

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektromotocykly a jejich různá konstrukční provedení

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman KABELE**
Osobní číslo: **E13B0034P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Elektromotocykly a jejich různá konstrukční provedení**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Předmětem bakalářské práce je zpracovat přehled o historickém vývoji nasazení elektrických pohonů do komerčních projektů a jejich dalším uplatnění v motocyklech.

1. Zjistěte historický vývoj a nabídku na trhu (komerční projekty.)
2. Porovnejte výhody a nevýhody elektrické koncepce oproti benzínovým motorům.
3. Zhodnoťte nasazení ve světových soutěžích a zjistěte typy a parametry závodních speciálů.
4. Porovnejte jednotlivé přístupy a technické nároky na konstrukci.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran.

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Elektronické informační zdroje IEEE (dostupné přes knihovnu ZČU - <http://ieeexplore.ieee.org/>).

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lukáš Veg

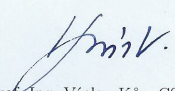
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2017


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na zpracování přehledu o historickém vývoji nasazení elektrických pohonů do komerčních projektů a jejich dalším uplatnění v motocyklech. Zabývá se nejen historií elektromotocyklů a typy současných elektromotocyklů, ale popisuje i druhy použitých elektromotorů a baterií a jejich umístění na motocyklu.

Klíčová slova

Elektromotocykl, elektromotor, spalovací motor, baterie, výkon, točivý moment, rychlonabíječka

Abstract

The present thesis is focused on the review of the historical development of the use of electric drives in commercial projects and their further application in motorcycles. It deals not only with the history of electric motorcycles and types of current electric motorcycles, but also describes the types of used electric motors and batteries and their placement on the motorcycle.

Key words

Electric motorcycle, electric motor, combustion engine, battery, performance, torque, fast charger

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

.....
Podpis

V Plzni dne 2.6.2017

Roman Kabele

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Vegovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| OBSAH..... | 8 |
| ÚVOD..... | 10 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 11 |
| 1ELEKTROMOTOCYKL..... | 12 |
| 1.1 HISTORIE ELEKTROMOTOCYKLŮ..... | 12 |
| 1.2 SOUČASNÉ ELEKTROMOTOCYKLY..... | 14 |
| 1.3 TYPY SOUČASNÝCH ELEKTROMOTOCYKLŮ..... | 14 |
| 1.3.1 <i>Elektroskútr</i> | 14 |
| 1.3.2 <i>Elektrická endura</i> | 15 |
| 1.3.3 <i>Elektrický superbike</i> | 17 |
| 1.3.4 <i>Elektromotocykly pro děti</i> | 18 |
| 2VÝHODY A NEVÝHODY ELEKTRICKÉ KONCEPCE OPROTI BENZÍNOVÝM MOTORŮM.. | 19 |
| 2.1 VÝHODY..... | 19 |
| 2.2 NEVÝHODY..... | 20 |
| 3SVĚTOVÉ SOUTĚŽE ELEKTROMOTOCYKLŮ..... | 22 |
| 3.1 SOUTĚŽ TTXGP..... | 22 |
| 3.1.1 <i>Vítězný motocykl TTXGP 2009</i> | 23 |
| 3.2 SOUTĚŽ TT ZERO..... | 23 |
| 3.2.1 <i>Elektromotocykl Shinden go</i> | 24 |
| 3.3 PŘIPRAVOVANÝ ŠAMPIONÁT OD DORNA..... | 24 |
| 3.4 ZÁVOD PIKES PEAK..... | 25 |
| 3.4.1 <i>Lightning LS-218</i> | 26 |
| 3.4.2 <i>Elektromotocykl Zero FX</i> | 26 |
| 3.4.3 <i>Victory Empulse RR</i> | 27 |
| 4DRUHY POUŽÍVANÝCH ELEKTROMOTORŮ..... | 28 |
| 4.1 BEZKARTÁČOVÝ MOTOR..... | 28 |
| 4.2 ASYNCHRONNÍ MOTOR..... | 29 |
| 4.3 SYNCHRONNÍ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY..... | 30 |
| 4.3.1 <i>Elektromotor IPM</i> | 30 |
| 4.3.2 <i>Z-Force motor</i> | 31 |
| 5TYPY POUŽÍVANÝCH BATERÍ..... | 32 |
| 5.1 LI-ION..... | 32 |
| 5.2 LI-POL..... | 34 |
| 5.3 LIFePO4..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4 BMS | 36 |
| 6 PŘÍSTUPY A TECHNICKÉ NÁROKY NA KONSTRUKCI | 37 |
| 7 ZÁVĚR..... | 40 |
| SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ | 42 |

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na elektrické motocykly, jak na běžně dostupné, tak i na závodní speciály. Uvádí jejich parametry i typy pohonných jednotek a baterií v nich použitých.

Text je rozdělen do šesti částí. První část se zabývá historií elektromotocyklů a také popisuje typy současných elektromotocyklů. Druhá část uvádí výhody a nevýhody použití elektrických motorů oproti spalovacím motorům. Třetí část se zaměřuje na světové soutěže elektromotocyklů a na závodní speciály, jež v nich závodí. Čtvrtá část představuje nejčastěji používané elektromotory v elektrických motocyklech. Pátá část se zaměřuje na zdroje elektrické energie pro elektromotory, tedy na baterie, které jsou nejpoužívanější v elektromotocyklech. Poslední část práce je popis rozdílů mezi konstrukcí elektromotocyklů a klasických motocyklů se spalovacím motorem a také elektrických skútrů a běžných skútrů.

Seznam symbolů a zkratek

| | |
|-----------------------|----------------------------------|
| <i>IPM</i> | Interior permanent magnet |
| <i>BMS</i> | Battery management system |
| <i>Li – Ion</i> | Lithium iontová baterie |
| <i>Li – Pol</i> | Lithium polymerová baterie |
| <i>LiFePo4</i> | Lithium železo fosfátová baterie |
| <i>FIM</i> | Mezinárodní federace motocyklů |
| <i>TTXGP</i> | Tourist trophy grand prix |

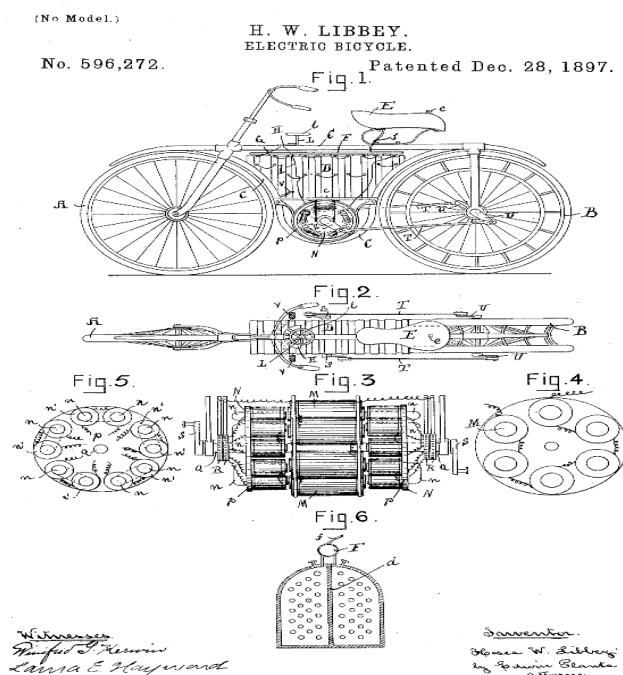
1 Elektromotocykl

Elektromotocykl je motocykl, který místo klasického spalovacího motoru pohání motor elektrický. Používají se motory střídavé i stejnosměrné. Tyto motory se napájí z baterií, v současnosti jsou to nejčastěji Lithium Ion (Li-Ion), Lithium Polymer (Li-Pol), Lithium železo fosfát (LiFeP04).

1.1 Historie elektromotocyklů

Historie elektropohonů sahá až do roku 1881, kdy se Francouz Gustav Trouve pokusil dát do britské tříkolky elektromotor. Ještě několik vynálezců se pokoušelo o experimenty s elektrickým pohonem, jednalo se však spíše o elektrokola než o elektromotocykly.

Až v roce 1897 přišel vynálezce Hosea W. Libbey s patentem, na jehož nákrese nebyly pedály, nejednalo se tudíž už o elektrokola, ale elektromotocykl. Motor byl oddělen od kola, takže se mohl otáčet mnohem rychleji než kolo. Výkon byl přenášen pomocí dvou tyčí připojených na kliky v ose zadního kola, což znamenalo jeho podstatný nárůst oproti tomu, když byl motor spojen s kolem. Sériově však nikdy vyráběn nebyl [2].



Obr. 1.1 Elektromotocykl z roku 1897 (www.electricbike.com)

O prvním sériově vyráběném elektromotocyklu se píše až v roce 1911 v časopise Popular Mechanics. Motocykl měl 3 rychlosti otáček: 1. rychlost 4 míle (6,4 km/h), 2. rychlost 15 mil (24 km/h) a 3. rychlost 35 mil (56 km/h). Motocykl měl být schopný na jedno nabití baterií ujet od 75 mil (121 km) do 100 mil (160 km) [3].

V roce 1936 v Belgii založili dva bratři společnost s názvem Socovel. Zabývala se výzkumem v oblasti elektromotocyklů. Jejich elektromotocykl (spíše elektrický skútr), kterého se vyrobilo asi 400 kusů, měl výkon 1 koně a nabití jeho tří 6V baterií trvalo přibližně 10 hodin. Vzhledem k přidělovému systému paliva během války byl jejich motocykl oblíben. Ovšem po válce, když bylo palivo opět běžně k dostání, oblíbenost jejich elektromotocyklu klesla a společnost Socovel ukončila jeho výrobu [1].



Obr. 1.2 elektromotocykl Socovel (www.motosport.com)

V roce 1967 vynalezl Karl Kordesch, který pracoval pro Union Carbide, nikl-kadmiový bateriový článek. Pokusil se přestavět svůj motocykl na elektromotocykl, ovšem tento motocykl nebyl nikdy sériově vyráběný. Tyto baterie se používaly ještě několik desítek let poté [4].

Prvním, kdo začal se skutečnou sériovou výrobou elektromotocyklu, byla společnost Peugeot v roce 1996. Vyráběli elektrický skútr pod jménem Peugeot ScootElec. Jako zdroj energie pro motor byly použity nikl-kadmiové baterie. Skútr měl dojezd pouhých 40 km, avšak byl určen spíše jako městské vozítko, tudíž 40 km bylo dostačujících [5].

1.2 Současné elektromotocykly

Dnešní elektromotocykly jsou poháněné nejčastěji elektromotory s vnitřními permanentními magnety (IPM). Tyto motory jsou napájeny většinou z baterií typu Li-Pol, LiFePo4 a Li-Ion.

Elektromotocykl, se kterým se v dnešní době můžete setkat nejčastěji, je elektrický skútr. Elektroskútry jsou velice oblíbeným dopravním prostředkem ve velkých městech. Lze to odůvodnit tím, že pro městský provoz není potřeba příliš velká dojezdová vzdálenost a také velká maximální rychlost. Jejich oblíbenost souvisí i s tím, že elektroskútry jsou velice hbité a v dopravních zácpách mohou ušetřit spoustu času.

1.3 Typy současných elektromotocyklů

1.3.1 Elektroskútr

Dnešní elektroskútry se svými parametry vyrovnávají skútrům se spalovacím pohonem. U skútrů je elektromotor umístěn v náboji zadního kola a baterie v prostoru pod sedadlem. Avšak není tomu tak vždy, nedávno přišla firma Gogoro s originálním řešením. U skútru této firmy není motor umístěn v náboji zadního kola, ale je uchycen na rámu a výkon se přenáší na zadní kolo pomocí řemenu z karbonových vláken. Baterie jsou pod sedadlem a jsou vyjímatelné, takže se mohou u nabíjecí stanice vyměnit za nabité. Skútr má výkon 8,5 kW a dokáže jet maximální rychlostí až 96 km/h. Na plně nabitě baterie pak může dojet až 160 km [6].



Obr. 1.3 skútr Gogoro s nabíjecí stanicí (www.motorkari.cz)

Největší zastoupení na trhu s elektroskútry v České republice mají výrobci Akumoto, Govecs a E-max. Tyto skútry nemají parametry srovnatelné s výše uvedeným skútre Gogoro. Jejich maximální rychlost je omezena na 45 km/h a dojezd se za ideálních podmínek pohybuje kolem 70 km. Na druhou stranu tyto slabší parametry jsou vykompenzovány lepší cenovou dostupností a pro městský provoz jsou dostačující [7].

1.3.2 Elektrická endura

Endura jsou motocykly určené do terénu, ale i na silnici. Do této kategorie můžeme zařadit i supermoto, zjednodušeně lze říct, že jde o enduro na silničních pneumatikách. Předními výrobci, kteří nabízejí motocykly v těchto kategoriích, jsou Zero Motorcycles, eKrad, Quantya, ale i KTM, která je známá spíše svými klasickými motocykly. Nejvíce modelů nabízí Zero Motorcycles.

Pro ukázkou elektrického supermota použijí model EVO1 pro rok 2017 od společnosti Quantya. U tohoto modelu je použit stejnosměrný elektromotor o výkonu 8.55 kW a točivém momentu 16 Nm. Tento ne příliš velký výkon kompenzuje malá hmotnost motocyklu, která je 93 kg. Maximální rychlost elektromotocyklu činí 110 km/h. Baterie použité u tohoto modelu jsou lithium-polymerové a motocykl na ně vydrží jet maximální rychlostí 90 minut. Baterie mají jmenovité napětí 52 V, proud 400 A a kapacitu 40 Ah.

Dobití baterií z běžné zásuvky trvá 2 hodiny a rychlonabíječkou 1 hodinu. Rozvod je zajištěn z rotoru řemenem, ten pohání rozvodové kolečko a přes řetěz jde výkon na rozetu zadního kola [8].



Obr. 1.4 Quantya EVO1 (www.quantya.com)

Elektrické enduro, se kterým se setkáme nejčastěji, bude nejspíše model Freeride E-XC od KTM. Tato firma použila synchronní motor s permanentními magnety. Elektromotor od KTM nemá také podobně jako EVO1 žádné ohromující parametry, maximální výkon je 16 kW a točivý moment 42 Nm. Motocykl je ale určen do terénu, tudíž výkon je pro hobby použití plně dostačující. Slabší motor také kompenzuje nízká váha motocyklu, která je pouhých 108 kg. Použity zde byly 260V Li-Ion baterie, jimž k plnému nabití stačí jen 80 minut [9].



Obr. 1.5 KTM Freeride E-XC (www.motorkari.cz)

1.3.3 Elektrický superbike

Pro tuto kategorii můžeme jako příklad použít elektromotocykl od společnosti Mission Motors, která kromě vyvíjení elektromotocyklů také dodává elektrické pohony pro automobilový průmysl. Motocykly od této společnosti závodily také na soutěži TTXGP. Jednalo se o model Mission RS, z něhož vychází model Mission R, jenž je schválený pro silniční provoz. U tohoto motocyklu je použit asynchronní motor o výkonu 160 koní a točivém momentu 163 Nm. Výkon je přenášen přes jednostupňovou převodovku. Motocykl zrychlí z 0 na 100 km/h za 3 vteřiny a maximální rychlost je 241 km/h. Celková váha motocyklu je 247 kg, a to i s bateriemi, které si můžete vybrat ve třech variantách, a to 12 kWh, 15 kWh a 17 kWh. Dojezd Mission R by se měl pohybovat mezi 168 a 225 km a v městském provozu dokonce od 278 do 370 km podle kapacity baterií. Cena motocyklu je 30 tisíc dolarů se základními bateriemi o kapacitě 12 kWh, za větší 17 kWh kapacitu baterií si je pak nutno připlatit 10 tisíc dolarů. V přístrojové desce je kromě údajů o aktuální rychlosti, ujeté vzdálenosti a stavu nabití baterie také vestavěná navigace [10].



Obr. 1.6 elektromotocykl Mission R (www.motorkaři.cz)

1.3.4 Elektromotocykly pro děti

Jde o malé elektrické crossové motocykly určené pro děti. V současné době je v rozmachu česká společnost Kuberg, zabývající se výrobou těchto motocyklů. Společnost vyváží většinu vyrobených strojů za hranice České republiky, nejvíce do Švédska, USA a západní Evropy. V nedávné době se jim dokonce podařilo změnit závodní regule ve Velké Británii a v Německu a s jejich dětskou motorkou budou jezdci startovat v kategorii do 50 ccm. Dojezd motocyklů se model od modelu liší, avšak výrobci udávají, že motocykl dokáže jet na nabití baterie hodinu na plný plyn. Nabití baterií by pak mělo trvat 2 hodiny z běžné zásuvky. Například elektrický dirtbike Freerider stojí 108 tisíc korun a jeho pohon zajišťuje elektromotor o výkonu 8 kW s napětím 48 V. Motocykl váží díky lehké konstrukci a malému elektromotoru jen 36 kg a dokáže jet maximální rychlostí 55 km/h. Baterie mají kapacitu 22 Ah, s průměrně těžkým jezdce vydrží baterie pohánět elektromotor cca hodinu [11,12].



Obr. 1.7 dětské elektromotocykly Kuberg (www.ecofuture.cz)

2 Výhody a nevýhody elektrické koncepce oproti benzínovým motorům

2.1 Výhody

Největší výhodou elektromotocyklů je to, že neprodukují žádné emise. To je však diskutabilní, protože většina elektřiny se stále ještě vyrábí buď v tepelných anebo jaderných elektrárnách a ty představují pro životní prostředí také velkou zátěž.

Další velkou výhodou je, že elektromotor ve srovnání se spalovacím motorem o stejném výkonu je o hodně menší, tudíž by teoreticky elektromotocykl měl být celkově lehčí než běžný motocykl, ale ne vždy tomu tak je, jelikož elektromotor je napájen z baterií, které jsou většinou umístěny místo palivové nádrže, a tyto baterie rozdíl ve váze elektromotocyklů a běžných motocyklů téměř eliminují.

Mezi výhody také patří to, že elektromotor je téměř bezhlučný, tudíž jízda na elektromotocyklu je také bezhlučná, to ovšem nemusí být taková výhoda, jak se zdá, protože z hlediska bezpečnosti je lepší, když motocykl je slyšet. Jedním z důvodů je, že

motocykl je malý a spousta řidičů v automobilech může motocykl přehlédnout. Když je motocykl slyšet, je pravděpodobnost přehlédnutí menší. Druhý důvod je ten, že elektrický motocykl může přehlédnout například i chodec a může vstoupit do vozovky právě ve chvíli, kdy bude projíždět bezhlučný elektromotocykl. I toto už se ale řeší a některé elektromotocykly už mají integrované reproduktory, ze kterých může vycházet například zvuk čtyřdobého spalovacího motoru.

Pro uživatele řekl bych, je největší výhodou bezúdržbovost. Zatímco spalovací motor vyžaduje mnoho pravidelných údržbových úkonů, ať už je to seřízení ventilů, výměna zapalovací svíčky nebo výměna oleje a filtrů, elektromotor tyto části nemá a nepotřebuje žádnou údržbu ani servis.

Pro většinu uživatelů bude také jistě výhodou jedna z vlastností elektromotoru a to ta, že elektromotor produkuje již od nulových otáček maximální točivý moment na rozdíl od spalovacího motoru, který má maximální točivý moment pouze při určitých otáčkách a ve zbytku spektra otáček už tohoto momentu nedosahuje. Tato vlastnost tedy zajišťuje to, že zrychlení elektromotocyklů je mnohem větší než zrychlení stejně silných motocyklů se spalovacím motorem.

Se stále se zvyšujícími cenami benzínu je další velkou uživatelskou výhodou cena, řekl bych, „paliva“ a také to, že baterie můžeme dát dobít doma, například přes noc a ráno už máme motocykl plně nabitý. Není to však tak, že by dobítí baterií trvalo celou noc, většina dnešních baterií je schopna dobít se tzv. rychlonabíječkami, které nabíjí velkým proudem, už za jednu nebo dvě hodiny.

Dříve menší cena elektřiny oproti benzínu nebyla až takovou výhodou, jelikož elektromotocykl byl oproti běžným motocyklům značně dražší, a tak když se porovnály pořizovací a provozní náklady, nedokázal elektromotocykl předčít běžný motocykl se spalovacím motorem. Dnes už tomu tak není, přestože většina elektromotocyklů je stále dražší než motocykly se spalovacím motorem, rozdíl v ceně už ale není tak velký [41].

2.2 Nevýhody

Hlavní nevýhodou elektromotocyklů je bezesporu dojezdová vzdálenost. V začátcích

elektromotocyklů nebyla technologie baterií v tomto odvětví příliš vyspělá a dojezdová vzdálenost byla opravdu malá. Dnes už je tomu jinak a většina elektromotocyklů dojde na jedno dobítí baterií to, co jejich konkurenti se spalovacím motorem na jednu plnou nádrž. Problém je ale v tom, že je stále málo nabíjecích stanic, oproti tomu čerpací stanice je téměř v každém malém městě. Hustší síť dobíjecích stanic by ale problém v dojezdu elektromotocyklů vyřešila pouze z poloviny. Zatímco u čerpací stanice doplníte plnou nádrž během pár minut a můžete pokračovat v cestě dál, nabití baterií i v případě rychlonabíječek trvá minimálně půl hodiny. I tento problém má však své řešení. To spočívá v tom, že baterie se dají z motocyklu lehce vyndat a na nabíjecí stanici vyměnit za jiné, plně nabité. Toto řešení však ne u všech typů motocyklů dovoluje jejich konstrukce a umístění baterií. Vyměnitelné baterie se prakticky používají jen u elektroskútrů, ale také ne u všech. Jedním z mála je, jak už jsem výše uvedl, společnost Gogoro. Mnoho společností vyrábějících elektroskútry toto řešení nevyužívá z důvodu toho, že každá baterie má svoji životnost a může se tedy stát, že své téměř nové, ale vybité baterie vyměníte u nabíjecí stanice za již téměř vysloužilé, ale nabité nebo naopak.

Malou dojezdovou vzdálenost elektromotocyklů o něco zlepšil systém rekuperace energie, který je dnes skoro v každém elektromotocyklu.

Pro každého uživatele bude jistě další nevýhodou to, že servis elektromotocyklu, ač není tak častý jako u běžného motocyklu, bude muset svěřovat do rukou autorizovaného servisu, jelikož elektromotocykly ještě tolik běžné nejsou a mnoho normálních servisů s nimi příliš zkušeností nemá.

Další nevýhodou může být již zmíněná životnost baterií. Zatímco objem palivové nádrže zůstává stále stejný, kapacita baterie se časem snižuje. Jde tedy o to, že když jsou baterie nové, ujedete o několik kilometrů více, než když už jsou baterie například v polovině své životnosti. Tento rozdíl v počtu najetých kilometrů na nabití nové a staré baterie není nijak zanedbatelný, jedná se většinou až o desítky kilometrů. Na tento problém ale většina výrobců myslí a na baterie dává záruku na dobu několika let nebo na ujetí určitého počtu kilometrů. Ovšem záruka je dávana většinou na dobu, kterou by baterie měla vydržet, tudíž ji využijete jen v případě, že by se jednalo o nějaký nekvalitní kus. Když baterie doslouží, nezbyde tedy nic jiného než jít koupit nové.

Problém také může být se zazimováním motocyklu. Ne každý má k dispozici vyhřátou garáž, a zatímco u běžného motocyklu lehce vyndáte jednu malou baterii a dáte do tepla, u většiny elektromotocyklů si sami s vyndáním všech baterií neporadíme. Pokud je necháme v motocyklu dlouhou dobu při nízkých teplotách, může se stát, že se baterie zničí [41].

3 Světové soutěže elektromotocyklů

3.1 Soutěž TTXGP

TTXGP je první ekologický závod na světě. Poprvé se jel 12. června 2009 na britském ostrově Isle of Man. Závod elektromotocyklů následoval po odjetí závodu motocyklů se spalovacím motorem, ty na ostrově Man závodí již od roku 1907. Jedno kolo na ostrově Man měří 60.4 km a závod se jel pouze na jedno kolo. Kvalifikace do závodu probíhala tak, že stroj každého týmu musel objet jedno kolo pod 50 minut minimální průměrnou rychlostí 72.68 km/h bez zastavení. Vítěz závodu měl čas kola 25 minut a 53 vteřin a jel průměrnou rychlostí 140.71 km/h. Pro porovnání můžeme uvést, že nejrychlejší zjeté kolo na motocyklu se spalovacím motorem na Isle of Man bylo za 16 minut a 54 vteřin a průměrnou rychlostí 215.59 km/h [13].

Do závodu se kvalifikovalo 24 motocyklů z 16 týmů. Byly to týmy z Velké Británie, Itálie, USA, Indie, Německa a Rakouska [13].

V prvním ročníku TTXGP byly startující motocykly rozděleny do čtyř kategorií podle pohonného ústrojí. První kategorii s názvem 3a tvořily motocykly poháněné výhradně elektřinou uloženou v bateriích. Druhá kategorie s názvem 3b byly motocykly poháněné palivovými články a uloženou elektrickou energií, kterou využily v případě potřeby. Třetí kategorie s názvem 3c byly stroje, které poháněl vodík a musely vyhovovat všem předpisům pro běžné závodní motocykly, jako je například omezení hluku na 105 dBA. Do čtvrté skupiny spadaly motocykly s hybridním pohonným systémem. Všechny týmy však závodily s motocykly spadajícími do první kategorie 3a. V následujícím ročníku už mohly startovat pouze stroje s elektrickým pohonným systémem [14].

3.1.1 Vítězný motocykl TTXGP 2009

Vítězem prvního ročníku TTXGP se stal Rob Barber z týmu Agni. Závodil na motocyklu Agni X01, který byl přestavbou motocyklu Suzuki GSX-R600. Model Agni X01 měl lithium-polymerové baterie s kapacitou 16 kWh, pohon zajišťovaly dva motory Agni 95 o celkovém výkonu 80 koňských sil. Jednalo se o stejnosměrný kartáčový motor s permanentními magnety s axiálním tokem[15].



Obr. 3.1 vítězný motocykl Agni X01 (www.electric-vehiclenews.com)

3.2 Soutěž TT zero

TTXGP v roce 2009 bylo úspěšné a Mezinárodní federace motocyklů (FIM) se rozhodla uspořádat vlastní šampionát elektromotocyklů. Tím začaly spory mezi FIM a TTXGP a obě tyto organizace měly v roce 2010 své vlastní šampionáty. V roce 2011 poprvé spojily své síly v Mazda Raceway Laguna Seca během mistrovství světa. Roku 2012 proběhla další úspěšná spolupráce mezi těmito organizacemi a v roce 2013 uspořádaly společný světový šampionát FIM e-Power Championship [16].

Ten se měl skládat ze 4 závodů v Evropě a 4 v Severní Americe a světové finále mělo být v Asii. Nakonec se ale uskutečnily pouze 4 závody v Evropě a 2 v Severní Americe. A protože nebylo světové finále, byli vyhlášeni dva vítězové z evropské a americké části

šampionátu.

V roce 2014 se šampionát přejmenoval na TT Zero. Tento šampionát již neobsahoval seriál více závodů, ale jel se pouze jeden závod a to na Isle of Man. Poslední odjetý ročník vyhrál v roce 2016 Bruce Anstey z týmu Mugen na motocyklu Shinden go [17].

3.2.1 Elektromotocykl Shinden go

Pro rok 2016 byl motocykl zcela přepracován podle poznatků z předchozích čtyř ročníků. Elektromotor, který motocykl poháněl, byl olejem chlazený 3fázový střídavý. Na rám byl zvolen lehký a tuhý materiál, tím se ubrala váha motocyklu na 250 kg a zároveň se zlepšila aerodynamika. Motor i baterie byly umístěny na rámu tak, aby se skryly pod plasty a nenarušovaly tak aerodynamiku motocyklu. Motor měl výkon 160 koní a točivý moment 210 Nm. Baterie byly typu Lithium-ion a jejich výstupní napětí bylo 370 V. Průměrná rychlost tohoto elektromotocyklu v závodě byla 190.57 km/h [18,19].



Obr. 3.2 elektromotocykl Shinden go (www.mugeneuro.com)

3.3 Přípravovaný šampionát od Dorna

Dorna Sports je společnost, která má mediální práva na šampionát MotoGP a World

Superbike. Tato společnost před nedávnem potvrdila, že chce vytvořit vlastní šampionát elektrických motocyklů. Ten chce Dorna zahájit v roce 2019 a měl by se jet současně se seriálem MotoGP jako jejich podkategorie. Nejednalo by se tedy pouze o jeden závod, jako je tomu u TT Zero, ale jelo by se 5 závodů.

Elektromotocykly do tohoto chystaného šampionátu by dodával pouze jeden výrobce, který, to zatím Dorna neřekla. Uvedla ale, že tratě, na nichž by se závody měly jet, musejí být v blízkosti elektráren, které pracují s obnovitelnými zdroji, aby se motocykly nabíjely elektřinou z nich a šampionát tak byl opravdu ekologický. Závodní speciály by měly dosahovat maximální rychlosti až 200 km/h. Každý ze závodů by se měl jet na 10 kol. V průměru mají závodní okruhy, na kterých se jezdí mistrovství světa silničních motocyklů 5 km, takže závod by byl dlouhý 50 km, což je skoro stejná vzdálenost, jako jezdí elektromotocykly na soutěži TT Zero na Isle of Man, kde se jezdí na jedno kolo, jež měří 60 km [20].

3.4 Závod Pikes Peak

Elektromotocykly závodí dokonce i na slavném americkém závodu do vrchu Pikes Peak. Ten se jezdí již od roku 1916. Trať závodu obsahuje 156 zatáček, je dlouhá 20 km a převýšení mezi startem, který je v nadmořské výšce 1440 m, a cílem ve výšce 4300 m.n.m., je 2860 m [21].

Elektrické motocykly mají v tomto závodu dvě samostatné kategorie. První má název Electric Modified Class. Do této kategorie spadají ty nejvýkonnější elektromotocykly, ke kterým se běžný člověk jen těžce dostane. V této kategorii tedy závodí většinou profesionální závodní jezdci.

Druhá kategorie s názvem Electric Production Class je určena pro sériově vyráběné elektromotocykly a nejsou povoleny téměř žádné úpravy na motocyklech. Do této kategorie tedy většinou nastupují amatérští jezdci [22].

V kategorii Electric Modified Class je nejrychlejší čas 10:00,694 minut, zajel ho v roce 2013 Carlin Dunne na elektromotocyklu Lightning LS-218. Tento čas byl pouze o 2 vteřiny pomalejší než nejrychlejší čas v kategorii nejsilnějších motocyklů se spalovacím

motorem. V kategorii Electric Production Class drží nejrychlejší čas 11:59,814 minut Jeff Clark, jenž startoval na stroji společnosti Zero FX v roce 2014 [23].

3.4.1 Lightning LS-218

Jedná se o výrobek firmy Lightning motorcycles. Tento model nejenže může konkurovat nejsilnějším spalovacím motocyklům, ale ještě před pár lety se jednalo dokonce o nejrychlejší civilní motocykl, stále mu však zůstává titul nejrychlejší elektrický motocykl. LS-218 nabízí tři varianty kapacity baterií, na největší 20 kWh s napětím 380V ujede 270 kilometrů. Motocykl má elektromotor IPM. Jedná se o motor s rotorem z permanentního magnetu a statorem s vyniklými póly. Elektromotor se dokáže roztočit až na 10500 otáček za minutu. Motor je kapalinou chlazený, má výkon 150 kW (200 koní) a točivý moment 228 Nm. Maximální rychlost tohoto motocyklu je 350,8 km/h. Díky použití lehkých materiálů karbonu a titanu činí váha motocyklu pouze 224 kg [24].



Obr. 3.3 Lightning LS-218 (www.motorkari.cz)

3.4.2 Elektromotocykl Zero FX

Model Zero FX je elektrické supermoto. Je zde použit 3fázový střídavý motor s vnitřními permanentními magnety, má výkon 34 kW a točivý moment 106 Nm. Motor je napájen z baterií typu Li-Ion, na plnou kapacitu 5.7 kWh se nabijí za 8.9 hodin, ovšem

s rychlonabíječkou za 1.7 hodiny. Motocykl má maximální rychlost 137 km/h a na jedno nabití ujede kolem 113 km. Pohon je přímý bezspojkový a zajišťuje ho řemen z uhlíkových vláken. Hmotnost motocyklu je 131 kg. Konstrukce je stejná jako u spalovacích motocyklů, baterie jsou na místě palivové nádrže a elektrický motor místo spalovacího motoru [25].



Obr. 3.4 Zero FX (www.zeromotorcycles.com)

3.4.3 Victory Empulse RR

Společnost Victory ve spolupráci s firmou Bremmo vytvořily pro rok 2016 nový model Empulse RR, který startoval jak na TT Zero, kde byl plně kapotovaný, tak na Pikes Peak, kde startoval bez kapotáže. Elektromotocykl se umístil na druhém místě v závodě TT Zero, na prvním místě ve své kategorii v závodě Pikes Peak a na druhém místě celkově v kategorii motocyklů. Empulse RR vychází z modelu Project 156, jež pohání vidlicový dvouválcový spalovací motor o objemu 1200 ccm [26].

Empulse RR pohání třífázový elektromotor s vnitřními permanentními magnety (IPM) od společnosti Parker Hannifin. Elektromotor je kapalinou chlazený o výkonu 177 koní a točivém momentu 240 Nm. Je schopný roztočit se až na 8000 otáček za minutu. Baterie

jsou typu Li-ion a jsou konstruovány tak, aby vydržely napájet elektromotor na ujetí 60 km, což je délka kola a zároveň i závodu na Isle of Man, při zatížení plným výkonem. Motocykl má celkovou hmotnost 240 kg [26,27].



Obr. 3.5 vlevo Empulse RR vpravo Project 156 (www.motorkari.cz)

4 Druhy používaných elektromotorů

4.1 Bezkartáčový motor

Jedná se o stejnosměrný motor, který svou konstrukcí připomíná střídavý 3fázový synchronní motor. Oproti ostatním stejnosměrným motorům se liší tím, že komutace zde není řešena pomocí kartáčů, jak je tomu běžně, ale elektronicky. Výhoda tohoto řešení je, že jelikož se zde nepoužily kartáče, které se rychle opotřebovávají, znatelně se prodloužila životnost motoru.

Rotor je tvořen permanentními magnety a stator se skládá ze třech budících vinutí, která jsou zapojena do hvězdy. Napětí zdroje se nesmí připojit přímo na vinutí, ale je nutné ho spínat. To se provádí tak, že napětí je vždy přivedeno jen na 2 ze 3 vinutí, a každé má jinou

polaritu. Řídící jednotka, která toto zajišťuje, je zpravidla součástí motoru. Otáčky se řídí velikostí napětí, většinou pomocí PWM modulace napájecího napětí.

Tyto motory se vyznačují vysokou účinností, s tím je spojena i potřeba menších proudů, což se pro použití v elektromotocyklech skvěle hodí, jelikož baterie vydrží napájet motor déle. Motory mají také velice tichý chod. Podle zvoleného materiálu permanentních magnetů rotoru může být motor různě velký a bude zachován jeho točivý moment. Když se použijí jiné materiály než běžné feritové magnety, jako jsou různé ušlechtilé slitiny, například Neodymium, rotor a tím i celý motor jsou menší stejně jako celá hmotnost motoru. Nevýhodou těchto motorů je však stále cena, která je oproti motorům s klasickou komutací a i asynchronním motorům podstatně vyšší. Nejčastěji se tento typ motoru používá u elektrických skútrů, kde je umístěn v náboji zadního kola [30,31].

4.2 Asynchronní motor

Asynchronní motor se skládá ze statoru, který je složen z litinové konstrukce a dvou ložiskových štítů, ve kterých jsou umístěna ložiska, v nichž se pak otáčí rotor. Ve statoru jsou zalisované plechy, ty jsou odizolované a tvoří jednu část magnetického obvodu. Na rotoru jsou také nalisované plechy. Oboje plechy mají drážky a v těch je uloženo vinutí motoru. Stator je většinou 3fázový a jednotlivé fáze jsou vůči sobě pootočené o 120° . V rotoru se naindukuje napětí, začne jím procházet proud, vytvoří se magnetické pole. Magnetické pole statoru a rotoru na sebe působí a rotor se začne otáčet. Rotor se však nikdy nebude otáčet stejnou rychlostí jako pole statoru. Tento rozdíl otáček se nazývá skluz.

Asynchronní motory mají jednoduchou konstrukci a díky tomu jsou velice levné, spolehlivé a téměř bezúdržbové. Pro použití v elektromotocyklech je požadována kvalitní regulace, což znamená použití frekvenčního měniče. To může být problém z hlediska nedostatku místa v konstrukčním řešení motocyklu. Další problém při použití asynchronního motoru je ten, že tento motor vyžaduje napájení střídavým napětím, je tedy nutný další prvek a to střídač, jelikož baterie dávají stejnosměrné napětí. Střídač tedy také zvyšuje nároky na místo v konstrukci motocyklu a zároveň zvyšuje ztráty [32].

4.3 Synchronní motor s permanentními magnety

Synchronní motor stejně jako všechny elektromotory je složen ze statoru a rotoru. Stator se skládá ze statorových plechů, v nichž jsou drážky, a v drážkách uložené vinutí. Stator je napájen třífázovým napětím. Rotor tvoří permanentní magnety, které se můžou umístit na povrch rotoru, nebo do těla rotoru. Výhoda použití permanentních magnetů spočívá v tom, že oproti použití elektromagnetů nebo budícího vinutí, kde je nutno je vybudit stejnosměrným proudem a ten se do rotoru musí nějakým způsobem přivést, u permanentních magnetů tento problém odpadá. Permanentní magnety jsou totiž schopny vytvořit statické magnetické pole i bez přivedeného stejnosměrného proudu.

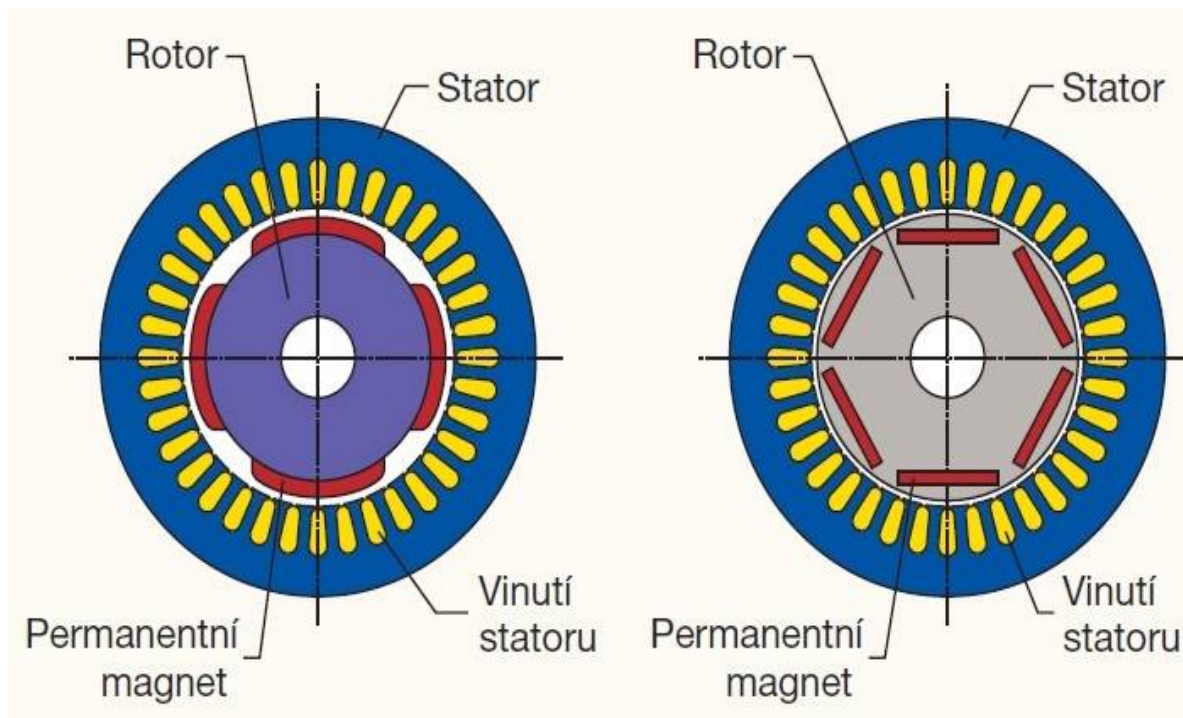
Díky použití permanentních magnetů nepotřebují budící vinutí, ve kterém vznikají ztráty, motory mají tudíž vysokou účinnost, což je jedním z důvodů jejich používání v elektromotocyklech. Další výhodou, proč se hodí pro elektromotocykly, je to, že díky menším rozměrům jsou lehčí, je tedy i menší celková váha motocyklu. Menší rozměry přinášejí zároveň další výhodu, a to tu, že mají menší moment setrvačnosti a jsou tudíž rychleji říditelné. Mají však i některé nevýhody, jako je vysoká cena a také to, že dojde-li k silnému proudovému nárazu ve statoru, rotor se odmagnetuje [33].

4.3.1 Elektromotor IPM

IPM je zkratka z anglického Interior Permanent Magnet. Rotor těchto motorů je z permanentního magnetu a stator s vyniklými póly. Od běžných motorů s permanentními magnety se liší tím, že magnety nejsou montovány na povrch rotoru, jak je tomu u běžných motorů, ale jsou zapuštěny do rotoru. Motory IPM se od běžných motorů liší i konstrukcí statoru. Ten je součástí rámu, který je tvořen tenkými ocelovými lamelami, jež se k sobě pod tlakem snýtují. Touto konstrukcí vznikají hned dvě výhody oproti klasickým asynchronním motorům.

První je, že rám vytvořený touto technologií je lehčí než běžný litinový rám. Druhou výhodou je, že díky lamelám a tomu, že stator je součástí rámu, se lépe odvádí teplo. Všechny tyto odlišnosti IPM motorů od běžných asynchronních motorů zapříčiňují to, že tyto motory mají podstatně lepší účinnost než asynchronní motory. IPM motory jsou schopny si tuto účinnost udržet v širším rozsahu zátěže než klasické asynchronní motory.

Výhodou motorů IPM je také to, že jsou podstatně menší než střídavé asynchronní motory stejného výkonu. Motory s vnitřními permanentními magnety mají díky své konstrukci větší reluktanční moment, kvůli tomu mají větší výstupní moment oproti běžným asynchronním motorům, i když mají menší rozměry. Snad jedinou nevýhodou těchto motorů je jejich dražší výroba oproti indukčním motorům [28].



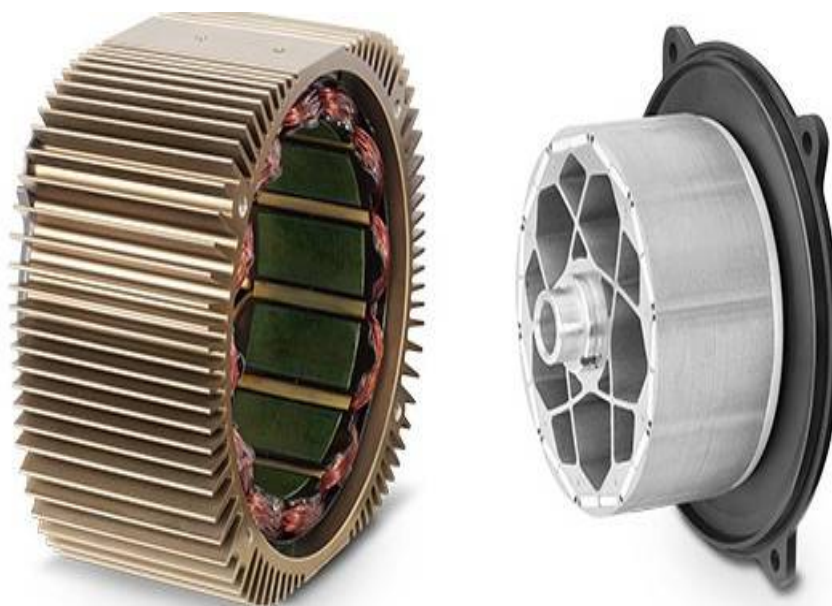
Obr.4.1 vlevo motor s povrchově montovanými perm. magnety, vpravo motor se zapuštěnými perm. magnety (www.controlengcesko.com)

4.3.2 Z-Force motor

Z-Force motor je elektromotor vyvinutý společností Zero Motorcycles. Je to v podstatě elektromotor IPM, ovšem Zero Motorcycles ho ještě vylepšila. Stator je součástí rámu jako u IPM motorů, ale rám už není tvořen snýťovanými ocelovými lamelami, je z hliníku a je tvořen chladicími žebry. To způsobuje, že teplo je velice dobře odváděno do okolního prostředí, a není tak za potřeby motor chladit například kapalinou nebo nuceným oběhem vzduchu. Zároveň je motor zcela utěsněn, je tedy vodotěsný.

Motor nevyžaduje žádnou pravidelnou údržbu. Je velice lehký díky použitým materiálům a zároveň díky technologii IPM, která umožňuje menší rozměry elektromotoru

při stejném výkonu. Nejsilnější Z-Force motor je schopný produkovat až 70 koňských sil a 157 Nm točivého momentu, který je schopný dodat od nulových otáček [29].



Obr. 4.2 elektromotor Z-Force (www.zeromotorcycles.com)

5 Typy používaných baterií

5.1 Li-Ion

Lithium iontový akumulátor je v dnešní době ten, který má největší měrný výkon, a to 200 Wh/kg i více. Skládá se z kladné a záporné elektrody a také elektrolytu. Záporná elektroda je tvořena z jemně mletého grafitu. Kladnou elektrodu tvoří oxid kobaltolihný (LiCoO_2). Jako elektrolyt se používá lithná sůl [34].

Při vybíjení baterie dochází k přecházení iontů lithia (odtud název lithium iontové baterie) elektrolytem ze záporné elektrody na kladnou, tím se přenáší i náboj. Opačně, tedy z kladné na zápornou elektrodu, se vrací nositelé náboje při nabíjení baterie. Baterie jsou obvykle vybaveny ochranným obvodem. Je to proto, že jakmile by napětí baterie kleslo pod minimální napětí článku (většinou 2.5 V) nebo bylo při nabíjení více než maximální napětí článku (4.2 V), došlo by ke zničení baterie a ochranný obvod má za úkol tato napětí hlídat a popřípadě baterii odpojit. Ochranný obvod hlídá ale i maximální nabíjecí a vybíjecí

proud a také teplotu baterie [34, 35].

Pro použití v elektromotocyklech je tento typ baterie výhodný z několika důvodů. První je její vysoká hustota energie, baterie má tedy vysokou kapacitu při malých rozměrech, což snižuje nároky na místo i váhu motocyklu. Další velkou výhodou je to, že se například oproti oloveným akumulátorům velice rychle nabíjí. Má také velmi dlouhou životnost, a to až 2000 nabíjecích cyklů. Jelikož v tomto akumulátoru neprobíhají žádné nežádoucí chemické reakce, má zanedbatelné tzv. samovybíjení. Vzhledem k různým typům motocyklů, tudíž i různým uložení baterií, je důležité i to, že se může vyrábět v různých tvarech. Baterie je konstrukčně odolná vůči vibracím, i když elektromotor neprodukuje zdaleka takové vibrace jako spalovací motor, stále na baterie působí vibrace od vozovky. Tato vlastnost je tedy pro naše použití důležitá. Hodí se i vlastnost, že nepotřebuje žádnou údržbu, a také to, že není třeba ji před prvním použitím nejprve vybit a nabít. Důležité také je, že Li-Ion baterie nemají paměťový efekt, není tedy třeba je před každým nabíjením zcela vybit, aby si udržely svou plnou kapacitu [34, 35].

Tyto baterie však mají i několik nevýhod. Jednou z nich je jejich velká náchylnost na minimální napětí. Když napětí baterie klesne pod její minimální napětí, většinou se baterii nepodaří znovu oživit, a je tak zničená. Když se baterie skladují při teplotě pod bodem mrazu, značně jim klesá životnost. To může být při použití v elektromotocyklech problém, když je na zimu motocykl odstaven a nemáme k dispozici teplou garáž. Velká nevýhoda je také to, že i když baterii nepoužíváme, časem ztrácí svou maximální kapacitu. Tomuto jevu nemůžeme zabránit, ale můžeme ho zpomalit tím, že baterii budeme skladovat ne plně nabitou, ale nabitou na 70-80 procent a také ne při příliš vysoké teplotě. Ideální teplota pro skladování lithium iontových baterií je okolo 6°C. Když při nesprávném zacházení s baterií dojde ke zkratu nebo se baterie nabíjí nesprávnou nabíječkou, která neumí regulovat nabíjecí proud, a dojde tím k přebití baterie, může se Li-Ion baterie vznítit, nebo dokonce explodovat. V neposlední řadě je jejich nevýhodou také vysoká cena. Důležité je i to, že doposud nebyla uspokojivě vyřešena jejich recyklace. To z toho důvodu, že i vyřazená baterie může obsahovat zbytkový náboj. Může tedy dojít ke zkratu a tím pádem i k výbuchu baterie [35].



Obr. 5.1 akupack Li-Ion baterií od KTM (www.motorkari.cz)

5.2 Li-Pol

Lithium polymerové baterie se liší od lithium iontových tím, že již nemají kovový obal, jelikož záporná elektroda je vyvedena ven stejně jako kladná elektroda pomocí pásu. To sebou přináší i výhody oproti Li-Ion bateriím. Díky tomu, že není použit kovový obal, ale baterie je zabalená jen v odizolované fólii, je celá baterie ještě lehčí než baterie Li-Ion. Dají se také díky této odlišnosti lehce ohýbat. Zároveň díky fólii již nehrozí úraz při roztržení baterie. Proto také nemají ani bezpečnostní ventil. Liší se také použitým elektrolytem, který je polymerový. Odtud také vznikl jejich název. Polymer není elektricky vodivý, ale umožňuje pohyb a výměnu iontů [36,37].

Tyto akumulátory mají ovšem i své nevýhody. Některé mají totožné s Li-Ion bateriemi. Jednou z nich je ta, že při vybití článku na napětí menší než je minimální napětí článku, dojde k jeho zničení. Avšak u Li-Pol baterií sebou tato nevýhoda přináší další a tou je, že při takovémto podbití může dojít k nafouknutí článku. Vzhledem k tomu, že u elektromotocyklů je potřeba výrazně větší napětí, než je typické napětí jednoho článku (většinou 3.2 V), tak se tyto články spojují do série a vytvoří se tzv. akupack. Ten je velmi často v plastovém obalu, kdyby tedy došlo k podbití článku a jeho následnému nafouknutí,

mohl by roztrhnout i plastový obal.

Tyto baterie předurčují k použití v elektromotocyklech jejich dvě výborné vlastnosti. První je, že jsou schopny nabíjet se až 4násobkem kapacity článku. Doba jejich plného nabití se tak výrazně zkracuje. Druhá zásadní vlastnost je, že zvládnou i vysoký vybíjecí proud, ten může ve špičkách dosahovat až 50násobku kapacity článku [37].



Obr. 5.2 Li-Pol článek (www.cnews.cz)

5.3 LiFePO₄

LiFePO₄ je nejnovější druh lithium iontové baterie. Vyvinuli ho na Texaské univerzitě v roce 1996. Jde o lithium železo fosfátové baterie. Někteří výrobci ještě přidávají yttrium, baterie se pak označují jako LiFeYPO₄. Tyto baterie měly zpočátku nahradit ostatní lithiové baterie. Bylo to díky tomu, že náklady na jejich výrobu jsou menší než náklady na výrobu lithium iontových a lithium polymerových baterií. Menší náklady jsou zapříčiněny dobrou dostupností železa. Tuto vlastnost, která je mohla dostat na první místo pro použití v elektromotocyklech, ale předčily dvě nevýhody. První je ta, že mají malou vnitřní vodivost, tudíž i menší hustotu energie než Li-Ion a Li-Pol baterie. Hustota energie je mezi 90-110 Wh/kg. Druhou nevýhodou je jejich větší hmotnost než prvních dvou popisovaných typů lithiových baterií. Větší hmotnost je důsledkem přítomnosti železa. Další nevýhodou těchto baterií je, že baterie by se neměla nechat vybit pod 30% její kapacity. Bude-li

docházet k častému vybíjení pod 30% kapacity, baterie se může zničit [39].

Tyto jejich nevýhody ovšem předčívají mnohé výhody. Mají ještě vyšší životnost než předchozí dva typy. Vydrží 2000 nabíjecích cyklů, ale i potom poklesnou asi jen na 80% své původní kapacity. Jejich životnost je až 10 let. Stejně jako Li-Pol baterie jsou schopny dodávat vysoký špičkový proud. Také jsou mnohem bezpečnější. Je to díky tomu, že mají výbornou tepelnou a chemickou stabilitu a, že obsahují menší podíl lithia, které je velmi hořlavé, může se vznítit již při teplotě 136°C. Zatímco Li-Ion a Li-Pol baterie mají malý samovybíjecí efekt (do 5% měsíčně), baterie LiFePo₄ nemají téměř žádný. Stejně tak nemají paměťový efekt [38,39].

Jmenovité napětí jednoho článku je podobné jako Li-Ion a Li-Pol baterií, 3.1 V - 3.3 V. Téměř stejné mají i maximální (4.25 V) a minimální (2.5 V) napětí článku. Fosfátová technologie tedy zlepšila bezpečnost, ekologickou likvidaci a náklady, ale zhoršila hustotu energie. Nové výzkumy už však probíhají a předpokládá se, že se odstraní i tato nevýhoda [38,39].

5.4 BMS

BMS je zkratka z battery management system. Je to elektronická řídicí jednotka baterií. V případě použití lithiových baterií je jejich nedílnou součástí, jelikož je nutné hlídat jejich parametry. BMS má za úkol hlídat minimální a maximální napětí článku, maximální teplotu článku a také celkový proud svazku baterií. To však není jejich jediný úkol. Dalším je tzv. balancování článků. Jde o to, že každý článek má trochu odlišné parametry, což je způsobeno výrobními tolerancemi. Je tedy nutné zajistit, aby se všechny články dobíjely a vybíjely rovnoměrně. BMS také postupně podle stavu dobití článků omezuje dobíjecí proud. Ne vždy je však samotný BMS schopný omezit proud z důvodu limitu jeho výkonových parametrů. BMS tedy vyše povel nabíječe, aby omezila dobíjecí proud a BMS tak byl schopný omezit maximální napětí článku, aby nedošlo k jeho zničení. Většinou je BMS řešeno tak, že každý z článků má v sobě zabudovaný měřicí a regulační modul a každý z těchto modulů je pak propojen s centrální řídicí jednotkou [40].



Obr. 5.3 BMS od společnosti EVC Group (www.odbornecasopisy.cz)

6 Přístupy a technické nároky na konstrukci

Konstrukce většiny elektromotocyklů se nijak neliší od běžných motocyklů se spalovacím motorem. Na místě, kde je běžně spalovací motor, je u elektromotocyklů umístěn elektromotor. Ten je podstatně menší než stejně výkonné spalovací motory a místo, které se jeho použitím ušetří a také místo, které vznikne absencí palivové nádrže, se využije k umístění baterií napájejících elektromotor. Ubyly také jiné části běžného motocyklu, které jsou zapotřebí k fungování spalovacího motoru. Jedná se o chladič, jelikož většina elektromotorů je chlazena pouze vzduchem. Spalovací motor ke své činnosti, lépe řečeno k zážehu paliva ve válci, potřebuje vzduch, ten je přiváděn přes vzduchový filtr (airbox). Jelikož elektromotor ke své činnosti vzduch nepotřebuje, není tedy na elektromotocyklu ani airbox [41].

Přenos hnacího momentu na zadní kolo je většinou řešen podobně jako u spalovacího motoru. Tedy tak, že na hřídel elektromotoru je připevněno malé řetězové kolečko, na náboj zadního kola se uchytí rozeta a tato dvě ozubená kola se spojí řetězem. Někdy je ale tento způsob převodu nahrazen řemenem. Pohon řemenem je řešen prakticky stejně řetězem, na hřídeli je malé ozubené kolo, na náboji zadního kola je velké ozubené kolo, jsou spojena řemenem, kdy do zubů ozubených kol zapadají zuby řemenu. Pohon řemenem má oproti pohonu řetězem tu výhodu, že nevyžaduje mazání [42].



Obr. 6.1 umístění elektromotoru a držák baterií na motocyklu Mission R (www.motorkari.cz)

Odlišné uspořádání oproti elektrickým motocyklům mají elektrické skútry. Ty se od klasických skútrů liší tím, že mají elektromotor umístěný v náboji zadního kola. Toto řešení je výhodné v tom, že zadní kolo se pohání rovnou v něm zabudovaným motorem, odpadá tedy nutnost přenášet moment pomocí variátoru, jak je tomu u klasických skútrů se spalovacím motorem. Variátor je složen ze dvou kuželových kol a řemenu, oddalováním a přibližováním kuželů se mění převodový poměr. Jelikož jsou kuželová kola s řemenem ještě zapouzdřena v hliníkovém rámu, má variátor velkou hmotnost. Jeho absencí by se tedy měla snížit i hmotnost celého elektroskútru oproti běžnému skútru. Ovšem většinou je tomu naopak, jelikož nedílnou součástí elektrického skútru jsou baterie, které váhu skútru opět navyšují [41].

Baterie se u většiny elektroskútrů umísťují pod sedadlo, kde je u klasických skútrů úložný prostor. Baterie tedy nejen zvyšují hmotnost skútru, ale také zabírají místo pro uložení přepravovaných věcí. Některé skútry mají baterie nevyjímatelné, jejich dobíjení je tedy možné pouze připojením nabíječky ke skútru. Dnes už ale někteří výrobci u svých elektroskútrů nabízejí baterie, které je možné ze skútru vyjmout a dát je do nabíječky, nebo

je vyměnit za nabité baterie.



Obr. 6.2 umístění baterií ve skútru E-max 110S (www.hybrid.cz)

7 Závěr

V první kapitole této bakalářské práce jsem se zabýval historií elektromotocyklů, která sahá až do roku 1881, ale také současnými elektromotocykly. U vybraných typů motocyklů jsem uvedl vždy jeden až dva příklady dostupných motocyklů daného typu.

Následující kapitola porovnává výhody a nevýhody použití elektrického pohonu namísto pohonu spalovacím motorem. Jako dvě největší výhody se mi jeví nulové emise elektromotoru a také fakt, že elektromotor nepotřebuje oproti spalovacímu motoru téměř žádnou údržbu. Naopak jejich největší nevýhodou je pomalé dobíjení. Z hlediska bezpečnosti je to ale určitě i bezhlučná jízda.

Dále se práce zaměřuje na nasazení elektromotocyklů ve světových soutěžích. Soutěží, ve kterých se objevují elektromotocykly, není zatím mnoho. Ovšem do budoucna se připravuje samostatný šampionát elektrických superbiků. Také v této kapitole lze najít ty nejúspěšnější závodní speciály jednotlivých soutěží a jejich parametry.

Nejčastěji používané elektromotory jsou uvedeny v kapitole 4. Nechybí ani jejich popis a zhodnocení vhodnosti pro použití v elektromotocyklech. Elektromotor, jenž se z uvedených typů využívá pro pohon elektromotocyklů nejčastěji, je motor IPM. Je to zejména díky jeho vysoké účinnosti a malým rozměrům. Mimo jiné je zde popsán i elektromotor Z-Force. Jedná se prakticky o motor IPM, jen byl ještě firmou Zero Motorcycles upraven pro ještě lepší vlastnosti.

Další kapitola práce se věnuje nejpoužívanějším bateriím v elektromotocyklech. Popisuje princip, jak fungují, a také se zabývá jejich vhodností pro napájení elektrického motoru. V dnešní době se již pro tyto účely nepoužívají jiné baterie než lithiové. Jelikož jsou tyto baterie velice náchylné na své elektrické parametry, je nutné jejich připojení na tzv. BMS, který je v této kapitole také popsán.

Poslední kapitola srovnává nároky na konstrukci motocyklu při použití elektromotoru oproti použití spalovacího motoru. Ty nejsou nijak zvlášť velké. Je to díky tomu, že

elektromotory jsou menší než spalovací motory a takto vzniklé místo v rámu motocyklu se využije na umístění baterií.

Vývoj elektromotocyklů jde velice rychle dopředu. Už dnes lze vybírat z velkého množství nabízených modelů. Důvodem, proč v dnešní době nejsou elektromotocykly na silnicích moc obvyklé, je menší dojezdová vzdálenost, řídká síť dobíjecích stanic a jejich cena. Ovšem při neustálém zlepšování baterií lze očekávat, že dojezdová vzdálenost se bude prodlužovat a tím bude vzrůstat i počet elektromotocyklů na silnicích.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TRAGATSCH, E.: The Illustrated Encyclopedia of Motorcycles., 1985, ISBN 0890098689.
- [2] ELECTRICBIKE.CZ [online] [citace: 15. 11. 2016]. Dostupné z:
<https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s/>
- [3] POPULARMECHANICS.COM [online] [citace: 24. 11. 2016]. Dostupné z:
https://books.google.cz/books?id=P94DAAAAMBAJ&pg=PA560&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [4] GLOBALENERGYSYS.NET [online] [citace: 15. 1. 2017]. Dostupné z:
<https://www.globalenergysys.net/bios/KarlKordesSchPhD.pdf>
- [5] GIZMAG.COM [online] [citace: 5. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.gizmag.com/peugeots-incredibly-frugal-electric-e...scooter/13967/>
- [6] MOTORKARI.CZ [online] [citace: 6. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/gogoro-tesla-na-dvou-kolech-35393.html>
- [7] HYBRID.CZ [online] [citace: 6. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.hybrid.cz/testy/test-elektroskutru-akumoto-1070>
- [8] QUANTYA.COM [online] [citace: 10. 2. 2017]. Dostupné z:
http://www.quantya.com/2017/evo1_sm.html
- [9] MOTORKARI.CZ [online] [citace: 10. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.motorkari.cz/clanky/prvni-jizda/ktm/ktm-freeride-e-elektricka-budoucnost-29589.html>
- [10] MOTOHOUSE.CZ [online] [citace: 17. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://motohouse.cz/mission-r-prvni-elektricky-superbike-jde-do-prodej/>
- [11] ECOFUTURE.CZ [online] [citace: 17. 2. 2017]. Dostupné z:
<https://www.ecofuture.cz/clanek/ceske-elektromotorky-dobyvaji-svet-a-kupuje-je-i-kanye-west>
- [12] KUBERG.COM [online] [citace: 17. 2. 2017]. Dostupné z:
<http://www.kuberg.com/freerider>
- [13] HYBRID.CZ [online] [citace: 4. 3. 2017]. Dostupné z:
<http://www.hybrid.cz/novinky/ekologickeho-zavodu-ttxgp-se-ucastni-24-elektromotorek>
- [14] LINKEDIN.COM [online] [citace: 4. 3. 2017]. Dostupné z:

- https://www.linkedin.com/company/ttxgp-egrandprix?trk=company_logo
- [15] ELECTRIC-VEHICLENEWS.COM [online] [citace: 5. 3. 2017]. Dostupné z: <http://www.electric-vehiclenews.com/2009/06/team-agni-motors-wins-ttxgp.html>
- [16] WIRED.COM [online] [citace: 9. 3. 2017]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2010/01/isle-of-man-tt-zero/>
- [17] MOTORKARI.CZ [online] [citace: 9. 3. 2017]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motosport/silnicni/nw-200-tourist-trophy/tt-zavod-elektromotocyklu-vyhral-mcguinness-28534.html>
- [18] GREENCARREPORTS.COM [online] [citace: 27. 3. 2017]. Dostupné z: http://www.greencarreports.com/news/1104090_2016-isle-of-man-tt-zero-race-electric-motorcycles-pushing-the-boundaries
- [19] MUGENEURO.COM [online] [citace: 27. 3. 2017]. Dostupné z: <http://mugeneuro.com/uncategorized/shinden-go-unveiled-2016-tt-zero/>
- [20] SILNICNIMOTORKY.CZ [online] [citace: 8. 4. 2017]. Dostupné z: <https://silnicnimotorky.cz/sport/motogp/dorna-chysta-miniserial-zavodu-elektrickych-motorek/>
- [21] PPIHC.COM [online] [citace: 12. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.ppihc.com/history/>
- [22] PPIHC.COM [online] [citace: 12. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.ppihc.com/2016-race-divisions-and-classes/>
- [23] PPIHC.COM [online] [citace: 12. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.ppihc.com/wp-content/uploads/Race-Records.pdf>
- [24] LIGHTNINGMOTORCYCLE.COM [online] [citace: 15. 4. 2017]. Dostupné z: <http://lightningmotorcycle.com/product/specifications/>
- [25] ZEROMOTORCYCLES.COM [online] [citace: 20. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.zeromotorcycles.com/zero-fx/specs.php>
- [26] MOTORKARI.CZ [online] [citace: 21. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/victory/victory-ma-nabito-na-tt-isle-of-man-i-na-pikes-peak-34180.html>
- [27] PROMO.PARKER.COM [online] [citace: 21. 4. 2017]. Dostupné z: <http://promo.parker.com/promotionsite/hybrid-electric-vehicle/us/en/products/PMAC-Motors-and-Generators>
- [28] CONTROLENGESKO.COM [online] [citace: 26. 4. 2017]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artykuly/artykul/article/motory-ipm->

- [pro-nejvyssi-energetickou-ucinnost/](#)
- [29] ZEROMOTORCYCLES.COM [online] [citace: 28. 4. 2017]. Dostupné z:
<http://www.zeromotorcycles.com/technology/>
- [30] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 28. 4. 2017]. Dostupné z:
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44507.pdf>
- [31] AUTOMATIZACE.HW.CZ [online] [citace: 28. 4. 2017]. Dostupné z:
<http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizeni-zakladni-prehled.html>
- [32] PETROV, Georgij N. Elektrické stroje 2: asynchronní stroje - synchronní stroje. Vyd. 1. Praha: Academia, 1982. 728 s.
- [33] SOKOL, M.: Návrh synchronního stroje s permanentními magnety. Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2012
- [34] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 1. 5. 2017]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2012/13/Elektro_13_2012_output/web/Elektro_13_2012_opf_files/WebSearch/page0003.html
- [35] 3POL.CZ [online] [citace: 1. 5. 2017]. Dostupné z:
<http://www.3pol.cz/cz/rubriky/practicke-informace/1677-li-ion-baterie>
- [36] BATTERYUNIVERSITY.COM [online] [citace: 8. 5. 2017]. Dostupné z:
http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery
- [37] CNEWS.CZ [online] [citace: 8. 5. 2017]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- [38] MPOWERUK.COM [online] [citace: 12. 5. 2017]. Dostupné z:
<http://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm>
- [39] VELOFIALA.CZ [online] [citace: 12. 5. 2017]. Dostupné z:
<https://www.velofiala.cz/n/rozdeleni-baterii-podle-elektrochemickeho-principu>
- [40] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 13. 5. 2017]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2013/06/Elektro_06_2013_output/web/Elektro_06_2013_opf_files/WebSearch/page0008.html
- [41] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 20. 5. 2017]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Specialy/04/Special_04_output/web/Special_04_opf_files/WebSearch/page0024.html
- [42] ČERNOŠEK, M.: Elektrický pohon motocyklu. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, 2013