

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Studijní obor: TZSI

Bakalářské studium prezenční

Vypracoval: Jaroslav Nebřenský

Hybridní pohon pro motocykl

(anglicky)

Motorcycle hybrid drive

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Praha2018

Vedoucí závěrečné práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí práce, paní docentce Achtenové a konzultantu, panu inženýru Fabianovi, za poskytnutí mnoho užitečných rad a za směřování mne správným směrem k napsání bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji,

že jsem tuto závěrečnou práci vypracoval zcela samostatně a veškerou použitou literaturu a další podkladové materiály, které jsem použil, uvádím v seznamu literatury a že svázaná a elektronická podoba práce je shodná. Současně prohlašuji, že souhlasím se zveřejněním této práce podle § 47b zákona č.111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Datum a podpis: _____

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje tématu hybridních motocyklů, tedy ne příliš probádanému odvětví. Jsou zde popsány obecné uspořádání hybridů a jejich známé koncepty u motocyklů. Dále se práce zaměřuje na jednotlivé prvky, které jsou nutné použít jako např.: elektromotory, akumulátory el. energie a potřebné příslušenství (BMS, měniče). Cíl práce pak sestává z výběru motorčky a návrhu hybridního uspořádání z předem nabytých znalostí.

Klíčová slova: hybridní motocykl, elektromotor, akumulátor, BMS

Abstract

This bachelor's thesis deals with the topic of hybrid motorcycle, not so much examined branch. There are described general hybrid settings and their known concepts of hybrid motorcycles. Furthermore, the work focuses on particular elements that have to be used, for example: electric motors, accumulators of electricity and necessary accessories (BMS, inverters). The aim of the work consists of the choice of the motorcycle and the design of the hybrid motorcycle setting from the acquired knowledge.

Keywords: hybrid motorcycle, electric motor, battery, BMS

Obsah

PODĚKOVÁNÍ	2
PROHLÁŠENÍ	3
ABSTRAKT	4
ABSTRACT	4
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 POPIS A KONSTRUKCE MOTOCYKLU- BMW R1200 GS	9
2 HYBRIDNÍ POHON	11
2.1 HYBRIDNÍ USPOŘÁDÁNÍ POHONŮ	11
2.1.1 <i>Sériové uspořádání</i>	11
2.1.2 <i>Paralelní uspořádání</i>	12
2.1.3 <i>Kombinované uspořádání</i>	13
2.2 DĚLENÍ HYBRIDNÍCH VOZIDEL PODLE STUPNĚ „HYBRIDIZACE“	13
2.2.1 <i>Full hybrid</i>	13
2.2.2 <i>Powerassist hybrid</i>	14
2.2.3 <i>Mild hybrid</i>	14
2.3 KONCEPTY HYBRIDNÍCH MOTOCYKLŮ	14
2.3.1 <i>Motocykl Schneider electrics</i>	14
2.3.2 <i>Vojenský motocykl- Sillenthawk</i>	15
3 ELEKTRICKÉ MOTORY	16
3.1 ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTOR	16
3.1.1 <i>Rozdělení a konstrukce</i>	16
3.1.2 <i>Princip</i>	17
3.1.3 <i>Pracovní stavy asynchronního motoru</i>	18
3.2 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S CIZÍM BUZENÍM	19
3.2.1 <i>Konstrukce</i>	19
3.2.2 <i>Princip fungování</i>	19
3.2.3 <i>Řízení otáček</i>	20
3.3 BEZKARTÁČOVÝ STEJNOSMĚRNÝ MOTOR	20
3.3.1 <i>Princip a konstrukce</i>	21
3.4 SYNCHRONNÍ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY.....	21
4 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE	23

4.1	AKUMULÁTORY	23
4.1.1	<i>Li-Ion</i>	23
4.1.2	<i>Li-Pol</i>	24
4.1.3	<i>LiFePO4</i>	24
4.2	SUPERKONDENZÁTOR	25
5	PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	27
5.1	BMS.....	27
5.2	MĚNIČ NAPĚTÍ	27
6	VLASTNÍ NÁVRH ZÁSTAVBY HYBRIDNÍHO POHONU.....	28
6.1	PRVKY BMW, KTERÉ BUDOU NAHRAZENY	28
6.2	NÁVRH NOVÝCH PRVKŮ	29
6.2.1	<i>Elektromotor</i>	29
6.2.2	<i>Baterie</i>	32
6.2.3	<i>BMS a napěťové měniče</i>	34
6.3	VÝSLEDNÉ UMÍSTĚNÍ KOMPONENT.....	34
	ZÁVĚR	36
	LITERATURA	37
	SEZNAM OBRÁZKŮ	39
	SEZNAM TABULEK.....	39

Úvod

Se zvyšujícími tlaky na ekonomičnost a ekologičnost v silniční dopravě dochází mnoho let ke zvyšování účinnosti pohonů. Spalovací motor byl dlouhá léta výsadním hybatelem vozidel. Už však téměř dosáhl svých limitů a nedá se předpokládat, že dojde v budoucnu k výraznému zlepšení. Účinnost spalovacích motorů se pohybuje v ideálních podmínkách mezi 30-40%, v běžném provozu jich dosahováno není. Když se k tomu ještě přidá malý poskytovaný moment v nízkých otáčkách, dostáváme hlavní motivaci pro vývoj hybridních pohonů (tj. použití více zdrojů energie). S hybridními pohony se nejčastěji setkáváme u automobilů, autobusů, můžeme je však najít u zemědělských a průmyslových strojů a vozidel. Co se týče hybridních motocyklů, o kterých pojednává tato práce, nebyl dosud žádný uveden do sériové výroby a jsou tedy známy pouze koncepty a vědecké práce.

V této bakalářské práci se nejprve zaměřím na vybraný motocykl BMW R1200 GS, kterému budu v závěru navrhovat hybridní uspořádání. Dále pokročím ke kategorizaci hybridů a uvedu některé známé koncepty. Protože budu navrhovat hybrid typu spalovací motor-elektromotor, věnuji část práce elektromotorům. Zde se zaměřím na principy fungování, dále na výhody a nevýhody. Elektrický motor by měl mít ideálně tyto vlastnosti: být bezúdržbový, mít vysokou účinnost, výhodné momentové charakteristiky a pracovat v požadovaném rozsahu otáček. Ruku v ruce s elektromotorem jde i jeho zdroj, tedy akumulátor elektrické energie. Hlavními požadavky na tyto „zásobníky“ jsou: dostatečná velikost uložené energie, možnost dodávat do motoru požadovaný elektrický výkon, dlouhá životnost a co nejnižší hmotnost a objem baterií. V dnešní době jsou nejpoužívanější baterie na bázi lithia, s tím souvisí nutnost použití tzv. BMS (battery management system), který hlídá elektrické parametry bateriového svazku. BMS se však používá i u ostatních baterií z důvodu zvýšení životnosti. Jako poslední je uveden měnič napětí a proudu.

Po vypracování rešerše hybridních uspořádání a jejich jednotlivých prvků, následuje návrh hybridního pohonu pro vybraný motocykl.

1 Popis a konstrukce motocyklu- BMW R1200 GS

BMW R1200 GS (vzhled na obrázku 1) je cestovní enduro, které je schopno provozu na zpevněných komunikacích, ale i v terénu. Pohání ho vzduchem chlazený čtyřtákní dvouválcový boxer (označení motoru s horizontálně protiběžnými písty, mezi nimiž je umístěna kliková hřídel) o zdvihovém objemu 1170 cm³. Výsledný výkon a moment motoru je na kola přenášěn pomocí mokré osmikotoučové spojky a šestistupňové převodovky se šikmým ozubením. Maximální dosahované parametry viz Tabulka 1.

Max. výkon (při 7750 ot/min)	92 kW
Max. točivý moment (při 6500 ot/min)	125 Nm
Max. rychlost	200 km/h

Tabulka 1-Maximální parametry[1]

Mezi další základní parametry motocyklu patří spotřeba a typ paliva, objem nádrže, délkové rozměry, hmotnost prázdného motocyklu s plnou nádrží a maximální přípustná hmotnost, vybavení brzdami, rozměry kol a vybavení alternátorem a baterie. Všechny tyto parametry jsou uvedeny v Tabulce 2. Ostatní vlastnosti a příslušenství nebude uvedeno.

Typ paliva:	Bezolovnatý 95oktanový benzin Natural95
Spotřeba paliva na 100 km:	4,96 l
Objem nádrže (včetně rezervy 4l):	20 l
Celková délka:	2207 mm
Výška/šířka:	1412 mm/952,5 mm
Hmotnost prázdného motocyklu (plně natankovaného):	244 kg
Max. přípustná hmotnost:	460 kg
Brzdy:	Dvoukotoučová přední brzda/

	jednokotoučová zadní brzda
Přední kolo:	Hliníkový odlitek, pneumatika 120/70 R19
Zadní kolo:	Hliníkový odlitek, pneumatika 170/60 R17

Tabulka 2-Obecné parametry motocyklu[1]

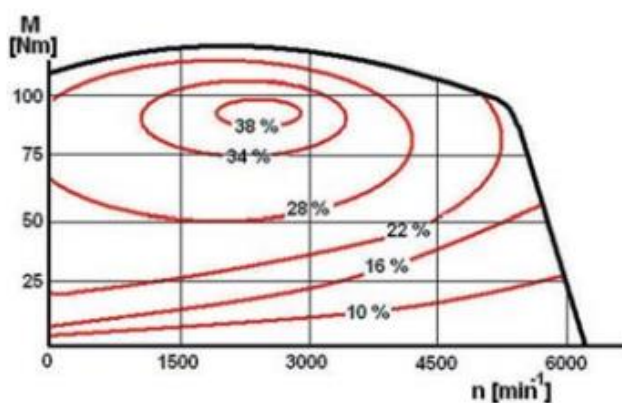


Obrázek 1-BMW R1200 GS

2 Hybridní pohon

Hybridní pohony se skládají alespoň ze dvou různých zdrojů energie. U vozidel má výhradní pozici spalovací motor, ke kterému se přidává další zdroj energie. Může to být kombinace spalovací motor-elektromotor a akumulátor (nejčastěji používaná), dále spalovací motor- setrvačnick, palivový článek-elektromotor a spalovací motor.

Hlavní motivací pro vývoj hybridního pohonu je zlepšení účinnosti vozidla se spalovacím motorem, bývá kolem 30-40%, a z toho plynoucí ekologičností provozu. Tato účinnost však závisí na režimu jízdy a je nejvyšší pouze za optimálních podmínek. V běžném provozu těchto podmínek nedosahujeme, např. při městském provozu je účinnost hluboko pod 10%. Pole těchto účinností závislých na otáčkách a zátěži jsou ukázány na obr. 2. [2]



Obrázek 2-Pole účinností[2]

2.1 Hybridní uspořádání pohonů

Základní dělení hybridů, podle konstrukčního řešení pohonů.

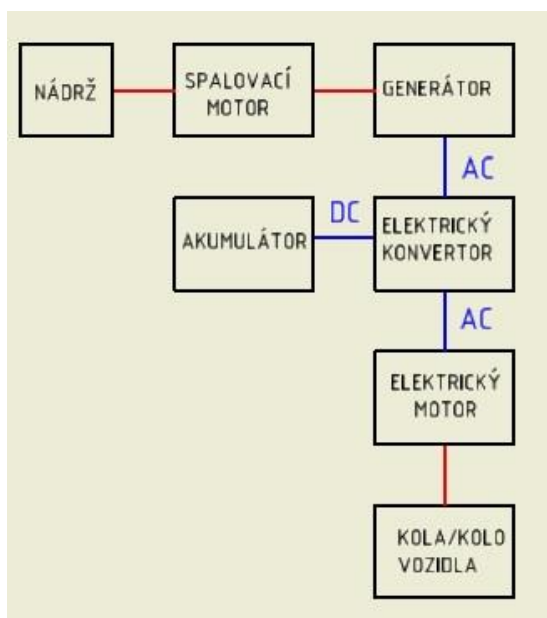
2.1.1 Sériové uspořádání

Při tomto uspořádání je hlavní hnací jednotkou elektromotor. Zdroji elektrické energie jsou zde akumulátor a spalovací motor. Co se týče uspořádání, spalovací motor je mechanicky spojen s generátorem, který vyrobenou energii buď může dodávat přímo trakčním elektromotorům, nebo dobíjet baterie. Na obrázku 3 je vidět schéma pohonu, kde je zřejmé, že neexistuje mechanická vazba mezi spalovacím motorem a hnanými koly.

Spalovací motor pracuje v optimálních otáčkách, kde dosahuje nejvyšší účinnosti, tudíž i hospodárnosti provozu. Při jízdě může být vypnut, jeho zapnutí poté nastává, pokud baterie nedokáže pokrýt potřebný výkon nebo pokud je nízká úroveň nabití akumulátorů.

Hlavními výhodami tedy je dosažení nejvyšší možné účinnosti spalovacího motoru, s tím spojené odpadnutí neekonomických režimů jako jsou: volnoběh, jízda v nízkých otáčkách atd.

Mezi nevýhody pak můžeme řadit vícenásobnou přeměnu energie, kdy se kinetická energie spalovacího motoru transformuje v elektrickou energii v generátoru a v zápětí je zpětně přeměněna v kinetickou energii vozidla. [2]



Obrázek 3-Sériové uspořádání

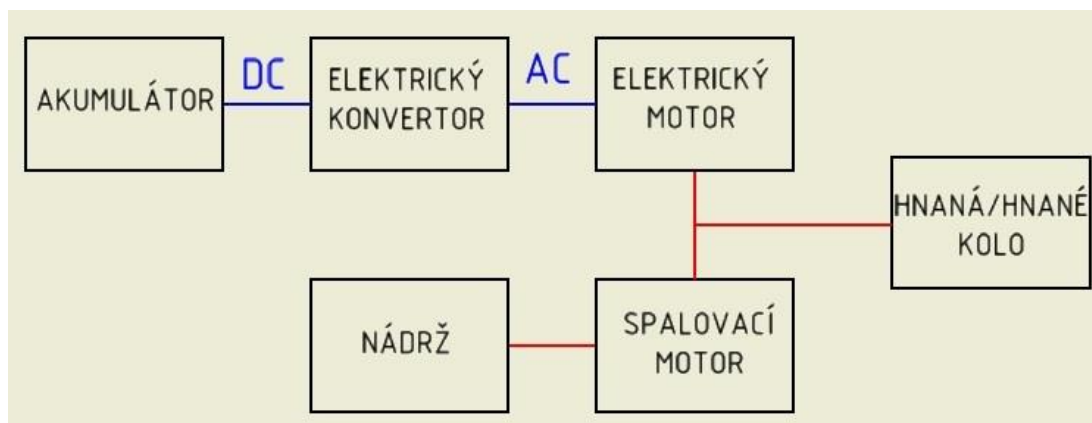
2.1.2 Paralelní uspořádání

Nejvíce používaný koncept hybridu. Rozdílem oproti sériovému typu je, že spalovací motor dokáže sám pohánět motocykl. Spalovací motor a elektromotor jsou přímo spojeny s hnanými koly pomocí převodovky. U motocyklů se setkáváme i s elektromotory v nábojích kol, dále je možné umístění mezi spalovací motor a převodovku, nebo spojení přes redukční převod.

Paralelní konfigurace s různými jízdními podmínkami umožňuje pohon ve vícero režimech. V závislosti na síle elektromotoru, může být vozidlo poháněno samotným

elektromotorem, kombinací elektromotor-spalovací agregát. Dalšími jízdními cykly jsou dobíjení akumulátorů a rekuperace brzděné energie.

Mezi výhody patří dobrá účinnost při vyšších rychlostech a dlouhých vzdálenostech. Oproti tomu, musí spalovací motor pracovat v běžném rozsahu otáček, kdy není účinnost optimální. [2]



Obrázek 4-Paralelní uspořádání

2.1.3 Kombinované uspořádání

Vznikne spojení sériového a paralelního hybridu, čímž dochází k využití výhod obou konfigurací. Je zde zapotřebí dělič výkonu, který řídí přenos výkonu ze spalovacího motoru na hnaná kola, nebo do akumulátorů. Může jím být elektrický stroj, nebo planetová převodovka. Rozdělení výkonu závisí na jízdním režimu, jako např. akcelerace, jízda nízkou respektive vysokou rychlostí, rekuperační brzdění atd. [2]

2.2 Dělení hybridních vozidel podle stupně „hybridizace“

2.2.1 Full hybrid

Hybridní vozidlo je schopno jet pouze na elektrický pohon, případně v kombinaci se spalovacím motorem, proto je vybaven i děličem výkonu. Spalovací agregát zde nemá výsadní roli, tudíž velikost i výkonnostní parametry mohou být menší.

Dalším zdokonalením tohoto hybridu je tzv. PHEV (Plug-in hybrid electric vehicle). Důležitým prvkem jsou baterie (je možné dobít přímo ze sítě), hlavním údajem je pak dojezd vozidla bez použití spalovacího motoru. [2]

2.2.2 Powerassist hybrid

Výhradním nositelem výkonu je zde spalovací motor. V případě potřeby se přidává i elektromotor, výsledný moment je součtem okamžitých hodnot momentů jednotlivých jednotek. Dobíjení baterie zde neprobíhá ze sítě, ale je prováděno při jízdě z kopce a rekuperačním brzdění. Pohon výhradně elektromotorem není proveditelný z důvodu malého výkonu. [2]

2.2.3 Mild hybrid

Generátor ve vozu přebírá funkci startéru a alternátoru. Využívá se tzv. Stop-start systém. Pokud vozidlo zastaví na křižovatce je spalovací motor vypnut (ostatní spotřebiče zůstávají v chodu), po sundání nohy z brzdového pedálu, je spalovací motor opět nastartován. [2]

2.3 Koncepty hybridních motocyklů

Kvůli úskalím aplikace hybridního pohonu pro motocykl, nedošlo k jejich sériové výrobě. Mezi hlavní problémy patří vysoká hmotnost a objem akumulátorů, potřebný pro uskladnění energie a dodávku výkonu. Jsou známy pouze prototypy s různým uspořádáním hybridního pohonu, níže budou uvedeny tyto koncepty.

2.3.1 Motocykl Schneider electrics

Koncept vytvořený firmou Schneider electrics je motocykl (obr.5) s dvouválcovým motorem do V o objemu 1,8 L a dvěma elektrickými motory o výkonu jednoho motoru 10 kW. Má možnost pracovat jako sériový i paralelní hybrid. Lze také zařadit do skupiny PHEV. Rychlost je snížena na 185 km/h, bez omezení by byl schopen dosáhnout 240 km/h. Dojezd na jednu nádrž je 644 km.

V čistě elektrickém módu je schopen ujet 64 km. V druhém módu spalovací motor pracuje v optimálních otáčkách, tím pohání jeden motor pracující jako generátor. Druhý motor pracuje v motorickém režimu. Můžeme to tedy označit jako sériový hybrid a motorka při něm dosahuje spotřeby 3,1 l/km. V posledním možném módu pohání motocykl spalovací motor a oba elektromotory zároveň, výkon je pak 146 kW. [3], [4]



Obrázek 5-Koncept Schneider electric

2.3.2 Vojenský motocykl- Sillenthawk

Motocykl vyvíjený pro armádní účely, jehož důležitým úkolem je pohon v tichém režimu. V něm je v závislosti na terénu schopný operovat až dvě hodiny, při dosažení 55 dB. Pohon zajišťuje spalovací motor (o špičkovém výkonu 30kW a maximálním momentem 165 Nm) a elektrické motory. Jeden elektromotor je umístěn přímo v náboji předního kola a druhý pohání zadní kolo pomocí řetězu, viz obrázek 6. Právě řetěz je největším zdrojem hluku. Palivo pro spalovací motor je velmi univerzální, lze použít benzín, naftu i letecké palivo. Maximální dojezd je 270 km a nejvyšší udávaná rychlost 128 km/h. Hmotnost samotného motocyklu je 158 kg.

Motorka je schopna pohonu v režimech, kdy spalovací motor běží a dobíjí baterie a pak právě v tichém režimu. [5], [6]



Obrázek 6-Sillenthawk

3 Elektrické motory

Jedná se o točivé elektrické stroje, které přeměňují elektrickou energii na mechanickou, nebo naopak-takto pracující elektromotor se označuje jako generátor případně alternátor.

Jsou tvořeny nepohyblivou částí-státorem a pohyblivou částí- rotorem, který koná relativní pohyb díky elektromagnetické indukci.

Hlavním parametrem elektromotorů je velikost jmenovitého momentu (schopný trvale vyvinout), dále pak hodnota špičkového momentu (díky vznikajícímu teplu možnost pracovat jen v řádu sekund) a v neposlední řadě i jeho výkon. Elektromotory by měli být schopny pracovat v širokém pásmu otáček, mít vysokou účinnost, spolehlivost a co nejnižší náklady na údržbu.

3.1 Asynchronní elektromotor

Je střídavý elektrický stroj, u něhož poměr otáček při zatížení a kmitočtu napájecí soustavy, ke které je připojen, není konstantní.

Vyniká ve své jednoduchosti, lacinosti, spolehlivosti a vyžaduje malou údržbu. Protože akumulátory poskytují stejnosměrný proud, je nutné ho transformovat v elektrických konvertorech na proud střídavý.

Pro plynulou změnu otáček motoru k pohonu vozidla se využívají měniče kmitočtu. Ty mění frekvenci statorového napětí tak, aby se dosáhlo požadovaných otáček motoru. [7], [8]

3.1.1 Rozdělení a konstrukce

Základními částmi asynchronního elektromotoru jsou stator a rotor. Stator je nepohyblivá část motoru složená z vinutí, která jsou uložena v drážkách. Fáze těchto vinutí jsou připojena ke zdroji elektrického napětí. Díky svorkovnici do které jsou začátky a konce fází přivedeny lze vinutí zapojit do hvězdy nebo do trojúhelníku.

Druhý stejně významný prvek je rotor, jenž je uzpůsoben k otáčení, díky kterému koná práci. Jako i stator má rotor své vinutí. Podle uspořádání tohoto vinutí

rozeznáváme motory s kotvou nakrátko a s kotvou kroužkovou. Motory s kotvou nakrátko jsou konstruovány z tyčí (uložených v drážkách) a na obou koncích spojených nakrátko. Naopak motory s kotvou kroužkovou mají podobně jako stator své vinutí (také uloženo v drážkách), jehož vývody jsou připevněny ke kroužkům na hřídeli. [7], [8]



Obrázek 7-Řez asynchronního motoru s kotvou nakrátko

3.1.2 Princip

Princip asynchronního stroje spočívá vzájemné interakci točivého magnetického pole statorového vinutí a proudů indukovaných tímto polem v rotoru. Rotor není nijak spojen se státorem (elektricky ani mechanicky) a přenos výkonu se děje díky elektromagnetické indukci. Mezi státorem a rotorem se vyskytuje určitá vůle, která se nazývá vzduchová mezera. Tato mezera by měla být co nejmenší, aby byla zajištěna dobrá magnetická vazba.

Jak již bylo řečeno, točivé magnetické pole statoru indukuje v rotoru proud a tím vzniká elektromotorická síla. Aby však bylo toto zajištěno, musí docházet mezi otáčkami magnetického pole a otáčkami rotoru k relativnímu pohybu. Z toho plyne, že otáčky zatíženého motoru jsou vždy nižší než otáčky magnetického pole. [7], [8]

Pokles otáček při zatížení je malý a je závislý na velikosti zatížení. Nejčastěji se udává jako skluz s , přičemž platí:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{\omega_1/p - \Omega}{\omega_1/p}$$

Kde: $n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$ jsou synchronní otáčky točivého magnetického pole statoru [min^{-1}]

n, Ω jsou otáčky a mechanická úhlová rychlost rotoru

p počet polpárů stroje

f statorová frekvence

ω_1 úhlová rychlost magnetického pole statoru

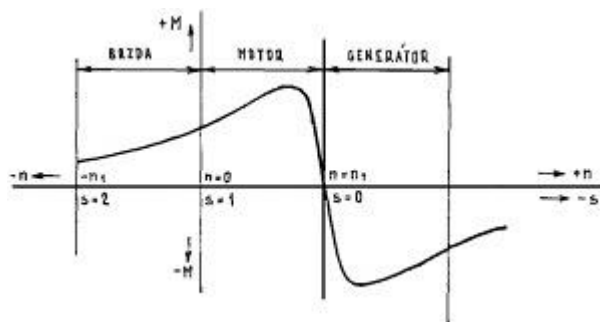
Moment motoru M pro jmenovitý výkon P_N a otáčky n se určí ze vztahu:

$$M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2\pi \cdot n}{60}} = 9,55 \cdot \frac{P_N}{n} \quad (N \cdot m, W, \text{min}^{-1}) \quad [7]$$

3.1.3 Pracovní stavy asynchronního motoru

Pro pochopení terminologie a fungování asynchronního elektromotoru je nutné znát stavy, které mohou nastat. Rozeznáváme dvě krajní pozice. Pokud je motor zatížen momentem a napájen proudem ze zdroje, přičemž se rotor neotáčí, nazýváme tento stav nakrátko. Pokud je motor napájen ze zdroje a není odebírán žádný vnější moment, má rotor otáčky blízké synchronním a výkon je použit ke kompenzaci vnitřních ztrát v motoru, nazývá se tento stav naprázdno.

Pohybuje-li se motor mezi výše zmíněnými stavy, pracuje v motorické fázi. Zvyšujeme-li moment působící z vnějšku na rotor, urychlí se otáčky nad synchronní a pracuje pak jako generátor (také nazýván nadsynchronní brzda). Ve statoru se indukují činná složka, jež je dodávána zpět do zdroje. V praxi připadá v úvahu poslední případ, kdy mají točivé pole a otáčení rotoru opačný směr. Moment motoru působí proti směru otáčení, tím dochází k tzv. protisměrnému brzdění. Do sítě, na rozdíl od nadsynchronního brzdění, není vracena energie, naopak je všechna transformována v Joulovo teplo. [7], [8]



Obrázek 8-Stavy asynchronního motoru

3.2 Stejnoseměrný motor s cizím buzením

Stejnoseměrný stroj, který může pracovat jako motor, nebo jako generátor (též označovaný dynamo). Vykazuje dobré tahové charakteristiky, jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu. Mezi další výhody patří silná přetížitelnost, krátkodobě se pohybuje u 100% a po dobu jedné hodiny na 20%. Naopak komutátor a kartáče jsou náchylné k poruchám, musí být udržovány. Účinnost, hustota výkonu je menší než u střídavých strojů. Hlavními částmi jsou opět stator a rotor. [2]

3.2.1 Konstrukce

Statorem je budicí obvod s hlavními póly, mohou být buzené stejnosměrným proudem či permanentním magnetem. Polarita těchto pólů se po obvodu střídá a vzdálenost sousedních pólů se označuje jako pólová rozteč. K hlavním pólům bývají přidávány i póly pomocné (komutační).

Rotor se vyrábí ze vzájemně odizolovaných plechů, které jsou pevně připojeny na hřídel. Vinutí rotoru, tvoří jej cívky, je pak uloženo v drážkách a jednotlivé vývody cívek jsou připojeny na komutátor (válec složený z klínovitých, navzájem odizolovaných měděných lamel). Přívod elektrického proudu je pak zajištěno pomocí komutátoru a na něj dosedajících kartáčů. [7]

3.2.2 Princip fungování

Ve statoru je díky budicímu vinutí vybuzen magnetický tok. Dále jak už bylo zmíněno je do kotvy přiveden přes kartáče a komutátor proud, který se s otáčením periodicky mění. Vzájemnou interakcí elektromagnetických sil poté dochází k otáčení rotoru. Jsou-li kotva a budicí vinutí zapojeny sériově nebo paralelně, rozeznáváme sériový respektive paralelní elektromotor. Momentové charakteristiky jsou znázorněny na obrázku 7.

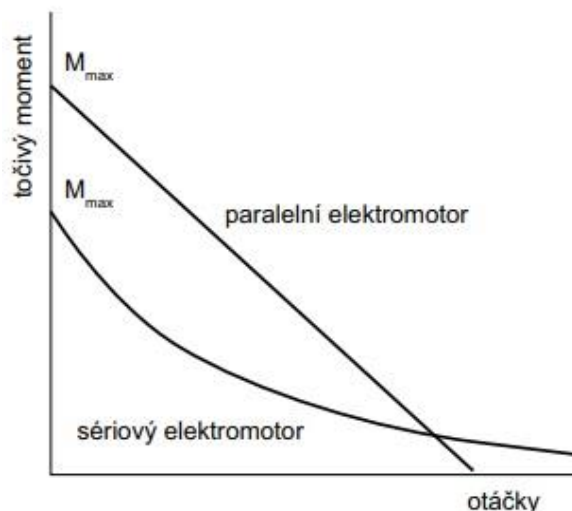
Jak již bylo zmíněno, může stejnosměrný stroj pracovat jako motor, nebo jako generátor. Pokud bude svorkové napětí dynamu vyšší než napětí baterie, mechanická energie se mění na elektrickou a proud teče z dynamu do baterie. Bude-li rozdíl napětí dynamu a akumulátoru opačný, přejde dynamo do motorického stavu, energie bude tedy spotřebovávána. [7]

Sériový elektromotor

Má dobrý počáteční točivý moment, se stoupajícími otáčkami však rychle klesá. Díky vysokému točivému momentu se používá k trakci větších vozidel (vlaky, metro a tramvaje) [2]

Paralelní elektromotor

Točivý moment klesá lineárně s otáčkami, z tohoto důvodu se používá u většiny elektrovozidel. [2]



Obrázek 9-Točivé momenty[2]

Kompaundní elektromotor

Jeho zapojení je sériovo-paralelní, tudíž kombinuje výhody obou výše zmíněných elektromotorů. [2]

3.2.3 Řízení otáček

K regulaci otáček se používají polovodičové-tranzistorové, nebo tyristorové regulátory s pravoúhlým průběhem napětí. Proud napájecí motor je pomocí spínače spínán a vypínán při frekvenci několika kHz. Střední hodnota proudu, která udává okamžitý výkon motoru, je dána poměrem doby vypnutí a zapnutí proudu. [7]

3.3 Bezkartáčový stejnosměrný motor

Tzv. BLDC (Brushless DC) motor má oproti permanentně buzeným stejnosměrným motorům vyměněné pozice statoru a rotoru. Namísto permanentních magnetů ve statoru, se zde vyskytuje vinutí, kdy permanentní magnety jsou



v rotoru. Stavba je podobná synchronnímu motoru. **Obrázek 10-BLDC motor**

Elektronicky řízená komutace má za následek zvýšení životnosti a vyšší spolehlivost provozu. Vyšší efektivita a vyšší rychlost otáčení, nízká hmotnost vztažená k výkonu patří k dalším jeho kladům. Mezi hlavní nevýhody patří vyšší cena. [9], [10]

3.3.1 Princip a konstrukce

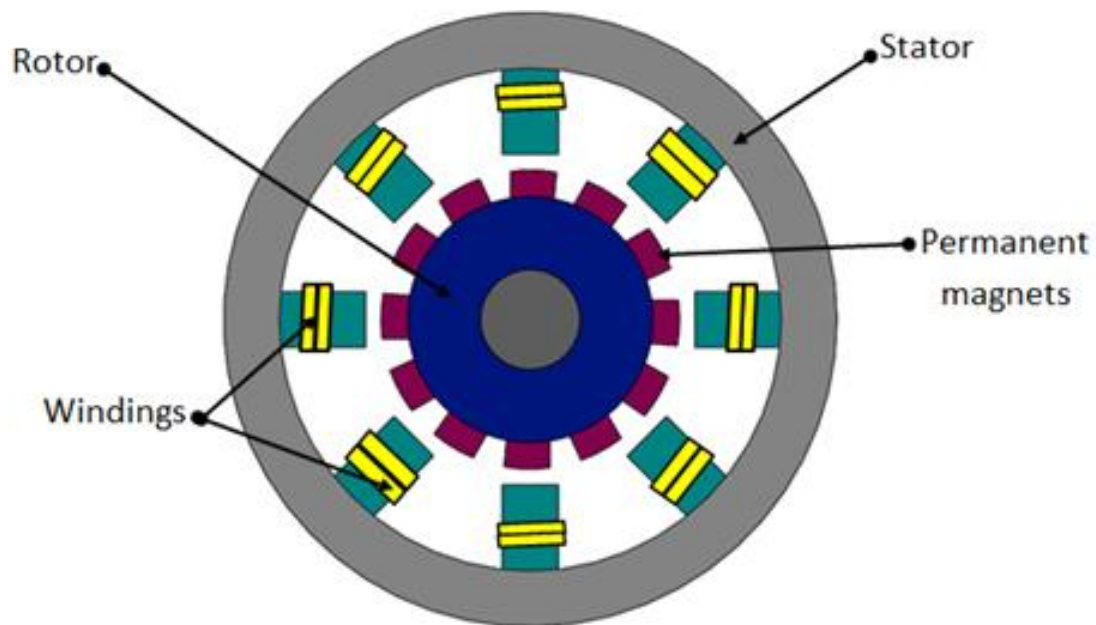
Stator je tvořen 3 budícími vinutími zapojenými do hvězdy. Stejnoseměrné napětí je pak s časovou proměnlivostí připojováno vždy na dvě ze tří vinutí. Tím vzniká točivé magnetické pole. Rotor se skládá z oddělených magnetů se střídající se polaritou, kdy vzájemnou interakcí elektromagnetického pole statoru a magnetického pole rotoru dochází k otáčení rotoru. Nejčastěji používanými jsou ferritové magnety, s použitím ušlechtilějších slitin (např. Neodymium) lze při zachování stejného momentu dosáhnout menších rozměrů.

Regulace otáček je snadná až do $n=0$. Provádí se regulací napájecího napětí pomocí PWM modulace. [9], [10]

3.4 Synchronní motor s permanentními magnety

Jinak označované PMSM, jsou motory, jejichž rotor je složen z permanentních magnetů a rotuje synchronní rychlostí buzeného magnetického pole. Stator se skládá z budících vinutí prakticky stejných jako u asynchronních motorů. Schematické uspořádání viz obrázek 11.

Vývoj a použití PMSM zaznamenali v posledních letech velký nárůst, díky aplikaci permanentních magnetů ze vzácných zemin. Dříve byly používány hlavně jako servopohony od desítek wattů do desítek kilowattů. Dnes je už škála použití velmi široká. Použití nacházejí v různých druzích strojů i jako trakční pohony pro kolejová i nekolejová vozidla. Hlavní výhodou je menší objem a hmotnost při zachování stejné výkonnosti v porovnání s asynchronním motorem. Dále pak má malý moment setrvačnosti, vysokou účinnost a velkou momentovou přetížitelnost. S použitím permanentních magnetů dostáváme i několik nevýhod, těmi jsou: vysoká cena, nemožnost stroj odbudít a složitější konstrukce a technologie výroby. [11]



Obrázek 11-Schéma PMSM

4 Zdroje elektrické energie

Uchování a využití energie je pro hybridní respektive elektrická vozidla klíčová oblast. energii lze uchovávat buď v bateriích ve formě elektrochemické energie nebo v superkondenzátorech v nezměněné elektrické formě.

Základními parametry elektrických zdrojů je výkonová hustota-dodávaný výkon vztažený na jednotku hmotnosti, a energetická hustota-obsah energie na jednotku hmotnosti. S tím souvisí použitelný výkon elektromotoru a dojezdová vzdálenost vozidla. [2]

Při výběru správného zdroje je nutné přihlídnout k následujícím požadavkům:

- rychlé nabíjení akumulátoru
- bezúdržbovost, životnost minimálně 5 let
- cena
- dosažení požadovaných parametrů: výkonová a energetická hustota
- dojezd

4.1 Akumulátory

4.1.1 Li-Ion

Lithium-iontový akumulátor je v dnešní době nejvyužívanější typ napříč širokým spektrem použití. Zdobí ho vysoká měrná kapacita, dosahující až 200 Wh/kg a 530 Wh/l. Dalšími výhodami jsou: relativní vysoká životnost až 2000 cyklů (u akumulátorů dána počtem cyklů, po kterých klesne kapacita pod 80%), velmi nízké samovybíjení <5% za měsíc, žádný paměťový efekt, odolnost vůči vibracím a v neposlední řadě šetrnost k životnímu prostředí, díky chybějícím těžkým kovům. Mezi nevýhody lze řadit nutnost hlídat napětí článků, které se musí pohybovat v intervalu od 2,5V do 4,2 V, v opačném případě dochází k degradaci článků. Dále mezi ně patří samovolné stárnutí, klesající účinnost za nízkých teplot a při nesprávném používání i nebezpečí výbuchu.

Skládá se z kladné a záporné elektrody, separátoru a elektrolytu. Kladnou elektrodu tvoří oxid kobaltolithný, zápornou elektrodu pak jemně mletý grafit, mezi nimiž se vyskytuje elektrolyt ve formě lithné soli rozpuštěné v organickém rozpouštědle a separátor (nevodivá, propustná hmota oddělující elektrody, umožňuje průchod iontů mezi elektrodami). Při vybíjení dochází k přechodu iontů lithia ze záporné elektrody na kladnou, čímž dochází k přenosu náboje. Pokud je baterie nabíjena, pohyb iontů má obrácený směr (nutnou podmínkou je připojení napětí vyššího, než je napětí akumulátoru). [12], [13], [14]

4.1.2 Li-Pol

Lithium polymerové baterie vycházejí z Li-Ion, vlastnosti mají tedy podobné. Při zachování stejné hmotnosti můžeme dosáhnout značné úspory hmotnosti. Na rozdíl od Li-Ion baterie, která má daný svůj pevný tvar, u Li-Pol je možné dosáhnout jakéhokoliv tvaru. Elektrolyt není rozpuštěný v organickém ředidle, je vázán do pevného polymerického kompozitu, ten není vodivý, ale umožňuje pohyb a výměnu iontů. Pro základní krytí článku se používá kovová fólie, což je hlavní příčina snížení hmotnosti. Měrná hustota energie je 100-265 Wh/kg a 250-730 Wh/l.

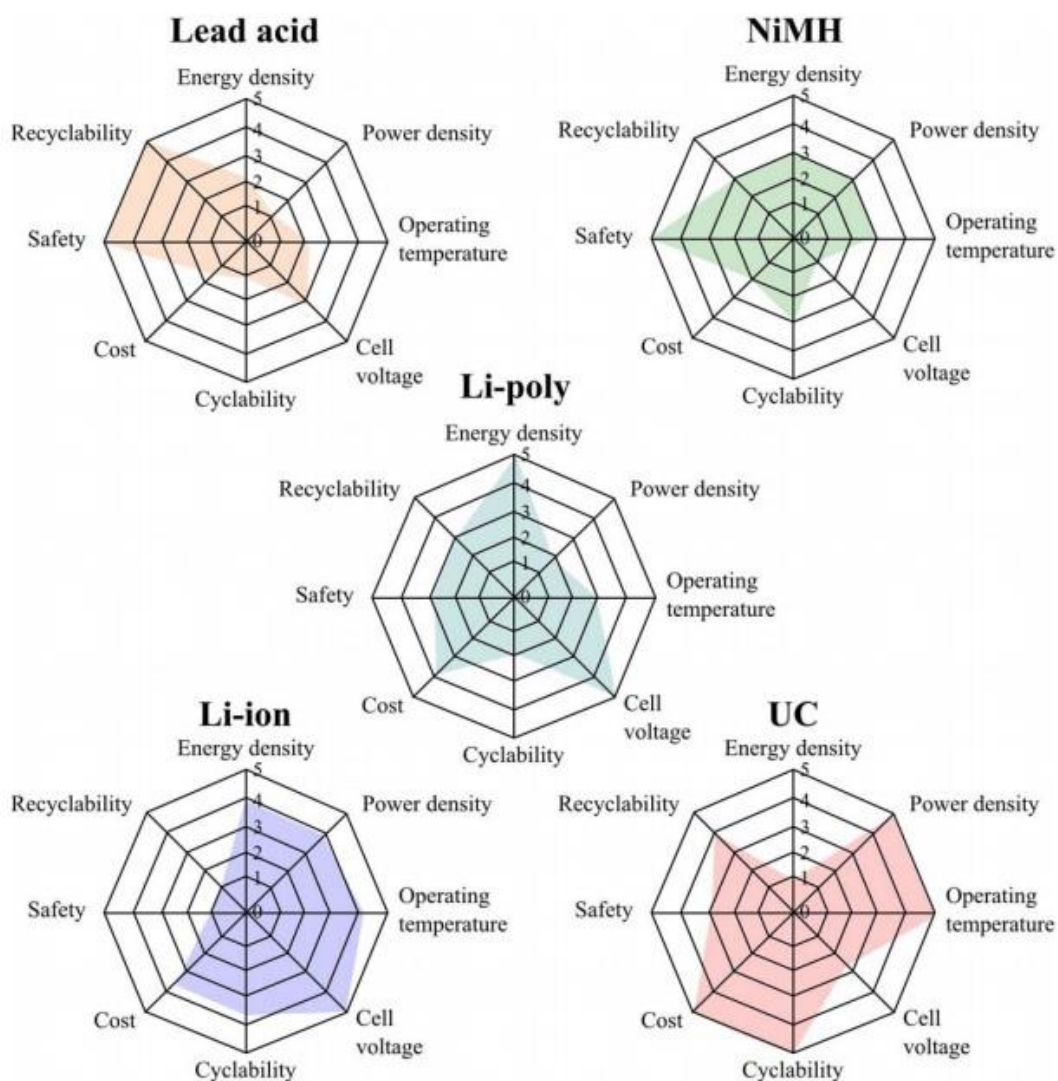
Je opět nutné hlídat interval nabití-vybití, tedy od 2,5-4,2V. Doporučená hodnota nejnižšího napětí je pak 3V, což vede k výraznému zvýšení počtu nabíjecích cyklů. Jmenovité napětí je 3,6V. Pokud jde o výhody a nevýhody jsou prakticky stejné, viz Li-Ion, s různými odlišnostmi, kdy např. Li-Pol při vysokém napětí markantně zvyšují svůj objem. [14]

4.1.3 LiFePO₄

LiFePO₄, neboli lithium železo fosfátové akumulátory je nejnovější druh lithium iontové baterie. Byl objeven v roce 1996 na Texaské univerzitě. Občas je přidáváno yttrium, poté jsou označovány jako LiFeYPO₄. Mají menší náklady na výrobu než ostatní výše zmíněné, to je zapříčiněno větší dostupností železa. Masovějšímu využití brání nízká vnitřní vodivost a vyšší hmotnost. Dá se předpokládat, že tyto dvě komplikace budou potlačeny.

Jak už bylo řečeno, hustota energie je nižší a to 90-110 Wh/kg a 220Wh/l. Samovybití je velmi nepatrné, paměťový efekt se znovu nevyskytuje. Dalšími vkladami jsou: vynikající tepelná stabilita, schopnost dodávat vysoký proud při

špičkových odběrech, pomalejší stárnutí, vyšší počet cyklů a díky použití železa, netoxické. Na obrázku 12 můžete vidět paprskový graf porovnávající jednotlivé typy baterií. [13], [14]



Obrázek 12-Porovnání různých typů baterií [17]

4.2 Superkondenzátor

Jedná se o vylepšení klasických kondenzátorů, kdy převyšují kapacitu klasických kondenzátorů až o několik stovek či tisíců faradů. Kapacita, stejně jako u kondenzátorů, je přímo úměrná ploše elektrod a nepřímo úměrná jejich vzdálenosti. Závisí také na vlastnostech použitého dielektrika. Materiálem elektrod je nejčastěji velmi porézní aktivní uhlík nanesený na hliníkové fólii. Ten má na rozdíl od

klasického kondenzátoru velkou plochu, řádově v tisících m^2/cm^3 . To má za následek mnohonásobně převyšující kapacitu. Princip uchování elektrické energie závisí na vytvoření tzv. elektrické dvojvrstvy. V nenabitém superkondenzátoru jsou ionty rozprostřeny náhodně v celém objemu elektrolytu. Po přiložení napětí na svorky začnou záporné částice směřovat ke kladné elektrodě a naopak kladné částice k záporné elektrodě. Z těchto faktů je jasné, že na rozdíl od baterií, je zde energie uchována v čistě elektrické formě bez jakýchkoliv přeměn. Díky tomu je životnost o několik řádů vyšší, kdy superkondenzátory, při dodržení podmínek od výrobce, spolehlivě dosahují životnosti >500 000 nabíjecích cyklů.

Mezi další vlastnosti patří: krátká nabíjecí i vybíjecí doba, vysoký měrný výkon, bezúdržbovost, možnost dodávání vysokých proudů, ale také velmi vysoká cena a malé množství uložitelné energie. Porovnání s bateriemi viz obrázek 12. [2]

5 Příslušenství

5.1 BMS

Neboli systém správy baterie (z anglického Battery management system) je elektronický systém sloužící pro kontrolu a regulaci bateriových článků. U akumulátorů na bázi lithia je prakticky nutnost použít BMS, z důvodu citlivosti na překročení elektrických parametrů. U technologií NiMH a NiCd nebo Pb ho lze také použít, kdy přispívá k výraznému prodloužení životnosti a zvýšení účinnosti.

Pro správnou funkci a dlouhou životnost je tedy nutné zajistit, aby na všech člancích bateriového svazku bylo stejné napětí, dále hlídat teplotu a proud procházející obvodem. Kvůli výrobním tolerancím a nepřesnostem, má každý článek jiné svorkové napětí. To se nejvíce projevuje při nabíjecím či vybíjecím cyklu. Systém BMS proto zajišťuje, aby se žádná z měřených hodnot nedostala mimo toleranční pole dané výrobcem, v opačném případě dochází k nevratnému poškození. V případě překročení limitních hodnot dochází k odpojení článků.

Mimo kontrolní funkce je nejdůležitější funkcí systému BMS tzv. balancování, tj. proces srovnávání a udržování maximálního napětí na každém článku v dobíjecím stavu. Při detekci maximálního napětí, musí dojít k jeho omezení, buď snížením dobíjecího proudu, nebo snížením napětí v desce BMS. [15]

5.2 Měnič napětí

Je zařízení sloužící k úpravě napětí a proudu ze zdroje, které přivádíme na elektromotor. Je potřeba klást důraz na výkonové parametry. Příkon spotřebičů, připojených na měnič, musí být menší než výkon samotného měniče. Měničů existuje velké množství druhů např.: Usměrňovače (převádí střídavé napětí na stejnosměrné), střídače (převádí stejnosměrné napětí na střídavé), měnič frekvence (mění kmitočet vstupního napětí), DC-DC měnič (mění velikost vstupního napětí). [16]

6 Vlastní návrh zástavby hybridního pohonu

Při tvorbě hybridního pohonu je nutné brát v potaz požadavky. Ze zadání práce vyplývají získané vlastnosti hybridu:

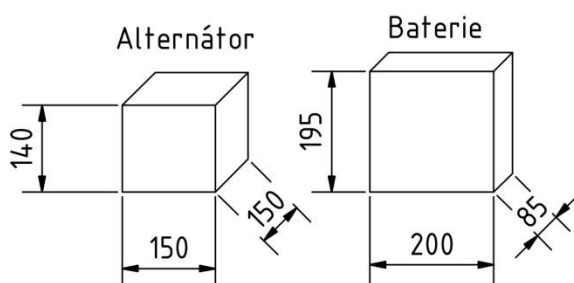
- pokrytí nedostatečného výkonu spalovacího motoru v nízkých otáčkách
- rekuperování energie při brzdění
- nahrazení funkce generátoru/alternátoru

Variant možné zástavby je větší množství (např. umístění elektromotoru v nábojích kol, umístění na hřídel mezi motor a převodovku atd...)

Pro vlastní návrh bylo zvoleno cestovní enduro BMW 1200 GS-vzduchem chlazené, vlastnosti motocyklu viz kapitola: Popis a konstrukce motocyklu- BMW R1200 GS. S ohledem na co nejmenší zásah do motocyklu jsem vybral variantu, kdy bude nahrazen alternátor elektromotorem. Stávající baterie bude nahrazena Li-Iontovou baterií a bude potřeba použít BMS. Pokud budou prostory pro baterii nevyhovující, je možné využít prostor pod sedlem motocyklu, kam by byl umístěn i BMS.

6.1 Prvky BMW, které budou nahrazeny

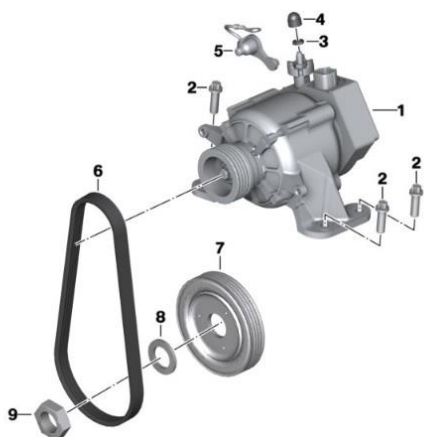
Jak již bylo řečeno, bude nahrazen alternátor a baterie. Prostory, které získáme pro další zástavbu, byly odečteny z poskytnutého modelu od firmy BMW a jsou ukázány na obrázku 13. Tyto prostory mají velmi složitý tvar, proto byly aproximovány kvádry, které by se do nich vešly.



Obrázek 13-Prostor po alternátoru a baterii

Alternátor

Třífázový alternátor o výkonu 510 W a hmotnosti 3,3 kg je na obrázku 14.



Obrázek 14-Alternátor

Stávající baterie

Je bezúdržbová Pb baterie 12V/11,8 Ah o hmotnosti 4,8 kilogramů.



Obrázek 15-Pb baterie

6.2 Návrh nových prvků

6.2.1 Elektromotor

Motivací pro přidání elektromotoru je zvýšit výkon hnacího ústrojí v nízkých otáčkách. Přenos momentu a výkonu z elektromotoru na spalovací agregát bude zajištěn pomocí řetězového převodu místo stávajícího řemenového. Převodový poměr volím $i=1$ proto, aby mohl elektromotor pracovat v požadovaných otáčkách mezi 1000-4000 ot/min, viz obrázek 18. Z tohoto obrázku je dále patrné, že výkon spalovacího motoru při 2000 ot/min se pohybuje přibližně kolem 20 kW a při 3000

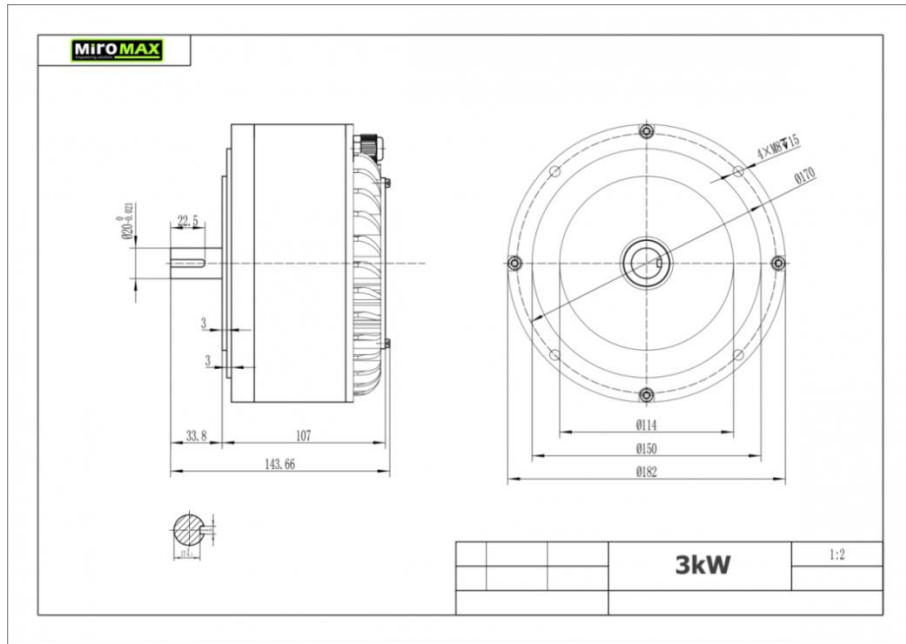
ot/min kolem 35 kW. Při výběru motoru jsem se zaměřil právě na oblast mezi 2000-3000 ot/min a vytyčil si cíl v tomto intervalu přidat motocyklu průměrně 15% výkonu.

Pro své výhody jsem zvolil třífázový BLDC motor s permanentními magnety od firmy Miromax. Charakteristické parametry jsou uvedeny v tabulce 3. Přestože jmenovitý výkon 3 kW nespĺňuje podmínku přidání alespoň 15%, lze ho ale chvilkově přetížit až na 6 kW, přičemž bych využíval špičkový výkon pouze 5kW. Motor je dodávaný ve dvou variantách, vzduchem chlazený a vodou chlazený. S přihlédnutím na fakt, že bude motor často přetěžován na zlomky sekund, volím vodou chlazený. Na obrázku 16 je náčrt motoru. Z parametrů motoru je zřejmé, že se do vytčeného prostoru nevpasuje, proto bude nutné upravit rozměry nádrže. Další nutnou součástí pro správný pohon (samotný motor ji neobsahuje) bude Hallova sonda, která snímá polohu rotoru.

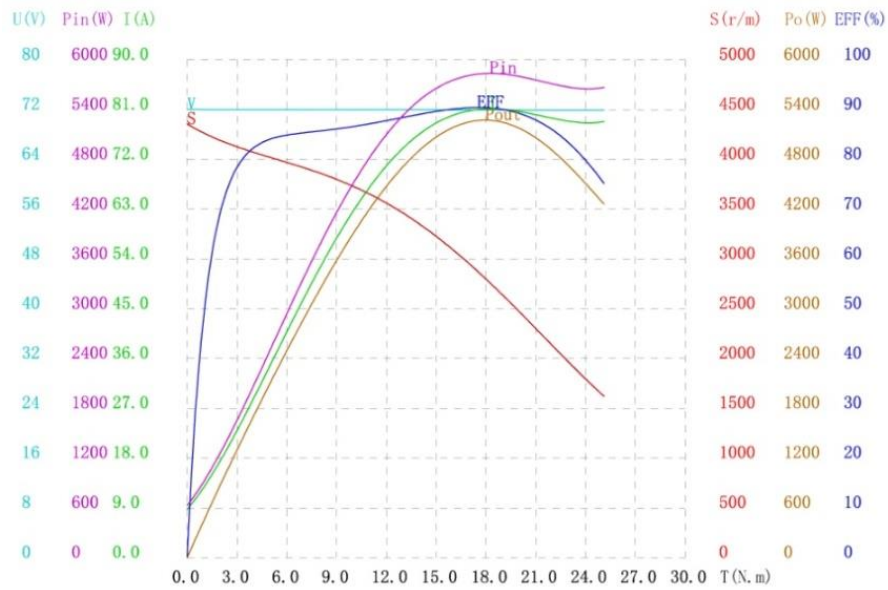
Pracovní režimy budou probrány v další kapitole.

Jmenovité napětí [V]	72
Jmenovitý výkon [kW]	2-3
Špičkový výkon [kW]	6
Otáčky [ot/min]	3000-5000
Jmenovitý moment [Nm]	10
Špičkový moment [Nm]	25
Účinnost [%]	80-90
Hmotnost [kg]	8

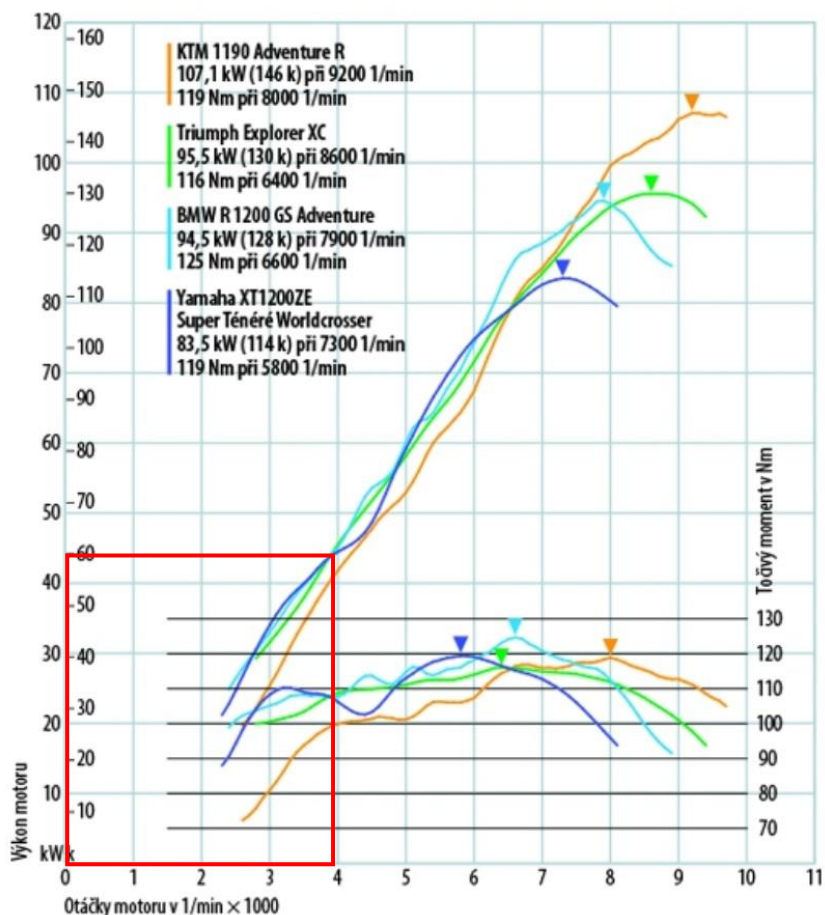
Tabulka 3-Parametry elektromotoru



Obrázek 16-Výkres motoru



Obrázek 17-Výkonové charakteristiky elektromotoru



Obrázek 18-Výkonové charakteristiky spalovacího motoru

6.2.2 Baterie

Při návrhu baterií je brána v potaz potřebná kapacita uložené energie a dále pak maximální výkon, jenž je akumulátor schopen trvale dodávat. V neposlední řadě je důraz kladen na dlouhou životnost.

Pro náš případ jsem zvolil Li-Iontové články od firmy samsung, ty lze opětovně nabíjet. Obchodní označení je: ICR 18650-26F. Specifikace článku jsou na obrázku 19.

Dále musíme stanovit režimy, ve kterých bude elektromotor pracovat, abychom mohli určit velikost baterií.

- 1.) Motorický režim-bude pracovat jako motor, který bude dodávat energii a moment v nízkých otáčkách. Pokud bude ovladač plynu na nejvyšší úrovni, dojde k sepnutí elektromotoru. Interval, ve kterém bude pracovat, je stanoven mezi 1000-4000 otáčkami. Doba trvání pohonu elektromotorem se pohybuje v řádech sekund (2-4s) a účinnost obsáhne interval 80-90%.

2.)Generátorický režim- elektromotor bude pracovat jako alternátor při brzdění, při jízdě bez plynu a pokud dojde k dosažení nízké úrovně nabití akumulátorů. Díky tomuto nebude třeba nabíjení ze zásuvky.

3. Nominal Specifications

Item	Specification
3.1 Nominal Capacity	2600mAh (0.2C, 2.75V discharge)
3.2 Minimum Capacity	2550mAh(0.2C, 2.75V discharge)
3.3 Charging Voltage	4.2 ±0.05 V
3.4 Nominal Voltage	3.7V
3.5 Charging Method	CC-CV (constant voltage with limited current)
3.6 Charging Current	Standard charge: 1300mA Rapid charge : 2600mA
3.7 Charging Time	Standard charge : 3hours Rapid charge : 2.5hours
3.8 Max. Charge Current	2600mA(ambient temperature 25℃)
3.9 Max. Discharge Current	5200mA(ambient temperature 25℃)
3.10 Discharge Cut-off Voltage	2.75V
3.11 Cell Weight	47.0g max
3.12 Cell Dimension	Height : 65.00mm max Diameter : 18.40mm max
3.13 Operating Temperature	Charge : 0 to 45℃ Discharge: -20 to 60℃
3.14 Storage Temperature	1 year : -20~25℃(1*) 3 months : -20~45℃(1*) 1 month : -20~60℃(1*)

Obrázek 19-Vlastnosti článku [18]

Pro velikost akumulátoru je tedy nejdůležitější, aby pokryl dostatečný příkon potřebný dodat do elektromotoru. Ten dosahuje nejvyšší hodnoty 5800 W. Při použití pouze bateriových článků bychom museli mít alespoň 342 článků (při uvažování nižšího než jmenovitého napětí i nižšího maximálního vybíjecího proudu). Celý akumulátor by pak vážil 16 kg.

$$\text{Počet článků } N = \frac{\text{příkon}}{\text{napětí} \cdot \text{proud}} = \frac{5800}{3,4 \cdot 5} = 341,17$$

Tento fakt vede na použití dvou navzájem propojených systémů, které by poháněly elektromotor.

1.)Bateriový systém umístěný po stávající baterii. Vznikl by zapojením 20 článků sériově a ke každému sériovému článku by byly připojeny 4 články paralelně. Výsledné napětí bude 74V a proud poskytující (při 5A na článek) 25A. Výsledný výkon pak dosahuje 1850W.

2.) Systém superkapacitorů složený ze sériového uspořádání 4 malých bloků od firmy Maxwell. Tato konfigurace bude mít hmotnost 2,5 kg, výkon 5,5 kW a uloženou energii 8,25 Wh. Dále bude muset být vybavena vyrovnávacími kity, které budou vyrovnávat rozdílné hodnoty napětí v průběhu nabíjení a vybíjení. Celý tento systém najde umístění pod sedlem řidiče. Vlastnosti produktu ukazuje obrázek 21.

Výsledný zdroj elektrické energie by tedy měl více než dostačující výkon a energie uložená v systému by se rovnala 777,85 Wh, což by stačilo při výkonu baterií 5800W a době 4s k 120 vybíjecím cyklům.



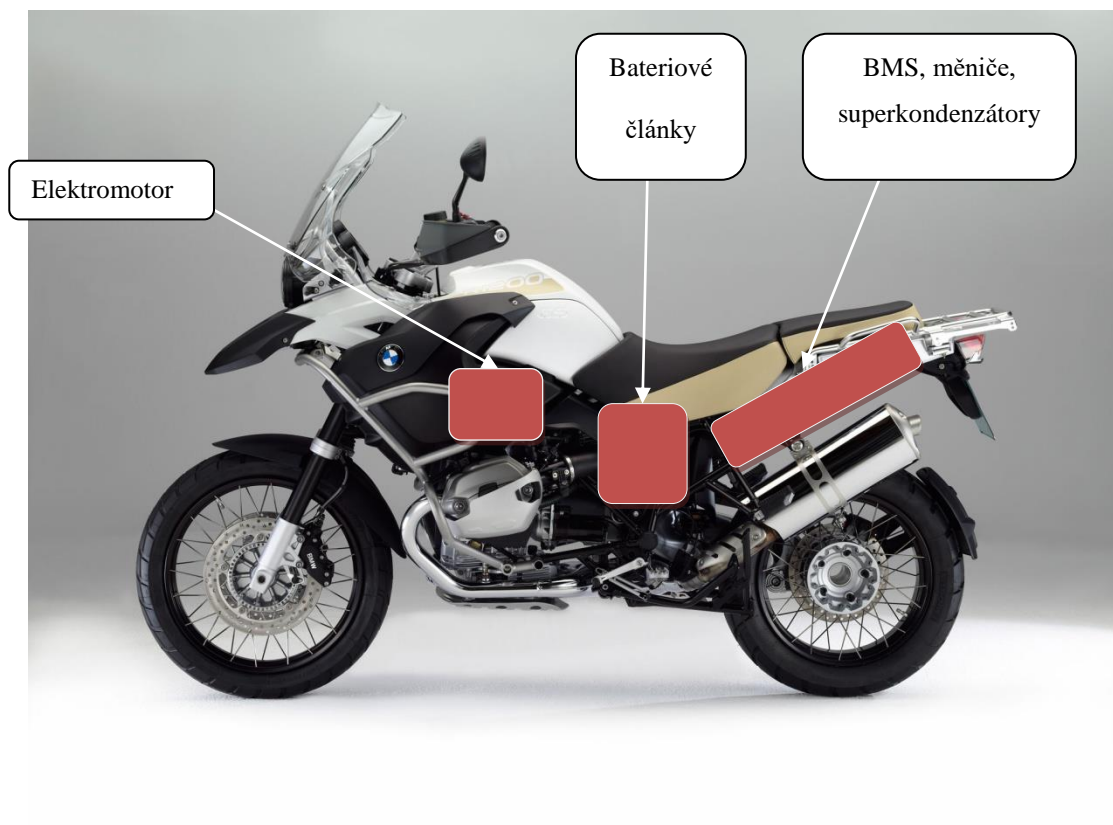
Obrázek 20-Superkondenzátor

6.2.3 BMS a napěťové měniče

V důsledku prodloužení životnosti a zajištění správného fungování Li-Iontových baterií je nutné použít BMS dále pak měnič napětí spojující elektromotor se systémem superkapacitorů a měnič napětí spojující akumulátor s elektromotorem. Všechno toto příslušenství by bylo umístěno taktéž pod sedlem řidiče.

6.3 Výsledné umístění komponent

Pro shrnutí celé zástavby, bude použit BLDC elektromotor od firmy Miromax. Připojení na spalovací motor bude zajištěn řetězovým převodem s převodovým číslem $i=1$. Umístění najde elektromotor po stávajícím alternátoru. Dále budou využity prostory po baterii, kde najde místo 100 článků zapojených sério-paralelně. Pod sedadlem se počítá s uložením superkapacitorů, BMS a měničů. Schematické rozmístění je ukázáno na obrázku 21.



Obrázek 21-Schéma uspořádání komponent

Závěr

V bakalářské práci jsem provedl rešerši hybridních pohonů a jejich všech nutných komponent.

Dále jsem pokročil k vlastnímu návrhu. Rozhodl jsem se zvolit variantu, kdy byl nahrazen alternátor elektromotorem a stávající olověná baterie baterií Li-Iontovou. Pokud se týká motoru, byl vybrán BLDC motor s jmenovitým výkonem 3 kW. Takto velký motor, přidává zhruba 15% výkonu při 2000-3000 ot./min. Kvůli svým rozměrům je nutné upravit velikost nádrže. Tato pohonná jednotka pracuje ve dvou režimech. V prvním režimu jako motor, kdy dodává výkon na kola. K zapnutí dochází po přidání plného plynu. Ve druhém režimu pracuje jako generátor a to v těchto případech: při rekuperačním brzdění, jízdě bez plynu a při dosažení nízké úrovně nabytí. Z tohoto vyplývá, že nebude potřeba dobíjet zdroj přímo ze sítě.

Zdrojem elektrické energie je duální systém složený z Li-Iontových článků a superkondenzátorů. Prvotní myšlenka byla použití pouze článků, těch by však muselo být, z důvodu potřebného výkonu, velké množství. V závislosti na použití těchto systémů, bylo nutné osadit motocykl také BMS systémem, který hlídá a balancuje napětí a proudy na jednotlivých článcích. Pak také je nutné použít vyrovnávací kity, které hlídají napětí mezi jednotlivými kondenzátory během nabíjení a vybíjení. V poslední řadě je využito dvou stejnosměrných měničů, které spojují baterii respektive superkondenzátory s elektromotorem.

Výsledná zástavba, včetně všeho příslušenství, vede k nárůstu hmotnosti <10kg. Toto v porovnání s maximální celkovou hmotností naloženého motocyklu (460kg) je zanedbatelné, tudíž by nemělo dojít k nežádoucím efektům, kvůli změně těžiště motocyklu.

Pokud by byl požadavek na zvýšení výkonu větší, bylo by potřeba použít výkonnější motor. V tom případě by byly rozměry motoru větší a musel by se zmenšit prostor nádrže. Dále také by se musel upravit zdroj tak, aby dodával potřebný příkon elektromotoru a zároveň v něm bylo uskladněno dostatek energie.

Literatura

- [1] BMW-MOTORRAD.CO.UK [online] [citace: 2.4. 2018]. Dostupné z: <https://www.bmw-motorrad.co.uk/en/models/adventure/r1200gs/technicaldata.html>
- [2] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [3] HYBRID.CZ [online] [citace: 6.4. 2018]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/elektricky-chopper-z-dilny-schneider-electric>
- [4] POPULARMECHANICS.COM[online][citace: 6.4.2018]. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/cars/a5194/4342210/>
- [5] MOTORKARI.CZ [online] [citace: 8.4. 2018]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/silent-hawk-army-bike-s-hybridnim-pohonem-36779.html>
- [6] BATTLEFIELDBIKER.COM [online] [citace: 8.4. 2018]. Dostupné z: <http://battlefieldbiker.com/the-new-silenthawk-hybrid-special-forces-motorcycle/>
- [7] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [8] CHMELÍK, Karel. *Asynchronní a synchronní elektrické stroje*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0025-X.
- [9] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 24. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44507.pdf>
- [10] AUTOMATIZACE.HW.CZ [online] [citace: 24. 5. 2018]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-rizenizakladni-prehled.html>
- [11] SOKOL, M.: *Návrh synchronního stroje s permanentními magnety*. Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2012
- [12] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [13] 3POL.CZ [online] [citace: 25. 5. 2018]. Dostupné z: <http://www.3pol.cz/cz/rubriky/prakticke-informace/1677-li-ion-baterie>

- [14] VELOFIALA.CZ [online] [citace: 25. 5. 2018]. Dostupné z:
<https://www.velofiala.cz/n/rozdeleni-baterii-podle-elektrochemickeho-principu>
- [15] ODBORNECASOPISY.CZ [online] [citace: 2.7. 2018]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2013/06/Elektro_06_2013_output/web/Elektro_06_2013_opf_files/WebSearch/page0008.html
- [16] KOBRLÉ, Pavel a Jiří PAVELKA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. 3. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06007-0.
- [17] MORANDIN, Mattia, Marco FERRARI a Silverio BOLOGNANI. *Design and performance of a power train for mild-hybrid motorcycle prototype* [online]. IEEE, 2013. 1-8 s. ISBN 9781467349758;1467349755;
- [18] TME.EU [online] [citace: 5.7. 2018]. Dostupné z:
https://www.tme.eu/en/Document/40f2659afab69dbec94c09cc473a0e25/ICR_18650-26F.pdf

Seznam obrázků

Obrázek 1-BMW R1200 GS	10
Obrázek 2-Pole účinností[2]	11
Obrázek 3-Sériové uspořádání	12
Obrázek 4-Paralelní uspořádání	13
Obrázek 5-Koncept Schneider electrics	15
Obrázek 6-Sillenthawk.....	15
Obrázek 7-Řez asynchronního motoru s kotvou nakrátko.....	17
Obrázek 8-Stavy asynchronního motoru.....	18
Obrázek 9-Točivé momenty[2]	20
Obrázek 10-BLDC motor.....	20
Obrázek 11-Schéma PMSM.....	22
Obrázek 12-Porovnání různých typů baterií [17].....	25
Obrázek 13-Prostor po alternátoru a baterii	28
Obrázek 14-Alternátor	29
Obrázek 15-Pb baterie.....	29
Obrázek 16-Výkres motoru.....	31
Obrázek 17-Výkonové charakteristiky elektromotoru.....	31
Obrázek 18-Výkonové charakteristiky spalovacího motoru.....	32
Obrázek 19-Vlastnosti článku [18]	33
Obrázek 20-Superkondenzátor.....	34
Obrázek 21-Schéma uspořádání komponent.....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1-Maximální parametry[1]	9
Tabulka 2-Obecné parametry motocyklu[1]	10
Tabulka 3-Parametry elektromotoru	30