

BL10A1000 Kandidaatintyö ja seminaari

KANDIDAATINTYÖ
18.02.2008

Ilkka Mäkitalo
0242304
Säte 5

Tasasähköjakelu ja kiinteistöjen tasasähköverkot

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan osasto

Ilkka Mäkitalo

Tasasähköjakelu ja kiinteistöjen tasasähköverkot

Kandidaatintyö

2008

37 sivua, 15 kuvaa ja 6 taulukkoa

Ohjaaja ja tarkastaja: Professori Jarmo Partanen

Hakusanat: tasasähkö, tasasähkönjakelu, sähkönjakelu, DC-jakeluverkot rakennuksissa

Perinteisesti sähkönjakelu on toteutettu vaihtosähköjärjestelmänä, mutta varsinkin tehoelektroniikan kehittymisen ja halpenemisen myötä on paljon keskusteltu tasasähköisistä jakelujärjestelmistä. Tässä työssä on tutkittu ja koetettu tuoda esille tasasähkön hyödyntämismahdollisuuksia sähkönjakelussa, sekä erityisesti kiinteistöjen kuten kotien ja toimistojen sähköverkoissa. DC-verkko parantaa mm. järjestelmän luotettavuutta ja jännitteenlaatua. Myös hajautetun energiantuotannon ja energiavarastojen lisääminen sähkövoimajärjestelmään olisi yksinkertaisempaa tasasähköiseen verkkoon.

Monet nykyajan kotien ja toimistojen sähkölaitteista olisi nykyiselläänkin ilman modifikaatioita liitettävissä DC-verkkoon. Monien laitteiden sisäinen käyttöjännite on nykyään tasajännitettä kuten esimerkiksi tietokoneiden ja viihde-elektroniikan. Näiden laitteiden tarvitsemassa lukuisissa tasasuuntaajissa hukataan paljon energiaa. Yhdistämällä laitteet DC-verkkoon voitaisiin suuntauksista luopua, jolloin järjestelmän kokonaishyötysuhde paranisi. Lisäksi kiinteistöissä tasajännitteellä voitaisiin hyödyntää entistä paremmin muun muassa aurinkoenergiaa, polttokennoja ja energiavarastoja eli uusiutuvia ja ympäristöystävällisiä energialähteitä.

ABSTRACT

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Department of Electrical Engineering
Ilkka Mäkitalo

DC distribution systems and buildings DC-grids

Bachelor thesis

2008

37 pages, 15 figures and 6 tables

advisor and supervisor: Professor Jarmo Partanen

Keywords: direct current, direct current distribution, electricity distribution, DC Distribution Systems in buildings

Traditionally, only AC systems have been used in electricity distribution. Recently, however, has been considerable discussion about DC systems; a result of development in power electronic components and cost reductions. This paper examines and assesses the benefits of DC distribution, especially DC distribution in buildings like homes and offices. A DC grid improves reliability and power quality. Integration of distributed power sources and energy storages into the DC system would also be easier.

Electrical appliances of modern homes and offices could work correctly in a DC grid without any modification. Many appliances, like computers and entertainment electronics operate internally on DC power. Lot of energy is lost in rectifiers. By connecting appliances to the DC grid the use of many rectifiers could be discontinued and efficiency of the whole system would improve. A DC grid could also take advantage of solar panels, fuel cells and energy storages which would promote the use of renewable and environmentally friendly energy.

SISÄLLYSLUETTELO

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET	2
1 JOHDANTO	3
2 SÄHKÖNJAKELU NYKYPÄIVÄNÄ SUOMESSA	4
2.1 Verkon rakenne yleisesti.....	4
3 TASASÄHKÖJAKELU	6
3.1 Tasasähköjärjestelmät.....	6
3.2 Maadoitus ja jännitetasot.....	8
3.3 Tasasähkön käyttökohteet sähkönjakelussa.....	8
4 VERKON KOMPONENTIT	10
4.1 Suuntaajat	10
4.1.1 Tasasuuntaaja.....	10
4.1.2 vaihtosuuntaaja	12
4.2 Suodattimet.....	12
4.3 Tasajännitemuuttaja.....	14
4.4 Tehoelektronisten laitteiden häviöt ja hyötysuhde	14
4.5 Pienjännitekaapelit.....	15
4.6 Suojaus.....	16
5 KIINTEISTÖN TASASÄHKÖJAKELU.....	16
5.1 Edut, mahdollisuudet ja heikkoudet	17
5.2 Tasajännite sähkökojeissa.....	17
5.2.1 Valaisimet.....	18
5.2.2 Tietokoneet, kodinelektroniikka ja hakkuriteholähteet	20
5.2.3 Lämmitysvastukseen perustuvat laitteet	20
5.2.4 Sähkötyökalut ja pienkotitalouskoneet.....	21
5.2.5 Sähkömoottorikäytöt.....	21
5.2.6 Muita sähkölaitteita ja -koneita.....	22
5.2.7 Laitteistokohtainen sähkönkulutus	23
5.3 Jännitetasot	23
5.4 Energian hallinta.....	24
5.4.1 Energiavarastot	25
5.4.2 Energian tuotanto.....	27
5.4.3 Energian ohjaus	30
5.5 Kodin tasasähköjärjestelmän esimerkkimalli	31
5.6 Tasa- ja vaihtosähköjärjestelmien hyötysuhteiden vertailua	33
6 YHTEENVETO	34
6.1 Tulevaisuuden mahdolliset jatkotutkimukset.....	35
LÄHDELUETTELO	36

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

Muuttujat

<i>C</i>	Kapasitanssi
<i>I</i>	Virta
<i>L</i>	Induktanssi
<i>U</i>	Jännite

Lyhenteet

AC	Alternating Current, vaihtovirta
DC	Direct Current, tasavirta
HVDC	High-Voltage Direct Current, suurjännitteinen tasavirta
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, eristehilabipolaaritransistori
LED	Light-Emitting Diode, valodiodi, ledi
PWM	Pulse Width Modulating, pulssinleveysmodulaatio
SFS	Suomen standardoimisliitto
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats. Vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet, uhat. SWOT-analyysi
VAC	Vaihtojännite
VDC	Tasajännite

1 JOHDANTO

1800-luvun lopulla oli kahden miehen välillä kilpailu siitä, kumpi jännite on käytännöllisempi sähkönjakelussa, vaihto- vai tasasähkö. Thomas Alva Edison suosi tasasähköjärjestelmiä, kun taas George Westinghouse vaihtosähköä. Ennen tätä kaupungeissa oli katuvaiistus toteutettu joko kaasuvaihtolamppuilla tai tasajännitteisillä valokäyttölampeilla. Valokäyttölamput soveltuivat käytettäväksi vain ulkokäytössä tai erittäin isoissa rakennuksissa mm. teollisuudessa. Edison huomasi mahdollisuuden korvata valokäyttölamput turvallisimmilla hehkulampeilla. Niiden käyttöjännite oli 100 tai 110 V tasajännite. Ensimmäinen hehkulampeiden järjestelmä tasajännitegeneraattorilla varustettuna otettiin käyttöön Lontoossa tammikuussa 1882.

Ensimmäinen vaihtosähköjärjestelmä näki päivänvalon Lontoossa vuotta aikaisemmin Lucien Gaulardin ja John Gibbsin toimesta. Westinghouse otti mallia tästä järjestelmästä ja vuonna 1886 hänen yrityksensä oli suunnitellut vaihtosähköllä toimivan valaistusjärjestelmän. Vuonna 1891 Westinghouse teki historiaa 13 mailia pitkällä sähkönsiirtolinjalla. Siitä lähtien vaihtosähkö oli ykkösvaihtoehtona jakelujärjestelmissä. Vaihtosähkön hyvät muuntomahdollisuudet muuntajilla teki siitä sopivan pitkien matkojen väliseen tehonsiirtoon.

Noista ajoista lähtien vaihtosähkö on ollut lähestulkoon ainoa vaihtoehto sähkönjakelujärjestelmissä. Suomessa viimeinen kaupallinen tasasähköjakelujärjestelmä oli tietyvästi käytössä Helsingissä 1950-luvulla ja Ruotsissa 1970-luvulla. Nykyään tasasähköä käytetään vain suurjännitesähkönsiirtoon pitkien matkojen yli sekä tietysti elektroniikkalaitteissa. Viime aikoina on kuitenkin ollut paljon keskustelua tasasähkön soveltumisesta sähkönjakeluverkkoihin, varsinkin tehoelektronisten suuntaajien halpenemisen myötä. Myös vaihtoehto, jossa teho toimitettaisiin kuluttajalle ja kuormiin tasasähköä on ollut pohdintojen alla. Tässä työssä tuon esille pääkohtia tasajännitejakelujärjestelmistä, esittelen yleisesti käytettävissä olevaa tekniikkaa sekä varsinkin nykyisten sähkölaitteiden ja -kojeiden soveltuvuutta tasajännitteelle kiinteistöjen DC-verkkoja ajatellen.

2 SÄHKÖNJAKELU NYKYPÄIVÄNÄ SUOMESSA

Suomessa kaikki sähköntuottajat ja kuluttajat on kytketty yhteiseen sähköverkkoon. Sähkönsiirron perusperiaate on mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella tapahtuva voimansiirto. Sähkönjakeluverkon välityksellä jaetaan sähköä pienille ja keskisuurille sähkön loppukäyttäjille. Jakeluverkko koostuu sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista ja pienjänniteverkosta. Jakeluverkossa saattaa myös olla sähköntuotantoa, mutta sähkön tuotannosta suurin osa siirretään kuitenkin jakeluverkkoon kantaverkon kautta. (Partanen 2006)

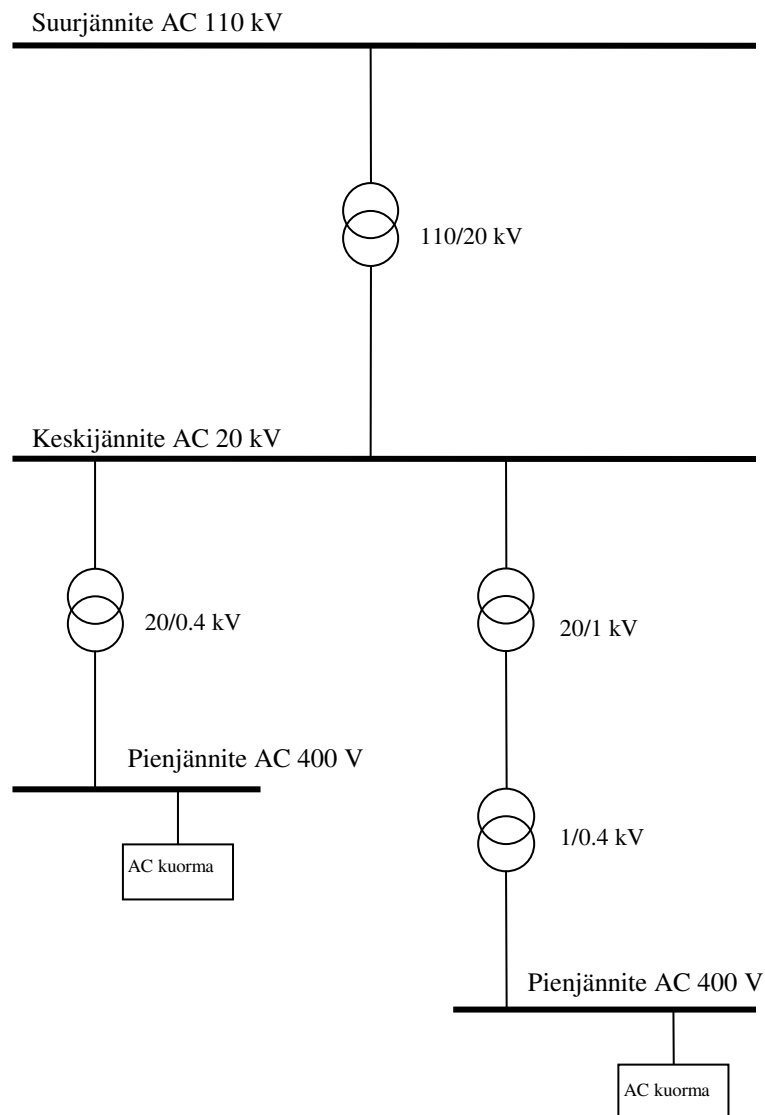
Suomen sähköjärjestelmä on toteutettu nykyisin kolmivaiheisena vaihtosähköjärjestelmänä, jonka nimellistaajuutena on 50 Hz. Kolmivaiheisessa järjestelmässä jännitteiden osoittimet pyörivät 120 asteen vaiheierrosta toisiinsa nähden (Salonen 2006). Tasasähköä käytetään tällä hetkellä tehonsiirtoon jos siirtomatkat ovat pitkiä (esim. Suomen ja Ruotsin välillä) tai jos halutaan eristää vaihtosähköjärjestelmät toisistaan, kuten Suomen ja Venäjän välillä.

Sähkön loppukäyttäjällä näkyvä jännitteen laatu määräytyy lähes kokonaan jakeluverkon ominaisuuksien perusteella. Jännitteen laatuun vaikuttaa muun muassa keskeytysten määrät ja jänniteheilahtelut. Yksi jakeluverkon kehittämistavoitteista onkin juuri jännitteen laadun parantaminen kustannustaloudellisesti.

2.1 Verkon rakenne yleisesti

Sähkönjakelujärjestelmä koostuu siis sähköasemista, keskijänniteverkosta, jakelumuuntamoista ja pienjänniteverkosta. Jakeluverkot ovat paikallisten sähköyhtiöiden omistuksessa. Sähköverkkoyhtiöt ovat velvollisia toimittamaan sähkön käyttäjille hyvänlaatuista sähköä sekä ylläpitämään ja kehittämään verkkoaan tämän saavuttamiseksi. Sähköasemat ovat yhteydessä Fingridin omistamaan kantaverkkoon 110 kV jännitetasolla. Sähköasemilla 110 kV (joissain tapauksissa myös 45 kV) jännite muunnetaan muuntajalla 20 kV. Tällä 20 kV keskijännitteellä sähkö siirretään jakelumuuntamoille (20/0.4 kV), joilla muunnetaan jännite 400 V pienjännitteeksi sähkönkuluttajalle.

Viime aikoina on paljon tutkittu ja jonkin verran käytettykin yhden pienjänniteportaan lisäämistä jakelujärjestelmään. Siinä keskijänniteverkon jännite muutetaan ensin yhden kilovoltin jännitteeseen, jonka jälkeen muutetaan vielä kilovoltista 400 V. Euroopan Unionin pienjännitedirektiivi astui Suomessa voimaan vuonna 1995, joka mahdollisti käyttää pienjänniteverkossa 1000 V vaihtojännitettä ja 1500 V tasajännitettä. Tällä kilovoltin jännitetasolla voidaan esimerkiksi korvata avojohtoinen keskijännitehaarajohto AMKA-ilmakaapelilla. Tällä yhden jänniteportaan lisäämisellä saavutetaan mm. parempi käyttövarmuus, sekä pienemmät investointi- ja käyttökustannukset. Kuvassa 2.1 on perusperiaate Suomen nykyisestä sähköjakelujärjestelmästä.



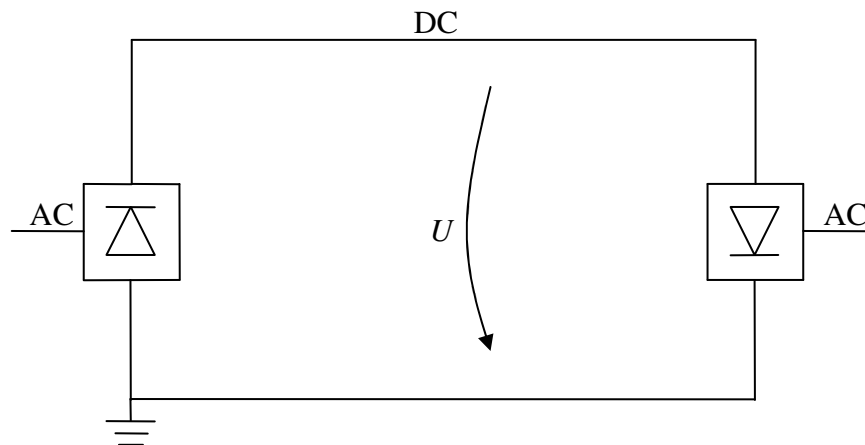
Kuva 2.1. Periaatekuva Suomen nykyisestä kolmivaiheisesta 50 Hz vaihtosähköjakeluverkosta.

3 TASASÄHKÖJAKELU

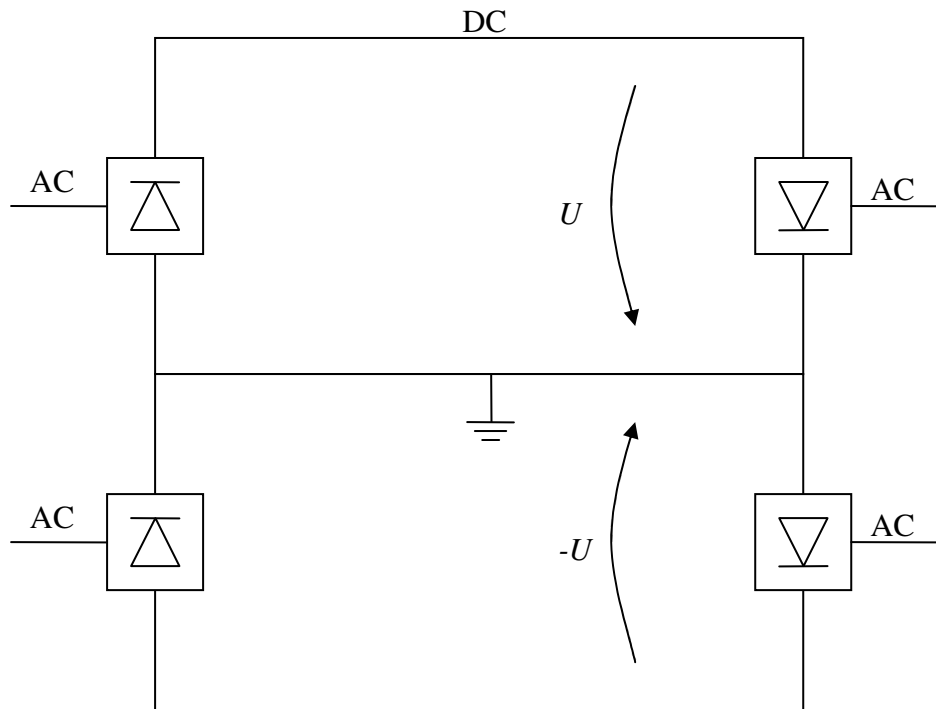
Lähtökohtana nykyisestä vaihtosähköjaketusta tasasähköjaketuun siirtymisessä on sähkönkäyttäjän sähkön laadun parantaminen, energiatehokkuuden lisääminen sekä kustannusten pienentäminen verkkoyhtiön näkökulmasta. Lisäksi tasajännitteiseen järjestelmään on helpommin kytkettävissä hajautettua energiantuotantoa sekä akkuvarastoja, joilla voidaan parantamaan jakeluverkon käyttövarmuutta sekä mm. puskuroida sähkökatkoksia. Jopa 1500 V tasasähkön käyttäminen sähkönjakelussa mahdollistaa myös suurempien tehojen siirtämisen edullisilla pienjännitekaapeleilla, kun nykyisessä vaihtosähköjärjestelmässä maksimijännite on 1000 V. Jakeluverkon kehitys ja uudistus on melko hidasta johtuen verkostokomponenttien pitkistä pitoajoista, mutta toisaalta Suomen jakeluverkko on tällä hetkellä suurimmilta osiltaan melko ikääntynyttä ja uudistuspainetta on lähivuosina tulossa. Tästä johtuen tulevaisuudessa voidaan vakavasti harkita myös tasajännitettä jakeluverkoissa.

3.1 Tasasähköjärjestelmät

Tasasähköjärjestelmän toteutus voidaan tehdä joko kaksi- tai kolmijohtimisena. Kaksijohtimista järjestelmää kutsutaan mono- tai unipolaariseksi järjestelmäksi ja vastaavasti kolmijohtimista bipolaariseksi järjestelmäksi. Monopolaarisessa järjestelmässä on käytettävissä yksi jännitetaso, kun taas bipolaarisessa jännitetasoja on käytössä kaksi joista toinen on positiivinen ja toinen negatiivinen. Kuvissa 3.1 ja 3.2 on esitetty mono- ja bipolaariset tasasähköjärjestelmät



Kuva 3.1. Monopolaarisen tasasähköyhteyden toteutus.



Kuva 3.2. Bipolaarisen tasasähköyhteyden toteutus.

Monopolaarinen siirtoyhteys tarvitsee siis kaksijohtimisen siirtojohdon. Toinen johdoista toimii virran meno- ja toinen paluujohdina (Salonen 2006). Kuvaan piirrettyssä järjestelmässä on molemmissa päissä suuntaajat, alussa tasa- ja lopussa vaihtosuuntaaja. Toki järjestelmä voidaan toteuttaa myös pelkällä alkupään tasasuuntaajalla jos loppupäässä on tasajännitekuorma. Tällöin voidaan muun muassa kokonaishyötysuhdetta parantaa, kun järjestelmästä poistuu yksi suuntaaja.

Bipolaariyhteydessä siirtojohtoja tarvitaan kolme, koska jännitetasoja on kaksi. Jännitetasot ovat yhtä suuret, mutta vastakkaisuuntaiset yhteiseen maapotentiaaliin nähden. Bipolaariyhteydessä on alku- ja loppupäässä kaksi identtistä suuntaajayksikköä, jotka kytketään maan (nollajohdin) ja jännitejohtimen välille. Molemmissa, niin mono- kuin bipolaarisessakin siirtoyhteydessä, voidaan käyttää samanlaista suuntaajatekniikkaa.

Molemmat järjestelmät on myös mahdollista toteuttaa siten että virran paluureittinä käytetään maayhteyttä johtimen sijasta (kuten meri tai maa) kytkemällä maapotentiaalit ”yhteen” erillisten maadoituselektrodien välityksellä. Tällöin tarvitaan monopolaarisessa yhteydessä vain yksi ja bipolaarisessa kaksi johdinta. Maayhteyttä käytettäessä voidaan kuitenkin tör-

mätä ongelmatilanteisiin kuten maan suuri resistiivisyys ja korroosiovaikutukset. (Salonen 2006)

3.2 Maadoitus ja jännitetasot

Tasasähköjärjestelmissä maadoitustapa voi olla maadoitettu tai maasta erotettu, aivan kuiten vaihtosähköjärjestelmissäkin. SFS 6000 standardin mukaan maadoitustapa vaikuttaa pienjännitteisessä tasasähköjärjestelmässä käytettyihin maksimijännitteisiin taulukon 3.1 mukaisesti.

Taulukko 3.1. Pienjännitteisten tasasähköyhteyksien jännitetasot eri maadoitustavoilla. (SFS 6000)

Maadoitustapa	Maadoitettu	Maasta erotettu
Tasajännite maan ja navan välillä [VDC]	$120 < U \leq 900$	$120 < U \leq 1500$
Tasajännite napojen välillä [VDC]	$120 < U \leq 1500$	$120 < U \leq 1500$

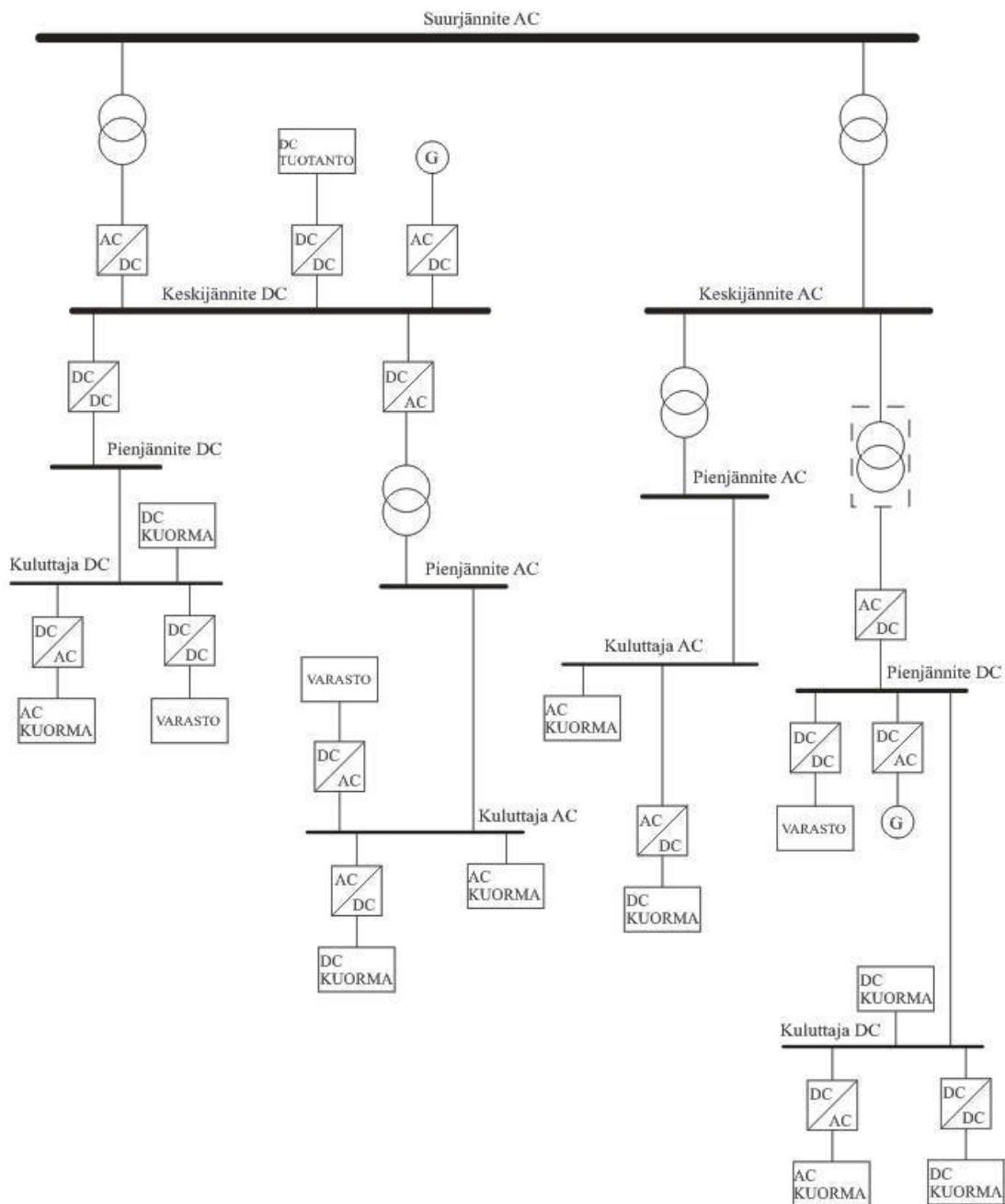
Taulukosta nähdään, että pienjännitteisen tasasähköjärjestelmän maksimijännitteet maadoitetussa järjestelmässä ovat 900 VDC (monopolaarinen) ja ± 750 VDC (bipolaarinen). Monopolaariyhteyttä käytettäessä yli 900 VDC jännitteellä pitää järjestelmän olla maasta erotettu. Varsinaisesti mitään standardia tasajänniteverkkojen jännitteelle ja laadulle ei ole olemassa. Pienjännitedirektiivi 73/23/EEC määrittelee pienjännitteeksi 75-1500 VDC.

3.3 Tasasähkön käyttökohteet sähkönjakelussa

Tasajännitejakelun toteuttamiseen on useita erilaisia mahdollisuuksia. Kuluttajan puolella DC-jakelun ei välttämättä tarvitse näkyä ollenkaan, jos tasajännite vaihtosuunnataan ennen asiakkaan sähköliityntää (LTY 2007). Toisaalta taas tasajänniteverkko voitaisiin ulottaa kuluttajalle asti, jolloin myös kuluttaja voisi hyötyä tasajännitteen tuomista eduista sähkönjakeluun. Tällöin muun muassa tasajännitteelle soveltuvat kuormat, energiavarastot ja tuotanto olisi kytkettävissä suoraan DC-järjestelmään. Nykyään sähkökäyttäjillä on monia sellaisia kulutus- tai tuotantolaitteita, joiden liittämällä tasajänniteverkkoon voisi olla kustannuksiin tai energiatehokkuuteen positiivisia vaikutuksia. (VTT 2007)

Kuvassa 3.3 on kuvattuna tasasähköjärjestelmien erilaisia toteutustapoja niin keski- ja pienjännitteellä, hajautettua energiantuotantoa sekä energian varastointia hyödyntäen. Lisäksi eri verkon osia voitaisiin kytkeä vikatilanteissa irti omiksi niin sanotuiksi mikroverkoikseen jos niissä on riittävästi omaa tuotantokapasiteettia tai riittävät energiavarastot.

Tällöin muun muassa vikatilanteissa voitaisiin vika-aluetta pienentää merkittävästi nykyiseen vaihtosähköjärjestelmään verrattuna. Teknistaloudellisesti tasajännitejaketun kannattavuus verrattuna nykyiseen 20/0,4 kV vaihtosähköjakelujärjestelmään on hyvin tapauskohtainen. Se riippuu useista osatekijöistä, joita ovat muun muassa korvattavan keski- ja pienjänniteverkon pituus, kokonaissiirtoteho, tasajännitejärjestelmän kytkentätapa (monovai bipolaarinen), asiakkaiden määrä, asiakkaitiheys, asiakkaiden sijainti jne.



Kuva 3.3. Erilaisia toteutusmahdollisuuksia tasajännitejakeluverkoille.

Toisaalta sähkönjakelussa tasajännitettä voitaisiin käyttää nykyisten HVDC-järjestelmien tapaisesti yhdistämään esimerkiksi kaksi keskijänniteverkkoa toisiinsa (DC-linkki). Tällöin sitä käytetään vain siirtämään tehoa pisteestä toiseen. Tällainen järjestelmä voitaisiin toteuttaa joko yksi- tai kaksisuuntaisena. (LTY 2007)

4 VERKON KOMPONENTIT

Pienjännitteisessä tasasähköjärjestelmässä voidaan käyttää samoja verkon peruskomponentteja kuin mitä on käytössä pienjännitevaihtosähköjärjestelmässä. DC-järjestelmien siirtojohtoina voidaan käyttää samoja pienjännitekaapeleita kuin normaalissa vaihtosähköjakelujärjestelmässäkin. Tasajännitteellä lisäkomponentteja ovat tasa- ja vaihtosuuntaajat, tasajännitemuuttajat sekä mahdolliset suojaus- ja kompensointilaitteet. (Salonen 2006)

4.1 Suuntaajat

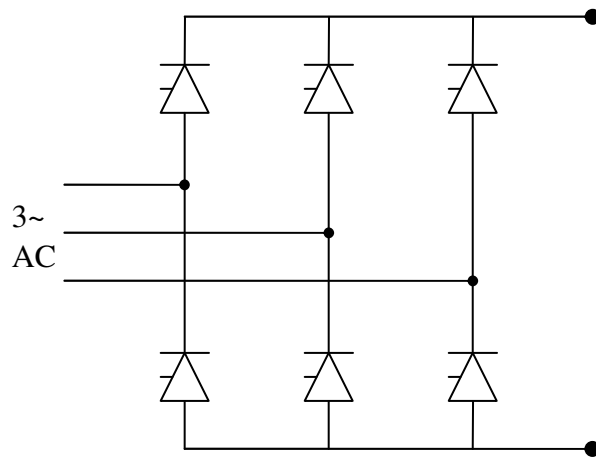
Suuntaajilla tarkoitetaan laitetta, jolla pystytään muuntamaan vaihtojännitettä tasajännitteeksi tai päinvastoin. Niin tasa- kuin vaihtosuuntaajatkin ovat pienjännitteisen DC-jakelujärjestelmän tehoelektronisia peruskomponentteja. Tasasähkönjakelujärjestelmissä voidaan käyttää tasasuuntaajina joko aktiivista tai passiivista suuntaajatekniikka. Vaihtosuuntaus puolestaan on sen verran monimutkaisempaa, että sitä ei ilman aktiivisia komponentteja pystytä toteuttamaan. Nykyään suuntaajatekniikkaa käytetään varsinkin sähkömoottorikäyttöjen taajuusmuuttajissa. Laitteiden yleistymisen vuoksi myös niiden hinnat ovat tippuneet huomattavasti.

4.1.1 Tasasuuntaaja

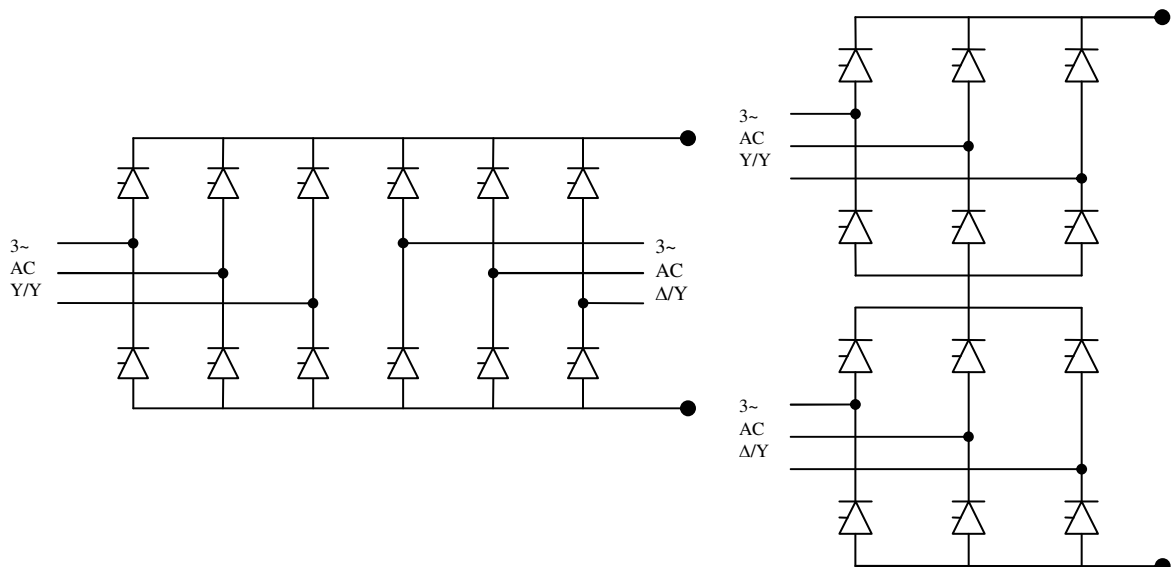
Tasasuuntaaja voi olla yksinkertaisimmillaan diodisilta, joita käytetään paljon mm. kulutuselektronikan tasasuuntaajissa. Diodisilta on kuitenkin hyvin rajoittunut muun muassa ohjaamisen suhteen eikä sillä pystytä siirtämään tehoa kuin yhteen suuntaan. Eduiksi diodisillalle voidaan ehdottomasti katsoa yksinkertainen rakenne ja edullinen hinta. Perus diodisiltatekniikalla toteutettu tasasuuntaaja onkin sopiva kohteisiin, joissa tasajänniteverkossa ei ole ylimääräistä tuotantoa, eli tehoa siirretään vain DC-verkkoon päin. Ohjattavuudeltaan diodisiltaa parempi on puoliksi tai kokonaan ohjattu tyristori- tai IGBT-silta. Niillä voidaan muun muassa säätää tasajännitteen tasoa sekä siirtää tehoa DC-verkosta vaih-

tosähköverkkoon päin. Tosin tällaiset suuntaajat ovat huomattavasti kalliimpia, kuin diodisillalla toteutetut suuntaajat.

Syöttävän vaihtosähköverkon ollessa kolmivaiheinen tarvitaan kuusipulssisilta. Tasasuuntaajissa käytetään myös ns. kaksitoistapulssisiltaa, jossa on kaksi kuusipulssisiltaa kytketty sarjaan tai rinnan. Bipolaariyhteydessä molemmille jännitetasoille tarvitaan oma suuntaajajaysikkö. Kuvassa 4.1 on kuusi- ja kuvassa 4.2 kaksitoistapulssisiltojen rakenne.



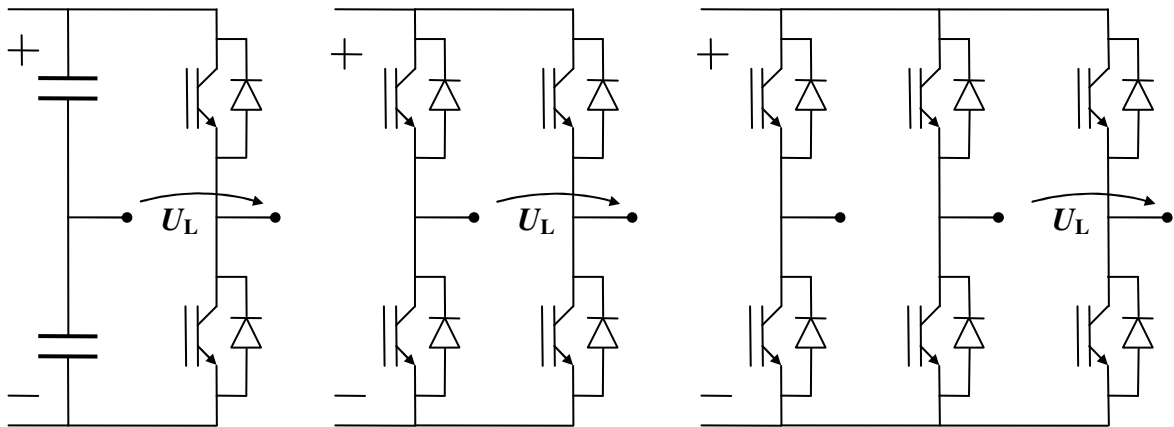
Kuva 4.1. Kuusipulssisillalla toteutetun tasasuuntaajan rakenne.



Kuva 4.2. Tasasuuntaajan rakenne jos rinnankytketty tai sarjaankytketty kaksitoistapulssisilta.

4.1.2 vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaajan perusrakenne on PWM (Pulse Width Modulation - Pulssinleveysmodulaatio) ohjattu IGBT-silta (Voutilainen 2007). Tällöin pystytään esimerkiksi 1400 V tasajännite muuttamaan suoraan 400 V vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaaja voi olla tarpeen mukaan joko yksivaiheinen tai kolmivaihteinen. Kuvassa 4.3 on esitetty vaihtosuuntaajien perusrakenteet.



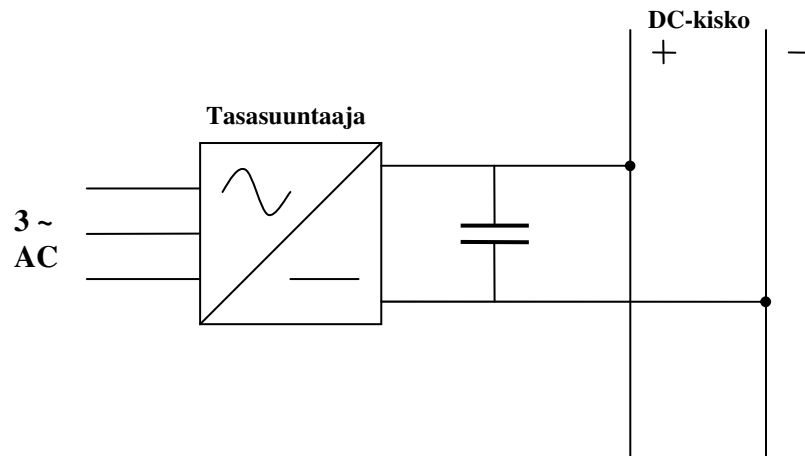
Kuva 4.3. Vaihtosuuntaussillan perusrakenteet. a) yksivaiheinen puolialtvoaihtosuuntaaja, b) yksivaiheinen kokoaltvoaihtosuuntaaja ja c) kolmivaiheinen kokoaltvoaihtosuuntaaja (Nuutinen 2006; LTY 2007).

Jakeluverkkokäytössä paras vaihtoehto vaihtosuuntaukseen on kokoaltvoaihtosuuntaaja, jolla pystytään muodostamaan muun muassa kuluttajan tarvitsema yksivaiheinen 230 V vaihtojännite tarkasti vaikka tasajännitepuolella jännite vaihtelisi paljonkin kuormitusten muutosten takia. Kolmivaiheista kokoaltvoaihtosuuntaajaa voidaan myös tarpeen vaatiessa käyttää vastakkaiseen suuntaan (tasasuuntaajana), jolloin voidaan siirtää tehoa myös vaihtosähköverkosta tasasähköpiiriin. Tällainen ratkaisu tulee tarpeeseen, kun tasasähköjärjestelmään kytketään sähköntuotantoa. (LTY 2007)

4.2 Suodattimet

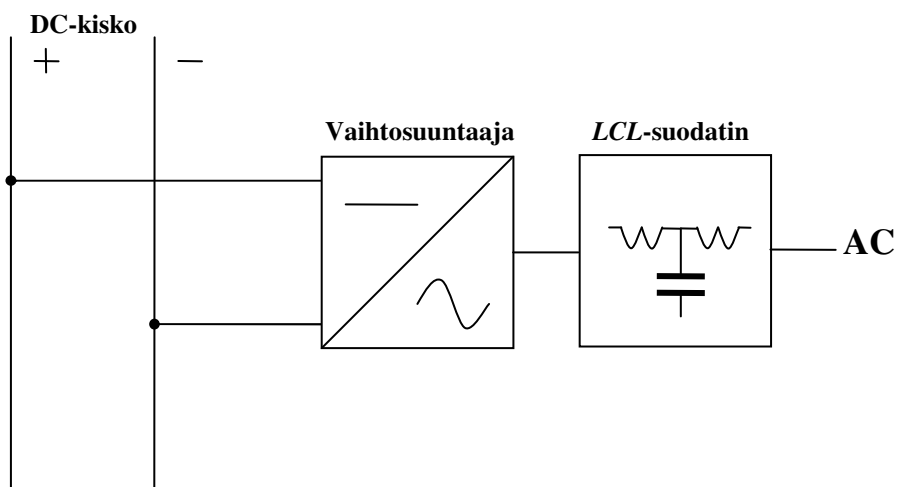
Suuntaajat tuottavat toimiessaan epäsuotuisia yliaaltoja DC- ja AC-verkkoon. Niitä voidaan suodattaa pois erilaisilla suodattimilla, jotka voivat koostua mm. kondensaattoreista, kuristimista ja vastuksista. Suodattimilla voidaan tasoittaa myös jännitteen vaihteluja sekä tuottaa suuntaajien tarvitsemaa loistehoa. Suuntaajan AC-puolella suodattimen tehtävänä on suodattaa pois suuntaajan vaihtovirtaverkkoon syöttämät harmoniset yliaallot (VTT

2007). Tasasuuntaajien DC-verkon puoleinen suodatin voi olla pelkkä kondensaattori kuvan 4.4 mukaisesti. Kondensaattorin tarkoituksena on suodattaa vaihtosähköverkosta tulevia häiriöitä sekä vakavoittaa jännitettä tasajännitepuolella.



Kuva 4.4. Tasasuuntaajan tasajännitepuolelle kytketty suodatinkondensaattori.

Vaihtosuuntauksen lähtöpuolella (vaihtosähköverkko) tarvitaan jännitteensuodatusta, jotta voidaan saavuttaa haluttu sinimuotoinen jännite ja sen kokonaissärölle asetetut vaatimukset. Lähtöjännitteen suodatuksen tehtävänä on suodattaa pois suuntaajasillan aiheuttamat perustajuuutta suuremmat jännitteen taajuuskomponentit. Suodin voidaan toteuttaa kolmella perustopologialla: LC , LCL , $L+LC$ ja näiden monikertoina. Peruseriaate suodatukselle on esitetty kuvassa 4.5. (LTY 2007)



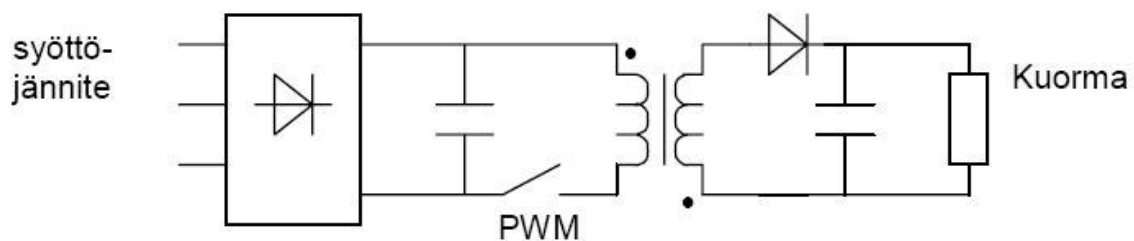
Kuva 4.5. Lähtöjännitteen (AC) suodatus vaihtosuuntaajan jälkeen.

4.3 Tasajännitemuuttaja

Tasajännitemuuttajalla (tai hakkurilla) pystytään nostamaan tai laskemaan tuleva tasajännite tiettyyn arvoon. Muuttajia on kolme eri tyyppiä: jännitettä laskevia (engl. buck converter), jännitettä nostavia (engl. boost converter) sekä jännitettä laskevia ja nostavia (engl. buck-boost converter). Tasajännitemuuttajalla on paljon käyttöä ajatellen tasasähköjakelua. Se soveltuu mm. ohjatuksi liityntärajapinnaksi energiavarastojen ja tasajänniteverkon välille tai sovelluksiin joissa tarvitaan jännitetason muuttamista (vrt. vaihtosähköverkon muuntaja).

Tasajännitemuuttajia käytetään nykypäivänä laajasti esimerkiksi hakkuriteholähteissä. Tasajännitemuuttajan etuna on korkea hyötysuhde, joka voi olla 85-90 %. Tasajännitemuuttajan toiminta perustuu tulevan virran nopeaan katkomiseen ja niiden perustopologia muodostuu kytkimestä, kelasta, diodista ja suotokondensaattorista. Haittapuolena hakkureissa on korkeasta kytkentätaajuudesta (luokkaa kymmenistä kilohertseistä jopa megahertsiin) aiheutuvat johtuvat ja/tai säteilevät häiriöt. (TKK 2001)

Kuvassa 4.6 on esitetty muuttajan yksinkertaistettu piirros. Kuvassa syöttävä verkko on vaihtojännitteinen, joka tasasuunnataan ennen varsinaista hakkuripiiriä. Tällaisenaankin muuttaja soveltuu käytettäväksi tasajännitteellä, mutta silloin tasasuuntauspiiri on ylimääräinen ja voidaan toisaalta jättää kokonaan pois.



Kuva 4.6. Tasajännitemuuttajan yksinkertaistettu piirros. (Tirronen 2005)

4.4 Tehoelektronisten laitteiden häviöt ja hyötysuhde

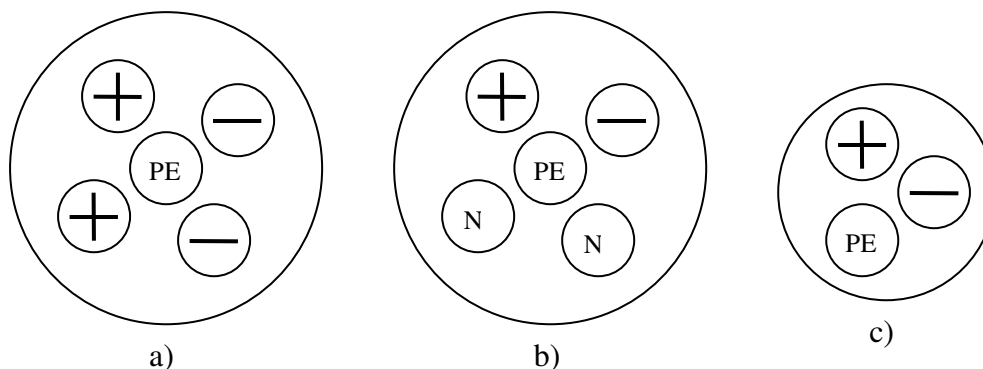
Pohdittaessa tasajännitejakelun taloudellista kannattavuutta vaihtosähköjärjestelmään verrattuna, pitää ottaa huomioon suuntaajissa ja suodattimissa tapahtuvat tehohäviöt, joilla on vaikutusta koko järjestelmän hyötysuhteeseen ja sitä kautta kannattavuuteen. Suuntaajien

määrä voi isossa verkossa kasvaa hyvinkin suureksi varsinkin jos tasajännite vaihtosuunnataan jokaiselle pienjänniteasiakkaalle omalla suuntaajayksiköllä. Järjestelmän kokonaishyötysuhdetta voitaisiinkin parantaa jättämällä vaihtosuuntaus pois asiakkaan puolelta ja laajentamalla tasajänniteverkko ulottumaan kulutukseen asti.

Suuntaajien häviöt muodostuvat useista eri osista, kuten esimerkiksi tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöistä. Karkeasti voidaan ajatella että suuntaajien hyötysuhteet ovat saamaa luokkaa kuin perinteisellä jakelumuuntajalla. Tällöin DC-järjestelmän kokonaishyötysuhde ei muuttuisi verrattuna vaihtosähköjärjestelmään. Pitää kuitenkin muistaa, että suuntaajien määrä voi olla suurempi kuin jakelumuuntajien, eikä järjestelmien verkkomuodotkaan ole suoraan verrattavissa keskenään.

4.5 Pienjännitekaapelit

Johtojen tehtävänä sähköverkossa on siirtää tuotantolaitoksessa tuotettu teho kuluttajan käytettäväksi. Virran kulkiessa johtimessa syntyy johtimien impedanssien vaikutuksesta tehohäviöitä. Nykyisin kaupalliset pienjännitekaapelit on suunniteltu käytettäväksi kolmi- vaiheisella vaihtojännitteellä, mutta ne kuitenkin soveltuvat myös tasajännitteelle. Tasasähköjakelussa vaatimukset pienjännitekaapeleille muodostuvat DC-verkossa käytetyn jännitteen perusteella. Useimmat pienjännitekaapelit ovat myös nelijohtimisia, jolloin voidaan tasajänniteverkosta riippuen johtimia kytkeä rinnan tai jättää osa johtimista kytkemättä. Kuvasta 4.7 käy ilmi miten pienjännitekaapelit voitaisiin kytkeä tasasähköjärjestelmään.



Kuva 4.7. Pienjännitekaapeleiden kytkeminen tasasähköjärjestelmiin. Kohdassa a) ja c) kyseessä monopolaarinen järjestelmä ja b) kohdassa bipolaarinen. a) ja b) ovat viisijohtimisia kaapeleita ja c) kolmi-johtiminen kaapeli.

4.6 Suojaus

Vikatilanteissa tasajännite on melko vaarallista, koska vikavirran katkaisu on erittäin vaikeaa, kun taas vaihtovirta katkeaa helposti virran nollakohdissa. Tasavirran katkaisemiseksi on järjestettävä pitkä avausväli, jotta sammutuksessa syntyvä valokaari voisi sammua. Esimerkkinä virrankatkaisusta voidaan mainita mm. 400 V kontaktori, joka pystyy hyvin katkaisemaan vaihtovirralla nimellisvirtansa, mutta tasajännitteellä vain murto-osan nimellisvirrastaan. Perinteinen sulake taas soveltuu kohtalaisen hyvin myös tasavirran katkaisuun. Sulakkeen sammutuskammiossa oleva kvartsihiekkä jäähdyttää ja sammuttaa tasavirran hyvin. (LTY 2007b)

Koska tehoelektroniset suuntaaja eivät syötä oikosulkuvirtaa, on poiskytkentäaikojen toteutuminen haaste DC-järjestelmällä syötetyissä verkoissa. Tällöin mm. sulakesuojauksella ei välttämättä pystytä täyttämään vaadittavia poiskytkentäaikavaatimuksia. Lisäsuojina voidaan käyttää vikavirtasuojakytkintä tai vaihtoehtoisesti lisäpotentiaalintasausta. (Voutilainen 2007)

Mikäli tasasähköyhteyden suojaus toteutetaan 1 kV vaihtosähköjärjestelmän tavoin johdonsuojakatkaisijalla, muodostaa jokainen tasasähköyhteys tällöin oman itsenäisen suojausalueensa, joka parantaa jakelujärjestelmän käyttövarmuutta. (VTT 2006)

5 KIINTEISTÖN TASASÄHKÖJAKELU

Kiinteistöjen jakelujännitteeksi on vakiintunut 1900-luvun alusta lähtien vaihtojännite energiankulutuksen kasvun myötä. Nykyään on kuitenkin herännyt ajatuksia tasajännitteen käytön mahdollisuuksille kiinteistöissä. Varsinkin lisääntyneet elektroniset kuormat ovat johdattaneet tähän keskusteluun. Myös ihmisten halu muun muassa keskeyttömään sähkönjakeluun on ollut vaikuttamassa tähän. Niin sanotut matalaenergiatalot voisivat hyödyntää paikallista sähköntuotantoa ja –varastointia. Monet nykypäivän kiinteistöjen kuormituslaitteista pystytään liittämään tasajännitejärjestelmään suoraan. Myös mm. poltto- ja aurinkokennot tuottavat suoraan tasajännitettä. Varsinkin uudiskohteissa ainakin osittaisen tasasähkön käyttö on jo nykypäivänä hyvä vaihtoehto vaihtosähkölle varsinkin jos myös syöttävä pienjänniteverkko olisi DC-tekniikalla toteutettu.

5.1 Edut, mahdollisuudet ja heikkoudet

Mitä etuja ja uusia mahdollisuuksia sitten olisi siirtymisessä vaihtojännitteestä tasajännitteeseen? Entäpä missä tapauksissa nykyinen vaihtosähköjärjestelmä on parempi? Taulukon 5.1 on koottu muutamia asioita ja näkökohtia asian tiimoilta yksinkertaisen SWOT-analyysin pohjalta.

Taulukko 5.1. Kiinteistöjen tasasähköjärjestelmien SWOT-analyysi.

Mahdollisuudet	Uhat
<ul style="list-style-type: none"> • Sähkön laadun parantaminen • Sähköverkon käyttövarmuus, luotettava ja keskeytymätön sähkönsyöttö • Elektronisten kuormien lisääntyminen • Energiatehokkuuden parantaminen • Energiantuotannon ja –varastoinnin lisääminen 	<ul style="list-style-type: none"> • Turvallisuuskysymykset, suojaus (saattaa olla myös vahvuus) • Vaihtosähkön pitkäaikainen ja laaja käyttö
Vahvuudet	Heikkoudet
<ul style="list-style-type: none"> • Energiavarastot • Energiantuotantoyksiköt • Sähkön laadun parantuminen • Useiden AC/DC-muunnosten poisjäänti, energiatehokkuus • Keskeytymätön sähkönsyöttö 	<ul style="list-style-type: none"> • Uutta tekniikkaa • Olemassa olevan tekniikan vähäisyys • Ei olemassa olevia standardeja • Kustannuskysymykset • Vaikea siirtyminen vaihtosähköstä tasasähköön

5.2 Tasajännite sähkökojeissa

Jakeluverkoissa esiintyy hyvin monia erilaisia kuormia verkon kannalta katsottaessa. Hyvin merkittävässä roolissa on kuitenkin pienjänniteverkkoon kytketyt rakennukset kuten omakotitalot, kerros- ja rivitalot sekä toimistorakennukset. Verkkoon kytketyt sähkölaitteet ovat luonteeltaan kuitenkin hyvin erilaisia sähköisiltä ominaisuuksiltaan. Nykyäänkin on olemassa paljon sellaisia laitteita, jotka toimisivat vähintään yhtä hyvin ellei jopa paremmin tasajänniteverkkoon kytkettyinä. Varsinkin verkon kannalta helpot resistiiviset kuormat soveltuvat hyvin tasajännitteelle (VTT 2007). Toki täytyy ajatella asiaa myös siltä kantilta, että tasasähköjärjestelmien yleistyessä tulisi markkinoille varmasti hyvinkin nopeasti tasajänniteverkkoon varta vasten tehtyjä sähkölaitteita.

Nykyään monien sähkölaitteiden sisäinen käyttöjännite on tasajännitettä, jolloin niissä tarvitaan nykyisellään AC-DC-muunnosta. Jos syöttävä verkko olisi tasajännitteinen voitaisiin tämä muunnos poistaa, jolloin kyseisten sähkölaitteiden kokonaishyötysuhde paranisi. Tasajännitettä käytetään nykyään muun muassa tietokoneissa, valaistuksessa, televisioissa sekä niiden lisälaitteissa. Monet näistä laitteista ovat täysin yhteensopivia tasajänniteverkkoon kytkettäväksi myös sellaisenaan ilman muutoksia. Tarkastellaan seuraavaksi muutamia kodeissa jokapäiväisessä käytössä olevia sähkölaitteita. Muun muassa EPRI Solutions (Electric Power Research Institute) on tutkinut muutamien laitteiden soveltuvuutta tasajännitekäyttöön.

5.2.1 Valaisimet

Valaisimia on nykypäivänä tarjolla monenlaisia; on perinteisiä hehkulamppuja, loisteputkilamppuja, energiansäästölamppuja, halogeenilamppuja ja mm. LED-tekniikalla toteutettuja lamppuja. Yleisesti katsottuna lähes kaikki nykyajan valaisimet soveltuvat kytkettäväksi suoraan tasajännitteelle.

Hehkulamput

Perinteiset, paljon hukkalämpöä tuottavat hehkulamput soveltuvat hyvin DC-järjestelmään. Niissä on hehkulanka, joka lämpenee ja alkaa hehkumaan virran kulkiessa langan läpi.

Loisteputkilamput

Loisteputkivalaisin koostuu kuristimesta, kompensointikondensaattorista, sytyttimestä ja itse loisteputkesta (Wikipedia 2008). Loisteputkien soveltuminen tasajännitteelle riippuu siinä olevasta kuristimesta, jota käytetään purkamaan ja säätämään virtaa lampussa. Vanhemmissa loisteputkivalaisimissa kuristin on magneettinen ja uudemmissa elektroninen. Elektronisella kuristimella varustetut loisteputkivalaisimet soveltuvat tasajännitteelle, kun taas magneettisella eivät. Tosin vanhempien mallien magneettinen kuristin on korvattavissa uudella elektronisella kuristimella. Niitä on jo nykyään olemassa muutamilla valmistajilla. Niillä myös saavutetaan parempi hyötysuhde ja valontuottokyky kuin magneettisilla kuristimilla. (EPRI 2006)

Energiansäästölamput eli pienloistelamput

Peruseriaatteeltaan energiansäästölamput ovat samankaltaisia kuin nykyajan loisteputkivalaisimet. Niissä on pieni taiteltu kaasutäytteinen putki ja sisäänrakennettu elektroninen kuristin. Energiansäästölamput ovat hyvin energiatehokkaita verrattuna hehkulamppuihin ja myös niiden käyttöikä on pidempi.

EPRI Solutions on testannut, että energiansäästölamppu toimii tasajännitteellä, mutta sen jännitetason pitää olla kaksi kertaa niin paljon kuin vaihtosähköllä. Tämä johtuu kuristimessa olevasta jännitteenjakopiiristä. Tämä ylijännitteen käyttö saattaa heikentää energiansäästölamppun kestoikää (EPRI 2006). Toki tämä saattaa olla valmistaja ja mallikohtainen ominaisuus. Tänä päivänä energiansäästölamppuja on jo tehty mm. 12 VDC sähköjärjestelmille. Jos DC-jakelu kiinteistöissä yleistyisi, tulisi markkinoille varmasti nopeasti tietyn tasoiselle DC-jännitteelle tehtyjä energiansäästölamppuja.

Halogeenilamput

Halogeenilamppujen toiminta on samankaltainen, kuin hehkulamppujenkin. Erona on, että niiden kuvun sisällä on halogeenikaasuja, jotka estävät hehkulangasta irtoavien wolframiatomien kiinnittymisen lampun kupuun kuljettamalla ne takaisin lampun hehkukierukan (OSRAM 2007). Halogeenilampun tehosta noin 95 % muuttuu lämmöksi, minkä puolesta ne eivät energiatehokkuudessa pärjää esim. energiansäästölamppuille. Halogeenilamput soveltuvat toimintansa puolesta kytkettäväksi suoraan tasasähköjärjestelmään jännitetason tietysti huomioiden. Ainakin 12 VDC järjestelmiin niitä on jo markkinoilla olemassa.

LED-lamput

LED-lamppu on uusin tulokas yleisvalaisimien joukossa. Perinteisesti niitä on käytetty mm. elektroniikassa ja merkkivaloissa, mutta niiden hurja kehitysvauhti on tuonut jo markkinoillekin nykyisiin valaisimiin sopivia LED-lamppuja. Ledit toimivat luonnostaan tasavirralla, joten niiden kytkeminen DC-verkkoon ei tuottaisi ongelmia. Lisäksi niiden tehonkulutus verrattuna valotehoon ja kestoikään on hyvin pieni.

5.2.2 Tietokoneet, kodinelektroniikka ja hakkuriteholähteet

Tietokoneissa, niin työasema kuin kannettavissakin, on tehölähteenä hakkuriteholähde (kts. kappale 4.6). Hakkuriteholähteissä syöttävä vaihtosähkö tasasuunnataan tasasähköksi jota monet elektroniikkalaitteet käyttävät. Vaikka useimmille tehölähteille on määrätty sisään-tulojännitteeksi vaihtosähkö, niistä ainakin useimpia voidaan syöttää myös tasajännitteellä ilman muutoksia. EPRI Solutions on testannut perinteisen pöytäkoneen 250 W ATX-virtalähdettä sekä kannettavan tietokoneen virtalähdettä tasajännitteellä. Molemmissa tapauksissa testi paljasti että virtalähteet toimivat oikein jos niitä syöttää riittävän suuruisella tasajännitteellä. (EPRI 2006)

Koska lähes kaikkien uusien kodinelektronisten laitteiden tehölähteet perustuvat hakkuritekniikkaan, ei liene estettä sille etteivätkö ne soveltuisi tasajänniteverkkoon kytkettäväksi. Tänä päivänä kodeissa on paljon viihde-elektroniikka kuten televisiot, DVD-soittimet, digisovittimet, audiolaitteet jne. Näiden laitteiden tasajännitteelle soveltuvuudesta kuitenkin tarvitaan mahdollisesti lisätutkimuksia, koska markkinoilla on useiden valmistajien malleja ja merkkikohtaisia eroavaisuuksia saattaa olla. Monet laitteet varmasti toimisivat yhtä hyvin tasajännitteellä, mutta joukossa saattaa olla laitteita, jotka tarvitsisivat muutoksia tehölähteeseen toimiakseen.

5.2.3 Lämmitysvastukseen perustuvat laitteet

Tasajännitteellä voidaan syöttää melkein kaikkia laitteita joiden toiminta perustuu lämmitysvastukseen. Periaatteena kaikissa on, että lämmitetään jotain sähköisen lämmitysvastuksena avulla. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi:

- Sähkösaunan kiukaat
- Sähkölämmityspatterit
- Lämminvesivaraajat
- Sähköiset lattialämmitysvastukset
- Sähköliedet (perinteiset, ei esim. induktio), Sähköuunit ja grillit
- Kahvin/vedenkeittimet
- Leivänpaahtimet
- Silitysraudat

Yleensä näissä laitteissa ei ole mitään erillisiä muuntajia, vaan vastus kytketään suoraan verkkojännitteeseen. Tällöin laitteiden toimimiselle tasasähköllä ei pitäisi olla mitään estettä. Tosin esimerkiksi kytkimien ja katkaisijoiden toiminta tasasähköllä pitäisi testata, koska tasavirta on paljon hankalampi katkaista kuin vaihtovirta virran nollakohdan puutteesta johtuen. Toki myös näissä laitteissa saattaa valmistajakohtaisia eroavaisuuksia olla, mutta varmasti suurinta osaa laitteista voisi syöttää tasasähköllä.

5.2.4 Sähkötyökalut ja pienkotitalouskoneet

Tähän kategoriaan olen koonnut useimmista kodeista löytyviä sähkötyökaluja ja pienkotitalouskoneita, joita ovat mm:

- Sähköporakoneet
- Hiomakoneet / höylät
- Pölynimurit
- Sähkövatkaimet
- Monitoimikoneet
- Partakoneet
- Hiustenkuivaajat

Yhteistä lähes kaikille laitteille on se, että niissä on useimmiten joko yleisvirta- tai tasajännitemoottori. Yleisvirtamoottori toimii nimensä mukaisesti sekä tasa- että vaihtovirralla ja tasajännitemoottori tasajännitteellä, joka nykyisellään tasasuunnataan itse sähkökojeessa. Tällaisilla moottoreilla varustetut sähkölaitteet siis olisi kytkettävissä suoraan tasajännitejärjestelmään. Pienjännitteellä toimivat laitteet ovat useimmiten varustettu hakkuriteholähteillä, varsinkin uudemmat. Tällaiset laitteet soveltuvat pääsääntöisesti tasajänniteverkko-käyttöön. Mutta joukossa saattaa olla varsinkin vanhempia laitteita, jotka on varustettu perinteisellä muuntajalla, jotka eivät tasasähkölle sovellu.

5.2.5 Sähkömoottorikäytöt

Moottorit ovat erittäin tärkeitä sähkökoneita ja edustavat merkittävää osaa sähkönkäytöstä, lukumääräisesti niitä on satoja miljoonia. Teollisuudessa noin kaksi kolmasosaa ja kaiken kaikkiaan noin nuolet tuotetusta energiasta kulutetaan sähkömoottoreissa. Yhä monissa moottoreissa käytetään samaa teknologiaa kuin Nicola Teslan induktionmoottorissa, jotka

eivät sovellu käytettäväksi tasajännitteellä. Jos lisätään tasasähköjärjestelmään vaihtosuuntaaja/taajuusmuuttaja, pystytään moottoreita käyttämään säädetysti. Perinteisessä taajuusmuuttajassahan on tasajännitevälipiiri, joten jos syöttävä verkko olisi tasajännitteinen, jäisi tarvittava tasasuuntauspiiri pois, jolloin voitaisiin säästää energiaa nykyiseen suuntaajakäyttöön verrattuna.

Perinteisesti ilman taajuusmuuttajaa käytetty sähkömoottori on joko täysillä päällä tai pois päältä, kuten esimerkiksi jääkaapissa. Taajuusmuuttajalla säädettyinä voitaisiin jääkaapin lämpötilaa pitää tarkemmin vakiona ja myös meluhaittoja pienentää. Käyttökohteita on monia kuten ilmastointi-, tuuletus- ja lämmitysjärjestelmät. Nykyään on jo olemassa muutamia tasajännitteellä toimivia taajuusmuuttajia, jotka on suunniteltu aurinkokennojärjestelmällä syötettävien kastelu- ja vesipumppujen moottoreiden ohjaukseen. (EPRI 2006)

Tasasähköverkkoon soveltuisi myös tasavirtamoottori, joka on tasasähköllä toimiva sähkömoottori. Moottorin toiminta perustuu virrallisiin johdinvyyhteihin, jotka kääntävät rotorin magneettikentässä. Staattorina voi olla sähkömagneetti tai kestopagneetti (Wikipedia 2008). Nykyään taajuusmuuttajakäytetyt oikosulkumoottorit ovat syrjäyttäneen tasavirtamoottorin mm. teollisuuden käytöissä huoltovapaamman tekniikan vuoksi. Toisaalta ainakin tasavirtamoottoreiden kokonaishyötysuhde paransi nykyisestä jos niitä syötettäisiin DC-verkosta.

5.2.6 *Muita sähkölaitteita ja -koneita*

On varmasti olemassa muitakin sähkönkulutuskoneita, mitä ei ole vielä mainittu. Varsinkin monimutkaisten laitteiden, kuten pyykinpesu- ja kuivauskoneiden sekä ilmastointijärjestelmien tapauksessa tuskin selvittäisiin ilman laitteistolle tehtäviä modifikaatioita tasasähköön siirryttäessä, mutta niitä voitaisiin käyttää vaihtosuuntaajan välityksellä. Toisaalta näissäkin laitteissa on piirejä, jotka ovat jo nyt tasajännitteisiä ja ne voitaisiin suunnitella täysin DC-verkkoon sopivilla komponenteilla.

Varsinkin uudemmissa kiinteistöissä on nykypäivänä paljon käytössä ohjaus- ja hälytynjärjestelmiä. Tällaisten elektronisten laitteiden sisäinen käyttöjännite on pääsääntöisesti tasajännitettä ja niitä syötetään akkuvarmistetusti hakkuriteholähteillä, jolloin ei liene mitään

estettä syöttää niitä tasajänniteverkosta. Päinvastoin järjestelmistä tulisi energiatehokkaampia ja varmpia varsinkin suuremmilla energiavarastoilla varustetuissa DC-järjestelmissä.

5.2.7 Laitteistokohtainen sähkönkulutus

Sähkön kulutus kotitalouksissa voidaan ajatella jakaantuvan eri sähkölaitteiden välille taulukon 5.2 mukaisesti. Kotitalouksien keskimääräisen sähkönkulutuksen on arvioitu olevan 3400 kWh/a (Motiva). Luvut perustuvat työtehoseuran julkaisuun vuodelta 2000, joten nykypäivän kotitalouksissa esimerkiksi viihde-elektroniiikan osuus on todennäköisesti kasvanut kuten myös kotitalouskohtainen kokonaissähkönkulutus, joten esitetyt luvut ovat lähinnä suuntaa-antavia. Lisäksi esimerkiksi sähkölämmitys muuttaa osuuksia.

Taulukko 5.2. Kotitalouksien keskimääräinen laitekohtainen sähkönkulutus. (Motiva)

Kulutuskohde	sähkönkulutus [kWh]	%-osuus
Lvi-laitteet	163	4.8 %
Valaistus (sisä- ja ulkovalaistus)	612	18.0 %
Ruoanlaitto	435	12.8 %
Kylmäsäilytyslaitteet	834	24.5 %
Viihde-elektroniiikka	408	12.0 %
Pyykinpesu	214	6.3 %
Pyykin kuivaus	41	1.2 %
Astianpesukone	122	3.6 %
Sähkösauna	303	8.9 %
Autonlämmitys	54	1.6 %
Muut	214	6.3 %
	3400	100.0 %

Toimistorakennuksissa suurin osa sähköstä kulutetaan tietoteknisissä laitteissa, LVI-laitteissa ja valaistuksessa.

5.3 Jännitetasot

Suomessa on kiinteistöissä nykyään käytössä 230/400 voltin vaihtojännite, jossa siis 230 V on vaiheen ja nollan välillä, 400 V kahden vaiheen välillä. Mikähän olisi sitten tasajännitejaketelussa DC-pääkiskon jännitetasona edullisin? Hyvänä vaihtoehtona voisi olla tuo 230 voltia tai jopa 325 voltia, joka on 230 VAC jännitteen huippuarvo. (Nilsson 2006)

Tasajännitetasot eri sähkölaitteiden välillä vaihtelevat hyvinkin laajalla alueella aina muutamista volteista useisiin satoihin voltteihin. Kiinteistöissä voisi siis olla käytössä useita eri tasajännitetasoja tai yksi pääjännitetaso, josta muunnettaisiin laitteistokohtaisesti sopiva jännite DC-muuttajilla. Varsinkin suurempia sähkövastuslaitteita kuten sähköliesiä ja sähkökiukaita voitaisiin syöttää hyvinkin suurilla tasajännitteillä, kun taas esim. kännyköiden ja muiden kannettavien laitteiden latausjännitteet ovat vain muutamia voltteja.

Tosiasia on, että DC-järjestelmissä on tarvetta hyvinkin monelle eri jännitetasolle. Tarkemmat tutkimukset tulevaisuudessa osoittavat varmasti, että kumpi ratkaisu on kustannustehokkaampi; laitteistokohtaiset DC-muuttajat vai usean eri jännitetason käyttö järjestelmässä. Toisaalta laitteiden kytkeminen sähköverkkoon pitäisi olla mahdollisimman yksinkertaista, jolloin voisi olla käytössä järjestelmä, jossa ”siirrettäville” sähkölaitteille olisi käytössä yksi tietty tasajännitetaso ja kiinteät asennukset voitaisiin kytkeä kyseiselle laitteelle optimoituun jännitetasoon.

5.4 Energian hallinta

Sähkövoimajärjestelmien kehityssuunnitelmissa on keskusteltu lisääntyvissä määrin hajautetun energiantuotannon ja energiavarojen liittämistä sähköverkkoon. Varsinkin uusiutuvat ja ilmastoja säästävät energialähteet ovat tämän päivän puheenaihe yhä kovenevilla päästökauppavelvoitekausilla.

Nykyisessä vaihtosähköjärjestelmässä ei käytännöllisesti katsoen ole energianvarastointia ja pienet sähköntuotantoyksikötkin ovat harvassa. Tämä johtuu lähinnä vaihtosähkön heikoista varastointiominaisuuksista sekä tuotannon ja kulutuksen välisestä tehotasapainon tarpeesta. Yhtenä vartenotettavana vaihtoehtona ratkaistaessa tätä ongelmaa on tasasähköverkot, koska tasajännitteiseen järjestelmään pystytään liittämään mm. akkukapasiteettia energiavaroiksi. Myös monet sähköenergiälähteet tuottavat luonnostaan tasajännitettä, kuten poltto- ja aurinkokennot. Lisäksi mm. pienet tuulivoimalat olisi yksinkertaisempaa liittää varastoilla varustettuun DC-järjestelmään, koska niiden tuottama teho on hyvin vaihtelevaa (Hammerstrom 2007). Myös muun muassa sähköautot voisivat tulevaisuudessa toimia energiavarastona kodin sähköjärjestelmässä. Kytettynä verkkoon niiden akkuja ladattaisiin tai purettaisiin tarpeen mukaan.

Sähköverkkojen jakaminen itsenäiseen saarekekäyttöön pystyviksi kokonaisuuksiksi on hyvä keino parantaa muun muassa verkon luotettavuutta. Tällaiset mikroverkot voisivat tulevaisuudessa muodostua vaikkapa vain yhdestä yksittäisestä omaa tuotantoa ja akkukapasiteettia sisältävästä kiinteistöstä. Lisäksi kiinteistön sähköjärjestelmä voisi joissain tilanteissa syöttää myös tehoa vaihtosähköverkkoon päin suuntaajayksikön kautta. Tarkastellaan seuraavaksi nimenomaan kiinteistöverkkoihin soveltuvia sähköenergiavarastoja ja sähköntuotantoyksiköitä.

5.4.1 Energiavarastot

Sähköenergiaa voidaan varastoida muutamilla eri tavoilla. Yleisin ja tunnetuin niistä on akku, mutta on olemassa myös muita järjestelmiä, jotka soveltuvat mm. UPS-laitteiden energiavarastoiksi, kuten vauhtipyöräjärjestelmät. Myös polttokennot ovat tavallaan energiavarastoja, mutta tässä työssä käsittelen niitä energiantuotantojärjestelminä seuraavassa kappaleessa.

Akut

Akut ja uudelleen ladattavat patterit ovat sähköenergian varastointiin hyvin soveltuvia. Akkujen kehitystyö on ollut kaiken kaikkiaan hyvin hidasta. Akkujen vasteaika on yleensä mikrosekuntien luokkaa ja myös niiden tyhjäkäyntihäviöt ovat hyvin pienet. Akut voidaan jaotella tehoakkuihin ja energia-akkuihin. Olennainen ero niillä on se, että tehoakut voivat varastoida ja tuottaa lyhyitä tehopuskureita, kun taas energia-akut voivat tuottaa pidemmän aikaa suuren energiamäärän. Eniten käytetty akkutyyppeä on lyijyaku, mutta viime vuosina markkinoille on tullut hyviä ja tehokkaita akkuja kuten litiumakut ja nikkeli-metallihydridiakut. (VTT 2003)

Lyijyaku on ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tullut akku. Akun elektrodit on valmistettu lyijystä ja elektrolyyttinä on rikkihappoliuos. Lyijyakkujen huonoina puolina on niiden matala energiatiheys, lyhyt kestoikä ja suuri paino. Lisäksi lyijyakun energiamäärä ei ole kiinteä vaan riippuu purkausnopeudesta. Suurin lyijyakkujärjestelmä on teholtaan 40 MW. (VTT 2003)

Litium on kevyin mahdollinen metalli, minkä johdosta se on erinomainen materiaali akuille ja pattereille. Lisäksi sen energiatiheys on suuri, hyötysuhde korkea ja sen kestoikä on pitkä. Ongelmana varsinkin suuremmissa kokoluokissa on litiumakun korkea hinta (>600 €/kWh). (VTT 2003)

Nikkeli-kadmiumakut (NiCd) etuina mm. lyijyakkuihin verrattuna on suurempi purkausnopeus, vakio purkausjännite, suuri latauskertojen määrä ja pieni itsepurkautumisnopeus. NiCd-akkuja käytetään lähinnä pienissä kokoluokissa, mutta esimerkiksi Alaskaan on ollut rakenteilla järjestelmä, joka tuottaa 40 MW tehon 15 minuutin ajan. (VTT 2003)

Natrium-rikkiakut (NaS) ovat hyötysuhteeltaan hyviä ja niillä on hyvä tehontuottokyky. Varsinkin Japanissa NaS-akkuteknologiaa on käytetty paljon ja suurin akkujärjestelmä on teholtaan 6 MW (8h). (VTT 2003)

Vauhtipyöräjärjestelmät

Modernissa sähkömekaanisessa vauhtipyöräteknikkaan perustuvassa energiavarastossa on samaan pakettiin integroitu moottori-generaattoriyhdistelmä. Vauhtipyörän sovelluskohteita sähkönjakelussa ovat mm. teollisuuden UPS-järjestelmien energiavarastot. Myös esimerkiksi hybridautoissa nykypäivänä käytetään vauhtipyöriä, joilla voidaan varastoida energiaa jarrutuksissa ja taas purkaa kiihdytyksissä. Vauhtipyörään perustuvan energiavaraston ominaisteho- ja energia-arvot ovat lähellä akkujen arvoa. Sovelluksiin joissa tarvitaan suuri teho nopeasti ne kuitenkin soveltuvat akkuja paremmin (VTT 2003). Varsinkin kotitalouskäyttöä ajatellen vauhtipyöräsovellukset eivät kustannusten puolesta vielä yllä akkujen tasolle.

Superkondensaattorit

Hiiliperusteiset superkondensaattorit varastoivat energiaa kahden hiilielektrodin väliseen sähkökenttään. Superkondensaattorien lataus- ja purkausajat ovat erittäin pieniä ja säädettäviä, joten niitä voidaan käyttää akkujen tavoin. Niillä ei kuitenkaan saada aikaan pitkäkestoista energiavarastoa, joten sovelluskohteina ovat lähinnä lyhyiden sähkökatkojen puskuroida tarvittaessa suurta tehoa. Myös hinta on tällä hetkellä vielä rajoittavana tekijänä superkondensaattoreille.

Suprajohtavat magneettisen energian varastot (SMES)

Suprajohtava magneettisen energian varasto perustuu suprajohtavassa käämissä lähes häviöttömästi kiertävään tasavirtaan ja energian varastoitumiseen virran synnyttämään magneettikenttään. Ongelmaksi SMES-järjestelmissä muodostuu suprajohtavuuden tarvitsema alhainen lämpötila, jollaiseen päästään mm. nestemäisen heliumin ja typen avulla. Tyypillisesti SMES-järjestelmät ovat olleet teholtaan jopa 100 MW:n luokkaa ja niiden hyötysuhde on noin 95 %. Myöskin lyhyet purkausajat rajoittavat käytön sovelluksiin, joissa tarvitaan lyhytaikainen, suuri teho.

5.4.2 Energian tuotanto

Tasajänniteverkkoihin on yksinkertaista liittää energiantuotantoa. Erilaiset tasajännitettä tuottavat yksiköt ovat tulevaisuudessa varteenotettavia lisäenergian lähteitä. Suoraan tasajännitettä tuottavat tuotantoyksiköt voidaan liittää joko suoraan DC-kiskoon tai DC-DC-muuttajan välityksellä. Vaihtosähkögeneraattorit taas voidaan liittää tasasuuntaajan välityksellä. Tasasähköverkon tuomia etuja on myös energiavarastojen liittäminen tuotantoyksikön yhteyteen.

Kiinteistöjen tasasähköjakelun näkökulmasta katsottuna käytännöllisiä energiantuotantoyksiköitä ovat muun muassa aurinkopaneelit ja polttokennot, jotka tuottavat luonnostaan tasajännitettä. Tällöin vaihtosähköverkkoon verrattuna DC-verkossa välttyttäisiin vaihtosuuntaukselta. Myös pientuulivoimalat voisivat olla kustannustehokas tapa joidenkin kiinteistöjen kohdalla. Tuotettua sähköenergiaa voitaisiin käyttää kiinteistössä apuenergiana. Kun energiantarve on pientä niin ylimääräinen energia voitaisiin varastoida akkuihin tai syöttää sähköverkkoon ja myydä sähkömarkkinoilla.

Tarkastellaan seuraavaksi hieman tarkemmin varsinkin kiinteistöjen yhteyteen ja hajautettuun tuotantoon soveltuvia sähköenergiälähteitä.

Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on luonnollinen ja ympäristöystävällinen energiantuotantomuoto. Aurinkopaneelijärjestelmien aurinkokennoissa muutetaan aurinkoenergia sähköenergiaksi. Viime vuosina aurinkoenergiajärjestelmät ovat olleet kovasti lisääntyvä energiantuotantomuoto. Varsinkin Japanissa, Saksassa ja USA:ssa on panostettu aurinkoenergian käyttöön; 90 % maailman aurinkokennojärjestelmistä on näissä maissa. Suurimmat järjestelmät ovat kymmeniä megawatteja ja esimerkiksi Australiassa on rakenteilla yli 150 MW järjestelmä. (Wikipedia 2008)

Kiinteistöjen piensähköntuotantoon aurinkopaneelit ovat Suomenkin leveysasteilla varteenotettava vaihtoehto. Lisäksi aurinkopaneelien lisäksi voidaan kiinteistöihin liittää esimerkiksi tuuligeneraattori, jolloin kyseessä olisi ns. hybridijärjestelmä. Tämä yhdistettynä tehokkaaseen akustoon, tasasähköjärjestelmään ja hyvään tehonohjaukseen olisi varteenotettava vaihtoehto ympäristöystävälliseksi sähköjärjestelmäksi.

Tuulisähkö

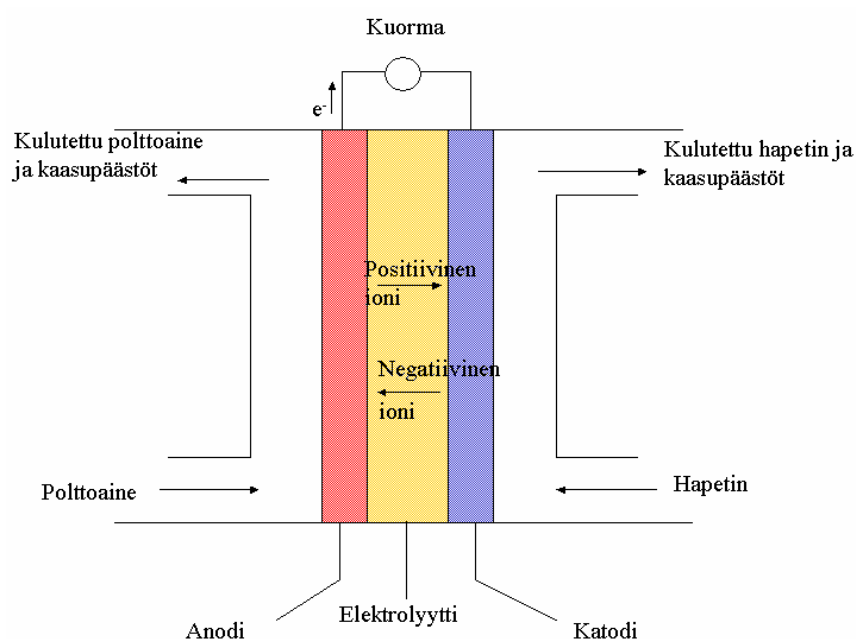
Tuulisähkö on myös ympäristöystävällinen energialähde. Tuulivoimalassa turbiini - generaattori-yhdistelmän avulla tuotetaan tuulen avulla sähköenergiaa. Pienimuotoisia tuuligeneraattoreita on jo nykypäivänä liitetty asuntojen lisäenergialähteiksi. Haittapuolena tuuligeneraattoreilla on niiden vaihteleva tehontuotto ja ehkä myös esteettiset kysymykset.

Tuulivoimalan generaattori tuottaa vaihtosähköä, joka perinteisesti muunnetaan tehoelektronisesti sähköverkon jännitteeseen. Tasajännitteeseen, akkuvarastolla varustettuun verkkoon yhdistettynä generaattorin tulojännite voitaisiin vain tasasuunnata, jolloin sen liittäminen verkkoon olisi nykyistä yksinkertaisempaa. Kaupallisilla markkinoilla on jo nykyään saatavilla hyvin monen teholuokan pientuulivoimaloita mm. kotitalouskäyttöön.

Polttokennot

Polttokennot tuottavat luonnostaan tasajännitettä, jolloin ne ovat oivallinen energialähde kiinteistöön, jossa olisi tasajänniteverkko. Polttokennot tuottavat sähköä hapestä ja esimerkiksi vedystä sähkökemiallisen prosessin kautta. Prosessista vapautuu yleensä sähköenergian lisäksi lämpöä ja vettä.

Polttokennot voidaan luokitella käytetyn polttoaineen tai elektrolyytin mukaan. Useimmissa polttokennoissa polttoaine on perimmiltään vetyä, koska vetyä ja happea sisältävä reaktio muodostaa sähköisen varauksen (VTT 2003). Polttokennot voivat toimia myös mm. ammoniakilla, hiilellä, hiilimonoksidilla, metanolilla, etanolilla, propaanilla, butaanilla, maakaasulla, dieselillä, alumiinilla, magnesiumilla ja sinkillä. Polttokennot tuottavat energiaa niin kauan kuin polttoainetta on käytettävissä. Kuvassa 5.1 on esitetty polttokennon toimintaperiaate yksinkertaistetusti. (Wikipedia 2008)



Kuva 5.1. Polttokennon toimintaperiaate. (Wikipedia 2008)

Vetypolttokennojen sähköinen hyötysuhde on yleensä noin 50 %, mutta kokonaishyötysuhde on nostettavissa yli 90 % mikäli polttokennon käytössä syntyvä lämpö hyödynnetään (Wikipedia 2008). Polttokenno on puhdas, ja luotettava tapa tuottaa sähköä. Polttokennoteknologiaa pidetäänkin yhtenä lupaavimmista energiantuotantomuodoista tulevaisuudessa.

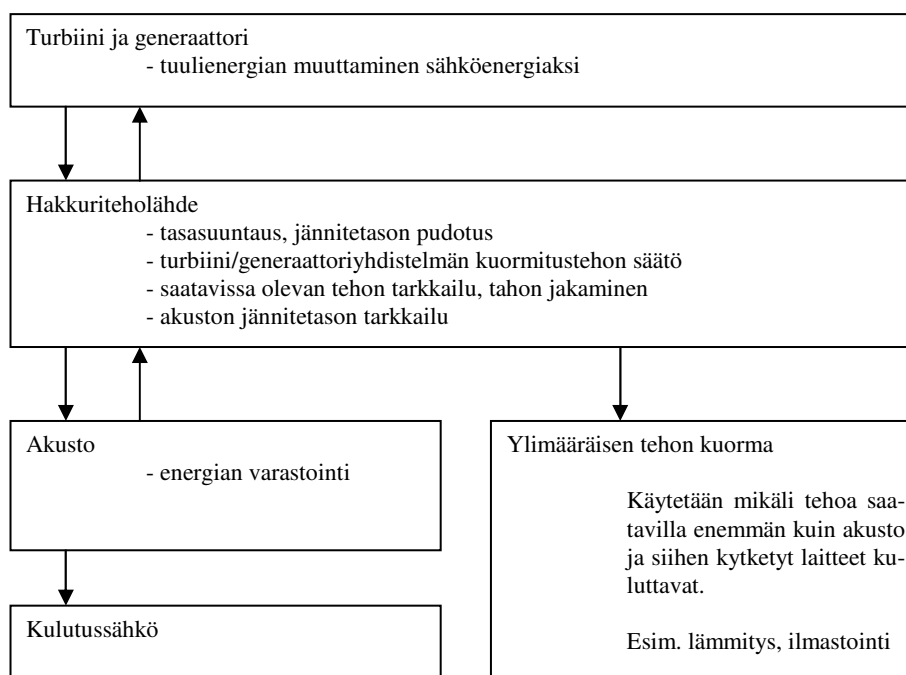
Taulukossa 5.3 on esitetty eri polttokennotyyppien ominaisuuksia. (VTT 2003)

Taulukko 5.3. Erilaisten polttokennotyyppien tärkeimpiä ominaisuuksia. (VTT 2003)

Tyyppi	PAFC	MCFC	SOFC	AFC	PEMFC	DMFC
Elektrolyytti	Fosforihappo	Sulakarbonaatti	Keraaminen	KOH	Polymeeri	Polymeeri
Polttoaine	H ₂	H ₂ , CO	H ₂ , CO, CH ₄	H ₂	H ₂	CH ₃ OH
Hapetin	O ₂	O ₂ + CO ₂	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂
MAX. teho	200 kW	2 kW	220 kW	5kW	10MW	100kW
Hyötysuhde	40-50 %	50-60 %	45-55 %	89 %	40-50 %	70 %

5.4.3 Energian ohjaus

Kuten jo aikaisemmin on mainittu, voitaisiin energiavarojen ja tuotantokapasiteetin ohjaus toteuttaa elektronisesti ohjatuilla hakkuriteholähteillä. Esimerkkinä voidaan ottaa vaikkapa akkuvarstojen lataus- ja purkaussäädöt ja tuotantolaitteiden tehonohjaukset. Kuvassa 5.2 on esimerkkinä tuuligeneraattorin ohjausjärjestelmä (Tirronen 2005). Generaattori syöttää akuilla varustettua tasajänniteverkkoa.

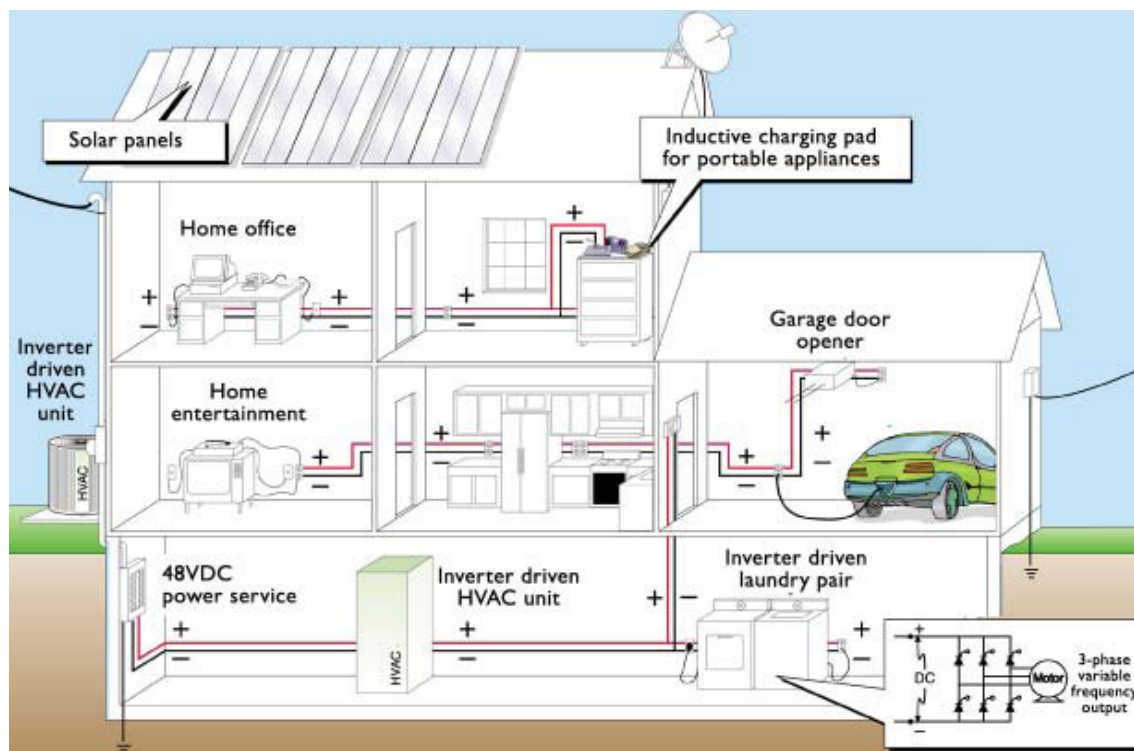


Kuva 5.2. Tuuligeneraattorijärjestelmän periaate ja ohjaus. (Tirronen 2005)

5.5 Kodin tasasähköjärjestelmän esimerkkimalli

Tulevaisuuden kotien tasasähköjärjestelmille on olemassa useita erilaisia toteutusvaihtoehtoja. Tarkemmat tutkimukset ja käytännön kokemus varmasti ohjaavat taloudellisimpaan ja energiaystävällisimpään ratkaisuun tulevaisuudessa. Varmasti esimerkiksi koko kodin sähköistys voitaisiin tulevaisuudessa rakentaa tasajännitteiseksi, jolloin saataisiin paras hyöty tasasähköstä irti. Tämä edellyttää tosin kaikkien verkkolaitteiden yhteensopivuutta tasajännitteelle.

Monet nykypäivän kotien ja toimistojen sähkölaitteista toimisivat ilman modifikaatioita tasajännitteellä, mutta on olemassa laitteita jotka tarvitsevat vaihtosähköä. Yhtenä vaihtoehtona mietittäessä kiinteistöjen DC-verkkoa on rakentaa erillinen AC-kiskosto tai vaihtosuunnata jännite erikseen jokaiselle sitä tarvitsevalle laitteelle. Näistä jälkimmäinen olisi huomattavasti heikompi hyötysuhteeltaan johtuen monista erillisistä vaihtosuuntaajista. Käytännön sovelluksiin mahdollisista järjestelmistä en kuitenkaan tässä työssä ota kantaa sen enempää. Kuvassa 5.3 on esitetty yksi esimerkki tulevaisuuden kodin tasasähköjärjestelmän toteutusperiaatteista.

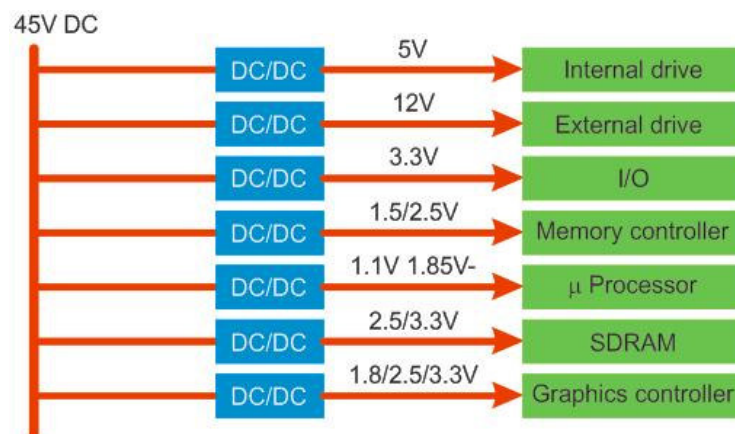


Kuva 5.3. Yksi mahdollisuus tulevaisuuden kodin tasasähköjärjestelmän toteutukseksi. (EPRI 2006)

Järjestelmään on kytketty mm. sähköauto, aurinkopaneelit ja taajuusmuuttajaohjattu pyykinpesulaitteisto. Lisäksi järjestelmää voitaisiin syöttää jo valmiiksi tasajännitteisestä pienjänniteverkosta, lisätä akkuvarastoja ja muuta sähköntuotantokoneistoa. Niin kuin on sanottu, vaihtoehtoja on useita.

Yksi mahdollisuus kiinteistöissä on tiettyjen osa-alueiden ja toimintojen käyttäminen tasajännitteellä. Esimerkiksi Rochesterissa, New Yorkissa, on eräs toimisto/varastotila, jonka valaistus on toteutettu tasajännitteellä. Valaistusta syöttää rakennuksen katolla olevat aurinkopaneelit. Paneelien tuottama ylimääräinen teho, jota ei valaistuksessa kulu, vaihtosuunnataan verkkoon muuhun käyttöön. On arvioitu, että järjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 12 vuodessa. (EPRI 2006)

Myös muutamien erikoistilojen kannalta tasasähköjakelu olisi käytännöllisempi ja edullisempi kuin vaihtosähkö. Tällaisia tiloja ovat mm. suuret tietokonekeskukset ja serveritilat, joissa on valtava määrä tasajännitteellä toimivia tietoteknisiä laitteita. Näiden laitteiden virtalähteissä on perinteisesti ensin tasasuuntaus ja sen jälkeen jännitetason säädöt. Tyypillisesti vielä keskusten monilla laitteilla on oma tehollähteensä, jolloin muunnoksissa aiheutuvat häviöt korostuvat entisestään. Käyttämällä yhteistä tasajännittekiskoa järjestelmille, voitaisiin laitteiden energiatehokkuutta parantaa. Tällaisesta järjestelmästä on etuna mm. järjestelmän komponenttien määrän väheneminen, pienentyvät ylläpito- ja huoltokustannukset sekä parempi käyttövarmuus. Kuvassa 5.4 on yksi malli tietokonekeskusten tehonsyöttöön. (EPRI 2006)



Kuva 5.4. Esimerkki tietokonekeskusten tehonsyöttöön tasajännittekiskolta. (EPRI 2006)

Tyypillisessä vaihtosähköverkolla toimivassa tietokonekeskuksessa kokonaishyötysuhde voi olla jopa alle 50 %. Tämä aiheutuu monista AC-DC-AC-muunnoksista järjestelmässä. Tasajännitettä käyttämällä voitaisiin kokonaisenergiassa säästää jopa 20 %, jolloin esimerkiksi vuotuiset rahalliset säästöt kasvaisivat jo huomattaviksi. (EPRI 2006)

5.6 Tasa- ja vaihtosähköjärjestelmien hyötysuhteiden vertailua

Sähköjärjestelmiä verrattaessa keskenään on niiden kokonaishyötysuhteet tärkeässä roolissa. Mahdollisimman korkealla hyötysuhteella toimivassa järjestelmässä häviöenergian määrä on vähäisempi, kuin matalamman hyötysuhteen omaavassa järjestelmässä. Tällöin esimerkiksi investoinniltaan kalliimmat, mutta paremman hyötysuhteen omaavat järjestelmät saattavat koko käyttöikänsä katseltaessa tulla edullisemmaksi kuin vastaava halvempi, huonon hyötysuhteen omaava järjestelmä.

Tarkastellaan muutamien kodin sähkölaitteiden kokonaishyötysuhteita vaihto- ja tasasähköjärjestelmiin kytkettäessä ja millainen vaikutus mm. polttokennon lisäämisellä järjestelmään on. Hyötysuhteen määritelmässä vaihto- tai tasasuuntauksella on merkittävä rooli, koska jokainen aiheuttaa tietyn häviön. Erilaisissa järjestelmissä muunnosten lukumäärät vaihtelevat, jolloin hyötysuhteisiin muodostuu eroavaisuuksia. Taulukossa 5.4 ja 5.5 on listattuna muutamia kodin sähkölaitteita ja niiden hyötysuhteita liitettynä erilaisiin järjestelmiin. Keskiarvo painotettu laitteistokohtaisella sähkönkulutuksella (Hammerstrom 2007)

Taulukko 5.4. Kodin sähkölaitteiden hyötysuhdevertailua vaihto- ja tasasähköjärjestelmissä ilman paikallista sähköntuotantoa. (Hammerstrom 2007)

Sähkölaitte	Tapaus 1 AC – jakelu		Tapaus 2 DC – jakelu	
	Muunnosten lukumäärä	Hyötysuhde (%)	Muunnosten lukumäärä	Hyötysuhde (%)
Lämmitys, Ilmastointi	1	97.6	2	95.2
Keittiökoneet	1	97.6	2	95.2
Veden lämmitys	1	97.6	2	95.2
Hehkuvalaistus	1	97.6	2	95.2
Loistevalaistus	3	92.9	2	95.2
Kodin elektroniikka	3	92.9	3	92.9
Pyykinpesukoneet	1	97.6	2	95.2
Muut laitteet	1	97.6	2	95.2
Muu loppukäyttö	1	97.6	2	95.2
Painotettu keskiarvo		97.0 %		95.0 %

Taulukko 5.5. Kodin sähkölaitteiden hyötysuhdevertailua vaihto- ja tasasähköjärjestelmissä, jos liitettynä tasasähkötuotantoa. (Hammerstrom 2007)

Sähkölaitte	Tapaus 3 AC – jakelu ja ta- sasähkötuotanto		Tapaus 4 DC – jakelu ja ta- sasähkötuotanto	
	Muunnosten lukumäärä	Hyötysuhde (%)	Muunnosten lukumäärä	Hyötysuhde (%)
Lämmitys, Ilmastointi	2	95.2	1	97.6
Keittiökoneet	2	95.2	1	97.6
Veden lämmitys	2	95.2	1	97.6
Hehkuvalaistus	2	95.2	1	97.6
Loistevalaistus	4	90.6	2	95.2
Kodin elektroniikka	5	88.4	2	95.2
Pyykinpesukoneet	2	95.2	1	97.6
Muut laitteet	2	95.2	1	97.6
Muu loppukäyttö	2	95.2	1	97.6
Painotettu keskiarvo		94.5 %		97.3 %

Taulukoista voidaan todeta, että tasasähköjärjestelmän hyötysuhde paikallisella tasasähkötuotannolla varustettuna (kuten polttokenno, aurinkopaneeli tai vastaava) tapauksessa 4 on jopa parempi kuin nykyisessä vaihtosähköjärjestelmässä tapaus 1. Tapauksessa 3 ja 4 on ajateltu, että lähes koko kodin sähköenergiankulutuksesta on tuotettu polttokennolla tai muulla vastaavalla suoraan tasajännitettä tuottavalla energialähteellä.

Taulukoiden arvot ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia ja esimerkiksi tarkempien testien ja tutkimusten perusteella voitaisiin kertoa paremmin tasasähköjärjestelmien kannattavuudesta nykyiseen verrattuna.

6 YHTEENVETO

Tasasähköjärjestelmien avulla voidaan tulevaisuudessa parantaa loppukäyttäjien sähkönlaatua ja toimitusvarmuutta. Järjestelmien varsinaisia kustannuksia verrattuna nykyiseen vaihtosähköjärjestelmään ei tässä työssä kuitenkaan tutkittu. Keskeiset osat työstä kuvaavat kiinteistöjen tasasähköjakelun mahdollisuuksia ja etuja verrattaessa nykyiseen vaihtosähköjärjestelmään.

Kiinteistöjen sähköverkkojen kannalta tasasähkön käytöllä voitaisiin parantaa useita asioita. Varsinkin laitteissa, joissa nykyään on sisäisenä jännitteenä tasajännite voitaisiin DC-jakelulla kokonaishyötysuhdetta parantaa varsinkin jos kiinteistössä on oma tasasähkö-

generaattori (aurinkopaneelit polttokennot). Akkuvarastot lisäämällä pystytään varastoi-
maan sähköenergiaa tehokkaasti ja esimerkiksi puskuroimaan sähkökatkoja nykyisiä UPS-
laitteita energiatehokkaammin.

Kotien nykyisistä sähkölaitteista useimmat toimisivat vähintään yhtä hyvin ellei jopa pa-
remmin tasajännitteellä jopa ilman minkäänlaisia muutoksia. Tällaisia laitteita ovat esi-
merkiksi valaistus, kodinelektroniikka, piensähkökoneet ja lämmittimet (lähes kaikki joissa
lämmitysvastus).

6.1 Tulevaisuuden mahdolliset jatkotutkimukset

Nykyisten sähkölaitteiden kohdalla kuitenkin tarvitaan lisätutkimuksia ja käytännön testa-
usta ennen kuin voidaan mitään tarkempaa analyysiä tehdä mm. siitä millaiset ja mitkä lait-
teet soveltuvat suoraan DC-verkkoon. Lisäksi tasajännitejakelujärjestelmille tarvitaan muu-
ta taustatutkimusta ja käytännön testausta. Seuraavassa on listattu muutamia huomioita ja
kohtia asioista DC-jakelua koskien, joista tulevaisuudessa täytyy tehdä lisätutkimustyötä.

- Tasasähköjakelun taloudellinen kannattavuus
- Nykyisten sähkölaitteiden soveltuvuus tasajännitteelle ja mahdolliset jännitetasot
- Tasasähköjakelun standardit
- Sähköturvallisuus ja suojausnäkökohdat

LÄHDELUETTELO

- (EPRI 2006) Mansoor, A., 2006. DC Power production, Delivery and Utilization. An EPRI White paper. Saatavilla: http://my-docs.epri.com/docs/CorporateDocuments/WhitePapers/EPRI_DCpower_June2006.pdf
- (Hammerstrom 2007) Hammerstrom, Donald J., 2007. AC Versus DC Distribution Systems - Did We Get it Right? Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- (LTY 2007) Tehoelektroniikka sähkönjapelussa, yhteenveto tutkimustuloksista 1.8.2006 – 1.9.2007. Sähkömarkkinalaboratorio. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- (LTY 2007b) Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Sähkötekniikan osasto, Sähkömarkkinalaboratorio. Internetsivusto. Viitattu 29.12.2007. Saatavilla: http://www.ee.lut.fi/vaihtovirta_tasavirta.html
- (Motiva) Energiankäytön uusi suunta, ilmaston muutoksen torjunta kuluttajan arjessa. 2007. Seminaarijulkaisu. Saatavilla: http://www.ats-fns.fi/EK/SN2007/Motiva_Sateilevat%20naiset070917.pdf
- (Nuutinen 2007) Nuutinen, P., 2007. Vaihtosuuntauksen ja suodatuksen toteuttaminen tasasähkönjapeluverkossa. Diplomityö. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- (Osram 2007) Halogeenilamput. Oy OSRAM Ab internetsivusto. Saatavilla: <http://www.osram.fi/faq/tungsten.shtml>
- (Partanen 2006) Partanen, J., 2006. Sähkönjapelutekniikka - luentomateriaali. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- (SFS 6000) SFS 6000. Pienjännitesähkösasennukset. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto ry.
- (Salonen 2006) Salonen, P., 2006. Tasasähkön hyödyntämismahdollisuudet sähkönjapelussa. Diplomityö. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto

- (Tirronen 2005) Tirronen, T., 2005. Flyback-hakkuriteholähteen suunnittelu pientuulivoimageneraattorikäyttöä varten. Diplomityö. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- (TKK 2001) Teknillinen korkeakoulu. 2001. Sovelletun elektroniikan laboratorio. Sovelletun elektroniikan laboratoriotyöt. Hakkuriteholähde. Saatavilla: <http://sel18.hut.fi/301/1/Hakkuri2001.pdf>
- (Voutilainen 2007) Voutilainen, V., 2007. Tasasähköjakelelun käyttöpotentiaaliln määrittäminen. Diplomityö. Sähkötekniikan osasto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- (VTT 2003) Alanen, R., Koljonen, T., Hukari, S., Saari, P., 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT tiedotteita. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T-2199.pdf>
- (VTT 2007) Kylkisalo, T., Alanen, R., 2007. Tasajännite taajaman sähköjakelelussa ja mikroverkoissa. VTT working papers 78. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W78.pdf>
- (Wikipedia 2008) Wikipedia, Vapaa tietosanakirja., 2008. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Wiki>