

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Studie speciálního kolového vozidla s elektrickým
pohonem**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin CINGROŠ**

Osobní číslo: **E13B0075K**

Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**

Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**

Název tématu: **Studie speciálního kolového vozidla s el. pohonem**

Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Bakalářská práce je zaměřena na studii speciálního kolového vozidla s využitím elektrických pohonů (tj. bateriové vozidlo nebo hybridní vozidlo se spalovacím motorem a bateriemi). V práci proveďte rešerši realizovaných vozidel a z toho proveďte návrh modelové koncepce vozidla. Bakalářská práce bude obsahovat:

1. Navrhněte několik typických oblastí aplikace daného typu vozidla.
2. Navrhněte pro tyto modelové příklady uspořádání mechanické koncepce (tj. počet náprav, jejich konstrukční provedení, umístění motorů atd.).
3. Řešte problematiku zdroje energie (akumul.baterie, spalovací motor atd.).
4. Navrhněte koncepci trakčního motoru a jeho měniče.
5. Popište stručně v rámci možností problematiku řízení a ovládání.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

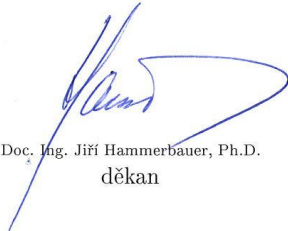
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Martin Pittermann, Ph.D.**
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2018**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce řeší studii speciálního kolového vozidla na elektrický pohon. V rámci bakalářské práce byla provedena rešerše publikovaných informací souvisejících s tématem bakalářské práce a to především na internetu. Bakalářská práce je rozdělena do osmi kapitol. První je věnovaná historii elektrického pohonu v osobní dopravě. Další se zabývá konkrétně realizovanými případy se zaměřením na civilní a vojenské aplikace. Dále se bakalářská práce zabývá použitými komponenty a elektrickými motory. V následujících kapitolách jsou popsány návrhy několika typických oblastí aplikace daného typu vozidla, včetně modelových příkladů uspořádání mechanické koncepce. Následující kapitoly řeší zdroje energie, koncepci trakčního motoru a jeho měnič. Poslední kapitolou je popis řízení a ovládání.

Výsledkem řešení je návrh studie speciálního kolového vozidla s elektrickým pohonem v souladu se zadáním této bakalářské práce.

Klíčová slova

Armádní využití, civilní využití, elektrický pohon, akumulátory, elektrické motory, trakční motory, elektrické měniče, studie speciálního vozidla.

Abstract

This bachelor thesis deals with the study of a special wheeled electric vehicle. In the framework of the bachelor thesis, a search was made of published information related to the topic of the bachelor thesis, especially on the Internet. The bachelor thesis is divided into eight chapters. The first is dedicated to the history of electric drive in passenger transport. Another one deals with specifically implemented cases with a focus on civilian and military applications. Further, the bachelor thesis deals with used components and electric motors. The following chapters describe some typical areas of application of a given vehicle type, including model examples of a mechanical concept. The following chapters deal with power sources, the traction engine concept and its inverter. The last chapter is a description of control and regulation.

Key words

Army use, civil use, electric traction, accumulator, electric motors, traction motors, electrical converters, study of a special vehicle

Prohlášení

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

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

.....

Podpis

V Plzni dne 5.6.2018

Jméno příjmení

Poděkování

Mé poděkování si zaslouží má rodina, pan Ing. Martin Pittermann, Ph.D., a pan Ing. Pavel Dvořák.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 ÚVOD	10
2 KONKRÉTNÍ REALIZOVANÉ PŘÍKLADY	12
2.1 CIVILNÍ VYUŽITÍ.....	12
2.1.1 Škoda Elcar, Škoda Eltra 151 Pick-Up.....	12
2.1.2 Elektrická užitková vozidla BETA.....	13
2.1.3 Liaz.....	14
2.1.4 SUPERBEL II.....	16
2.1.5 Škoda Octavia Green E Line.....	16
2.2 ARMÁDNÍ VYUŽITÍ.....	17
2.2.1 Malá kolová vozidla.....	17
2.2.2 Velká kolová vozidla.....	18
2.2.3 Malá pásová vozidla.....	19
2.2.4 Velká pásová vozidla.....	21
3 POUŽÍVANÉ KOMPONENTY	22
3.1 AKUMULÁTORY PRO ELEKTRICKOU TRAKCI.....	22
3.1.1 Olověné baterie.....	22
3.1.2 NiCd baterie.....	22
3.1.3 NiMH baterie.....	22
3.1.4 Lithiové baterie.....	23
3.1.5 ZEBRA baterie.....	23
3.2 POPIS ELEKTRICKÝCH MOTORŮ.....	24
3.2.1 Stejnoseměrné motory.....	24
3.2.2 Synchronní motory.....	25
3.2.3 Asynchronní motory.....	26
3.3 DRUHY PŘEVODOVEK.....	27
4 NÁVRH NĚKOLIKA TYPICKÝCH OBLASTÍ APLIKACE DANÉHO TYPU VOZIDLA	27
5 NÁVRH MODELOVÝCH PŘÍKLADŮ USPOŘÁDÁNÍ MECHANICKÉ KONCEPCE	28
6 ŘEŠENÍ ZDROJE ENERGIE	31
7 KONCEPCE TRAKČNÍHO MOTORU A JEHO MĚNIČE	32
7.1 SPECIFIKACE POŽADAVKŮ NA POHONNOU JEDNOTKU VOZIDLA.....	32
7.2 TRAKČNÍ MĚNIČ.....	35
8 POPIS ŘÍZENÍ A OVLÁDÁNÍ	35
8.1 ŘÍZENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ.....	35
8.2 PROBLEMATIKA OVLÁDÁNÍ VOZIDLA:.....	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
PŘÍLOHY	41

Seznam symbolů a zkratk

NiCd	Nikl-kadmiové baterie [-]
NiMH	Nikl-metal hydridové baterie [-]
Li-Ion	Lithium-Iontové baterie [-]
Li-Pol	Lithium-polymerové baterie [-]
LiFePO ₄	Lithium-železo-fosfátové [-]
LMO	Lithium-manganové baterie [-]
NMC	Lithium-nikl-mangan-kobaltové baterie [-]
Na-NiCl ₂	Sodík-nikl-chloridové baterie [-]
ZEBRA	Zeolite Battery Research Africa [-]
EDLC	Electrochemic Double Layer Capacitor [-]
W_{bat}	Energie akumulátoru [Wh]
Pr	Výkon pro jízdu po rovině [W]
s	Dráha [km]
V_{max}	Maximální rychlost vozidla [km/h]
O_{fr}	Odpor valení [N]
O_v	Odpor vzduchu [N]
O_{sous}	Odpor částí přenosové soustavy [N]
m	Hmotnost vozidla [kg]
f	Součinitel valivého odporu [-]
G	Tíha vozidla [N]
g	Gravitační zrychlení [ms^{-2}]
O_{fk}	Odpor valení při jízdě do kopce [N]
O_s	Odpor stoupání [N]
β	Průměrná hodnota stoupání [°]
w_s	Průměrné stoupání vozovky [%]
O_{cr}	Celkový odpor pro jízdu po rovině [N]
P_c	Konečný výkon pro jízdu na rovině [N]
η_1	Mechanická účinnost přenosového strojí [%]
O_{cs}	Celkový odpor pro jízdu do kopce: [N]
P_s	Výkon pro jízdu do kopce [W]
P_{cs}	Konečný výkon pro jízdu do kopce [W]
PWM	Sinusové pulzní šířkové modulace [-]

1 Úvod

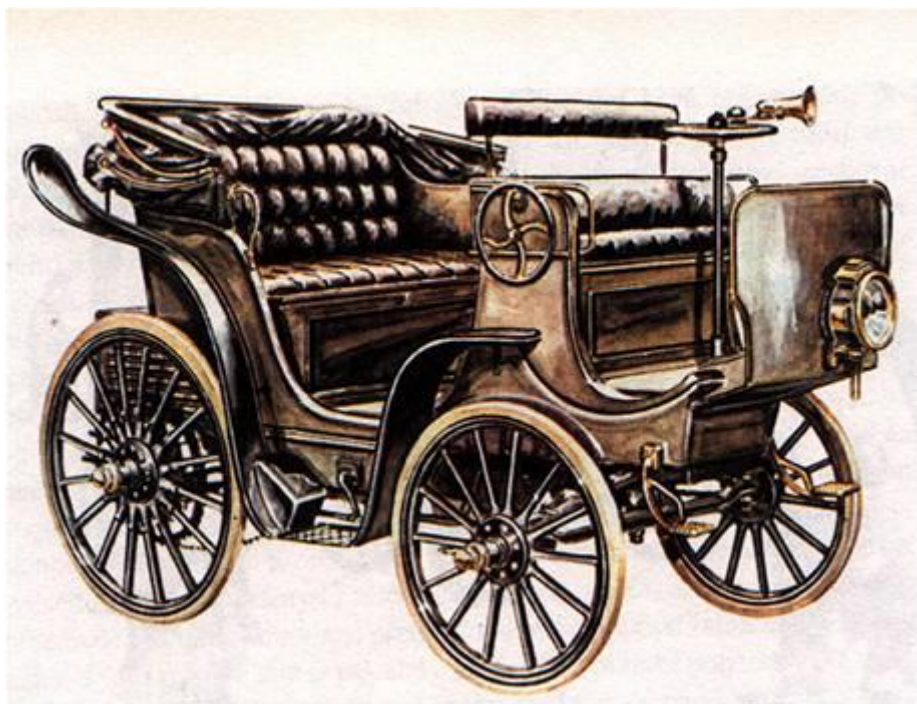
Popis konstrukčních návrhů elektrického pohonů použitých především v našem zeměpisném prostoru. Již v roce 1835 profesor Sibrandus Stratingh z Groningen (Holandsko) navrhl malý elektromobil postavený jeho asistentem Christopherem Beckerem. První silniční vozidlo, které v soutěži prokazatelně překonalo rychlost 100 km/h, byl elektromobil Belgičana Camilla Jenatzyho v roce 1899. Elektromobil Torpédo KID dosáhl v roce 1902 dokonce rychlosti téměř 170 km/h. V této době již jezdila auta se spalovacím motorem, žádné však nebylo tak tiché, bezpečné a spolehlivé jako elektromobil, o rychlosti výše uvedené ani nemluvě. Náš Ing. František Křížík postavil v roce 1895 svůj první elektromobil poháněný stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW, druhý realizovaný typ byl opatřen v každém zadním kole elektromotorem 2,2 kW. Třetí vůz jím postavený měl hybridní pohon pro prodloužení dojezdu. [1]



Obr. 1 První elektromobil profesora Stratingha z Holandska z roku 1835 [2]

Průkopníkem na poli hybridních vozů byl ale také slavný český vynálezce František Křížík. Ten experimentoval s elektromobily již od roku 1895. Prameny se zde dost rozcházejí a tak není jasné, kolik prototypů Křížík sám zkonstruoval. V roce 1895 (případně v několika následujících letech) měly vzniknout celkem tři prototypy, se kterými se Křížík jezdil po pražských ulicích. Podle některých zdrojů byl právě třetí prototyp hybridním vozem.

První prototyp měl poháněná zadní kola elektromotorem s výkonem téměř 5 koní (3,6 kW) a ovládání pákami. Druhý prototyp měl již klasické automobilové ovládání – tedy volant a pedály. V každém ze zadních kol se byl umístěn elektromotor s výkonem 3 koně (2,2 kW). Třetí prototyp má podle některých historiků být jedním z prvních hybridů vůbec. Do vozu instaloval Křížík spalovací motor, který dobíjel baterie, a ty pak dodávaly energii elektromotorům. Některé prameny uvádějí, že šlo o prototyp vlastní Křížíkovy konstrukce, stejně jako předchozí dva vozy. A že teprve po Křížíkovi použil stejné technické řešení Porsche. [3]



Obr. 2 Elektromobil Františka Křižíka [3]

Elektromobil EMA

Je velmi zajímavým funkčním vzorkem elektrického městského automobilu vyrobeného v Brně ve Výzkumném ústavu elektrických strojů točivých. Vůz měl být využit jako ekologické „vozítko“ zejména na jízdu po městě. Mohl přepravit dvě dospělé osoby a dvě děti (na zadním sedadle), po odstranění zadního sedadla se dal využít také pro přepravu řidiče a nákladu odpovídající váhy. Proběhly dlouhodobé zkoušky, které byly na tehdejší dobu velmi úspěšné, ale k sériové výrobě již nedošlo. Projekt vyvrcholil vytvořením optimálního pohonu dodávkového elektromobilu, který byl ověřen také použitím v mikrobuse s názvem EMA 2 (rovněž ve sbírkách Technického muzea v Brně). [4]

Tabulka 1 Technické údaje k EMA 1:

Výrobce:	VÚES Brno ve spolupráci s VUT Brno
Motor:	dva stejnosměrné motory
Výkon:	2 x 3 kW
Akumulátory:	olověné startovací akumulátory
Parametry Akumulátoru:	napětí 96 V, kapacita 88 Ah C20, hmotnost 284 kg
Rychlost:	50 km/h
Dojezd:	cca 50 km



Obr. 3 Elektromobil EMA 1 [4]

Renesanci zájmu o elektromobil přinesla až ropná krize kolem roku 1965, i když v mezidobí došlo k ojedinělým pokusům o jeho použití. Stalo se tak během první světové války, kdy Škodovy závody v Plzni vyrobily několik nákladních elektromobilů pro plzeňské pivovary. Podobně majitel elektrotechnické továrny ve Vsetíně pan Ing. Sousedík si pro svou potřebu zkonstruoval ve třicátých letech minulého století elektromobil velmi pokrokové konstrukce opět s elektromotory přímo v kolech. [1]

2 Konkrétní realizované příklady

2.1 Civilní využití

2.1.1 Škoda Elcar, Škoda Eltra 151 Pick-Up

Třídveřová dvoumístná dodávka, elektromobil, pick-up s nástavbou, motor vpředu a pohon předních kol. Společnost Škoda Elcar Ejpovice (pobočka plzeňské Škodovky) vyráběla od roku 1991 vozy Škoda Favorit a Pick-Up přestavěné na elektrický pohon. Byly využívány převážně v zahraničí pro poštovní služby. Celkem postavili 1100 vozů, jejich výroba byla ukončena roku 1993. Většina vozů byla exportována do Švýcarska, několik jich koupila Česká pošta. [5]

Tabulka 2 Technické údaje k Škoda Eltra 151 Pick-Up

Výrobce:	Škoda Elcar Ejpovice
Motor:	stejnoseměrný elektromotor
Výkon:	15,5 kW (21 koní) při 5000 ot/min
Akumulátory	14 olověných akumulátorů
Parametry Akumulátoru	6 V/180 Ah (420 kg)
Rychlost:	80 km/h.
Dojezd:	cca 80 km



Obr. 4 Škoda Eltra 151 Pick-Up [5]

2.1.2 Elektrická užitková vozidla BETA

V letech 1996 až 1998 vyvinula firma ŠKODA ELCAR s. r. o. Ejpvovice za finanční podpory Státního fondu životního prostředí užitkové elektrické vozidlo BETA. Elektrické vozidlo BETA vzniklo ze zkušeností uvedené firmy získaných přestavbou vozidla se spalovacím motorem ŠKODA Favorit na elektrická vozidla ELTRA 151L a ELTRA 151 pick-up náhradou spalovacího motoru za elektromotor. K vývoji elektrického vozidla BETA bylo použito nikl-kadmiových baterií francouzské firmy SAFT, a to na základě negativních zkušeností s použitím olověných baterií při provozu elektrických vozidel ELTRA 151L a ELTRA 151 pick-up. Vozidlo BETA používá šestivoltových bloků Ni-Cd typu 5STM.100 o jmenovité kapacitě 100 Ah, s možností centrálního doplňování elektrolytu a vodním chlazením používaných akumulátorových baterií. [6]

Výsledkem vývoje jsou čtyři verze elektrického vozidla BETA, lišící se napětím použité baterie Ni-Cd. V nejvýkonnější verzi BETA EL 180, baterie Ni-Cd 180 V má dojezd 115 km a užitečné zatížení 310 kg. Lehká karoserie z ocelového rámu a sklolaminátového skinu dává tušit, že Beta byla koncipována jako elektromobil - žádná maska chladiče, malý motorový prostor, lehká konstrukce. Původní elektromobily měly dojezd až 120 km a trakční akumulátory byly umístěny pod podlahou nákladového prostoru. Velké množství dílů je shodných s vozy Škoda Favorit, Škoda Forman a Škoda Pick-Up.

V obou verzích je přední náprava McPherson se spodními trojúhelníkovými rameny a tlumičové jednotky s vinutými pružinami, torzní stabilizátor. Zadní náprava u verze Škoda - Škoda Favorit s teleskopickými tlumiči [7]



Obr. 5 Tatra Beta výrobního čísla 000048. [7]

Tabulka 3 Technické údaje k Tatra Beta

Výrobce:	ŠKODA ELCAR s. r. o. Ejpovice
Motor:	třífázový asynchronní
Výkon:	40kW
Akumulátory	30 x NiCd
Parametry Akumulátoru	180 V 100Ah
Rychlost:	100 km/h

2.1.3 Liaz

Pokud začneme pohonem, tak Dioss připravoval střídavý asynchronní elektromotor ATR 25-4, s měničem řízeným elektronicky a vyvíjený zpočátku ve Výzkumném ústavu elektrických strojů v Brně. V plánu byly zkraje olověné akumulátory s kapacitou 12 kWh, později se uvažovalo přejít na nikel-kadmiové baterie (Ni-Cd), u nichž by se kapacita zvýšila na 22 kWh.



Obr. 6 Liaz 01.02 XGJ [8]

Tabulka 4 Technické údaje k Liaz 01.02 XGJ

Výrobce:	Swissmobile Inc.
Motor:	Asynchronní elektromotor ATR 25-4
Výkon:	19 kW
Akumulátory	Ni-Cd
Parametry Akumulátoru	22 kWh
Rychlost:	90 km/h
Dojezd:	120 km

Podvozek vozu měl být převzat ze Škody Favorit/Forman. Hřebenové řízení se mělo nakupovat od TRW. Zajímavě vyřešili tvůrci zpřevodování poháněné přední nápravy. Jak známo současné elektromobily si vystačí pouze s jedním redukčním převodem. U elektromobilu Liaz se však plánovala dvoustupňová převodovka se synchronizací, kterou vyvíjel ÚVMV. Změna převodů probíhala elektrohydraulicky, přičemž systém se obešel bez spojky. Konkrétní převody byly 3,308:1 a 1,267:1. Stálý převod kuželového soukolí diferencíálu 4,167:1. Řadilo se tlačítky na palubní desce, zpětný chod se řešil reverzí elektromotoru. To mimo jiné znamenalo, že uvedené převody mohlo auto teoreticky (nikde o tom však informace není) využívat také pro jízdu vzad. [8]

2.1.4 SUPERBEL II

Dva roky pracovali na elektromobilu konstruktéři brněnské techniky VUT. Jejich VUT SUPERBEL II dostal v červnu homologaci a může vyrazit do provozu. Auto se bude vyrábět, cena přestavby je přibližně 800 tisíc. "Byl schválen do provozu na pozemních komunikacích, prošel STK a Magistrát města Brna mu přidělil technický průkaz a státní poznávací značku. Jedná se o jediné osobní auto, které má v technickém průkazu jako tovární značku uvedeno VUT. Nový český elektromobil má dojezd 220 km, maximální rychlosti přesahuje 160 km/h. Interní nabíječkou z jedné fáze 230V 16A se nabíjí 10 hodin, z třífázové zásuvky 400V 32A hodinu na 90 procent kapacity a z 400V 64A půl hodiny na 90 procent kapacity. Připravuje se možnost nabíjení stejnosměrným proudem, kterým je možné elektromobil nabít na 90 procent za 20 minut výkonem 100kW. Nejdůležitější je na novém českém elektromobilu střídavý asynchronní motor s kotvou nakrátko od výrobce Siemens. Elektromotor je chlazen vodou z původního chladiče spalovacího motoru a je napojen na spojku a manuální šestistupňovou převodovku. Elektromotor poskytuje trvalý výkon 35kW. [9]

Tabulka 5 Technické údaje k SUPERBEL II

Výrobce:	VUT Brno
Motor:	centrální asynchronní motor s kotvou nakrátko
Výkon:	až 100 kW
Akumulátory	lithium-železo-yttrium-fosfátovou LiFeYPO4
Parametry Akumulátoru	-
Rychlost:	160 km/h
Dojezd:	220 km

2.1.5 Škoda Octavia Green E Line



Obr. 7 Škoda Octavia Green E Line [10]

Tabulka 6 technické údaje k Green E Line

Výrobce:	ŠKODA AUTO a.s.
Motor:	
Výkon:	60 kW
Akumulátory	lithium-iontový
Parametry Akumulátoru	26,5 kWh
Rychlost:	135 km/h
Dojezd:	140 km

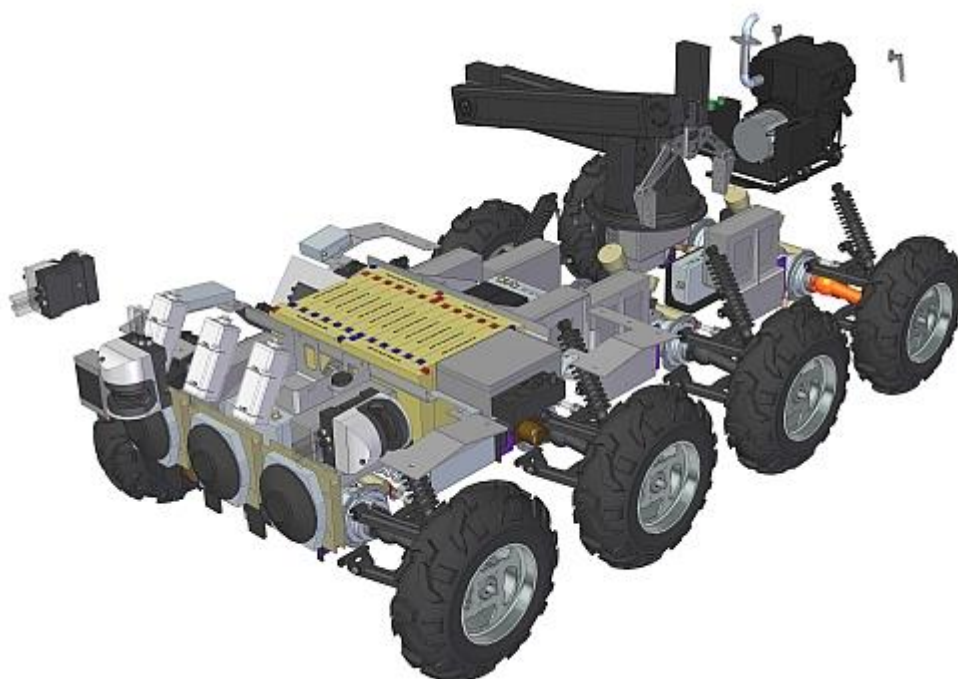
Nabití na 80 % kapacity 8 hodin při napětí 230 V (jednofázový proud), 2 hodiny při 400 V (třífázový proud). Elektromotor s maximálním výkonem 85 kW (jmenovitý výkon 60 kW) spojený s jednostupňovou převodovkou (reduktor) dává Octavii zrychlení. Je hodně lineární, žádné přeskoky při řazení nebo krátkodobý záťah po roztočení turbodmychadla. Je to hodně intenzivní, auto má dobrý záběrný moment a táhne od nuly do maximální elektronicky omezené 135kilometrové rychlosti pořád stejně. Maximální točivý moment je 270 Nm. Nové rozložení hmotností, které je blízké ideálnímu poměru 50:50 mezi přední a zadní nápravu, se pozitivně projevilo na jízdních vlastnostech. Octavia s hmotností akumulátoru cca 300 kg u zadní nápravy je absolutně neutrální. Podle Eckharda Scholze, člena představenstva zodpovědného za konstrukci se vývoj zaměřuje zejména na zvýšení kapacity baterií, dojezdu vozidla a zkrácení doby nabíjení. Tabulkový dojezd elektrické Octavie je 150 kilometrů. Členové vývojového týmu si vzpomněli na nejdelší jízdu v reálných podmínkách, při které najeli 148 kilometrů. To už ale vyžaduje zdatného elektromobilistu a vhodný terén, ve kterém dokážete využívat kinetickou energii a dobře dobíjet akumulátor. [10]

2.2 Armádní využití

2.2.1 Malá kolová vozidla

TAROS

Základní stavebním blokem českého robota TAROS 6×6 V2 je kolová část s integrovaným elektrickým motorem, převodovkou a závěsným mechanismem. Každé kolo robota je výkonově a směrově říditelné, součástí bloku je tak i elektromechanický šroubový aktuátor pro natáčení kol. Každý elektromotor disponuje výkonem 10 kW při 1 000 Nm. O přenesení velkého kroučícího momentu se stará integrovaná převodovka pro každé kolo. V případě verze TAROS V2 se tak celkový výkon pohonného systému robota může pohybovat mezi 40 a 100 kW podle počtu náprav. Vozidlo TAROS V2 v různých konfiguracích je napájeno z akumulátorových baterií modulu 4x4 s možností průběžného dobíjení pomocí nabíjecího soustrojí NS 6050 D poháněného spalovacím motorem a umístěného v modulu 2x2E (s nabíjecím soustrojím). Implementované nabíjecí soustrojí NS 6050 D je výrobkem firmy VOP GROUP, s.r.o., Český Těšín. Tento systém umožňuje takřka neomezenou dobu provozu celého robotizovaného systému TAROS V2 ve zvolené konfiguraci. Celý systém je však modulární. Mezi základní modul 4×4 a 2×2 s generátorem lze připojovat další moduly 2×2 (případně 4×4) prakticky „libovolně“. Problémem tedy nejsou robotické systémy TAROS V2 verze 8×8 nebo 10×10. Případně, jak byl uvedeno výše, lze používat základní modul 4×4 i samostatně. [11]



Obr. 8 Počítačový model TAROS V2 ve verzi 8×8 VOP CZ [11]

Tabulka 7 technické údaje k TAROS V2

Výrobce:	VOP CZ
Motor:	nezjišten
Výkon:	10 kW při 1 000 Nm (1x elektromotor pro každé kolo)
Akumulátory	nezjišten
Parametry Akumulátoru	nezjišten
Rychlost:	25 km/h
Dojezd:	nezjišten

2.2.2 Velká kolová vozidla

ULV

V současné době běží ve Spojených státech program JLTV (Joint Light Tactical Vehicle), jenž má nahradit vozidla Humvee.

Výzkumné centrum TARDEC svým programem ULV nevytváří konkurenci, ale testuje dílčí technologie využitelné zpětně pro vozidla JLTV, případně pro zcela novou generaci vojenských automobilů. Středobodem vozidla ULV je hybridní pohonný systém. Každou nápravu pohání elektromotor Remy 410HVH HT. [12]



Obr. 9 ULV (Ultra Light Vehicle) [12]

Tabulka 8 technické údaje k ULV

Výrobce:	Výzkumné centrum TARDEC
Motor:	Remy 410HVH HT (každá náprava)
Výkon:	200 kW
Akumulátory	lithium-iontová
Parametry Akumulátoru	14,2 kWh
Rychlost:	Nevedeno
Dojezd:	34 km

2.2.3 Malá pásová vozidla

TALON

Robot EOD Talon byl vyvinut americkou firmou Foster-Miller. Jde o jeden z nejrychleji pracujících pyrotechnických robotů, který je schopen nasazení na sněhu, ve vodě a v poušti. V případě potřeby se dokáže pohybovat i po schodech a působit v kontaminovaných oblastech. Jeho akční rádius je až tisíc metrů. Robot Talon je napájen dvěma olovenými dobíjecími bateriemi, které mají kapacitu 300Wh a poskytují tříhodinový provoz. Běžný dobíjecí čas je 4,5 hodin. Robot může být volitelně poháněn Q-Tray se šesti standardními bateriemi BB-590 / U. [13]



Obr. 10 Robot EOD Talon [13]

Tabulka 9 technické údaje k Robot EOD Talon

Výrobce:	Foster-Miller, Inc
Motor:	Neuvádí se
Výkon:	Neuvádí se
Akumulátory	2x Ni-Cd BB-590
Parametry Akumulátoru	2 x 4.8Ah
Rychlost:	8,37 Km/h
Dojezd:	Neuvádí se

2.2.4 Velká pásová vozidla

TITAN

Titan je hybridní, bezosádkové pozemní vozidlo, které poskytuje podporu malým vojenským operacím. Vyvinuto firmou QinetiQ North America a společností Milrem Robotics. Na rozdíl od stávajících UGV nabízí společnost Titan jako vysoce modulární platformu, která umožňuje instalovat a integrovat různé struktury, které podporují složité úkoly, jako je záchrana, přeprava a průzkum. Maximální rychlost je 24,14 km/h. Šířka vozidla je 2,108 m, délka je 2,007 m. Je poháněn 10kW JP8 generátorem (3kW během pohybu bez zatížení). Baterie jsou AGM olověné nebo Li-Ion baterie. Akční rádius je plus 20 km, a dvě hodiny, pokud vozidlo běží pouze na baterie. Pokud je to kombinace spolu s dieselovým motorem tak se rádius zvětší na 100 km a 72 hodin. [14]



Obr. 11 TITAN [14]

Tabulka 10 technické údaje k TITAN

Výrobce:	QinetiQ North America a Milrem Robotics
Motor:	JP8 generátorem
Výkon:	10kW
Akumulátory	AGM olověná nebo Li-Ion
Parametry Akumulátoru	Neudáva se
Rychlost:	24,14 Km/h
Dojezd:	20 km

3 Používané komponenty

3.1 Akumulátory pro elektrickou trakci

Elektrická trakce vyžaduje od baterií odlišné parametry než je tomu například u startovacích baterií, od kterých požadujeme krátkodobý odběr velkého elektrického proudu. U čistě elektrických nebo hybridních elektrických vozidel je nezbytné baterie dimenzovat na nižší, ale dlouhodobější vybíjecí proudy. Dalšími aspekty ovlivňujícími volbu baterie je velikost vozidla, výkon instalovaných motorů a periférií a také trať, po níž se bude vozidlo nejčastěji pohybovat. Z dlouhodobějšího hlediska nás zajímá také životnost, spolehlivost, náročnost údržby anebo bezpečnost provozu baterií. Pro tyto účely existují trakční baterie, tedy speciální průmyslové baterie, určené pro hluboké vybití a častější nabíjení a vybíjení. Robustnější elektrody trakčních baterií sice neposkytují tak velké vybíjecí proudy oproti startovacím bateriím, ovšem nestárnou tak rychle častým vybíjením a nabíjením. Využití trakčních baterií je například v elektromobilech, nebo čistě elektrických autobusech.

3.1.1 Olověné baterie

Nejstarším zástupcem trakčních baterií jsou olověné baterie, které se dnes z důvodu nevyhovujících parametrů již nepoužívají. Výhodou olověných baterií je elektrická robustnost a příznivá cena. Nevýhodami je poté velká hmotnost a rozměry, dlouhá doba potřebná k nabití a malá životnost. Z provozního hlediska je nevýhodná náročná údržba a kapacita citlivá na teplotě.

3.1.2 NiCd baterie

Nikl-kadmiové baterie přinesly podstatně lepší parametry, bohužel také větší zátěž na životní prostředí z důvodu obsahu škodlivého kadmia. Dnes se již nepoužívají. Jejich výhodou je velký odběrový proud (až 10C), vysoká životnost a široké rozmezí pracovní teploty. NiCd baterie jsou navíc odolné proti přebíjení a kritickému vybití. Nevýhody spočívají především v přítomnosti paměťového efektu, který se podepisuje na poklesu kapacity. Před vybitím baterie navíc prudce klesá napětí. Z konstrukčního hlediska je velkou nevýhodou malá hustota energie.

3.1.3 NiMH baterie

Nikl-metal hydridové baterie byl velice rozšířený typ, neboť nabízel vyšší hustotu energie a neobsahoval škodlivé kadmium. Dříve šlo o výrazně rozšířený typ trakčních baterií, který své uplatnění našel například v hybridních vozidlech. Dnes se v trakčních aplikacích nepoužívá. Jednoznačnou výhodou je vyšší hustota energie oproti předchozím zástupcům a malý paměťový efekt oproti NiCd. Na druhou stranu nabízí pouze omezený rozsah pracovních teplot a nižší mechanickou odolnost. Dalšími nevýhodami je menší životnost, nízká účinnost nabíjecích a vybíjecích cyklů a také vyšší samovybíjení spojené s velkou vnitřní impedancí, která omezuje vybíjecí proud při špičkovém odběru.

3.1.4 Lithiové baterie

Lithiové baterie v současnosti znamenají nejmodernější konstrukci trakčních baterií. Jejich použití je velice široké a mnoho jejich parametrů smazává nevýhody starších konstrukcí baterií. Obecně nabízejí velice dobrou hustotu energie, vysokou účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu a také vyšší jmenovité napětí jednotlivých článků. Oproti NiMH a NiCd nemají baterie na bázi lithia paměťový efekt.

Lithium-Ionové baterie (Li-Ion) nabízejí vysokou hustotu energie a měrnou energii společně s vysokou účinností nabíjecího a vybíjecího cyklu. Nevýhodou je citlivost na vysoké teploty a přebíjení. Navíc Li-Ion baterie ztrácejí postupem času svoji kapacitu, i když nejsou používány. Vybíjecí proudy jsou nižší a dosahují pouze 2C až 3C. Při úplném vybití může dojít k jejich zničení. V oblasti trakčních pohonů jde o překonanou technologii.

Lithium-polymerové baterie (Li-Pol) jsou další fází vývoje lithiových baterií. Jejich největší výhodou je jejich tvarovatelnost a nízká hmotnost při zachování vysoké hustoty energie a měrné energie. Vedle toho mají také výbornou účinnost nabíjecího a vybíjecího cyklu. Z hlediska nevýhod je nejdůležitějším aspektem možnost exploze při přetížení, či mechanickém poškození. Li-Pol baterie jsou také charakteristické nižší životností a malou elektrickou robustností.

LiFePO₄, jinak zvané lithium-železo-fosfátové baterie jsou v trakčních aplikacích v současnosti široce používány. Oproti Li-Pol bateriím jsou bezpečné, a to i v extrémních podmínkách. Díky malému vnitřnímu odporu nabízejí až 95% účinnost a jsou schopné dodávat vysoké vybíjecí proudy i při náhlých špičkách. Navíc nabízejí dlouhou životnost. Nevýhodou je ovšem vysoká cena, nízká hustota energie a nízká měrná energie.

Baterie LTO (lithium-titanátové) jsou jistou evolucí baterií LiFePO₄. Nabízejí především široké spektrum pracovních teplot, dlouhou životnost a vysokou účinnost vybíjecího a nabíjecího cyklu, které jsou symetrické. Podobně jako LiFePO₄ jsou LTO baterie bezpečné.

Dalšími aktuálně široce používaným zástupcem lithiových baterií jsou takzvané LMO baterie (lithium-manganové). Výhodou je možnost odebírat rychle velké vybíjecí proudy. Na druhou stranu nabídnou nižší kapacitu společně s velkou citlivostí na vysoké operační teploty. Velice perspektivní technologií jsou lithiové baterie NMC (lithium-nikl-mangan-kobaltové), které na rozdíl od LMO baterií mají vyšší životnost a hustotu energie. Společnou vlastností s LMO je nízká hodnota samovybíjení. Menší nevýhodou je omezenější spektrum operačních teplot. NMC baterie, často v kombinaci s technologií LMO, jsou využívány v elektromobilech, jako například v Nissanu Leaf, Chevroletu Volt, či BMW i3.

3.1.5 ZEBRA baterie

Sodík-nikl-chloridové baterie (Na-NiCl₂) jsou charakteristické nutností udržovat uvnitř článků teplotu až 300°C, která je nezbytná pro elektrochemickou reakci. Z tohoto důvodu mají ZEBRA baterie obrovské samovybíjení. Jejich efektivita je tedy nízká a cena vysoká. Výhodou je, že jsou ekologické a poskytují velkou hustotu energie. Název si získaly v rámci pilotního projektu Zeolite Battery Research Africa Project (ZEBRA).

Superkapacitory (EDLC – Electrochemic Double Layer Capacitor) jsou v současnosti nedílnou součástí trakčních pohonů, neboť jsou schopné rychle přijímat, nebo dodávat

elektrickou energii, kterou uchovávají v elektrostatickém poli. Oproti akumulátorům uchovávajícím energii v chemické formě, z níž je opětovné získání energie podstatně pomalejší a ztrátové. Díky tomu pokryjí nárazové požadavky nebo dodávky energie, čímž prodlužují životnost baterií. Vyznačují se vysokou účinností a širokým rozsahem pracovních teplot. Aktuální velikost napětí navíc prozrazuje velikost naakumulované energie. Nevýhodou je bohužel malá kapacita (oproti elektrochemickým akumulátorům) a současně i vysoká cena. [15] [16] [17]

3.2 Popis elektrických motorů

3.2.1 Stejnoseměrné motory

Stejnoseměrné stroje jsou historicky nejstaršími elektrickými stroji a nejprve se používaly jako generátory pro výrobu stejnoseměrného proudu. V současné době se stejnoseměrné stroje používají především jako motory v elektrických regulovaných pohonech ale i zde už jsou nahrazovány. (např. u obráběcích strojů, válcovacích stolic, těžních strojů, v automobilovém průmyslu a v elektrické trakci). Regulované pohony se stejnoseměrnými motory jsou v řadě technických oblastí postupně nahrazovány střídavými regulovanými pohony s asynchronními motory zejména proto, že stejnoseměrné motory jsou vzhledem k asynchronním motorům složitější a výrobně a provozně nákladnější. Stále však existují oblasti, ve kterých se stejnoseměrné stroje používají pro některé své výhodné vlastnosti a speciální charakteristiky. [18]

Princip činnosti

Stejnoseměrný motor i dynamo mají shodnou konstrukci statoru i rotoru – kotvy. Budící vinutí napájené stejnoseměrným proudem vytváří budící magnetické pole, jehož magnetický tok se uzavírá přes jádro kotvy. Protéká-li cívkami kotvy motoru proud, překrývá se magnetické pole cívek pod každým hlavním pólem s budícím magnetickým polem. Na vodiče cívek, kterými protéká proud, působí pod každým pólem síla, jejíž směr lze určit podle pravidla levé ruky (motorového pravidla). Vzniká tak točivý moment otáčející cívky směrem k neutrální zóně. V neutrální zóně nepůsobí na smyčku žádný točivý moment. Pro zachování dosavadního směru otáčení proudem protékané cívky je třeba po přechodu neutrální zónou změnit (přepólovat) směr průtoku proudu touto cívkou. Toto přepólování je zajištěno komutátorem. K získání rovnoměrného a velkého točivého momentu je kotva opatřena více cívkami rozloženými po obvodu kotvy. Jednotlivé cívky rotoru jsou spojeny s lamelami komutátoru tak, že stranami cívek pod jedním budícím pólem protékají proudy stejného směru. Osa magnetického pole kotvy zůstává proto stále ve stejné poloze i přesto, že se kotva otáčí. Směr otáčení motoru lze obrátit změnou směru jednoho z magnetických polí – budícího pole statoru nebo pole kotvy.

Konstrukční uspořádání

Na statoru jsou k vytvoření magnetického toku umístěny hlavní póly, které mohou být buzeny cívkami, kterými protéká proud (tzv. *budící vinutí*), nebo permanentními magnety. Póly s budícím vinutím se skládají z pólového jádra a pólového nástavce. Dále zde mohou být tzv. pomocné póly (komutační), které jsou umístěny mezi hlavními póly pro zlepšení komutačních vlastností stroje. Rotor (pohyblivá část stroje, která se nazývá kotvou) je složen z dynamových (izolovaných křemíkových) plechů, v jehož drážkách, umístěných po obvodu, je vinutí. Jednotlivé cívky vinutí kotvy jsou připojeny k měděným,

vzájemně izolovaným lamelám komutátoru, který zde zastává funkci mechanického usměrňovače proudu. Komutátor je spolu s magnetickým obvodem mechanicky nasazeným na hřídeli stroje. Na komutátor dosedají kartáče, které jsou umístěny ve speciálních držácích, jimiž se přivádí proud do vinutí kotvy. Komutátor a kartáče tvoří sběrné ústrojí stroje. [20]

Výhody stejnosměrných motorů

- hospodárné a plynulé řízení otáček
- lehký rozběh, velký záběrový moment
- velká momentová přetížitelnost
- velký rozsah výkonové proveditelnosti až do desítky megawattů.

Nevýhody stejnosměrných motorů

- složitost a vyšší cena
- horší účinnost
- složitější údržba, vnitřní chlazení motoru nasává prach z okolí
- jiskření komutátoru neumožňuje použití v některých prostředích
- komutátor vyžaduje zvýšenou údržbu
- větší rozměry než asynchronní motory.

3.2.2 Synchronní motory

Synchronní stroj je točivý střídavý stroj, u kterého se rotor otáčí stejnými otáčkami jako elektromagnetické pole. Synchronní motor má otáčky rotoru, bez ohledu na zatížení, stejně jako elektromagnetické pole. Se synchronními generátory (alternátory) se v praxi setkáme nejčastěji např. u jízdního kola, kde slouží jako zdroj pro napájení osvětlení, v automobilech, kde alternátory vybavené usměrňovači slouží ke krytí spotřeby elektrické výzbroje a dobíjení akumulátoru. Synchronní motory se běžně používají v automatizační technice pro přesné pohony. V průmyslu se synchronní stroje používají jako generátory při výrobě elektrické energie v elektrárnách. Jedná se o nejvýkonnější elektrické točivé stroje. Synchronní motory od malých až po vysoké výkony se používají v pohonech vyžadujících přesné otáčky. Synchronní motory se v současné době využívají především v dopravní technice, a to jako trakční motory pro kolejová i nekolejová vozidla. Plní zde náhradu za asynchronní i stejnosměrné motory. [21]

Princip činnosti

Synchronní stroj, může pracovat jako motor i generátor. V případě motoru se na statorové vinutí přivede střídavý proud o úhlové rychlosti, který vytvoří točivé magnetické pole o synchronní rychlosti. Na rotor je přiveden stejnosměrný proud, který vytvoří konstantní magnetické pole. Vzájemným působením těchto dvou polí je rotor vtažen do synchronismu. V případě, že bude rotor brzděn momentem zátěže, tak se bude zpožďovat o zátěžový úhel. Tento úhel se se zatížením zvětšuje a při překročení úhlu (u dvojpólového stroje) rotor vypadne ze synchronismu, protože při velikosti zátěžového úhlu je u dvojpólového stroje moment největší. Při využití synchronního stroje jako generátoru se do statorového vinutí přivádí stejnosměrné napětí a stator je poháněn vnější silou. Působením magnetického pole rotoru se ve statorovém vinutí indukuje napětí. [22] [23]

Konstrukční uspořádání

Konstrukce statoru synchronního stroje se prakticky neliší od stroje asynchronního. Je složen z izolovaných plechů a v drážkách je uloženo střídavé trojfázové vinutí, které se nejčastěji spojuje do hvězdy. Z hlediska konstrukce rotoru můžeme synchronní stroje rozdělit na:

- stroje s vyniklými póly (hydrostroje)
- stroje s hladkým rotorem (turbostroje)

Výhody synchronních motorů:

- mají větší účinnost než asynchronní motor – až 95%

Nevýhody synchronních motorů:

- složitější a dražší synchronní motor než asynchronní motor

3.2.3 Asynchronní motory

Asynchronní stroje jsou nejjednodušší, nejlevnější, nejspolehlivější a také nejpoužívanější elektrické stroje.

Princip činnosti

Napájíme-li trojfázové vinutí asynchronního motoru ze střídavé trojfázové sítě, vytvoří se v něm točivé magnetické pole. Točivé magnetické pole indukuje v rotorových vodičích napětí. Protože je rotorové vinutí uzavřeno, začne jím protékat rotorový proud, který vytvoří kolem vodičů magnetické pole rotoru. Vzájemným působením statorového a rotorového pole vznikne výsledné pole, které působí na rotorové vodiče silami. Tím vznikne točivý moment asynchronního motoru a působením tohoto momentu se začne rotor otáčet. [24]

Konstrukční uspořádání

Stator motoru s vinutou kotvou má stejnou konstrukci jako stator motoru s kotvou nakrátko. Asynchronní motor se skládá z rotoru a statoru. Stator je složen z plechů pro omezení ztrát vířivými proudy. V plechách jsou drážky (uzavřené, otevřené nebo polouzavřené) a v nich je uloženo zpravidla trojfázové vinutí. Jednotlivé fáze jsou posunuty o 120° mechanicky i elektricky. Rotor je také složený z plechů. Rotorové vinutí může být buď vinuté (motor s kotvou kroužkovou), nebo klecové (motor s kotvou nakrátko). U motorů s kotvou kroužkovou se k vinutí rotoru přes kartáče připojuje spouštěcí odpor, čímž se omezuje záběrný proud a také se dosahuje lepších spouštěcích charakteristik. Po rozběhu se odpor vyřadí, popřípadě se kroužky spojí nakrátko a kartáče se mohou odklopit, aby se při chodu stroje zbytečně neopotřebovaly. Klecové vinutí tvoří tyče uložené v drážkách, jejichž konce jsou na čelech rotoru spojené kruhy. Klecové vinutí se vyrábí z mědi nebo z hliníku. [22] [23] [25]

Výhody asynchronních motorů:

- konstrukčně nejjednodušší, nejlevnější, nejpoužívanější

- bezúdržbové s vysokou provozní spolehlivostí, nízkými výrobními náklady
- jednoduše se spouští, velkou přetížitelnost, má jednoduchou údržbu
- vyšší životnost,
- možnost použití v agresivních prostředích a v prostředích s nebezpečím výbuchu
- Stroje neobsahují komutátor
- Mechanická robustnost
- Vyšší mezní výkony.

Nevýhody asynchronních motorů:

- Napájení z měniče působí zvýšené ztráty.
- Problém s přenosem momentu na nápravu

3.3 Druhy převodovek

Použití převodovek u elektrických vozidel lze v našich podmínkách rozdělit do tří skupin.

- Přestavovaná sériová vozidla na spalovací motory.
 - Rané pokusy o komplexní řešení elektrického pohonu u nově navrhovaných vozidel.
 - Současná technická řešení, kdy jsou v elektromobilech používány pouze jednoduché převody.
- a) Přestavba terénního vozidla Suzuki Samurai 4x4 Electric od firmy EVC Group z Hulína řešila náhradu spalovacího motoru za elektrický, přičemž standardní převodovka ve vozidle zůstala. [26]
 - b) Škoda Beta EL. Převod trvalý + zpátečka pákou s kontaktem na elektronickou změnu otáčení motoru.
 - c) Spalovací motory musí být pro přenos síly na kola doplněny převodovkami s mnoha převody, dnes klidně až devíti. Elektromobily si vystačí s jednoduchým převodem. Elektromotory se na rozdíl od spalovacích motorů točí v mnohem vyšších otáčkách a jsou efektivní v mnohem větší šíři těchto otáček. A co především: dokáží vyprodukovat dostatečný točivý moment už v nízkých otáčkách.

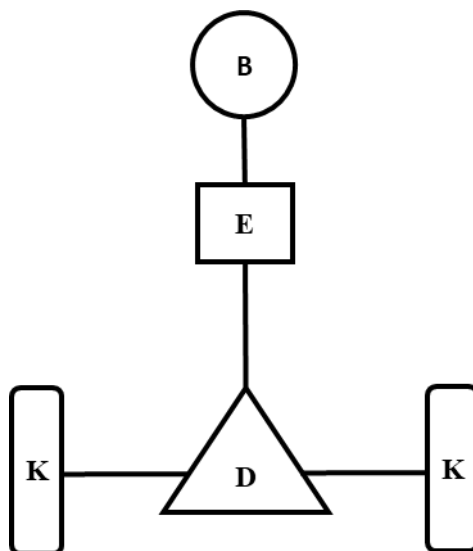
4 NÁVRH NĚKOLIKA TYPICKÝCH OBLASTÍ APLIKACE DANÉHO TYPU VOZIDLA

- a) armádní využití = průzkumné, transportní, doprovodné vozidlo.
- b) civilní využití = městské zóny (úklidové služby), = národní parky (průzkum, ostraha).
- c) Integrovaný Záchranný Systém = hasiči (průzkum, monitorování), = Horská služba (transport do nepřístupných oblastí).

5 Návrh modelových příkladů uspořádání mechanické koncepce

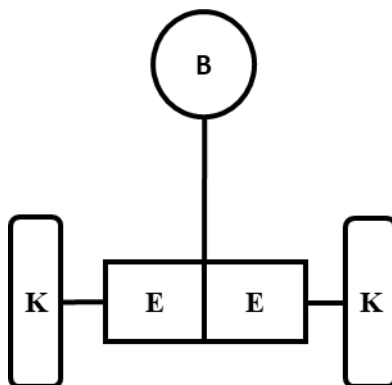
Hnací mechanismy elektrických silničních vozidel, zejména elektromobilů se zpravidla skládají z motoru, hnacího hřídele a diferenciálu s rozvodovkou.

- A. Motory pak mohou pohánět přední nebo zadní nápravu v závislosti na mechanickém návrhu konstrukce vozidla. Mým záměrem není použití tohoto modelu pohonu, vzhledem k tomu, že použití hnacího hřídele a diferenciálu s rozvodovkou by komplikovalo použití samostatných polonáprav a zejména by vylučovalo jednoduchou modulární stavbu bateriových a motorových bloků.



Obr. 12 varianta A

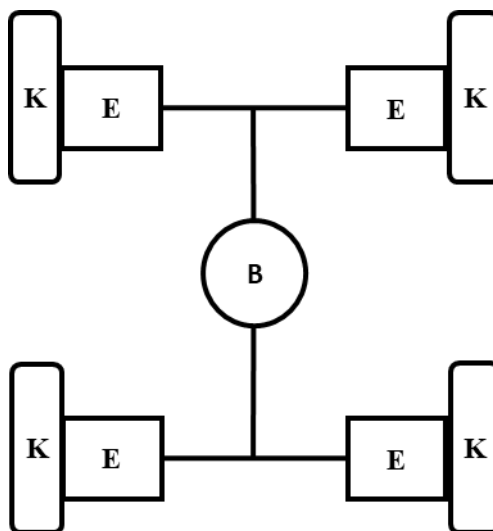
- B. Další možností je tandemové uspořádání elektromotorů, kdy jsou dva elektromotory na jedné poháněné nápravě a mechanická konstrukce pak nepotřebuje hnací hřídel a diferenciál s rozvodovkou. Mým záměrem je modifikace tohoto modelu pohonu, přičemž chci navrhnout samostatné bateriové bloky a samostatné motorové bloky se dvěma elektromotory, což umožní jednoduchou modulární stavbu bateriových a motorových bloků.



Obr. 13 varianta B

- C. Prostorově výhodný je princip umístění elektromotorů přímo do nábojů pojezdových kol. Mým záměrem není použití tohoto modelu pohonu, vzhledem

k tomu, že použití elektromotorů v nábojích pojezdových kol by komplikovalo pohyb vozidla v terénu, vzhledem k značným neodruženým hmotám pojezdových kol a samozřejmě by vylučovalo jednoduchou modulární stavbu bateriových a motorových motorových bloků.



Obr. 14 varianta C

Každé uspořádání mechanické koncepce A až C, má svoje konstrukční a návrhové výhody a zároveň i nevýhody, které mohou ovlivňovat konečné provedení elektrického a mechanického designu. Většinou nelze základní mechanické uspořádání vzájemně kombinovat, vzhledem k rozdílným elektrickým a mechanickým požadavkům při konstrukci vozidla. Relativně nejvolnější podmínky mechanického návrhu jsou zpravidla u počtu náprav. Nicméně obvykle počet náprav nepřesahuje počet tří náprav na vozidlo. V současnosti jsou prezentovány i mechanické konstrukce, kdy je elektromotor součástí diferenciálu a společně s náboji na poloosy s homokinetickými klouby tvoří jeden montážní celek.

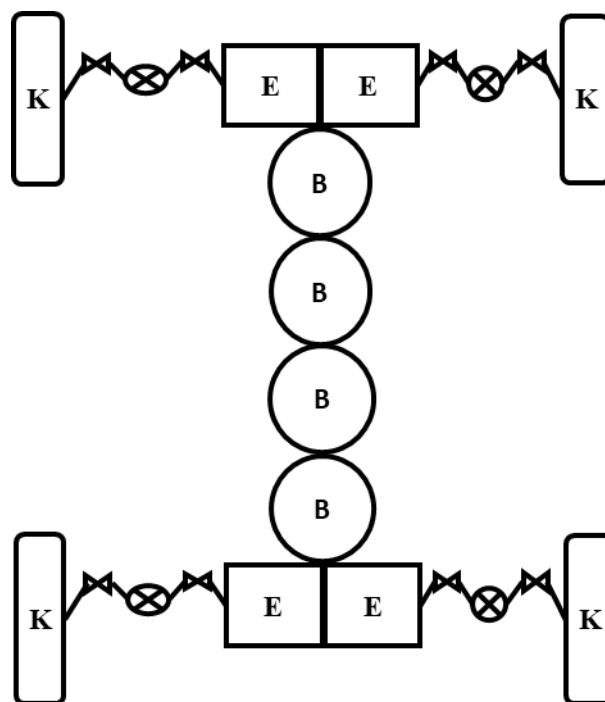
- D. Koncepčním prvkem mnou navrhovaného vozidla je spojení samostatných motorových bloků a bateriových bloku do jednoho celku, který tvoří podvozek vozidla. Motorový blok je tvořen ocelovou skříní a dvěma elektrickými motory. Každá poloosa je poháněna jedním elektrickým motorem. Bateriový blok je tvořen ocelovým profilem ve tvaru písmene U, v kterém jsou umístěny baterie o příslušné kapacitě.

Na motorový blok navazuje společný blok náprav a odpružení pro každou nápravu. Tento je tvořen dvěma polonápravami. Polonápravy jsou konstrukčně navrženy jako ocelový svařenec. Jeden konec svařence je kyvně uložen těsně u motorového bloku. Druhý konec svařence je kyvně uložen těsně u pojezdového kola.

Pohon pojezdového kola je zajištěn pomocí hřídele osazeného na obou koncích homokinetickými klouby. Přenos kroutícího momentu je zajištěn drážkovanými konci tohoto hřídele. Odpružení každého pojezdového kola je tvořeno ocelovou vinutou pružinou spojenou s kapalinovým tlumičem. Takto koncipovaný pružící a tlumící prvek je na horním konci uložen do karoserie vozidla a na spodním konci do svařence polonápravy.

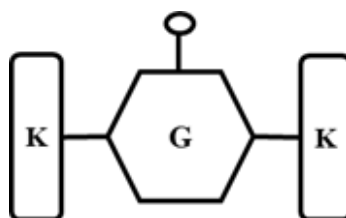
Součástí takto konstruované polonápravy je také kotoučová kapalinová brzda pro každé pojezdové kolo. Všechny tyto součásti tvoří spojený celek známý z automobilového průmyslu jako náprava McPherson.

Největším kladem mnou takto navržené konstrukce je dostatečný kroučící moment pro každou polonápravu. Dále pak možnost zapojením všech elektrických motorů získat 100 % trakci na poháněných pojezdových kolech. Díky jednoduché plynulé regulaci točivého momentu v elektromotorech a malým nárokem na maximální rychlost nemusí být v konstrukci vozidla použita převodovka ani diferenciál.



Obr. 15 varianta D

Variantně lze uvažovat o možnosti připojení přívěsu konstruovaného pro vedení elektrického generátoru, který by po dobu přesunu vozidla k plánovanému použití vyráběl elektrickou energii pro baterie.



Obr. 16 přídavný generátor

6 Řešení zdroje energie

Akumulátor určuje především jeho energie W_{bat} [kWh] která je omezena hmotností akumulátoru, která má být co nejnižší. Další kritérium pro volbu kapacity a typu ovlivňuje i pořizovací cena akumulátoru. Dalším požadavkem na akumulátor je vysoká životnost, počty dobíjecích cyklů. Dále musí akumulátor odolat, v našem případě horším prostředím, a havárii tak, aby nebyl nebezpečný svému okolí.

Protože je energie akumulátoru dána součinem jednotek [kW] a [h], pro její výpočet je důležité znát průměrný výkon P_c , a dráhu s , po který bude tento výkon odebírán. Při požadovaném dojezdu s nejméně 80 km a uvažované maximální rychlosti po rovině v 15 km . h⁻¹.

Při určení kapacity akumulátoru je třeba brát v úvahu další záporné faktory, jakými jsou:

- Zásobování ostatních elektrických zařízení ve vozidle (osvětlení, ovládací systémy řízení atd.)
- Samovybití akumulátoru
- Nižší venkovní teploty než optimální pracovní teplota akumulátoru
- Ztráty ve vedení a regulaci elektrického proudu

Výpočet kapacity akumulátorů

$$W_{bat} = \frac{P_c \times s}{V_{max}} = \frac{3,3 \text{ kW} \times 80 \text{ km}}{15 \text{ km/h}} = 17,5 \text{ kWh} \quad (1)$$

W_{bat}	[kWh]	je energie akumulátoru
P_c	[kW]	je výkon na rovině
s	[km]	je stanovený dojezd vozidla
V_{max}	[km/h]	je rychlost vozidla

Z výsledku vyplývá, že překonání vzdálenosti 80 km je minimální kapacita akumulátoru 16,5 kWh. Tento údaj je uvažován pro speciální kolové vozidlo jedoucí konstantní rychlostí 15 km/h při výkonu 3,3 kW. V reálném případě této hodnoty nemůžeme dosáhnout, protože k určení reálného dojezdu je zapotřebí spočítat, že vozidlo jede v určitých částech úseku do kopce, z kopce a působí na něj povětrnostní vlivy. Budeme uvažovat o 20 % vyšší kapacitu akumulátoru vlivem těchto jevů tj. 20 kWh. Pokud budeme uvažovat poměr 170 Wh/kg, dostaneme hmotnost akumulátoru 117 kg. Zde máme další rezervu, protože v prvotním zadání, byl hrubý odhad 150 kg. [27]

Pro naši aplikaci bych vybral akumulátory LiFePO4 protože mají schopnost dodat vyšší proud a především to že při extrémních podmínkách nevybuchují.

7 Koncepce trakčního motoru a jeho měniče

7.1 Specifikace požadavků na pohonnou jednotku vozidla

Pro návrh trakčního motoru a jeho součástí, musíme znát jeho dostatečný výkon. Pro zjednodušený výpočet potřebného výkonu trakčního motoru budu vycházet z překonání jízdních odporů. Mezi které patří odpor valení O_{fr} , odpor vzduchu O_v (který zanedbáme), a odpor částí přenosové soustavy O_{sous} (průměrná účinnost přenosu výkonu elektromotoru na kola). Dalšími požadavky na trakční motor speciálního kolového vozidla jsou:

- Regulace otáček jednoduchým a účinným způsobem.
- Nízká energetická náročnost, s tím související vysoká účinnost přeměny jakéhokoliv druhu energie na energii mechanickou.
- Technická jednoduchost provedení, co možná nejmenší počet dílů. Vyrobitelnost jednotlivých dílů, jejich smontovatelnost a demontovatelnost.
- Snadná výměna, která je důležitá z hlediska případných oprav.
- Vysoká spolehlivost, snadná nenáročná údržba.

Maximální hmotnost:

Maximální hmotnost byla zvolena vzhledem k určení speciálního kolového vozidla, zde je kladen nárok na co nejmenší hmotnost a rozměry. Do celkové hmotnosti budeme započítávat i 200 kg pro náklad.

$$m = 800 \text{ kg}$$

Součinitel valivého odporu:

Součinitel valivého odporu je volen jako průměrná hodnota mezi povrchy neupravená komunikace a hluboký písek viz. Tabulka:

$$f = 0,095$$

Tabulka 11 Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek

Povrch	Třecí součinitel f
Asfalt	0,010 ÷ 0,020
Beton	0,015 ÷ 0,025
Neupravená komunikace	0,040 ÷ 0,050
Štěrk	0,030 ÷ 0,040
Hluboký písek	0,15 ÷ 0,30

Maximální rychlost vozu:

Při výpočtech je použita rychlost $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tato rychlost je určena vzhledem k rychlosti běhu člověka. Vozidlo navrhuji pro využití dle kapitoly 4 Návrh několika typických oblastí aplikace daného typu vozidla. Zde je tato rychlost dostačující.

$$v_m = 15 \text{ Km/h} = 4,2 \text{ m/s}$$

Předpokládaný minimální dojezd:

Pro určení minimální hodnoty dojezdu kolového speciálního vozidla, nám poslouží fakt, že vojenská pěší uskupení působí do 20 km před hlavními jednotkami. K tomuto údaji připočteme návrat a rezervu pro splnění úkolů.

$$s = 80 \text{ km}$$

Součinitel odporu vzduchu:

Tuto hodnotu předem můžeme zanedbat vzhledem k čelní ploše a rychlosti vozidla.

Maximální úhel stoupání:

Maximální úhel stoupání je odvozen z trasy která měří 10 km, a je vedena z Bělé nad Radbuzou 442 m. n. m. na kopec Velký Zvon 862 m.n.m. a má průměrný úhel stoupání 7 % Tuto trasu bychom zvolili pro složitější výpočet a testování jak elektrických motorů, tak kapacity akumulátorů. Dále nám poslouží k výpočtu odporu valení do kopce O_{fk} . Pro výpočty se používá procentuální jednotka $w_s = 0,07$. Přepočteno na úhel = 4° .

Tíha vozidla: G

$$G = m \times g = 800 \times 9,807 = 7845,6 \text{ N} \quad (2)$$

g [ms⁻²] je gravitační zrychlení
 m [kg] je celková hmotnost

Odpor valení:

Vzniká jako důsledek deformace pneumatik při styku kol s tuhou podložkou. Pro výpočet výkonu elektromotoru zde budeme uvažovat odpor valení po rovině O_{fr} , odpor valení při jízdě do kopce O_{fk} .

Odpor valení při jízdě po rovině:

$$O_{fr} = f \times G = 0,095 \times 7845,6 = 745 \text{ N} \quad (3)$$

f [-] je součinitel valivého odporu (0,095)

Odpor valení při jízdě do kopce:

$$O_{fk} = f \times G \times \cos\beta = 0,095 \times 7845,6 \times \cos 4^\circ = 743 \text{ N} \quad (4)$$

$\cos \beta$ [°] průměrná hodnota stoupání

Odpor stoupání:

Odpor stoupání je poměrné zatížení vozidla gravitační silou v horizontální rovině. Tento poměr vychází z úhlu nakloněné roviny.

$$O_s = w_s \times G = 0,07 \times 7845,6 = 549 \quad (5)$$

w_s [%] průměrné stoupání vozovky

CELKOVÝ ODPOR A POTŘEBNÝ VÝKON

Celkový odpor udává sílu, kterou musí vozidlo překonat při jízdě v určité rychlosti. Vypočítá se pomocí součtu všech odporů.

Celkový odpor pro jízdu po rovině:

$$O_{cr} = O_{fr} = 743 = 745 \text{ N} \quad (6)$$

Výkon pro jízdu po rovině:

$$P_r = O_{cr} \times v_m = 745 \times 4,2 = 3129 \text{ W} = 3,1 \text{ kW} \quad (7)$$

Konečný výkon:

$$P_c = \frac{P_r}{\eta_1} = \frac{3129}{0,95} = 3294 \text{ W} = 3,3 \text{ kW} \quad (8)$$

η_1 [%] mechanická účinnost přenosového ustrojí η_1

Celkový odpor pro jízdu do kopce:

$$O_{cs} = O_{fk} + O_s = 743 + 549 = 1292 \text{ N} \quad (9)$$

Výkon pro jízdu do kopce:

$$P_s = O_{cs} \times v_m = 1292 \times 4,2 = 5426 \text{ W} = 5,4 \text{ kW} \quad (10)$$

Konečný výkon:

$$P_{cs} = \frac{P_s}{\eta_1} = \frac{5426}{0,95} = 5712 \text{ W} = 5,7 \text{ kW} \quad (12)$$

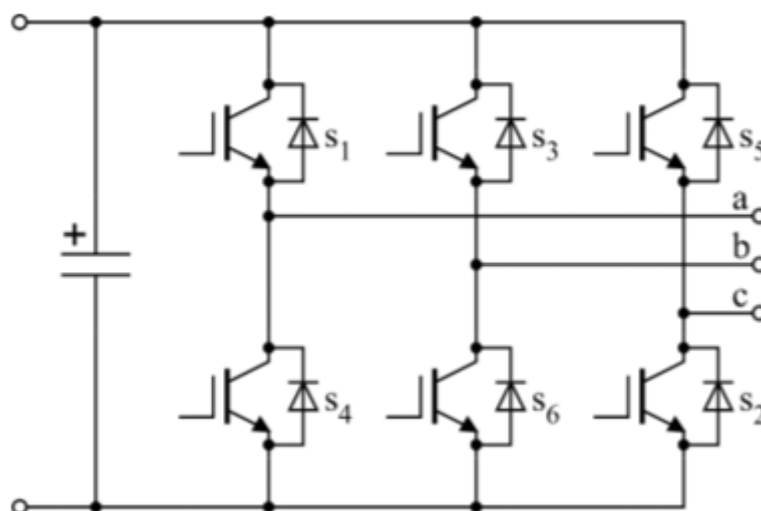
η_1 [%] mechanická účinnost přenosového ustrojí η_1

Pro naše účely bych navrhl ještě 15 % rezervu vzhledem k tomu, že jsem do tohoto výpočtu nezahrnul odpor zrychlení.

Požadovaný celkový výkon elektromotorů bude **6,5 kW**.

7.2 Trakční měnič

Trakční měnič upravuje stejnosměrné napětí baterie pro motor podle pokynů řídicího algoritmu. Většinou je motor třífázový střídavý, proto silový obvod měniče odpovídá třífázovému střídači (viz Obr. 12). Jako spínací součástky zcela převažují IGBT. Počet trakčních měničů odpovídá počtu motorů (obvykle jeden, ale modely Tesla dual motor mají dva, jeden pro každý motor). (viz Obr. 12): Třífázový střídač s IGBT tranzistory. Obvykle pracují v režimu sinusové pulzní šířkové modulace PWM s vysokofrekvenčním nosným kmitočtem 2-20kHz. [28]



Obr. 17 Třífázový střídač s IGBT tranzistory. [28]

8 Popis řízení a ovládaní

8.1 Řízení asynchronních motorů

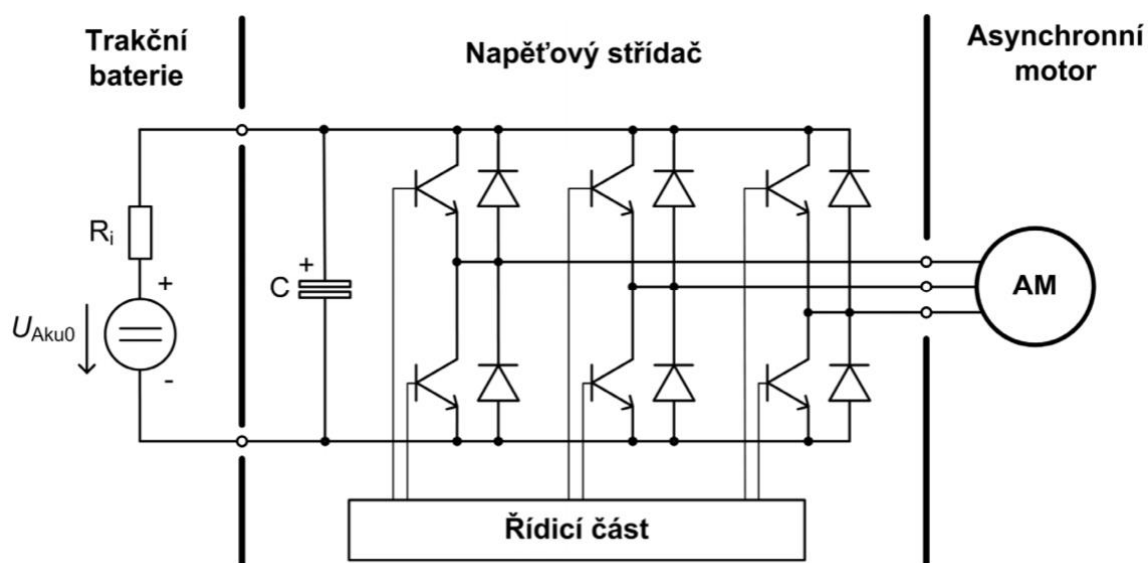
Dynamické a statické vlastnosti pohonu závisí na jeho struktuře a způsobu řízení. Důležitým hlediskem při výběru daného typu řízení je samozřejmě i jeho finanční dostupnost v závislosti na požadované kvalitě. Při využití v nezávislé trakci není vyžadována vysoká statická přesnost. Kvalitní řízení je ovšem nutné pro dosažení maximální účinnosti pohonu, a tím zvýšení dojezdu vozidla.

Obecně rozlišujeme tři základní typy řízení asynchronního motoru: skalární řízení (Scalar Control), vektorově orientované řízení (Field Oriented Control) a přímé řízení momentu (Direct Torque Control). Skalární řízení se dnes používá v devadesáti procentech aplikací a umožňuje regulaci otáček v širokém rozsahu. Toto řízení ovšem nezaručí kvalitní dynamické vlastnosti pohonu. Druhým typem řízení, které dnes stále více získává na významu díky finanční dostupnosti výkonové elektroniky a digitálních signálových procesorů, je řízení vektorové. Podle způsobu získávání informace o poloze vektoru magnetického toku ho dále dělíme na přímé a nepřímé. Třetím základním typem řízení je metoda přímého řízení momentu, při které se nereguluje vektor statorového proudu, ale přímo moment a magnetický tok ve zvoleném tolerančním pásmu. Pohon zkoumaný v rámci této bakalářské práce byl řízen pomocí vektorově orientovaného řízení.

Podstatou vektorového řízení je rozložení prostorového vektoru statorového proudu na dvě na sebe kolmé složky v rotujícím souřadném systému orientovaném na polohu vektoru magnetického toku. Tyto složky pak určují moment a magnetizaci stroje.

Při studiu chování pohonu a při testování vhodnosti řídicího algoritmu včetně ověření správnosti navržených regulátorů je třeba znát matematický model regulované soustavy. Při tvorbě modelu se vždy provádí různá zjednodušení a nerespektování skutečných dějů v pohonu. Čím lepší a přesnější model se podaří sestavit, tím lépe lze sledovat vliv jednotlivých jevů na celkové parametry soustavy a účinněji se pokusit o kompenzaci negativních vlivů.

Při analýze dějů ve střídavých trojfázových systémech se kvůli podstatnému zjednodušení využívá zavedení prostorového vektoru a jeho transformací do vztažných soustav otáčejících se rozdílnou rychlostí. [30]



Obr. 18 struktura trakčního pohonu nabíjeného ze stejnosměrného akumulátoru [30]

8.2 Problematika ovládání vozidla:

Hlavními požadavky na ovládání vozidla je změna směru jízdy a rychlost jízdy. Vedlejšími požadavky na ovládání vozidla je zvyšování trakce, tedy zapínání jednotlivých elektromotorů a dále pak změna jízdy vpřed nebo vzad. Z hlediska návrhu ovládání navrhovaného vozidla se profilovaly tři základní varianty.

- a) Přímé manuální ovládání.
- b) Dálkové ovládání kabelem.
- c) Dálkové ovládání rádiovým signálem

a) Přímé manuální ovládání.

Jedná se o umístění silových prvků na vozidlo, které pak přímo ovládá člověk-řidič. Z hlediska potřebných komponent je na vozidlo umístěno ergonomické pracoviště, v základních rysech shodné jako na osobním automobilu. Tedy sedadlo, volant, pedály a další prvky. Tento způsob ovládání navrhovaného vozidla jsem vyloučil, vzhledem k tomu,

že prioritní využití vozidla by mělo být bezposádkové, tak aby při jeho využití v rizikových oblastech byl člověk co nejvíce chráněn.

b) Dálkové ovládání kabelem.

Jedná se o umístění jak silových prvků na vozidlo, např. posilovač řízení, tak ovládacích prvků, např. elektrických serv, kdy jízdu vozidla prostřednictvím ovládací stanice provádí na dálku člověk-operátor. Z hlediska potřebných komponent je dominujícím faktorem kabel pro přenos řídicího signálu.

Tento způsob ovládání navrhovaného vozidla jsem vyloučil, vzhledem k tomu, že sice ovládání vozidla je bezposádkové, ale komplikace při tažení kabelu za vozidlem nemohou vyvážit výhody tohoto způsobu ovládání.

c) Dálkové ovládání rádiovým signálem.

Jedná se o umístění jak silových prvků na vozidlo, např. posilovač řízení, tak ovládacích prvků, např. elektrických serv, kdy jízdu vozidla prostřednictvím ovládací stanice provádí na dálku člověk-operátor. Z hlediska konstrukce ovládání vozidla pomocí RC soupravy je nezbytné vytvořit dva související systémové okruhy. Jednak rádiový, zejména vysílač, přijímač, serva a dále elektrický, především baterie, elektronický regulátor, spotřebiče, tedy silové prvky.

Tento způsob ovládání navrhovaného vozidla bych si zvolil. V dnešní době je problematika ovládání modelů, a to i velkých pomocí RC souprav velmi dobře zvládnutá a na trhu je dostatek profesionálních RC souprav. Zejména v oblasti frekvencí 2,4 GHz se jedná o zařízení, která by byla schopná plnit nároky na ovládání mnou navrhovaného vozidla. Variantně by bylo možné vozidlo doplnit o ovládaný stožár s kamerovým systémem. Operátor by tak měl možnost ovládat vozidlo i mimo přímý vizuální kontakt.

Závěr

Výsledkem této bakalářské práce je studie speciálního kolového vozidla s elektrickým pohonem.

Koncepčním prvkem mnou navrhovaného vozidla je spojení samostatných motorových bloků a bateriových bloku do jednoho celku, který tvoří podvozek vozidla. Motorový blok je tvořen ocelovou skříní a dvěma elektrickými motory. Každá poloosa je poháněna jedním elektrickým motorem. Bateriový blok je tvořen ocelovým profilem ve tvaru písmene U, v kterém jsou umístěny baterie o příslušné kapacitě.

Pro skutečné využití kolového vozidla bych vybral akumulátory LiFePO₄ protože mají schopnost dodat vyšší proud a především to že při extrémních podmínkách nevybuchují.

Použil bych asynchronní motor kvůli jeho odolnosti v nebezpečném prostředí. Má sice větší rozměry a schopnost využít záběrný momentu motoru je horší než u synchronního motoru, nicméně jsem si vybral asynchronní motor pro jeho ostatní výhody.

Klíčové součásti, které bych reálně pro stavbu speciálního kolového vozidla použil, zejména se jedná o měniče, systémy elektrického pohonu a řízení, bych použil z nabídky firmy UHS JAKOS a.s., Moravníky 1392, 686 01 Uherské Hradiště, info@zapiservice.cz

Všechny další potřebné komponenty a díly potřebné pro skutečnou realizaci speciálního elektrického vozidla jsou v dnešní době dosažitelné a vozidlo by bylo možno reálně sestrojít.

Bakalářská práce řeší všechny důležité aspekty návrhu speciálního vozidla a mohla by sloužit jako výchozí podklad pro vypracování strojírenské a elektrické konstrukční dokumentace.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] <http://docplayer.cz/1507784-Elektromobily-historie-a-soucasnost.html>
- [2] <https://www.ekobonus.cz/historie-elektromobilu-a-automobilu-na-cng-v-osobni-doprave>
- [3] https://auto.idnes.cz/prvni-hybridni-vuz-postavil-cech-bud-krizik-nebo-porsche-pey/automoto.aspx?c=A091023_002851_automoto_vok
- [4] <http://www.hybrid.cz/prvni-cesky-elektromobil-sestrojili-v-brne>
- [5] https://www.sauto.cz/katalogmodelu?category=1&manufacturer_id=1118&model_id=6495
- [6] <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/tri-etapy-rozvoje-elektrickych-vozidel-v-ceske-republice--14281>
- [7] https://cs.wikipedia.org/wiki/Škoda_Beta
- [8] <https://www.auto.cz/liaz-elektromobil-projekt-01-02-xgj-skoncil-fiaskem-109165>
- [9] https://auto.idnes.cz/po-cesku-uz-jezdi-elektricky-superb-da-se-koupit-fu1-/ak_aktual.aspx?c=A110701_151930_ak_aktual_fdv
- [10] https://auto.idnes.cz/video-elektricka-skoda-octavia-jezdi-paradne-ceka-se-ale-na-baterky-1cw-/auto_testy.aspx?c=A120113_161519_auto_testy_fdv
- [11] <http://www.armadninoviny.cz/cesky-vojensky-robot-taros-6c3976-v2.html>
- [12] <https://www.army-technology.com/projects/ultra-light-vehicle-ulv-project/>
- [13] https://www.qinetiq-na.com/wp-content/uploads/Brochure_TALON_2016-1.pdf
- [14] https://www.qinetiq-na.com/wp-content/uploads/Titan_DataSheet_LR.pdf
- [15] <http://docplayer.cz/5042-Zdroje-elektricke-energie-motorovych-vozidel.html>
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Electric-vehicle_battery
- [17] https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/23176/1/Bateriovy_management_s

- [oustavy_trakcnich_lithiovych_baterii_BP_-_Ondrej_Dostal.pdf](#)
- [18] <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/14242/1/Studie%20DC%20motor%20maleho%20vykonu.pdf>
- [19] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/>
- [20] <http://web.sstzr.cz/download/cat1/elektrotechnika/ez5-komutatorove-stroje.pdf>
- [21] <http://web.sstzr.cz/download/cat1/elektrotechnika/ez4-stridave-stroje.pdf>
- [22] BARTOŠ, Václav et al. Elektrické stroje. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006. 139 s. ISBN 80-7043-444-9.
- [23] MĚŘIČKA, Jiří, HAMATA, Václav a VOŤENÍLEK, Petr. Elektrické stroje. Vyd. 2, dotisk. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 311 s. ISBN 80-01-02109-2.
- [24] <http://web.sstzr.cz/download/cat1/elektrotechnika/ez4-stridave-stroje.pdf>
- [25] DANZER, Jiří. Elektrická trakce II. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. 167. ISBN 80-7082-814-5.
- [26] http://www.electroauto.cz/prestavby_suzuki.html
- [27] <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/lifepo4-akumulatory>
- [28] http://motor.feld.cvut.cz/sites/default/files/predmety/B1M14EPT/EPT_úloha5_2017_18_elektromobil.pdf
- [29] <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/ceska-firma-prestavuje-dodavky-a-autobusy-na-elektromobilym/r~86806c846b6e11e69d46002590604f2e/?redirected=1525886546>

Přílohy