

Kimmo Kyngäs

## **SÄHKÖAJONEUVOJEN VOIMANSIIRRON OPETUSMATERIAALI**

# **SÄHKÖAJONEUVOJEN VOIMANSIIRRON OPETUSMATERIAALI**

Kimmo Kyngäs  
Opinnäytetyö  
Syksy 2018  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, auto- ja kuljetustekniikan suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Kimmo Kyngäs

Opinnäytetyön nimi: Sähköajoneuvojen voimansiirron opetusmateriaali

Työn ohjaaja: Janne Ilomäki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2018

Sivumäärä: 52 + 11 liitettä

---

Työn tavoitteena on luoda mahdollisimman laaja ja helposti ymmärrettävä materiaali sähköajoneuvojen voimansiirrosta. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Oulun seudun ammattiopiston Haukiputaan yksikön auto-osaston kanssa. Opinnäytetyötä on tarkoitus käyttää auto-alan perustutkinnon opetuksessa.

Opinnäytetyö käsittelee sähköajoneuvojen voimansiirron rakennetta ja toimintaa. Työssä käsitellään sähköajoneuvojen toimintamallit ja voimansiirron pääkomponentit: suurjänniteakustot, suuntaajat ja sähkökoneet.

Suurjänniteakustoon varastoidaan sähköenergiaa, jota käytetään ajoneuvon liikuttamiseen. Suurjänniteakusto sisältää ohjainlaitteita sen sisältämän suuren energia vuoksi. Ohjainlaitteiden avulla seurataan akun toimintaa, kuntoa ja varmistetaan käyttöturvallisuus. Tyypillisesti suurjänniteakku on nikkelimetallihydridi- tai litiumioniakku.

Suuntaajalla tarkoitetaan ajoneuvo käytössä invertteriä. Invertterin tehtävä on sähköajoneuvojen voimansiirrosta muuntaa akuston suurjännite kolmivaihevaihtosähköksi sähkömoottoria varten. Suuntaajassa voi olla myös tasajännitemuuntaja, joka alentaa suurjännitteen apusähköjärjestelmää varten 12 voltiksi.

Sähkökoneina toimii yleensä epätahti- tai tahtikone. Tahtikoneista tyypillisin on kestopommitus sähkökone. Sähkökone voi toimia sähkömoottorina tai generaattorina. Sähkökoneita voi olla useampi riippuen sähköajoneuvon rakenteesta. Sähkökoneiden toiminta perustuu sähkömagneettisiin ilmiöihin.

Opetusmateriaali sisältää paljon hyvää tietoa sähköajoneuvojen voimansiirrosta auto-alaan opiskeleville ja aiheesta kiinnostuneille. Materiaali on koostettu monista eri lähteistä ja havainnollistavia kuvia on käytetty mahdollisimman paljon asian ymmärrettävyyden helpottamiseksi.

---

Asiasanat: sähköajoneuvot, hybridauto, opetusmateriaali, polttokenno

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme in Mechanical Engineering, Option of Vehicle and Transportation Technology

---

Author(s): Kimmo Kyngäs

Title of thesis: Powertrain of electric vehicles education material

Supervisor: Janne Ilomäki

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018    Number of pages: 52 + 11

---

The objective of this thesis is to create wide material of electric vehicles' powertrain which is easy to understand. Thesis has been made in cooperation with Oulu Vocational College Haukipudas vehicle mechanic unit and it's supposed to be used in education of vehicle technology.

Thesis contains powertrain structure and operation of electric vehicles. The education material contains operation principles of electric vehicles and main components of powertrain: high voltage batteries, converter and electric machines.

Education material contains plenty of constructive information about powertrain of electric vehicles for students and for those interested in vehicle technology. Material has been built up from many different references. Demonstrative pictures have been used to relieve comprehending the material.

---

Keywords: electric vehicles, hybridcar, fuelcell, teaching

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 SÄHKÖAUTOTEKNIikka .....	7
2.1 Hybridiajoneuvot.....	9
2.1.1 Sarjahybridi.....	11
2.1.2 Rinnakkaishybridi.....	12
2.1.3 Jaetun tehon hybridi.....	14
2.2 Täyssähköajoneuvot .....	17
2.3 Polttokenno .....	21
3 AKUSTO.....	24
3.1 Nikkelimetallihydridiakku .....	26
3.2 Litiumioniakku.....	27
4 SUUNTAAJAT .....	30
4.1 IGBT-transistori .....	34
4.2 GTO-tyristori.....	35
5 SÄHKÖAJONEUVOISSA KÄYTETTÄVÄT SÄHKÖKONEET.....	36
5.1 Epätahtimoottori .....	39
5.2 Tahtimoottori .....	40
5.3 Range extender.....	44
6 OPPIMISTEHTÄVÄT SÄHKÖAJONEUVOJEN VOIMANSIIRROSTA.....	45
7 LOPPUSANAT.....	49
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	
Liite 1 Oppimistehtävien pohja	
Liite 2 Esimerkkivastaukset oppimistehtäviin	

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö käsittelee sähköajoneuvojen voimansiirron rakennetta ja toimintaa. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Oulun seudun ammattiopiston Haukiputaan yksikön auto-osaston kanssa. Työssä käsitellään sähköajoneuvojen sähköisiä pääkomponentteja ja niiden toimintaa mahdollisimman syvällisesti. Aiheeksi valikoitui sähköajoneuvojen opetusmateriaalin koostamisen, koska sähköajoneuvot yleistyvät nopeaa tahtia maailmanlaajuisesti tiukentuvien päästönormien vuoksi. Olemassa olevat opetusmateriaalit ovat olleet varsin suppeita, minkä vuoksi pyydettiin tekemään kattavampi materiaali sähköajoneuvojen opetusta varten.

Sähköajoneuvojen parissa työskentelevällä täytyy olla riittävä tieto ja taito sähköajoneuvoista ennen korjaustoimenpiteiden suorittamista. Tämän opinnäytetyön perusteella sähköajoneuvoihin ei saa tehdä huolto- tai korjaustoimenpiteitä. Huolto- ja korjaustoimenpiteitä tekevällä henkilöllä täytyy aina olla autoalan SFS-6002-koulutus ja ajoneuvovalmistajan merkki- ja mallikohtainen koulutus. Autoalan SFS-6002-koulutus olisi hyvä olla käytynä ennen opinnäytetyön lukemista. Tässä työssä sähköturvallisuutta ei käsitellä, koska autoalan SFS-6002-koulutus kattaa sähköturvallisuuden sähköajoneuvojen parissa työskenteleville.

Opinnäytetyö on suunnattu ammatti- ja ammattikorkeakouluopiskelijoille sekä sähköajoneuvoista kiinnostuneelle että sähköauton ostoa harkitsevalle henkilölle. Opinnäytetyössä on paljon hyödyllistä tietoa ajoneuvojen sähköisestä voimansiirrosta. Ammatti- ja ammattikorkeakouluopiskelija saa työstä erinomaiset lähtötiedot sähköajoneuvojen parissa työskentelyyn. Opinnäytetyö helpottaa ajoneuvovalmistajien merkki- ja mallikohtaisiin koulutuksiin osallistumista ja asian ymmärtämistä.

## 2 SÄHKÖAUTOTEKNIikka

Ajoneuvoissa on tapahtunut merkittävää kehitystä edeltävinä vuosina erityisesti ympäristön ja kallistuvan energian myötä. Tiukentuvien päästönormien ja ekologisen ajattelutavan myötä ajoneuvovalmistajat ovat alkaneet kehittää ajoneuvojen polttoainetaloudellisuutta ja pienentää ajoneuvoista aiheutuvia päästö- ja meluhaittoja. (1, s. 3.)

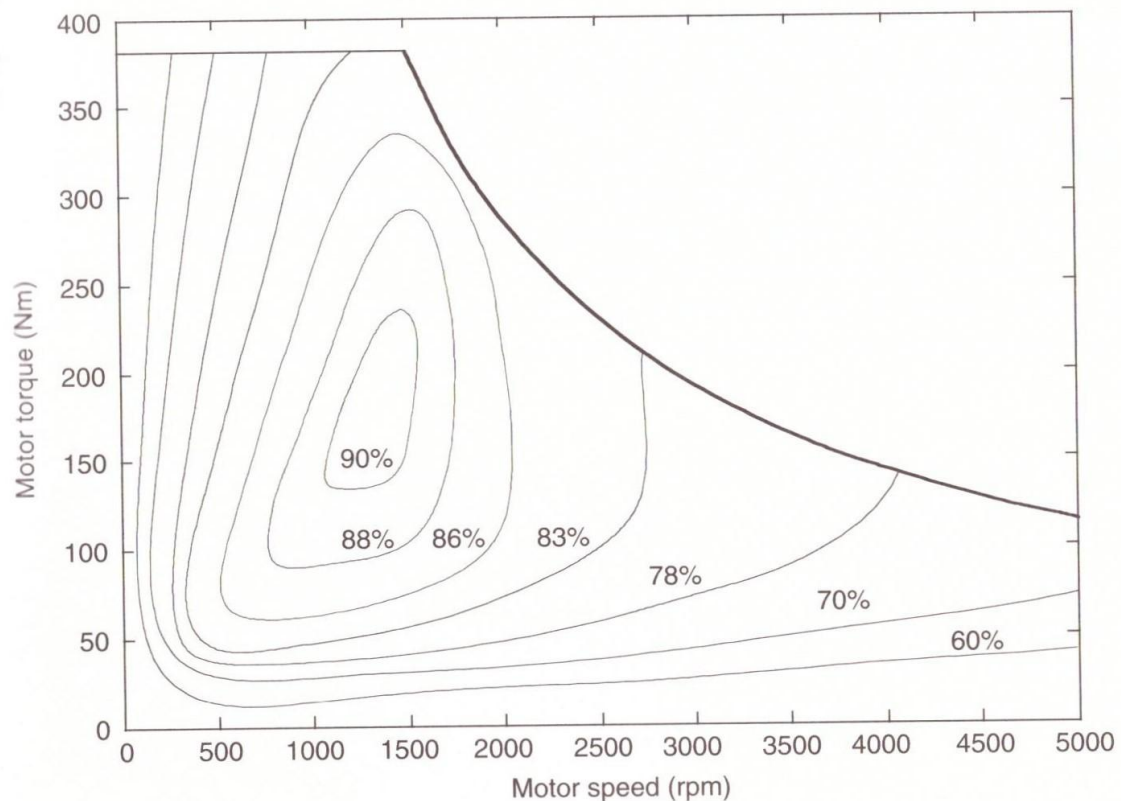
Perinteisen polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen rinnalle on tullut hybridi- ja täyssähköajoneuvoja. Suurimmat ajoneuvovalmistajat ovat tuoneet markkinoille omat hybridi- ja täyssähköajoneuvonsa. Hybridiajoneuvot ovat eräänlainen väliteknologia siirryttäessä polttomoottorikäyttöisistä ajoneuvoista täyssähköajoneuvoihin. (1, s. 3; 2, s. 41.)

Polttomoottorilla saadaan tuotettua ajoneuvolle hyvä suorituskyky ja energiatheiden polttoaineiden ansiosta ajoneuvoilla on pitkä toimintasäde. Haittana polttomoottorissa on palamisesta aiheutuvat haitalliset päästöt ja heikko hyötysuhde. Polttomoottorin hyötysuhde on parhaimmillaan noin 40 %. (1, s. 21.)

Sähkömoottorin hyötysuhde on paljon parempi polttomoottoriin verrattuna. Sähkömoottorin hyötysuhde on erinomainen, yleensä yli 90 prosenttia. Hybridiajoneuvoissa sähköisenoimasiirron avulla saadaan pienennettyä polttoaineen kulutusta, samalla myös polttomoottorista syntyvät päästöt vähenevät. Lisäksi hybridiajoneuvoissa saadaan sähkömoottorin avulla parannettua polttomoottorin heikkouksia. Täysin sähköisten ajoneuvojen käytöstä ei synny laisinkaan haitallisia päästöjä ja niiden meluhaitat ovat huomattavasti pienemmät kuin polttomoottorikäyttöisillä ajoneuvoilla. (1, s. 3–4; 2, s. 41.)

Sähkömoottoria verrattaessa polttomoottoriin sähkömoottorista löytyy paljon hyviä ominaisuuksia. Sähkömoottorin hyötysuhde on keskimäärin 80–90 % ja ottomoottorin hyötysuhde on noin 33 % ja dieselmootorin hyötysuhde on 45 %. Sähkömoottori tuottaa jo pienillä kierroksilla korkean vääntömomentin toisin kuin polttomoottori, joka tuottaa parhaimman vääntömomentin keskikierrosalueella. Laajan käyttöalueen vuoksi sähköisessä voimansiirrossa voidaan käyttää vähemmän vaihteita. Sähkömoottorissa syntyy vähemmän häviöitä kuin tavanomaisessa polttomoottorissa. Jarrutusenergia saadaan varastoitua akustoon jarrutusilanteessa, koska sähkömoottori voi myös toimia generaattorina. (3, s. 384.)

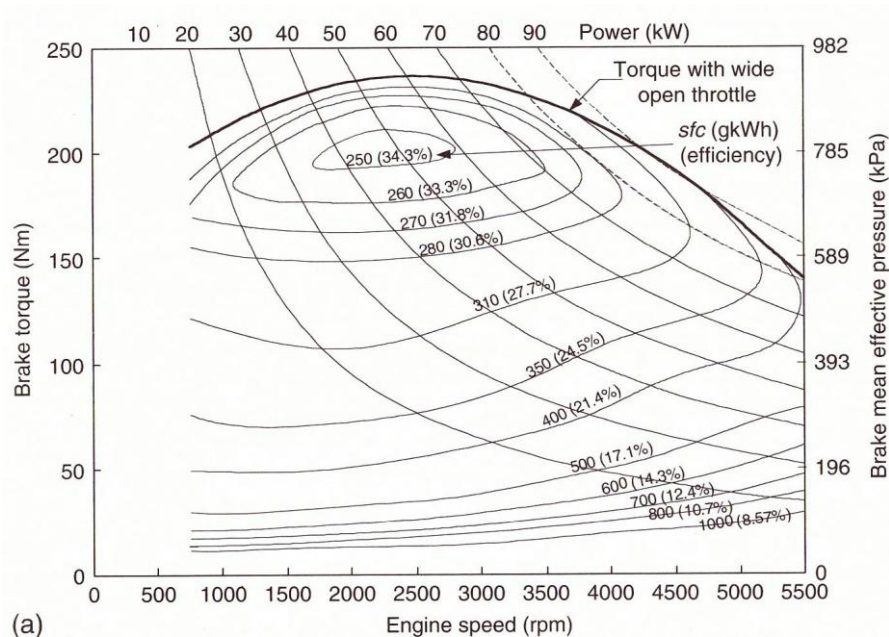
Kuvassa 1 on tyypillinen sähkömoottorin hyötysuhdekuvaaja. Kuvasta nähdään, että sähkömoottorilla on erinomainen hyötysuhde, joka on 90 prosenttia. Sähkömoottoriin syötetystä energiasta saadaan suurin osa hyötykäyttöön toisin kuin polttomoottorissa.



KUVA 1. Sähkömoottorin tyypillinen hyötysuhdekuvaaja (4, s.115)

Polttomoottorin hyötysuhde on paljon matalampi kuin sähkömoottorin, ja se saavutetaan huomattavasti kapeammalla kierrosalueella kuin sähkömoottorissa. Kuvassa 2 on polttomoottorin hyötysuhdekuvaaja. Kuvaajasta huomataan, että kyseisen polttomoottorin paras hyötysuhde on 34,3 prosenttia. Se saavutetaan kierrosalueen keskellä kovassa kuormituksessa lähellä huippuvääntömomenttia. (4, s. 72–73.)





KUVA 2. Polttomoottorin hyötysuhdekuvaaja (4. s. 23)

Sähkömoottorin ja polttomoottorin hyötysuhdekuvaajia verrattaessa huomataan, että sähkömoottorilla on paljon parempi hyötysuhde. Lisäksi paras hyötysuhde on pienemmässä kuormitusasteessa kuin polttomoottorissa. Tällöin sähkömoottoria on helpompi käyttää parhaalla mahdollisella hyötysuhdealueella, jolloin sähkömoottoriin syötettävästä sähköenergiasta menee vähemmän hukkaan. Polttomoottorin yleisin käyttöalue on osakuormituksella, jolloin polttoaineen sisältämästä energiasta saadaan vain noin 20 prosenttia mekaaniseksi työksi.

Sähkö- ja hybridi ajoneuvoissa käytetään suurjännitettä. Ajoneuvojen suurjännitteellä tarkoitetaan yli 24 voltin vaihtojännitettä tai yli 60 voltin tasajännitettä. Suurjännitepiiriin kuuluu sähkömoottori, suurjänniteakusto, sähköisen ilmastoinnin kompressori, suojatut suurjännitejohtimet ja -sulakkeet sähkölaitteille. Sähköajoneuvoissa on 12 voltin matalajännitepiiri, jota käytetään apusähköjärjestelmässä. Esimerkiksi hybridi ajoneuvoissa saattaa olla normaali 12 voltin käynnistinmoottori ja akku. (3, s. 387.)

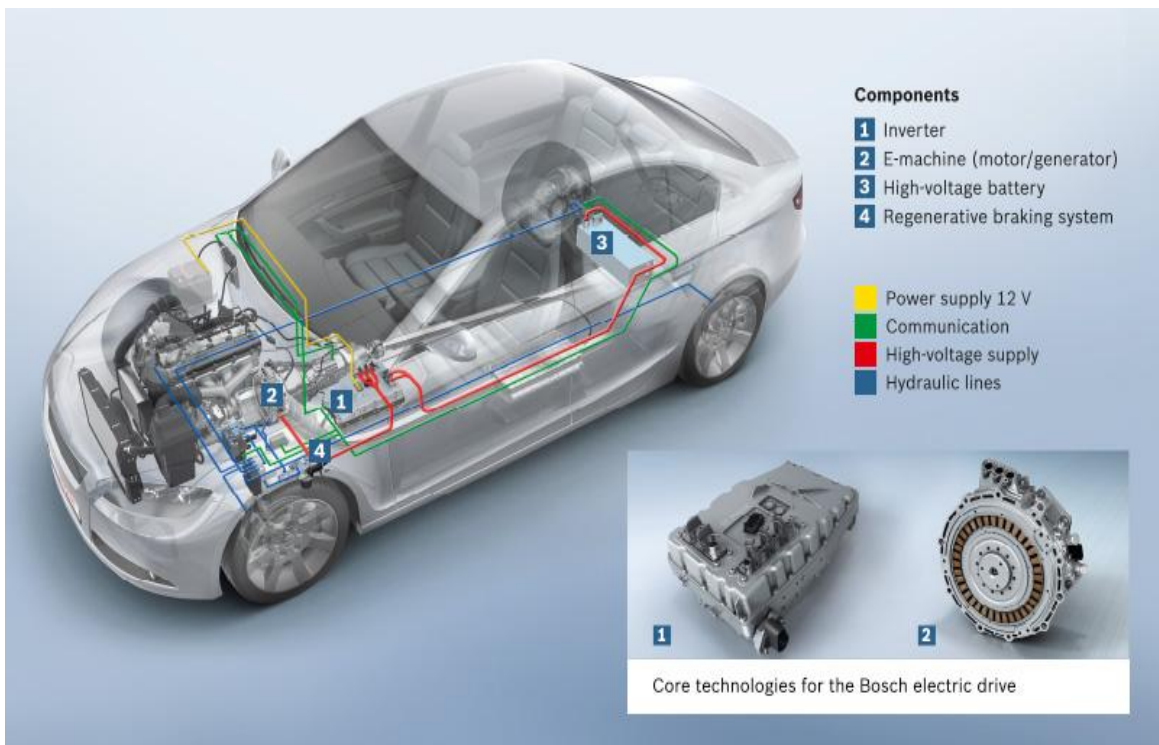
## 2.1 Hybridi ajoneuvot

Hybridi ajoneuvoissa pääasiallisena voimanlähteenä on polttomoottori, joka saa käyttöenergiansa polttoaineesta. Toisena voimanlähteenä käytetään sähkömoottoria, joka saa käyttövoimansa akustoon varautuneesta energiasta. Hybridivoimansiirron avulla ajoneuvoissa saadaan pienenet-

tyä päästöjä ja polttoaineen kulutusta sekä parannettua ajomukavuutta, ajettavuutta ja turvallisuutta. (1, s. 3.)

Hybridivoimansiirrossa polttomoottorin heikkouksia pyritään minimoimaan voimansiirtoon kytketyn sähkömoottorin avulla. Hybridiajoneuvojen energiavarastona eli akkuna voidaan käyttää sähkökemiallisia akkuja, superkondensaattoreita tai vauhtipyöriä. (1, s. 21.)

Kuvassa 3 on hybridiajoneuvon sähköiset pääkomponentit. Normaalin polttomoottorin lisäksi voimansiirrossa on sähkömoottori, joka näkyy kuvassa 3 kohdassa kaksi. Kyseisessä ajoneuvossa sähkömoottori on asennettu moottorin ja vaihteiston väliin. Sähkömoottori saa toimintaenergiänsä suurjänniteakustolta, joka näkyy kuvassa 3 kohdassa kolme. Kohdassa yksi on invertteri, joka muuntaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi. Punaisella on merkattu suurjännitejohtimet, jotka kulkevat akustolta invertterin kautta sähkömoottorille. (5.)



KUVA 3. Hybridiajoneuvon pääkomponentit (5)

Hybridiajoneuvot voidaan luokitella kahdella eri tavalla. Yksi tavoista on luokitella sähköisen maksimitehon ja toimintaominaisuuksien mukaan. Toinen tapa on luokitella hybridiajoneuvot sähkömoottorin ja polttomoottorin välisen toiminnan ja sähkömoottorin sijainnin mukaan voimansiirros-

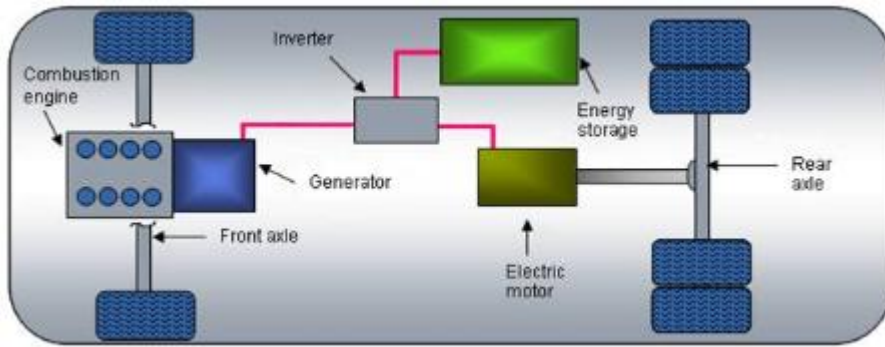
sa. Hybridiajoneuvoja luokiteltaessa sähkömoottorin ja polttomoottorin toiminnan mukaan hybridi-ajoneuvot luokitellaan kolmeen eri luokkaan, rinnakkais-, sarja- ja jaetun tehon hybrideiksi. Maksimiteholuokittelussa hybridit jaetaan neljään eri luokkaan, mikro-, kevyt-, täys- ja plug-in-hybrideiksi. (1, s. 27; 6, s. 726–727.)

Mikrohybridiajoneuvoissa on pelkästään start and stop -toiminto ja jarrutusenergian talteenotto, mutta ajoneuvon polttomoottoria ei avusteta sähkömoottorin avulla. Kevythybrideissä on myös edellä mainitut toiminnot. Lisäksi sähkömoottorilla avustetaan polttomoottorin toimintaa. Kevythybridiä ei voida liikuttaa pelkästään sähkömoottorin avulla. Täyshybridissä on samat toiminnot kuin mikro- ja kevythybrideissä. Täyshybridiajoneuvolla voidaan ajaa lyhyitä matkoja pelkän sähkömoottorin avulla polttomoottorin ollessa sammutettuna. Plug-in-hybridi voidaan ladata ajoneuvossa olevan latauspistokkeen kautta siihen tarkoitettun erillisen laturin avulla. Ulkopuolinen lataus mahdollistaa plug-in-hybrideissä suuremman akuston käytön kuin täyshybrideissä. Suuremman akuston avulla plug-in-hybridillä voidaan ajaa pelkällä sähköllä huomattavasti pidempiä matkoja kuin täyshybridillä. (5, s. 727.)

### **2.1.1 Sarjahybridi**

Sarjahybridivoimansiirrossa polttomoottori pyörittää pelkästään sähkögeneraattoria. Sähkögeneraattorilla tuotettu sähköenergia johdetaan tasasuuntaajan kautta energiavarastoon eli ajoneuvon akustoon tai suoraan ajomoottorille. Ajomoottoria voidaan myös käyttää generaattorina jarrutusenergian talteenotossa. Ajoneuvon liikuttamiseen sarjahybridissä käytetään pelkästään ajomoottoria eikä polttomoottori ole yhdistettynä muuhun kuin sähkögeneraattoriin. Tämä mahdollistaa polttomoottorin käytön sen parhaalla hyötysuhdealueella. Sarjahybridivoimansiirrossa käytetään polttomoottoria, generaattoria ja ajomoottoria. Näin ollen rakenteesta tulee isokokoinen ja painava. (1, s. 22.)

Sarjahybridirakenteen heikkoutena on energian muuntaminen eri muotoihin moneen kertaan. Kuvasta 4 nähdään sarjahybridin komponentit, suurjännitejohtimet ja polttomoottorin sekä sähkömoottorin paikat voimansiirrossa. Ensin polttomoottori pyörittää generaattoria, jonka jälkeen jännite tasasuunnataan ja varastoidaan akkuun. Akusta saatava jännite on vaihtosuunnattava sähkömoottorille sopivaksi. Tämä prosessi laskee sarjahybridivoimansiirron kokonaishyötysuhdetta. (1, s. 22.)

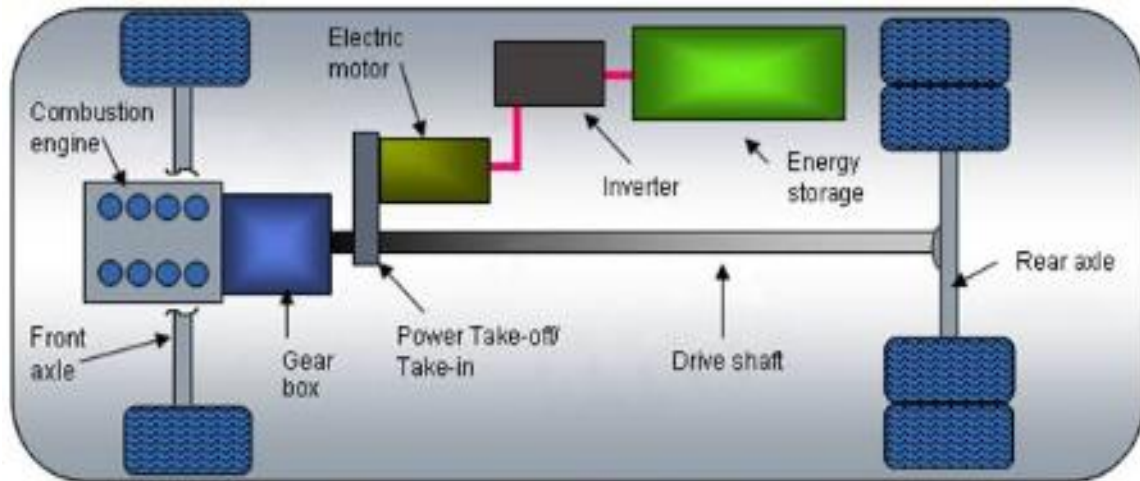


KUVA 4. Sarjahybridin voimansiirto (7)

Sarjahybridirakennetta käytetään eniten työkoneissa, joihin se soveltuu parhaiten. Hyvänä mallina ovat dieselsähköveturit ja kaupunkikäytössä olevat linja-autot, joissa etupäässä käytetään sarjahybridirakennetta. Sarjahybridiajoneuvon ominaisuudet saadaan parhaiten hyödyksi vaihtelevassa ajossa, joka sisältää paljon jarrutusenergian talteenottoa. (1, s. 23; 6, s. 730–731.)

## 2.1.2 Rinnakkaishybridi

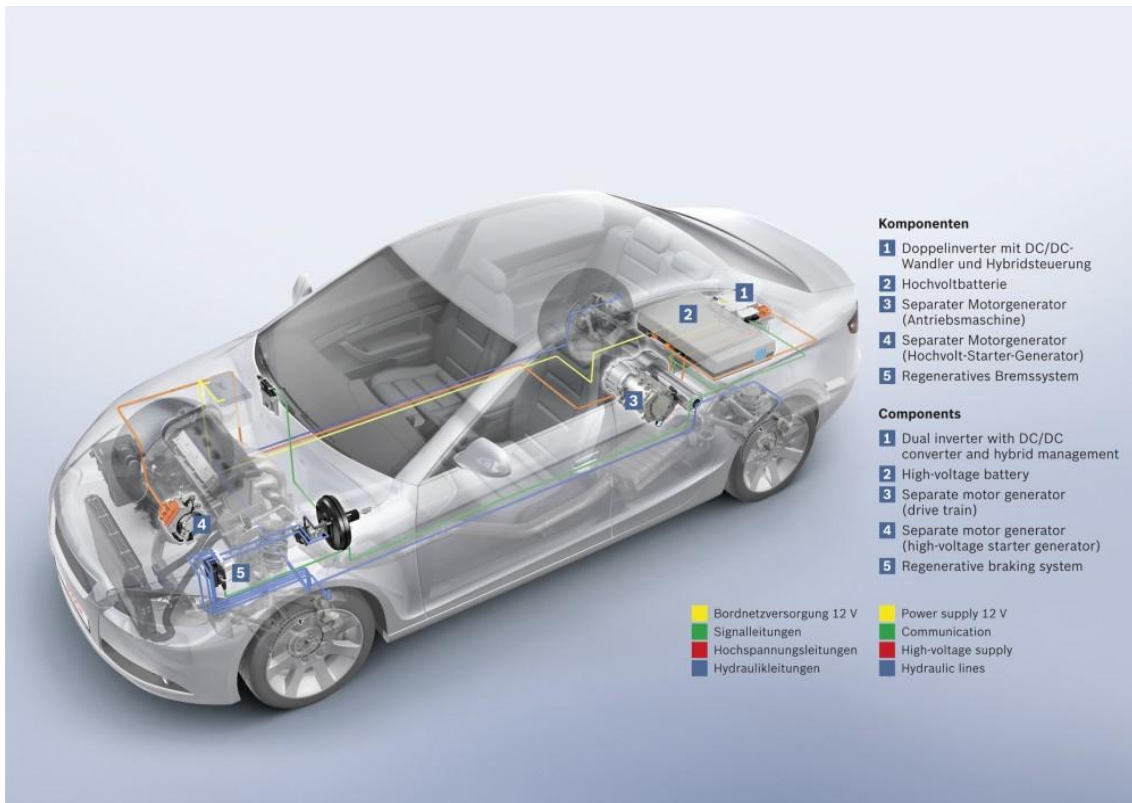
Rinnakkaishybridi sisältää polttomoottorin ja sähkömoottorin, jotka voivat tuottaa vääntömomenttia yhtä tai eri aikaan voimansiirtoon. Kuvassa 5 nähdään esimerkki rinnakkaishybridi rakenteesta. Polttomoottorin ja sähkömoottorin toimiessa samaan aikaan saadaan aikaiseksi enemmän tehoa ajoneuvon voimansiirtoon. Sähkömoottori voidaan kytkeä monella tapaa voimansiirtoon, joko vaihdelaatikon yhteyteen, polttomoottorin ja vaihdelaatikon väliin tai vaihdelaatikon jälkeen. Sähkömoottorin mekaaninen kytkentä voimansiirtoon saadaan tehtyä erilaisten välityssuhteiden avulla, esimerkiksi vaihteen, hihna- tai ketjuhammaspyörien avulla. Yleisesti käytössä oleva tapa on sijoittaa sähkömoottori vauhtipyörän yhteyteen, jolloin polttomoottori ja sähkömoottori pyörivät samaan tahtiin. Vaihdelaatikon yhteyteen kytketyllä sähkömoottorilla on vaihdelaatikossa oma akselinsa. Polttomoottorin ja sähkömoottorin momentti yhdistetään momentintasaajalla. (1, s. 25; 6, s. 727–728.)



KUVA 5. Rinnakkaishybridin rakenne (7)

Rinnakkaishybridi voidaan toteuttaa siten, että polttomoottori ja sähkömoottori tuottavat vääntömomentin eri akselleille. Polttomoottorin ja sähkömoottorin toimiessa samaan aikaan ajoneuvon molemmille akselleille syntyy vääntömomenttia, jolloin ajoneuvon kaikki pyörät vetävät samaan aikaan. Sähköisen akselin vääntömomenttia säädetään ajotilanteen mukaan. Toisella akselilla on tavanomainen henkilöauton voimansiirtojärjestelmä, jossa on polttomoottori ja vaihdelaatikko. Sen kanssa on sovitettu yhteen täysin sähköinen voimansiirto, joka on erillisellä akselilla polttomoottorin kanssa. Täysin sähköisellä akselilla on pelkästään sähkömoottori. Täysyhybridiajoneuvoissa sähkömoottorilla voidaan liikuttaa ajoneuvoa polttomoottorin ollessa sammutettuna. (1, s. 26; 6, s. 729–730.)

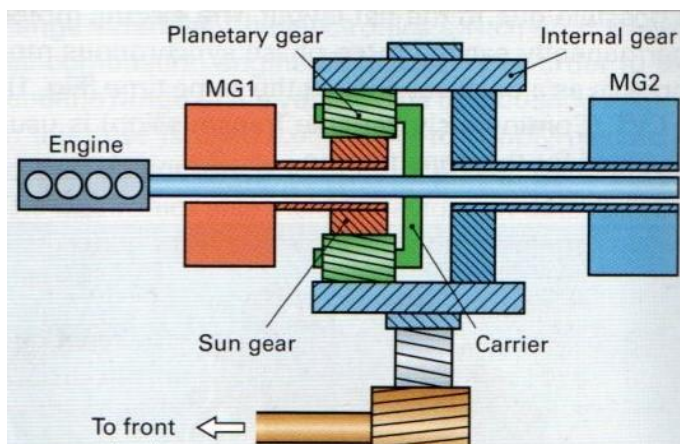
Kuvassa 6 on Boschin ja PSA-konsernin yhteistyössä kehittämä rinnakkaishybridi, jossa on dieselkäyttöinen polttomoottori ja sähkömoottori. Polttomoottori ja sähkömoottori ovat sijoitettu eri akselleille. Verrattuna normaaliin dieselmoottoriin kyseinen hybriditekniikka on 35 prosenttia pienempi polttoaineen kulutukseltaan. Taka-akselilla on sähkömoottori ja etuakselilla polttomoottori. Ajoneuvossa on start and stop -toiminto ja matalilla ajonopeuksilla ajoneuvoa liikuttaa pelkkä sähkömoottori. Kovissa kiihdytyksissä sähkömoottori ja polttomoottori toimivat yhtä aikaa. (8.)



KUVA 6. Rinnakkaishybridi, jossa polttomoottori ja sähkömoottori on sijoitettu omille akselille (8)

### 2.1.3 Jaetun tehon hybridi

Jaetun tehon hybridissä yhdistetään sarja- ja rinnakkaishybridien ominaisuuksia, jonka vuoksi jaetun tehon hybridiä kutsutaan myös sekahybridiksi. Englannin kielessä jaetun tehon hybridiä kutsutaan Electronic Controlled Continuously Variable Transmission, lyhennettynä ECTV. Jaetun tehon hybridin voimansiirto koostuu polttomoottorin, planeettapyörästä ja kahden eri sähkömoottorin yhdistelmästä. Kuvasta 7 nähdään kyseiset komponentit. (1, s. 26–27.)



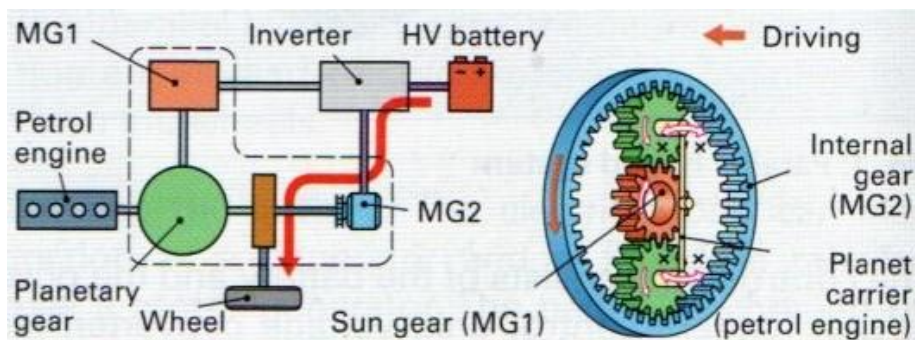
KUVA 7. Sähkömoottorien kytkentä planeettapyörästöön (3, s. 376)



Polttomoottori ja kaksi sähkökonetta yhdistetään planeettavaihteiston avulla toisiinsa. Planeettapyörästössä olevan planeetakannattimen kautta välittyy polttomoottorin tuottama vääntömomentti. Polttomoottorin tuottama momentti jaetaan vetäville pyörille ja sähkögeneraattorille. Toinen sähkökoneista toimii generaattorina ja se on yhdistetty planeettapyörästön aurinkopyörään. Toinen sähkökone toimii ajomoottorina. Se on yhdistetty planeettapyörästön kehäpyörään lamelliketjulla portaattoman vaihteiston tavoin. Generaattorilla voidaan säätää polttomoottorin pyörimisnopeutta ja ajomoottorilla saadaan tarvittaessa lisämomenttia ajoneuvon liikuttamiseen. Sähkökoneiden vaikuttaessa voimansiirtoon saadaan polttomoottorin kuormituspiste säädettyä optimaaliseen kohtaan. (1, s. 26–27.)

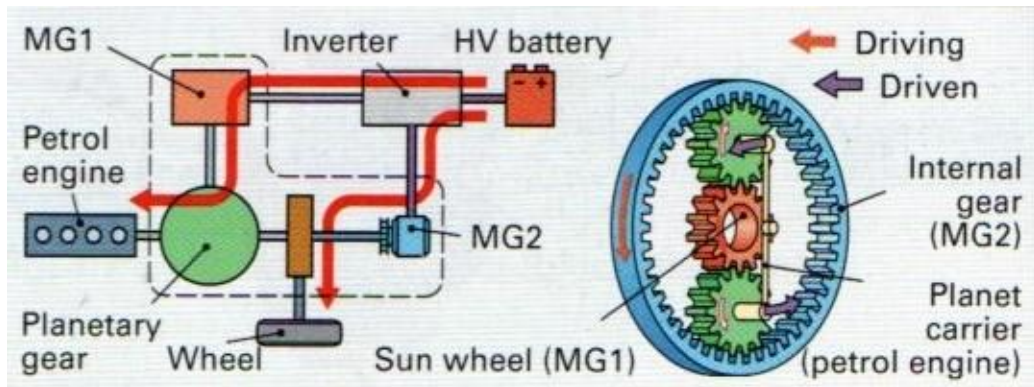
Heikkoutena jaetun teho hybrideissä on järjestelmän monimutkaisuus ja sen kalleus. Koko voimansiirto voi menettää toimintakyvyn, jos generaattori tai siihen liittyvä tehoelektronikka vikaantuu. Rinnakkaishybrideillä voidaan ajaa pelkällä polttomoottorilla, vaikka voimansiirron sähköinen järjestelmä olisi vioittunut. (1, s. 27.)

Kuvassa 8 on esitetty ajoneuvon liikkeellelähtö tilanne. Ajoneuvon lähtiessä liikkeelle toinen sähkökone (MG2) työntää ajoneuvon liikkeelle polttomoottorin ollessa sammutettuna. Generaattorina toimiva MG1 pyörii, mutta ei tuota sähkövirtaa järjestelmään. (3, s. 376.)



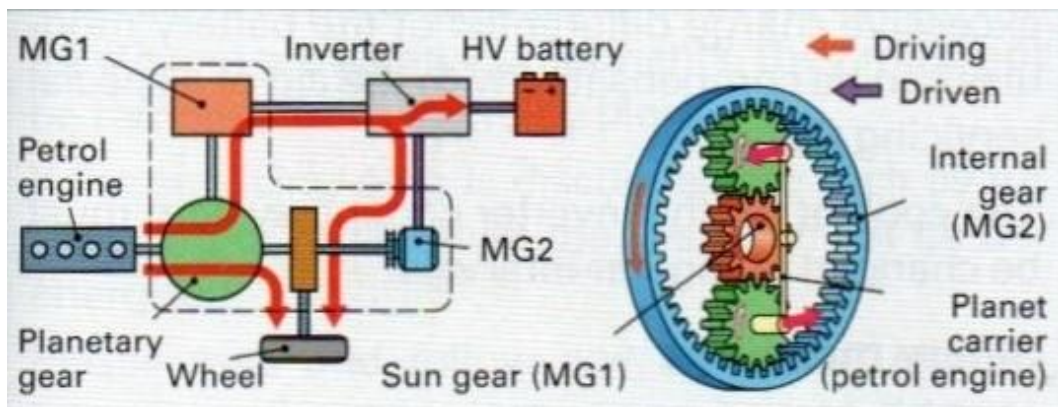
KUVA 8. Ajoneuvon liikkeelle lähtö (3, s. 376)

Ajoneuvon nopeuden ja tarvittavan vääntömomentin kasvaessa MG1-sähkökone käynnistää polttomoottorin. MG1-sähkökone alkaa toimimaan generaattorina ja tuottaa jännitettä järjestelmään, kun polttomoottori on käynnistynyt. Polttomoottori voidaan käynnistää myös korkeajänniteakuston matalan jännitetason vuoksi tai lämpötilan ollessa sallittujen rajojen ulkopuolella. Kyseinen tapahtuma on esitetty kaaviokuvana kuvassa 9. (3, s. 376.)



KUVA 9. Toinen sähkökoneista (MG1) käynnistää polttomoottorin (3, s. 376)

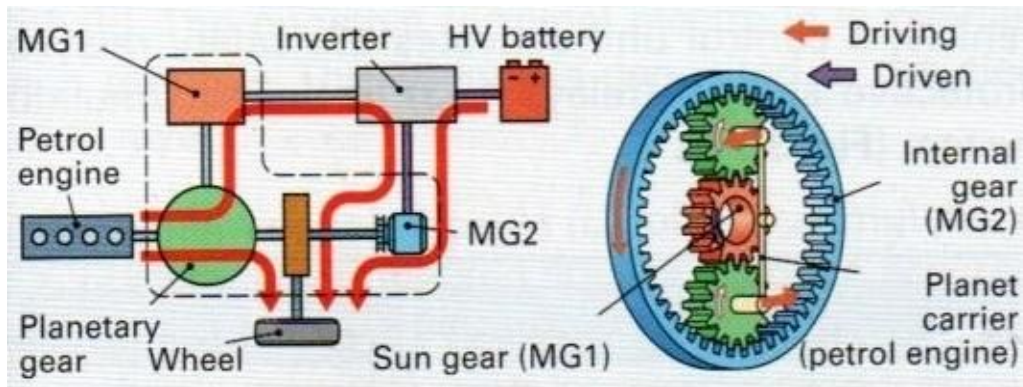
Kuvassa 10 on esitetty tilanne, jossa jaetun tehon hybridillä ajetaan matalalla kuormituksella. Planeettavaihteisto jakaa polttomoottorin tuottamaa vääntömomenttia. Osa voimasta ohjataan pyörille ja osa menee generaattorille, joka tuottaa sähköä. Osa sähkövirrasta menee suoraan ajomoottorille ja osa varastoidaan akustoon. Sähkömoottori avustaa tarvittaessa polttomoottoria ajoneuvon liikuttamisessa. (3, s. 377.)



KUVA 10. Tasaisessa kuormituksessa polttomoottorin vääntömomentti pyörittää ajoneuvon renkaita ja generaattoria (3, s. 377)

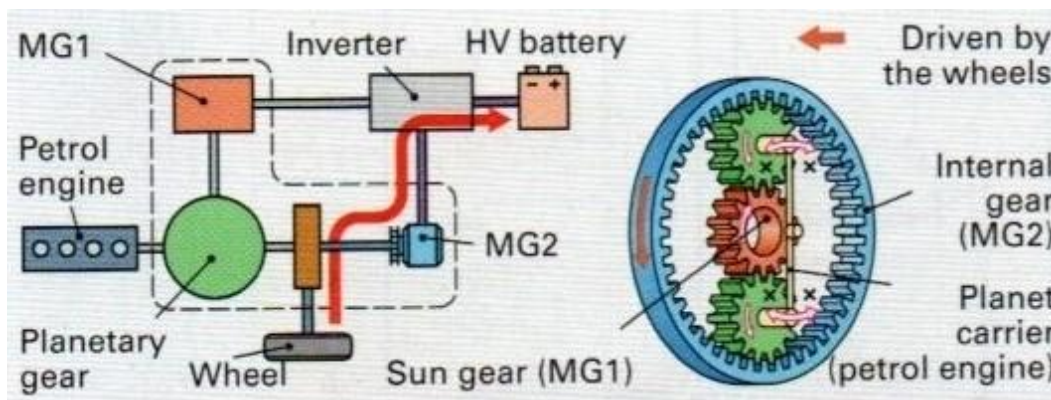
Täyskiihdytystilanteessa poltto- ja sähkömoottori tuottavat yhtä aikaa vääntömomenttia voimansiirtoon. Suuren momentin tarpeen vuoksi sähkömoottori ottaa lisävirtaa akustosta kuvan 11 mukaisesti. (3, s. 377.)





KUVA 11. Täyskiihdytystilanne (3, s. 377)

Jarrutustilanteessa polttomoottori sammutetaan ja sähkömoottori muuttuu generaattoriksi kuvan 12 mukaisesti. Tällöin generaattoriksi muuttunut sähkömoottori tuottaa jarrutusenergiasta sähkövirtaa, jolla ladataan suurjänniteakustoa. (3, s. 377.)



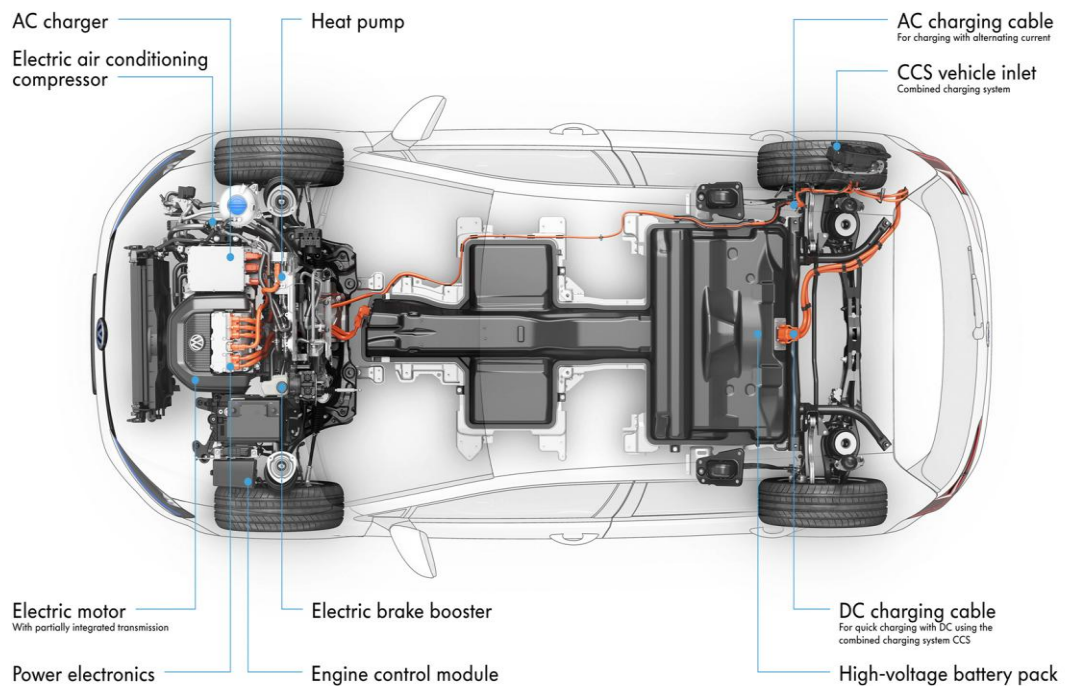
KUVA 12. Jarrutusenergian talteenotto (3, s. 377)

## 2.2 Täyssähköajoneuvot

Täyssähköajoneuvossa ei ole ollenkaan polttomoottoria. Täyssähköajoneuvon voimanlähteenä toimii vain sähkömoottori. Sähkömoottori saa toimintaan energiansa akustoon ladatusta energiasta. Sähköajoneuvo ei ole välttämättä akkukäyttöinen, vaan sähköautoksi luokitellaan myös polttokennoajoneuvot. Polttokennossa polttoaineena käytettävä vety tai alkoholi palaa ilman liekkiä luovuttaen samalla sähköenergiaa. Lisäksi on olemassa range extender -ajoneuvoja, joissa sähkömoottori on päävoimalähteenä ja polttomoottoria on tarkoitus käyttää vain poikkeustapauksissa. Range extender -ajoneuvo on teknillisesti sarjahybridi mutta hybridiajoneuvoissa päävoimalähde on polttomoottori, joten päävoimalähteen mukaan range extender -ajoneuvo voidaan luokitella täyssähköajoneuvoksi. (2, s. 44–54.)

Yleisesti sähköajoneuvojen tehonsiirtojärjestelmän rakenne on samanlainen. Sähköisessä voimansiirtojärjestelmässä on samankaltaisia komponentteja kuin hybridivoimansiirtojärjestelmässä. Sähköinen voimasiirto pystytään toteuttamaan puhtaasti sähköisten komponenttien ominaisuuksia optimoiden. Järjestelmä sisältää sähköisen energiavaraston eli akuston, vaihtosuuntaajan eli invertterin, tasajännitemuuntajan ja sähkömoottorin. (1, s. 29.)

Kuvassa 13 nähdään täyssähköajoneuvon voimansiirtojärjestelmän pääkomponentit. Akustosta saatava tasajännite vaihtosuunnataan sähkömoottorille sopivaksi vaihtojännitteeksi. Tasasuuntaajalla suurjännite alennetaan matalajännitejärjestelmälle 12 voltiseksi. 12 voltista sähköjärjestelmää käytetään ajoneuvon apusähköjärjestelmänä. Lisäksi suurjännitejärjestelmään kuuluu lämmityslaite ja ilmastoinnin kompressori. Suurjännitekaapelit ovat oranssinvärisiä. (1, s. 29–32.)



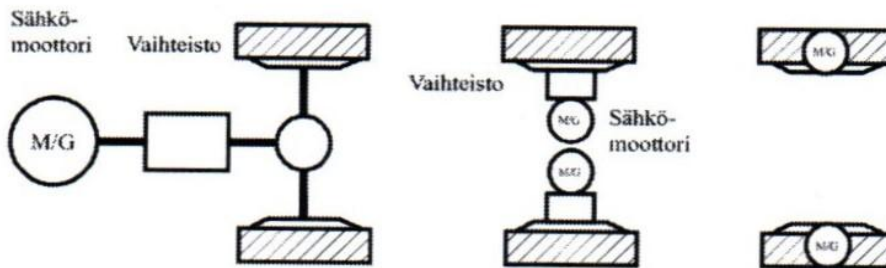
©ARICO.COM

KUVA 13. Sähköinen voimansiirtojärjestelmä, Volkswagen e-golf (9)

Sähkömoottorilla saadaan tuotettua tasainen vääntömometti koko kierrosalueen läpi toisin kuin polttomoottorilla. Sähkömoottorin ominaisuuksien vuoksi voimansiirtojärjestelmä ei välttämättä tarvitse perinteistä kytkintä liikkeelle lähtöön. Täysin sähköinen voimansiirtojärjestelmä voidaan toteuttaa manuaali- ja automaattivaihteistolla tai kiinteällä välityksellä. Sähköajoneuvolla voidaan

peruuttaa ilman erillistä peruutusvaihdetta. Sähkömoottori on heti toimintavalmis, eikä sähkömoottoria tarvitse käynnistää erikseen polttomoottorin tapaan. (3, s. 392–393.)

Kuvasta 14 nähdään vaihtoehtoja, joilla sähkömoottori voidaan liittää ajoneuvon mekaaniseen voimansiirtoon. Sähkömoottori voidaan kytkeä mekaaniseen voimansiirtoon ennen vaihteistoa polttomoottorin tavoin. Toinen tapa kytkeä sähkömoottori voimansiirtoon on sen vieminen osaksi ajoneuvon pyörärakennetta. Tällöin sähkömoottori pyörittää rengasta suoraan tai vaihteiston välityksellä, jolloin jokaisella vetävällä pyörällä on oma sitä pyörittävä sähkömoottori. Napamoottorin rakenne on haasteellisempi toteuttaa ajoneuvoissa, koska ajoneuvon tulee kulkea suoraan hyvinkin epätasaisilla teillä. Toisaalta napamoottorin rakenne on yksinkertaisempi vetoakseliston jäädessä pois rakenteesta. (1, s. 29.)



KUVA 14. Täyssähköisen voimansiirron toteutustapoja (1, s. 29)

Esimerkiksi autonvalmistaja Tesla käyttää Model S -automallissa kehittynyttä nelivetotekniikkaa, jossa etu- ja taka-akselille on sijoitettu omat sähkömoottorit. Erillisten sähkömoottorien avulla etu- ja taka-akselien vääntömomenttia voidaan hallita erikseen. Etu- ja takapyörien veto voidaan tuottaa toisistaan riippumatta. Kuvassa 15 on normaalia tehokkaampi malli, jossa taka-akselilla on kaksi sähkömoottoria ja etuakselilla yksi sähkömoottori. (10.)



KUVA 15. Tesla Model S nelivetotekniikka (10)

Ajoneuvovalmistaja Nissan käyttää sähköajoneuvoissaan e-Powertrain -järjestelmää, joka on esitetty kuvassa 16. Sen avulla polttomoottori korvataan sähköisellä voimansiirrolla. Sähköiset pääkomponentit ovat sijoitettu samaan yksikköön. Päällimmäisenä rakenteessa on tehonhallintayksikkö ja sen alle on sijoitettu invertteri, joka syöttää toimintajännitettä sähkömoottorille. Portaaton automaattivaihteisto välittää sähkömoottorin tuottaman vääntömomentin vetäville pyörille. (11.)



KUVA 16. Nissan e-Powertrain (11)

Uudessa Nissan LEAF acentassa käytetään e-Powertrain tekniikkaa. Sähkömoottorina on 110-kilowattinen vaihtosähkötahtikone. Kyseinen ajoneuvo on etuvetoinen ja automaattivaihteinen.

Valmistaja lupaa toimintamatkaksi kaupungissa 389 kilometriä ja yhdistetyssä ajossa 270 kilometriä. (12.)

### 2.3 Polttokenno

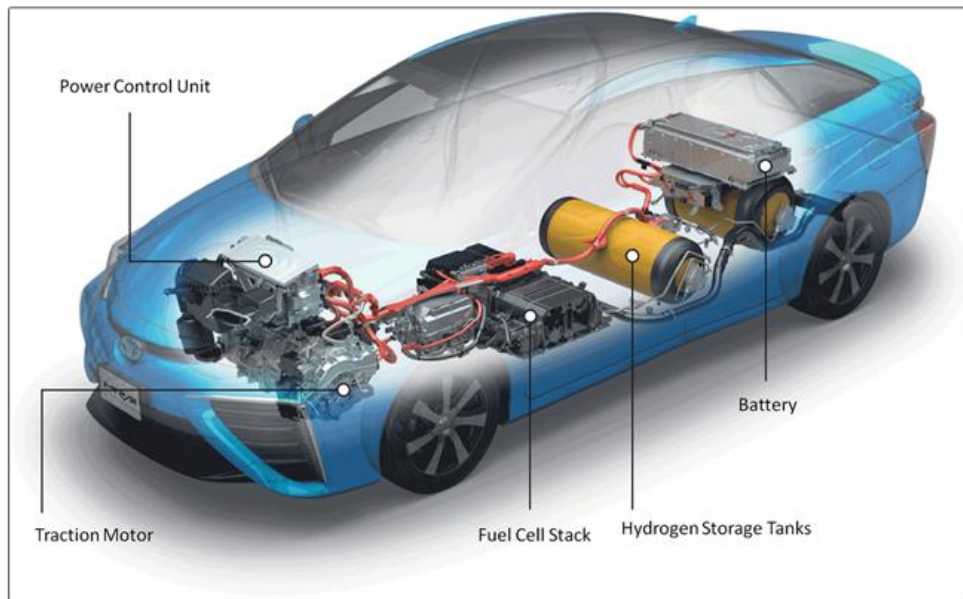
Polttokennoajoneuvot ovat myös sähköajoneuvoja. Polttokennossa tuotetaan sähköä ja lämpöä vedyn avulla. Polttokennossa tapahtuu kemiallinen reaktio, jonka seurauksena kemiallinen energia vapautuu sähköenergiaksi. Suurin etu polttokennossa on päästöttömyys, toisin kuin polttomoottoreissa. Polttomoottori tuottaa haitallisia hiukkaspäästöjä, kun taas polttokennossa luontoon vapautuu vain vesihöyryä. Hyvinä etuina polttokennossa on hiljaisuus, hyvä hyötysuhde ja liikkuvien osien puuttuminen. Polttokennoon syötetään tasaisesti reaktiossa tarvittavaa ainetta. Polttokennoissa käytetään yleensä kemiallisen reaktion polttoaineena vetyä tai alkoholia. (1, s. 127; 2, s. 54.)

Useasta eri polttokennotyypistä PEM-polttokenno on parhaiten ajoneuvokäyttöön soveltuva. PEM-polttokenno toimii painesäiliöstä saatavalla vedyllä. Vety ja ilmakehän happi reagoivat keskenään, jonka seurauksena syntyy vettä ja vedyn sisältä kemiallinen energia muuttuu sähköenergiaksi. (1, s. 127.)

Haittapuolena polttokennoissa on niiden kalliit valmistuskustannukset, joiden vuoksi niillä ei ole vielä korvattu polttomoottoreita. Ajoneuvoissa käytettävissä PEM-polttokennon katalysaattorissa käytetään kalliita ja harvinaisia jalometalleja. Lisäksi polttoaineena käytettävän vedyn varastointi ja kuljettaminen on melko haastavaa sen kaasumaisen olomuodon vuoksi. Hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että vetyä voidaan valmistaa monista eri aineista, kuten dieselpolttoaineesta tai biopolttoaineesta. (1 s. 127; 3, s. 394–394.)

Polttokennoajoneuvo sisältää hybridi- ja täyssähköajoneuvon tavoin korkeajänniteakuston, invertterin ja sähkömoottorin. Suurimmat teknilliset erot tulevat itse polttokennosta ja painesäiliöstä, johon vety on varastoituna. Kuvassa 17 on Toyotan polttokennoajoneuvo. Kuvasta nähdään polttokennoajoneuvon pääkomponentit. Tyypillisesti vetysäiliöön mahtuu noin 170 litraa vetyä ja säiliössä vallitsee 350 baarin paine. (3, s. 393–394.)



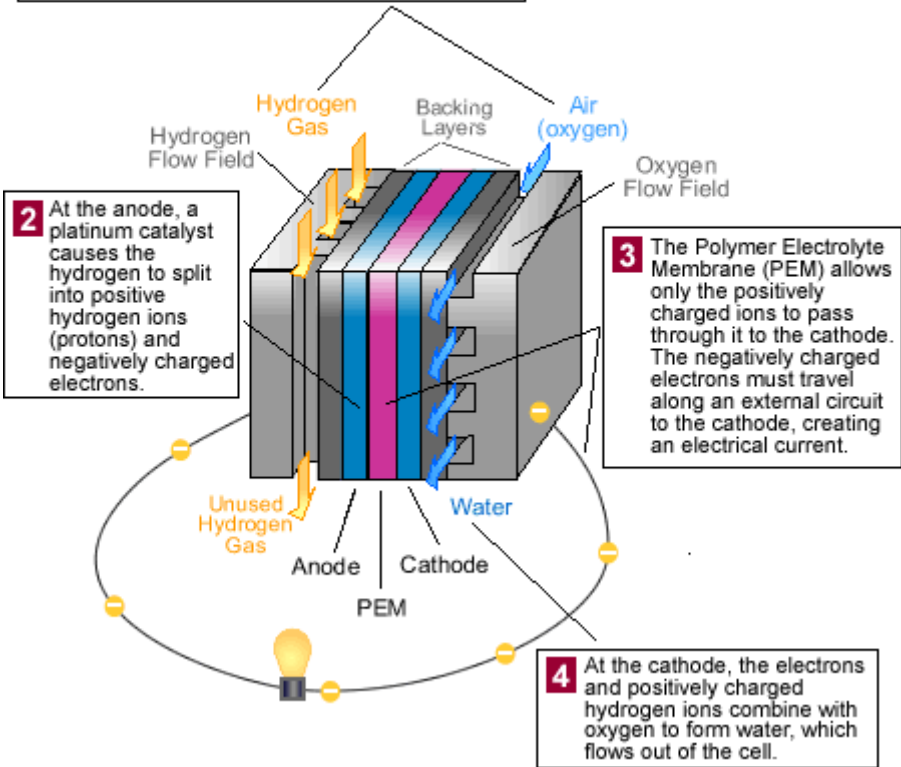


KUVA 17. Toyotan polttokennoajoneuvo (13)

Yksittäinen PEM-polttokenno tuottaa 1,16 voltin jännitteen. Kennoja on tämän vuoksi kytkettävä sarjaan jännitetason nostamisen vuoksi. Tehoon vaikuttavat monet eri tekijät, kuten kennojen lukumäärä, koko ja PEM-kalvon pinta-ala. Muotoilu, rakenteelliset yksityiskohdat ja asento vaikuttavat myös kennojen tuottamaan tehoon. Pystyasentoon sijoitetusta kennosta saadaan usein enemmän tehoa kuin vaakatasoon sijoitetusta kennosta. (1, s. 127.)

Kuvassa 18 on PEM-polttokennon toimintaperiaate. Polttokennon anodilla virtaa vetyä ja katodilla happea. Anodilla katalyyttiaineena oleva platina jakaa vedyn positiivisiksi vetyioneiksi ja negatiivisiksi elektroneiksi. Positiiviset ionit läpäisevät pelkästään elektrolyyttinä toimivan polymeerikalvon. Negatiiviset elektronit joutuvat kiertämään virtapiirin kautta katodille synnyttäen sähkövirtaa. Katodilla elektronit ja positiiviset ionit yhdistyvät ilmassa olevaan happeen synnyttäen vettä. (14.)

**1** Hydrogen fuel is channeled through field flow plates to the anode on one side of the fuel cell, while oxygen from the air is channeled to the cathode on the other side of the cell.



KUVA18. PEM-polttokennon toimintaperiaate (14)

### 3 AKUSTO

Akkutyypeistä tunnetuin on lyijyakku. Lyijyakut ovat edullisia valmistaa ja rakenteeltaan yksinkertaisia. Lyijyakkujen hyötysuhde on alhainen suurilla sähkövirroilla. Lyijyakut ovat lyhytkestoisia käyttöiltään ja sisältävät painoonsa nähden vähän energiaa. Lyijyakkua käytetään sähköajoneuvoissa pelkästään apusähköjärjestelmissä. Lyijyakkujen heikkojen ominaisuuksien vuoksi sähköajoneuvoissa käytetään kehittyneempiä akkuja. Nikkelimetallihydridiakut, litiumioni- ja litiumrauta-akut ovat käytetyimpiä akkuja sähköisten voimansiirtojen energiavarastoina. Näillä akuilla on suuremmat energia- ja tehotehiydet, paremmat hyötysuhteet ja pidemmät käyttöiät kuin perinteisellä lyijyakulla. (1, s. 100–101.)

Akut koostuvat kennoista, jotka ovat akun pieniä yksiköitä. Usean kennon muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan akustoksi. Akut ovat perinteinen tapa varastoida energiaa erilaisissa ajoneuvoissa. Akun toiminta perustuu sähkökemialliseen reaktioon. Sen purkaminen ja lataaminen tapahtuu sähkökemiallisen reaktion myötä. Akussa energia muuttuu kemiallisesta muodosta sähköksi ja päinvastoin. (2, s. 95.)

Akun tärkeimpiä ominaisuuksia ovat varauskyky ja hyötysuhde. Varauskyky tarkoittaa akusta saatavaa sähkövarauksen suuruutta, kun akku puretaan. Sähkövaraus ilmoitetaan yleensä ampeeritunteina. Ampeeritunnista käytetään lyhennettä Ah. Akun purkautuessa saatavan sähkövarauksen suuruus riippuu purkausvirrasta ja akun lämpötilasta. Alhaisissa lämpötiloissa akun sähkövaraus heikkenee ja se vaikuttaa heikentävästi sähköajoneuvon toimintasäteeeseen. (1, s. 96; 3, s. 393.)

Akulle ilmoitetaan hyötysuhde, koska sen lataaminen ja purkaminen ovat häviöllisiä prosesseja. Ladattaessa akkuja, sen napoihin joudutaan syöttämään suurempi jännite kuin mitä akun purkautuessa saatava jännite on. Akun hyötysuhde tarkoittaa akkuun ladattaessa syötetyn ja siitä purkautuneen sähkövarauksen suhdetta. (2, s. 95–96.)

Sähköajoneuvojen käyttöenergia varastoidaan ajoakustoon. Ajoakuston jännite on yleensä monia satoja voltteja. Perinteisten 12 ja 24 voltin akkujen jännite ei riitä ajoneuvojen ajoakustoon, koska ajoneuvoa liikuttavalta sähkömoottorilta vaaditaan monien kymmenien kilowattien teho. Suuren tehon käsitteleminen pienellä kymmenien volttien jännitteellä johtaisi suuriin sähkövirtoihin. Suu-



riksi kasvaneet sähkövirrat vaatisivat paksujen sähköjohtojen ja moottorikäämien käytön. Tällöin sähköjärjestelmästä tulisi suurikokoinen ja epätaloudellinen. (2, s. 44.)

Sähköajoneuvojen suuret akustot tarvitsevat aina yhteiteensä ohjainlaitteita. Akuston ohjauslaitteesta käytetään nimitystä BMS, joka tulee englanninkielien sanoista Battery Management System. Ohjainlaitteella saadaan varmistettua akuston käyttöturvallisuus ja pidennettyä sen elinikää. Käyttöturvallisuudella tarkoitetaan yleistä sähköturvallisuutta ja suojausta vikatilanteissa. Akkujärjestelmän tilatietoja välitetään akuston ohjainlaitteen kautta muille ajoneuvon ohjainlaitteille sekä ajoneuvon käyttäjälle. (1, s. 102.)

Suurjänniteakuston hallintaelektroniikka hallitsee akuston suorituskykyä ja rajoittaa sen tehoa tarpeen mukaan. Hallintaelektroniikka seuraa akuston jännitettä, virtaa ja lämpötilaa. Kennojen jännitteiden tasoitus tapahtuu akuston hallintaelektroniikan avulla. Akustoa suojataan ylilataukselta, ylipurkaukselta, ylivirralla, oikosululta, ja akuston lämpötila pidetään oikeana hallintaelektroniikan avulla. (1, s. 102.)

Kuvassa 19 on BMW i3 täyssähköajoneuvon suurjänniteakusto. Akusto on sijoitettu auton alustaan ja sitä suojaa vankka alumiininen suojakuori. Ajoneuvon alustassa suurjänniteakusto on parhaiten suojassa. Matalalla alustassa oleva suurjänniteakusto laskee ajoneuvon painopistettä alaspäin, joka parantaa ajoneuvon ajo-ominaisuuksia. (15.)



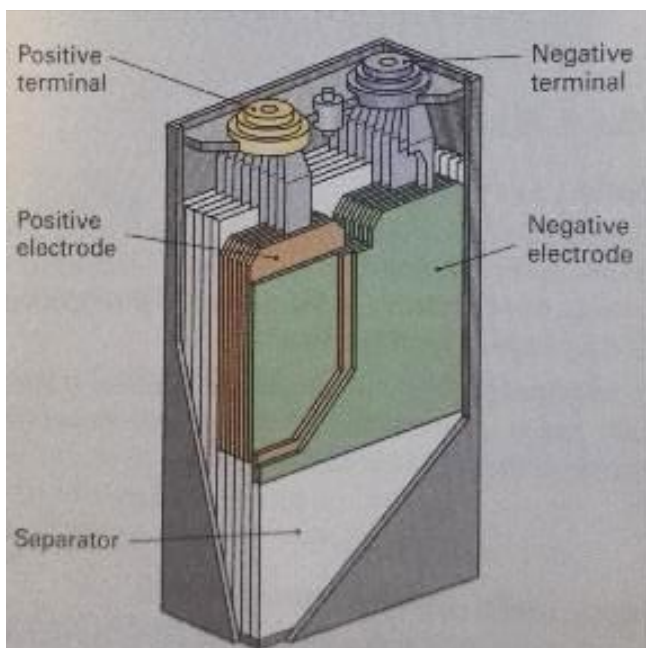
*KUVA19. BMW i3 suurjänniteakusto (15)*

### 3.1 Nikkelimetallihydridiakku

Nikkelimetallihydridiakustot koostuvat monista pienimmistä kennoista. Kennot sisältävät positiivisen ja negatiivisen kohtion, jotka ovat elektrolyyttiliuoksessa. Akun nimitys tulee sen sisältämästä metallihydridiyhdisteestä, eli metallien ja vedyn seoksesta. Kyseistä akkutyyppeä käytetään sähkö- ja hybridi-auton akustoina. Nikkelimetallihydridiakulla on suuri sähkövarauskyky ja napajännite sen painoon nähden. (3, s. 377–378; 6, s.151–152.)

Tyypillinen nikkelimetallihydridiakusto koostuu 28 akkumoduulista, joista jokaisessa moduulissa on kuusi kennoa. Yhden kennon jännite on 1,2 voltia, joten akuston napajännitteeksi tulee kokonaisuudessa 201,6 voltia ja akuston teho on tällöin 27 kW. Lisäksi akusto sisältää ohjausyksikön, jäähdytysjärjestelmän ja suojausjärjestelmän. (3, s. 377–378.)

Nikkelimetallihydridiakun kenno sisältää negatiivisen ja positiivisen navan perinteisen lyijyakun tapaisesti. Itse kennon sisällä on negatiivinen ja positiivinen kohtio, sekä elektrolyyttiliuos eli sähköä johtava aine. Positiivinen kohtiolevy koostuu metalliseoksesta, joka sisältää vetyä. Metalleina on yleisesti käytetty lantaania, ceriumia ja neodyymia, jotka ovat maaperästä löytyviä maametalleja. Negatiivinen elektrodilevy on nikkelioksidia ja se on kooltaan suurempi kuin positiivinen kohtio. Kuvasta 20 nähdään poikkileikkaus yksittäisestä nikkelimetallihydridiakun kennosta. Poikkileikkaus havainnollistaa edellä mainitun kennon rakenteen. (3, s. 377–378; 6, s.151–152.)



KUVA 20. Poikkileikkaus nikkelimetallihydridiakun kennosta (3, s. 378)

Akun purkautuessa positiivinen kohtio luovuttaa vetyionin,  $H^+$ , elektrolyyttiliuokseen. Tällöin muodostuu vettä ja reaktiossa vapautuu elektroni. Tätä tapahtumaa kutsutaan hapettumiseksi. Negatiivisella kohtiolla puolestaan tapahtuu pelkistyminen eli kohtio vastaanottaa elektronin. Tämä elektronien liike kohtiosta toiseen tuottaa sähkövirran akkuun. (6, s.151–152.)

Nikkelimetallihydridi akussa tapahtuvat osareaktiot ovat seuraavanlaiset (6, s. 151–152):

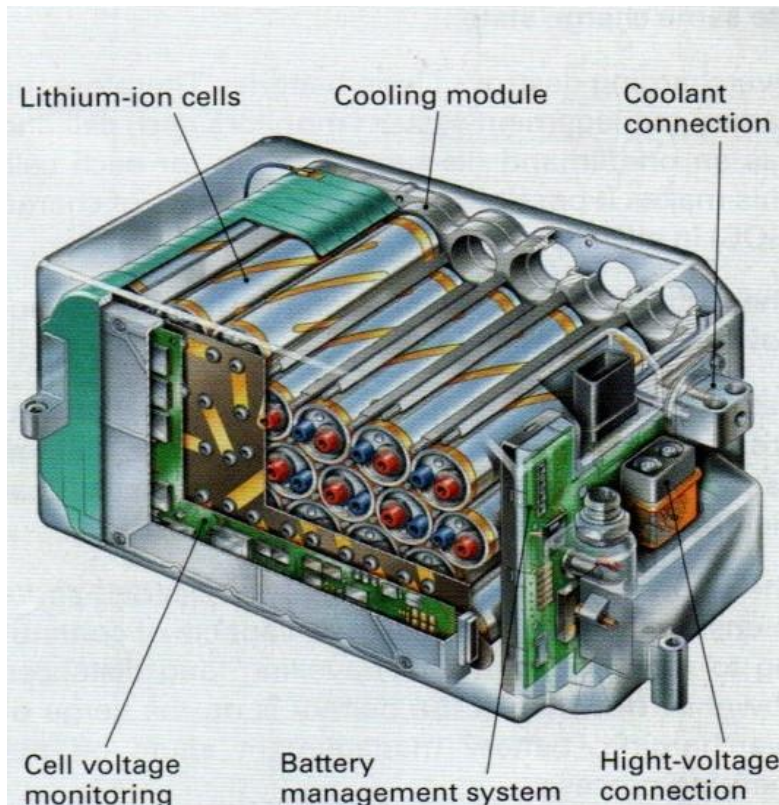
- positiivinen anodi:  $MH+OH^- \rightarrow M+H_2O+e^-$
- negatiivinen katodi:  $NiOOH+ H_2O+ e^- \rightarrow Ni(OH)_2+OH^-$
- akun kokonaisreaktio:  $MH+ NiOOH \rightarrow Ni(OH)_2+M$

### 3.2 Litiumioniakku

Litiumioniakku on yksi yleisimmin käytössä olevista akuista. Litiumilla on suurin negatiivinen varaus ja matalin atomimassa kaikista metalleista. Lisäksi litium reagoi voimakkaasti ilman ja nestemäisten elektrolyyttien kanssa. Mekaaninen vaurio saattaa aiheuttaa tulipalon tai räjähdysen litiumin reaktioherkkyyden ja kennojen sisältämän energian vuoksi. Kennon turvallisuutta lisätään päällystämällä litium grafiitilla. (16, s. 10–11.)

Litiumin reaktioherkkyyden ansiosta litiumioniakku voidaan ladata ja purkaa nopeammin kuin nikkelimetallihydridi- tai lyijyakku. Litiumioniakku tuottaa saman energian kuin nikkelimetallihydridiakku, mutta litiumioniakut ovat 40 prosenttia pienempiä ja painavat puolet nikkelimetallihydridiakun painosta. Painon ja koon vuoksi sähköajoneuvojen litiumioniakkuihin saadaan varastoitua enemmän sähköenergiaa ja näin ollen sähköajoneuvojen toimintasäde pitenee. (16, s. 10–11.)

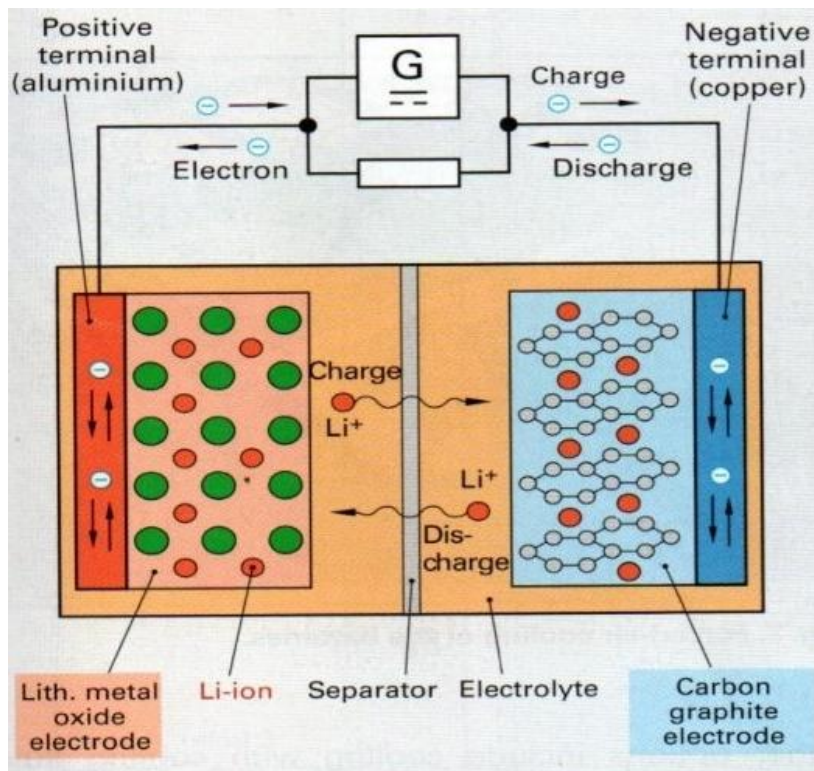
Kuvasta 21 nähdään litiumioniakun poikkileikkaus. Akku rakentuu nikkelimetallihydridiakun tavoin kennoista. Akusto sisältää myös akun ohjainlaitteen ja kennojen jännitettä kertovan näytön. Akun lämpötilaa hallitaan jäähdytysjärjestelmällä. (3, s. 379–380.)



KUVA 21. Litiumioniakku (3, s. 379)

Litiumioniakun positiivinen kohtio on valmistettu alumiinista ja se on päällystetty metallioksidoilla. Negatiivinen kohtio puolestaan on päällystetty grafiitilla. Litium on kerroksina elektrodien välissä. Litiumkobolttidioksidi,  $\text{LiCoO}_2$ , kerääntyy positiiviseen kohtioon ja litiumgrafiitti negatiiviseen kohtioon. Elektrolyyttiliuos on nestemäistä, mutta täysin vedetöntä. Tavallisesti se koostuu etyleeni- tai dietyyli-hiiliyhdisteistä sekä litiumheksafluorofosfaatista,  $\text{LiPF}_6$ . Separaattori eli kohtioiden välinen erotinlevy on polymeeriä tai keraamia. (3, s. 379.)

Litiumioniakun purkautuessa litiumatomi luovuttaa elektronin ja muodostuu positiivinen litiumioni. Vapautuneet elektronit kulkevat positiiviseen kohtioon. Positiivisesti varautunut litiumioni kulkee elektrolyytin läpi negatiiviseen kohtioon ja varastoituu sinne. Siirtymämetalli-ionit keräävät vapaat elektronit itseensä. Ladattaessa litiumioniakkua elektronit irtoavat siirtymämetalleista ja liikkuvat elektrolyyttiliuoksessa negatiiviseen kohtioon. Elektronit ja litiumionit yhdistyvät litiumatomeiksi. Kuvassa 22 on esitetty litiumionin liike akun purkautuessa ja latautuessa. (3, s. 379.)



KUVA 22. Ionien liike litiumioniakussa (3, s.379)

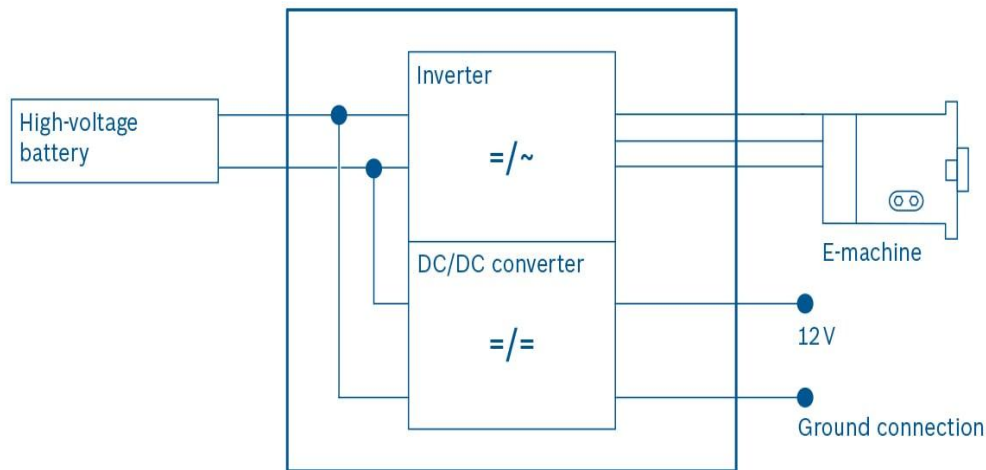
## 4 SUUNTAAJAT

Suuntaajien tehtävinä on tasasuunnata vaihtojännite tasajännitteeksi (AC/DC), vaihtosuunnata tasajännite vaihtojännitteeksi (DC/AC), toistosuunnata vaihtojännite eri taajuiseksi vaihtojännitteeksi (AC/AC) ja tasajännitteen muuttaminen erisuuruiseksi tasajännitteeksi (DC/DC). Suuntaajat rakennetaan tehoelektronikan peruskytkeiden avulla. Suuntaajat sisältävät tehopuolijohdekomponentteja. Niistä tärkeimpiä ja käytetyimpiä ovat piidiodit, tehotransistorit ja tyristorit. (1, s. 63.)

Sähköajoneuvoissa käytetään vaihtosähkömoottoreita, jotka ovat huomattavasta suorituskykyisempiä kuin olemassa olevat tasasähkömoottorit. Tämän vuoksi täyssähkö- ja hybridiajoneuvoissa täytyy olla vaihtosuuntaaja eli invertteri. Vaihtosuuntaajan avulla sähköntaajuutta muutetaan ennen sähkömoottorille johtamista. Ajoneuvon nopeutta säädellään siis sähköntaajuutta muuttamalla. Lisäksi sähköenergian varastointi akkuihin on mahdotonta vaihtosähköä. Akkuista tuleva jännite on poikkeuksetta tasajännitettä, joka pitää vaihtosuunnata vaihtosähkömoottorille. (2, s. 47.)

Sähkömoottoria ohjaava järjestelmä muuntaa sähkömoottorille johdettavan jännitteen taajuutta ja tehoa kuljettajan antamien käskyjen ja järjestelmän anturitietojen perusteella. Kuljettajan antama käsky, esimerkiksi kuljettajan halu lisätä ajoneuvon vauhtia, muutetaan ohjainlaitteiden kautta käskyksi, jonka mukaan muutetaan sähkömoottorin tuottamaa vääntömomenttia. (17, s. 161.)

Järjestelmä, jolla ohjataan sähkökonetta, koostuu invertteristä ja sen ohjainlaitteesta. Invertteri muuntaa akulta tulevan tasajännitteen sähkömoottorin käyttöön tulevaksi vaihtojännitteeksi. Ajotilanteen mukaan invertteri säätää sähkömoottorille johdettavan vaihtojännitteen taajuutta. Kuvassa 23 on esitetty kaaviokuvana edellä mainittu tapahtuma. Lisäksi järjestelmässä on tasajännitemuuntaja (DC/DC), joka muuntaa suurjänniteakuston jännitteen 12-volttiseksi apusähköjärjestelmää varten. (3, s. 393; 17, s. 161.)



KUVA 23. Kaaviokuva jännitteen muuntamisesta (18)

Ajoneuvoissa invertteristä voidaan puhua myös moottorinohjainlaitteena. Ajoneuvosta voi löytyä useita inverttereitä, jos ajoneuvossa on useita sähkökoneita. Käytännössä ohjainlaite hallitsee kaikkea sähköenergiaa, kuten jarrutusenergian talteenotosta jarrutuksessa. Toisin sanoen invertteri ohjaa suuria tehoja ja sinne menevät ja lähevät johtimet täytyy kiinnittää erittäin huolellisesti. Huonosti liitetty liitos voi alkaa lämmetä ja aiheuttaa tulipalon. (2, s. 47.)

Kuvassa 24 on Boschin valmistama invertteri, jossa on kaksi suuntaustoimintoa samassa laitteessa, vaihtosuuntaus ja tasajännitemuuntaja. Toimintajännite on kyseisellä invertterillä 100 voltista aina 450 volttiin ja tyypillisesti se tuottaa 100 kilowattia tehoa. Tasajännitemuunnin voi tuottaa kolmen kilowatin tehon. Invertteriä ohjataan täysin digitaalisesti tietokoneohjelmiston avulla. (18.)



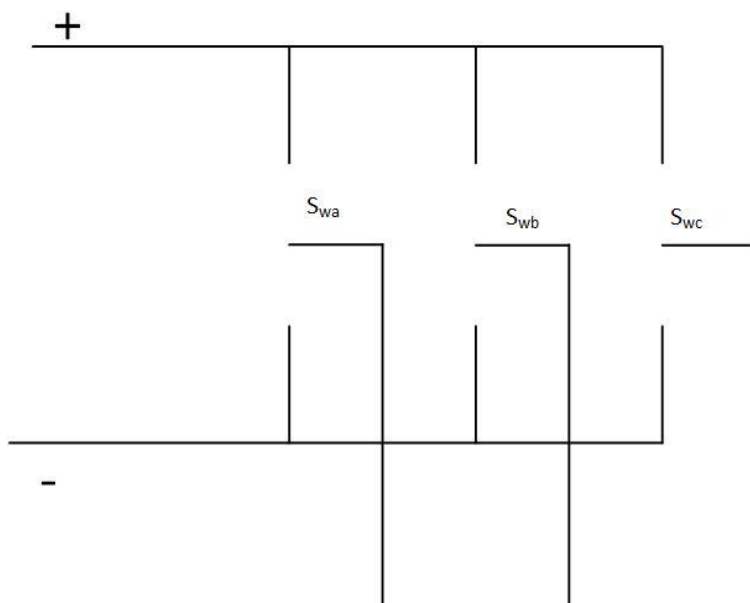
KUVA 24. Invertteri, jossa on kaksi toimintoa jännitteen muuttamiseksi (18)



Sähkökoneiden ohjaamiseen käytettävät invertterit sisältävät tehoelektroniikkaa, joilla säädetään sähkökoneen tehoa. Vaihtosuuntaaja nimitys viittaa laitteiston ominaisuuksiin, muuttaa jännitteen ja virran suuruutta sekä taajuutta. (1, s. 63.)

Perusajatus invertterin toiminnasta on yksinkertainen. Elektronisia kytkimiä ohjataan tietokoneen avulla, kytkimet sulkeutuvat ja avautuvat oikeilla hetkillä. Tällöin kytkimet päästävät akkujännitteen kulkemaan oikealla hetkellä oikeaan ajomoottorin käämiin. Todellisuudessa invertterin toiminta on korkeaa ja monimutkaista tekniikkaa, mutta yksinkertaistettuna invertterin toimintaa on helppo ymmärtää. (1, s. 86; 2, s. 47.)

Kuvan 25 kytkennällä voidaan havainnollistaa vaihtosuuntaajan toimintaa. Kytkennässä  $S_{wa}$ ,  $S_{wb}$  ja  $S_{wc}$  ovat vaihtokytkimiä. Kytkimet voivat olla kytkettynä positiiviseen tai negatiiviseen jännitteen kiskoon. Kytkimiä ohjaamalla positiivisen ja negatiivisen kiskon välillä saadaan muodostettua vaihtojännitettä. Kolmen kytkimen avulla voidaan muodostaa kahdeksan erilaista kytkentäkombinaatiota, joista kuudella syntyy vaihtojännitettä. (1, s. 84.)

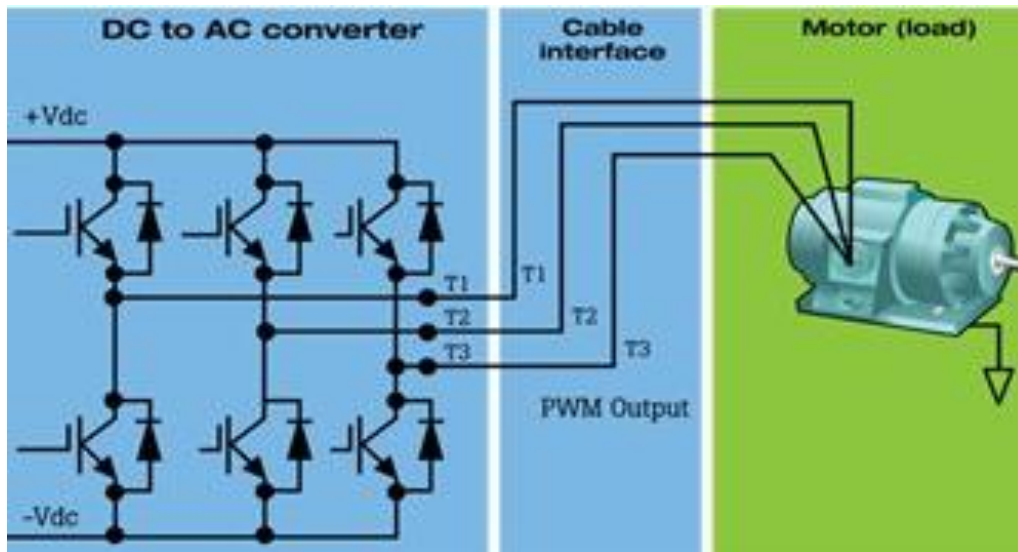


KUVA 25. Invertterin toimintaa havainnollistava kytkentä (1, s. 84)

Yleensä ajoneuvokäytössä oleva invertteri koostuu kuudesta eri puolijohdinkytkimestä. Kuusi puolijohdinkytkintä sisältävällä invertterillä voidaan ohjata vaihtosähkömoottoreita, kuten epätahti- ja tahtisähkömoottoreita, mukaan lukien kestopagnetoidut tahtimoottorit. Puolijohdinkytkiminä



voidaan käytännössä käyttää IGBT-tehotransistoria tai GTO-tyristoria. Kuvassa 26 nähdään IGBT-transistorien kytkentä invertterissä (1, s. 84–86; 17, s. 161.)



KUVA 26. Invertterissä olevien IGBT-transistorien kytkentäkaavio (19)

Inverttereitä ohjataan tietokonepohjaisen ohjelmiston avulla. Perustoiminnot ovat helppo ohjelmoida järjestelmäkohtaiseksi. Väyläliittymän avulla invertteri voidaan liittää ulkopuoliseen järjestelmään. Väyläliittymä toteutetaan väyläkortin avulla, joka sopii ajoneuvovalmistajien käyttämiin väyläprotokolleihin. (1, s. 89.)

Invertteriä voidaan ohjata monella eri tavalla säädettäessä sähkömoottorin pyörintänopeutta halutuksi. Ajoneuvokäytössä sähkömoottorilta vaaditaan hyvin tarkkaa toimintaherkkyttä ja tietoa moottorin pyörimisnopeudesta. Pienilläkin kierroksilla ajoneuvokäytössä sähkömoottorin tulee toimia tarkasti. Tämän vuoksi ajoneuvoissa käytetään vektorisäädettävää invertteriä. Vektorisäätoteoria on erittäin monimutkainen ja vaikea ymmärtää. Se perustuu erilaisiin matemaattisiin malleihin, jotka muodostetaan sähkömoottorista mitattavien parametrien perusteella. (1, s. 89; 17, s. 192.)

Invertterin avulla sähkömoottorin jarrutus voidaan tehdä monella eri tavalla. Yksi tapa on sijoittaa välipiiriin jarruvastus, joka kytketään tarpeen tullen päälle ohjauselektronikalla. Jarruvastukselle menevää virtaa ohjataan jarrukytkimellä, jotka kytketään päälle ja pois jarrutustarpeen mukaan. Jarruvastus muuttaa sähkökoneen pyörimisliikkeen hukkalämmöksi. (1, s. 90.)

Hyötyjarrutus eli regenerointi on parempi vaihtoehto ajoneuvokäytössä. Tällöin energia ei muutu hukkalämmöksi vaan se saadaan varastoitua akustoon. Tällöin vastuskatkojan tilalle tai rinnalle on kytketty ajoneuvon oma akusto. Hyötyjarrutuksen avulla saadaan parannettua ajoneuvon akuston suorituskykyä. (1, s. 90.)

Ajoneuvossa oleva ajomoottori muuttuu generaattoriksi, kun se pyörii nopeammin kuin invertterin syöttämä taajuus edellyttää. Generaattori alkaa tuottamaan sähköenergiaa tasasähkövälipiiriin. Välipiirin kohonnut jännitetaso havaitaan ohjauselektronikan avulla. Ohjauselektronikka ohjaa jännitteen akustoon. Jännite tasasuunnataan invertterissä olevan tasasuuntaajan avulla ennen kuin se johdetaan akustoon. (1, s. 90; 3, s. 381.)

#### **4.1 IGBT-transistori**

Transistori on puolijohdekomponentti. Yksinkertaisesti sanottuna transistoria käytetään kytkimenä ja sillä voidaan ohjata pienellä jännitteellä suurta jännitettä tai pienellä virralla suurta virtaa. (20, s. 93.)

IGTB-transistori on kehitetty suurien tehojen ohjaamiseen. IGBT-transistorin nimi tulee englannin kielen sanoista Insulated Gate Bipolar Transistor. IGBT-transistorissa yhdistyy kaksi eri transistoria, jotka ovat asennettu samaan tehoduuliin. Kyseisiä transistoreita käytetään laitteissa, joissa ohjauksignaalia ei haluta kuormittaa mutta samalla halutaan ohjata suuria tehoja. Signaali voidaan esimerkiksi saada tietokoneelta. (1, s. 73; 21, s. 74.)

Hyviä ominaisuuksia IGTB-transistorissa on matala jännitehäviö ja tehohäviö, kun se johtaa jännitettä. Se kestää suuria jännitteitä ja virtoja, minkä vuoksi IGTB-transistorin avulla voidaan ohjata usean sadan kilowatin moottoreita. Tyypillisesti IGTB-transistorit kestää 400–3000 voltin jännitteitä. IGTB-transistori on helposti ohjattavissa ja sitä voi ohjata suurilla taajuuksilla, esimerkiksi IGTB-transistoria voidaan ohjata huomattavasti suuremmalla taajuudella kuin tyristoria. (1, s. 73; 3, s. 382.)

## 4.2 GTO-tyristori

Tyristorit ovat monikerrospuolijohdekomponentteja. Ne toimivat virtapiireissä kytkiminä, joita ohjataan sähköisesti. Tyristoreilla on tasasuuntausominaisuus diodin tavoin. Käytännön sovellutuksissa tyristoria käytetään yleensä vaihtojännitteen säätämiseen. Tyristorin hyvien ominaisuuksien ansiosta säätö tapahtuu portaattomasti ja hyvin pienellä häviöllä. Sovellusta käytetään monissa eri laitteissa, jotka ovat teholtaan hyvinkin erilaisia sähköveturista aina pieneen huonevalaisimeen. (20, s. 95–96.)

GTO-tyristorin nimitys tulee englannin kielen sanoista Gate Turn-Off. Nimitys viittaa suoraan GTO-tyristorin toimintaperiaatteeseen. Englannin kielen sana Gate tarkoittaa tyristorin puolijohdekerroksessa olevaa välivyöhykettä, hilaa. GTO-tyristori voidaan liipaista jännitettä johtavaksi tai sammuttaa jännitettä johtamattomaksi sen hilalta. Liipaisuun vaaditaan positiivinen virtapulssi ja sammuttamiseen negatiivinen virtapulssi. Muihin tyristoreihin verrattuna GTO-tyristorin liipaisu ja sammutus tapahtuu yksinkertaisemmin. (20, s. 95–96; 21, s. 80–81.)

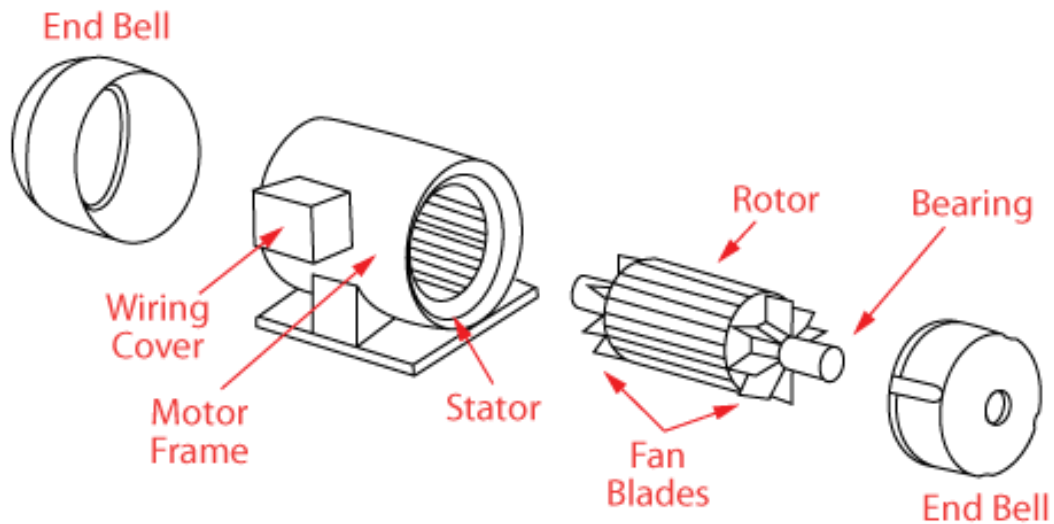
## 5 SÄHKÖAJONEUVOISSA KÄYTETTÄVÄT SÄHKÖKONEET

Sähkömoottorin peruseriaate on yksinkertainen, ja sähkömoottorin toiminta perustuu sähkömagneettisiin ilmiöihin. Aluksi on tilanne, jossa on perusmagneettikenttä, jonka sisällä on vain johdin. Johtimeen kytketään sähkövirta. Tällöin sähkövirran vaikutuksesta johtimen ympärille muodostuu rengasmaisen magneettikenttä. Magneettikentän suunta johtimeen nähden muodostuu fysiikan lakien mukaan, niin sanotun oikeankäden säännön mukaisesti. (20, s. 53–54.)

Johtimen magneettikentän ja peruskentän vaikuttaessa toisiinsa magneettikenttä heikentyy toisella puolella ja vahvistuu toisella puolella. Tihentyvä magneettikenttä työntää johdinta ulos magneettikentästä. Johtimen ollessa täysin vapaana magneettikentässä se työntäisi sieltä pois. (20, s. 53–54.)

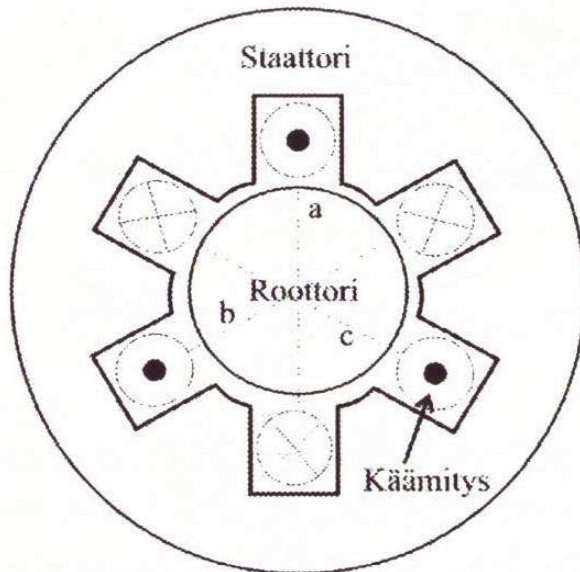
Edellä mainitun yhden johtimen liikkeestä saadaan pyörimisliike aikaiseksi, kun yksi johdin muutetaan sähköä johtavaksi silmukaksi ja sen läpi kulkeva sähkövirran suunta vaihdetaan puolen kierroksen välein. Kun johdin on vaakatasossa, johdin pyrkii pyörähtämään mahdollisimman voimakkaasti magneettikenttien vaikutuksesta. Silmukan pyörähdettyä pystyasentoon magneettikenttien voimavaikutus lakkaa ja pyöriminen loppuu. Jatkuva pyöriminen saadaan aikaiseksi, kun yhden silmukan sijaista käytetään useita silmukoita. Tällöin jokin silmukoista on aina sellaisessa asennossa, jossa magneettikenttien voimat vaikuttavat toisiinsa ja silmukka pyörii jatkuvasti. Tällöin syntyy pyöritysvoimaa eli vääntömomenttia. Peruseriaatteeltaan kaikki sähkömoottorit perustuvat tähän periaatteeseen. (20, s. 53–54.)

Sähkömoottorin pääkomponentit ovat roottori, staattori, staattori käämitys, johtoliitännät ja laakerointi. Roottorin akselin päissä on laakerointi ja puhallin siivikko. Lisäksi sähkömoottorissa voi olla roottorin asentotunnistin ja lämpötila-anturi. Kuvassa 27 on räjäytyskuva yksinkertaisesta sähkömoottorista. Kuvasta nähdään sähkömoottorin pääkomponentit. (22.)



KUVA 27. Sähkömoottorin osat (22)

Vaihtosähkömoottoreita on kahdenlaisia epätahti- ja tahtimoottoreita. Epätahti- ja tahtimoottoreita voidaan myös kutsua kiertokenttäkoneiksi. Kiertokenttäkoneissa staattorikäimityksellä luodaan staattorin ja roottorin väliin pyörivä magneettikenttä. Magneettikenttä saadaan aikaiseksi oikeanlaisella käämirakenteella ja sinne johdettavalla jännitteellä. Kolmivaiheisessa sähkömoottorin staattorissa on kolme käämiä, jotka ympäröivät roottoria. Pyörivän magneettikentän vaikuttaessa roottoriin se lähtee pyörimään. Roottorin pyöriminen riippuu sähkökoneen toimintaperiaatteesta. Epätahti- ja tahtimoottoreilla on erilaiset toimintaperiaatteet, jotka käsitellään seuraavissa kappaleissa. Kuvasta 28 nähdään roottorin paikka staattorin keskellä ja käämien sijoitus staattorin uriin. (23, s. 51–53.)



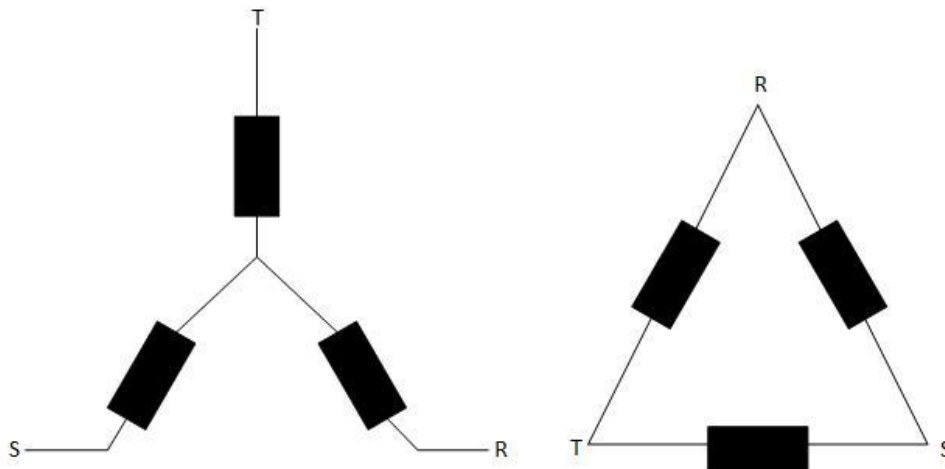
KUVA 28. Roottori paikka staattorin keskellä (23, s. 53)

Vaihtosähkömoottorin toiminta perustuu kolmivaiheiseen vaihtosähköön. Kolmivaiheinen vaihtosähkö johdetaan vaihtosähkömoottorin käämiin jaksoittain kolmen eri vaihejohtimen kautta. Sähkömoottoreissa on kolme käämiä, joihin syötetään sinimuotoista vaihtojännitettä. Sähkömoottorissa olevat käämit ovat 120 asteen päässä toisistaan. Jokaiseen käämiin johdetaan oma vaihtojännite, myös vaihtojännitteiden jaksot ovat toisistaan 120 asteen päässä. Kolmivaihekäämitykseen syötettävä kolmivaiheinen vaihtojännite synnyttää sähkömoottorin staattoriin pyörivän magneettikentän. Sähkömoottoriin syötetään kolmivaiheinen vaihtovirta siten, että jokaisen vaiheen virta ja magnetomotorinen voima ovat samanaikaisia. Kun virta on huipussaan, on myös magnetomotorinen voima huipussaan. (1, s. 43; 3, s. 384.)

Kyseistä kolmesta käämistä koostuvaa rakennetta kutsutaan kaksinapaiseksi. Kolmivaiheinen käämitys voidaan toteuttaa, myös useampi napaiseksi. Staattori voidaan kytkeä tähti- tai kolmiokytkentään. Suurissa sähkömoottoreissa on tähti-kolmiokytkentä. Aluksi moottori on kytketty tähtikytkentään, moottorin pyörimisnopeuden kasvettua kytkentä vaihdetaan kolmiokytkennäksi. (21, s. 237–238; 23, s. 56.)

Tähtikytkennässä kaikkien kolmen vaiheen loppupäät kytketään samaan pisteeseen. Yhteistä pistettä nimitetään nollapisteksi. Tähtikytkennästä saadaan kaksi erisuuruista jännitettä. Kolmiokytkentä on toinen kytkentätapa. Siinä kaikki kolme vaihetta kytketään peräkkäiseksi jonoksi, joka muodostaa kolmion. Sähkö saadaan johdettua ulos vaiheiden liitoskohdista. Tällöin käytössä

ovat vain pääjännitteet. Nollapistettä kytkennässä ei ole. Kuvassa 29 esitetään tähti- ja kolmiokytkennät. Eri vaiheiden kytkentäjohtot osoitetaan kirjaimilla R, S ja T. (21, s. 224–226.)



KUVA 29. Tähti- ja kolmiokytkentä

Staattorirungossa on ohuita toisistaan eristyksissä olevia eristelevyjä. Eristelevyt ovat valmistettu erikoisteräksestä ja ne ovat paksuudeltaan noin 0.5mm. Kyseisellä rakenteella saadaan pienennettyä sähkömoottorissa syntyviä pyörrevirtoja. (21, s. 237.)

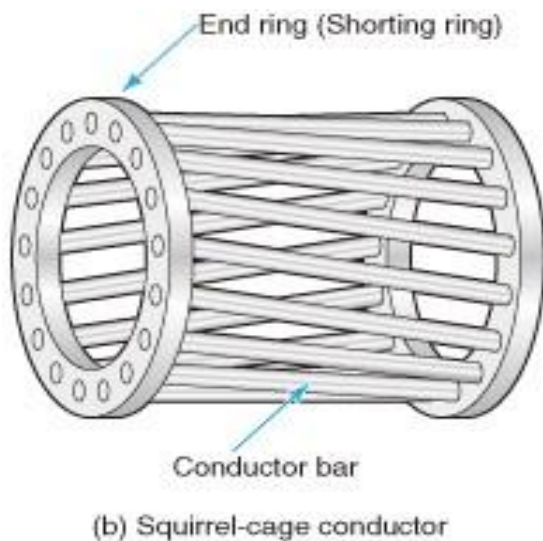
## 5.1 Epätahtimoottori

Täysin suljettu epätahtimoottori on teollisuudessa käytetyin sähkökonetyyppi sen yksinkertaisuuden ja kestävyuden vuoksi. Epätahtimoottori on edullisin sähkökonetyyppi sen rakenteen ja suuren valmistus määrän vuoksi. Epätahtimoottoreita kutsutaan myös induktiokoneeksi ja oikosulkumoottoriksi. Esimerkiksi ajoneuvovalmistaja Telsa käyttää Model-s mallissa sähkömoottorina epätahtikonetta, jonka roottori on valmistettu kuparista. Lisäksi epätahtikonetta voidaan käyttää raskaissa kuormakoneissa kuten dumppereissa. (1, s. 42–51; 10.)

Kolmivaiheisen epätahtimoottorin yleisin käyttötarkoitus on toimia sähkömoottorin moottorina, vaikka se voi toimia myös generaattorina. Epätahtimoottorille tyypillistä on sähkötehon vieminen moottorin pyörivään osaan eli roottoriin sähkömagneettisen induktion avulla. Epätahtisähkömoottorin toimintaa voidaan verrata muuntajan toimintaan. Sähkömoottorin staattori vastaa muuntajan ensiökäämiä ja roottori toisiokäämiä. Kolmivaihejännitteen synnyttämä muuttuvan magneettikentän magneettivuo leikkaa roottorin häkin sauvoja. Tällöin sähkövirtaa indusoituu roottoriin. Indusoitunut virta kulkee roottorin läpi ja aiheuttaa roottorin ympärille magneettikentän. Staattorin

magneettikentän ja roottorin magneettikentän vaikuttaessa toisiinsa syntyy vääntömomenttia, joka pyörittää moottorin akselia. Akselin pyörimissuunta määräytyy pyörivän magneettikentän mukaan. (1, s. 24; 3, s. 384–385; 21, s. 237.)

Epätahtimoottorin roottorissa on usein oikosulkukäämitys ja tästä syystä sitä nimitetään myös oikosulkumoottoriksi. Häkkiä muistuttavan rakenteen vuoksi oikosulkukäämistä kutsutaan myös häkkikäämitykseksi. Kuvasta 30 nähdään roottorin oikosulkukäämityksen rakennetta. Oikosulkukäämityksen runkona on levypaketti, joka on puristettu akselille. Levypaketin päihin yhdistyy sauvoja, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Materiaalina sauvoissa ja levyissä käytetään alumiinia. (1, s. 45–46; 21, s. 237–239.)



KUVA 30. Roottorin häkkiä muistuttava rakenne (24)

Roottori ei voi pyöriä samalla tahdilla kuin staattorin kenttä. Jos roottori olisi samassa tahdissa staattorin kentän kanssa, magneettivuo ei voisi leikata roottorinsauvoja, eikä sähkövirta indusoituisi roottoriin. Tällöin sähkövirran aiheuttamaa magneettikenttää ei olisi eikä roottori pyörisi. Tästä tulee epätahtimoottorin nimitys. Roottorin pyörimisnopeuden eroa staattorinkenttään kutsutaan jättämäksi. Jättämän suurus on pieni, noin prosentin luokkaa. (21, s. 239.)

## 5.2 Tahtimoottori

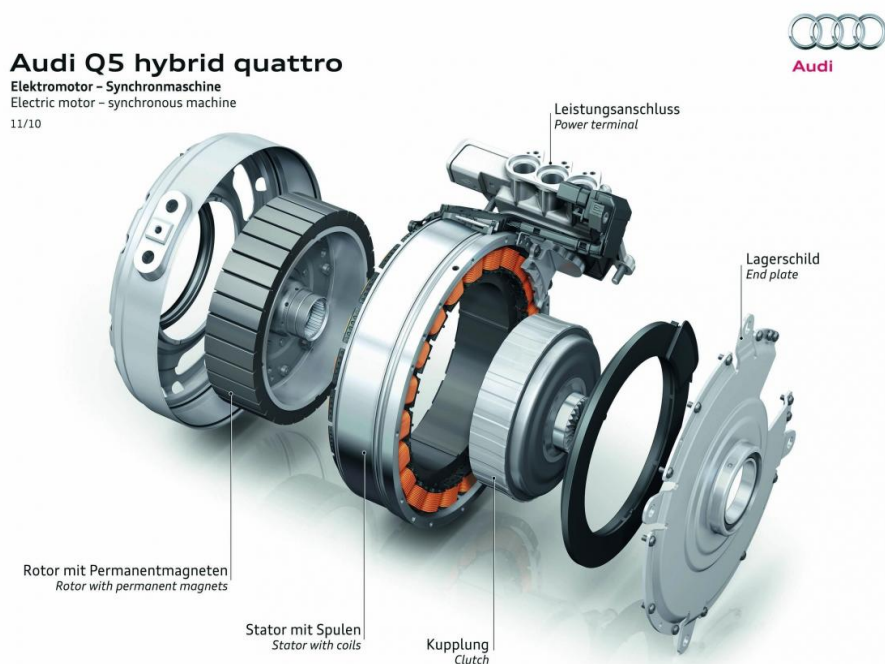
Epätahtimoottorien lisäksi on tahtimoottoreita. Tahti- ja epätahtimoottoreissa on samankaltainen staattori. Moottorien rakenteellinen ero tulee roottorista. Tahtimoottoreita on vierasmagnetoituja sekä kestmagnetoituja moottoreita. Vierasmagnetoitussa koneessa roottori magnetoidaan tasa-



jännitteen avulla ja kestopagneettikoneen roottorissa on valmiiksi magneettisia kestopagneetteja. Rakenteensa vuoksi roottori pyörii staattorin magneettikentän kanssa samassa tahdissa, koska roottorin magneettikenttä ei ole riippuvainen staattorikentän aiheuttamasta induktioista. (1, s. 52–56; 3, s. 384–386.)

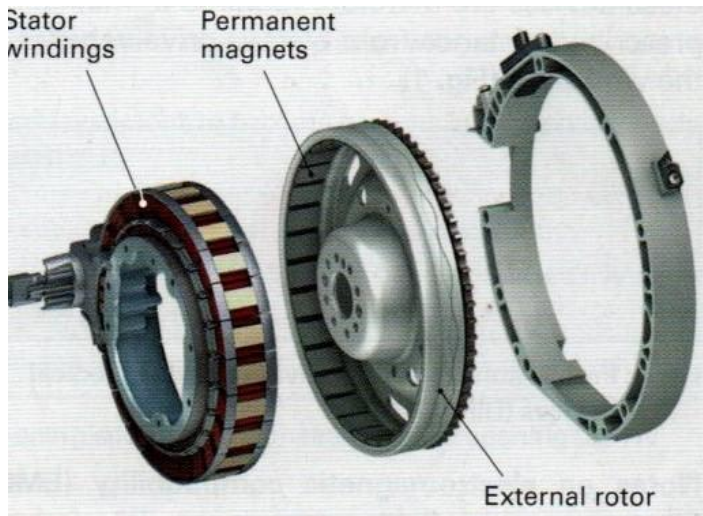
Kestomagneetoitu tahtimoottori on yleisimmin sähköajoneuvoissa käytetty moottorityyppi. Useat ajoneuvovalmistajat käyttävät hybridi- ja täyssähköajoneuvoissa kestopagneetoitua moottoria ajoneuvon liikuttamiseen. Vierasmagneetoitu tahtikone toimii yleensä generaattorina ja nykyautoissakin se toimii latausgeneraattorina. Moottorina vierasmagneetoitua konetta käytetään, kun tarvitaan erittäin suurta tehoa. Suurissakin työkoneissa vierasmagneetoitua tahtikonetta käytetään ulkoiseen voimanlähteeseen kytkettynä generaattorina. (1, s. 52; 6, s. 724)

Kuten edellä mainittiin, kestopagneettikoneen roottorissa on kestopagneetteja. Kestomagneettikoneen suurena etuna epätahtikoneeseen verrattuna on suurempi vääntömomentti ja parempi hyötysuhde. Roottorin rakenne vaikuttaa suuresti koneen ominaisuuksiin. Kestomagneetit voidaan sijoittaa roottorin ulkopuolelle tai sisäpuolelle. Kun kestopagneetit ovat sijoitettu roottorin ulkopuolelle, roottori pyörii epätahtikoneen roottorin tapaan staattorin sisäpuolella. Kuvasta 31 nähdään, että staattori ympäröi roottoria ja roottori pääsee pyörimään sen sisällä. (3, s. 385.)



KUVA 31. Audin käyttämä vierasmagneetoitu tahtikone (25)

Kuvasta 32 nähdään, että kestopagneetit voidaan sijoittaa myös roottorin sisäkehälle. Tällöin staattori tulee roottorin sisälle ja roottori pyörii staattorin ulkokehällä. (3, s. 385.)



KUVA 32. Kestomagneettisähkömoottori, jossa kestopagneetit ovat roottorin sisällä (3, s. 385)

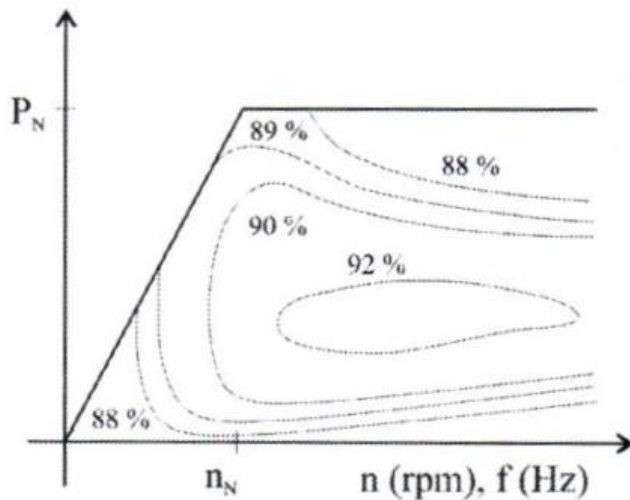
Staattori koostuu kestopagneettitahtikoneessa levypaketista, joka on valmistettu dynamolevyistä. Kolmivaiheista staattorikäymistä varten staattorin levypaketissa on urat. Verrattuna epätahtikoneen staattoriin kestopagneettitahtikoneen staattori on rakenteeltaan ja valmistustekniikaltaan hyvin samankaltainen. (23, s. 112.)

Kestomagneettikoneen pyöriessä kestopagneetit ovat synnyttäneet magneettikentän roottorin ympärille. Pyörivä magneettikenttä luodaan staattorin käämeissä kolmivaihejännitteen avulla. Tällöin roottorin ja staattorin samanmerkkiset magneettikentät vetävät toisiaan puoleensa ja vastakkaiset magneettikentät hylkivät toisiaan. Samaan aikaan moottoriin alkaa syntymään vääntömomenttia. Vääntömomentin suuruus riippuu staattoreihin syötettävän virran suuruudesta. Moottorin pyörintäsuunta määräytyy pyörivän magneettikentän mukaan. Pyörivä magneettikenttä ja roottorin magneettikenttä pyörivät samassa tahdissa koko ajan. Tästä tulee kestopagneettitahtikoneen nimitys. (3, s. 385–386)

Kestomagneettikoneetta ja epätahtikoneetta verrattaessa toisiinsa löytyy molemmista hyviä ja huonoja puolia. Kestomagneettikoneella on parempi hyötysuhde kuin epätahtikoneella. Epätahtimoottorissa esiintyvää jättämää ei ole kestopagneettikoneessa. Roottorin pyörintänopeus on sama kuin kolmivaiheisen vaihtojännitteen taajuus. Ylikuumentumisriski on pienempi kuin epätahtikoneessa. Kestomagneettikoneen roottoriin ei indusoidu suurta jännitettä, jonka vuoksi kone voisi

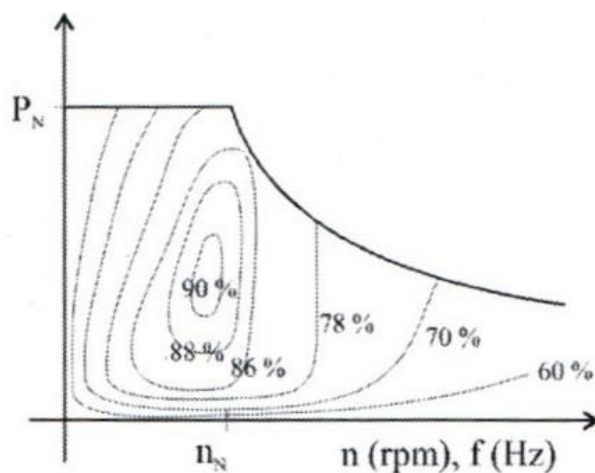
ylikuumentua. Huonona puolena kestomagneettikoneen kestomagneetit ovat valmistettu harvinaisista magneettisista aineista, kuten neodyymistä ja dysprosiumista. (3, s. 385–386.)

Kuvassa 33 on kestomagneettitahtikoneen hyötysuhdekuvaaja. Kuvasta tulee hyvin näkyviin kestomagneettikoneen erinomainen hyötysuhde. Kestomagneettikoneella on laaja 92 prosentin hyötysuhde moottorin käyttöalueen keskellä.



KUVA 33. Kestomagneettimoottorin hyötysuhde (1, s. 59)

Kuvassa 34 on epätahtikoneen hyötysuhdekuvaaja. Epätahtikoneen paras hyötysuhde jää 90 prosenttiin ja se saavutetaan kapeammalla käyttöalueella kuin kestomagneettikoneella. Lisäksi epätahtikoneen hyötysuhde pienenee huomattavasti moottorin kierroksien kasvaessa.

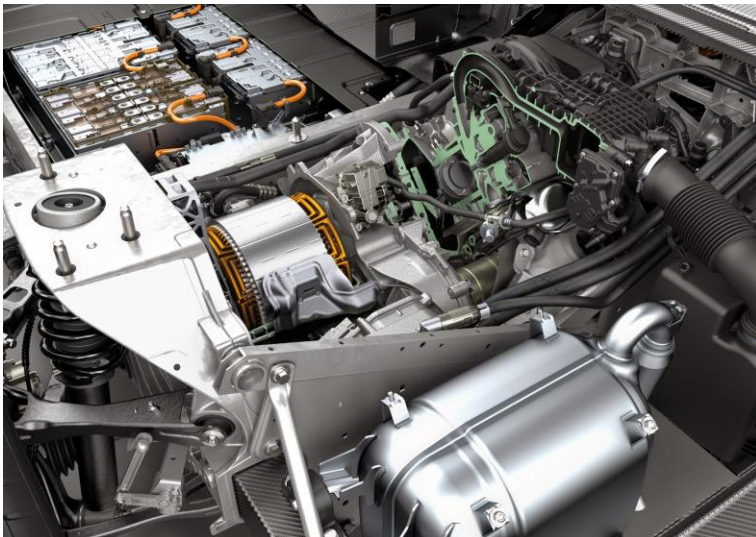


KUVA 34. Epätahtimoottorin tyypillinen hyötysuhde (1, s. 50)

### 5.3 Range extender

Range extender -ajoneuvot ovat täyssähköajoneuvoja, vaikka teknisesti ne ovat sarjahybridejä. Range extender tarkoittaa ajomatkan pidennintä, kun sähköajoneuvon akun varauksen taso laskee alhaiseksi tai kuljettajan ohjauksesta polttomoottori käynnistyy. Polttomoottori pyörittää sarjahybridin tavoin generaattoria ja generaattori tuottaa sähköä. (2, s. 44.)

BMW i3 rex -ajoneuvossa polttomoottorina toimii pieni kaksisylinterinen bensiinimoottori, joka pyörittää generaattoria tarvittaessa. Range extender kasvattaa BMW i3 -ajoneuvon toimintasäteen 160 kilometristä jopa 300 kilometriin. Kuvasta 35 nähdään, että BMW i3 -ajoneuvossa polttomoottori on sijoitettu taka-akselilla sähkömoottorin viereen. (15.)



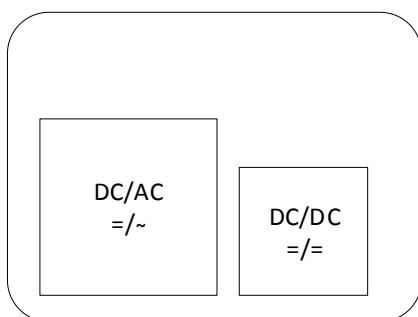
KUVA 35. BMW i3 -ajoneuvon sähkömoottori ja range extender (26)

## 6 OPPIMISTEHTÄVÄT SÄHKÖAJONEUVOJEN VOIMANSIIRROSTA

Opinnäytetyötä on tarkoitus käyttää autoalan opetuksessa, jonka vuoksi opinnäytetyö sisältää oppimistehtäviä. Tehtävät on suunnattu ammattikouluopiskelijoille. Oppimistehtäviä voidaan käyttää oppilaan oppimisen tueksi ja arvionniksi. Tehtävät kannattaa tehdä opettajan ohjauksella. Opiskelijoiden tehdessä oppimistehtävät itsenäisesti pitää opettajan varmistaa, että kaikki opiskelijat ovat ymmärtäneet tehtävien tarkoituksen oikein. Oppimistehtävät on hyvä tarkastaa yhdessä opettajan kanssa. Tällöin tehtävät tulevat oikein tehtyä ja tarkastus täydentää kohdat, joita opiskelija ei ole osannut.

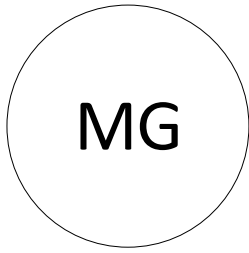
Oppimistehtävien tavoite on, että opiskelija muodostaa kuvien avulla hybridi- ja täyssähköajoneuvojen sähköisenoimansiirron. Tehtävän voi tehdä tämän luvun ohjeiden mukaisesti tai liitteistä voi tulostaa valmiin tehtäväpohjan. Jos tehtävät suoritetaan tämän luvun avulla, tarvitaan tehtävien suorittamiseksi muistiinpanovälineet. Otettaessa tehtäväpohjaliite käyttöön, täytyy lukea tämä luku huolellisesti läpi tehtävien tarkoituksen ymmärtämiseksi.

Aluksi tehtävät liittyvät sähköajoneuvojen voimansiirron pääkomponentteihin. Tehtävän suorittaja piirtää, nimeää ja kertoo paperille kuvissa 36–40 olevat komponentit mallikuvaa apuna käyttäen. Kuvassa 36 on esitetty kaaviokuvana eräs sähköisenoimansiirron pääkomponentti, tehtävän suorittajalle vinkkinä on aiemmassa luvussa oleva kuva 24.



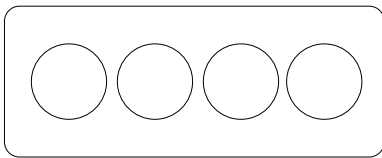
KUVA 36. Nimeämätön komponentti

Kuvassa 37 on sähköajoneuvon liikumisen kannalta tärkein komponentti. Komponentti on esitetty kaaviokuvana ja sitä ei ole nimetty tehtävän vastauksen paljastamiseksi. Vinkkinä tekijälle on aiemmassa luvussa ollut kuva 31.



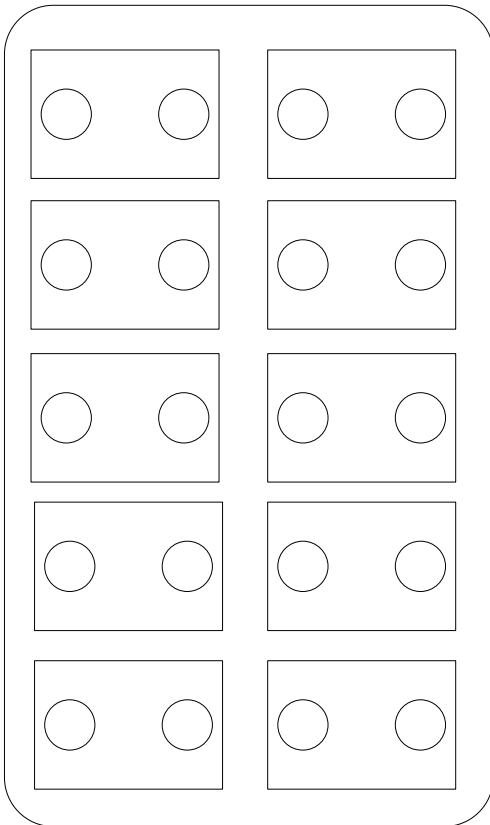
*KUVA 37. Erästä sähköisen voimansiirron komponenttia esittävä kaaviokuva*

Kuvassa 38 on esitetty kaaviokuvana vain hybridiajoneuvoissa oleva komponentti. Sitä ei ole täyssähköajoneuvoissa laisinkaan.



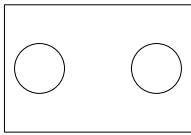
*KUVA 38. Nimeämätön komponentti*

Kuvassa 39 on suurin yksittäinen sähköisen voimansiirron komponentti. Komponentin koko ja teho vaihtelee sähköajoneuvon tyyppin mukaan. Vinkkinä on aiemassa luvussa oleva kuva 19.



*KUVA 39. Suurin yksittäinen sähköisen voimansiirron komponentti*

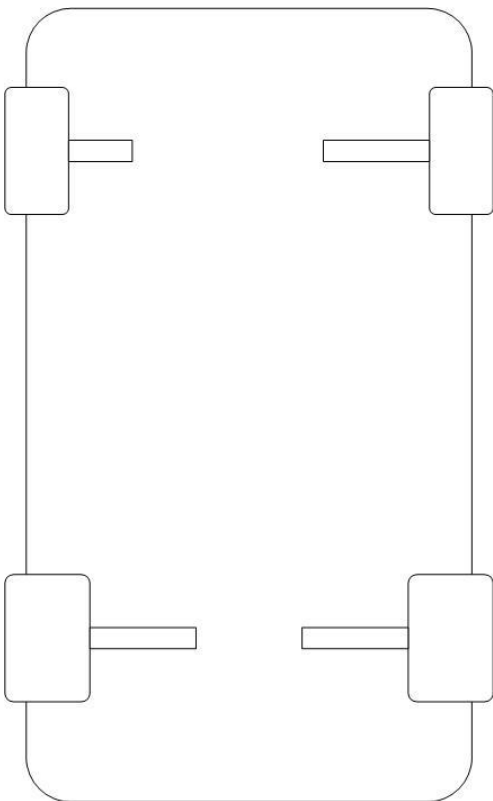
Kuvassa 40 on kaaviokuva, joka esittää myös tavallisessa polttomoottorikäyttöisessä ajoneuvossa olevaa komponenttia. Sitä käytetään sähköajoneuvojen apusähköjärjestelmässä.



KUVA 40. Nimeämätön komponentti

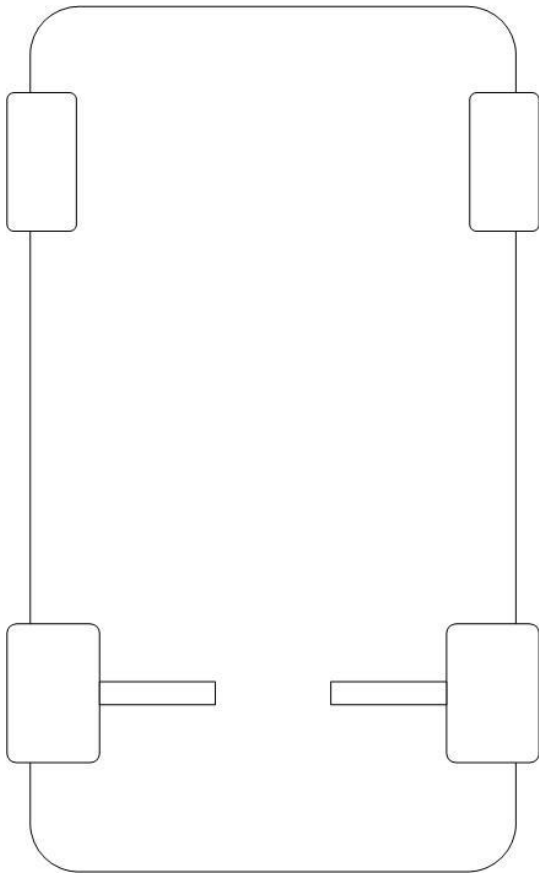
Kun tehtävän suorittaja on tunnistanut ja osannut kertoa edellä kuvatut sähköisen voimansiirron pääkomponentit, voi siirtyä seuraavaan tehtävään. Toisessa tehtävässä on tarkoitus muodostaa aiemmin paperille piirrettyjen komponenttien avulla kolmen eri sähköajoneuvon rakennetta kuvaava kaaviokuva.

Kuvassa 41 on ajoneuvoa muistuttava kaaviokuva. Tehtävän tekijän tulee muodostaa mallikuvan avulla sarja- ja rinnakkaishybridi, jossa on polttomoottori etuakselilla ja sähkömoottori taka-akselilla. Ideana on lisätä piirtämällä ajoneuvon pohjakuvaan edellisissä tehtävissä olleet sähköisen voimansiirron pääkomponentit ja piirtää sähköjohtimet pääkomponenttien välille. Tehtävän tekijän tulee myös kertoa kyseisen ajoneuvon toimintaperiaate.



KUVA 41. Ajoneuvon pohjakuva

Tehtävän toisessa osassa tekijän tulee muodostaa edellisen tehtävän tavoin täyssähköajoneuvon voimansiirron komponentteja hyödyntäen ja kuvan 41 mallipohjaa apuna käyttäen.



KUVA 28. Täyssähköajoneuvon pohjakuva



## 7 LOPPUSANAT

Työn tarkoituksena luotiin opetusmateriaali, joka käsittelee sähköajoneuvojen voimansiirron rakennetta ja toimintaa. Työ tehtiin yhteistyössä Oulun seudun ammattiopiston Haukiputaan yksikön auto-osaston kanssa. Opinnäytetyössä käsiteltiin sähköajoneuvojen sähköisen voimansiirron pääkomponentit mahdollisimman laajasti ja ymmärrettävästi. Lisäksi opinnäytetyötä on tarkoitus käyttää autoalan opetuksessa.

Tuloksena opinnäytetyössä on laaja suomenkielinen opetusmateriaali sähköajoneuvojen voimansiirrosta. Työssä olevat oppimistehtävät auttavat aiheen oppimista ja ymmärtämistä. Haasteena opinnäytetyössä oli asian käsitteleminen mahdollisimman selkeästi ja ymmärrettävästi ammattikouluopiskelijoiden tarpeita huomioiden.

Työn aiheita voidaan kehittää ja viedä eteenpäin monella tavalla. Erityisopiskelijan tarpeita huomioiden työstä voisi tehdä yksinkertaistetun version nykyisen työn rinnalle. Toisaalta ohjaava opettaja voi halutessaan rajata ja kertoa opiskelijoille, mitä opinnäytetyöstä kannattaa lukea huomioiden opiskelijan taitotason ja aiemmin opitut asiat. Oppimistehtävien lisäksi opettaja voi tehdä oppilaitoskohtaisesti Moodle-tehtäviä opinnäytetyöstä opiskelijoiden osaamisen arvioinnin tueksi. Lisäksi sähköajoneuvojen vianetsinnästä ja komponenttien sähköisentoiminnan mittaamisesta voisi koota materiaalin tämän opinnäytetyön jatkoksi.

Nykyisen kiihtyvän sähköajoneuvojen kehityksen vuoksi opinnäytetyön tietoja täytyy päivittää parin vuoden välein varsinkin sähköajoneuvojen alati kehittyvän akkuteknologian takia. Lisäksi jokaisella ajoneuvovalmistajalla on oma näkemyksensä ja tapansa toteuttaa sähköinen voimansiirto, minkä vuoksi opinnäytetyössä ei välttämättä ole kerrottu tietyn ajoneuvon ja mallin sähköisenvoimansiirron toiminnasta. Soveltamalla opinnäytetyön käsittelemiä asioita pitäisi ymmärtää jokaisen sähköajoneuvon voimansiirron toimintaperiaate. Tällä hetkellä opinnäytetyö tarjoaa nykyaikaisen ja ajan tasalla olevan opetusmateriaalin sähköajoneuvojen voimansiirron rakenteesta ja toiminnasta.

## LÄHTEET

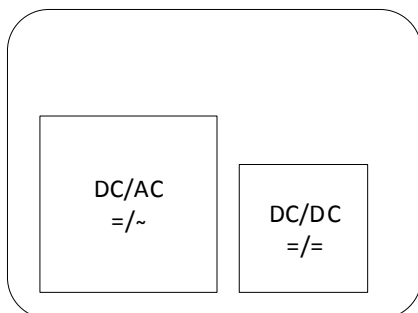
1. Hietalahti, Kari 2011. Sähkökäyttö- ja hybriditeknikka. Tampere: AMK-kustannus Oy Tammertekniikka.
2. Linja-aho, Vesa 2012. Sähkö- ja hybridiajoneuvojen sähköturvallisuus. Saarijärvi: Autoalan Koulutuskeskus Oy.
3. Fisher, Richard – Gscheidle, Rolf – Gscheindle, Tobias – Heider, Uwe – Hohmann, Berhold – van Huet, Achim – Keil, Wolfgang – Lohuis, Rainer – Mann, Jochen – Schlögl, Bernd – Wimmer, Alois – Wormer, Günter 2014. Modern Automotive Technology. 2., uudistettu painos. Haan-Gruiten: Verlag EUROPE-Lehrmittel.
4. Ehsani, Mehrdad – Gao, Yimin – Gay, Sebastien E. – Emadi, Ali 2005. Modern Electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles Fundamentals, theory, and design. Florida: Newnes.
5. Bosch Auto Parts. Robert Bosch Kft.  
Saatavissa: [https://hu.bosch-automotive.com/en\\_GB/parts\\_and\\_accessories/motor\\_and\\_systems/hybrid\\_systems/awards\\_hybrid\\_motor\\_sys\\_parts/awards\\_hybrid\\_motorsys\\_parts\\_1](https://hu.bosch-automotive.com/en_GB/parts_and_accessories/motor_and_systems/hybrid_systems/awards_hybrid_motor_sys_parts/awards_hybrid_motorsys_parts_1) Hakupäivä: 8.10.2018.
6. Automotive handbook 9<sup>th</sup> edition. 2014. Germany Robert Bosch GmbH.
7. Hybrid System. 2017. Siemens industry. INC. Saatavissa: <https://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/hybrid-drives/automotive/Pages/hybrid-systems.aspx>. Hakupäivä: 22.9.2018.
8. Bosch Axle Split Hybrid Drive Honoured with Automechanika Innovation Award. 2012. Bosch Media Service. Robert Bosch GmbH. Saatavissa <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-axle-split-hybrid-drive-honoured-with-automechanika-innovation-award-41938.html>. Hakupäivä: 2.11.2018.

9. Volkswagen e-GOLF. 2018. Caricos.com. Saatavissa: [https://www.caricos.com/cars/v/vw/2015\\_volkswagen\\_e-golf/images/69.html](https://www.caricos.com/cars/v/vw/2015_volkswagen_e-golf/images/69.html). Hakupäivä: 30.11.2018
10. Model S Specification. 2018. Tesla. Saatavissa: <https://www.tesla.com/support/model-s-specifications>. Hakupäivä: 2.11.2018.
11. e-powertrain. Nissan Global. Saatavissa: [https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e\\_powertrain.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html). Hakupäivä: 25.9.2018.
12. Nissan Leaf HINNAT JA VARUSTETASOT. 2018. Nissan. Saatavissa: <https://www.nissan.fi/ajoneuvot/henkilautot/leaf/hinnat.html#grade-LEAFZE1A-0>. Hakupäivä: 25.9.2018.
13. Toyota Mirai Technology. LONGO TOYOTA. Saatavissa: <https://www.longotoyota.com/toyota-mirai/hydrogen-vehicle-technology.htm>. Hakupäivä: 15.11.2018
14. How Fuel Cells Work. 2018 Fueleconomy. Saatavissa: [https://www.fueleconomy.gov/feg/fcv\\_PEM.shtml](https://www.fueleconomy.gov/feg/fcv_PEM.shtml). Hakupäivä: 10.11.2018.
15. BMW i3. BMW. Saatavissa: [http://www.bmw.com/kh/asia/en/newvehicles/i/i3/2015/showroom/drive\\_technology.html](http://www.bmw.com/kh/asia/en/newvehicles/i/i3/2015/showroom/drive_technology.html) Hakupäivä: 14.9.2018.
16. Dhameja, Sandeep 2002. Electric vehicle battery system. Kustannuspaikka: Newnes.
17. Husain, Iqbal 2003. Electric and Hybrid vehiclesdesing fundamantals. Florida: CRC press.
18. Power electronics. 2018. Bosch mobility solutions. Robert Bosch GmbH. Saatavissa: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/high-voltage-hybrid-systems/power-electronics/> hakupäivä: 3.9.2018.

19. How to measure output voltage from a VFD to a motor. 2012. Fluke Corporation. Saatavissa: <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/motors-drives-pumps-compressors/how-to-measure-output-voltage-from-a-vfd-to-a-motor> Hakupäivä: 12.11.2018.
20. Koivista, Juha-pekka – Mikkolainen, Pekka – Rantala, Jouko 2012. Autotekniikka 5 Autosähkötekniikan perusteet. Helsinki: Otava.
21. Juhala, Matti – Lehtinen Arto – Suominen, Matti – Tammi, Kari 2015. Moottorialan sähköoppi. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
22. AC Motors. ISC Companies. Saatavissa: <https://isccompanies.com/parts-distribution/motors/ac-motors/>. Hakupäivä: 10.10.2018.
23. Hietalahti, Kari 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: AMK-kustannus Oy Tammertekniikka.
24. Takashi, Kenjo. Basic Motor Information. Rotation Principle Of Induction Motor. 2014. Nidec Corporation. Saatavissa: <https://www.nidec.com/en-NA/technology/motor/basic/00026/>. Hakupäivä 2.11.2018.
25. Electric motors. Audi Technology portal. Audi AG. Saatavissa: <https://www.audi-technology-portal.de/en/mobility-for-the-future/technology-modules/electric-motors>. Hakupäivä: 11.11.2018.
26. Tom Molooughey. BMW i3 BEV vs REx: Your purchase Matters. 2014. The BMW i3. Saatavissa: <http://bmwi3.blogspot.com/2014/05/bmw-i3-bev-vs-rex-your-purchase-matters.html> Hakupäivä: 4.10.2018

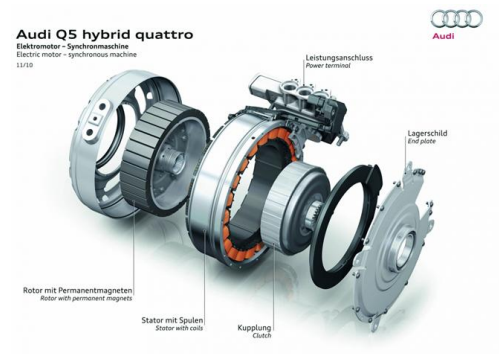
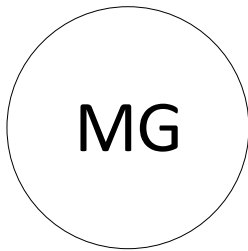
## OPPIMISTEHTÄVÄPOHJA

- A) Sähköajoneuvojen sähköisessä voimansiirrossa käytettävät komponentit. Nimeä komponentti ja kerro sen tarkoitus sähköisessä voimansiirrossa.



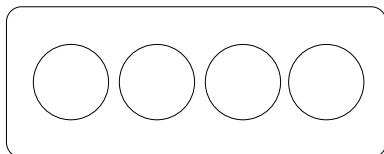
KUVA 24. (18)

1.

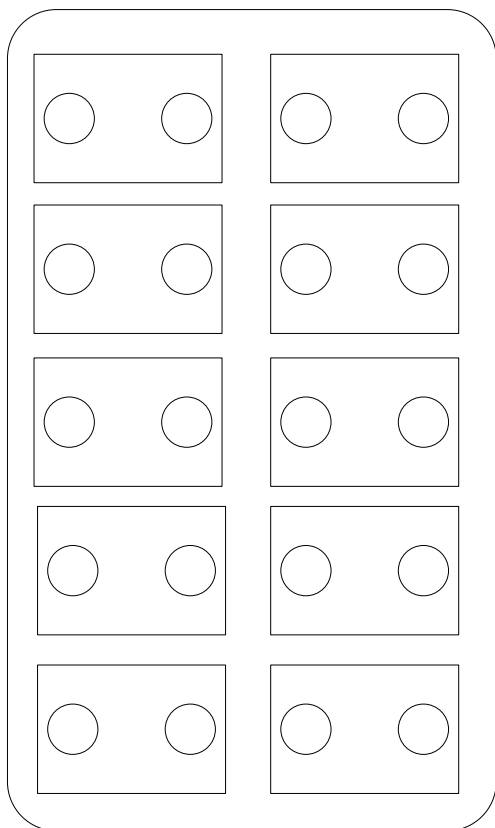


KUVA 31. (25)

2.

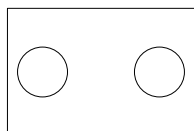


3.



KUVA 19 (15)

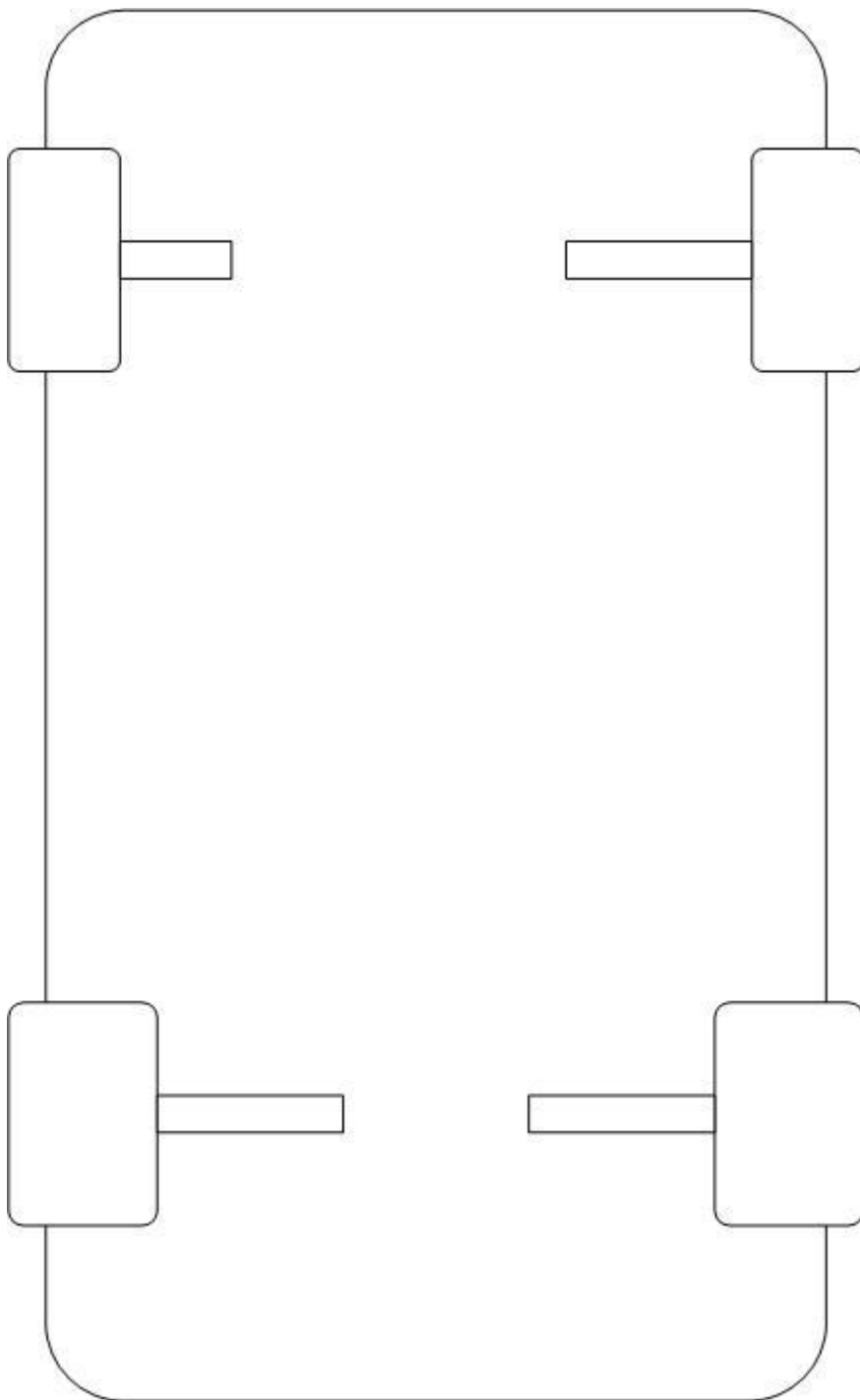
4.



5.

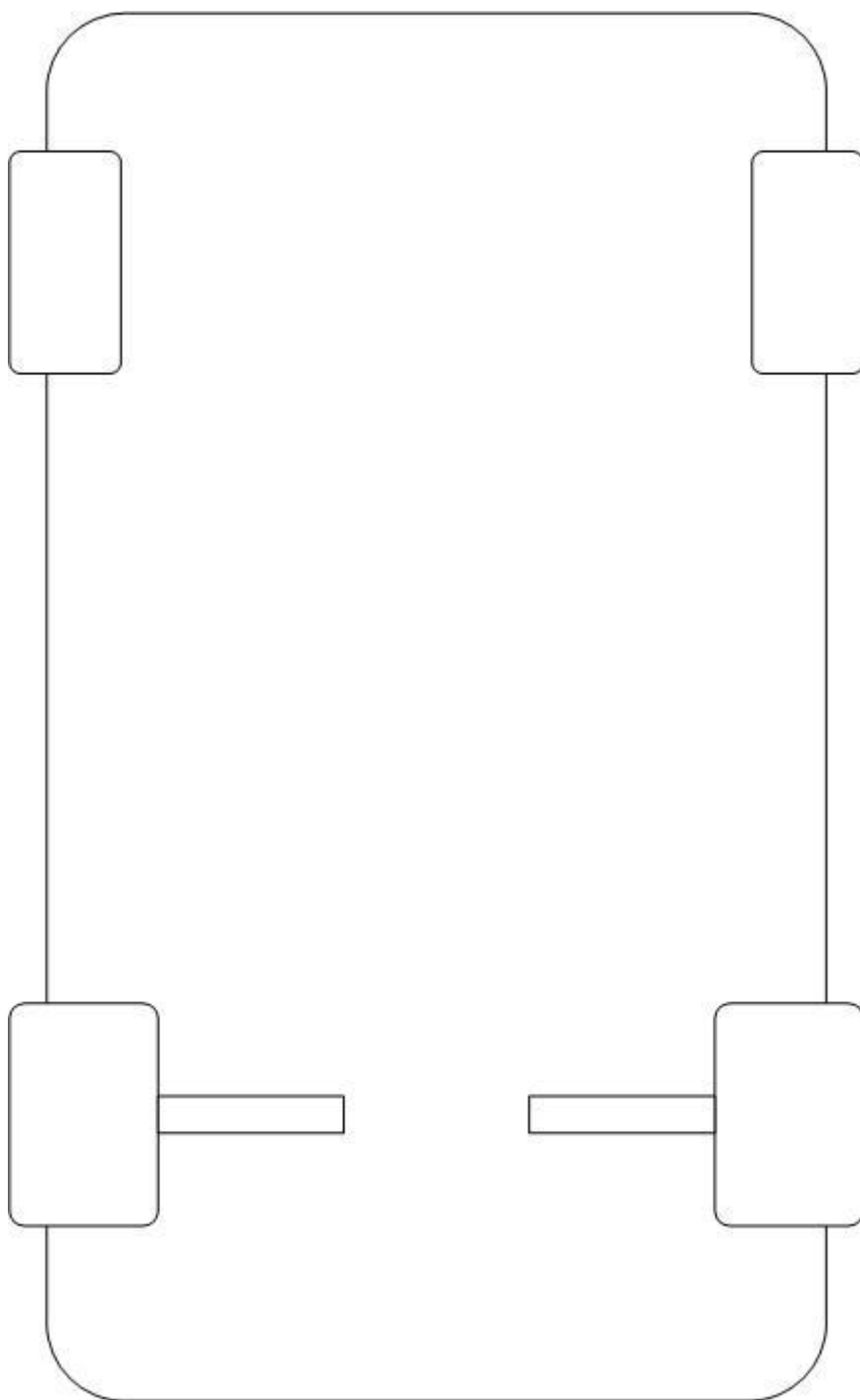
Vinkki: Käytetään apusähköjärjestelmässä.

B) Muodosta komponentteja hyödyntäen sarjahybridi ja rinnakkaishybridi, jossa on polttomoottori ja sähkömoottori eri aksleilla.



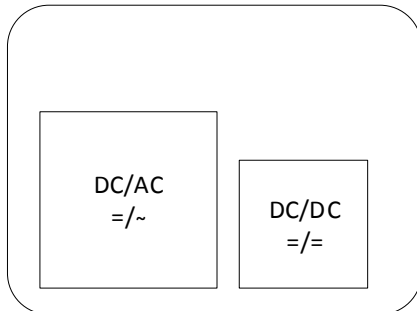


C) Muodosta edellisen tehtävän tavoin täyssähköajoneuvon voimasiirto komponentteja hyödyntäen.



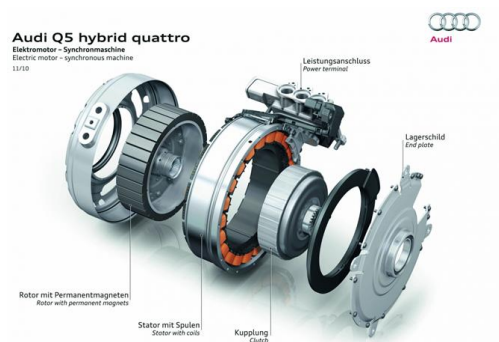
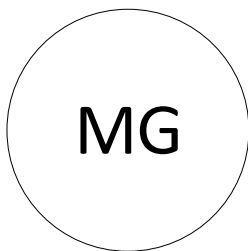
## ESIMERKKIVASTAUKSET OPPIMISTEHTÄVIIN

- A) Sähköajoneuvojen sähköisessä voimansiirrossa käytettävät komponentti. Nimeä komponentti ja kerro sen tarkoitus sähköisessä voimansiirrossa.



Kuva 24 (18.)

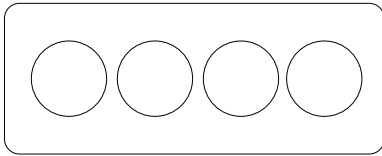
1. Komponentti on invertteri. Se muuntaa akustolta tulevan tasajännitteen sähkömoottorille sopivaksi kolmivaihejännitteeksi. Samalla invertteri ohjaa sähkömoottoria kuljettajan antamien komentojen mukaan. Invertterissä on tasajännitesuuntaaja (DC/DC), joka alentaa suurjännitteen 12 voltiseksi apusähköjärjestelmää varten.



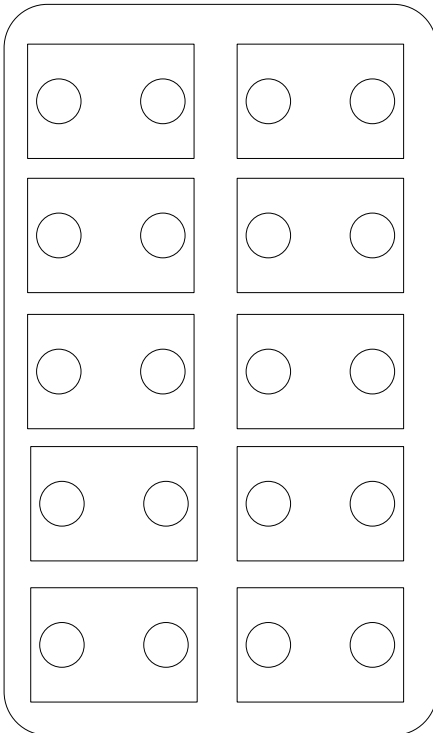
Kuva 31 (25.)

2. Sähkömoottori ja generaattori. Ajoneuvon rakenteesta riippuen ajoneuvossa voi olla useampia sähkökoneita. Sähkökone voi toimia sähkömoottorina tai generaattorina. Sähkömoottoria käytetään täyssähköajoneuvoissa ajoneuvon liikuttamiseen, ja hybridiajoneuvoissa sillä autetaan polttomoottoria tai liikutetaan ajoneuvoa pelkän sähköän avulla. Sähkömoottori muuttuu

generaattoriksi regenerointia varten eli jarrutusenergian talteenottoa varten. Sähköajoneuvoissa voi olla sähkökone, joka toimii vain generaattorina, jota polttomoottori pyörittää. Generaattori tuottaa sähköä ajoneuvon suurjännitejärjestelmään. Tyypillisesti sähköajoneuvoissa käytetään kestmagnetoitua sähkömoottoria.

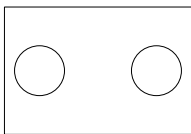


3. Polttomoottori. Polttomoottorina voi toimia bensiini- tai dieselkäyttöinen polttomoottori. Hybridi-ajoneuvoissa polttomoottori liikuttaa ajoneuvoa tai pyörittää generaattoria riippuen hybridi-ajoneuvon rakenteesta. Hybridi-ajoneuvoissa polttomoottorin heikkouksia pyritään parantamaan sähkömoottorin avulla.



Kuva 19 (15.)

4. Suurjänniteakusto. Sähköinen energia varastoidaan suurjänniteakustoon. Tyypillisesti ajoneuvoissa käytetään nikkelimetallihydridiakkua tai litiumioniakkua. Täyssähkö ja plug-in-hybrideissä suurjännite akustoa ladataan ulkoisen pistokkeen kautta sähköverkosta.

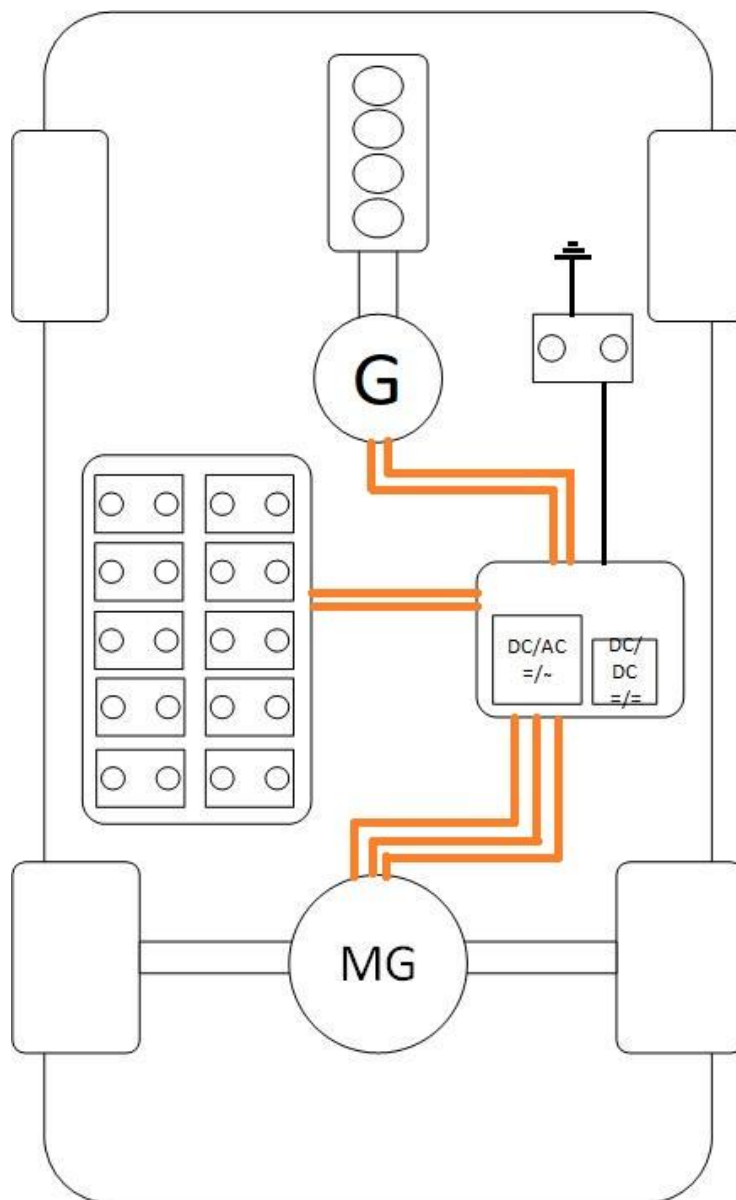


Vinkki: Käytetään apusähköjärjestelmässä.

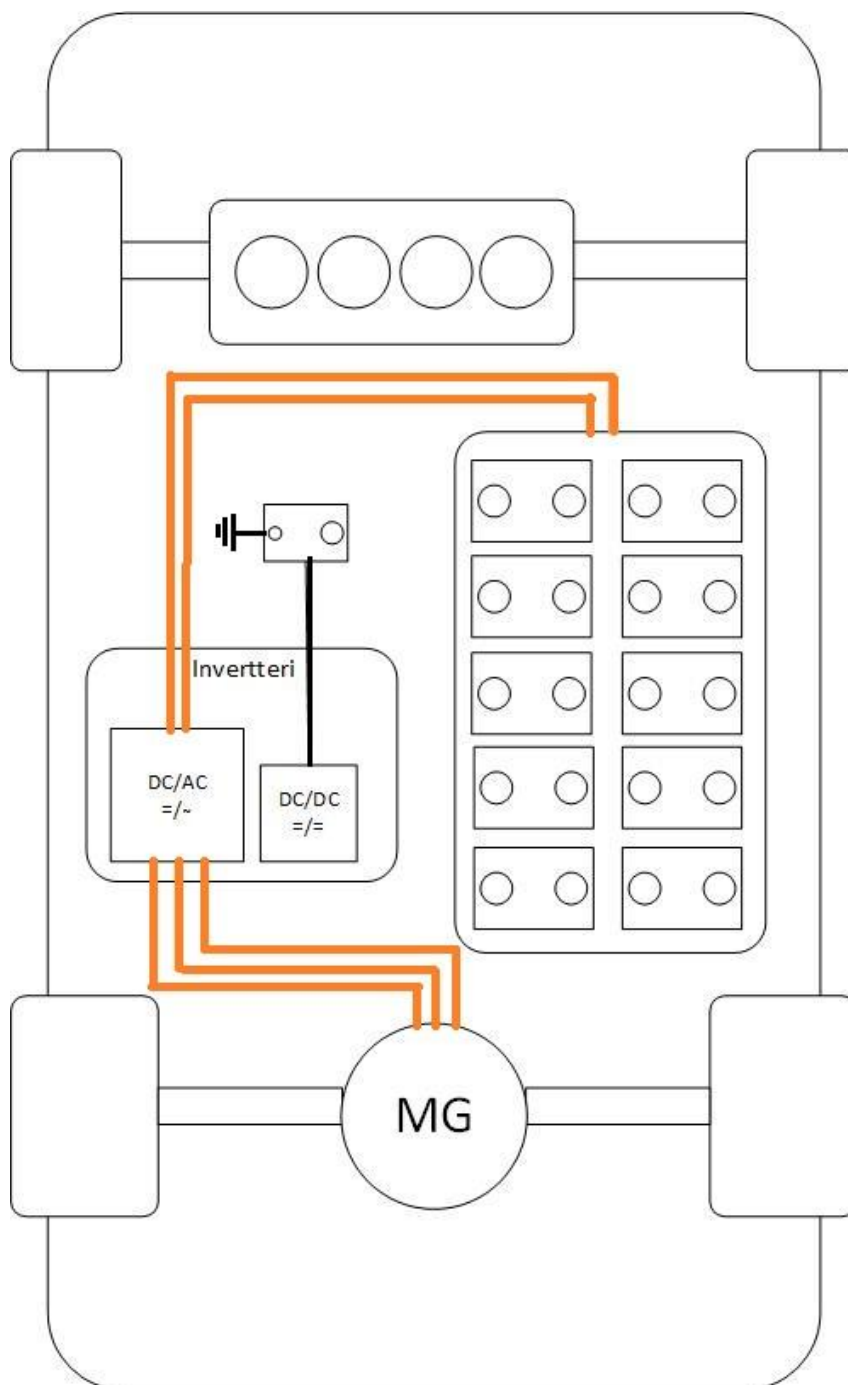
5. Perinteinen 12-volttinen akku, jota käytetään sähköajoneuvoissa apusähköjärjestelmässä.

B) Muodosta komponentteja hyödyntäen sarjahybridi ja rinnakkaishybridi, jossa on polttomoottori ja sähkömoottori eri akselleilla.

a) Sarjahybridi



- a) Rinnakkaishybridi, jossa on polttomoottori ja sähkömoottori eri akselleilla



C) Muodosta edellisen tehtävän tavoin täyssähköajoneuvon voimasiiro komponentteja hyödyntäen.

