

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Konstrukční řešení elektromobilů a hybridních
automobilů**

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan MAŠEK**
Osobní číslo: **E14B0312P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Konstrukční řešení elektromobilů a hybridních automobilů**
Zadávající 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 zpracování přehledu el. strojů, které se využívají pro pohon EV (elektromobilů) a HEV (hybridních automobilů) a popis konstrukčních uspořádání těchto vozidel.

1. Uveďte a stručně vysvětlete principy el. strojů, které jsou využívány v moderních EV a HEV.
2. Popište různá konstrukční uspořádání elektromobilů.
3. Napájení EV/HEV vývoj palivových článků.
4. Zhodnoťte aktuální dostupné typy EV/HEV.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. PYRHONEN, Juha, Tapani JOKINEN a Valéria HRABOVCOVÁ; "Design of Rotating Electrical Machines. Second Edition" United Kingdom: Wiley, 2014.
2. James Larminie, John Lowry;"Electric Vehicle Technology Explained"; Wiley, 2003.
3. Databáze ieee.org.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Pechánek, Ph.D.

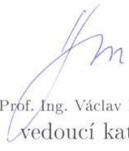
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

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 rešeršního typu zabývající se elektromobily (EV) a hybridními automobily (HEV). V první řadě je uvedeno použití a principy elektrických strojů, na které navazuje konstrukční uspořádání. Poté jsou popsány baterie a palivové články. Nakonec jsou zhodnoceny dostupné moderní EV a HEV.

Klíčová slova

Elektromobil, hybridní automobil, asynchronní motor, synchronní motor s permanentními magnety, stejnosměrné motory, baterie, palivové články, měrná kapacita, výkon

Abstract

This bachelor thesis is a search engine for electric vehicles (EV) and hybrid electric cars (HEV). First of all, there are described the use and principles of electrical machines, followed by the design. After that, Batteries and fuel cells are described below. Finally, the available EV and HEVs are evaluated.

Key words

Electric vehicle, hybrid electric vehicle, asynchronous motor, synchronous permanent magnet, DC motor, battery, fuel cells, specific capacity, power

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a internetových zdrojů, které jsou součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 2017

Jan Mašek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanovi Pechánkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady a připomínky při vedení této práce. Dále také své rodině, která mě plně podporovala při mém studiu.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 PRINCIPY ELEKTRICKÝCH STROJŮ, KTERÉ JSOU VYUŽÍVÁNY V MODERNÍCH EV A HEV	11
1.1 STŘÍDAVÉ STROJE.....	11
1.1.1 <i>Asynchronní stroj</i>	11
1.1.2 <i>Synchronní stroj s permanentními magnety</i>	13
1.2 STEJNOSMĚRNÉ STROJE	14
1.2.1 <i>BLDC motor (Brushless DC)</i>	16
2 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ ELEKTROMOBILŮ	17
2.1 TEORIE USPOŘÁDÁNÍ.....	17
2.2 KONCEPCE POHONŮ.....	17
2.2.1 <i>Pohon umístěný přímo v kole vozidla</i>	18
2.2.2 <i>Centrální pohon</i>	19
2.3 KONSTRUKCE POHONNÉ BATERIE.....	20
2.3.1 <i>Parametry baterií</i>	20
2.3.2 <i>Výdrž a nabíjení</i>	20
3 NAPÁJENÍ ELEKTROMOBILŮ A HYBRIDNÍCH AUTOMOBILŮ	22
3.1 TYPY AKUMULÁTORŮ	22
3.1.1 <i>Li-Ion baterie</i>	22
3.1.2 <i>LiFePO4 baterie</i>	23
3.1.3 <i>NiMH baterie</i>	23
3.1.4 <i>NiCd baterie</i>	23
3.1.5 <i>Vývoj akumulátorů</i>	23
3.2 FOTOVOLTAICKÉ NAPÁJENÍ	24
3.3 PALIVOVÉ ČLÁNKY.....	24
3.3.1 <i>Vodíkové články</i>	25
3.3.2 <i>Palivové články s polymerní membránou (PEMFC)</i>	25
4 ZHODNOCENÍ AKTUÁLNÍHO TYPU EV/HEV	26
4.1 ELEKTROMOBILY	26
4.1.1 <i>Elektromobil BMW i3</i>	26
4.1.2 <i>Hybrid BMW i8</i>	27
4.1.3 <i>Elektromobil Nissan Leaf</i>	28
4.1.4 <i>Elektromobily Tesla - Model X</i>	28
4.1.5 <i>Solaris Urbino 12 electric</i>	30
4.2 HYBRIDNÍ AUTOMOBILY	30
4.2.1 <i>Toyota Prius (2016)</i>	31
4.2.2 <i>Škoda VISION E</i>	32
ZÁVĚR	34
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
SEZNAM OBRÁZKŮ	42

Seznam symbolů a zkratk

BLDC	Brushless DC (bezkomutátorový stejnosměrný motor)	
AM	Asynchronní Motor	
EV	Electric Vehicle (elektromobil)	
HEV	Hybrid Electric Vehicle (hybridní elektromobil)	
n_s	synchronní otáčky	(ot/min)
n	mechanické otáčky	(ot/min)
f	frekvence	(Hz)
p	počet polpárů	(-)
s	skluz	(%)
β	zátežný úhel	(°)
M	točivý moment	(Nm)
I_b	budicí proud	(A)
ϕ	magnetický indukční tok	(Wb)

Úvod

Elektromobilismus jako takový je nevyhnutelný technický vývoj. Ať už z důvodu znečišťování ovzduší v atmosféře, a tím i globální oteplování planety a nebo vyčerpání neobnovitelných zdrojů, konkrétně fosilních paliv, které pohánějí dnešní automobily se spalovacími motory. Elektromobily jsou automobily s elektrickými pohony. Mají velké množství výhod oproti automobilům, ať už se zážehovými a nebo vznětovými motory. Mezi největší výhody patří rozhodně provozní náklady. Elektromotor je levnější a to hlavně z důvodu menšího počtu součástí, nepotřebuje ke svému provozu olej, svíčky, výfuk a ani spojku. Navíc vývoj spalovacích motorů je velmi finančně náročný a to se také odráží na cenách automobilů. Mezi další výhody elektromobilů bych vyzdvihnul možnost téměř okamžitého maximálního výkonu, nulové přímé emise a při používání obnovitelných zdrojů pro výrobu energie, například solární panely, tak i velmi nízké nepřímé emise. Poté možnost rekuperace, tzn. převádění mechanické energie na elektrickou a uložení v napájecích člancích (bateriích). Elektromobily jsou několikanásobně tišší, což zvyšuje komfort při jízdě, ale na druhou stranu, je téměř neslyšitelný pro chodce a to snižuje jejich bezpečnost. Jako velké negativum je momentálně nedostatečná kapacita baterií, které pohánějí elektromotor, také jejich hmotnost a velké rozměry.

1 Principy elektrických strojů, které jsou využívány v moderních EV a HEV

Elektromobily a hybridní automobily využívají pro svůj pohon střídavé i stejnosměrné motory. U střídavých motorů se jedná o asynchronní motor a synchronní motor s permanentním magnety. Mezi používané stejnosměrné motory v elektromobilech lze určitě zařadit motory s cizím buzením a hlavně tzv. BLDC, což jsou motory, které mají elektronicky řízenou komutaci. [1,2]

1.1 Střídavé stroje

Střídavé stroje potřebují ke své činnosti střídavý proud. Lze je rozdělit na asynchronní a synchronní. Oba typy motorů se využívají v EV a HEV.

1.1.1 Asynchronní stroj

Asynchronní stroje jsou nejrozšířenějšími a nejběžnějšími typy elektromotorů. Jejich přednosti spočívají hlavně v jednoduché konstrukci, velké robustnosti a spolehlivosti, silné přetížitelnosti a malé údržbě. V porovnání se stejnosměrným motorem je AM při stejném výkonu podstatně menší a lehčí. Proto můžeme uvažovat výkonovou hmotnost přibližně 1 kg/kW. Určitou nevýhodou je stejnosměrný proud akumulátoru, který je potřeba přeměnit na střídavý. [2,4]

Asynchronní motor pracuje na principu vzájemného elektromagnetického působení točivého magnetického pole statoru, které je vytvořené tekoucím proudem ve vinutí statoru a indukovaných proudů ve vodičích rotoru tímto magnetickým polem. V statorových a rotorových drážkách je uloženo vinutí stroje. Statorové vinutí bývá nejčastěji složeno z trojfázového vinutí (může být také jednofázové a dvoufázové), jehož začátky a konce jsou připojeny na svorkovnici. V drážkách rotoru je uloženo vinutí, kterému se říká kotva. U motoru s kotvou nakrátko jsou v drážkách rotoru neizolované měděné nebo mosazné, nejčastěji však hliníkové spojovací kruhy nakrátko. U motorů menších výkonů se vinutí odlévá, spolu s větracími lopatkami z hliníku. Takovému vinutí se říká klec. [2,3,4]

Otáčky magnetického pole statoru (tzv. synchronní otáčky) jsou dány vzorcem:

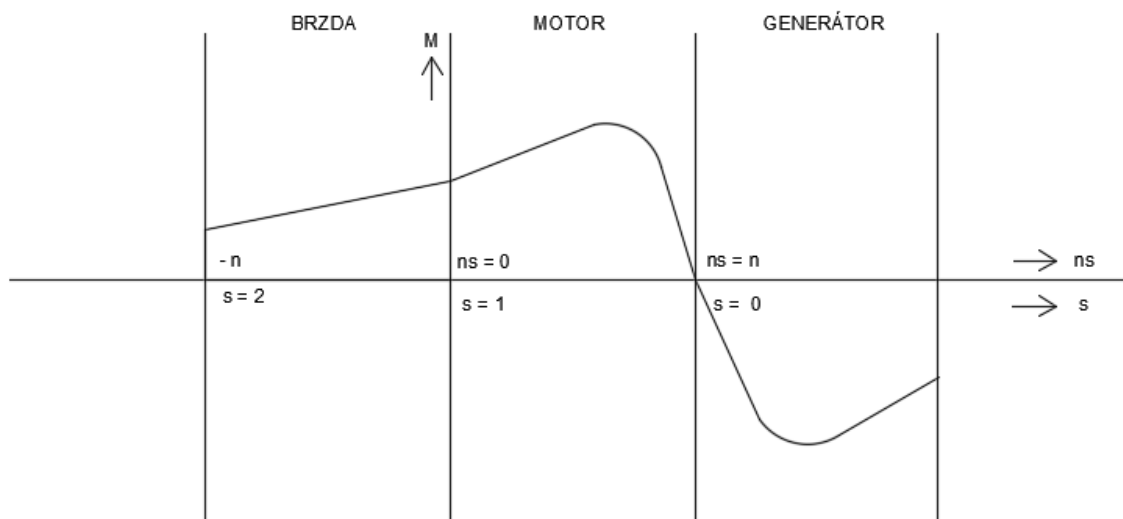
$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (\text{ot/min; Hz}) \quad (1.1)$$

Rozdíl otáček magnetického pole statoru n_s a mechanických otáček rotoru n je veličina nazvaná skluz, kterou lze získat ze vztahu:

$$s = \frac{n_s - n}{n} \cdot 100 \quad (\%) \quad (1.2)$$

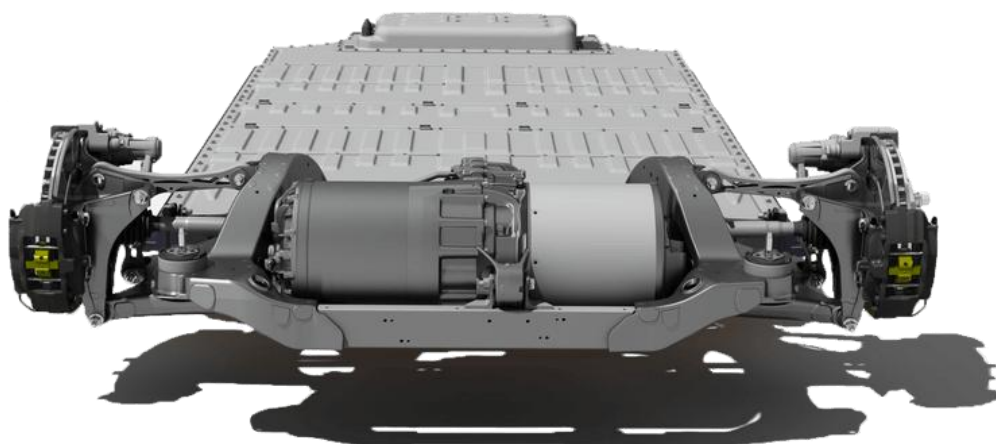
Při zátěži nemůže mít rotor stejné otáčky jako magnetické pole statoru. Protože při synchronních otáčkách by se rotor vůči magnetickému poli nepohyboval a nevznikalo by indukované napětí, které způsobuje točivou sílu motoru.

Asynchronní stroj může pracovat i jako generátor (mechanická energie je přeměňována na elektrickou). Generátorický režim nastává tehdy, jsou-li mechanické otáčky rotoru vyšší než otáčky magnetického pole statoru. Tento režim se aplikuje při rekuperativním brzdění. V případě elektromobilu bude stroj dodávat elektrický výkon do baterie. Při otáčení rotoru proti směru otáčení točivého magnetického pole, pracuje jako asynchronní brzda. [3,4,12]



Obr. 1.1 Momentová charakteristika asynchronního motoru

Asynchronní motory využívá například americká firma Tesla Inc. v modelu S a nebo také polská firma Solaris Bus & Coach ve svých elektrobusech. [5,6]



Obr. 1.2 Tesla Model S - Asynchronní motor s kotvou nakrátko [1]

1.1.2 Synchronní stroj s permanentními magnety

Synchronní stroje mají stejnou konstrukci statoru jako asynchronní stroje. Na statoru je uloženo trojfázové vinutí, které je podstatné pro vznik točivého magnetického pole. Rotor se skládá z permanentních magnetů, které jsou umístěny na povrchu. Rotor bývá často odlehčen dutinami protože magnetický tok se uzavírá na povrchu. Permanentní magnety jsou vytvořeny ze speciálních slitin např. Sm-Co (samarium - kobalt) nebo Nd-Fe-B (neodym - železo - bor). U elektromobilů se rotor s magnety otáčí kolem statoru. Stator je umístěn ve vnějším kruhu. Rotor má obvykle stejný počet pólů jako stator. Po přivedení proudu do vinutí statoru vzniká točivé magnetické pole. Toto pole je určeno hlavně počtem pólů stroje a frekvencí proudu ve vinutí. Rychlost otáčení magnetického pole se nazývá synchronní rychlost a označuje se n_s . Oproti asynchronnímu stroji zde nevzniká skluz (rozdíl otáček) a proto se rychlost točivého pole statoru rovná rychlosti rotoru.

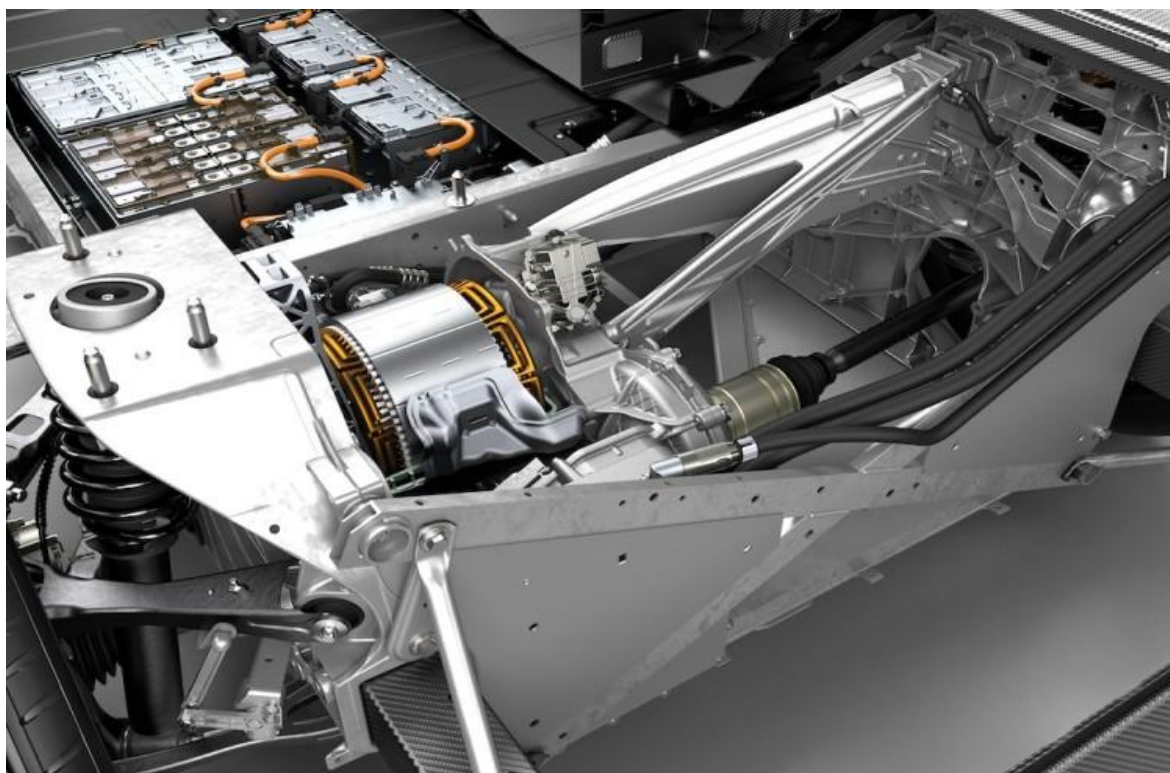
Synchronní motory s permanentními magnety nepotřebují ke svému rozběhu cizí pomocný rozběhový systém protože není třeba motor před rozběhem budit. Magnetické stacionární pole rotoru je vytvořeno působením permanentních magnetů. Vzájemným působením stacionárního pole rotoru a točivého pole statoru vzniká moment, což je silové

působení statoru na rotor. [3,7,8,9]

Při zatěžování stroje se rotor bude neustále snažit vyrovnávat rychlosti otáčkám točivého magnetického pole statoru. Různá zatížení stroje mají vliv na obě magnetické pole, které se mezi sebou posunou o zátěžný úhel β .

Synchronní stroj může pracovat ve třech režimech, které udává právě zátěžný úhel ϑ . Pokud není stroj zatížen, tedy $\beta=0^\circ$, nevznikne moment protože se točivé magnetické pole statoru vyrovná se stacionárním magnetickým polem rotoru. Pokud magnetické pole statoru předbíhá magnetické pole rotoru, synchronní stroj pracuje jako motor a zátěžný úhel má velikost $\beta>0^\circ$. Při $\beta<0^\circ$ se synchronní stroj chová jako generátor.

Synchronní motory s permanentními magnety uplatňuje v elektromobilech BMW, Peugeot iOn a nebo ve svých hybridech Toyota Prius. [3,7,12]



Obr. 1.3 BMW i3 - Synchronní motor s permanentními magnety [2]

1.2 Stejnoseměrné stroje

Stejnoseměrné stroje jsou složeny ze statoru a rotoru (kotvy). Ke statoru jsou připevněny hlavní a pomocné póly. Na pólech statoru je navinuto budící vinutí a nebo permanentní magnety. Budící vinutí je napájeno stejnosměrným proudem. Rotor je složen

z navzájem izolovaných plechů a má válcovitý tvar. Rotor se otáčí v magnetickém poli, které vzniká v budícím vinutí statoru. Rotorem prochází proud, který indukuje magnetické pole a toto pole je kolmé na magnetické pole statoru. Smyčka, kterou prochází proud v rotoru má poté tendenci vyrovnat vzájemnou polohu polí pootočením o 90° . Kdyby došlo k vzájemnému vyrovnání polí, poté by se motor zastavil protože by se vyrovnaly směry siločar. Aby k tomu nedocházelo, jsou konce cívek vyvedeny na izolované lamely komutátoru. Komutátor je válec, jehož plášť je složen lamelami z měděné slitiny vzájemně od sebe izolovaných. Na lamely komutátoru dosedají kartáče sběracího ústrojí. Komutátor poté zajišťuje změnu směru proudu v cívce a tím se změní i směr magnetického toku a motor je neustále v pohybu. Tím vytváří točivý moment M , je úměrný proudu kotvou I_b a magnetickému toku Φ , vybuzenému na statoru. [3,10,12]



Obr. 1.4 Komutátorový stejnosměrný motor s permanentními magnety [3]

Stejnosemřný stroj může mít dvě funkce chodu a to buď motor nebo dynamo. Dynamo neboli generátorický režim nastává při brzdění, kdy přeměňuje mechanickou energii na elektrickou. Tato vlastnost se označuje jako rekuperace energie. Komutátorové stejnosměrné stroje se již příliš nevyužívají v EV a HEV. Stejnosemřný motor je využit například ve vozidle Lightning GT. [10]

1.2.1 BLDC motor (Brushless DC)

Je stejnosměrný motor, který nemá mechanický komutátor. Komutaci zde provádí elektronicky řízená jednotka, která bývá obvykle zabudovaná přímo v konstrukci motoru. Elektronická jednotka řídí a přepíná jednotlivá vinutí dle požadovaných vlastností. U BLDC motoru je pevné vinutí na statoru a budičem je rotor, který bývá osazený permanentními magnety. BLDC je rozšířen do mnoha oblastí díky svým vlastnostem. Má široké spektrum využití v mnoha oblastech a to například modelářství, zvedací vozíky v průmyslu, akumulátorové nářadí, armádní a letecké pohonné systémy a v neposlední řadě také v dopravní technice. Je využit např. u českého výrobce elektromobilu Solarex. [11]



Obr. 1.5 BLDC motor pro elektrická vozidla [4]

2 Konstrukční uspořádání elektromobilů

Konstrukce vozidel je jednou z nejdůležitějších součástí pro správnou funkčnost elektromobilů. Tato fáze je základním stavebním kamenem každého vozu a odvíjí se od ní celková kvalita.

2.1 Teorie uspořádání

Při navrhování uspořádání elektromobilu se konstruktéři snaží o maximalizaci efektivity spotřeby paliva - elektrické energie. Je velmi důležité navrhnout elektrická vozidla s vysokou účinností, aby se snížila hmotnost drahých baterií. Velkou snahou je minimalizace aerodynamického odporu vozidla. S tím také souvisí optimální rozložení hmotnosti jednotlivých komponentů.

Ideálním aerodynamickým tvarem je slza, což se dá představit jako kapička při volném pádu vody v atmosféře. Tento tvar má nejmenší aerodynamický odpor a proto veškeré návrhy elektromobilů se snaží, aby co nejvíce vycházely z tohoto tvaru a tím zároveň zvyšovaly účinnost.

Nejběžnějším uspořádáním je dvojice kol poháněna přes diferenciál. Toto uspořádání má velkou výhodu ve své spolehlivosti. Diferenciál reguluje kroutící moment na obě kola na stejně velkou hodnotu. Při průjezdu zatáčkou mají vnější kola větší obvodovou rychlost protože se pohybují po větším poloměru a tím i zároveň musí urazit větší vzdálenost. Diferenciál u elektromobilů je elektronický, takže nevznikají téměř žádné ztráty jako na klasickém diferenciálu, který pracuje na principu planetové převodovky. [13, 14]

2.2 Koncepce pohonů

Elektromobil je poháněn alespoň jedním elektromotorem. Lze jej nakonfigurovat jako vozidlo s jednou hnací nápravou a nebo s pohonem všech čtyř kol. Pohony se používají buď uvnitř kol, s jedním centrálním a nebo s dvěma centrálními elektrickými motory. [14]

2.2.1 Pohon umístěný přímo v kole vozidla

Hlavní myšlenkou zabudování motoru do kola je odlehčení vozidla a uvolnění místa pro větší množství baterií nebo palivových článků. Elektromobil může být poháněn motory ve všech kolech a nebo jen ve dvou. Záleží na požadovaných vlastnostech vozidla. Stator je spojen s karoserií těsně za odpružením vozidla a je k němu přivedena řídicí elektronika. Do motoru nesmí vniknout vlhkost, tzn. musí být dokonale utěsněn. Nesmí docházet k přehřátí využívá se speciální chladicí kapalina, která za pomoci senzorů efektivně chladí. Motor musí být dostatečně odolný proti otřesům.

Pohony umístěné přímo v kolech vozidla mají vysokou účinnost protože zde nevznikají téměř žádné mechanické ztráty, výrazné zjednodušení konstrukce elektromobilu, dále je zde možné rekuperativní brzdění. Nepotřebují hnací hřídel ani diferenciál. Naproti tomu má toto uspořádání spoustu nevýhod. Kola jsou více zatížena než u běžných automobilů a to má negativní vliv mechanické prvky vozidla - nejvíce tlumiče. Řízení musí být komplexní a to znamená dokonale synchronizovaný chod všech elektromotorů. Využívá se zde stejnosměrného bezkomutátorového motoru s permanentními magnety. Uspořádání pohonů v kolech se zatím uplatňuje spíše u elektrických skútrů, elektrických jízdních kol a elektrických vozíků .[14,15]



Obr. 2.1 Schéma motoru v kole [5]

2.2.2 Centrální pohon

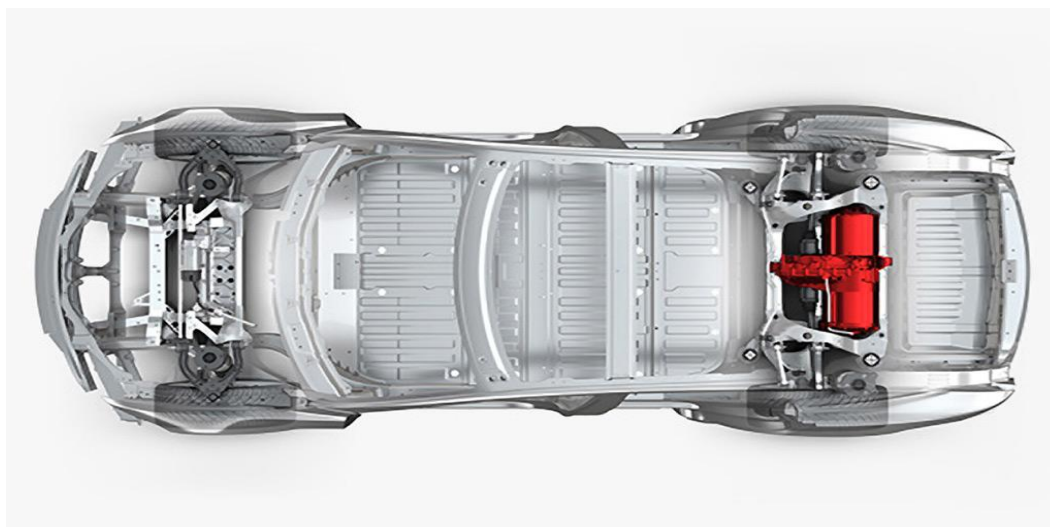
Vozidla s centrálním pohonem mohou mít čtyři různá uspořádání. Kdy mohou být poháněna pouze dvě kola resp. jedna náprava a nebo všechny čtyři kola.

Elektrický motor umístěný na přední nápravě. Toto spojení potřebuje ke svému provozu dvě hřídele vstupujících do kol. Naprosto stejné spojení je i u motoru na zadní nápravě.

Pro pohon všech kol se používá buď jeden motor a pět kroutících hřídelí plus rozdělovací převodovka s diferenciálem a nebo dva centrální motory na přední i zadní nápravě. Tato všechna zapojení potřebují ke svému správnému provozu redukční převodovku a také diferenciál na každé nápravě.

Mezi největší výhody lze určitě zařadit postačující jeden motor pro chod vozidla. Nadále, že elektromobil lze koncipovat i jako "čtyřkolku" tedy poháněné všechny kola jako je tomu u běžného automobilu. Další velikou výhodou je možná integrace těchto pohonů do již existujících vozidel, jako to při svých začátcích používala firma Tesla Inc.. V neposlední řadě je to možná kombinace s hybridními vozidly. Tato zapojení mají i své nevýhody. Je tu stále nezbytnost diferenciálu a převodovky, bez kterých se elektromobil neobejde.

Společnost Volkswagen momentálně používá pohony s centrálním motorem / generátorem jako čistý elektromobil a nebo v kombinaci se spalovacím motorem jako hybridní vozidlo, např. Volkswagen Touareg Hybrid. Motory v kolech zatím nejsou využívány. [13,14]



Obr. 2.2 Tesla model S - centrální pohon na zadní nápravě [6]

2.3 Konstrukce pohonné baterie

Konstrukce baterií do elektromobilů je zaměřena konkrétně asi zatím na nejznámější elektromobil v současnosti a tím je elektromobil Tesla.

2.3.1 Parametry baterií

Tesla skládá své baterie ze základních průmyslových Li-Ion článků o velikost 18650 od společnosti Panasonic. Li-Ion články se vyrábí s nikl-kobalt-hliníkovou katodou. Mají menší hmotnost než standardní články a obsahují látku, která snižuje shoření článku. Standardní Li-Ion články můžeme nalézt téměř v každém elektronickém zařízení, který využívá pro své napájení baterie.

Komplexní baterie v modelu Tesla S obsahuje 7104 ks Li-Ion článků o kapacitě 70 nebo 85 kWh při napětí 400V. Při obrovském počtu Li-Ion článků můžeme snadno vydedukovat, že hmotnost baterie bude dost vysoká. Pohybuje se okolo 540 kg. Výrobce garantuje výdrž baterie na 8 let. Ostatní výrobci využívají ve svých vozidlech zejména také Li-Ion články. [16]

2.3.2 Výdrž a nabíjení

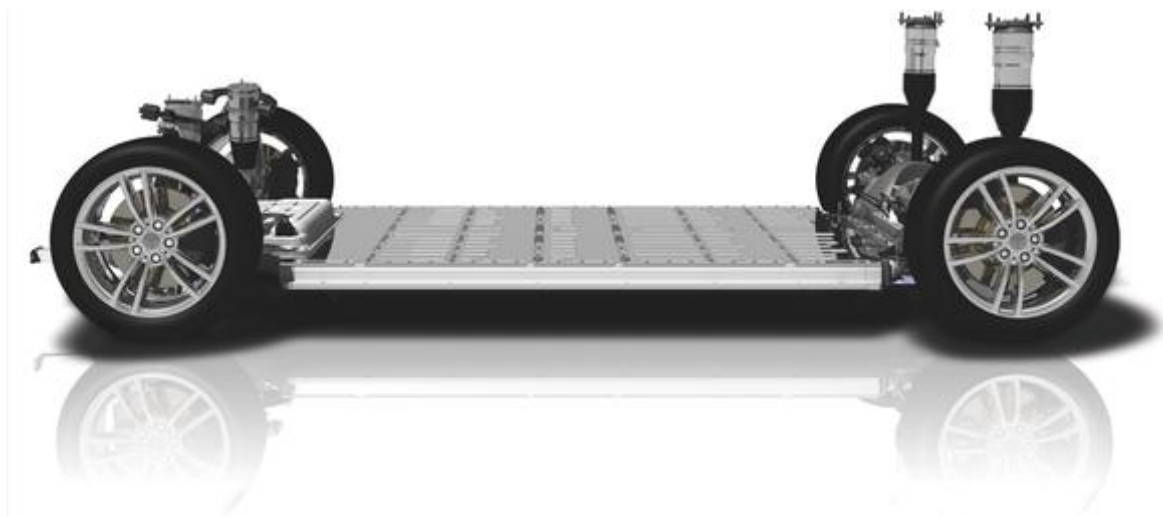
Dojezd s touto baterií by se měl pohybovat kolem 426 km. Záleží na individuální jízdě, tzn. při častém zrychlování se výdrž baterie bude zkracovat. Baterie je konstruována tak, aby se mohla rychle vyměnit. Kdy Tesla předvedla výměnu baterie za necelé dvě minuty. Baterii ochraňuje štít z titanu a hliníkové slitiny o velikost 6mm. Je uložena pod kabinou v podlaze ve tvaru plata.

Tesla vynalezla tzv. Supercharger Network, což je rychlonabíjecí stanice o výkonu 120kW. Supercharger dokáže plně nabít baterii po hodině. Z běžné přípojky standardního nabíječe 240V / 50A o výkonu 10kW se za každou hodinu baterie dobije na dojezd 46km.

Z přípojky o stejném výkonu ale 120V / 15A se baterie dobíjí výrazně pomaleji a to pouhých 6km dojezdu za hodinu. [16]



Obr. 2.3 Baterie složená z 7104 ks Li-Ion článků [7]



Obr. 2.4 Tesla model S - baterie ve tvaru plata v podvozku [8]

3 Napájení elektromobilů a hybridních automobilů

Nejčastějším uchováním energie v EV nebo HEV je baterie (akumulátor). Což je prostředek pro uchování elektrické energie a následnou spotřebu. Baterie pro elektromobily a hybridní vozidla jsou tzv. trakční baterie, které jsou konstruovány pro téměř úplné vybití. Méně se opotřebují při nabíjení a vybíjení. Oproti klasickým startovacím bateriím nejsou schopny poskytnout tak vysoké proudy. Nevýhodou je jejich cena a velké rozměry. [17]

3.1 Typy akumulátorů

Většina baterií pracuje na elektrochemické principu. Proud, který prochází elektrochemickou baterií způsobí vratné chemické změny. Tyto změny vyvolají rozdílný elektrochemický potenciál na elektrodách. [17]

3.1.1 Li-Ion baterie

Lithium-Ion (zkráceně Li-Ion) baterie je druh nabíjitelné baterie. Skládá se z katody (kladná elektroda) a anody (záporná elektroda) a elektrolytu, který funguje jako vodič. Katoda obsahuje oxid kovu a anoda porézní uhlík. Během vybíjení, ionty přecházejí z anody do katody přes elektrolyt. Při nabíjení je proces opačný. Velké výhody spočívají ve vynikajícím poměru energie / hmotnost, nenastává paměťový efekt, který vzniká u jiných typů baterií (NiCD, NiMH,..) při dobíjení nevybité baterie. Dochází pouze k pomalému samovybíjení. Dříve bylo velkou nevýhodou snižování kapacity baterie při skladování. Skladování při 40°C snižovalo kapacitu o 35-40%, skladování při 4°C snížilo kapacitu o 4% za rok. V dnešní době skladování již nesnižuje tolik kapacitu baterie. Při nabíjení vyšším napětím může dojít k explozi proto baterie potřebuje ochranný obvod. Tento druh baterie je v EV a HEV velmi široce používán hlavně kvůli své vysoké měrné kapacitě (množství energie na kilogram), která se pohybuje kolem 265 kWh/kg. Automobilka Mercedes oznámila možnou náhradu do budoucna za Li-Ion baterie. Tím by měly být lithium-sírné baterie (Li-S), které jsou o polovinu levnější a mají téměř dvojnásobnou měrnou kapacitu. [18,19,20]

3.1.2 LiFePO₄ baterie

Lithium-železo-fosfát (zkráceně LiFePO₄) je druh lithium-iontových baterií. LiFePO₄ mají katodu vyrobenou z lithium železo fosfátu, zatímco anoda je složena ze stejného materiálu jako u Li-Ion baterií. Velkou výhodou těchto baterií je vysoký počet dobíjecích cyklů, kterých může být až tři tisíce. Nevzniká u nich paměťový efekt. Jsou schopny dodat větší proudy a nehrozí u nich výbušnost. Nevýhodou je snižování životnosti rychlým dobíjením. Další velikou zápornou vlastností je vyšší samovybití než u běžných Li-Ion. [21,22]

3.1.3 NiMH baterie

Nikl-metal hybridová baterie (zkráceně NiMH) je typem galvanického článku. Oproti standardní NiCd baterii poskytuje až o 40% vyšší energii. Hybridová část baterie omezuje samovybití a snižuje korozi slitiny, ale to zároveň snižuje i energii. Hlavní předností je velká měrná kapacita a možnost dodat velký proud. Dále je to velká flexibilita baterie, která umožňuje udržení požadovaného napětí až do úplného vybití. U těchto baterií se vyskytuje paměťový efekt. Dobíjení baterie je pouze s 66% účinností a počet dobíjecích cyklů se pohybuje pouze okolo jednoho tisíce. [23,24]

3.1.4 NiCd baterie

Nikl-kadmiová baterie (zkráceně NiCd, kdy tato zkratka je registrovanou ochrannou známkou společnost SAFT Corporation) je typ galvanického článku. Velmi kladnou vlastností těchto baterií je jejich možnost skladovatelnosti ve vybitém stavu a odolnosti proti hlubokému vybití. K dispozici je v široké škále velikostí a množství výkonu. Nevýhodou je rychlé samovybití, paměťový efekt a dražší výroba. Dále také měrná kapacita baterie. [25,26]

3.1.5 Vývoj akumulátorů

Němečtí vědci vyvinuli nový druh designu (uspořádání) jednotlivých bateriových článků. U současného uspořádání je propojování jednotlivých článků komplikované. Kdy

jsou články spojovány kabely, svorkami a jsou monitorovány čidly. Vše toto zabírá nezanedbatelný prostor v bateriovém packu. Nová baterie pod označením EMBATT pracuje s bipolární elektrodou, která se využívá u palivových článků. Bipolární elektroda slouží k vedení proudu. Díky této elektrodě se odstraní velké množství součástí v bateriovém packu a tím je možnost navýšení jednotlivých článků. Což má za následek větší kapacitu baterie a možný dojezd až 1000 km. [27]

3.2 Fotovoltaické napájení

Do budoucna se u EV a HEV předpokládá efektivnější nabíjení baterií než pouze u elektrického nabíječe nebo stanic pro palivové články. Japonská automobilka Toyota představila první sériově prodávaný vůz, který bude mít střešní solární panely. Jedná se o Plug-In Hybrid (PHEV) Toyota Prius. Tento fotovoltaický nabíjecí systém napájí svoji trakční baterii ze slunečního světla, když je vozidlo zaparkované. Dokáže získat energii, která vystačí vozidlu na maximálně 6,1 km denně. Solární systém je koncipován, tak aby byl schopný napájet i jiné komponenty vozidla, např. světla, stahování oken, klimatizaci,.. Zajímavou skutečností je, že PHEV Prius dokáže pracovat i jako generátor pro domácnost. A to buď při vypnutém motoru z baterie a nebo jako agregát - spalování paliva z nádrže při zapnutém motoru. [28]

Do budoucnosti se dá očekávat, že ostatní automobilky budou vynalézat podobné systémy z obnovitelných zdrojů pro ochranu přírody, tak jako je koncipována hlavní myšlenka elektromobilů.

3.3 Palivové články

Palivový článek pracuje na principu přeměny chemické energie na energii elektrickou. Oproti bateriím potřebuje palivový článek ke svému provozu nepřetržitý přísuv paliva, které v článku způsobí reakci s oxidačním činidlem. K přeměně na elektrickou energii dochází díky vznikajícím sloučeninám, závislých na použitém typu článku a paliva. [30]

Otázkou zůstává, jestli v se v budoucnosti bude více uplatňovat napájení z baterií nebo z palivových článků. Vodíkové palivové články mají velké výhody v rychlém dobíjení vodíku na čerpací stanici. Dále je větší dojezd, který ani neomezuje jízda po dálnici nebo puštěná klimatizace, tak jako je tomu u baterií. Nevýhodou je velká cena

palivových článků. Dále bude rozhodovat síť stanic pro dobíjení. Zatímco české společnosti jako ČEZ, E.ON nebo PRE se pustili do budování elektrických nabíječů do baterie. Pro vodíkové články je zatím vybudována pouze jedna stanice v Neratovicích, která sloužila pro pohon jediného vodíkové autobusu v ČR. [29]

3.3.1 Vodíkové články

Tento typ je nejrozšířenějším palivovým článkem, ale i jako u ostatních článků je jeho získávání velmi nákladné. Vodík se jako prvek v přírodě samovolně nevyskytuje. Musí se určitými způsoby extrahovat. A to buď nejčastěji ze zemního plynu a nebo elektrolýzou přímo z vody. Oba způsoby nejsou energeticky výhodné. Do budoucnosti by se však mohla energie potřebná pro získávání vodíku velmi snadno získat z obnovitelných zdrojů. Ty často produkují přebytek energie v síti. U vodíku je velikou nevýhodou jeho výbušnost. [30]

Elektrická energie potřebná pro pohon vozidla se získá sloučením kyslíku a vodíku v palivovém článku. Emise vozidla je u vodíkového článku pouze voda a teplo. [31]

3.3.2 Palivové články s polymerní membránou (PEMFC)

PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) je článek, který má separovanou anodu a katodu pomocí polymerní membrány. Díky této membráně se nemůže vyskytnout koroze jako tomu je u článku s elektrolytem. Článek obsahuje jedinou kapalinu a tou je voda. Pro spolehlivou funkčnost nesmí být membrána suchá. Je potřebné zajištění odvodu vody při chemické reakci. Palivo, které je využíváno v tomto článku jsou nejčastěji vodík a metanol. [30]

4 Zhodnocení aktuálního typu EV/HEV

EV a HEV jsou budoucnost celého stávajícího automobilového průmyslu. Proto téměř každá automobilová společnost už představila nebo v nejbližší době představí určitý koncept ekologického vozidla, ke kterému v následujících letech bude směřovat výrobu a rozvoj.

4.1 Elektromobily

Elektromobil používá ke svému pohonu čistě elektrický pohon. Tento pohon je napájen z baterie a nebo palivových článků.

4.1.1 Elektromobil BMW i3

Bmw i3 se vyznačuje velikým ekologickým progrese. Svým elektromotorem a také hlavně až 95% z celého vozidla je recyklovatelná. Kabina je vyrobena z karbonových vláken, což obrovským způsobem minimalizuje celou hmotnost vozidla. Pohon je tvořen elektromotorem o největším výkonu 125kW. Dokáže zrychlit na 100km/h za 7,3 sekundy. Baterie je uložena v podvozku pod kabinou a je tvořena Li-Ion články s celkovou kapacitou 33kWh. Na jedno nabití dokáže urazit až 200 km.

Nabízená je i verze s malým spalovacím motorem, který bude fungovat jako malý generátor pro dobíjení baterie. Tento motor bude disponovat výkonem 25kW a umožní prodloužit dojezd téměř na 300km. "Domácí" dobíjení akumulátoru z klasické zásuvky trvá 8 hodin, zatímco dobíjení z veřejné rychlonabíječky na 80% kapacity zabere pouhých 30 minut. [34,35,36]



Obr. 4.1 BMW i3 [9]

4.1.2 Hybrid BMW i8

BMW i8 je koncipován jako hybridní sportovní vozidlo. Celkový výkon obou motorů je 263 kW, kdy elektromotor má 95kW. Spalovací motor pohání zadní nápravu, zatímco elektromotor může pohánět přední i zadní nápravu. Baterie je složena z Li-Ion článků, které vystačí na čistě elektrické dojezd maximálně 35km. Z klasické zásuvky je možno dobít baterie za 3 hodiny. Kombinovaná spotřeba je 2,1 litrů na 100km. Což je pro supersport velmi nízká hodnota. BMW i8 dokáže zrychlit na 100km/h za necelých 5 sekund a maximální rychlost, která je elektronicky omezena na 250km/h. [43,44,45]



Obr. 4.2 BMW i8 [10]

4.1.3 Elektromobil Nissan Leaf

Srdcem Nissanu Leaf je synchronní motor s permanentními magnety o výkonu 80kW. Dokáže zrychlit na 100km/h za 11,9 sekundy. Typem karoserie je pětidveřový hatchback s vyšším rozložením karoserie, neboť v podvozku je uložena baterie. Výrobce udává dojezdovou vzdálenost 160 km, která bohatě postačí pro denní potřeby většiny lidí. Společnost Nissan dotovala vlastní projekt na výzkum počtu najetých kilometrů běžných občanů. Z výzkumu vyplývá, že 80% světové populace neurazí více než 100km za den. Dobíjení baterie na 80% z veřejné rychlodobíječky zabere půl hodiny. Baterie je složena z Li-Ion článků o kapacitě 24kWh nebo 30kWh podle volby zákazníka. Nissan Leaf je neprodávanějším elektromobilem na světě, kdy se prodalo už více než 230 000 vozidel, evidovaných od prosince 2010, kdy začal jeho prodej. [37,38,39]



Obr. 4.3 Nissan Leaf [11]

4.1.4 Elektromobily Tesla - Model X

Americká společnost Tesla Inc., která sídlí ve Fremontu v Kalifornii, představila již tři elektromobily. V roce 2012 Tesla představila Model S, jako první na světě prémiový čistě elektrický sedan. O tři roky později byl představen Model X, což je SUV s dojezdem přes 400km na jedno nabití. Vloni byl představen Model 3, u kterého začne sériová výroba ještě tento rok. [32]

Model X má nestandardní otevírání zadních dveří, které se otevírají směrem nad vozidlo. Takovéto provedení se vyznačuje obvykle u luxusních vozů. Ovšem mají svoji nezanedbatelnou elegantní chytrost. Jsou osazeny čidly, které detekují překážky v okolí radiusu otevření. Pro otevření potřebují pouze 30 cm na otevření. Tak jak tomu bývá u větších SUV se spalovacím motorem, tak i Model X má možnost sedmimístného provedení. Palubní deska je osazena displejem o úhlopříčce 17 palců, což je pro Teslu charakteristický prvek. SUV od Tesly disponuje zavazadlovým prostorem vzadu i vpředu. Model X je nabízen ve dvou výkonnostních verzích - 90D a P90D. Obě provedení disponují pohonem čtyř kol. Přední elektromotor je shodný u obou verzí s výkonem 190 kW. U verze 90D je zadní elektromotor stejný jako přední, ale P90D disponuje zadním motorem o 190kW větším výkonem.

Baterie je uložena ve formě plata v podvozku. Její kapacita je 90kWh, díky tomu verze 90D dokáže urazit 414km a P90D 402km. Silnější verze motoru dokáže zrychlit z 0 na 100km/h za 3,2 sekundy, slabší o sekundu později. [33]



Obr. 4.4 Tesla model X [12]

4.1.5 Solaris Urbino 12 electric

Solaris Urbino 12 je nízkopodlažní elektrobuse poháněný dvěma elektromotory o výkonu 125kW. Motory jsou umístěny v kolech. Čímž vzrostlo více místa pro cestující. Elektrobuse je napájen z baterie s kapacitou 240kWh. Baterie jsou uloženo na střeše a na zadní části. Tím je způsobeno optimální rozložení hmotnosti. Vozidlo dokáže urazit 150km na jedno dobítí. Baterie se dobijí z běžné zásuvky na plnou kapacitu přes noc. V provedení pro Hannover je dobíjení elektrobuse také z pantografu výkonem 450kW po dobu přibližně 5 minut. [46]



Obr. 4.4 Solaris Urbino 12 electric [13]

4.2 Hybridní automobily

Hybridním vozidlem se označuje kombinace spalovacího motoru a jiného typu motoru, nejčastěji však elektrického motoru. Hybridy se dále rozdělují podle účelu využití spalovacího a elektrického motoru.

U full hybridu může elektromotor pracovat samostatně a tím pohánět celé vozidlo sám a nebo v kombinaci se spalovacím motorem. Mild hybrid se vyznačuje hlavní funkcí pohonu spalovacím motorem, kde elektromotor plní svoji funkci pouze při velkém zrychlení

nebo brzdění. Dále je ve vozidle využito jako startér, nastartuje okamžitě - odkud také vychází Stop&Start. Plug-in hybrid je druh full hybridu, který dobíjí svoji baterii ze zásuvky nebo dobíjecí stanice. A nakonec sériový hybrid, kde spalovací motor slouží pouze pro výrobu elektrické energie, která se ukládá v baterii. [41]

4.2.1 Toyota Prius (2016)

Toyota začala s výrobou hybridů již před 20 lety, takže je jedním z prvních, kteří se začali více zajímat o ekologičtější jízdu. Nejnovější Prius Plug-in se pyšní baterií o kapacitě 8,8 kWh. Ta vystačí na čistý elektrický pohon dojezd přes 50km, což běžnému uživateli postačí na dojezd do práce. Prius Plug-in se nabíje ze zásuvky za 190minut. Řidič se sám navolí, jestli jeho jízda bude probíhat čistě na elektrický pohon a nebo zapne i spalovací motor. Elektromotor o výkonu 53 kW může dosáhnout maximální rychlosti s vozidlem až 135km/h. Celkový výkon spalovacího motorů je 90kW. Při maximálním využití kapacity baterie a následném přepnutí na spalovací motor se spotřeba pohybuje okolo 1,4 litrů na 100 km. Nabízí se i s volitelnými solárními panely, které mohou posloužit například pro nezávislou klimatizaci. [42]



Obr. 4.2.1. Toyota Prius Plug-in [14]

4.2.2 Škoda VISION E

Mladoboleslavská automobilka představila v roce 2017 koncept vozidla VISION E, ze kterého budou do roku 2025 vycházet plug-in hybridní vozidla a čistě elektrické vozidla. VISION E bude založen na platformě MEB, což je stavebnice vytvořená koncernem Volkswagen speciálně pro elektrovozidla. Jedná se o podvozek s rozložením baterií, které následně určí rozvor kol vozidla. Je složen ze dvou elektromotorů o celkovém výkonu 225kW. Dojezdová vzdálenost se pohybuje kolem 500km. Baterie je složena z Li-Ion článků. Velkou zajímavostí je, že VISION E nemá zpětná zrcátka. Celý prostor za vozem a kolem vozidla je monitorován několika kamerami a obrazově přenášen na displej ve vozidle. Další velmi progresivní vlastností je autonomní řízení. Kdy se vozidlo dokáže samovolně ovládat. [40]



Obr. 4.2.3. Škoda VISION E [15]

Vůz	Druh	Elektromotor	Výkon (kW)	Napájení	Kapacita (kWh)	Dojezd (km)	Max. rychl. (km/s)
BMW i3	Elektromobil	Synchronní s permanentními magnety	125	Li-Ion	33	200	150
BMW i8	Hybrid	Synchronní s permanentními magnety	95	Li-Ion	7,1	35	250
Nissan Leaf	Elektromobil	Synchronní s permanentními magnety	80	Li-Ion	24 /30	160	144
Tesla Model X	Elektromobil	Asynchronní s kotvou nakrátko	Přední - 190 Zadní - 380	Li-Ion	90	414	250
Solaris Urbino 12	Elektrobus	Asynchronní s kotvou nakrátko	125	Li-Ion	240	150	80
Toyota Prius	Hybrid	Synchronní s permanentními magnety	53	Li-Ion	8,8	50	135
Škoda Vision E	Elektromobil/ Hybrid	Synchronní s permanentními magnety	225	Li-Ion	-	500	180

Tab. 1 Zhodnocení EV a HEV

Závěr

Elektromobily a hybridní automobily využívají v moderních vozidlech nejčastěji asynchronní motory a synchronní motory s permanentními magnety. A to je zejména způsobeno jednoduchou konstrukcí, nízkou údržbou a oproti stejnosměrným motorům také cenou. Stejnosměrné motory jsou využívány především bez mechanického komutátoru, který je nahrazen elektronicky řízenou komutací. Je to hlavně kvůli zajištění, aby se předešlo jiskření, které by mohlo mít negativní vliv na ostatní prvky vozidla. U všech druhů motoru je nezbytný režim rekuperace, která zajišťuje dobíjení baterií na určité procento při provozu, zejména však při brzdění.

Konstrukční řešení v současné době spočívá v uložení elektromotoru jako centrální pohon, který je uložen na přední nebo zadní, případně na obou nápravách vozidla. Toto uspořádání je rozměrově nevýhodné. Budoucí vývoj je směřován na elektromotory, které se zabudují přímo do kola vozidla s velkou účinností a minimálními nepříznivými parametry na vozidlo, jako je nadměrně zatěžování mechanických komponentů u kola. Toto řešení by umožnilo využití místa po současném umístění elektromotorů ve prospěch navýšení článků baterie a tím úměrně navýšení kapacity baterie. Tím by se zvýšil celkový dojezd na jedno nabití. Bateriové články jsou uloženy v podvozku pod podlahou ve formě plata. Jsou velmi dobře chráněny bezpečnostními prvky proti poškození. Pro dobíjení baterií jsou už dostupné nabíjecí stanice v malém měřítku oproti čerpacím stanicím. Baterie se dají dobíjet i z běžné domácí zásuvky 230V. Toto řešení je však časově náročnější.

Akumulátory neboli baterie jsou základním stavebním kamenem elektromobilu. Většina veškeré automobilové společnosti zabývající se výrobou elektromobilů a hybridních vozů využívá ve svých akumulátorech Lithium - Iontové články. To je způsobeno hlavně skvělým poměrem energie / hmotnost a malým samovybíjením. Ostatní typy akumulátorů, které se využívají jsou značně omezeny kapacitou, která se zkracuje paměťovým efektem. Což je efekt, který zkracuje kapacitu baterie při nabíjení nevybitého článku. Lithium - Ionové články nejsou náchylné na tento efekt. Dále se využívají palivové články, které přeměňují chemickou reakcí jiného prvku na elektrickou energii. Nejčastěji se využívá vodík. Jeho výroba je finančně velmi nákladná a provoz může za špatných podmínek způsobit i výbuch. Do budoucnosti se dá předpokládat využívání Lithium -

Ionových článků s dalšími příměsi, které zvýší celkovou kapacitu baterie a tím i dojezd vozidla. Dá se předpokládat další vývoj vodíkových článků. A využití přebytečné energie obnovitelných zdrojů pro výrobu vodíku, čímž by se snížila celková cena celého článku.

Většina automobilového průmyslu začala s vývojem a různými koncepcemi prvních elektromobilů nebo hybridních vozidel. V následujících letech se dá očekávat velký nárůst ekologických vozidel v běžném provozu a také rozšíření potřebné infrastruktury pro dobíjení. Hlavním aspektem, na který je zaměřována pozornost u ekologických vozidel je celkový dojezd baterie na jedno nabití. Dále také výkon motoru jako je tomu u vozidla se spalovacím motorem.

Seznam literatury a informačních zdrojů

[1] O ELEKTROMOBILECH S JANEM HORČÍKEM. *Respekt* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.respekt.cz/rozhovory/o-elektromobilech-s-janem-horcikem>

[2] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc., 2004. ISBN 978-802-3916-027.

[3] TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. 2., dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-867-0613-3.

[4] VRÁNA, Václav. Studijní texty - Asynchronní stroje [online]. In: . [cit. 2017-04-20]

[5] Škoda H12 Solaris. Wikipedia [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Škoda_H12_Solaris

[6] Tesla Model S. Wikipedia [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S

[7] PAVELKA, J., Z. ČEROVSKÝ a J. JAVŮREK. Elektrické pohony, skriptum ČVUT [online]. [cit. 2017-04-29].

[8] Uplatnění synchronních strojů v dopravní technice (1. část). Odborné časopisy - elektro [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/uplatneni-synchronnich-stroju-v-dopravni-technice-1-cast--13092>

[9] VRÁNA, Václav, KOČMAN, Stanislav. Studijní texty - Synchronní stroje [online]. In: . [cit. 2017-04-28]

[10] SVADBÍK, Vít. Studijní texty - Stejnoseměrné motory [online]. In: . [cit. 2017-04-28]

[11] BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu. *Odborné časopisy - elektro* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>

[12] DONÁT, Jaromír. Digitální učební materiál, Elektrické stroje točivé - elektromotory [online]. In: . [cit. 2017-04-28]

[13] LARMINIE, James. a John LOWRY. Electric vehicle technology explained. Hoboken, N.J.: J. Wiley, c2003. ISBN 04-708-5163-5.

[14] Volkswagen Group of America, Inc., Self Study program 820233, Basic of Electric Vehicles , Design and Function, 2013.

[15] Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily? *Nazeleno.cz* [online]. [cit. 2017-05-5]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx>

[16] Co pohání elektromobily Tesla Motors. RC.305 [online]. [cit. 2017-05-5]. Dostupné z: <http://rc.305.cz/view.php?cisloclanku=2015050003>

[17] Baterie v elektromobilech. *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>

[18] Li-Ion baterie. *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/li-ion-akumulatory>

[19] How do Lithium Batteries Work? *Battery University* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries

[20] Revoluce elektromobilů se blíží. Nové baterie umožní dvojnásobný dojezd za polovinu ceny. *Aktuálně.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/revoluce-elektromobilu-se-blizi-nove-baterie-umozni-dojnasob/r~17c2bc42378511e6abfa0025900fea04/>

[21] LiFePO₄ akumulátory. *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>

[22] Types of Lithium-ion, Lithium Iron Phosphate(LiFePO₄). *Battery University* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion

[23] Nickel-based Batteries, Nickel-metal-hydride (NiMH). *Battery University* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries

[24] NiMH akumulátory. *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>

[25] Nickel-based Batteries, Nickel-cadmium (NiCd). *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>

[26] NiCd akumulátor. *Elektromobil.vseznamu.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>

[27] EMBATT: Nová baterie umožní dojezd až 1 000 km pro elektromobily. Solární novinky [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017050902/embatt-nova-baterie-umozni-dojezd-az-1-000-km-pro-elektromobily>

[28] Toyota nabízí nový hybridní automobil se solárním panelem na střeše. Může napájet domácnost elektrinou. Solární novinky [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:

<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2017022704/toyota-nabizi-novy-hybridni-automobil-se-solarnim-panelem-na-strese-muze-napajet-domacnost-elektrinou>

[29] Elektromobily na rozcestí: baterie nebo vodík? *Energieinfo.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.energieinfo.cz/2017/03/elektromobily-na-rozcesti-baterie-nebo-vodik/>

[30] Palivové články - princip funkce a dělení. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/palivove-clanky-princip-funkce-a-deleni/>

[31] Technologie v autech: palivový článek, zdroj energie pro dopravu. *Drive.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/technologie-v-autech-palivovy-clanek-zdroj-energie-pro-dopravu-676>

[32] About Tesla. *Tesla* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/about>

[33] První SUV od Tesly má křídla. Na elektřinu ujede přes 400 kilometrů. *Auto.idnes.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/tesla-model-x-suv-predstaveni-d2y-/ak_aktual.aspx?c=A150930_200630_ak_aktual_ada

[34] BMW i3 má nově 33kWh baterii a dojezd 200 km. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i3-ma-nove-33kwh-baterii-dojezd-200-km>

[35] BMW i3: První produkční verze a finální specifikace. *Auto.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-i3-prvni-fotky-produkcn-verze-finalni-specifikace-75476>

[36] Trvalá udržitelnost je odpovědí na všechny otázky. *Bmw.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2016/trvala-udrizitelnost.html>

[37] Automobilky Renault a Nissan dohromady prodaly už 350 000 elektromobilů. Tahounem je Leaf. *Autobible.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://autobible.euro.cz/automobilky-renault-nissan-dohromady-prodaly-uz-350-000-elektromobilu-tahounem-je-leaf/>

[38] Nissan Leaf: cena, dojezd, specifikace. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nissan-leaf-cena-doezd-specifikace>

[39] Nissan Leaf: Kompletní technická data. *Auto.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/nissan-leaf-kompletni-technicka-data-52821>

[40] Se studií ŠKODA VISION E do budoucnosti. *Skoda-auto.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/news/2017-03-29-elektricky-vision-e>

[41] Mikrohybrid, plug-in nebo asistovaný? Uděláme vám v autech jasno!. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/mikrohybrid-plug-nebo-asistovany-udelame-vam-v-autech-jasno>

[42] První jízda: Toyota Prius do zásuvky je drahý sen řidiče ekologa Zdroj: http://auto.idnes.cz/toyota-prius-plug-in-hybrid-prvni-jizda-f0z-/automoto.aspx?c=A170215_213628_automoto_vok. *Auto.idnes.cz* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/toyota-prius-plug-in-hybrid-prvni-jizda-f0z-/automoto.aspx?c=A170215_213628_automoto_vok

[43] BMW i8: Sportovní plug-in hybrid s tříválcem 1,5 turbo (164 kW, 300 Nm). *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-oficialni-specifikace>

[44] BMW i8: oficiální specifikace. *Hybrid.cz* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-oficialni-specifikace>

[45] BMW i8: údajně finální specifikace. *Autoroad.cz* [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://autoroad.cz/novinky/35468-bmw-i8-udajne-finalni-specifikace>

[46] Nový Solaris Urbino 12 electric na Busworld 2015. Proelektrotechniky.cz [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektromobilita/193.php>

Seznam obrázků

[1] Tech: How Does An Electric Motor Work? CleanFleet Report [online]. [cit. 2017-05-2]. Dostupné z: <https://i2.wp.com/www.cleanfleetreport.com/wp-content/uploads/2016/08/electric-motor.png?resize=870%2C418>

[2] BMW i3 Electric Motor Among Ward's "10 Best Engines Of 2015" InsideEVs [online]. [cit. 2017-05-2]. Dostupné z: <http://insideevs.com/wp-content/uploads/2014/12/bmw-i3-specs-2-750x530.jpg>

[3] Komutátorové motory s permanentními magnety Atas [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.atas.cz/img/motors/large/P2ZX.jpg>

[4] 10kW BLDC motor for electric car. UU motor [online]. [cit. 2017-05-2]. Dostupné z: <http://www.uumotor.com/uuen/wp-content/uploads/2013/03/BM16Y.jpg>

[5] Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily? Nazeleno.cz [online]. [cit. 2017-05-3]. Dostupné z: http://www.nazeleno.cz/Files/obrazky2/technologie/MUR_motory/obr2.jpg

[6] So sieht der „Motorraum“ des Tesla Model S aus , Ecomento [online]. [cit. 2017-05-5]. Dostupné z: <https://ecomento.tv/wp-content/uploads/2015/02/Tesla-Model-S-Motor-2.jpg>

[7] Pics/Info: Inside the battery pack. Tesla motors club [online]. [cit. 2017-05-5]. Dostupné z: <https://teslamotorsclub.com/tmc/attachments/2014-08-19-2019-13-08-1280-jpg.141747/>

[8] Gigatovárna Tesly srazí cenu baterií na 100 dolarů/kWh. Hybrid.cz [online]. [cit. 2017-05-5]. Dostupné z: http://www.hybrid.cz/img/podvozek_tesly_baterie.jpg

[9] BMW i3 má nově 33kWh baterii a dojezd 200 km. Hybrid.cz [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/i/auto/upgrade-33-kwh-baterie-BMW-i3-Protonic-Blue-1m.jpg>

[10] BMW i8. Caranddriver.com [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <http://buyersguide.caranddriver.com/media/assets/submodel/7821.jpg>

[11] Nissan Leaf. Caranddriver.com [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://buyersguide.caranddriver.com/media/assets/submodel/8029.jpg>

[12] První SUV od Tesly má křídla. Na elektřinu ujede přes 400 kilometrů. Auto.idnes.cz [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/foto.aspx?r=ak_aktual&c=A150930_200630_ak_aktual_ada&foto=ADA5e47f2_section_hero_touch.jpg

[13] Hannover se blíží I. Premiéry Solaris: Urbino 12 electric a linkové Urbino. Busportal.cz [online]. [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: http://www.busportal.cz/images/stories/2012/9990_solaris1.jpg

[14] Prius Plug-in Hybrid. Toyota [online]. [cit. 2017-05-28]. Dostupné z: <https://images.toyota-europe.com/gb/pg/width/1200/exterior-right-front.jpg>

[15] Škoda Vision E - první mladoboleslavský elektromobil se představuje v Číně. Hybrid.cz [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/i/auto/elektromobil-skoda-vision-e-2017-sanghaj-4m.jpgIAA>