

**Fakulta elektrotechnická
Regionální inovační centrum elektrotechniky**

**Současné koncepce pohonů pro elektromobily
a hybridní vozy**

Pracoviště: KEV/RICE
Číslo dokumentu: 22190 – 002 – 2018
Typ zprávy: Výzkumná zpráva
Řešitelé: Ing. Patrik Kalaj
Ing. Miroslav Byrtus, Ph.D.
Hlavní řešitel: prof. Ing. Zdeněk PEROUTKA, Ph.D.
Počet stran: 82
Datum vydání: 20. 1. 2018
Oborové zařazení: JA – Elektronika a optoelektronika, elektrotechnika

Zadavatel / zákazník:

Zpracovatel / dodavatel:

Západočeská univerzita v Plzni
Regionální inovační centrum
elektrotechniky
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

Kontaktní osoba:

Ing. Patrik Kalaj
tel. 37763 4194
kalaj@kev.zcu.cz

Tato práce vznikla s podporou projektů SGS-2018-009 a LO1607.

Anotace

Tato výzkumná zpráva se zabývá pohony pro hybridní a elektrická osobní vozidla. Ve zprávě jsou popsána řešení pohonů těchto vozidel, která se v současné době používají. Zpráva si klade za cíle zmapovat současný technický stav pohonů eklektických a hybridních vozidel, popsat jejich vlastnosti a určit jejich největší omezení, případně navrhnout možná řešení.

Klíčová slova

Hybridní vozidlo; Elektromobil; Pohon; Koncepce

Název zprávy v anglickém jazyce / Report title

Current concepts of drivetrain for electric and hybrid vehicle

Anotace v anglickém jazyce / Abstract

This research report deals with drivetrains for hybrid and electric vehicles. The drivetrain solutions of these vehicles, which are currently used, are further described. The main objectives of this report are to give an overview of technical drivetrain solutions for hybrid and electric vehicles, to describe their properties, to specify their greatest limitations and to propose possible solutions.

Klíčová slova v anglickém jazyce / Keywords

Hybrid Vehicle; Electric Car; Drive; Concept

Seznam symbolů a zkratk

PMSM	Synchronní motor s permanentními magnety
SM	Spalovací motor
ω_1	Úhlová rychlost nápravy a prvního elektrického motoru
ω_2	Úhlová rychlost druhého elektrického motoru
ω_{SM}	Úhlová rychlost spalovacího motoru
PM	Permanentní magnety
EV	Electric vehicle
ER	Extended range
IPM	Motory s vnitřními permanentními magnety (Internal Permanent Magnet)

Obsah

1 ÚVOD	6
1.1..... ROZDĚLENÍ VOZIDEL S HYBRIDNÍM NEBO ELEKTRICKÝM POHONEM	6
1.2..... STUPNĚ HYBRIDIZACE POHONU	6
2 PLNĚ HYBRIDNÍ VŮZ A PLUG-IN HYBRID	8
2.1..... SÉRIOVÉ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU	10
2.1.1 BMW i3 REX.....	11
2.1.2 Volvo ReCharge Concept	12
2.1.3 EP Tender – přípojný vozík s generátorem za elektromobil.....	13
2.2..... PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU	14
2.2.1 Mechanické spojení spalovacího a elektrického motoru.....	15
2.2.1.1 BMW 7 ActiveHybrid	17
2.2.1.2 BMW 740e iPerformance	18
2.2.1.3 Range Rover – P400e (Land Rover)	19
2.2.1.4 Volkswagen Golf GTE.....	19
2.2.1.5 Audi Q7 e-tron quattro	21
2.2.2 Individuální pohon náprav.....	22
2.2.2.1 BMW i8.....	22
2.2.3 Individuální pohon náprav + mechanické spojení spalovacího a elektrického motoru	23
2.2.3.1 Volvo XC90 T8 Twin Engine	23
2.2.3.2 Audi TT Offroad - Concept.....	24
2.2.3.3 Lamborghini Asterion LPI 910-4	25
2.3..... SÉRIO-PARALELNÍ USPOŘÁDÁNÍ HYBRIDNÍHO POHONU	26
2.3.1 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – mechanický dělič výkonu	26
2.3.1.1 Toyota prius 1,8 Hybrid e-CVT	27
2.3.1.2 Lexus RX 400h.....	28
2.3.1.3 Lexus GS 450h.....	30
2.3.1.4 Lexus LC 500h	31
2.3.1.5 Ford Mondeo HEV - HF35	31
2.3.1.6 Chevrolet volta - 2. Generace	33
2.3.2 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – elektrický dělič výkonu.....	36
2.3.3 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – Bez děliče výkonu	38
2.3.3.1 Honda Accord Hybrid – 2017.....	38
2.3.3.2 Mitsubishi Outlander PHEV	40
2.3.3.3 Chevrolet Volt – 1. generace	42
3 ELEKTROMOBILY BEV	45
3.1..... POHON CELÉ NÁPRAVY – ZADNÍ	46
3.1.1 Tesla S.....	46
3.1.2 Lucid	49
3.1.3 Tesla 3	50
3.2..... POHON CELÉ NÁPRAVY – PŘEDNÍ	51
3.2.1 Volkswagen e-Golf.....	51
3.2.2 Mercedes třídy B Electiv Drive	53
3.2.3 Octavia Green E Line	53
3.2.4 Chevrolet Spark EV	54
3.3..... INDIVIDUÁLNÍ POHON NÁPRAV	54
3.3.1 Tesla X	54

3.4.....	PŘÍMÝ POHON ZADNÍ NÁPRAVY ELEKTROMOBILU BEZ PŘEVODOVKY	55
3.5.....	INDIVIDUÁLNÍ POHON KOLA - MOTOR ZABUDOVANÝ V KOLE	56
3.5.1 <i>Protean Electric</i>		56
3.5.1.1 Brabus 4WD Full Electric		58
3.6.....	INDIVIDUÁLNÍ POHON KOLA - MOTOR ULOŽEN NA PODVOZKU	59
3.6.1 <i>Mercedes-Benz SLS E-Cell</i>		59
3.6.2 <i>Rimac Concept One</i>		61
4 FORMULE E		64
4.1.....	JEDEN MOTOR PŘÍČNĚ ULOŽEN - 2 RYCHLOSTNÍ STUPNĚ (RENAULT E.DAMS – 2. SEZONA)	64
4.2.....	JEDEN MOTOR PŘÍČNĚ ULOŽEN – BEZ ŘAZENÍ (RENAULT E.DAMS - 3. SEZONA)	65
4.3.....	JEDEN MOTOR PODÉLNĚ ULOŽEN - 3 RYCHLOSTNÍ STUPNĚ (2. A 3. SEZONA ABT SCHAEFFLER AUDI SPORT)	65
4.4.....	DVA MOTORY - BEZ ŘAZENÍ (NEXT EV 2 A 3 SEZONA A DS VIRGIN RACING 2 SEZONA)	66
5 ZÁVĚR		67
PŘÍLOHA		79

1 Úvod

Dnešním trendem u silničních vozidel je využívat k pohonu buď čistě elektrický pohon, nebo kombinaci elektrického a spalovacího motoru tzv. hybridní pohon. Důvodem jsou především požadavky na snížení spotřeby pohonných hmot a omezení výfukových zplodin. Oba způsoby pohonu mají různá technická řešení se svými výhodami i nevýhodami. A právě těmto řešením, jejich vlastnostem a praktickému použití v automobilovém průmyslu je věnována tato práce.

1.1 Rozdělení vozidel s hybridním nebo elektrickým pohonem

Vozidla s hybridním nebo elektrickým pohonem lze rozdělit do několika skupin. U hybridních vozů to jsou full hybridy a plug-in hybridy. V případě elektromobilů se jedná o vozy typu BEV a REX. Vozidla, která se označují jako REX, jsou zařazena v sériových hybridech, jelikož splňují princip sériového hybridu.

Full hybrid/plně hybridní vůz

- Může být poháněn elektrickým motorem, spalovacím motorem nebo kombinací obou
- Obsahuje převodovku nebo dělič výkonu např. planetová převodovka
- Nelze dobíjet ze sítě; dobíjení akumulátoru probíhá při regenerativním brzdění nebo prostřednictvím spalovacího motoru

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) Plug-in hybrid

- Značně podobná konstrukce pohonu jako u full hybridu, navíc lze akumulátory dobíjet ze sítě
- Větší dojezd na elektrický motor než full hybrid

BEV (Battery Electric Vehicle) elektrovozidlo

- Plně poháněno elektrickým motorem
- Energie je uložena v akumulátorech, je získávána ze sítě a rekuperací

REX (Range Extender)

- Pohon elektrickým motorem, stejně jako u BEV
- Akumulátory se dobíjí primárně ze sítě
- Spalovací motor + generátor pro dobíjení akumulátorů - zvýšení dojezdu

1.2 Stupně hybridizace pohonu

Micro hybrid

Vozidla, která jsou takto označena, jsou vybavena tzv. systémem start/stop. Jedná se o nejjednodušší hybrid, někde se označuje jako nepravý hybrid. Pohon vozidla zajišťuje po celou dobu spalovací motor. Rozdíl oproti klasickému vozidlu se spalovacím motorem je v tom, že je umožněno časté zhasnutí a opětovné nastartování spalovacího motoru. Tato vlastnost je zajištěna speciálně navrženým startérem. Dalo by se říct, že je předimenzován. Podstatnou výhodou vylepšené verze neboli tzv. 2. generace micro hybridů je možnost přes startér rekuperovat energii při brzdění a tím dobíjet akumulátor. Vozidlo není možné provozovat čistě na ekletický pohon a elektrický stroj se nijak nepodílí na pohonu vozidla.

Použití tohoto systému má za následek snížení emisí a spotřeby, spalovací motor neběží při stání na volnoběh.

Při použití systému start/stop se udává, že množství emisí může klesnout u kombinované jízdy o několik procent (5-8%). Pokles množství emisí bude do značné míry záviset na četnosti zastavení a stylu jízdy. Tento systém se spíše uplatní v hustém provozu ve městě, kdy vozidlo bude častěji zastavovat. Řídící jednotka zhasne motor tehdy, když jeho běh není zapotřebí. K této situaci dochází při splnění některé z předem daných podmínek, např. rychlost vozu klesne pod danou rychlost, zároveň je vyřazeno a motor je zahřátý. Snížení spotřeby není příliš velké, udává se maximálně kolem 0,1 l na 100 km. Automobilky zavedli tento systém hlavně kvůli snížení emisí, především pak emisí změřených při testech NEFZ.

Mild hybrid

Dalším stupněm hybridního pohonu je Mild hybrid. Jedná se o vozidlo, které využívá po celou dobu jízdy spalovací motor. Elektrický motor se na pohonu podílí tím, že asistuje spalovacímu motoru jen v některých situacích, např. při rozjezdu či zrychlování. Většinou jsou tyto vozy vybaveny i funkcí start/stop a dokážou rekuperovat. Elektrický motor nemůže samostatně pohánět vozidlo.

Full hybrid

Jedná se o vozidla, která mohou být poháněna jen spalovacím motorem jen elektrickým nebo kombinací. Dále popsané hybridní pohony jsou typu full hybrid.

2 Plně hybridní vůz a Plug-in hybrid

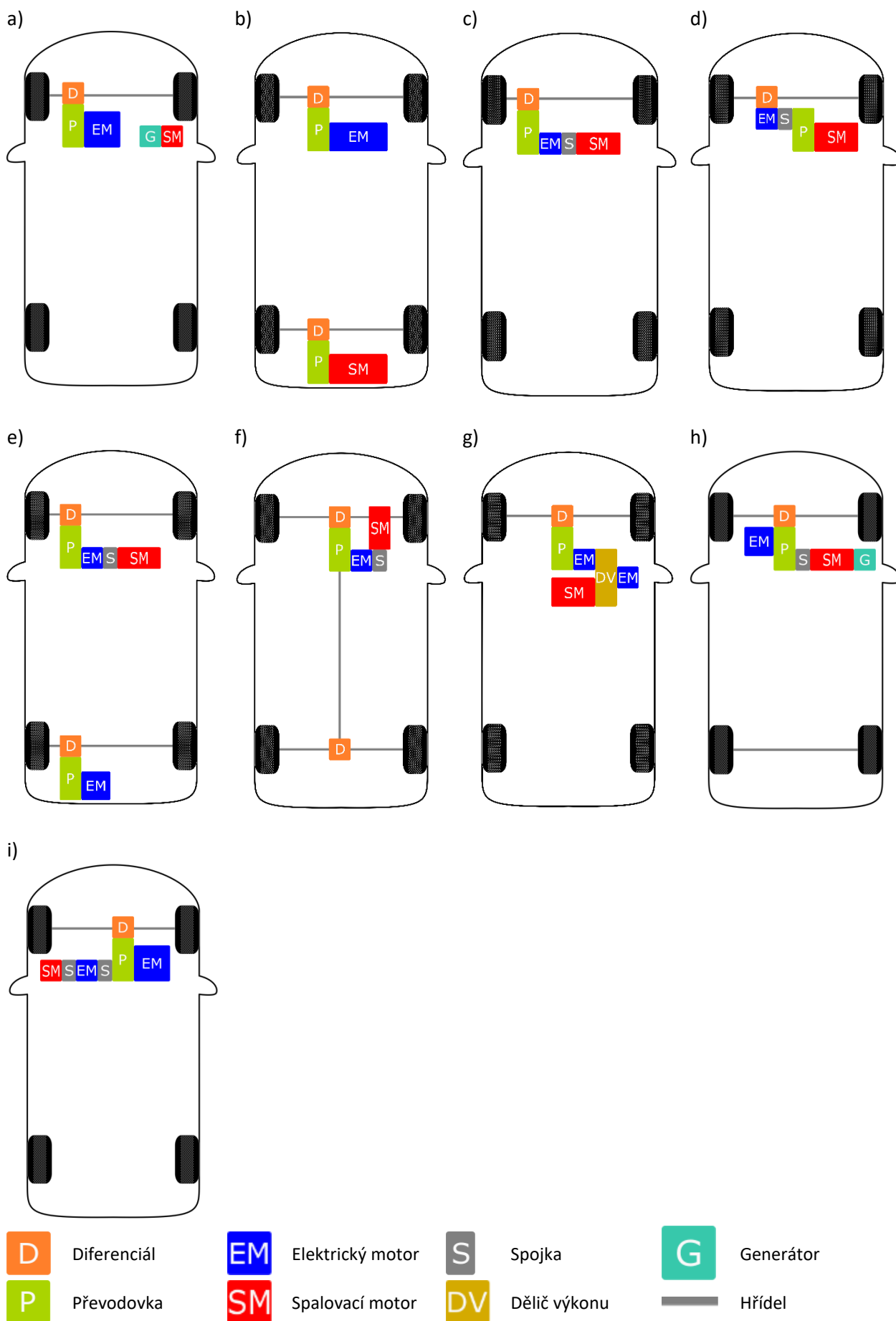
Hlavní rozdíl mezi hybridem a plug-in hybridem, je ten, že plug-in hybrid lze dobíjet i ze sítě. Dnes je většina vozidel s hybridním pohonem plug-in, lze je tedy nabíjet i z elektrické sítě. Plně hybridní vozy a plug-in hybridy jsou dále označovány jako hybridní vozy, respektive vozidla s hybridním pohonem.

Hybridní vozidlo pro svůj pohon využívá kombinaci spalovacího a elektrického motoru, a to v různých uspořádáních. Jednotlivé druhy motorů (spalovací a elektrický) přispívají k jízdě různou měrou. Na obrázku 1 jsou ukázány zobrazeny různé možnosti pohonu hybridních vozidel. Tyto varianty pohonu jsou pak dále v práci podrobněji popsány a jsou pro ně uvedeny konkrétní vozidla. U hybridních vozů jsou tři základní topologie pohonů: sériová, paralelní a kombinovaná.

Sériový hybridní pohon je zobrazen ve variantě a), kdy hlavní pohon je realizován elektrickým motorem a spalovací motor slouží pro nabíjení akumulátoru nebo pro přímé napájení elektromotoru. Spalovací motor se nepodílí na pohonu nápravy.

Paralelní pohon je zobrazen u variant b), c), d), e) a f). U varianty b) není mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru. Tento pohon je realizován tak, že jednu nápravu pohání elektrický motor a druhou spalovací motor. Další varianty již mají mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru. U varianty c) je elektrický motor spojen se spalovacím jen spojkou před převodovkou. Moment se z elektrického motoru přenáší na kolo přes převodovku a diferenciál. Zatím co u varianty d) je elektrický motor spojen se spalovacím přes převodovku a spojkou a moment z elektrického motoru se na nápravu přenáší jen přes diferenciál. Varianta e) je velmi podobná variantě c), rozdíl je v tom, že poháněné jsou obě nápravy. Jedna náprava je poháněna hybridním pohonem a druhá čistě elektrickým. Varianta f) má oproti variantě e) pohon všech kol realizovaný pomocí kardanového hřídele, který přenáší moment na zadní nápravu.

Kombinovaný hybridní pohon s děličem výkonu je znázorněn na variantě g). Jedná se o pohon s mechanickým děličem výkonu – např. planetová převodovka. Další varianta kombinovaného hybridního pohonu je u varianty h) a i). Tyto pohony nemají mechanický ani elektrický dělič výkonu. Obsahují spojky a převodovku s fixními převody nebo planetovou převodku, která ale neslouží jako dělič výkonu. U varianty h) slouží druhý elektrický stroj pouze jako generátor pro dobíjení akumulátoru.



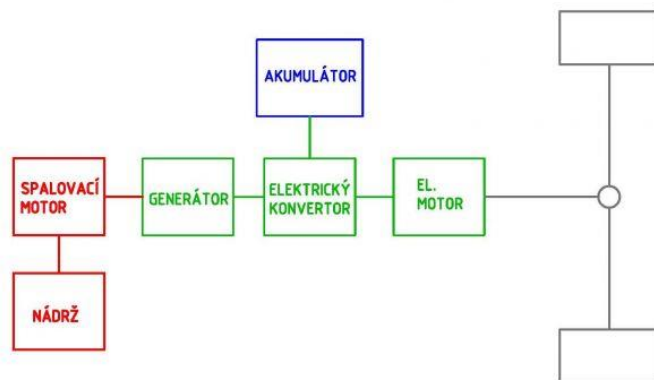
Obr. 1 Možnosti pohonu u hybridních vozů

- a) Sériový hybridní pohon
- b) Paralelní hybridní pohon 4x4 - individuální pohon náprav; elektrický a spalovací motor nejsou mechanicky spojeny, přední náprava - elektrický motor a zadní náprava - spalovací motor
- c) Paralelní hybridní pohon - mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru, elektrický motor je před převodovkou
- d) Paralelní hybridní pohon - mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru, elektrický motor za převodovkou
- e) Paralelní hybridní pohon 4x4 - individuální pohon náprav, zadní náprava - elektrický motor, přední náprava - mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru
- f) Paralelní hybridní pohon 4x4, pohon zadní nápravy přes kardanový hřídel, mechanické spojení elektrického a spalovacího motoru.
- g) Kombinovaný hybridní pohon s mechanickým děličem výkonu
- h) Kombinovaný hybridní pohon bez mechanického děliče výkonu – druhý el. stroj slouží pouze jako generátor
- i) Kombinovaný hybridní pohon bez mechanického děliče výkonu – druhý el. stroj slouží jako generátor i jako motor

2.1 Sériové uspořádání hybridního pohonu

U sériového uspořádání jsou jednotlivé komponenty uspořádány za sebou, jak je zachyceno na obrázku 2. Spalovací motor zde slouží spolu s generátorem pro dobíjení akumulátoru nebo přímo pro výrobu elektrické energie, kterou se napájí přímo elektromotor. Není tedy nutné mechanické spojení spalovacího motoru a hnane nápravy. Elektrický motor je spojen s nápravou, která je poháněna, stejně jako klasický elektromobil. Lze tedy použít podobné uspořádání elektrického pohonu jako v případě elektromobilu, které je zobrazeno na obrázku 56 - Možnosti uspořádání pohonu u elektromobilu.

Spalovací motor může pracovat v úzkém pásmu otáček. Tudíž lze zvolit takový režim, který je pro motor ideálnější z pohledu účinnosti, spotřeby a emisí. Pokud se vezme účinnost přenosu od spalovacího motoru až na nápravu, není tato účinnost příliš vysoká, je zde totiž značný počet přeměn energií. Akumulátory lze rovněž dobíjet pomocí regenerativního brzdění. Toto upořádání je velmi podobné vozům typu REX, kde spalovací motor slouží pro zvýšení dojezdu. Dalo by se říct, že elektromobil typu REX je jistou verzí sériového uspořádání hybridního pohonu, kde spalovací motor je už jen jako rezerva v případě delší jízdy bez možnosti dobití, většinou se jedná o příplatkovou výbavu.



Obr. 2 Uspořádání sériového hybridu [42]

U sériového upořádání je potřeba jen minimum mechanických prvků, a to u spojení mezi generátorem a spalovacím motorem a pak mezi hlavním elektrickým motorem a hnanou nápravou. Dálo by se říct, že se jedná o jednodušší hybridní pohon, co se týče konstrukce.

Sériový koncept pohonu jistě bude mít značnou hmotnost, přeci jen obsahuje minimálně dva elektrické stroje a spalovací motor. Tudíž se nabízí možnost ve zlepšení v odlehčení celého pohonu, např. využití lehčí slitiny kovů pro spalovací motor. Další možnost je zlepšit účinnost v řetězci přeměny paliva (benzínu) na elektrickou energii, tedy provozovat spalovací motor v účinnějším bodě. Také by stálo za zvážení využít motor s Atkinsonovým cyklem, či přeplňované motory.

2.1.1 BMW i3 REX

Elektromobil s možností využití spalovacího motoru pro prodloužení dojezdu.

Bez spalovacího motoru: hmotnost 1195 kg, zrychlení z 0-100 km/h 7,2 s

Se spalovacím motorem: hmotnost 1315 Kg, zrychlení z 0-100 km/h 7,9 s

Elektrický pohon

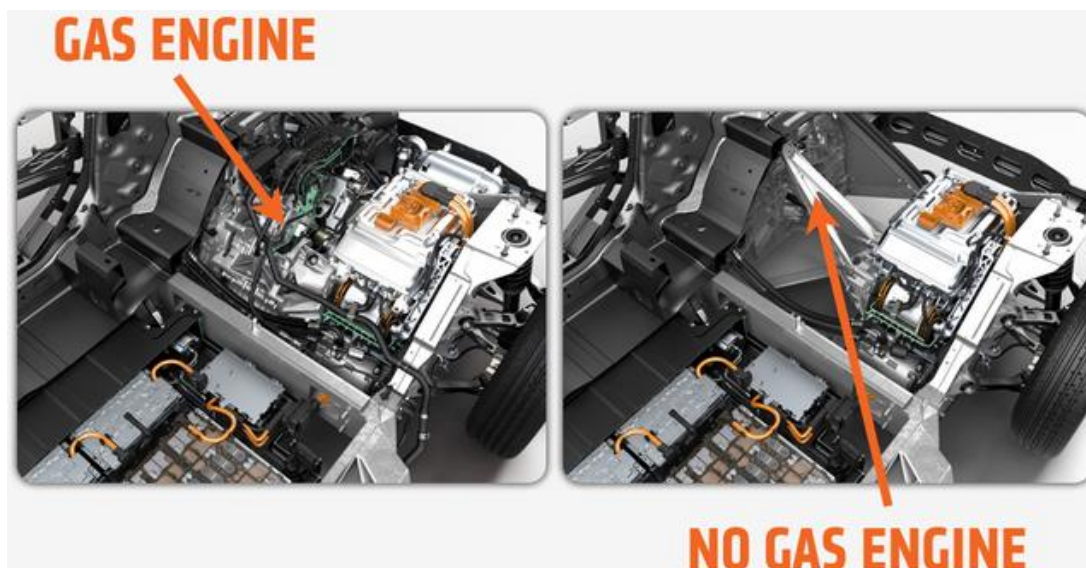
- Převodovka dvoustupňová fixní
- Výkon 75 kW při 4800 ot/min, maximální výkon 125 kW, maximální točivý moment 250 Nm, maximální otáčky 11 400 ot/min
- Synchronní motor s PM (HSM) - zvláštní geometrie IPM, motor navržen pro vysoký točivý moment, 6 pól páru, kapalinové chlazení, hmotnost motoru 65 kg, patent US20120267977A1

Spalovací motor

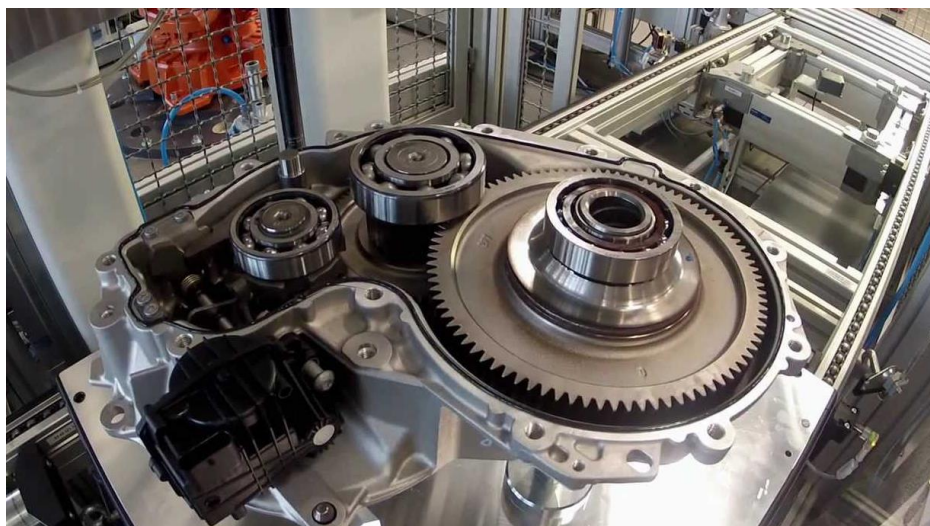
- Dvouválcový zážehový motor o objemu 647 cm³, 4 ventily na válec, zdvih válců 66 mm průměr vrtání válců 79 mm,
- Výkon 25 kW při 5000 ot/min, maximální točivý moment 55 Nm při 4300 ot/min



Obr. 3 Zadní hnaná náprava BMW i3 bez spalovacího motoru [12]



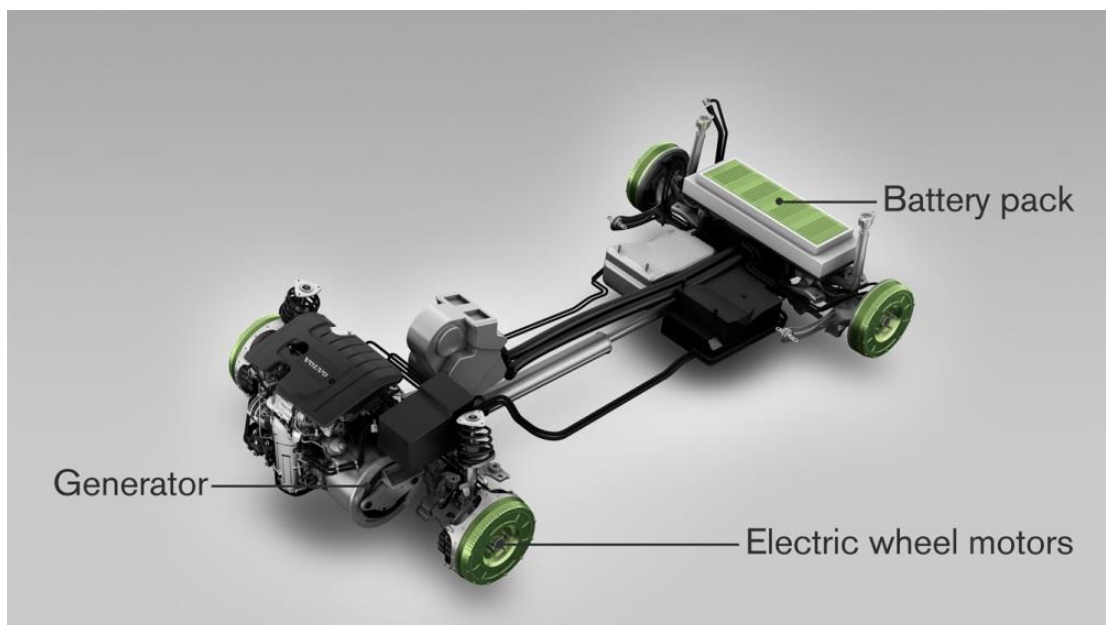
Obr. 4 Pohon BMW i3; vlevo se spalovacím motorem, vpravo bez spalovacího motoru[94]



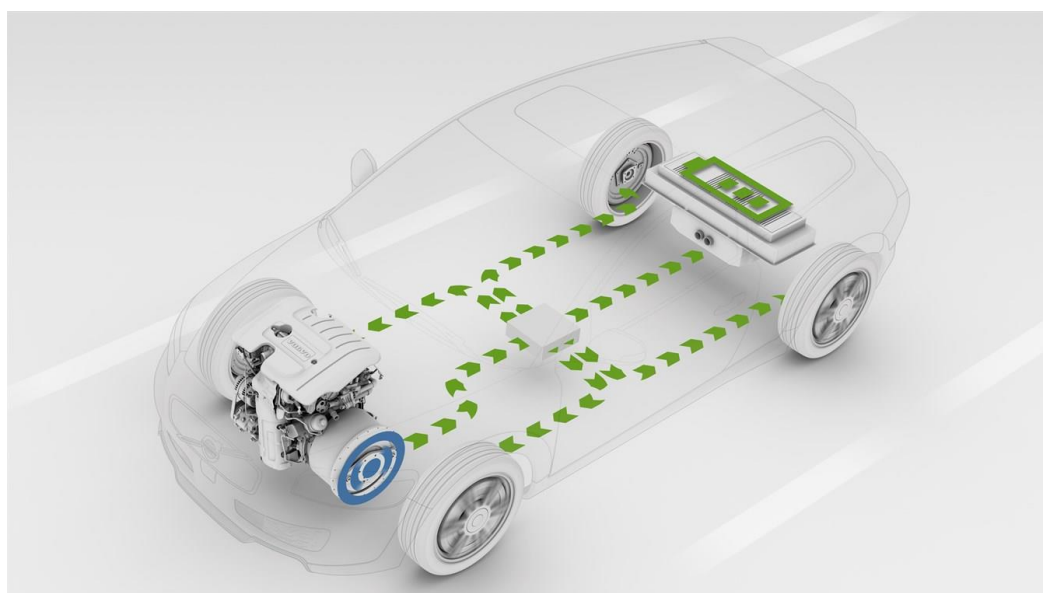
Obr. 5 Převodovka z BMW i3 – při sestavení [33]

2.1.2 Volvo ReCharge Concept

Jedná se o koncept od společnosti Volvo z roku 2008. Základem jsou 4 elektromotory instalované v kole. Dále je ve voze instalovaný generátor pro napájení motorů nebo pro dobíjení akumulátoru. Generátor je poháněn čtyřválcovým naftovým motorem o objemu 1,6 l. jedná se tedy o čistě sériový koncept hybridu. Na obrázcích 6 a 7 je tento koncept zobrazen. Motory jsou od společnosti PML FlightLink. Zrychlení tohoto vozu je z 0-100 km/h za 9 s a maximální rychlost 160 km/h.



Obr. 6 Vizualizace pohonu Volva [66]



Obr. 7 Náskres toku energie z generátoru [66]

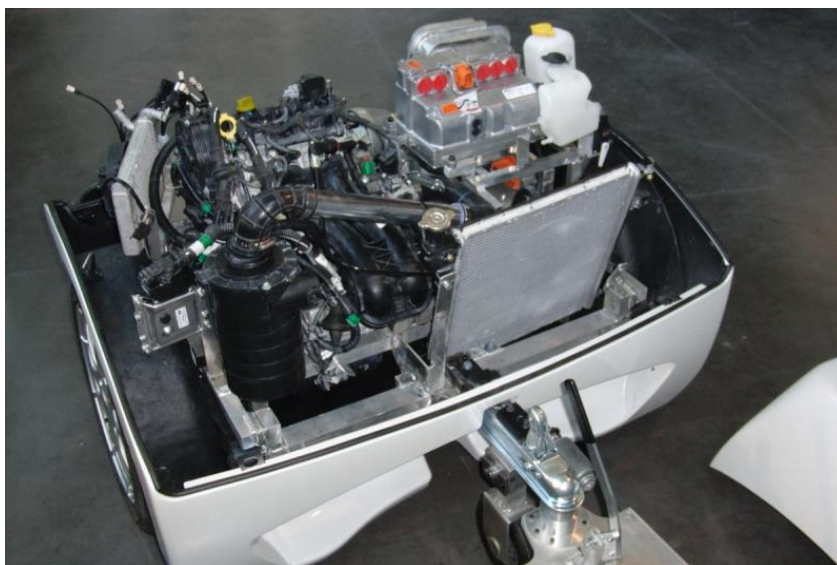
Tento koncept pohonu, má výhody i nevýhody individuálního pohonu zabudovaného v kole, který je detailněji popsán v kapitole 3.5.1. Spalovací motor generátoru, který je určen pro napájení motoru či nabíjení akumulátoru, může běžet v optimálních otáčkách, jen v době, kdy je to vyžadováno. Celý tento pohon bude mít značnou hmotnost a dále bude velmi finančně náročný. Jistá výhoda by mohla plynout z nízkého počtu mechanických součástí podílejících se na pohonu vozidla.

2.1.3 EP Tender – přípojný vozík s generátorem za elektromobil

Pro prodloužení dojezdu elektromobilu lze využít tento přívěsný vozík, který obsahuje spalovací motor a generátor. Tím se vlastně z elektromobilu stane sériové hybridní vozidlo. Přívěsný vozík obsahuje spalovací motor o objemu 600 cm³ a výkonu 22 kW, který prostřednictvím generátoru dobíjí akumulátory. Celková hmotnost vozíku se pohybuje kolem 250 kg.



Obr. 8 Přípojný vozík EP Tender za elektromobilem [96]



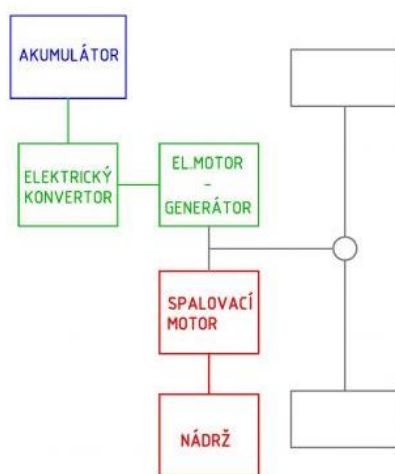
Obr. 9 Odklopený vozík EP Tender [95]

2.2 Paralelní uspořádání hybridního pohonu

Jak spalovací, tak elektrický motor slouží přímo k pohonu vozidla, na obrázku 10 je schematicky toto uspořádání ukázáno. Obvykle obsahuje jeden elektrický motor/generátor a jeden spalovací motor. Pro spalovací motor je nutné, aby byl pohon vybaven spojkou a převodovkou s proměnnými převody. Vozidlo je možné pohánět buď jen spalovacím, elektrickým nebo kombinací obou motorů. Elektrický pohon se samostatně využívá převážně při nižších rychlostech např. ve městech, kde je požadavek na nízké emise nebo při rozjezdu. Oproti sériovému hybridu nebo kombinovanému nemusí mít paralelní hybrid tak výkonný elektrický motor, jelikož není určen jako hlavní pohon, tudíž může být i menší/lehčí. Na druhé straně je u něj instalován výkonnější spalovací motor. Při požadavku na krátkodobé zrychlení např. při předjíždění se začne podílet na pohonu nápravy i elektrický motor, tím se po jistou dobu zvedne špičkový výkon celého vozu. Častým uspořádáním je umístění elektromotoru mezi spalovacím motorem a převodovkou. U pohonu všech kol lze spalovacím motorem pohánět jednu nápravu a elektrickým motorem druhou. Tento způsob lze označit jako individuální pohon náprav.

Výhodou oproti běžnému vozu se spalovacím motorem je možnost rekuperace při brzdění a následné využití této energie. Za další kladnou vlastnost se označuje zlepšení provozních podmínek pro spalovací motor obzvlášť v nízkých otáčkách (rychlostech), kdy jej může zcela

nahradit elektrický motor, nebo při požadavku na akceleraci může elektrický motor pomáhat spalovacímu. U této koncepce je důležité rozhodnout, jak výkonné motory se použijí. Zda se použije výkonný spalovací motor a elektrický motor nižšího výkonu by jen pomáhal spalovacímu motoru, nebo naopak se využije menší spalovací motor, který by poháněl nápravu jen ve vyšších rychlostech, navíc ještě za přispění výkonnějšího elektrického motoru. Ideální by bylo výkony motorů zvolit tak, aby při nízké rychlosti, např. ve městě, mohl být vůz poháněn jen elektricky a to po dostatečnou dobu nebo vzdálenost, Je však nutné dostatečně dimenzovat akumulátory. Zatímco ve vyšších rychlostech je vůz poháněn spalovacím motorem s případnou asistencí elektrického motoru při potřebě akcelarovat. V tomto případě je tedy nutné počítat i s dostatečnou kapacitou akumulátoru, což by mohlo vést k podstatnému zvýšení hmotnosti vozu. Použití vysoce výkonného spalovacího a elektrického motoru a akumulátoru s vysokou kapacitou by bylo jistě značně nákladné a hmotnost celého vozu by značně vzrostla.



Obr. 10 Uspořádání paralelního hybridu [42]

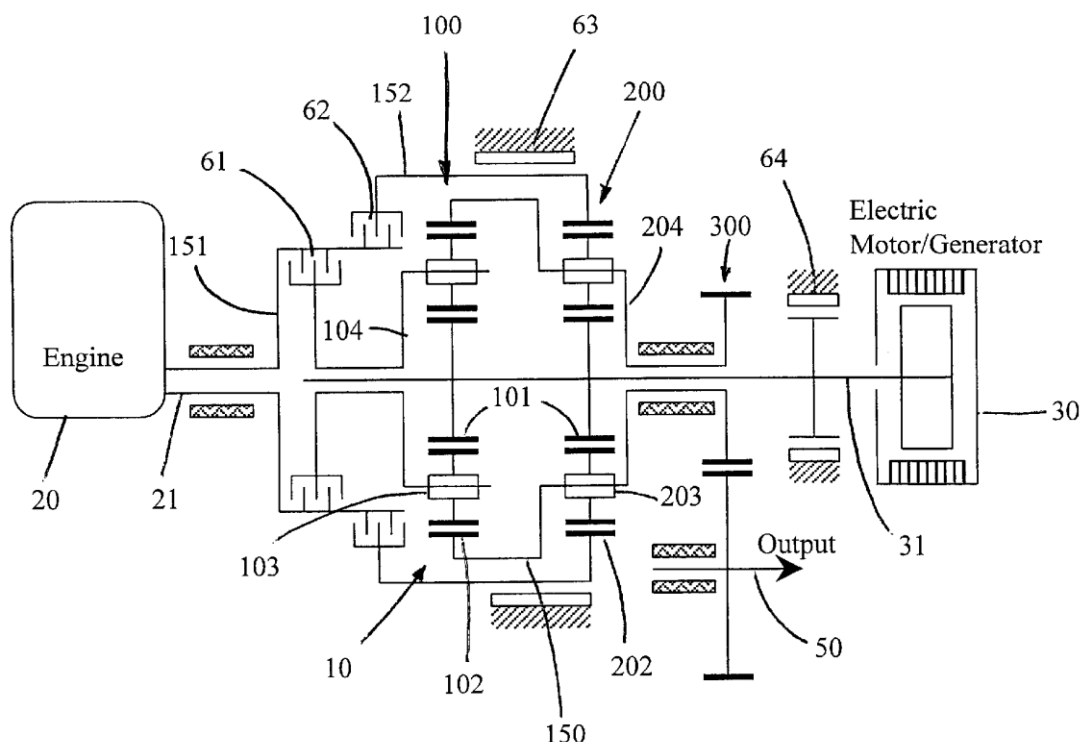
Použití paralelního spojení u hybridního vozu je dnes asi jednou z nejpoužívanějších uspořádání a především pak varianta mechanického spojení spalovacího motoru a elektrického motoru s uložením elektrického motoru před převodovkou. Tato varianta je pro automobilky zřejmě nejschůdnější při požadavku trhu na hybridní vozy s nižší spotřebou a nižšími emisemi.

2.2.1 Mechanické spojení spalovacího a elektrického motoru

Spalovací motor lze označit v tomto případě jako hlavní pohon a elektrický se spíše využívá při požadavku na akceleraci nebo rozjezd, případně lze jet po určitou dobu s omezenou rychlostí čistě elektricky. Elektrický motor je tedy využit pro snížení spotřeby a emisí spalovacího motoru. Časté uložení elektrického motoru bývá mezi spalovacím motorem a převodovkou. Dále lze elektrický motor umístit až za převodovku, a to z důvodu účinnější rekuperace, ale elektrický motor zas musí být navržen s ohledem na vyšší otáčky. Mezi spalovací a elektrický motor je pak v obou případech vložena spojka, která umožňuje jet krátkou dobu čistě elektricky nebo rekuperovat při brzdění. Řešení obsahuje jen jeden elektromotor.

Další možností jak "spojit" spalovací a elektrický motor je přes planetovou převodovku, kdy by byla jedna hřídel výstupní, jedna vstupní hřídel pro spalovací motor a druhá pro elektrický. Mechanismus by musel obsahovat i příslušné spojky. V patentu US6592484 je využito pro spojení spalovacího a elektrického motoru planetové převodovky, kdy jsou

použity hned dvě tyto převodovky a dále řešení obsahuje 4 spojky. Náskres uspořádání je na obrázku 11. Toto řešení má několik režimů, ty jsou popsány v tabulce 1.



10	Planetová převodovka	61,62	Lamelové spojky	104,204	Unašeč
20	Spalovací motor	63,64	Pasové spojky	151	Náboj
21	Výstupní hřídel se spal. motorem	100,200	Planetové soukolí	152,150	Rozbočovač
30	Elektrický motor/generátor	101	Centrální kolo	300	Jednoduchá převodovka
31	Výstupní hřídel s el. motorem	102,202	Korunové kolo		
50	Výstupní hřídel	103,203	Planetová kola		

Obr. 11 Náskres pohonu se dvěma planetovými převodovkami - paralelní hybrid z patentu US6592484 [50]

Tabulka 1 Užitečné režimy pohonu z patentu US6592484 [50]

	Operační mód	61	62	63	64	Provozní podmínky el. motoru
1	Elektrický motor			X		Motor
2	Spalovací + el. motor 1	X		X		Motor
3	Spalovací + el. motor 2		X			Motor
4	Spalovací + el. motor 3	X	X			Motor
5	Variabilního převodu + režim nabíjení za provozu	X				Generátor
6	Spalovací motor 1	X		X		Volnoběh
7	Spalovací motor 2		X		X	Stacionární
8	Spalovací motor 3	X	X			Volnoběh
9	Spalovací motor 4	X			X	Stacionární
10	Rekuperace 1	X		X		Generátor
11	Rekuperace 2		X			Generátor
12	Rekuperace 3	X	X			Generátor
13	Rekuperace 4			X		Generátor

2.2.1.1 BMW 7 ActiveHybrid

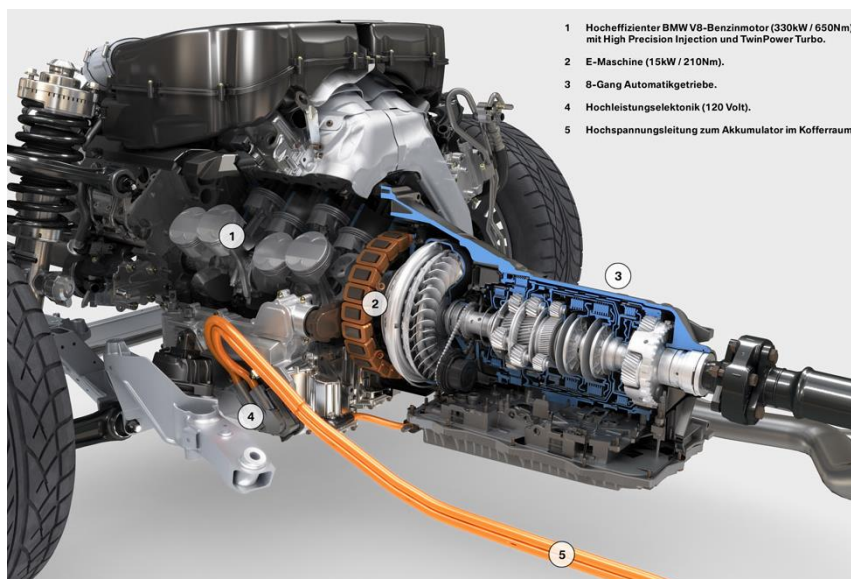
- Pohon zadní nápravy

Model z roku 2010:

- BMW TwinPower Turbo zážehový motor v8 s přímým vstřikováním s objemem 4395 cm³ – 4 ventily na válec, výkon 330 kW a točivý moment 650 Nm, zdvih válců 88,3 mm, vrtání válců 89 mm, kompresní poměr 10:1
- Osmi rychlostní převodovka
- Synchronní motor 15 kW 210 Nm, hmotnost elektromotoru 23 kg
- Maximální výkon pohonu 342 kW při 5500-6000 ot/min, maximální točivý moment 700 Nm při 2000-4500 ot/min

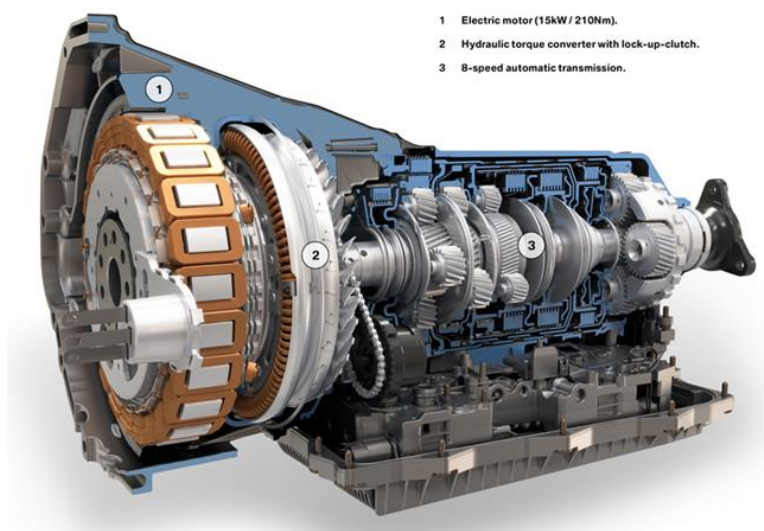
Model z roku 2012:

- BMW TwinPower Turbo zážehový šestiválec s přímým vstřikováním s objemem 2979 cm³ – 4 ventily na válec, výkon 235 při 5800 ot/min. točivý moment 450 při 1300-4500 ot/min, zdvih válců 89,6 mm, vrtání válců 84 mm, kompresní poměr 10,2:1
- Synchronní motor 40 kW 210 Nm
- Celkový výkon 260 kW



- | | |
|--|------------------------|
| 1 Spalovací motor | 4 Výkonová elektronika |
| 2 Elektromotor | 5 Přívodní kabely |
| 3 Osmi-rychlostní automatická převodovka | |

Obr. 12 Pohon BMW 7 ActiveHybrid [46]



- | | | |
|----------------|--|---|
| 1 Elektromotor | 2 Hydraulický měnič
krouticího momentu se
zámkovou spojkou | 3 Osmi rychlostní
automatická převodovka |
|----------------|--|---|

Obr. 13 Převodovka s motor/generátorem BMW 7 ActiveHybrid [46]

2.2.1.2 BMW 740e iPerformance

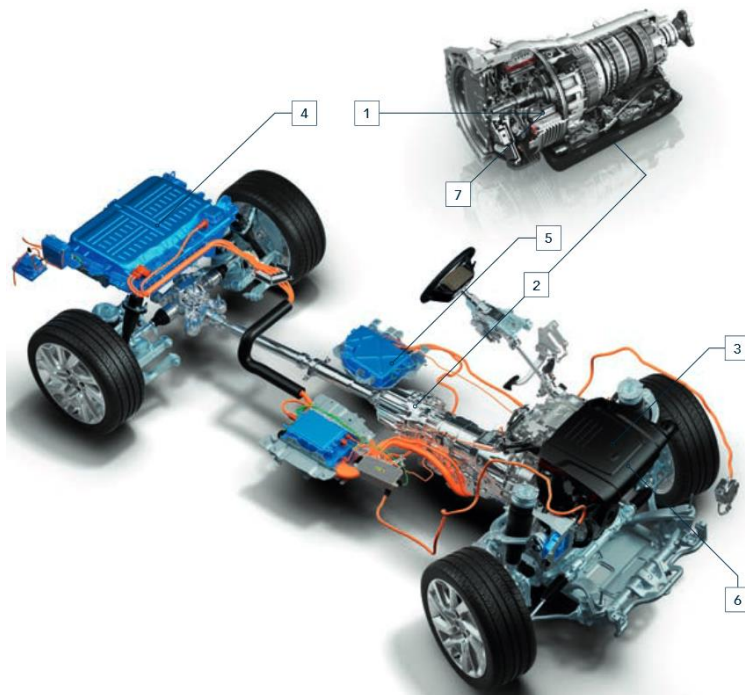
- 2016/2017
- Osmi rychlostní převodovka
- Zážehový čtyřválec BMW TwinPower Turbo výkon 190 kW při 5000–6500 ot/min a točivý moment 400 Nm při 1550–4400 ot/min, zdvih válce 94,6 mm a vrtání válce 82 mm, kompresní poměr je 10,2:1
- Kapalinou chlazený elektromotor integrován do převodovky vozidla, výkon 83 kW a maximální točivý moment 250 Nm, maximální otáčky 3170 ot/min
- Celkový výkon pohonu 240 kW a celkový točivý moment 500 Nm



Obr. 14 Pohon BMW 740e iPerformance [51]

2.2.1.3 Range Rover – P400e (Land Rover)

- Pohon všech kol (AWD)
- Osmi rychlostní převodovka
- Zážehový řadový čtyřválec (4 ventily) Ingenium Si4 2,0 l o výkonu 221 kW při 5500 ot/min a točivý moment 400 Nm při 1500-4000 ot/min, vrtání válce 83mm, zdvih válce 92mm, kompresní poměr 9,5:1
- Elektromotor 85 kW 275 Nm,
- Maximální výkon systému 297 kW při 5500 ot/min, maximální kroutící moment 640 Nm při 1500-3500 ot/min



Elektromotor

Spalovací motor

Nabíječka

Převodovka

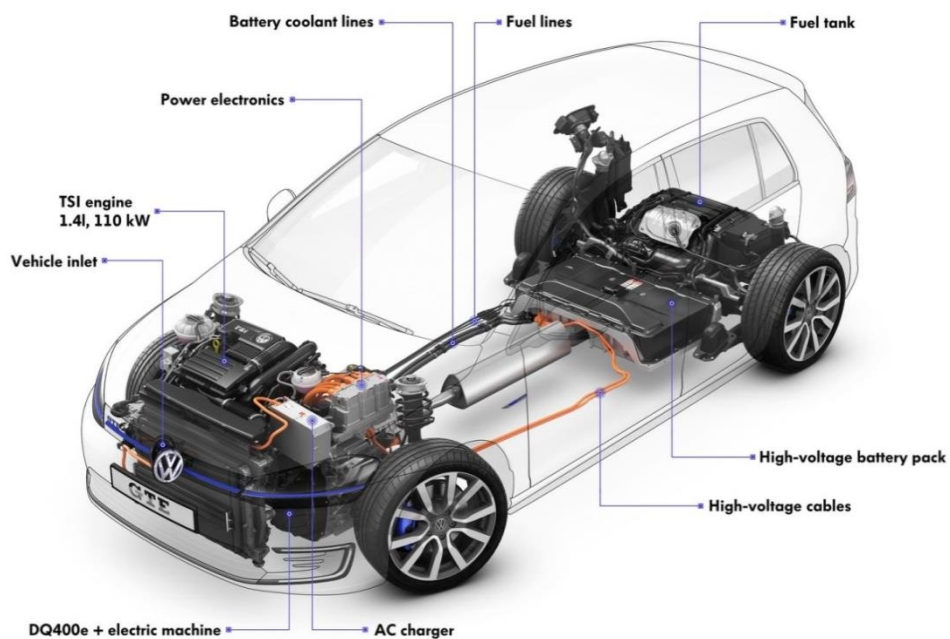
Akumulátor

Startovací generátor

Obr. 15 Vizualizace pohonu u Range Rover – P400e [69]

2.2.1.4 Volkswagen Golf GTE

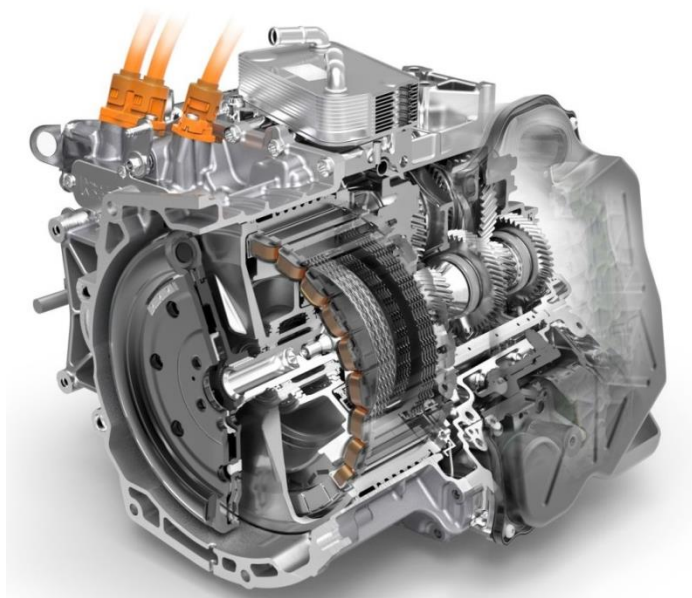
- Hnaná přední náprava
- Čtyřválcový benzinový motor 1,4 l TSI s přímým vstřikováním 4 ventily na válec, výkonem 110 kW, průměr vrtání válce 74,5 mm, zdvih 80 mm
- Šestirychlostní dvouspojková převodovka DSG
- Elektromotor 75 kW
- Maximální celkový výkon pohonného systému je 150 kW při 5000-6000 ot/min a točivý moment 350 Nm při 1600-3500 ot/min



Obr. 16 Golf GTE [72]



Obr. 17 Pohon Golfu GTE [72]



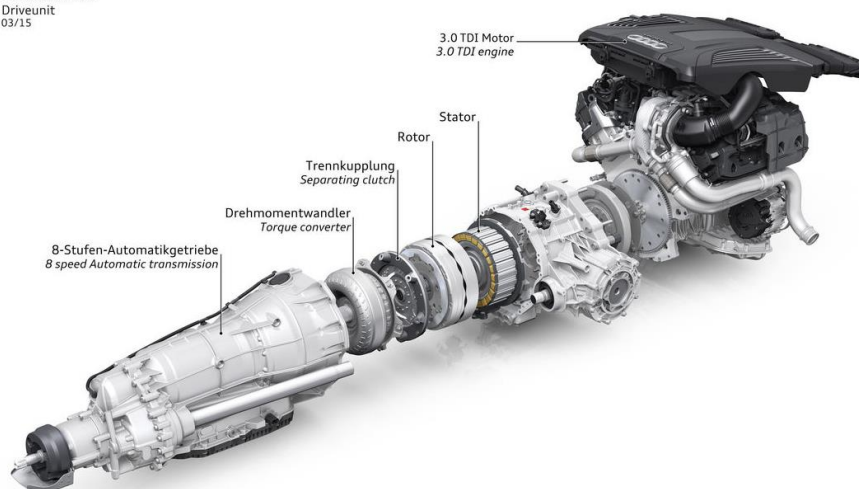
Obr. 18 Elektrický motor u Golfu GTE [72]

2.2.1.5 Audi Q7 e-tron quattro

- Šestiválcový vidlicový vznětový motor s turbodmychadlem 3.0 TDI, 4 ventily na válec, maximální výkon 190 kW při 3250-4500 ot/min a maximální točivý moment 600 Nm při 1250-3000 ot/min
- Elektromotor krátkodobý špičkový výkon 94 kW a špičkový točivý moment 350 Nm, synchronní motor s vnějším statorem
- Celkový špičkový výkon pohonu 275 kW a špičkový točivý moment 700 Nm
- Osmi rychlostní převodovka Tiptronic, stálý pohon všech kol, maximální rychlost jen elektricky 135 km/h

Audi Q7 e-tron 3.0 TDI quattro

Antriebsseinheit
Driveunit
03/15



Obr. 19 Pohon Audi Q7 [84]

Audi Q7 e-tron 3.0 TDI quattro

E-Maschine
Electric motor
03/15



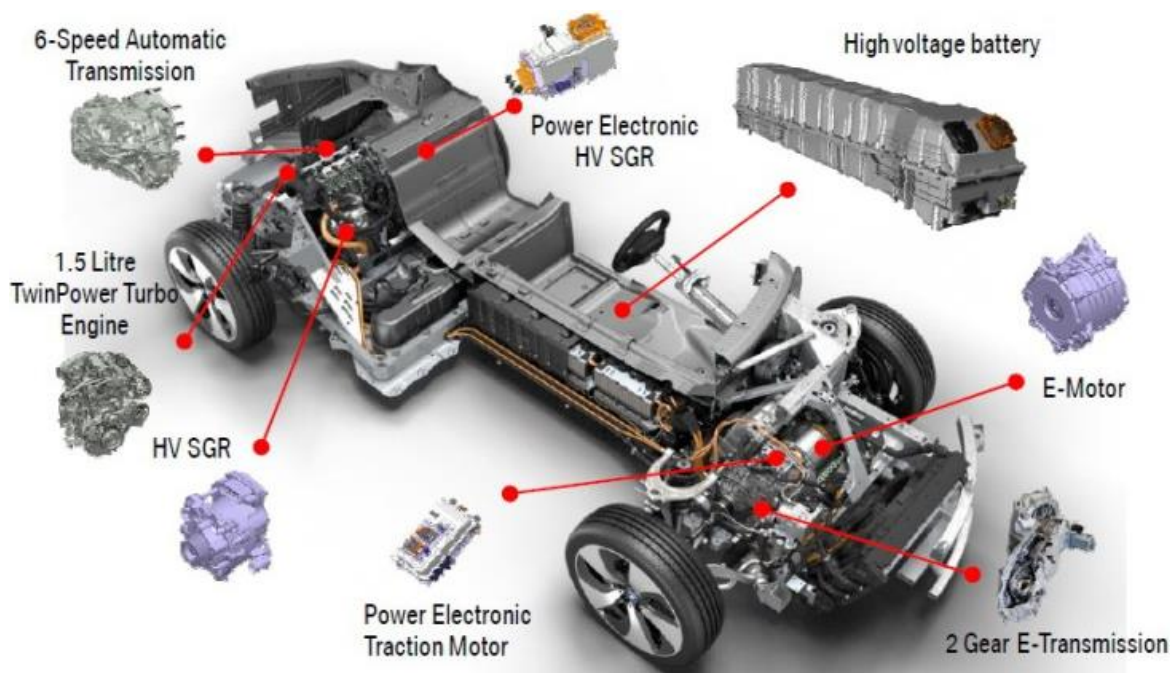
Obr. 20 Elektrický motor z pohonu Audi Q7[84]

2.2.2 Individuální pohon náprav

U tohoto způsobu pohonu vozidla má každá náprava vlastní pohon, jedná se o individuální pohon náprav. Jednu nápravu pohání elektrický motor a druhou spalovací. Není tedy mechanické spojení mezi spalovacím a elektrickým motorem jako v předchozím případě. Lze jet čistě na elektrický motor, na spalovací motor nebo oba motory využívat k pohonu najednou. Dalo by se říct, že v jednom vozu jsou instalovány dva nezávislé pohony.

2.2.2.1 BMW i8

- Pohon všech kol, elektrický motor na přední nápravě, spalovací motor na zadní nápravě
- Maximální rychlost 250 km/h, pouze elektrický pohon 120 km/h
- Zážehový tříválec 1,5 s turbodmychadlem, maximální výkon 170 kW při 5800 ot/min, maximální točivý moment při 320 Nm při 3700 ot/min, 4 ventily na válec, zdvih válce 94,6 mm, průměr vrtání válce 82, kompresní poměr 9,5:1
 - Šesti rychlostní automatická převodovka
- Synchronní motor s maximálním výkonem 96 kW, maximální točivý moment 250 Nm,
 - Dvou rychlostní převodovka dvoustupňová, na vstupní hřídeli 11 400 ot/min, špičkový točivý moment na výstupu převodovky 2800Nm, řazení probíhá na prvním stupni
 - Dvou rychlostní převodovka od GKN pro elektrický motor BMW i8 je na obrázku 22.
 - Hmotnost 27 kg a rozměry menší než 325 mm x 562 mm x 313 mm (jen převodovka)
- Zrychlení 0 -100 km/h za 4,4 s



Obr. 21 Upořádání pohonu v BMW i8 [35]



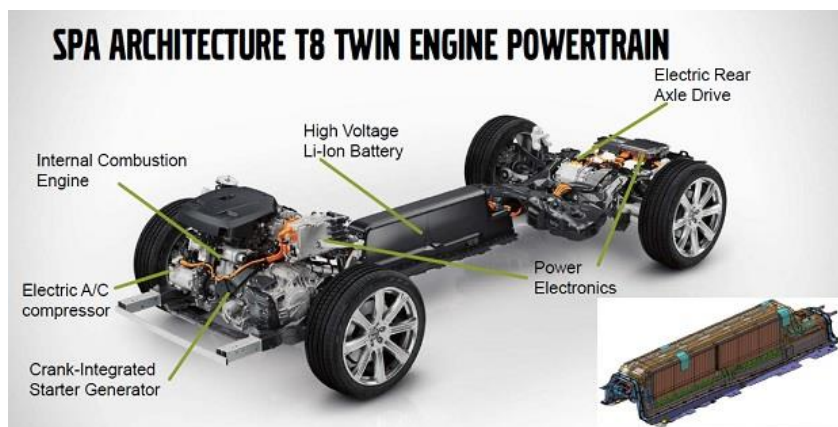
Obr. 22 Převodovka elektrického pohonu z BMW i8 [37]

2.2.3 Individuální pohon náprav + mechanické spojení spalovacího a elektrického motoru

Každá náprava má vlastní pohon jako v předchozím případě. Navíc je spalovací motor mechanicky spojen s dalším elektrickým motorem, který většinou slouží jako startér, generátor a “pomáhá” spalovacímu motoru. Na jednom vozidle se nacházejí 3 motory, dva elektrický a jeden spalovací.

2.2.3.1 Volvo XC90 T8 Twin Engine

- Na zadní nápravě elektrický motor maximální výkon 64 kW a točivým momentem 240 Nm
- Na přední nápravě přeplňovaný zážehový čtyřválec 2,0 l s výkonem 235 kW točivým momentem 400 Nm, průměr vrtání válců 82 mm, zdvih motoru 93,2 mm, kompresní poměr 10,8:1
- Osmi rychlostní automatická převodovka
- Mezi spalovací motor a převodovku je vložen elektrický motor 34 kW a poskytuje točivý moment 150 Nm, je určen jako startér, generátor, případně pro zvýšení výkonu
- Celkový výkon pohonu je 299 kW a točivý moment 640 Nm
- Vozidlo má na zadní nápravě integrovanou převodovku, diferenciál a motor v jednom pouzdře
- znázorněno na obrázku 24



Obr. 23 vizualizace pohonu u Volva XC90 T8 [62]



Obr. 24 Pohon zadní nápravy – integrovaná převodovka, diferenciál a motor v jednom pouzdře [63]

2.2.3.2 Audi TT Offroad - Concept

- Zadní náprava - elektromotor o výkonu 85 kW a točivém momentu 270 Nm
- Přední náprava - přeplňovaný zážehový čtyřválec 2,0 TFSI o výkonu 215 kW a točivém momentu 380 Nm + elektromotor o výkonu 40 kW a točivém momentu 220 Nm – integrovaný do šesti rychlostní převodovky e-S tronic, dvojitá spojka
- Celkový výkon pohonu 300 kW a točivý moment 350 Nm
- Maximální rychlost 250 km/h, jen pohon zadní nápravy (elektrický) 130km/h, zrychlení z 0-100 km/h za 5,2s

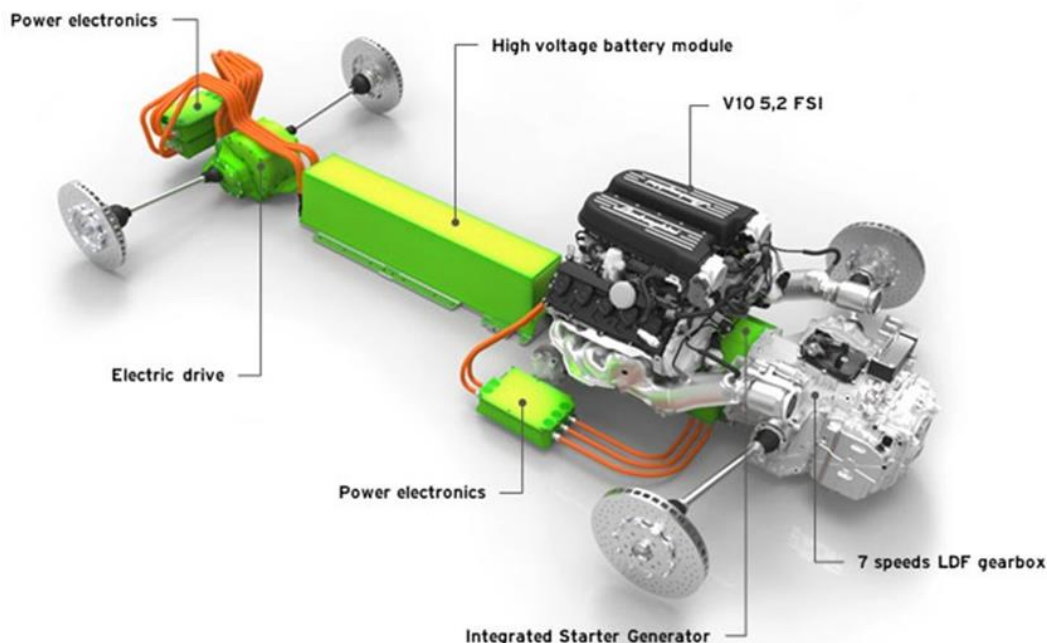


Obr. 25 Vizualizace pohonu u Audi TT - hybrid [65]

2.2.3.3 Lamborghini Asterion LPI 910-4

Pohon všech kol, přední náprava dva elektromotory - každé přední kolo by mělo mít vlastní motor – dvoumotorová jednotka, zadní náprava hybridní pohon – spalovací + elektrický motor zabudovaný v převodovce

- Maximální rychlost 320 km/h, maximální rychlost na elektrický pohon 125 km/h, zrychlení z 0-100km/h je 3s
- Vznětový motor V10 o objemu 5,2l atmosférický, výkon 449 kW při 8250 ot/min, maximální točivý moment 560 Nm, kompresní poměr 12,7:1 průměr vrtání válců 84,5 mm, zdvih válce 92,8 mm
- Elektrické motory poskytují dohromady výkon 221 kW
- Sedmi rychlostní převodovka s dvojitou spojkou



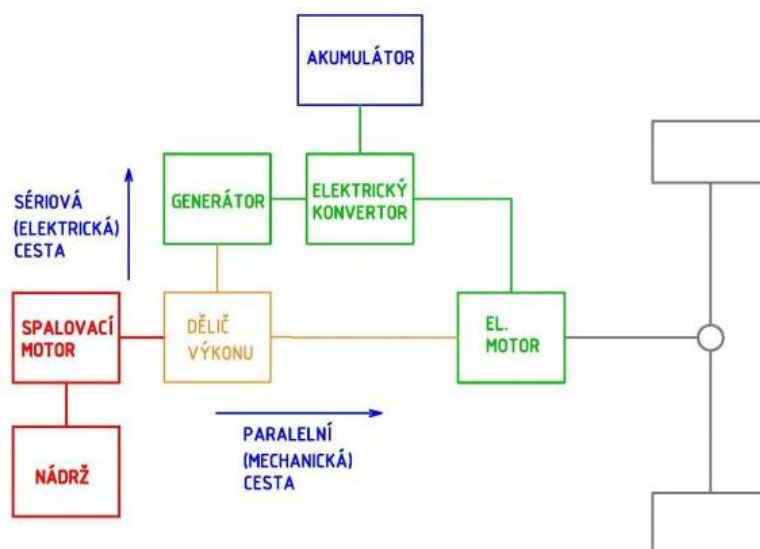
Obr. 26 Lamborghini Asterion vizualizace pohonu [122]

2.3 Sério-paralelní uspořádání hybridního pohonu

Někdy se též označuje jako kombinovaný hybrid. Energie, kterou generuje spalovací motor, se na hnanou nápravu může přenášet sériovou - elektrickou cestou nebo paralelní - mechanickou cestou nebo lze obě cesty kombinovat. Obvykle tento druh hybridního pohonu obsahuje jeden spalovací motor a dva elektromotory, přičemž jeden elektromotor je použit hlavně na pohon vozu a druhý jako generátor pro sériovou cestu. Dále jsou zde potřebné mechanické komponenty jako např. spojka, převodovka a planetová převodovka. Vozidla s tímto pohonem jsou obvykle schopná jet čistě elektricky (režim elektromobilu) alespoň po krátkou dobu. Při jízdě na delší vzdálenost je nutnost pohonu spalovacího motoru.

2.3.1 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – mechanický dělič výkonu

Vozidlo je vybaveno spalovacím motorem, generátorem, elektrickým motorem a mechanickým děličem výkonu. Právě dělič výkonu zajišťuje rozdělení momentu ze spalovacího motoru. Jako dělič výkonu se používá planetová převodovka. O tom, kolik momentu půjde mechanickou či elektrickou cestou, rozhoduje režim, ve kterém se vůz nachází. Například jsou to režimy akcelerační, jízda nízkou rychlostí, např. ve městě, vysokou rychlostí, např. na dálnici, jízda z kopce, regenerativní brzdění. Na obrázku 27 je schematicky tento koncept znázorněn.



Obr. 27 Uspořádání kombinovaného hybridu s děličem výkonu [42]

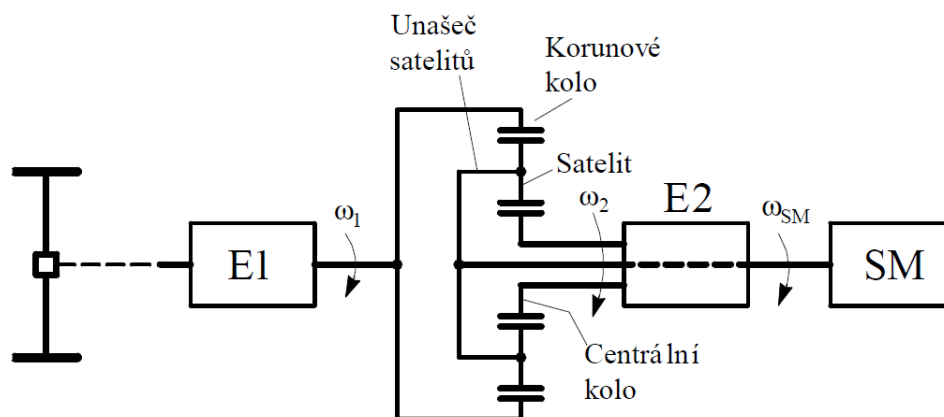
2.3.1.1 Toyota prius 1,8 Hybrid e-CVT

- Hybridní vůz, nově i ve verzi plug-in hybrid
- Automobil s hybridním pohonem, který využívá planetovou převodovku jako dělič výkonu
- Zážehový řadový čtyřválec 1.8 VVT-i, 4 ventily na válec, maximální výkon 72 kW při 5200 ot/min točivý moment 142 Nm při 3600 ot/min, vrtání válců 80,5 mm a zdvih válců 88,3 mm, kompresní poměr 13,04:1
- Výkon elektromotoru 53 kW
- Celkový výkon 90 kW

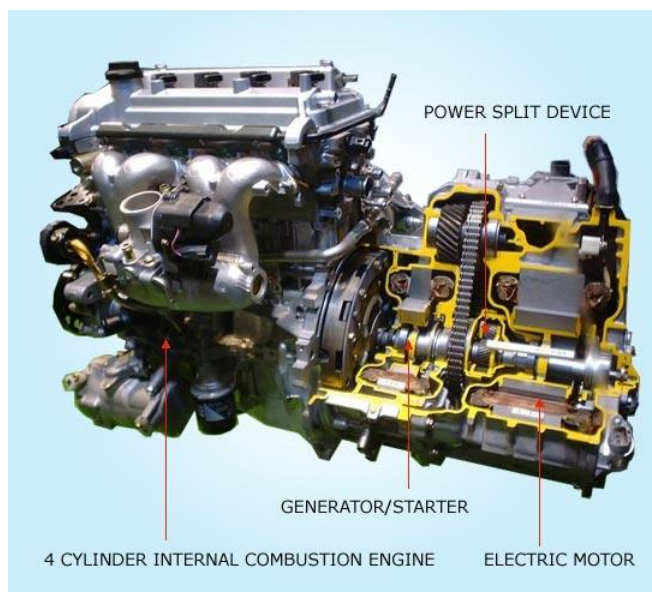
Planetová převodovka má tři hřídele. První je spojena s motorem/generátorem E1 a s hnací hřídelí. Druhá je spojena s motorem/generátorem E2 a třetí se spalovacím motorem SM.

Mezi výhody tohoto pohonu jistě patří absence spojky a možnost při provozu udržovat optimální otáčky spalovacího motoru bez nutnosti použít vícerychlostní převodovky. To probíhá prostřednictvím planetové převodovky za pomoci brzdění centrálního kola elektrickým motorem E2 v generátorickém režimu. Energie takto získaná se může uložit buď do akumulátoru, nebo využít pro pohon elektrického motoru E1.

Jednotlivé režimy jsou blíže popsány ve výzkumné zprávě Hybridní pohon s planetovou převodovkou - pracovní režimy elektrických motorů/generátorů (číslo zprávy 22190 - 056 – 2016).



Obr. 28: Schématicky naznačeno uspořádání pohonu [4]



Obr. 29 Pohon Toyota Prius [39]



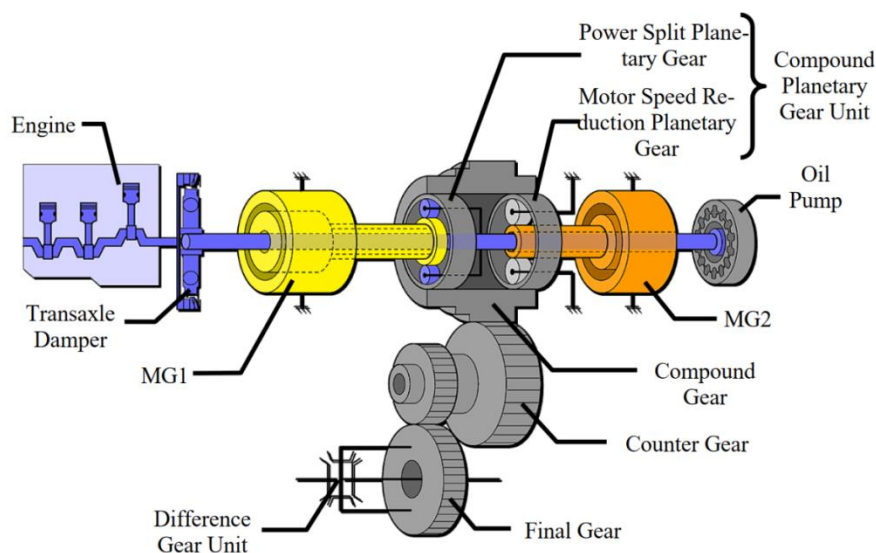
Obr. 30 Planetová převodovka z Toyota Prius [39]

2.3.1.2 Lexus RX 400h

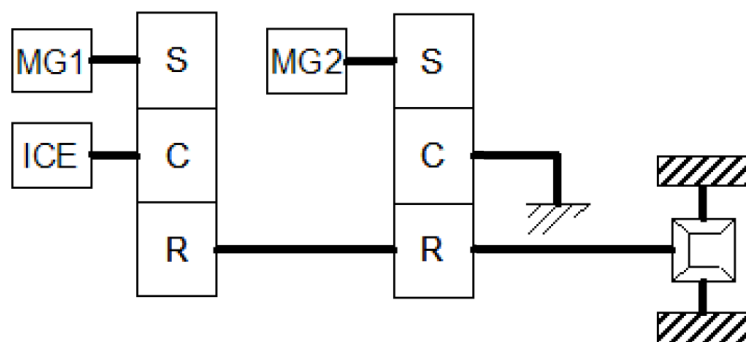
Spalovací motor a elektrický motor, který je převážně používán v generátorickém chodu, je připojen na planetovou převodovku, stejně tak jako u Toyota Prius. Ale rozdíl je v tom, že mezi výstupem z planetové převodovky – korunové kolo a hnanou nápravou je vložena další planetová převodovka, kde na hřídeli centrálního kole je připojen elektrický motor.

Unašeč satelitů je fixně upevněn. Toto uspořádání je znázorněno na obrázcích 31 a 32. Druhá planetová převodovka je zde použita jen jako redukční kvůli zvýšení momentu elektrického motoru a snížení jeho otáček. Je zde použit motor s menším točivým momentem, ale vyššími maximálními otáčkami.

- Pohon všech kol, přední náprava hybridní pohon, zadní náprava elektrický pohon, zrychlení z 0-100 km/h za 7,6 s, maximální rychlost 200 km/h, hmotnost vozu 2040 kg
- Spalovací motor - zážehový šestiválec o objemu 3,3 l, 4 ventily na válec, výkon 155 kW při 5600 ot/min, točivý moment 288 Nm při 4400 ot/min, kompresní poměr 10,8:1, vývrt válce 92 mm, zdvih válce 83 mm
- Přední elektrický motor – synchronní s permanentními magnety, výkon 123 kW při 4100-5000 ot/min, točivý moment 340 Nm při 0-2000 ot/min, maximální otáčky 12400 ot/min
- Elektrický motor/generátor – výkon 110 kW při maximálních otáčkách 13000 ot/min
- Zadní elektrický motor - synchronní s permanentními magnety, výkon 50 kW při 4610-5120 ot/min, točivý moment 130 Nm při 0-610 ot/min, maximální otáčky 10000 ot/min
- Patent US20070255463A1



Obr. 31 Návrh hybridního pohonu Lexus RX400h [107]



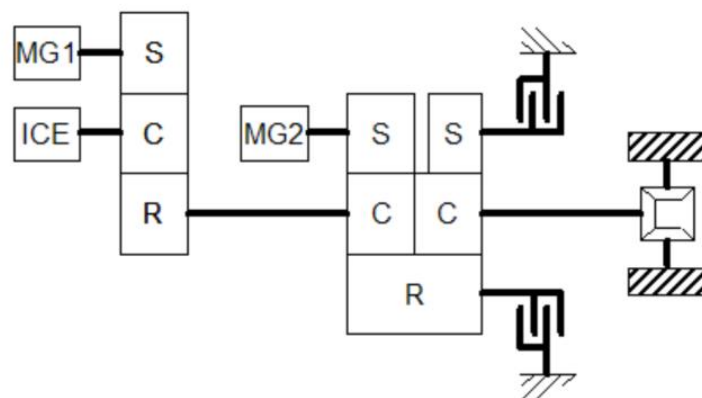
S = Sun wheel, C = Carrier wheel, R = Ring wheel

Obr. 32 Schématický návrh předního pohonu Lexus RX 400h [107] – upraveno na základě zdroje 109

2.3.1.3 Lexus GS 450h

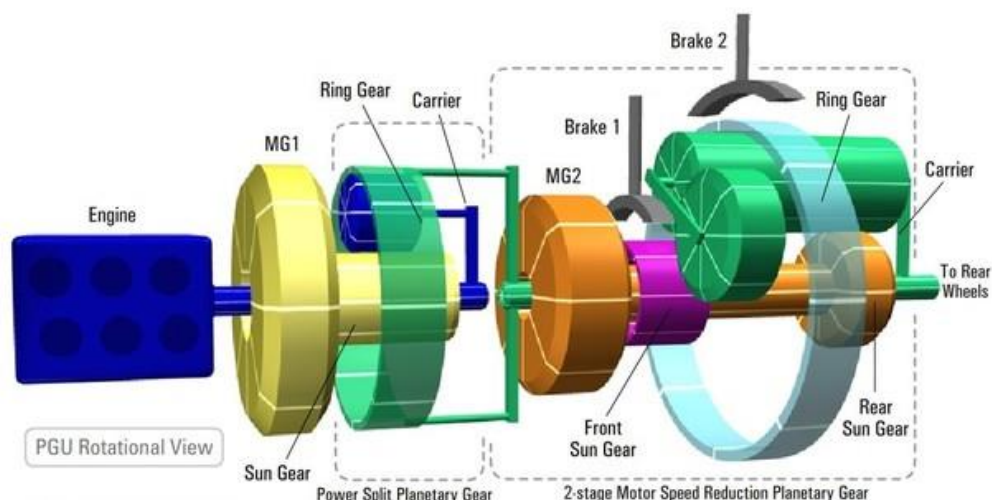
Princip pohonu je podobný jako u Toyoty Prius, navíc obsahuje druhou planetovou převodovku, která je vybavena dalším centrálním kolem a rozšířeným unášečem satelitů. Obsahuje tedy 4 hřídele, přičemž 2 mohou být zabrzděny. Pomocí této planetové převodovky lze měnit převodový poměr pro elektromotor MG2. Pro první převodový poměr je aktivní brzda 2 a brzda 1 je otevřena, což vede na převodový poměr 3,9. Dochází k brzdění korunového kola. Pro druhý převodový poměr je aktivní brzda 1 a brzda 2 je otevřena a převod se změní na 1,9, je brzděno centrální kolo. Pohon je zobrazen na obrázku 33 a na obrázku 34 je jeho vizualizace.

- Pohon zadních kol, zrychlení z 0-100 km/h za 5,9 s, maximální rychlost 250 km/h, hmotnost vozu 1930 kg
- Spalovací motor - zážehový šestiválec o objemu 3,5 l, 4 ventily na válec, výkon 215 kW při 6000 ot/min, točivý moment 352 Nm při 4500 ot/min, kompresní poměr 13:1, vývrt válce 94 mm, zdvih válce 83 mm, Atkinsonův cyklus
- Elektrický motor – synchronní s permanentními magnety, výkon 147 kW, točivý moment 275 Nm
- Elektrický motor/generátor - výkon 134 kW



S = Sun wheel, C = Carrier wheel, R = Ring wheel

Obr. 33 Schématický nákres pohonu Lexus GS 450h [107]

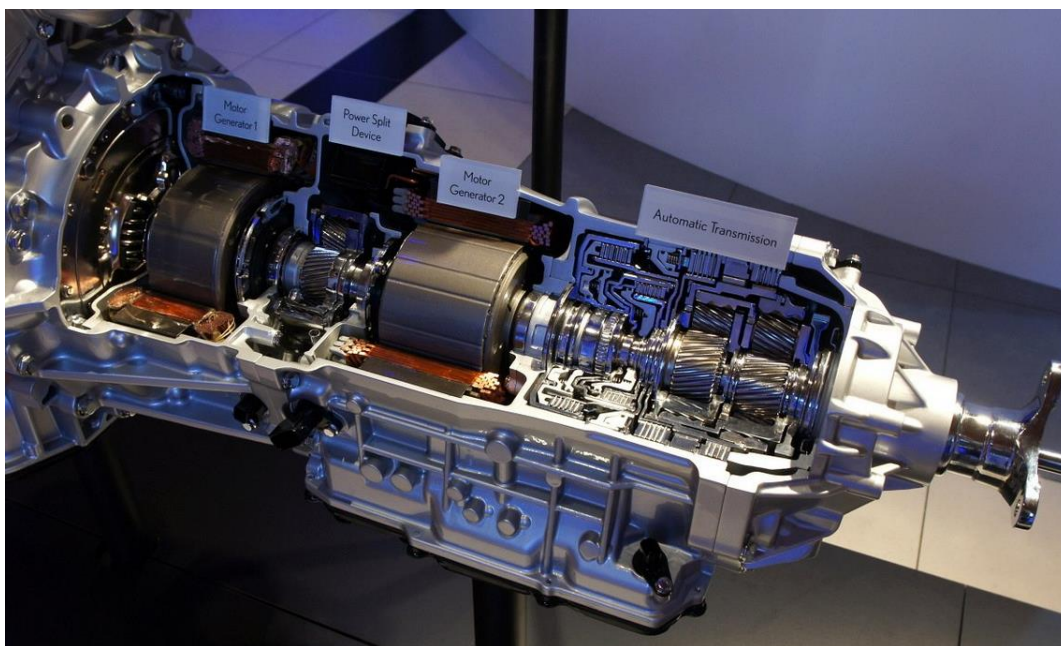


Obr. 34 Uspořádání převodovky u Lexus GS 450h [106]

2.3.1.4 Lexus LC 500h

Pohon je založen na principu jako u Toyoty Prius s tím rozdílem, že navíc je mezi pohonem a hnanou nápravou instalovaná vícerychlostní automatická převodovka se čtyřmi rychlostmi.

- Zážehový motor 3,5 litru V6, 220 kW při 6600 ot/min, 348 Nm při 4900 ot/min, průměr vrtání válců 94 mm, zdvih válců 83 mm, kompresní poměr 13:1
- Dva elektromotory, oba synchronní motory s PM chlazené vodou
 - První elektromotor slouží jako: generátor, startér a udržuje otáčky spalovacího motoru v optimální hodnotě
 - Druhý elektromotor slouží jako: pohon, regenerativní brzdění
- Pohon zadních kol, Celkový výkon 264 kW



Obr. 35 Pohon u vozu Lexus LC 500h [48]

2.3.1.5 Ford Mondeo HEV - HF35

Hybridní pohon je realizován pomocí dvou elektromotorů, jeden slouží především jako trakční motor, druhý jako generátor. Dále pohon obsahuje spalovací motor pracující v Atkinsonově cyklu a planetovou převodovku, sloužící jako dělič výkonu. Princip uspořádání pohonu je podobný jako u Toyoty Prius. Rozdíl je ten, že moment z trakčního motoru je na korunovém kole přiveden přes redukční převod. Na obrázcích 36 a 37 je tento pohon graficky naznačen.

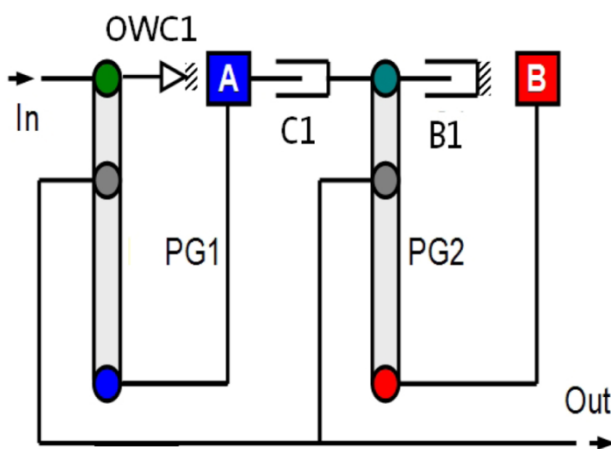
- Pohon přední nápravy, maximální rychlost 187 km/h, zrychlení z 0-100km/h 9,2 s, hmotnost vozu 1479 kg
- Zážehový čtyřválcový motor 2.0 iVCT Atkinson, 4 ventily na válec, nejvyšší výkon 105 kW při 6000 ot/min, kompresní poměr 12,3:1, průměr vrtání válců 87,5 mm, zdvih válce 83,1 mm
- Trakční motor - synchronní motor s PM výkon 88 kW
- Celkový výkon systému 137 kW při 6000 ot/min, točivý moment 173 Nm při 4000 ot/min

2.3.1.6 Chevrolet volta - 2. Generace

Pohon obsahuje dva elektrické stroje, které pracují jak v motorickém, tak i generátorickém režimu. Oba motory jsou synchronní s permanentními magnety, ale každý rotor má jiný typ magnetů. K tomuto řešení se přistoupilo kvůli tomu, že každý motor pracuje v jiných podmínkách. Motor B přenáší většinu výkonu na nápravu při běžné jízdě, proto byl motor B navržen se silnějším magnetickým tokem s ohledem na minimalizaci ztrát v pracovním bodě. V nízkých a středních otáčkách dosahuje vyšší účinnosti. Zatím co motor A se spíše používá pro zvýšení rychlosti. Vzhledem k tomu, že se ve většině provozních podmínek otáčí s nízkým momentem, byly zde použity permanentní magnety s nižším magnetickým tokem, díky tomu dochází ke snížení ztrát ve vyšších otáčkách. Dále je zde spalovací motor, dvě planetové převodovky dvě spojky a jedna jednosměrná spojka, ta zajišťuje aby se hřídel spalovacího motoru neroztočila na druhou stranu. Pohon je naznačen na obrázcích 38 a 39.

- Zážehový čtyř válec 1.5L DOHC I-4 o výkonu 75 kW při maximálních otáčkách 5600 ot/min, kompresní poměr je 12.5:1
- Elektromotor A výkon 48 kW, točivý moment 118 Nm, feritové magnety, převodový poměr v EV režimu 2,87:1
- Elektromotor B výkon 87 kW, točivý moment 280 Nm, neodymové magnety, převodový poměr v EV režimu 3,08:1
- Patenty US 8602938

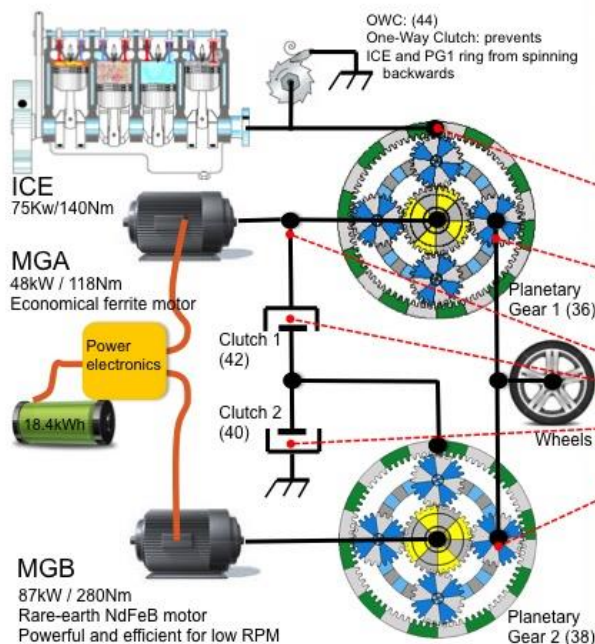
Pohon obsahuje dva elektrické stroje, které pracují jak v motorickém, tak i generátorickém režimu.



Obr. 38 Schématický nákres pohonu Chevrolet volta 2 generace, pozn. spojka B1 = spojka 2 [117]

NEW 2016 VOLTEC

Based on US patent 8,602,938 + GM SAE presentation



Obr. 39 Uspořádání pohonu Chevrolet Volta 2 generace [116]

Pohon má celkem 5 režimů:

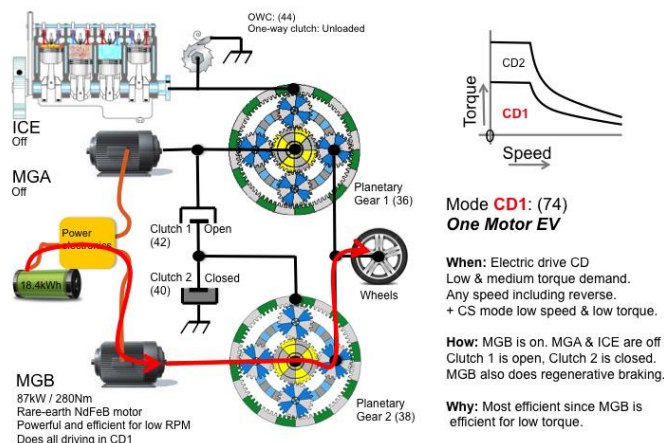
- První (CD1) - režim elektromobilu jednomotorový - Vozidlo je pouze poháněno elektro motorem B. Spojka 1 je rozpojena a spojka 2 je spojena
- Druhý (CD2) - režim elektromobilu dvoumotorový – na pohonu se podílí oba elektromotory. Spojka 1 je rozpojena a spojka 2 je spojena. Obě planetové převodovky funguje jako reduktor. Tento režim je vhodný při požadavku vyššího točivého momentu.

Tyto dva režimy jsou naznačena na obrázku 40. Následující režimy lze označit za režimy s prodlouženým dojezdem - hybridní, ty zachycuje obrázek 41.

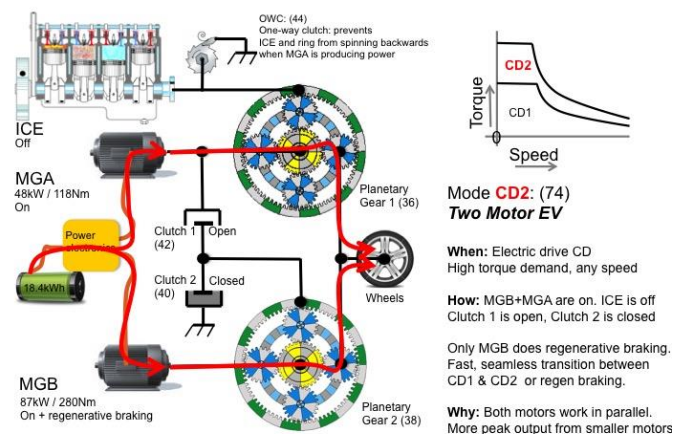
- Třetí (CS1) - slabý - Na pohonu se již podílí spalovací motor. Jeho výkon se zde dělí mezi pohon nápravy a výrobu elektrické energie prostřednictvím elektromotoru A, který pracuje v generátorickém chodu. Spojka 1 je rozpojena a spojka 2 je spojena. První planetová převodovka slouží jako dělič výkonu a druhá jako reduktor. Tento způsob je vhodný pro požadavek na vyšší moment.
- Čtvrtý (CS2) - S pevným převodovým poměrem - Veškerý výkon spalovacího motoru jde na nápravu a elektromotor B se může podílet na pohonu. Při nízkém krouticím momentu slouží motor B jako zátěž pro spalovací motor, aby zůstal v co neoptimalnějších otáčkách. Dobíjí se přes něj akumulátor. Spojky 1 a 2 jsou spojeny. Režim čtyři je vhodný pro běžný provoz, kdy se často zrychluje. Dále ve vozidle dochází k efektivnímu nabíjení akumulátoru.
- Pátý (CS3) silný - Výkon spalovacího motoru je dělen mezi hnanou nápravu a pohon korunného kola druhé planetové převodovky. Tím se dosáhne vyššího převodového poměru. Otáčky jsou upravovány

vhodným řízením motoru A v motorovém chodu a motoru B v generátorickém chodu. Spojka 2 je rozpojena a spojka 1 je spojena. Tento režim je vhodný při vyšší rychlosti, např. jízda po dálnici.

CD1: ONE MOTOR EV MODE

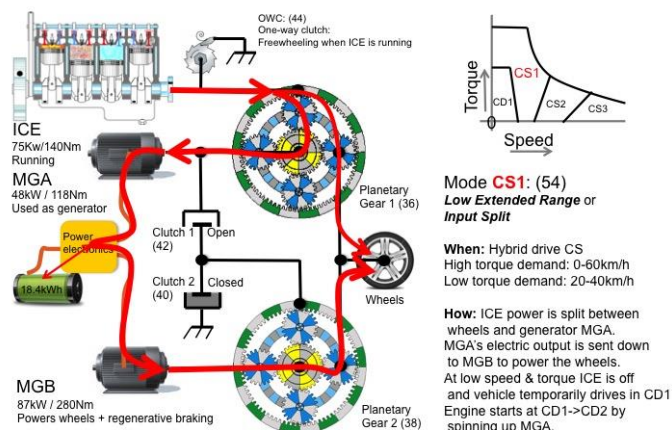


CD2: TWO MOTOR EV MODE

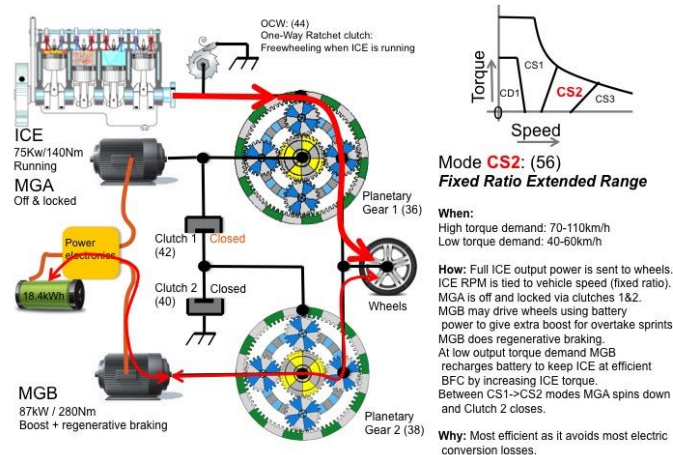


Obr. 40 Chevrolet volta - 2. Generace EV režim [116]

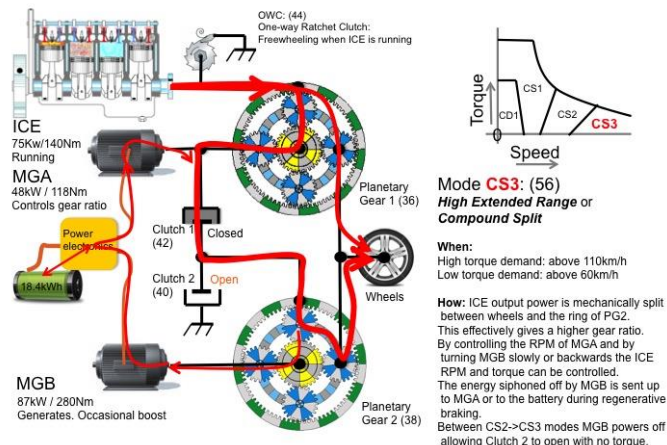
CS1: LOW EXTENDED RANGE MODE



CS2: FIXED RATIO EXTENDED RANGE



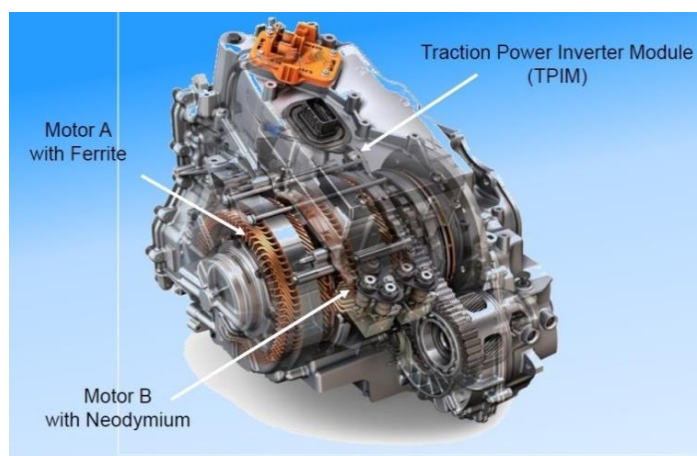
CS3: HIGH EXTENDED RANGE MODE



Obr. 41 Obr. 48 Chevrolet volta - 2. Generace Kombinovaný režim [116]



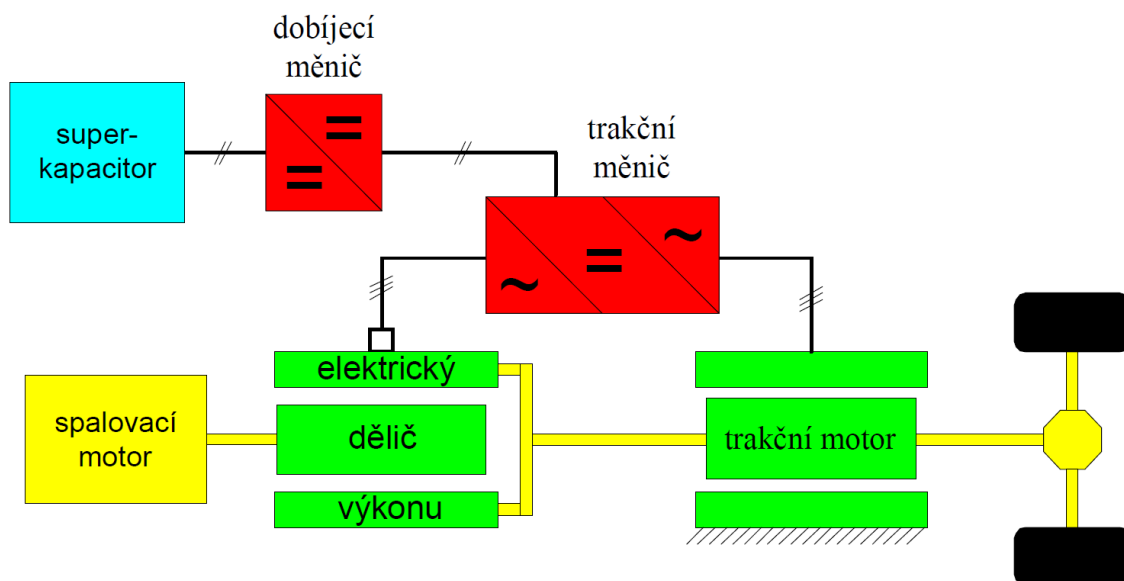
Obr. 42 Pohon Chevroletu Volta generace 2 [58]



Obr. 43 Elektrické motory Chevroletu Volt generace 2 [57]

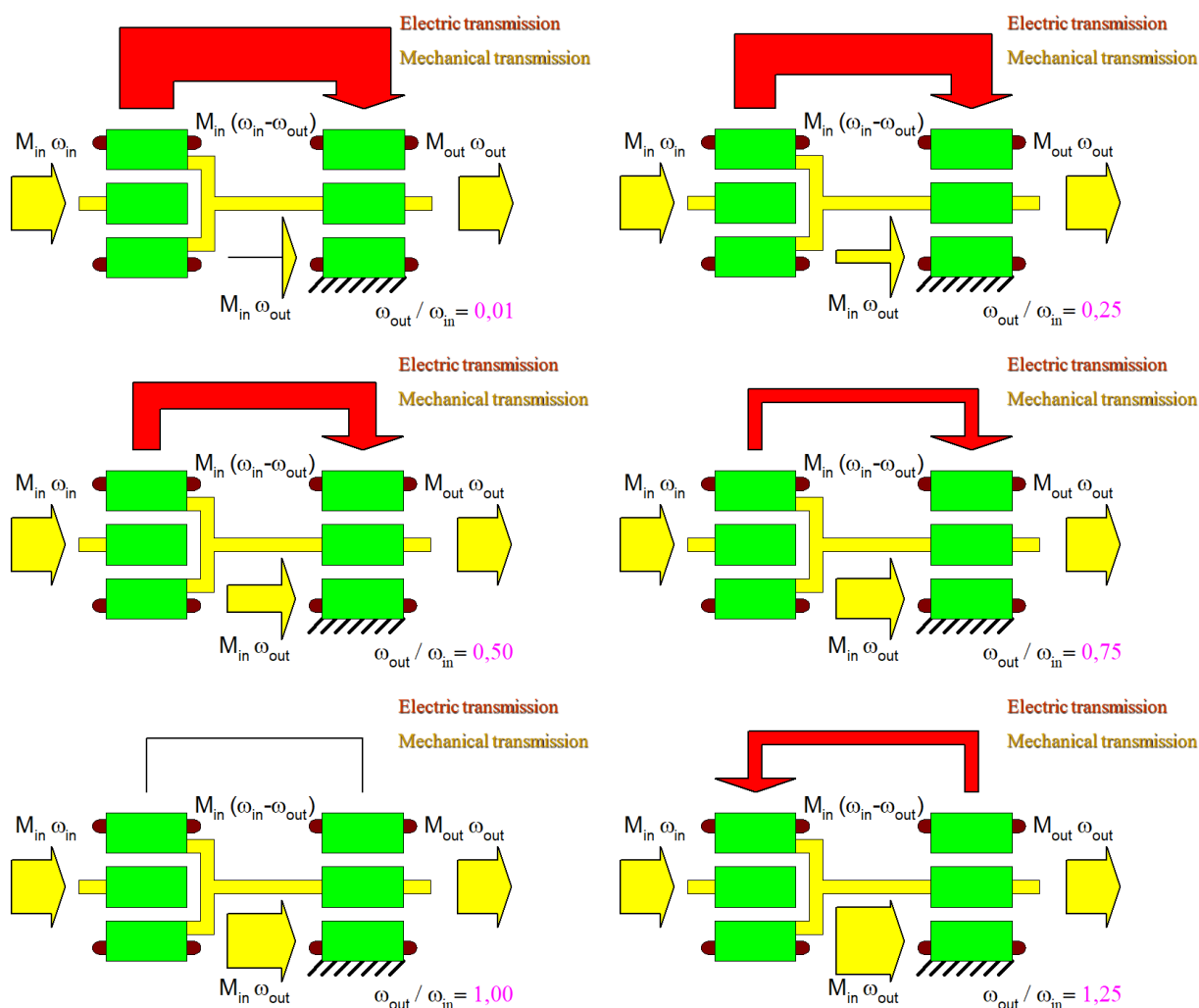
2.3.2 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – elektrický dělič výkonu

Další možností, jak rozdělit výkon, je využít tzv. elektrický dělič výkonu. Ten je tvořen speciálním elektrickým strojem, u kterého rotuje jak stator, tak i rotor. Na rotoru se nachází permanentní magnety pro vybuzení magnetického pole. Mělo by se jednat o synchronní stroj s PM, u kterého lze otáčet i statorem. Rotor je spojen s hřídelí spalovacího motoru a stator je pak spojen s trakčním motorem a poháněnou nápravou. Moment spalovacího motoru se přenáší přes vzduchovou mezeru na stator prostřednictvím elektromagnetické síly. Běžný stroj tento moment zachytí patkami motoru. U děliče výkonu se tento moment přenesení přes stator a trakční motor až na nápravu. Moment ze spalovacího motoru se přičte k momentu z trakčního motoru. Schéma pohonu s elektrickým děličem výkonu zachycuje obrázek č. 44.



Obr. 44 Schéma hybridního vozu s elektrickým děličem výkonu [67]

Při rozjezdu, kdy jsou otáčky statoru (nápravy) nízké, se většina výkonu ze spalovacího motoru přemění na elektrickou energii. Ta nabíjí akumulátor, či pohání trakční motor (elektrická cesta). Tento stav se podobá sériovému hybridnímu pohonu. Při zvyšujících se otáčkách hnané nápravy se výkon přenesený elektrickou cestou snižuje a naopak zvyšuje se výkon přenesený mechanickou cestou až do okamžiku, kdy jsou otáčky nápravy a spalovacího motoru stejné. V tento moment se veškerý výkon spalovacího motoru přenáší mechanickou cestou. Na obrázku 45 jsou dobře patrné poměry mezi výkonem přenášeným mechanickou a elektrickou cestou v závislosti poměru otáček spalovacího motoru a otáčkách hnané nápravy. Obdobný princip pohonu byl použit u trakčního motorového vozu M 290 známého spíše jako slovenská střela.



Obr. 45 Grafické znázornění poměru přeneseného výkonu elektrickou a mechanickou cestou při různých poměrech výstupních otáček a otáčkách spalovacího motoru [68]

2.3.3 Kombinované uspořádání hybridního pohonu – Bez děliče výkonu

Tento koncept pohonu neobsahuje mechanický dělič výkonu a ani elektrický dělič výkonu. Jsou zde mechanické součásti jako převodovka s fixními převody, spojka nebo planetová převodovka. Pomocí spojky je možné přepínat mezi režimy sériového a paralelního hybridu. Proto se někdy toto řešení hybridního pohonu označuje jako přepínatelné. Při paralelním režimu může být poháněn spalovacím motorem kromě nápravy i elektický stroj, který v sériovém režimu slouží jako generátor a tím by se jednalo o režim sérioparalelní. Při vypnutém spalovacím motoru je možné provozovat vozidlo čistě elektricky.

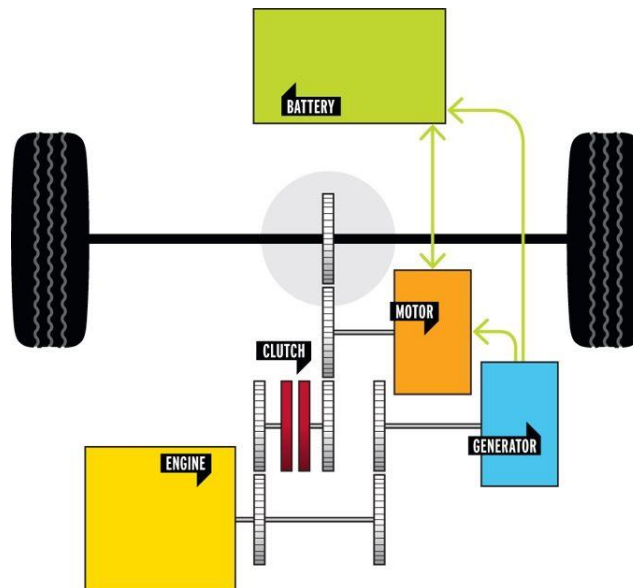
2.3.3.1 Honda Accord Hybrid – 2017

Většinu jízdy obstarává elektrický Motor. Spalovací motor je zde pro dobíjení baterie a při vysoké rychlosti se podílí na pohonu. Pohon by měl obsahovat jen fixní převody, jak naznačuje obrázek 46.

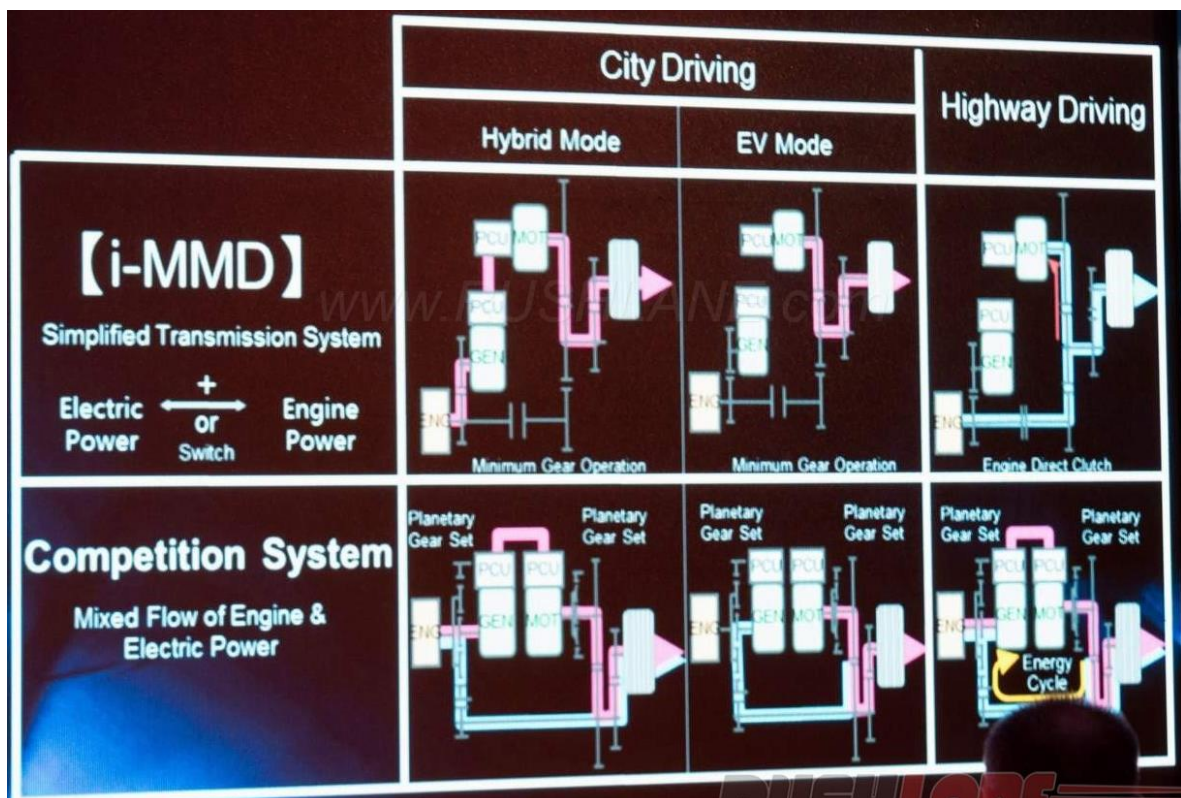
- Spalovací motor DOHC 16-ventil Atkinson cyklu 2,0 litru inline-4, výkon 107 kW při 6200 ot/min, 175 Nm při 4000 ot/min, kompresní poměr 13:1, průměr vrtání válce 81 mm, zdvih válce 86,7 mm
- Synchronní elektromotor s permanentními magnety, výkon 135 kW při 5000-6000 ot/min, točivý moment 315 Nm při 0-2000 ot/min;
- Generátor 106 kW

– 3 režimy pohonu:

- 1. Pohon elektromotoru z baterií
- 2. Pohon elektromotoru z generátoru (spalovací motor) a baterie
- 3. Pohon ze spalovacího motoru zabírá spojka



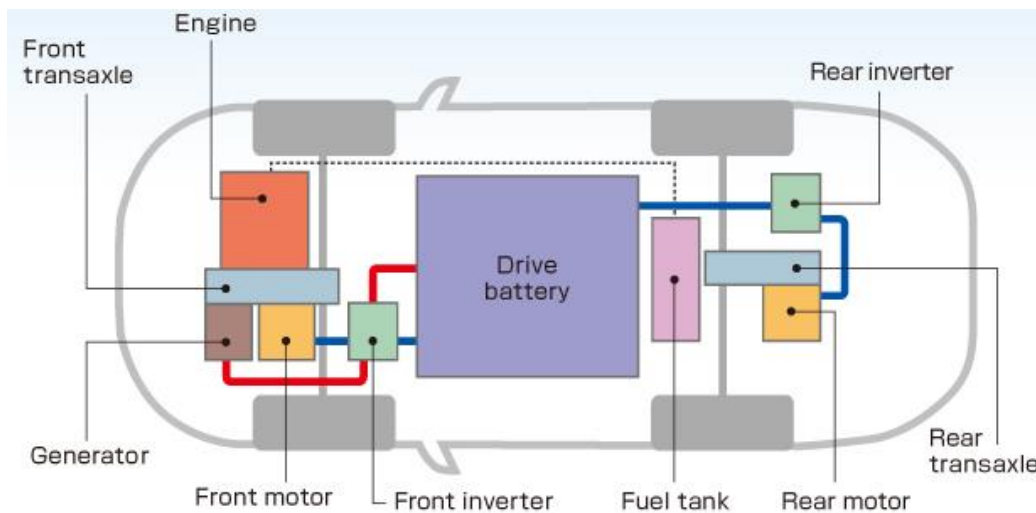
Obr. 46 Schéma uspořádání pohonu u Hondy Accord Hybrid [59]



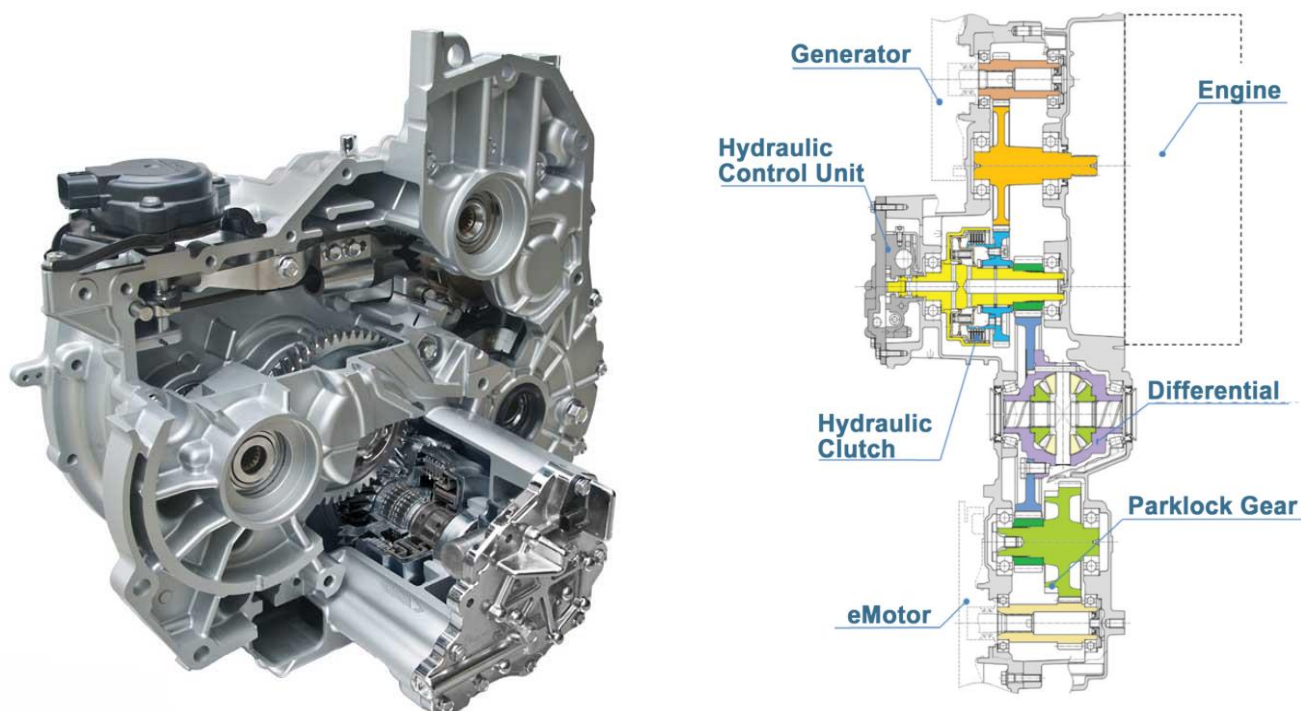
Obr. 47 Jednotlivé režimy Hondy Accord Hybrid v porovnání s konkurencí [61]

2.3.3.2 Mitsubishi Outlander PHEV

- Pohon všech kol, přední pohon je hybridní, zadní pak čistě elektrický
- Zážehový řadový čtyřválec, 4 ventily na válec, maximální výkon 89 kW při 4500 ot/min a maximální točivý moment 190 Nm při 4500 ot/min, průměr vrtání válců 86 mm zdvih válců 86 mm
- Elektromotor synchronní s permanentními neodymovými magnety
 - Přední motor - jmenovitý výkon 25 kW maximální výkon 60 kW a točivý moment 137 Nm
 - Zadní motor - jmenovitý výkon 25 kW maximální výkon 60 kW a točivý moment 195 Nm
- Převodovka je jedno rychlostní, zachycena na obrázku 49
- Převodové poměry:
 - Přední spalovací motor 3,425
 - Přední elektromotor 9,663
 - Zadní elektromotor 7,065



Obr. 48 Schéma uspořádání pohonu Mitsubishi Outlander PHEV [86]

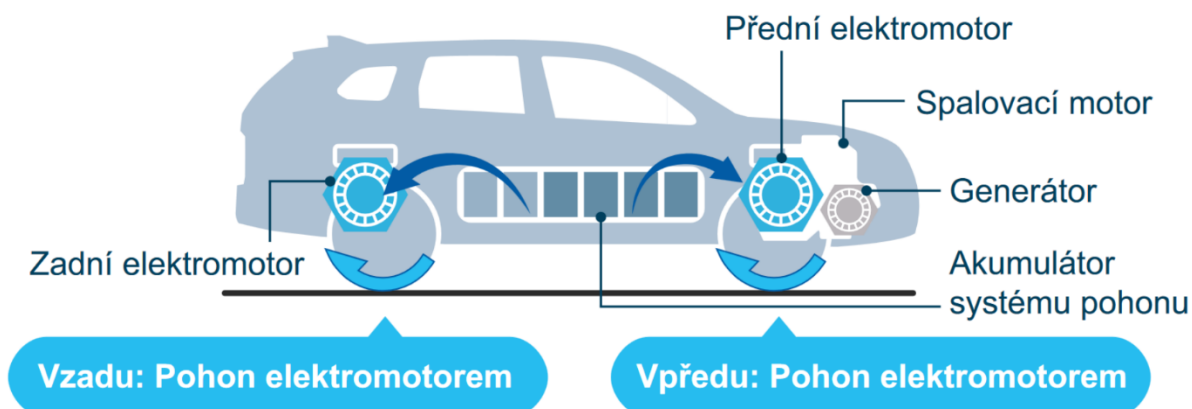


Obr. 49 Převodovka na přední nápravě; vlevo samotná převodovka, vpravo řez převodovkou [87,88]

Jízdní režimy:

1) Čistě elektrický pohon - režim elektromobil

Vozidlo pohání jen elektromotory, energie je brána z akumulátoru. Schematicky je naznačen tento režim na obrázku 50. Nejvyšší rychlost čistě elektronicky je 120km/h.

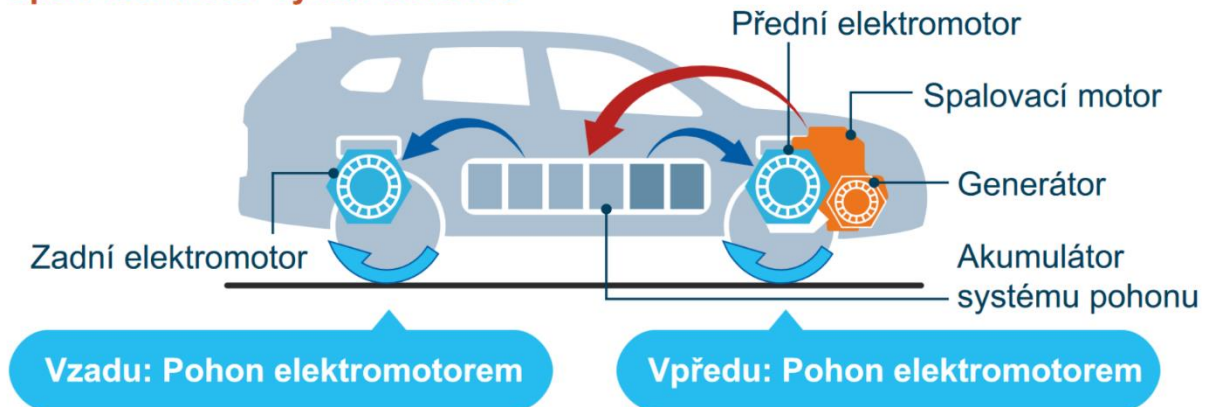


Obr. 50 Režim elektromobilu Mitsubishi Outlander PHEV [85]

2) Sériový hybridní pohon

Elektromotory pohání vozidlo jako v předchozím režimu. Spalovací motor dodává energii přes generátor do akumulátoru a elektromotorů. Energie se začne produkovat, když klesne nabití akumulátoru pod danou úroveň. Tento pohon je zobrazen na obrázku 51.

Spalovací motor vyrábí elektřinu

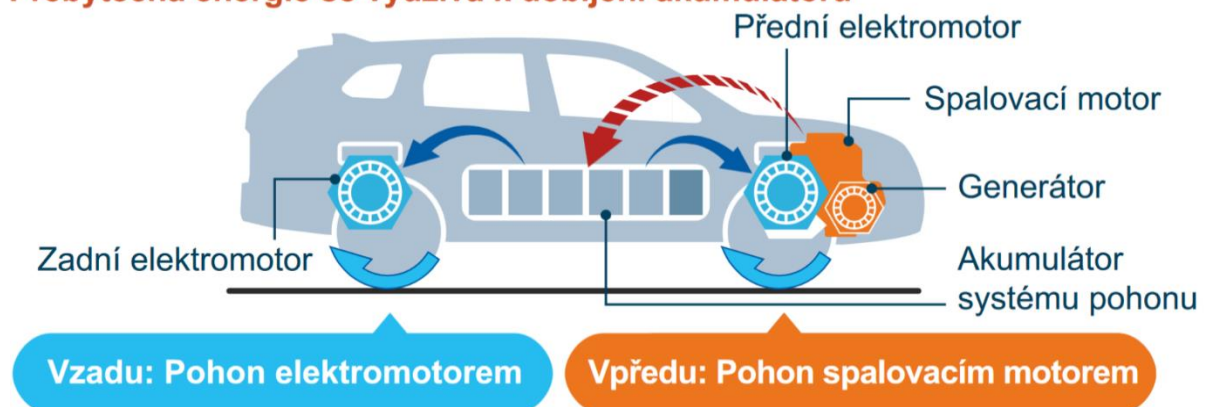


Obr. 51 Sériový režim Mitsubishi Outlander PHEV [85]

3) Paralelní hybridní pohon

Vozidlo je poháněno spalovacím motorem (např. při rychlé jízdě) zároveň pracuje generátor a přední elektromotor a podle potřeby se na pohonu může podílet i zadní elektromotor. Paralelní hybridní pohon je naznačen na obrázku 38.

Přebytečná energie se využívá k dobíjení akumulátoru



Obr. 52 Paralelní režim Mitsubishi Outlander PHEV [85]

2.3.3.3 Chevrolet Volt – 1. generace

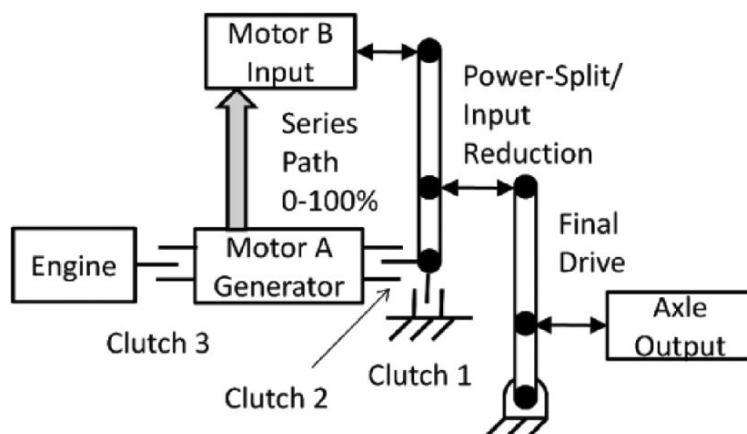
Někdy je označován jako sériový hybrid. První tři režimy pohonu by se daly takto označit, avšak čtvrtý už nikoliv. Ve čtvrtém režimu se totiž spalovací motor podílí mechanicky na pohonu vozidla. Pohon obsahuje jeden spalovací motor, „větší“ elektrický motor označen jako B a jeden „menší“ elektrický motor/generátor označen A.

- Patent US20090082171A1
- Elektromotor /generátor A - výkon 55 kW, točivý moment 186 N, 6000 ot/min, 16 pólů
- Elektromotor B - výkon 111 kW, točivý moment 320 Nm, 12 pólů
- Oba motory jsou synchronní s vnitřními permanentními magnety (IPM)
- Převodové poměry v EV režimu: motor A 1,45:1
motor B 3,24:1
- Zážehový čtyřválec 1.4L DOHC I-4 o výkonu 63 kW při maximálních otáčkách 4800 ot/min, kompresní poměr je 10.5:1, zdvih válců 82,6 mm, vrtání válců 73,4

Pohon má čtyři režimy:

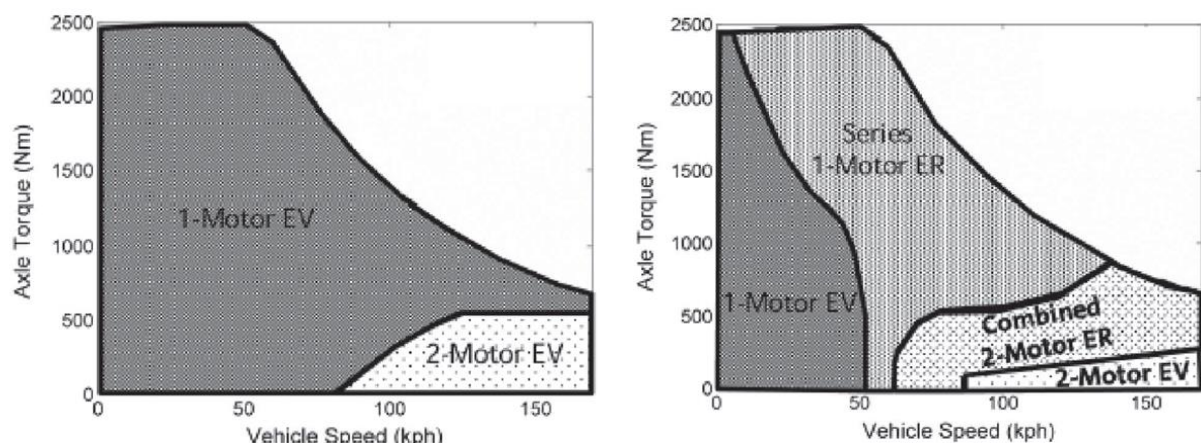
- První - režim elektromobilu - Elektrický motor B je napájen z akumulátoru a pohání nápravu. Spojka C1 je spojena a C2 a C3 jsou rozpojeny.
- Druhý - dvoumotorový režim elektromobilu - Oba motory A i B se podílí na pohonu. Spojka C2 je spojena a C1 a C3 jsou rozpojeny.
- Třetí - sériový režim - Elektrický motor B je napájen z akumulátoru a pohání nápravu. Zároveň je spuštěn spalovací motor, který energii do akumulátoru dodává přes motor A v generátorickém chodu. Spojky C1 a C3 jsou spojeny a rozpojena je spojka C2.
- Čtvrtý - kombinovaný dvoumotorový režim - Spalovací motor slouží k dobíjení akumulátoru prostřednictvím motoru A v generátorickém chodu, jako v předchozím režimu, dále se podílí na pohonu společně s motorem B. Spojky C2 a C3 jsou spojeny a spojka C1 je rozpojena.

Všechny čtyři režimy znázorňuje obrázek 40. Dvoumotorové režimy (druhý a čtvrtý) jsou určeny pro vysoké rychlosti, např. jízda po dálnici. K tomuto řešení se přistoupilo z důvodu snížení otáček motoru B, který nemá ve vysokých otáčkách dobrou účinnost – se sníží ztráty závislé na rychlosti (frekvenci). Na obrázku 54 je vidět přibližná provozní oblast jednotlivých režimů.

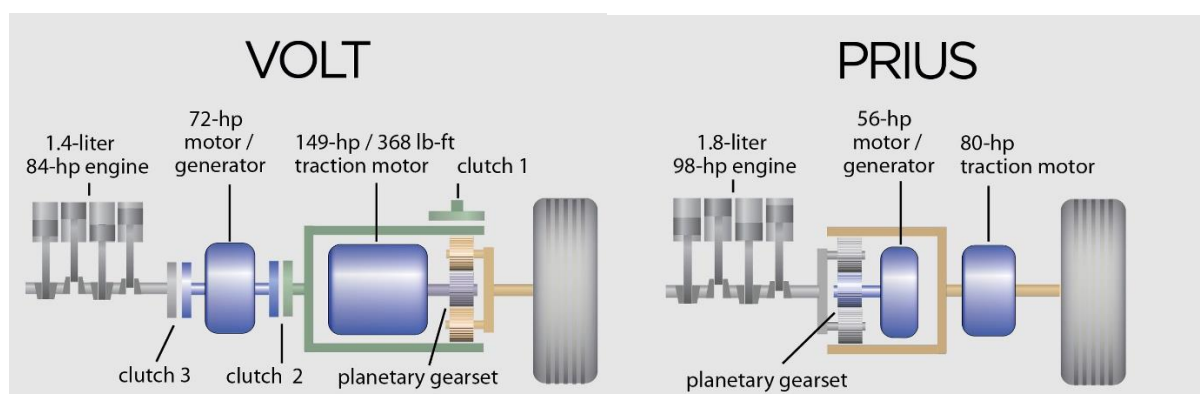


	Clutch 1	Clutch 2	Clutch 3
One-Motor EV	Closed	Open	Open
Two-Motor EV	Open	Closed	Open
Series One-Motor ER	Closed	Open	Closed
Combined Two-Motor ER	Open	Closed	Closed

Obr. 53 Schéma uspořádání pohonu u Chevrolet Volt [44]



Obr. 54 Grafické znázornění jednotlivých režimů, závislosti momentu na rychlosti vozidla [44]



Obr. 55 Znáznornění pohonů u hybridních vozů Volt a Prius[45]

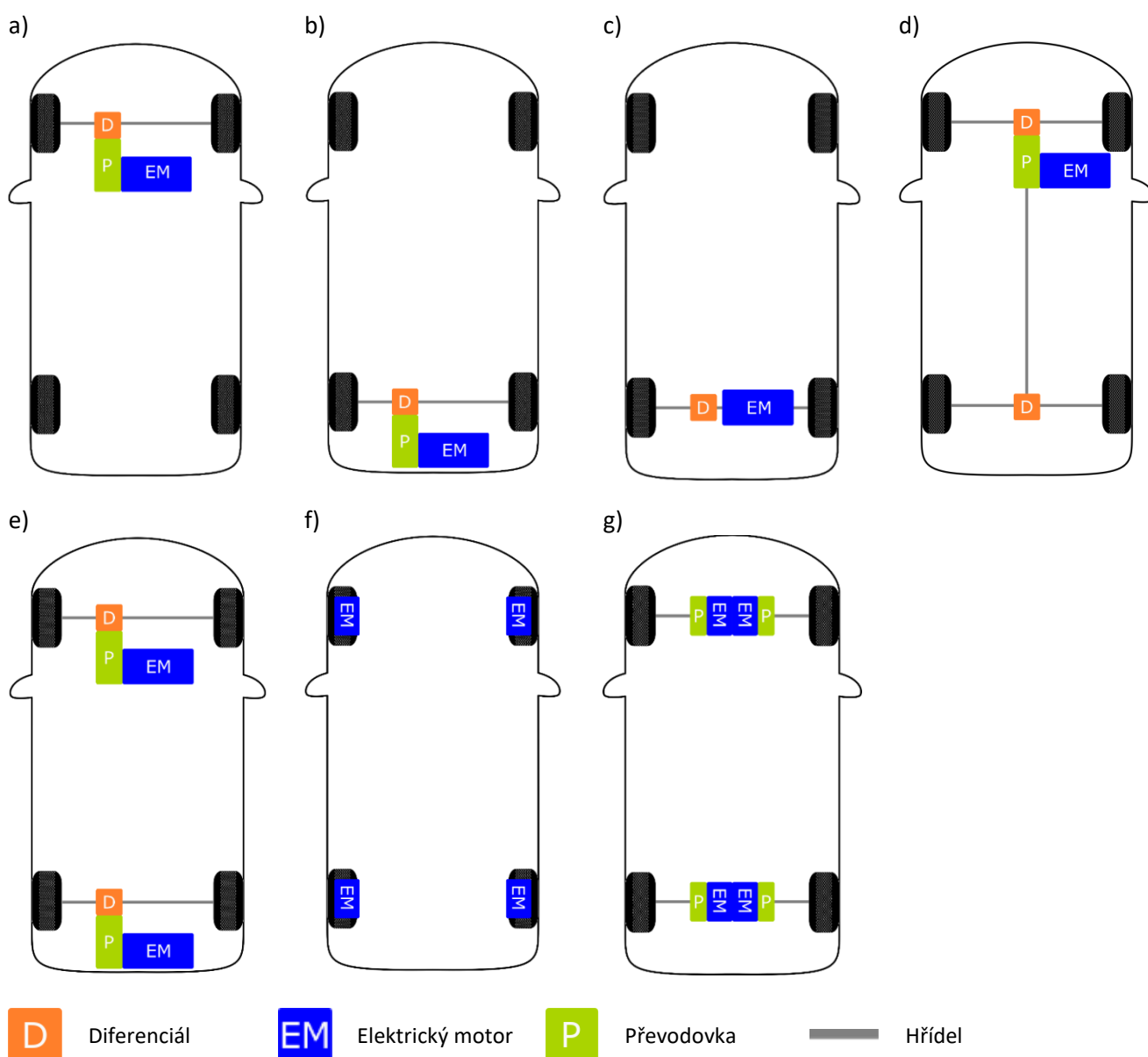
Z obrázku 55 je patrný rozdíl v konceptu pohonu u vozidel Chevrolet Volt a Toyota Prius. Jeden z rozdílů je ten, že u Toyty Prius není žádná spojka, zatímco u Chevroletu Volta jsou hned tři. Prius tedy obsahuje menší počet mechanických dílů, které by bylo nutné kontrolovat či měnit a tím by se mohl jevit, že toto řešení je teoreticky méně poruchové. Dalším rozdílem je využití planetové převodovky. U Toyoty Prius slouží jako mechanický dělič výkonu, který rozděluje energii ze spalovacího motoru mezi elektrický generátor a nápravu. Naopak u Chevroletu Volt slouží spíše k sečtení momentu z trakčního motoru a spalovacího motoru nebo druhého elektrického motoru.

3 Elektromobily BEV

Tyto vozidla pohání elektromotor a energie je uložena v akumulátorech ve vozidle. Na obrázku 56 jsou zachyceny možnosti uspořádání pohonu v elektromobilu. Varianty pohonu a, b, d, e ukazují klasické uložení pohonu na podvozku. Moment se přenáší přes převodovku a mechanický diferenciál na nápravu. Buď je poháněna jen přední náprava - varianta a) nebo zadní - varianta b) nebo jsou poháněny obě nápravy - varianty d) a e). U varianty d) je pohon zadní nápravy realizován pomocí kardanového hřídele, zatímco u varianty e) má každá náprava vlastní elektrický pohon.

Další možností je pohánět nápravu přímo, to znamená bez použití převodovky, jak je tomu u varianty c). V takovém případě je motor umístěn přímo na nápravu. Aby bylo možné zatáčet bez smyku kol, je pohon vybaven mechanickým diferenciálem.

Individuální pohon kola je znázorněn na variantách f) a g). U varianty f) je motor instalován přímo v kole. Oproti tomu u varianty g) je motor uložen na podvozku a přes převodovku a vhodný hřídel je moment přenášen na kolo.



Obr. 56 Možnosti uspořádání pohonu u elektromobilu

- a) Pohon přední nápravy
- b) Pohon zadní nápravy
- c) Přímý pohon zadní nápravy - bez převodovky
- d) Pohon 4x4 - pohon zadní nápravy přes kardanový hřídel - mechanicky
- e) Pohon 4x4 - individuální pohon náprav
- f) Pohon 4x4 - individuální pohon kola - instalovaný přímo v kole
- g) Pohon 4x4 - individuální pohon kola - motor umístěný na podvozku a vybaven převodovkou

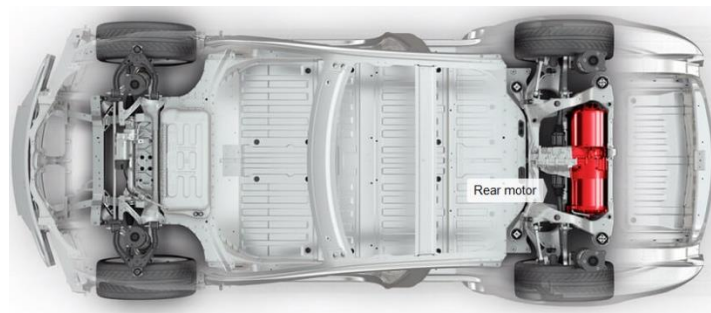
3.1 Pohon celé nápravy – zadní

Pohon elektromobilu, kdy je hnaná jen zadní náprava, se skládá z elektrického motoru (synchronního nebo asynchronního), dále fixní redukční převodovky, která obvykle mívá dva stupně a převodový poměr od 6 do 10, a samozřejmě je mechanický diferenciál pro rozdělení momentu na kola při zatáčení. To platí i pro pohon přední nápravy.

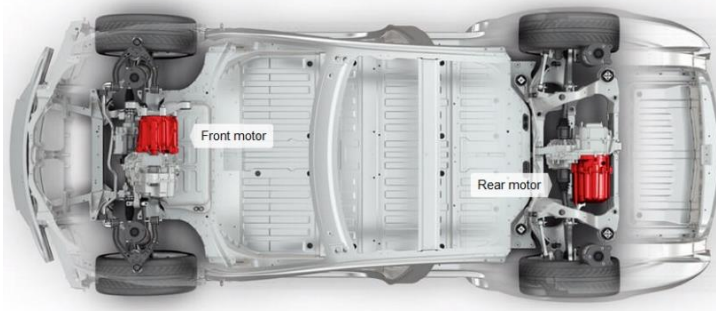
3.1.1 Tesla S

Tesla S může mít hnanou jen zadní nápravu nebo hnané obě nápravy, v tomto případě v označení modelu přibude písmeno D (dual). Další rozdělení tohoto modelu je, zda vozidlo obsahuje výkonnější motor na zadní nápravě. V tomto případě se značí písmenem P (performance). Na obrázku 57 je vozidlo pouze s pohonem zadní nápravy, obrázek 58 zachycuje vozidlo s pohonem obou náprav a na obrázku 59 je naznačen pohon obou náprav, přičemž zadní náprava je poháněna výkonnějším motorem.

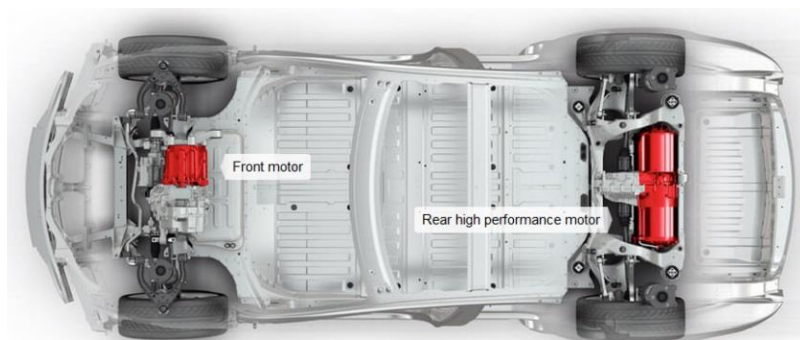
- Asynchronní motor třífázový
- Dvoustupňová převodovka fixní
- Kapalinové chlazení motoru



Obr. 57 Jeden pohon, hnaná zadní náprava[18]



Obr. 58 Pohon všech kol, klasický zadní motor[18]

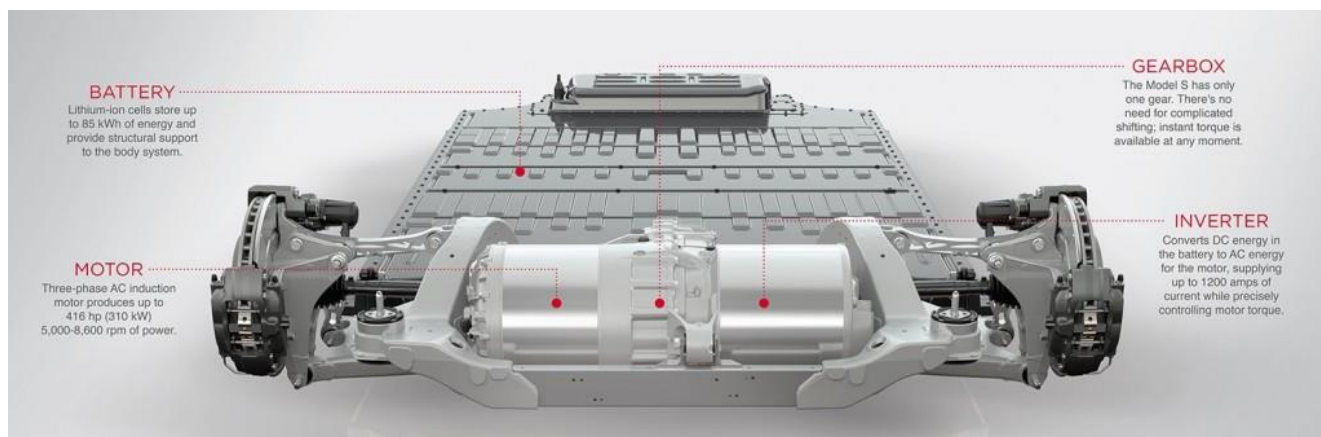


Obr. 59 Pohon všech kol, zadní motor je vysoko výkonový[18]

Údaje o pohonu jsou podle manuálu verze 8.0 - jedná se o vozy z roku 2017.

- Jednomotorové vozidlo základní verze: výkon 285 kW při 6850 ot/min, točivý moment 440 Nm, maximální otáčky 16 000 ot/min, převodový poměr 9,73:1
- Dvumotorové vozidlo základní verze: oba motory shodné, výkon 193 kW při 6100ot/min, točivý moment 250 Nm, maximální otáčky obou motorů 18000 ot/min, převodový poměr 9,34:1
- Dvumotorové vozidlo verze performance:
 - Přední motor: výkon 193 kW při 6100 ot/min, točivý moment 330 Nm, maximální otáčky obou motorů 18000 ot/min, převodový poměr 9,34:1
 - Zadní motor: výkon 375 kW při 5950 ot/min, točivý moment 650 Nm, maximální otáčky 16000 ot/min, převodový poměr 9,73:1

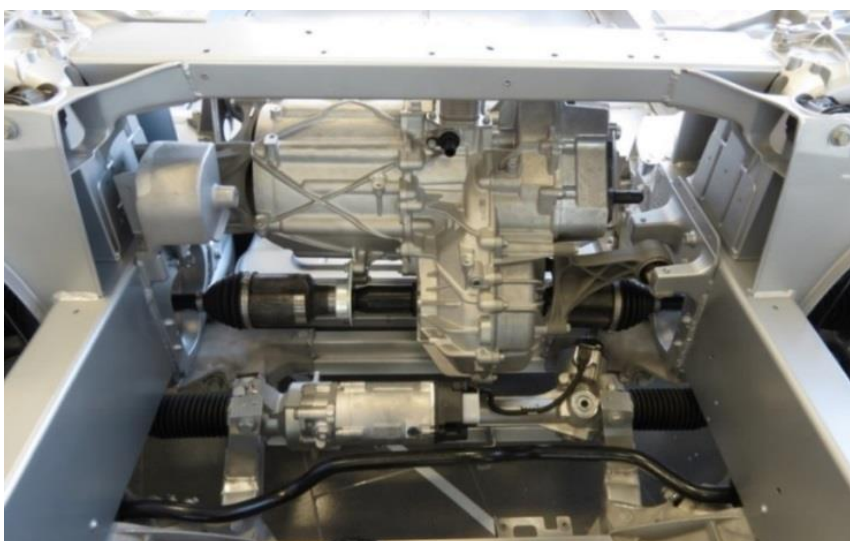
Jednomotorové vozidlo verze performance nebylo pro rok 2017 vyrobeno, ale podle dostupných dat by mohl jeho pohon vypadat nejspíš takto: výkon 375 kW při 5950 ot/min, točivý moment 650 Nm, maximální otáčky 16000 ot/min, převodový poměr 9,73:1



Obr. 60 Ukázka zadní nápravy Tesla model S [15]



Obr. 61 Ukázka zadní nápravy Tesla model S [17]



Obr. 62 Přední hnané náprava u modelu S P90D [20]



Obr. 63 Řez diferenciálu do elektromobilu Tesla S – přímá náhrada za originální diferenciál (QDH2T)[25]

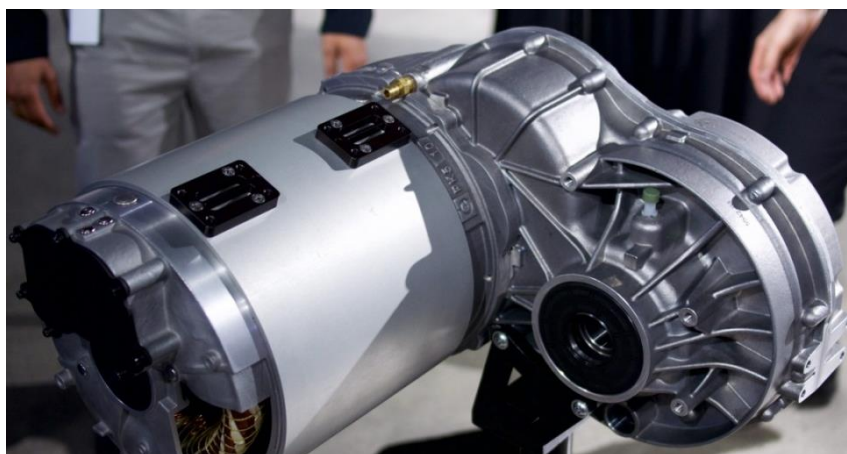
Převodový poměr u verze 1.5 je 8,2752: 1 jedná se o převod do pomala. U verze 1 byl tento poměr 9.73:1. Maximální otáčky vstupního hřídele jsou 14 000 ot/min maximální. Pro rozdělení poměru otáček je použit mechanický diferenciál, ten je zobrazen na obrázku 63. nejedná se o originální diferenciál, ale o náhradní díl od jiného výrobce.



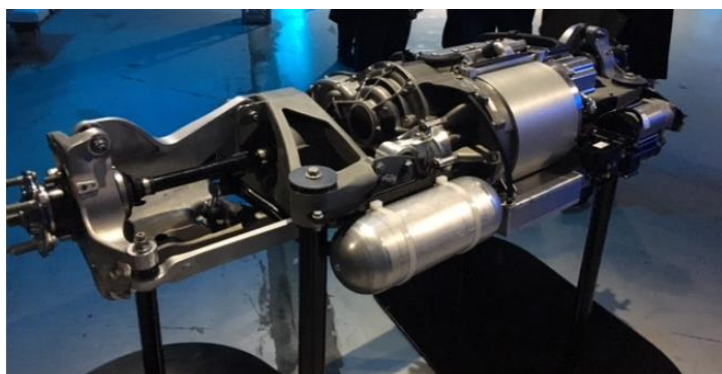
Obr. 64 Převodovka z Tesly S verze 1.5 [19], [25]

3.1.2 Lucid

- Výkon motoru na zadní nápravu 441 kW (600 hp)
- Moment je přenášen na nápravu přes jednostupňovou převodovku
- Motor by měl být menší než ten, který je použit v Tesla S



Obr. 65 Pohón Lucied [24]



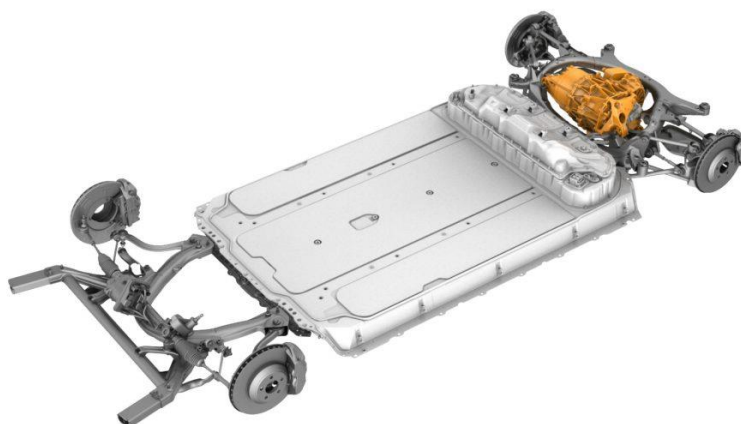
Obr. 66 Náprava s pohonem Lucied [23]

Lucid 2019

- Poháněny obě nápravy, přední motor o výkonu 294 kW (400 hp) a zadní o výkonu 441 kW (600 hp)

3.1.3 Tesla 3

- Pohón zadní nápravy, elektromotor je synchronní s permanentními magnety.
- Maximální výkon 165 kW, maximální otáčky 17900 ot/min, točivý moment by měl být kolem 400 Nm, převodovka fixní a poměr 9:1, hmotnost vozu 1741 kg, maximální rychlost 225km/h, zrychlení z 0-100km/h za 5,3 s.



Obr. 67 Podvozek s pohonem z Tesly 3[100]

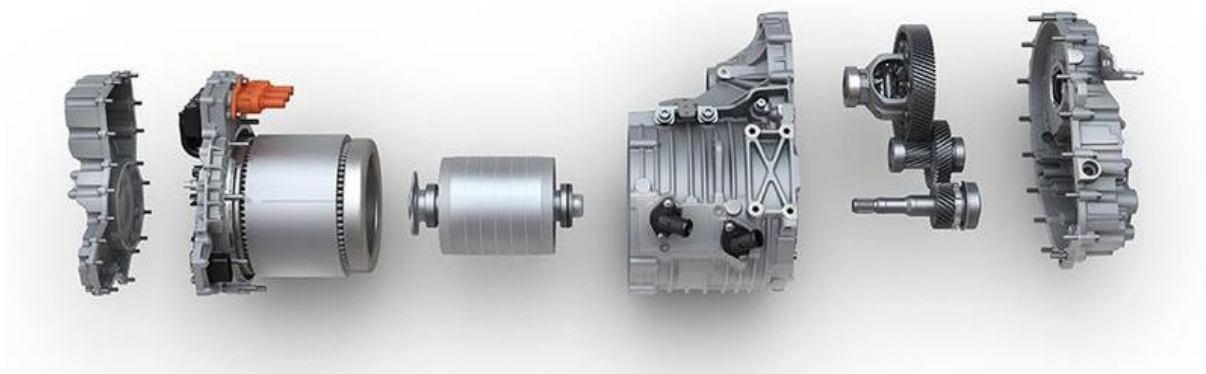
U pohonu zadní nápravy je ta nevýhoda, a že je hnaná jen zadní náprava. Lepší jízdní vlastnosti jsou při pohonu přední nápravy nebo obou náprav, ale při využití dostupných jízdních asistentů je rozdíl v jízdních vlastnostech minimální. Za zvážení by stálo nahradit fixní převodovku za vícerychlostní (alespoň dvě rychlosti; jedna pro město a druhá pro mimo město) - vyžití motoru v otáčkách, kdy je lepší účinnost a snížila by se tím „spotřeba“ elektromobilu. Další možností, jak snížit spotřebu u elektromobilu, je využít speciálně navržený motor. Tento motor by měl umožnit provoz v různých pásmech otáček se stále dostatečně vysokou účinností.

3.2 Pohon celé nápravy – přední

Pohon přední nápravy poskytuje lepší jízdní vlastnosti než pohon jen zadní nápravy. Uspořádání pohonu přední nápravy je obdobné jako u pohonu zadní. Obsahuje jeden elektrický motor buď synchronní, nebo asynchronní a fixní převodovku s diferenciálem.

3.2.1 Volkswagen e-Golf

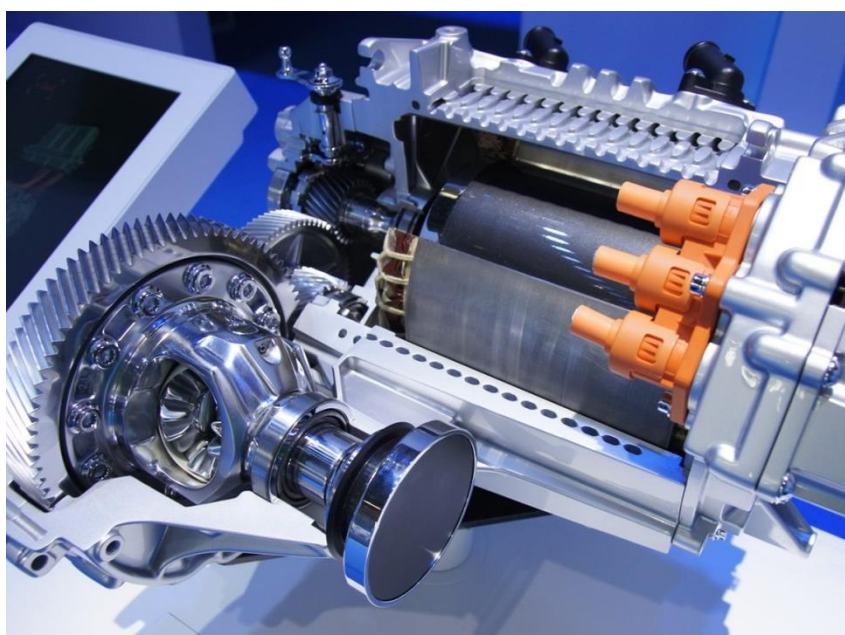
- Pohon přední nápravy, hmotnost vozu 1510 kg, maximální rychlost 150 km/h, zrychlení z 0-100 km/h za 9,6 s
- Výkon motoru 100 kW, kroutící moment 290 Nm
- Otáčky pohonu 12 000 ot/min
- Synchronní s PM
- Chlazen kapalinové
- Dvoustupňová fixní převodovka
- Na obrázku 65 je vidět rozložený pohon z e- Golfu.



Obr. 68 Pohon e- Golf [31]



Obr. 69 e-Golf[31]



Obr. 70 Detail pohonu e- Golf [76]

3.2.2 Mercedes třídy B Electiv Drive

- Hmotnost vozu je 1725 kg, maximální rychlost 160 km/h a zrychlení z 0-100 km/h za 7,9 s
- Asynchronní motor o výkonu 132 kW, točivý moment 340 Nm
- Otáčky motoru 9,900–12,500 ot/min

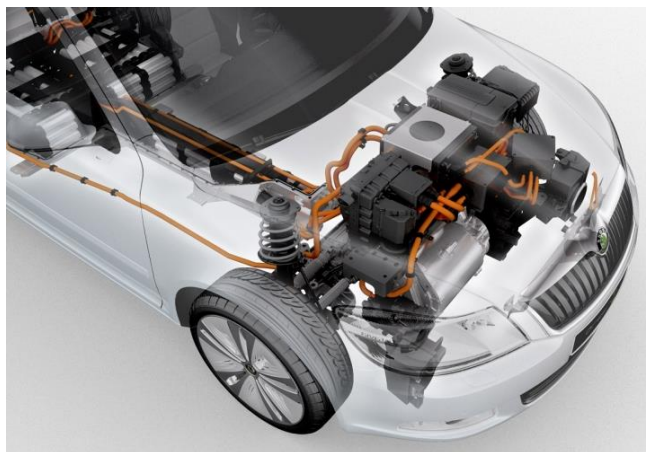


Obr. 71 Mercedes třídy B Electiv Drive [41]

Co se týče všech pohonů pro elektromobily, který používají fixní převodovku, stálo by za zvážení převodovku nahradit za vícerychlostní, alespoň dvě rychlosti, jednu pro městskou dopravu a druhou pro mimo městeckou. Její použití by mohlo mít za následek zvýšení dojezdu elektromobilu při použití stejné kapacity akumulátoru. Motor by totiž mohl pracovat v optimálnějším pracovním režimu a mohl by mít tedy vyšší účinnost. Avšak při použití vícerychlostní převodovky by mohlo dojít k navýšení hmotnosti a celého pohonu oproti stávajícímu řešení by byl složitější, což sebere velkou výhodu elektrického pohonu oproti pohonu se spalovacím motorem. Další možností, jak snížit spotřebu u elektromobilu, je použít speciálně navržený motor. Tento motor by pracoval v různých pásmech otáček se stále dostatečně vysokou účinností

3.2.3 Octavia Green E Line

Jmenovitý výkon motoru 60 Kw, maximální výkon 85 kW, točivý moment 270 Nm, zrychlení z 0 na 100 km/h za 12 sekund, maximální rychlost je omezena na 135 km/h.

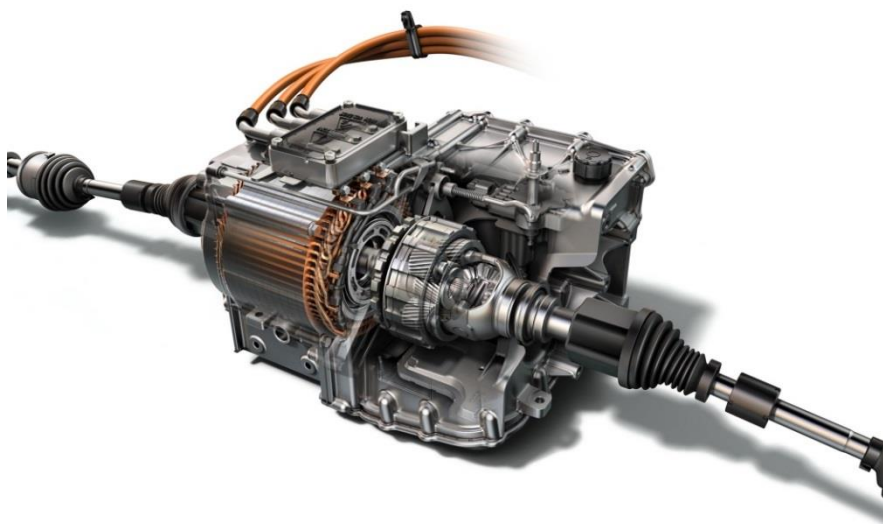


Obr. 72 [80]

3.2.4 Chevrolet Spark EV

Koncepce pohonu je podobná jako v předchozích případech, liší se v tom, že jako reduktor je použita planetová převodovka.

Elektrický motor je synchronní s permanentními magnety, výkon 105 kW, točivý moment 444 Nm, převod 3,87:1, maximální rychlost 145 km/h a zrychlení z 0-96 km/h za 7,2 s.



Obr. 73 Pohonná jednotka Chevroletu Spark EV [114]

3.3 Individuální pohon náprav

Tento koncept pohonu je založen na tom, že každá náprava má vlastní nezávislý pohon. Jedná se tedy o pohon 4x4, ale není mechanické spojení mezi nápravami. Další možností pro pohon všech kol je využít propojení náprav prostřednictvím kardanového hřídele a vhodné převodovky.

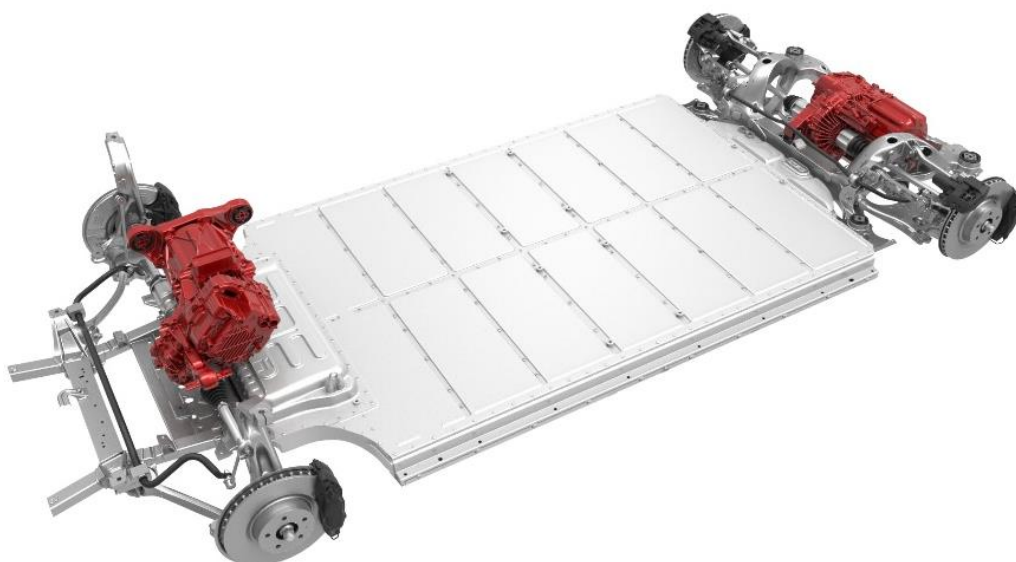
3.3.1 Tesla X

Elektromotor je třífázový čtyřpólový asynchronní motor s měděným rotorem chlazen kapalinově. Převodovka je fixní. Vozidlo je ve dvou verzích základní a performance označené písmenem P.

Základní verze: přední a zadní motor jsou shodné, výkon 193 kW při 6100 ot/min, maximální otáčky 18200 ot/min, točivý moment 249 Nm, převodový poměr je 9,34:1

Verze performance: přední motor o výkonu 193 kW při 6100 ot/min, maximálními otáčky 18200 ot/min, převodový poměr je 9,34:1 a zadní motor o výkonu 375 kW při 5,950 ot/min s maximálními otáčkami 18700 ot/min, točivý moment 649 Nm, převodový poměr je 9,73:1

- 90D - hmotnost 2389 kg, maximální rychlost 250 km/h, zrychlení z 0-100km/h za 5 s
- P90D - hmotnost 2439 kg, maximální rychlost 250 km/h, zrychlení z 0-100km/h za 3,1 s
- 100D - hmotnost 2459 kg, maximální rychlost 250 km/h, zrychlení z 0-100km/h za 5s
- P100D - hmotnost 2509 kg, maximální rychlost 250 km/h, zrychlení z 0-100 km/h za 3,1 s



Obr. 74 Podvozek s pohonem z Tesly X [99]

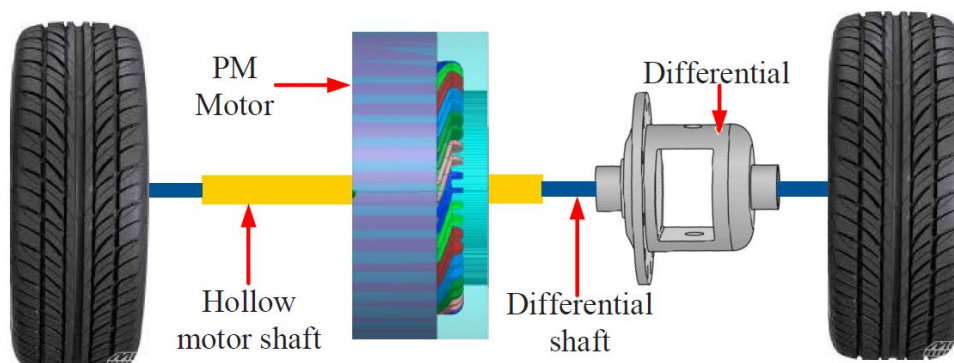
Lze sem zařadit i modely Tesly S, které má hnané obě nápravy, ty jsou označené písmenem D.

3.4 Přímý pohon zadní nápravy elektromobilu bez převodovky

V ostatních konceptech elektromobilu, kromě elektromotoru v náboji kola, je moment na hnanou hřídel obvykle přenášen přes jednostupňovou převodovku. Následující řešení se liší v tom, že motor je umístěn přímo na nápravě a tudíž odpadá převodovka. Součástí nápravy je samozřejmě diferenciál.

- Na převodovce se může ztratit 2 % až 20 % výkonu motoru v závislosti na rychlosti a točivém momentu motoru
- Toto řešení by mohlo být výhodné z následujících důvodů
 - Nižší počet prvků
 - Nižší spotřeba maziv
 - Snížení mechanických ztrát
 - Snížení hluku

Bliže je tato problematika řešena ve zprávě *On-board Direct-Drive Surface Permanent Magnet Synchronous Machine with Fractional-Slot Concentrated Windings for Electric Vehicles* [21]



Obr. 75 Schématický naznačen přímý pohon nápravy [21]

Motor na nápravě musí být vypružen, to je řešeno pomocí dutého hřídele rotoru. Motor na nápravě je nízko-otáčkový. Kvůli absenci převodovky jsou otáčky motoru shodné s otáčkami nápravy. Motor je možné zvětšit do průměru daleko více než motor instalovaný v kole.

3.5 Individuální pohon kola - motor zabudovaný v kole

3.5.1 Protean Electric

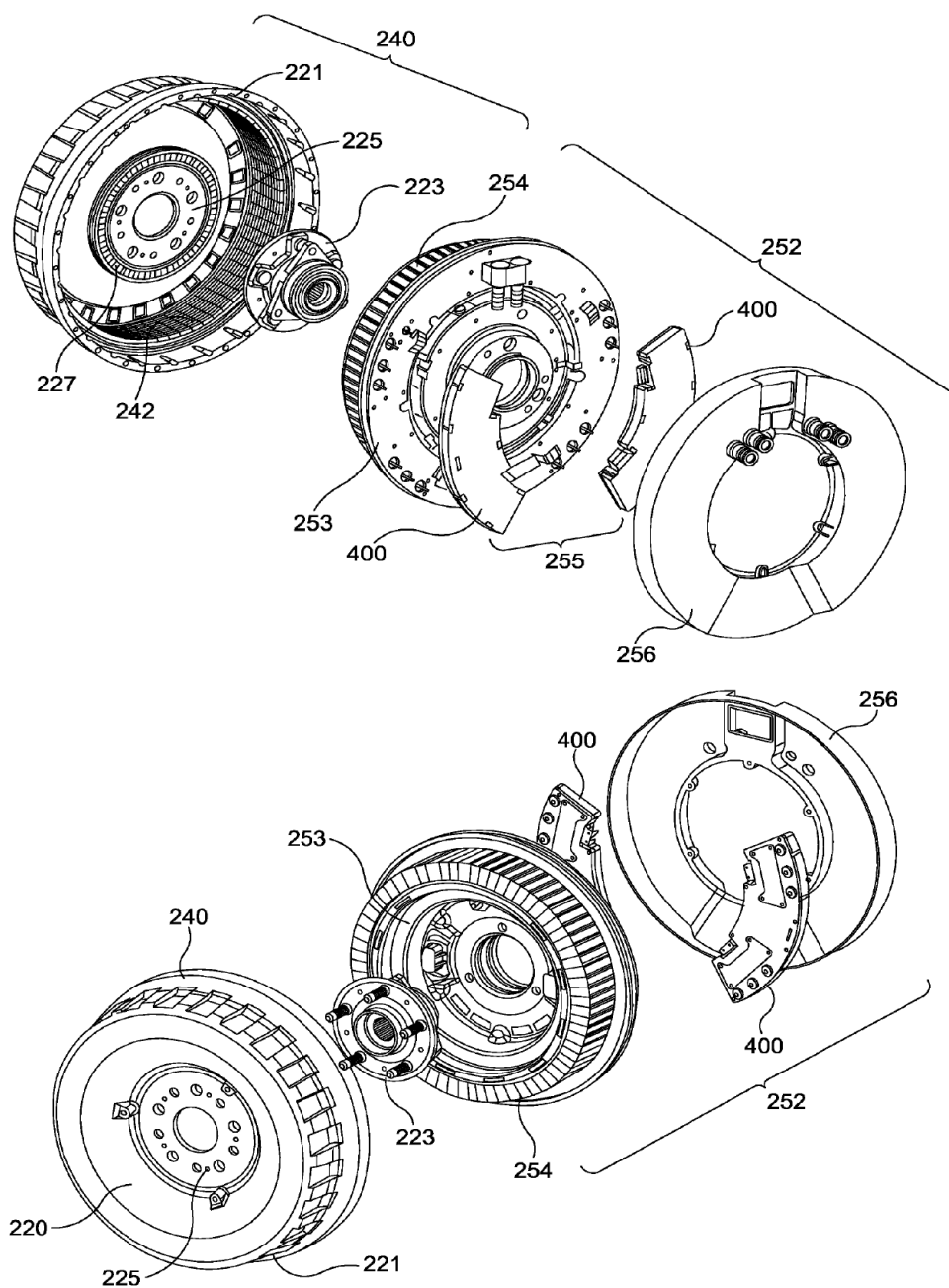
V tomto případě je motor zabudovaný v kole vozidla. Docílí se tím těchto vlastností:

- Uvolnění místa pro akumulátory
- Není potřeba převodovka ani diferenciál
- Vysoká neodpružená hmotnost
- Při pohonu všech 4 kol optimální rozložení hmotnosti
- Elektrodynamické brzdění

Motor může být umístěn jak v předních nebo zadních nebo i ve všech čtyřech kolech. Každá jednotka obsahuje elektrický motor, střídač s mikroprocesorem a brzdový kotouč s brzdovým mechanismem. Na obrázcích 76 a 77 je tento pohon znázorněn. Motor má 32 párů magnetů v rotoru.



Obr. 76: Schéma motoru v kole [1]



220	Přední část	240	Rotor	254	Cívky
221	Válcová část	242	Sada magnetu	255	Elektronický modul
223	Ložiskový blok	252	Stator	256	Kryt statoru
225	Střední část	253	Chladič	400	Řídící zařízení (měnič + řídící elektronika)
227	Sada magnetů – pro snímání polohy				

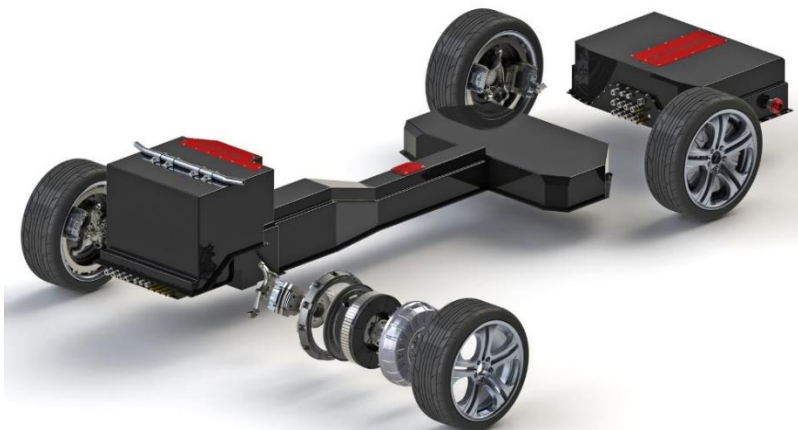
Obr. 77 Náskres pohonu v kole Protean Electric [118]

3.5.1.1 Brabus 4WD Full Electric

- Mercedes třídy E s čtyřmi motory v kole od Protean Electric
- Trvalý výkon v režimu Eco 50 kW, špičkový výkon v režimu Sport 80 kW
- Maximální rekuperace energie 4 x 70 kW
- Hmotnost jednoho motoru je 31 kg, průměr 42 cm (disky 19“), tloušťka 11,5 cm
- Maximální otáčky 2000 ot/min
- Maximální rychlost 220 km/h
- Motor má kalinové chlazení (voda/glykol)



Obr. 78 Řez kola s pohonem Protean Electric [27]



Obr. 79 Rozložení baterií na vozidle Brabus 4WD [27]

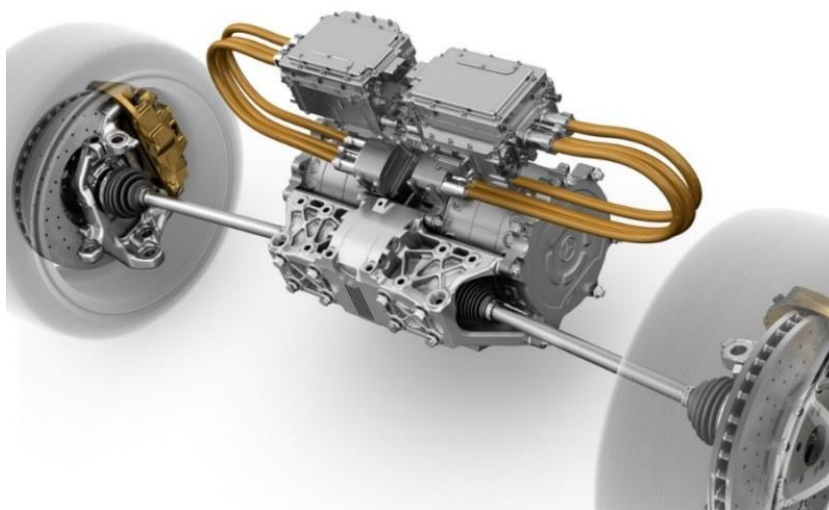
U tohoto pohonu vidím výhodu v individuálním řízení každého kola, kdy lze na každé kolo posílat různý moment podle potřeby. Dále se uvolní místo ve voze, které je možné využít pro akumulátory nebo jako úložní prostor. Kvůli absenci převodovky nedochází k mechanickým ztrátám, ale otáčky nemohu být příliš vysoké, zde jsou udávány maximální otáčky 2000 ot/min. Nevýhoda této koncepce je zvýšení hmotnosti kol (disk + motor), zvyšuje se tzv. neodpružená hmotnost kola. Daleko více se zatěžuje uchycení kola (rameno) a tlumící mechanismus než u běžného vozu.

Zajímavé by bylo použití tohoto pohonu u menšího vozidla, něco jako Fabia atd. Jelikož tyto vozy mívají menší disky, kolem 14"- 15", tudíž by i samotný motor musel být menší. Zda by toto zmenšení prostoru pro pohon v kole ovlivnilo podstatně jeho šířku a hmotnost, a to jak v kladné míře, kdy by byl motor lehčí a menší, nebo negativně motor by byl širší a těžší. Pokud by se samozřejmě vzalo v potaz, že by pohon nemusel být tak výkonný, jako v případě použití u Mercedesu třídy E. Přeci jen by vozidlo mohlo být lehčí a nemuselo by dosahovat tak vysoké rychlosti. Podle této skutečnosti by se pak dalo říct, zda by tento pohon byl použitelný i pro menší vozy.

3.6 Individuální pohon kola - motor uložen na podvozku

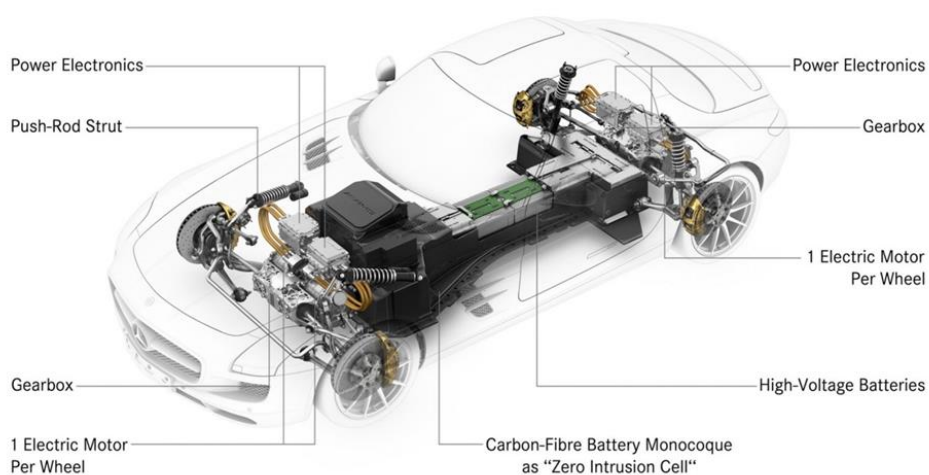
3.6.1 Mercedes-Benz SLS E-Cell

- Čtyř synchronní motor s jednostupňovou převodovkou fixně upevněný na podvozku co nejbliž k hnanému kolu
- Maximální otáčky elektromotoru 13 000 ot/min, optimální 4000 až 6000 ot/min
- Každé jednotlivé kolo může být elektricky poháněno nebo elektricky brzděno
- Celkový výkon motorů je 552 kW, na jeden motor 135 kW
- Tato koncepce již nemá problém s nevypruženou hmotností motoru v kole, i tak se jedná o individuální pohon kola
- Dva chladicí okruhy, každá náprava má vlastní okruh - kapalinové

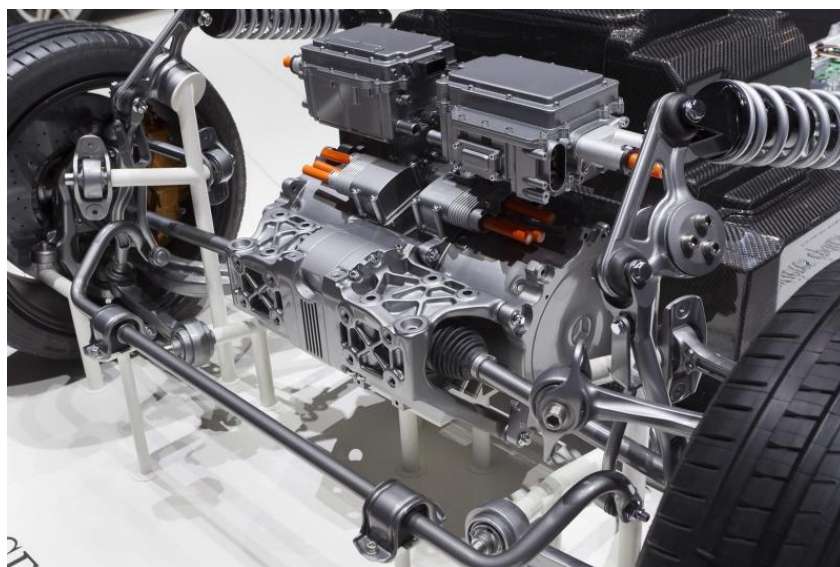


Obr. 80 Náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [5]

Mercedes-Benz SLS AMG E-CELL



Obr. 81 Pohled na celý automobil Mercedes-Benz SLS E-Cell [5]



Obr. 82 Přední náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [6]



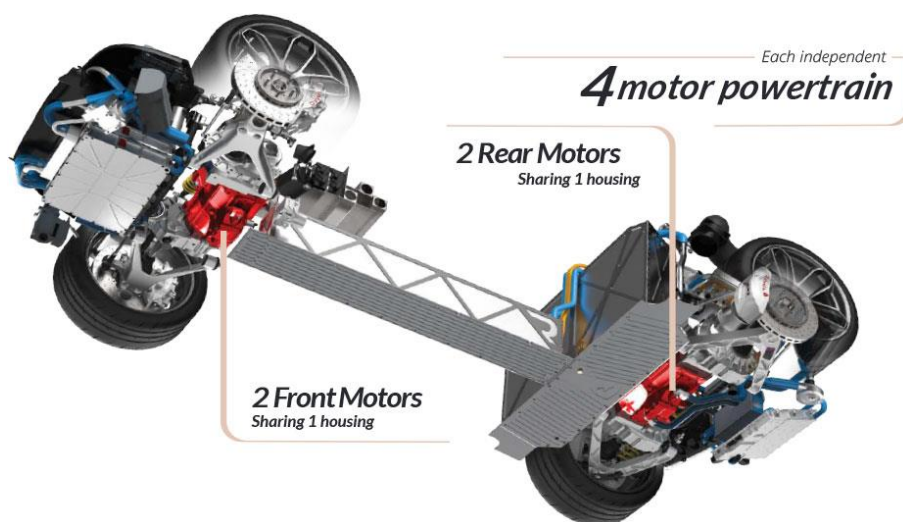
Obr. 83 Zádňní náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [6]

Toto řešení v sobě snoubí výhody individuálního pohonu kola a pohonu uloženého na podvozku vozidla. Bylo by zajímavé zvážit možnost instalace motoru s vyššími otáčkami a převodovkou s větším převodovým poměrem, zda by nedošlo k úspoře hmotnosti a místa. Nebo využít tento pohon do vozidla, které by nedosahovalo tak vysoké rychlosti (běžné auto a ne „supersportu“).

3.6.2 Rimac Concept One

Obdobné řešení jako v případě Mercedesu SLS E-Cell je použito u vozu Rimac Concept One. Individuální pohon všech kol s motorem uloženým na podvozku vozu (mezi koly). Patrný konstrukční rozdíl mezi těmito řešeními pohonu je ten, že zadní pohon u Rimac má dvou spojkovou dvourychlostní převodovku namísto fixní. Přední náprava má fixní převodovku. Použití dvourychlostní převodovky má mít za následek rychlou akceleraci a vysokou maximální rychlost.

- Maximální rychlost 355 km/h, zrychlení z 0-100 km/h za 2,5 s, maximální točivý moment 1600 Nm při 0 – 6500 ot/min, maximální výkon 913 kW, hmotnost 1850 kg



Obr. 84 Vizualizace podvozku s pohonem Rimac Concept One [98]

Chlazení motoru

Motory ve voze Rimac Concept One mají rotor a stator chlazený olejem s nízkou viskozitou. Ten obíhá pomocí integrovaného čerpadla. Integrovaný výměník tepla přenáší teplo z oleje do vnějšího okruhu voda/glykol, který cirkuluje ve vozidle dále do radiátorů. Olej zůstává vždy uvnitř motoru a necirkuluje ve vozidle. Tudíž by nemělo docházet k unikům chladicího oleje. Chlazení rotor a stator olejem je účinnější než chlazení vodou, motor by tedy mohl pracovat delší dobu s maximálním výkonem.

Pohon přední nápravy

- Duální motorová jednotka D-PM-OC-500
 - Synchronní motor s vnitřními permanentní magnety, 10 pól párů na motor,
 - Výkon 320 kW při 9 600 ot/min maximální 638 kW při 10 300 ot/min, točivý moment 500 Nm při 0-4000 ot/min maximální 660 Nm při 0-8500 ot/min, maximální otáčky 12 000 ot/min,
 - Hmotnost pohonu bez převodovky 95 kg, rozměry 365 x 403 x 430 mm (L x W x H)

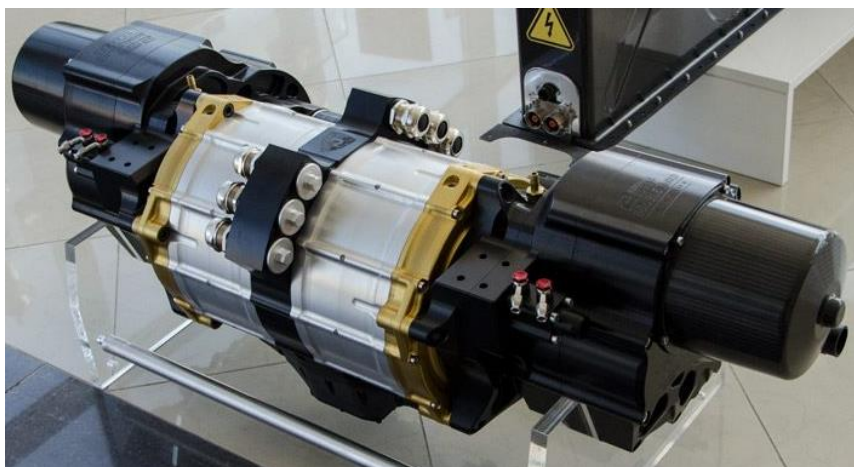
- Převodovka
 - Jedno rychlostní fixní převodovým poměrem 1:3,5 – 1:4,16
 - Hmotnost převodovky 22 Kg, rozměry 407x277x211 mm
 - Maximální točivý moment 420 Nm, maximální otáčky za minutu 13 000



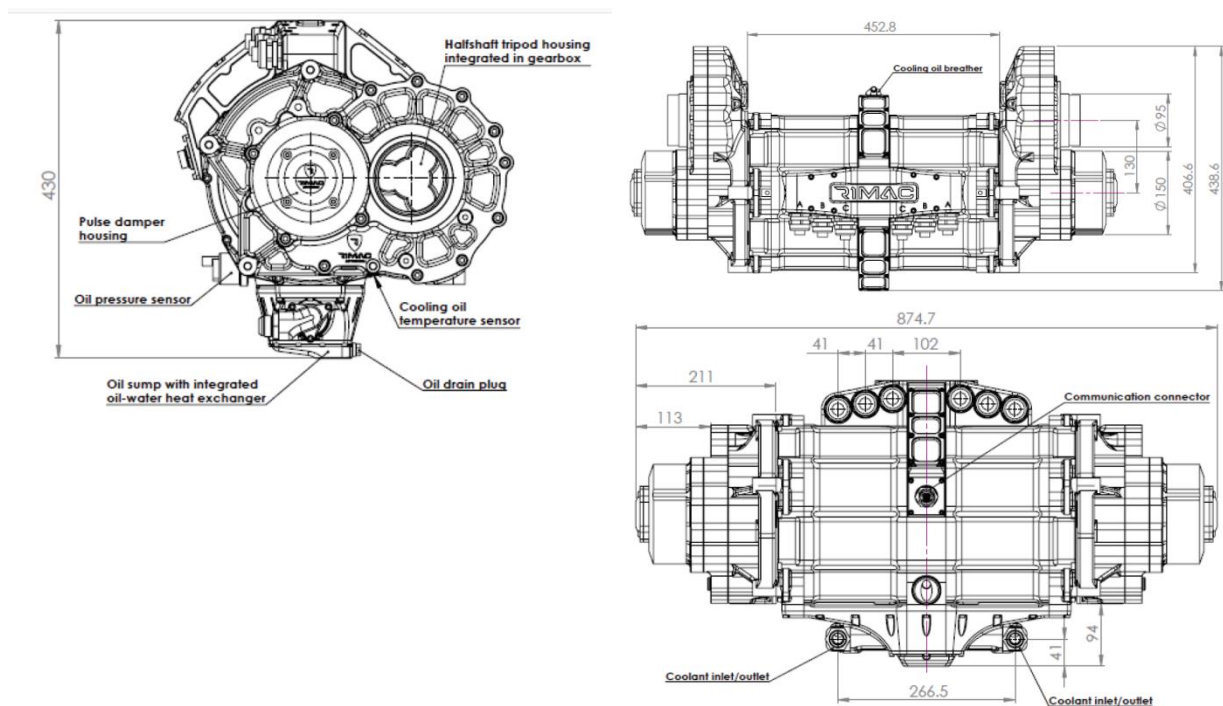
Obr. 85 Pohon přední nápravy Rimac Concept One [92]

Pohon zadní nápravy

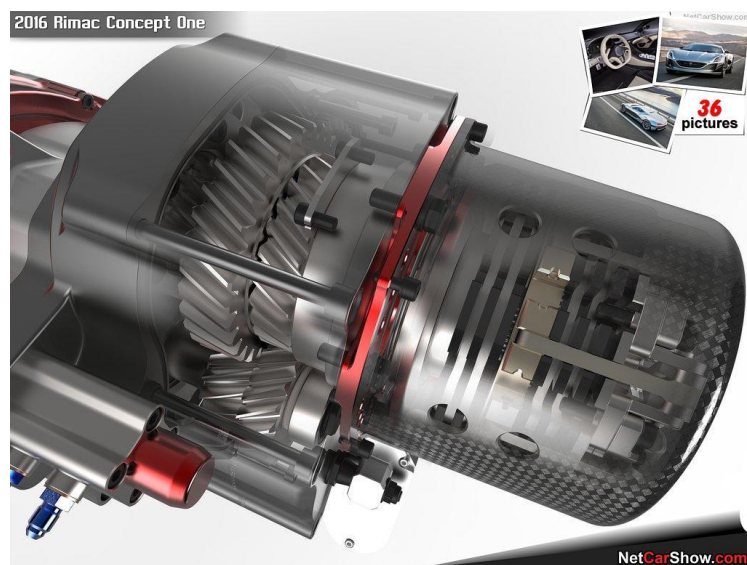
- Duální motorová jednotka D-PM-OC-600
 - Synchronní motor s vnitřními permanentní magnety, 10 pól párů na motor,
 - Výkon 386 kW při 8 800 ot/min maximální 654 kW při 8 500 ot/min, točivý moment 600 Nm při 0-4000 ot/min maximální 848 Nm při 0-8500 ot/min, maximální otáčky 12 000 ot/min,
 - Hmotnost pohonu bez převodovky 115 kg, rozměry 365 x 454 x 430 mm (L x W x H)
- Převodovka
 - Dvourychlostní převodovým poměrem 1:3,5 – 1:9,2
 - Hmotnost převodovky 45 Kg, rozměry 327 x 328 x 341 mm
 - Maximální točivý moment 450 Nm, maximální otáčky za minutu 13 000
 - Dvojitá spojka z uhlíkových vláken



Obr. 86 Pohon zadní nápravy Rimac Concept One [93]



Obr. 87 Nákres zadního pohonu Rimac Concept One [102]



Obr. 88 Dvojité spojka ze zadního pohonu Rimac Concept One [90]

4 Formule E

Následující kapitola jen stručně popisuje zavedení elektrického pohonu do světa motorsportu. Jedná se Formule E, formule poháněny výhradně elektrickou energií.

- Zrychlení z 0 na 100 km/h za 3 s, max. rychlost 225 km/h
- Poháněna zadní náprava
- Nutnost diferenciálu, není povolen individuální pohon kola
- Synchronní motor s permanentními magnety (u většiny týmu 1 motor)

E-Motor (motor) od McLaren Applied Technologies

- Synchronní třífázový motor/generátor s permanentními magnety

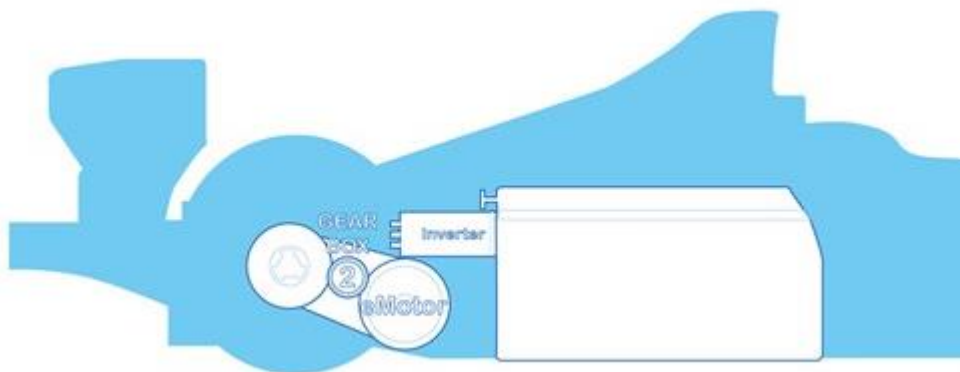


Obr. 89 E-Motor 120 kW / 130 Nm [13]

- Obdobný motor byl použit v první sezoně pro všechny Formule E
- Váha 26 kg
- Max. otáčky 17 000 ot/min
- Účinnost 96 % při 120 kW a 13 000 ot/min

4.1 Jeden motor příčně uložen - 2 rychlostní stupně (RENAULT E.DAMS – 2. sezona)

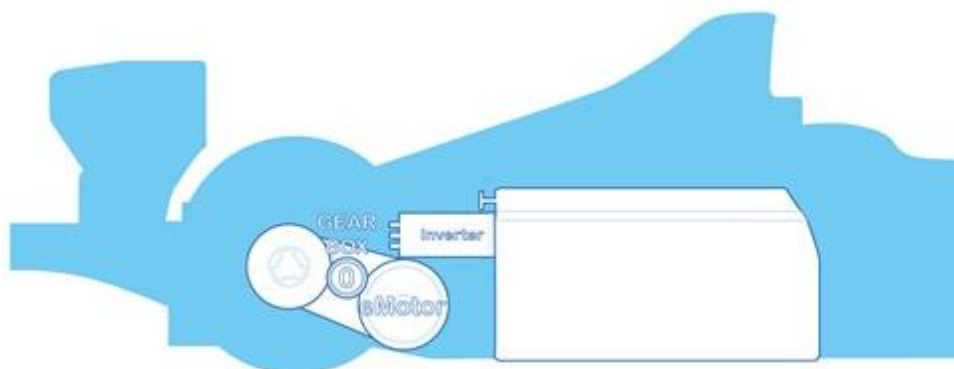
- Motor napříč vozem,
- 90° kuželové ozubení převodovky
- Nutnost diferenciálu
- Dvourychlostní převodovka, pro účinnější rozsah otáček motoru, nutnost řadit
 - První stupeň pro nízké rychlosti start na některé pomalejší vlásenky
 - Druhý stupeň pro zbytek závodu



Obr. 90 Schématicky naznačené uložení motoru zadní části formule E příčně uložen motoru [7]

4.2 Jeden motor příčně uložen – bez řazení (RENAULT E.DAMS - 3.sezona)

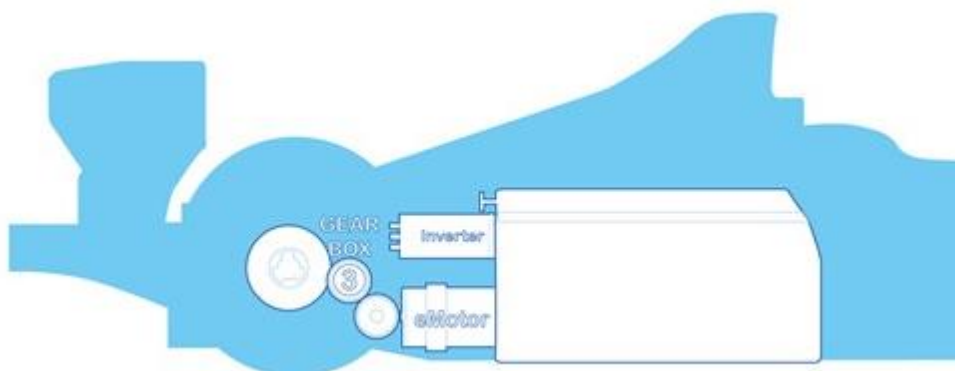
- Motor pohání diferenciál přes redukční převodovku – jeden fixní převod, bez řazení
- Nižší hmotnost než předchozí řešení



Obr. 91 Schématicky naznačené uložení motoru v zadní části formule E příčně uložení motoru bez řazení [7]

4.3 Jeden motor podélně uložen - 3 rychlostní stupně (2. A 3. sezona ABT SCHAEFFLER AUDI SPORT)

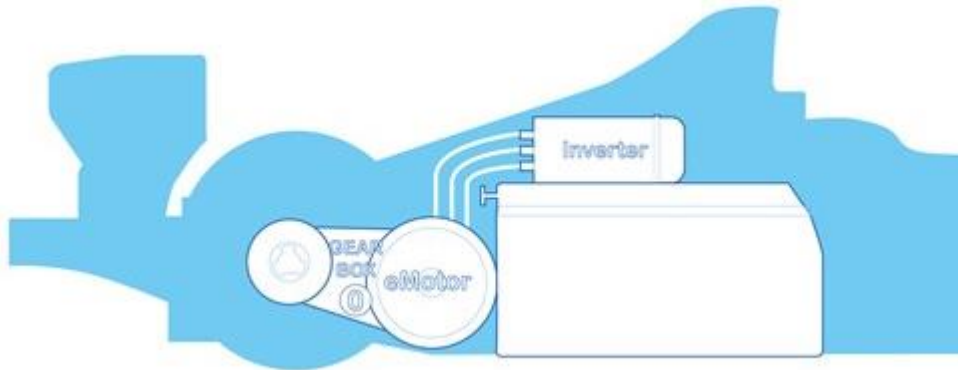
- Využití příčné převodovky
- Třístupňová převodovka umožňuje udržet nejučenější rozsah otáček



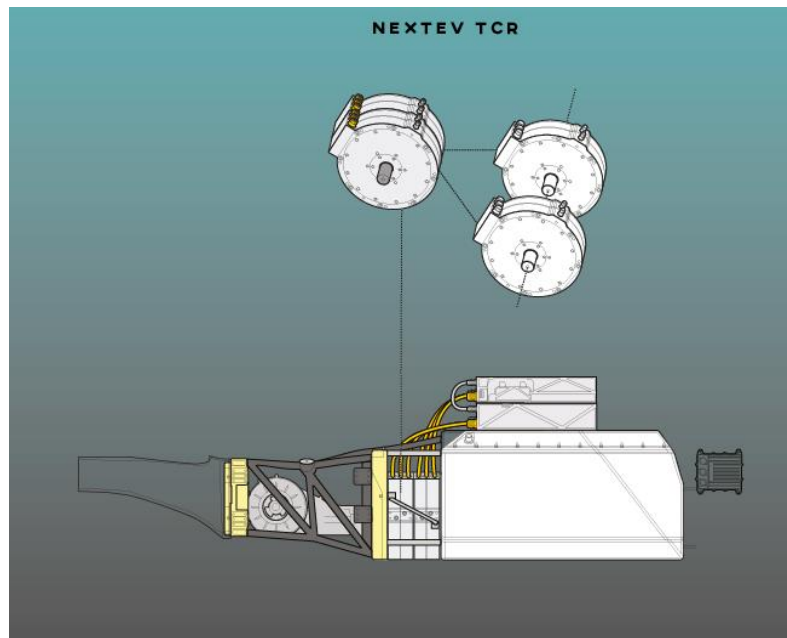
Obr. 92 Schéma uložení motoru v zadní části formule E podélné uložení motoru [7]

4.4 Dva motory - bez řazení (NEXT EV 2 a 3 sezona a DS VIRGIN RACING 2 sezona)

- Dva spojené motory - poskytují dobrý točivý moment
- Jeden převodový stupeň



Obr. 93 Schématický náčrt uložení motoru v zadní části formule E upoužití dvou motorů [7]



Obr. 94 Ukázka spojení dvou motorů[8]

5 Závěr

Pohony pro elektromobily a hybridní vozy jsou odvětvím, které se neustále vyvíjí. Automobilky neustále přicházejí s novými řešeními jak hybridních, tak i čistě elektrických pohonů.

Automobily vyvíjí a používají různé varianty hybridních systémů, „každá vyvíjí vlastní pod svým názvem“. Velmi častým konceptem hybridu je pohon založený na základu paralelního hybridního pohonu, kdy je mechanicky spojen spalovací a elektrický motor přes spojku a před převodovkou. V takovém řešení je nutný výkonnější spalovací motor a ne už tak výkonný elektrický motor. Ten spíše „pomáhá“ spalovacímu motoru při rozjezdu nebo akceleraci, po krátkou dobu může být elektrický motor schopen pohánět vozidlo samostatně. Pokud je požadavek pro pohon obou náprav, jsou vcelku dvě možnosti. První, kdy je využit pro pohon jedné nápravy hybridní pohon - hlavní hnaná náprava a pro pohon druhé nápravy je použit elektrický motor. Ten by se mohl podílet na pohonu vozu, jen když by to bylo potřeba nebo by si tak zvolil uživatel. Na voze se tedy budou nacházet dva nezávislé pohony. Druhou variantou je přenášet moment na zadní nápravu prostřednictvím vhodného systému založený na základě kardanového hřídele. V tomto případě by vozidlo obsahovalo jen jeden pohon.

Osobní sériové hybridní vozy nejsou příliš časté a prakticky bych sem zařadil z vozů, které se v současnosti provozují, jen BMW i3 REX. Ten obsahuje spalovací motor a generátor pro zvýšení dojezdu, jedná se o příplatkovou výbavu. Sériové uspořádání pohonu se spíše uplatní pro větší prostředky např. hybridní autobusy, trolejbusy a železniční motorové jednotky. U trolejbusu s diesel agregátem a železničních motorových jednotek se jedná jen o nehybridní formu tohoto uspořádání, jelikož se zde uplatní jen elektromechanický přenos výkonu. Aby tato vozidla mohla být označena jako hybridní, musela by být dovybavena bateriemi, které by napájeli elektromotor, buď samostatně, nebo spolu s konvekčním motorem a generátorem. Dalším výhodou instalace baterie je rekuperativního brzdění. Spalovací motor může být použit téměř jakýkoli, většinou se využívá vznětový motor. Hybridní autobus může jet bezemisně jen na omezenou vzdálenost (v závislosti na kapacitě baterií). Spalovací motor se nastartuje jen při nutnosti dobítí baterií, nebo pokud to je konstrukčně umožněno může se podílet na i pohonu vozidla. Spalovací motor lze provozovat v bodech, kdy má nejvyšší účinnost. Zvýšení hmotnosti u autobusu nebude tak citelná jako v případě osobního vozu. Elektromotory je možné umístit přímo do kol bez nutnosti převodovky.

Další možností hybridního pohonu je využít mechanický dělič výkonu. Tento způsob je využit u značky Toyota potažmo Lexus a u vozu Chevrolet Volta 2. generace. Pohon je založen na planetové převodovce, která je použita jako mechanický dělič výkonu. Ten rozděluje výkon ze spalovacího motoru na pohon nápravy a výrobu elektrické energie, tak aby spalovací motor pracoval v co možná nejpřívětivějších otáčkách. Další variantou hybridního pohonu je tzv. kombinovaný přepínatelný hybridní pohon. U tohoto pohonu pracuje spalovací motor ve dvou režimech. V prvním režimu pohání spalovací motor generátor, který dobíjí akumulátory. Celý pohon tedy pracuje jako sériový hybrid. Spalovací motor může pracovat na nižší výkon. Druhý režim je tehdy, kdy se spalovací motor podílí i na pohonu nápravy. V tomto režimu pracuje celý pohon jako paralelní hybrid, respektive sérioparalelní pokud spalovací motor pohání i generátor. V tomto režimu pracuje spalovací motor s vysokým výkonem.

V současné době je stav takový, že většina elektromobilů používá k přenosu momentu ze střídavého motoru na nápravu fixní převodovku, ať už se jedná o přední nebo zadní. Toto řešení má jistě svojí výhodu v jednoduché konstrukci - nepotřebuje spojku, ale vyžaduje, aby elektrický motor pracoval v celém svém rozsahu otáček. Aby mohl motor pracovat v tzv. optimálních otáčkách, kdy by měl mít větší účinnost, a tím pádem nižší spotřebu, musela by být převodovka schopna měnit převodový poměr, tedy mít více rychlostí. Takováto převodovka je již použita v plug-in hybridu BMW i8, kde se jedná o dvourychlostní převodovku. Ale hlavní účel převodovky u BMW i8 není zlepšení účinnosti elektromotoru, ale spíše pro lepší akceleraci a vyšší rychlost vozu. Použití převodovky s více rychlostmi by mohlo mít i přes zvýšení hmotnosti pohonu za následek zvýšení dojezdu při použití stejných akumulátorů. Dalším řešením, jak snížit spotřebu elektromobilu, je využít speciálně navržený motor. Tento motor by měl umožnit provoz v různých pásmech otáček se stále dostatečně vysokou účinností. U PMSM by vysoké otáčky (maximální rychlost vozidla) měli být dosaženy bez nutnosti odbuzování. Převodovka by v tomto případě zůstala fixní. Toto řešení by zřejmě nezpůsobilo příliš velké zvýšení hmotnosti. Menší část elektromobilu používá individuální pohon kola. Jedná se spíše o prototypy a ve větší sériové výrobě se zatím neobjevily. Pohon může být buď instalovaný přímo v kole, nebo je uložen na podvozku a moment se na kolo dostává přes převodovku a hřídel. U individuálního pohonu je možno řídit velikost momentu na jednotlivých kolech. Výhoda a zároveň nevýhoda u motoru instalovaného v kole je absence jakéhokoliv převodu, monet se na kolo přenáší přímo z motoru. Nedochází tedy k žádným ztrátám v převodovce a není potřeba údržba zmíněné převodovky. Ale motor musí mít shodné otáčky s kolem, není tedy možné jít s otáčkami motoru příliš vysoko. Motor tedy vyjde větší, a jelikož je instalován v kole, jeho průměr je omezen velikostí použitých disků na voze a další zvětšení rozměrů je možné jen do šířky. Zvětšení rozměrů pohonu má za následek zvýšení jeho hmotnosti, která je nevypružena. Tato nevypružená hmotnost zvyšuje nároky na vypružení a uchycení kola k vozidlu (ramena, tlumiče, pružiny atd.).

Další možností, jak pohánět každé kolo zvlášť, je motor uložit na podvozek a přes převodovku a poloosu se na kolo dostává moment. Tímto způsobem pohonu je zachována možnost řídit moment na jednotlivých kolech a zároveň tím je odstraněna nevýhoda s nevypruženou hmotností motoru. Tento typ pohonu bude patřit k těm dražším variantám, na jednom voze se nachází čtyřikrát motor, převodovka, měnič a poloosa. Tento pohon byl zatím použit u vozů, které je možné označit za supersporty.

Pro individuální pohon kola by mohlo přijít zlevnění v použití dvou motorů namísto čtyř. Hnána by byla třeba jen přední kola. Tato varianta by mohla přinést zlevnění a zároveň by se i tak dosáhlo dobrých jízdních vlastností. U individuálního pohonu je problém s ohledem na bezpečnost. Jelikož při jízdě v přímém směru by mohlo dojít k nestejnému momentu na jednotlivá kola a vozidlo by mohlo neočekávaně zatočit, což by mohlo vést k nehodě.

U elektromobilu je chlazení většinou řešeno kapalinově převážně voda/glykol. Stálo by za zvážení nahradit současné motory s kapalinovým chlazením za motory se vzduchovým chlazením. Vozidlo by se zbavilo jednoho hospodářství, ale na druhou stranu by se zmenšila přetížitelnost motoru.

Co se týče elektromotorů, tak u hybridních vozidel jednoznačně převládá synchronní motor s permanentními magnety. Tyto motory jsou menší a lehčí než asynchronní, lze je snadněji zabudovat do vozidla se spalovacím motorem. U čistě elektrických vozidel je tomu obdobně, i když jsou vozy, u kterých jsou použity asynchronní motory, ale tyto vozy pak vycházejí těžší. U synchronních motorů jsou kladeny vyšší požadavky na chlazení kvůli riziku odmagnetování magnetů vlivem vysoké teploty v motoru, nelze je tedy tolik přetěžovat jako asynchronní.

Literatura

- [1] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-ideálním-resením-pro-elektromobily.aspx>
- [2] <http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2013/07/Plug-in-Hybrids-Made-Easy-Selectable-EV-Drive-using-In-Wheel-Motors.pdf>
- [3] http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2013/07/Wheel_Torque_and_Speed_in_a_Vehicle_with_In-Wheel_Motors.pdf
- [4] Výzkumná zpráva č.22190, Hybridní pohon s planetovou převodovkou, Doc. Ing. Karel Zeman CSc.
- [5] <http://www.electric-vehiclenews.com/2012/03/mercedes-reveal-sls-e-cells-powertrain.html>
- [6] <http://www.autoforum.cz/predstaveni/mercedes-sls-amg-e-cell-pohled-pod-sukni-elektrického-sportaku/>
- [7] <http://www.fiaformulae.com/en/news/2016/october/insight-how-the-cars-have-changed/>
- [8] <http://current-e.com/features/rapid-prototypes-nextev-tcr/>
- [9] <http://current-e.com/features/rapid-prototypes-ds-virgin-racing/>
- [10] <http://current-e.com/features/rapid-prototypes-renault-e-dams/>
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=V-KONybIQQA>
- [12] <https://chargedevs.com/newswire/bmw-i3-bares-it-all-in-la/>
- [13] <http://www.mclaren.com/appliedtechnologies/products/item/e-motor-120kw-130nm/>
- [14] <http://insideevs.com/real-imagined-tesla-model-s-drivetrain-defective/>
- [15] <http://www.teslarati.com/like-need-tesla-drive-unit-replacement/>
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S
- [17] <https://tesla.stractest.org/tesla-powertrain/>
- [18] <https://www.tesla.com/>
- [19] <https://www.tesla.com/blog/engineering-update-powertrain-15>
- [20] <http://www.guideautoweb.com/en/galleries/36446/exclusive-tesla-model-s-p90d-a-high-speed-5-or-7-seat-electric-rocket-ship/?im=7>
- [21] On-board Direct-Drive Surface Permanent Magnet Synchronous Machine with Fractional-Slot Concentrated Windings for Electric Vehicles, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7726858/>

- [22] <http://releasedatesautos.com/2019-lucid-air/>
- [23] <https://stevegoesgreen.com/2016/12/>
- [24] <https://electrek.co/2017/02/16/lucid-motors-real-deal-no-tesla-clone/>
- [25] <https://shop.quaife.co.uk/tesla-model-s-quaife-atb-helical-lsd-differential>
- [26] http://www.mercedes-amg.com/webspecial/sls_e-drive/eng.php
- [27] <http://www.zemotoring.com/news/2011/09/brabus-4wd-full-electric-430-hp-and-2360-lb-ft-of-torque>
- [28] http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2013/07/In_Wheel_Tech_Brakes_Redefined_AF_AWh_V611132012b.pdf
- [29] http://www.proteanelectric.com/wp-content/uploads/2013/07/2016-03-28_TMC2016-SAE-2.pdf
- [30] <http://media.vw.com/model/pack/92/>
- [31] <http://www.greencarcongress.com/2013/09/20130911-vw.html>
- [32] https://www.bmw.cz/content/dam/bmw/marketCZ/bmw_cz/all-models/PDF/BMW-BMW%20i3_katalog_CZ_cervenec_2016.pdf
- [33] <https://i.ytimg.com/vi/wBcw0aLZcak/maxresdefault.jpg>
- [34] http://hybridfordonscentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404_BMW.pdf
- [35] <https://sam.abuelsamid.com/2016/05/09/2015-bmw-i8-plug-hybrid-spaceship-munich/>
- [36] <http://articles.sae.org/13691/>
- [37] <http://www.gkn.com/en/our-divisions/gkn-driveline/case-studies/2016/i8/>
- [38] https://secure.bmw.com/com/en/newvehicles/i/i8/2014/showroom/technical_data.html
- [39] <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobily-3-jak-funguje-toyota-prius/>
- [40] <http://www.guideautoweb.com/en/specifications/tesla/model-s/p100d/2017/>
- [41] http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w242/facts/drivetrainelectric/drivetrainelectric.html
- [42] <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [43] <https://www.youtube.com/watch?v=80E1fOp95rA>

- [44] Design and Performance of Electrical Propulsion System of Extended Range Electric Vehicle (EREV) Chevrolet Volt, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6928443/>
- [45] <http://www.motortrend.com/cars/nissan/leaf/2011/2011-chevrolet-volt-vs-2011-nissan-leaf-vs-2011-toyota-prius-comparison/>
- [46] <https://www.supercars.net/blog/2010-bmw-activehybrid-7/>
- [47] http://www.bmw.com.kh/asia/en/newvehicles/7series/sedan_active_hybrid/2012/showroom/technical_data/
- [48] https://auto.idnes.cz/lexus-lc-500h-predstaveni-louwman-dod-/automoto.aspx?c=A160219_083020_automoto_vok
- [49] <http://www.greencarcongress.com/2016/12/20161208-mshs.html>
- [50] https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=US&NR=6592484B1&KC=B1&FT=D&ND=4&date=20030715&DB=&locale=en_EP#
- [51] <http://www.hybrid.cz/autosalon-zeneva-2016-plug-hybrid-bmw-740e-iperformance>
- [52] <https://www.bmw.cz/cs/index.html?bmw=grp%3APWstatic%3APW%3Aperfectworld-header>
- [53] <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0261925EN/the-new-bmw-740e-iperformance-the-new-bmw-740le-iperformance-the-new-bmw-740le-xdrive-iperformance?language=en>
- [54] <http://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>
- [55] <http://media.chevrolet.com/media/us/en/chevrolet/vehicles/volt/2011.tab1.html>
- [56] http://wardsauto.com/test-drives/16-chevrolet-volt#slide-0-field_images-1403831
- [57] https://www.autoevolution.com/news/an-easy-guide-to-2016-chevrolet-volts-hybrid-powertrain-92711.html#agal_2
- [58] <http://www.car-engineer.com/wp-content/uploads/2015/01/2016-Chevrolet-Volt-engine.jpg?x53636>
- [59] <https://www.caranddriver.com/features/explaining-the-honda-accords-shrewdly-designed-new-hybrid-system-tech-dept>
- [60] <http://www.hybridcars.com/2017-honda-accord-hybrid-review-video/>
- [61] <https://www.rushlane.com/photos/honda-accord-hybrid-review-picture-93.html>
- [62] <https://www.carlist.my/news/understanding-worlds-most-advanced-plug-hybrid-suv-volvo-xc90-t8/42482/>
- [63] <http://www.gkngroup.com/gkn-cti/news-and-Media/Pages/New-eAxle-by-GKN.aspx>
- [64] <http://www.greencarcongress.com/2015/05/20150517-xc90.html>

- [65] <https://www.greenoptimistic.com/plug-hybrid-audi-tt-offroad-concept-auto-china-2014-20140423/#.Wgmr0HaLqUl>
- [66] <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/models/recharge-concept/0/photos>
- [67] <http://docplayer.cz/10770352-Hybridni-pohony-automobilu-a-vyzkumne-pracoviste-hybridnich-pohonu.html>
- [68] <http://slideplayer.cz/slide/4173034/>
- [69] https://www.landrover.cz/Images/Range-Rover-Sport-Katalog-1L4941810000BCZCS01P_tcm285-425087.pdf
- [70] <https://www.volkswagen.cz/novy-golf-gte/informacni-material>
- [71] <http://www.viavision.org.uk/ftp/1536.pdf>
- [72] <https://insideevs.com/point-new-golf-gte/>
- [73] <https://www.press.bmwgroup.com/greece/article/attachment/T0049819EL/73462&prev=search>
- [74] https://www.autoevolution.com/pdf/news_attachments/2017-bmw-740e-iperformance-goes-official-available-in-lwb-guise-and-with-xdrive-109471.pdf
- [75] <https://www.volkswagen-liberec.cz/images/autoenge/block/golf-gte/cenik/vw-golf-gte-technicka-data.pdf>
- [76] https://auto.idnes.cz/volkswagen-e-golf-a-golf-gte-prvni-jizda-fca-/automoto.aspx?c=A140318_195825_automoto_vok
- [77] <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/attachment/T0131447DE/222586>
- [78] http://www.7-forum.com/modelle/f01/BMW_7er_TD_09_2010_ActiveHybrid_7_ActiveHybrid_7L_Technische_Daten.pdf
- [79] <http://cs.skoda-auto.com/experience/concepts/octavia-green-e-line>
- [80] <http://www.autoforum.cz/predstaveni/skoda-octavia-green-e-line-elektricka-marnost-jde-do-vyroby/>
- [81] <https://www.audi-mediacy.com/en/audi-tt-offroad-concept-184>
- [82] <http://pressroom.lexus.com/releases/2018-lexus-lc-500h-product-specs.htm>
- [83] <https://www.audi.cz/q7/q7-e-tron-quattro/ceniky-a-katalogy>
- [84] <https://www.audi-mediacy.com/en/the-audi-q7-e-tron-30-tdi-quattro-new-suv-expands-portfolio-of-plug-in-hybrid-models-5058/plug-in-hybrid-drivetrain-5062>
- [85] http://www.mitsubishi-motors.cz/images/mod_catalog/pdf/329_1_mitsubishi-outlander-ph-ev-katalog.pdf

- [86] https://insideevs.com/wp-content/uploads/2013/03/phev_im_02.jpg
- [87] <http://www.hybridcars.com/mitsubishi-outlander-phevs-etranmission-exposed/>
- [88] <http://www.gkn-group.com/gkn-cti/technology-and-solutions/emerging/Documents/Multimode%20eTransmission%20en.pdf>
- [89] <http://www.rimac-automobili.com>
- [90] https://www.netcarshow.com/rimac/2016-concept_one/#5
- [91] <http://www.autoforum.cz/predstaveni/rimac-concept-one-s-1-088-konmi-jde-do-vyroby-technikou-oslni/>
- [92] <https://newatlas.com/volar-e-applus-idiata-electric-supercar-eu-rimac-concept-one/26479/>
- [93] <https://blog.carlock.co/carlock-visits-rimac-automobili/>
- [94] <http://motorrad.khobzdar.com/bmw-i3-range-extender-motor/>
- [95] <http://www.autoforum.cz/predstaveni/trapi-vas-kratky-dojezd-elektromobilu-priprahnete-vozik-s-generatorem/>
- [96] <http://www.eptender.com/>
- [97] <https://www.auto-iconica.com/concept-one>
- [98] https://www.tesla.com/sites/default/files/model_s_owners_manual_north_america_en_us.pdf
- [99] <https://www.slideshare.net/FrdricLambert1/2016-model-x-emergency-response-guide>
- [100] <https://electrek.co/2017/09/22/tesla-model-3-powertrain-chassis-first-responders-guide/>
- [101] http://storage.rimac-automobili.com/b2b-materials/docs/gearboxes/RA_Gearbox_Overview.pdf
- [102] http://storage.rimac-automobili.com/b2b-materials/docs/motors/RA_Motors_Detailed.pdf
- [103] <http://media.chevrolet.com/media/us/en/chevrolet/vehicles/volt/2016.tab1.html>
- [104] <http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2015/Jan/naias/chevrolet/volt/0112-volt-2016-intro.html>
- [105] http://media.lexus.co.uk/wp-content/files_mf/1484733533170112MGSTechSpec.pdf
- [106] http://www.greencarcongress.com/2007/02/the_lexus_gs_45.html
- [107] http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430_HEV_Toyota.pdf
- [108] <http://media.lexus.co.uk/2005/06/the-lexus-rx-400h/>

- [109] Configuration of Planetary Hybrid Power-Split System
http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9789811042706-c2.pdf?SGWID=0-0-45-1620494-p180717554
- [110] https://www.tesla.com/sites/default/files/model_x_owners_manual_north_america_en.pdf
- [111] <https://www.tesla.com/support/model-x-specifications>
- [112] <https://www.cnet.com/roadshow/news/check-out-the-full-tesla-model-3-owners-manual-online/>
- [113] https://www3.epa.gov/otaq/datafiles/FOI_HTSLV00.0L13_APPIPT1.PDF
- [114] <https://carrers.com/2016-chevrolet-spark-ev-review/>
- [115] http://media.chevrolet.com/content/media/us/en/chevrolet/vehicles/spark-ev/2016/_jcr_content/iconrow/textfile/file.res/16-PG-Chevrolet-Spark-EV.pdf
- [116] <http://gm-volt.com/2015/02/20/gen-2-volt-transmission-operating-modes-explained/>
- [117] <http://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>
- [118] https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20160804&CC=US&NR=2016226346A1&KC=A1#
- [119] <http://owners.honda.com/vehicles/information/2017/Accord-Hybrid/specs#mid^CR6F5HJNW>
- [120] <https://www.lamborghini.com/en-en/models/concept/asterion>
- [121] <http://media.lamborghini.com/english/models/one-off-and-show-cars/asterion>
- [122] <https://www.carmagazine.co.uk/car-news/industry-news/lamborghini/lamborghini-still-hasnt-decided-whether-to-approve-urus-suv/>
- [123] <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/products/cars/mondeo/mondeo.html>
- [124] http://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/pdfs/merit_review_2012/adv_power_electronics/arravt024_ape_poet_2012_p.pdf
- [125] <https://media.ford.com/content/fordmedia/feu/en/products/cars/mondeo/mondeo.html>
- [126] <https://www.volkswagen.cz/e-golf-1/informacni-material>
- [127] https://www.toyota.com/content/ebrochure/2016/prius_ebrochure.pdf
- [128] <http://www.autoforum.cz/technika/system-start-and-stop-nikdo-ho-nechce-vsichni-ho-maji/>
- [129] Kameš, Josef. Hybridní a elektrický pohon automobilů. 2. vydání. Praha: Josef Kameš, 2015. 268 stran

Seznam obrázků

Obr. 1 Možnosti pohonu u hybridních vozů.....	9
Obr. 2 Uspořádání sériového hybridu [42].....	10
Obr. 3 Zadní hnaná náprava BMW i3 bez spalovacího motoru [12].....	11
Obr. 4 Pohon BMW i3; vlevo se spalovacím motorem, vpravo bez spalovacího motoru[94] .	12
Obr. 5 Převodovka z BMW i3 – při sestavení [33].....	12
Obr. 6 Vizualizace pohonu Volva [66]	13
Obr. 7 Náskres toku energie z generátoru [66]	13
Obr. 8 Přípojný vozík EP Tender za elektromobilem [96]	14
Obr. 9 Odklopený vozík EP Tender [95]	14
Obr. 10 Uspořádání paralelního hybridu [42]	15
Obr. 11 Náskres pohonu se dvěma planetovými převodovkami - paralelní hybrid z patentu US6592484 [50].....	16
Obr. 12 Pohon BMW 7 ActiveHybrid [46]	17
Obr. 13 Převodovka s motor/generátorem BMW 7 ActiveHybrid [46]	18
Obr. 14 Pohon BMW 740e iPerformance [51]	18
Obr. 15 Vizualizace pohonu u Range Rover – P400e [69].....	19
Obr. 16 Golf GTE [72]	20
Obr. 17 Pohon Golfu GTE [72].....	20
Obr. 18 Elektrický motor u Golfu GTE [72].....	20
Obr. 19 Pohon Audi Q7 [84]	21
Obr. 20 Elektrický motor z pohonu Audi Q7[84].....	21
Obr. 21 Uspořádání pohonu v BMV i8 [35]	22
Obr. 22 Převodovka elektrického pohonu z BMV i8 [37]	23
Obr. 23 vizualizace pohonu u Volva XC90 T8 [62].....	24
Obr. 24 Pohon zadní nápravy – integrovaná převodovka, diferenciál a motor v jednom pouzdrě [63].....	24
Obr. 25 Vizualizace pohonu u Audi TT - hybrid [65].....	25
Obr. 26 Lamborghini Asterion vizualizace pohonu [122].....	26
Obr. 27 Uspořádání kombinovaného hybridu s děličem výkonu [42]	27
Obr. 28: Schématicky naznačeno uspořádání pohonu [4]	28
Obr. 29 Pohon Toyoty Prius [39]	28
Obr. 30 Planetová převodovka z Toyoty Prius [39].....	28
Obr. 31 Náskres hybridního pohonu Lexus RX400h [107]	29
Obr. 32 Schématický náskres předního pohonu Lexus RX 400h [107] – upraveno na základě zdroje 109.....	29
Obr. 33 Schématický náskres pohonu Lexus GS 450h [107].....	30
Obr. 34 Uspořádání převodovky u Lexus GS 450h [106]	30
Obr. 35 Pohon u vozu Lexus LC 500h [48].....	31
Obr. 36 Schématický náskres principu hybridního pohonu Ford Mondeo HEV - HF 35 [124] .	32
Obr. 37 Řez hybridním pohonem Ford Mondeo HEV - HF 35 [124].....	32
Obr. 38 Schématický náskres pohonu Chevrolet volta 2 generace, pozn. spojka B1 = spojka 2 [117]	33
Obr. 39 Uspořádání pohonu Chevrolet Volta 2 generace [116]	34
Obr. 40 Chevrolet volta - 2. Generace EV režim [116]	35
Obr. 41 Obr. 48 Chevrolet volta - 2. Generace Kombinovaný režim [116]	35

Obr. 42 Pohon Chevroletu Volta generace 2 [58]	36
Obr. 43 Elektrické motory Chevroletu Volt generace 2 [57]	36
Obr. 44 Schéma hybridního vozu s elektrickým děličem výkonu [67]	37
Obr. 45 Grafické znázornění poměru přeneseného výkonu elektrickou a mechanickou cestou při různých poměrech výstupních otáček a otáčkách spalovacího motoru [68]	38
Obr. 46 Schéma uspořádání pohonu u Hondy Accord Hybrid [59]	39
Obr. 47 Jednotlivé režimy Hondy Accord Hybrid v porovnání s konkurencí [61]	39
Obr. 48 Schéma uspořádání pohonu Mitsubishi Outlander PHEV [86]	40
Obr. 49 Převodovka na přední nápravě; vlevo samotná převodovka, vpravo řez převodovkou [87,88]	41
Obr. 50 Režim elektromobilu Mitsubishi Outlander PHEV [85]	41
Obr. 51 Seriový režim Mitsubishi Outlander PHEV [85]	42
Obr. 52 Paralelní režim Mitsubishi Outlander PHEV [85]	42
Obr. 53 Schéma uspořádání pohonu u Chevrolet Volt [44]	43
Obr. 54 Grafické znázornění jednotlivých režimů, závislost momentu na rychlosti vozidla [44]	44
Obr. 55 Znáznornění pohonů u hybridních vozů Volt a Prius[45]	44
Obr. 56 Možnosti uspořádání pohonu u elektromobilu	45
Obr. 57 Jeden pohon, hnaná zadní náprava[18]	46
Obr. 58 Pohon všech kol, klasický zadní motor[18]	46
Obr. 59 Pohon všech kol, zadní motor je vysoko výkonový[18]	47
Obr. 60 Ukázka zadní nápravy Tesla model S [15]	47
Obr. 61 Ukázka zadní nápravy Tesla model S [17]	48
Obr. 62 Přední hnané náprava u modelu S P90D [20]	48
Obr. 63 Řez diferenciálu do elektromobilu Tesla S – přímá náhrada za originální diferenciál (QDH2T)[25]	48
Obr. 64 Převodovka z Tesly S verze 1.5 [19], [25]	49
Obr. 65 Pohon Lucied [24]	50
Obr. 66 Náprava s pohonem Lucied [23]	50
Obr. 67 Podvozek s pohonem z Tesly 3[100]	51
Obr. 68 Pohon e- Golf [31]	52
Obr. 69 e-Golf[31]	52
Obr. 70 Detail pohonu e- Golf [76]	52
Obr. 72 [80]	53
Obr. 73 Pohonná jednotka Chevroletu Spark EV [114]	54
Obr. 74 Podvozek s pohonem z Tesly X [99]	55
Obr. 75 Schématický naznačen přímý pohon nápravy [21]	55
Obr. 76: Schéma motoru v kole [1]	56
Obr. 77 Náskres pohonu v kole Protean Electric [118]	57
Obr. 78 Řez kola s pohonem Protean Electric [27]	58
Obr. 79 Rozložení baterií na vozidle Brabus 4WD [27]	58
Obr. 80 Náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [5]	59
Obr. 81 Pohled na celý automobil Mercedes-Benz SLS E-Cell [5]	60
Obr. 82 Přední náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [6]	60
Obr. 83 Zádční náprava Mercedes-Benz SLS E-Cell [6]	60
Obr. 84 Vizualizace podvozku s pohonem Rimac Concept One [98]	61
Obr. 85 Pohon přední nápravy Rimac Concept One [92]	62

Obr. 86 Pohon zadní nápravy Rimac Concept One [93]	62
Obr. 87 Nákres zadního pohonu Rimac Concept One [102]	63
Obr. 88 Dvojitá spojka ze zadního pohonu Rimac Concept One [90]	63
Obr. 89 E-Motor 120 kW / 130 Nm [13].....	64
Obr. 90 Schématicky naznačené uložení motoru zadní části formule E příčně uložen motoru [7]	65
Obr. 91 Schématicky naznačené uložení motoru v zadní části formule E příčně uložení motoru bez řazení [7].....	65
Obr. 92 Schéma uložení motoru v zadní části formule E podélné uložení motoru [7].....	65
Obr. 93 Schématický nákres uložení motoru v zadní části formule E upoužití dvou motorů [7]	66
Obr. 94 Ukázka spojení dvou motorů[8]	66

Příloha

Tabulka 2 Porovnání některých hybridních vozidel

Typ hybridu	Název	Hnaná náprava	převodovka	Spalovací motor			Elektrický motor			Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení z 0-100 [km/h]	Spotřeba l na 100 km	Hmotnost vozu pohotovostní [kg]
				Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]	Typ	Výkon [kW]	Točivý moment [Nm]	Typ				
Sériový	BMW i3 REX	Zadní	1 st	25	55	Dvouválcový zážehový motor 647 cm ³	125	250	PMSM (HSM)	150	7,9	0,6;	1315
Paralelní – individuální pohon náprav	BMW i8	4x4	2-zadní/6 aut.	170	320	Zážehový tříválec 1,5 l přepíňovaný turbodmychadlem	96	250	PMSM	250/120	4,4	2,1	1485
Paralelní – mechanické spojení spalovacího a elektrického motoru	BMW 7 ActiveHybrid - 2010	Zadní	8aut	330	650	Zážehový osmiválec přepíňovaný turbodmychadlem	15	210	PMSM	250	4,9	9,4	2045
	BMW 740e iPerformance	4x4 volitelný	8 aut.	190	400	Zážehový čtyřválec 2.0 přepíňovaný turbodmychadlem	83	250	PMSM	250/140	5,4	2-2,5	1975
	Range Rover – P400e	4x4	8 aut.	221	400	Zážehový čtyřválec Ingenium Si4 2,0	85	275	PMSM	220/137	6,7	2,8	2471
	Golf GTE	Přední	6 aut.	110		Zážehový čtyřválec 1,4 TSI	75		PMSM	222	7,6	1,8; 12	1615
	Audi Q7 e-tron quattro	4x4	8 aut	190	600	Šestiválcový vidlicový vznětový motor s turbodmychadlem 3.0 TDI	94	350	PMSM	230/135	6,2	1,8-1,9	2520

Kombinovaný mechanický dělič výkonu	Prius Two Eco (1,8 hybrid e- CVT)	přední	e-ctv	71	142	Zážehový čtyřválec 1,8	53	163	PMSM	180	10,6	3,2	1375
	Lexus RX 400h	4x4	e-cvt	155	288	Zážehový šestiválec 3,3 l	123/11 0	340 přední	PMSM	200	7,6	8,1	2040
				-	-	-	50	130 zadní	PMSM				
	Lexus GS 450h	zadní	e-cvt	352	215	Zážehový šestiválec o objemu 3,5 l	147/13 4	275	PMSM	250	5,9	6	1930
	Lexus LC 500h	zadní	e-cvt + 4 aut	220	348	Zážehový motor 3,5 litru V6	-	-	PMSM	250	5	-	2012
	Chevrolet volt 2. gen	přední	e-cvt	75	-	Zážehový čtyřválec 1.5L DOHC I-4	87/45	280/118	PMSM	161	8,4*	5,6	1607
Kombinovaný mechanický bez děliče výkonu	Chevrolet volt 1. gen	přední	e-cvt	63	-	Zážehový čtyřválec 1.4L DOHC I-4	111/55	370/186	PMSM	161	8,7*	6,3	1721
	Honda Accord Hybrid	přední	fixní	143	175	Zážehový motor DOHC 16-ventil Atkinson cyklu 2,0 litru inline-4	135	315	PMSM	191	7,2*	5	1598
	Mitsubishi Outlander PHEV	4x4	fixní	89	190	Zážehový řadový čtyřválec 2.0 16- valve DOHC MIVEC	60	137 přední	PMSM	171	11	6,2 -7,8	1860
				-	-	-	60	195 zadní	PMSM				

*0-60 mph

Tabulka 3 Porovnání některých elektromobilů (* výkon celého dvumotorového systému pohnu)

	Hnaná náprava	Model	Převodovka (stupně)	Diferenciál	Výkon [kW] špičkový	Počet motorů	Otáčky pohonu [ot/min]	Moment [Nm]	Typ motoru	Chlazení	Hmotnost pohonu [kg]	Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0 – 100 km/h [s]	Hmotnost vozu pohotovostní [kg]
Pohon nápravy	Zadní	Tesla 3 (2017)	Ano (2)	Mech.	165	1	17900	400	PMSM	Kap.	-	225	5,3	1741
		BMW i3	Ano (2)	Mech.	125	1	11 400	250	PMSM (HSM)	Kap.	65	150	7,2	1195
	Přední	E – Golf	Ano (2)	Mech.	100	1	12 000	290	PMSM	Kap.	-	140	9,6	1510
		Mercedes B Electric Drive	Ano	Mech.	132	1	9 900–12 500	340	AS			160	7,9	1725
	Obě nápravy	TESLA S P100D	Ano (2)	Mech.	193	Přední 1	18000	330	AS	Kap.	-	250	2,8	2250
					375	Zadní 1	16000	650			-			
		TESLA X P100D	Ano (2)	Mech.	193	Přední 1	18200	249	AS	Kap.		250	3,1	2487
					375	Zadní 1	18700	649						
Individuální pohon kola	Pohon v kole	Brabus 4WD Full Electric - Protean Electric	Ne	El.	80	4	2000	3200	PMSM	Kap.	31	220	6,9	2190
	Pohon na podvozku	Mercedes-Benz SLS E-Cell	Ano	El.	135	4	13000	1000	PMSM	Kap.	45	250	3,9	1996
		Rimac Concept One	Ano	El.	638*	Přední 2	12000	660	PMSM	Kap.-olej - voda/glykol	95+22	355	2,5	1850
			2 rychlosti		654*	Zadní 2	12000	848			115+45			

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum	Jméno
0	Všechny	Publikování dokumentu		