current + ((AN_Read - Current)/8); //prumer
    }
    //      0 ..      0.0 A
    //    1000 ..    1.0  A
}

// Cteni analogovejo portu 2
void Read_An_2 (void)
{
    int          AN_Read      = 0;
    char ix      = 0;
    CHS0 = 0; // Select Analog2 port 2
    CHS1 = 1;
    CHS2 = 0;
    for (ix = 0; ix < 16; ix++)
    {
        GO_nDONE = 1;
        while (GO_nDONE) {__delay_us (5);}
        ADIF = 0;
        // AN_Read = (ADRESL);
        AN_Read = 40 * ((ADRESL) + (unsigned short)(ADRESH<<8));
//bitovy posuv 0,1 ohm nasobeni x40
        __delay_ms (1);
        Voltage = Voltage + ((AN_Read - Voltage)/8); //prumer

//u analogů se počítá průměr. Potřebný čas pro
//nabíjení kondenzátoru, to obstarává "GO_nDONE". Dělíme to
//celočíselně, takže se opravdu ztrácí desetinná místa, což ale v tomto
//případě vůbec nevadí. Místo dělení by mohl být Bitový posun (je méně
//náročný na výpočet), ale v případě dělení sudými čísly (2, 4, 8, 16...
//což odpovídá bitům to není nijak náročný).
    }
    //      0 ..      0.0 V
    //    1000 ..    1.0  V
}

// ***** //
// **                               M A I N   P R O G R A M                               ** //
// ***** //

int main(void)
{
    // Volani inicializace
    GIE      = 0; //globalni preruseni
    Init_PIC ();
    __delay_ms (500); //je to ztráta určitého výkonu,ale autíčko
    nezdrhá hned pod rukama jakmile zapnu vypínač.

//U MCU nelze moc mluvit o vytížení, protože procesor jede vždy na 100%
//výkonu, který je nastavený oscilátorem. Prerušeni je obsluhováno pouze
//v době, kdy je vybaveno. Jinak se procesor věnuje hlavní smyčce, proto
//i v ní je ten delay, aby ta smyčka neběhala tak rychle (delay se stejně
//jen řízené zdržování - zaměstnání - procesoru, aby pracoval na něčem po
//stanovenou dobu), MCU prostě nikdy nezahálí.

// Int
    GIE      = 1;
    PEIE    = 1; //periferni preruseni

```

```

// Timer 0
T0IF = 0;
T0IE = 0;

// Timer 1
TMR1IF = 0;
TMR1ON = 0;
TMR1IE = 0;

// Timer 2 - PWM
PR2 = PWM_Tmr;
CCPR1L = PWM_Set;
DCB0 = 1;
DCB1 = 1;
TMR2IF = 0;
TMR2ON = 1;
TMR2IE = 1;

// Start Boost - Pulse ON, OFF, ON, OFF, ON
// Pulzni plny vykon pomaha motorku se lepe rozebehnout, neni vzdy
nutnost
// PWM_Set = 80; // 80%
// __delay_ms (50);
// PWM_Set = 0; // 0%
// __delay_ms (50);
// PWM_Set = 80; // 80%
// __delay_ms (50);
// PWM_Set = 0; // 0%
// __delay_ms (50);
// PWM_Set = 30; // 30%

// *****
// // ** S M Y C K A P R O G R A M U ** //
// *****

while (1)
{
    __delay_ms (50); // Prodleva smycky
    Read_An_2 (); // Cteni analogoveho
portu 2 - napeti clanku Voltage
    Read_An_3 (); // Cteni analogoveho
portu 3 - proud Current

    // Rozsah pro PWM je 0 .. 100

    // Priklad mozne vazby dle napeti clanku a proudu motorem

    if (Voltage >= 1250) // Pri napeni nad 1150 mV menic
jede na 40%
        {PWM_Calc = 70;}
    else if ((Voltage <= 1249) && (Voltage >= 1150)) // Pri
napeti mensi jak 1149 a vetsi jak 900 menic jede na max ucinnost (50%)
        {PWM_Calc = 50;}
    else if ((Voltage <= 1149) && (Voltage >= 900)) // Pri napeti
mensi jak 1149 a vetsi jak 900 menic jede na max ucinnost (50%)
        {PWM_Calc = 50;}
    else if ((Voltage <= 899) && (Voltage >= 700)) // Pri napeti mensi
jak 899 a vetsi jak 700 menic jede na max ucinnost (60%)
        {PWM_Calc = 60;}
}

```



```

        else if ((Voltage <= 699) && (Voltage >= 600))          // Pri napeti
mensi jak 899 a vetsi jak 700 menic jede na max ucinnost (70%)
            {PWM_Calc = 70;}
        else if (Voltage <= 699)                               // Pri napeti pod 500 mV menic
jede na max ucinnost (83%)
            {PWM_Calc = 80;}
        else                                                    // V ostatnich
pripadech menic pracuje dle vzorce
            {PWM_Calc = 10 + ((Current/2) - 20);}              //z kopce

    PWM_Calc =83;

        // Omezeni hodnot PWM pred ulozenim do PWM_Set (rozsah
0..Max), PWM_Set pote nacita ovladac PWM.
        if (PWM_Calc >= PWM_Max)                                {PWM_Calc = PWM_Max;}
// Omezeni Max hodnoty PWM
        if (PWM_Calc <= 0)                                       {PWM_Calc = 0;}
// Omezeni na kladne cislo
        PWM_Set = PWM_Calc;
//PWM_Set = PWM_Calc / 2

    } // while
} // main

// ***** P R E R U S E N I ***** //
// ** P R E R U S E N I ** //
// ***** //
void interrupt isr (void)
{
    /***** Timer 0 Code *****/
    if ((TMR0IE)&&(TMR0IF))
    {
        TMR0IF = 0; // clear event flag
    }
    /***** Timer 1 Code *****/
    if((TMR1IE)&&(TMR1IF))
    {
        TMR1IF=0; // clear event flag
    }
    /***** Timer 2 Code *****/
    if((TMR2IE)&&(TMR2IF)) // 10kHz 0.1ms
    {
//TRIS nastavuje vse do 1 (vstup), protoze to tak byt musi u
//Analogovych portu a i u PWM, prepinaní TRIS 0 / 1 resí ovladač PWM.
//PWM je samozřejmě aktivní

//Obsluha přerušeni T2 je nutná, jinak by nedošlo ke smazaní ukazatele
//vybavení přerušeni TMR2IF. Zároveň se načte nová hodnota PWM do
registru
//CCPR1L, hodnoty načítám tímto způsobem, aby se načetla až konečná
vypočítaná hodnota a hodnota, vytržená během výpočtu.
//Když vypnu GIE (globální vypínač přerušeni), tak nepojede vůbec
nic.datasheet str 119

        TRISA5 = 0; // Reset vystupu PWM
        CCPR1L = PWM_Set; // Nacteni hodnoty nove stridy

        TMR2IF=0; // clear event flag
    }
}

```

Příloha B – Seznam součástek

R1 120R

R2 120R

R3 1k

R4 4k7

R5 0.1R

R6 10k

C1 330uF/10V elektrolytický kondenzátor

C2 100nF/50V keramický kondenzátor

C3 100nF/50V keramický kondenzátor

C4 47uF/25V (16V) elektrolytický kondenzátor

C5 47uF/25V (16V) elektrolytický kondenzátor

C6 330uF/16V elektrolytický kondenzátor

C7 100nF/50V keramický kondenzátor

C8 10uF/50V elektrolytický kondenzátor

Q1 2N3904

Q2 2N3904

Q3 IRL2203

D3 1N5818

D4 1N5818

D5 1N5818

D6 Zenerova dioda 4V3

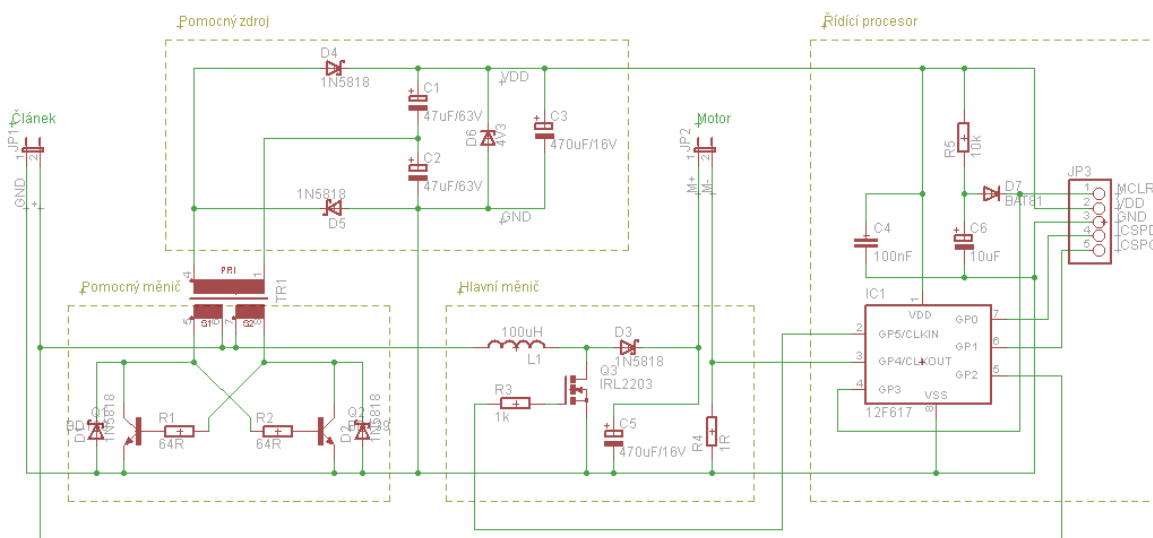
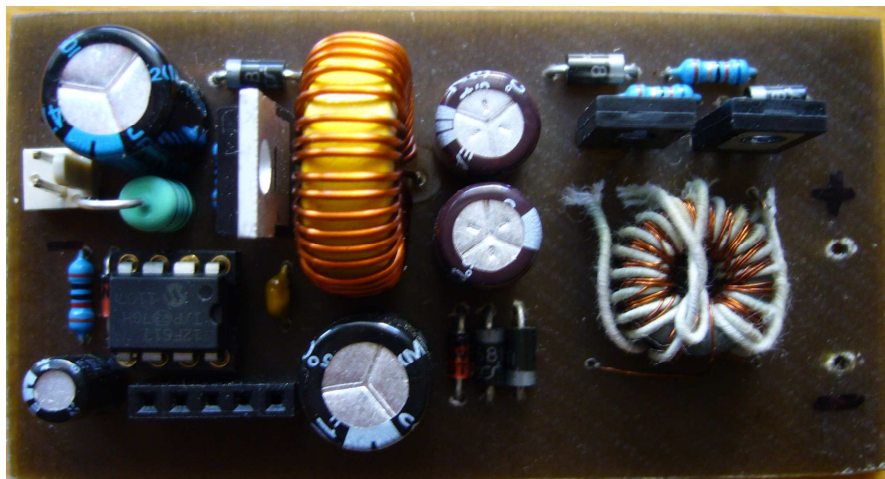
D7 1N4148

TR1 10z+10z / 30z

IC1 PIC12F617

Příloha C – První obvod

Zapojení číslo 1, které sem následně zdokonalil



Zapojení číslo 2 po zdokonalení

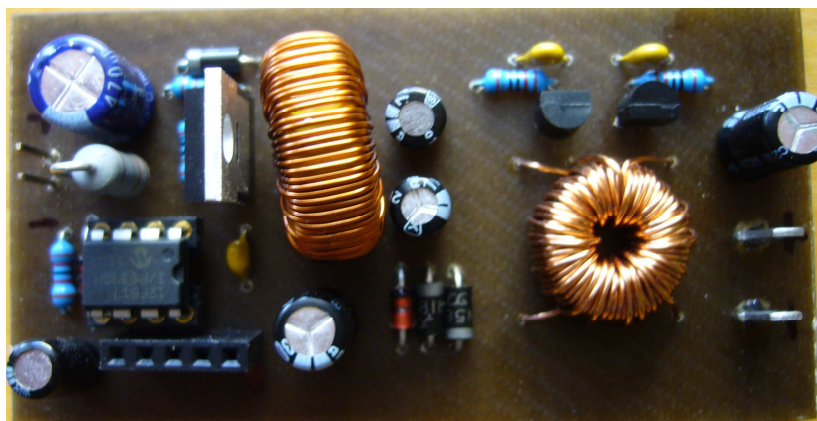


Schéma a popis je na straně číslo 40.