



Tasasähköjärjestelmän vaatimusmäärittely sekä ohjelmiston suunnittelua

Lari-Pekka Julkunen

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

JULKUNEN, LARI-PEKKA:

Tasasähköjärjestelmän vaatimusmäärittely sekä ohjelmiston suunnittelua

Opinnäytetyö 132 sivua, joista liitteitä 7 sivua
Kesäkuu 2024

Opinnäytetyössä suunnitellaan Tampereen ammattikorkeakoulun sähkölaboratorion rakennettavaa tasasähköjärjestelmää. Tasasähköjärjestelmä on tarkoitettu tutkimus- ja opetuskäyttöön. Työssä tehtiin tasasähköjärjestelmän vaatimusmäärittely ja ohjelmiston suunnittelua. Työssä ei tehty sähkösuunnittelua.

Työ aloitettiin ymmärtämällä, miten kaikki järjestelmän laitteet toimivat, ja mitkä laitteiden rajoitukset ovat. Tämän ymmärryksen ja käyttäjältä saatujen vaatimusten ja toiveiden perusteelta rakennettiin järjestelmän vaatimukset.

Järjestelmän vaatimusten perusteelta alettiin suunnittelemaan erilaisia käyttötapauksia, joilla pystytään parhaiten täyttämään järjestelmälle asetetut vaatimukset. Käyttötapaukset päädyttiin lopulta jakamaan normaaleiksi ja laajoiksi käyttötapauksiksi. Normaalit käyttötapaukset käyttävät akustoa sekä vaunua tai keskusta. Laajat käyttötapaukset käyttävät akuston kanssa vaunua ja keskusta.

Normaaleja käyttötapauksia, jotka eivät käytä keskusta, on mahdollista käyttää myös tasasähkölaboratorion ulkopuolella. Normaalit käyttötapaukset esitellään hyvin yksityiskohtaisesti. Normaalien käyttötapauksien jälkeen oli saatu ymmärrys käyttötapauksien kulusta ja laitteiden toiminnasta.

Laajoja käyttötapauksia on mahdollista käyttää vain sähkölaboratoriossa, koska ne vaativat keskuksen, jota ei ole mahdollista liikuttaa. Laajat käyttötapaukset esitellään abstraktimmin kuin normaalit käyttötapaukset, koska kaikkien laitteiden toiminta ja käyttötapauksien yksityiskohtainen kulku on jo ymmärretty normaaleissa käyttötapauksissa.

Käyttötapauksien suunnittelun jälkeen alettiin suunnittelemaan ohjelmistoa. Ohjelmiston suunnittelussa työssä esitellään konvertterin erilaisten virtarajoitusten toiminta ja laitteiden ohjelmien suunnittelu. Laitteiden ohjelmien suunnittelu sisältää laitteiden sekvenssit ja tilakoneet.

Työn tuloksena saatiin tehtyä järjestelmälle vaatimusmäärittely, mutta kaikkia käyttötapauksia ei ollut mahdollista testata. Työn tuloksena saatiin myös suunniteltua ohjelmistolle pohja, jolta seuraava henkilö pystyy jatkamaan ohjelmiston suunnittelemista ja toteuttamista. Työn tuloksien perusteelta on myös yleisesti mahdollista lähteä kehittämään järjestelmää eteenpäin.

Asiasanat: tasasähköjärjestelmä, vaatimusmäärittely, käyttäjävaatimus, käyttötapaus, sekvenssi,

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

JULKUNEN, LARI-PEKKA:
DC System Requirements Specification and Software Design

Bachelor's thesis 132 pages, appendices 7 pages
June 2024

The purpose of this thesis was to design the requirements specification and software for a DC system. The DC system will be utilized for research and teaching. The DC system is being built in the laboratory of electrical engineering located at Tampere University of Applied Sciences.

The beginning of the thesis gives a thorough description of the system's devices. After that, the system requirements are defined using the knowledge of the system's devices and the user requirements.

In the thesis, a number of use cases are shown to describe the interactions the system executes to implement the system requirements. The use cases were split into regular and extensive use cases. Regular use cases used only the cart or cabinet, while extensive use cases used the cart and cabinet. Regular use cases were described in more detail, and extensive use cases more abstractly, as they are based on the information provided on the regular use cases.

The software design in the thesis covers the devices' programs, more specifically their state machines and sequences. One integral part of the software design is correctly managing the converters' current limits.

As a result of this thesis, the requirements specification and the software design were created. Further testing is required to verify that all the use cases are implementable. The software design should serve as a good foundation for future software development. Combined, the results of the thesis can be used for further work on the DC system.

Key words: Direct current system, requirements specification, user requirements, use case, sequence,

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	8
	2.1 DC/DC konvertteri	9
	2.2 DC/AC Invertteri	21
	2.3 Akusto	26
	2.4 CAN-väylä	34
	2.5 CANopen-protokolla.....	36
	2.6 Kontaktorit ja käsikytkimet.....	46
3	JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET	47
	3.1 Käytävissä oleva laitteisto	47
	3.2 Käyttäjävaatimukset	50
4	JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖTAPAUKSET	55
	4.1 Käyttötapauskaaviot.....	56
	4.2 Normaalit käyttötapaukset.....	59
	4.3 Laajat käyttötapaukset	87
5	OHJELMISTON SUUNNITTELUA	111
	5.1 DC/DC konvertterin virran rajoittaminen.....	111
	5.2 Laitteiden ohjelmien suunnittelu	115
6	POHDINTA	122
	LÄHTEET.....	124
	LIITTEET	126
	Liite 1. Kaikkien käyttötapauksien kytkennät.....	126
	Liite 2. Akuston sekvenssien lohko-kaaviot.....	128
	Liite 3. Invertterin sekvenssien lohko-kaaviot.....	130
	Liite 4. Konvertterin käynnistämissekvenssin lohko-kaavio.....	132

LYHENTEET JA TERMIT

AC	Alternating Current
BMS	Battery Management System
BMU	Battery Management Unit
CAN	Control Area Network
DBC	Database CAN
DC	Direct Current
EMF	Electromotive force
ES	Energy Source
Hi-CAN	High-Speed CAN Network
HVIL	High Voltage Interlock Loop
Kuorma	Asia, johon syötetään tehoa
Lo-CAN	Low-Speed CAN Network
MCB	Main Circuit Breaker
OSI	Open System Interconnection
PDO	Process Data Object
PDU	Power Distribution Unit
RPDO	Receive-PDO
SDO	Service Data Object
SOC	State of Charge
TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
TPDO	Transmit-PDO

1 JOHDANTO

Työssä suunnitellaan TAMKin (Tampereen ammattikorkeakoulu) sähkölaboratorioon rakennettavaa tasasähköjärjestelmää. Tasasähköjärjestelmää tullaan käyttämään tutkimus- ja opetuskäyttöön. Järjestelmään voidaan kytkeä kiinni DC-laitte ja syöttää siihen 200–800 VDC jännitettä. Järjestelmän avulla voidaan myös hallita, että otetaanko DC-laitteelle syötettävä teho akustosta tai akustosta ja verkosta.

Työn tavoitteena on saada suunniteltua järjestelmä vaiheeseen, josta olisi mahdollista aloittaa ohjelmiston toteuttaminen. Työssä ei kuitenkaan tehdä järjestelmän sähkösuunnittelua. Työ aloitetaan tutustumalla järjestelmässä olevien laitteiden toimintaan ja rajoituksiin. [Teoreettinen viitekehys.](#)

Laitteisiin tutustumisen jälkeen on saatu ymmärrys, mitä järjestelmän laitteilla on mahdollista tehdä. Tämän jälkeen tarkennetaan, mitä järjestelmän halutaan tekevän eli mitkä ovat järjestelmälle asetetut vaatimukset. Järjestelmän vaatimuksia suunnitellessa otetaan huomioon laitteiden rajoitukset ja käyttäjän asettamat vaatimukset ja toiveet. [Järjestelmän vaatimukset.](#)

Vaatimuksien suunnittelemisen jälkeen suunnitellaan käyttötapaukset, joilla tullaan täyttämään vaatimukset. Ensimmäiseksi suunnitellaan normaalit käyttötapaukset, jotka käyttävät akuston kanssa vain vaunua tai keskusta. Normaalit käyttötapaukset suunnitellaan yksityiskohtaisesti, jotta saadaan parempi ymmärrys laitteiden ohjaamisesta ja samalla pystytään tarkistamaan, että käyttötapaukset ovat mahdollisia. [Normaalit käyttötapaukset.](#)

Laitteiden ohjaamisen ymmärtämisen jälkeen suunnitellaan laajoja käyttötapaukset, joissa akuston kanssa käytetään vaunua sekä keskusta. Laajoissa käyttötapauksissa ei selitetä yksityiskohtaisesti laitteiden ohjausten toimintaa, vaan keskitytään laitteiden tehon kulun toimintaan. [Laajat käyttötapaukset.](#)

Käyttötapauksien tekemisen jälkeen lähestyttiin työn tavoitetta. Käyttötapauksissa saatiin selville, missä järjestyksessä laitteita tarvitsee ohjata. Työssä halutaan suunnitella, miten laitteiden ohjelmissa tullaan rikkomaan laitteiden ohjaukset eri sekvensseihin. Työssä suunnitellaan sekvenssien lisäksi myös laitteiden tilakoneet ja esitellään konvertterin virtarajoitusten toimintaa. [Ohjelmiston suunnittelu.](#)

Työssä on käytetty paljon otsikoita. Otsikoiden välillä navigoinnin helpottamiseksi suosittelen lukijaa käyttämään navigointipaneelia. (Toggle sidebar -> Show document outline).

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Työn alussa keskityttiin ymmärtämään logiikalla ohjattavien laitteiden toiminta ja tähän lukuun on kerätty laitteista tärkeimmäksi löydetyt asiat.

Tasasähköjärjestelmän tärkeimmät laitteet ovat DC/AC invertteri, DC/DC konvertteri ja akusto. Työssä haluttiin ymmärtää laitteiden toimintaperiaatteet, mutta akuston toimintaperiaatteesta ei kirjoitettu. Akuston toiminnasta kiinnostuneille suosittelemme lukemaan Mikko Tillanderin opinnäytetyön ”Energiavarasto tasajännitteen tutkimuslaitteistossa”. Laitteista kirjoitettiin myös muista ohjelmoinnin kannalta olennaisimmiksi pidetyistä asioista, kuten tulo- ja lähtösignaaleista, ohjausmenetelmistä ja virtarajoituksista.

Akusto käyttää viestintään CAN-väylää ja CANopen-protokollaa. Tämän takia teoriaosuuteen on kirjoitettu alaluku molemmista ja niihin on kerätty mielestäni olennaisimmat asiat CAN-väylästä ja CANopen-protokollasta.

Luvun lopussa on myös lyhyt alaluku kontaktoreista ja käsikytkimistä. Alaluvussa kerrotaan laitteiden tarkoituksesta järjestelmässä, ja miten ne tuodaan logiikkaan.

2.1 DC/DC konvertteri

Työn tasasähköjärjestelmässä käytetään DC/DC (Direct Current) konvertteria ohjaamaan virtaa ja jännitettä. Konvertterin toimittajan manuaalissa (MSc Electronics Oy 2016, 12) kerrotaan, että "MSc DC/DC Converter is a bidirectional DC/DC converter, which can be used to transfer energy between an Energy Source and a DC link". Ymmärsin tämän tarkoittavan, että työssä käytetty konvertteri on kaksisuuntainen ja sen avulla voidaan siirtää energiaa suuremmasta jännitteestä pienempään tai pienemmästä jännitteestä suurempaan.

Ymmärsin konvertterin manuaalista myös, että konvertteri tarvitsee aina kytkettävän energialähteen ES (Energy Source) -puolelle (MSc Electronics Oy 2016, 12). Työssä konvertterin kuitenkin halutaan myös pystyvän syöttämään ES-puolelle kytkettyä kuormaa, jolloin työn järjestelmään tarvitsi hankkia erillinen kondensaattoripaketti konvertterin ES-puolelle. Tämän takia työssä viitataan ES-puolella konvertterin puoleen, jolla on matalampi jännite. Työssä käytetty konvertteri on myös toimittajan muuttama ja ei täysin vastaa konvertterin avointa dokumentaatiota.

2.1.1 Yleistietoa konvertterista

Alla on koottu konvertterin keskeisimmät tekniset tiedot taulukkoon 1. Tiedot on saatu konvertterin tyyppikilvestä ja manuaalista.

TAULUKKO 1. DC/DC KONVERTTERIN TEKNISIÄ TIETOA

Sisääntulo (ES-puoli)	
DC sisääntulon jännitealue	200-790Vdc
Nimellistulovirta	120A
Suurin tulovirta	200A, 1 min./10 min.
Lähtö (DC-puoli)	
DC lähdön jännitealue	200-800Vdc
Nimellislähtövirta	120A
Suurin lähtövirta	200A, 1 min./10 min.
Muuta tietoa	
Konvertterin malli	200DCDC750DE (Modattu)
Toimintatapa	Kaksisuuntainen
Ohjausmenetelmä	DC-yhteyden jänniteohje

(MSc Electronics Oy 2016, 12, muokattu)

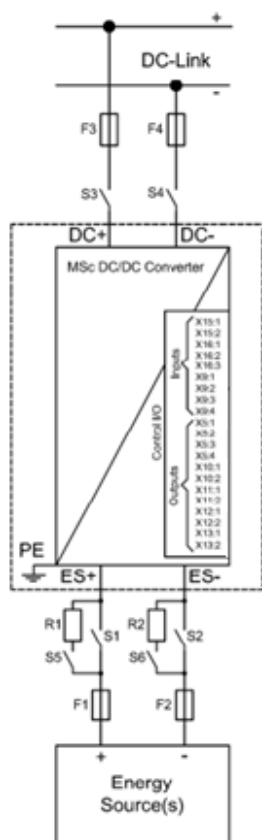
Taulukon 1 tiedoista nähdään, että konvertterin suurempi jännite puoli on DC-puoli ja pienempi jännite puoli ES-puoli. Taulukosta nähdään myös, että konvertterista saadaan jatkuvaa virtaa 120 A ja suurimmillaan 200 A.

Jotta konvertteri pystyy hallitsemaan virran kulkua, niin DC-puolen jännitteen täytyy koko ajan olla suurempi kuin ES-puolen jännitteen. (MSc Electronics Oy 2016, 13.) Laitteen toimittajan mukaan jännite-eron täytyy olla vähintään 30 VDC ollakseen stabiili (Wiren 5.3.2024). Toimittajan mukaan, jos jännite-ero tippuu pienemmäksi kuin 30 VDC, niin virran rippelin määrä kasvaa (Wiren 5.3.2024). Jos jännite-ero jatkaa pienemistä, niin lopulta laite suojaa itsensä (Wiren 5.3.2024). Työn aikana ei keretty testaamaan rippelin määrä, joten jännite-eroa saatetaan suurentaa tulevaisuudessa.

Konvertterit jaetaan yleisesti galvaanisesti eristettyihin ja eristämättömiin konverttereihin. Työssä käytetyssä konvertterissa ei ole galvaanista eristystä ES- ja DC-puolien välillä (MSc Electronics Oy 2016, 13). Tämä tarkoittaa, että ES-puolelta on diodiyhteys DC-puolelle, jonka takia DC-puolen jännite on pienimillään ES-puolen jännite (MSc Electronics Oy 2016, 13, 16). Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää konvertterin esilatauksessa. Esilataaminen tarvitsee tehdä vain ES-puolelle (MSc Electronics Oy 2016, 15).

Työn konvertteriin tuodaan ulkoinen käyttöjännite. Konvertterin ottama käyttöjännite saadaan tuomalla 230 VAC (Alternating Current) MSc:n toimittamaan laatikkoon, joka muuttaa jännitteen laitteen haluamaksi käyttöjännitteeksi 675 VDC. (Wiren 19.2.2024.)

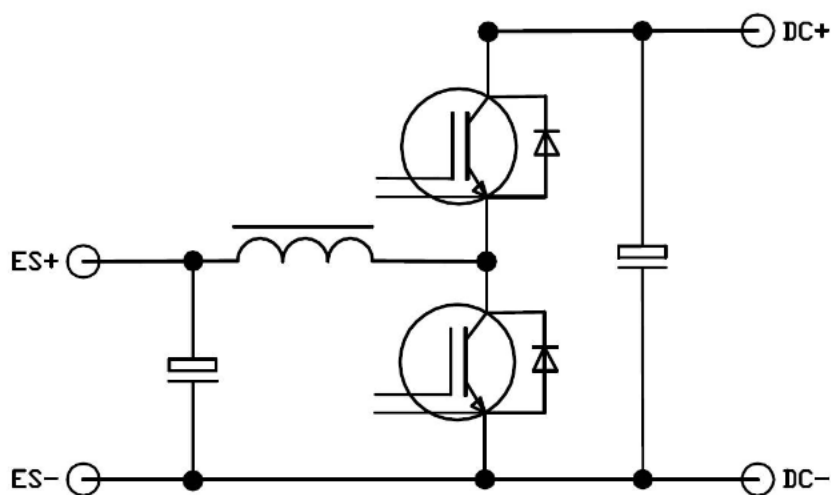
Kuvassa 1 on kuvitteellinen konvertterin kytkentä, jossa konvertterin DC-puoli yhdistetään DC-yhteyteen ja ES-puoli energialähteeseen. Työssä kytkentä voi olla toisinkin päin, jos energialähteen jännite on suurempi kuin DC-yhteyden. Kuvasta 1 nähdään, miten konvertterin esilataaminen tehdään ES-puolelta kontaktoreiden (S5 ja S6) ja vastuksien (R1 ja R2) avulla (MSc Electronics Oy 2016, 15).



KUVA 1. DC/DC Konvertteri kuvitteellinen kytkentä (MSc Electronics Oy 2016, 15, muokattu)

2.1.2 Konvertterin toimintaperiaate

Kuvassa 2 on yksinkertaistettu konvertterin pääpiiri.



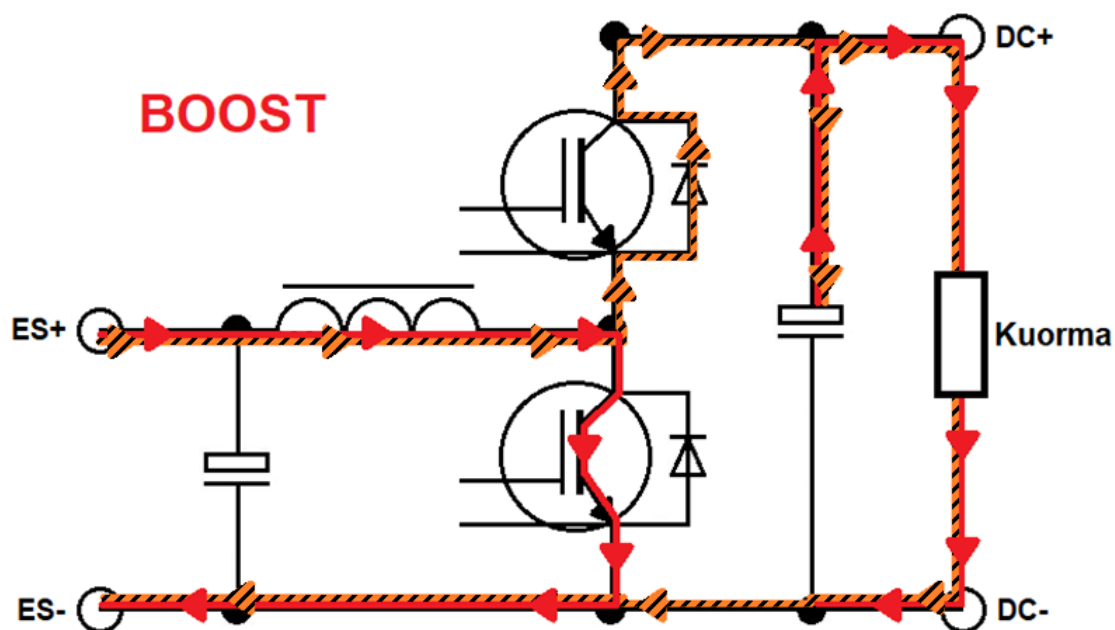
KUVA 2. Yksinkertaistettu konvertterin pääpiiri (MSc Electronics Oy 2016, 16)

Kuvasta 2 nähdään, että työssä käytetty konvertteri on rakenteeltaan kaksisuuntainen "Buck-boost" konvertteri (Deepak, Bandi, Shimi & Paulson 2018, 361–362). Konvertteria käytetään Boost-konvertterina, kun nostetaan jännitettä ES-puolelta DC-puolelle ja Buck-konvertterina, kun lasketaan jännitettä DC-puolelta ES-puolelle.

Boost-konvertteria käytettäessä saadaan nostettua syötetyn tasajännitteen suuruutta, mutta tehon suuruus pysyy samana. Tämän takia ulos syötetyn virran suuruus pienenee, jos jännite kasvaa. (Boost Converter n.d.) Työssä konvertteri toimii Boost-konvertterina, kun työnnetään virtaa ES-puolelta (matalampi jännite) DC-puolelle (suurempi jännite).

Boost-konvertteri nostaa lähtöjännitettä (DC) lisäämällä tulojännitteeseen (ES) kelaan ladatun jännitteen. Boost-konvertterin sykli aloitetaan lataamalla kela tulojännitteellä (ES). Kun kela on ladattu, niin tulojännitteen (ES) ja kelan jännitteen summa puretaan diodin kautta lähtöjännitteeksi (DC). Kun kela on purettu, niin sykli alkaa alusta ja kelan lataus alkaa uudelleen. Kun kela ladataan, niin ulostulon kondensaattori ylläpitää lähtöjännitettä. (Boost Converter n.d; Stasi 2016, 12.)

Kuviossa 1 nähdään, mitkä komponentit kaksisuuntaisessa konvertterissa suorittavat Boost-operaatiota, ja miten virta kulkee piirissä. Punaisella on merkattu virran reitti, kun alempi tehotransistori on kiinni, kela latautuu, ja samalla ulostulon kondensaattori ylläpitää DC-ulostulojännitettä. Raidoitetulla oranssilla taas on merkattu virran reitti, kun alempi tehotransistori on auki ja kela purkautuu.



KUVIO 1. Boost-konvertterin toiminta kaksisuuntaisessa konvertterissa (MSc Electronics Oy 2016, 16, muokattu)

Boost-konvertterin toiminta perustuu siihen, että energiaa varastoidaan kelaan. Jos rajoitetaan kelan varauksen suuruutta, niin rajoitetaan samalla myös lähtöjännitteen (DC) virran suuruutta. (Stasi 2016, 12.)

Boost-konvertterin virran rajoitus ei toimi, kun lähtöjännite (DC) on pienempi kuin tulojännite (ES). Tämä johtuu siitä, että kelan ei tarvitse latautua, jotta virta pysyisi liikkumaan ES-puolelta DC-puolelle, ja tällöin syntynyt hallitsematon virta voi nousta suureksi. (Stasi 2016, 12–13.)

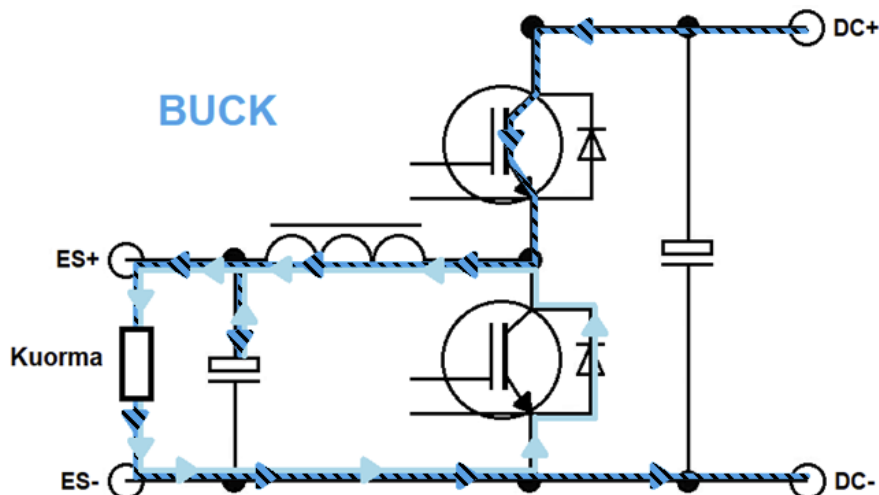
Buck-konvertteria käytettäessä saadaan laskettua syötetyn tasajännitteen suuruutta. (Buck Converter n.d.) Työssä konvertteri toimii Buck-konvertterina, kun työnnetään virtaa DC-puolelta (suurempi jännite) ES-puolelle (pienempi jännite).

Buck-konvertteri pienentää tulojännitettä (DC) avaamalla ja sulkemalla transistoria, jolloin lähtöjännitteen (ES) suuruus riippuu transistorin työjaksosta. Työjakso on prosenttiosuus ajasta, jonka transistori on kiinni verrattuna aikaan, jonka se on auki ja kiinni. (Buck Converter n.d.)

Jännitteen katkomista voidaan verrata LED-valojen himmentämiseen. LED-valo on, joko päällä tai pois päältä (LED-nauhan himmennys, PWM himmennysmenetelmä n.d). LED-valo saadaan näyttämään puolet himmeämmältä, kun se on pois päältä 0,5 s ja päällä 0,5 s (LED-nauhan himmennys, PWM himmennysmenetelmä n.d). Tällöin LED-valo on päällä 50 % työjakson ajasta.

Buck-konvertterin sykli aloitetaan ohjaamalla tulojännite (DC) lähtöjännitteen puolelle (ES). Tällöin syötetään ES-puolen ottama lähtöjännite ja ladataan kondensaattoria ja kela. Kun tulojännitteen ohjaaminen lähtöpuolelle lopetetaan, niin kela ja kondensaattori alkavat purkautumaan ja ylläpitävät ES-puolen ottamaa lähtöjännitettä. Kun kela on purkautunut, niin sykli aloitetaan alusta. (Buck Converter n.d; Stasi 2016, 7.)

Kuviossa 2 nähdään, mitkä komponentit kaksisuuntaisessa konvertterissa suorittavat Buck-operaatiota, ja miten virta kulkee piirissä. Raidoitetulla tummansinisellä on merkattu virran reitti, kun ylempi tehotransistori on kiinni, tulojännitteellä syötetään ES-puolen lähtöjännitettä ja samalla kela ja kondensaattori latautuvat. Vaaleansinisellä on merkattu virran reitti, kun kela ja kondensaattori ylläpitävät ES-lähtöjännitettä.



KUVIO 2. Buck-konvertterin toiminta kaksisuuntaisessa konvertterissa (MSc Electronics Oy 2016, 16, muokattu)

Buck-konvertterissa kelan latauksen suuruus vaikuttaa ES-puolelle syötetyn virran suuruuteen. Tämä mahdollistaa, että voidaan rajoittaa ES-puolen virtaa rajoittamalla kelan virran suuruutta. (Stasi 2016, 7.)

2.1.3 Yhteenveto konvertterin virtarajojen toiminnasta

Konvertteri ollessa päällä virtarajat toimivat, jos DC-puolen jännite on suurempi kuin ES-puolen jännite. Jos DC-puolen jännite on pienempi kuin ES-puolen jännite, niin virtarajat eivät hallitse virtaa, vaan virta kulkee hallitsemattomasti DC-puolelle, kunnes DC-puolen jännite nousee yhtä suureksi kuin ES-puolen jännite. Tämän takia DC-puolen jännitteen ollessa suurempi kuin ES-puolen jännite, ohjausta kutsutaan stabiiliksi ja muulloin epästabiiliksi.

Konvertteri ollessa poissa päältä transistorit ovat auki-asennossa. Tällöin virta ei kulje, jos DC-puolen jännite on suurempi kuin ES-puolen jännite, muulloin virta kulkee DC-puolelle, kunnes jännitteet tasaantuvat.

2.1.4 Konvertterin tulo- ja lähtösignaalit

Taulukkoon 2 on kerätty konvertterin tulosignaalit. Taulukon jälkeen selitetään tarkemmin, mitä jokainen tulosignaali tarkoittaa.

TAULUKKO 2. DC/DC KONVERTTERIN TULOSIGNAALIT

Liitin	Tulosignaalit	Tyyppi	Kuvaus
X15:1	Päälle/Pois/Kuittaus	Rele	Päälle, pois, uudelleen päälle -> kuittaus
X15:2	Maa		
X16:1	Virran purkamisen rajoitus 0–100 %	Analoginen	Virtaraja ES -> DC
X16:2	Virran lataamisen rajoitus 0–100 %	Analoginen	Virtaraja DC -> ES
X9:2	DC-yhteyden jänniteohje	Analoginen	DC-yhteyden jänniteohje

(MSc Electronics Oy 2016, 15, muokattu)

Kun liitin X15:1 yhdistetään releellä liittimeen X15:2, konvertteri menee päälle. Kun yhteys liittimien välillä katkaistaan, konvertteri menee pois päältä. Kun liittimet yhdistetään uudelleen, tapahtuu päälle menemisen lisäksi vanhojen vikojen kuittaus. (MSc Electronics Oy 2016, 15.)

Virran purkamisen (ES -> DC) rajoituksen suuruus tuodaan liittimeen X16:1 analogisena tulosignaalinä. Rajoituksen avulla ohjataan, miten paljon virtaa konverteri ottaa ES-puolelta. Tieto annetaan konverterille muodossa 0–100 %, jossa 0 % on 0 A ja 100 % on 200 A. Virran lataamisen (DC -> ES) rajoituksen suuruus tuodaan liittimeen X16:2 analogisena tulosignaalinä. Rajoituksen avulla ohjataan, miten paljon virtaa konverteri saa ohjata ES-puolelle. Tieto annetaan samalla tavalla kuin X16:1 eli 0–100 % jossa 0 % on 0 A ja 100 % on 200 A. (MSc Electronics Oy 2016, 15.)

Konverterin molemmat virtarajoitukset rajoittavat ES-puolen virtaa. Latausvirran rajoitus ohjaa, miten paljon virtaa ES-puolelle saa syöttää ja purkuvirran rajoitus ohjaa, miten paljon virtaa ES-puolelta saa ottaa.

DC-yhteyden jänniteohje tuodaan analogisena tulosignaalinä liittimeen X9:2. Jänniteohje on 200–800 V. (MSc Electronics Oy 2016, 15.) Taulukkoon 3 on kerätty konverterin lähtösignaalit. Taulukon jälkeen selitetään tarkemmin, mitä jokainen lähtösignaali tarkoittaa.

TAULUKKO 3. DC/DC KONVERTTERIN LÄHTÖSIGNAALIT

Liitin	Lähtösignaali	Tyyppi	Kuvaus
X5:2	Vika	Digitaalinen	Aktiivinen vika = "1"
X5:3	Varoitus	Digitaalinen	Aktiivinen ES tai DC-yhteyden jännitteen rajoitus = "1"
X10:1	ES-puolen jännite	Analoginen 0-20mA	Energialähde jännite: 0–1000 V (0 V = 0 mA, 1000 V = 20 mA)
X11:1	DC-yhteyden jännite	Analoginen 0-20mA	DC-yhteys jännite: 0-1000V (0 V = 0 mA, 1000 V = 20 mA)
X12:1	ES-puolen virta	Analoginen 0-20mA	ES-puolen virta: 0–100 % (0 A = 0 mA, 200 A = 20 mA)
X13:1	Lämpötila	Analoginen 0-20mA	Konverterin lämpötila: 100 °C = 20 mA, 0 °C = 11.4 mA

(MSc Electronics Oy 2016, 15, muokattu)

Konvertterissa on kaksi digitaalista lähtösignaalia. Ne ovat X5:2 vikatieto ja X5:3 varoitus (eli jänniterajoitus). Liitin X5:2 lähettää digitaalista arvoa "1", kun konvertterissa on aktiivinen vika ja liitin X5:3 lähettää digitaalista arvoa "1", kun konvertterissa on aktiivinen jännitteenrajoitus. Muulloin digitaaliset lähtösignaalit lähettävät arvoa "0". (MSc Electronics Oy 2016, 15.) Kutsutaan työssä jänniterajoitusta varoitukseksi, koska oletetaan suunniteltavassa ohjelmassa, että oikein ohjattaessa jänniterajoituksen ei ikinä kuuluisi mennä päälle. Rajoituksen päälle meneminen on varoitus, että jotain on pielessä.

Konvertterista tuodaan analogisina virtaviesteinä DC-puolen jännite, ES-puolen jännite ja ES-puolen virta. DC- ja ES-puolen jännitteiden arvot voivat olla välillä 0–1000 V. ES-puolen virta on 0–100 % (0–200 A). Kaikissa näissä signaaleissa arvo 0 on virtaviesti 0 mA ja maksimiarvo on virtaviesti 20 mA. (MSc Electronics Oy 2016, 15.)

Konvertterin lämpötilan virtaviesti poikkeaa muista signaaleista, koska lämpötilan ollessa 0 °C, virtaviesti on 11,4 mA ja lämpötilan ollessa 100 °C virtaviesti on 20 mA. (MSc Electronics Oy 2016, 15.) Virtaviesti 0 mA vastaa lämpötilaa -132 °C.

2.1.5 Varoitus ja vika

Varoituksen ero viasta on, että varoitus ei vaadi välittömästi toimenpiteitä ohjaukselta. Varoituksen syyt on kerätty taulukkoon 4 ja ne käsitellään tarkemmin taulukon jälkeen.

TAULUKKO 4. VAROITUKSEN SYYT

Syötettäessä DC → ES	Varoituksen seuraukset	Toimenpiteet
ES jännitteen yläraja (790 V)	Estää ES lataamisen	Ei toimenpiteitä
DC jännite alaraja (200 V)	Estää ES lataamisen	Ei toimenpiteitä
Syötettäessä ES → DC	Varoituksen seuraukset	Toimenpiteet
DC jännite yläraja (840V)	Estää ES purkamisen	Ei toimenpiteitä
ES jännitteen alaraja (200 V)	Estää ES purkamisen	Ei toimenpiteitä

Taulukon 4 varoituksen syistä nähdään, että konvertteri tietää, mihin suuntaan tehoa ohjataan. Konvertteri estää puolen, jolle tehoa syötetään, jännitteen nousemisen liian suureksi ja puolen, jolta tehoa otetaan, jännitteen tippumisen liian pieneksi (MSc Electronics Oy 2016, 20).

Jos varoitus menee päälle, niin jännitteen täytyy palata tehdasohjelmoidun verran normaalin toiminta-alueen sisälle (hystereesi), ennen kuin varoitus menee pois päältä. Varoituksen mentyä pois päältä jänniterajoitus poistuu ja lataaminen/purkaminen on taas mahdollista. (MSc Electronics Oy 2016, 20.) Taulukkoon 5 on kerätty konvertterin vian syyt.

TAULUKKO 5. KONVERTTERIN VIAN SYYT

Vian syyt	Vian seuraukset	Toimenpiteet
Sisäinen lämpötila on liian korkea (+80 °C)	Pysäyttää konvertterin	Ei tiedossa
ES ylijännite (800 VDC) (nopea muutos kuormassa)	Pysäyttää konvertterin	Vaatii kuittauksen
ES ylivirta (nopea muutos kuormassa)	Pysäyttää konvertterin	Vaatii kuittauksen
DC ylijännite (900 VDC) (nopea muutos kuormassa)	Pysäyttää konvertterin	Vaatii kuittauksen

(MSc Electronics Oy 2016, 21,44–45; Wiren 19.2.2024)

Taulukosta 5 nähdään, että jos konvertterin sisäinen lämpötila nousee yli 80 °C, niin konvertteri pysähtyy ylikuumenemisen estämiseksi (MSc Electronics Oy 2016, 21,44).

Muut taulukon 5 vian syyt liittyvät tilanteeseen, jossa tapahtuu nopea muutos kuormassa. Normaalisissa käytöissä konvertteri rajoittaa virran ja jännitteen suuruutta ja estää niitä pääsemästä sallittuja rajoja suuremmaksi. Jos kuormaan tulee nopea muutos, niin konvertterin jännitteet ja virrat voivat nousta hyvin suuriksi, mikä voi helposti aiheuttaa vahinkoa. Tämän takia konvertteri heti havaittuaan liian suuren ES-jännitteen, DC-jännitteen tai ES-virran sammuttaa itsensä (MSc

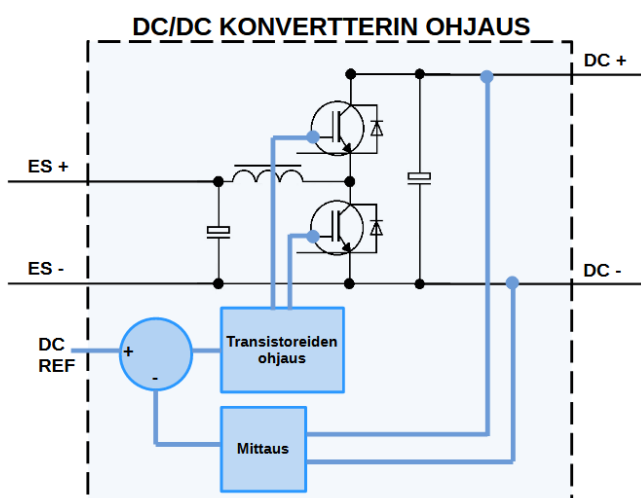
Electronics Oy 2016, 44–46). Jos tämän jälkeen halutaan saada konvertteri uudelleen toimimaan, niin täytyy käynnistää konvertteri uudelleen, jolloin tehdään kuitaus (MSc Electronics Oy 2016, 44–46).

2.1.6 Konvertterin ohjausmenetelmä

Konvertterin DC-yhteyden jänniteohjemenetelmässä virran suunta riippuu jänniteohjeen ja konvertterin DC-puolen jännitteen välisestä jännite-erosta. Virran suuruus riippuu virtarajoituksista ja (jänniteohjeen ja DC-puolen jännitteen) jännite-eron suuruudesta. (MSc Electronics Oy 2016, 17.) Molemmat tasasähköjärjestelmässä olevat konvertterit käyttävät ohjaukseen DC-yhteyden jänniteohjemenetelmää (Wiren 5.3.2024).

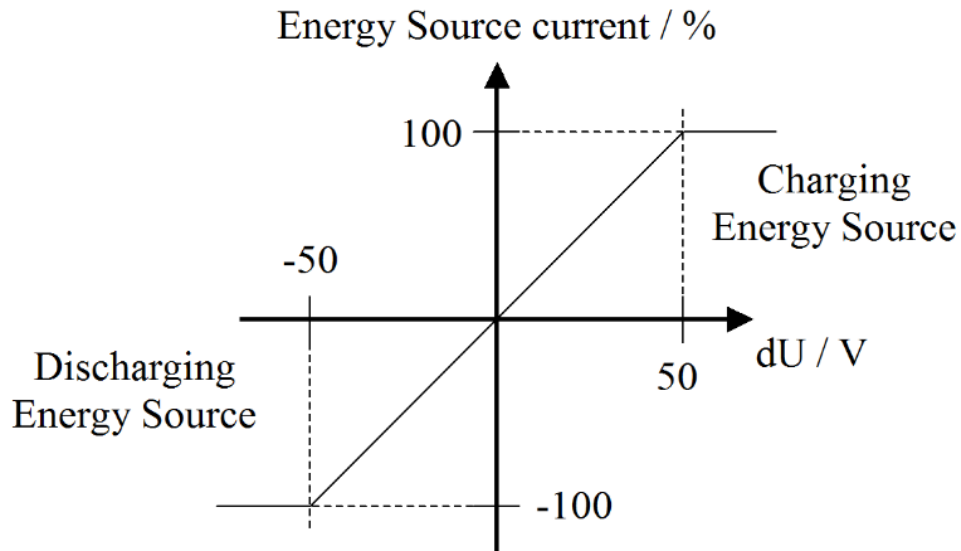
DC-yhteyden jänniteohjemenetelmässä konvertteri yrittää ohjata DC-yhteyden jännitteen olemaan sama kuin jänniteohje. Kun DC-yhteyden jännite on suurempi kuin jänniteohje, niin ohjataan tehoa pois DC-puolelta (ES-puolelle). Kun DC-yhteyden jännite on pienempi kuin jänniteohje niin ohjataan tehoa (ES-puolelta) DC-yhteyteen. (MSc Electronics Oy 2016, 17.)

Kuviossa 3 esitetään DC-puolen jännitteen ja jänniteohjeen yhteys piirretyn säätöpiirin avulla. Säätöpiirissä jänniteohje (kuviossa 3 DC REF) on asetusarvo ja DC-puolen jännite on mitta-arvo. Transistoreiden ohjauksella yritetään saada mitta-arvo olemaan sama kuin asetusarvo.



KUVIO 3. DC/DC konvertterin ohjaus (MSc Electronics Oy 2016, 16, muokattu)

Konvertterin syöttämä maksimivirran suuruus riippuu DC-puolen jännitteen ja jänniteohjeen jännite-erosta. Maksimivirta 200 A saavutetaan, kun jänniteohjeen ja DC-yhteyden jännitteiden ero on 50 voltia tai enemmän. (MSc Electronics Oy 2016, 17). Kun jännitteiden ero pienenee, niin samalla virran suuruus pienenee. Tämä esitetään kuvassa 3.



DC-Link voltage reference model: $dU = \text{measured voltage} - \text{voltage reference}$

Energy Source voltage reference model: $dU = \text{voltage reference} - \text{measured voltage}$

KUVA 3. Jännite-eron yhteys virran suuruuteen (MSc Electronics Oy 2016, 17)

Kuvan 3 toimintaa pohditaan enemmän ohjelmiston suunnittelun alaluvussa [5.1](#).

2.2 DC/AC Invertteri

Työn tasasähköjärjestelmän DC/AC (Alternating Current) invertteri on kaksisuuntainen. Tämä tarkoittaa, että invertterin avulla voidaan muuttaa vaihtosähköä (AC) tasasähköksi (DC) tai tasasähköä (DC) vaihtosähköksi (AC). Työn käyttötapauksissa Invertterin avulla, joko otetaan tehoa verkosta ja muutetaan sitä tasasähköksi tai kuormitetaan akustosta otetulla teholla verkkoa.

2.2.1 Yleistietoa invertteristä

Taulukkoon 6 on koottu invertterin keskeisimmät tekniset tiedot. Tiedot on saatu invertterin mallikoodista ja siihen asetetuista parametreista.

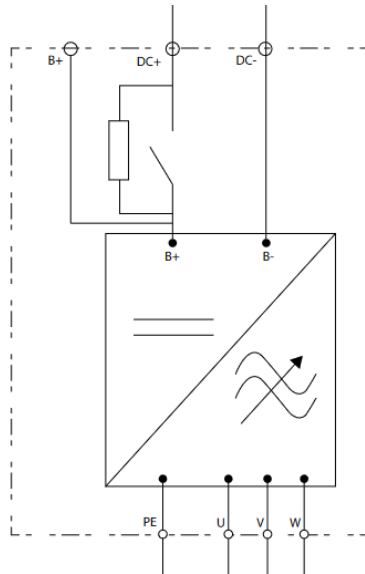
TAULUKKO 6. DC/AC INVERTTERIN TEKNISIÄ TIETOA

PÄÄJÄNNITTEET JA VIRTA	
Virta	105 ampeeria
Verkkojännite	465–800 V DC (380–500 V AC)
MUUTA YLEISTIETOA	
DC-jänniteohje	730 VDC
Sähkömuunnos	INU jossa sisäänr. latauspiiri

(MSc Electronics Oy 2022, 3; Vacon 2022, 16-19)

Taulukosta 6 nähdään, että invertterin pystyy syöttämään verkkoon tai ottamaan verkosta 105 A virtaa. Työssä käytetyn virran suuruutta rajoittaa verkon sulakkeen suuruus. Taulukosta nähdään myös, että Invertterin DC-puolen jännitteen suuruus voi nousta samansuuruiseksi, kuin konvertterin DC-puolen jännite (800 V). Invertterissä on DC-puolella kondensaattorit, jotka täytyy esiladata. Muuten kondensaattorit voivat hajota niiden ottaessa pienellä jännitteellä suuren sysäysvirran.

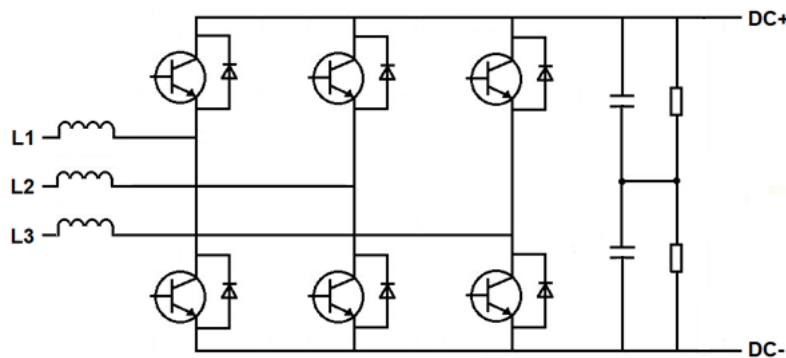
Invertterissä on sisäinen latauspiiri. Tämä tarkoittaa, että invertterin sisällä on DC+ liittimen ja invertterin välillä esilatausvastus, jonka invertteri ohittaa, kun DC-puolen jännite nousee tarpeeksi suureksi. (Vacon 2022, 15,32; Wiren 5.3.2024). Kuvassa 4 on invertterin esilatauspiiri.



KUVA 4. Invertterin sisäinen latauspiiri (Vacon 2022, 32, muokattu)

2.2.2 Invertterin toimintaperiaate

Kuvassa 5 on yksinkertaistettu invertterin pääpiiri.



KUVA 5. Yksinkertaistettu DC/AC invertterin pääpiiri (Deng 2017, 5, muokattu)

Kuvasta 5 nähdään, että invertterin pääpiiri muistuttaa hyvin paljon konvertterin pääpiiriä, mutta siihen on lisätty enemmän transistoreita ja diodeja sekä AC-puolella ei ole maata. Invertterin AC-puolen jännitteen nostaminen suuremmaksi DC-puolelle perustuu kelan lataamiseen (Deng 2017, 6). Samalla tavalla DC-jännitteen muuntaminen pienemmäksi AC-jännitteeksi perustuu osittain kelan lataamiseen.

Tämän perusteelta oletettiin invertterin virran rajoittamisen toimivan samalla periaatteella kuin konvertterin virran rajoittaminen. AC-puolelta on suora diodisilta DC-puolelle, jolloin DC-puolen jännitteen täytyisi olla pienempi kuin verkon tasasuunnattu jännite, jotta invertteri ei pystyisi hallitsemaan virran kulkua. Invertteri haluaa ohjata DC-puolen jännitteen olemaan huomattavasti suurempi kuin verkon tasasuunnattu jännite. Jos invertterin DC-puolelta ei yritetä ottaa enempää tehoa, kuin mitä invertteri verkosta syöttää, niin virtarajoitusten voidaan olettaa aina toimivan.

2.2.3 Invertterin tulo- ja lähtösignaalit

Taulukkoon 7 on kerätty kaikki invertterin tulo- ja lähtösignaalit.

TAULUKKO 7. INVERTTERIN TULO- JA LÄHTÖSIGNAALIT

Liitin	Tulosignaalit	Tyyppi	Kuvaus
2	Verkkoon syötettävän virran rajoitus	AI	Verkkoon syötettävän virran raja (2V=0 %, 8V=100 % nimellisvirrasta 105 A)
4	Verkosta otetun virran rajoitus	AI	Verkosta otetun virran rajaksi (2V=0 %, 8V=100 % nimellisvirrasta 105 A)
8	Päälle/Pois/Kuittaus	DI	Päälle, pois, uudelleen päälle => vikojen kuittaus
Liitin	Lähtösignaalit	Tyyppi	Kuvaus
20	Vika	DO	Aktiivinen vika = "1"
23	Käynnissä	DO	Käynnissä (moduloi) = "1"
	MCB tila	DO	Verkon pääkontaktori kiinni = "1"

(MSc Electronics Oy 2022, 2–3, muokattu)

Virtarajat ovat analogisia tulosignaaleja (AI). Liittimen 2 avulla asetetaan verkkoon syötettävän virran raja. (MSc Electronics Oy 2022, 2–3.) Raja on 0–100 %, jossa 0 % on 0 A ja 100 % on 105 A. Liittimen 3 avulla asetetaan verkosta otetun virran raja (MSc Electronics Oy 2022, 2–3). Virran raja on 0–100 %, jossa 0 % on 0 A ja 100 % on 105 A.

Liitimeen 8 tuodaan digitaalinen tulosignaali (DI), joka ohjaa invertterin päälle/pois. Kun tulosignaali saa digitaalisen arvon "1", niin invertteri menee päälle. Kun tulosignaali saa digitaalisen arvon "0", niin invertteri menee pois päältä. Kun invertteri laitetaan poissa päältä tilasta takaisin päälle, niin tapahtuu vanhojen vikojen kuittaus. (MSc Electronics Oy 2022, 2–3.)

Invertterissä on kolme digitaalista lähtösignaalia. Oletetaan, että vikasignaali lähettää digitaalisen lähtösignaalin "0", kun laitteessa on aktiivinen vika, muulloin signaali on digitaalinen arvo "1". Tästä ei ole täyttä varmuutta ja vikasignaalin lähettämät "0" ja "1" saattavat olla toisinkin päin. Käynnissä olonsignaali lähettää digitaalisen lähtösignaalin "1", kun laite ohjaa transistoreita auki ja kiinni (eli modului). Pääkatkaisija (MCB) tilasignaali lähettää digitaalisen arvon "1", kun invertterin ohjaama pääkatkaisija on kiinni.

2.2.4 Viat

Invertterissä on paljon vikakoodeja. Työn kannalta tärkeimmäksi koetut vikakoodit on kerätty taulukkoon 8. Kaikkia taulukossa 8 olevia vikakoodeja voidaan myös simuloida (Vacon 2021, 66).

TAULUKKO 8. INVERTTERIN VIKAKOODEJA

Nro.	Vikatila	Syy
F1	AC-ylivirta	AC-puolella on liian suuri virta (yli 4x 105 A)
F2	DC-ylijännite	DC-puolen jännite on liian suuri (yli 911 VDC)
F9	DC-alijännite	DC-puolen jännite on liian matala
F11	Vaihevirtojen valvonta	Yhdessä vaiheessa ei ole virtaa tai yksi vaihevirta eroaa huomattavasti muista vaiheista
F3	Maasulku	Vaihevirtojen summa ei ole nolla
F8	Järjestelmävika	Useita eri vikoja
F14	Lämpötila (ylikuumentuminen)	Sisäinen lämpötila on liian korkea

(Vacon 2016, 378–380, muokattu; Vacon 2021, 66, 86–88, muokattu)

Jos invertteriin tulee aktiivinen vika, niin se tarkoittaa, että jotain on mennyt pieleen. Taulukon 8 vikakoodien pohtimisen jälkeen päädyttiin, että on järkevää aina aloittaa käyttötapauksen sammuttaminen, jos invertterin tulee aktiivinen vika.

2.2.5 Invertterin ohjausmenetelmä

Invertteriin on asetettu DC-jänniteohjeksi 730 VDC, jolloin invertteri tavoite on pitää DC-puolen jännitteenä 730 VDC. (MSc Electronics Oy 2022, 3; Vacon 2021, 41). Jos DC-yhteyden jännite on pienempi kuin 730 VDC, niin invertteri haluaa ottaa virtaa verkosta, kunnes jännite on 730 VDC. Jos taas DC-yhteyden jännite on suurempi kuin 730 VDC, niin invertteri haluaa ottaa virtaa DC-yhteydestä ja kuormittaa sillä verkkoa.

Invertteri ohjaa automaattisesti pääkatkaisijaa, joka yhdistää invertterin verkkoon (MSc Electronics Oy 2022, 3). Invertteri ohjaa pääkatkaisimen kiinni, kun DC-puolen jännite on vähintään 460 VDC ($400V \cdot 1,35 \cdot 0,85$) (Vacon 2021, 13). Työssä kuitenkin varmuuden vuoksi lisättiin jännitettä 10 V, jonka takia työssä verkon yhdistämisjännitteenä mainitaan 470 VDC. Pääkatkaisija pysyy kiinni, kun DC-puolen jännite pysyy yli 405 VDC ($400V \cdot 1,35 \cdot 0,75$) (Vacon 2021, 13). Tämä tarkoittaa, että verkon jännitteen täytyisi tippua olemaan 300 VAC, jotta verkon tasasuunnattu jännite olisi pienempi kuin 405 VDC.

2.3 Akusto

Työn tasasähköjärjestelmässä akusto on keskeinen osa järjestelmää. Akustoa käytetään kaikissa eri järjestelmän käyttötapauksissa. Käyttötapauksissa joko ladataan tai puretaan akustoa.

2.3.1 Yleistietoa akustosta

Sarjaan kytkennässä akuston jännitealue on noin 600...700 V ja rinnan kytkennän alue on noin 300...350 V. Nämä jännitealueet ovat akuston tietojen perusteella tehtyjä arvauksia, ja tarkkoja jännitevälejä ei ole vielä tiedossa.

Yleisesti mitään akkuja ei suositella tyhjennettävän liian tyhjäksi tai täytettävän liian täyteen. Tämän takia päätettiin alustavasti, että akuston lataus pidettäisiin normaalissa käytössä välillä 20–80 % ja poikkeuksellisesti max. 90 %. Arvot saattavat muuttua tulevaisuudessa, kun saadaan parempi ymmärrys akuston toiminnasta.

2.3.2 Tulosignaalit

Taulukkoon 9 on kerätty kaikki akuston tulosignaalit. Taulukon jälkeen selitetään tarkemmin tulosignaaleista.

TAULUKKO 9. AKUSTON TULOSIGNAALIT

Tulosignaalit	Kuvaus
BMS-käsky (Battery Management System)	Yhdistämis- tai irrottamiskäsky
HVIL-silmukka (High-Voltage Interlocking Loop)	Korkeajännitesilmukka
Matalaherätys (wake up, active low)	Akuston herätyssignaalin osa 1
Korkeaherätys (wake up, active high)	Akuston herätyssignaalin osa 2

(Battery User Manual n.d, 19-22; Battery DBC File n.d.)

Akuston BMS:ssään (Battery Management System) voidaan lähettää CAN-väylällä käsky (Battery DBC File n.d). Ymmärrettiin käskyn ohjaavan akuston, joko yhdistämään DC-yhteyteen (yhdistämiskäsky) tai irrottamaan itsensä DC-yhteydestä (irrottamiskäsky).

Akuston herätysignaalin aktiiviseksi laittamisessa on kaksi vaihetta. Ensimmäiseksi asetetaan matalaherätys-signaali aktiiviseksi. Tämä tehdään yhdistämällä matalaherätys-signaali maahan. Sen jälkeen laitetaan korkeaherätys-signaali aktiiviseksi. Tämä tehdään yhdistämällä korkeaherätys-signaali 24:ään volttiin. (Battery User Manual n.d, 19.) Molempien signaalien aktiiviseksi laittamisen jälkeen akuston herätysignaali on aktiivinen ja CAN-väylän avulla voidaan keskustella akuston kanssa.

HVIL-silmukka on kaikista akuston liittimistä koostuva silmukka. HVIL-silmukan avulla akusto valvoo, että liittimet on kytketty oikein. Jos jostain syystä HVIL-silmukka katkeaa, niin akustoon tulee aktiivinen vikatila. (Battery User Manual n.d, 19–21.) Aktiivinen vikatila laittaa akuston irrottamaan itsensä DC-yhteydestä, ja estää DC-yhteyteen yhdistämisen (Battery DBC File n.d).

HVIL-silmukan katkaiseminen on turvallinen tapa saada akusto irrottamaan itsensä DC-yhteydestä (Battery User Manual n.d, 11, 20). Tämän takia käytetään sitä mieluummin hätätilanteessa kuin CAN-väylän avulla lähetettyä irrottamiskäskyä. Työssä HVIL-silmukkaa käytetään hyödyksi hätäsammuttamisessa laittamalla hätäseispainikkeet osaksi HVIL-silmukkaa. Tällöin hätäseispainikkeen painaminen katkaisee silmukan ja asettaa akustoon aktiivisen vikatilan.

2.3.3 Lähtösignaalit

Seuraavaksi aletaan käymään läpi osa akuston lähtösignaaleista. Työssä käsitellään akuston lähtösignaalit, joille löydettiin selkeä käyttötarkoitus logiikkaan suunniteltavassa ohjelmistossa. Samaan aiheeseen liittyvät signaalit on kerätty samaan taulukkoon ja taulukon jälkeen selitetään enemmän taulukon sisällöstä. Taulukkoon 10 on kerätty kaikki akkumoduulien lämpötiloihin liittyvät mittaukset.

TAULUKKO 10. LÄMPÖTILAAN LIITTYVÄT MITTAUKSET

LÄMPÖTILA
Akustossa olevien moduulien lämpötilojen keskiarvo (°C)
Pienin akustossa oleva moduulin lämpötila (°C)
Suurin akustossa oleva moduulin lämpötila (°C)

(Battery DBC File n.d.)

Lämpötilojen keskiarvosta saadaan tietää, että tarvitseeko akustoa jäähdyttää enemmän. Suurimmasta ja pienimmästä lämpötilasta saadaan tieto, että akuston jäähdytys toimii oikein, ja että mikään yksittäinen akku ei kuumene tai lämpene liikaa. Jos akustoon tulee aktiivinen vika/varoitus, niin voidaan suurimman ja pienimmän lämpötilan perusteella tietää, että johtuuko aktiivinen vika/varoitus akku-moduulien lämpötiloista. Taulukkoon 11 on kerätty akkumoduulien kennojännitteistä saatuja mittaustiedot.

TAULUKKO 11. SUURIN JA PIENIN KENNOJÄNNITE

SUURIN JA PIENIN KENNOJÄNNITE
Akuston pienin kennojännite (mV)
Akuston suurin kennojännite (mV)

(Battery DBC File n.d.)

Tarkkailemalla akuston pienintä ja suurinta kennojännitettä voidaan tietää, mikä on kennojen välinen suurin jännite-ero. Kennojännitteiden tasaamiseksi tarvitsee aloittaa huoltorutiini, kun jännite-ero kasvaa liian suureksi (Battery User Manual n.d, 13). Tarkkailemalla pienintä ja suurinta kennojännitettä voidaan myös tietää, jos aktiivinen vika/varoitus johtuu liian suuresta tai pienestä kennojännitteestä. Taulukkoon 12 on kerätty akuston lähettämät virtarajoitukset.

TAULUKKO 12. AKUSTON VIRTARAJOITUKSET

VIRTARAJOITUKSET
Purkuvirran dynaaminen rajoittaminen (A)
Latausvirran dynaaminen rajoittaminen (A)

(Battery DBC File n.d.)

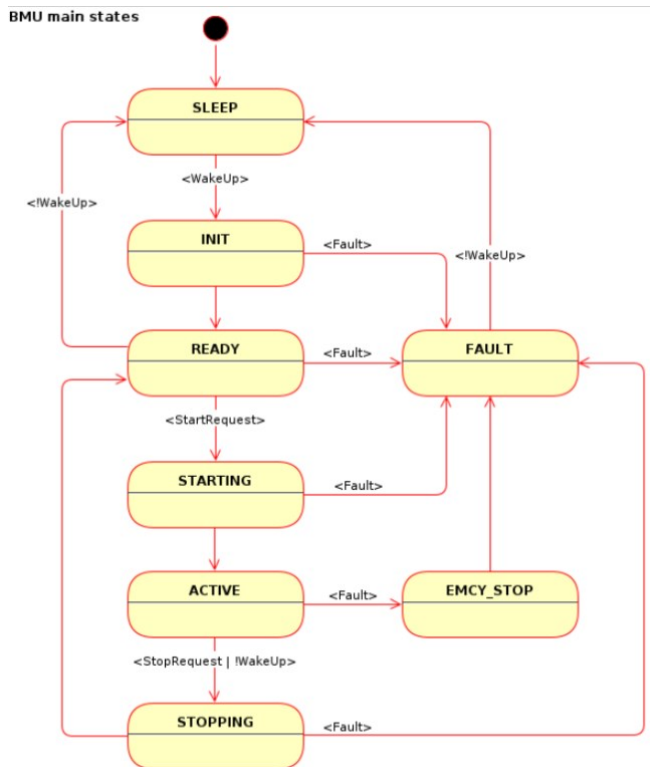
Logiikan tarvitsee tarkkailla, että akustosta ei oteta tai siihen syötetä enempää virtaa kuin dynaamiset rajat sallivat. Dynaamisten virtarajoitusten toiminnasta alaluvussa [2.3.6](#). Taulukkoon 13 on kerätty kaikki akuston eri toimintatilat.

TAULUKKO 13. AKUSTON TOIMINTATILAT

Tila	Selitys
Nukkumassa	Kun herätyssignaali ei ole aktiivinen
Alustus	Herätyssignaali on muuttunut aktiiviseksi ja alustaminen on kesken
Valmis	Alustaminen on loppunut ja voidaan antaa käsky yhdistää DC-yhteyteen
Käynnistyy	Yrittää yhdistää DC-yhteyteen
Aktiivinen	Yhdistetty DC-yhteyteen
Lopetus	Normaali alasajo, kun on yhdistetty DC-yhteyteen ja annettu irrottamiskäsky tai herätyssignaali ei ole enää aktiivinen
Hätälopetus	Hätä alasajo, jos laitteessa on havaittu kriittinen vika
Vika	Laitteessa on aktiivinen vika ja herätyssignaali on aktiivinen

(Battery User Manual n.d, 29–31; Battery DBC File n.d.)

Seuraamalla akuston toimintatiloja pystytään tarkkailemaan muun muassa, että akusto on suorittanut sille annetun irrottamis- tai yhdistämiskäskyn. Kuvassa 6 on esitetty akuston siirtyminen eri toimintatilojen välillä.



KUVA 6. Akuston toimintatilojen välillä siirtyminen (Battery User Manual n.d, 31)

Akuston toimintatilat ja niiden välillä siirtyminen on olennaista ymmärtää, jotta pystytään suunnittelemaan logiikkaan tuleva akuston tilakone. Taulukkoon 14 on kerätty osa akuston lähettämistä vika- ja varoitustiedoista.

TAULUKKO 14. AKUSTON ANTAMIA VIKA- JA VAROITUSTIETOJA

VIKA- JA VAROITUSTIEDOT
Vikatila
Yleisvaroitus

(Battery DBC File n.d.)

Vikatila ja yleisvaroitus käsitellään aluvussa [2.3.4](#). Taulukkoon 15 on koottu akuston virran ja latauksen mittaustiedot.

Taulukko 15. AKUSTON VIRRAN JA LATAUKSEN MITTAUSTIEDOT

AKUSTON VIRRAN JA LATAUKSEN MITTAUSTIEDOT
Virran suuruus (A)
Lataus (%)

(Battery DBC File n.d.)

Akusto kertoo akustosta otetun tai akustoon syötetyn virran suuruuden ja akuston latauksen suuruuden (Battery DBC File n.d). Virran suuruutta voidaan käyttää hyödyksi, kun akusto on kytketty konvertteri DC-puolelle, jolloin ei saada konvertterin virranmittauksella tietoa, miten paljon virtaa otetaan akustosta. Logiikka seuraa latauksen suuruutta ja kennojännitteitä, jotta akustoa ei ladata liian täyteen tai pureta liian tyhjäksi. Taulukkoon 16 on koottu akuston, muihin kuin kennojännitteisiin liittyvät jännitemittaukset.

TAULUKKO 16. AKUSTON JÄNNITTEITÄ

AKUSTON JÄNNITTEITÄ
DC-yhteyden jännite (V)
Akuston jännite (V)

(Battery DBC File n.d.)

Akusto mittaa DC-yhteyden ja koko akuston jännitteet (Battery DBC File n.d). Logiikka pystyy mittauksien jännite-eroa tarkkailemalla tietämään, että johtuiko DC-yhteyteen yhdistämisen epäonnistuminen DC-yhteyden ja akuston jännite-erosta. Enemmän akuston yhdistämisestä DC-yhteyteen alaluvussa [2.3.5](#).

2.3.4 Vika ja varoitus

Akusto lähettää aktiivisen vikatilaa, jos akuston arvot ovat määriteltyjen rajojen ulkopuolella pidempään kuin määritellyn ajan (Battery User Manual n.d, 20). Taulukkoon 17 on kerätty aktiivisen vian syitä.

TAULUKKO 17. AKUSTON VIAN SYITÄ

Vian syyt	Rajat	Aikaraja
Liian suuri/pieni lämpötila	Tehdasohjelmoitava	Tehdasohjelmoitava
HVIL	Silmukan katkeaminen	Tehdasohjelmoitava
Liian suuri/pieni kennojännite	Tehdasohjelmoitava	Tehdasohjelmoitava
Virtarajoituksen ylittäminen	Rajat sekä aikaraja tehdasohjelmoitavissa Toiminnasta alaluvussa 2.3.6 ”Jatkuvan ja dynaamisen virran rajoittaminen”	

(Battery User Manual n.d, 20,37, muokattu)

Jos akustoon tulee aktiivinen vikatila, niin akusto odottaa tehdasohjelmoitavan ajan, kunnes akusto yrittää irrottaa itsensä DC-yhteydestä. Odottamisen tarkoitus on antaa muulle järjestelmälle aikaa reagoida. (Battery User Manual n.d, 20.)

Herätysignaalin asettaminen uudelleen aktiiviseksi nollaa akuston vikatilaa, jos vian aiheuttaja on palannut takaisin sallittuun arvoon ennen uudelleen käynnistämistä. (Battery User Manual n.d, 20, 22.) Ymmärsin tämän tarkoittavan, että tilanteessa, jossa akkumoduuli on yllilämmennyt ja aiheuttaa akustoon aktiivisen vikatilaa, niin voidaan antaa moduulin jäähtyä ja laittaa herätysignaali uudelleen aktiiviseksi. Tällöin vika nollautuu, jos akkumoduulin lämpötila on palannut takaisin sallitulle alueelle.

Oletetaan, että akustoon tulee aktiivinen varoitus, jos akuston arvot ovat lähestymässä vian raja-arvoja. Oletetaan myös, että aktiivisen varoituksen aikana akustoa voidaan käyttää normaalisti.

2.3.5 Akuston kytkeminen DC-yhteyteen

PDU:ssa (Power Distribution Unit) on esilatauspiiri sekä pääpiiri. (Battery User Manual n.d, 22).

Akusto saa CAN-väylältä käskyn yhdistää itsensä DC-yhteyteen. Käskyn saatuaan akusto aloittaa DC-yhteydessä olevien kondensaattoreiden esilataamisen akuston esilatauspiirin avulla (Battery User Manual n.d, 22). Esiladattavat kondensaattorit ovat joko vaunun tai keskuksen konvertterissa. Esiladattava konvertteri riippuu käyttötapauksesta.

Akusto mittaa esilataamisen jälkeen akuston jännitteen ja akuston esilataaman DC-yhteyden jännitteen. Jos jännitteiden välinen jännite-ero on liian suuri, niin akusto lopettaa yhdistämisen ja akuston tila muuttuu olemaan "vika"-tilassa. Jos jännite-ero on tarpeeksi pieni niin, akusto sulkee pääpiirin ja avaa esilatauspiirin. Yhdistymisen jälkeen akuston tila muuttuu olemaan "aktiivinen"-tilassa. (Battery User Manual n.d, 22.)

Akuston yhdistämisen jälkeen, kun halutaan irrottaa akusto DC-yhteydestä, niin akustolle lähetetään irrottamiskäske (Battery User Manual n.d, 22). Tällöin akusto irrottaa itsensä DC-yhteydestä avaamalla pääpiirin. Jos irrottaminen onnistuu, niin akusto palaa takaisin "valmis"-tilaan, jolloin akustolle on mahdollista lähettää uudelleen yhdistämiskäske (Battery User Manual n.d, 22, 31).

2.3.6 Dynaaminen virran rajoittaminen

Akustosta voidaan saada hetkellisesti moninkertainen virta verrattuna jatkuvaan virtaan. Virran moninkertaisuus riippuu akkujen lämpötiloista, akuston latauksen suuruudesta ja akkujen kennojännitteistä. (Battery User Manual n.d, 23.)

Jos purkaus- tai latausvirrat ylittävät akuston jatkuvan virran suuruuden, niin akusto alkaa pienentämään dynaamisen virtarajan suuruutta. Jos otetaan jatkuvaa virtaa suurempi virta niin kauan, että dynaamisen virtarajan suuruus menee pienemmäksi kuin otettu virta, niin laukeaa akustoon aktiivinen vika. Dynaamisen virtarajan suuruus alkaa nousemaan, kun käytetään pienempää virtaa kuin jatkuvan virran suuruus. (Battery User Manual n.d, 23, 25.)

2.4 CAN-väylä

Työssä käytetään CAN-väylää (Controller Area Network) ohjaukaskäskyjen siirtämiseksi akustolle ja tiedon siirtämiseksi akustolta takaisin logiikkaan. CAN-väylä on automaatiöväylä, jota käytetään muun muassa ajoneuvo- ja teollisuusjärjestelmissä (National Instruments 2024b; History of CAN technology n.d).

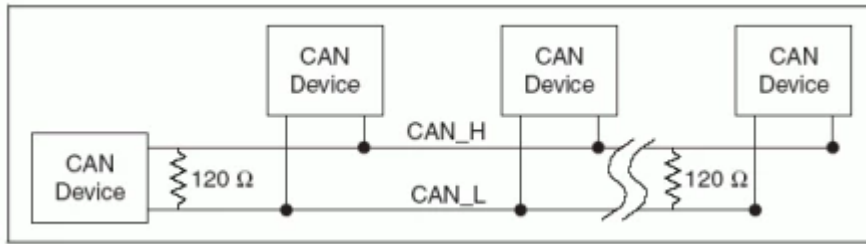
CAN-väylän ja CANopen-protokollan tekemät asiat voidaan asettaa OSI-malliin. CAN-väylä tekee OSI-mallin kaksi alinta kerrosta, jotka ovat fyysinen kerros ja siirtokerros. CANopen-protokolla tekee loput kerrokset. (National Instruments 2024a.) Enemmän tietoa CANopen-protokollan kattamista kerroksista löytyy CANopen-protokollan alaluvusta [2.5](#).

CAN-väylässä on käytössä monia eri fyysisiä kerroksia, joista voidaan valita omaan käyttötarkoitukseen parhaiten sopiva (National Instruments 2024b). Työssä käytettävä fyysinen kerros on Hi-CAN (High-speed CAN).

Hi-CAN käyttää viestintään parikaapelilinjaa, jossa viestin sisältö on jännite-ero parikaapelien CAN_H ja CAN_L välillä (Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 10). Hi-CAN:iä käytettäessä viestinsiirtonopeus on suurimmillaan 1 Mbits/s, jos kaapelin pituus on alle 40 metriä (National Instruments 2024b; National Instruments 2023; Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 7-8).

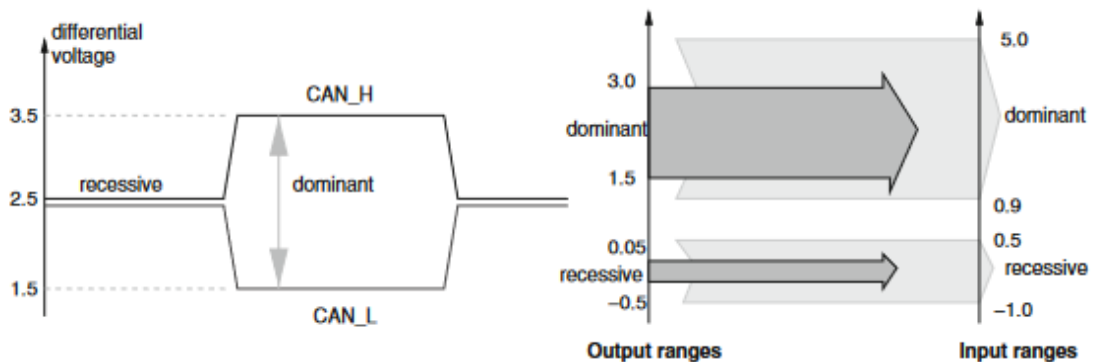
Toinen paljon käytetty CAN-väylän fyysinen kerros on vikasietoinen fyysinen kerros Lo-CAN (Low-speed CAN). Lo-CAN tiedonsiirtonopeus on 125 kbits/s. Tyyppillisesti tällaista verkkoa käytettäisiin paikoissa, joissa virheellinen viestintä voisi aiheuttaa vaaratilanteita. (National Instruments 2024b.) Koska työssä ei käytetä vikasietoista fyysistä kerrosta, niin turvallisuuden takia kriittisiä viestejä ei lähetetä CAN-väylässä.

Hi-CAN-verkossa molemmat parikaapelin johtimet CAN_H ja CAN_L päätetään väylän molemmissa päissä 120 ohmin päätevastuksien avulla (National Instruments 2023; Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 8–9). Tämä on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Hi-CAN-verkon päättäminen päätevastuksilla (National Instruments 2023)

CAN-protokollasta kertovassa kirjassa Understanding and Using the Controller Area Network Communication protocol Theory and Practice (Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 10) kerrotaan, että "Controller Area Network specifies two logical states: recessive and dominant". Tämä tarkoittaa, että CAN-väylässä on kaksi eri loogista tilaa: resessiivinen (looginen 1) ja dominoiva (looginen 0). Kirjassa kerrotaan myös, että resessiivisessä tilassa jännite-ero CAN_H ja CAN_L välillä on alle 0,5 V. Dominoivassa tilassa jännite-ero CAN_H ja CAN_L välillä on suurempi kuin 0,9 V. (Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 10.) Kuvassa 8 näkyy johtimien jännite-eron yhteys CAN-väylän loogiseen tilaan.



Kuva 8. Jännite-eron yhteys CAN-väylän loogiseen tilaan (Natale, Zeng, Giusto & Ghosal 2012, 10)

2.5 CANopen-protokolla

CANopen on työn CAN-väylässä käytetty ylemmän tason protokolla. CANopen-protokollaa käytettiin sen takia, että Beckhoff tukee CANopen-protokollaa. Beckhoff:ilta löytyy EL6751 kommunikointiyksikkö, johon CANopen-protokollaa käyttävä CAN-väylä voidaan tuoda.

2.5.1 CAN ja CANopen OSI-mallin näkökulmasta

OSI (Open System Interconnection) -malli jakaa verkkojärjestelmien viestinnän seitsemään kerrokseen (National Instruments 2024a; Kumar, Dalal & Dixit 2014, 461–463). Jos asetetaan CAN-väylä ja CANopen-protokolla OSI-mallin rakentamiseen, niin CAN-väylä toteuttaa fyysisen kerroksen (1) ja siirtokerroksen (2), ja CANopen-protokolla loput kerrokset (3–7) sovelluskerrokseen asti (National Instruments 2024a).

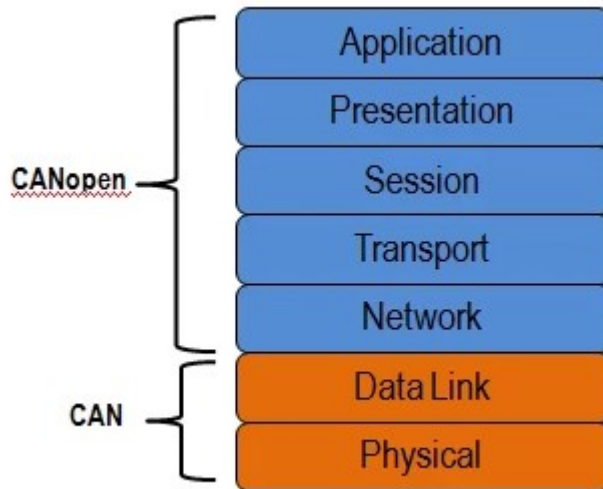
Tämä tarkoittaa, että CAN-väylä määrittelee tiedonsiirrossa käytetyt sähköiset ja fyysiset vaatimukset, esim. käytetyt johtimet ja jännitteet (National Instruments 2024a; Kumar, Dalal & Dixit 2014, 461–463). Samalla CAN-väylä määrittelee, että tiedonsiirto tehdään viestikehyksien avulla (National Instruments 2024a).

CANopen-protokolla toteuttaa ylemmät OSI-mallin kerrokset:

3. Verkkokerros (viestien lähettäminen, reititys)
4. Kuljetuskerros (luotettava lähetys)
5. Istuntokerros (istunnon hallinta)
6. Esitystapakerros (tiedon esittäminen, datan muuttaminen)
7. Sovelluskerros

(National Instruments 2024a; Kumar, Dalal & Dixit 2014, 461–465.)

Kuvassa 9 näkyy, miten CAN-väylä ja CANopen-protokolla asettuvat OSI-malliin.



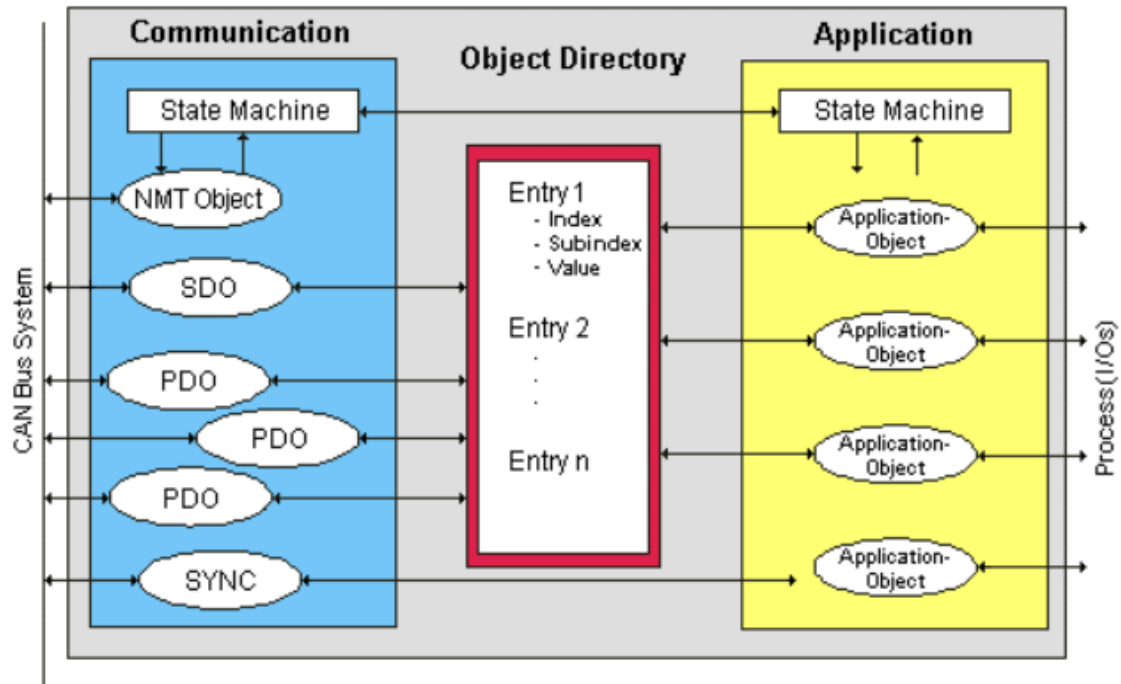
KUVA 9. CAN-väylän ja CANopen-protokollan sijoittuminen OSI-malliin (National Instruments 2024a)

2.5.2 CANopen-laitteen rakenne

CANopen-laitteen rakenne koostuu kolmesta osasta. Ensimmäinen osa on objekti sanakirja. Beckhoffin EL6751 dokumentaatiossa (Beckhoff 2024, 18) kerrotaan, että "The CANopen device parameters and process data are stored in a structured object directory". Ymmärretään tämän tarkoittavan, että laitteen objekti sanakirjaan tallennetaan kaikki laitteen parametrit ja prosessin mittaus- ja ohjaustiedot.

Toinen osa laitteen rakennetta on kommunikaatio. Kommunikaatio osan avulla pystytään lukemaan objekti sanakirjaan tallennettuja tietoja käyttämällä SDO- ja PDO-viestintäprotokollia (Beckhoff 2024, 18).

Viimeinen osa laitteen rakennetta on sovellus. Sovellus yhdistää laitteen prosessiin (Beckhoff 2024, 18; CiA n.d.a, 18–19). CAN in Automation (CiA) julkaisemassa määrittelyssä 301 (CiA n.d.a, 18) kerrotaan CANopen-laitteen rakenteesta kertovan alaluvun lopussa, että "Thus the object dictionary serves as an interface between the communication and the application". Tulkitaan tämän tarkoittavan, että kun prosessin tietoja halutaan syöttää CAN-väylään, niin objekti sanakirja toimii yhtymäkohtana kommunikaation ja sovelluksen välillä (CiA n.d.a, 18–19; Beckhoff 2024, 18). Kuvassa 10 on CANopen-laitteen rakenne.



KUVA 10. CANopen-laitteen rakenne (Beckhoff 2024, 18)

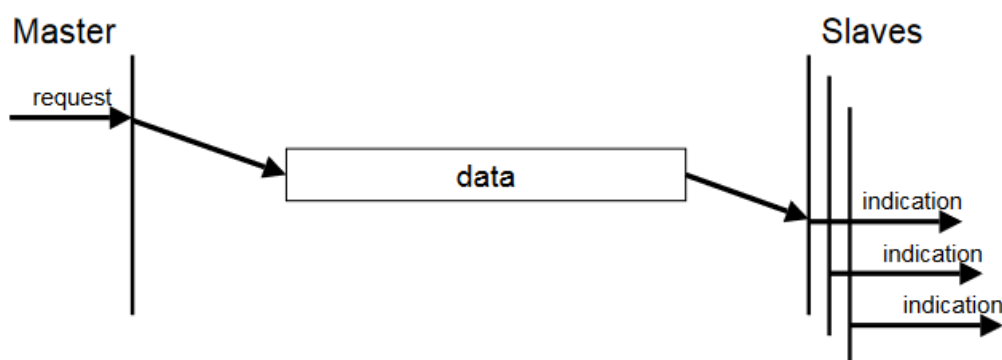
Esimerkki CAN-laitteen toiminnasta voisi olla, että CAN-väylältä tulee SDO/PDO pyyntö laitteelle. Pyyntö tulee laitteen kommunikaatio osaan ja kommunikaatio-osa ottaa objekti sanakirjasta pyynnön haluamat tiedot ja muuntaa ne oikeanlaiseksi viestiksi, joka lähetään takaisin CAN-väylään.

2.5.3 CANopen-kommunikointiprotokollan periaate ja viestien lähettämisen laukaisijat

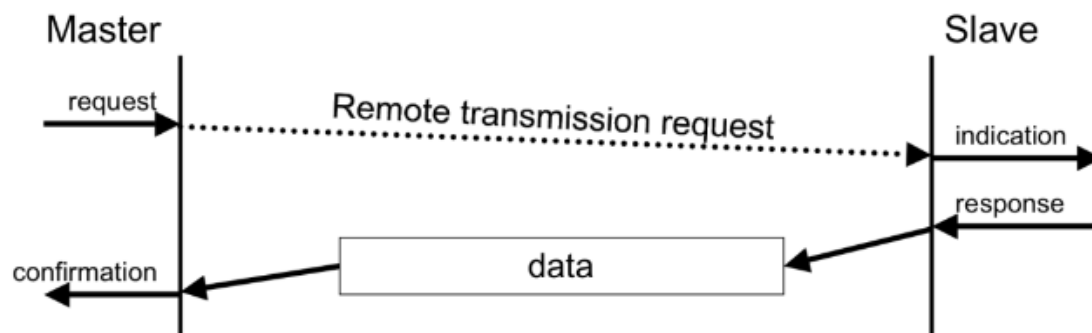
CAN in Automation (CiA) julkaisemassa määrittelyssä CiA 301 (CiA n.d.a, 19) kerrotaan, että "The CANopen communication protocol sequences support the transmission of synchronous and event-driven messages". Ymmärrän tämän tarkoittavan, että CANopen-väylässä voidaan käyttää laitteiden kanssa keskustelemiseen tahdistettuja ja tapahtumaohjattuja viestejä (CiA n.d.a, 19). Tahdistettuja viestejä ovat mm. akuston tietyn aikavälein lähettämät mittaustiedot. Esimerkki tapahtumaohjatusta viestistä voi olla logiikasta akustolle lähetetty yhdistämiskäsky, kun käyttäjä on painanut käynnistämisenappia. Viestien lähettämiseksi on olemassa monia erilaisia kommunikaatioprotokollamalleja. Tässä työssä keskitytään isäntä/orja protokollaan.

Isäntä/orja protokollassa yksi laite verkossa toimii isäntänä (auktoriteettina), joka ohjaa kaikki muita verkon laitteita. Isännän ja orjien välinen kommunikointi jaetaan vahvistamattomaan ja vahvistettuun kommunikointiin. (CiA n.d.a, 19.)

Vahvistetussa kommunikoinnissa laite, jota isäntä pyytää tekemään jotain, lähettää kiittauksen takaisin pyynnön saapumisesta. Vahvistamattomassa kommunikoinnissa laite ei lähetä kiittausta pyynnön saapumisesta. (CiA n.d.a, 19.) Kuvista 11 ja 12 käy hyvin ilmi kommunikointien ero.



KUVA 11. Isäntä/orja vahvistamaton kommunikointi (CiA n.d.a, 19)



KUVA 12. Isäntä/orja vahvistettu kommunikointi (CiA n.d.a, 19)

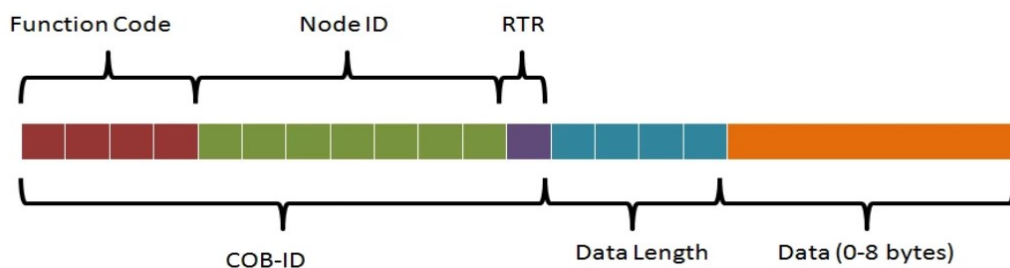
Logiikan akustolle lähettämät ohjaukset ovat vahvistamattonta kommunikointia. Kun akusto saa ohjaukset, niin se ei lähetä viestiä takaisin, onko käsky saapunut vai ei. Akuston lähettämästä tahdistetusta viestistä nähdään, että suorittaako akusto sille annettua käskyä.

2.5.4 CANopen-viestikehyksen muoto (message frame format)

CANopen-protokolla perustuu viestikehyksiin. Kehys voidaan jakaa kolmeen pääosaan. Ensimmäinen osa on CAN-ID (11 bittiä tai poikkeuksena 29 bittiä). CAN-ID:n ensimmäiset 4 bittiä on funktiokoodi, joka kertoo viestin toiminnallisuuden. Loput 7 bittiä kertoo, mille laitteelle viesti on tarkoitettu. (National Instruments 2024a.)

National Instruments:in CANopen perustietoja kertovassa artikkelissa (National Instruments 2024a) sanotaan, että ”The 7-bit size limitation restricts the amount of devices on a CANopen network to 127 nodes”. Artikkelissa väitetään, että 7 bittiä on syy, jonka takia laitteiden määrä on 127, mutta 7 bittiä pystyy vastaamaan 128 (2^7) laitetta. Oletetaan tämän tiedon perusteelta, että laite nro. 0 on varattu arvo, jolloin laitteiden numerot ovat 1-127.

Kehyksen toinen osa kertoo datan pituuden (4 bittiä). Kolmas osa on 0–8 tavua dataa. (National Instruments 2024a.) Kuvassa 13 on CANopen-viestikehyksen rakenne.



KUVA 13. CANopen-viestikehys (National Instruments 2024a)

Taulukossa 18 on CANopen-protokollan valmiiksi määrittelmiin vertaisverkko-objektien funktiokoodoja ja niistä syntyvät CAN-ID:t.

TAULUKKO 18. VERTAISVERKKO-OBJEKTIT

COB	Function code	Resulting CAN-IDs
EMCY	0001 _b	129 (081 _h) - 255 (0FF _h)
PDO1 (tx)	0011 _b	385 (181 _h) - 511 (1FF _h)
PDO1 (rx)	0100 _b	513 (201 _h) - 639 (27F _h)
PDO2 (tx)	0101 _b	641 (281 _h) - 767 (2FF _h)
PDO2 (rx)	0110 _b	769 (301 _h) - 895 (37F _h)
PDO3 (tx)	0111 _b	897 (381 _h) – 1023 (3FF _h)
PDO3 (rx)	1000 _b	1025 (401 _h) – 1151 (47F _h)
PDO4 (tx)	1001 _b	1153 (481 _h) – 1279 (4FF _h)
PDO4 (rx)	1010 _b	1281 (501 _h) – 1407 (57F _h)
SDO (tx)	1011 _b	1409 (581 _h) – 1535 (5FF _h)
SDO (rx)	1100 _b	1537 (601 _h) – 1663 (67F _h)
NMT error control	1110 _b	1793 (701 _h) – 1919 (77F _h)

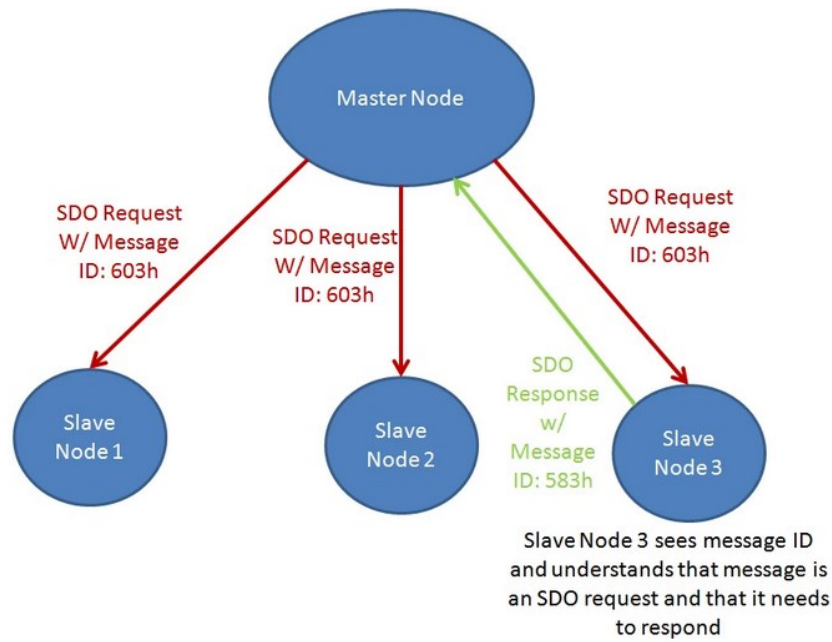
(CiA n.d.a, 81)

Taulukko 18 sisältää kaikki akuston (eli CAN-laitteen) ja logiikan väliset viestit.
(Battery DBC File n.d.)

2.5.5 Tiedonsiirtoprotokollat SDO ja PDO

SDO-protokollan (Service Data Object) avulla pystytään pyytämään laitteelta sen objektisanakirjaan tallennettuja tietoja. SDO-protokollan avulla on myös mahdollista muuttaa objektisanakirjan tietoja. (National Instruments 2024a.)

Seuraavaksi esimerkki SDO-protokollan käyttämisestä. Isäntä haluaa lähettää SDO-pyyynnön laitteelle 3. Tällöin funktiokoodi on 600h ja viestin sisältö määrittelee, mitä tietoa laitteen objektisanakirjasta isäntä haluaa laitteen lähettävän. Tällöin isäntä lähettää väylään viestin, jonka CAN-ID koostuu laitteesta (3) ja funktiokoodista (600h), jolloin pyynnön CAN-ID on 603h. Laite 3 tunnistaa SDO-pyyynnön tulevan hänelle ja vastaa pyyntöön. (National Instruments 2024a.) Esimerkki on kuvassa 14.



KUVA 14. SDO esimerkki (National Instruments 2024a)

PDO-protokollaa (Process Data Object) käytetään mittaus- ja ohjaustietojen lähettämiseksi. Hyötynä PDO-protokollaan käyttämisessä verrattuna SDO-protokollaan on, että isännän ei tarvitse pyytää laitetta lähettämään mittaustietoa, koska laitteet lähettävän tiedon, joko tietyn ajanvälein tai tapahtumaohjatusti. Tällöin rasitetaan vähemmän väylää verrattuna SDO-protokollaan. (National Instruments 2024a.)

National Instruments:in CANopen perustietoja kertovassa artikkelissa (National Instruments 2024a) sanotaan, että "There are two types of PDOs: transfer PDOs (TPDOs) and receive PDOs (RPDOs)". Ymmärretään tämän tarkoittavan, että PDO-viestit voidaan jakaa laitteelta lähetettyihin viesteihin TPDO ja laitteelle tuleviin viesteihin RPDO. (National Instruments 2024a.) Esimerkiksi akuston lähettämä mittaustieto on akuston mielestä TPDO-viesti ja isännälle se on RPDO-viesti.

2.5.6 Verkonhallintaprotokolla

Verkonhallintaprotokolla (Network Management) avulla CAN-väylä pystyy hallitsemaan jokaisen CAN-laitteen tilaa. Laitteen eri tilat ovat alustaminen, esitoiminnallinen, toiminnallinen ja pysäytetty. (National Instruments 2024a; CiA n.d.a, 77-79.) Kun laitteeseen laitetaan virrat, niin laite alustaa itsensä ja laitteen tila muuttuu olemaan esitoiminnallisessa tilassa (CiA n.d.a, 77–78). Esitoiminnallista tilaa käytetään laitteiden konfigurointiin ja silloin käytetään SDO-protokollaa viestintään (National Instruments 2024a; CiA n.d.a, 77, 79–80). Verkonhallinnan isäntä pystyy muuttamaan laitteen tilan esitoiminnallisesta tilasta toiminnalliseen tilaan (CiA n.d.a, 78). Toiminnallisessa tilassa PDO-kommunikointi on sallittu ja viestintään voidaan käyttää SDO- ja PDO-protokollia (National Instruments 2024a; CiA n.d.a, 79–80).

Opinnäytetyössä olevaan CAN-laitteeseen (eli akustoon) toimittaja on valmiiksi määritellyt PDO-viestinnän, ja CAN-laite siirtyy automaattisesti toiminnalliseen tilaan. Tällöin CAN-väylässä ei tarvita verkonhallinnan isäntää.

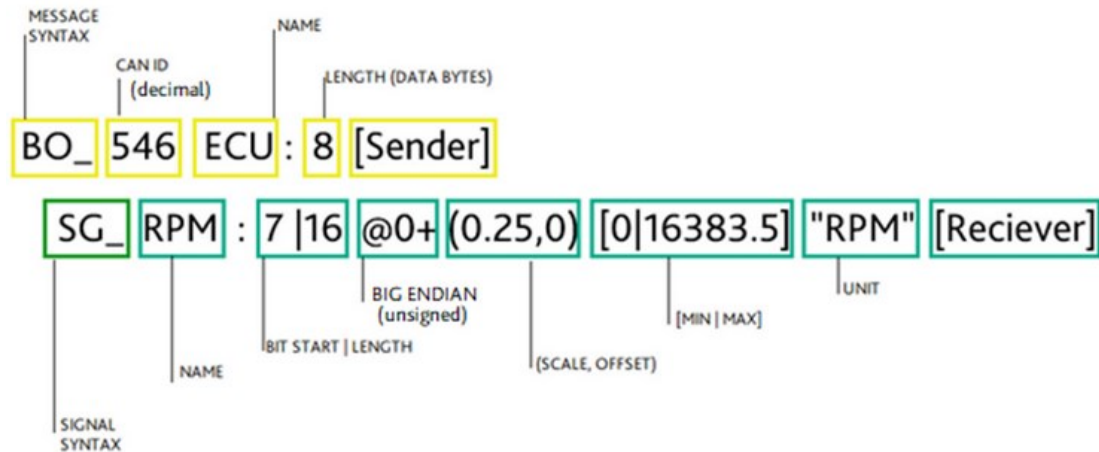
2.5.7 Vartiointi ja sydämenlyönnit (Guarding and Heartbeats)

CANopen-protokollassa käytetään laitteiden tilan tarkistamiseksi vartiointia ja sydämenlyöntiä. Vartiointi on vanhentunut menetelmä ja sitä ei työssä käytetä, joten sitä ei mainita tätä enempää. Sydämenlyönneissä laite lähettää tiedon, missä tilassa (esim. esitoiminnallinen, toiminnallinen, jne.) laite on tietyn ajanvälein. Isäntä olettaa, että jos laite ei ole lähettänyt tietyn ajan sisällä uutta tietoa laitteen tilasta, että laite ei ole toiminnassa. (National Instruments 2024a; Error control protocols n.d.)

2.5.8 CAN-tietokannan tiedosto

CAN-tietokannan tiedoston lyhenne on DBC (Database CAN). DBC-tiedoston avulla voidaan ymmärtää laitteen CAN-väylään lähettämien viestien sisältö ja samalla tietää, missä muodossa laitteelle lähetettävät ohjauspyynnöt täytyy olla. (Influx Technology 2021.)

DBC-tiedosto kertoo, mistä viestin bitistä parametrin sisältö alkaa ja montako bittä sen pituus on. Samalla kerrotaan myös, mikä on parametrin skaalaus, nolosta poikkeama (offset), rajat ja yksikkö. (Influx Technology 2021.) Kuvassa 15 on esimerkki, miltä DBC-tiedoston sisältö voi näyttää.



KUVA 15. DBC-tiedoston sisällön esimerkki (Influx Technology 2021)

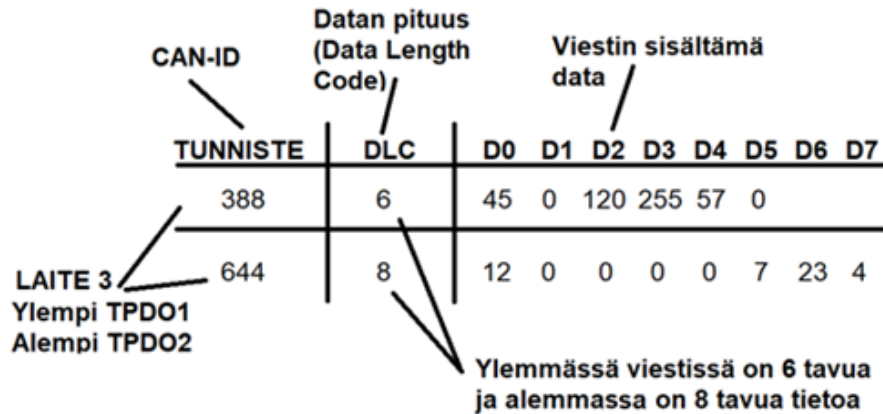
2.5.9 Yhteenveto CANopen-protokollan toiminnasta

Tähän alalukuun on kerätty yhteenveto CANopen-protokollasta kirjoitetusta alaluvusta 2.5. Tämän alaluvun (2.5.9) sisältö on omat tulkintani alaluvun 2.5 sisällöstä ja tämän takia tässä alaluvussa ei viitata lähteisiin.

Aloitetaan miettimällä CAN-laitteen rakennetta. Jokainen CAN-laite sisältää objektisanakirjan, joka toimii tallennuspaikkana kaikelle laitteeseen liittyvälle tiedolle. Tämä tieto voi olla esim. laitteen parametrejä tai laitteen sovelluspuolen kautta tuotuja prosessitietoja, kuten ohjaus- ja mittaustietoja.

Kun CAN-laite haluaa lähettää viestin CAN-väylään, niin sen pitää muuttaa viesti noudattamaan viestintäprotokollaa. Laitteen kommunikaatio-osa tekee tämän muutoksen. Viestit käyttävät SDO-protokollaa, kun halutaan konfiguroida laitetta ja PDO-protokollaa, kun käsitellään prosessitietoja. On mahdollista pyytää SDO-viestillä prosessitietoja, mutta tällöin väylään tulee ylimääräinen viesti, eli isännän pyyntö, verrattuna PDO-protokollaan. PDO-protokollaa käytettäessä laite lähettää mittaustiedon automaattisesti tietyn ajan välein (eli tahdistettu kommunikointi) tai laitteen tilanteen muuttuessa (tapahtumaohjattu kommunikointi).

CAN-väylään lähetettävät viestit perustuvat kehysrakenteeseen. Ensimmäinen osa viestiä on CAN-ID, joka kertoo laitteen funktion ja mille laitteelle viesti on lähetetty. Seuraavaksi on tieto, miten pitkä viesti on, ja viimeiseksi on itse kuljettava tieto. Kuviossa 4 annetaan esimerkki, miltä laitteen CAN-väylään lähettämät PDO-viestit voisivat näyttää.



KUVIO 4. Esimerkki laitteen lähettämistä PDO-viesteistä

Kun CAN-laitteeseen tuodaan käyttövirta, niin laite alkaa alustamaan itsensä. Tämän jälkeen on mahdollista muuttaa verkonhallinnan protokollan avulla laitteen tilaa. Tilat ovat esitoiminnallinen, toiminnallinen ja pysäytetty. On myös mahdollista olla käyttämättä verkonhallintaprotokollaa, jos laitteet siirtyvät itsenäisesti esitoiminnallisesta tilasta toiminnalliseen tilaan. CAN-väylässä oleva alustamisensa suorittanut laite lähettää aina tietyin väliajoin viestin, jossa laite kertoo tilansa. Tämän tasaisin väliajoin tulevan sydämenlyöntiviestin (heartbeat) avulla voidaan tietää, että onko laite toiminnassa vai ei.

2.6 Kontaktorit ja käsikytkimet

Tasasähköjärjestelmässä käytetään kontaktoreita eri kytkentöjen luomiseksi. Käsikytkimien avulla varmistetaan, että laitteet voidaan liittää turvallisesti järjestelmään ilman, että liittimissä voi olla jännitettä.

Järjestelmässä käytetyt kontaktorit ovat korkeajännitereleitä, joissa on lisäkosketin, joka kertoo logiikalle kontaktorin tilan. Työssä halutaan, että kontaktoreiden ottama virta on erillään muista digitaali- ja analogialähdöistä, joten ohjataan kontaktoreita releillä. Järjestelmästä on käsikytkimiä, joiden tarkoitus on sallia käyttäjä tekemään laitteiden kytkemiset mahdollisimman turvallisesti. Jokaisessa pääkytkimessä on lisäkosketin, jonka avulla saadaan logiikkaan tieto, että onko kytkin auki vai kiinni asennossa.

3 JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET

Järjestelmän vaatimukset -luvussa sovelletaan teoriaosuudessa kerrottuja tietoja. Teoreettinen viitekehys -lukuun on merkattu, mistä teoria on referoitu tai lainattu.

Tässä luvussa esitellään järjestelmässä oleva laitteisto ja sen jälkeen käyttäjävaatimukset. Käyttäjävaatimuksissa on kerrottu käyttäjän järjestelmälle asettamat vaatimukset ja toiveet. Kerrotaan myös, mitkä kaikki käyttäjän asettamat vaatimukset ja toiveet oli mahdollista toteuttaa, ja mitkä käyttötapaukset luotiin toteuttamaan ne.

Työn vaatimuksia määriteltäessä käyttäjä (projektin vetäjä) ei vielä tietänyt, mihin järjestelmää halutaan tarkalleen käyttää. Tämän takia käyttäjä asettamat vaatimukset ovat hyvin laajoja.

3.1 Käytettävissä oleva laitteisto

Tasasähköjärjestelmä koostuu kolmesta eri kokonaisuudesta, jotka ovat akusto, keskus ja vaunu. Kaikissa käyttötilanteissa käytetään akustoa. Akuston kanssa käytetään vaunua, keskusta, tai molempia.

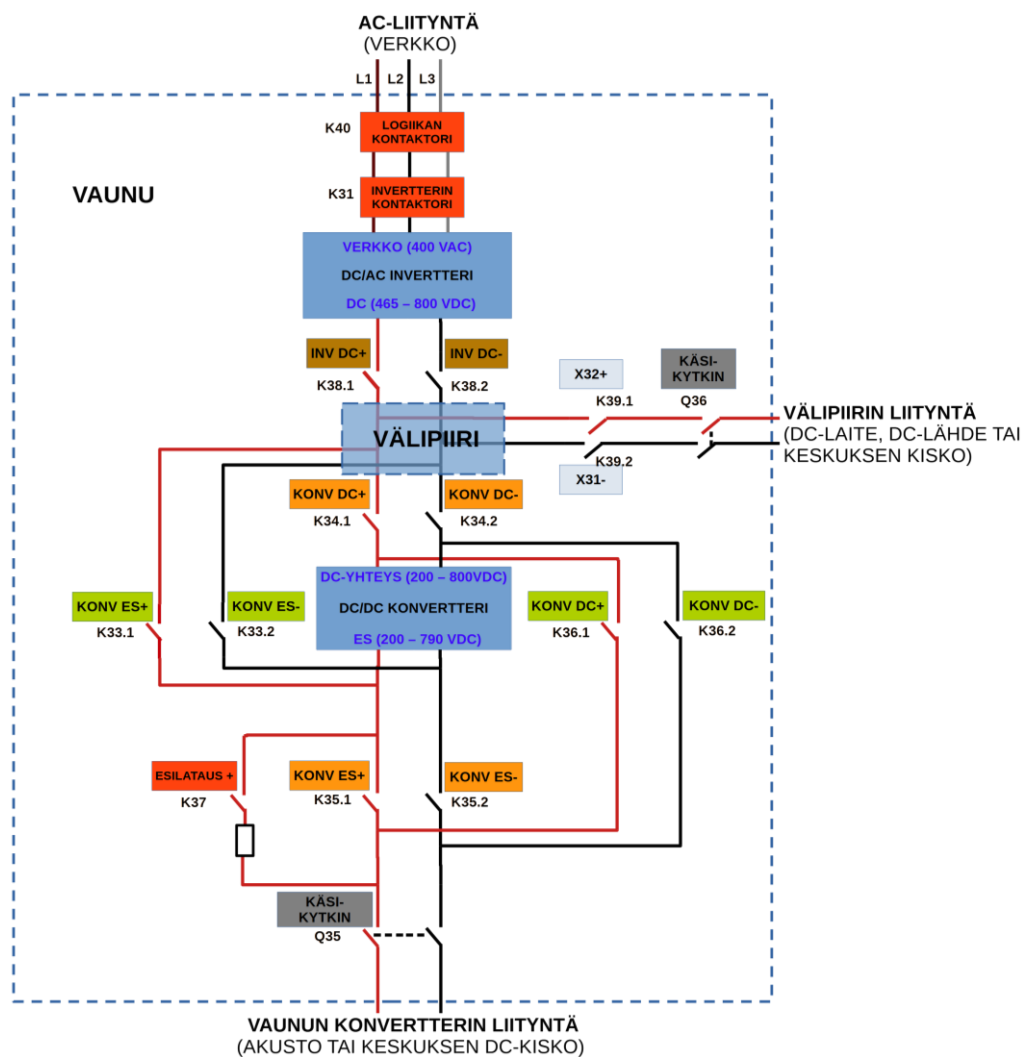
Akusto koostuu akkumoduuleista, jotka voidaan kytkeä akuston sisällä sarjaan tai rinnan kytkentään. Kun akkumoduulit on asetettu rinnan kytkentään, niin akustosta saatu jännite on välillä 300...350 V. Sarjaan kytkennässä jännite on välillä 600...700 V.

3.1.1 Vaunun rakenne

Kuviosta 5 nähdään kaikki vaunun ohjelmoinnin kannalta tärkeät osat eli invertteri, konvertteri, kontaktorit, konvertterin esilatauskontaktorit ja käsikytkimet. Kuvio 5 on järjestelmän suunnittelua varten tehty kuvio, jonka avulla pohdittiin, mitä käyttötilanteita vaunussa olisi mahdollista toteuttaa.

Vaunuun kytketyt laitteet muodostavat eri käyttötapaukset. Kuviosta 5 nähdään, että vaunussa on kolme liityntää. AC-liityntään voidaan kytkeä pelkästään verkko. Välipiirin liityntään (X32) voidaan kytkeä DC-laite, DC-lähde tai keskuksen DC-kisko. Konvertterin liityntään (X31) voidaan kytkeä akusto tai keskuksen DC-kisko.

Kuviossa 5 on myös katkoviivalla erotettu vaunun sisällä olevat laitteet ja vaunuun kytkettävät laitteet. Katkoviivan sisällä on oranssilla ja vihreällä esitetty kaksi eri tapaa käyttää konvertteria. Kun käytetään oranssilla merkattuja kontakteja K35 ja K34, niin akusto/keskus kytketään konvertterin ES-puolelle ja konvertterin DC-puoli välipiiriin. Jos taas käytetään vihreällä merkattuja kontakteja K36 ja K33, niin akusto kytketään konvertterin DC-puolelle ja konvertterin ES-puoli välipiiriin.



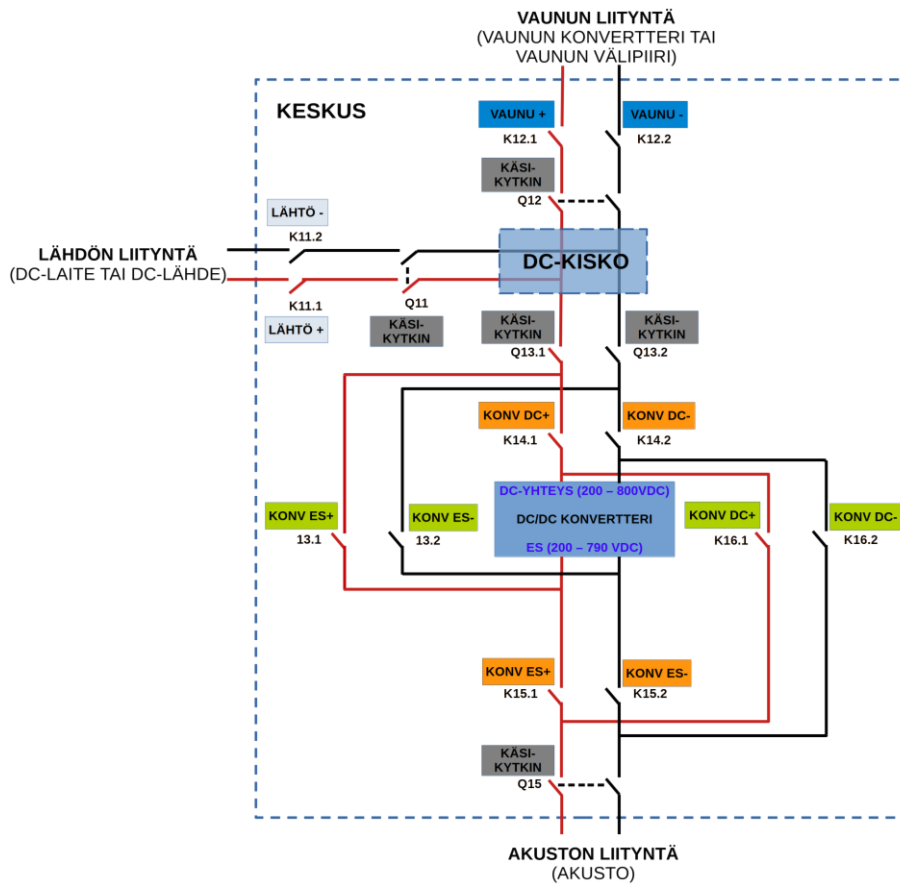
KUVIO 5. Vaunun rakenne ("KONV" = konvertteri ja "INV" = invertteri)

3.1.2 Keskuksen rakenne

Kuviosta 6 nähdään kaikki keskuksen ohjelmoinnin kannalta tärkeät osat eli konvertteri, kontaktorit ja käsikytkimet. Kuvio 6 on järjestelmän suunnittelua varten tehty kuvio, jonka avulla pohdittiin, mitä käyttötilanteita keskuksessa olisi mahdollista toteuttaa.

Keskukseen kytketyt laitteet muodostavat eri käyttötapaukset. Kuviosta 6 nähdään, että keskuksessa on kolme liityntää. Vaunun liityntään voidaan kytkeä vaunun konvertteri tai vaunun välipiiri. Lähdon liityntään voidaan kytkeä DC-laite tai DC-lähde. Akuston liityntään voidaan kytkeä akusto.

Kuviossa 6 on myös katkoviivalla erotettu keskuksen sisällä olevat laitteet ja keskuksen kytkettävät laitteet. Katkoviivan sisällä on oranssilla ja vihreällä esitetty kaksi eri tapaa käyttää konvertteria. Kun käytetään oranssilla merkattuja kontakteita K15 ja K14, niin akusto kytketään konvertterin ES-puolelle ja konvertterin DC-puoli DC-kiskoon. Jos taas käytetään vihreällä merkattuja kontakteita K16 ja K13, niin akusto kytketään konvertterin DC-puolelle ja konvertterin ES-puoli DC-kiskoon.



KUVIO 6. Keskuksen rakenne

3.2 Käyttäjävaatimukset

Käyttäjävaatimukset voidaan jakaa neljään osaan. Ensimmäinen osa sisältää kaikki akuston lataamiseen liittyvät vaatimukset. Toinen osa sisältää kaikki pelkällä akustolla syöttämiseen liittyvät vaatimukset. Kolmas osa sisältää kaikki hybridikäyttöön (otetaan tehoa verkosta sekä akustosta) liittyvät vaatimukset. Neljäs osa sisältää hätäsammuttamiseen liittyvät vaatimukset.

3.2.1 Akuston lataamiseen liittyvät vaatimukset

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että akuston pääasiallinen lataaminen tehdään verkolla. Tämä tarkoittaa, että verkon avulla pitää pystyä lataamaan akusto täyteen asti.

Kun ruvettiin selvittämään laitteiden ja verkon lataukseen asettamia rajoituksia, niin päädyttiin jakamaan käyttäjän asettama vaatimus kahteen käyttötapaukseen. Käyttötapaus N.2 sallii akuston nopean lataamisen rajoitettuun varaukseen asti ja käyttötapaus N.3 mahdollistaa akuston hitaan lataamisen täyteen asti.

Käyttäjä myös toivoi, että akustoa olisi mahdollista ladata myös DC-lähteen avulla. Käyttäjällä ei ollut tarkempia vaatimuksia, joten päädyttiin suunnittelemaan kaksi eri käyttötapausta. Käyttötapaus N.8 sallii akuston hitaan lataamisen, kun DC-lähteen jännite on pienempi kuin akuston jännite. Käyttötapaus L.22 sallii akuston nopean lataamisen, asettamatta vaatimuksia DC-lähteen jännitteelle.

3.2.2 Akustolla syöttämiseen liittyvät vaatimukset

Akustolla syöttämiseen liittyvät vaatimukset jaetaan verkon syöttämiseen, DC-laitteen syöttämiseen ja samaan aikaan verkon ja DC-laitteen syöttämiseen.

Verkon syöttäminen

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että pitää olla mahdollista kohdella verkkoa kuormana ja syöttää tehoa verkkoon. Tätä varten suunniteltiin käyttötapaus N.1, joka mahdollistaa verkkoon syöttämisen. Tarkennetaan vielä, että järjestelmässä olevalla invertterillä ei ole mahdollista luoda AC-saarekettä ja käyttötapauksessa syötetään tehoa jo olemassa olevaan verkkoon.

Akustolla syötetään → DC-laitetta

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että DC-laitetta pitää pystyä syöttämään jännitteellä 200–800 V ja laitteelle syötettävä teho pitäisi olla mahdollisimman suuri. Laitteelle syötettävän tehon määrä riippuu akuston kytkennästä. Sarjaan kytkennässä voidaan saada syötettyä enemmän tehoa DC-laitteelle, kuin rinnan kytkennässä. Tämä johtuu siitä, että konverteri rajoittaa tehoa virran suuruudella, jolloin voidaan syöttää enemmän tehoa samalla määrällä virtaa, kun nostetaan akuston jännitteen suuruutta.

Jotta pystyttäisiin toteuttamaan DC-laitteelle jänniteväli 200–800 V, niin jouduttiin jakamaan DC-laitteen syöttäminen kolmeen eri käyttötapaukseen. Käyttötapaus N.4 syöttää kuormalle jännitevälin 200–500 V. Käyttötapaus N.5 syöttää jännitevälin 500–730 V, mutta joudutaan kytkemään akusto rinnan kytkentään. Rinnan kytkennässä mahdollinen teho on pienempi kuin, mitä olisi mahdollista saada sarjaan kytkennällä. Käyttötapaus N.7 syöttää viimeisen jännitevälin 730–800 V.

Koska käyttäjä halusi jokaisessa jännitteessä syötettävän mahdollisimman suurta tehoa, niin luotiin käyttötapaus N.6, jolla pystytään syöttämään mahdollisimman suurta tehoa jännitevälillä 500–600 V. Tämä jätti ainoastaan jännitevälin 600–730 V, jossa ei pystytty syöttämään mahdollisimman suurta tehoa.

Käyttäjä myös toivoi, että DC-laitteelle syötettävä jännite olisi myös mahdollista nostaa nolasta voltista käyttäjän haluamaan jännitteeseen, koska järjestelmä on tarkoitettu laboratoriokäyttöön. Haluttu DC-jännite voidaan myös syöttää suoraan, ilman nostamista. Jatkossa jännitteen nostamista nolasta voltista haluttuun arvoon kutsutaan jännitteen hallinnaksi.

Jännitteen hallintaa ei pystytty toteuttamaan jännitevälillä 600–800 V. Ei ollut myöskään mahdollista hyödyntää kaikkea akuston tehoa jännitevälillä 600–730 V. Jotta pystyttäisiin täyttämään käyttäjän vaatimukset mahdollisimman hyvin, niin päädyttiin luomaan käyttötapaus L.21, joka mahdollistaa jännitevälillä 230–760 V, jännitteen hallinnan ja akuston koko tehon hyödyntämisen.

Tällöin jäi jänniteväli 760–800 V, jolla käyttötapaukset eivät pysty toteuttamaan jännitteen hallintaa.

Akustolla syötetään → DC-laitetta ja verkkoa

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että akuston avulla täytyy pystyä syöttämään samaan aikaan DC-laitetta ja verkkoa. Tällaisen tilanteen tarkoituksena on ottaa mahdollisimman paljon tehoa akustosta. Tällöin akuston täytyy olla sarjaan kytkennässä.

Käyttäjä halusi, että DC-laitteelle syötettävä jänniteväli olisi 200–800 V. Pystyttiin tekemään käyttötapaus L.28, joka syöttää DC-laitteelle 200–720 V. Olisi ollut mahdollista tehdä käyttötapaus, joka syöttäisi DC-laitteelle jännitevälin 760–800 V, mutta sen avulla ei olisi ollut mahdollista syöttää kaikkea akuston tehoa. Syy siihen löytyy konvertterin automaattisesta virranrajoituksesta. Konvertterin automaattisesta virranrajoituksesta kerrotaan enemmän alaluvussa [5.1](#).

3.2.3 Hybridikäyttöön liittyvät vaatimukset

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että DC-laitetta pitää pystyä syöttämään verkon ja akuston avulla. Käyttäjä haluaa myös pystyä säätämään, miten paljon tehoa otetaan akustosta verrattuna verkosta otettuun tehoon. Käyttäjä myös toivoi, että DC-laitteelle mahdollinen syötettävä jänniteväli olisi 200–800 V.

Koko jännitevälin toteuttaminen ei ollut mahdollista, koska konvertteri vaatii, että ES- ja DC-puolien jännitteiden ero on vähintään 30 VDC. Invertteri asettaa konvertterin toiselle puolelle aina jännitteeksi 730 VDC, jolloin konvertterin toisen puolen jännite ei saa olla välillä 700–760 VDC.

Muut jännitevälit 200–700 V ja 760–800 V saatiin toteutettua jakamalla hybridikäyttö kolmeen eri käyttötapaukseen. Käyttötapaus L.23 syöttää DC-laitteelle jännitevälin 200–500 V. Käyttötapaus L.25 syöttää DC-laitteelle jännitevälin 500–700 V, mutta akuston on kytketty rinnan ja ei pystytä hyödyntämään kaikkea akuston tehoa. Käyttötapaus L.26 syöttää jännitevälin 760–800 V.

Koska käyttäjä halusi jokaisessa jännitteessä syötettävän mahdollisimman suurta tehoa, niin luotiin käyttötapaus L.24, jolla pystytään syöttämään mahdollisimman suurta tehoa jännitevälillä 500–600 V. Tämä jätti ainoastaan jännitevälin 600–700 V, jossa ei pystytty syöttämään mahdollisimman suurta tehoa.

Käyttäjä toivoi, että DC-laitteen jännitteen hallinta olisi mahdollista. Jännitevälillä 200–700 V jännitteen hallinta on käyttötapauksissa (L.23–25) toteutettu. Jännitevälillä 760–800 V jännitteen hallinta olisi ollut mahdollista toteuttaa, mutta se olisi vaatinut enemmän suunnittelua, ja päädyttiin tekemään kaksi käyttötapautta, joista L.26 syöttää jännitevälin 760–800V ilman jännitteen hallintaa ja L.27 esittelee, miten teoriassa olisi mahdollista toteuttaa jännitteen hallinta jännitevälille 760–800 V.

3.2.4 Hätäsammuttamisen vaatimukset

Käyttäjä asetti vaatimukseksi, että hätäseispainiketta painettaessa järjestelmän täytyy sammua mahdollisimman nopeasti. Akuston hätäsammuttaminen toteutetaan liittämällä hätäseispainikkeet akuston HVIL-silmukkaan. Tällöin hätäseispainiketta painettaessa akustoon tulee aktiivinen vikatila, ja akusto irrottaa itsensä järjestelmästä tehdasohjelmoidun ajan kuluttua. Muun järjestelmän hätäsammuttaminen toteutetaan irrottamalla kuorma järjestelmästä ja asettamalla laitteet pois päältä.

4 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖTAPAUKSET

Järjestelmän käyttötapaukset -luvussa sovelletaan teoriaosuudessa kerrottuja tietoja. Teoreettinen viitekehys -lukuun on merkattu, mistä teoria on referoitu tai lainattu.

Luvussa käsitellään työn tasasähköjärjestelmän käyttötapaukset. Luku aloitetaan käyttötapauskaavioilla, jotka on jaettu käyttötarkoitusten mukaan. Käyttötapauskaavioissa näkyy, mitkä käyttötapaukset toteuttavat mitkäkin vaatimukset.

Käyttötapaukset on jaettu normaaleihin (N.1–13) ja laajoihin (L.21–28) käyttötapauksiin. Normaalit käyttötapaukset käyttävät akuston kanssa vain vaunua tai keskusta. Niistä vaunua käyttävät käyttötapaukset N.1-N.8 on myös mahdollista toteuttaa muualla kuin laboratoriossa, koska akustoa ja vaunua on mahdollista liikuttaa. Normaalit käyttötapaukset on kerrottu hyvin yksityiskohtaisesti. Normaalien käyttötapauksien jälkeen on saatu ymmärrys käyttötapauksien kulusta ja laitteiden toiminnasta.

Laajat käyttötapaukset käyttävät akuston lisäksi vaunua sekä akustoa. Laajoja käyttötapauksia on mahdollista käyttää vain laboratoriossa, koska ne vaativat keskuksen, jota ei voida liikuttaa. Laajat käyttötapaukset on kerrottu abstraktimmin kuin normaalit käyttötapaukset, koska kaikkien laitteiden toiminta ja käyttötapauksien yksityiskohtainen kulku on jo ymmärretty normaaleissa käyttötapauksissa.

Liitteeseen 1 on kerätty kaikkien käyttötapauksien kytkennät tehoa syötettäessä.

4.1 Käyttötapauskaaviot

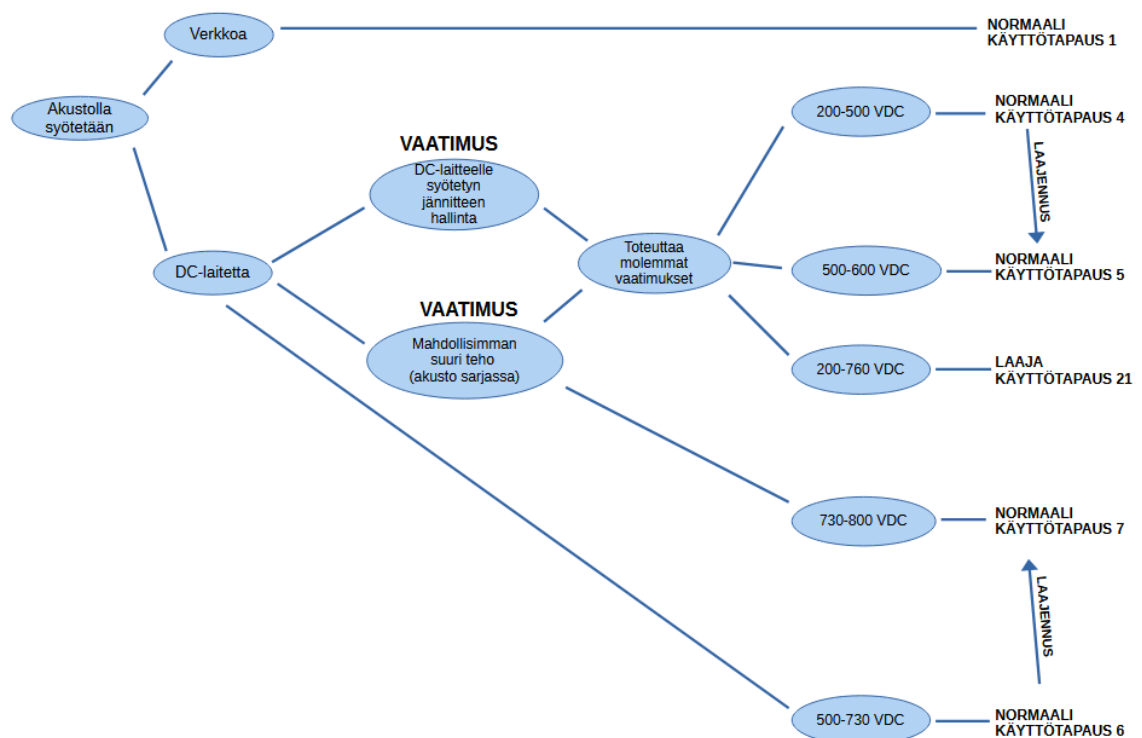
Kaikki käyttötapaukset on jaettu neljään käyttötapauskaavioon. Jokainen käyttötapauskaavio liittyy järjestelmän eri käyttötarkoitukseen. Käyttötarkoitukset ovat:

- Akustolla DC-laitteen tai verkon syöttäminen (Kuvio 7)
- Akustolla DC-laitteen ja verkon syöttäminen (Kuvio 8)
- Akuston lataaminen (Kuvio 9)
- Akuston ja verkon avulla DC-laitteen syöttäminen (Kuvio 10)

Käyttötapauskaaviossa näkyy, mitkä käyttötapaukset toteuttavat mitkäkin vaatimukset.

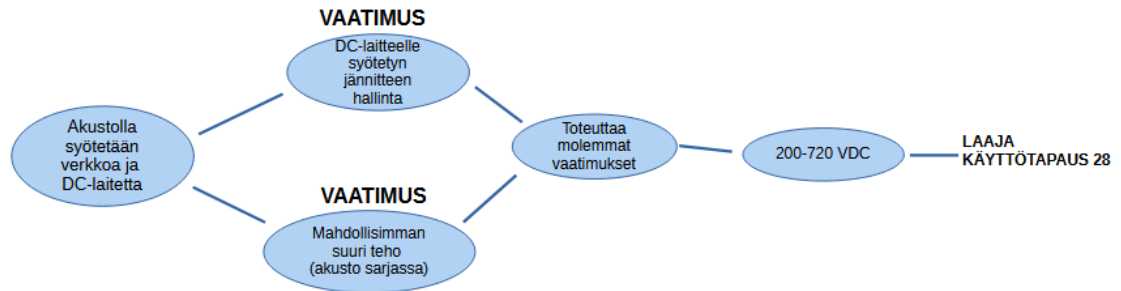
Akustolla syöttämisen käyttötapauskaaviot

Kuviossa 7 on akuston avulla verkon tai DC-laitteen syöttämisen käyttötapauskaavio.



KUVIO 7. Akuston avulla DC-laitteen tai verkon syöttämisen käyttötapauskaavio

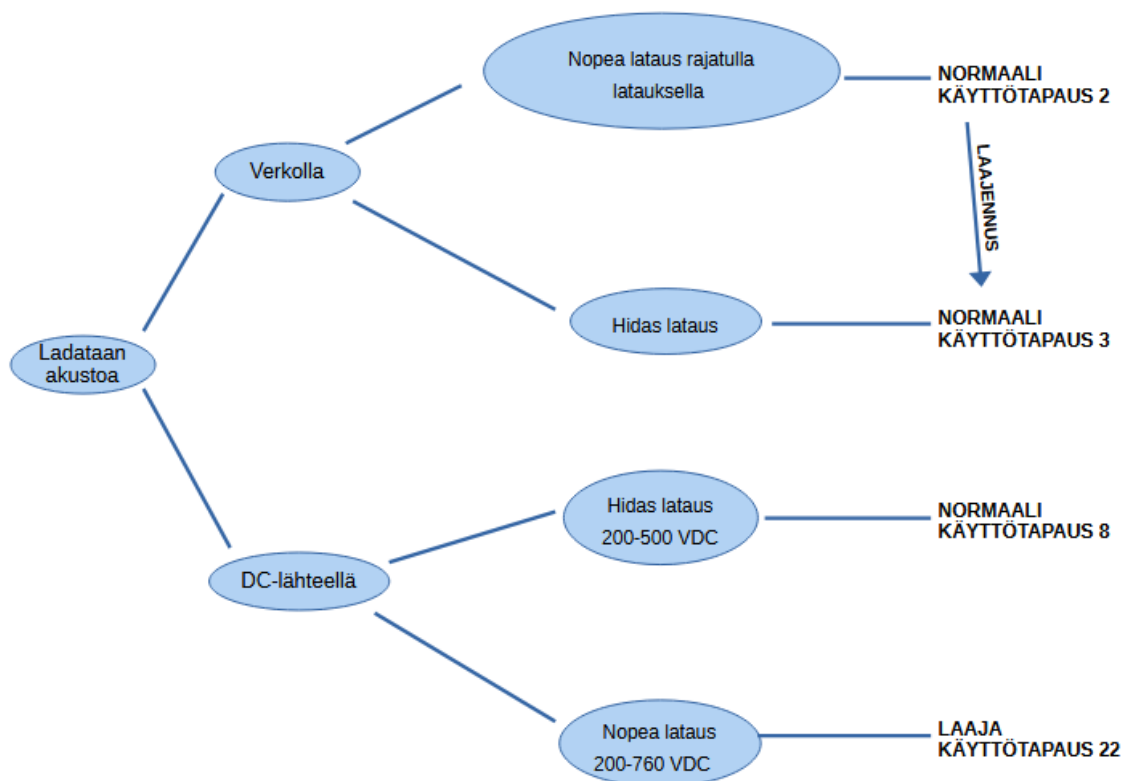
Kuviossa 8 on akuston avulla verkon ja DC-laitteen syöttämisen käyttötapauskaavio.



KUVIO 8. Akuston avulla DC-laitteen ja verkon syöttämisen käyttötapauskaavio

Akuston lataamisen käyttötapauskaavio

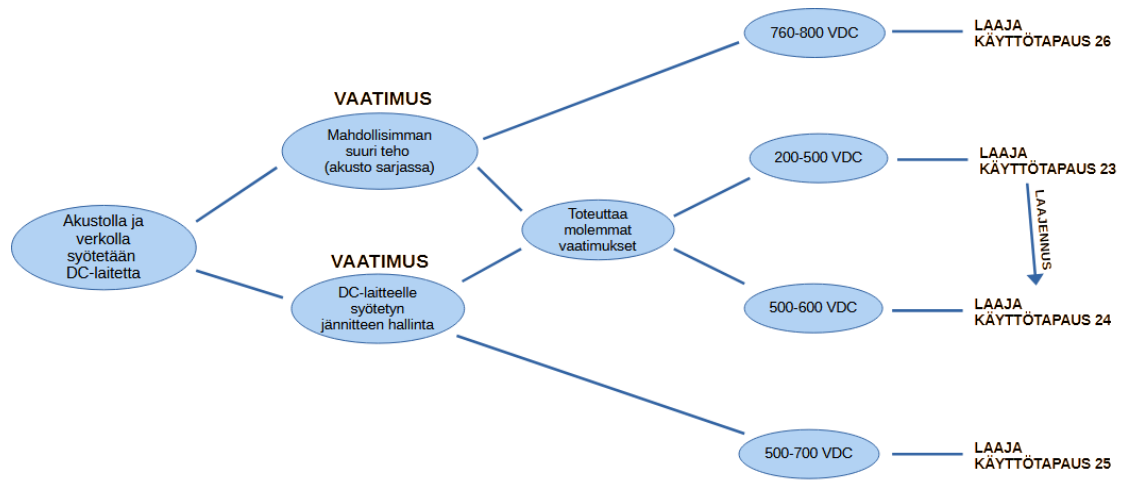
Kuviossa 9 on akuston lataamisen käyttötapauskaavio. Kuvion jännitteet viittaavat DC-lähteen jännitteeseen.



KUVIO 9. Akuston lataamisen käyttötapauskaavio

Hybridikäytön käyttötapauskaavio

Kuviossa 10 on hybridikäytön (akustolla ja verkolla syötetään DC-laitetta) käyttötapauskaavio.



KUVIO 10. Hybridikäytön käyttötapauskaavio

4.2 Normaalit käyttötapaukset

Normaalit käyttötapaukset käyttävät akuston kanssa vain vaunua tai keskusta. Niistä vaunua käyttävät käyttötapaukset N.1-N.8 on myös mahdollista toteuttaa muualla kuin laboratoriossa, koska akustoa ja vaunua on mahdollista liikuttaa. Normaalit käyttötapaukset on kerrottu hyvin yksityiskohtaisesti ja kaikki normaalit käyttötapaukset on kerätty taulukkoon 19. DC-laitteen syöttäminen on merkattu sinisellä (normaalit käyttötapaukset 4–7) ja akuston lataaminen vihreällä (normaalit käyttötapaukset 2–3,8). Seuraavassa alaluvussa 4.2.0 esitellään normaalin käyttötapauksen rakenne.

TAULUKKO 19. NORMAALIT KÄYTTÖTAPAUKSET

NRO.	NORMAALI KÄYTTÖTAPAUUS
N.1	Akustolla → Vaunuun kytketyn verkon kuormittaminen
N.2	Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston (kytketty sarjaan) nopea lataus
N.3	Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston (kytketty rinnan) hidas lataus (Laajennus käyttötapaukselle 2)
N.4	Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 200–500 VDC
N.5	Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500-600VDC (Laajennus käyttötapaukselle 4)
N.6	Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500–730 VDC*
N.7	Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 730-800VDC* (Laajennus käyttötapaukselle 6)
N.8	Vaunuun kytketyllä DC-lähteellä → Akuston lataus
N.9	Muuten sama kuin nro. 4 , mutta DC-laite ja akusto on kytketty keskukseen †
N.10	Muuten sama kuin nro. 5 , mutta DC-laite ja akusto on kytketty keskukseen †
N.11	Muuten sama kuin nro. 6 , mutta DC-laite ja akusto on kytketty keskukseen †
N.12	Muuten sama kuin nro. 7 , mutta DC-laite ja akusto on kytketty keskukseen †
N.13	Muuten sama kuin nro. 8 , mutta DC-lähde ja akusto on kytketty keskukseen †

* Jännitteen hallinta nolasta voltista haluttuun jännitteeseen ei ole mahdollista. Kuormalle syötetty jännite on pienimillään akuston jännite

† Käyttötapaukset ovat muuten samanlaiset kuin vaunun käyttötapaukset, ainoastaan vaunun sijaan käytetään keskusta. Tämän takia käyttötapauksia ei selitetä

4.2.0 Normaalien käyttötapauksien rakenne

Normaalien käyttötapauksien rakenne (Cockburn 1998, 2, muokattu):

- Ominaistiedot
 - Miksi käyttäjä valitsee tämän käyttötapauksen
 - Esim. halutaan ladata akustoa verkolla
 - Pääasialliset toimijat
 - Käyttötapauksessa ohjattavat päälaitteet, kuten akusto, konvertteri ja DC-lähde
 - Käyttötapauskohtaiset esiehdot
 - Ehdot, jotka vaaditaan käyttötapauksen aloittamiseksi, esim. akuston latauksen maksimisuuruus
 - Rajoitukset
 - Ehdot, jotka aloittavat käyttötapauksen sammuttamisen, kuten akuston jännitteen kasvaminen liian suureksi

- Käyttäjän tekemät asiat
 - Asettamat arvot ja tiedot
 - Käyttäjä asettaa käyttötapaukseen liittyviä arvoja, kuten DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran
 - Käyttäjä asettaa käyttötapaukseen liittyviä tietoja, kuten käytetäänkö jännitteen hallintaa vai ei
 - Kytkennät
 - Käyttötapaukseen liittyvät kytkennät, kuten akuston kytkentä
 - Käyttäjän asettamien arvojen perusteelta lasketut arvot
 - Käyttäjän asettaman esim. DC-lähteen virran perusteelta lasketaan konvertterin akustolle syöttämän latausvirran suuruus

- Käyttötapauksen kulku
 - Käynnistäminen
 - Tehonkulku
 - Käyttötapauksen kytkentä
 - Sammuttaminen alaluvussa [4.2.9](#)

4.2.1 Akustolla → Vaunuun kytketyn verkon syöttäminen (N.1)

Normaali käyttötapaus 1

Akustolla → Vaunuun kytketyn verkon syöttäminen

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan akuston avulla syöttää tehoa verkkoon.

Käyttötapauksessa käytetään akustoa ja vaunua. Pääasialliset toimijat ovat:

- Akusto (kytketään vaunuun)
- Vaunun konvertteri
- Vaunun invertteri (yhdistetään verkkoon)

Käyttötapauskohtaiset esiehdot, jotka vaaditaan käyttötapaoksen aloittamiseksi:

- Akuston lataus on suurempi kuin 30 %
- Akuston jännite on pienempi kuin 700 VDC

Rajoitus, joka aloittaa sammuttamisen:

- Akuston lataus on tippunut olemaan 20 %

Käyttäjän tekemät asiat

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot:

- Käyttäjä ilmoittaa verkossa olevan sulakkeen suuruuden
 - o Sulakkeen suuruus rajoittaa verkkoon syötetyn virran maksimisuuruuden
- Verkkoon syötetyn virran suuruus
 - o Virran suuruuden pitää olla pienempi kuin verkon sulakkeen suuruus
- Akuston minimilataus
 - o Akuston pienin sallittu lataus on 20 %
 - Arvo on työn tasasähköjärjestelmän suunnittelijoiden päättämä arvo, akun liian tyhjäksi menemisen estämiseksi

Käyttäjän tekemät kytkennät:

- Verkko kytketään vaunun AC-liityntään
- Akusto kytketään vaunun konvertterin liityntään (X31-liittimiin)
 - o Akuston kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q35
- Akusto kytketään rinnan tai sarjaan kytkentään

Käyttäjän asettamien arvojen perusteella ohjelma laskee:

- Invertterin verkkoon syöttämän virran rajoituksen
- Konvertterin purkuvirran rajoituksen
 - o Rajoittaa ES-puolelta DC-puolelle syötetyn virran suuruutta
- Konvertterin jänniteohjeen
 - o Täytyy olla suurempi kuin 730 VDC

Käyttötapausten kulku

Käyttötapaus aloitetaan tarkistamalla käyttötapauskohtaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät. Tarkistuksen jälkeen aloitetaan laitteiden käynnistäminen.

1. Tarkistetaan käyttötapauskohtaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät
 - a. Estetään käyttötapausten aloittaminen, jos
 - i. Yllä määritellyt käyttötapauskohtaiset esiehdot eivät täyty
 - ii. Asetetut arvot eivät ole sallitulla alueella
 - iii. Kytkentöjä ei ole tehty
2. Akusto kytketään konvertterin ES-puolelle (K35 kiinni)
3. Akustolle lähetetään yhdistämiskäskey
4. Akusto lataa konvertterin kondensaattorit
5. Akuston pääpiiri menee kiinni
6. Konvertterin DC-puoli yhdistetään välipiiriin (K34 kiinni)
7. Konvertteri laitetaan päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen
8. Verkko yhdistetään invertterin AC-puolelle (K40 kiinni)
9. Yhdistetään invertterin DC-puoli välipiiriin (K38 kiinni)
10. Annetaan 5 s aikaa invertterille esilatautua

Jos välipiirin jännite on esilatauksen jälkeen pienempi kuin 470 VDC, niin invertteri ei pysty yhdistämään itseänsä verkkoon. Silloin tarvitsee nostaa konvertterilla välipiirin jännite olemaan 470 VDC. Tämä tilanne tapahtuu, jos akusto on rinnan kytkennässä (300–350 VDC).

11. Asetetaan konvertterin jänniteohjeen arvoksi 470 VDC

12. Asetetaan konvertterin purkuvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Kun välipiirin jännite on suurempi kuin 470 VDC, niin invertteri yhdistää itsensä verkkoon. Sitten voidaan suorittaa invertterin käynnistäminen loppuun ja laittaa konvertterin ohjaamaan tehoa.

13. Invertteri yhdistää itsensä verkkoon (K31 menee kiinni)

14. Asetetaan invertteri päälle

a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen

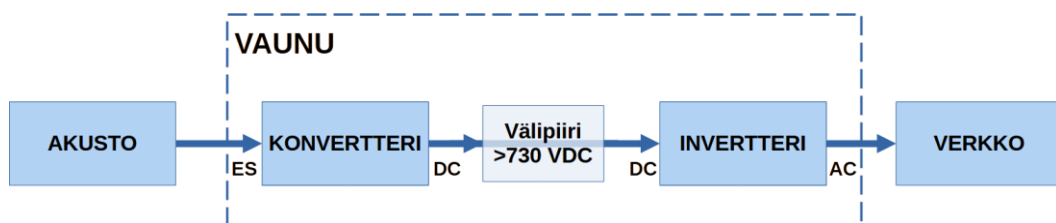
15. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi

16. Asetetaan konvertterin purkuvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Tässä vaiheessa konvertteri on nostanut välipiirin jännitteen suuremmaksi kuin 730 VDC (eli invertterin jänniteohje). Tällöin invertteri alkaa syöttämään tehoa verkkoon, kun verkkoon syötetyn virran rajoitus nousee suuremmaksi kuin nolla.

17. Nostetaan (ajassa 2 s) invertterin verkkoon syötetyn virran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Kuviossa 11 näkyy laitteiden kytkentä, kun normaalissa käyttötapauksessa 1 syötetään tehoa verkkoon.



KUVIO 11. Akustolla → Vaunuun kytketyn verkon syöttämisen kytkentä

Jos konvertteri syöttää välipiiriin vähemmän tehoa, kuin mitä invertteri pystyy syöttämään verkkoon, niin invertteri pitää välipiirin jännitteenä 730 VDC. Jos konvertteri syöttää enemmän tehoa, mitä invertteri pystyy ottamaan, niin välipiirin jännite kasvaa suuremmaksi kuin 730 VDC. Silloin jännitteen suuruus riippuu jänniteohjeesta ja verkkoon syötetyn virran suuruudesta.

Ohjelmiston suunnittelun alaluvussa [5.1](#) kerrotaan konvertterin jänniteohjeen ja DC-puolen jännitteen jännite-eron vaikutuksesta konvertterin syöttämän virran määrään.

Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen löytyy alaluvusta [4.2.9](#).

4.2.2 Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston nopea lataus (N.2)

Normaali käyttötapaus 2

Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston (kytketty sarjaan) nopea lataus

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan ladata akustoa verkon avulla nopeasti melko täyteen asti. Nopealla lataamisella tarkoitetaan, että akusto on kytketty sarjaan. Sarjaan kytkennässä on mahdollista syöttää enemmän tehoa akustoon, kuin rinnan kytkennässä. Tämä johtuu siitä, että konvertteri rajoittaa virran suuruutta, jolloin jännitettä nostamalla saadaan syötettyä enemmän tehoa konvertterin läpi.

Käyttötapauksessa käytetään akustoa ja vaunua. Pääasialliset toimijat ovat:

- Akusto (kytketään vaunuun)
 - o Sarjaan kytkennässä
- Vaunun konvertteri
- Vaunun invertteri (yhdistetään verkkoon)

Käyttötapauskohdittaiset esiehdot, jotka vaaditaan käyttötapaoksen aloittamiseksi:

- Akuston jännite on pienempi kuin 690 VDC
- Akusto on kytketty sarjaan

Rajoitus, joka aloittaa sammuttamisen:

- Akuston jännite on kasvanut olemaan 700 VDC

Käyttäjän tekemät asiat

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot:

- Käyttäjä ilmoittaa verkossa olevan sulakkeen suuruuden
 - o Sulakkeen suuruus rajoittaa verkosta otetun virran maksimisuuruuden
- Verkosta otetun virran suuruus
 - o Virran suuruuden pitää olla pienempi kuin verkon sulakkeen suuruus
- Akuston maksimilataus

Käyttäjän tekemät kytkennät:

- Verkko kytketään vaunun AC-liityntään
- Akusto kytketään vaunun konvertterin liityntään (X31-liittimiin)
 - o Akuston kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q35
- Akusto kytketään sarjaan kytkentään

Käyttäjän asettamien arvojen perusteella ohjelma laskee:

- Invertterin verkosta ottaman virran rajoituksen
- Konvertterin latausvirran rajoituksen
 - o Rajoittaa DC-puolelta ES-puolelle syötetyn virran suuruutta
- Konvertterin jänniteohjeen
 - o Täytyy olla pienempi kuin 730 VDC

Käyttötapausten kulku

Käyttötapaus aloitetaan tarkistamalla käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät. Tarkistuksen jälkeen aloitetaan laitteiden käynnistäminen.

1. Tarkistetaan käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät
 - a. Estetään käyttötapausten aloittaminen, jos
 - i. Yllä määritellyt käyttötapauskohdaiset esiehdot eivät täyty
 - ii. Asetetut arvot eivät ole sallitulla alueella
 - iii. Kytkenä ei ole tehty
2. Akusto kytketään konvertterin ES-puolelle (K35 kiinni)
3. Akustolle lähetetään yhdistämiskäskeä
4. Akusto lataa konvertterin kondensaattorit
5. Akuston pääpiiri menee kiinni
6. Konvertterin DC-puoli yhdistetään välipiiriin (K34 kiinni)
7. Konvertteri laitetaan päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen
8. Verkko yhdistetään invertterin AC-puolelle (K40 kiinni)
9. Yhdistetään invertterin DC-puoli välipiiriin (K38 kiinni)
10. Annetaan 5 s aikaa invertterille esilatautua

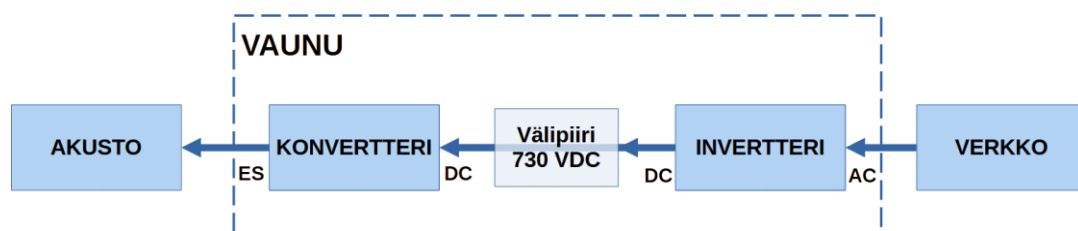
Akusto on kytkettynä sarjaan, jolloin välipiirin jännite nousee esilatauksessa olemaan 600–700 VDC (> 470 VDC). Tällöin invertteri pystyy yhdistämään itsensä verkkoon.

11. Invertteri yhdistää itsensä verkkoon (K31 menee kiinni)
12. Asetetaan invertteri päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen
13. Nostetaan (ajassa 2 s) invertterin verkosta otetun virran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Tässä vaiheessa invertteri on nostanut välipiirin jännitteen olemaan 730 VDC (eli invertterin jänniteohje). Tällöin konvertteri alkaa ottamaan tehoa välipiiristä ja lataamaan akustoa, kun jänniteohje on asetettu pienemmäksi kuin 730 VDC ja latausvirran rajoitus on suurempi kuin nolla.

14. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi
15. Nostetaan konvertterin latausvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Kuviossa 12 näkyy laitteiden kytkentä, kun akustoa ladataan nopeasti verkon avulla.



KUVIO 12. Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston nopean lataamisen kytkentä

Jos konvertteri ottaa välipiiristä vähemmän tehoa, kuin mitä invertteri pystyy ottamaan verkosta, niin invertteri pitää välipiirin jännitteenä 730 VDC. Jos konvertteri ottaa enemmän tehoa, mitä invertteri pystyy syöttämään, niin välipiirin jännite tippuu olemaan jossain akuston jännitteen ja 730 voltin välillä. Silloin jännitteen suuruus riippuu jänniteohjeesta ja verkkoon syötetyn virran suuruudesta.

Ohjelmiston suunnittelun alaluvussa [5.1](#) kerrotaan konvertterin jänniteohjeen ja DC-puolen jännitteen jännite-eron vaikutuksesta konvertterin syöttämän virran määrään.

Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen löytyy alaluvusta [4.2.9](#).

4.2.3 Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston hidas lataus (N.3)

Normaali käyttötapaus 3

Vaunuun kytketyllä verkolla → Akuston (kytketty rinnan) hidas lataus

Ominaistiedot

Normaali käyttötapaus 3 on laajennus normaalille käyttötapaukselle 2.

Käyttötapaus 3 laajentaa maksimilatauksen (SOC) suuruuden olemaan 90 %, mutta samalla lataamisen nopeus pienenee, koska akusto täytyy asettaa olemaan rinnan kytkennässä.

Erona käyttötapausten välillä on, että käyttötapauksessa 3:

- Akusto pitää olla rinnan kytkennässä, eikä sarjaan kytkennässä
- Lisätty ohjelman osa, joka nostaa välipiirin jännitteeksi 470 VDC
- Akuston suurin sallittu lataus on 90 %
 - o Arvo on työn tasasähköjärjestelmän suunnittelijoiden päättämä arvo, akun liian täydeksi menemisen estämiseksi

Käyttötapausten kulku

Käyttötapausten kulku on muuten sama kuin normaalissa käyttötapauksessa 2, mutta siihen on lisätty ohjelma, joka nostaa konvertterin avulla välipiirin jännitteen olemaan 470 VDC, jotta invertteri yhdistää itsensä verkkoon.

Invertterin DC-puolen/välipiirin jännitteen nostaminen

Käyttötapaus 3 aloitetaan käyttötapausten 2 kohdilla 1–10. Invertterin DC-puolen jännite on akuston rinnan kytkennän takia liian pieni (< 470 VDC), että invertteri pystyisi yhdistämään itsensä verkkoon. Tällöin jännite nostetaan konvertterin avulla olemaan 470 VDC.

1. Asetetaan konvertterin jänniteohjeeksi 470 VDC
2. Konvertterin purkuvirran rajoitus asetetaan lasketuksi arvoksi

Kun invertteri yhdistää itsensä verkkoon, niin voidaan asettaa konvertterin purkuvirran rajoitus nolnaan. Käyttötapaus 3 jatkuu käyttötapausten 2 kohdasta 11.

4.2.4 Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 200–500 VDC (N.4)

Normaali käyttötapaus 4

Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 200–500 VDC

Ominaisiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapausten, jos halutaan akuston avulla syöttää DC-laitetta jännitevälillä 200–500 VDC. Tässä käyttötapausten on mahdollista hyödyntää kaikkea akuston tehoa, koska akusto on kytketty sarjaan. DC-laitteen jännitteen hallinta on myös mahdollista.

Käyttötapausten käytetään akustoa ja vaunua. Pääasialliset toimijat ovat:

- Akusto (kytketään vaunuun)
 - o Sarjaan kytkennässä
- Vaunun konvertteri
- DC-laite (kytketään vaunuun)

Käyttötapaustenkohtaiset esiehdot, jotka vaaditaan käyttötapausten aloittamiseksi:

- Akuston lataus on suurempi kuin 30 %
- Akusto on kytketty sarjaan

Rajoitus, joka aloittaa sammuttamisen:

- Akuston lataus on tippunut olemaan 20 %

Käyttäjän tekemät asiat

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot:

- DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran suuruus
- Akuston minimilataus
 - o Akuston pienin sallittu lataus on 20 %
 - Arvo on työn tasasähköjärjestelmän suunnittelijoiden päättämä arvo, akun liian tyhjäksi menemisen estämiseksi
- Jännitteen hallinta
 - o Jos valitaan käyttää jännitteen hallintaa, niin DC-laitteelle syötettävä jännite nostetaan nolasta voltista
 - o Jos ei valita käyttää jännitteen hallintaa, niin DC-laitteelle syötetään heti käyttäjän asettamaa virtaa ja jännitettä

Käyttäjän tekemät kytkennät:

- Akusto kytketään vaunun konvertterin liityntään (X31-liittimiin)
 - o Akuston kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q35
- Akusto kytketään sarjaan kytkentään
- DC-laite kytketään välipiirin liityntään (X32-liittimiin)
 - o DC-laitteen kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q36

Käyttäjän asettamien arvojen perusteella ohjelma laskee:

- Konvertterin latausvirran rajoituksen
 - o Rajoittaa DC-puolelta ES-puolelle syötetyn virran suuruutta
- Konvertterin jänniteohjeen
 - o Täytyy olla pienempi kuin akuston jännite

Käyttötapausten kulku

Käyttötapaus aloitetaan tarkistamalla käyttötapauskohtaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät. Tarkistuksen jälkeen aloitetaan laitteiden käynnistäminen.

1. Tarkistetaan käyttötapauskohtaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät
 - a. Estetään käyttötapausten aloittaminen, jos
 - i. Yllä määritellyt käyttötapauskohtaiset esiehdot eivät täyty
 - ii. Asetetut arvot eivät ole sallitulla alueella
 - iii. Kytkeä ei ole tehty
2. Akusto kytketään konvertterin ES-puolelle (K35 kiinni)
3. Akustolle lähetetään yhdistämiskäskeä
4. Akusto lataa konvertterin kondensaattorit
5. Akuston pääpiiri menee kiinni
6. Konvertteri laitetaan päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen

Konvertterin esilataamista varten akusto kytkettiin konvertterin ES-puolelle. Käyttötapauksessa kuitenkin halutaan asettaa DC-laite ES-puolelle, koska DC-laitteelle syötettävä jännite on pienempi kuin akuston jännite.

7. Irrotetaan akusto konvertterin ES-puolelta (K35 auki)
8. Kytketään akusto konvertterin DC-puolelle (K36 kiinni)

Käyttäjä on valinnut jännitteen hallinnan. Sen takia DC-laite yhdistetään konvertterin ES-puolelle, ennen kuin konvertterin virtarajoitus nostetaan.

9. DC-laite yhdistetään välipiiriin (K39 kiinni)
10. Konvertteri ES-puoli yhdistetään välipiiriin (K33 kiinni)
11. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi
- 12. Nostetaan konvertterin latausvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi**

Käyttäjä ei valinnut jännitteen hallintaa, vaan haluaa DC-laitteelle heti syötettävän käyttäjän asettama määrä virtaa ja jännitettä. Sen takia konvertterin virtarajoitus nostetaan, ennen kuin DC-laite yhdistetään konvertterin ES-puolelle.

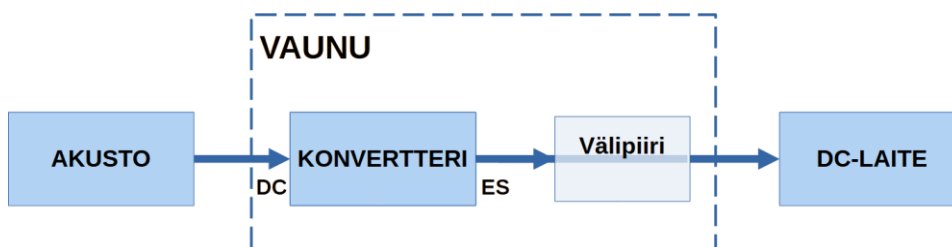
9. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi

10. Nostetaan konvertterin latausvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

11. DC-laite yhdistetään välipiiriin (K39 kiinni)

12. Konvertterin ES-puoli yhdistetään välipiiriin (K33 kiinni)

Kuviossa 13 näkyy laitteiden kytkentä, kun syötetään tehoa normaalissa käyttötapauksessa 4.



KUVIO 13. Vaunuun kytketyllä akustolla → DC-laitteen syöttämisen 200–500 V kytkentä

DC-laitteen ollessa konvertterin ES-puolella ohjataan konvertterin ES-puolelle syötetyn virran määrä. Tällöin konvertteri ei suoraan hallitse DC-laitteen jännitteen suuruutta, vaan jännite riippuu DC-laitteelle syötetystä virrasta ja DC-laitteen ominaisuuksista.

Jos käyttäjä on syöttänyt ohjelmaan väärän jännitteen ja/tai virran suuruuden, niin DC-laitteelle syötettävä jännite voi suurimmillaan nousta olemaan akuston jännitteen suuruinen. Konvertteri ei tällaisesta tilanteesta hajoa, mutta DC-laitteelle syötettävässä virrassa on paljon rippeliä, koska jännite-ero ES- ja DC-puolien välillä on hyvin pieni. Suunniteltava ohjelma tulee tunnistamaan tällaisen tilanteen, jossa ES-puolen jännite on noussut suuremmaksi kuin 500 V ja aloittaa käyttötapauksen sammuttamisen.

Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen löytyy alaluvusta [4.2.9](#).

4.2.5 Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500–600 VDC (N.5)

Normaali käyttötapaus 5

Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500-600VDC

Ominaistiedot

Normaali käyttötapaus 5 on laajennus normaalille käyttötapaukselle 4. Käyttötapaus 5 laajentaa jännitevälin 200...500 V jännitteeseen 600 V asti, mutta samalla asettaa enemmän esiehtoja ja rajoituksia käyttötapaukselle.

Erona käyttötapauksien välillä on, että käyttötapauksessa 5:

- Lisätty esiehto, että akuston jännite pitää olla Min. 690 V
- Lisätty rajoitus, että akuston jännite pitää olla Min. 630 V

Akuston jännite sarjaan kytkennässä on pienimmillään noin 600 V. Lisätyn esiehdon avulla varmistetaan, että käyttötapauksen alussa akustossa on tarpeeksi jännitettä ylläpitää käyttötapausta, ja käyttötapausta ei jouduta heti lopettamaan akuston matalan latauksen takia.

Lisätyn rajoituksen avulla varmistetaan, että akuston jännite on aina 30 V suurempi kuin DC-laitteelle syötettävä jännite. Jos jännite-ero tippuisi pienemmäksi, niin DC-laitteelle syötettävään virtaan alkaisi tulemaan enemmän rippeliä.

Käyttötapauksen kulku

Käyttötapauksen kulku on sama kuin normaalissa käyttötapauksessa 4.

4.2.6 Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500–730 VDC (N.6)

Normaali käyttötapaus 6

Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 500–730 VDC

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan akuston avulla syöttää DC-laitetta jännitevälillä 500–730 VDC. Tässä käyttötapauksessa ei ole mahdollista hyödyntää kaikkea akuston tehoa, koska akusto on kytketty rinnan kytkentään. Myöskään jännitteen hallinta ei ole mahdollista.

Käyttötapauksessa käytetään akustoa ja vaunua. Pääasialliset toimijat ovat:

- Akusto (kytketään vaunuun)
 - Rinnan kytkennässä
- Vaunun konvertteri
- DC-laite (kytketään vaunuun)

Käyttötapauskohdaiset esiehdot, jotka vaaditaan käyttötapaoksen aloittamiseksi:

- Akuston lataus on suurempi kuin 30 %
- Akusto on kytketty rinnan

Rajoitus, joka aloittaa sammuttamisen:

- Akuston lataus on tippunut olemaan 20 %

Käyttäjän tekemät asiat

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot:

- DC-laitteelle haluttu jännite ja virta
- Akuston minimilataus
 - o Akuston pienin sallittu lataus on 20 %
 - Arvo on työn tasasähköjärjestelmän suunnittelijoiden päättämä arvo, akun liian tyhjäksi menemisen estämiseksi

Käyttäjän tekemät kytkennät:

- Akusto kytketään vaunun konvertterin liityntään (X31-liittimiin)
 - o Akuston kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q35
- Akusto kytketään rinnan kytkentään
- DC-laite kytketään välipiirin liityntään (X32-liittimiin)
 - o DC-laitteen kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q36

Käyttäjän asettamien arvojen perusteella ohjelma laskee:

- Konvertterin purkuvirran rajoituksen
 - o Rajoittaa ES-puolelta DC-puolelle syötetyn virran suuruutta
- Konvertterin jänniteohjeen
 - o Täytyy olla suurempi kuin 500 VDC

Käyttötapausten kulku

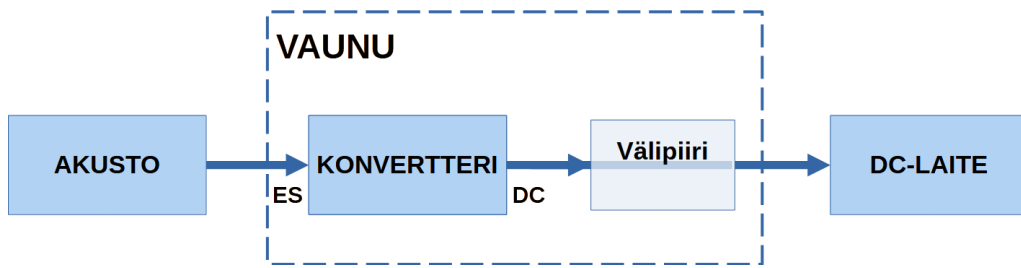
Käyttötapaus aloitetaan tarkistamalla käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät. Tarkistuksen jälkeen aloitetaan laitteiden käynnistäminen.

1. Tarkistetaan käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät
 - a. Estetään käyttötapausten aloittaminen, jos
 - i. Yllä määritellyt käyttötapauskohdaiset esiehdot eivät täyty
 - ii. Asetetut arvot eivät ole sallitulla alueella
 - iii. Kytkenä ei ole tehty
2. Akusto kytketään konvertterin ES-puolelle (K35 kiinni)
3. Akustolle lähetetään yhdistämiskäskey
4. Akusto lataa konvertterin kondensaattorit
5. Akuston pääpiiri menee kiinni
6. Konvertteri laitetaan päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen

DC-laitteelle syötetään heti käyttäjän asettama määrä virtaa ja jännitettä. Sen takia konvertterin virtarajoitus nostetaan, ennen kuin DC-laite yhdistetään konvertterin DC-puolelle.

7. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi
8. Nostetaan konvertterin purkuvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi
9. DC-laite yhdistetään välipiiriin (K39 kiinni)
10. Konvertterin DC-puoli yhdistetään välipiiriin (K34 kiinni)

Kuviossa 14 näkyy laitteiden kytkentä, kun syötetään tehoa normaalissa käyttötapauksessa 6.



KUVIO 14. Vaunuun kytketyllä akustolla → DC-laitteen syöttämisen 500–730 V kytkentä

DC-laitteelle halutaan ohjata jännitettä ja virtaa. DC-laitteen ollessa konvertterin DC-puolella, ohjataan laitteen jännitettä jänniteohjeen avulla. Laitteen virran suuruutta ohjataan konvertterin purkuvirran (ES → DC) rajoittamisen avulla.

Konvertterissa ei ole mahdollista ilmoittaa suoraan DC-puolelle syötetyn virran määrää, joten virta rajoitetaan purkuvirran rajoituksella, eli miten paljon konvertteri ottaa virtaa ES-puolelta.

DC-laitteen jännite ei nouse jänniteohjeen suuruiseksi, koska konvertteri alkaa rajoittamaan DC-puolelle syötetyn virran suuruutta, kun DC-laitteen jännite alkaa lähestymään jänniteohjetta. Tällöin DC-laitteen jännitteeksi tulee arvo, jossa konvertterin automaattinen virranrajoitus kohtaa DC-laitteelle syötettävän virran. Ohjelmiston suunnittelun aluvussa [5.1](#) kerrotaan tarkemmin konvertterin jänniteohjeen ja DC-puolen jännitteen jännite-eron vaikutuksesta konvertterin syöttämän virran määrään.

Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen löytyy aluvusta [4.2.9](#).

4.2.7 Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 730–800 VDC (N.7)

Normaali käyttötapaus 7

Akustolla → Vaunuun kytketyn DC-laitteen syöttö 730–800 VDC

Ominaistiedot

Normaali käyttötapaus 7 on laajennus normaalille käyttötapaukselle 6.

Asettamalla akusto sarjaan kytkentään voidaan syöttää DC-laitetta jännitevälillä 730...800 V. Käyttötapauksessa on myös mahdollista käyttää kaikkea akuston tehoa, koska akusto on kytketty sarjaan kytkentään. Jännitteen hallinta ei ole mahdollista.

Erona käyttötapauksien välillä on, että käyttötapauksessa 7:

- Akusto on kytketty sarjaan kytkentään eikä rinnan kytkentään
 - o Mahdollista syöttää enemmän tehoa DC-laitteelle
- Lisätty esiehto, että akuston jännite saa olla Max. 700 V
 - o Näin varmistetaan, että akuston jännitteen ja DC-laitteelle syötettävän jännitteen jännite-ero on vähintään 30 V

Käyttötapauksen kulku

Normaalin käyttötapauksen 7 käyttötapauksen kulku on sama kuin normaalin käyttötapaus 6.

4.2.8 Vaunuun kytketyllä DC-lähteellä → Akuston lataus (N.8)

Normaali käyttötapaus 8

Vaunuun kytketyllä DC-lähteellä → Akuston lataus

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapauksen, jos halutaan ladata akustoa DC-lähteen avulla ja DC-lähteen jännite on pienempi kuin akuston jännite.

Käyttötapauksessa käytetään akustoa ja vaunua. Pääasialliset toimijat ovat:

- Akusto (kytketään vaunuun)
 - Sarjaan kytkennässä
- Vaunun konvertteri
- DC-lähde (kytketään vaunuun)
 - DC-lähteen jännite noin 200–570 VDC

Käyttötapauskohtaiset esiehdot, jotka vaaditaan käyttötapauksen aloittamiseksi:

- Akuston lataus on pienempi kuin 90 %
- DC-lähteen jännite on vähintään 30 VDC pienempi kuin akuston jännite
- Akusto on kytketty sarjaan

Rajoitus, joka aloittaa sammuttamisen:

- Akuston lataus on noussut olemaan 90 %

Käyttäjän tekemät asiat

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot:

- DC-lähteen jännite ja virta
- Akuston maksimilataus
 - o Akuston suurin sallittu lataus on 90 %
 - Arvo on työn tasasähköjärjestelmän suunnittelijoiden päättämä arvo, akun liian täydeksi menemisen estämiseksi

Käyttäjän tekemät kytkennät:

- Akusto kytketään vaunun konvertterin liityntään (X31-liittimiin)
 - o Akuston kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q35
- Akusto kytketään sarjaan kytkentään
- DC-lähde kytketään välipiirin liityntään (X32-liittimiin)
 - o DC-lähteen kytkemisen jälkeen suljetaan käsikytkin Q36

Käyttäjän asettamien arvojen perusteella ohjelma laskee:

- Konvertterin purkuvirran rajoituksen
 - o Rajoittaa ES-puolelta DC-puolelle syötetyn virran suuruutta
- Konvertterin jänniteohjeen
 - o Täytyy olla suurempi kuin akuston jännite

Käyttötapausten kulku

Käyttötapaus aloitetaan tarkistamalla käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät. Tarkistuksen jälkeen aloitetaan laitteiden käynnistäminen.

1. Tarkistetaan käyttötapauskohdaiset esiehdot ja käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät
 - a. Estetään käyttötapausten aloittaminen, jos
 - i. Yllä määritellyt käyttötapauskohdaiset esiehdot eivät täyty
 - ii. Asetetut arvot eivät ole sallitulla alueella
 - iii. Kytkeä ei ole tehty
2. Akusto kytketään konvertterin ES-puolelle (K35 kiinni)
3. Akustolle lähetetään yhdistämiskäskeä
4. Akusto lataa konvertterin kondensaattorit
5. Akuston pääpiiri menee kiinni
6. Konvertteri laitetaan päälle
 - a. Jos aktiivinen vikatila, niin aloitetaan normaali sammuttaminen

Konvertterin esilataamista varten akusto kytkettiin konvertterin ES-puolelle. Käyttötapauksessa kuitenkin halutaan asettaa DC-lähde ES-puolelle, koska akuston jännite on suurempi kuin DC-lähteen jännite.

7. Irrotetaan akusto konvertterin ES-puolelta (K35 auki)
8. DC-lähde yhdistetään välipiiriin (K39 kiinni)
9. Konvertteri ES-puoli yhdistetään välipiiriin (K33 kiinni)

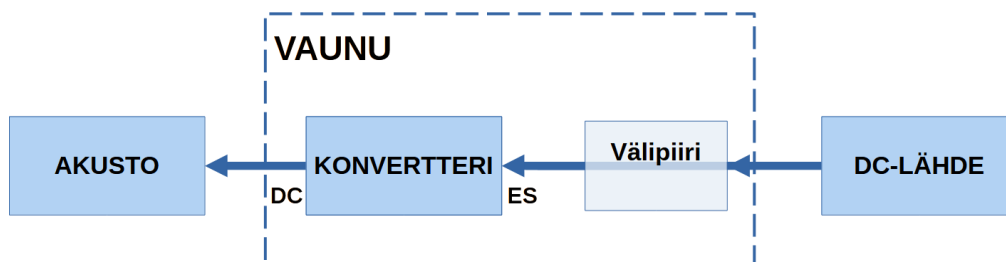
Tehtiin tilanne, jossa konvertteriin on kytketty pelkästään DC-lähde. Tällainen tilanne tehtiin, jotta voitaisiin konvertterin jännitemittauksen avulla tarkistaa, että DC-lähteen jännite on käyttäjän ilmoittama arvo.

Jos akusto olisi ollut kytkettynä DC-puolelle ja DC-lähteen jännite olisi suurempi kuin akuston, niin virta menisi hallitsemattomasti konvertterin ES-puolelta DC-puolelle. Tämä jatkuisi, kunnes akuston jännite nousisi olemaan sama kuin DC-lähteen tai realistisemmin DC-lähteen sulakkeet laukeaisivat.

DC-lähteen jännitteen tarkastamisen jälkeen voidaan kytkeä akusto konvertterin DC-puolelle ja alkaa lataamaan akustoa.

10. Akusto kytketään konvertterin DC-puolelle (K36 kiinni)
11. Asetetaan konvertterin jänniteohje ohjelman laskemaksi arvoksi
12. Nostetaan (ajassa 2 s) konvertterin purkuvirran rajoitus ohjelman laskemaksi arvoksi

Kuviossa 15 näkyy laitteiden kytkentä, kun syötetään tehoa normaalissa käyttötapauksessa 8.



KUVIO 15. Vaunuun kytketyllä DC-lähteellä akuston lataamisen kytkentä

Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen löytyy alaluvusta [4.2.9](#).

Käyttötapauksen alussa oltiin tilanteessa, jossa akuston jännite on suurempi kuin DC-lähteen jännite. Kun akustoa ladataan, niin akuston jännite kasvaa ja tilanne pysyy samana.

Olisi ollut myös mahdollista luoda käyttötapaus, jossa aloitetaan tilanteesta, jossa akuston jännite on pienempi kuin DC-lähteen jännite. Sen ongelmana olisi ollut, että akuston jännite kasvaa ladattaessa, mutta konvertteri vaatii, että ES- ja DC-puolien välinen jännite-ero on vähintään 30 VDC. Jolloin olisi tarvinnut asettaa enemmän esiehtoja ja rajoituksia käyttötapaukselle.

4.2.9 Normaalien käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen

Sammuttaminen aloitetaan, jos:

- Akuston lataus on muuttunut käyttäjän asettamaan arvoon
 - o Tippumalla syötettäessä kuormaa
 - o Nousemalla ladattaessa akustoa
- Käyttäjä on painanut järjestelmän sammuttamisnappia
- Jossain laitteessa aktiivinen vika, kun laite ohjattiin päälle
- Akustossa aktiivinen varoitus
- Konvertterissa aktiivinen varoitus vielä viiveen jälkeen
- Käynnissä-tilassa konvertterissa tai invertterissä aktiivinen vika
- DC-laitteelle syötettävä jännite on noussut suuremmaksi, kuin käyttötapaus sallii
 - o Tilanteissa, jossa DC-laite on konvertterin ES-puolella (N.4 ja N.5)

Sammuttaminen

Sammuttaminen aloitetaan laskemalla (ajassa 2 s) konvertterin molemmat virtarajoituksen nollaan. Tämän jälkeen järjestelmässä on kolme mahdollista tilannetta:

1. Jos käyttötapauksessa on käytössä invertteri (N.1, N.2 ja N.3), niin välipiirin jännitteenä on noin 730 VDC, kun konvertteri lopettaa välipiirin jännitteeseen vaikuttamisen. Käyttötapauksessa N.1, jossa syötetään teho verkkoon, niin invertteri lopettaa välipiiristä tehon ottamisen, kun jännite tippuu olemaan 730 V. Käyttötapauksissa N.2 ja N.3, joissa otetaan teho verkosta niin invertteri pitää välipiirin jännitteenä 730 V. Tällöin konvertterin DC-puolen jännite on vähintään 30 VDC suurempi kuin ES-puolella olevan akuston jännite, ja tehon liikkuminen loppuu virtarajoitusten nollaan menemiseen.

2. Jos käytössä ei ole invertteriä ja akusto on kytketty konvertterin DC-puolelle (N.4, N.5 ja N.8), niin akusto pitää konvertterin stabiilina ja tehon liikkuminen loppuu virtarajoitusten nollaan menemiseen.

3. Jos akusto on kytketty konvertterin ES-puolelle ja DC-laite DC-puolelle (N.6 ja N.7), niin **tehon syöttäminen kuormalle ei lopu, kun konvertterin virtarajoitukset on laitettu nolnaan** (mutta syötetyn tehon määrä pienenee)! **Tehon syöttäminen loppuu vasta, kun akusto tai DC-laite on irrotettu järjestelmästä!**

Konvertterin virtarajoitusten nolnaan laittamisen jälkeen voidaan laittaa konvertteri pois päältä. Silloin voidaan olla täysin varmoja, että konvertteri ei aktiivisesti ohjaa tehoa. Konvertterin sammuttamisen jälkeen irrotetaan akusto järjestelmästä, koska on normaaleja käyttötapauksia, jossa kuormalle syöttäminen jatkuu, vaikka konvertteri on sammutettu. Akuston irrottamisen jälkeen voidaan sammuttaa ja irrottaa muut laitteet.

Seuraavaksi koko sammuttamisen kulku:

1. Lasketaan konvertterin virtarajat nolnaan (ajassa 2 s)
2. Laitetaan konvertteri pois päältä
3. Irrotetaan akusto vaunusta/konvertterista (K35 ja K36 auki)
4. Annetaan akustolle irrottamiskäskey
5. Irrotetaan konvertteri välipiiristä (K33 ja K34 auki)
6. Jos käytössä,
 - a. Invertteri
 - i. Asetetaan invertterin virtarajat nolnaan
 - ii. Laitetaan invertteri pois päältä
 - iii. Irrotetaan invertteri välipiiristä (K38 auki)
 - iv. Irrotetaan invertteri verkosta (K40 auki)
 - b. DC-lähde
 - i. Irrotetaan DC-lähde välipiiristä (K39 auki)
 - c. DC-laite
 - i. Irrotetaan DC-laite välipiiristä (K39 auki)

Hätäsammuttaminen

Hätäsammuttaminen joudutaan tekemään, jos akustoon tulee aktiivinen vika tai käyttäjä painaa hätäseispainiketta. Tällöin akusto irrottaa itsensä tehdasohjelmoidun ajan kuluttua. Muu järjestelmä suorittaa hätäsammuttamisen irrottamalla kuorman ja lopettamalla virran ohjaamisen.

Virran ohjaamisen lopettaminen varmistetaan asettamalla invertterin ja konverterin virtarajat nolleen ja laittamalla laitteet pois päältä. Tällöin molemmissa laitteissa on kaksi eri logiikan lähettämää ohjausta, jotka estävät laitteita aktiivisesti ohjaamasta tehoa. Vaikka toinen logiikan ohjauksista menisi väärin, niin silti toinen estää laitteita ohjaamasta virtaa.

4.3 Laajat käyttötapaukset

Laajoiksi käyttötapauksiksi on määritelty käyttötapaukset, joissa käytetään akustoa, vaunua sekä keskusta. Laajat käyttötapaukset on selitetty abstraktimmin kuin normaalit käyttötapaukset, koska laitteiden ohjaus on selitetty jo kerran yksityiskohtaisesti normaaleissa käyttötapauksissa. Taulukkoon 20 on kerätty kaikki laajat käyttötapaukset. Taulukkoon on merkattu sinisellä (laajat käyttötapaukset 23–27), joissa tapahtuu hybridikäyttöä ja vihreällä (laaja käyttötapaus 28), jossa tehdään akuston avulla verkon ja DC-laitteen saman aikaista syöttämistä. Seuraavassa alaluvussa 4.3.0 esitellään laajan käyttötapauksen rakenne.

TAULUKKO 20. LAAJAT KÄYTTÖTAPAUKSET

NRO.	LAAJA KÄYTTÖTAPAUUS
L.21	Akuston avulla DC-laitteen syöttö 200–760 VDC
L.22	DC-lähteen (200–760 VDC) avulla akuston lataaminen (Max. 760 VDC)
L.23	Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 200–500 VDC
L.24	Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–600 VDC (Laajennus käyttötapaukselle 23)
L.25	Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–700 VDC (Ei mahdollista käyttää kaikkea akuston tehoa, koska akusto on rinnan kytkennässä)
L.26	Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC *
L.27	Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC ‡ (Laajennus käyttötapaukselle 26)
L.28	Keskuksen akusto → Vaunun verkon + keskuksen DC-laitteen syöttö 200–720 VDC

* Jännitteen hallinta nolasta voltista haluttuun jännitteeseen ei ole mahdollista. Kuormalle syötetty jännite on pienimillään akuston jännite

‡ Tätä käyttötapauksista ei tulla toteuttamaan. Selitetään ainoastaan sen päätoiminta periaate ja tärkeimmät huomioon otettavat asiat

4.3.0 Laajojen käyttötapauksien rakenne

Laajojen käyttötapauksien alaluvuissa on pelkästään käyttötapauksen ominaistiedot ja käyttötapauksen tehonkulku. Ominiaistiedoissa on pelkästään syy, minkä takia käyttäjä valitsisi käyttötapauksen. Tehonkulussa näytetään myös käyttötapauksen kytkentä.

Muissa laajojen käyttötapauksien osioissa oli hyvin paljon päällekkäisyyksiä, joten päädyttiin keräämään osioiden osat yhteen ja tekemään niille oma alaluku.

Kaikkien laajojen käyttötapauksien:

- Käyttäjän tekemät asiat ja käyttäjän asettamien arvojen perusteelta lasketut arvot on koottu alalukuun [4.3.1](#)
- Esilataaminen/käynnistäminen on koottu alalukuun [4.3.2](#)
- Sammuttaminen on koottu alalukuun [4.3.11](#)

4.3.1 Ennen käyttötapauksen aloittamista

Ennen laajan käyttötapauksen aloittamista käyttäjän tarvitsee asettaa tietoja ja arvoja. Käyttäjän asettamien arvojen perusteelta ohjelma laskee laitteiden ohjausarvot. Tähän alalukuun on kerätty kaikissa laajoissa käyttötapauksissa ennen käyttötapauksen aloittamista tehtävät asiat.

Laajoja käyttötapauksia ei kuvailla yksityiskohtaisesti. Tällöin ei ole myöskään tarvetta kertoa käyttäjän asettamista käsikytkimistä, ja mihin liittimiin laitteet kytketään.

Käyttäjän asettamat arvot ja tiedot

Ennen käyttötapauksen alkamista käyttäjän tarvitsee asettaa käyttötapauksen pyytämät arvot ja tiedot. Asetettavat arvot riippuvat käyttötapauksessa käytettävistä laitteista. Jos käyttötapauksessa syötetään DC-laitetta, niin käyttäjän tarvitsee asettaa DC-laitteelle haluttu jännite ja virta. Käyttötapauksissa, joissa jännitteen hallinta on mahdollista, käyttäjä myös valitsee, että halutaanko nostaa DC-laitteelle syötettävä jännite nolasta.

Jos käyttötapauksessa otetaan tehoa verkosta, niin käyttäjän tarvitsee asettaa verkosta otettavan virran suuruus. Jos taas syötetään tehoa verkkoon, niin käyttäjän tarvitsee asettaa verkkoon syötetyn virran suuruus.

Käyttötapauksissa, joissa akuston ja verkon avulla syötetään tehoa DC-laitteelle, käyttäjän tarvitsee ilmoittaa akustosta ja verkosta otetun teho suhde.

DC-lähdettä käytettäessä tarvitsee ilmoittaa DC-lähteen jännitteen ja virran suuruus.

Jos akustoa puretaan, niin käyttäjän tarvitsee ilmoittaa lataus, jossa purkaminen halutaan lopettaa. Jos taas akustoa ladataan, niin käyttäjän tarvitsee ilmoittaa, mihin lataukseen asti akusto halutaan ladata.

Kerättiin kaikki käyttäjän mahdolliset asetettavat arvot ja tiedot seuraavaksi olevaan listaan. Listassa kerrotaan, mitä tietoja käyttäjän tarvitsee ilmoittaa, mitään laitetta käytettäessä. Jos käytetään,

- DC-laitetta
 - DC-laitteen jännite ja virta
 - Käytetäänkö jännitteen hallintaa
 - Huom! Ei mahdollista kaikissa käyttötapauksissa
- Verkkoa
 - Otetaanko tehoa verkosta
 - Verkosta otetun virran suuruus
 - Syötetäänkö tehoa verkkoon
 - Verkkoon syötetyn virran suuruus
- Akustoa
 - Ladattaessa
 - Maksimilataus
 - Purettaessa
 - Minimilataus
- Syötettäessä tehoa akustolla ja verkolla
 - Akustosta ja verkosta otetun tehon suhde

Käyttäjän asettamien arvojen avulla lasketut ohjausarvot

Käyttäjän asettamien arvojen avulla lasketaan invertterin ja konverttereiden ohjausarvot. Kaikissa laajoissa käyttötapauksissa lasketaan konverttereiden jänniteohjeiden ja virtarajoitusten suuruudet. Jos käytetään verkkoa, niin lasketaan myös invertterin virtarajoitusten suuruudet.

4.3.2 Laitteiden esilataaminen/käynnistäminen

Laajoissa käyttötapauksissa 21 ja 22 tarvitsee käynnistää pelkästään konvertterit. Käyttötapauksissa 23–27 tarvitsee konverttereiden lisäksi käynnistää myös invertteri.

Laajan käyttötapauksen 28 käynnistämistä **ei selitetä**.

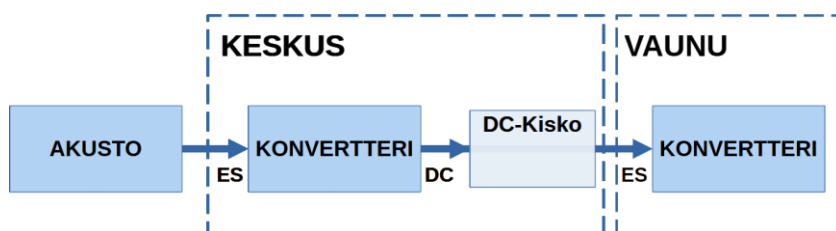
Konverttereiden esilataaminen

Ennen laitteiden käynnistämisen aloittamista tarkistetaan käyttäjän asettamat arvot ja kytkennät.

Laitteiden käynnistäminen aloitetaan yhdistämällä akusto keskuksen konvertterin ES-puolelle ja esilataamalla keskuksen konvertteri. Konvertterin esilataamisen jälkeen asetetaan konvertteri päälle ja tarkistetaan, että konvertterissa ei ole aktiivista vikaa.

Kun keskuksen konvertteri on saatu käynnistettyä, niin yhdistetään keskuksen konvertterin DC-puoli vaunun konvertterin ES-puolelle esilatauskontaktoreiden kautta, ja esiladataan vaunun konvertteri. Esilatauksen jälkeen vaunun konvertteri laitetaan päälle ja tarkistetaan, että konvertterissa ei ole aktiivista vikaa.

Tässä vaiheessa molemmat konvertterit on saatu käynnistettyä, ja laajojen käyttötapauksien 21 ja 22 käynnistäminen loppuu tähän. Käyttötapauksien 21 ja 22 alalukujen tehonkulku jatkuu tästä kohdasta. Kuviossa 16 näkyy kytkentä tässä vaiheessa.



KUVIO 16. Kytkenä konverttereiden käynnistämisen jälkeen

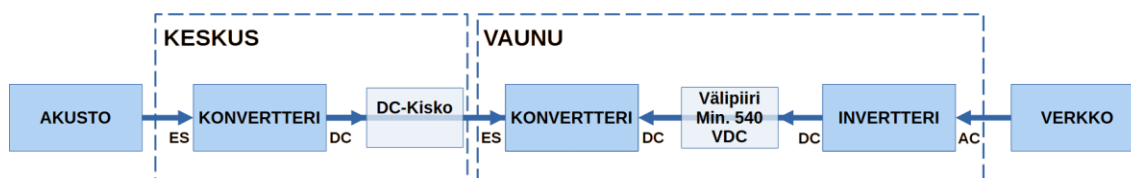
Muissa laajoissa käyttötapauksissa 23–27 tarvitsee konverttereiden käynnistämisen lisäksi myös ladata invertteri ja saada se yhdistymään verkkoon.

Invertterin lataaminen ja yhdistäminen verkkoon

Vaunun konvertterin DC-puoli yhdistetään invertterin DC-puoleen. Jos akuston jännite on pienempi kuin 470 V, niin tarvitsee asettaa vaunun konvertterin nostamaan DC-puolen jännitteeksi 470 V. Jos akuston jännite on suurempi kuin 470 VDC, niin invertteri yhdistää itsensä verkkoon ilman, että konvertterin tarvitsee nostaa jännitettä.

Kun invertteri on yhdistänyt itsensä verkkoon, niin voidaan laittaa invertteri päälle ja tarkistaa, että invertterissä ei ole aktiivista vikaa.

Tämän vaiheen jälkeen on saatu kaikki laitteet käynnistettyä ja laajojen käyttötapauksien 23–27 alalukujen tehonkulku jatkuu tästä kohdasta. Kuviossa 17 näkyy laitteiden kytkentä, kun kaikki laitteet on saatu käynnistettyä.



KUVIO 17. KytKentä kaikkien laitteiden käynnistämisen jälkeen

Kuvioon 17 välipiirin minimijännitteeksi on merkattu 540 VDC, koska verkon 400 VAC on tasasuuntauksen jälkeen 540 VDC. Kuvion 17 kytkennässä konverttereiden diodisilta antaa akuston syöttää tehoa suoraan välipiiriin ilman, että konverttereiden aktiivinen tehon ohjaaminen on päällä. Tällöin välipiirin jännite voi nousta suuremmaksi kuin 540 VDC, jos akuston jännite on suurempi kuin 540 VDC.

4.3.3 Akuston avulla DC-laitteen syöttö 200–760 VDC (L.21)

Laaja käyttötapaus 21

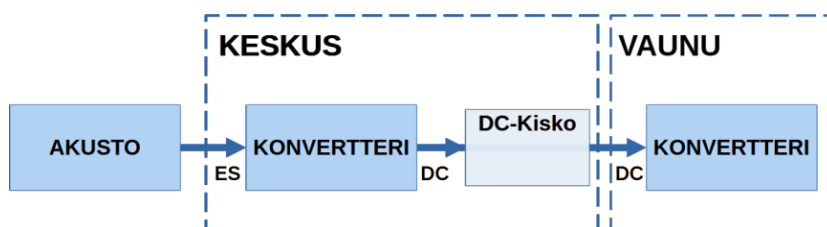
Akuston avulla DC-laitteen syöttö 200–760 VDC

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan akustolla syöttää DC-laitetta jännitevälillä 200–760 VDC. Käyttötapauksessa akusto on kytketty sarjaan, jolloin voidaan saada suurin mahdollinen määrä tehoa syötettyä DC-laitteelle. DC-laitteen jännitteen hallinta on myös mahdollista.

Käyttötapaoksen tehonkulku

Jatketaan kohdasta, jossa molemmat konvertterit on esiladattu. Esilataamisen jälkeen tarvitsee muuttaa vaunun konvertterin kytkentä, ennen kuin voidaan aloittaa tehon ohjaaminen. Konverttereiden DC-puolet laitetaan yhteen, jotta voidaan nostaa konverttereiden välinen jännite mahdollisimman suureksi (800 V). Kuviossa 18 näkyy kytkentä vaunun konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen.



KUVIO 18. Kytkentä vaunun konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen

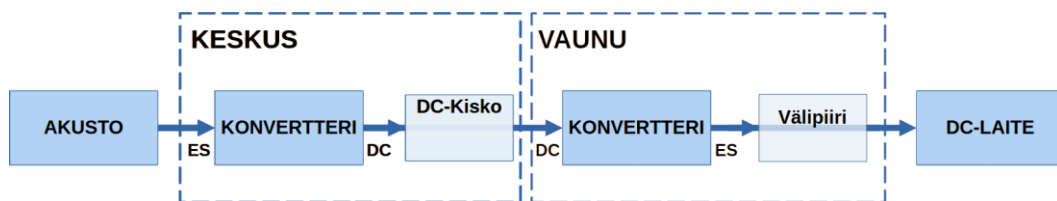
Kytkenän muuntamisen jälkeen asetetaan keskuksen konvertterin jänniteohjeeksi 800 V. Silloin DC-kiskon jännite on 800 V, kun vaunun konvertteri ei vielä yritä ottaa tehoa DC-kiskosta.

DC-laitteen ja DC-kiskon jännite-ero täytyy olla vähintään 30 V. Jos DC-laitteelle haluttu jännite on 760 V, niin DC-kiskon jännite täytyy olla vähintään 790 V. Keskuksen konvertteri voi ottaa akustosta 40 A virtaa, kun jänniteohjeen (800 V) ja DC-kiskon jännitteen (790 V) ero on 10 V. Enemmän konvertterin automaattisen virtarajoituksen toiminnasta ohjelmiston suunnittelun alaluvussa [5.1](#).

Tämä tarkoittaa, että DC-laitteelle syötettävä jännite voi olla 760 V, jos laitteen ottama virta on alle 40 A. Jos jännitteen suuruus haluttaisiin pitää 760 V ja nostaa virran suuruutta, niin laitteelle syötetyn virran rippeli kasvaisi, koska konvertterin eri puolien jännite-ero pienenesi. Ainoa tapa tässä käyttötapauksessa kasvattaa DC-laitteelle syötetyn virran suuruutta on pienentää laitteen jännitettä.

Jos käyttäjä on valinnut jännitteen nostamisen nolasta DC-laitteelle, niin DC-laite kytketään ensin vaunun konvertterin ES-puolelle, ennen kuin aletaan nostamaan vaunun konvertterin virtarajoituksia. Jos taas käyttäjä haluaa DC-laitteen kytkemisen jälkeen heti syötettävän haluttua jännitettä ja virtaa, niin virtarajoitukset nostetaan ennen DC-laitteen yhdistämistä konvertteriin.

Kuviossa 19 näkyy kytkentä, kun akustolla syötetään DC-laitetta jännitteellä 200–760 VDC.



KUVIO 19. Akuston avulla DC-laitteen syöttämisen 200–760 VDC kytkentä

4.3.4 DC-lähteen (200–760 VDC) avulla akuston lataaminen (L.22)

Laaja käyttötapaus 22

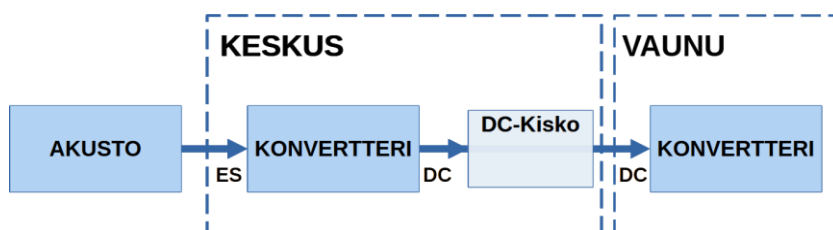
DC-lähteen (200–760 VDC) avulla akuston lataaminen (Max. 760 VDC)

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan ladata akustoa DC-lähteen avulla nopeasti ja suurimmillaan lataukseen 90 % asti. DC-lähteen jännite voi olla välillä 200–760 V.

Käyttötapaoksen tehonkulku

Jatketaan kohdasta, jossa molemmat konvertterit on esiladattu. Esilataamisen jälkeen tarvitsee muuttaa vaunun konvertterin kytkentä, ennen kuin voidaan aloittaa tehon ohjaaminen. Konverttereiden DC-puolet laitetaan yhteen, jotta voidaan nostaa konverttereiden välinen jännite mahdollisimman suureksi (800 V). Kuviossa 20 näkyy kytkentä vaunun konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen.

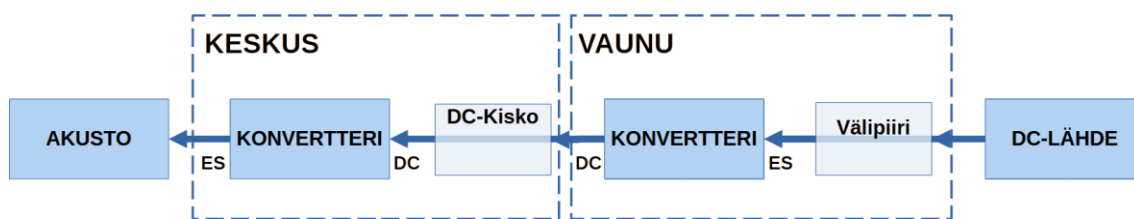


KUVIO 20. Kytkenä vaunun konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen

Kytkenän muuntamisen jälkeen voidaan kytkeä DC-lähde vaunun konvertterin ES-puolelle. DC-lähteen ja vaunun konvertterin avulla nostetaan konverttereiden DC-puolien väliin jännitteeksi 800 V. Kun keskuksen konvertteri alkaa ottamaan DC-puolelta tehoa, niin jännite tippuu automaattisen virranrajoituksen takia.

Konverttereiden DC-puolien välissä oleva jännite pysyy suurempana kuin akuston jännite, kun akusto ei yritä ottaa välipiiristä enemmän tehoa, kuin DC-lähde pystyy syöttämään.

Kuviossa 21 on kytkentä, kun akustoa ladataan DC-lähteen avulla.



KUVIO 21. Laajan käyttötapauksen 22 kytkentä akustoa ladattaessa

4.3.5 Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 200–500 VDC (L.23)

Laaja käyttötapaus 23

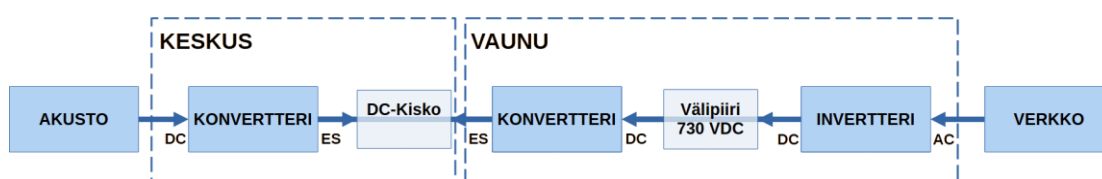
Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 200–500 VDC

Ominaisiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan syöttää DC-laitetta hybridikäytöllä jännitevälillä 200–500 VDC. Käyttötapauksessa akusto on kytketty sarjaan, jolloin voidaan saada suurin mahdollinen määrä tehoa syötettyä DC-laitteelle. DC-laitteen jännitteen hallinta on myös mahdollista.

Käyttötapaoksen tehonkulku

Jatketaan kohdasta, jossa kaikki laitteet on käynnistetty ja invertteri on yhdistänyt itsensä verkkoon. Laitteiden käynnistämisen jälkeen tarvitsee muuttaa keskuksen konvertterin kytkentä, ennen kuin voidaan aloittaa tehon ohjaaminen. DC-laitteelle syötettävä jännite on pienempi kuin akuston ja invertterin jännite, jolloin DC-laite kytketään konverttereiden ES-puolelle. Kuviossa 22 näkyy kytkentä keskuksen konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen.



KUVIO 22. Kytkentä keskuksen konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen

DC-laite tullaan kytkemään DC-kiskoon, jolloin molemmat konvertterit syöttävät siihen tehoa.

DC-laitteen jännitteen nostaminen nolasta (jännitteen hallinta)

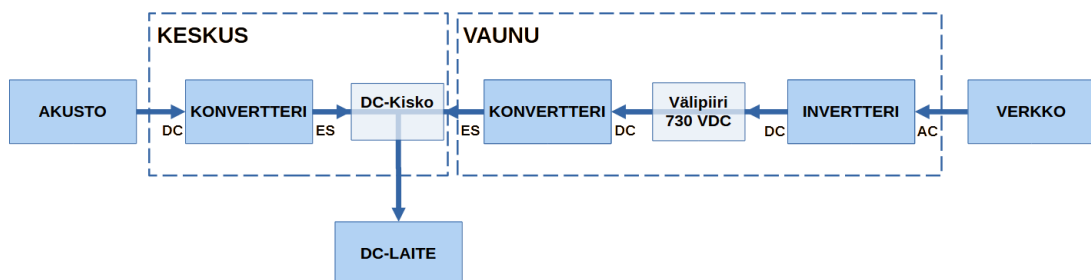
Käyttäjä on valinnut jännitteen nostamisen nolasta DC-laitteelle. DC-laite kytetään ensin DC-kiskoon, ennen kuin aletaan nostamaan konverttereiden virtarajoituksia.

DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran syöttäminen heti kytkennän jälkeen

Käyttäjä on valinnut DC-laitteen kytkennän jälkeen heti syötettävän haluttua jännitettä ja virtaa. Nostetaan ensin vain akuston konvertterin virtarajoitus ja sen jälkeen yhdistetään DC-laite DC-kiskoon. Tällöin syötetään koko DC-laitteelle tuleva teho akustosta. Vasta DC-laitteen yhdistämisen jälkeen aletaan ottamaan tehoa välipiiristä ja muutetaan tehojen suhde noudattamaan käyttäjän asettamaa arvoa.

Syy minkä takia ei haluta nostaa molempien konverttereiden virtarajoituksia ennen DC-laitteen yhdistämistä, johtuu konverttereiden kytkennästä. Jos välipiirin jännite 730 VDC on suurempi kuin akuston jännite, niin vaunun konvertteri nostaa DC-kiskon jännitteen akuston jännitettä suuremmaksi. Tällöin keskuksen konvertterin diodisillan takia invertteri/välipiiri alkaisi lataamaan akustoa.

Kuviossa 23 on laajan käyttötapauksen 23 kytkentä tehoa syöttäessä.



KUVIO 23. Laajan käyttötapauksen 23 kytkentä tehoa syöttäessä

4.3.6 Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–600 VDC (L24)

Laaja käyttötapaus 24

Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–600 VDC

Ominaistiedot

Laaja käyttötapaus 24 on laajennus laajalle käyttötapaukselle 23. Käyttötapaus 24 laajentaa hybridikäytössä DC-laitteelle syötetyn jännitevälin 200...500 V jännitteeseen 600 V asti.

Erona käyttötapauksien välillä on, että käyttötapauksessa 24:

- Lisätty esiehto, että akuston jännite pitää olla Min. 690 V
- Lisätty rajoitus, että akuston jännite pitää olla Min. 630 V

Akuston jännite voi sarjaan kytkennässä laskea olemaan noin 600 V. Lisätyn esiehdon avulla varmistetaan, että käyttötapauksen alussa akustossa on tarpeeksi jännitettä ylläpitää käyttötapausta, ja käyttötapausta ei jouduta heti lopettamaan akuston matalan latauksen takia.

Lisätyn rajoituksen avulla varmistetaan, että akuston jännite on aina 30 V suurempi kuin DC-laitteelle syötettävä jännite. Jos jännite-ero tippuisi pienemmäksi, niin DC-laitteelle syötettävään virtaan alkaisi tulemaan enemmän rippeliä.

Käyttötapauksen tehonkulku

Käyttötapauksen tehonkulku on sama kuin laajassa käyttötapauksessa 23.

4.3.7 Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–700 VDC (L.25)

Laaja käyttötapaus 25

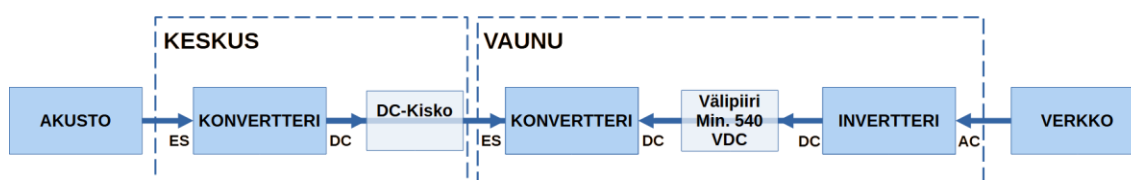
Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 500–700 VDC

Ominaisiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan syöttää DC-laitetta hybridikäytöllä jännitevälillä 500–700 VDC. Tässä käyttötapauksessa ei ole mahdollista hyödyntää kaikkea akuston tehoa, koska akusto on kytketty rinnan kytkentään. Jännitteen hallinta on mahdollista, mutta vaatii, että verkko pystyy itseksensä syöttämään DC-laitteen 500:ssa voltissa ottaman tehon.

Käyttötapaoksen tehonkulku

Jatketaan kohdasta, jossa kaikki laitteet on käynnistetty ja invertteri on yhdistänyt itsensä verkkoon. Laitteiden käynnistämisen jälkeen ei tarvitse muuttaa konvertereiden kytkentöjä, ennen kuin voidaan aloittaa tehon ohjaaminen. Kuviossa 24 on kytkentä tässä vaiheessa. Kuvion 24 sisältö on sama kuin kuviossa 17.



KUVIO 24. Kytkentä kaikkien laitteiden käynnistämisen jälkeen

DC-laite tullaan kytkemään DC-kiskoon, jolloin molemmat konverterit syöttävät siihen tehoa.

DC-laitteen jännitteen nostaminen nolasta (jännitteen hallinta)

Käyttäjä on valinnut jännitteen nostamisen nolasta DC-laitteelle. Keskuksen konvertteri erotetaan DC-kiskosta ennen kuin DC-laite kytketään DC-kiskoon.

Tällöin kaikki DC-laitteeseen syötettävä teho tulee verkosta, ja nostetaan pelkästään verkon teholla laitteen jännitteeksi 500 V. DC-laitteen jännitteen ollessa 500 V voidaan kytkeä keskuksen konvertteri takaisin DC-kiskoon ja alkaa syöttämään tehoa myös akuston avulla.

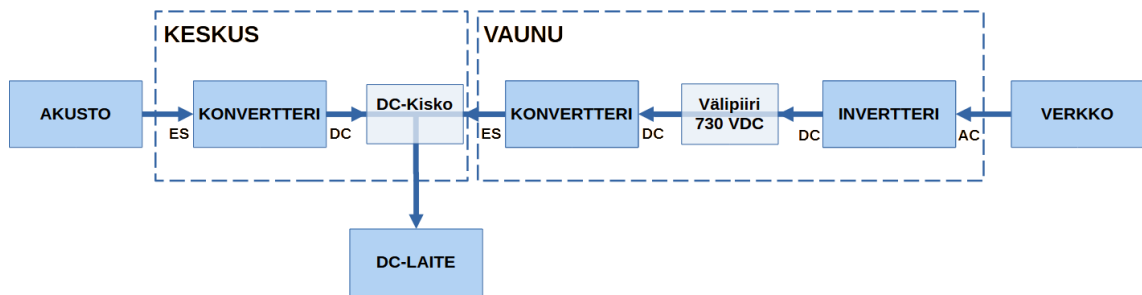
Syy, minkä takia aluksi syötetään kaikki DC-laitteelle tuleva teho verkosta, johtuu keskuksen konvertterin kytkennästä. **Konvertterin ES-puolelta on diodisilta DC-puolelle. Sen takia DC-puolen jännite on pienimillään ES-puolen jännite.** Tällöin tarvitsee nostaa DC-laitteelle syötettävä jännite olemaan suurempi kuin akuston jännite ennen kuin keskuksen konvertteri yhdistetään DC-kiskoon. Tämä akustoa suurempi jännite päätettiin alustavasti olemaan 500 V.

DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran syöttäminen heti kytkennän jälkeen

Jos käyttäjä valitsee DC-laitteen kytkennän jälkeen heti syötettävän haluttua jännitettä ja virtaa, niin nostetaan ensin konverttereiden virtarajoitukset ja sen jälkeen yhdistetään DC-laite DC-kiskoon.

Konverttereiden virtarajoitusten nostamisen jälkeen vaunun konvertteri on nostanut DC-kiskon jännitteen välipiirin jännitteeksi. Kun vaunun konvertterilla syötetään virtaa ES-puolelle, niin hallitaan pelkästään syötetyn virran suuruutta. Jos ES-puolella on pelkästään kondensaattoreita, niin ES-puolen jännitteen suuruus nousee DC-puolen jännitteeksi.

Kuviossa 25 on laajan käyttötapauksen 25 kytkentä, kun tehoa syötetään molemmilla konverttereilla DC-laitteelle.



KUVIO 25. Laajan käyttötapauksen 25 kytentä tehoa syöttäessä

4.3.8 Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC (L.26)

Laaja käyttötapaus 26

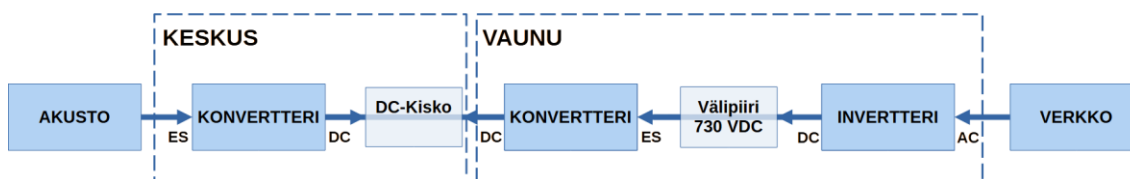
Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC

Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan syöttää DC-laitetta hybridikäytöllä jännitevälillä 760–800 VDC. Käyttötapauksessa akusto on kytketty sarjaan, jolloin voidaan saada suurin mahdollinen määrä tehoa syötettyä DC-laitteelle. DC-laitteen jännitteen hallinta ei ole mahdollista.

Käyttötapaoksen tehonkulku

Jatketaan kohdasta, jossa kaikki laitteet on käynnistetty ja invertteri on yhdistänyt itsensä verkkoon. Laitteiden käynnistämisen jälkeen tarvitsee muuttaa vaunun konvertterin kytkentä, ennen kuin voidaan aloittaa tehon ohjaaminen. DC-laitteelle syötettävä jännite on suurempi kuin akuston ja invertterin jännite, jolloin konvertterit pitää asettaa kytkentään, jossa DC-laite voidaan kytkeä konverttereiden DC-puolelle. Kuviossa 26 näkyy kytkentä vaunun konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen.



KUVIO 26. Kytkenä konvertterin kytkennän muuntamisen jälkeen

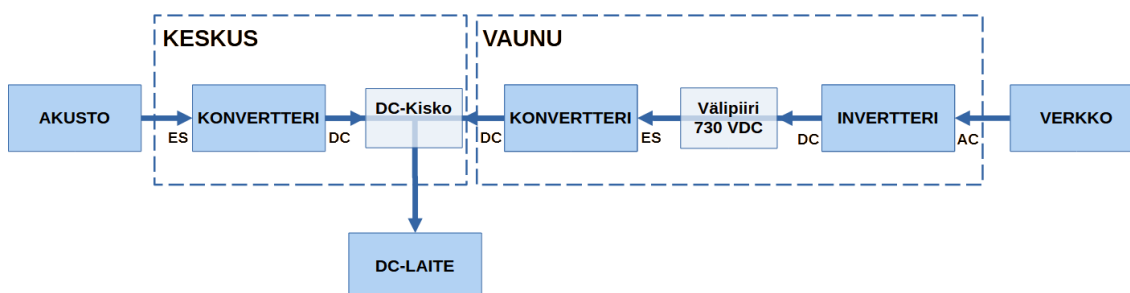
DC-laite tullaan kytkemään DC-kiskoon, jolloin molemmat konvertterit syöttävät siihen tehoa.

DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran syöttäminen heti kytkennän jälkeen

Käyttötapauksessa ei ole mahdollista nostaa DC-laitteelle syötettävää jännitettä nollassa, vaan DC-laitteelle syötetään heti laitteelle haluttua jännitettä ja virtaa. Nostetaan ensin virtarajoitusten suuruudet ja sen jälkeen kytketään DC-laite kiinni.

DC-laitteen ollessa kytkettynä konverttereiden DC-puolella voidaan asettaa molempiin konverttereihin sama jänniteohje. Tällöin voidaan konvertterien virtarajoitusten avulla säätää, kummasta konvertterista syötetään enemmän tehoa. Toinen vaihtoehto on laittaa erisuuruiset jänniteohjeet, jolloin konvertteri, jolla on suurempi jänniteohje syöttää enemmän tehoa. Ohjelmiston suunnittelun aluvussa [5.1](#) kerrotaan konvertterin jänniteohjeen ja DC-puolen jännitteen jännite-eron vaikutuksesta konvertterin syöttämän virran määrään.

Kuviossa 27 on laajan käyttötapauksen 26 kytkentä molempien konverttereiden syöttäessä tehoa DC-laitteelle.



KUVIO 27. Laajan käyttötapauksen 26 kytkentä DC-laitteelle tehoa syötettäessä

4.3.9 Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC jännitteen hallinnalla (L.27)

Laaja käyttötapaus 27

Verkon ja akuston avulla → DC-laitteen syöttö 760–800 VDC jännitteen hallinnalla

Laajaa käyttötapausta 27 ei tulla toteuttamaan, mutta kirjoitetaan, miten käyttötapaus olisi teoreettisesti mahdollista toteuttaa. Laaja käyttötapaus 27 on laajennus laajalle käyttötapaukselle 26. Käyttötapaus 27 lisää käyttötapaukseen 26 mahdollisuuden nostaa DC-laitteelle syötettävän jännitteen nollasta.

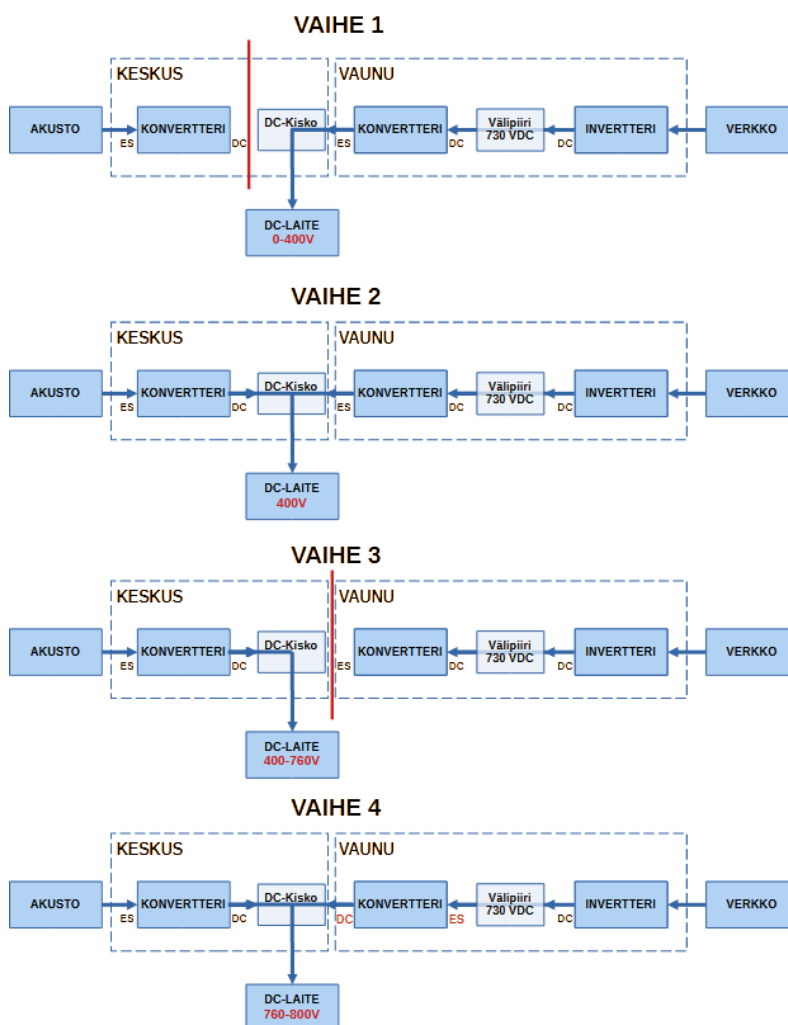
Kun jännitteen syöttäminen aloitetaan nollasta voltista, niin toinen konverteri aloittaa kytkennässä, jossa ES-puolella on syötettävä laite. Jos DC-laite olisi konverterin DC-puolella, niin laitteelle ei pystyttäisi syöttämään konverterin ES-puolella olevaa lähdeä pienempää jännitettä.

Tämä tarkoittaa, että ensimmäisen konverterin täytyy nostaa jännite tarpeeksi suureksi, jotta toinen konverteri voi alkaa syöttämään laitetta konverterin DC-puolella. Sen jälkeen tämä toiseksi kytketty konverteri jatkaa jännitteen nostamista.

Esimerkki DC-laitteelle syötettävän jännitteen nostamisesta nollasta

Seuraavaksi esimerkki, jossa halutaan nostaa DC-laitteelle syötettävä jännite nollasta voltista arvoon 800 V. Akusto on kytketty rinnan, jolloin akuston jännite on Max. 350 V.

Kuviossa 28 on kytkentä esimerkin eri vaiheissa. Kuvion 28 eri vaiheissa tehoa syötetään eri energialähteiden avulla ja konverttereiden kytkentöjä muutetaan. Vaiheiden avulla kasvatetaan DC-laitteelle syötettyä jännitettä. Kuvioon on punaisella merkattu vaiheiden välillä tapahtuvat muutokset.



KUVIO 28. Jännitteen nostamisen nolasta voltista 800 V esimerkin vaiheet

Vaihe 1. DC-laite on kytketty vaunun konvertterin ES-puolelle, ja vaunun konvertterin avulla nostetaan jännite nolasta voltista 400:aan volttiin.

Vaihe 2. DC-laitteen jännite (400 V) on suurempi kuin akuston jännite. Tällöin keskuksen konvertterin DC-puoli voidaan kytkeä DC-laitteeseen. Keskuksen konvertterin avulla pidetään DC-laitteen jännitteenä 400 V.

Vaihe 3. Vaunun konvertteri irrotetaan DC-laitteesta. Keskuksen konvertteri nostaa DC-laitteen jännitteen 30 V suuremmaksi kuin invertterin välipiirin jännite.

Vaihe 4. Vaunun konvertterin DC-puoli voidaan yhdistää DC-laitteeseen, koska DC-laitteen jännite (760 V) on suurempi kuin välipiirin jännite (730 V). Aletaan syöttämään DC-laitteelle tehoa molempien konverttereiden avulla ja nostetaan jännitteeksi 800 V.

4.3.10 Akuston avulla → Verkon ja DC-laitteen syöttö 200–720 VDC (L.28)

Laaja käyttötapaus 28

Akustolla → Verkon ja DC-laitteen syöttö 200–720 VDC

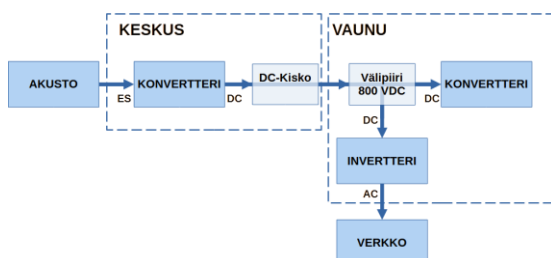
Ominaistiedot

Käyttäjä valitsee tämän käyttötapaoksen, jos halutaan syöttää verkkoa ja DC-laitetta samaan aikaan ja DC-laitteen jännitteeksi halutaan 200–720 VDC. Käyttötapauksessa akusto on kytketty sarjaan, jolloin voidaan saada suurin mahdollinen määrä tehoa syötettyä DC-laitteelle. DC-laitteen jännitteen hallinta on myös mahdollista.

Käyttötapaoksen kulku

Laajan käyttötapaoksen 28 kytkentä poikkeaa kaikista muista laajojen käyttötapausten kytkennöistä, koska keskus kytketään vaunun välipiiriin liityntään eikä konvertterin liityntään. Tämän takia muista laajoista käyttötapauksista poiketen kerrotaan koko käyttötapaoksen kulku. Käyttötapaus aloitetaan konverttereiden esilataamisella. Konverttereiden esilataamisen jälkeen invertteri on myös yhdistänyt itsensä verkkoon.

Laitteiden käynnistämisen jälkeen nostetaan keskuksen konvertterin avulla välipiiriin jännitteeksi 800 V. Kuviossa 29 näkyy kytkentä tässä vaiheessa.



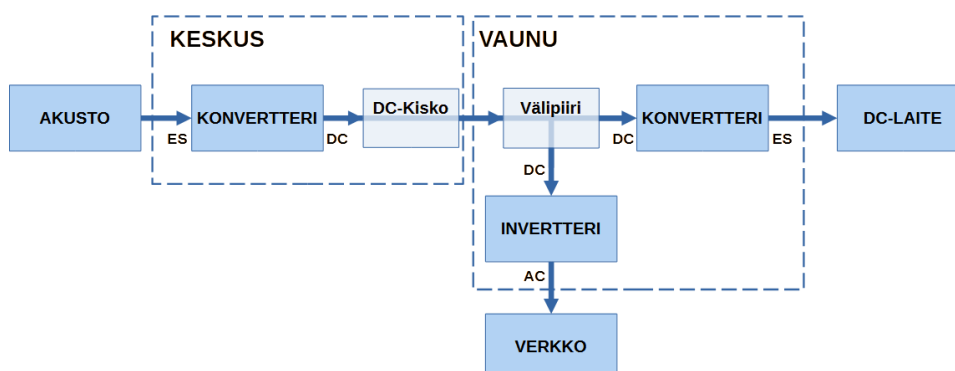
KUVIO 29. Laajan käyttötapaoksen 28 kytkentä välipiiriin jännitteen nostamisen jälkeen

DC-laite tullaan kytkemään vaunun konvertterin ES-puolelle.

Välipiirin jännitteeksi nostettiin 800 V, koska haluttiin alkaa syöttämään tehoa verkkoon ennen DC-laitteen kytkemistä. Invertterin jänniteohje on 730 V, jolloin invertterin DC-puolen jännitteen ollessa yli 730 V voi invertteri alkaa syöttämään tehoa verkkoon.

DC-laitteelle syötettävän jännitteen ollessa 720 V, täytyy välipiirin jännitteen olla 750 V. Tällöin jännite-ero keskuksen konvertterin DC-puolen jännitteen (750 V) ja konvertterin jänniteohjeen (800 V) välillä on 50 V. Tämä tarkoittaa, että konvertterin automaattinen virranrajoitus ei rajoita akustosta otettua virtaa, jolloin on mahdollista ottaa akustosta konvertterin sallima maksimimäärä (200 A) virtaa.

Kuviossa 30 on laajan käyttötapauksen 28 kytkentä, kun tehoa syötetään verkkoon ja DC-laitteelle.



KUVIO 30. Laajan käyttötapauksen 28 kytkentä, kun syötetään tehoa verkkoon ja DC-laitteelle

DC-laitteen jännitteen nostaminen nolasta (jännitteen hallinta)

Käyttäjä on valinnut jännitteen nostamisen nolasta DC-laitteelle. DC-laite kytketään ensin vaunun konvertterin ES-puolelle, ennen kuin aletaan nostamaan vaunun konvertterin virtarajoituksia.

DC-laitteelle halutun jännitteen ja virran syöttäminen heti kytkennän jälkeen

Käyttäjä on valinnut DC-laitteen kytkennän jälkeen heti syötettävän haluttua jännitettä ja virtaa. Nostetaan ensin vaunun konvertterin virtarajoitus ja sen jälkeen yhdistetään DC-laite vaunun konvertterin ES-puolelle.

Sammuttamisen kulku

Sammuttaminen aloitetaan laskemalla vaunun konvertterin virtarajoitukset nol-
laan. Tällöin lopetetaan DC-laitteen syöttäminen. Tämän jälkeen voidaan laskea
keskuksen konvertterin virtarajoitukset nolleen, jolloin lopetetaan tehon syöttä-
minen verkkoon. Jos akuston jännite on suurempi kuin invertterin jänniteohje
(730 V), niin tarvitsee asettaa myös invertterin virtarajoitus nolleen, ennen kuin
lopetetaan tehon syöttäminen verkkoon.

Tässä vaiheessa on saatu tehon syöttäminen lopetettua ja voidaan sammuttaa
laitteet ja avata kontaktorit.

Hätäsammuttaessa kulku on muuten sama, mutta konverttereiden virtarajoituk-
sia ei lasketa, vaan ne asetetaan heti nolleen.

4.3.11 Laajojen käyttötapauksien sammuttaminen ja hätäsammuttaminen

Sammuttaminen aloitetaan, jos:

- Akuston lataus on muuttunut käyttäjän asettamaan arvoon
 - o Tippumalla syötettäessä kuormaa
 - o Nousemalla ladattaessa akustoa
- Käyttäjä on painanut järjestelmän sammuttamisnappia
- Jossain laitteessa oli aktiivinen vika, kun laite ohjattiin päälle
- Akustossa aktiivinen varoitus
- Konvertterissa aktiivinen varoitus vielä viiveen jälkeen
- Käynnissä-tilassa konvertterissa tai invertterissä aktiivinen vika
- DC-laitteelle syötettävä jännite on noussut suuremmaksi, kuin käyttötapaus sallii
 - o Tilanteissa, jossa DC-laite on konvertterin ES-puolella (L.21, 23–25 ja L.28)

Sammuttamisen kulku

Käyttötapauksissa L.21-L.24 sammuttaminen aloitetaan laskemalla (ajassa 2 s) konverttereiden virtarajoitukset nolnaan. Tällöin lopetetaan tehon syöttäminen kuormalle ja kuorma voidaan irrottaa järjestelmästä. Kuorman irrottamisen jälkeen sammutetaan laitteet ja avataan kontaktorit.

Käyttötapauksissa L.25-L.27 sammuttaminen aloitetaan irrottamalla DC-laite. Konverttereiden virtarajoitusten asettaminen nolnaan ei lopeta tehon syöttämistä DC-laitteelle, joten on helpompaa aloittaa irrottamalla DC-laite, kuin yrittää laskea virtarajoitusten suuruuksia ja vasta sen jälkeen irrottaa DC-laite.

Hätäsammuttaminen

Hätäsammuttamisen aloitetaan aina irrottamalla DC-laite tai DC-lähde järjestelmästä. DC-laitteen irrottamisen jälkeen konverttereiden virtarajoituksen asetetaan nolnaan, laitteet sammutetaan ja kontaktorit avataan. Hätäsammuttaminen myös aiheuttaa aktiivisen vian akustoon. Tällöin akusto irrottaa itsensä järjestelmästä tehdasohjelmoidun ajan kuluttua.

5 OHJELMISTON SUUNNITTELUA

Tässä luvussa käsitellään työn ohjelmiston suunnitteluun liittyvät asiat. Luku aloitetaan kertomalla konvertterin erilaisten virtarajoitusten toiminnasta. Konvertterin virran ohjaaminen on keskeinen asia tasasähköjärjestelmää, koska konvertteri ohjaa jokaisessa käyttötapauksissa tehon suuntaa ja suuruutta.

Luvussa käsitellään myös, miten laitteiden ohjaus on jaettu sekvensseihin modulaarisemman ohjelman luomiseksi, ja minkälaiset tilakoneet laitteille on suunniteltu. Ohjelmiston suunnittelua -luvussa sovelletaan teoriaosuudessa kerrottuja tietoja. Teoreettinen viitekehys -lukuun on merkattu, mistä teoria on referoitu tai lainattu.

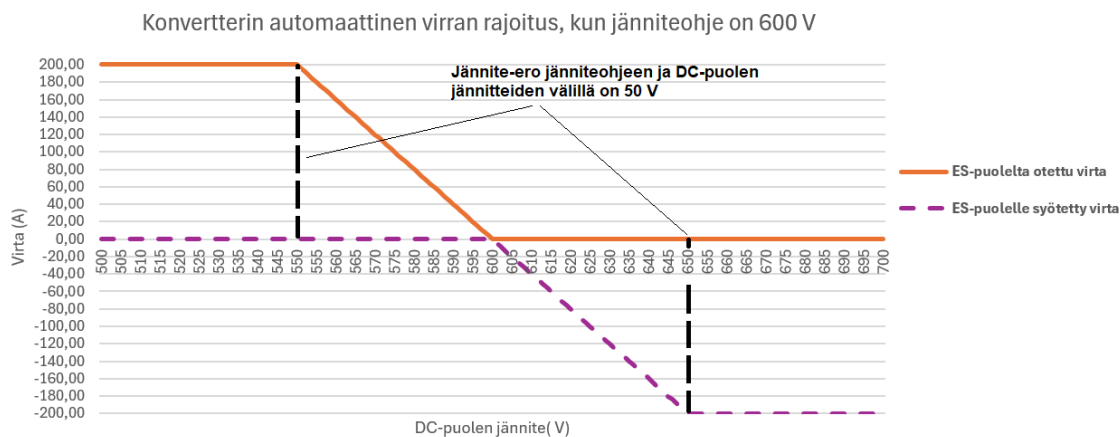
5.1 DC/DC konvertterin virran rajoittaminen

DC/DC konvertterin virran rajoittaminen koostuu ohjelman asettamista ES-puolen virranrajoituksista ja konvertterin automaattisesta virranrajoituksesta, joka riippuu DC-puolen jännitteen ja jänniteohjeen jännite-erosta.

5.1.1 Konvertterin ohjaama automaattinen virranrajoitus

DC/DC konvertterin teoriaosuudessa mainittiin, että konvertterin syöttämän virran suuruus riippuu DC-puolen jännitteen ja jänniteohjeen jännite-erosta. Kutsutaan tätä ominaisuutta konvertterin automaattiseksi virranrajoitukseksi.

Kuviossa 31 näkyy, miten konvertteri alkaa rajoittamaan ES-puolelta otettua virtaa (oranssilla tasainen viiva) ja ES-puolelle syötettyä virtaa (violetilla viiva-viiva), kun DC-puolen jännite alkaa lähestymään jänniteohjetta. Jänniteohjeeksi on laitettu 600 V.

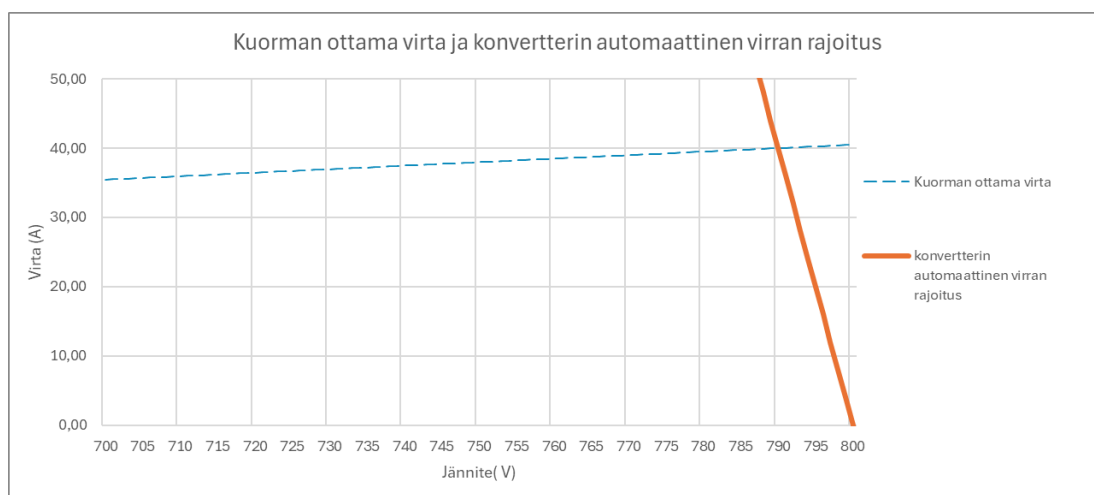


KUVIO 31. Konvertterin automaattinen virran rajoitus, kun jänniteohje on 600 V (positiivisen virran suunta ES -> DC)

Kuviosta 31 nähdään, että konvertterin ES-puolelta voidaan ottaa 200 A virtaa ja syöttää sitä DC-puolelle, kunnes DC-puolen jännite alkaa nousemaan jänniteohjeen suuruiseksi (jännite-ero alle 50 V). Sen jälkeen, kun DC-puolen jännite on jänniteohjeen suuruinen tai jänniteohjetta suurempi, niin DC-puolelle ei pysty syöttämään virtaa.

Kuviosta 31 nähdään myös, että konvertterin ES-puolelle syötetty virta alkaa tipumaan, kun DC-puolen jännite alkaa laskemaan jänniteohjeen suuruiseksi (jännite-ero alle 50 V). Sen jälkeen, kun DC-puolen jännite on jänniteohjeen suuruinen tai jänniteohjetta pienempi, niin DC-puolelta ei pysty ottamaan virtaa.

Kuorma vaatii jännitteen lisäksi virtaa. Tämän takia kuorman jännite ei pysty olemaan sama kuin jänniteohje. Kuviossa 32 näkyy, miten kuorman jännite jää pienemmäksi kuin jänniteohje 800 V, koska konvertterin automaattinen virranrajoitus antaa vähemmän virtaa, kuin kuorma tarvitsisi jännitteen yli 790 V nostamiseksi.



KUVIO 32. Kuorman ottaman virta ja konvertterin automaattinen virranrajoitus

Kuviosta 32 nähdään, että jännitteen 790 V jälkeen konvertteri ei anna niin paljon virtaa, kuin kuorma tarvitsee jännitettä kohti. Jolloin kuorman jännite nousee suurimmillaan olemaan 790 V, koska konvertterin jänniteohjeen maksimiarvo on 800 V.

Tämä on ongelma vain suurilla jännitteillä, kun kuormalle haluttu jännite on yli 750 V. Jos kuormalle haluttaisiin saada esim. 600 V ja 200 A, niin voitaisiin laittaa jänniteohjeeksi 650 V, jolloin konvertterin automaattinen virranrajoitus ei rajoitaisi 600 V syötettävää virtaa, vaan antaisi ottaa ES-puolelta 200 A.

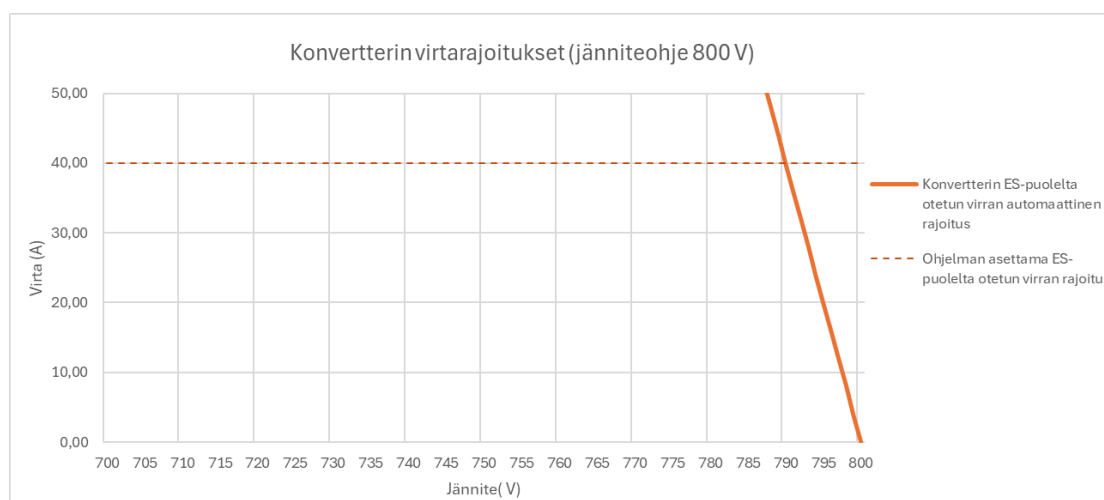
Kuvion 32 tilanne oli yksinkertaistus oikeasta tilanteesta. Kuorman ollessa DC-puolella konvertterin automaattinen virranrajoitus rajoittaa ES-puolelta otettua virtaa. Kun konvertteri nostaa ES-puolen jännitettä suuremaksi DC-puolelle, niin virran suuruus pienenee (tehon määrä pysyy samana), jolloin ES-puolelta otetun virran suuruus ei ole sama kuin DC-puolelle syötetyn virran suuruus.

5.1.2 Ohjelman ohjaamat virranrajoitukset

Konvertterin automaattisen virranrajoituksen lisäksi konvertterin virtaa voidaan rajoittaa ohjelman asettamien virtarajoitusten avulla. Konvertterin automaattinen virranrajoitus sallii syötettävän 200 A virtaa, kun jännite-ero on 50 V tai enemmän. Kuitenkaan useimmiten laitteen ei haluta ottavan näin paljon virtaa, missään tilanteessa.

Ohjelman ohjaamia virtarajoituksia on kaksi. Toinen virtarajoituksista rajoittaa ES-puolelta otetun virran määrää, ja toinen rajoittaa ES-puolelle syötetyn virran määrää.

Tilanteessa, jossa ES-puolella on kuorma, joka haluaa 40 A virtaa, voidaan asettaa virtarajoitukseksi, että ES-puolelle syötetään max. 40 A. Tällöin konvertterin automaattinen virranrajoitus ei vaikuta virran suuruuteen ennen kuin se rajoittaisi virtaa pienemmäksi kuin 40 A. Kuviosta 33 nähdään, että miten tilanteessa ES-puolelta otettava virta pysyy 40 A, kunnes DC-puolen jännite nousee suuremmaksi kuin 790 V.



KUVIO 33. Esimerkki ohjelman asettaman virtarajoituksen ja konvertterin automaattisen virtarajoituksen yhteydestä

Samalla periaatteella voidaan myös rajoittaa ES-puolelle syötettyä virtaa.

Akuston tilakoneessa on merkattu osa tilojen välillä vaihtumisista katkoviivalla. Katkoviivalla viitataan, että tilan vaihtamisen tekee akuston (BMS:n) sisäinen ohjelma eikä ohjelmoitava logiikka.

Akuston sekvenssit

Akuston ohjelma on jaettu neljään sekvenssiin. Sekvenssit ovat käynnistäminen, käynnissä oleminen, sammuttaminen ja hätäsammuttaminen. Sekvenssit vastaavat akuston tilakoneessa päätiloja. Liitteessä 2 on akuston sekvenssien lohko-kaaviot.

Sekvenssien ulkopuolella tarkkaillaan, että akuston mittaustiedot ovat sallituilla alueilla, ja akustossa ei ole aktiivista vikaa tai varoitusta. Arvojen meneminen pois sallitulta alueelta tai aktiivinen varoitus aloittavat sammuttamisen. Aktiivinen vika aloittaa hätäsammuttamisen. Akuston mittaustietojen avulla pystytään selvittämään aktiivisen varoituksen tai vian syy. Sekvenssien ulkopuolella tarkkaillaan myös, että missään muussa laitteessa ei ole aktiivista vikaa tai varoitusta.

Akuston käynnistämissekvenssi aloitetaan yhdistämällä HVIL-silmukka. Jos HVIL-silmukkaa ei tehdä yhtenäiseksi ennen akuston herättämistä, niin akustossa on aktiivinen vika. HVIL-silmukan yhdistämisen jälkeen voidaan laittaa akuston herätyssignaali aktiiviseksi. Herätyssignaalin mentyä aktiiviseksi akusto alustaa itsensä ja alkaa lähettämään tietoa CAN-väylään. Jos akustossa ei ole aktiivista vikaa, niin akuston sisäinen tila on "valmis"-tilassa.

Akuston onnistuneen herättämisen jälkeen sekvenssi odottaa, että käyttäjä on aloittanut käyttötapauksen. Kun käyttäjä on aloittanut käyttötapauksen, niin logiikka lähettää akustolle yhdistämiskäskyn. Jos akusto onnistuu yhdistämään itsensä DC-yhteyteen, ja lähettää tiedon, että akuston sisäinen tila on muuttunut olemaan "aktiivinen"-tilassa, niin akuston käynnistämissekvenssi loppuu ja siirrytään käynnissäolosekvenssiin.

Akuston käynnissäolosekvenssissä HVIL-silmukka pidetään yhtenäisenä, herätyssignaali aktiivisena ja yhdistämiskäsky päällä. Akusto ei aktiivisesti ohjaa, miten paljon virtaa/tehoa akustosta otetaan. Tämän takia akustossa on hyvin vähän ohjattavaa käynnissäolosekvenssissä.

Sammuttamissekvenssi aloitetaan lähettämällä CAN-väylää pitkin irrottamiskäskeä. Kun akusto on irrottamiskäskyn jälkeen onnistuneesti irrottanut itsensä, niin akuston sisäinen tila on "valmis"-tilassa. Silloin logiikka voi laittaa herätyssignaalin pois päältä ja akusto on kokonaan sammutettu. Jos herätyssignaali menisi aikaisemmin sekvenssissä pois päältä, akusto (BMS) aloittaisi myös sisäisen sammuttamisen ja samalla akuston irrottamisen, mutta silloin ei saataisi tietoa, että akusto on irrottanut itsensä DC-yhteydestä.

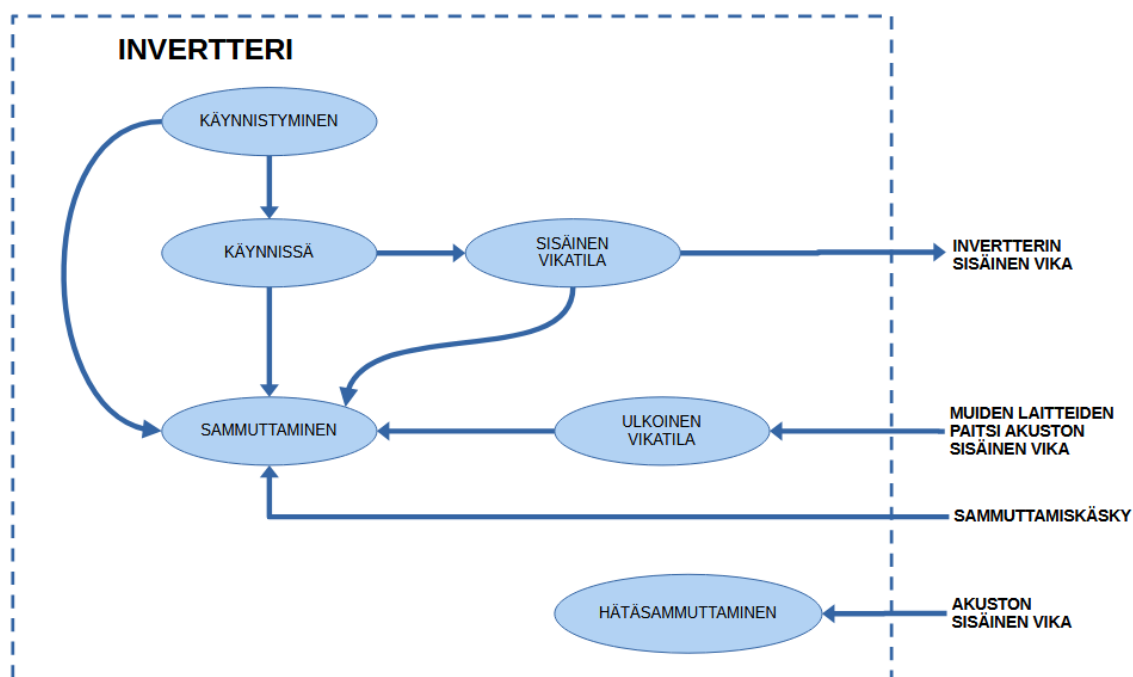
Hätäsammuttamissekvenssissä irrottamiskäskyn lähettämisen lisäksi katkaistaan HVIL-silmukka, jolloin akusto irrottaa itsensä DC-yhteydestä tehdasohjelmoitavan ajan kuluttua.

5.2.2 Invertterin ohjelman suunnittelu

Invertterin ohjelman suunnittelu koostuu tilakoneesta ja sekvensseistä.

Invertterin tilakone

Invertterin päätilat ovat käynnistäminen, käynnissä oleminen ja sammuttaminen. Näiden päätilojen lisäksi tarkkaillaan, että invertterissä ei ole aktiivista sisäistä vikaa, ulkoista vikaa tai tarvetta hätäsammuttamiselle (eli akustossa on aktiivinen vika). Viat pakottavat ohjelman vaihtamaan päätilaa, esim. ulkoinen vika asettaa invertterin päätilan sammuttamiseksi. Kuviossa 35 on invertterin tilakone.



KUVIO 35. Invertterin tilakone

Invertterin sekvenssit

Invertterin ohjelma on jaettu kolmeen sekvenssiin. Sekvenssit ovat käynnistäminen, käynnissä oleminen ja sammuttaminen. Sekvenssit vastaavat invertterin tilakoneessa päätiloja. Liitteessä 3 on invertterin sekvenssien lohkokaaviot.

Sekvenssien ulkopuolella tarkkaillaan, että missään laitteessa ei ole aktiivisia varoituksia tai vikoja. Aktiivinen varoitus tai vika aiheuttaa sammuttamisen tai hätäsammuttamisen aloittamisen.

Invertterin käynnistämissekvenssi aloitetaan yhdistämällä invertterin DC-puoli välipiiriin ja AC-puoli verkkoon. Tämän jälkeen sekvenssi odottaa, että invertteri saa DC-puolelle yli 470 V jännitettä, ja että invertteri yhdistää itsensä verkkoon. Kun invertteri on yhdistänyt itsensä verkkoon, niin sekvenssi ohjaa invertterin päälle. Jos invertterissä ei ole aktiivista vikaa, niin lopetetaan käynnistämissekvenssi ja siirrytään käynnissäolosekvenssiin.

Invertterin käynnissäolosekvenssi ohjaa invertterin virtarajoituksia. Virtarajoitusten avulla ohjataan, miten paljon virtaa invertteri ottaa verkosta tai syöttää verkkoon. Ei ole yhtään käyttötapausta, jossa sekvenssi ohjaisi molempia virtarajoituksia. Käynnissä signaalin avulla voidaan olla varmoja, että invertteri ohjaa tehoa, kun virranrajoitukset on nostettu.

Käyttötapauksissa, joissa invertteri syöttää tehoa verkkoon, invertteri tarvitsee DC-puolelle yli 730 VDC, ennen kuin invertteri pystyy syöttämään tehoa verkkoon. Tällaisissa käyttötapauksissa laite, joka nostaa DC-puolen jännitteen yli 730 VDC on konvertteri. Invertterin käynnissäolosekvenssi tarkkailee, että DC-puolen jännite on noussut yli 730 VDC, odottaa hetken ja aloittaa vasta sitten invertterin verkkoon syötetyn virranrajoituksen nostamisen. Tällöin on annettu konvertterille tarpeeksi aikaa nostaa invertterin DC-puolelle syötetyn virran suuruus.

Käyttötapauksissa, joissa otetaan tehoa verkosta, tehon ottaminen voidaan aloittaa, kun invertteri on siirtynyt käynnissäolosekvenssiin. Invertterin verkosta otetun virranrajoituksen nostamisen jälkeen välipiirin jännitteeksi nousee 730 VDC. Laajoissa käyttötapauksissa L.26–27 jännite menee myös vaunun konvertterin läpi ja nostaa samalla DC-kiskon jännitteeksi 730 VDC.

Invertterin sammuttamissekvenssi odottaa, että konvertteri on lopettanut tehon ohjaamisen ennen kuin invertteri aloittaa sammuttamisensa. Järjestelmässä konvertteri ohjaa tehon kulkua, joten järjestelmän sammuttaminen tehdään paljon hallitummin, kun annetaan konvertterin lopettaa tehon ohjaaminen ennen invertterin sammuttamisen aloittamista. Invertterin sammuttamissekvenssi laskee invertterin virtarajoitukset nolnaan, laittaa invertterin pois päältä ja avaa invertterin AC- ja DC-puolien kontaktorit.

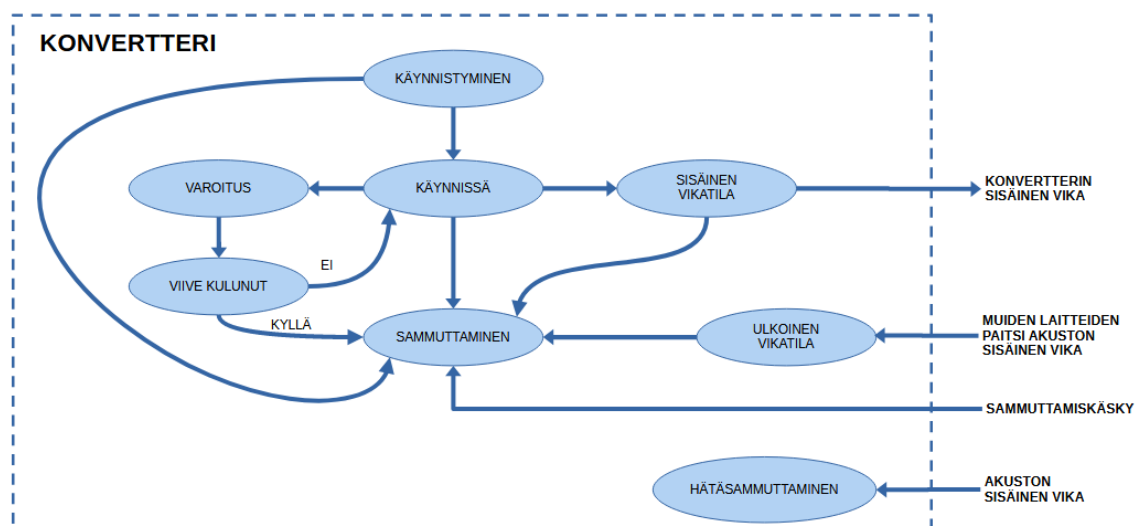
Sammuttaminen ja hätäsammuttamisen ovat muuten samanlaisia, mutta hätäsammutettaessa virtarajoitukset asetetaan suoraan olemaan nolla. Tämän takia ei suunniteltu erillistä hätäsammuttamissekvenssiä, vaan hätäsammuttaminen on osa sammuttamissekvenssiä.

5.2.3 Konvertterin ohjelman suunnittelu

Konvertterin ohjelman suunnittelu koostuu tilakoneesta ja sekvensseistä.

Konvertterin tilakone

Konvertterin päätilat ovat samat kuin invertterissä eli käynnistäminen, käynnissä oleminen ja sammuttaminen. Näiden päätilojen lisäksi tarkkaillaan, että konvertterissa ei ole aktiivista varoitusta, sisäistä vikaa, ulkoista vikaa tai tarvetta hätäsammuttamiselle (eli akustossa olisi aktiivinen vika). Varoitus ja viat pakottavat ohjelman vaihtamaan päätilaa, esim. sisäinen vika asettaa konvertterin päätilan sammuttamiseksi. Kuviossa 36 näkyy konvertterin tilakone.



KUVIO 36. Konvertterin tilakone

Konvertterin sekvenssit

Konvertterin ohjelma on jaettu kolmeen sekvenssiin. Sekvenssit ovat käynnistäminen, käynnissä oleminen ja sammuttaminen. Sekvenssit vastaavat tilakoneessa päätiloja. Liitteessä 4 on konvertterin käynnistämissekvenssin lohkokaaviot.

Sekvenssien ulkopuolella tarkkaillaan, että konvertterin lämpötila on sopivalla alueella. Jos lämpötila nousee liian korkeaksi, niin aloitetaan sammuttaminen. Sekvenssien ulkopuolella tarkkaillaan myös, että missään laitteessa ei ole aktiivisia varoituksia tai vikoja. Aktiivinen varoitus tai vika aiheuttaa sammuttamisen tai hätäsammuttamisen aloittamisen.

Konvertterin sekvensseistä kerrotaan eri tavalla, kuin muiden laitteiden sekvensseistä. Muiden laitteiden sekvensseissä on suunnilleen kerrottu, millä ehdoilla ja missä järjestyksessä sekvenssit tekevät asioita. Konvertterin sekvensseissä kerrotaan, mitä asioita eri sekvenssit ohjaavat. Syy tähän on, että konvertterin sekvenssien sisältö riippuu hyvin paljon käyttötapauksesta ja eri käyttötapauksien välillä ohjaus vaihtelee.

Konvertterin käynnistämissekvenssi ohjaa konvertterin ES-puolen kontaktoreita ja konvertterin päälle laittamista. Sekvenssi aloitetaan konvertterin esilataamisella. Jos akusto on yhdistetty konvertteriin, niin akusto tekee konvertterin esilataamisen. Laajoissa käyttötapauksissa vaunussa oleva konvertteri esiladataan esilatauskontaktoreiden avulla. Esilataamisen jälkeen konvertteri asetetaan päälle. Jos konvertterissa ei ole aktiivista vikaa, niin lopetetaan käynnistämissekvenssi ja siirrytään käynnissäolosekvenssiin.

Käynnissäolosekvenssi ohjaa pääasiallisesti konvertterin DC-puolen kontaktoreita, virtarajoja ja DC-jänniteohjeen suuruutta. Tarvittaessa käynnissäolosekvenssi pystyy myös avaamaan ES-puolen kontaktorit ja kääntämään konvertterin kytkennän. Sekvenssin sisältö riippuu käyttötapauksesta. Laajoissa käyttötapauksissa on myös käytössä kaksi konvertteria, joilla molemmilla voi olla erilaiset sekvenssit. Käynnissäolosekvenssissä käytetään DC- ja ES-puolien jännitemittauksia kuormalle syötettävän jännitteen varmistamiseksi. Kun kuorma on kytketty ES-puolelle, niin konvertterin virranmittauksen avulla saadaan suoraan tieto kuormalle syötettävän virran suuruudesta.

Sammuttamissekvenssi ohjaa konvertterin virtarajoitukset nolnaan (laskemalla tai suoraan), laittaa konvertterin pois päältä ja avaa konvertterin ES- ja DC-puolien kontaktorit. Sekvenssin järjestys riippuu käyttötapauksesta.

6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli saada suunniteltua tasasähköjärjestelmä vaiheeseen, josta olisi mahdollista lähteä toteuttamaan järjestelmän ohjelmointia. Mielestäni tavoite onnistuttiin saavuttamaan. Työn tuloksilla (vaatimusmäärittelyllä ja ohjelmiston suunnittelulla) luodaan järjestelmälle vahva pohja, jolta on mahdollista aloittaa ohjelmiston toteuttaminen ja muutenkin mahdollista lähteä kehittämään järjestelmää eteenpäin.

Käyttötapauksia, joissa kuorma asetetaan konvertterin ES-puolelle tai käytetään kahta konvertteria ei pystytty testaamaan. Käyttötapauksia tullaan testaamaan enemmän, kun laitteiston kehitys on edennyt riittävän pitkälle. Tämän takia suunnitelmaan voi tulla tulevaisuudessa muutoksia.

Ohjelmiston suunnittelussa ei keretty tekemään kaikkia konvertterin lohko-kaavioita, mutta ohjelmiston suunnittelun avulla luodaan kuitenkin pohja, miten eri laitteiden ohjelmat ja sekvenssit voisivat tulla toimimaan.

Avoimia kysymyksiä

Järjestelmää suunnitellessa opittiin, että konverttereissa on isot kelat. Työssä ei keretty selvittämään, että syöttävätkö kelat purkautuessaan "counter EMF" (Electromotive force) jännitteen. Tämän takia "counter EMF" jännitteen mahdollisia vaikutuksia ei myöskään pohdittu työssä.

Tällä hetkellä normaalien käyttötapauksien sammuttaminen on suunniteltu kuluttamaan mahdollisimman vähän konvertterin komponentteja. Tämä on tehty laskemalla (ajassa 2 s) konvertterin virtarajoitukset nolnaan sen sijaan, että asetettaisiin virtarajat suoraan nolnaan. Virtarajojen laskemisen (ajassa 2 s) ongelma on, että osassa käyttötapauksista tehon syöttäminen kuormalle jatkuu, vaikka konvertterin virtarajat asetetaan nolnaan. Tällaisessa tilanteessa kuormalle syötettävässä virrassa on hetkellisesti hyvin paljon rippeliä, kun konvertterin eri puolien jännite-ero lähestyy nolaa. Työssä jäi selvittämättä, miten suuri rippelin määrä on, ja voiko rippeli aiheuttaa vahinkoa kuormaan.

Työn aikana akustoa ei saatu toimimaan. Tämän takia akustoon liittyvä suunnittelu voi muuttua, kun akuston toiminnasta on saatu parempi ymmärrys. Esimerkiksi kennojännitteen tasaamisen rutiinia ei vielä suunniteltu, vaikka teoriaosuudessa mainittiin sellaisen tarve.

Jälkisanat

Loppuun vielä selvennys, että vaikka työ on kirjoitettu passiivissa, niin hyvin pieni määrä passiivista viittaa muiden ihmisten kommentteihin. Syytän automaattisesta passiivimuodossa kirjoittamisesta laboratorioraportteja.

Tämä työ oli ensimmäinen kerta, kun suunnittelin ison järjestelmän, eikä koulussa ollut tällaista opetettu. Koko ajan työtä tehdessä oli tavoitteena päästä pisteeseen, että pystyttäisiin aloittamaan järjestelmän ohjelmiston toteuttaminen. Tästä seurasi, että jouduin kysymään suuren määrän kysymyksiä ja hakkaamaan päästäni seinään (välillä samaan aikaan). Suuret kiitokset projektin vetäjälle Matti Kohtalalle ja akustosta opinnäytetyön tekeväälle Mikko Tillanderille. Jouduitte sie-tämään paljon kysymyksiäni ja pohdintojani. Urakasta tuli paljon helpompi, kun pystyin keskustelemaan järjestelmästä kanssanne. Kiitokset myös Msc:lle hyvästä käyttöönotto-tuesta ja siitä, että jaksoitte aina vastata kysymyksiini.

LÄHTEET

Battery DBC file. n.d. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Battery User Manual. n.d. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Beckhoff. 2024. EL6751. Päivitetty 9.1.2024. Luettu 12.3.2024. <https://download.beckhoff.com/download/Document/io/ethercat-terminals/el6751en.pdf>

CiA. n.d.a. CiA 301 version 4.2.0, CANopen application layer and communication profile. Luettu 12.3.2024.

CiA. n.d.b. Error control protocols. Viitattu 15.4.2024. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/canopen/error-control-protocols/>

CiA. n.d.c. History of CAN technology. Viitattu 25.5.2024. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/history-of-the-can-technology>

Cockburn A. 1998. Basic Use Case Template. Humans and Technology, inc. <https://www.cs.helsinki.fi/u/mluukkai/ohmas10/usecase.pdf>

Deepak, R., Bandi M. R., Shimi, S. L. & Paulson S. 2018. Bidirectional dc to dc Converters: An Overview of Various Topologies, Switching Schemes and Control Techniques. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.5), 360–365.

Deng, T. 2017. Bidirectional DC-AC Solution For Solar Application System, Based on the TMS320F28035 MCU. Luettu 10.3.2024. Texas Instruments.

Influx Technology. 2021. Understanding CAN DBC. Luettu 12.3.2024. <https://www.influxtechnology.com/post/understanding-can-dbc>

Kumar, S., Dalal, S. & Dixit, V. 2014. THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS. International Journal of Computer Science and Information Technology Research. 2. Osa. 3. Painos. 461-466

Learnabout Electronics. n.d. Boost Converter. Viitattu 10.3.2024. <https://learnabout-electronics.org/PSU/psu32.php>

Learnabout Electronics. n.d. Buck Converter. Viitattu 10.3.2024. <https://learnabout-electronics.org/PSU/psu31.php>

MSc Electronics Oy. 2016. MSc DC/DC Converter User manual 1.2.

MSc Electronics Oy. 2022. TAMK AFE2 TEST REPORT. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Natale, D.M., Zeng, H., Giusto, P. & Ghosal, A. 2012. Understanding and Using the Controller Area Network Communication Protocol Theory and Practice. Springer New York

National Instruments. 2023. CAN Physical Layer and Termination Guide. Luettu 17.1.2024. <https://www.ni.com/en/support/documentation/supplemental/09/can-physical-layer-and-termination-guide.html>

National Instruments. 2024a. The Basics of CANopen. Päivitetty 4.3.2024. Luettu 12.3.2024. <https://www.ni.com/en/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/the-basics-of-canopen.html>

National Instruments. 2024b. Controller Area Network (CAN) Overview. Päivitetty 23.5.2024. Luettu 27.5.2024. <https://www.ni.com/en/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/controller-area-network--can--overview.html>

Stasi D.F. 2016. Know Your Limits. Luettu 10.3.2024. Texas Instruments.

Vacon. 2016. All in one sovelluskäsikirja.

Vacon. 2021. Vacon Standard AFE-II application: ARFIF05V070.

Vacon. 2022. VACON NX Inverters FI4-FI8 Operation guide.

Valokas. n.d. LED-nauhan himmennys, PWM himmennysmenetelmä. Luettu 11.3.2023 <https://valokas.fi/led-nauhan-himmennys/>

Wiren, H. 2024. Senior sales & service support specialist. Lisäkysymyksiä liittyen TAMKille toimitettuun konvertteriin. sähköpostikeskustelu 5.3.2024.

Wiren, H. 2024. Senior sales & service support specialist. Toimitettu DC/DC konvertteri ei käynnisty. sähköpostikeskustelu 19.2.2024.

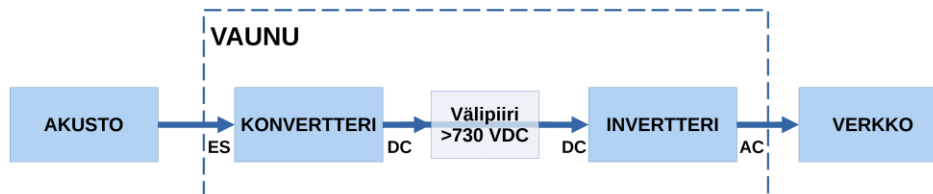
LIITTEET

Liite 1. Kaikkien käyttötapauksien kytkennät

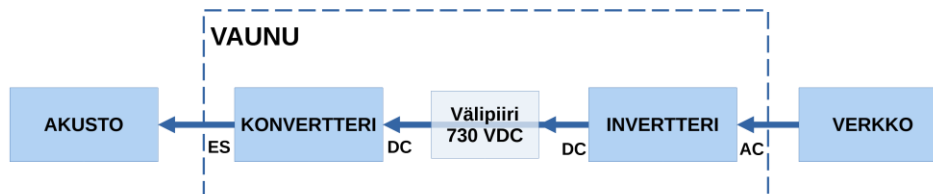
Kaikkien normaalien käyttötapauksien kytkennät

1(2)

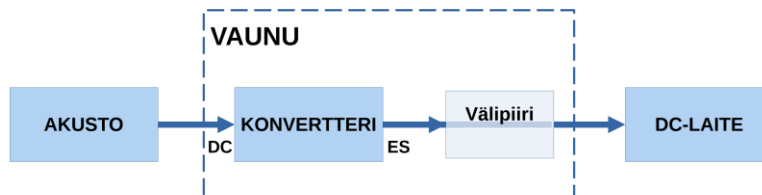
NORMAALI KÄYTTÖTAPAUS 1



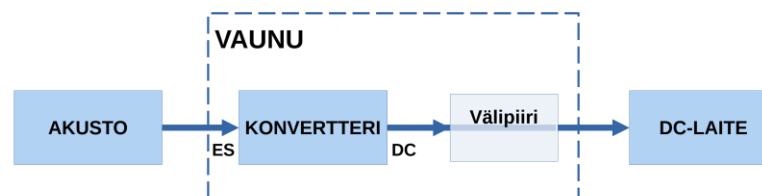
NORMAALI KÄYTTÖTAPAUS 2 JA 3



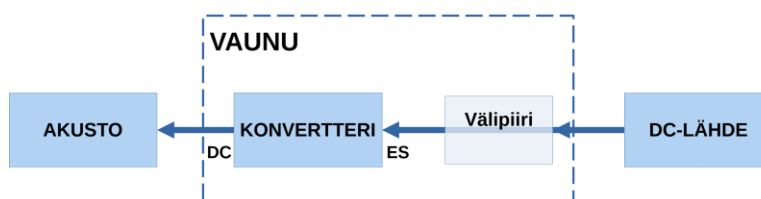
NORMAALI KÄYTTÖTAPAUS 4 JA 5



NORMAALI KÄYTTÖTAPAUS 6 JA 7



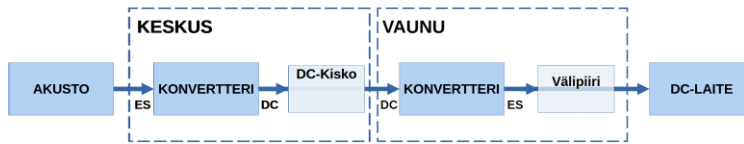
NORMAALI KÄYTTÖTAPAUS 8



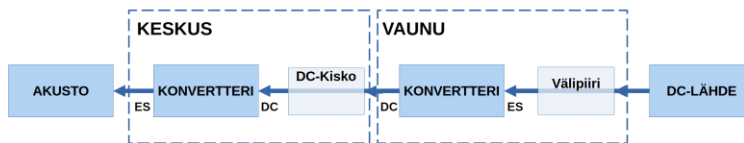
Kaikkien laajojen käyttötapauksien kytkennät

2(2)

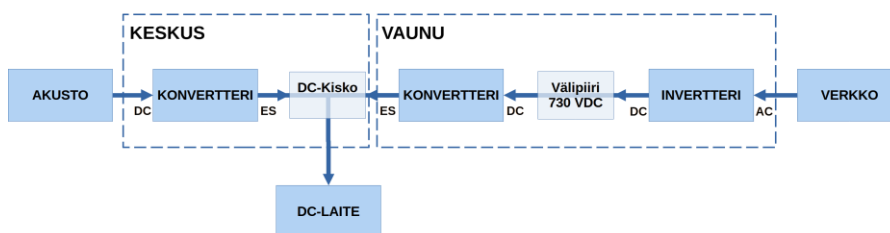
LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 21



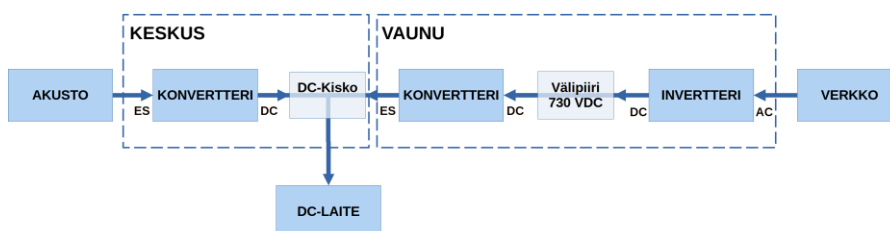
LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 22



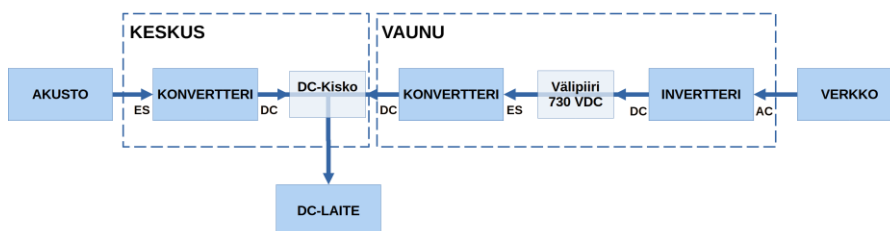
LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 23 JA 24



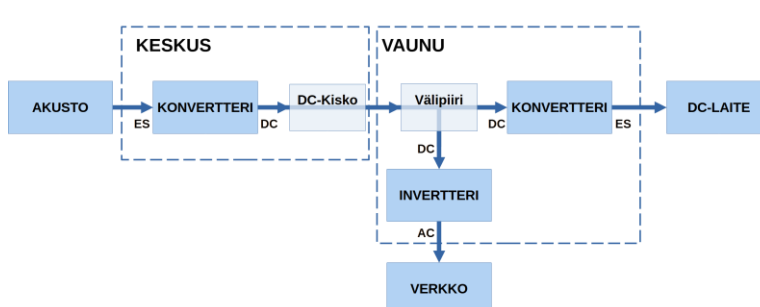
LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 25



LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 26 JA 27



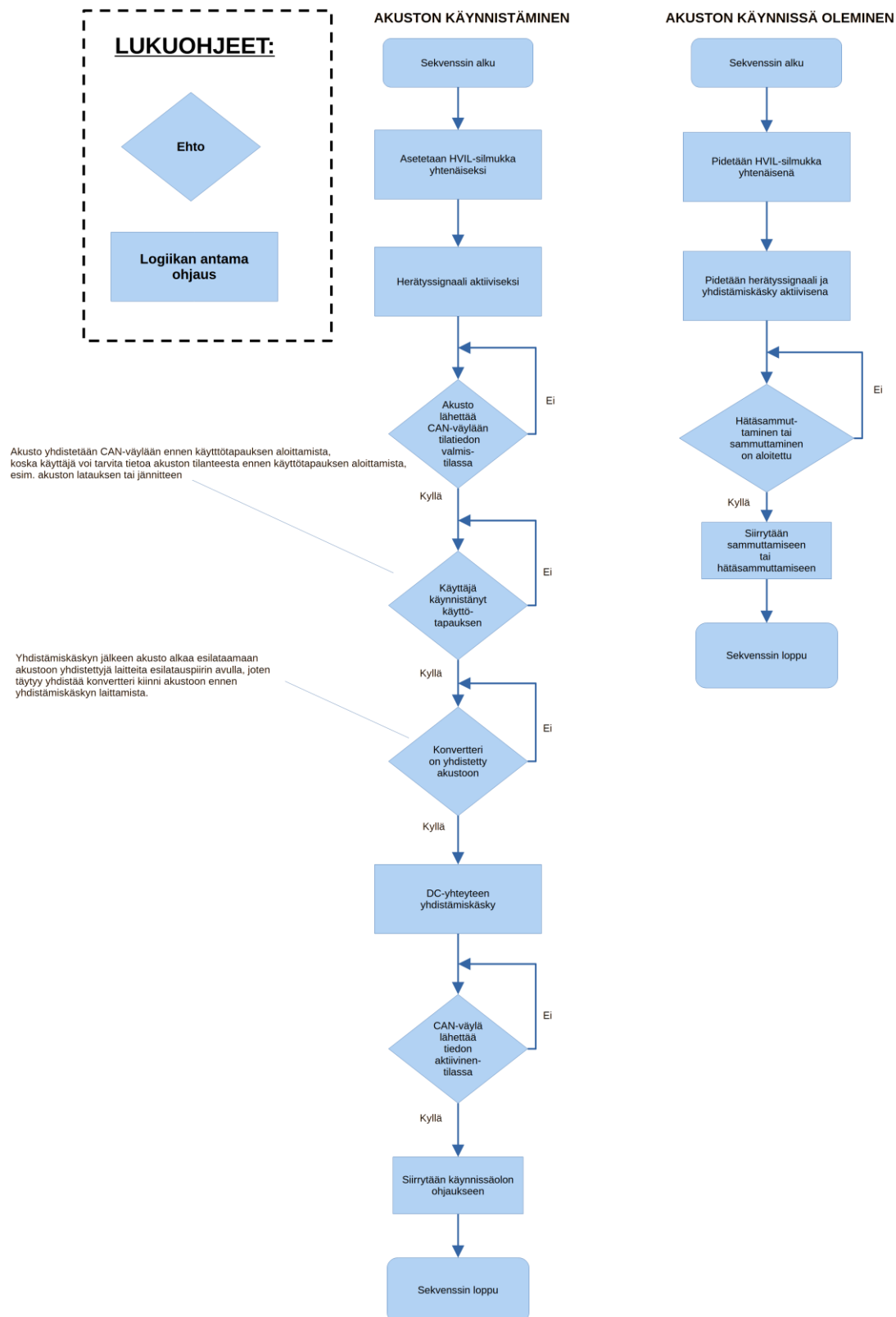
LAAJA KÄYTTÖTAPAUS 28



Liite 2. Akuston sekvenssien lohko-kaaviot

Akuston käynnistämisen- ja käynnissä-olemissä olevien sekvenssien lohko-kaaviot

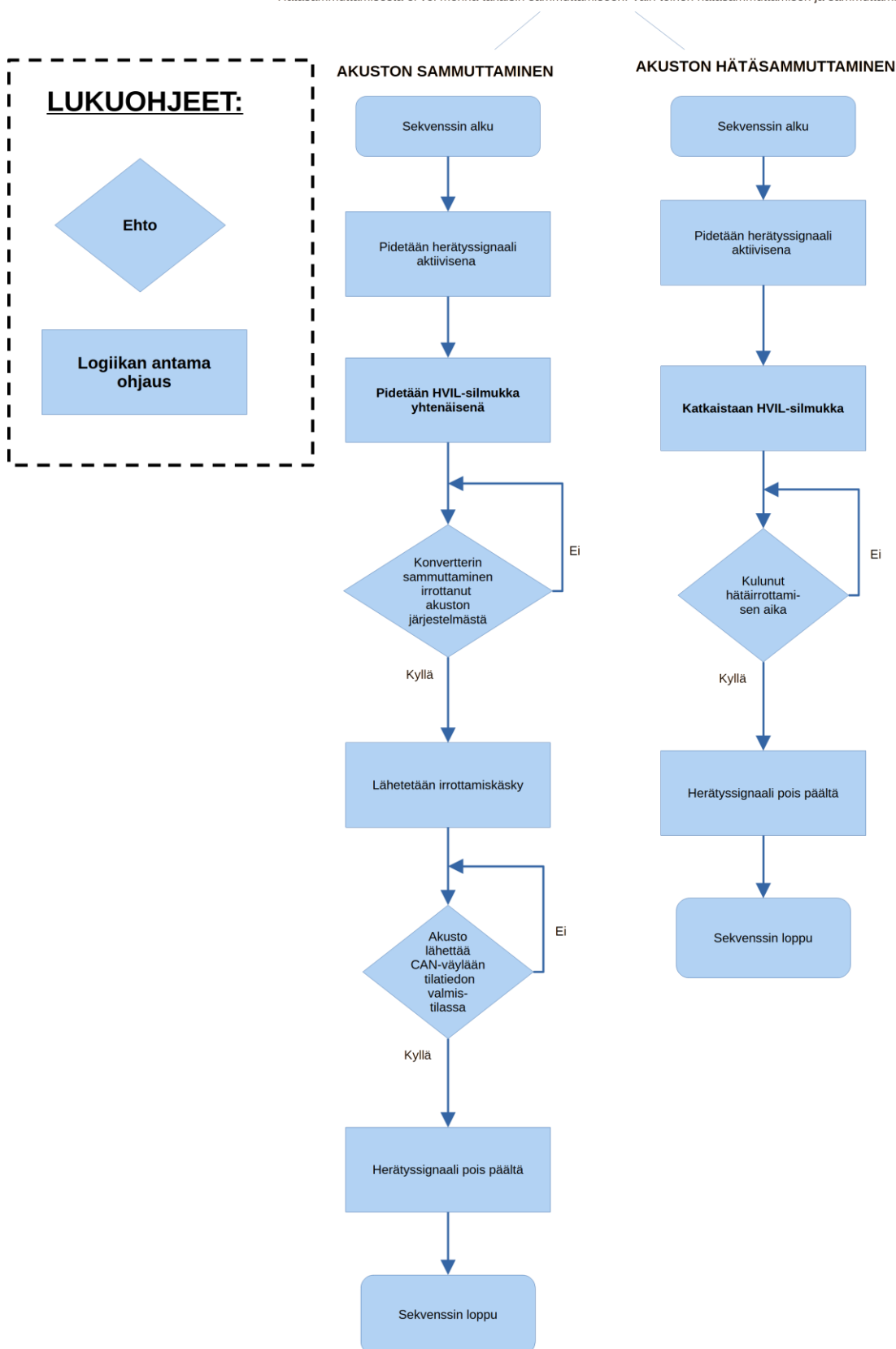
1(2)



Akuston sammuttamis- ja hätäsammuttamissequenssien lohko-kaaviot

2(2)

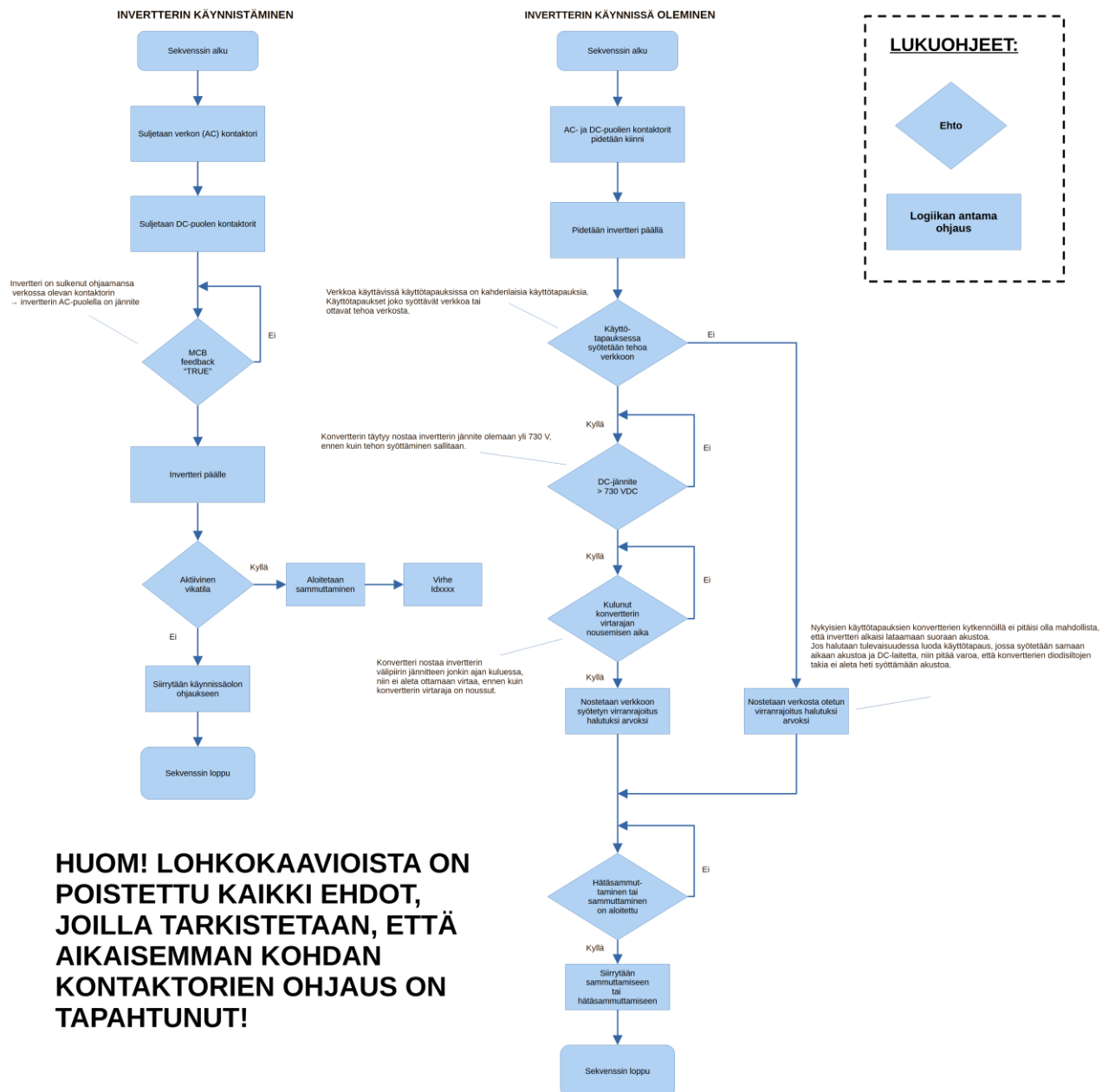
Jos sammuttamisen aikana tulee tarve aloittaa hätäsammuttaminen, niin hypätään hätäsammuttamisen alkuun. Hätäsammuttamisesta ei voi mennä takaisin sammuttamiseen. Vain toinen hätäsammuttamisen ja sammuttamisen välillä on päällä.

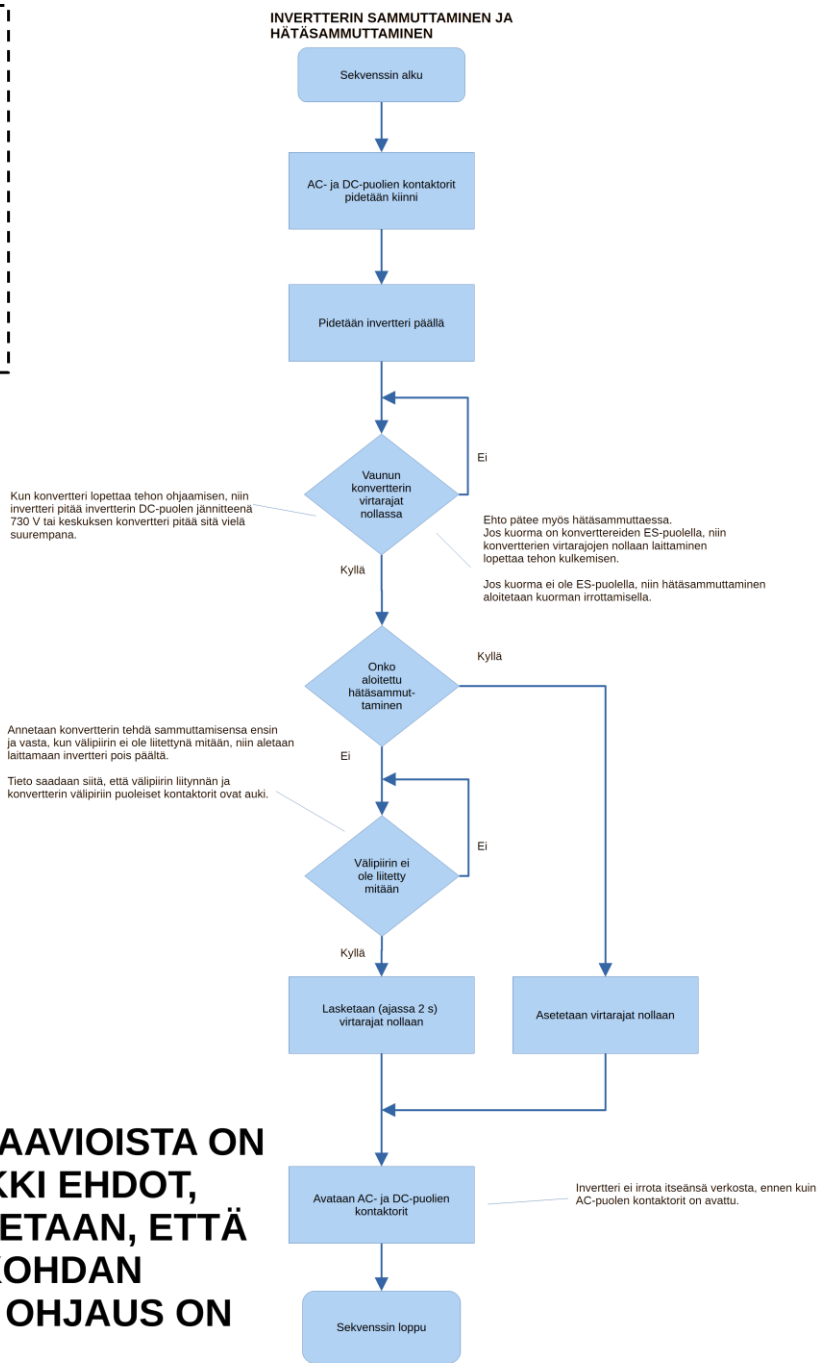
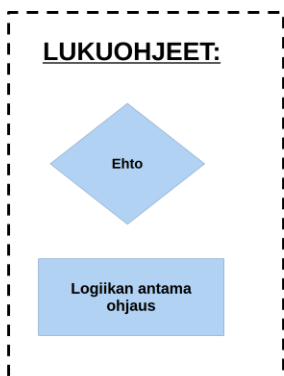


Liite 3. Invertterin sekvenssien lohkokaaviot

Invertterin käynnistämisen- ja käynnissäoleusekvenssien lohkokaaviot

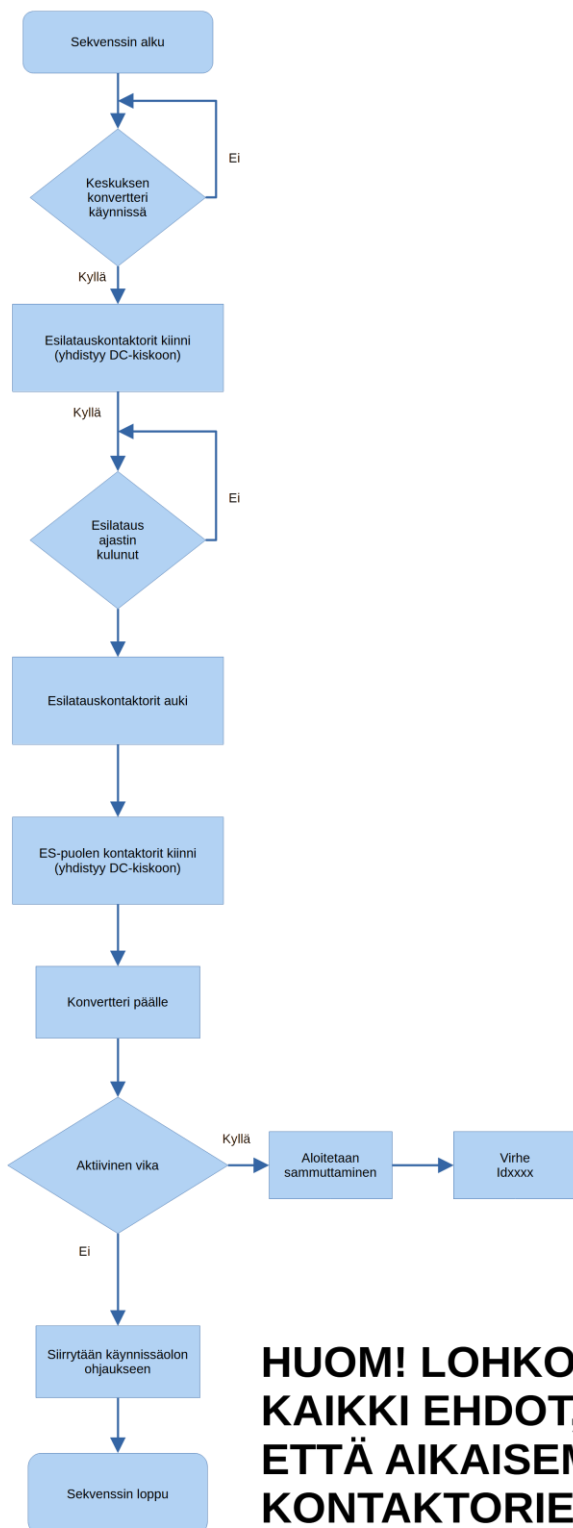
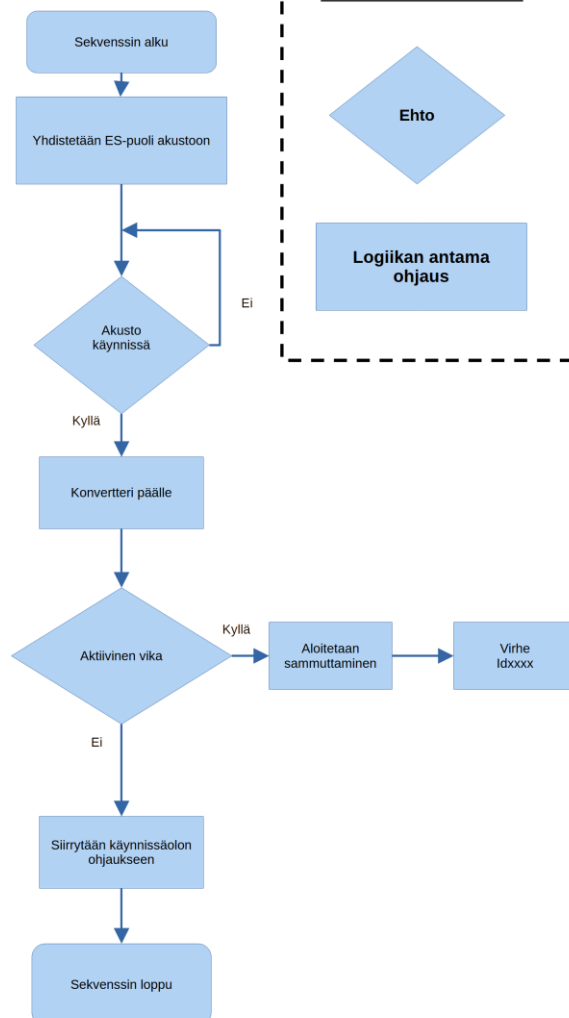
1(2)





HUOM! LOHKOKAAVIOISTA ON POISTETTU KAIKKI EHDOT, JOILLA TARKISTETAAN, ETTÄ AIKAISEMMAN KOHDAN KONTAKTORIEN OHJAUS ON TAPAHTUNUT!

Liite 4. Konvertterin käynnistämissekvenssin lohkokaavio

LAAJOISSA KÄYTTÖTAPAUKSISSA
VAUNUN KONVERTTERIN KÄYNNISTÄMINENAKUSTOSSA KIINNI OLEVAN
KONVERTTERIN KÄYNNISTÄMINEN
(SIJAINTI: KESKUS TAI VAUNU)

LUKUOHJEET:

Ehto

Logiikan antama
ohjaus

**HUOM! LOHKOKAAVIOISTA ON POISTETTU
KAIKKI EHDOT, JOILLA TARKISTETAAN,
ETTÄ AIKAISEMMAN KOHDAN
KONTAKTORIEN OHJAUS ON TAPAHTUNUT!**