

Kisegítő villamos hajtás

A BMW, figyelmet érdemlő, hibridhajtást fejlesztett ki, amely a gépkocsi meglévő benzinmotorját a sebességváltó elé épített villanymotorral egészíti ki. A járművet villanymotor indítja, és gyorsítja, majd a felgyorsított járművet benzinmotor hajtja tovább. A jármű fékekkel felemészített lendülete villamos energiaként hasznosul, amely az akkumulátort és az indító-gyorsító kondenzátorokat tölti. A kiegészítő hajtás, az indítás és a jármű kívánt sebességre való felgyorsításának, kis fordulatszám nagy indítónyomatékú hajtásigényét is kielégíti.



A BMW hibridhajtású kísérleti járműve innoválja az Otto-motoros gépkocsihajtást

A gépkocsik villamosítása

Hosszú utántöltési időigényük, rövid hatótávolságuk és infrastrukturális korlátaik miatt a tisztán villamos hajtású gépkocsik még jó ideig csak a holnapután autói lehetnek. A BMW mégis a belsőégésű motorral hajtott gépkocsik villamosítására buzdít, hajtáskiegészítő villanymotorjával.

Hogy miért kell a belsőégésű motorok adventjén a velük működtetett gépkocsik hajtását villamosítani? Azért, mert villamos úton a jármű a belsőégésű motorhajtásénál dinamikusabban indítható és gyorsítható.

Ez utóbbit tűzte célul a cég Effiziente Dynamik, azaz „Hatékony dinamika” elnevezésű fejlesztési programja, amely „számottevően javítja az Otto-

motoros gépkocsi benzinfogyasztását, károsanyag-kibocsátását és gyorsítóképességét”. A program vezetőinek, a bécsi motorszimpoziumon elhangzott előadása szerint, megoldásuk egyaránt kedvező társadalmi fogadtatásra

számíthat a törvényhozók, a környezetvédők és a járművezetők körében.

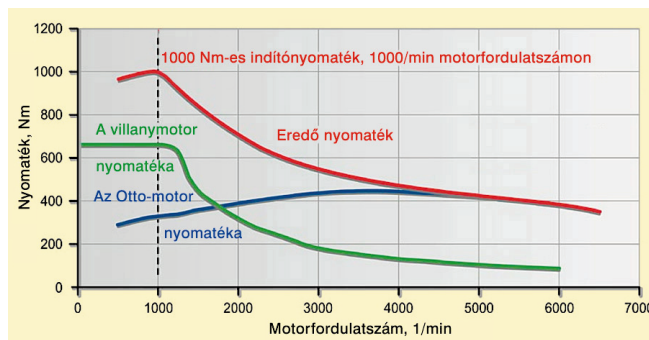
Az előrelépés annak köszönhető, hogy a BMW munkatársai olyan hibridhajtást fejlesztettek ki, amellyel az indítás és a jármű kívánt tempójú felgyorsítá-

sának kis fordulatszám-

nagy indítónyomatékkal jellemezhető nyomatékigénye is kielégíthető. A program a meglévő benzinmotort a sebességváltó elé épített villanymotorral kiegészítve teszi hibridhajtásúvá. A hibridjárművet villamos hajtás indítja és gyorsítja, majd a felgyorsított járművet a benzinmotor, a sebességváltóval módosított nyomatékkal hajtja tovább. Félvezéskor a fékekkel felemészített mozgási energiát regeneratív

átalakító konvertálja villamos energiává, amely tölti az akkumulátort és az indító-kondenzátorokat.

Az említett eszközök működését intelligens elektronika vezérli, amelyik a járműhajtás akadályoztatott (stop and

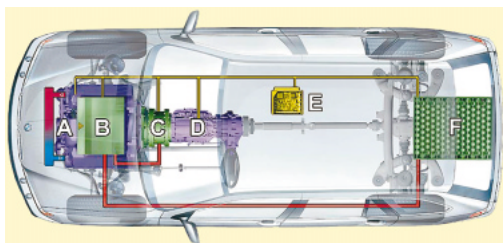


A kondenzátoros indítássegély megnégyszerezzi az indítónyomatékok

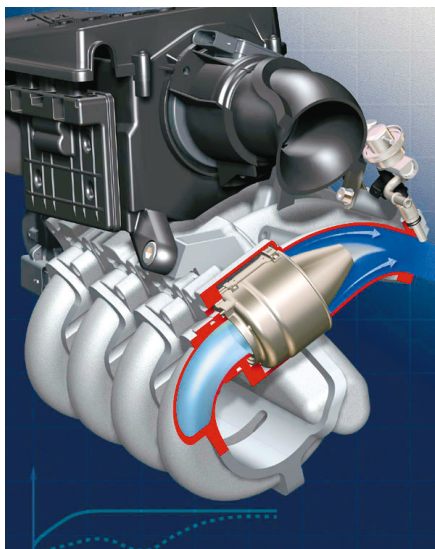
go) forgalomban végzett indítási és gyorsítási igényét a belsőégésű motor károsanyag-kibocsátásával együtt optimalizálja.

Duális energiaellátás

A hajtáslánc két okból támogatható villamos energia betáplálásával: méretcsökkentés, illetőleg a belsőégésű motor munkapontjának optimalizálása céljából. A jármű fékezéskor fel-emészített mozgási energiája mindkét



A BMW hibridhajtás felépítése. A Otto-motor. B Áramátalakító egység. C A tengelykapcsoló és a sebességváltó közé épített villanymotor. D Sebességváltó. E Elektronikus vezérlőegység. F Indítássegítő kondenzátoregység



A Siemens impulzusfeltöltő rendszere hengerenként egy-egy villamos működtetésű szelepet foglal magába

esetben hasznosítható, ha a 10 kW nagyságrendben visszanyert villamos energia közbülső tárolásáról akkumulátor, és/vagy kondenzátor használatával gondoskodunk.

A kísérleti X5-ös fejlesztői, indítógenerátoros energiaátalakító használatával, kettős rétegű kondenzátor és savas akkumulátor formájában, start-stop, gyorsító-, fékező- és generátorüzemben hasznosítják a duális energiaellátó rendszer lehetőségeit.

Az indító üzemmódot az S2-es kapcsoló bekapcsolása hozza létre, amikor is a belsőégésű motort a duális energiaellátó rendszer indítja.

A generátor üzemmód az S1-es kapcsoló bekapcsolásával jön létre, ilyenkor az ólomakkumulátor aktív.

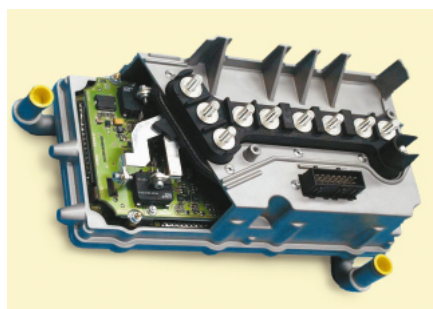
A gyorsító üzemmód az S2-es kapcsoló be-, és az S1-es kapcsoló kikapcsolásával áll elő.

A rekuperáló üzemmódban az S2-es kapcsoló be-, és az S1-es kapcsoló kikapcsolása ismét aktivizálja a duális energiaellátó rendszert.

A kapcsolók és az üzemmódok 100 ms-ig tartó átkapcsolása a jármű vezetése közben nem észlelhető. Annál inkább az aszinkronmotorú hajtás gyorsító-energiája, amely rövid ideig a 70 kW-ot is elérheti.

A BMW-fejlesztők azért a hibridüzemű villamoshajtást preferálják, mert magas költségei és hiányzó infrastruktúrája miatt a tisztán villamos hajtás még jó ideig nem lesz piacképes.

A nem szokványos elgondolás előnyét nyomatékfordulatszám-diagramunk szemlélteti. Amint a diagramból kitűnik, az indítógenerátor 600-as motorfordulatszámra indítja, és 1000/min elérésekor már 650 Nm-rel növeli, a belsőégésű motor hajtónyomatékát. Az e



Az integrált indítógenerátor UltraCap kondenzátoros indítóegysége

nélkül 500 Nm kifejtésére képes motor beindulása után, a fordulatszám növekedésével, 4500/min-ig hiperboli-



Az integrált indítógenerátor, lendkerékházra szerelt állórésze hűtőfolyadék-hűtésű

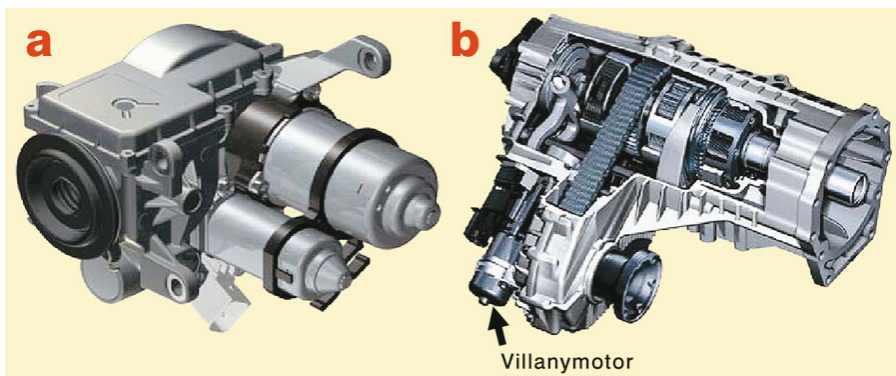
kusan csökken. Ebben a nyomatéki tartományban eddig legfeljebb autóbuszok vagy tehergépkocsik működtek. A szélsőségesen nagy indítónyomaték kerékkipörgés-mentes hajtónyomatékká alakításáról a jármű hajtásszabályozó elektronikája gondoskodik.

A vázolt hajtásmód párhuzamos hibridhajtás, mivel mindkét erőforrás aktív. Ezt követően az indítógenerátor nem növeli a motor nyomatékát.

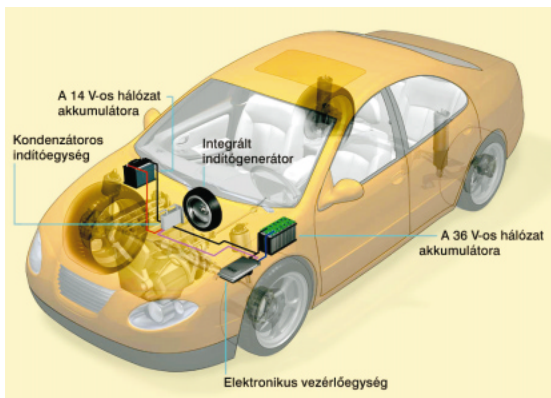
Az X5-ös 1000 és 4500/min között kifejtett gyorsítónyomatéka különösen jelentős mértékben növeli a jármű előzésének biztonságát.

A villanymotor az akkumulátor, illetve az UltraCap kondenzátor villamos energiájával növeli a belsőégésű motor hajtónyomatékát úgy, hogy a jármű mechanikus fékezésekor a működésvezérlő egység lekapcsolja a belsőégésű motor hajtását. Ezt követően a villanymotor 0,1–0,2 másodpercen belül generátorüzemre vált, és a mozgási energia egy részével tölti az akkumulátort. Mivel eközben a fékezés mozgási energiája 80% körüli határfokon hasznosul, minden fékezés csökkenti az üzemanyag-kiadásokat.

Gázadásra az indítógenerátor 0,2 másodpercen belül (a hagyományos indítómotorénál tízszer gyorsabban) újraindítja a belsőégésű motort. A gyorsabb indíthatóság önmagában 10%-os üzemanyag-megtakarítás forrása, ami az indítógenerátornak a járműhöz végzett pontosabb illesztésével további 5%-kal növelhető. A kifinomult hajtónyomaték-szabályozás

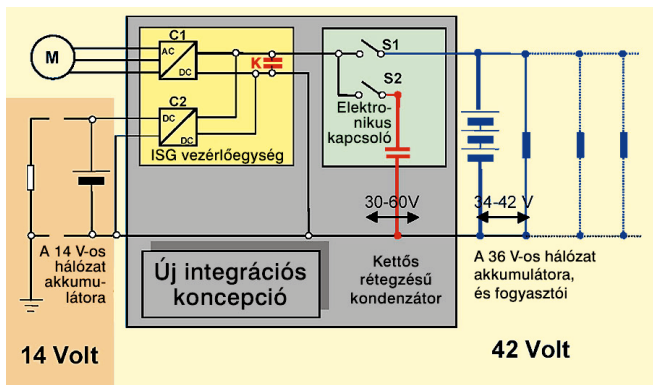


A ZF elektromechanikus sebességváltója (a), valamint első és hátsó tengely hajtásának, kiegyenlítőműre épített villanymotoros kapcsolóműve



Az integrált indítógenerátor beépítése és részegységei

legalább ilyen arányú emisszió-csökkenést tesz lehetővé. Mindezek a jellemzők az indítógenerátort különösen kedvező eszközzé teszik mind az Európai Automobilgyártók Szövetsége (ACEA) 2008-ig tervezett, 140 g/km-es önkorlátozó CO₂-kibocsátásának, mind a szigorú amerikai üzemanyag-fogyasztási előírások teljesítéséhez. Sorozatgyártás esetén az előbbieket végrehajtó aktív sebességváltó a villanymotort és a hajtásszabályozó elektronikát is magába foglaló szerkezeti egységként állítható elő, ami a kompakt kivitelén túl a járműtömeg csökkentésére is lehetőséget ad. A tervek szerint az indításban és a gyorsításban közreműködő UltraCap kondenzátorok a sorozatgyártású járműveken nem a csomagtartóban (mint képünk szemlélteti), hanem a jármű küszöbprofiljaiba kerülnek beépítésre. A belsőégésű motorokkal a BMW fejlesztői hosszú távú terveikben is



Az indítógenerátor integrált áramellátásának elvi vázlata (K: kettős rétegű UltraCap kondenzátor)

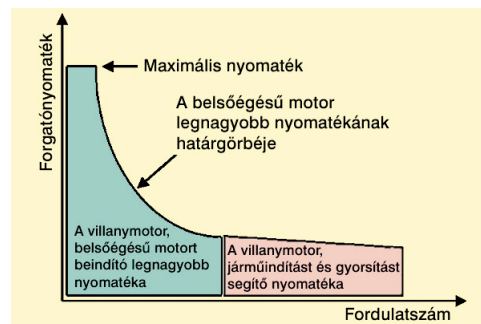
számolnak. Versenytársaikkal ellentétben ugyanis nem tüzelőanyag-celával, hanem hidrogén üzemanyagú Otto-motorral hajtják későbbi gépkocsijaikat. Azokat, amelyekkel az 50%-os összhathatóság elérése is valós lehetőség. Az alternatív erőforrások területén nemcsak a nagyobb hatásfokú hajtásmód, hanem a nyersanyag- és környezetkímélő üzemanyag megválasztása is ügyszó a jövő tüzelőanyag-celás energiaforrásainak piacán.

Ne szaladjunk azonban ennyire előre. Inkább lássuk, hogyan növelheti a villamos hajtás az Otto-motorok hajtónyomatékát. Mindenekelőtt úgy, ha ennek feladatát a belsőégésű motor legkisebb átalakítását igénylő villanymotor látja el. Ilyen erőforrásként a lendkerék házra épített állórészű villamosgép használható, amely integrált indítógenerátorként, ISG, IMA, ISAD vagy DynaStart nevű változatok formájában vár sorozatgyártásra.

Indítógenerátor

A korszerű indítógenerátor a következő szolgáltatásai miatt több az indítómotor és a generátor egyesítésénél. Az újfajta villamos eszköz ugyanis a regeneratív fékezés, az elektromos hajtástámogatás, a belsőégésű motor torziós lengéseinek csillapításfunkcióit úgy foglalja magában, hogy eközben nagyobb villamos és mechanikai teljesítményt fejt ki elődeinél, és az akkumulátor élettartamát is növeli. Az indítógenerátor, a motor lendkerékére mágneskoszorúként felerősíthető, állandó mágnesekkel gerjeszthető. Keskeny villamos tekercselése pedig a lendkerék házban,

tekercskoszorúként helyezhető el. Ez a fajta elrendezés alig néhány centiméterrel növeli meg a lendkerék ház hosszanti irányú méretét. Ennélfogva az indítógenerátor egyenirányítókat és indító kondenzátorokat is magába foglaló elektronikus vezérlőegysége az, ami tömegnövekedéssel jár, és önálló helyet igényel a jármű motorterében. A BMW X5-ös ISG indítógenerátorának látványos jellemzője, a 15 (a belsőégésű motor alapjáratán is 5) kW körüli kiegészítő teljesítményszolgáltatás. Az utóbbi hővé alakítható, és a jármű beltéri hőmérsékletének növelésére fordítható, ami nélkülözhetővé teszi a jármű állófűtését, illetőleg a belsőégésű motor, utastérfűtés célú járatását. És ami a legfontosabb: az indítógenerátor, különálló generátorokénál minimális-



A jármű belsőégésű és villanymotorjának nyomatékai, a fordulatszám függvényében

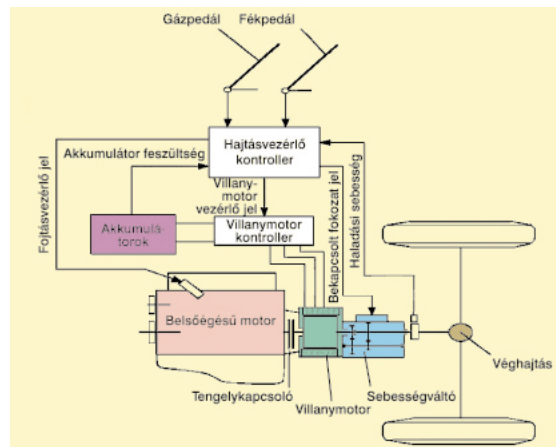
san kétszer nagyobb energiaszolgáltatása, ami a gépkocsi folyamatosan növekvő villamosenergia-szükségletének kielégítésében ad segítséget. Ennek rohamosan növekvő mértékét illetően elegendő arra utalnunk, hogy a 2005-ös előrejelzések 2,5 kW körüli villamosenergia-igényt prognosztizálnak, amely igény indítógenerátorral biztonságosan kielégíthető. A járműgyártók 2006-tól számolnak a 42 V-os fedélzeti energiaellátó rendszerek terjedésére. Olyan ütemben, hogy 2015-től, a forgalomba kerülő gépkocsi felén ilyen hálózat működteti majd a villamos fogyasztókat, megfelelő táphálózatot kínálva a ma még korlátozott körben használt x-by-wire rendszerű fedélzeti eszközök elterjedésének. A fedélzeti energiaellátás biztonsága nemcsak a ma ismert és elterjedt villamos eszközök használatára ad lehetőséget, hanem olyan fogyasztók energiaellátását is lehetővé teszi, amelyek alkalmazásáról

a gyártóknak, épp a különálló generátorok eddigi szűkös áramtermelése miatt kellett lemondaniuk. Ilyenek: a belsőégésű motorok olaj- és vízváltókat, és a villamos működtethetőség energetikai korlátai miatt pneumatikus és/vagy hidraulikus működtetésű beavatkozási szervei. Említést érdemel, hogy 2003 őszén a GMC Sierrák és a Chevrolet Silveradók sorozatgyártású részegysége.

Impulzusfeltöltő

Az Effiziente Dynamik esetében látszólag olyan kísérletről van szó, amely a mindenkit maga mögé utasító példátlan gyorsítóképesség egyetlen erőforrású előnyét nyújtja a jármű potenciális vásárlóinak. Valójában azonban az ezt megvalósító eszközök számos további előnyös lehetőség forrásai egyben. Szélsőséges dinamikáját, a kísérleti X5-ös

részeként, a hengerek szívócsövébe kerül beépítésre. Működése röviden a következő: A szívóütem kezdetén a hengerben az alsó holtpont felé mozgó dugattyú az égéstérben depressziót hoz létre. A mágnesszelep zárt állapotban van. A dugattyú alsó holtpontra érkezésénél impulzuszerű gyorsasággal kinyílik, aminek hatására a levegő lökészerűen kitágul, és a hengerben nyomásesés jön létre. Ez impulzuszerű lökeshullámmal jár, amely hangsebességgel halad az égéstér felé. A túlnyomás csökkenése előtt a mágnesszelep zár, ami lökésű hengeröltet-növekedéssel jár. A vázolt feltöltőhatás a munkáütemben késedelem nélkül hasznosul. A sorozatgyártású impulzusfeltöltő



A hibridhajtás vezérlése

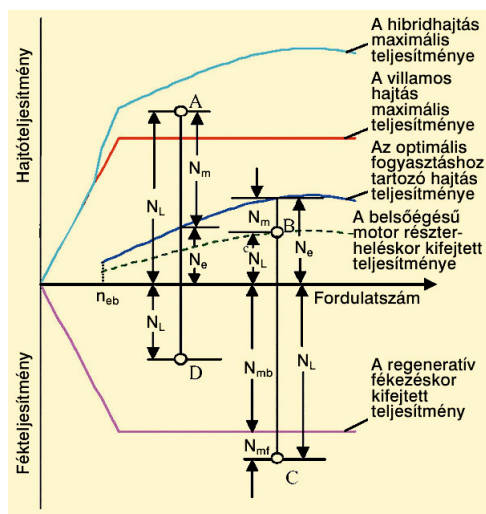
motor esetében a vezérlőegységével együtt 150 W-ot tesz ki. Az impulzusfeltöltő újonnan fejlesztett részegysége, amit a Siemens VDO standján, a tavalyi IAÁ-n ismerhetett meg a szakmai nyilvánosság.

Hajtásszabályozás

A hajtásszabályozó áramkör egyenirányítóból, közbülső egyenáramú körökből, pulzusmodulált (PWM) inverterből és vezérlőáramkörből épül fel. A PWM inverterek feladata a motor (szinkron, aszinkron) hajtásához szükséges, megfelelő frekvenciájú kimenő feszültség előállítását, IGBT (szigetelt vezérlőbemenetű bipoláris) tranzisztorok vezérlésével.

PWM inverter

A kimeneten elvárt szinuszos jelalak eléréséhez az egyenfeszültség két



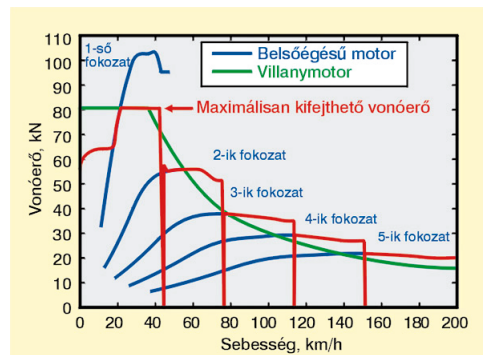
A hibridhajtású járművön kifejtett teljesítmények értelmezése

BMW néhány, eddig nem használt fogyasztáscsökkentő eszköz együttes használatának köszönheti. Olyannak, mint amilyen a Siemens VDO, Meta céggel közös, elektromos impulzusfeltöltője, amely a belsőégésű motor kis és közepes fordulatszámon, hirtelen gázadásakor fellépő, léghiány okozta teljesítménycsökkenésének kiküszöbölését szolgálja. Az impulzusfeltöltő áramlástanilag optimált, kis kapcsolási késedelmű mágnesszeleppár, amely az Otto-motor szívócsónkjához illeszkedő egység

minél gyorsabb szelepnitását és zárását külön mágnesekercsek végzik. Ennek köszönhetően a nyitás és a zárás időtartama ezredmásodperc nagyságrendű. Az impulzusfeltöltő szívómotorokon 30%, turbótöltött motorokon 50% körüli nyomatéknöveledést tesz lehetővé úgy, hogy a turbótöltéstől eltérően az impulzusfeltöltés spontán, gyakorlatilag késedelem nélküli megszólalású, ami növeli az előzés biztonságát. Az impulzusfeltöltős motorok további kedvező üzemi jellemzője, hogy a hengerben, az égésfolyamat végén kialakuló nyomásnövekedés az impulzusfeltöltő nélküli motorokénál intenzívebben öblíti a maradék gázokat, csökkenti az égéstér hőmérsékletét és a motor kopogási hajlamát.

Az impulzusfeltöltő mágnesszelepeit főténgely- és vezértengely-jeladók jeleinek felhasználásával a jármű CAN-hálózatához kapcsolódó elektronikus vezérlőegység működteti. Az impulzusfeltöltőt a gyártó szívó- és keverékképzőt magába foglaló, integrált szívócsőrendszer elemeként kínálja a motort előállító cégek számára.

A tekercsek teljesítményfelvétele a fordulatszámától függően hengerenként 10–25 W, ami négyhengeres



A hibridhajtású járművel kifejtendő vonóerő, a haladási sebesség függvényében

különböző pólusát kell megfelelő időpontokban, megfelelő ideig, a PWM szabályai szerint, felváltva a kimeneti pontokra kapcsolni. A kapcsolgatás frekvenciája legalább tízszerese, esetenként ezerszerese a kimeneti áram szinuszos frekvenciájának. Nagyobb frekvenciával szabályosabb lefolyású szinuszjelek állíthatók elő. Az inverter kapcsolófrekvenciája kompromisszum eredménye. Kisebb frekvenciák esetén a motor áramának szabálytalan jelalakja miatt a villanymotor, nagyobb frekvenciák esetén, az inverter kapcsolóelemeinek vesztesége nő. Ez utóbbi gyorsabb működésű félvezetők használatával csökkenthető. A kapcsolóelempárok egyik tagja minden időpillanatban nyitva, a másik tagja pedig zárva van. Az átkapcsolási idők megválasztásával olyan üzemmódot is elérhető, amikor folyamatosan ismétlődve, a kimenetre hosszabb ideig pozitív, majd egészen rövid ideig negatív pólus kapcsolódik; ami hosszabb idők átlagában pozitív pólushoz közeli feszültséget eredményez. A ki-bekapcsolási időarányok eltolásával természetesen negatív pólusközeli átlagfeszültség is létrehozható. A PWM során a rendszer az elvárt kimeneti szinuszjelnek megfelelően, a kapcsolgatás frekvenciájához képest lassan, fokozatosan megy át pozitívközeli állapotból negatívközeli állapotba. Összegezve: a gyors kapcsolgatás eredményeként, az inverter kimeneti feszültségfüggvényét, változó kitöltési tényezőjű négyszögjelek jellemzik. A közel szinuszos áramok kialakulását, mivel azok nem változhatnak ugrásze-

rűen, a motortekercsek induktivitásának integráló hatása teszi lehetővé.

Vezérlőáramkör

A vezérlőáramkör feladata, a motor megfelelő fordulatszámának és nyomatékának biztosítása, ami a motor forgásának folyamatos mérésével és az elvárt fordulatszámok eléréséhez szükséges gyors vezérlőbeavatkozásokkal érhető el. Az ehhez szükséges számításokat és transzformációkat mikroprocesszor végzi.

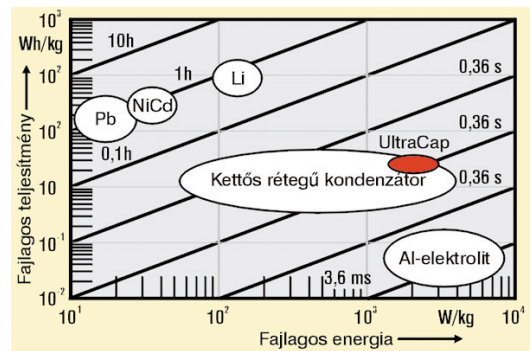
A motor pillanatnyi fordulatszámát a vezérlőáramkör encodere érzékeli. Az igényelt és a mért fordulatszám összehasonlításának eredményeképpen a program kiszámolja a különbség korrigálásához szükséges nyomatékot. A program a továbbiakban kiszámítja a kapcsolóelemek kitöltési tényezőn alapuló gyújtási függvényét. Az inverter ennek alapján hozza létre a kimeneten elvárt áramot, nyomatékot és fordulatszámot.

Generátoros üzemmód

Ha fékezéskor a motor tengelyén a forgással ellentétes irányú nyomaték ébred, a motor generátoros üzemre vált, és az általa előállított energia a közben lévő áramkör kondenzátoraiba áramlik vissza. Az inverter ekkor egyenirányítóként működik, és a kimeneti kapcsolóelemeivel párhuzamosan kötött diódákon át, a motor áramával tölti a kondenzátorokat. A kondenzátorokban felhalmozódó energia hálózatba való visszatáplálását az egyenirányító egységgel párhuzamosan, ellentétes irányú inverter teszi lehetővé.

Kettős rétegű kondenzátorok

A kettős rétegű kondenzátor elektronokat vezető szilárd elektródból és ionokat vezető folyékony elektrolitból



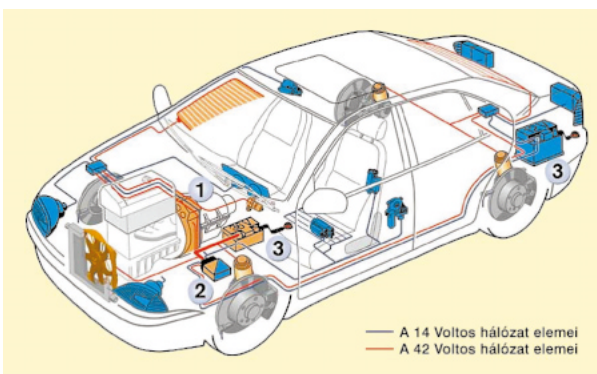
A kettős rétegű UltraCap kondenzátor villamos jellemzői

álló olyan kettősréteg alkotja, amelyben az elektrolitot nemcsak töltéshordozó, hanem a szilárd elektród felületét bevonó, „dielektrikum” is egyben. Villamos töltését az elektród-potenciál abszolút értékének az alapértékhez viszonyított töltéseltolódása adja.

A kettős rétegű kondenzátorok elektródjai nagy szilárdságú, szénszálerősítésű vagy strukturált polimer anyagokból készülnek. Porozitásuk nagy. Eléri a 2000 m²/g körüli értéket. Kiterjedésük kicsi. Villamos tárolóképességük, ennek ellenére nagy, 500 F/g körüli fajlagos kapacitású. Az elektródokat egymástól, ionáteresztő membrán választja el. Elektrolitjuk rendszerint nemesfém, például ruthéniumoxid. Ez utóbbi használatával 200 mF/cm² körüli tárolóképesség is létrehozható. A kettős rétegű kondenzátorok az X5-ös fedélzetén is hengeres felépítésűek. A legkedvezőbb adottságú UltraCap fantázianevű kettős rétegű kondenzátor fajlagos teljesítménye 200 Wh/kg, fajlagos energiatároló képessége 2000 W/kg értékekkel jellemezhető.

Az Effiziente Dynamik fejlesztési program érdeme, hogy különleges anyagok és különleges eljárások használatával új lehetőséget mutatott be a párhuzamos villamos hajtás, az impulzusfeltöltős bootster a kondenzátoros energiatárolás és fékezéskor a jármű mozgási energiájának rekuperatív hasznosítására. Ezzel rámutatott, hogy a hibrid hajtásmód nemcsak kis, hanem nagy teljesítményű járműveken is energiatakarékos kiegészítő eszköze lehet a gépkocsik, belsőégésű motoros hajtásának.

Petrő János



Az indítógenerátort 42 voltos hálózati feszültség, több töltőáram, nagyobb hajtónyomaték, kedvezőbb hatásfok és kisebb zajkibocsátás jellemzi. 1 Indítógenerátor. 2 A fedélzeti energiaellátás, integrált egyenfeszültség átalakítóját is magába foglaló vezérlőegysége. 3 Két akkumulátoros, fedélzeti energiatároló rendszer