

Aki Oksala

Sähköauton induktiivinen lataaminen rekisterikilven läpi käyttäen Kostalin induktiivista laturia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

15.5.2015

Tekijä Otsikko	Aki Oksala Sähköauton induktiivinen lataus rekisterikilven läpi käyttäen Kostalin induktiivista laturia
Sivumäärä Aika	20 sivua + 1 liite 15.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Jukka Karppinen Projekti-insinööri Ville Eskelinen
<p>Tämä insinööri työ on tehty osana Metropolia Ammattikorkeakoulun ja TEKES:n induktiivisen latauksen kenttäkoeprojektia. Työssä oli tavoitteena tutkia sähköauton induktiivisen latauslaitteiston käyttöä, kerätä käyttäjäkokemuksia yhteistyökumppaneilta, pohtia latauslaitteiston hyödyllisyyttä.</p> <p>Työssä käsitellään sähkömagneettista induktion historiaa, sähkömagneettista induktiota ja perusteita induktiiviselle lataamiselle.</p> <p>Työssä on tutkittu induktiivisen latauslaitteiston hyötysuhdetta ja energiankulutusta käyttämällä tehoanalysointia. Tuloksia vertaillaan vastaavan tehoiseen langalliseen yksivaihelaturiin.</p> <p>Työssä kerättiin myös maallikoilta ja yhteistyökumppaneilta käyttäjäkokemuksia ja pohdittiin langattoman latauslaitteiston käyttämistä jokapäiväisessä käytössä sähköauton lataamisessa.</p> <p>Työn tulokset olivat odotetunkaltaiset, mutta käyttäjäkokemuksia kerätessä ilmeni negatiivista asennoitumista sähköistä liikennettä kohtaan.</p>	
Avainsanat	sähköauto, induktiivinen laturi, induktiivisen laturin käyttö, sähköauton langaton lataus

Author Title	Aki Oksala Inductive Charging for Electric Vehicle Through License Plate Using Kostal Inductive Charger
Number of Pages Date	20 pages + 1 appendix 15 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jukka Karppinen, Senior Lecturer Ville Eskelinen, Project Engineer
<p>This thesis was carried out in co-operation with Metropolia University of Applied Sciences and TEKES as a part of Inductive Charging Field Experiment project. The goals of the project were to research usage of inductive charging for electric vehicles, gather user experience information from partner companies and consider using inductive charging as an alternative choice for charging an electric vehicle.</p> <p>This thesis addresses history of electromagnetic induction, electromagnetic induction itself and fundamentals for inductive charging.</p> <p>This thesis also studies power consumption and efficiency of the inductive charger using power analyzer and comparing the results with a normal charger.</p> <p>User experience information was collected from test subjects provided by partner companies. Collecting user experience information is crucial when considering inductive charger as an alternative to charge an electric vehicle.</p> <p>The results were almost what was predicted before working on this thesis, but user experience shows a little bit problems with people's approach towards using an electric vehicle.</p>	
Keywords	Electric vehicle, Inductive charging, inductive charger, wireless charging

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Induktiivisen latauksen kenttäkoe-projekti	2
3	Fiat Doblo -muunnosauto	3
4	Sähkömagneettinen induktio	4
4.1	Induktion löytämisen historia	4
4.2	Sähkömagneettinen induktio ilmiönä	5
4.2.1	Sähkömagneettinen induktio	5
4.2.2	Induktiivisen latauksen perusteet	6
4.2.3	Sähkömagneettisen induktion matemaattinen käsittely	6
5	Induktiivisen laturin laitteet ja asentaminen ajoneuvoon	7
6	Induktiivinen laturi	10
7	Induktiivisen laturin energiankulutus, teho ja hyötysuhde	12
8	Induktiivisen laturin käytännöllisyys	14
9	Yhteistyökumppaneilta kerätyt käyttäjäkokemukset	16
9.1	Fortum Oyj	16
9.1.1	Sähköauton käyttäjäkokemukset	16
9.2	ABB Oyj	17
9.2.1	Ajaminen laturiin	17
9.2.2	Latauslaitteiston toiminta	17
9.2.3	Langattoman latauslaitteiston vaikutus latauskäyttäytymiseen	18
10	Yhteenveto	18
	Lähteet	20
	Liitteet	
	Liite 1. Taulukko tehomittauksista	

1 Johdanto

Tämä insinööriytyö liittyy osana TEKES rahoitteen induktiivisen latauksen kenttäkoe - projektia. Projektissa tutkitaan langatonta lataustekniikkaa, demonstroidaan sähköajoneuvon potentiaalia kontaktittomaan lataukseen yhdistettynä ja testataan suomalaisten yhteistyökumppaneiden projektille toimittamia komponentteja ja järjestelmiä.

Sähköinen liikenne on yksi ratkaisu vähentää paikallisia hiilidioksidipäästöjä sekä vähentää kasvihuoneilmiötä. Kuitenkin akkuteknologia on sähköisten ajoneuvojen suurin hidaste, jotta sähköautoilusta voisi tulla maailmanlaajuinen ilmiö. Akkuteknologialla olisi mahdollista saada yhtä pitkä kantosäde kuin polttomootorilla, mutta se tarkoittaisi, että akuston koko olisi suuri ja painava. Akuston suuri koko tarkoittaisi myös kallista hankintahintaa. Tästä syystä sähköisillä ajoneuvoilla on polttomootorilla varustettuihin ajoneuvoihin verrattuna huomattavasti lyhyempi kantosäde. Tästä huolimatta useat autonvalmistajat ja teollisuusyritykset ovat ponnistelleet sähköisen liikenteen edistämiseksi. Tämä näkyy autonvalmistajien markkinoille tuomilla hybridiajoneuvoilla, jossa on polttomoottori ja sähkömoottori samassa ajoneuvossa. Täysin sähköisiä ajoneuvoja on joillakin autonvalmistajilla, kuten esimerkiksi BMW:llä, Volkswagenilla, Nissanilla ja Peugeotilla.

Sähköisten ajoneuvojen toisena heikkoutena voidaan pitää pitkiä latausaikoja, joka riippuu usein akun rajoitteista. Pikalataus on mahdollista tasavirralla, mutta siltikin latausajat riippuen laitteiston tehosta, akun kyvystä vastaanottaa sähkövirtaa, akun kemiasta ja akuston lämpötilasta saattavat olla kymmeniä minutteja.

Myös latauksen vaivalloisuus on eräs ongelma. Usein kun siirretään sähköisesti suuria tehoja, mikä tarkoittaa myös suuria virtoja, latauskaapelit sähköä siirtämiseen ovat todella suuria ja erittäin hankalasti käytettäviä, varsinkin talviseen aikaan, koska usein latauskaapelien eriste jäykistyy pakkasella.

Eräänlaisena ratkaisuna pidetään induktiivista latausta, jossa lataus tapahtuu langattomasti, joko ajoneuvon eteen sijoitetusta latausalustasta tai ajoneuvon pohjaan sijoitetusta latausalustasta. Alankomaissa on saatu ladattua sähköbussia 120 kW:n teholla

induktiivisesti, joten induktiivinen lataaminen on varteenotettava ratkaisu. Tällöin myös latauskaapeleista voitaisiin luopua.

Metropolia Ammattikorkeakoulussa on tutkittu sähköisiä ajoneuvoja alkaen vuodesta 2007 Electric RaceAbout -projektissa. Projektissa valmistettiin katulaillinen täysin sähköinen urheiluauto. Edellisen projektin lisäksi on myös eBus-sähköbussi -projekti. Projektissa valmistettiin sähkökäyttöinen linja-auto.

Induktiivisen latauksen kenttäkoe-projektin testialustoiksi hankittiin Fiat Doblo -merkkiset tila-autot, jotka italialainen Micro-Vett-yhtiö oli aiemmin muuttanut sähkökäyttöisiksi. Sähköauton langattoman latauksen aihe valittiin, koska sähköautojen induktiivisesta latauksesta korkea(keski)jännitepuolelta on harvakseltaan tietoa käytännön puolelta. Talvella 2013 päätettiin hankkia Leopold Kostal GmbH -yhtiön induktiivinen laturi. Laturi on toistaiseksi prototyyppi, joten asiakkaille suunnattua versiota ei ole vielä saatavilla.

2 Induktiivisen latauksen kenttäkoe-projekti

Projektissa on tavoitteena demonstroida induktiivista lataustekniikka käyttäjälähtökohtaisesti. Projekti aloitettiin loppukesästä 2011, jolloin aloitettiin ensimmäinen vaihe, jossa kahteen Micro-Vett Dobloon rakennettiin uudelleen voimalinjan ja 12 V sähköjärjestelmät käyttämällä kotimaisten yhteistyökumppaneiden komponentteja. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului myös induktiivisten latausalustojen hankinta ja asentaminen. Langattomien latauslaitteiden hankkiminen oli hankalaa, sillä saatavilla ei ollut kuluttajille suunnattuja latauslaitteita.

Toiseen vaiheeseen kuului induktiivisen latausjärjestelmän testaaminen ympärivuotisessa ajossa, jossa toinen auto oli Metropolia Ammattikorkeakoulun käytössä ja toinen yhteiskumppaneiden käytössä.

3 Fiat Doblo -muunnosauto

Vuonna 2009 Fortum Oyj osti Micro-Vett-yhtiöltä 5 Fiat Doblo -sähköautoa. Fortum Oyj myi kaksi sähköautoa Metropolia Ammattikorkeakoululle ja kaksi sähköautoa Teknilliselle Korkeakoululle (nykyinen Aalto Yliopisto). Metropolia Ammattikorkeakoulussa autoista poistettiin alkuperäiset akut ja taajuusmuuttaja, jotka korvattiin European Batteriesin akuilla ja ABB:n invertterillä. Lisäksi autoon on asennettu CHAdeMO-standardin mukaisen pikalatauksen mahdollistava vastaanottoyksikkö, Eforen yksivaihelaturi ja Kostalin induktiivisen laturin vastaanottoyksikkö ja DC-DC-muunnin auton omia apulaitteita varten.

Autossa on polttomoottorin tilalla Ansaldo Electric Drivesin induktiomoottori polttomoottorin sijasta. Nimellisteholtaan moottori on 30 kW (huipputeho 60 kW) ja nimellisvääntömomentiltään 120 Nm (huippuvääntömomentti 260 Nm). Induktiomoottoria ohjataan ABB:n taajuusmuuttajalla.

Akut ovat European Batteriesin LiFePo₄, joiden nimellisjännite on 3,2 V ja kapasiteetti 45 Ah kennoa kohden. Akusto koostuu kahdesta rinnankytketystä 96 kennon paketista ja yhteensä kennoja on 192. Näin ollen akuista saatava energia on 28 kWh, ja akkujen yhteispaino on n. 250 kg.

Taajuusmuuttajalle, sähkömoottorille ja akustolle on rakennettu nestemäinen jäähdytys. Taajuusmuuttaja, sähkömoottori ja induktiivisen laturin vastaanottoyksikkö ja induktiivisen vastaanottoyksikön levy ovat samassa jäähdytyspiirissä. Akustolle on rakennettu erillinen jäähdytyspiiri auton takaosaan.

Muutoin auto toimii kuten normaali henkilöauto. Valot, ohjaustehostin ja muut lisälaitteet toimivat 12 V:n jännitteellä.

Auto on toiminut Fortumilla ja ABB:llä eräänlaisena sisäisen postin, huollon ja henkilökuljetuksen ajoneuvona, kun haluttiin saada ulkopuolisen käyttäjän puolueeton mielipide erilaisten lataustekniikoiden käytettävyydestä. Kuvassa 1 (ks. seur. s.) esitellään testialustaksi valittu Fiat Doblo -sähköauto.



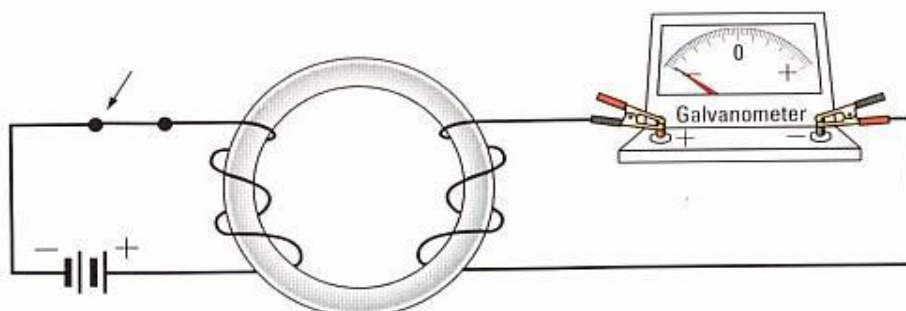
Kuva 1. Fiat Doblo -sähköauto.

4 Sähkömagneettinen induktio

4.1 Induktion löytämisen historia

Sähkömagneettinen induktio on ilmiönä varsin vanha, mutta perusidea on yksinkertainen. Käämin johdetaan vaihtovirtaa, joka muodostaa käämin ympärille muuttuvan magneettivuon, joka taas muodostaa toiseen käämiin vaihtuvan jännitteen. Michael Faraday teki jo vuonna 1825 alustavia kokeita sähkömagnetismin parissa, mutta vuonna 1831 Gerrit Mollin artikkeli sähkömagneetin napaisuuden vaihtuessa samalla, kun sähkövirran suunta muuttuu. Sitä aiemmin Charles Babbage ja John Frederick William Herschel olivat osoittaneet, että molekyylien järjestäytyminen vaatii huomattavan pitkän ajan. Tästä ristiriidasta kiinnostuneena Faraday halusi selvittää, kumpi teorioista oli oikea. Vuonna 1831 Faraday teki kokeen, jossa rautarenkaan molemmille puolille kierret-

tiin kuparilankaa. Kuparilanka eristettiin puuvillalla, jotta ei olisi galvaanista yhteyttä kuparilankojen välillä. Ensiöpuoli kytkettiin paristoon ja toisiopuoli kytkettiin galvanometriin. Galvanometrin neula heilahti rajusti kytkettäessä tai irrottaessa paristo piiristä (kuva 2).



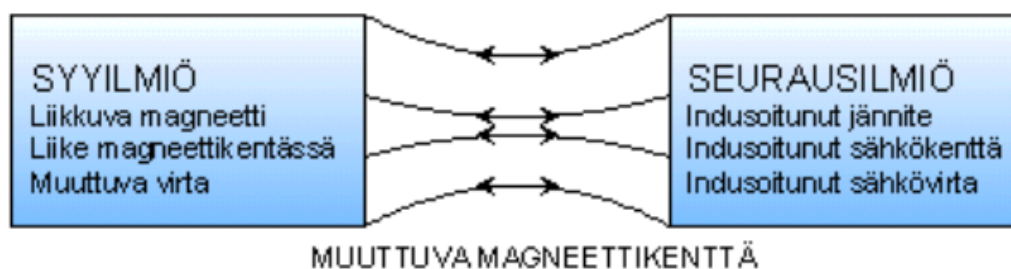
Kuva 2. Faradayn koejärjestely

Faradayn kokeista johdettiin vuonna 1834 ns. Lenzin laki, joka on yksi sähkömagnetismin tärkeimmistä laeista. Lenzin lain mukaan indusoituneen sähkövirran suunta on sen aiheuttajaa vastaan. Induktiovirta heikentää vahvistuvan magneettikentän kenttää ja päinvastaisesti vahvistaa heikentyvän magneettikentän kenttää. Toisin sanoen induktiovirran aiheuttajan on tehtävä työtä, jotta magneettikenttä voisi muuttua.

4.2 Sähkömagneettinen induktio ilmiönä

4.2.1 Sähkömagneettinen induktio

Induktioilmiöissä on aina yhteisenä tekijänä magneettikenttä, joka voi aiheutua sähkövirran muutoksista, magneetin liikkeestä magneettikentässä tai sähkömagneettisesta aallosta. Magneettikentän ajallinen muuttuminen synnyttää suljettuun piiriin induktiojännitteen. Induktiojännitteen suuruus riippuu suljetun piirin kierrosten lukumäärästä sekä magneettivuon muutosnopeudesta. Kuvassa 3 (ks. seur. s.) esitetään induktioilmiöiden syy- ja seuraussuhteet.



Kuva 3. Induktioilmiöiden syy- ja seuraussuhteet.

4.2.2 Induktiivisen latauksen perusteet

Induktiivinen lataus perustuu yleiseen fysikaaliseen ilmiöön, sähkömagneettiseen induktioon, joka liittyy magneettivuon muutokseen. Sähkömagneettista induktiota hyödynnetään lukuisissa käyttökohteissa kuten generaattoreissa, sähkömoottoreissa, metallinpaljastimissa sekä induktioliesissä. Sähkömagneettinen induktio mahdollistaa energian siirtymisen lyhyellä etäisyydellä ja näin ollen myös sähkölaitteiden langattoman latauksen.

4.2.3 Sähkömagneettisen induktion matemaattinen käsittely

Sähkömagneettinen induktio esitetään periaatteessa kahdella lailla. Induktiolaki, jotka tunnetaan myös Faradayn ja Henryn lakina. Laki voidaan esittää kaavana seuraavassa muodossa:

$$\Phi = \Phi(t) \rightarrow E = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

Φ on magneettivuo

t on aika

E on lähdejännite

d on muutosnopeus

Yksinkertaisesti lähdejännite riippuu magneettivuon muutoksesta tietyssä ajassa. Miinus-etumerkki tulee Lenzin laista.

Magneettivuo riippuu magneettivuon tiheydestä, pinta-alasta ja pinnan ja magneettivuon välisestä kulmasta.

$$\Phi = B A \cos \theta \quad (2)$$

B on magneettivuon tiheys

A on pinta-ala

θ on magneettivuon ja pinta-alan välinen kulma

Induktiossa käytetään usein käämejä vahvistamaan magneettivuota, jotka koostuvat johdinsilmukoista, joten ensimmäiseen kaavaan on lisättävä N kuvastamaan johdinsilmukoiden määrää.

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

N on johdinsilmukoiden lukumäärä

Magneettivuo voidaan myös esittää induktanssin ja induktiovirran avulla.

$$\Phi = \frac{LI}{N} \quad (4)$$

L on induktanssi

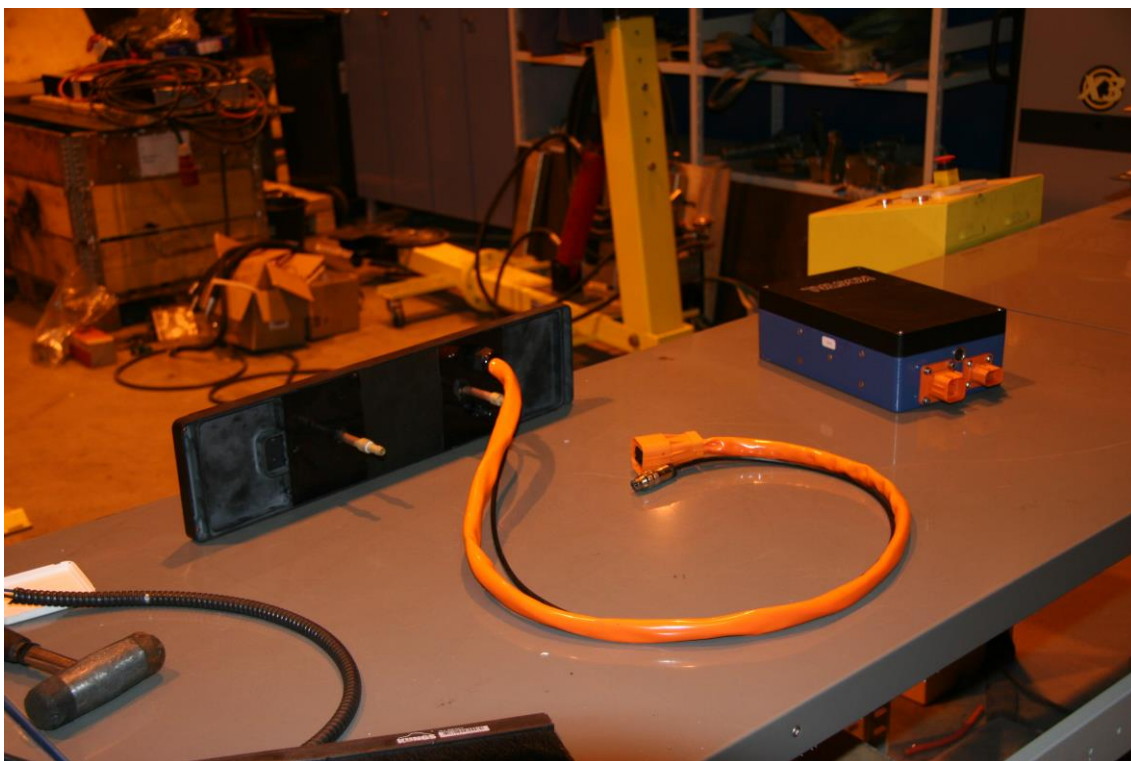
I on induktiovirta

5 Induktiivisen laturin laitteet ja asentaminen ajoneuvoon

Induktiivinen latauslaitteisto koostuu kolmesta yksittäisestä laitteesta. Lähetinyksikössä on kiinteästi asennettuna ensiöpuolen käämi (kuva 4, ks. seur. s.). Toisiopuolen käämi on erillään vastaanottoyksiköstä (kuva 5, ks. seur. s.).



Kuva 4. Induktiivisen latauslaitteiston lähetinyksikkö



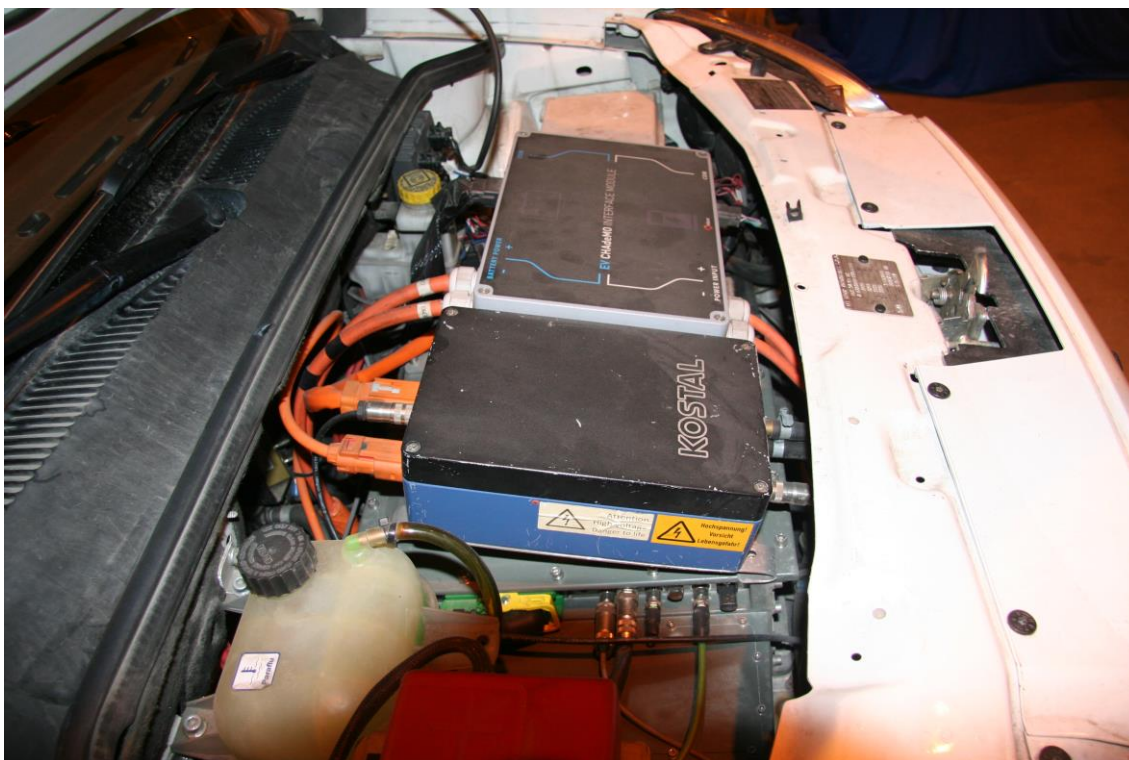
Kuva 5. Induktiivisen latauslaitteiston toisiopuolen käämi ja vastaanottoyksikkö

Induktiivisen laturin toisiopuolen käämi kiinnitettiin auton törmäyspalkkiin, sillä auton puskurit ovat muovia, jotka eivät olisi kestäneet levyn painoa (kuva 6). Edestäpäin törmäyspalkkiin ei saa Suomen lain mukaan porata, koska se heikentäisi törmäyspalkin kolariturvallisuutta. Levylle piti rakentaa erilliset kiinnikkeet, jotka kiinnitettiin törmäyspalkin yläosaan. Huomioitavaa on, että levy ja vastaanottoyksikkö tarvitsevat nestemäisen jäähdytyksen, koska laitteistosta puuttuvat ilmajäähdytyksen mahdollistavat jäähdytinsiilit.



Kuva 6. Induktiivisen laturin toisiopuolen käämi asennettuna.

Vastaanottoyksikkö on asennettu erillisin kiinnityspalkein taajuusmuuttajan päälle. Vastaanottoyksikköön tulevat kaapelit on varustettu liittimillä huoltoja varten (kuva 7, ks. seur. s.).



Kuva 7. Induktiivisen laturin vastaanottoyksikkö asennettuna konetilaan.

6 Induktiivinen laturi

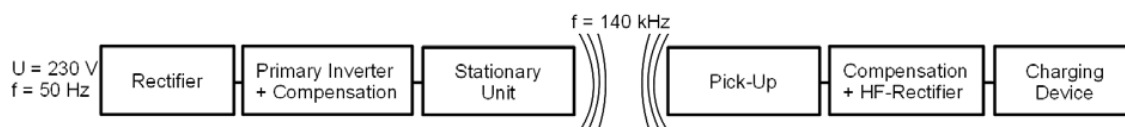
Induktiivinen laturi on Leopold Kostal GmbH -yhtiön prototyyppi, jota ei ole vielä saatavilla induktiivisten laturien standardien puutteesta johtuen. Sähköautojen induktiivisia latureita koskevia standardeja ollaan kuitenkin päivittämässä. Sähköauton langattomia latausjärjestelmiä ei ole myynnissä Euroopan markkinoilla.

Induktiivinen lataus perustuu Faradayn laista johdettavaan induktiolakiin, jossa käämiin syötettävä jännite voi siirtyä viereiseen käämiin vaikka käämien välillä ei olisi rautasydäntä. Induktioliesi toimii hyvänä esimerkkinä, koska induktioliedelle sopivat keittoastioiden pohjat ovat magneettista ainetta, jolloin sähkömagneettisen kentän synnyttämä pyörrevirta lämmittää astiaa. Induktiivista latausta on käytetty pienelektronikassa muun muassa sähköhammasharjoissa ja matkapuhelimissa.

Toisaalta induktiivinen laturi voidaan käsittää myös yksivaiheisena muuntajana, josta puuttuu rautasydän. Induktiivinen laturi koostuu kahdesta käämistä, joista toinen on ensiöpuolen käämi ja toinen toisiopuolen käämi. Tässä tapauksessa ensiöpuolen käämi

on lähetinyksikön levyn sisällä, ja toisiopuolen käämi on auton vastaanottoyksikön levyn sisällä.

Induktiivisen laturi käyttö maallikon silmin on todella yksinkertainen. Auto ajetaan vastakkain latausyksikössä olevan levyyn kiinni siten, että rekisterikilpi ja levy ovat vastakkain, alkaa laturi keskustelemaan vastaanottoyksikön kanssa, jolloin ensiksi muodostetaan yhteys, josta täytyttyvät seuraavat parametrit: ilmaväli ja kohdistus. Auton sijainti latausyksikön levyyn nähden pitää olla tarkka, sillä jos levyjen ero on yli 3 cm (liite 1), lataus ei käynnisty. Mittauksissa kävi ilmi, että vaikka auto olisikin hieman sivussa latauslevystä, sillä ei ollut merkittävästi vaikutusta energiansiirtämiseen. Tämän jälkeen laitteen ja auton pitää olla yhtä mieltä muun muassa seuraavista parametreista: onko auto latausmoodissa, voiko lataus alkaa, mikä on akkujen varaustilanne, akkujen lämpötila. Kuvassa 8 on esitetty yksinkertaistettu lohkokkaavio latauksen toimintaperiaatteesta:



Kuva 8. Induktiivisen laturin toimintaperiaatteen lohkokkaavio.

Latauksessa latauslevyyn syötetään valmistajan asettama 140 kHz:n taajuinen jännite ja virta. Ajoneuvon muunnin tasasuuntaa vastaanotetun energian ja muuntaa jännitteen ajoneuvon akustolle sopivaksi.

Jos auto käynnistetään virta-avaimesta latauksen aikana, lataus sammuu automaattisesti, ja auto käynnistyy normaalisti

Tämän jälkeen auto sammutetaan virta-avaimesta, jolloin lataus alkaa automaattisesti. Lataus sammuu automaattisesti, mikäli auton akku on täynnä tai auto käynnistetään virta-avaimesta.

7 Induktiivisen laturin energiankulutus, teho ja hyötysuhde

Energiankulutuksen ja hyötysuhteen mittaaminen on sähköisille laitteille todella tärkeää, koska näin saadaan selville, onko laitetta kannattava käyttää, sillä energiaa tuhlava laite tulee käyttökustannuksiltaan kalliiksi. Hyötysuhde voidaan selvittää yksinkertaisella kaavalla:

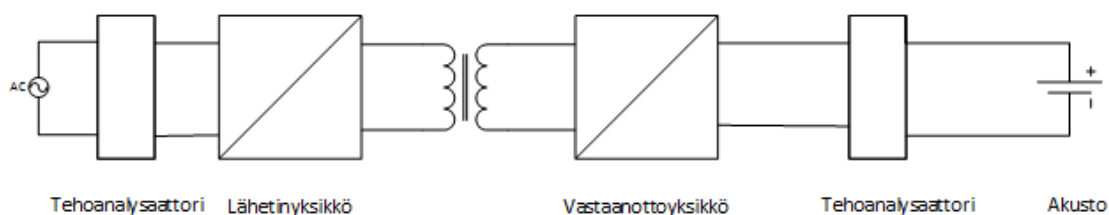
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (5)$$

η on hyötysuhde

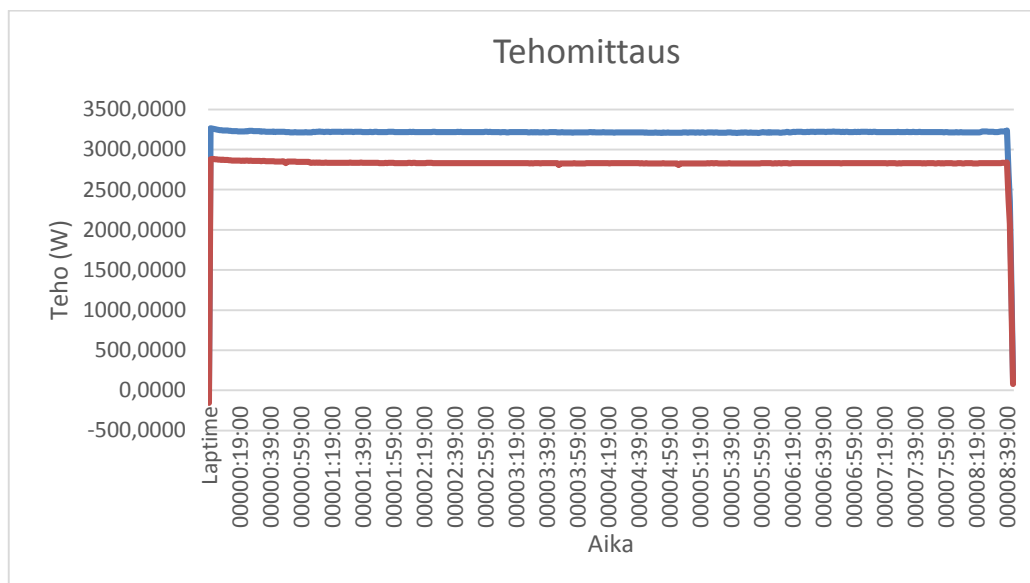
P_1 on laitteeseen syötetty teho

P_2 on laitteen antama teho

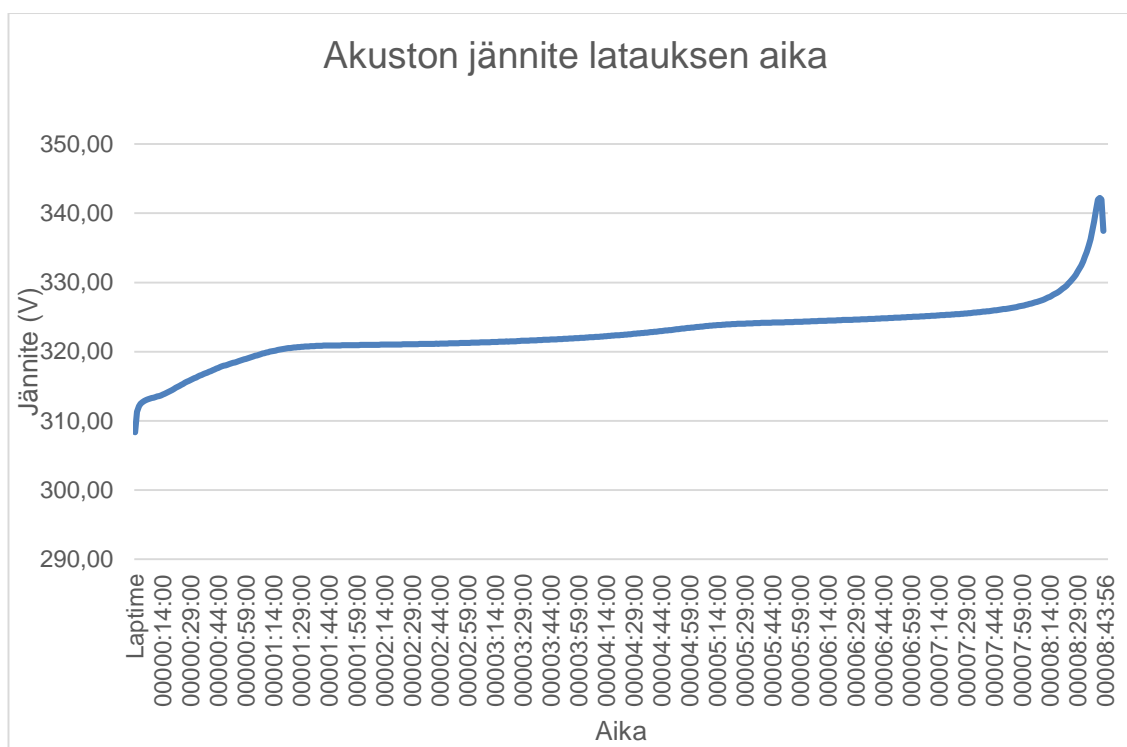
Tässä työssä induktiivisen laturin teho mitattiin tehoanalyysaattorilla (Hioki 3390 Power Analyzer), josta yksi kanava mittasi sähköverkosta otettua (P_1), ja toinen kanava mittasi akustolle syötettävää tehoa (P_2). Mittauksessa mitattiin koko lataussyklin ajalta tehoa, virtaa ja jännitettä. Kuvassa 9 esitetään latauslaitteiston mittaustapa latauslaitteiston tehomittauksesta. Kuvissa 10 (ks. seur. s.) on kuvaaja latauksen aikaisesta sähköverkosta otetusta tehosta ajan funktiona ja akustolle syötettävästä tehosta ajan funktiona. Kuvassa 11 (ks. seur. s.) on kuvaaja akuston jännitteestä latauksen aikana. Tarkempi taulukko tehomittauksista on liitteessä 1.



Kuva 9. Mittaustapa latauslaitteiston tehomittaukselle.



Kuva 10. Tehomittauksen kuvaaja: sininen käyrä kuvaa ennen laturia ja punainen käyrä laturin jälkeen olevaa tehoa.



Kuva 11. Akuston jännitteen kuvaaja.

Latauksen alkaessa akuston varaustila oli noin 4 %, ja akusto ladattiin mittauksen aikana täyteen. Akuston lataaminen täyteen varaustilaan kesti melkein 9 tuntia, joten latausaikaa voidaan pitää sähköauton hidaslataukselle tyypillisenä.

Edellä mainituista kuvaajista ja liitteestä 1 huomataan, että laitteen hyötysuhde on n. 90 %. Ottaen huomioon, että energia siirtyy ilmaitse ilman galvaanista yhteyttä, 90 % hyötysuhdetta voidaan pitää todella hyvänä tuloksena. Tämä voidaan selittää, sillä että ilmaväli on muutama millimetri. Jos ilmaväli olisi suurempi, niin hyötysuhde saattaisi pudota merkittävästi, jo muutaman sentin matkalla. Saman tehoisella langallisella laturilla hyötysuhde oli noin 92 % (liite 1).

Akuston jännitteen kuvaajasta huomataan myös, että jännite noudattaa LiFePo₄-akulle ominaista latauskäyrää.

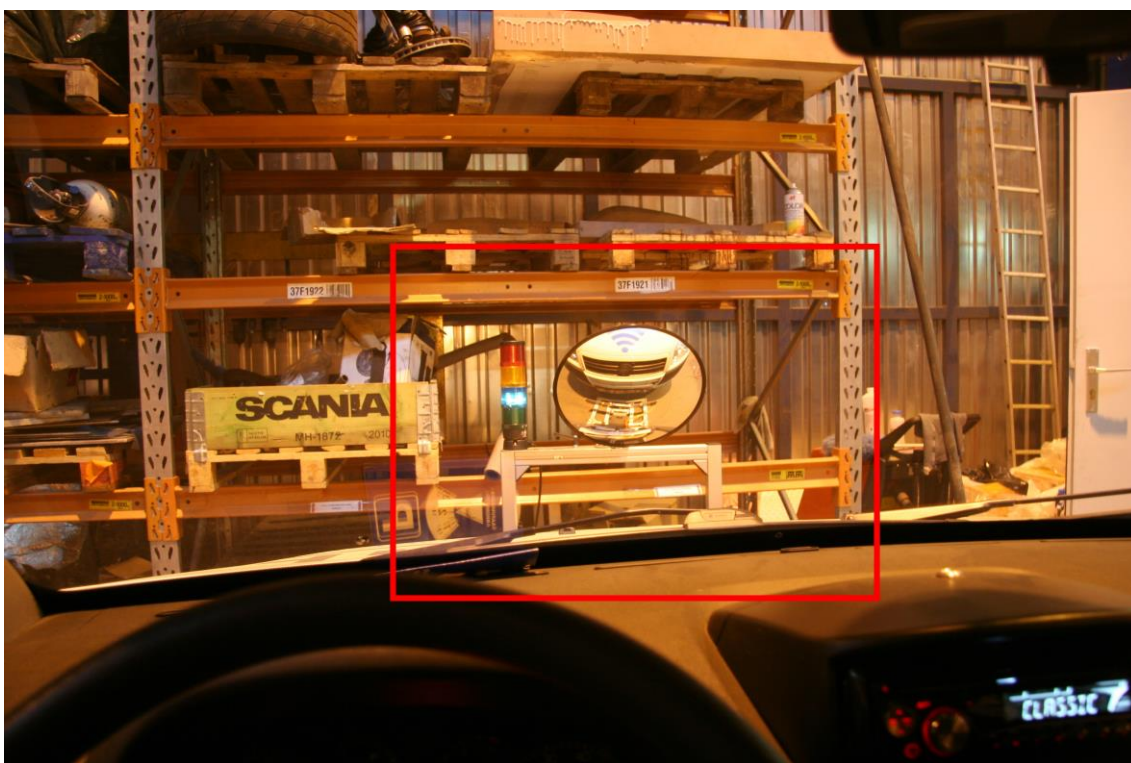
8 Induktiivisen laturin käytännöllisyys

Induktiivinen laturi on todella helppokäyttöinen laite asiasta perehtymättömälle. Auto ajetaan parkkiin (kuva 12, ks. seur. s.) ja automatiikka hoitaa latauksen itsenäisesti. Auton kohdistaminen latauslaitteiston levyyn tulee kuitenkin olla tarkka, koska levy joustaa ainoastaan pituus- ja korkeussuunnassa, muttei ollenkaan sivuttaissuunnassa. Helpottamaan sähköauton kohdistamista langattomaan laturiin, on latauslaitteiston päälle asennettu kupera peili (kuva 13, ks. seur. s.).

Rekisterikilven kohdalta ladattavan auton levy on helpompi puhdistaa kotikonstein kuin auton pohjasta lataava induktiolaturi. Pohjoismaissa auton pohja tulee keränneeksi epäpuhtauksia niin soran kuin lumenkin vaikutuksesta.



Kuva 12. Auto induktiivisessa laturissa.



Kuva 13. Näkymä auton sisältä, jossa näkyy kohdistamista helpottava peili.

9 Yhteistyökumppaneilta kerätyt käyttäjäkokemukset

9.1 Fortum Oyj

Testin tarkoituksena oli vertailla langatonta lataustekniikka langalliseen jokapäiväisessä käytössä. Ajoneuvo oli käytössä Fortum Oyj:n huoltoautona ja sisäpostin kuljetusvälineenä. Ajoneuvolla ajettiin pääasiassa Fortum Oyj:n Keilaniemen ja Piispanportin toimipisteiden välillä. Langaton latausjärjestelmä asennettiin Keilaniemen toimipisteeseen.

Testi jakautui kahteen osaan, jossa ensimmäisessä ajoneuvoa ladattiin langattomalla latauslaitteistolla ja toisessa langallisesti. Langattomalla latauslaitteistolla varustettu ajoneuvo luovutettiin Fortum Oyj:lle käyttöön 12.5.2014. Ensimmäisen testiosion aikana ajoneuvon kertyi ajokilometrejä 163 km. Ajoneuvon kanssa oli ollut ongelmia, joista ei oltu otettu yhteyttä Metropolia Ammattikorkeakouluun. Ongelmien selvittyä ajoneuvo korjattiin ja testi jatkui. Ensimmäinen osio päättyi 21.5.2014, minkä jälkeen Fortum Oyj:lle toimitettiin langallisella latauslaitteistolla varustettu ajoneuvo. Ajoneuvon ai- noa koekäyttäjäksi oli lomalla toisen osion alkaessa ensimmäisen viikon, ja näin ollen ajoneuvon ajettiin toisessa osiossa vain 160 km.

9.1.1 Sähköauton käyttäjäkokemukset

Ajokokemus sähköisellä ajoneuvolla koettiin lievästi ahdistavaksi, koska ajoneuvot olivat prototyyppejä ja testiin osallistuneilla kuljettajilla ei ollut aiempaa kokemusta sähköisistä ajoneuvoista. Myös lämmitysjärjestelmän puute koettiin epämukavaksi alkukesän viileiden öiden takia.

Langattoman latauslaitteistossa oli aluksi ongelmia, ja rekisterikilven läpi lataavaa järjestelmää piti säätää, jotta latauslaitteiston lähetin ja vastaanotin saatiin linjattua.

9.2 ABB Oyj

Langaton latauslaitteisto asennettiin ABB:n parkkitaloon Valimoon. Latauslaitteisto säädettiin kyseiseen tilaan sopivaksi, jotta latauslaitteisto toimisi ongelmitta. Testin alussa ajoneuvon kilometrimäärä oli 10 691 km.

Ensimmäinen osio testistä päättyi 14.10.2014, jonka jälkeen ajoneuvoon asennettiin ABB:n toisen sukupolven moottoriohjausyksikkö Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa ja ajoneuvo palautettiin takaisin ABB:lle testin toisen osion jatkamiseksi 13.11.2014. Testin toisessa osiossa ajoneuvon akustoa ladattiin langallisesti, jotta saataisiin käyttäjän näkökulma eri lataustapojen käytettävyydestä. Testi päättyi 11.12.2014, jolloin ajoneuvon matkamittarissa oli 12 574 km. Testin aikana ajoneuvolla ajettiin yhteensä 1 583 km, josta ensimmäisen osion aikana ajettiin 754 km ja toisen osion aikana 829 km. Testiin osallistui kuusi koekäyttäjää.

9.2.1 Ajaminen laturiin

Koekäyttäjät totesivat ajoneuvon kohdistamisen laturiin helpoksi ja nopeasti opittavaksi toimenpiteeksi. Pysäköintihallin rakenteen vuoksi latauslaitteisto oli lievässä alamäessä, mitä pidettiin hankalana, sillä liikkeelle lähdetessä ajoneuvo valui alaspäin. Ongelma välttämiseksi ehdotettiin kiilojen asentamista maahan, jotta ajoneuvo ei pääsisi valumaan latauslaitteiston päälle. Käsijarrun hyödyntäminen liikkeelle lähdetessä on myös suotavaa.

9.2.2 Latauslaitteiston toiminta

Suurin osa koekäyttäjistä koki latauslaitteiston toiminnan epäluotettavaksi. Latauslaitteiston tilasta kertova valotolppa koettiin hankalasti ymmärrettäväksi, latauksen käynnistyminen liian hitaaksi ja aina ei ollut selvää, lataako laitteisto vai ei. Vain yksi koekäyttäjä piti laitteistoa toiminnaltaan luotettavaksi.

9.2.3 Langattoman latauslaitteiston vaikutus latauskäyttäytymiseen

Koekäyttäjät kokivat langattoman latauslaitteiston madaltavan kynnystä ladata ajoneuvoa, vaikka se ei olisi ollut kyseisellä hetkellä tarpeellista.

10 Yhteenveto

Insinööriyötä tehtäessä kävi ilmi, että tutkimuksen kohteena ollut induktiivinen latauslaitteisto oli toiminnaltaan luotettava laite, joskin alussa oli hieman ongelmia saada laitteisto lataamaan täyteen varaustilaan. Tämä johtui siitä, että valmistaja oli asettanut laitteiston katkaisemaan latauksen 8 tunnin jälkeen. Kun katkaisun ajankohtaa pidennettiin muutamalla tunnilla, saatiin otettua tehomittaustulokset koko lataussyklistä.

Induktiivinen lataus sähköautolle olisi varteenotettava vaihtoehto langallisen latauksen sijaan. Tulevaisuudessa sähköautoja voitaisiin ladata langattomasti esimerkiksi autokatoissa. Yksityiselle henkilölle induktiivisen latauslaitteiston hankinta on toistaiseksi erittäin kallista ja Euroopassa ei toistaiseksi ole saatavilla induktiiviselle laturille jälkimarkkinatuotteita. Induktiivista latausta voitaisiin hyödyntää suurien kauppakeskusten ja tehtaiden parkkihalleissa, joissa induktiivisen latauslaitteiston lähetinyksiköt olisivat kiinteästi asennettuina ja sähköautoissa olisi valmiina jo valmistajan asentama induktiivisen latauslaitteiston vastaanotinyksikkö. Tämä edellyttäisi induktiivisten latauslaitteistoiden standardoimista, jotta olisi mahdollista, että eri autonvalmistajien laitteet toimisivat muiden valmistajien induktiivisten latauslaitteiden kanssa.

Linja-autoliikenteessä induktiivinen lataus olisi hyödyllinen ratkaisu, jossa pohjasta lataava induktiolaturin lähetinyksikkö olisi asennettuna linja-auton päätepysäkillä ja linja-autovarikoilla. Pohjasta lataavan induktiivisen laturin lähetinyksikön upottaminen maahan vähentäisi laitteiston altistumista vandalisoinnille ja kaupunkisuunnittelussa ei tarvitsisi huomioida laitteen esteettistä vaikutusta maisemaan. Katetuissa bussiterминаaleissa voitaisiin myös käyttää edestäpäin lataavaa järjestelmää.

Yhteistyökumppaneiden käyttäjäkokemuksissa ilmenee, että sähköistä liikennettä kohtaan on ennakkoluuloja, ja siten sähköautolla ajamista pidetään jokseenkin ahdistavana. Huomioon tulee ottaa myös sekin, että induktiivinen latauslaitteisto ja sähköauto

olivat prototyyppejä. Ennakkoluulot saattavat vähentyä sitä mukaan, kun sähköinen liikenne yleistyy, kuten esimerkiksi Norjassa, jossa jopa viidennes henkilöautoista on sähköautoja. Norjassa annetaan sähköautoille verohelpotuksia, ilmainen pysäköinti kaupungeissa ja lupa käyttää julkisen liikenteen kaistoja. Tämä voisi auttaa Suomessakin sähköisen liikenteen yleistymiseen.

Induktiivisista latausjärjestelmistä olisi hyvä tehdä lisää tutkimustyötä, varsinkin magneettikentistä ja sähkökentistä. Mittauslaitteistoa ei ollut saatavilla tätä insinööriä tehtäessä, siksi magneettikenttiä ja sähkökenttiä ei ole käsitelty tässä insinööriössä.

Lähteet

- 1 Laukkarinen, Erkka. 2012. Sähköajoneuvon induktiivinen lataus. Kandidaatintyö. Aalto Yliopisto.
- 2 Laura Josefine Berger, Andreas Grewing, Kai Manuel Kracht, Sven Wessel, Marc Wiegand. Energy Efficiency Labs. Wireless Energy Transmission Kit. Leopold Kostal GmbH & Co. KG. Dortmund, Germany
- 3 Kostal GmbH. Instruction Manual Inductive Charging System KOS360.4
- 4 First large electric public-service bus with wireless inductive charging technology tested in the Netherlands. 2012. Verkkodokumentti. <http://www.conductix.com/en/news/2012-10-01/first-large-electric-public-service-bus-wireless-inductive-charging-technology-tested-netherlands>

Taulukko tehomittauksesta.

Tämä liite sisältää taulukon induktiivisen latauksen tehomittauksen koko lataussyklin ajalta tunnin välein.

Aika	Jännite (ensio)(V)	Jännite (loiso)(V)	Virta (ensio)(A)	Virta (loiso)(A)	Teho (ensio)(W)	Teho (loiso)(W)	Hyösynde	Virrankulutus (Ensio)(Ah)	Virrankulutus (loiso)(Ah)	Energia (ensio)(kWh)	Energia (loiso)(kWh)
0:00:00	234,1700	308,36	0,2380	-0,5050	17,6000	-156,0000	0,8636	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0:01:00	226,2700	311,33	14,4610	9,2470	3265,4000	2879,0000	0,8817	0,1094	0,0607	24,4100	18,9000
0:02:00	226,0600	312,06	14,4600	9,2390	3261,4000	2883,0000	0,8840	0,3503	0,2147	78,8100	66,9000
0:03:00	225,8900	312,46	14,4580	9,2220	3258,3000	2882,0000	0,8854	0,5912	0,3685	133,1500	114,9000
0:04:00	226,2700	312,71	14,4070	9,2080	3252,9000	2878,0000	0,8859	0,8316	0,5221	187,4000	162,9000
0:05:00	226,2000	312,88	14,3950	9,1980	3248,5000	2878,0000	0,8859	1,0721	0,6755	241,5900	210,9000
1:00:00	229,9700	318,96	14,0940	8,9230	3213,1000	2846,0000	0,8857	14,1496	8,9650	3198,9900	2830,7000
2:00:00	229,1400	320,95	14,0870	8,9270	3220,5000	2833,0000	0,8797	28,2281	17,8142	6418,0900	5665,9000
3:00:00	228,8100	321,27	14,1030	8,8130	3219,7000	2831,0000	0,8793	42,3245	26,6316	9636,1600	8497,5000
4:00:00	228,9700	321,97	14,0710	8,7790	3214,2000	2826,0000	0,8792	56,4013	35,4278	12851,9000	11326,2000
5:00:00	229,3100	323,44	14,0350	8,7420	3210,7000	2829,0000	0,8806	70,4470	44,1956	16064,8000	14154,9000
6:00:00	228,6900	324,32	14,0900	8,7240	3212,7000	2828,0000	0,8806	84,5238	52,9221	19276,1000	16982,3000
7:00:00	229,9700	325,01	14,0320	8,7090	3219,5000	2831,0000	0,8793	98,6062	61,6386	22464,0000	19812,0000
8:40:00	230,3000	340,47	14,0830	8,3360	3235,6000	2838,0000	0,8771	121,9780	76,0462	27857,7000	24523,0000
8:41:00	231,1200	341,98	11,7630	6,9410	2709,1000	2374,0000	0,8763	122,2050	76,1805	27910,0000	24693,9000
8:42:00	231,9100	342,22	10,2240	6,0710	2358,8000	2078,0000	0,8810	122,3830	76,2858	27985,0000	24640,4000
8:43:00	234,6600	341,96	9,9220	5,1880	1291,8000	1090,0000	0,8441	122,5340	76,3749	27985,0000	24640,4000
8:43:56	237,5400	337,43	0,7830	0,2340	133,8000	79,0000	0,5904	122,5490	76,3808	27988,5000	24642,4000

Taulukko muista mittauksista.

Tämä liite sisältää taulukon muista mittauksista.

Yksivaihelaturin tehomittaus

Jännite (ensiö)(V)	Virta (ensiö)(A)	Teho (ensiö)(W)	Jännite (toisio)(V)	Virta (toisio)(A)	Teho (toisio)(W)
228	15,4	3520	324	8,5	3260

Induktiivisen laturin teho ajettaessa ohi latauslevystä

Ohitus (%)	Teho (ensiö)(W)	Teho (toisio)(W)	Hyötysuhde
0	3250	2960	0,91
12,5 oikealta	3300	2920	0,88
12,5 vasemmalta	3260	2930	0,90