



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**MODEL KOMPLETNÍHO AKUMULAČNÍHO SYSTÉMU S
ŘÍZENÍM ZALOŽENÝ NA OBECNÝCH PŘEDPOKLADECH**

MODEL OF ELECTRIC ENERGY STORAGE WITH MANAGEMENT SYSTEM BASED ON GENERAL
ASSUMPTIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Miroslav Sedlák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Miroslav Sedlák

ID: 134604

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Model kompletního akumulčního systému s řízením založený na obecných předpokladech

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Studium teoretických podkladů
2. Vytvoření funkčního modelu v prostředí PSCAD nebo MapleSim
3. Robustní testování modelu za limitních podmínek
4. Zhodnocení výsledků

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

SEDLÁK, M. *Model kompletního akumulčního systému s řízením založený na obecných předpokladech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 49 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D..

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Model kompletního akumulčního systému s řízením založený na obecných předpokladech jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 21.05.2018

.....

ABSTRAKT

Problematika akumulácie elektrickej energie sa stáva čoraz dôležitejšia a neustále rastie jej význam. Je to spôsobené tým, že do elektrizačnej sústavy sa začleňuje čoraz viac obnoviteľných zdrojov energie, hlavne fotovoltaiických a veterných elektrární, ktoré spôsobujú zmeny vo výkonových pomeroch elektrickej siete. Ďalšie zmeny v sieti môže spôsobovať zmena správania spotrebiteľov elektrickej energie. Schopnosť vyrovnávať tieto zmeny v elektrizačnej sústave majú práve akumulčné systémy. Táto práca predstaví vybrané akumulčné systémy a spôsoby, akými možno uchovávať energiu. Ďalej v tejto práci bude vytvorený model akumulčného systému s riadením, založeným na všeobecných podmienkach. Tento model bude testovaný a zistí sa jeho správanie pri limitných podmienkach.

KLÍČOVÁ SLOVA: akumulácia; akumulčný systém; model akumulčného systému; batéria; SEPIC; striedač

ABSTRACT

The accumulation of electricity as an issue is becoming more important and its importance is constantly growing. This is due to the fact that more renewable energy sources, mainly photovoltaic and wind power plants, are being incorporated into the electricity system, causing changes in the power grid performance. Changing in the behavior of consumers of electricity can cause further changes in the network. The ability for compensations of these changes in the power grid has just accumulation systems. This Thesis for Master's Degree presents selected storage systems and ways in which energy can be stored. Further, in this work, a model of accumulation system with management based on general conditions will be created. This model will be tested and its behavior detected under the limit conditions.

KEY WORDS: accumulation; accumulator system; model of the accumulation system; battery; SEPIC; inverter

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	7
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 ÚVOD.....	12
2 AKUMULAČNÝ SYSTÉM.....	13
3 CHEMICKÉ SPÔSOBY USKLADNENIA ENERGIE.....	15
3.1 OLOVENÉ BATÉRIE	15
3.2 NIKEL-KADMIOVÉ BATÉRIE.....	16
3.3 LÍTIOVÉ BATÉRIE LI-ION.....	17
3.4 SÍROVO SODÍKOVÉ BATÉRIE NAS	18
3.5 SODÍK-NIKEL-CHLORIDOVÉ BATÉRIE	18
3.6 PREČERPÁVACIE BATÉRIE	19
3.6.1 VANÁDIOVÉ REDOXNÉ BATÉRIE.....	20
3.6.2 ZINKOVO-BROMIDOVÉ BATÉRIE.....	21
3.6.3 POLYSULFIDOVÉ BRÓMOVÉ BATÉRIE	21
3.6.4 ŽELEZO CHROMITÉ BATÉRIE	21
3.6.5 ŽELEZO CHLORITÉ BATÉRIE	22
3.6.6 ZINKOVO CÉRIOVÉ BATÉRIE.....	22
3.7 ÚLOŽISKÁ PLYNU	22
3.7.1 VODÍK	23
3.7.2 SYNTETICKÝ METÁN	24
4 MODEL AKUMULAČNÉHO SYSTÉMU	26
4.1 AKUMULAČNÁ JEDNOTKA	26
4.1.1 AKUMULAČNÝ ČLÁNOK (BUNKA BATÉRIE)	26
4.1.2 BATÉRIA S VOLITEĽNOU VEĽKOSŤOU NAPÄTIA A KAPACITY	31
4.1.3 MODEL AKUMULAČNEJ JEDNOTKY	31
4.1.4 VÝSLEDKY SIMULÁCIE AKUMULAČNEJ JEDNOTKY	34
4.2 JEDNOSMERNÝ MENIČ SEPIC	37
4.3 STRIEDAČ	41
5 TESTOVANIE MODELU	44
6 ZÁVER	47
POUŽITÁ LITERATÚRA	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 schéma olovenej batérie [3].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2 znázornenie chemických procesov v lítiovej batérii [4].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3 rez článku batérie [4].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4 rez článku batérie [4].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 5 schéma prečerpávacej batérie [6].....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 6 princíp elektrolýzy.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 7 princíp výroby syntetického metánu.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 8 jednoduchá štruktúra akumulčného systému</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 9 obvod batérie</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 10 vplyv povrchových účinkov na kladnej elektróde.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 11 vplyv povrchových účinkov na zápornej elektróde</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 12 vplyv vnútorného odporu</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 13 veľkosť potenciálu na zápornej elektróde</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 14 veľkosť potenciálu na kladnej elektróde</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 15 obvody počítajúce koncentráciu, množstvo náboja, kapacitu, počet potrebných buniek a obvod ochrany batérie.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 16 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 0,5C (1,1 A).....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 17 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 1C (2,2 A)</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 18 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 3C (6,6 A)</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 19 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 5C (11 A)</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 20 reakcia napätia batérie na zmenu odoberaného prúdu</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 21 nabíjanie batérie konštantným napätím 0,005 kV.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 22 vybíjanie batérie do záťaže s hodnotou 3 Ω s inými ako nominálnymi parametrami, a to U=0,04 kV a Q=10 Ah</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 23 zapojenie jednosmerného meniča typu SEPIC</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 24 obvody vypočítavajúce veľkosť jednotlivých prvkov v obvode meniča</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 25 zapojenie jednosmerného meniča pomocou vypínačov</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 26 riadiaci obvod jednosmerného meniča typu SEPIC</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 27 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,06 kV..</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 28 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,02 kV..</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 29 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,1 kV....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 30 zapojenie striedača</i>	<i>41</i>

<i>Obr. 31</i>	<i>riadiaci obvod striedača</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 32</i>	<i>charakteristika striedača</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 33</i>	<i>charakteristika dodávaného prúdu, v čase okolo 4 s sa zvýšila dodávka činného výkonu</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 34</i>	<i>charakteristika dodávaného prúdu, v čase okolo 4,21 s sa zvýšila dodávka jalového výkonu.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 35</i>	<i>schéma akumuláčného systému.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 36</i>	<i>charakteristika SOC (kontrola na dolný limit)</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 37</i>	<i>charakteristiky napätí (kontrola na dolný limit)</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 38</i>	<i>charakteristiky prúdov (kontrola na dolný limit)</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 39</i>	<i>charakteristika SOC (kontrola na horný limit)</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 40</i>	<i>charakteristiky napätí (kontrola na horný limit)</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 41</i>	<i>charakteristiky prúdov (kontrola na horný limit)</i>	<i>46</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Rozdelenie akumuláčnych systémov.....</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2 Parametre batérie [18].....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3 Ďalšie parametre batérie [18].....</i>	<i>30</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

A_{ik}	parameter
C_p	paralelná kapacita
C_s	sériová kapacita
D	strieda
F	Faradayova konštanta
I	prúd
I_{out}	výstupný prúd
J_i	prúdová hustota
J_{i0}	výmera prúdovej hustoty
L	indukčnosť
N_i	doba
Q	nominálna kapacita
R	univerzálna plynová konštanta
R_0	vnútorný odpor batérie
S_i	plocha elektródy
T	termodynamická teplota
U	napätie
$U_{0,i}$	štandardný potenciál na elektróde
U_D	napätia na dióde
$U_{in(min)}$	minimálna hodnota vstupného napätia
$U_{in(max)}$	maximálna hodnota vstupného napätia
U_{out}	výstupné napätie
V_0	úbytok napätia spôsobený vnútorným odporom
V_{INT}	korekciu aktivity
$V_{U,i}$	<i>potenciál elektródy</i>
$V_{\eta i}$	úbytok napätia spôsobený povrchovými účinkami
f_{sw}	spínacia frekvencia
i	elektróda
i_{ap}	prúd
k_i	korekčný parameter

n	počet elektrónov potrebných na reakciu
n	záporná elektróda
p	kladná elektróda
q_i	náboj na elektróde
q_{max}	celkový náboj
t	čas
x	molová koncentrácia
x_i	molová koncentrácia
ΔI	veľkosť zvlnenia prúdu
ΔU_{out}	veľkosť zvlnenia výstupného napätia
α	koeficient prenosu
α	materiál obsadený lítiovými iónmi
β	materiál, ktorý nie je obsadený lítiovými iónmi
γ	koeficient aktivity
τ	empirická časová konštanta
τ_0	empirická časová konštanta pre vnútorný odpor
$\tau_{\eta,p}$	empirická časová konštanta pre povrchové účinky na kladnej elektróde
$\tau_{\eta,n}$	empirická časová konštanta pre povrchové účinky na zápornej elektróde
LSM	oxid mangánu s prímесou lantánu
PEM	polymer electrolyte membrane
PI	proporcionálny a integračný
SEPIC	single-ended primary-inductor converter
SOC	stav nabitia batérie
SOEC	solid oxide electrolyser cell
YSZ	ytriom stabilizované zirkónium
max	maximálny
min	minimálny
nom	nominálny
napr.	napríklad
príp.	prípadne
resp.	respektíve
t.j.	to jest

1 ÚVOD

Na celom svete v poslednom období stúpa spotreba elektrickej energie. Značné množstvo elektrickej energie pokrývajúcej spotrebu pochádza z tradičných elektrární, hlavne uhelných. Nevýhodou týchto elektrární je, že využívajú palivo, ktoré je vyčerpatelné a vypúšťajú emisie, ktoré majú nepriaznivý vplyv na životné prostredie, pričom spôsobujú globálne otepľovanie. Ďalšiu vec, ktorú je nutné spomenúť je, že ťažba tohto paliva má značný vplyv na krajinný ráz a taktiež na životné prostredie.

Väčšina krajín sa rozhodla, že zníži množstvo vypúšťaných emisií do prostredia, a preto zaviedla systém dotácií, ktorými podporuje energiu vyrobenú z obnoviteľných zdrojov energie. Tieto zdroje energie sú síce šetrnejšie k životnému prostrediu, avšak väčšina z nich má nevýhodu, že nie sú tak stabilné ako tradičné zdroje. Hlavne sa to týka fotovoltaiických a veterných elektrární, ktorých výkon závisí na intenzite slnečného žiarenia, resp. na rýchlosti vetra, ktoré sa počas dňa i v jednotlivých ročných obdobiach menia. Tieto zmeny sa premietajú aj do elektrizačnej sústavy.

Vyrobená elektrická energia sa vo svojej podstate nedá skladovať, platí, že čo sa vyrobí, sa musí aj okamžite spotrebovať. Spotreba elektrickej energie je charakterizovaná odberovými diagramami (dennými, týždennými, ročnými) a tá sa nie vždy zhoduje s výrobou obnoviteľných zdrojov energie. V podstate platí, že výroba sa musí prispôbiť spotrebe. V prípade, ak tam vzniknú rozdiely, tak sa to prejaví na napätí a frekvencii v sieti.

Na vykrytie zmien v spotrebe alebo výrobe je potrebná, buď rýchla regulácia a nasadenie nového zdroja elektrickej energie, keďže zmena výkonu fotovoltaiickej, resp. veternej elektrárne je okamžitá, alebo využitie akumulačného systému, ktorý túto zmenu vykryje.

Akumulačné systémy sú úložiská energie, ktoré sú schopné uskladniť energiu v prípade jej prebytkov a dodať energiu v prípade jej nedostatkov. Vďaka tejto vlastnosti sú akumulačné zariadenia čoraz dôležitejšie a v budúcnosti budú mať pravdepodobne nezastupiteľnú úlohu.

Táto diplomová práca predstaví akumulačné systémy, následne priblíži chemický spôsob akumulácie. V ďalšej časti diplomová práca popíše akým spôsobom možno vytvoriť model akumulačného systému a tento model bude aj vytvorený. Následne tento model bude testovaný, zistí sa jeho funkčnosť a jeho správanie sa.

2 AKUMULAČNÝ SYSTÉM

Akumulačný systém je súbor zariadení, medzi sebou prepojených, ktoré dokážu uskladňovať prebytky energie zo siete a následne zase pri jej nedostatkoch energiu dodávať. Energiu možno uskladňovať vo viacerých podobách, a to takých ako popisuje tabuľka 1.

Tab. 1 Rozdelenie akumulačných systémov

Spôsoby akumulácie	tepelné energie	teplo		
		chlad		
	elektrické energie	super- kondenzátory		
		supravodivé cievky		
	mechanické energie	zotrvačníky		
		prečerpávacie vodné elektrárne		
		zásobníky stlačeného vzduchu		
	chemické energie	Systémy s vnútornými zásobníkmi	olovené batérie	
			nikel-kadmiové batérie	
			lítiové batérie	
			sírovo-sodíkové batérie	
			sodík-nikel chlori- dové batérie	
		Systémy s vonkajšími zásobníkmi	Prečerpávacie batérie	vanádiové redoxné batérie
				zinkovo-bromidové batérie
				polysulfidové brómové batérie
				železo-chromité batérie
				železo-chlorité batérie
				zinkovo-céριοvé batérie
			Úložiská plynu	vodík
				syntetický metán

Ako už bolo spomenuté, akumulčné systémy pomáhajú vyrovnat' výkyvy v elektrickej sieti medzi výrobou a spotrebou. Vzhľadom k tomu, že elektrická energia je v podstate neskladovateľná, akumulčný systém zabezpečuje skladovanie jej prebytkov a v prípade jej nedostatku ju zase uvoľňuje. Pre túto vlastnosť je akumulčný systém v elektrizačnej sústave nezastupiteľný. V súčasnosti musí byť elektrizačná sústava, keďže má malé skladové zásoby, dostatočne flexibilná na to, aby dodávala elektrickú energiu s požadovanými parametrami. Sústava s tradičnými zdrojmi s malou akumuláciou je možná, keďže rotujúca hmota jednotlivých zariadení siete ju stabilizuje a poskytuje dostatok času pre jej reguláciu. Pri začlenení väčšieho množstva obnoviteľných zdrojov je však stabilizácia a regulácia dosť problematická, ktorý problém dokáže vyriešiť iba začlenenie akumulčných zariadení do siete.

Prvé veľké akumulčné zariadenia využívané v energetike boli prečerpávacie vodné elektrárne, ktoré sa spočiatku budovali s výkonnými uholnými alebo jadrovými elektrárnami. Tie vyrábali konštantný výkon a prečerpávacie vodné elektrárne uchovávali prebytočnú energiu z nich v čase nízkeho odberu a v čase vysokého odberu ju zase doplňali. V súčasnosti sú prečerpávacie vodné elektrárne najpoužívanjšie úložiská energie.

Aby bola dosiahnutá, čo najlepšia účinnosť celej sústavy, je vhodné, ak sú akumulčné zariadenia menšieho výkonu a sú umiestnené blízko spotrebiteľských centier, pričom zariadenia by sa počas najväčšej spotreby energie vybíjali a počas najmenej spotreby energie dobíjali. [2][3]

Najdôležitejšie parametre pri akumulčných systémoch:

Výkon – je daný spotrebou pri výpadku zdroja

Kapacita – schopnosť zariadenia nahromadiť náboj, udáva sa v Ah, príp. Wh

Počet cyklov nabitia a vybitia – určuje životnosť akumulčného zariadenia

Rýchlosť nabíjania a vybíjania – schopnosť nabiť sa a vybiť sa počas určitého časového úseku

Reakčná rýchlosť – schopnosť prispôbiť sa medzi nabíjaním a vybíjaním, táto vlastnosť je dôležitá pri obnoviteľných zdrojoch energie

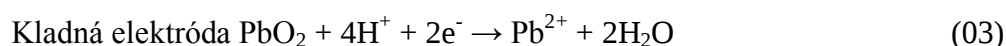
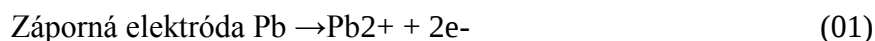
3 CHEMICKÉ SPÔSOBY USKLADNENIA ENERGIE

Chemické spôsoby uskladnenia energie predstavujú systémy, pri ktorých sa prebytočná energia ukladá do nových chemických látok. Pri týchto systémoch sa využívajú elektrochemické reakcie. Takéto uskladnenie možno prevádzať v systémoch s vnútorným alebo vonkajším zásobníkom. Pri systémoch s vnútorným zásobníkom proces elektrochemickej premeny energie a samotné skladovanie energie prebieha v tom istom priestore. Sem patria všetky tradičné batérie, napr. olovené, nikel-kadmiové, lítiové, ... Batéria je súbor vzájomne pospájaných akumulčných článkov. Pri systémoch s vonkajším zásobníkom je skladovacie médium oddelené od priestoru elektrochemickej premeny energie. Sem patria prietokové batérie a úložiská plynu. V nasledujúcej kapitole budú popísané najpoužívannejšie spôsoby chemickej akumulácie. [3]

3.1 Olovené batérie

Olovené batérie môžu mať viacero konštrukčných prevedení, obvykle predstavujú nádobu v ktorej sú jednotlivé články pospájané do série. Mriežkované elektródy z olova (Pb) alebo olovenej zliatiny sú napastované pastou z oxidov olova a kyseliny sírovej a ponorené do elektrolytu, ktorý predstavuje vodný roztok s kyselinou sírovou (H_2SO_4). Napätie takéhoto článku je 2 až 2,1 V, pričom článok je vybitý, ak má okolo 1,775 V (hlboko vybitý až 1 V).

Chemické reakcie pri vybíjaní:



Pri vybíjaní batérie olovo (Pb) odovzdá elektróny a vznikne ión olova (Pb^{2+}), zároveň oxid olovičitý (PbO_2) príjme elektróny a bude reagovať s iónmi vodíka (H^+) a vznikne ión olova (Pb^{2+}). Takto vzniknuté ióny olova budú následne reagovať s iónmi kyseliny sírovej (SO_4^{2-}) a vznikne síran olovnatý (PbSO_4). Pri vybíjaní sa spotrebováva kyselina sírová a vzniká voda. Nabíjanie prebieha naopak. Ak sa bude batéria prebíjať začne sa voda v elektrolyte rozkladať, batéria bude plynovať. Po nabití je záporná elektróda potiahnutá vrstvou rozptýleného šedého hubovitého olova (Pb) a kladná elektróda vrstvou červenohnedého oxidu olovičitého (PbO_2).

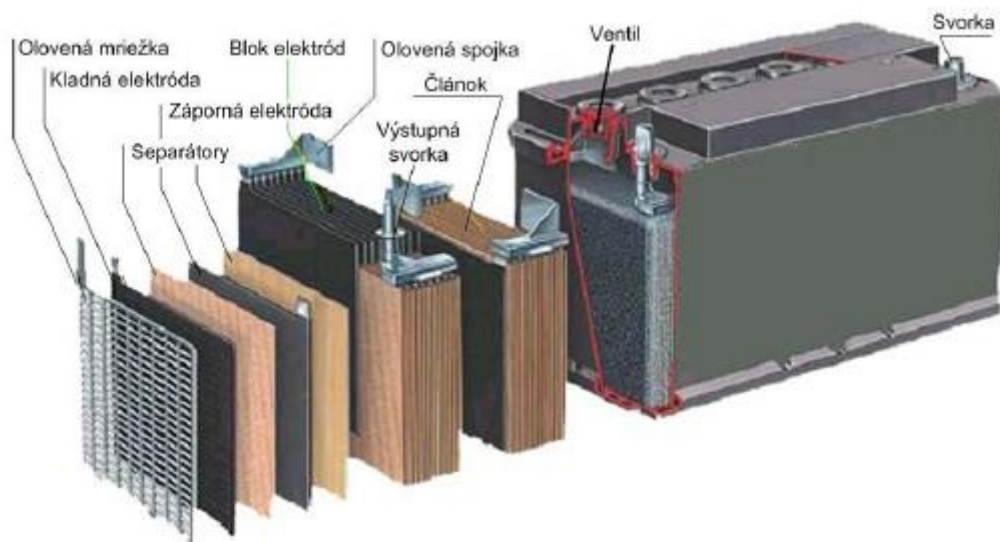
V súčasnosti sú olovené batérie najpoužívannejšie, ich účinnosť je 80 až 90 %, vydržia 1000 až 2000 cyklov nabitia a vybitia, majú nízku cenu. Ich nevýhodou je malé množstvo uchovanej energie na jednotku hmotnosti, dlhý čas nabíjania a skutočnosť, že nevedia naplno využiť svoju kapacitu pri veľkom vybíjacom prúde. Používajú sa v ostrovných systémoch využívajúcich obnoviteľné zdroje energie, na zlepšenie kvality dodávanej energie v koncových bodoch, ako núdzové zdroje, na pohon elektrických vozidiel, na štartovanie motorov,...

Existuje viacero konštrukčných druhov olovených batérii, a to:

Bezúdržbové batérie - sú konštruované tak, aby z nich pri nabíjaní neunikal vodík a kyslík, ale naspäť rekombinovali na vodu.

Špirálové batérie - v nich sú pevne spojené elektródy zo zliatiny olova, ktoré majú medzi sebou separátor zo sklenených vlákien, a následne sú stočené a ponorené do elektrolytu. Majú vyššiu životnosť a vyšší výkon.

Gélové batérie - do elektrolytu z kyseliny sírovej je pridaný sklenený prach vďaka čomu elektrolyt zhutne a zmení sa na gél. Tieto batérie majú vyšší vnútorný odpor, sú bezpečnejšie, majú vyššiu životnosť a spoľahlivosť. [2][3][4][5]

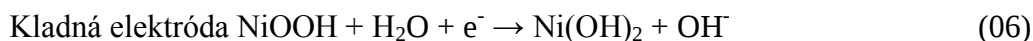
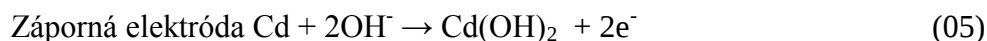


Obr. 1 schéma olovenej batérie [3]

3.2 Nikel-kadmiové batérie

Tento typ batérií sa môže skladať z viacerých článkov. Každý článok predstavuje nádobu, v ktorej je kladná elektróda vyrobená z niklu a na nej je nanesený oxidhydroxid niklu (NiOOH) a záporná elektróda je vyrobená z hubovitého kadmia. Medzi nimi sa nachádza elektrolyt, ktorý predstavuje vodný roztok s 30 až 35 % hydroxidu draselného (KOH) s prímiesou 1 až 2 % hydroxidu lítia (LiOH). V batérii sa ešte nachádza pohlcovač vlhkosti a separátor oddeľujúci elektródy. Napätie jedného článku je až 1,35 V, článok je vybitý ak má 1 až 1,1 V, potom ho je nutné znova nabiť, inak sa poškodí.

Chemické reakcie pri vybíjaní:



Pri vybíjaní kadmium (Cd) reaguje s iónmi hydroxidu (OH^-) a vzniká hydroxid kademnatý ($\text{Cd}(\text{OH})_2$), pričom sa uvoľňuje elektrón a oxidhydroxid nikelný (NiOOH) reaguje s vodou, prijíma elektrón a vzniká hydroxid nikelnatý ($\text{Ni}(\text{OH})_2$). Počas vybíjania elektrolyt hustne. Nabíjanie prebieha naopak. Pri týchto typoch batérií treba dať pozor na prebitie, čo môže poškodiť pohlcovač vlhkosti alebo znížiť životnosť batérie.

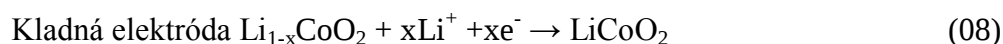
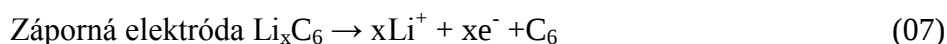
Účinnosť týchto batérií je okolo 70 %, životnosť majú 500 až 2000 cyklov nabitia a vybitia, spoľahlivo fungujú v rozmedzí teplôt -20 až 40°C . Nevýhodou týchto batérií je, že majú pamäťový efekt a používajú kadmium, ktoré je toxické pre živé organizmy. Tieto batérie možno

použiť v pomocných energetických zdrojoch, akumulčných staniciach, ako štart batérie, ... [3][4]

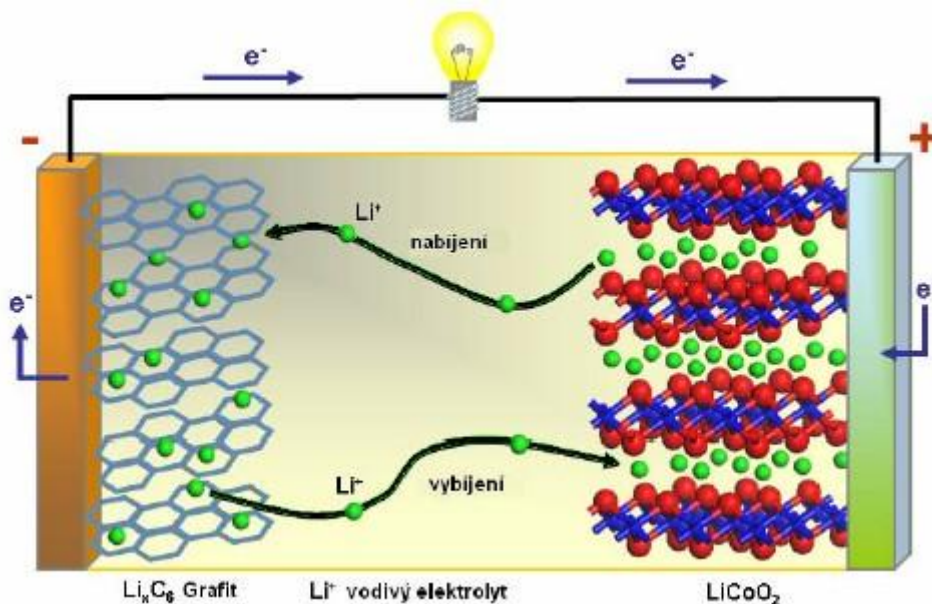
3.3 Lítiové batérie Li-ion

Obvykle sú zapuzdrené v nádobách. Článok v batérii má zápornú elektródu vyrobenú z porézneho uhlíka (C) a kladnú elektródu z oxidu lítia alebo iného kovu, napr. LiCoO_2 , LiMnO_2 , LiMn_2O_4 , LiNiO_2 , LiMoO_2 . Dôležité je, aby materiál dobre prijímal ióny lítia a zase ich uvoľňoval. Ako elektrolyt sa používa lítiová soľ LiPF_6 , LiBF_4 alebo LiClO_4 , ktorá je rozpustená v organických karbonátoch. Ak by sa použil ako elektrolyt aj gél, napr. polyakrylonitril, polyethylenoxid, tak by išlo o Li-pol batérie. Separátory bývajú zase vyrobené z poréznej fólie. Napätie článkov až 3,6 V v závislosti od použitých materiálov.

Chemické reakcie pri vybíjaní:



Pri vybíjaní sa uvoľní z uhlíkovej štruktúry (Li_xC_6) elektrón a ión lítia (Li^+). Ión lítia potom putuje cez elektrolyt a separátor, kde potom prijme elektrón a pridruží sa do štruktúry kladnej elektródy (v tomto prípade LiCoO_2). Nabíjanie prebieha naopak.



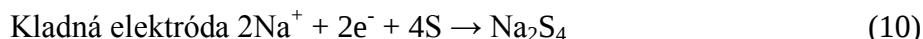
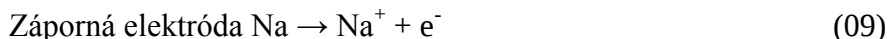
Obr. 2 znázornenie chemických procesov v lítiovej batérii [4]

Tieto batérie majú účinnosť až 95%, životnosť až 3000 cyklov nabitia a vybitia, sú schopné uchovať veľké množstvo energie na jednotku hmotnosti, majú rýchle nabíjanie a vybíjanie, preto sú výhodné pre dynamické systémy. Majú nízky vnútorný odpor, čo umožňuje odoberať značný prúd. Batérie používajúce gélový elektrolyt sú ľahšie a bezpečnejšie, ale drahšie. Nevýhodou je stále ich vysoká cena. Tento typ batérii sa v súčasnosti využíva v mobilných aplikáciách a v systémoch UPS, do budúcnosti je predpoklad, že by sa mohol využiť v doprave. [2][3][4]

3.4 Sírovo Sodíkové batérie NaS

Jednotlivé články batérií sú uložené v hermeticky uzavretej nádobe, v ktorej je vákuum alebo je vyplnená argónom. Každý článok predstavuje uzavretú nádobu, v ktorej kladná elektróda je vyrobená z roztavenej síry (S) a uhlíkovej plsti, a záporná elektróda je z roztaveného sodíka (Na). Medzi nimi sa nachádza pevný elektrolyt z keramického materiálu beta-aluminy ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$). Medzi roztavením sodíkom a keramickým elektrolytom sa nachádza ešte bezpečnostná zložka. Pracovná teplota tejto batérie je 300 až 350°C. Napätie jedného článku je 2,08 V.

Chemické reakcie pri vybíjaní:



Pri vybíjaní sa zo sodíka (Na) uvoľní elektrón a vzniká ión sodíka (Na^+), ktorý prechádza cez elektrolyt. Potom sa zlúči so sírou (S), prijíma elektrón a vzniká polysulfid sodný (Na_2S_4). Nabíjanie prebieha naopak.

Tento typ batérií je určený pre trvalú prevádzku, pri pravidelných cykloch bez prestávok a dostatočnej izolácii sa pracovná teplota udržiava iba reakčným teplom. Účinnosť týchto batérií je 80 až 90 %, dlhá životnosť, zaberajú malý priestor, možno ich krátkodobo veľmi preťažiť, rýchlo sa dobíjajú a nedochádza u nich k samovybíjaniu. Ich nevýhodou je nemožnosť transportu a prevádzky s vibráciami. [2][3][4][5]

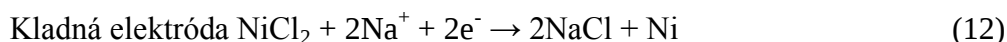
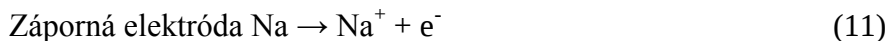


Obr. 3 rez článku batérie [4]

3.5 Sodík-nikel-chloridové batérie

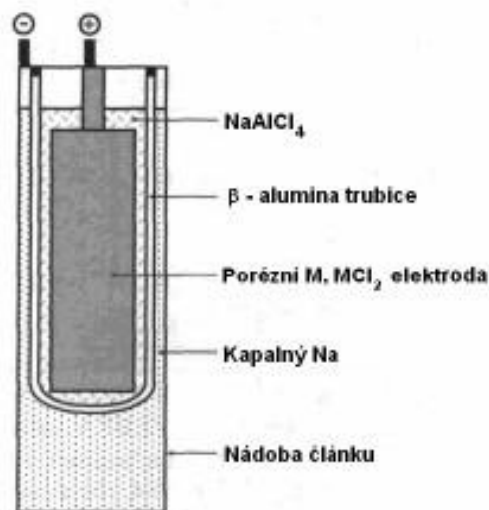
Obchodné označenie je batéria Zebra. Batéria je konštrukčne podobná batérii NaS. Každý článok v nej predstavuje uzavretú nádobu, v ktorej kladná elektróda je vyrobená z roztoku niklu a chloridu sodného ($\text{Ni} + \text{NaCl}$) a záporná elektróda je z roztaveného sodíka (Na). Medzi nimi sa nachádza jeden pevný elektrolyt z keramického materiálu beta-aluminy ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$) a druhý kvapalný z NaAlCl_4 . Ten zabezpečuje lepšiu vodivosť iónov medzi kladnou elektródou a keramickým elektrolytom. Pracovná teplota tejto batérie je 200 až 400°C. Napätie jedného článku je 2,08 V.

Chemické reakcie pri vybíjaní:



Pri vybíjaní sa zo sodíka (Na) uvoľní elektrón a vzniká ión sodíka (Na^+), ktorý prechádza cez elektrolyt. Potom nahradzuje nikel (Ni) v nikelchloride (NiCl_2), prijíma elektrón a vzniká roztok chloridu sodného (NaCl) a niklu (Ni). Vzniknutý nikel sa usadzuje na niklovej elektróde. Nabíjanie prebieha naopak.

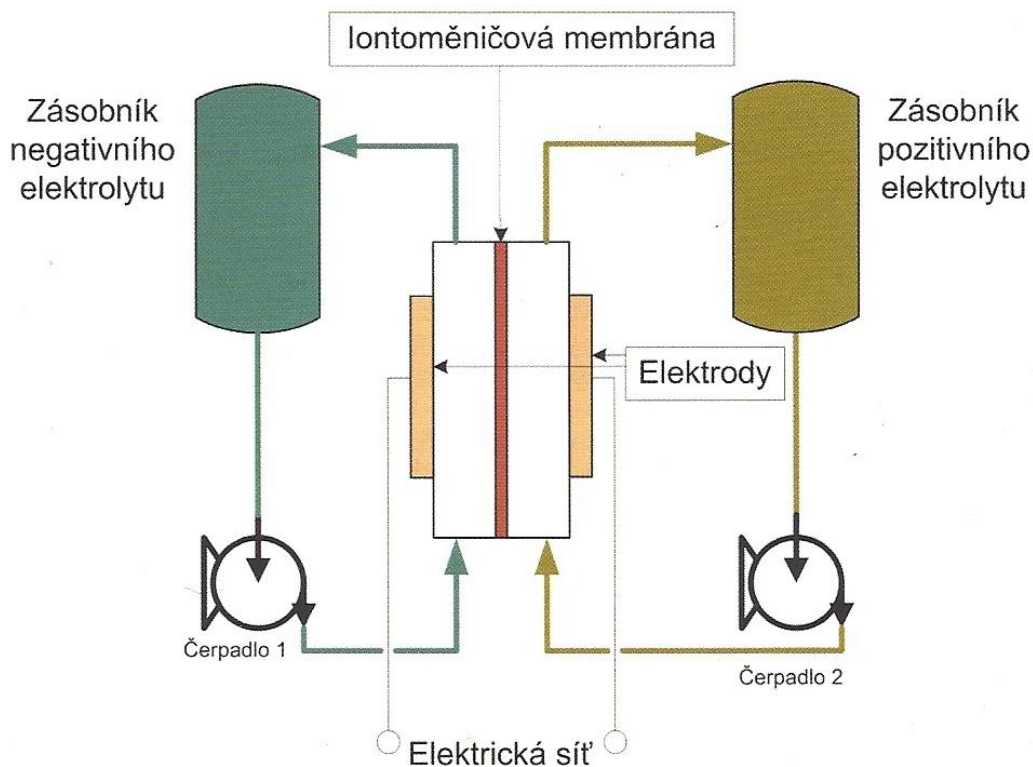
Tento typ batérií je určený pre trvalú prevádzku, pri pravidelných cykloch bez prestávok a dostatočnej izolácii sa pracovná teplota udržiava iba reakčným teplom. Táto batéria má životnosť až 2500 cyklov nabitia a vybitia. V prípade poruchy jedného článku v batérii, klesne na ňom odpor aj napätie, pričom nevypadne celý akumulčný systém. [2][3][4][5]



Obr. 4 rez článku batérie [4]

3.6 Prečerpávacie batérie

V týchto typoch batérií sa energia uskladňuje v dvoch vzájomne oddelených elektrolytoch skladovaných v zásobníkoch, ktoré sa potom pomocou čerpadiel vháňajú do spoločného článku, kde ich od seba oddeľuje porézna iónomeničová membrána. Ku každému elektrolytu je v článku privedená elektróda. Pri nabíjaní a vybíjaní sa potom mení iónový stav elektrolytov. Princíp je zobrazený na obrázku 5. Kapacita batérii je daná množstvom elektrolytu, jej výkon zasa veľkosťou spoločného článku.



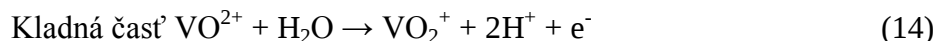
Obr. 5 schéma prečerpávacej batérie [6]

Tieto technológie sú dosť náročné na priestor. V súčasnosti existujú: Vanádiová redoxová batéria, zinkovo bromidová batéria, polysulfidová brómová batéria, železo chromitá batéria, železo chloritá batéria, zinkovo cériová batéria. [3][6]

3.6.1 Vanádiové redoxné batérie

Tieto batérie využívajú roztok z oxidu vanadičného (V_2O_5), ktorý je rozpustený v kyseline sírovej (H_2SO_4). V každej časti článku je vanádium v rôznom valenčnom stave, v kladnej časti sú ióny VO^{2+} a VO_2^+ a v zápornej časti sú ióny V^{3+} a V^{2+} . Medzi kladnou a zápornou časťou je iónomeničová membrána.

Chemické reakcie pri nabíjaní:



Pri vybíjaní a nabíjaní dochádza k zmene valenčného stavu vanádu, uvoľňovaniu a prijímaniu elektrónov a k výmene protónov (ióny vodíka H^+) medzi elektrolytmí. Vybíjacie reakcie sú naopak.

Napätie nabitého článku je až 1,35 V, vybitý má 1 V. Účinnosť týchto batérií je 65 až 75 %. Elektrolyt vydrží neobmedzený počet cyklov nabitia a vybitia, v tejto batérii je obmedzujúcim faktorom iónomeničová membrána, ktorá vydrží okolo 15000 cyklov. Ak dôjde k náhodnému zmiešaniu elektrolytov, tak nedôjde k ich kontaminácii. Tieto batérie môžu prejsť z režimu nabíjania na vybíjanie a naopak skoro okamžite. Je ich možno použiť k optimalizácii siete,

môžu slúžiť ako záložný zdroj, k vykryvaniu fluktuácie v sieti spôsobenej obnoviteľnými zdrojmi energie. [2][3][4][7]

3.6.2 Zinkovo-bromidové batérie

V tomto type batérii je kladná elektróda vyrobená z brómu (Br_2) a záporná zo zinku (Zn). V celej batérii sa používa vodný roztok bromidu zinočnatého (ZnBr_2), ktorý cirkuluje v dvoch okruhoch oddelených mikroporéznu membránou.

Chemické reakcie pri nabíjaní:



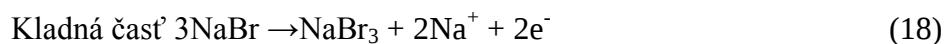
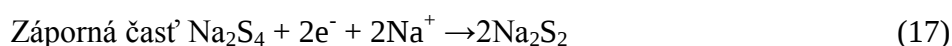
Pri nabíjaní sa ukladajú ióny zinku (Zn^{2+}) v podobe tenkého filmu na elektróde a z iónov brómu (Br^-) vzniká molekula brómu (Br_2) ktorá potom reaguje s organickou aminozlúčeninou a vzniká napr. bromid amonný (NH_4Br), je to hustá olejová kvapalina, ktorá sa ukladá na dne zásobníka. Pri vybíjaní sa táto látka zmieša s ostatkom elektrolytu a uvoľňuje sa z neho potrebný bróm, ktorý je následne rozkladaný na ióny. Taktiež sa uvoľňujú ióny zinku z elektródy.

Napätie nabitého článku je 1,83 V. Účinnosť týchto batérií je 75 %. Nevýhodou týchto batérií je, že kapacita sa môže zmenšiť, ak batéria nebude regulérne a kompletne vybitá. [2][3][4]

3.6.3 Polysulfidové brómové batérie

Tento typ batérií používa roztoky bromidu sodného (NaBr) a polysulfidu sodného (Na_2S_4). V kladnej časti je bromid sodný (NaBr) a v zápornej polysulfid sodný (Na_2S_4). Oba roztoky sú oddelené iónomeničovou membránou.

Chemické reakcie pri nabíjaní:



Pri nabíjaní sa bromid sodný (NaBr) zmení na bromid soditý (NaBr_3) pričom uvoľní ióny sodíka (Na^+) a elektróny, a polysulfid sodný (Na_2S_4), prijme elektróny a ióny sodíka (Na^+), ktoré prešli cez iónomeničovú membránu, a zmení sa na disulfid sodný (Na_2S_2).

Napätie nabitého článku je 1,5 V. Účinnosť týchto batérií je 75 %. Tento typ batérií sa javí ako perspektívny pre veľké akumulčné systémy. [2][8]

3.6.4 Železo chromité batérie

Tento typ batérií používa v kladnej časti článku ako reaktant roztok železnato železitý a v zápornej roztok chromato chromitý, obidva reaktanty sú rozpustené v kyseline chlorovodíkovej. Tieto roztoky sú od seba oddelené iónomeničovou membránou.

Chemické reakcie pri nabíjaní:





Pri vybíjaní a nabíjaní dochádza k zmene valenčného stavu chrómu a železa, uvoľňovaniu a prijímaniu elektrónov a k výmene protónov (ióny vodíka H^+) medzi elektrolytmi. Vybíjacie reakcie sú naopak.

Napätie nabitého článku je 1,17 V vybitého 0,9 V, účinnosť je 70 a 80 % a je teplotne závislá (rastie s teplotou), pracovná teplota týchto batérií je 40–60°C. Tieto batérie sú lacnejšie a menej toxické ako vanádiové alebo zinkovo-brómové. Nevýhodou je, že ich elektrolyt má korozívne účinky. [6][9]

3.6.5 Železo chlorité batérie

Tento typ batérií používa ako elektrolyt roztok chloridu železnatého a chloridu železitého. Tento roztok cirkuluje v dvoch okruhoch oddelených iónomeničovou membránou.

Chemické reakcie pri nabíjaní:



Pri vybíjaní a nabíjaní dochádza k zmene valenčného stavu železa, uvoľňovaniu a prijímaniu elektrónov a k výmene protónov (ióny vodíka H^+) medzi elektrolytmi. Vybíjacie reakcie sú naopak.

Napätie článku okolo 1,2 V. Výhodou týchto batérií je, že používajú lacný elektrolyt. [6]

3.6.6 Zinkovo cériové batérie

Tento typ batérií používa cérium (Ce) a zinok (Zn), ktoré sú rozpustené v kyseline siričitej (H_2SO_3), v kladnej časti článku je roztok so zinkom a v zápornej je roztok s cériom. Tieto roztoky sú od seba oddelené iónomeničovou membránou.

Chemické reakcie pri nabíjaní:



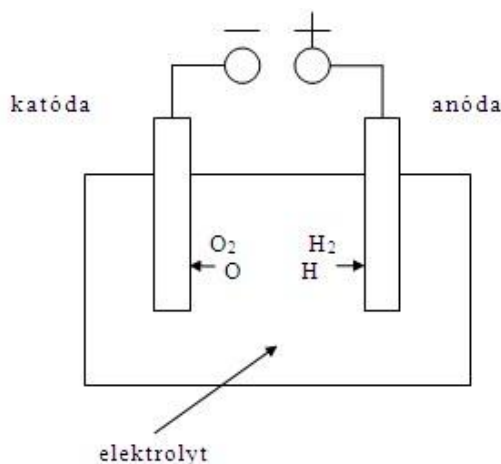
Pri nabíjaní ióny zinku prijímajú elektróny, dochádza k usadzovaniu zinku na elektróde, taktiež dochádza k zmene valenčného stavu céria tým, že odovzdá elektrón. Aby sa uzavrel prúdový okruh musí dochádzať k výmene protónov (iónov vodíka H^+) medzi elektrolytmi. Vybíjanie prebieha naopak. Napätie článku je 2,5 až 2 V. [3][6]

3.7 Úložiská plynu

Pomocou prebytočnej energie sa vyrobí plyn, ktorý je následne uchovávaný v úložiskách plynu. Vzniknutý plyn sa využije neskôr, keď bude nedostatok energie. Plyny, ktoré možno použiť, sú vodík alebo syntetický metán.

3.7.1 Vodík

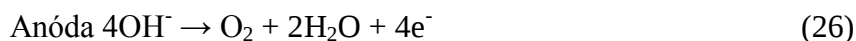
Ak sa vodík má využiť ako médium pri uskladnení energie, tak je ho nutné vyrobiť pomocou elektrolýzy vody. Elektrolýza je rozkladný dej, ktorý je spôsobený prechodom elektrického prúdu cez roztok, pri tom dochádza k chemickým reakciám na elektródach, čiže oxidácii a redukcii, za pôsobenia určitých katalyzátorov. Princíp elektrolýzy zobrazuje nasledujúci obrázok. [6]



Obr. 6 princíp elektrolýzy

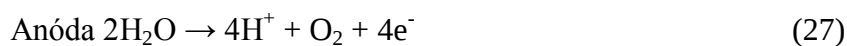
Existuje viacero typov elektrolytických článkov (elektrolyzérov), najpoužívanejšie sú: nízкотеплотný alkalický elektrolýzer, nízкотеплотný PEM elektrolýzer a vysokотеплотný SOEC elektrolýzer. [10]

Pri alkalických elektrolýzeroch sa ako elektrolyt používa 30 % roztok hydroxidu draselného KOH. Elektródy sú vyrobené z niklu. Pri prechode jednosmerného prúdu prebiehajú nasledovné reakcie:



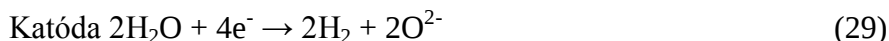
Na katóde voda prijíma elektrón, vzniká tam vodík (H_2) a vytvárajú sa ióny hydroxidu (OH^-). Tie potom putujú cez roztok k anóde, kde tieto ióny prijímajú elektrón, zlučujú sa a vytvárajú kyslík (O_2). Výhodou alkalickej elektrolýzy je pomerne nízka investičná náročnosť, nevýhodou zase nižšia účinnosť a väčšie rozmery. [10][11][12]

Pri PEM elektrolýzeroch, resp. kyslých elektrolýzeroch s polymérovým membránovým elektrolytom, sa ako elektrolyt používa iónovo vodivá membrána. Elektródy sú vyrobené z platiny. Pri prechode jednosmerného prúdu prebiehajú nasledovné reakcie:



Na anóde voda odovzdá elektrón, vzniká tam kyslík (O_2) a ióny vodíka (H^+). Tie potom prechádzajú cez pórovitú membránu ku katóde, kde odoberajú elektrón a vzniká vodík (H_2). Výhodou PEM elektrolýzy je vyššia účinnosť a malé rozmery, nevýhodou zase vysoká cena. [10][11][12]

Pri SOEC elektrolyzéroch sa ako elektrolyt používa keramický materiál ytriom stabilizované zirkónium (YSZ). Anóda je vyrobená z oxidu mangánu s prímiesou lantánu (LSM) a katóda je vyrobená na báze niklu. Pracovná teplota je okolo 800°C. Pri prechode jednosmerného prúdu prebiehajú nasledovné reakcie:



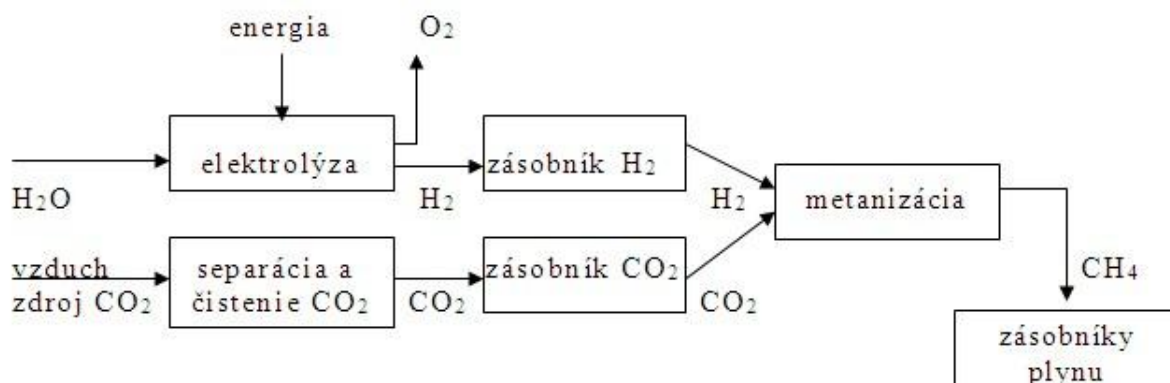
Ku katóde vstupuje zmes vodnej pary s vodíkom. Vodná para prijíma elektrón a vzniká vodík a ióny kyslíka. Tie potom cez pórovitý keramický materiál prechádzajú k anóde, kde odovzdávajú elektróny a vzniká kyslík. Vystupujúca zmes od katódy obsahuje zmes pary a vodíka, ktoré sa následne odseparujú. Výhodou SOEC je jej vysoká účinnosť, ktorá je spôsobená vysokou pracovnou teplotou. Nevýhodou je, že vysoká pracovná teplota značne namáha použité materiály. [2][10][13]

Vzniknutý vodík má určitú nevýhodu, a to je jeho rýchla reakcia s kyslíkom a tendencia unikať aj z uzavretých nádob, čo je spôsobené veľkosťou jeho molekúl, preto je jeho skladovanie a preprava náročnejšia ako pri iných plynoch. Vodík možno skladovať a prepravovať buď ako stlačený plyn v tlakových nádobách alebo v kvapalnom stave, prípadne v chemických väzbách určitých zlúčenín, čo je však v štádiu výskumu. Pri uskladnení vodíka dochádza k značným stratám, preto celková účinnosť vodíkového úložiska je obvykle okolo 50 až 60 %. [2][13]

Uskladnený vodík možno následne spaľovať alebo použiť v palivových článkoch. Tie pracujú na opačnom princípe ako elektrolyza, t.j. zlučujú sa molekuly do novej molekuly a pri tom sa uvoľňuje energia. Tento systém uskladnenia energie je vhodné použiť v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi energie, kde by využívanie vodíka vykrývalo výpadky a poklesy výkonu napr. fotovoltickej alebo veternej elektrárni a prebytky energie z obnoviteľného zdroja by sa použili na jeho výrobu. [13]

3.7.2 Syntetický metán

Pri výrobe syntetického metánu sa využíva viacero procesov, a to elektrolyza vody, získavanie oxidu uhličitého a metanizácia. Celý tento postup popisuje nasledujúci obrázok.



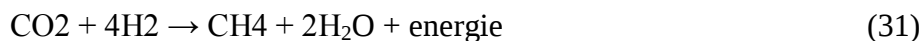
Obr. 7 princíp výroby syntetického metánu

Najprv sa z prebytočnej energie získa vodík pomocou elektrolyzy, ktorá bola popísaná v predchádzajúcej kapitole.

Ďalej je potrebné získať oxid uhličitý. Ten sa získava buď separáciou z okolitého prostredia (zo vzduchu) alebo priamo z priemyselných procesov, pri ktorých je to odpad. Získaný oxid uhličitý musí byť dostatočne čistý.

Nasleduje metanizácia, využíva sa pri tom Sebatierová reakcia. Je to reakcia vodíka s oxidom uhličitým pri zvýšených teplotách (300 až 400 ° C) a tlaku za prítomnosti niklového katalyzátora pri výrobe metánu a vody. Ako účinnejší katalyzátor možno použiť ruthénium (Ru) s oxidom hlinitým.

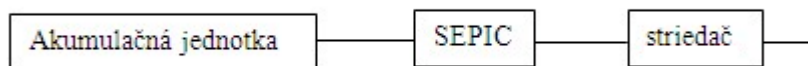
Sebatierovú reakciu opisuje nasledujúci vzťah:



Účinnosť premeny na plyn je do 70%, celková účinnosť uskladnenia je 30 až 38 %, v prípade, ak sa využije aj odpadové teplo, bude účinnosť dosahovať až 54%. Výhodou tejto metódy je, že syntetický metán, tak reaktívny ako vodík, sa dá dlhodobo skladovať, pri zanedbateľných stratách, a prepravovať pomocou už existujúcej rozvinutej plynovej sústavy. Straty pri preprave sú do 1 %, zatiaľ čo distribučná sieť má straty okolo 4 %. Vzniknutý plyn možno prakticky využiť v už existujúcom zariadení vzdialenom aj stovky kilometrov. Tento systém uskladnenia energie je vhodné použiť v kombinácii s obnoviteľnými zdrojmi energie, kde by sa prebytočná energia z obnoviteľného zdroja týmto spôsobom uskladnila a neskôr využila v čase, keď energia nebude dostupná. [14][15][16][17]

4 MODEL AKUMULAČNÉHO SYSTÉMU

Hlavnou úlohou tejto diplomovej práce je navrhnúť a vytvoriť model akumuláčného systému využívajúceho chemický spôsob akumulácie. Model sa bude skladať z akumuláčnej jednotky, jednosmerného meniča typu SEPIC, striedača, ktorý bude v prípade nabíjania slúžiť ako usmerňovač. Jednoduchú štruktúru modelu takéhoto modelu popisuje nasledujúci obrázok.



Obr. 8 jednoduchá štruktúra akumuláčného systému

Model bude vytvorený v programe PSCAD 4.5.4. Najdôležitejšiu časť tohto modelu má predstavovať akumuláčná jednotka.

4.1 Akumulačná jednotka

Akumulačná jednotka je zariadenie, ktoré zhromažďuje energiu a v prípade potreby ju dodáva (vybíja sa) alebo odoberá (nabíja sa). Ako akumuláčná jednotka vytvoreného systému bude použitá lítiová batéria, v ktorej si bude možné zvoliť napätie v kV a kapacitu v Ah. Pri vytváraní modelu je dôležité, aby čo najviac rešpektoval fyzikálnochemické vlastnosti zvoleného typu batérie.

Batéria predstavuje súbor akumuláčnych článkov, ktoré sú medzi sebou prepojené. Každý článok predstavuje bunku, ktorá má charakteristické výstupné napätie a kapacitu.

4.1.1 Akumulačný článok (Bunka batérie)

Ako referenčný akumuláčny článok (bunka batérie) bola zvolená lítiová batéria typu 18650 s nominálnym napätím 3,7 V a nominálnou kapacitou 2,2 Ah, v ktorej je kladná elektróda vyrobená z LiCoO_2 a záporná elektróda z LiC . Chemické reakcie takejto batérie sú popísané v kapitole 3.3 rovnicami 07 a 08.

Celkové napätie na bunke batérie sa určí ako rozdiel elektrických potenciálov jednotlivých elektród. Na veľkosť tohto napätia bude mať ešte vplyv vnútorný odpor batérie, povrchové účinky na elektródach, stav nabitia batérie (SOC), teplota, Peukertov zákon, ...

Popis jednotlivých vplyvov na celkové napätie, nachádzajúci sa v nasledujúcej časti, je síce určený pre zvolenú batériu (referenčnú), avšak s menšími úpravami by sa dal aplikovať aj na iné typy batérií. [18]

4.1.1.1 Potenciál elektródy

Potenciál elektródy je možné určiť pomocou Nernstovej rovnice, ktorú zobrazuje rovnica číslo 32 alebo 33.

$$V_{U,i} = U_{0,i} + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{\gamma_{\beta i} x_{\beta i}}{\gamma_{\alpha i} x_{\alpha i}} \right) \quad (32)$$

$$V_{U,i} = U_{0,i} + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{x_{\beta i}}{x_{\alpha i}} \right) + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{\gamma_{\beta i}}{\gamma_{\alpha i}} \right) \quad (33)$$

V rovniciach i predstavuje elektródu (n zápornú a p kladnú), $U_{0,i}$ je štandardný potenciál, R je univerzálna plynová konštanta, T je termodynamická teplota, F je Faradayova konštanta, n je počet elektrónov potrebných na reakciu, x je molová koncentrácia, γ je koeficient aktivity, α predstavuje materiál obsadený lítiovými iónmi a β predstavuje materiál, ktorý nie je obsadený týmito iónmi. [18][19]

V rovnici číslo 33 sa nahradí $x_{\beta,i}$ vzťahom $x_{\beta,i}=1-x_{\alpha,i}$, ktorý platí pre lítiové batérie a $x_{\alpha,i}$ nahradíme x_i , výsledná rovnica získa tvar:

$$V_{U,i} = U_{0,i} + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{1-x_i}{x_i} \right) + V_{INT,i} \quad (34)$$

V nej V_{INT} predstavuje korekciu aktivity. Molová koncentrácia x_i je daná pomerom náboja na elektróde (q_i) k celkovému náboju v batérii (q_{max}), pričom náboj reprezentuje množstvo dostupných iónov. Tento pomer zobrazuje rovnica číslo 35. [18]

$$x_i = \frac{q_i}{q_{max}} \quad (35)$$

Na popis korekcie aktivity (V_{INT}) sa pri lítiových batériách môže použiť Redlich-Kisterovo rozšírenie, ktoré zobrazuje rovnica číslo 36. [18][19]

$$V_{INT,i} = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{\gamma_{\beta i}}{\gamma_{\alpha i}} \right) = \frac{1}{nF} \left\{ \sum_{k=0}^{N_i} A_{i,k} \left[(2x_i - 1)^{k+1} - \frac{2x_i k (1 - x_i)}{(2x_i - 1)^{1-k}} \right] \right\} \quad (36)$$

V ňom pre každú dobu N_i sa musí identifikovať parameter A_{ik} , na identifikáciu možno použiť Nelder-Meadovu simplexnú metódu. Veľkosť jednotlivých parametrov je zobrazená v nasledujúcej tabuľke (Tab. 2). [18]

Tab. 2 Parametre batérie [18]

Parameter	Veľkosť	Parameter	Veľkosť
$U_{0,p}$	4,03 V	$A_{p,7}$	-1075148,06 J/mol
$A_{p,0}$	-33642,23 J/mol	$A_{p,8}$	2173,62 J/mol
$A_{p,1}$	0,11 J/mol	$A_{p,9}$	991586,68 J/mol
$A_{p,2}$	23506,89 J/mol	$A_{p,10}$	283423,47 J/mol
$A_{p,3}$	-74679,26 J/mol	$A_{p,11}$	-163020,34 J/mol
$A_{p,4}$	14359,34 J/mol	$A_{p,12}$	-470297,35 J/mol
$A_{p,5}$	307849,79 J/mol	$U_{0,n}$	0,01 V
$A_{p,6}$	85053,13 J/mol	$A_{n,0}$	86,19 J/mol

4.1.1.2 Vplyv vnútorného odporu

Vnútorný odpor batérie spôsobuje pri prechode prúdu pokles napätia na batérii. Jeho veľkosť je daná súčtom odporov kolektorov, elektrolytu, ... Úbytok napätia spôsobený vplyvom vnútorného odporu zobrazuje rovnica číslo 37.

$$V_0 = i_{ap} R_0 \quad (37)$$

V nej i_{ap} predstavuje prúd a R_0 vnútorný odpor. [18]

4.1.1.3 Vplyv povrchových účinkov

Povrchové účinky ovplyvňujú veľkosť prúdu, resp. spôsobujú pri jeho prechode pokles napätia. Opisuje ich Butler-Volmerova rovnica (rovnica číslo 38).

$$J_i = J_{i0} \left[\exp\left(\frac{(1-\alpha)F}{RT} V_{\eta,i}\right) - \exp\left(-\frac{\alpha F}{RT} V_{\eta,i}\right) \right] \quad (38)$$

V nej α predstavuje koeficient prenosu, J_i je prúdová hustota, daná rovnicou číslo 39 a J_{i0} výmera prúdovej hustoty daná rovnicou číslo 40. [18][20]

$$J_i = \frac{i_{ap}}{S_i} \quad (39)$$

$$J_{i0} = k_i (1 - x_i)^\alpha (x_i)^{1-\alpha} \quad (40)$$

V nich i_{ap} predstavuje prúd, S_i je plocha elektródy k_i je korekčný parameter a x_i je molová koncentrácia. [18]

Pre lítiové batérie je koeficient prenosu α rovný 0,5, preto možno rovnicu 38 zjednodušiť a upraviť na nasledujúci tvar (rovnica číslo 41). [18]

$$V_{\eta,i} = \frac{RT}{\alpha F} \operatorname{arcsinh}\left(\frac{J_i}{J_{i0}}\right) \quad (41)$$

4.1.1.4 Vplyv stavu nabitia batérie

Stav nabitia batérie (SOC) je definovaný ako pomer množstva energie, ktoré je ešte dostupné, k celkovému množstvu energie batérie. Platí: ak SOC je rovné 1 batéria je plne nabitá, ak SOC je rovné 0 batéria je plne vybitá. Vzťahy ako vypočítať stav nabitia popisujú rovnica číslo 42 a rovnica číslo 43.

$$SOC = \frac{Q - \int i_{ap} dt}{Q} \quad (42)$$

$$SOC = \frac{q_n}{0.6 q_{max}} \quad (43)$$

V nich Q predstavuje nominálnu kapacitu, i_{ap} je prúd, t je čas, q_n je náboj na zápornej elektróde a q_{max} je celkový náboj v batérii. [18][21]

Pre celkový náboj ďalej platia vzťahy, ktoré popisujú rovnice číslo 44 a 45.

$$q_{max} = \frac{Q}{0,6} \quad (44)$$

$$q_{max} = q_p + q_n \quad (45)$$

Pre zvolený typ batérie platí, ak je batéria vybitá molová koncentrácia x_p je rovné 1 a x_n je rovné 0, avšak ak je batéria nabitá tak x_p je rovné 0,4 a x_n je rovné 0,6. Obmedzenie: x_p nesmie byť menšie ako 0,4. Obmedzenie popisuje Gibbson-Duhemova rovnica. Táto skutočnosť sa potom prejavuje v rovniciach číslo 43 a 44 ako konštanta 0,6. [18][19][22]

Pomocou rovníc číslo 42, 43, 44 a 45 sa dajú zistiť súvislosti medzi množstvom náboja na kladnej elektróde a zápornej elektróde, a zmenou náboja v čase. Tieto súvislosti popisujú rovnica číslo 46 a 47.

$$q_n = Q - \int i_{ap} dt \quad (46)$$

$$q_p = q_{max} - q_n \quad (47)$$

4.1.1.5 Vplyv Peukertovho zákon

Peukertov zákon popisuje zmenu kapacity batérie pri inom vybíjacom prúde ako nominálnom. Tento zákon je však pri lítiových batériách ťažko uplatniteľný. Pri skúmaní sa zistilo, že batéria s kapacitou 50 Ah má približne rovnakú kapacitu pri vybíjacom prúde 5 A a 50 A, a tento fakt bol prisúdený možnej strate platnosti peukertovho zákona v dôsledku nárastu teploty o 30°C, ktorý bol spôsobený vlastným ohrevom. Preto pri návrhu modelu batérie sa nebude uvažovať s označeným zákonom. [23]

4.1.1.6 Vplyv teploty

Lítiové batérie majú tendenciu samovoľne sa zahrievať pri väčších prúdoch. Táto zvýšená teplota má vplyv na potenciál elektród, keďže nerstova rovnica predpokladá, že s vyššou teplotou je aj vyššie napätie. Toto zvýšené napätie kompenzuje účinok odporu batérie, ktorý vzrástol v dôsledku zvýšenej teploty spôsobenej samoohrevom. Preto v navrhovanom modeli bude teplota batérie zadaná ako konštanta, t.j. batéria sa vplyvom odoberaného prúdu nebude zahrievať. [23]

4.1.1.7 Vplyv samovybíjania

Samovybíjanie sa v batériách prejavuje postupným vybíjaním batérie v čase, a to aj keď sa z nej neodoberá prúd. Pri lítiových batériách je to okolo 2 až 3 %. Pri vytváraní modelu nie je prihliadnuté na vplyv samovybíjania z dôvodu, že batéria sa nebude simulovať tak dlho, aby znížila úroveň nabitia (SOC) v dôsledku samovybíjania batérie. [24]

4.1.1.8 Celkové napätie na batérii

S prihliadnutím na skutočnosť, že už boli podrobnejšie popísané jednotlivé vplyvy na napätie bunky batérie, možno toto napätie vyjadriť nasledujúcim vzťahom (rovnica číslo 48).

$$U = V_{U,p} - V_{U,n} - V_0 - V_{\eta,p} - V_{\eta,n} \quad (48)$$

Tento vzťah opisuje okamžitú hodnotu napätia na batérii, pričom v prípade zmeny odoberaného prúdu sa zmena prejaví okamžite. To by však nezodpovedalo reálnemu správaniu sa batérie, keďže batéria má určitú zotrvačnosť, okrem toho sú tu ešte prechodové javy, ktoré je nutné zohľadňovať. Prejav opísaných skutočností vyjadrujú rovnice číslo 49 až 52. [18]

$$U = V_{U,p} - V_{U,n} - V_0' - V_{\eta,p}' - V_{\eta,n}' \quad (49)$$

$$\frac{dV_0'}{dt} = \frac{(V_0 - V_0')}{\tau_0} \quad (50)$$

$$\frac{dV_{\eta,n}'}{dt} = \frac{(V_{\eta,n} - V_{\eta,n}')}{\tau_{\eta,n}} \quad (51)$$

$$\frac{dV_{\eta,p}'}{dt} = \frac{(V_{\eta,p} - V_{\eta,p}')}{\tau_{\eta,p}} \quad (52)$$

V nich τ predstavuje empirickú časovú konštantu. [18]

V navrhovanom modeli sa od seba odčítajú vypočítané potenciály $V_{U,p}$ a $V_{U,n}$, výsledná hodnota bude predstavovať veľkosť napätia ideálneho zdroja. Ďalšie úbytky napätia V_0 , $V_{\eta,p}$ a $V_{\eta,n}$, vypočítané pomocou rovníc číslo 37 a 41, budú realizované ako paralelná kombinácia rezistora a kondenzátora, vďaka čomu bude dosiahnutá určitá dynamika, ktorú popisujú rovnice číslo 50, 51 a 52. Veľkosť rezistora sa pri tom určí z úbytkov napätia a pomocou rovnice číslo 53. Veľkosť kondenzátora sa určí pomocou τ a rovnice číslo 54.

$$R = \frac{V}{I} \quad (53)$$

$$C = \frac{\tau}{R} \quad (54)$$

V nich V predstavuje V_0 , $V_{\eta,p}$ alebo $V_{\eta,n}$, I je odoberaný prúd a τ je empirická časová konštanta. Parametre batérie vstupujúce do ďalších výpočtov zobrazuje nasledujúca tabuľka (Tab. 3).

Tab. 3 Ďalšie parametre batérie [18]

Parameter	Veľkosť	Parameter	Veľkosť
U_{nom}	3,7 V	R_0	0,085 Ω
Q_{nom}	2,2 Ah	S_p	$2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
R	8,314 J/mol/K	k_p	$2 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$
T	297,15 K	$\tau_{\eta,p}$	90 s
F	96487 C/mol	S_n	$2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
n	1	k_n	$2 \cdot 10^4 \text{ A/m}^2$
τ_0	10 s	$\tau_{\eta,n}$	90 s
α	0,5	-	-

4.1.2 Batéria s voliteľnou veľkosťou napätia a kapacity

V predchádzajúcej kapitole bol popísaný jeden akumuláčny článok (bunka batérie), ktorý má konštantne zadané napätie a kapacitu. Úlohou diplomovej práce je však vytvoriť model, v ktorom by sa dala zvoliť veľkosť napätia a kapacity. Nasledujúce podkapitoly popíšu akým spôsobom je potrebné upraviť vzťahy popísané v kapitole 4.1.1.

4.1.2.1 Voľba napätia

Vyššie napätie batérie sa získa zapojením niekoľkých buniek do série. Preto je najprv potrebné zistiť koľko takýchto buniek je potrebné použiť, aby sa získalo zvolené napätie. Počet buniek získame nasledujúcim vzťahom (rovnica číslo 55).

$$\frac{U_{\text{zvolené}}}{U_{\text{bunky}}} = \text{počet buniek sériovo} \quad (55)$$

Týmto počtom buniek zaokrúhlených na celé číslo sa potom prenášobí napätie na batérii, resp. sa ním prenášobia jednotlivé napätia, tj. $V_{U,p}$, $V_{U,n}$, $V_{\eta p}$, $V_{\eta n}$ a V_0 (v skutočnosti pri V_0 postačí prenášobiť týmto počtom buniek R_0).

4.1.2.2 Voľba kapacity

Vyššia kapacita batérie sa získa zapojením niekoľkých buniek paralelne. Preto je najprv potrebné zistiť koľko takýchto buniek je potrebné použiť aby sa získala zvolená kapacita. Počet buniek získame nasledujúcim vzťahom.

$$\frac{Q_{\text{zvolené}}}{Q_{\text{bunky}}} = \text{počet buniek paralelne} \quad (56)$$

Týmto počtom buniek zaokrúhlených na celé číslo sa potom vydolí prúd vstupujúci do jednotlivých výpočtov, platí to pre výpočet q_n (ten následne ovplyvní aj koncentráciu x_i , SOC), napätia $V_{\eta p}$, $V_{\eta n}$, V_0 (v skutočnosti pri V_0 postačí vydolíť týmto počtom buniek R_0). Zmenená koncentrácia bude mať následne vplyv na napätia $V_{U,p}$, $V_{U,n}$, $V_{\eta p}$, $V_{\eta n}$.

Pri výpočte $R_{\eta p}$, $R_{\eta n}$ pomocou rovnice číslo 53 je nutné používať reálnu hodnotu prúdu, aby nedošlo k chybe.

4.1.2.3 Vplyv zmeneného napätia a kapacity na časovú konštantu τ

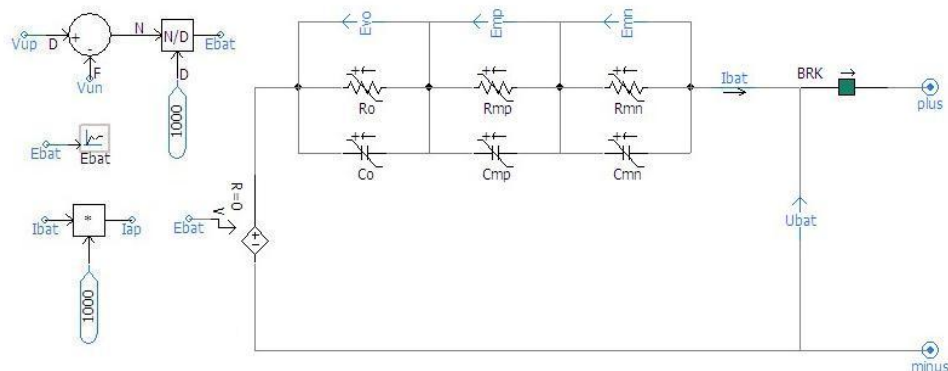
Zmena veľkosti napätia a kapacity batérie za predpokladu, že všetky bunky batérie budú rovnaké a rovnako sa budú nabíjať alebo vybíjať, nebude mať vplyv na veľkosť časovej konštanty τ , akurát sa zmení veľkosť jednotlivých kondenzátorov a rezistorov tvoriacich paralelný obvod.

Pri sériovom spájaní rovnakých RC členov v podstate platí: o aký pomer narastie odpor v obvode, o taký pomer klesne jeho kapacita. Pri paralelnom spájaní rovnakých RC členov zase platí: o aký pomer narastie kapacita obvodu, o taký pomer klesne jeho odpor. Preto ich výsledná časová konštanta zostane rovnaká, keďže sa vo výpočte vykrátia ich pomery.

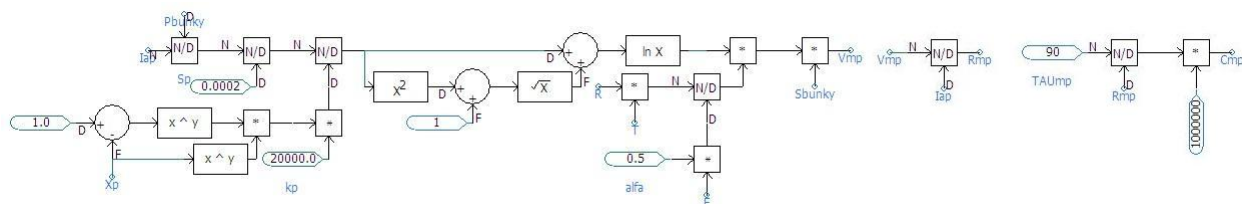
4.1.3 Model akumuláčnej jednotky

Zo vzťahov spomenutých v kapitole 4.1.1 a ich následných úprav spomínaných v kapitole 4.1.2 bol vytvorený model akumuláčnej jednotky – batérie. V modeli bola tiež vytvorená

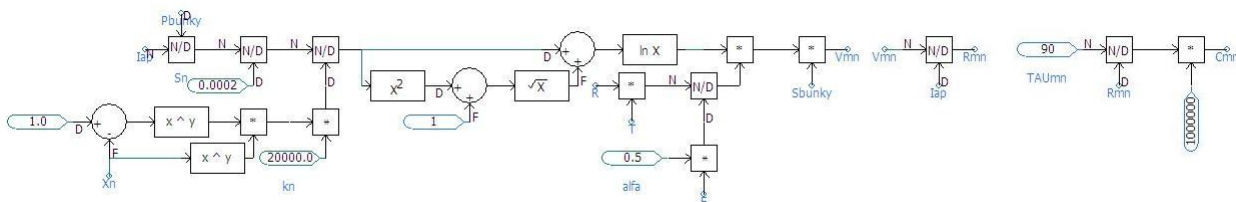
ochranná jednotka, ktorá zabráňuje akumuláčnej jednotke sa vybiť pod určitú hranicu (SOC_{min}) a prebiť (SOC_{max}). Na nasledujúcich obrázkoch sú zobrazené jednotlivé časti vytvoreného modelu.



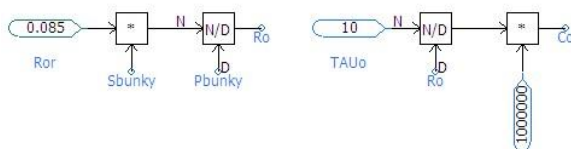
Obr. 9 obvod batérie



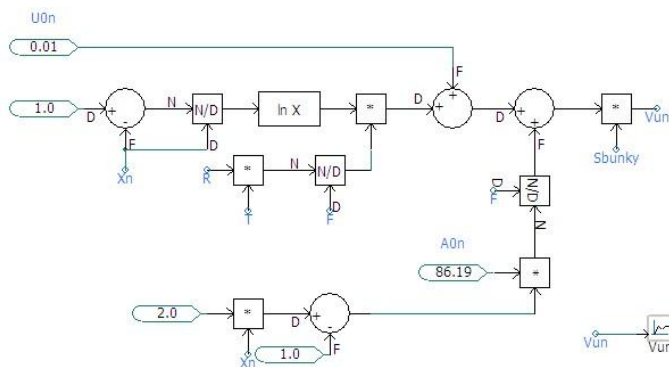
Obr. 10 vplyv povrchových účinkov na kladnej elektróde



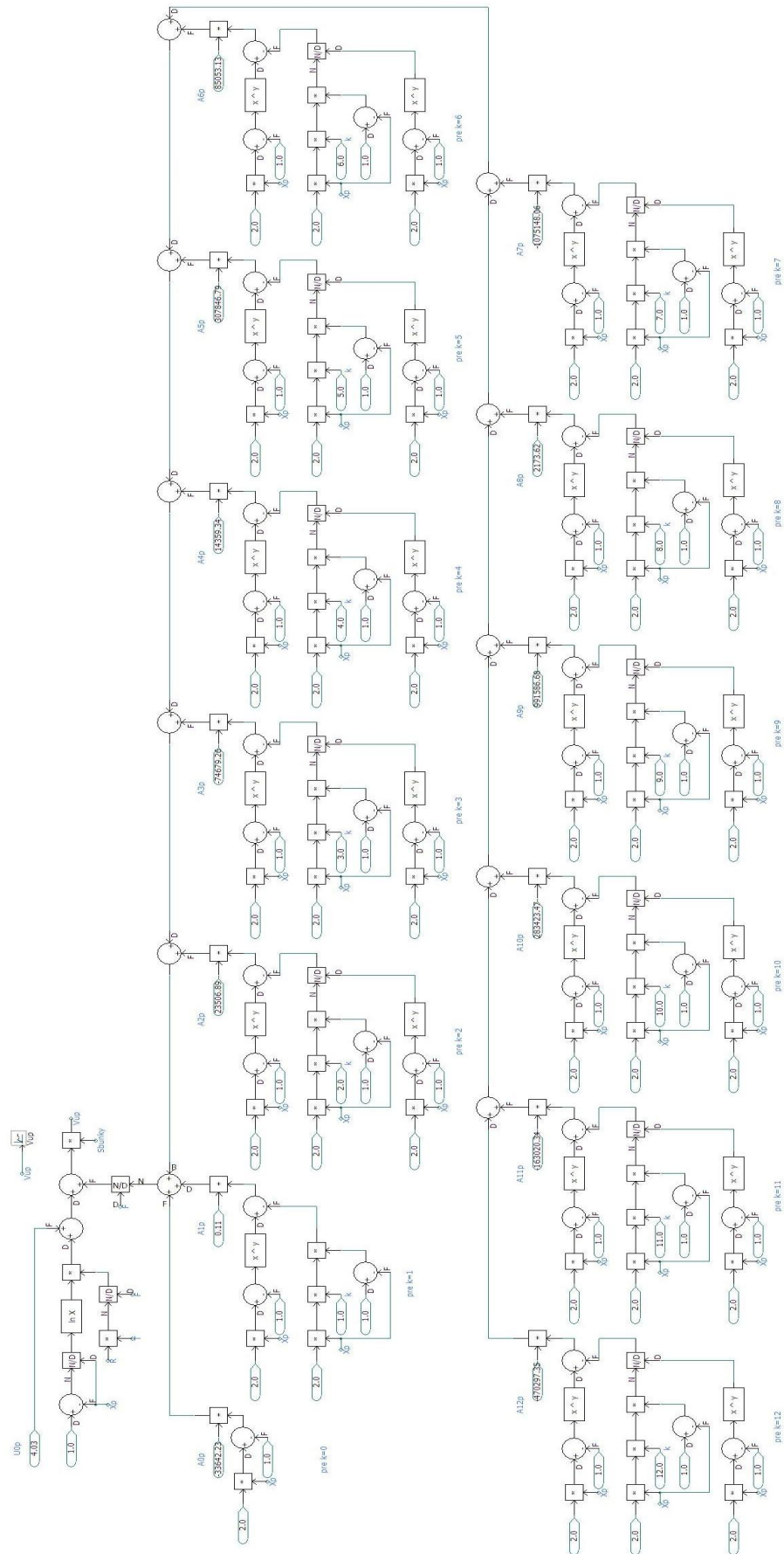
Obr. 11 vplyv povrchových účinkov na zápornej elektróde



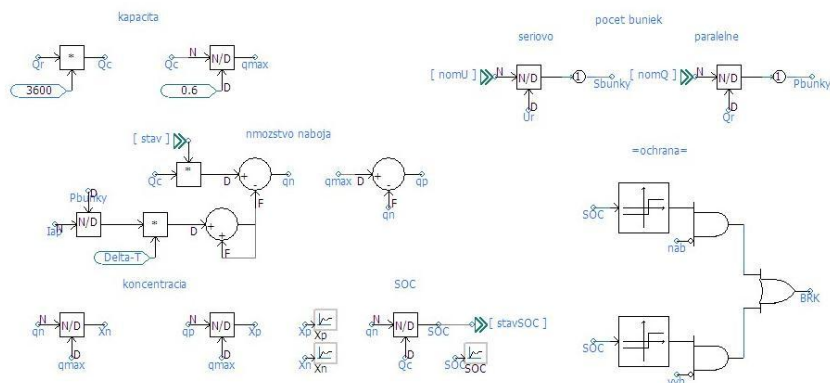
Obr. 12 vplyv vnútorného odporu



Obr. 13 veľkosť potenciálu na zápornej elektróde



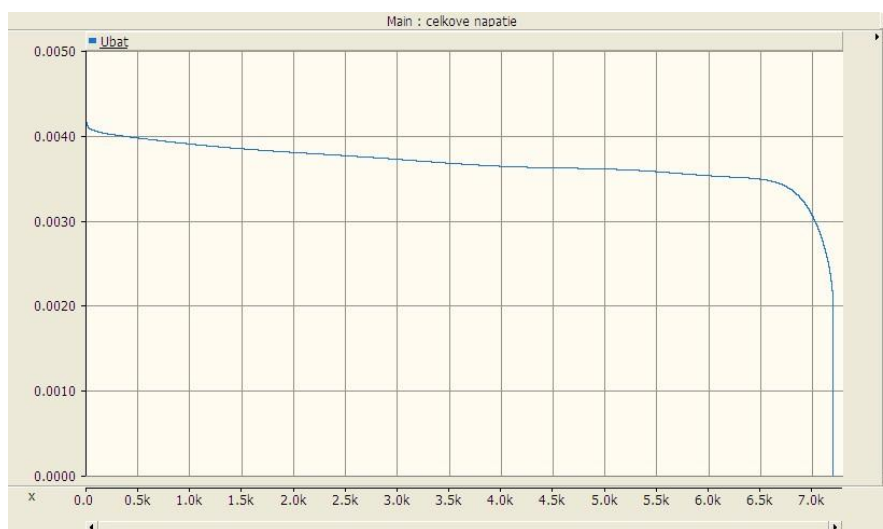
Obr. 14 veľkosť potenciálu na kladnej elektróde



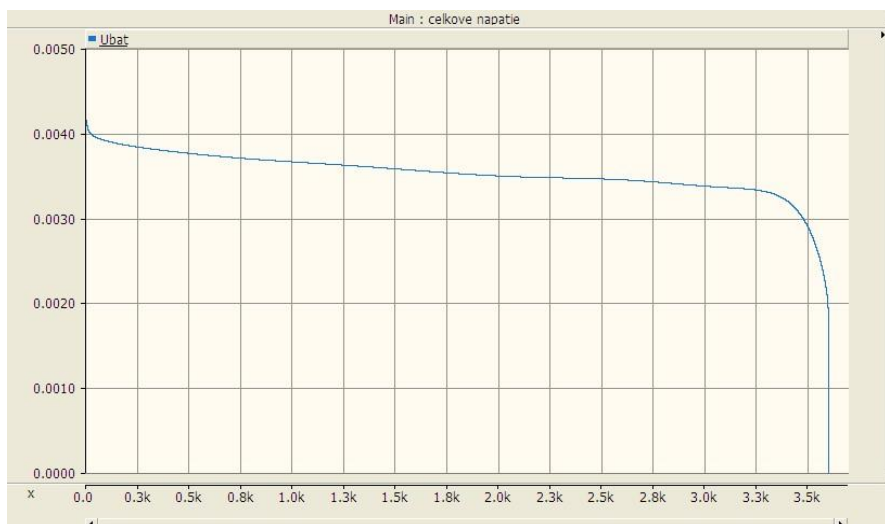
Obr. 15 obvody počítajúce koncentráciu, množstvo náboja, kapacitu, počet potrebných buniek a obvod ochrany batérie

4.1.4 Výsledky simulácie akumulčnej jednotky

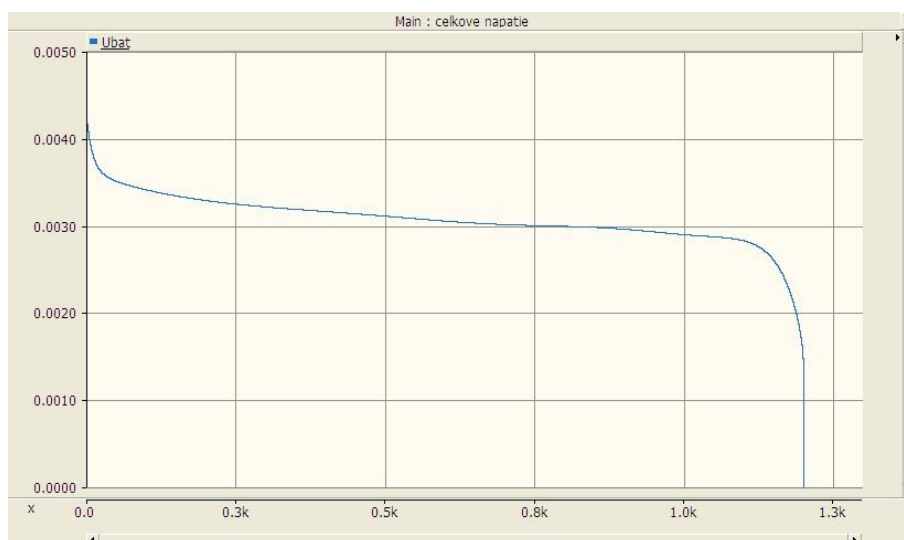
Vytvorený model bol mnohokrát simulovaný. Časť výsledkov týchto simulácií možno vidieť na nasledujúcich obrázkoch.



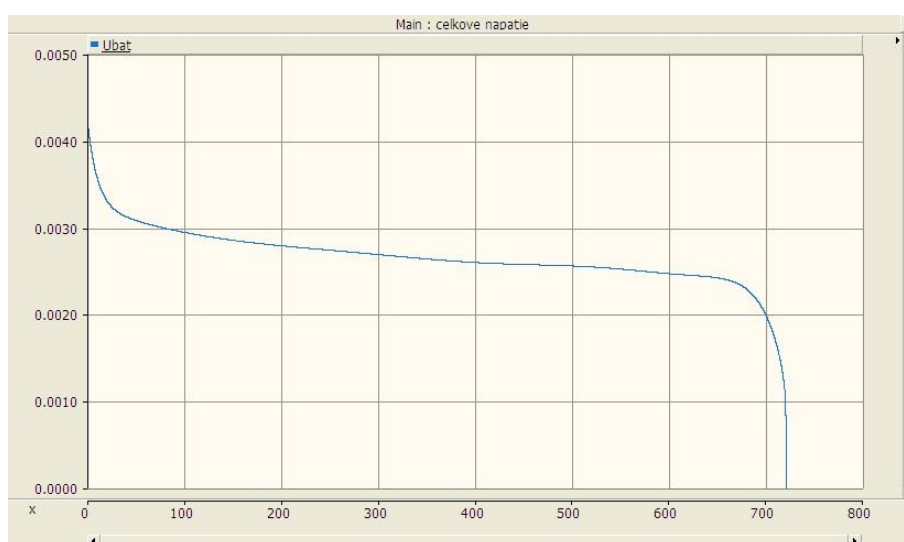
Obr. 16 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 0,5C (1,1 A)



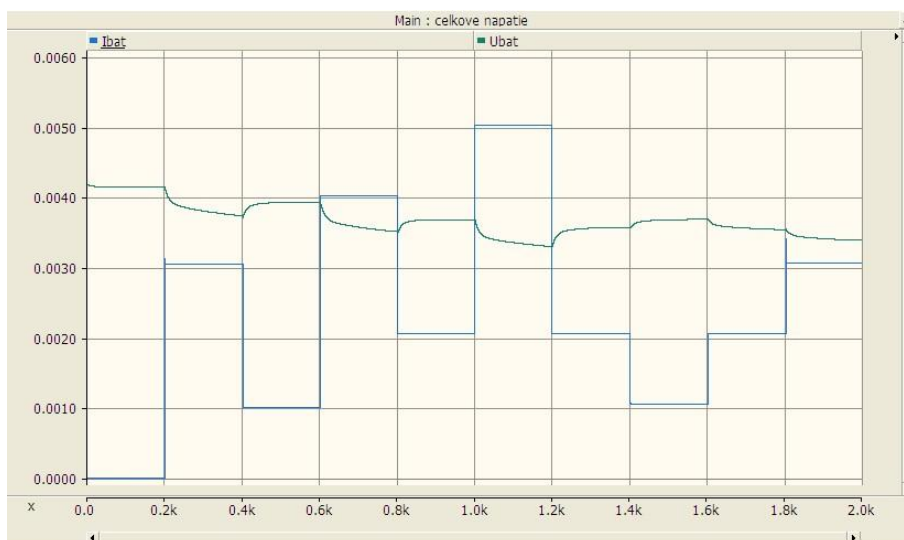
Obr. 17 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 1C (2,2 A)



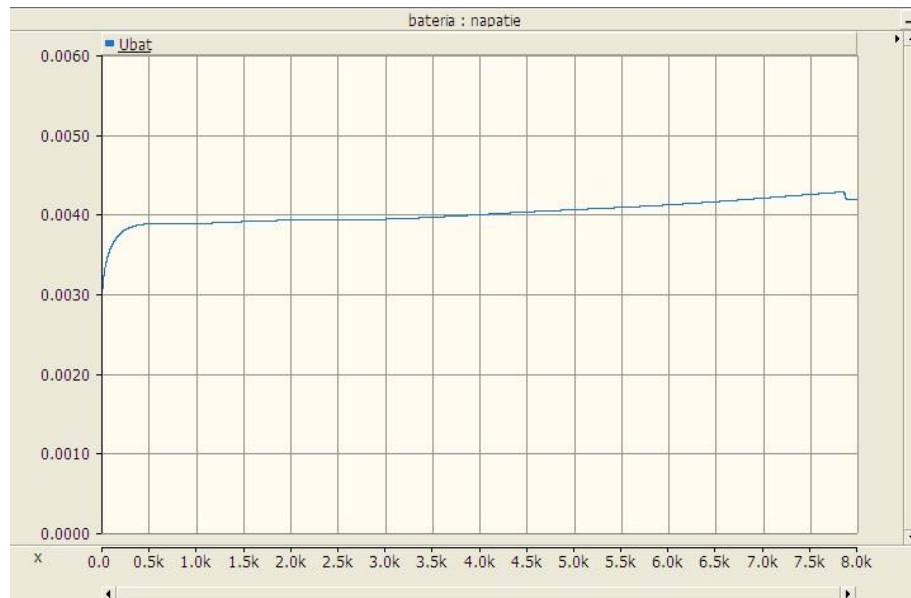
Obr. 18 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 3C (6,6 A)



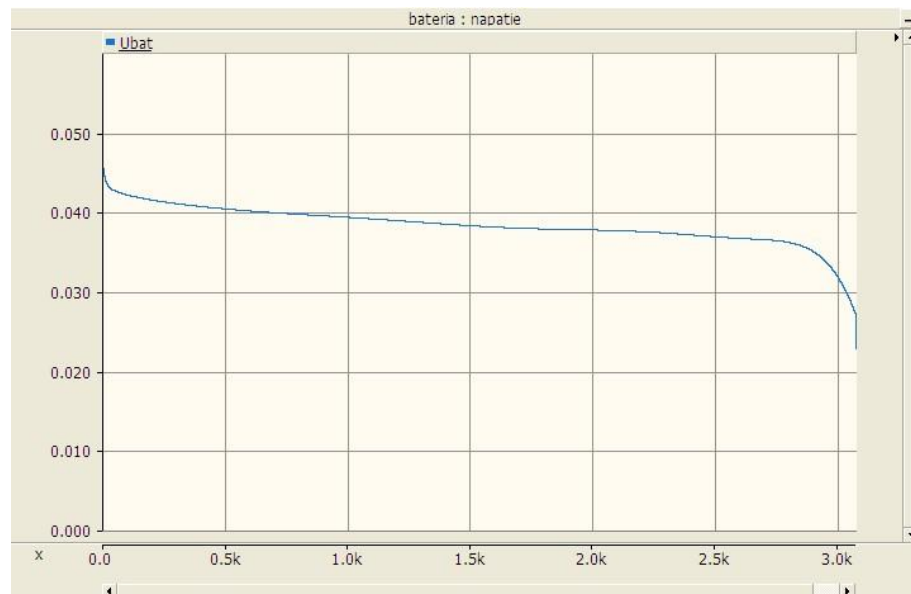
Obr. 19 vybíjanie konštantným prúdom veľkosti 5C (11 A)



Obr. 20 reakcia napätia batérie na zmenu odoberaného prúdu



Obr. 21 nabíjanie batérie konštantným napätím 0,005 kV

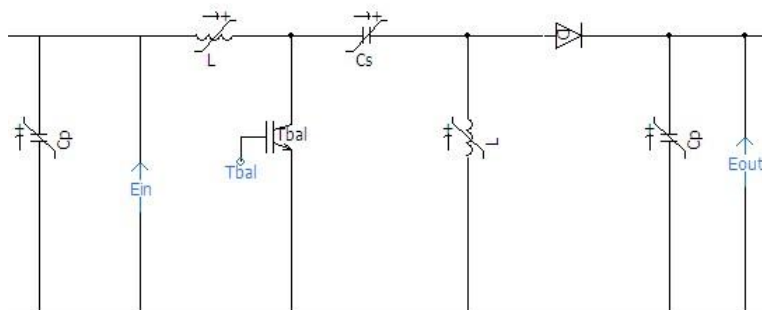


Obr. 22 vybíjanie batérie do záťaže s hodnotou $3\ \Omega$ s inými ako nominálnymi parametrami, a to $U=0,04\ \text{kV}$ a $Q=10\ \text{Ah}$

Z výsledkov simulácie možno usúdiť, že zostavený model je funkčný a jeho výstupné charakteristiky sa zhodujú s charakteristikami lítiových batérií.

4.2 Jednosmerný menič SEPIC

Jednosmerný menič typu SEPIC (single-ended primary-inductor converter) je zariadenie schopné meniť veľkosť jednosmerného napätia, teda je ho schopné zvyšovať aj znižovať. Výhodou tohto typu meniča je, že výstupný prúd z neho je neprerušený a môže sa prevádzkovať aj naprázdno. Zapojenie tohto typu meniča je zobrazené na obrázku číslo 23. [25]



Obr. 23 zapojenie jednosmerného meniča typu SEPIC

Veľkosť jednotlivých prvkov sa určí podľa nasledujúcich vzťahov, pričom pevne bude zadaná iba veľkosť napätia na dióde $U_D = 0,5 \text{ V}$, ostatné parametre budú voliteľné.

Strieda:

$$D_{max} = \frac{U_{out} + U_D}{U_{in(min)} + U_{out} + U_D} \quad (57)$$

$$D_{min} = \frac{U_{out} + U_D}{U_{in(max)} + U_{out} + U_D} \quad (58)$$

Veľkosť cievok:

$$\Delta I_L = 0,4 I_{out} \frac{U_{out}}{U_{in(min)}} \quad (59)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{U_{in(min)}}{\Delta I_L f_{sw}} D_{max} \quad (60)$$

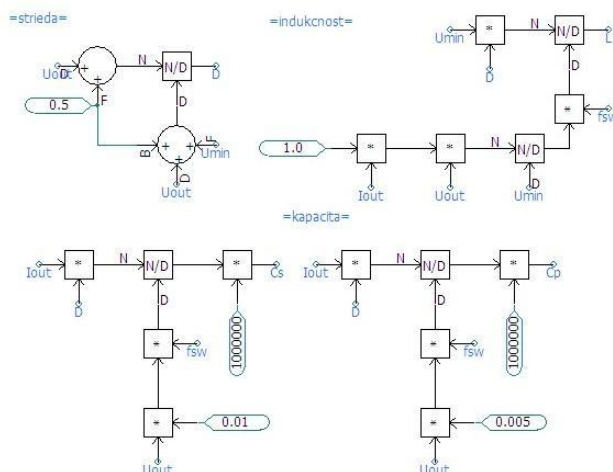
Veľkosť kondenzátorov:

$$C_s \geq \frac{I_{out} D_{max}}{\Delta U_{out} f_{sw}} \quad (61)$$

$$C_p \geq \frac{I_{out} D_{max}}{0,5 \Delta U_{out} f_{sw}} \quad (62)$$

Vo vzťahoch U_{out} predstavuje výstupné napätie, I_{out} výstupný prúd, $U_{in(min)}$ minimálnu hodnotu vstupného napätia, $U_{in(max)}$ maximálnu hodnotu vstupného napätia, ΔU_{out} predstavuje veľkosť zvlnenia výstupného napätia (obvykle do 5% U_{out}), D je strieda a f_{sw} je spínacia frekvencia. [26][27]

Obvody vypočítavajúce veľkosť jednotlivých prvkov sú zobrazené na obrázku číslo 24.

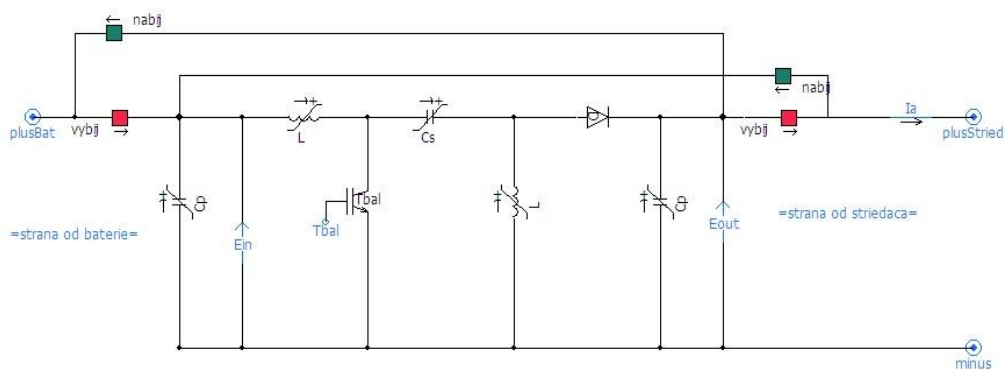


Obr. 24 obvody vypočítavajúce veľkosť jednotlivých prvkov v obvode meniča

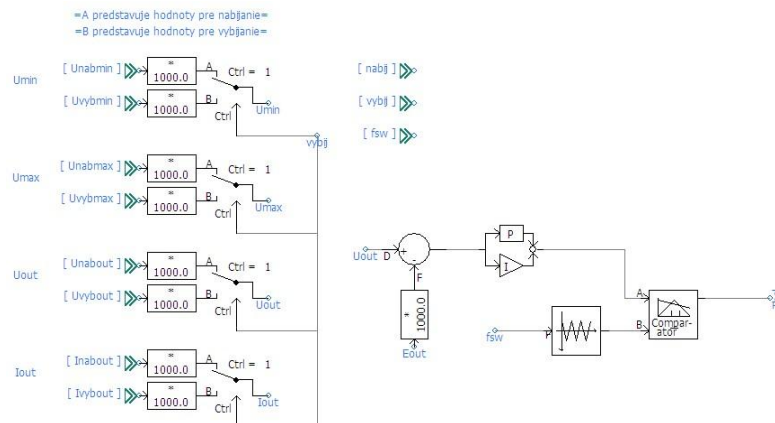
Navrhovaný jednosmerný menič bude mať v tomto modeli akumuláčného systému dve funkcie, a to:

- a) v prípade vybíjania batérie bude slúžiť na stabilizáciu výstupného napätia pre striedač,
- b) v prípade nabíjania batérie bude jeho úlohou stabilizovať veľkosť výstupného napätia pre batériu, nabíjanie bude prevedené ako nabíjanie konštantným napätím.

Aby tento jednosmerný menič zvládol tieto dve funkcie je ho potrebné zapojiť podľa obrázku číslo 25, vďaka čomu sa použije len jeden hlavný obvod, a nie dva obvody zapojené antiparalelne. Riadiaci obvod pre takéto zapojenie jednosmerného meniča zobrazuje obrázok číslo 26.



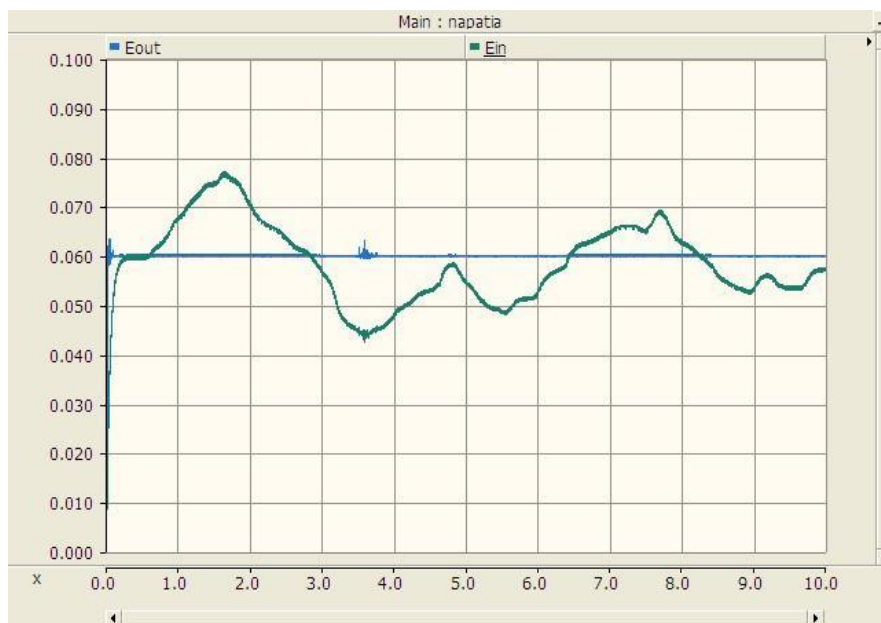
Obr. 25 zapojenie jednosmerného meniča pomocou vypínačov



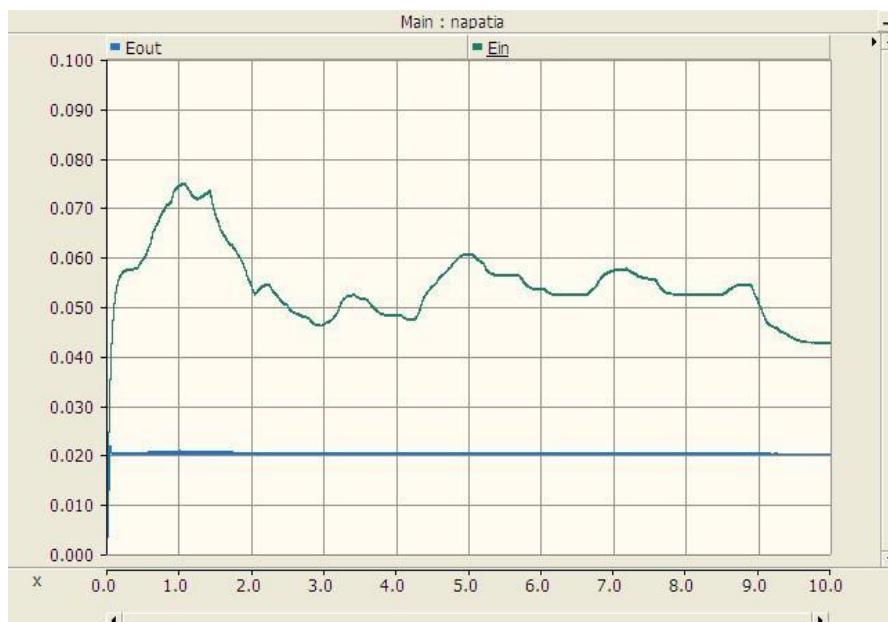
Obr. 26 riadiaci obvod jednosmerného meniča typu SEPIC

Vypínače v obrázkoch číslo 25 a 26 slúžia na prepínanie medzi nabíjaním a vybíjaním. Spínanie tranzistora je prevedené pomocou šírkoovo impulznej modulácie a PI regulátorom.

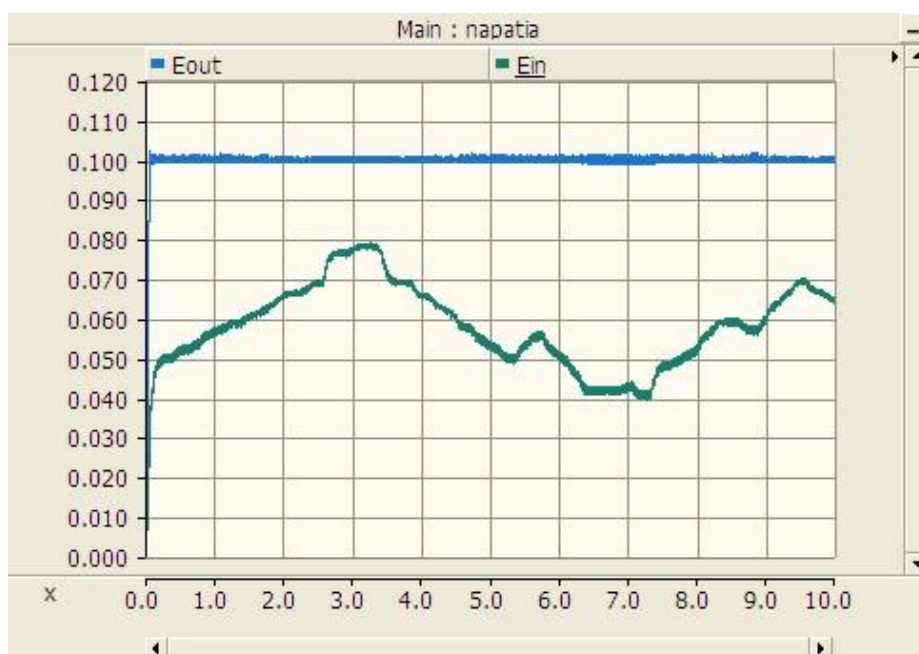
Overenie správnej funkčnosti navrhnutého meniča by s použitím už vytvorenej batérie bolo časovo náročné. Aby sa potrebný čas na jeho preverenie skrátil a bol aj na výsledných grafoch, preukazujúcich jeho funkčnosť, viditeľnejší, tak sa na jeho vstup pripojil jednosmerný zdroj s nastaviteľnou amplitúdou od 0,04 kV do 0,08 kV a na výstup rezistor s voliteľnou hodnotou od 5 Ω do 100 Ω . S uvedeným zapojením sa pri simulácii získali tieto charakteristiky (obrázky číslo 27 až 29).



Obr. 27 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,06 kV



Obr. 28 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,02 kV

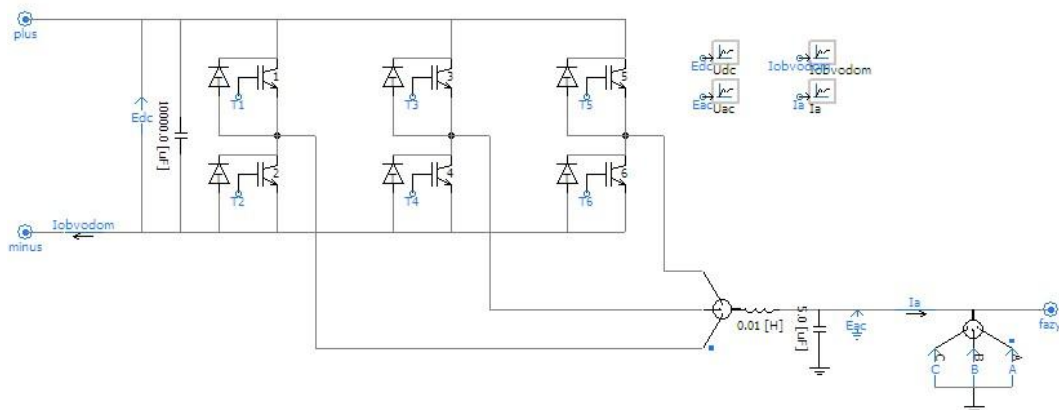


Obr. 29 charakteristika jednosmerného meniča pri stabilizácii výstupného napätia na 0,1 kV

V napäťových priebehoch je vidieť, že vstupný signál napätia (zelená krivka) sa mení a výstupný signál je stály (modrá krivka). Z toho vyplýva, že navrhnutý menič je funkčný a dokáže stabilizovať napätie.

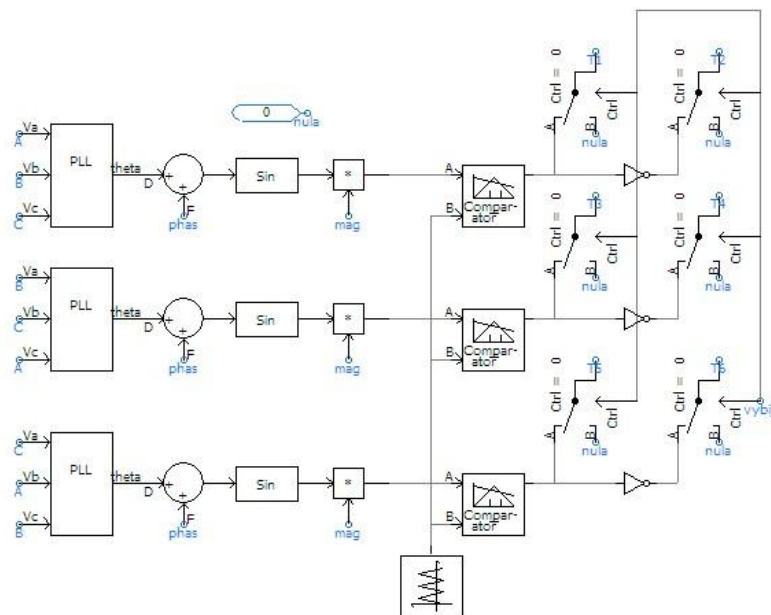
4.3 Striedač

Striedač je zariadenie, ktoré mení jednosmerné napätie na striedavé. Striedač využíva výkonové polovodičové prvky – tranzistory, ktoré sú vhodne zapojené a spínané. Takéto zapojenie je zobrazené na obrázku číslo 30. [28]



Obr. 30 zapojenie striedača

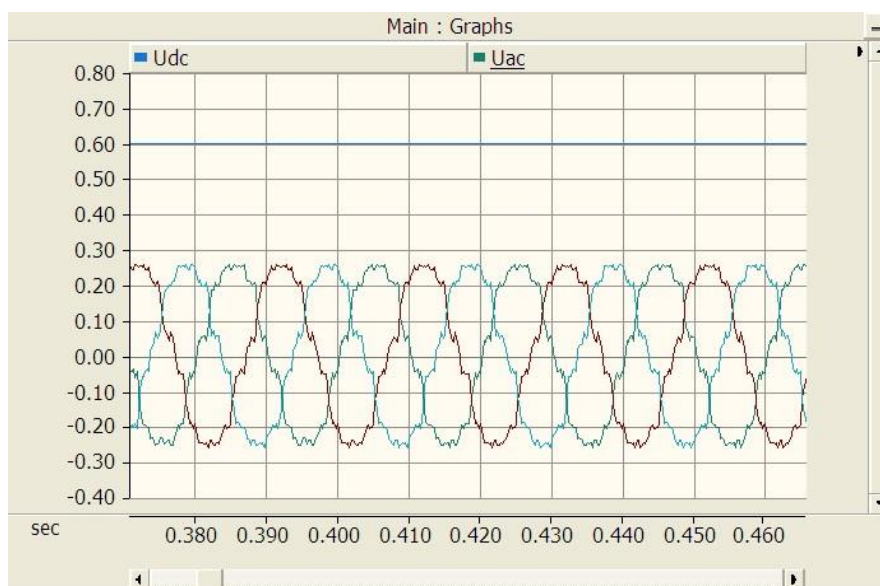
Riadenie jednotlivých tranzistorov je prevedené šírko impulznou moduláciou, hodnoty pre spínanie sú zistené zo siete. Riadiaci obvod je zobrazený na obrázku číslo 31. [28][29]



Obr. 31 riadiaci obvod striedača

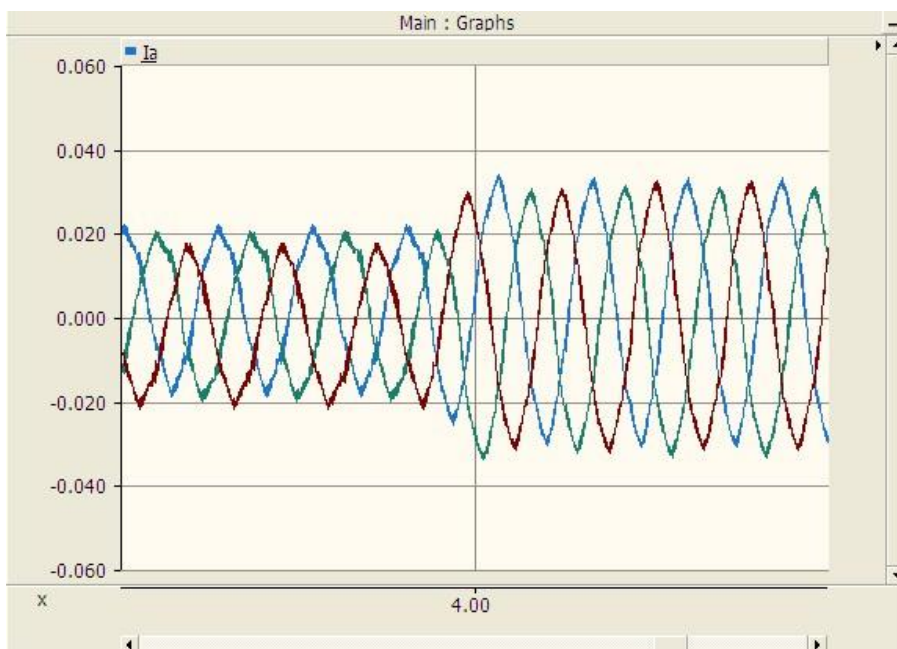
V riadiacom obvode je zaradených niekoľko prepínačov, ktoré slúžia na vyradenie tranzistorov, vďaka čomu sa zo striedača stane usmerňovač, pričom ním bude možné nabíjať batériu.

Zistenie správnej funkčnosti striedača bolo prevedené tak, že na zistenie hodnôt pre riadiaci obvod bol použitý externý zdroj a ako záťaž striedača bol použitý odpor. Zistenú charakteristiku striedača zobrazuje obrázok číslo 32.

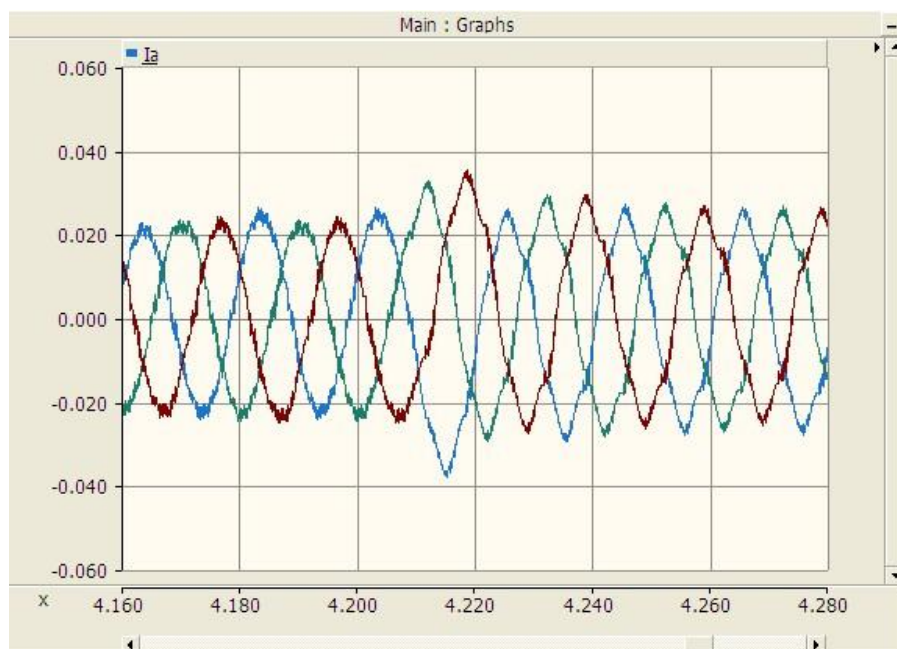


Obr. 32 charakteristika striedača

Z uvedenej charakteristiky vyplýva, že navrhnutý striedač je funkčný a dokáže dodávať striedavé napätie. Po overení funkčnosti striedač napájal sieť a dodával do nej energiu. Charakteristiky dodávaného prúdu zobrazujú obrázky číslo 33 a 34.



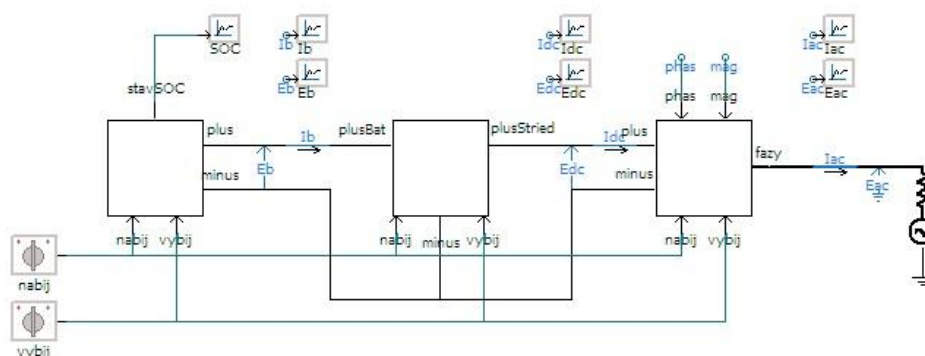
Obr. 33 charakteristika dodávaného prúdu, v čase okolo 4 s sa zvýšila dodávka činného výkonu



Obr. 34 charakteristika dodávaného prúdu, v čase okolo 4,21 s sa zvýšila dodávka jalového výkonu

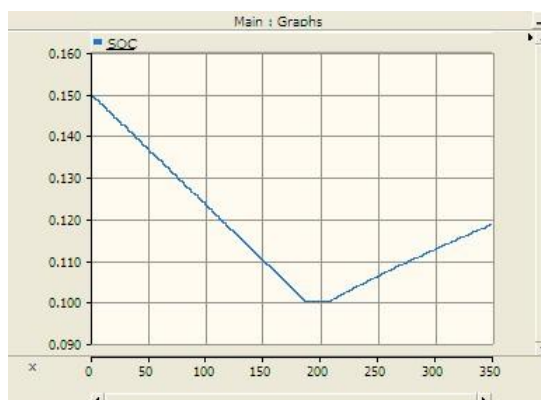
5 TESTOVANIE MODELU

Jednotlivé časti modelu boli pospájané a mnohokrát testované, aby sa zabezpečila ich správna funkcia a spolupráca medzi nimi. Celkovú schému modelu akumuláčného systému zobrazuje obrázok číslo 35.

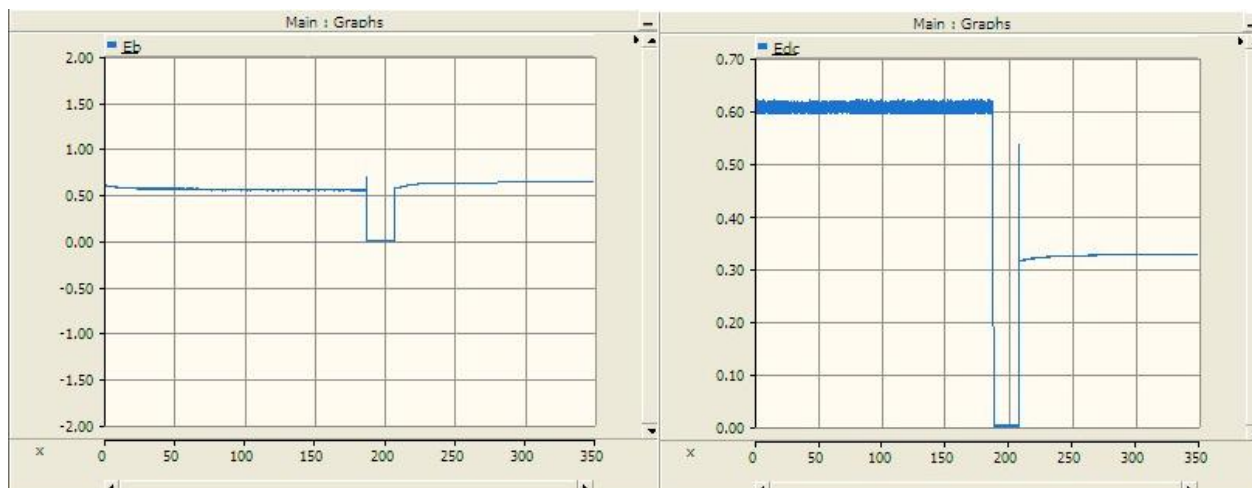


Obr. 35 schéma akumuláčného systému.

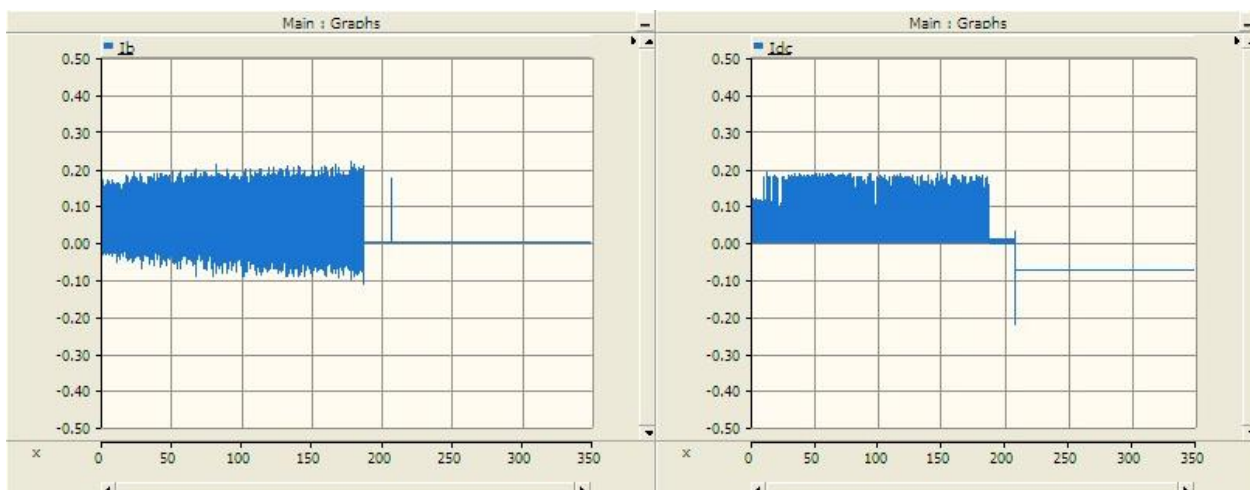
V tejto kapitole bude testovanie modelu zamerané na jeho limitné podmienky, t.j. keď sa simulácia modelu bude blížiť k nastaveným hodnotám (limitom). To sú v súčasnosti horný limit SOC pri nabíjaní a dolný limit SOC pri vybíjaní. Pri simulácii bol horný limit nastavený na 0,8 a dolný limit na 0,1. Výsledky z tejto simulácie zobrazujú obrázky číslo 36 až 41.



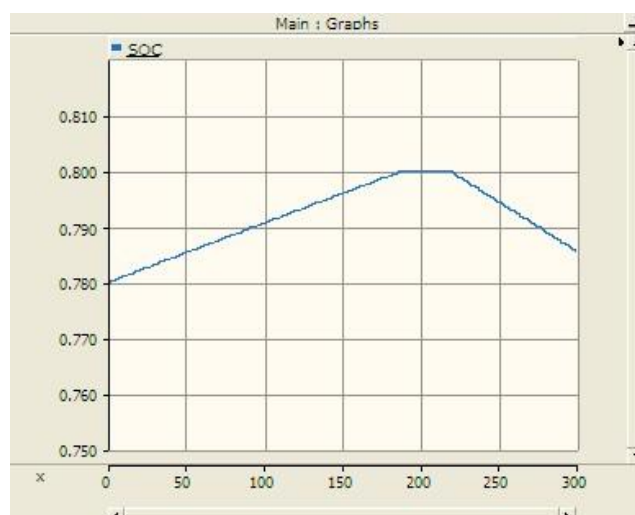
Obr. 36 charakteristika SOC (kontrola na dolný limit)



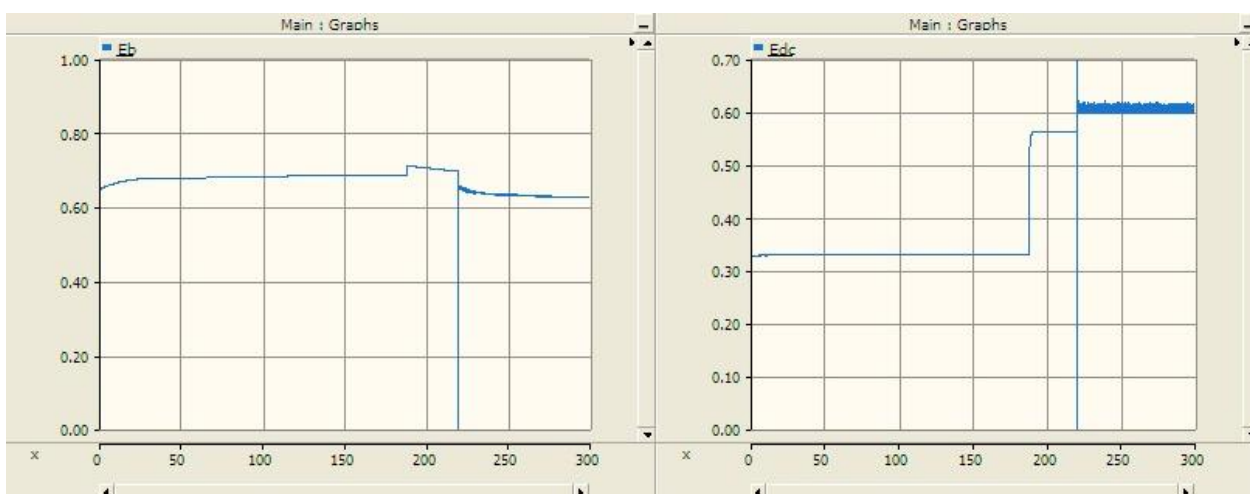
Obr. 37 charakteristiky napätí (kontrola na dolný limit)



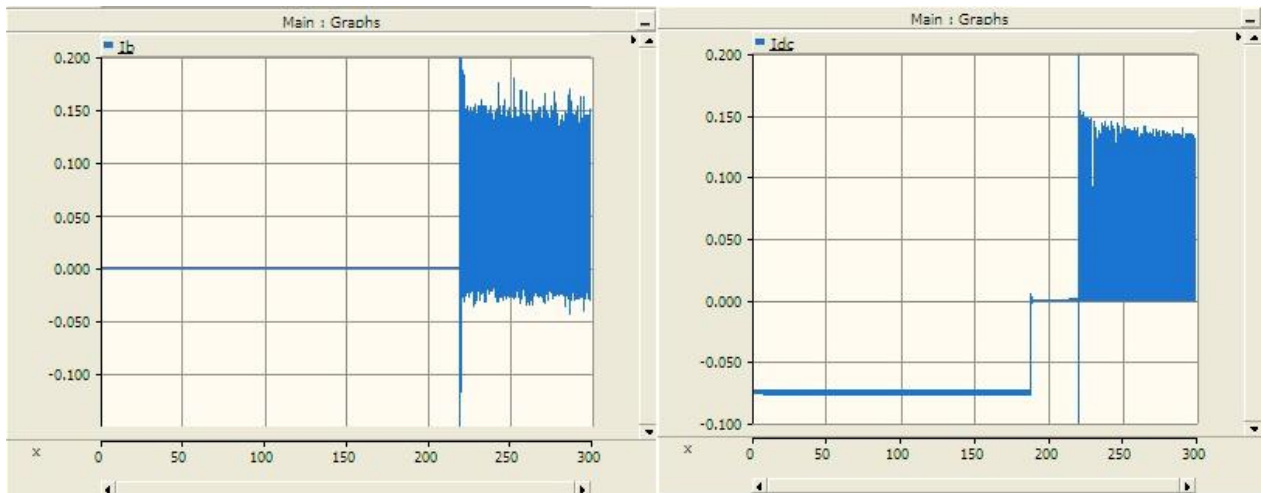
Obr. 38 charakteristiky prúdov (kontrola na dolný limit)



Obr. 39 charakteristika SOC (kontrola na horný limit)



Obr. 40 charakteristiky napätí (kontrola na horný limit)



Obr. 41 charakteristiky prúdov (kontrola na horný limit)

Kontrola na dolný limit: V charakteristike je vidieť, že keď sa pri vybíjaní dostane stav SOC na hodnotu 0,1 (nastavená hodnota) batéria sa už ďalej nevybíja. Následne po čase bolo spustené nabíjanie, vďaka čomu sa stav SOC začal zvyšovať. Toto vypnutie sa prejavilo aj v napätiach, a to poklesom na nulu. V charakteristikách je pri vybíjaní vidieť značné prúdové špičky, a to blízko seba. Tieto špičky spôsobuje striedač.

Kontrola na horný limit: V charakteristike je vidieť, že keď sa pri nabíjaní dostane stav SOC na hodnotu 0,8 (nastavená hodnota) batéria sa už ďalej nenabíja. Tento stav bol chvíľu držaný a následne sa spustilo vybíjanie, v dôsledku čoho sa začal znižovať stav SOC. Toto vypnutie sa prejavilo aj v napätiach, a to nárastom napätí na hodnotu na prázdno. Opätovne je tu v charakteristikách vidieť veľké prúdové špičky blízko seba, ktoré spôsobuje striedač.

Počas oboch simulácií malo napätie na sieti sínusový tvar, prúd dodávaný do siete mal zdeformovaný tvar spôsobený nesprávnym filtrom, ten v tejto práci nebol navrhovaný. Filter za striedačom síce je, ale veľkosť jeho prvkov bola zvolená iba na základe odhadu a bol doladovaný počas testovania jednotlivých komponentov.

6 ZÁVER

Táto diplomová práca sa pokúsila v stručnosti zhrnúť doterajšie poznatky týkajúce sa akumulácie energie, predovšetkým elektrickej. Akumulácia energie bude mať v budúcnosti pravdepodobne nezastupiteľnú úlohu, a to za predpokladu, že sa aj naďalej bude preferovať energia pochádzajúca z obnoviteľných zdrojov energie, ktorých výkon je závislý na okolitých podmienkach. Teda dá sa povedať, že v budúcnosti budú akumulčné systémy zabezpečovať stabilitu elektrizačnej sústavy.

V prvej časti diplomová práca v rýchlosti predstavila akumulčné systémy, ich hlavné parametre a načrtla spôsoby, akými možno uchovávať energiu. Pokúsila sa, čo možno najstručnejšie, vysvetliť spôsob chemickej akumulácie za súčasného čo najpresnejšieho popisu čo najväčšieho množstvo akumulčných jednotiek.

V druhej časti tejto práci bolo úlohou navrhnuť a vytvoriť model akumulčného systému s riadením založeným na všeobecných podmienkach. Model akumulčného systému sa skladá z akumulčnej jednotky, v tomto prípade lítiovej batérie LiCoO_2 , za ňou je zaradený jednosmerný menič typu SEPIC, posledným článkom tohto systému je striedač, ktorý môže pracovať aj ako usmerňovač. Za najdôležitejšiu časť v navrhnutom modeli akumulčného systému, možno považovať model batérie, pri ktorom bolo dôležité, aby čo najviac rešpektoval fyzikálnochemické vlastnosti zvoleného typu batérie.

V tejto časti práca opisuje jednotlivé komponenty modelu, ich zapojenie, výpočet a výsledné charakteristiky. Pričom sa najviac sústreďuje na popis batérie, vrátane teoretického popisu jednotlivých vplyvov, ktoré ovplyvňujú jej celkové napätie, t.j. napätie na výstupe batérie. Ďalej možnosť úpravy referenčného akumulčného článku na článok s možnosťou voľby nominálneho napätia a kapacity. Opísané komponenty boli zostrojené, odskúšané a funkčné.

V poslednej časti práce sa zostavený model podrobil testovaniu, pri ktorom sa zisťovalo jeho správanie pri limitných podmienkach. V súčasnosti sú to: horný limit SOC pri nabíjaní a dolný limit SOC pri vybíjaní. Simuláciou sa zistilo, že veľkosť SOC sa udržala vo vymedzených hodnotách, t.j. neprekročila žiadny limit.

Tato práca prináša prínos predovšetkým v tom, že ponúka značné množstvo informácii a stručný prehľad v možnostiach ako uchovávať energiu chemickým spôsobom akumulácie. Obsahuje popis ako vytvoriť model, predovšetkým batérie vychádzajúci z fyzikálne chemického základu. Tento popis by sa dal využiť aj pri iných typoch batériách, akurát je potrebné zmeniť pár hodnôt.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] SEDLÁK, M. *Model kompletního akumulačního systému s řízením založený na obecných předpokladech*. Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2017.
- [2] MASTNÝ, P. a kolektiv. *Obnovitelné zdroje energie*. České vysoké učení technické v Praze, Vydání první, Praha 2011, ISBN 978-80-01-04937-2
- [3] PROJEKTSTAV Komárno, s.r.o.. *Dôvody a možnosti akumulácie elektrickej energie v súvislosti s rozšírením obnoviteľných zdrojov energie a porovnanie dostupných technológií*. Štúdia. vypracovaná v rámci projektu RES-Clu – Establishment of Renewable Energy Storage Clusters Január 2013. <http://www.gesc.sk/wp-content/uploads/2014/09/Dovody-a-moznosti-akumulacie-elektrickej-energie-v-suvislosti-s-rozsirenim-obnovitelnych-zdrojov-energie-a-porovnanie-dostupnych-technologii.pdf>
- [4] VANĚK, J., KŘIVÍK, P., NOVÁK, V. *Alternativní zdroje energie*. 2006, Brno, VUT
- [5] Battery [online] 09.11.2014, Dostupné z: <http://www.twinkltoesengineering.info/battery.htm>
- [6] RADIL, L., MACHÁČEK, J. *Nekonvenční přeměny energie*. 2016, VUT Brno. 2. vydání.
- [7] XING.XIE, *Vanadium Redox-Flow Battery* [online], 25.11.2011 Dostupné z: <http://large.stanford.edu/courses/2011/ph240/xie2/>
- [8] Polysulfide bromide battery [online] Wikipedia: The free encyclopedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Polysulfide_bromide_battery
- [9] ABUŠINOV, A. *Průtoková baterie ze železa, je to vůbec možné?* [online]. 05.09.2014, Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/prutokova-baterie-ze-zeleza-je-to-vubec-mozne_26579.html
- [10] *Vysokoteplotní elektrolyza: „čistá“ výroba vodíku s možností zpětné konverze* [online], Technický týdeník, 28.04.2016, Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-inovace/vysokoteplotni-elektrolyza-cista-vyroba-vodik-u-s-moznostmi-zpetne-konverze_35526.html
- [11] *Electrolysis* [online]. Hydrogenics 2017, Dostupné z: <http://www.hydrogenics.com/technology-resources/hydrogen-technology/electrolysis/>
- [12] *Elektrochemické procesy* [online]. Dostupné z: https://web.vscht.cz/~paidarm/ACHP/prezentace/ACHP_e3.pdf
- [13] *Uskladnenie elektrickej energie* [online]. Wikipédia: Slobodná encyklopédia. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Uskladnenie_elektrickej_energie
- [14] VANÝSEK P. a kolektiv, *Velké srovnání metod a systémů uchovávání energie. Dostupně a schůdně*. [online]. 30. Zář 2015. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/velke-srovnani-metod-a-systemu-uchovavani-energie-dostupne-a-schudne.html>
- [15] *Power to Gas – Budoucnost akumulace elektřiny* [online] 24.06.2015. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/akumulace-energie/power-to-gas-budoucnost-akumulace-elektriny/>

- [16] ERTNER, J. *Jak vypadá revoluce ve světě energetiky* [online]. Dostupné z: <https://www.flowee.cz/eco/technika/993-power-to-gas-revoluce-ve-svete-energetiky>
- [17] *Sabatierova reakce* [online] Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sabatierova_reakce
- [18] DAIGLE, M., KULKARNI, CH. *Elektrochemistry-based Battery Modeling for Prognostics* [online] Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2013. Dostupné z: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20140009120.pdf>
- [19] KARTHIKEAN, D. , SIKHA, G., WHITE, R. *Thermodynamic model development for lithium intercalation electrodes* [online] Journal of power sources, 05.08.2008. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/6d0f/7eb20b98c51793b1227e49d505b0c2c95b6a.pdf>
- [20] *Butler-Volmer equation* [online] Wikipedia: The free encyclopedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Butler%E2%80%93Volmer_equation
- [21] BISE, P. *Battery Managements System an Introduction* [online] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 08.10.2013 Dostupné z: <https://www.slideshare.net/Alegriah/battery-management-system-introduction>
- [22] *GIBBS-DUHEM EQUATION* [online] THERMOPEDIA™ A-to-Z Guide to Thermodynamics, Heat & Mass Transfer, and Fluids Engineering. Dostupné z: <http://www.thermopedia.com/content/815/>
- [23] *Peukert's law* [online] Wikipedia: The free encyclopedia. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Peukert%27s_law
- [24] *Self-discharge* [online] Wikipedia: The free encyclopedia. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Self-discharge>
- [25] *Stručně o základních vlastnostech měničů ZETA, SEPIC a ČUK* [online] 08.01.2015, Dostupné z: <http://www.8bitu.cz/clanek/strucne-o-zakladnich-vlastnostech-menicu-zeta-sepic-a-cuk/>
- [26] *AN-1484 Designing A SEPIC Converter* [online]. Dostupné z: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/an/snva168e/snva168e.pdf>
- [27] PROCHÁDZKA, D. *Modely spínaných zdrojů v programu MATLAB-Simulink* [online] 2014, Brno, VUT Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87440
- [28] *Striedače* [Online], Dostupné z: <http://www.spslevice.sk/ucebnice/soc-ucebnice2007/Elektronicka%20ucebnica%20SIZ/Mato/Striedace.html>
- [29] KOW, K.W. a kolektív. *Power quality analysis for PV grid connected system using PSCAD/EMTDC* [online]. Január 2015. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/282949718_Power_quality_analysis_for_PV_grid_connected_system_using_PSCADEMTDC