



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

REKUPERACE KINETICKÉ ENERGIE MOTOROVÝCH VOZIDEL

KINETIC ENERGY MOTOR VEHICLE RECUPERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VÁCLAV HAJER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK RASCH

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Hajer Václav

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rekuperace kinetické energie motorových vozidel.

v anglickém jazyce:

Kinetic energy motor vehicle recuperation.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte rešerši na téma rekuperace kinetické energie motorových vozidel. Uveďte možné způsoby přeměny a uchovávání energií.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled možných řešení systémů rekuperace kinetické energie vozidel.
2. Popište současný stav používaných systémů.

Seznam odborné literatury:

[1] VLK,F. Dynamika motorových vozidel. ISBN 80-238-5273-6, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

[2] VLK,F. Podvozky motorových vozidel. ISBN 80-238-5274-4, Nakladatelství VLK, Brno 2000.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. František Rasch

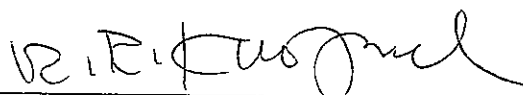
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 17.11.2008

L.S.



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Václav Hajer

Rekuperace kinetické energie motorových vozidel

BP, ÚADI, 2008, str. 36

Práce pojednává o možnostech rekuperace kinetické energie u motorových vozidel. Je zde rozdělení jednotlivých systémů a popsána jejich funkce. V druhé části práce jsou uvedeny příklady aplikace systémů v různých oblastech motorismu.

Klíčová slova: rekuperace energie, KERS, hybridní automobil, setrvačník, vysokoenergetické kondenzátory, energetické zásobníky, elektrické motory

Summary

Václav Hajer

Kinetic energy motor vehicle recuperation

BT, IAE, 2008, str. 36

This bachelor thesis deals with possibilities of recuperation of kinetic energy in motor-powered vehicles. It also includes types of recuperation systems and basic description of their function. Application and examples of recuperation systems are introduced in second part.

Key words: energy recovery, KERS, hybrid car, fly-wheel, supercapacitors, energy accumulators, electric motors

Bibliografická citace mé práce:

HAJER, V. *Rekuperace kinetické energie motorových vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Rasch.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Františka Rasche a s použitím uvedené literatury.

V Brně 29. Května 2009

Václav Hajer

Poděkování

Tímto bych poděkoval především mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Raschovi za jeho cenné připomínky a rady.

OBSAH

1	ÚVOD	- 6 -
2	ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POUŽITELNÝCH SYSTÉMŮ	- 7 -
3	ELEKTRICKÝ SYSTÉM	- 7 -
3.1	ELEKTROMOTOR (GENERÁTOR)	- 7 -
3.1.1	Stejnoseměrný motor s cizím buzením	- 7 -
3.1.2	Asynchronní motor	- 9 -
3.1.3	Transversální motor	- 10 -
3.1.4	Řízený reluktanční motor	- 11 -
3.1.5	Stejnoseměrný motor bez kartáčů	- 12 -
3.1.6	Tandemový elektromotor	- 13 -
3.2	USMĚRŇOVAČE	- 14 -
3.3	ZÁSOBNÍKY ENERGIE	- 14 -
3.3.1	Chemické akumulátory	- 14 -
3.3.1.1	Olověný akumulátor	- 15 -
3.3.1.2	Akumulátor sodík-síra	- 16 -
3.3.1.3	Akumulátor nikl-kadmium	- 17 -
3.3.1.4	Akumulátor nikl-železo	- 17 -
3.3.1.5	Akumulátor nikl-metalhydrid (Ni-MH)	- 17 -
3.3.1.6	Akumulátor zinek-vzduch	- 17 -
3.3.1.7	Akumulátor zinek-halogen	- 18 -
3.3.1.8	Akumulátor lithium-ion	- 18 -
3.3.1.9	Akumulátor lithium-metal-hydrid	- 18 -
3.3.1.10	Akumulátory lithium-polymer	- 18 -
3.3.2	Vysokoenergetické kondenzátory	- 19 -
4	MECHANICKÝ SYSTÉM	- 19 -
4.1	MECHANICKÝ AKUMULÁTOR ENERGIE	- 19 -
5	HYDRAULICKÝCH SYSTÉM	- 23 -
5.1	SYSTÉM CUMULO	- 23 -
5.2	ZÁSOBNÍKY ENERGIE	- 24 -
5.2.1	Závažový akumulátor	- 24 -
5.2.2	Pružinové akumulátory	- 25 -
5.2.3	Plynové akumulátory	- 26 -
6	SOUČASNÝ STAV POUŽÍVANÝCH SYSTÉMŮ	- 26 -
6.1	OSOBNÍ DOPRAVA	- 26 -
6.1.1	Toyota Prius	- 26 -
6.1.1.1	První generace	- 26 -
6.1.1.2	Druhá generace	- 28 -
6.1.1.3	Třetí generace	- 28 -
6.1.2	Další příklady automobilů:	- 29 -
6.1.2.1	Mercedes-Benz S 400 BlueHybrid	- 29 -
6.1.2.2	Honda Insight II	- 29 -
6.2	MĚSTSKÁ HROMADNÁ A AUTOBUSOVÁ DOPRAVA	- 30 -
6.2.1	Autobus Neoplan N 8008 DES	- 30 -
6.3	NÁKLADNÍ DOPRAVA	- 31 -
6.3.1	Volvo FE	- 31 -
6.4	MOTORSPORT	- 32 -
6.4.1	Citroën C4 WRC HYmotion4	- 32 -
6.4.2	Formule 1	- 33 -
7	ZÁVĚR	- 35 -
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 35 -
9	SEZNAM INTERNETOVÝCH STRÁNEK	- 35 -

1 Úvod

V dnešní době je na automobilový a celkově dopravní průmysl vyvíjen značný tlak způsobený mnoha různými aspekty. Jedním z nich je ztenčování světových zásob ropy a neustále rostoucí cena pohonných hmot, která má neblahý ekonomický dopad. V důsledku toho je tu snaha předních světových vlád snížit závislost na fosilních palivech, zejména na ropě, která je jen v Evropské unii využívána ze 70% [18] celkové spotřeby v dopravě. V neposlední řadě jsou zaváděny stále přísnější emisní normy, které omezují výfukové exhalace oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC) a množství pevných částic (PM).[19]



Obr.1 Historický vývoj ceny ropy [17]

Díky tomuto tlaku je automobilový průmysl nucen značného vývoje především u pohonných jednotek. Jednou z cest je zavádění hybridních pohonů a využití alternativních paliv. Další možností je především energetické zefektivnění jednotlivých jízdních režimů. K tomu napomáhá systém rekuperace kinetické energie, ten dokáže zužitkovat energii, která by při brzdění byla běžně uvolněna ve formě tepla do okolí.

2 Základní rozdělení použitelných systémů

Rozeznáváme 3 základní druhy:

1. Elektrické

-**elektromotor** – tvoří základ elektrického systému, umožňuje přeměnu kinetické energie na elektrickou, kterou uchovává v zásobnících a následně ji dokáže v případě potřeby využít pro pohon vozidla.

-**zásobníky** – chemické akumulátory
– vysokoenergetické kondenzátory

2. Mechanické

-**setrvačnick** – jedná se o těleso rotačního tvaru, využívá se jeho momentu setrvačnosti, může v systému pracovat čistě mechanicky nebo ve spojení s elektromotorem.

3. Hydraulické

-**hydromotor** (hydrogenerátor) – hlavní část pro přeměnu kinetické energie a její zpětné využití pro pohon.

-**zásobníky** – závažové akumulátory
– pružinové akumulátory
– plynové akumulátory

3 Elektrický systém

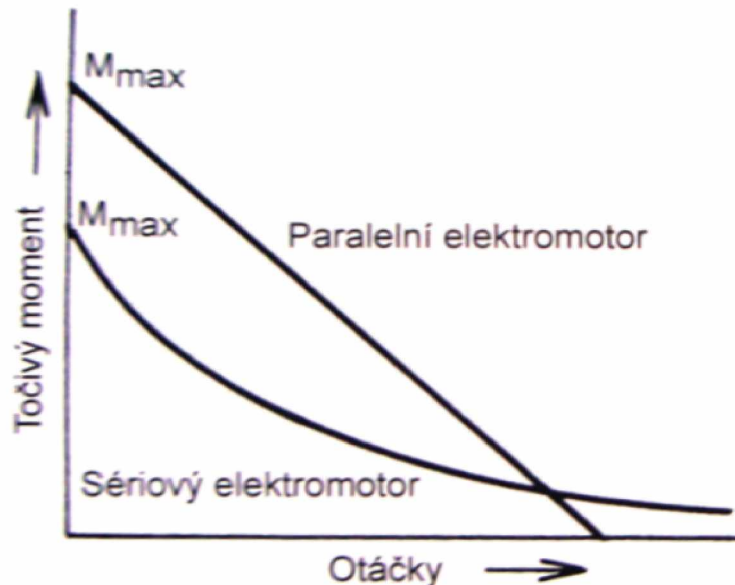
3.1 Elektromotor (generátor)

V zásadě je možno ve stavbě elektromotorů použít celé řady tradičních principů činnosti využitelných pro trakční pohony. Trakční elektromotory určuje zejména hodnota momentu, menší význam má hodnota výkonu. Konstrukce musí být spolehlivá a ve velkém rozsahu otáček musí být k dispozici dostatečný výkon. Důležitá je kompaktní stavba, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké údržovací náklady a výhodná cena. [1]

3.1.1 Stejnoseměrný motor s cizím buzením

Stejnoseměrný motor s cizím buzením vykazuje zvláště výhodné tahové charakteristiky, jednoduchou regulací otáček v širokém rozsahu a kontinuální přechod z jízdy na brzdění. Proto jsou již dlouhou dobu používány u elektrických vozidel, kde mohou být napájeny přímo z baterie. Magnetický tok je vybuzen buďcím vinutím ve statoru. Proud do vinutí otáčejícího se rotoru je přiveden přes kartáče a komutátor, který zajišťuje periodickou změnu proudu do

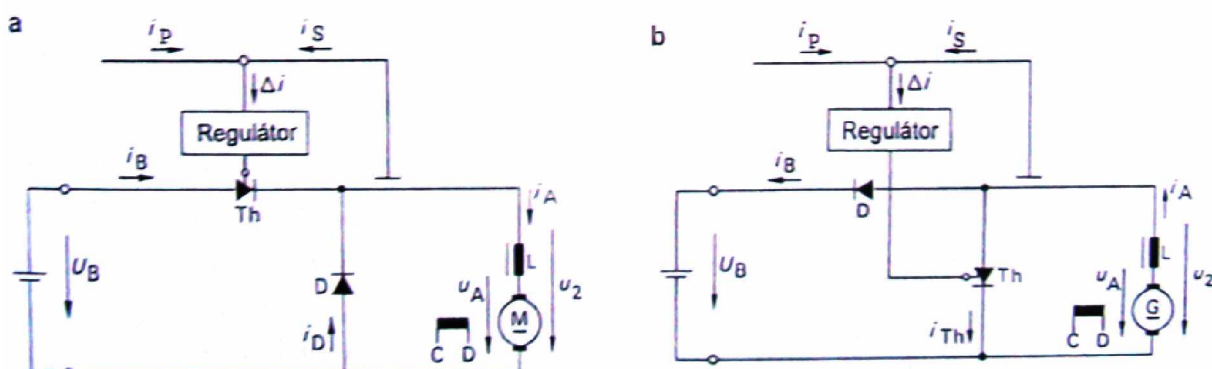
cívky kotvy, takže kotva rotuje ve vnějším magnetickém poli. Točivý moment působí přitom stále ve směru rotace. Podle toho, je-li kotva a budící vinutí zapojeno sériově nebo paralelně, rozeznáváme sériový elektromotor, nebo paralelní elektromotor. [1]



Obr.2 Charakteristiky paralelního a stejnosměrného elektromotoru [1]

Sériový elektromotor má dobrý počáteční točivý moment, avšak točivý moment rychle klesá se stoupajícími otáčkami. Proto se u vozidel prosazuje paralelní elektromotor. Jeho točivý moment klesá pomaleji, a sice lineárně s otáčkami. Vedle toho se používá dvojitý paralelní elektromotor (sdružený nebo kompaundní motor), mimo paralelní vinutí má přídatné sériové budící vinutí, tak může výhodu vysokého počátečního točivého momentu a pomalého poklesu momentu vzájemně spojit. K regulaci je použito elektronické regulace napájení vinutí motoru pomocí křemíkových tyristorů s pravoúhlým průběhem napětí. Zvolená střední hodnota proudu se nastavuje změnou frekvence a amplitudy. [1]

Proud kotvy i_A i pole je regulován jak při jízdě a), tak i při brzdění b). Viz (obr.3) Jízda při vysokých otáčkách je umožněna přechodem na regulaci pole. Pro brzdění v rozsahu regulace pole postačuje zvýšení buzení pole. Napětí motoru u_2 stoupá proto nad napětí baterie u_B a tím způsobem je přes diody dodávána energie zpět do baterie. [1]



Obr.3 Schéma regulace otáček stejnosměrného motoru v rozsahu regulace kotvy, tj. zapínáním a vypínáním napětí akumulátoru v obvodu kotvy, a) za jízdy b) při brzdění [1]

Stejnoseměrné motory jsou silně přetížitelné. Pro trvalý výkon po dobu 1 h je přetížitelnost 20 % nad trvalým výkonem. Krátkodobě při rozjezdu je přetížitelnost až 100 %. Hraníční otáčky jsou omezeny asi na 7000 min^{-1} . Všeobecně je tedy třeba víceúrovňové převodovky. [1]

Výhody stejnosměrných motorů:

- technicky vyzrálé,
- jednoduše řízené a cenově výhodné. [1]

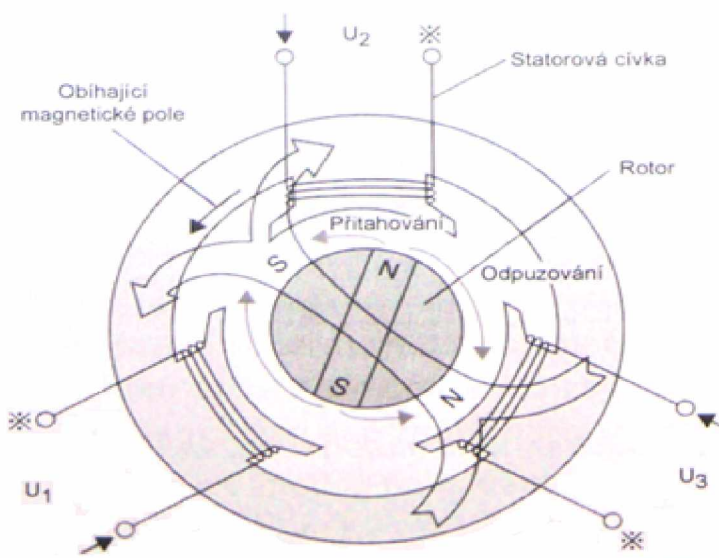
Nevýhody:

- komutátor a kartáče jsou náchylné k poruchám a musí být udržovány,
- maximální obvodová rychlost je omezena rotační frekvencí asi na 7000 min^{-1} ,
- účinnost a hustota výkonu je menší než střídavých motorů. [1]

3.1.2 Asynchronní motor

Střídavé motory vytlačují u vozidel stále více stejnosměrné motory. Podstatná výhoda třífázového asynchronního motoru je v tom, že odpadá vinutí kotvy a kolektor. Také u nich je magnetický tok do statoru přiváděn budícím vinutím - avšak rotačním napětím proměnné amplitudy a frekvence, která musí být odvozena ze stejnosměrného napětí trakční baterie. Stejnoseměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý. [1]

Obvykle se toho docílí cyklickým zapínáním tyristorů, přitom se pravoúhlý průběh mění přibližně na sinusový. [1]

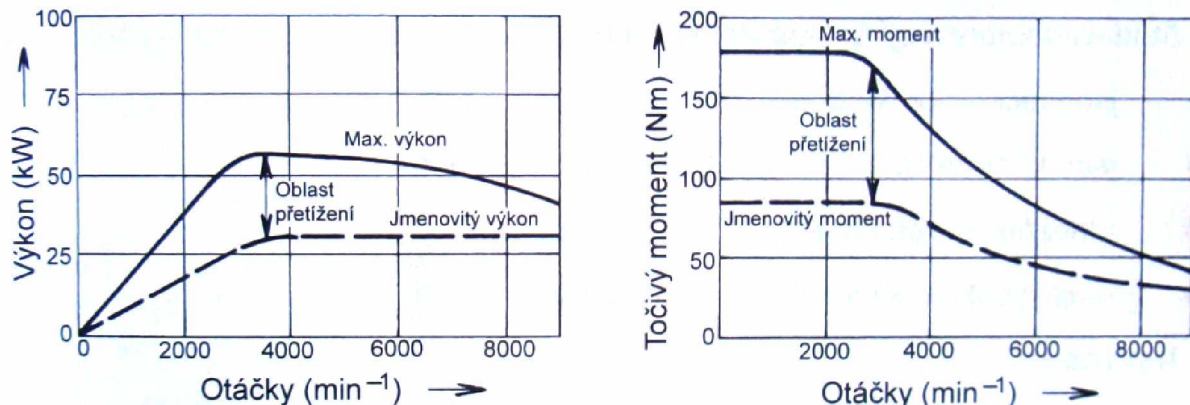


Obr.4 Synchronní motor s permanentním buzením [1]

K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být proměnná frekvence i napětí. Splnění těchto regulačních požadavků vyžaduje vysoké náklady na výkonový obvod. [1]

Statorové vinutí je složeno nejméně ze tří svazků, pootočených vzájemně o 120° , napájeno je třífázovým střídavým proudem. Alternativou může také být 3n svazků (n celé číslo), pak také o úhel $120^\circ/n$ vzájemně přesazených. Toto vinutí vyvozuje točivé magnetické pole s kruhovou frekvencí střídavého proudu ω případně při n svazcích s kruhovou frekvencí ω/n , tzn. že se otáčí prostorově proti skříni motoru. [1]

Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu podstatně menší a lehčí, proto lze počítat s výkonovou hmotností asi 1 kg/kW. Motor je dále jednodušší konstrukce, robustní, bezúdržbový a silně přetížitelný, může dosáhnout až 20 000 ot/min⁻¹. [1]



Obr.5 Výkonová a momentová charakteristika asynchronního motoru [1]

Velká výhoda střídavých motorů oproti stejnosměrným je, že obíhajícímu rotoru většinou nemusí být přiveden žádný proud, neboť ten je vybuzován rotujícím magnetickým polem. Vlivem působení indukovaného proudu, jak bylo popsáno, působí síly magnetického pole na kotvu, která se otáčí. Podle toho, jestli se rotor otáčí asynchronně nebo synchronně s točivým polem, rozdělují se na asynchronní motory a synchronní motory. [1]

Zpětné získání energie při brzdění je možno realizovat s vysokou účinností. Otáčky asynchronních motorů jsou o něco nižší než magnetického pole. [1]

Rotor asynchronního motoru je v provedení jako kroužkový rotor nebo klecový rotor. Kroužkový rotor je opatřen vinutím, kterým protéká proud přiváděný uhlíky a kroužky z vnějšku. Umožňují ale, že odpory leží za vinutím rotoru, a tak lze měnit pracovní podmínky. Klecový rotor je složen z tlustých hliníkových, bronzových nebo měděných tyčí spolu spojených nakrátko. Vnitřek je vyplněn transformátorovými plechy. Zvláštní tvar střídavého asynchronního motoru je transversální motor. [1]

3.1.3 Transversální motor

U něho je proud přiváděn v obvodovém směru do rotoru a magnetický tok statoru není kolmý k ose rotoru, ale paralelní. [1]

U synchronních motorů souhlasí kruhová frekvence s obíhajícím magnetickým polem (ω příp. ω/n). Jedná se o elektricky a permanentně buzené provedení. U prvního je rotor opatřen vinutím, kterým protéká stejnosměrný proud vyvolaný magnetickým polem. Tato stavba má výhodu, že je dosaženo velkého rozsahu konstantního max. výkonu v důsledku změny stejnosměrného proudu. U permanentně buzených synchronních motorů je magnetické pole v rotoru buzeno permanentními magnety, tedy bez potřeby přídavné elektrické energie. [1]

Výhody:

- jsou technicky dokonalé,
- jsou kompaktní a robustní stavby a tím bezúdržbové,
- umožňují vysoké otáčky až 15 000 min⁻¹,
- mají vysokou účinnost jako stejnosměrné motory. [1]

Nevýhody:

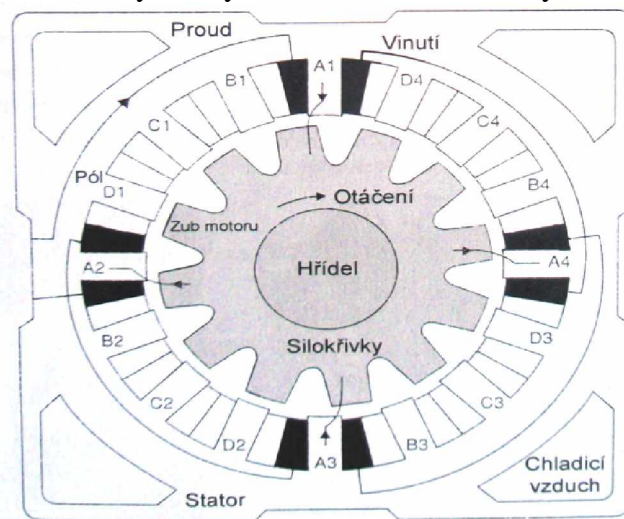
- nákladné řízení a tím o něco vyšší cena. [1]

3.1.4 Řízený reluktanční motor

Reluktanční motory jsou založeny na dlouho známé technice reluktančních krokových motorů. Ačkoliv lze reluktanční krokový motor jednoduše a levně vyrobit, byl mnoho desetiletí málo využíván pro jeho nerovnoměrnost, tj. závislost točivého momentu na poloze rotoru. Tato nevýhoda může být mezitím odpovídajícím řízením vyrovnána. [1]

Řízený reluktanční motor je zvláštní tvar střídavého motoru. V jeho rotoru není budící vinutí. Rotor z měkkého železa má pólové nástavce ve tvaru ozubeného kola. [1]

Zatímco tento proud a tím magnetické pole docílené výkonovou elektronikou se opět změní, je uveden rotor do rotace. Výkonovou elektronikou je možno otáčky a točivý moment reluktančního motoru velmi dobře ovlivňovat. Reluktanční motor se rozbíhá asynchronně a pak běží synchronně. Pojem reluktance poukazuje na magnetický odpor, který rotor v magnetickém poli představuje. Na základě bezhmotných mezer zubů v rotoru, tvoří rotor reluktančního motoru velmi malý točivý moment a také velmi vysoké možnosti zrychlení. [1]



Obr.6 Řízený reluktanční motor [1]

Další výhody jsou:

- vysoký točivý moment při nízkých otáčkách,
- robustní konstrukce,
- malé náklady na údržbu,
- stabilní běh motoru při vypadnutí jedné nebo více fází,
- vysoká přetížitelnost a malý ohřev,
- vysoká účinnost a výhodná cena. [1]

Nevýhody:

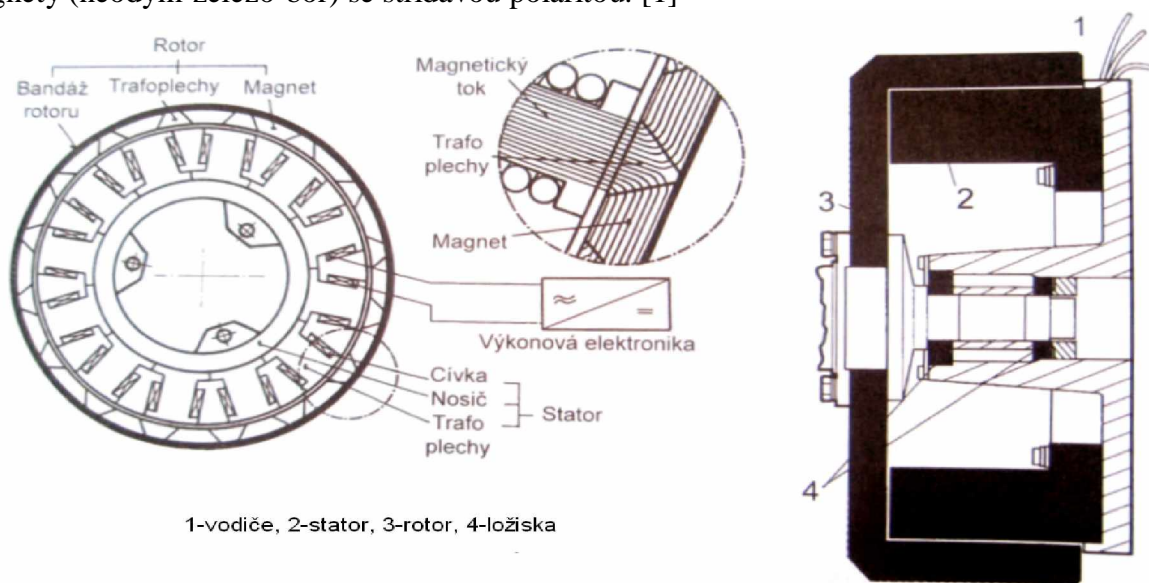
- točivý moment není rovnoměrný (vlnitý točivý moment),
- mohou nastat zvýšené emise hluku. [1]

3.1.5 Stejnsměrný motor bez kartáčů

V případě bezkartáčového stejnosměrného motoru, v porovnání s konvenčním permanentně buzeným stejnosměrným motorem, změnil rotor a stator svá místa. Ve vnějším statoru, kde jsou jinak permanentní magnety, se nalézá vinutí, permanentní magnety jsou v rotoru. Stavba je tedy podobná permanentně buzenému synchronnímu motoru. [1]

Komutátor zajišťuje napájení vinutí statoru pulsně modulovaným stejnosměrným proudem. Tím se sníží náklad na elektronickou komutaci, neboť je většinou vinutí statoru složeno jen ze tří nebo ze čtyř svazků závitů. Jednotlivé svazky jsou tak seřídány, že hustota toku statoru a rotoru je přibližně fázově posunuta o 90° . Tímto zabezpečením je poloha rotoru pevně stanovena. Obvykle se k tomu používá Halových sond, optoelektronického systému nebo magnetoresistenčního systému. Bezkartáčové stejnosměrné motory mají nejen další vinutí výkonové elektroniky, nýbrž také nové permanentní magnetické materiály jako neodým-železo-bor a samarium-kobalt. Poslední uvedené jsou dosud relativně drahé. [1]

Pokrokové řešení poslední doby je provedeno firmou Magnet-Motor, které vyniká v jednoduchosti konstrukce, s vynikajícími elektrickými parametry při malé hmotnosti a stavebních rozměrech. Motor náleží ke skupině elektronické komutace synchronních motorů s permanentním buzením. Vzhledem ke kvadratické závislosti momentu na poloměru vzduchové mezery je výhodná konstrukce vnějšího rotoru. Tento rotor je složen z vylišovaných elektroplechů, v nichž se nacházejí tangenciálně magnetizované oddělené magnety (neodým-železo-bor) se střídavou polaritou. [1]



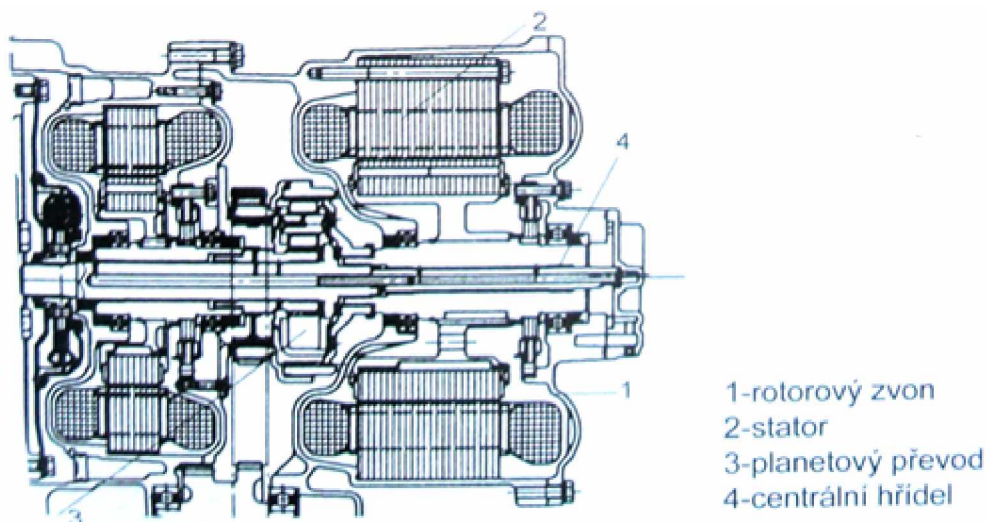
Obr.7 Schéma a řez motorem firmy Magnet-Motor [1]

Jak je patrné z Obr., tvoří elektroplechy trapézovitý tvar vytvářející "klínovitý vodící tok", jehož magnetické siločáry se ohýbají a kolmo proudí do statoru. U těchto tzv. proudových kompresí je magnetická indukce ve vzduchové mezeře značně zvýšena. Tyto motory jsou zavedeny u nízkopodlažních městských autobusů Neoplan MIC N 8012 DE a N 4114 DE (50 kusů již v roce 2000). Rovněž jsou zavedeny u trolejbusů N 6020. U kloubových autobusů jsou řízena a poháněna 4 kola. [1]

Motor tedy nemá žádné rotující elektrické součásti. Uvnitř se nachází stator, který je složen z lisovaných elektroplechů a tvoří vysokopólové nosiče cívek. Cívky jsou spojeny s výstupem výkonové elektroniky, která proudy do statorového vinutí komutuje tak, že se motor chová jako stejnosměrný motor s cizím buzením. Je to tzv. elektronická komutace. Regulace je jednoduchá a dokonalá v celém rozsahu otáček až do $n = 0$. Vzhledem až k desetinásobku

zvětšení výkonu oproti konvenčnímu provedení elektromotoru je statorové vinutí chlazeno kapalinou. Dále je motor až 4 x lehčí než konvenčního provedení a menší. [1]

3.1.6 Tandemový elektromotor



Obr.8 Tandemový motor s integrovanou planetovou převodovkou [1]

Tandemový elektromotor s integrovaným planetovým převodem se skládá ze dvou identických pohonných elektroagregátů s integrovaným planetovým převodem. Byl vyvinut pro použití pohonu sériového hybridu a bateriového elektrovozidla. Konstrukční princip je patrný z (Obr.8). V rotorovém zvonu 1 každé z obou polovin má uvnitř stator 2, ve kterém je integrován jednostupňový planetový převod 3 pohánějí centrální hřídel 4. Planetový převod je 2,75. Motor má vnější průměr 300 mm, rozjezdový moment 2 x 1 250 Nm a jmenovitý výkon 100 kW. [1]

K rozdělení výkonu paralelního hybridu jsou nutné generátorové jednotky, které mechanický výkon spalovacího motoru mění na výkon elektrický. Konstrukce a elektrické vlastnosti elektrických motorů a výkonové elektroniky umožňují jak motorický, tak také generátorový provoz. K tomuto účelu může být polovina tandemového motoru použita jako generátor. Moment tohoto agregátu je proto tak veliký, aby mohl být generátor bez převodu spojen přírubou s klikovou hřídelí spalovacího motoru. [1]

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Rozsah P_{konst}	Přetížitelnost	Spolehlivost	Stav vývoje
Stejnoseměrný	10	7	6	10	10	7	10
Asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
Synchronní	8	10	7	10	10	9	8
Synchron. perm. buzení	7	10	8	8	10	10	7
Přepínatelný reluktantní	9	6	7	4	10	9	5
Magnetický (M-M)	8	10	10	8	9	10	8

Tab.9 Porovnání různých koncepcí trakčních elektromotorů (nejlepší = 10) [1]

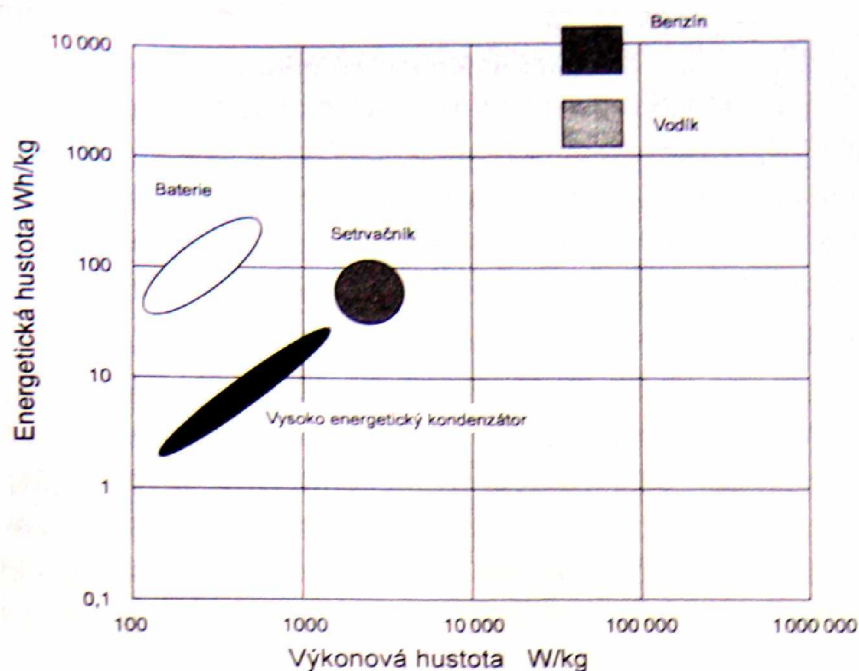
3.2 Usměrňovače

Usměrňovače mají za úkol napájet hnací elektromotor z trakční baterie, řídit tento motor podle jízdního přání a umožňovat zpětné napájení brzdě energie do baterie. Kromě toho musí usměrňovač zohledňovat provozní meze, které jsou dány omezeným napětím baterie a maximálním proudem baterie, stavem trakce brzdového regulačního systému a teplotami elektromotoru a usměrňovače. Podle typu elektromotoru se používají různé usměrňovače, např.:

- § meziobvodový usměrňovač stejnosměrného napětí,
- § usměrňovač stejnosměrného proudu. [2]

3.3 Zásobníky energie

Jako zásobník elektrické energie slouží baterie, vysoko energetické kondenzátory a také setrvačnick, jehož nahromaděná mechanická energie může být přeměněna pomocí generátoru na elektrickou. Volba zásobníku závisí mimo jiné podle koncepce pohonných komponentů, více nebo méně na velikosti energetické hustoty nebo více na velikosti výkonové hustoty. [1]



Obr.10 Porovnání energetické výkonové hustoty různých zásobníků energie [1]

3.3.1 Chemické akumulátory

U akumulátorů jsou důležité především tyto parametry:

Měrná energie [$W \cdot h \cdot kg^{-1}$]. Podle dojezdu lze spočítat potřebné množství energie a z té následně požadovanou hmotnost akumulátoru. Nejvhodnější je samozřejmě použít akumulátory. Nejvyšší hodnotou měrné energie. Tato veličina je však velkým nedostatkem

elektromobilů. Měrná energie vyjádřená ve vztahu k objemu [$W \cdot h \cdot dm^{-3}$] informuje o prostorové náročnosti akumulátorů.

Měrný výkon [$W \cdot kg^{-1}$]. Ovlivňuje maximální rychlost a zrychlení vozu. Velikost hodnoty měrného výkonu určitých akumulátorů plně nahrazuje měrný výkon spalovacího motoru.

Nabíjecí doba [h]. Pohybuje se v rozmezí několika hodin dle druhu akumulátoru. Nabíjení metodou Minit Charger lze dobu nabíjení výrazně zkrátit. Princip činnosti spočívá v tom, že akumulátor je nabíjen vysokým proudem v krátkých pulsech. Když je akumulátor nabit na cca. 80%, klesá nabíjecí proud, neboť nabíjení zbylých 20% kapacity akumulátoru trvá déle. Výhodou je delší životnost akumulátorů.

Životnost. Závisí na způsobu nabíjení a vybíjení, údržbě, apod. Určuje počet kilometrů, které vůz překoná s použitím jedné sady akumulátorů.

Cena. Jedna z důležitých vlastností akumulátorů. Je však úzce spjata s ostatními parametry.

Údržba. Správně a pravidelně prováděná údržba značně prodlužuje životnost akumulátorů.

Recyklace. Důležitý proces na konci životnosti akumulátorů, které obsahují látky škodící okolnímu prostředí. [2]

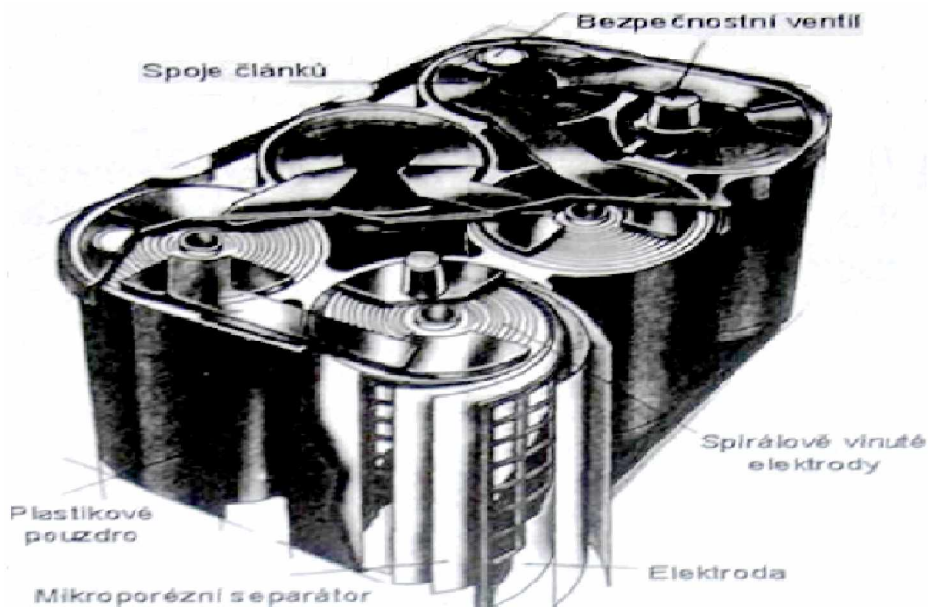
Druhy akumulátorů:

3.3.1.1 Olověný akumulátor

Činnou hmotu na kladné elektrodě tvoří oxid olovičitý a porézní olovo na záporné elektrodě. Elektrolytem je kyselina sírová a voda. Napětí článku je 2 V. Reálný dojezd vozidel s olověným akumulátorem je 50 km na jedno nabití. Při poklesu teploty je nutno počítat s poklesem kapacity a tím i dojezdu. Dosavadní zkoušky prokázaly životnost olověných akumulátorů ve vozidle asi 4 roky nebo 700 cyklů nabíjení a vybíjení. Při použití akumulátoru jako startovacího zdroje energie je životnost až 8 let nebo 1 500 cyklů. Tento rozdíl je způsoben vyšším zatížením při pohonu vozidla. U vozidla je střední doba nabíjení 2 hodiny a u startovacích akumulátorů obvykle 7 až 8 hodin. Kladné a záporné desky jsou odděleny separátory, které jsou dnes vytvořeny jako tkanina jemných vláken umělých hmot. Současné zlepšení elektrické vodivosti iontů se docílilo zavedením kapsových separátorů z mikroporézní umělé hmoty. Tyto separátory uzavírají kladné desky do jakýchsi kapes, čímž mj. snižují náchylnost ke zkratu. Podstatné zlepšení všech vlastností akumulátoru bylo docíleno zpevněním olova vápníkem. Výhodou je vyšší elektrická vodivost, tedy vyšší výkon, značné prodloužení životnosti a podstatné zmenšení spotřeby vody (g/Ah) téměř na čtvrtinu, což umožnilo konstrukci akumulátoru zcela bez údržby. [2]

Novější typ sériově vyráběného olověného akumulátoru je založen na principu technologie spirálových článků. Oproti klasickým bateriím má 3 x větší životnost. Nosné části desek jsou z čistého olova, elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě separátorů. Vodík a kyslík vyvíjející se při nabíjení a vybíjení jsou rekombinovány na vodu, akumulátor je bezúdržbový. Rychlá rekombinace je umožněna vrstvou mezi dělenou negativní elektrodou. V článku je tímto uspořádáním vytvořeno a udržováno vakuum během cyklování a zvláště při rychlém nabíjení vysokými proudy. Nabíjecí proud může dosáhnout až 100 A při napětí 14,4 V, plně

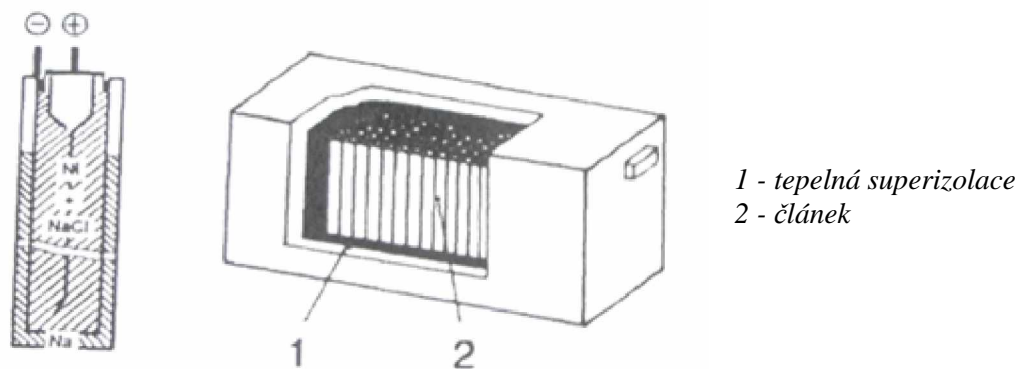
nabití tak lze zkrátit až na 1 hodinu. Prakticky jedinou výhodou je nižší cena oproti jiným typům akumulátorů. Nevýhodou je pokles kapacity při nízkých teplotách a při vzrůstu vybíjecích proudů, nízká měrná energie a výkon, velká citlivost na vybíjecí a nabíjecí režim. [2]



Obr.11 Olověný akumulátor [1]

3.3.1.2 Akumulátor sodík-síra

Systém Na-S, případně Na-Ni-Cl, má čtyřnásobně vyšší energetickou hustotu než akumulátor olověný. Elektrody sodík i síra jsou při chemické reakci tekuté. Elektrolyt je tvořen oxidem hlinitým, dobrým vodičem iontů. Při vybíjení akumulátoru dochází k přenosu iontů elektrolytem od záporného ke kladnému pólu tak dlouho, než se článek vybije. Při nabíjení se ionty hromadí u záporných elektrod. Protože samotná síra není vodivá, používá se k vedení proudu grafitová plst, která je spojena s kovovou kostrou sloužící jako kladný pól. Obě tekutiny jsou od sebe odděleny pevným elektrolytem. Tvoří jej desky z keramické hmoty oxidu hlinitého beta. Ten se vyznačuje vysokou vodivostí pro sodíkové ionty, které reakcí se sírou vytvářejí polysulfid solný. Sodík se ve vnitřním prostoru akumulátoru postupně spotřebuje, hladina tekutiny klesá, současně sloupá hladina tekutiny ve vnějším prostoru článku. Při nabíjení dochází k obrácenému postupu. Pracovní teplota akumulátoru, který je tvořen velkým množstvím článků je 380 °C. Články mohou být řazeny jak sériově, tak i paralelně. Každý jednotlivý článek je vytvořen jako pohár, na jehož stěně je síra v grafitové plsti pro zlepšení vodivosti. Mezi sírou a sodíkem je keramický elektrolyt rovněž ve tvaru poháru. Akumulátor je absolutně bezúdržbový a plynotěsný, jeho proudová účinnost je 1, což vede k energetické účinnosti přes 88 %. K udržení pracovní teploty je nutno z akumulátoru odebrat část energie, která se projevuje jako ztráty. Akumulátor o energii 10 kWh potřebuje na krytí těchto ztrát asi 80 W. Vozidla osazená tímto akumulátorem mají dojezd přes 100 km (pro VW Golf se uvádí až 250 km). Životnost je 1000 cyklů, respektive 30 000 km. Vzhledem k vysoké ceně akumulátoru je životnost stále ještě neuspokojivá. Nutná je také tepelná izolace. Mezi výhody patří vysoká měrná energie a měrný výkon. [2]



Obr.12 Článek a akumulátor [2]

3.3.1.3 Akumulátor nikel-kadmium

Jedná se o plně recyklovatelné a bezúdržbové akumulátory. Mají velkou životnost, 10 let nebo 2000 cyklů a vysokou energetickou hmotnost. Kladné elektrody jsou tvořeny hydroxidem hliníku, záporné hydroxidem kademnatým. Elektrolytem je hydroxid draselný ředěný destilovanou vodou. Tyto akumulátory nemají tak výraznou závislost kapacity na teplotě a vybíjecím proudu, jako olověné akumulátory. Vyznačují se větší spotřebou vody a ztrátami. [2]

3.3.1.4 Akumulátor nikel-železo

Konstrukcí i vlastnostmi jsou stejné jako akumulátory nikel-kadmium. Záporné elektrody jsou však ze železa. Oproti nikel-kadmiovým akumulátorům mají tyto akumulátory ještě větší spotřebu vody, dvojnásobný vnitřní odpor, nižší energetickou účinnost a větší pokles kapacity za nízkých teplot. [2]

3.3.1.5 Akumulátor nikel-metalhydrid (Ni-MH)

Mají mnoho společných znaků jako nikel-kadmiové akumulátory. Materiálem záporné elektrody je však slitina lanthanu, kobaltu, hliníku a manganu, která při nabíjení vytváří metalhydrid a nahradila škodlivé kadmium. Ni-MH akumulátory jsou tak ekologické a dosahují ještě vyšší hodnoty měrné energie. Jsou však dražší a citlivější na nabíjecí a vybíjecí režim. Životnost je poloviční proti Ni-Cd akumulátorům. [2]

3.3.1.6 Akumulátor zinek-vzduch

Dosahují hustoty energie až 220 Wh/kg a při tom jsou o 30 % lehčí než například akumulátory typu sodík-síra. Elektrolyt je tvořen vodným roztokem hydroxidu sodného. Požadovaný odběr výkonu vyžaduje jeho chlazení, při nízkých teplotách musí být ohříván. [2]

3.3.1.7 Akumulátor zinek-halogen

Výhodou jsou nízké finanční náklady na materiály elektrod, které jsou dobře využity při reakcích vznikajících v akumulátoru. Halogeny jsou však toxické. Životnost je přibližně 800 cyklů. [2]

3.3.1.8 Akumulátor lithium-ion

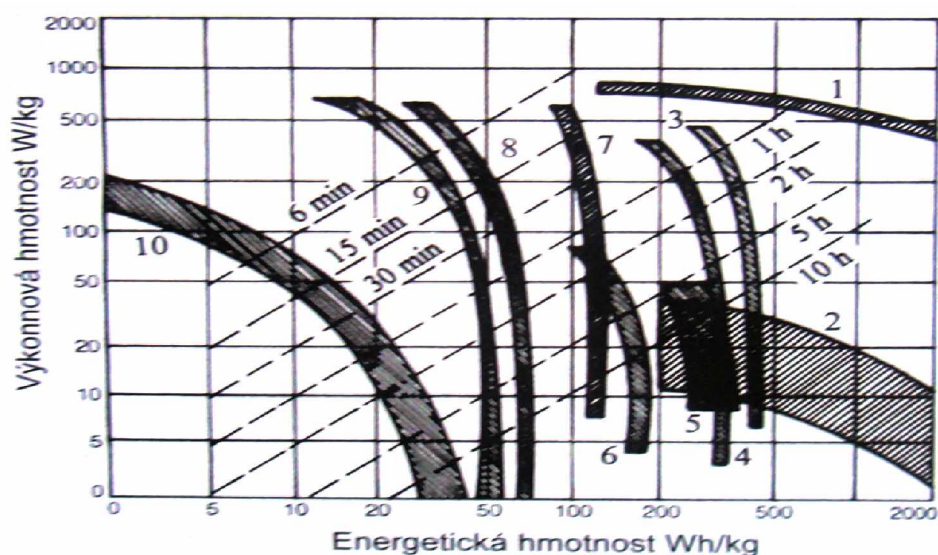
Materiálem katody jsou LiCoO_2 , LiMn_2O_4 či LiNiO . Napětí článku se pohybuje v rozmezí 3 až 4 V. Energetická hustota dosahuje hodnoty 130 Wh/kg. Životnost je až 1000 cyklů. Nevýhodou je vysoká cena. [2]

3.3.1.9 Akumulátor lithium-metal-hydrid

Katodou se skládá z Li_xMnO_2 a anodu tvoří uhlíková matrice připravená z grafitizovaných částic koksu. Tyto akumulátory mají nejvyšší energetickou hustotu a nejnižší hmotnost ze všech uvedených akumulátorů. Jsou odolné proti velkému přebíjení, vybíjení, zkratu, mechanickému poškození. Pracují v nejširším rozsahu teplot. [2]

3.3.1.10 Akumulátory lithium-polymer

Anoda je z lithiové a katoda z kovové fólie se zakotveným organosulfidovým polymerem. Podle použitého materiálu elektrod může článek dosahovat napětí 1,8 až 3 V. Hustota energie je 150 Wh/kg při výkonové hustotě 200 W/kg. Pracovní teplota je v rozsahu 40-150 °C. Za podmínek rychlého nabíjení může být dosaženo nabíjecí účinnosti až 90 %. [2]



Obr.13 Energetická a výkonová hmotnost různých systémů baterií a spalovacího motoru (čas min. a h. je doba vybíjení baterií) [1]

3.3.2 Vysokoenergetické kondenzátory

Jedná se o kondenzátor s vysokou životností pro opakované použití, který dodává další dávku elektrické energie vybíjením a nabíjením, potřebnou pro krytí výkonových špiček při akceleraci a velkém zatížení vozidla. Elektrochemické akumulátory sice dosahují poměrně vysokou hustotu energie, ale jejich výkonová hustota je velmi malá. Pro použití v hybridních vozidlech vede tato okolnost ke zvyšování hmotnosti vozidla a ke zhoršení dynamických vlastností. [1]

Vysoko energetické kondenzátory (super kondenzátory) uchovávají energii ve formě elektrostatické energie a vyrábí se různými technologiemi. Existují kondenzátory na bázi keramiky, klasické svitkové nebo metalické kondenzátory s různým dielektrikem pro střední frekvence do řádu 10^5 Hz a pro nízké a střední frekvence jsou to elektrolytické nebo tantalové kondenzátory. Uvedené kondenzátory se vyrábějí v různém výběru velikostí a provedení. [1]

Nový typ kondenzátoru tzv. super kondenzátor, má ve výrobním programu řada světových výrobců, dosahuje kapacit až 10^4 F. V principu mohou zvýšit měrnou kapacitu o několik řádů. Jsou založeny na využití vlastností elektrické dvojvrstvy. Někdy se pro ně také používá název ultra kondenzátor EDLC (Electric Double Layer Capacitor). Mezi elektrodami z porézního uhlíku je tekutý nebo gelový elektrolyt. Porézní uhlík zaručuje extrémně velký měrný povrch přesahující $2000\text{m}^2/\text{g}$. Rovněž zaručuje velmi nízký odpor přívodních elektrod. Tím je zaručena vysoká rychlost nabíjecího a vybíjecího procesu, současně s nízkými ohmickými ztrátami za provozu. Další výhodou je, že během cyklu ztratí méně než 20 % zásobené energie. Průrazné napětí elektrické dvojvrstvy je velmi nízké, takže typické napětí super kondenzátorové buňky nepřesahuje 2,3 V. [1]

Pro průmyslové aplikace bývají typické sérioparalelní kombinace základních buněk. Některé firmy jako Siemens, Maxwell apod. vyrábějí sérioparalelní kombinace jako jeden mechanický celek. Například modul Siemens/Matsushita má kapacitu 100 F, vnitřní odpor 15 m Ω a výkonovou hustotu 80 W/kg. Tento plně nabitý prvek je schopen dodávat výkon 12,5 kW po dobu pěti sekund. Hodí se zejména ke krytí špičkového zatížení, jako při silném zrychlení, např. při předjíždění a nebo po rozjezdu. Výrobce zaručuje životnost větší než 10^6 cyklů. [1]

V současné době by měla již být na trhu generace dosahující energetickou hustotu 15 Wh/kg při vysoké výkonové hustotě 4 kW/kg. To jsou hodnoty dokazující oprávněné uplatnění super kondenzátorů jako nosičů energie hybridních automobilů. Světové prvenství v zavádění těchto nosičů energie u osobních automobilů nižších tříd má Japonsko. [1]

4 Mechanický systém

4.1 Mechanický akumulátor energie

Setrvačnick může být zásobníkem energie, aniž by potřeboval chemický proces.

V praktickém použití ve vozidle je jeho kinetická energie při brzdění předávána setrvačnicku a později opět pomocí elektrického motoru (generátoru) využita pro další jízdu.

Zpravidla je deskovitého tvaru jako rotační těleso. Zásobní kapacita závisí na maximálních otáčkách a rozdělení hmotnosti setrvačnicku. Naproti bateriím mají setrvačnick výhodu, že se ve zlomku sekundy akumuluje energie bez velkých ztrát a opět předává. Dále pracují bez opotřebení, bez chemikálií a mají vysokou životnost. [1]

Rotační hmotnosti vyvolávají vysoké síly. Proto je sestrojen z pevnostní oceli legované titanem. Zvláštní požadavky jsou také na ložiska. Zavedením magnetických ložisek bez otěru a bez tření, je možno výkonovou hustotu setrvačnicků značně zvýšit. Úspora energie může být až 30 %. Setrvačnick je možné použít jak u velkých vozidel (autobus, trolejbus), tak i u malých osobních vozidel, kde je umístěn na klikovém hřídeli, popřípadě pomocí převodů s hnací nápravou. [1]

Setrvačnick jako mechanický zásobník energie byl poprvé použit před druhou světovou válkou pro pohon autobusu Oerlikon v kombinaci s elektrickým pohonem s externím přívodem energie (trolejový systém). Setrvačnick sloužil jako zásobník energie pro kratší bezdrátové úseky tratě. Roztáčení setrvačnicku se provádělo elektromotorem napájeným ze sítě po dobu stání autobusu ve stanici. Setrvačnick měl průměr 1 m a byl umístěn ve střeše vozidla. V důsledku nevhodné konstrukce setrvačnicku i jeho umístění se tento způsob neosvědčil. [1]

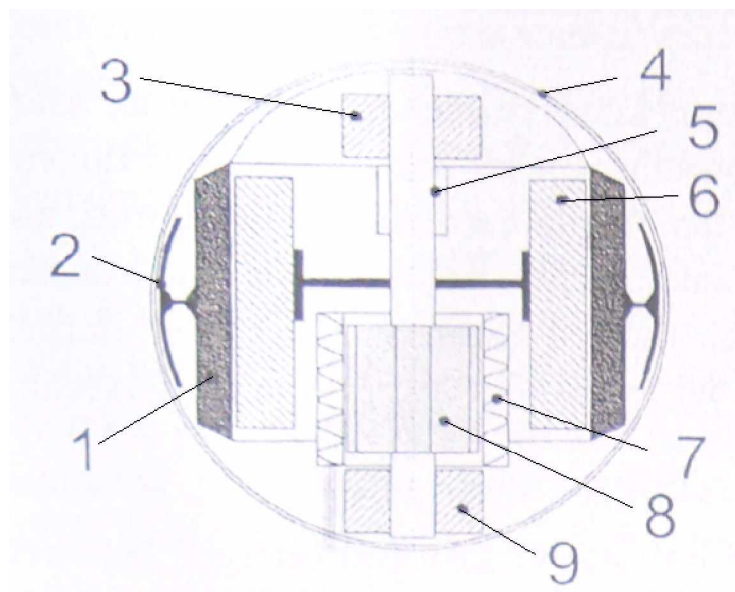
Přes uvedenou problematiku je v Basileji v současnosti v provozu 12 trolejbusů se setrvačnickovým akumulátorem energie. Elektrická energie pro elektromotory je odebírána jednak ze sítě a jednak ze setrvačnickového zásobníku. Dle testů odebírají trolejbusy o 25 až 30 % méně energie ze sítě. Setrvačnickový zásobník energie akumuluje kinetickou energii při brzdění. Proudový odběr při rozjezdu je o 50 % menší. Vysokovýkonný mechanický zásobník energie může disponovat výkonem 150 kW, což odpovídá energii 2,5 kWh, takže umožňuje krátkodobý plný jízdní výkon. Po rovině umožňuje ujetí dráhy až 3 km. Úseky tratě trolejbusu mezi stanicemi jsou voleny tak, aby bylo dosaženo dokonalého využití zásobníku, který akumuluje kinetickou energii při brzdění. [1]

Úspěšnější pokusy byly prováděny v USA na Hopkinsonově univerzitě v Silver Spring. Jednalo se o setrvačnick s otáčkami kolem $20\,000\text{ min}^{-1}$ s vakuovanou skříní na tlak 10 až 1 kPa. Stejným výzkumem se zabývala firma Lockheed. Na základě zkoušek byla navržena koncepce setrvačnicku, který by se měl otáčet $10\,000$ až $20\,000\text{ min}^{-1}$ ve vakuované skříní.

Protože vozidlo při svém pohybu koná různé pohyby, při nichž dochází ke změně osy rotace setrvačnicku, vznikají dynamické jevy (precese a nutace), které by ovlivňovaly dynamické vlastnosti vozidla. Silové působení setrvačnicku na vozidlo závisí také na směru otáčení setrvačnicku. Nejvhodnější umístění osy setrvačnicku je napříč vozidla, kdy žádné síly uvedeného druhu nepůsobí. Naopak při vhodné volbě směru otáčení setrvačnicku se dosahuje stabilizačního účinku. Přesto zůstává řada dalších problémů k řešení:

- § náplň plynu uzavřeného prostoru setrvačnicku,
- § chlazení vnitřního prostoru skříně setrvačnicku,
- § utěsnění skříně setrvačnicku okolí hřídele (ztrátový výkon vývěvy),
- § technický problém regulace celého systému a vyřešení komplexního působení jednotlivých agregátů tohoto hybridního systému. [1]

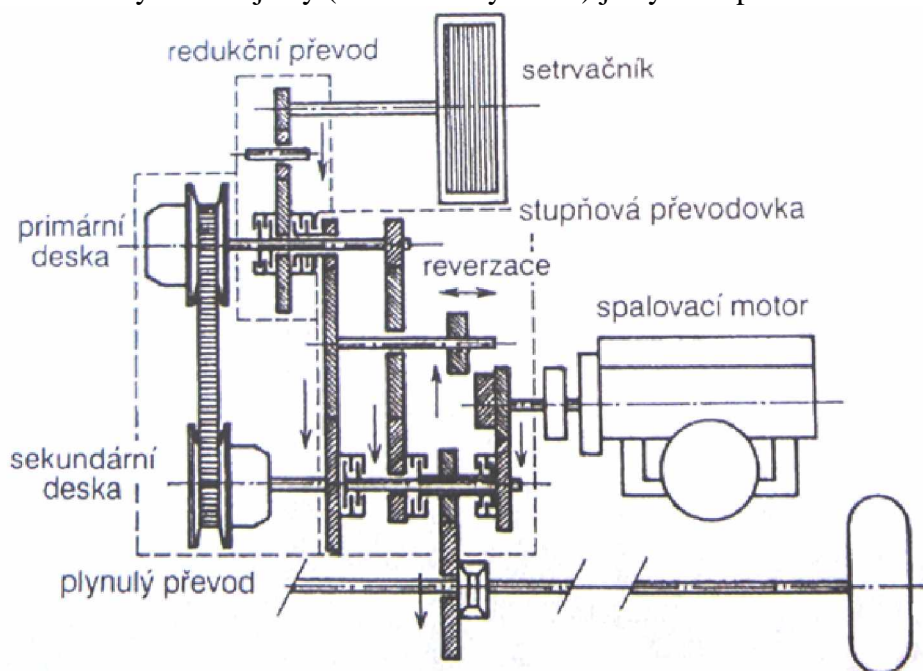
Je nutno rozlišovat čistě mechanické setrvačnicky jako krátkodobý zásobník energie od elektromechanických setrvačnick (obr.14), u kterých je přes jednotku motor-generátor ukládána elektrická energie do setrvačnicku nebo je ze setrvačnicku odebírána. [2]



- 1 - ochranná skříň
- 2 - kardanový závěs
- 3 - magnetické ložisko
- 4 - vnější skříň
- 5 - vývěva
- 6 - rotor setrvačnickového kola
- 7 - stator elektromotoru
- 8 - rotor elektromotoru
- 9 - magnetické ložisko

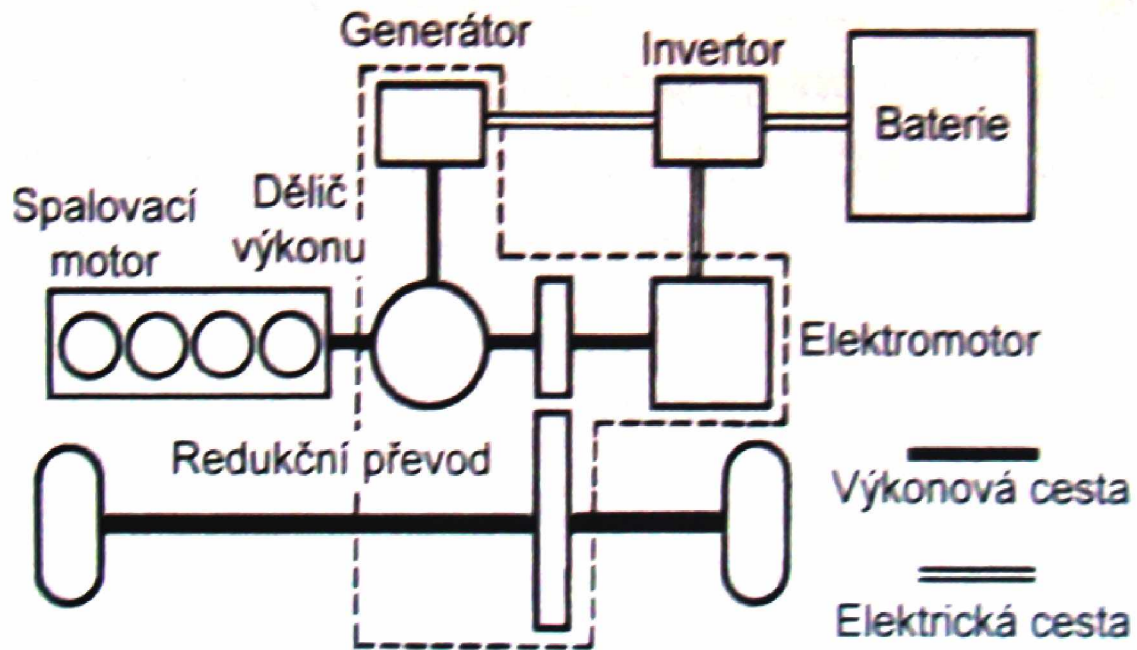
Obr.14 Schéma elektromechanického setrvačnicku [2]

Hybridní pohon pouze se spalovacím motorem a setrvačnickem vyvinula Technická univerzita v Eindhoven. Setrvačnick o váze 19 kg je uložen ve vakuovaném prostoru. Přenos energie na kola se děje pomocí převodovky i^2 -CVT. Převodovka má toto jméno, protože převodový stupeň v pracovním rozsahu probíhá dvakrát. Pět volně stavitelných třecích spojek poskytuje velkou možnost pohonu 9 převodových stupňů dopředu. Pod rychlostí 120 km/h může např. spalovací motor krýt jen ztráty valením a odporu vzduchu vozidla jakož i ztráty hnacího obvodu. Pro dynamiku jízdy (brzdění a zrychlení) je využito pouze setrvačnicku. [1]



Obr.15 Hybridní pohon se setrvačnickem a spalovacím motorem [2]

Další systém hybridního pohonu. Setrvačnick je konvenční nízkootáčkový se zabudovaným elektromotorem s velkým rotorem, který pracuje rovněž jako generátor nebo jako motor. Vozidlo může být ve spojení s odpovídajícími bateriemi provozováno jako čistý elektropohon. [1]



Obr.16 Hybridní pohon se spalovacím motorem, setrvačnickem a elektromotorem [1]

Při klidu vozidla by měl být setrvačnick poháněn vždy nejméně 1500 ot/min, jen tak může bezprostředně po sešlápnutí spojky setrvačnickem zrychlit a nastartovat motor. Pak zpožděná reakce známého systému start - stop nevznikne. Spotřeba paliva na volnoběh klesla z 0,8 l/h na 0,2 l/h. Měrná spotřeba klesla ze 700 g/kWh na 250 g/kWh a lze jí dále snížit. Podobné vozidlo bylo vyvinuto na ETH Zurich s názvem Hybrid III na bázi vozidla Golf s cílem optimálního řešení pro krytí ztrát pomocných mechanismů, pracovní strategie i volbou rozměrů setrvačnicku. [1]

Setrvačnick s velkou kapacitou (19 kg, max. 19 000 ot/min) potřebuje vyšší technický a finanční náklad, avšak umožňuje vyšší využití energie při brzdění, mimoto redukuje časté zapínání spalovacího motoru a rozšiřuje rozsah jízdy jen se setrvačnickem. Naopak nelze opomenout, že při odstavení vozidla je velký obsah energie setrvačnicku ztracen. [1]

Pokrokovým technickým řešením setrvačnicku v poslední době je American Flywheel Systems, který je složen ze dvou proti sobě se otáčejících setrvačnicků, čímž se eliminuje gyroskopický efekt. K omezení tření jsou pouzdra s otáčejícími se setrvačnickými hermeticky uzavřena a vakuována. Setrvačnický jsou opatřeny magnetickými ložisky. Pro stabilizaci je ještě použito ložisek kapalinových. Vysoké otáčky setrvačnicků jsou dány moduly setrvačnosti jeho jednotlivých částí. [1]

Setrvačnickový systém může pracovat ve vstupním motorickém režimu, nebo jako generátor ve výstupním režimu. V motorickém režimu tvoří stator pouzdro hřídele, kam je přiváděna elektrická energie. Vzniklá magnetická pole v interakci s pouzdrům magnetického ložiska vytváří elektromagnetický točivý moment. V generátorovém režimu je tomu naopak.

Anizotropní věnec setrvačnicku má zhruba 50 M závitů a je vinut z velmi jemných vláken (filamentů) z kompozitního materiálu (kelvar). Vysoká pevnost vlákna v tahu výrazně ovlivňuje dosažitelnou hustotu energie. Věnec musí být navíjen za neustálé kontroly ve vysokém vakuu, aby kontaminanty (např. kyslík) obsažené v lepidlu byly pohlceny během navíjení a nezneškodnocovaly za provozu vakuu v pouzdru. To musí být zajištěno v hodnotách 0,135 Pa, tj. 0,001 torru. [1]

Setrvačnickový systém je provozován jako „dvojpólový“ s elektrickým vstupem a výstupem. Počet otáček rotoru je $200\,000\text{ min}^{-1}$. Systém je zajištěn proti „šrapnelovému efektu“, neboť destrukční odvíjení vláken je provázáno velkým vývinem tepla vyvolaného nahromaděnou kinetickou energií setrvačnicku v důsledku tření. Destrukcí vznikne hmota podobná vatě, která není pro okolí nebezpečná. [1]

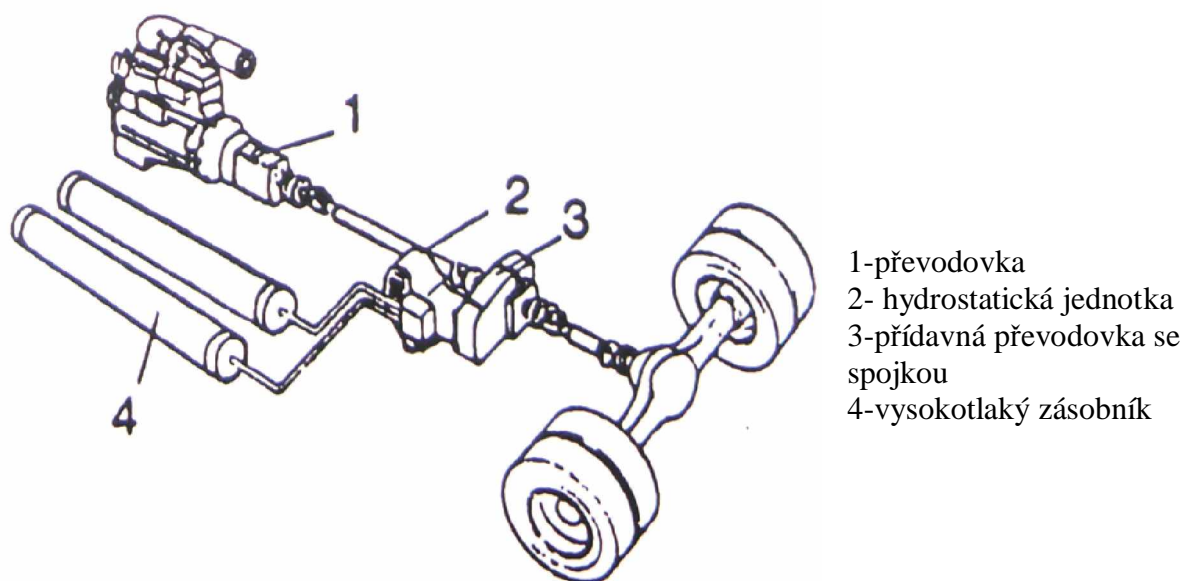
Měrná hustota energie daného setrvačnickového systému se uvádí v hodnotách 193 až 226 Wh/kg. Životnost je uváděna ve srovnání s běžnými olovenými akumulátory až 10násobná. [1]

5 Hydraulických systém

Kombinace vznětového motoru s hydraulikou se ukázala výhodnější než kombinace vznětového motoru s mechanikou (tj. setrvačnickem akumulujícím kinetickou energii). V Evropě se zkouší taková vozidla např. v městech Stockholm, Kodaň, Londýn, Berlín, Kolín n. R. Zjistilo se, že lze ušetřit 20 až 35 % paliva. [3]

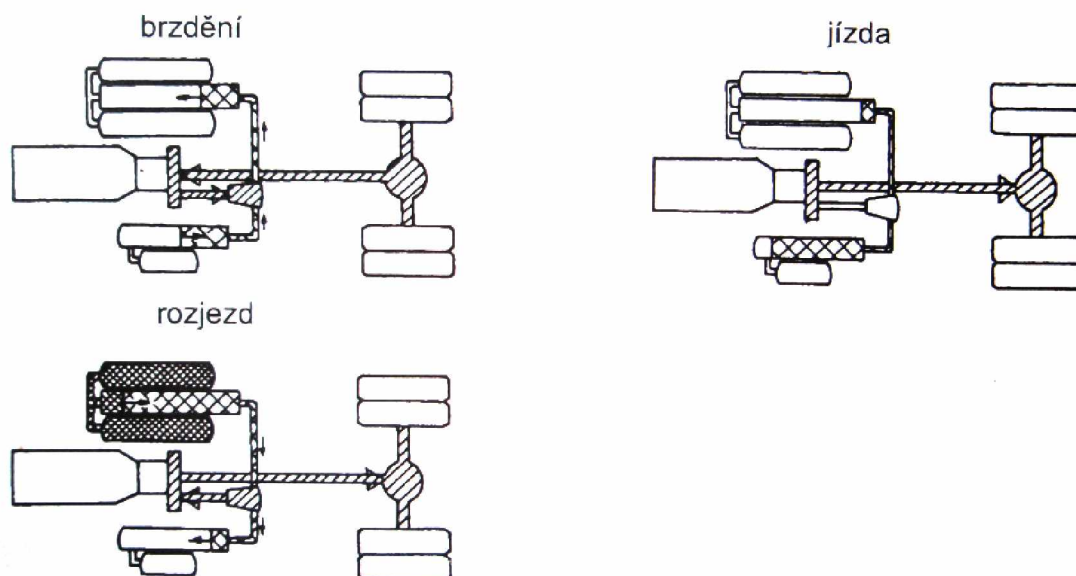
5.1 Systém Cumulo

Praktické využití hydraulického systému s rychloběžným hydrostatickým axiálním pístovým strojem a statickým hydraulickým zásobníkem vyvinutým firmou Volvo vyzkoušely např. firmy Mercedes-Benz, MAN, Neoplan, Renault (RVI), Scania. Systém "Cumulo" firmy Volvo je znázorněn na (obr.17). [3]



Obr.17 Systém "Cumulo" vyvinutý firmou Volvo Flygmotor AB [3]

Firma MAN vyvinula systém SHL (Stufenloses hydrostatisches Leistungsverzweigungs-Getriebe). Jako základ použila hydrostatickou jednotku systému "Cumulo", jehož pracovní fáze jsou znázorněny na (obr.18). [3]



Obr.18 Fáze činnosti systému "Cumulo" [3]

U systému SHL je použita automatická převodovka Ecomat HP 500 firmy ZF (Zahnradfabrik Friedrichshafen) s příslušnými vedlejšími pohony a vypínatelným hydrodynamickým měničem. Vznětový motor má jako normální městské autobusy výkon 180 kW. Při brzdění, stání, rozjezdu je vznětový motor odpojen z hnacího ústrojí a hydrostatické zařízení pracuje jako čerpadlo k doplnění zásobníku, a to proti tlaku plynu a zmenší rychlost až na nulu. K opětovnému rozběhnutí je využit tlak ze zásobníku k pohonu hydrostatického zařízení, které v tomto případě je zapojeno jako motor. Tlakový olej proudí zpět do nízkotlakového zásobníku. Přestavitelné hydrostatické stroje pracují plynule a bez rázů. Tyto děje jsou řízeny centrálním elektronickým přístrojem, a to v závislosti na ovládní plynového a brzdového pedálu a senzorově řízenými informacemi z pohonu. [3]

Hydraulická převodovka systému Cumulo je spojena pomocí přídatné převodovky a prostřednictvím spojky pro řazení stupňů s hlavní převodovkou Ecomat. [3]

Při brzdění je zvýšen hydraulický tlak v zásobníku plynu ze 150 na 400 barů. Při následujícím rozjezdu je tato energie vrácena zpět na zadní hnací nápravu, uložení energie do pracovní hydrauliky je též možné. Úspora paliva je kolem 15%. Hnací koncepce MAN-SHL byla zkoušena u městského autobusu a vozidla pro odvoz odpadků. [3]

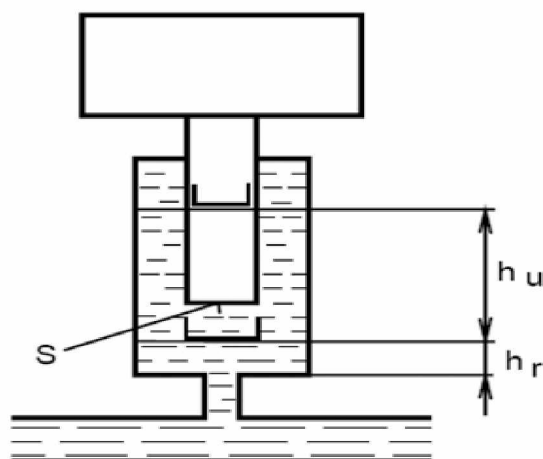
5.2 Zásobníky energie

5.2.1 Závažový akumulátor

Závažový akumulátor sestává z válce, do něhož se ponořuje plunžr o ploše S . Akumulace energie spočívá v tíhové energii závaží o hmotnosti m . Je to nejstarší typ akumulátoru, který se dříve používal hlavně u tvářecích strojů. [13]

Jedinou předností je možnost odebírat kapalinu o konstantním tlaku v celém rozsahu užitečného zdvihu. Proto se dnes používá u speciálního laboratorního zařízení pro kalibraci tlaků. [13]

Nevýhodou jsou velké rozměry a hmotnost a z ní vyplývající setrvačnost. Kromě toho se musí montovat ve svislé poloze. [13]



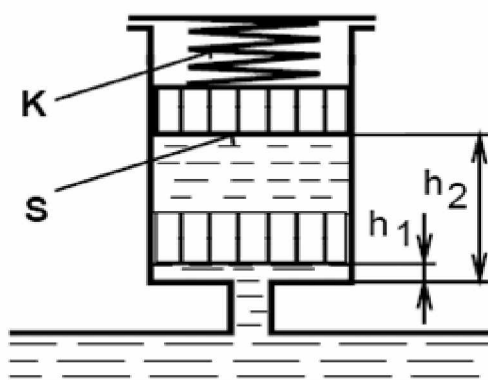
Obr.19 Schéma závažového akumulátoru [13]

5.2.2 Pružinové akumulátory

U pružinového akumulátoru je energie akumulována v deformační práci mechanické pružiny. Tlak odebíraný z akumulátoru již není konstantní, nýbrž se mění v závislosti na charakteristice pružiny. [13]

Výhodou pružinového akumulátoru je možnost montáže v libovolné poloze. Kromě toho může pracovat i při velmi nízkých teplotách. [13]

Mezi hlavní nevýhody patří malá deformační práce pružiny, což limituje použití akumulátoru pro větší tlaky, protože velké pružiny neúměrně zvyšují rozměry akumulátoru. Charakteristika pružiny se mění v čase, a proto je obtížné seřídit akumulátor na požadovaný tlak. Dále použití mechanických pružin snižuje spolehlivost (pružiny praskají). Proto se pružinové akumulátory používají zřídka a to pouze pro nižší tlaky a výkony. [13]



Obr.20 Schéma pružinového akumulátoru [13]

Oba typy akumulátorů (závažový a pružinový) mají tak nepříznivé vlastnosti, že nedosáhly obecného rozšíření. [13]

5.2.3 Plynové akumulátory

Plynové akumulátory pracují na pneumohydraulickém principu, ve kterých stlačitelný inertní plyn (nejčastěji dusík, má menší absorpční schopnost do minerálního oleje, nezpůsobuje rychlé stárnutí oleje a je nehořlavý) slouží k akumulaci tlakové energie kapaliny. [13] *Plynové akumulátory dělíme na:*

Pružinové akumulátory	– malé objemy, tlaky 3 až 5 MPa
Pístové akumulátory	– do 400 dm ³ až 35 MPa
Vakuové a membránové akumulátory	– do 200 dm ³ až do 35 MPa
Plynové akumulátory s přímým stykem plynu a kapaliny	– pro velké objemy a tlaky až do 45MPa [13]

Na plynové akumulátory je třeba pohlížet jako na tlakové nádoby s plynným prostředím a platí pro ně předpisy a normy bezpečnosti práce s nimi. Plyn se v uzavřeném prostoru akumulátoru chová jako dokonalá pružina a jeho stlačování probíhá podle zákonů termodynamiky. [13]

6 Současný stav používaných systémů

6.1 Osobní doprava

6.1.1 Toyota Prius

6.1.1.1 První generace

Prvním sériově vyráběným vozem s hybridním pohonem byla Toyota Prius v roce 1997. Studie se objevila na tokijském autosalonu již v roce 1995 a o dva roky později už ji měli k dispozici domácí prodejci. Pro pohon je použita kombinace mimořádně technicky vyspělého zážehového čtyřválece s objemem 1,5 l a výkonem 43 kW a 30 kW synchronního elektromotoru. Hnací ústrojí vychází z paralelního uspořádání. Plynulým dělením výkonu vozu mezi spalovací motor a elektromotor, které jsou spojeny s hnacími koly planetovým soukolím, udržuje stále řídicí jednotka motor v oblasti příznivého točivého momentu a tím tedy i nízké spotřeby paliva. Důmyslná elektronika udržuje čtyřválec neustále v oblasti příznivého točivého momentu, a tedy v oblasti nízké spotřeby. Je-li vozidlo v klidu, spalovací motor se samočinně vypíná. Při plynulém rozjezdu a jízdě ve městě rychlostí do 50 km/h pohání vůz Prius jen elektromotor za předpokladu, že jsou akumulátory dostatečně nabitě. Při potřebě většího výkonu (např. při předjíždění) se spalovací motor samočinně rozběhne, ale jeho řídicí jednotka ho stále udržuje v oblasti optimálního zatížení, aby se spotřeba nezvyšovala. Výkonem, který není pro pohon vozu zapotřebí, se prostřednictvím generátoru dobíjejí akumulátory typu Ni-MH (nikl - metalhydrid), které využívají i rekuperovanou část kinetické energie vozu při sjíždění svahu. Při jízdě ze svahu je spalovací motor vypnutý a rekuperovaná část energie se využívá k dobíjení baterií. Běžný provoz tedy nevyžaduje externí zdroj elektrické energie. Průměrná spotřeba paliva 3,6 l/100 km. [2]

Pro evropské provedení se konstruktéři Toyoty rozhodli pro dosažení tzv. kombinované spotřeby benzínu 5,0 l/100 km a emisí oxidu uhličitého 120 g/km. Cílem bylo dosáhnout jak

nízké spotřeby a zplodin, tak ponechat základní rys Priusu: stejně pohodlnou a snadnou jízdu jako s konvenčním automobilem vybaveným samočinnou převodovkou. Kvůli odlišným jízdám podmínkám v Evropě byla řídicí jednotka systému THS přizpůsobena místním podmínkám. Oproti Japonsku se tady jezdí rychleji a ulice ve velkoměstech nejsou tak ucpané. Zlepšena proto byla schopnost akcelerace i nejvyšší rychlost.

Funkce hybridní soustavy Toyota Prius je znázorněna na (obr.21). Funkci je možno rozdělit do pěti fází:

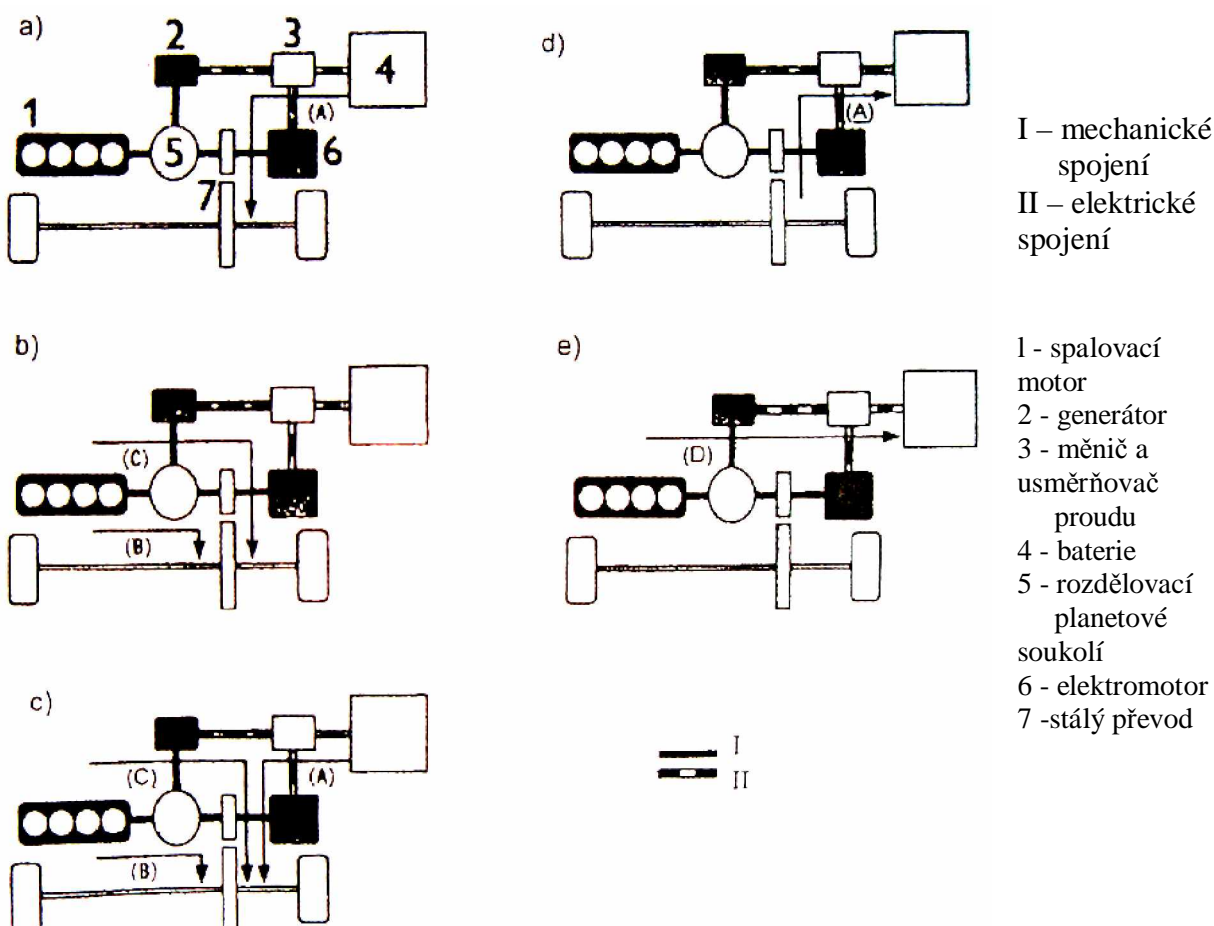
a)-rozjezd, pomalá jízda, apod. Spalovací motor je vypnutý, protože by běžel v neekonomickém režimu. Vozidlo pohání jen elektromotor (A).

b)-normální jízda. Výkon motoru pohání, pomocí rozdělovacího soukolí, kola vozu (B) a také generátor (C), který dodává proud elektromotoru. Dělení výkonu se reguluje, tak aby účinnost celé soustavy byla co největší.

c)-plná akcelerace. Při plném sešlápnutí akceleračního pedálu pohání vozidlo oba motory (B, C). Elektromotoru dodávají proud i baterie (A).

d)-decelerace a brzdění. Kinetická energie vozidla se využívá k pohonu elektromotoru, jenž se mění v generátor, který dobíjí baterie (A).

e)-dobíjení baterií. Poklesne-li napětí baterií, začnou se dobíjet proudem z generátoru (D).

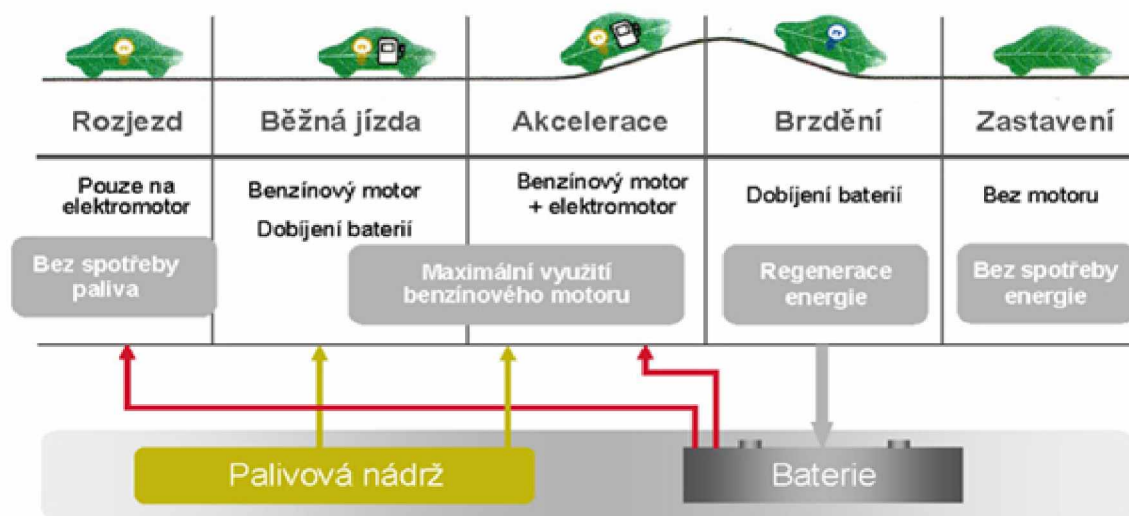


Obr.21 Schéma uspořádání hybridní soustavy Toyota Prius a její funkce [2]

6.1.1.2 Druhá generace

Další generace hybridního vozu Toyota Prius II byla představena v roce 2003 na autosalonu v New Yorku. [2]

Poháněcí soustava Toyota Prius II THS II (Hybrid Synergy Drive) je kapalinou chlazený řadový čtyřválec, uložený vpředu napříč společně s elektromotorem a generátorem elektrické energie. Trakční střídavý synchronní elektromotor Toyota s permanentními magnety má výkon 50 kW a točivý moment 115 Nm. Generátor elektrické energie je střídavý synchronní alternátor. Rozdělování energie z motoru na generátor a trakční elektromotor zajišťuje planetová elektronicky řízená plynulá převodovka E-CVT s rozdělovačem točivého momentu. Akumulátory Ni-MH mají 168 článků po 1,2 V (celkem 201,6 V), jsou uloženy vzadu pod podlahou a mají hmotnost 39 kg. Okamžitý režim motoru může sledovat na displeji uprostřed přehledné palubní desky. Funkci systému regenerace energie při zpomalování a brzdění pro maximální výkon pracují oba motory společně, eventuálně generátor dobíjí akumulátory. [2]



Obr.22 Provozní režimy Toyota Prius II [9]

6.1.1.3 Třetí generace

Poslední generace Toyota Prius III byla představena na letošním autosalonu v Detroitu jako model pro rok 2010.

Nový Prius je poháněn čtyřválcovým zážehovým agregátem o objemu 1,8 l s variabilním časováním ventilů VVT-i. Výkon motoru dosahuje ve specifikaci pro americký trh hodnoty 73 kW (98 k)/5200 ot/min, na přední kola je pomocí elektronicky řízené bezstupňové převodovky s planetovým soukolím přenášeno maximálně 142 Nm točivého momentu při 4000 ot/min. Zážehový agregát je podporován synchronním elektromotorem s permanentním magnetem o výkonu 60 kW (80 k) a největším točivém momentu 207 Nm (maximální otáčky zatím výrobce nezveřejnil). Čistý výkon hybridního systému dosahuje 100 kW (134 k). Protože maximální výkony jednotlivých hnacích strojů jsou dosahovány při různých otáčkách, nelze je jednoduše sčítat. [20]

Elektromotor je zatím napájen NiMH bateriemi. Lithiové by měly přijít v roce 2010, nejprve však pouze pro flotilové firemní zákazníky. Od roku 2012 budou moci využívat výhody vyšší energetické hustoty Li-Ion akumulátorů (nižší hmotnost, vyšší kapacita) také běžní zákazníci. V souvislosti s tím se očekává, že výrazně vzroste dojezd na čistě elektrický

pohon. [20]

Toyota Prius může pohánět samotný spalovací motor, pouze elektromotor, nebo kombinace zážehového agregátu a elektromotoru. Patentovaný systém pohonu Hybrid Synergy Drive je údajně z 90 procent zcela nový. Spotřeba paliva by i díky němu měla klesnout pod pětilitrovou hranici – Toyota zatím uvádí neoficiálních 4,7 l/100 km (údaj podle americké metodiky EPA nelze přímo porovnávat s údaji, uváděnými v Evropě). Hnací ústrojí je lehčí asi o 20 % a oproti předchozímu modelu snižuje ztráty točivého momentu. Ve voze byl také použit nově vyvinutý elektronicky řízený systém rekuperačního brzdění s optimalizovanou řídicí logikou. V interiéru najdeme multifunkční displej zobrazující spotřebu paliva a toky energií. Řidiči poskytuje zpětnou vazbu o fungování pohonné jednotky, ten tak pomocí tří různých zobrazení může postupně získat návyky nutné k hospodárnější jízdě. [20] Nový Prius nabídne řidiči možnost volit ze tří různých režimů jízdy. Prvním je *EV-Drive*, ten umožňuje jízdu s pomocí elektromotoru na energii ze samotných akumulátorových baterií, a to nízkou rychlostí na vzdálenost asi 1,6 km. Dalším režimem je sportovnější *Power*, kdy se zvyšuje citlivost škrticí klapky na pokyny od pedálu plynu. Posledním je *Eco*, ten pomáhá řidiči dosáhnout nejlepší možné spotřeby paliva. [20]

6.1.2 Další příklady automobilů:

6.1.2.1 Mercedes-Benz S 400 BlueHybrid

Pod kapotou má vidlicový šestiválec o objemu 3,5 litru z modelu S 350. V hybridní verzi bude mít nejvyšší výkon 205 kW a doplní ho 15kW elektromotor. Celkový výkon hybridního ústrojí tak je 220 kW, maximum točivého momentu 385 Nm. O přenos síly na zadní kola se stará upravená automatická převodovka 7G-Tronic se sedmi převodovými stupni. [21]

Relativně malý elektromotor je kompaktní třífázový kotoučového typu, současně slouží jako startér a generátor pro rekuperaci energie při brzdění. Díky nejvyššímu točivému momentu 160 Nm přispívá k nižší spotřebě, stejně tak ale může sloužit jako přídatný zdroj momentu pro dynamickou jízdu. Benzinový motor je vybaven funkcí stop-start, takže úvodní fázi rozjezdu – na spotřebu nejnáročnější fázi provozu spalovacího motoru – obstarává elektromotor. [21]

Elektrická energie je uložena ve speciální lithiové akumulátorové sadě vyvinuté a vyráběné firmou Continental přímo pro použití v hybridním autě. Jejich konstrukce je díky vyšší energetické hustotě tak kompaktní, že velikost interiéru ani zavazadlového prostoru není jejich instalací dotčena. Svě místo našla sada v motorovém prostoru, vzhledem k riziku přehřátí je napojena na klimatizační okruh. Navíc jsou baterie napojené na 12V okruh elektroinstalace, takže mohou napájet například osvětlení nebo komfortní prvky s elektrickým ovládáním. [21]

6.1.2.2 Honda Insight II

Benzinovému čtyřválcí 1,3 i-VTEC pomáhá elektromotor o výkonu 10 kW, který dává nejvyšší točivý moment 79 Nm. Samotný spalovací motor má mít pro různé trhy odlišné naladění. V USA bude dosahovat výkonu 73 kW při 5800 ot./min, u evropské specifikace se spekuluje o 65 kW. Maximum točivého momentu je 123 Nm. V nízkých rychlostech bude auto schopné provozu na čistě elektrický pohon. Úsporu paliva přinese také automatické vypínání motoru a funkce odpojování válců při brzdění. [22]

Dvojice motoru je spojena s bezestupňovou převodovkou CVT. V nabídce bude i funkce sportovního s řazením pod volantem, která pracuje se sedmi přednastavenými převody.

Kompaktní NiMH baterie mají kapacitu 5,75 Ah a nachází se vzadu pod podlahou. Na rozdíl od starších hybridních modelů tak nic nebrání tomu, aby byla zadní sedadla sklopitelná (dělená v poměru 60/40). Dobíjení baterií probíhá rekuperací energie při brzdění. [22]

6.2 Městská hromadná a autobusová doprava

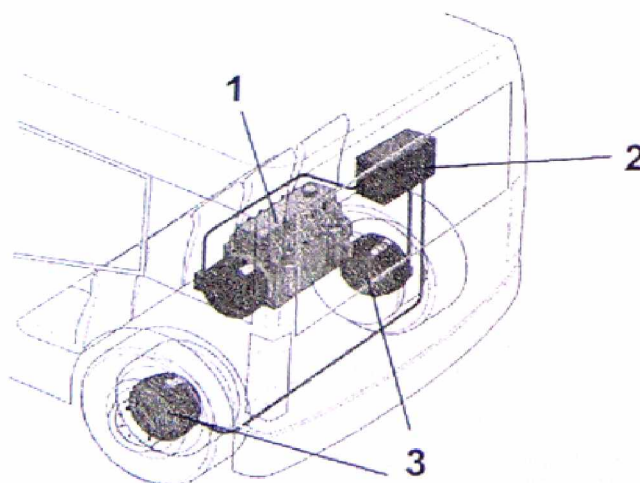
6.2.1 Autobus Neoplan N 8008 DES

Má namontovány čtyři speciální elektromotory přímo v nábojích kol (včetně předních kol). Výhoda tohoto uspořádání je v ideálním přenosu výkonu spalovacího motoru na poháněcí kola vozidla elektricky. Pohonná jednotka je tvořena vznětovým motorem s generátorem, řídicí elektronikou a elektrickým pohonem v kolech (obr.23). Elektromotory jsou spojeny přímo s osou kol. Tím odpadá komplikovaný hnací mechanismus, pohon je plynulý při značné úspoře energie a s nízkými emisemi. Elektrické motory v kolech jsou chlazeny kapalinou, mají permanentní buzení. Rotorem je vnější část, která je spojena s kotoučovými brzdami. Spalovací motor s vestavěným kompaktním generátorem funguje jako palubní elektrárna. Výroba proudu je řízena elektronikou. Celkové řešení dosahuje optimální účinnosti při rovnoměrném točivém momentu a stálém výkonu. [2]

Při brzdění elektromotory pracují jako generátory, které přebytečný proud brzdícího výkonu dodávají magnetodynamickému zásobníku. Při vysoké spotřebě proudu např. během rozjezdu jsou oba zdroje proudu zapnuty (tj. proud generátoru a proud magnetoelektrického zásobníku). [2]

Součásti elektromotoru firmy Magnet-Motor jsou čtyřikrát menší oproti součástem stávajících elektromotorů stejného výkonu. Točivý moment je čtyř- až desetinásobek hodnoty točivého momentu elektromotoru stejné velikosti. Má vyšší účinnost ve všech pracovních rozsazích, je bezúdržbový a dokonale regulovatelný mikroprocesory od nulových otáček. Vnitřní část motoru je stator s kapalinovým chlazením vinutí. Vztah mezi napětím generátoru a otáčkami spalovacího motoru je řízen elektronicky. Vlivem plynulého elektrického přenosu výkonu pracuje vznětový motor stále v optimálním rozsahu charakteristiky. [2]

Městský provoz je zajištěn vysokovýkonnými akumulátory VARTA nikl-metal-hybrid. Autobus Neoplan MIC má dojezd až 40 km při rychlosti 60 km/h a stoupavosti až 13 %. [2]



1- vznětový motor s generátorem, 2- řídicí elektronika, 3 - elektrický pohon v kolech

Obr.23 Agregát autobusu Neoplan A 8008 DES [2]

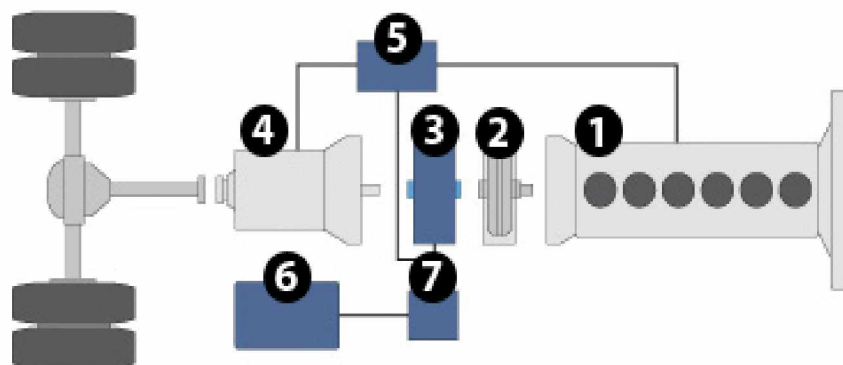
6.3 Nákladní doprava

6.3.1 Volvo FE

Hybridní užitkové Volvo kombinuje moderní soudobý nízkoemisní vznětový motor sprážený s elektromotorem, o jejichž aktivaci rozhoduje elektronická řídicí jednotka. V principu platí, že elektromotor vozidlu slouží v rychlostech do 20 km/h, pak roli přebírá vznětový motor. Při zpomalování a zastavení je „diesel“ odstaven a pohybové energie vozidla je využito k dobíjení akumulátorů (po pracovní směně se akumulátory dobíjejí také levnějším nočním proudem v garáži). Vozidlo této koncepce své přednosti nejlépe uplatní tam, kde jsou časté rozjezdy a zastavení, kde jsou významné nároky na potlačení exhalací a kde je spotřeba paliva důležitější než obvykle. Takovým specifikem výrazně vyniká svoz komunálního odpadu. [11]

Výsledky v simulovaném provozu i první poznatky ze zkoušek v reálném nasazení potvrzují, že předpoklady konstruktérů byly správné. „Popelářské“ hybridní Volvo produkuje o třetinu méně kysličníku uhelnatého a uhlíčitého než klasické, ale je dokonce „čistější“ než plynová verze. Současně však velmi výrazně klesla hlučnost speciálu, což je u vozidel pojíždějících ve službě obytnými aglomeracemi v časných ranních hodinách velmi ceněným pozitivem. Proto je více než pravděpodobné úspěšné uplatnění hybridních konstrukcí užitkových vozidel u dalších městských služeb. Výrobce však předpokládá, že velmi brzy proniknou hybridní hnací soustrojí i do dálkové kamionové přepravy. [11]

Základní charakteristika hybridního Volva: vznětový hnací agregát o zdvihovém objemu 7000 cm³ a největším výkonu 235 kW vybavený jednotkou I-SAM (integrovaný digitálně řízený „spouštěč/alternátor“), hnací elektromotor/alternátor o výkonu 120 kW a točivém momentu 800 Nm, elektronicky řízený transformátor AC/DC, velkokapacitní lithiové akumulátory (600 V) s dlouhou životností, samočinná převodovka I-Shift, nastavba Norba pro svoz komunálního odpadu. [11]



1.Vznětový motor D7. 2.Spojka. 3.Elektromotor I-SAM (Integrated Starter Alternator Motor). 4.Převodovka I-shift 5.Řídicí jednotka PMU (Powertrain Management Unit). 6.Akumulátory. 7.Elektrický měnič

Obr.24 Schéma hybridního pohonu vozu Volvo FE [12]

6.4 Motorsport

6.4.1 Citroën C4 WRC HYmotion4

Automobilka Citroën představila studii na modelu C4 – C4 WRC HYmotion4, první WRC s kombinací benzinového elektrického motoru. Auto je samo o sobě velkou novinkou, jedná se o prototyp vozu WRC budoucnosti, koncept byl představen v roce 2008 na Motor Show v Paříži. HYmotion4 systém umožňuje ukládat a poté znovu využít část kinetické energie, která vzniká při brzdění. Energie je kumulována pomocí elektrického motoru-generátoru (výkon 125 kW, točivý moment 300Nm, připojený k zadnímu diferenciálu) v bateriích (soustava 990 článků lithium-ion baterií, 400V, 22 Ah) v zadní části vozu. Ta může být posléze využita k dodání dalšího výkonu ke zrychlení, nebo se dá také jezdit samostatně na elektrický pohon, vůz pak nevydává žádný hluk ani nevytváří škodlivé výfukové plyny. Při konstantní rychlosti na elektrický mód má vůz delší dojezd přibližně o čtyřicet kilometrů a spotřeba paliva na přejezdech klesne o 30%. [7][8]



Obr.25 Uložení systému v Citroënu C4 WRC HYmotion4 [6]

Řidič si může zvolit ze čtyř režimů použití HYmotion4 systému:

- § **standardní režim spalovacího motoru** – obvykle na rychlostních zkouškách
- § **režim spalovacího motoru s dobíjením energie** – taktéž na tratích RZ ke zlepšení odolnosti brzd a dobití baterií
- § **režim elektromotoru s využitím energie** – na přejezdových úsecích, ve městech, v servisu, zlepšuje dojezd vozu, snižuje hluk vozu ve městech
- § **boost mode** – režim spalovacího motoru v kombinaci s elektromotorem k využití v určitém okamžiku na rychlostní zkoušce, ve chvíli, kdy je třeba použít dodatečných 300 Nm, ale pouze po krátkou nezbytně nutnou dobu [6]

6.4.2 Formule 1

KERS (Kinetic Energy Recovery System)

Při brzdění se pohybová energie vozu promění v tepelnou energii, která se bez užitku odvádí do vzduchu ochlazením brzd. KERS umožní alespoň část z této energie využít pro krátkodobé zvýšení výkonu pohonné jednotky. Podobné systémy se dnes používají u některých sériově vyráběných automobilů s hybridním pohonem.

Tento systém nemá žádná technická omezení, je pouze limitován kapacitně (max.400kJ), takže se dá využít ke zvýšení výkonu o 60 kW jen po dobu 6,6 s. [14] [15]

Alternativy řešení KERS:

1. Elektrické

Vzhledem k tomu, že tento systém je už prověřený ze sériové produkce, je jeho použití nejpravděpodobnější. Energie získaná při brzdění se pomocí generátoru promění v elektřinu, která se ukládá jako v sériových vozech v lithioiontových akumulátorech, případně v lehčích superkondenzátorech. V případě potřeby se naakumulovaná energie využije pro elektromotor, v němž se promění generátor. Toyota nedávno vyhrála závod 24 hodin Tokachi s vozem Supra, jehož hybridní pohon využíval superkondenzátory. Elektrický systém nabízejí ke koupi Magneti Marelli (což je dodavatel elektroniky pro Ferrari a Renault), Bosch a ZYTEK. [15]

2. Hydraulické

Původní systém, který měl připraven McLaren k použití v roce 1998, měl kapalinový obvod s vysokotlakovou nádobou. V roce 2002 vyvinula a zkoušela revoluční hydrostatický systém akumulace energie univerzita v Astonu v rámci iniciativy GDI. [15]

3. Setrvačnický

Ač se to může zdát neobvyklé, použití setrvačnicku by mělo řadu výhod. Systém sestává ze setrvačnicku, který je propojen s pohonnou jednotkou prostřednictvím převodu s proměnlivým převodovým poměrem (CVT). Tento převod umožňuje roztočit setrvačnick pro uložení energie a poté ji opět využít k přenosu zpět. Když má pohonná jednotka v CVT vyšší otáčky, roztočí se setrvačnick, pokud má nižší, předává setrvačnick svou energii pohonné jednotce. Systém se setrvačnickem už vyvinula a nabízí firma Flybrid a na vlastní spoléhá Williams. [15]

Používané řešení KERS: - baterie
- setrvačnick [15]

Rozdíl mezi setrvačnickem a bateriemi:

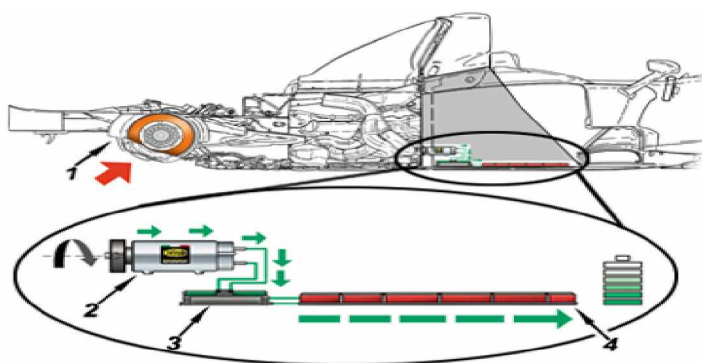
Oba mechanismy mají své výhody, ale i nevýhody. KERS se setrvačnickem využívá jen stáj Williams. Setrvačnick je propojen CVT převodovkou s diferencíalem a dodává nezávisle na převodovce vozu energii na hnací kola. Další výhodou je, že může uchovat velké množství energie. Nicméně vzhledem k tomu, že se jedná hlavně o mechanickou záležitost, je potřeba, aby zařízení bylo objemnější a mělo silnější plášť – i celá hmotnost zařízení je vyšší. Co se týče baterií, tak jejich rozměry jsou menší a využívá se elektromotor, který baterie nabíjí a také uvolňuje energii při zrychlení. Nevýhodou zde je nebezpečí pro pilota i mechaniky, jelikož zařízení pracuje při velkém napětí, proto se zde musí pracovat na bezpečnosti. [16]

Princip činnosti u bateriového systému:

Fáze ukládání energie:

Je dobré si celý proces rozdělit na dvě části, ukládání energie a její využití. Na následujícím obrázku (obr.26) je základní princip bateriového systému, který používá většina týmů. Obrázek nám ukazuje, že elektromotor se nachází mezi motorem a palivovou nádrží (možno jej umístit i přímo do převodovky). Co se týče baterií, mohou být rozmístěny téměř kdekoli, některé týmy volí umístění pod palivovou nádrží, jiné na bocích vozu, nebo pod nohama pilota. Všechno závisí i na rozložení hmotnosti, protože celé zařízení není lehkou záležitostí.

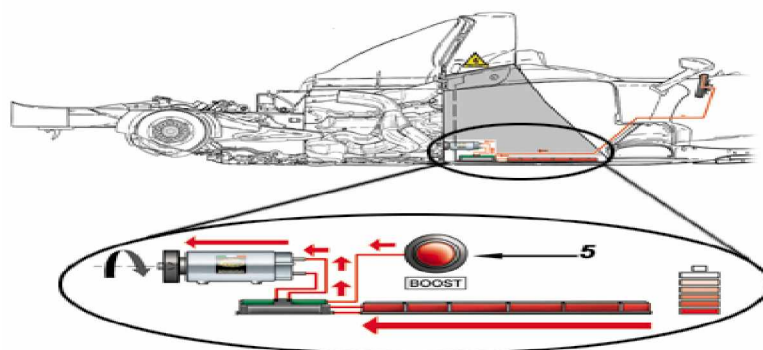
Základním principem ukládání energie je využití kinetické energie při brzdění zadní nápravy (1), tuto energii přenáší elektromotor /alternátor/ (MGU: Motor Generator Unit) (2) do baterií (4). Celou proceduru kontroluje řídicí jednotka (KERS Control Unit) (3). [16]



Obr.26 Fáze ukládání energie [16]

Fáze využití energie:

V této fázi se nám energie posouvá opačným směrem, tedy z baterie na zadní nápravu vozu. Zde již musí spolupracovat pilot (tlačítkem na volantu (5) (obr.27)). Technická pravidla pro rok 2009 říkají, že pilot může dodatečný výkon dodaný systémem KERS využít maximálně jednou za kolo. S použitím baterií je třeba také vyvinout i nové chlazení, což opět zabírá určitý prostor ve voze. Ovšem komponenty KERSu se většinou umísťují v blízkosti palivové nádrže, což s sebou nese i za následek to, že nádrž (kapacity se v roce 2008 pohybovaly mezi 90 a 100 kg paliva) musí být zmenšena přibližně o 15 kg, což bude mít vliv na strategie v závodech, zvláště na tratích, kde se v předchozích letech dalo jet pouze na jednu zastávku v boxech. [16]



Obr.27 Fáze využití energie [16]

7 Závěr

V současné době jsou kladeny stále vyšší nároky na ekologickou zátěž a množství produkováných emisí. Jedním z velkých producentů emisí jsou motorová vozidla, jež do ovzduší uvolňují velké množství výfukových exhalací. Možnost akumulace kinetické energie, která se bez systému rekuperace při brzdění běžně ve formě tepla uvolňuje do okolí, znamená velké zefektivnění energetické náročnosti při provozu motorového vozidla. Naakumulovaná energie se využívá pro hnací sílu při určitých jízdních režimech, kdy je samotný spalovací motor málo efektivní nebo může její část posloužit pro napájení různých palubních systémů. Díky tomu se snižuje spotřeba paliva, s tím souvisí i snížení množství výfukových exhalací a v neposlední řadě celkové náklady na provoz. Jsou zde tři základní systémy pro získání a opětovné využití kinetické energie. Každý ze systémů má své výhody i nevýhody. Mezi společné nevýhody patří vyšší hmotnost a celková složitost zařízení, to sebou nese větší pravděpodobnost poruch. Jako největší překážka zůstává pořizovací cena. Tento problém se snaží řešit řada vlád svojí podporou například druhem různých dotací či daňových úlev. Nyní se do sériové výroby nejvíce prosazuje elektrický systém, díky stále se zlepšující technologii v oblasti akumulátorů a elektromotorů.

8 Seznam použité literatury

- [1] KAMEŠ J.: *Alternativní pohony automobilů*. BEN – Technická literatura, 1. vydání, Praha 2004. ISBN 80-7300-127-6
- [2] VLK F.: *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc. 1. vydání, Brno 2004. ISBN 80-239-1602-5
- [3] VLK F.: *Koncepce motorových vozidel*. Nakladatelství a vydavatelství VLK, 1. vydání, Brno 2000. ISBN 80-238-5276-0
- [4] VLK F. *Dynamika motorových vozidel*. Nakladatelství VLK, Brno 2000. ISBN 80-238-5273-6
- [5] VLK F. *Podvozky motorových vozidel*. Nakladatelství VLK, Brno 2000. ISBN 80-238-5274-4

9 Seznam internetových stránek

- [6] Zdenka "ufozt" Trinerová, *eWRC.cz* [online]. 12.02.2009 03:08 [cit.20.05.2009]. Dostupné z: <<http://www.ewrc.cz/ewrc/show.php?id=10471>>.
- [7] Tomáš Urban, *Rallyzone.cz* [online]. 06.10.2008 11:00 [cit.20.05.2009]. Dostupné z: <<http://rallyzone.cz/zpravy/28198-citroen-c4-wrc-hymotion4/>>.
- [8] Julian Marsh/*Citroën/SA Automobiles Citroën* [online]. [cit.20.05.2009]. Dostupné z: <<http://www.citroenet.org.uk/sport/c4wrchymotion/xsara-wrc1.html>>.
- [9] *Autor neuveden*, *www.uspora-energie.info* [online]. [cit.20.05.2009]. Dostupné z: <<http://www.uspora-energie.info/referencni-projekty/cista-jizda-hybridnimi-vozy/toyota-prius.html>>.
- [11] *Red*, *awauta.cz* [online]. 06.10.2008 11:00 [cit.20.05.2009]. Dostupné z: http://www.awauta.cz/MAGAZIN/id_clanku/1215226345/////where/clanek////////volvo_hybrid_jiz_svazi_odpadky.htm >.

- [12] *Autor neuveden*, *WWW.VOLVOTRUCKS.CZ* [online]. 15.09.2008 [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://magazine.volvotrucks.com/cs-cz/Articles/International/2008/09/Volvo-FE-Hybrid/Princip-innosti-hybridniho-vozu-Volvo-FE/Princip-innosti-hybridniho-vozu-Volvo-FE/>>.
- [13] *Autor neuveden*, *Prvky pro zhromažďování a úpravu kapalin*, *www.umt.fme.vutbr.cz* [online]. [cit.20.05.2009].
Dostupné z:<<http://www.umt.fme.vutbr.cz/~svechet/main/storage/vau/Prezentace7.ppt>>.
- [14] *FIMAG47/08*, *F1SPOTRS.cz* [online]. [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://www.f1sports.cz/flmag/data/4708.pdf>>.
- [15] *FIMAG47/08*, *F1SPOTRS.cz* [online]. [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://www.f1sports.cz/flmag/data/4608.pdf>>.
- [16] *MilanF1*, *auto.cz* [online]. 05.02.2009 [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://formule1.auto.cz/novinky/grafika-kers.html>>.
- [17] *Autor neuveden*, *pojisteni-levne.cz* [online]. [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://investice-uvery.pojisteni-levne.cz/petrolinvest-3>>.
- [18] *Giles Chichester*, *europarl.europa.eu* [online]. 24.11.2006 [cit.20.05.2009].
Dostupné z:<http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2004_2009/documents/am/641/641524/641524cs.pdf>.
- [19] *Emisní norma*, *www.autolexicon.net* [online]. [cit.20.05.2009].
Dostupné z:<<http://cs.autolexicon.net/articles/emisni-norma-euro>>.
- [20] *Aleš Sleeper Dragoun*, *auto.cz* [online]. 14. 01. 2009 [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://news.auto.cz/nove-modely/toyota-prius-nova-vse-podstatne-o-treti-generaci-hybridu.html>>.
- [21] *Ondřej Láník*, *auto.cz* [online]. 16.05.2009 [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://news.auto.cz/nove-modely/mercedes-benz-s-2009-technicka-data-ceny-v-nemecku-velka-fotogalerie.html>>.
- [22] *Lukáš Vaverka*, *auto.cz* [online]. 20.01.2009 [cit.20.05.2009].
Dostupné z: <<http://news.auto.cz/nove-modely/honda-insight-kompaktni-hybrid-se-spotrebou-4-l-100-km.html>>.