



Energiavaraston ohjausjärjestelmän toteutus

Samuli Alanen

OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2019

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

ALANEN, SAMULI:
Energiavaraston ohjausjärjestelmän toteutus

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Lokakuu 2019

Opinnäytetyön taustalla on Tampereen ammattikorkeakoulun oppimisympäristö-projekti, jossa tarkoituksena on toteuttaa toimiva ohjausjärjestelmä energiavarastolle. Opinnäytetyö keskittyy projektin osaan, jossa liitetään olemassa oleva energiavarasto tietoliikenneväylällä ohjelmoitavaan logiikkaan, jolla energiavarastoa hallitaan.

Opinnäytetyössä energiavaraston ja ohjelmoitavan logiikan välille päädyttiin tekemään tietoliikenneyhteys CAN-väylän avulla, jotta ohjelmoitava logiikka saa energiavarastolta tarvittavat tiedot sen lataamiseen ja purkamiseen sekä mahdolliset vika- ja hälytystiedot. Energiavaraston ohjaus perustuu MSc-Electronics:n HESS-järjestelmään. HESS-järjestelmä käyttää ohjaukseen Beckhoff-merkkistä ohjelmoitavaa logiikkaa ja kosketuspaneelia, joten työssä päädyttiin muokkaamaan myös hieman HESS-järjestelmän ohjelmakoodia projektin tarpeisiin. Työssä jouduttiin ottamaan huomioon paljon turvallisuusseikkoja, sillä kyseessä on vaarallisilla jännitteillä toimiva energiavarasto.

Työssä päädyttiin sähköteknisesti melko yksinkertaiseen ohjaukseen. Ratkaisu vaati ohjaavalta järjestelmältä kuitenkin enemmän mittauksia ja älyä. Energiavaraston ohjausjärjestelmä saatiin integroitua HESS-järjestelmään tavoitteiden mukaisesti. Järjestelmä saatiin pääosin reagoimaan halutulla tavalla energiavaraston ja CAN-väylän vikoihin ja hälytyksiin. Järjestelmää voisi kehittää vielä entisestään, jos ohjausjärjestelmän ja energiavaraston välille lisättäisiin vielä muutamia toiminnallisuutta ja turvallisuutta parantavia ohjauksia ja tilatietoja. Tämä mahdollistaisi vielä monipuolisemman ohjauksen.

Asiasanat: HESS-järjestelmä, energiavarasto, ohjelmoitava logiikka, CAN-väylä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Electrical Power Engineering

ALANEN, SAMULI:
Implementation of an Energy Storage Control System

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 3 pages
October 2019

As a background of this thesis is Tampere University of Applied Sciences' own learning environment project, where the aim is to design and make a control system for energy storage. This thesis concentrates on a certain part of the project, where the existing energy storage is connected to a programmable logic controller with a communication bus that controls the energy storage.

A CAN-bus connection was installed between the energy storage and the programmable logic controller, thus the programmable logic controller gets required information from the energy storage to charge and discharge it and possible alarm and error messages. Energy storage's control is based on MSc-Electronics' HESS-system. HESS-system uses Beckhoff's programmable logic controller and touch panel for system control, so editing the program code of the HESS-system was also necessary to fulfill the needs of this project. In this thesis, there were also many safety factors to consider due to the fact that there are dangerous voltages in the energy storage.

A relatively simple control method was created in this thesis. However, it requires more intelligence and measurements from the control system. The energy storage's control system was integrated into the HESS-system as planned. The system reacted to the energy storage's faults and CAN-bus faults as desired. The system could be developed further by adding more connections between the energy storage and the control system. This would allow for more diverse control.

Key words: HESS-system, energy storage, programmable logic controller, CAN-bus

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TEORIA	9
	2.1 CAN-väylä.....	9
	2.2 CANopen-protokolla.....	10
	2.3 SAE J1939 -protokolla	13
3	TYÖN LÄHTÖKOHDAT	18
	3.1 Energiavarasto	18
	3.2 Energiavarasto saarekekäytössä	19
	3.3 Välikaapelointi ja energiavaraston ohjaus	20
4	TYÖN TOTEUTUS.....	22
	4.1 Saarekekäytön apujännitteet.....	22
	4.2 Energiavaraston ohjausjärjestelmän toteutus	23
	4.3 Energiavaraston väyläliikenne	27
	4.4 Protokollamuunnos	29
	4.5 Beckhoff EL6751-väylämoduuli.....	34
	4.6 Väyläkaapelointi.....	37
	4.7 Viestien purku TwinCat-ohjelmassa	38
	4.8 Energiavaraston tilakone.....	48
	4.9 Akkukonvertterin viat ja tilakone.....	53
	4.10 Rajapinnat muihin tilakoneisiin	54
5	OHJAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS	56
6	POHDINTA	61
	LÄHTEET.....	63
	LIITTEET	65
	Liite 1. Vikakoodi-taulukko	65
	Liite 2. "KALMARbatteryCtrl"-ohjelman vuokaavio 1/2.....	66
	Liite 3. "KALMARbatteryCtrl"-ohjelman vuokaavio 2/2.....	67

LYHENTEET JA TERMIT

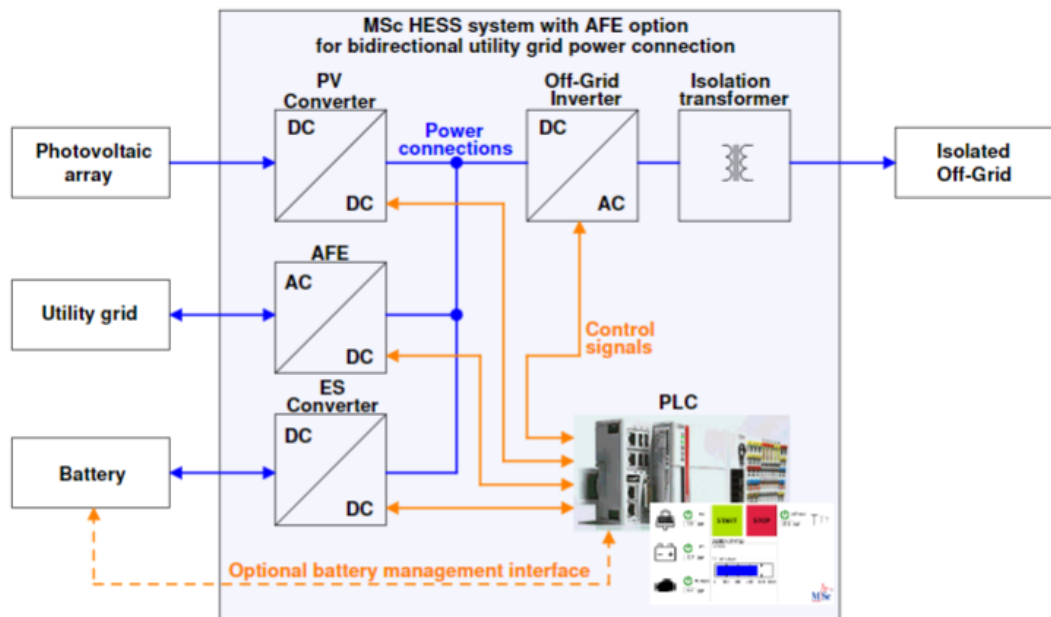
CAN	Controller Area Network
CAN-ID	CAN-Identifier
COB-ID	Communication Object Identifier
HESS	Hybrid Energy Supply System
LIBM	Lithium Ion Battery Monitor
NMT	Network Management
PDO	Process Data Object
PGN	Parameter Group Number
PLC	Programmable Logic Controller
SAE	Society of Automotive Engineers
SOC	State of Charge

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa 16,2 kWh suuruiselle energiavarastolle ohjausjärjestelmä. Energiavarasto on Kalmar-yrityksen valmistama, ja se koostuu viidestä rinnankytketystä akkuhyllystä, jotka toimivat 648 voltin nimellisjännitteellä. Jokainen hylly koostuu 18:sta sarjaan kytketystä 36 voltin nimellisjännitteellä toimivasta akkumoduulista. Jokainen akkumoduuli on vielä rakennettu erikseen kymmenestä sarjaan kytketystä 3,6 voltin nimellisjännitteellä toimivasta pienestä akusta. Energiavarastolla on LIBM-kortti jokaiselle akkuhyllylle ja yksi yhteinen koko energiavarastolle. Energiavaraston yhteinen LIBM-kortti Domain LIBM kertoo tietoa koko energiavarastosta reaaliajassa, kun taas hyllyjen omat LIBM-kortit kertovat ainoastaan hyllykohtaisia tietoja. Mahdollisia tietoja ovat esim. energiavaraston/hyllyn varaustila, jännitteet, virrat, lämpötilat, vikatiedot jne.

Energiavarastossa on oma CAN-väylä, joka toimii SAE J1939 -protokollalla. Väylässä liikkuu Domain LIBM -kortin lähettämää tietoa energiavarastosta. Väylä toimii rajapintana ulkoiselle ohjausjärjestelmälle, jota tässä opinnäytetyössä käytetään. Domain LIBM -kortin lähettämät tiedot ovat erittäin tärkeitä energiavaraston turvallisen käyttämisen kannalta.

Energiavarastoa ladataan ja puretaan MSc-Electronics:n akkukonvertterilla, joka on osa heidän valmistamaansa HESS-järjestelmää. HESS-järjestelmän lyhenne tulee sanoista Hybrid Energy Supply System, joka tarkoittaa hybridienergia tehonsyöttöjärjestelmää. HESS-järjestelmää ohjataan Beckhoff-merkkisellä PLC:llä ja kosketuspaneelilla. Kuvassa 1 näkyy HESS-järjestelmän perustoimintaperiaate.

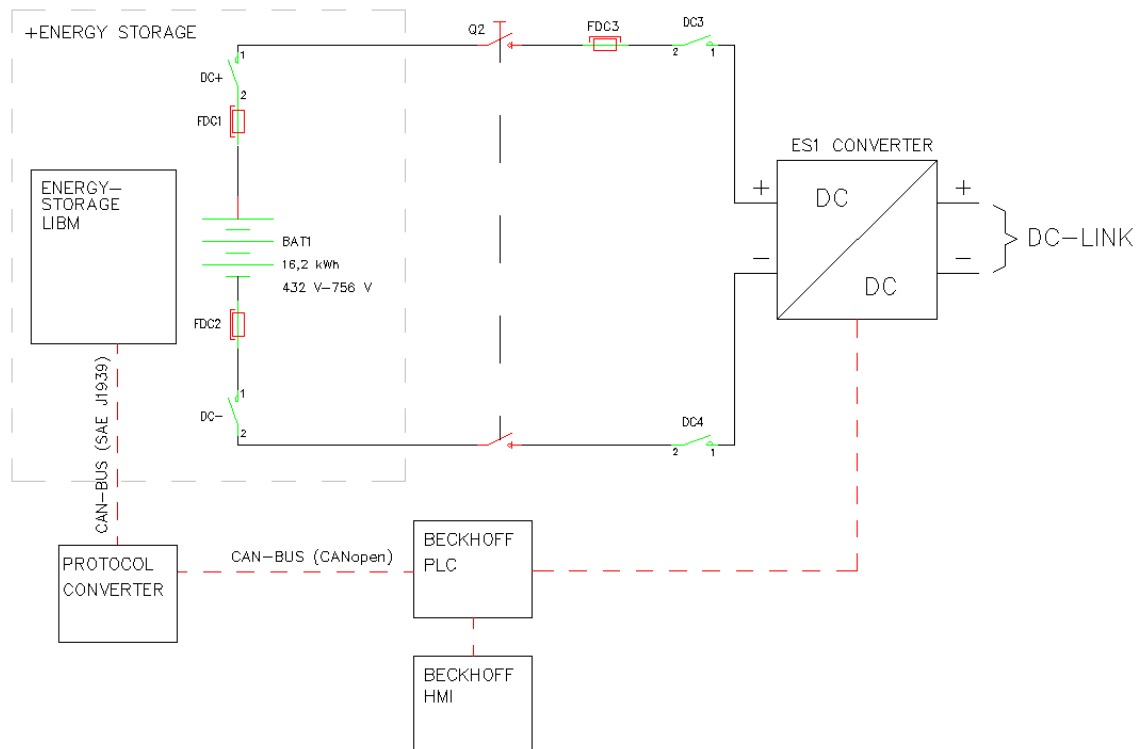


KUVA 1. HESS-järjestelmän periaatekuva (MSc-Electronics 2019)

HESS-järjestelmällä luodaan kolmivaiheinen ns. keinoverkko, joka on syöttävään verkkoon nähden täysin erillinen kolmivaihejärjestelmä, sillä keinoverkon lähtövaiheet luodaan invertterillä ja suojaerotusmuuntajilla.

HESS-järjestelmässä on mahdollisuus kahdelle erilliselle energiavarastolle, joita voidaan sekä purkaa että ladata niiden omilla akkukonverttereilla. HESS-järjestelmään voidaan liittää myös aurinkovoimala, jolla on kuvan 1 mukaisesti oma konvertteri. Energiavarastot ja aurinkovoimajärjestelmä mahdollistavat sen, että keinoverkkoon voidaan syöttää huomattavasti suurempi teho kuin mitä syöttävästä verkosta otetaan, sillä osa tehosta otetaan energiavarastoista ja aurinkovoimajärjestelmästä. Energiavarastoja voidaan ladata sekä syöttävästä verkosta että aurinkopaneeleilla. Tehoa voidaan syöttää energiavarastoista ja aurinkovoimajärjestelmästä myös takaisin syöttävään verkkoon aktiivisen etuasteen avulla. Kaikki konvertterit, invertterit ja etuaste ovat yhteydessä toisiinsa DC-välipiirin kautta, joka mahdollistaa monipuoliset tehonsyöttömahdollisuudet.

Opinnäytetyö keskittyy järjestelmässä toiseen energiavarastoista ja sen ohjaamiseen. Kuvassa 2 on periaatekuva energiavaraston liittämisestä HESS-järjestelmään.



KUVA 2. Energiavaraston liittäminen HESS-järjestelmään

Kuvassa 2 nähdään energiavarasto ja sen oma Domain LIBM -kortti. Domain LIBM -kortissa on oma CAN-väylä, jonka avulla se lähettää viestit PLC:lle, jolla HESS-järjestelmää ohjataan. PLC:hen on liitetty kosketuspaneeli, joka toimii HMI-liityntänä käyttäjän suuntaan. Järjestelmää ohjataan suurelta osin kosketuspaneelista. Energiavarastolla on omat pääkontaktorit DC+ ja DC-. Akkukonverteria ES1 ja kontaktoreita DC3 ja DC4 ohjaa PLC sen analogisilla ja binaarisilla lähdöillä. Q2 on akkukonverterin pääkytkin. Järjestelmäohjaukseen syvennyttään paremmin myöhemmin tässä työssä.

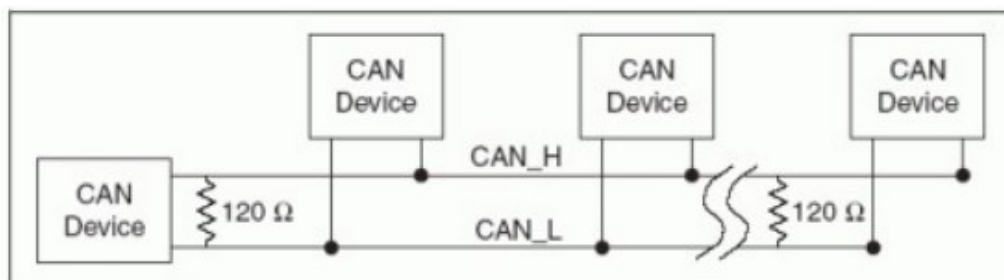
2 TEORIA

2.1 CAN-väylä

CAN-väylän historia alkaa jo 1986-vuodelta, kun Robert Bosch GmbH esitteli CAN-sarjaväyläjärjestelmän Society of Automotive Engineers -kongressissa. CAN-väylä kehitettiin alun perin ajoneuvokäyttöön, mutta se on levinnyt laajalti myös teollisuuteen. Nykyään CAN-väylä saattaa olla jopa eniten käytetty väylätyyppi maailmalla. (CiA n.d.a).

CAN-väylä on tiedonsiirtoväylä, jonka avulla esimerkiksi ajoneuvon moottorin, voimansiirron ja käyttöliittymän ohjausyksiköt voivat kommunikoida toisilleen. Fyysisesti CAN-väylä on parikaapelilinja, johon erilaiset laitteet liitetään. (Hietikko, Alanen & Tiusanen 1996, 8).

CAN-väylätyypit on jaettu kahteen pääkategoriaan: Low Speed CAN ja High Speed CAN. Nämä eri väylätyypit tunnetaan myös nimellä Low-CAN ja Hi-CAN. Low-CAN tarkoittaa alle 125 kbit/s nopeuden CAN-väyliä, ja Hi-CAN 40-1000 kbit/s nopeuden omaavia CAN-väyliä (National Instruments 2019a). Tässä opinäytetyössä keskitytään jälkimmäisenä mainittuun. Hi-CAN -väylään kytketään laitteita kuvan 3 mukaisesti.



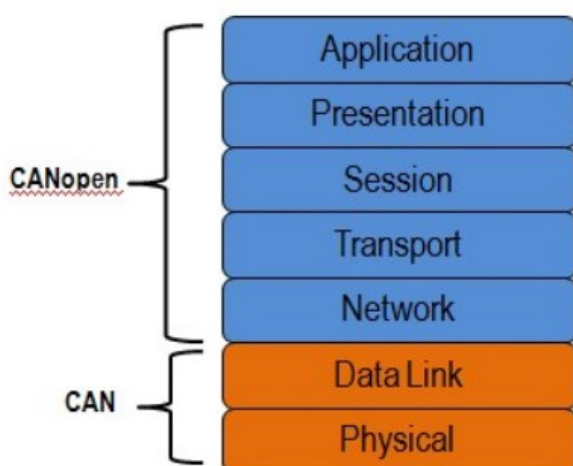
KUVA 3. Hi-CAN -väylän periaatekuva (National Instruments 2019a)

ISO 11898-2 standardi määrittelee Hi-CAN väylän maksiminopeudeksi 1 Mbps 40 metrin väyläpituudella, ja että väylään liitettyjen laitteiden maksimimäärä on 30. Kaapelin tulisi olla suojattua tai suojaamatonta kierrettyä parikaapelia 120 ohmin ominaisimpedanssilla. Väylän molempiin päätyihin tulisi liittää 120 Ohmin vastus, joka vastaa väyläkaapelin ominaisimpedanssia, jotta vältetään signaalien

heijastuksilta. Suurin suositeltu väyläkaapelin pituus terminointivastuksien jälkeen saisi olla maksimissaan 0,3 metriä. CAN-väylässä on kaksi johdinta: CANH ja CANL. Niin sanotussa resessiivisessä tilassa molempien johtimien jännite on 2,5 voltia, jolloin johtimien välinen jännite-ero on nolla voltia. Dominantissa tilassa CANH-johtimen jännite nousee 3,5 volttiin ja CANL-johtimen jännite laskee 1,5 volttiin. Tällöin johtimien välinen jännite-ero on 2 voltia. Kahden voltin jännite-ero johtimissa ilmaisee loogista nollaa ja nollan voltin jännite-ero loogista ykköstä. (Corrigan 2016, 4-7).

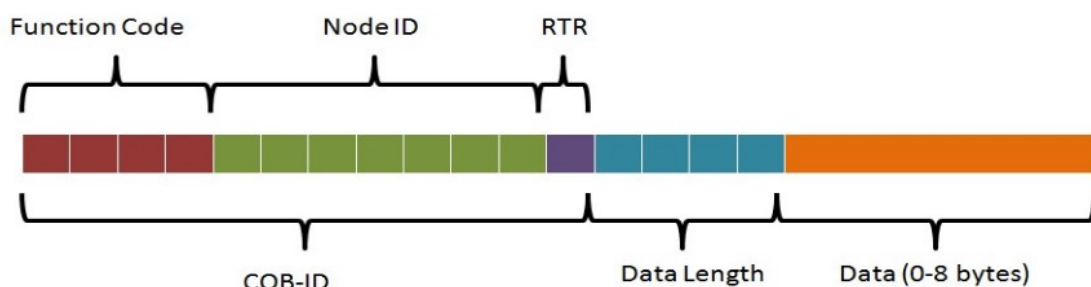
2.2 CANopen-protokolla

CANopen on ylemmän tason kommunikaatioprotokolla ja laitemäärittely, joka perustuu CAN-protokollaan. OSI-mallissa CAN määrittää fyysisen kerroksen ja datansiirtokerroksen. Nämä määrittävät käytännössä monellako johtimella väylä toimii, jännitteet, ja sen, että CAN on viestikehyksiin perustuva protokolla. CANopen sen sijaan määrittää OSI-mallin viisi muuta kerrosta eli verkko- (viestien lähettäminen/reititys), kuljetus- (kokonaisluotettavuus), yhteysjakso- (synkronisointi), esitystapa- (datan koodaus) ja sovelluskerroksen (konfigurointitapa jne.). (National Instruments 2019b). Kuvassa 4 näkyy CAN:n ja CANopen:n kattamat alueet OSI-mallista.



KUVA 4. CANopen ja CAN OSI-mallissa (National Instruments 2019b)

Kuten edellä jo mainittiin, CAN on viestikehyksiin perustuva väyläprotokolla. CANopen:n tapauksessa viestikehys rakentuu kuvan 5 mukaisesti.



KUVA 5. CANopen:n viestikehys (National Instruments 2019b)

Kuvassa 5 on mainittu opinnäytetyön kannalta hyvin oleellinen termi eli COB-ID. COB-ID koostuu tarkemmin ottaen CAN-ID:stä ja ohjausbiteistä. 11 bittinen CAN-ID sisältää kuvan mukaiset termit. Se sisältää neljä bittisen funktiokoodin ja seitsemän bittisen Node ID:n. (National Instruments 2019b).

Funktiokoodi kertoo viestin toiminnallisuuden, ja Node ID mille laitteelle viesti on osoitettu.

Koska Node ID on seitsemän bittinen, on sillä mahdolliset arvot välillä 0-127. Tämä rajoittaa CANopen-väylässä olevien laitteiden maksimimääräksi 127. (National Instruments 2019b). Kuvassa 5 nähdään myös neljä bittinen Data Length -kenttä, joka määrittää datan pituuden tavuina. Loput kahdeksan tavua ovat itse dataa. Funktiokoodin merkitys selviää kuvasta 6.

Pre-defined CAN-IDs		
Object	Specification	CAN-ID
NMT	CiA 301	000 _n
Global failsafe command	CiA 304	001 _n
Flying master	CiA 302-2	071 _n to 076 _n
Indicate active interface	CiA 302-6	07F _n
Sync	CiA 301	080 _n
Emergency	CiA 301	081 _n to 0FF _n (080 _n + node-ID)
Time stamp	CiA 301	100 _n
Safety-relevant data objects	CiA 301	101 _n to 180 _n
TPDO 1	CiA 301	181 _n to 1FF _n (180 _n + node-ID)
RPDO 1	CiA 301	201 _n to 27F _n (200 _n + node-ID)
TPDO 2	CiA 301	281 _n to 2FF _n (280 _n + node-ID)
RPDO 2	CiA 301	301 _n to 37F _n (300 _n + node-ID)
TPDO 3	CiA 301	381 _n to 3FF _n (380 _n + node-ID)
RPDO 3	CiA 301	401 _n to 47F _n (400 _n + node-ID)
TPDO 4	CiA 301	481 _n to 4FF _n (480 _n + node-ID)
RPDO 4	CiA 301	501 _n to 57F _n (500 _n + node-ID)
Default SDO server-to-client	CiA 301	581 _n to 5FF _n (580 _n + node-ID)
Default SDO client-to-server	CiA 301	601 _n to 67F _n (600 _n + node-ID)
Dynamic SDO request	CiA 302-5	6E0 _n
Node claiming procedure	CiA 416-1	6E1 _n to 6E3 _n
Node claiming procedure	CiA 416-1	6F0 _n to 6FF _n
NMT error control	CiA 301	701 _n to 77F _n (700 _n + node-ID)
Layer setting services	CiA 305	7E4 _n to 7E5 _n

KUVA 6. Ennalta määrätty CAN-ID:t (CiA 2011)

Kuvasta 6 nähdään, että CAN-ID on tietyllä lukuvälillä heksadesimaaleina riippuen siitä, mitä ollaan tekemässä. Jos esimerkiksi ollaan suorittamassa toimintoa RPDO1 (receive PDO1 eli vastaanota PDO1), vaihtelee viestin CAN-ID välillä 201-27F. Tässä tapauksessa lukuvälin pohjalla on funktiokoodi 200, joka tarkoittaa, että ollaan vastaanottamassa PDO1:stä. Luvun 200 päälle summataan Node ID, joka on heksadesimaalina välillä 1-7F, ja määrää kenelle viesti on tarkoitettu. Jos vastaanottavan laitteen Node-ID olisi yksi, muodostuisi CAN-ID:ksi heksadesimaalina 201.

Jos sen sijaan halutaan vastaanottaa PDO4, vaihtuu lukuväliksi 501-57F. Lukuvälin pohjalla on funktiokoodi 500, joka tarkoittaa, että ollaan vastaanottamassa PDO4:sta. Päälle summataan jälleen vastaanottavan laitteen Node ID. Jos vastaanottavan laitteen Node-ID olisi yksi, muodostuisi CAN-ID:ksi 501 heksadesimaalina. Näin CAN-ID saadaan eri tapauksissa laskettua.

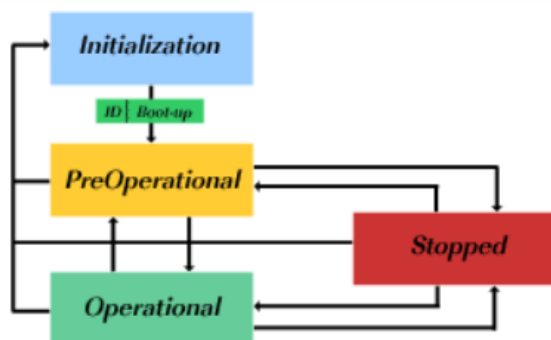
Tässä työssä keskitytään kuvassa 6 oleviin toiminnallisuuksiin, jotka liittyvät PDO:hin ja NMT:hen.

PDO eli Process Data Object on CANopen laitteen laitteen lähettämää tietoa. PDO voi sisältää maksimissaan kahdeksan tavua laitteen lähettämää tilatietoa, ohjaustietoa jne. (CiA n.d.b).

CANopen-väylän tietoliikennemalli on tyypillisesti Master/Slave -tyyppinen. Käytössä on myös Producer/Consumer - ja Client/Server -tietoliikennemallit. Master/Slave -mallissa yksi CANopen-väylän Node:ista on Master, joka hoitaa verkohallinnan eli NMT:n. Loput Node:ista ovat Slave-tyyppisiä. (Phoenix Contact 2019).

Tässä työssä keskitytään Master/Slave -tietoliikennemalliin. Tässä tietoliikennemallissa viestien lähettäminen ja vastaanottaminen ajatellaan aina Slave-tyyppisen laitteen näkökulmasta (Koppe 2003, 3). Eli jos Master-tyyppinen laite on lähettämässä PDO1:stä Slave-laitteelle, on tämä Slave-laitteen näkökulmasta PDO1:sen vastaanottamista. Tämä tarkoittaa myös sitä, että viestin CAN-ID nimitetään kuvasta 6 RPDO1 (vastaanota PDO1) mukaisesti.

NMT eli Network Management on tilakone, jota kaikkien CANopen Slave-laitteiden on tuettava (CiA n.d.c). NMT-tilakone koostuu kuvan 7 mukaisista tiloista.



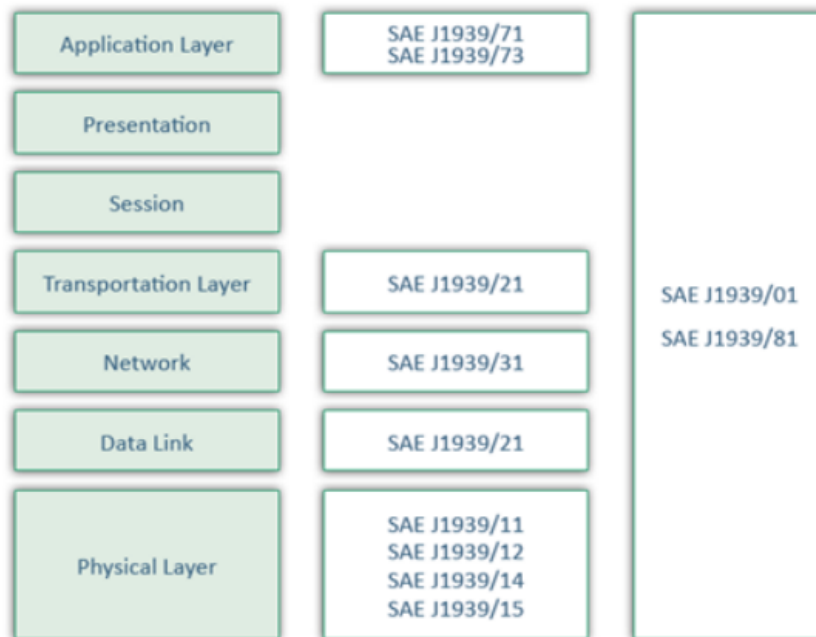
KUVA 7. NMT-tilakone (CiA n.d.c)

CANopen-väylässä NMT:tä hoitaa Master. Kun väylän Slave-laitteet kytketään päälle tai ne resetoidaan, menevät ne kuvan 7 mukaiseen Initialization-tilaan. Initialisoinnin aikana laitteet määrittävät omat parametrinsa automaattisesti. Kun initialisointi on suoritettu kullakin laitteella, lähettävät ne väylään Boot-up -viestin, joka tarkoittaa kyseisen laitteen olevan valmis menemään operationaaliseen tilaan. Samalla laitteet menevät esioperationaaliseen tilaan (kuvassa 7 PreOperational). (CiA n.d.c).

Tämän jälkeen Master voi lähettää väylään NMT-viestin, joka pakottaa kaikki väylän laitteet menemään operationaaliseen tilaan. Tämän viestin CAN-ID on 0, kuten myös kuvasta 6 voidaan nähdä. Tämän jälkeen laitteet ovat valmiita viestintään. Master voi pakottaa laitteet mihin tahansa kuvan 7 tilaan esioperationaalisesta tilasta ja operationaalisesta tilasta.

2.3 SAE J1939 -protokolla

SAE J1939 on International Society of Automotive Engineers eli SAE:n määrittelemä väyläprotokolla. Se perustuu CAN-väyläprotokollaan. Sitä käytetään paljon rekoissa, perävaunuissa ja työkoneissa. SAE J1939 -protokollassa CAN-ID on laajennettu 11 bitistä 29 bittiin. Protokolla määrittää OSI-mallista viisi kerrosta kuvan 8 mukaisesti. (HMS Networks n.d).



KUVA 8. SAE J1939 OSI-mallissa (HMS Networks n.d.)

SAE J1939 -protokolla on jaettu moneen eri dokumenttiin OSI-mallin mukaisesti (HMS Networks n.d). HMS Networks:n (n.d) mukaan dokumentit määritellään seuraavasti:

Fyysinen kerros:

SAE J1939/11:

Määrittää väyläkaapeliksi ISO 11898 -standardin mukaan suojatun ja kierretyn parikaapelin, jossa on maajohdin. Tiedonsiirtonopeus on 250 kbit/s. Maksimi laitteiden määrä väylässä on 30, ja maksimi väyläkaapelin pituus on 40 metriä.

SAE J1939/12:

Määrittää vaihtoehtoiseksi väyläkaapeliksi neljä johtimisen kaapelin ja lisää aktiivisen terminoinnin mahdollisuuden. Tämä poistaa kaapelinsuojapunoksen tarpeen, jolloin voidaan käyttää halvempia kaapeleita.

SAE J1939/14:

Kaksinkertaistaa tiedonsiirtonopeuden 500 kilobittiä per sekuntiin.

SAE J1939/15:

Lisää suojaamattoman ja kierretyn parikaapelin käyttömahdollisuuden, jos väylässä on alle 10 ECU:a.

Datansiirtokerros:

Määrittää väylän kommunikoinnin CAN 2.0B:hen perustuvaksi. CAN 2.0B tarkoittaa, että CAN-ID on pidennetty 11 bitistä 29 bittiin. 11 bitistä CAN-ID:tä käytetään vain, jos on vaarana, että moni laite voi käyttää samaa CAN-ID:tä.

Verkkokerros:

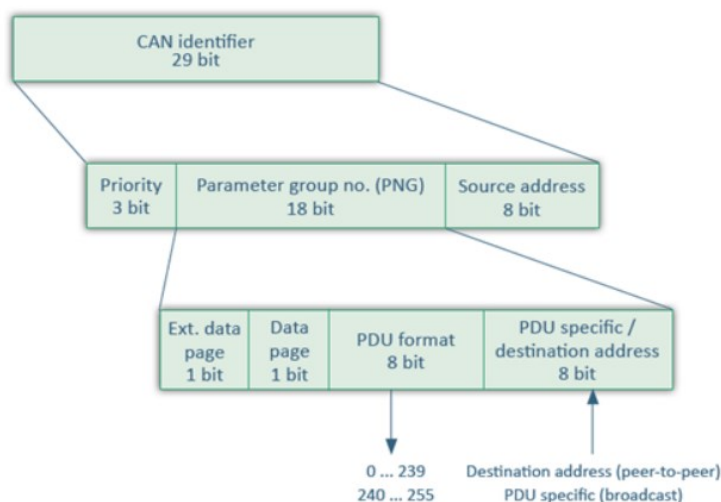
Kuvaa olennaisesti sillan toiminnallisuutta kahden eri verkkosegmentin välillä. Sillassa olevien suodatintoimintojen ansiosta tämä vähentää viestiliikennettä esimerkiksi traktorin ja sen perävaunun välillä.

Sovelluskerros:

Kuvaa väylässä liikkuvien viestimuuttujien lukuväliä, tarkkuutta, mitayksikköä ja välitystapaa. Jokainen viesti on määritelty erikseen PGN-luvulla.

Esitystapa- ja yhteysjaksokerrosta ei määritellä, sillä SAE J1939 protokollassa ei tarvita kyseisiä kerroksia.

SAE J1939 -väyläprotokollan viestit perustuvat CAN 2.0B määrittelyyn, eli se käyttää laajennettua viestikehystä. Tämä tarkoittaa, että 11 bittisen CAN-ID:n sijaan se käyttää 29 bittistä CAN-ID:tä. SAE J1939 määrittelee CAN-ID:n kuvan 9 mukaisesti. (HMS Networks n.d).



KUVA 9. 29-bittinen CAN-ID (HMS Networks n.d.)

Kuvasta 9 CAN-ID:n kolme ensimmäistä bittiä (Priority) merkitsevät viestin prioriteettia. Prioriteetilla voidaan varmistaa, että tärkeät viestit lähetetään ennen pienempi prioriteettisia viestejä. Luvulla nolla on suurin prioriteetti. Seuraavat 18 bittiä merkitsevät PGN:ää eli parametrijoukonumeroa. 18 bitistä ensimmäinen ja toinen bitti määrittävät minkälaista parametrijoukkoa viesti käyttää. Nämä kaksi bittiä määrittävät neljä erilaista parametrijoukkoa, jotka näkyvät taulukossa 1. (HMS Networks n.d).

SAE J1939 -protokollaa käytettäessä molemmat bitit ovat miltei aina nollija, koska protokollassa käytetään luonnollisesti SAE J1939 parametrijoukkoa, kuten taulukosta 1 nähdään.

TAULUKKO 1. Bittien määrittämät neljä parametrijoukkoa (HMS Networks n.d., muokattu)

Ext. data page	Data page	Kuvaus
0	0	SAE J1939 parametrijoukko
0	1	NMEA2000 määrittämä
1	0	SAE J1939 (varaus)
1	1	ISO 15765-3 määrittämä

8 bittinen PDU format -kenttä määrittää onko viesti tarkoitettu tietylle laitteelle, vai onko se tarkoitettu kaikille laitteille. Jos PDU format -kenttä on lukuarvoltaan pienempi kuin 240, on viesti tarkoitettu tietylle laitteelle. Jos se on taas yhtä suuri tai suurempi kuin 240, on se tarkoitettu kaikille laitteille. Jos viesti on tarkoitettu tietylle laitteelle, määrittää 8 bittinen PDU specific -kenttä vastaanottavan laitteen kohdeosoitteen. Tällöin PDU specific -kenttää voidaan sanoa myös kohdeosoitekentäksi. Jos viesti on tarkoitettu kaikille laitteille, toimii PDU specific -kenttä joukkolaajennuksena mahdollisille ylimääräisille Broadcast-viesteille. Tällöin kenttää voidaan kutsua joukkolaajennuskentäksi. Viimeiset kahdeksan bittiä kuvassa 9 merkitsevät lähettävän laitteen lähdeosoitetta (Source address). (HMS Networks n.d).

Erilaisia parametrijoukkoja voidaan PGN:llä määrittää yhteensä 8672. Jokaiselle parametrijoukkonumerolle löytyy SAE J1939-71 -dokumentista selitys siitä, mitä dataa viesti sisältää, skaalauksen, resoluution, offsetin, datatyyppin ja lukuvälin. (Axiomatic 2006).

Alla on esimerkki yhdestä parametrijoukkonumerosta (HMS Networks n.d).

Parametrijoukkonumero eli PGN: 65262 (FEEE heksadesimaalina)

Kuvaus datasta:

Tavu 1: Moottorin jäähdytysnesteen lämpötila

Tavu 2: Polttoaineen lämpötila

Tavu 3 ja 4: Moottoriöljyn lämpötila

Tavu 5 ja 6: Turbon lämpötila

Tavu 7: Moottorin välijäähdyttimen lämpötila

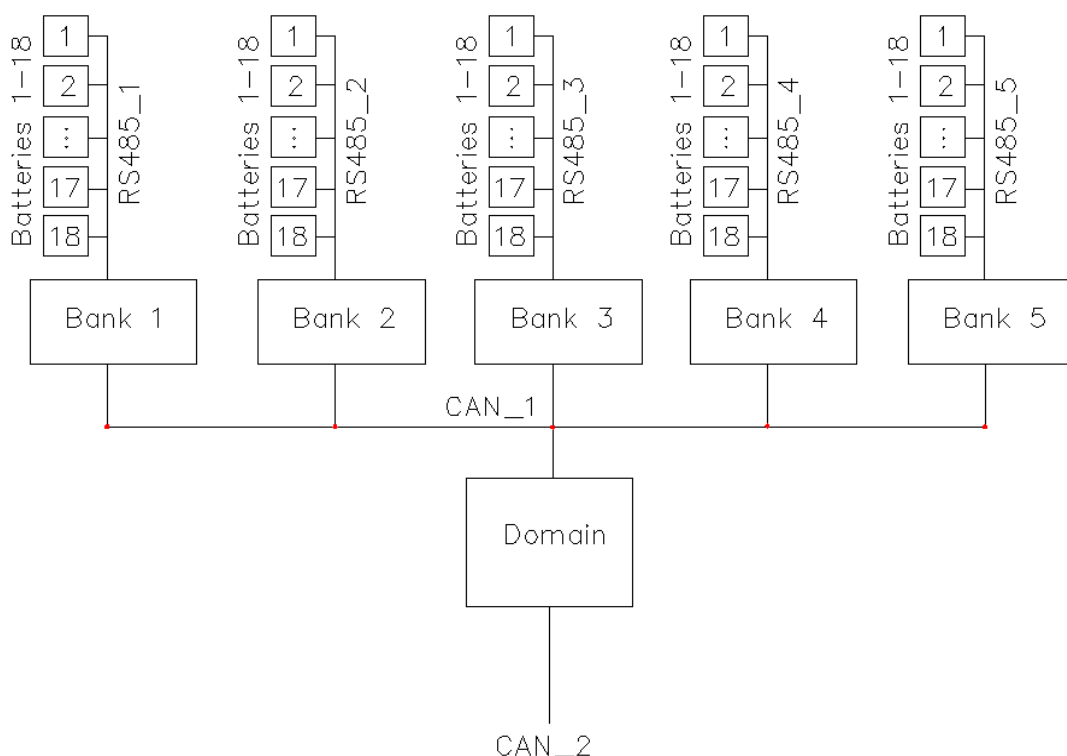
Tavu 8: Ei määritelty

SAE J1939 -viestien datan pituudet ovat tyypillisesti 8 tavua, sillä CAN-väylien suurin sallittu datan pituus on 8 tavua. Muitakin datan pituuksia kuitenkin joskus käytetään esimerkiksi kolmea tavua. (Barr Group 2016).

3 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

3.1 Energiavarasto

Energiavarastossa on viisi eri akkuhyllyä, jotka koostuvat 18:sta pienemmästä sarjaan kytketystä akkumoduulista. Jokaisella moduuleista on integroituna moduulin runkoon oma LIBM eli Lithium Ion Battery Monitor, joka mittaa ja laskee akkumoduulin tiedot kuten akun jännitteen, varausprosentin ja lämpötilan. Moduulit käyttävät tiedonsiirtoväylänään RS485-väyläprotokollaa välittääkseen oman LIBM:nsa tiedot eteenpäin. Jokainen saman hyllyn 18 akusta (kuvassa 10 Batteries 1-18) on kytketty samaan RS485 väylään (kuvassa 10 RS485_1-RS485_5), jolloin samassa väylässä kulkee aina kunkin hyllyn akkujen tiedot. Koska akkuhyllyjä on viisi, on erillisiä RS485-väyliä myös viisi. RS485-väyläprotokollaan ei ole tarpeellista tutustua tässä työssä.



KUVA 10. Energiavaraston väyläliikenteen periaatekuva

Jokaisella hyllyllä on siis oma RS485 väylänsä. Jokaisen hyllyn RS485-väylään on kytketty vielä kyseisen hyllyn tiedot kokoava LIBM-kortti (kuvassa 10 Bank 1 - Bank 5). LIBM-kortti monitoroi oman hyllynsä akkuja, kokoaa niiden tiedot

RS485-väylästä ja laskee hyllykohtaiset arvot (esim. hyllyn kokonaisjännite, vaarausprosentti, lämpötilat ja virta). Sen jälkeen se lähettää ne kootusti CAN-väylää (kuvassa 10 CAN_1) pitkin Domain-kortille. Jokainen hylly tekee samoin, jolloin Domain-kortilla on tiedot käytännössä jokaisesta hyllystä ja niiden akuista. Domain-kortti toimii koko energiavaraston LIBM:na. Domain-kortti lähettää edellä mainitut tiedot kootusti ja hieman tiivistetympänä edelleen toiseen CAN-väylään (kuvassa 10 CAN_2). Näin ollen energiavarastossa on käytännössä kaksi erillistä CAN-väylää, joista voi lukea tietoa.

Toisessa väylässä kulkee Domain-kortin ja hyllyjen LIBM-korttien väliset tiedot ja toisessa taas käyttäjän ja Domain-kortin väliset tiedot. Jälkimmäisenä mainittu väylä on energiavaraston ohjauksen kannalta tärkeämpi. Energiavaraston CAN-väylien tiedonsiirtonopeus on 250 kbps, ja väyläprotokolla on CAN2.0B. (Kalmar 2015, 3). Kalmar:n Communication Specifications Document (2015) -dokumentissa ei tarkemmin kerrota väyläprotokollasta, mutta Kalmar-yrityksen vieraillessa Tampereen Ammattikorkeakoululla, he kertoivat protokollan olevan SAE J1939.

3.2 Energiavarasto saarekekäytössä

Energiavaraston ohjausjärjestelmässä on kaksi merkittävää haastetta, joille täytyisi löytää jokin ratkaisu. Ensimmäinen näistä ilmenee, jos HESS-järjestelmällä aiotaan luoda saarekeverkko pelkän energiavaraston avulla. Tällöin ohjausjärjestelmä ei saa apujännitettä, ennen kuin energiavaraston pääkontaktori on sulkeutunut. Apujännitteet muunnetaan HESS-järjestelmässä DC/DC-muuntimilla järjestelmän korkeimmasta tulojännitteestä, ja jos energiavarasto on ainut energianlähde, joka on järjestelmässä kiinni, muunnetaan apujännitteet energiavaraston jännitteestä. Ja toisaalta taas energiavaraston pääkontaktori täytyy sulkea apujännitettä käyttävällä ohjausjärjestelmällä, mutta apujännitteet saadaan vasta, kun pääkontaktori on sulkeutunut. Jostain täytyisi siis saada tilapäinen apujännite, ennen kuin energiavaraston pääkontaktori sulkeutuu.

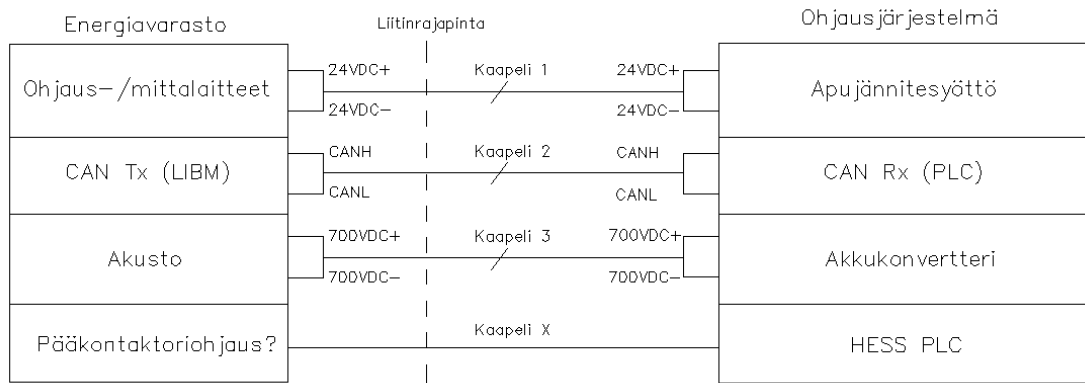
3.3 Välikaapelointi ja energiavaraston ohjaus

Toinen haaste liittyy energiavaraston ja ohjausjärjestelmän väliseen kommunikointiin/kaapelointiin. Energiavaraston väyläliikenne ja mittaukset käynnistyvät, jos energiavarastoon kytketään apujännitteet päälle. Apujännitteiden kytkeminen ei aiheuta kuitenkaan vielä energiavaraston pääkontaktorin vetämistä. Energiavarastolla ei ole omaa apujännitesyöttöjärjestelmää, joten apujännitteet täytyy tehdä jossain muualla esimerkiksi ohjauskeskuksessa. Apujännitteitä ei ole kannattavaa muuntaa energiavaraston omasta akkujännitteestä, sillä apujännitettä tulisi pystyä kytkemään ohjauksella päälle/pois etäältä ohjausjärjestelmästä. Sen lisäksi energiavarastossa on muutoinkin vähän tilaa tällaisille lisäyksille. Energiavaraston väyläliikenne on yksisuuntaista eli pelkästään energiavarastolta käyttäjälle. Näin ollen ohjausjärjestelmän ei ole mahdollista lähettää väylää pitkin energiavarastolle minkäänlaista käskyä esimerkiksi pääkontaktorin ohjausta.

Energiavarasto tulisi sijoittamaan eri tilassa kuin sitä ohjaava ohjausjärjestelmä, ja niiden välisien kaapeleiden tulisi olla pistokeliittimillä liitettäviä. Työn tarkoituksena oli tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja toimiva ohjausjärjestelmä energiavarastolle, ja minimoida kaapelien määrä energiavaraston ja sitä ohjaavan järjestelmän välillä. Energiavarastolta tulisi varmasti ainakin tehonsiirtokaapeli sen omalle konvertterille, joka sijaitsee samassa paikassa muun ohjausjärjestelmän kanssa. Tehonsiirtokaapelista ei voi kuitenkaan ohjata energiavaraston pääkontaktoria. Energiavaraston n. 700 voltin akustojännite on muutoinkin ns. ”kelluva” energiavaraston ohjausjärjestelmän 24 voltin jännitteeseen nähden, ja näiden kahden jännitteen negatiivisia napoja ei tulisi yhdistää, joten tehonsiirtokaapelin negatiivista johdinta ei saa käyttää apujännitteen negatiivisena johtimena. Apujännite täytyy näin ollen viedä energiavarastolle omalla kaapelillaan. Apujännitekaapelissa tarvitsee olla kaksi johdinta, sillä siinä täytyy viedä apujännitteen negatiivinen ja positiivinen napa.

Tehonsiirtokaapelin ja apujännitekaapelin lisäksi tulisi myös väyläkaapeli, mutta silläkään ei voida ohjata pääkontaktoria, koska väyläliikenne on vain energiavarastolta ohjausjärjestelmään päin. Näin ollen ohjausjärjestelmän ja energiavaraston välille tulisi ainakin kolme eri kaapelia, ellei joitain edellä mainittuja toiminnallisuksia saada yhdistettyä samaan kaapeliin. Lisäksi pääkontaktorin ohjaaminen

vaatisi vielä jonkinlaisen ohjaussignaalin. Kaapelien määrän lisäämistä tulisi kuitenkin välttää, jottei pistokeliittimillä liitettäviä kaapeleita olisi epäkäytännöllisen suuri määrä. Alla oleva kuva 11 havainnollistaa ohjausjärjestelmän ja energiavaran välistä mahdollista kaapeloinnin tarvetta.

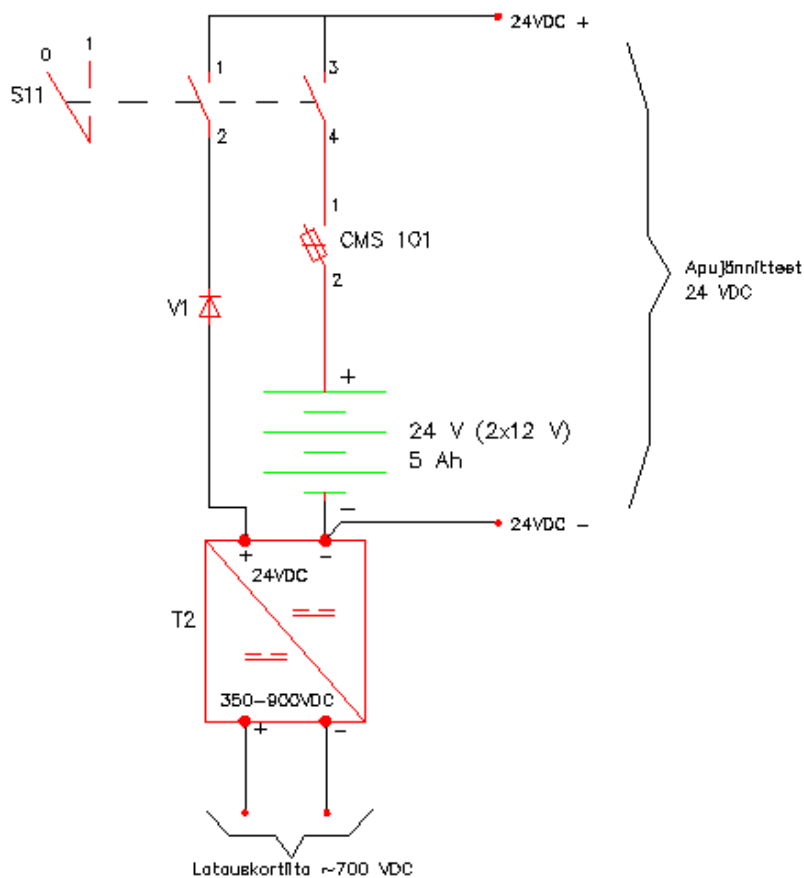


KUVA 11. Mahdollinen kaapeloinnin tarve

4 TYÖN TOTEUTUS

4.1 Saarekekäytön apujännitteet

Saarekekäytön apujännitteet päädyttiin tuottamaan työssä siten, että ohjausjärjestelmään tuli pieni lisäakusto syöttämään apujännitettä siihen asti, kunnes energiavaraston pääkontaktori sulkeutuu. Alla oleva kuva 12 havainnollistaa ratkaisua.



KUVA 12. Apujännitesyöttö

Kuvassa 12 alimpana nähdään energiavarastolta tuleva jännite DC/DC-muuntimen T2 yläjännitepuolelle. Tämä jännite saadaan käyttöön vasta, kun energiavaraston pääkontaktori on ohjattu kiinni. Näin ollen myös muuntimen alajännitepuoli tulee jännitteiseksi vasta kontaktorihjauksen jälkeen. Sitä ennen apujännitteet saadaan kuvan 12 mukaisesti 24 voltin akustolta. Akuston kapasiteetti on vain

viisi ampeerituntia, mutta se on riittävä, sillä akustosta otetaan hyvin lyhyen aikaa energiaa.

DC/DC-muuntimen positiiviseen napaan on kytketty diodi päästösuuntaan akuston positiivista napaa kohti, joka estää akuston purkautumisen DC/DC-muuntimeen päin tilanteissa, joissa akuston jännite on muuntimen jännitettä huomattavasti suurempi, tai muunnin on vielä jännitteetön. Kun energiavaraston pääkontaktori on kiinni, saadaan myös DC/DC-muuntimelta apujännitteet, jolloin 24 voltin akuston on mahdollista latautua, jos akuston jännite on DC/DC-muuntimen jännitettä pienempi. Toki edellä mainittuihin asioihin vaikuttaa diodin V1 kynnysjännite, mutta sen suuruus on vain 0,3 voltia diodin nimellisellä virralla, joten vaikutus on sinällään melko pieni. Akuston ja muuntimen tuottama jännite voidaan kytkeä ja katkaista nokkakytkimellä S11, joka ohjaa koko järjestelmän apujännitteitä.

4.2 Energiavaraston ohjausjärjestelmän toteutus

Ohjausjärjestelmän ja energiavaraston väliseen kaapelointiin liittyvä haaste päädyttiin ratkaisemaan työssä siten, että niiden välille tulisi ainoastaan yksi kaapeli. Välikaapelina käytettäisiin Kiinassa sähköautojen DC-pikalatauskaapelina tunnettua GB/T-latauskaapelia liittiminen. GB/T-urosliitin näkyy kuvassa 13.



KUVA 13. GB/T-urosliitin (Phoenix Contact 2019a)

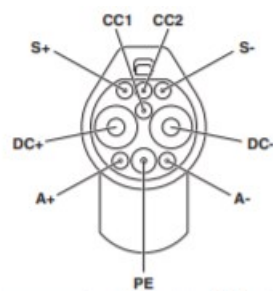
GB/T-naarasliitin näkyy puolestaan kuvassa 14.



KUVA 14. GB/T-naarasliitin (Phoenix Contact 2019b)

GB/T-urosliittimen pinnijärjestys on kuvan 15 mukainen.

2



		...80A...	...125A...	...180A...	...250A...
DC+	BN	16 mm ²	35 mm ²	50 mm ²	70 mm ²
DC-	BU	16 mm ²	35 mm ²	50 mm ²	70 mm ²
PE	GNYE	16 mm ²	25 mm ²	25 mm ²	25 mm ²
A+	OG	4 mm ²			
A-	GY	4 mm ²			
S+	VT	0,75 mm ²			
S-	YE	0,75 mm ²			
CC1	WH	0,75 mm ²			
CC2	-	-			
Lock+	WHRD	0,75 mm ²			
Lock-	WHYE	0,75 mm ²			
Temp1+	WHVT	0,75 mm ²			
Temp2+	WHGN	0,75 mm ²			
Temp-	WHGY	0,75 mm ²			
Lock Detection +	WHOG	0,75 mm ²			
Lock Detection -	WHBN	0,75 mm ²			
SPower+ (12 V)	WHBU	0,75 mm ²			
SPower-	WHPK	0,75 mm ²			

KUVA 15. GB/T-urosliittimen pinnijärjestys (Phoenix Contact 2019a)

Kuvasta 15 nähdään, että liittimessä on kaksi päävirtapinniä: DC+ ja DC-. Nämä kaksi pinniä kytkeytyvät tässä työssä energiavaraston akuston päävirtaliittimiin naaraspuolisen GB/T-liittimen kautta. Päävirtapinnien johtimien poikkipinta-alan voi valita kolmesta eri vaihtoehdosta. Akkukonvertterille oli jo ennestään asennettu energiavaraston puolelle 25 neliömillimetrin poikkipinta-alaiset johtimet, joten valitaan kuvasta 15 vastaava tai suurempi poikkipinta-ala eli 35 neliömillimetriä.

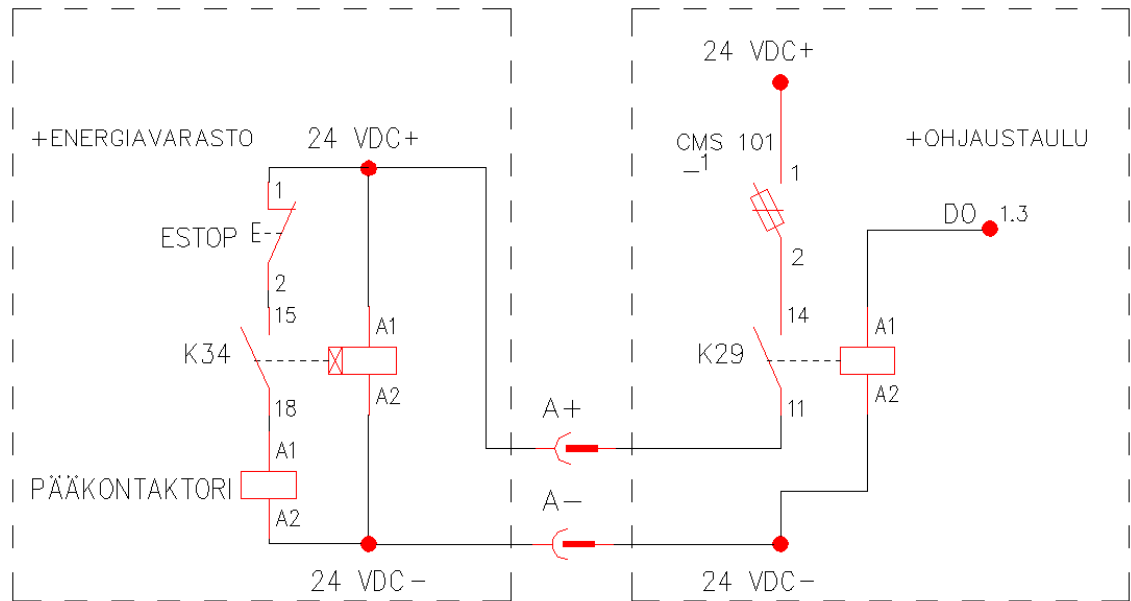
Kuvasta 15 nähdään myös ohjauspinnit "A+" ja "A-" joita käytetään tässä työssä 24 voltin apujännitteiden viemiseen energiavarastolle. Ohjauspinnien "A+" ja "A-" johtimien poikkipinta-ala on kuvan 15 mukaan 4 neliömillimetriä. Valmistaja ei mainitse johtimien kuormitettavuutta. Kaapeleita ja johtimia valmistava SAB Bröckskes (n.d) lupaa yleisesti kuitenkin kyseiselle poikkipinta-alalle kuormitettavuudeksi n. 34 ampeeria. Energiavaraston oma ohjausjärjestelmä ottaa virtaa pääkontaktori vetäneenä n. 2,5 ampeeria, joten "A+" ja "A-" pinnit/johtimet ovat tähän työhön jopa reilusti ylimitoitettut.

CAN-väylän kaksi johdinta viedään GB/T-kaapelin pinnien "S+" ja "S-" kautta. Näiden kahden pinnin johtimet ovat Phoenix Contact:n (2019a) mukaan parikierretty kaapelissa. CAN-väylän johtimet kuuluisikin olla parikierretty väyläkaapelissa, joten kaapeli on tähän työhön sopiva.

Kaapelissa/liittimessä on myös "PE"-pinni, jota voidaan käyttää suojamaan viemiseen energiavarastolle. Vapaiksi pinneiksi jäävät vielä "CC1"- ja "CC2"-pinnit, jotka voidaan jättää vapaiksi tulevaisuuden laajennuksia varten. GB/T-uroslitiin voidaan myös halutessa lukita naarasliittimeen mukana tulevalla sähköisellä toimilaitteella, mikäli lukitus koetaan tarpeelliseksi.

GB/T-liittimellä/-kaapelilla saatiin näin ollen yhdistettyä päävirtakaapeli, apujännitekaapeli ja väyläkaapeli yhdeksi ja samaksi liittimeksi/kaapeliksi. Tällöin ohjausjärjestelmän ja energiavaraston välille tulisi ainoastaan GB/T-kaapeli.

Seuraavaksi käydään läpi, miten energiavaraston pääkontaktoria voidaan ohjata turvallisesti pelkästään 24 voltin apujännitteellä, joka viedään GB/T-kaapelin "A+" ja "A-" pinnien/johtimien avulla energiavarastolle. Kuva 16 on periaatekuva energiavaraston pääkontaktorin ohjauksesta.



KUVA 16. Pääkontaktorin ohjauksen periaatekuva

Kuvassa 16 oikealla puolella on rajattu katkoviivalla ohjaustaulu, jossa HESS:n PLC, apureleet ja apujännitelähteet sijaitsevat. Kuvassa 16 vasemmalla puolella on rajattu katkoviivalla energiavarasto, jossa energiavaraston pääkontaktori ja apureleet sijaitsevat. Kuvan keskellä näkyvät myös GB/T-ohjauspinnit "A+" ja "A-". Ohjaustaulun apujännitteen negatiivinen napa on viety suoraan energiavaraston apujännitteen negatiiviseksi navaksi, kuten kuvasta 16 näkyy. Apujännitteen positiivinen napa on sen sijaan viety energiavarastolle sulakkeen CMS 101_1 ja releen K29 koskettimien kautta. K29 relettä ohjaa HESS:n PLC digitaalisella ulostulollaan DO1.3.

Kun HESS:n PLC kytkee K29 releen kiinni, kytkeytyy positiivinen napa myös energiavarastolle. Energiavarastolla on vetohidasteinen rele K34, jonka 10 sekunnin vetohidastus alkaa välittömästi. Tämän kymmenen sekunnin aikana HESS:n PLC yrittää vastaanottaa CAN-väylästä viestejä, jotka energiavarasto lähettää (esim. varaustila, jännite jne.). Jos väyläliikenne toimii n. kahdeksan sekunnin jälkeen, ja PLC ei vastaanota vika- tai hälytysviestejä energiavarastolta, jättää se apujännitteet päälle, jolloin 10 sekunnin kohdalla vetohidasteinen rele K34 vetää. Kun rele K34 vetää, vetää se energiavaraston pääkontaktorin kiinni.

Jos väyläliikenne sen sijaan ei toimi kahdeksan sekunnin kohdalla, tai PLC vastaanottaa vika- tai hälytysviestejä energiavarastolta, avaa PLC releen K29, jolloin

apujännitteet poistuvat energiavarastolta. Katkaisu tapahtuu tällöin n. kaksi sekuntia ennen kuin pääkontaktori sulkeutuisi. PLC voi avata releen K29 milloin tahansa muulloinkin, jos kokee sen tarpeelliseksi. Tällä tavoin energiavarasto saa kahdella johtimella apujännitteen ja pääkontaktorin ohjauksen turvallisuuden huomioonottavasti.

GB/T-liittimessä on myös se etu, että jos sen ottaa irti pistokkeesta, katkeaa energiavarastolta apujännitesyöttö, jolloin pääkontaktori aukeaa energiavarastolla välittömästi. Tällöin liittimet/kaapelit eivät voi olla koskaan jännitteisiä, jos pistokeliintä ei ole liitetty. Tämä edellyttää kuitenkin, että pääkontaktori toimii normaalisti. Tämä on tärkeä turvallisuusominaisuus käyttäjän kannalta. Energiavaraston ohjaukseen perehdytään paremmin myöhemmin tässä työssä.

4.3 Energiavaraston väyläliikenne

Väyläyhteyden rakentaminen energiavaraston ja PLC:n välille aloitettiin mittamalla energiavaraston CAN-väylää Kvaser-merkkisellä tiedonkerääjällä, jotta nähdään mitä väylässä oikeasti liikkuu, ja että protokolla on varmasti SAE J1939. Tiedonkerääjä liitettiin suoraan energiavarastossa olevaan vapaaseen D-SUB9 -liittimeen, joka on kytkettynä energiavaraston CAN_2-väylään. Tässä väylässä liikkuu Domain-kortin lähettämät tiedot. Tiedonkerääjän asetuksista piti valita, että luettava väyläprotokolla on SAE J1939 ja tiedonsiirtonopeus 250 kbps, jolloin se tulkitsi viestit oikein. Dataa mitattiin väylästä muutama minuutti, jonka jälkeen mittauksesta tehtiin tekstitiedosto. Tekstitiedostoa luettaessa huomattiin, että väylään tulee 19 eri PGN:n omaavaa viestikehystä noin sekunnin välein. Taulukossa 2 on näkyvä osa tekstitiedostosta taulukkomuodossa ja edellä mainitut 19 eri viestikehystä, joilla on eri PGN. Jokainen näistä kehyksistä tulee sekunnin välein (Kalmar 2015, 35).

TAULUKKO 2. Väylän viestikehykset

Timestamp	PGN	L	Data
8.331000	1ffffb70x	8	02 4c 05 05 00 00 00 15
8.333000	1ffffb71x	8	95 f6 94 16 02 4d 02 4c
8.335000	1ffffb72x	8	1a e8 1a e7 1a e7 15 14
8.337000	1ffffb73x	8	00 03 00 01 00 00 95 74
8.339000	1ffffb80x	7	02 4c 00 02 15 14 14
8.341000	1ffffb81x	8	95 e2 94 16 95 74 1a e7
8.343000	1ffffb82x	8	48 b4 20 00 00 00 00 00
8.347000	1ffffb90x	7	02 4c 00 00 15 14 14
8.349000	1ffffb91x	8	95 d8 94 20 95 74 1a e7
8.351000	1ffffb92x	8	48 b4 20 00 00 00 00 00
8.355000	1ffffba0x	7	02 4c 00 02 15 14 15
8.357000	1ffffba1x	8	95 f6 94 5c 95 74 1a e7
8.359000	1ffffba2x	8	48 b4 20 00 00 00 00 00
8.363000	1ffffbb0x	7	02 4d 00 03 15 14 15
8.365000	1ffffbb1x	8	95 d8 94 20 95 7e 1a e8
8.367000	1ffffbb2x	8	48 b4 20 00 00 00 00 00
8.371000	1ffffbc0x	7	02 4c 00 00 15 15 15
8.373000	1ffffbc1x	8	95 d8 94 34 95 74 1a e7
8.375000	1ffffbc2x	8	48 b4 20 00 00 00 00 00

Taulukossa 2 esiintyvät PGN:t löytyvät myös Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 41) -dokumentin taulukosta 5.3, jossa kerrotaan mitä mikäkin viestikehys sisältää. PGN:t löytyvät dokumentin taulukosta 5.3 sarakkeesta "CAN ID Initial Value Extended". Se mitä tietoa mikäkin PGN sisältää, kerrotaan sarakkeessa "Data Summary".

Dokumentin taulukosta 5.3 nähdään, että taulukon 2 neljä ylintä viestiä sisältävät energiavaraston D1-D4 tiedot. Kaikki loput taulukon 2 viestit sisältävät hyllykohtaisia tietoja, eli kunkin hyllyn B1-B3 tiedot. Energiavaraston hallinnan kannalta hyllyjen B1-B3 tiedot eivät ole niin olennaisia, sillä ne kertovat hyvin tarkasti jokaisen hyllyn tiedot erikseen. D1-D4 tiedoissa on esitetty hyllyjen tietojen ääripäät ja keskiarvot, jotka riittävät tässä työssä hyvin. Näistä tiedoista kertovat tarkemmin Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 19-20) -dokumentin taulukot 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 ja 4.3.4

Taulukoista voidaan nähdä, missä viestin tavuissa mikäkin tieto sijaitsee ja mikä on skaalauskerroin ja lukuväli. Kaikkien viestien tiedot ovat reaaliaikaisia. D1 viestistä löytyy varausprosentti eli SOC, hyllyjen määrä, käytössä olevien hyllyjen määrä, vikatiedot, tilaliput ja akuston keskiarvolämpötila. D2 viestistä löytyy maksimi- ja minimijännite, sekä maksimi- ja minimivarausprosentti yksittäiselle 3,6

voltin akulle, joka sillä hetkellä energiavarastosta löytyy. D3-viestistä löytyy maksimi-, keskiarvo- ja minimijännite hyllyille ja minimi- ja maksimilämpötilat akuille. D4-viestistä löytyy hyllyjen maksimi-, minimi- ja keskiarvovirta ja 3,6 voltin akkujen keskiarvojännite.

Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 27-28) -dokumentissa ei ole ilmoitettu tähän työhön hyödyllisiä viestejä, joita käyttäjä voisi lähettää energiavarastolle. Dokumentissa on ainoastaan ilmoitettu, että käyttäjä voi lähettää päivänmäärä ja kellonaikatietoja energiavarastolle, mutta niistä ei hyödytä lainkaan järjestelmäohjauksen kannalta. Käyttäjä voi myös lähettää historia- ja vikatietojen nollaavia viestejä energiavarastolle.

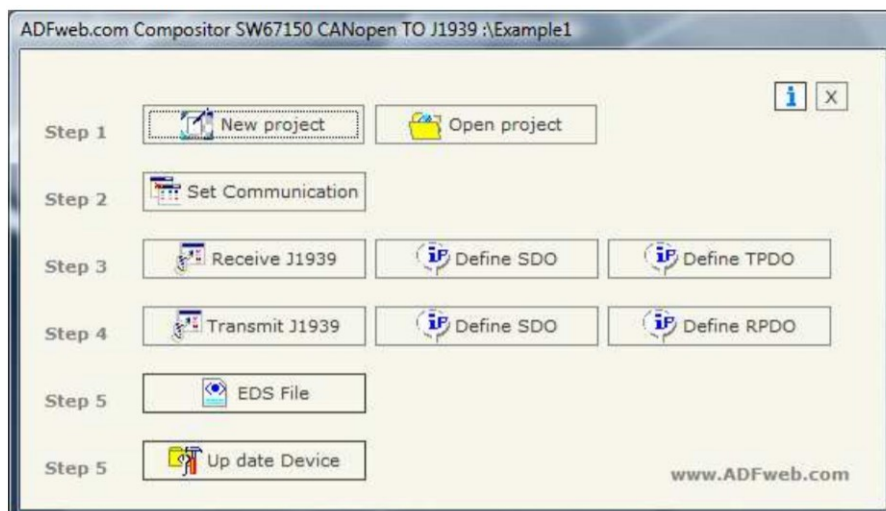
4.4 Protokollamuunnos

Energiavarasto käyttää SAE J1939 -protokollaa. PLC:ssä joka ohjaa HESS-järjestelmää, oli valmiina CANopen-moduuli, jolloin se lukee ainoastaan kyseistä protokollaa. Kyseiseen PLC:hen ei ole edes saatavilla SAE J1939 -moduulia, joten ainoa vaihtoehto oli lisätä kahden väyläprotokollan väliin protokollamuunnoskortti. Tähän käyttötarkoitukseen löytyi sopiva tuote AdfWeb-nimiseltä valmistajalta. Tuotteen nimi on HD67150, ja se on J1939/CANopen -muunnin. Kuvassa 17 näkyy valmistajan oma tuotekuva kyseisestä tuotteesta.



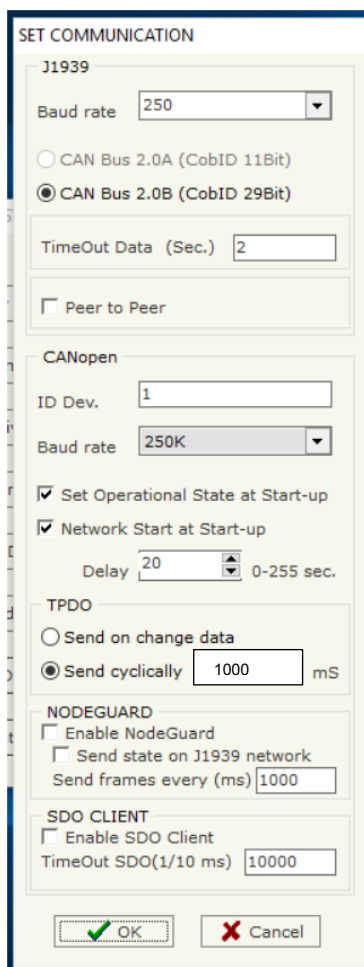
KUVA 17. HD67150-protokollamuunnin (ADFweb n.d.)

HD67150 ohjelmoitiin AC34107-kaapelilla ja Compositor SW67150 -ohjelmalla tietokoneen avulla. Kun laitetta ohjelmoitiin, täytyi muistaa lisätä laitteeseen Boot Jumper -yhdistys, jonka jälkeen laitetta pystyi konfiguroimaan. Kun ohjelman avasi, näytti näkymä kuvan 18 mukaiselta.



KUVA 18. Aloitusnäköm.

Ohjelmointi aloitettiin painamalla "New project" -painiketta. Tällöin ohjelma loi oman tiedostokansion konfiguroinnille. Sen jälkeen painettiin "Set communication" -painiketta, jolloin ilmestyi kuvan 19 mukainen näköm.

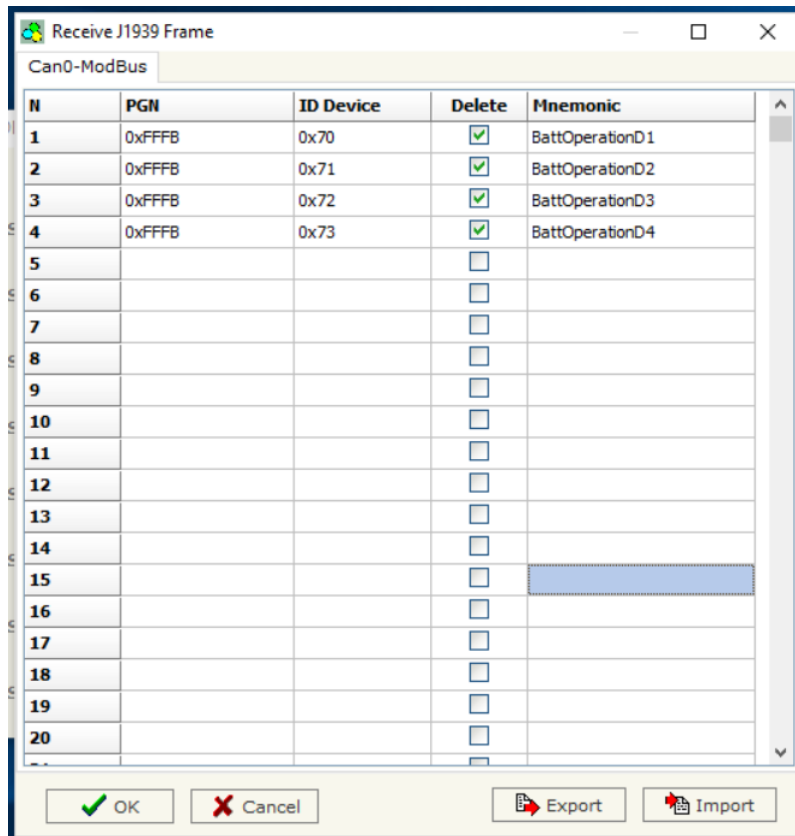


KUVA 19. "Set communication" -näköm.

Ensimmäisenä ohjelma kysyy SAE J1939 -protokollan asetuksia muunnoskortille. Ensimmäinen asetus on "Baud rate" eli tiedonsiirtonopeus, joka on energia-varaston väylässä 250 kbps. Ohjelma valitsee käytettäväksi oletusarvoisesti laajennetun kehyksen eli CAN2.0B:n SAE J1939 -protokollan puolelle. Toisena asetuksena on "Timeout data", johon asetetaan 2 sekuntia. Tämä tarkoittaa, että jos SAE J1939 -puolelle ei tule uusia viestejä kahteen sekuntiin (esim. jos väyläkaapeli on irronnut), muunnoskortti kirjoittaa CANopen-puolelle puuttuvan viestin datatenttään "FFFF" ja lähettää sen, jolloin kyseisen viestin luettaessa voidaan todeta tietojen olevan vanhentuneita, tai että väylässä on jokin vialla. Seuraavaksi voidaan valita, käytetäänkö "Peer to Peer" -kommunikointitapaa. Tässä työssä käytetään kuitenkin tavallista kommunikointitapaa, joten tätä ei valita.

Seuraavaksi ohjelma kysyy CANopen-protokollan asetuksia muunnoskortille. Ensimmäinen asetus on Node ID, joka asetetaan ykköseksi, sillä kaikki Node ID:t ovat vielä vapaana. Seuraava asetus on "Baud rate" eli tiedonsiirtonopeus. Tässä väylässä riittää 250 kbps tiedonsiirtonopeus. Seuraava valinta on "Set operational state at start-up". Valitaan tämä, jolloin väylämuunnoskortti menee käynnistyttyään operationaaliseen tilaan. Seuraava valinta on "Network start at start-up". Valitaan tämä, jolloin väylämuunnoskortti lähettää käynnistyessään CANopen-väylään käskyn kaikille laitteille mennä operationaaliseen tilaan.

Seuraava asetus on "Delay" eli viive, jonka jälkeen laite tekee nämä kaksi edellä mainittua asiaa. Asetetaan viive 20 sekuntiin, jolloin CANopen-väylän laitteilla on hieman aikaa käynnistyä ennen initialisointikäskyä, koska kaikki laitteet saavat käyttöjännitteensä yhtä aikaa. Viimeisenä tulee asetus "TPDO", jossa vaihtoehtona on "Send on change data" tai "Send cyclically". Valitaan jälkimmäinen, ja asetetaan ajaksi 1000 ms. Tämä tarkoittaa, että lähetetään SAE J1939 -väylästä muunnetut viestit sekunnin välein CANopen-väylään. Sama sykli aika on käytössä myös SAE J1939 -väylässä, kuten Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 35) -dokumentissa ilmoitettiin. "Nodeguard"- ja "SDO client" -asetukset jätetään tekemättä ja valitsematta, sillä niitä ei tarvita tässä työssä. Seuraavaksi painetaan "OK", jonka jälkeen ohjelma palautuu alkuvalikkoon. Painetaan alkuvalikosta seuraavaksi "Receive J1939", jolloin avautuu kuvan 20 mukainen näkymä.



KUVA 20. "Receive J1939" -näkyvä

Tässä näkymässä määritetään SAE J1939 -väylän niiden viestien PGN:t ja lähdeosoitteet, jotka halutaan muuntaa CANopen-väylän puolelle. Ainoat kehykset jotka sisältävät työn kannalta hyödyllistä tietoa, ovat Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 19-20) -dokumentin viestit D1, D2, D3 ja D4. Näiden viestien CAN-ID:t löytyvät dokumentin taulukosta 5.3. CAN-ID:t ovat edellä mainitussa järjestyksessä 1FFFFB70, 1FFFFB71, 1FFFFB72 ja 1FFFFB73.

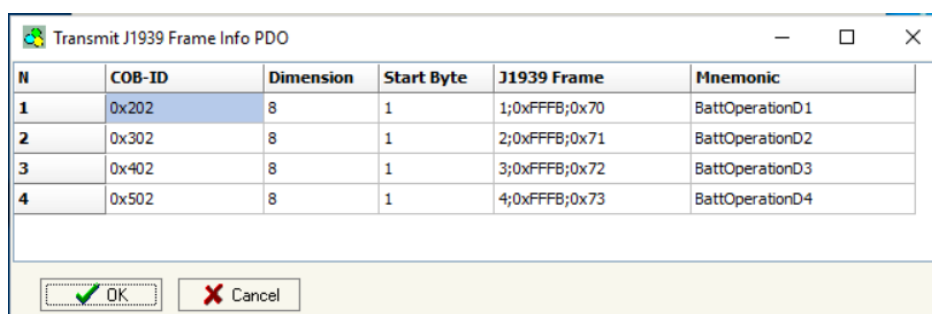
Ohjelma kysyy viestien lähdeosoitteita sarakkeessa "ID device". Lähdeosoitteet ovat kuvan 9 mukaisesti oikealta lukien CAN-ID:n kahdeksan ensimmäistä bittiä, eli kaksi ensimmäistä heksadesimaalilukua. Nämä ovat näin ollen edellä mainittujen CAN-ID:den kaksi viimeistä merkkiä, aiemmin ilmoitetussa järjestyksessä 70, 71, 72 ja 73. Koska lähdeosoitteet on ilmoitettu CAN-ID:ssä heksadesimaaleina, kirjoitetaan ne ohjelmaan myös heksadesimaaleina, jolloin luvun eteen täytyy kirjoittaa "0x", joka tarkoittaa luvun olevan heksadesimaalimuodossa.

Seuraavaksi ohjelma kysyy PGN:ää sarakkeessa "PGN". Ohjelma hyväksyy PGN:n heksadesimaalina lukuvälillä 0000-FFFF, jolloin kyseessä on 16 bittinen

luku. PGN on kuvan 9 mukaisesti normaalisti 18 bittinen, mutta ohjelma hyväksyy vain 16 bittiä. Näin ollen ohjelma ilmeisesti tarkoittaa kuvan 9 PGN:n sisällä olevia ”PDU format” ja ”PDU specific/Destination address” kohtia, joista tulee yhteenlaskettuna 16 bittiä. Tällä oletuksella PGN-kohtaan kirjoitetaan jokaisen CAN-ID:n neljä keskimmäistä merkkiä, jotka ovat heti lähdeosoitteen jälkeen vasemalla kuten kuvassa 9. Näin ollen kaikille neljälle CAN-ID:lle PGN:ksi kirjoitetaan FFFB. PGN:n eteen kirjoitetaan jälleen 0x aiemmin mainitusta syystä.

Jos viesteille valitaan ”Delete”-sarakkeen ruutu, muutetaan kyseisen viestin datan tilalle ”FFFF”, jos SAE J1939 -väylään ei saavu uutta viestiä ”Set communication” -valikon ”TimeOut Data” -kohdassa asetetun ajan kuluessa edellisestä viestistä. Tämä on tärkeä ominaisuus väylävikojen tunnistusta varten, jos esim. väyläkaapeli irtoaa, tai lähetävä laite vikaantuu. Lopuksi voi vielä kommentoida tehtyjä asetuksia sarakkeessa ”Mnemonic”. Tämän jälkeen painetaan taas ”OK”, jolloin ohjelma palautuu jälleen alkuvalikkoon.

Seuraavaksi painetaan ”Define TPDO”, josta päästään määrittämään CANopenpuolelle muunnetut viestit. Avautuu kuvan 21 mukainen näkymä.



N	COB-ID	Dimension	Start Byte	J1939 Frame	Mnemonic
1	0x202	8	1	1;0xFFFFB;0x70	BattOperationD1
2	0x302	8	1	2;0xFFFFB;0x71	BattOperationD2
3	0x402	8	1	3;0xFFFFB;0x72	BattOperationD3
4	0x502	8	1	4;0xFFFFB;0x73	BattOperationD4

KUVA 21. ”Define TPDO” -näkymä

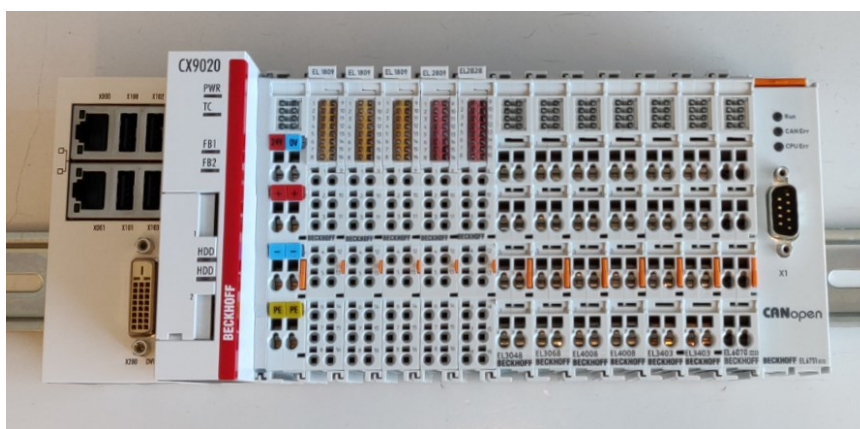
Ohjelma kysyy viestien COB-ID:tä sarakkeessa ”COB-ID”. Koska muunnettavia viestejä on yhteensä neljä, voidaan jokaiselle viestille käyttää eri PDO:ta, sillä eri PDO:ita on myös maksimissaan neljä. Tällöin esimerkiksi viesti D1 voidaan lukea PDO1:stä, viesti D2 PDO2:sta, viesti D3 PDO3:sta ja viesti D4 PDO4:sta. Koska tässä työssä halutaan lukea PLC:llä (CANopen Slave) kyseisiä viestejä, on tämä silloin PDO:iden vastaanottamista Slave-laitteen näkökulmasta. Tällöin COB-ID:t nimetään kuvan 6 mukaisesti kohdasta RPDO1, RPDO2, RPDO3 ja RPDO4. Kuvasta 6 katsottuna funktiokoodi näille PDO:ille on heksadesimaalina 200, 300, 400 ja 500. Näiden lukujen päälle summataan vielä PLC:n Node-ID eli 2, jolloin

COB-ID:ksi tulee heksadesimaalina 202, 302, 402 ja 502. Lukujen eteen tulee jälleen "0x" heksadesimaalin merkiksi.

Sarakkeessa "Dimension" kysytään viestien pituutta tavuina, joka on kaikilla viesteillä tässä työssä 8. Sarakkeessa "Start byte" kysytään muunnettavan SAE J1939 -viestin tavua, josta lähtien viesti muunnetaan CANopen-protokollaan. Ensimmäinen tavu on oikeanpuolimmainen tavu viestissä, ja kahdeksas tavu on vasemmanpuolimmainen. Tässä työssä halutaan muuntaa viesti ensimmäisestä tavusta alkaen, joten tähän sarakkeeseen kirjoitetaan yksi. Sarakkeessa "J1939 Frame" kysytään sitä SAE J1939 -viestiä, joka halutaan muuntaa samassa rivissä olevilla asetuksilla CANopen-protokollaan. Vetovalikosta voidaan valita "Receive J1939" -kohdassa kirjoitetuista viesteistä yksi. Valitaan viestit sarakkeeseen samaan järjestykseen kuin "Receive J1939" -kohdassa, jolloin viesti D1 luetaan COB-ID:stä 202, D2 COB-ID:stä 302, D3 COB-ID:stä 402 ja D4 COB-ID:stä 502. "Mnemonic"-sarakkeeseen voi kirjoittaa tehdyistä asetuksista muistiinpanoja.

4.5 Beckhoff EL6751-väylämoduuli

HESS-järjestelmän ohjaukseen käytetään Beckhoff CX9020-mallista sulautettua tietokonetta, jolla on myös PLC:n ominaisuudet. PLC:ssä oli valmiina Beckhoff:n oma CANopen-Slave -moduuli EL6751. Kuvassa 22 on CX9020-tietokone kaikine moduuleineen, joita HESS-järjestelmässä tarvitaan. Oikeanpuolimmaisena on CANopen-moduuli EL6751.



KUVA 22. Beckhoff CX9020 moduuleineen

EL6751-moduulissa on väyläliittimenä yhdeksän pinninen SUB-D -liitin. Liittimen pinnijärjestys on kuvan 23 mukainen.

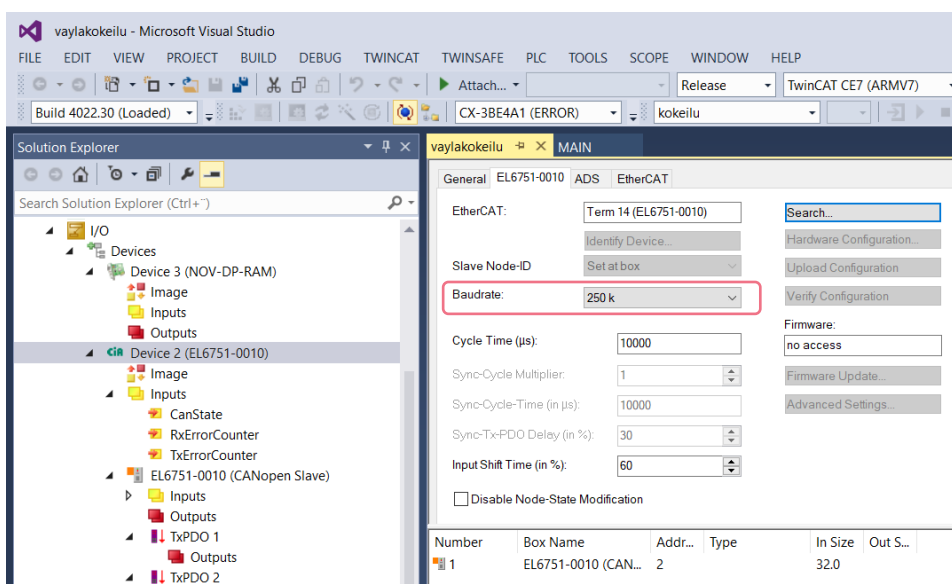
Pin	Assignment
2	CAN low (CAN-)
3	CAN ground (internally connected to pin 6)
6	CAN ground (internally connected to pin 3)
7	CAN high (CAN+)



KUVA 23. EL6751-moduulin väyläliittimen pinnijärjestys (Beckhoff 2019)

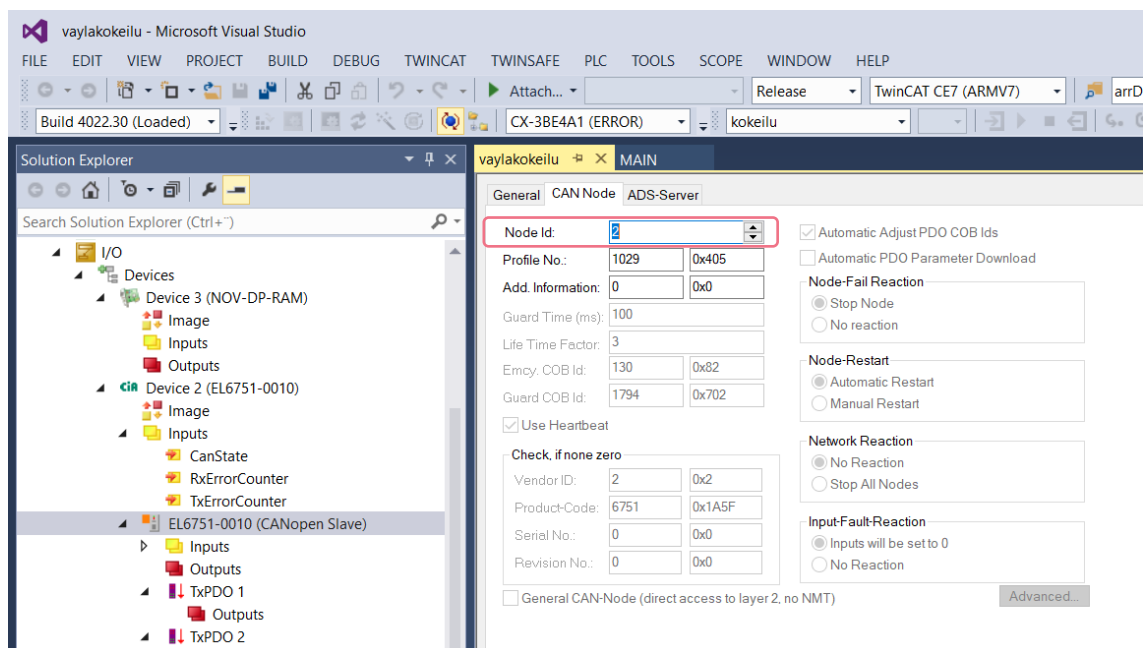
CX9020-tietokonetta ohjelmoidaan Twincat 3.1 -ohjelmalla. EL6751-moduulin osalta täytyi ohjelmasta tehdä seuraavat asetukset:

1. Valita tiedonsiirtonopeudeksi 250 kbps (kuvassa 24 ympyröity):



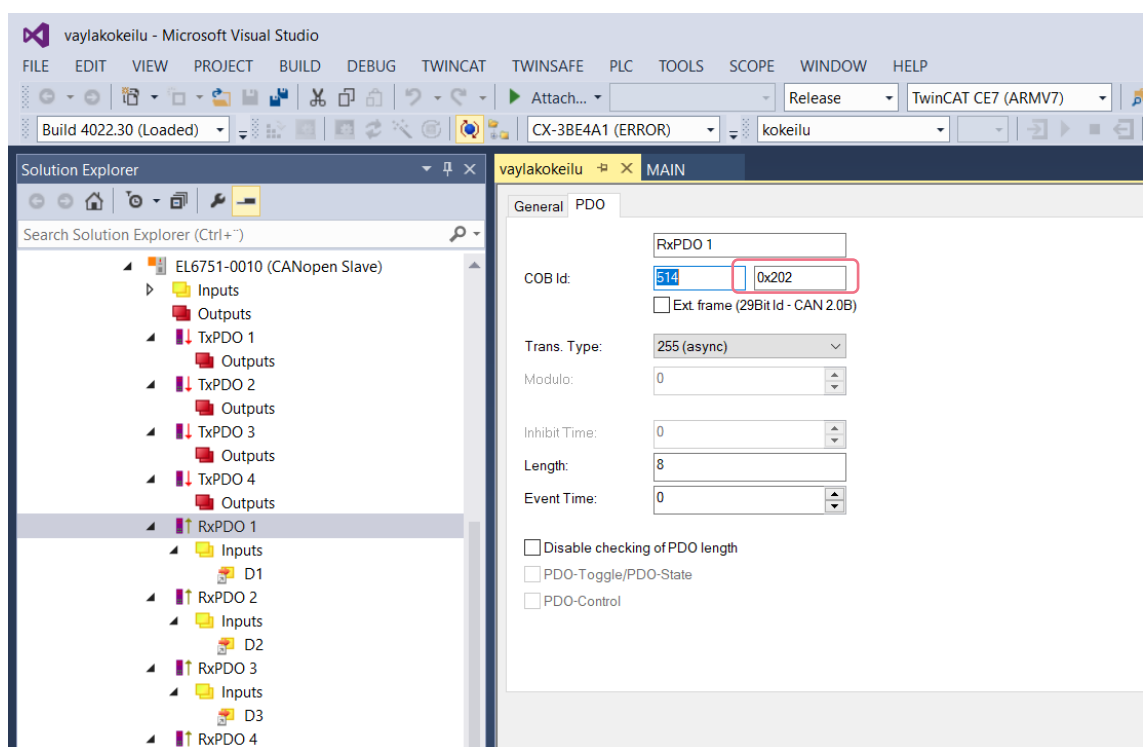
KUVA 24. Tiedonsiirtonopeuden valinta

2. Valita EL6751-moduulin Node-ID:ksi 2 (kuvassa 25 ympyröity):



KUVA 25. Node ID:n muuttaminen kakkoseksi

3. Muuttaa RxPDO1:n COB-ID heksadesimaaliksi 202 (kuvassa 26 ympyröity):

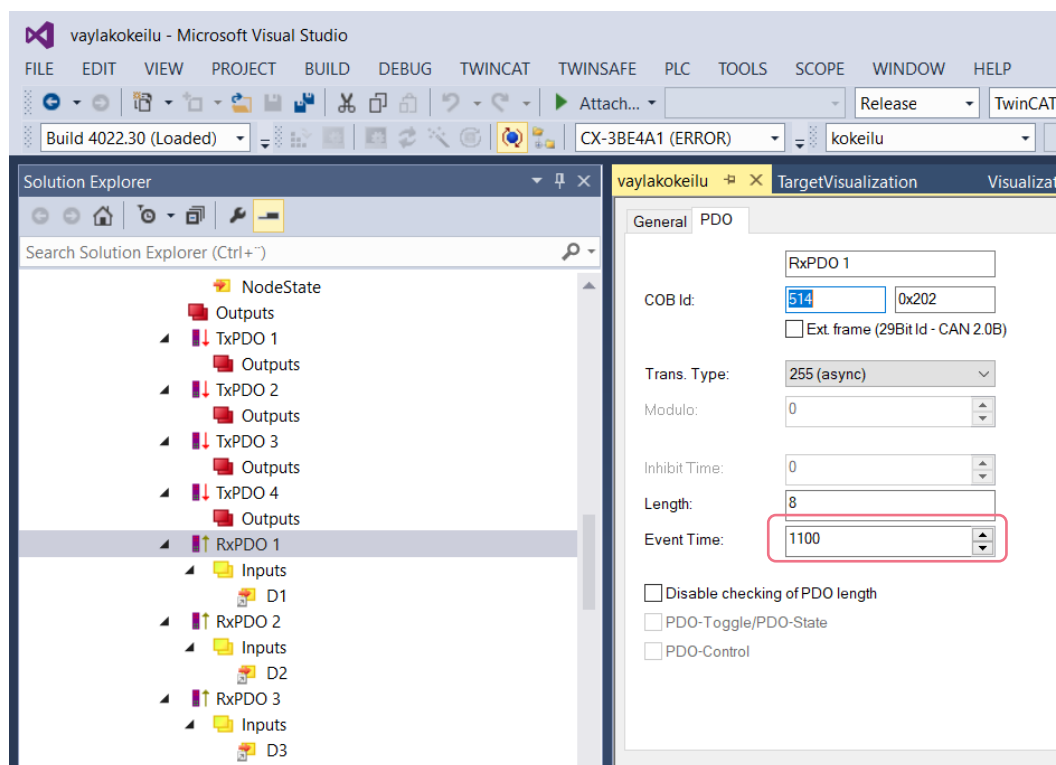


KUVA 26. RxPDO1:n COB-ID:n muutos heksadesimaaliksi 202

Kuvan 26 tapaan täytyy myös RxPDO2:n COB-ID muuttaa heksadesimaaliksi 302, RxPDO3:n COB-ID heksadesimaaliksi 402 ja RxPDO4:n COB-ID heksadesimaaliksi 502. Tällöin EL6751-moduuli tietää valita väylästä näillä COB-ID:illä

varustetut viestit. Nämä ovat juuri samat COB-ID:t, jotka määriteltiin myös muunnoskortille lähtevien viestien COB-ID:ksi.

4. Muuttaa jokaisen RxPDO:n "Event time" 1100 millisekuntiin (kuvassa 27 ympyröity):

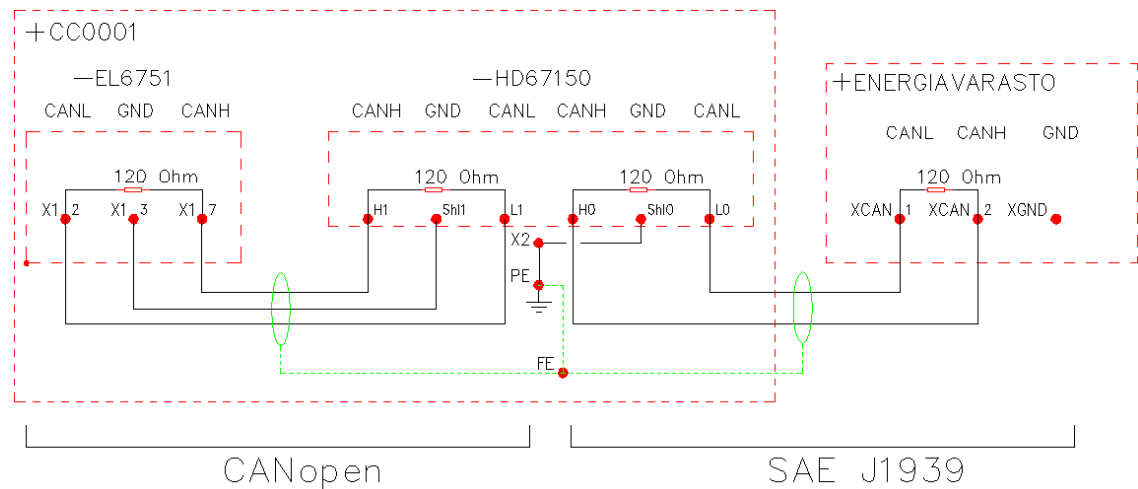


KUVA 27. "Event Time" -asetus 1100 millisekuntiin

Kuvan 27 asetus tekee sen, että jos uutta viestiä ei tule jollekin RxPDO:lle yli 1100 millisekuntiin, menee EL6751-moduuli "CAN-ERROR" -tilaan, ja kaikkien viestien dataksi vaihtuu luku nolla. Tämä on tärkeä asetus väylävikojen tunnistuksen kannalta, jos esim. väyläkaapeli irtoaa, tai lähettävä laite vikaantuu. EL6751-moduulin osalta asetukset ovat nyt valmiit käyttöön.

4.6 Väyläkaapelointi

Energiavaraston CAN-väylän ja muunnoskortin välinen väyläkaapelointi sekä muunnoskortin ja EL6751-moduulin välinen väyläkaapelointi tulisi toteuttaa kuvan 28 tavalla.



KUVA 28. Väyläkaapelointi

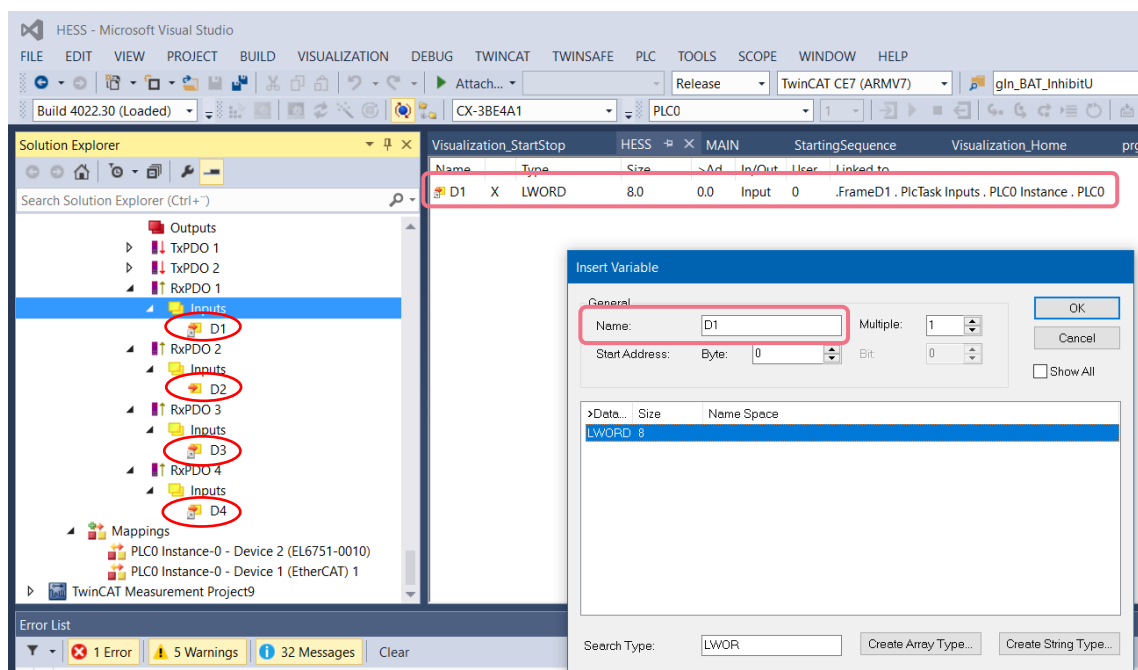
Laitteiden välille kytketään CANH-, CANL- ja GND-johtimet kuvan 28 mukaisesti. Molempien kaapelien suojaus tulisi liittää vain kaapelin toisesta päästä maayhteyteen FE-liitimeen, jotta vältetään häiriöitä tuovilta maadoitussilmukoilta. Myös CAN-laitteiden GND-johtimet/-liittimet tulisi kytkeä syöttävien apujännitelähteiden kanssa samaan maapotentiaaliin, että CAN-väylän referenssimaa olisi mahdollisimman lähellä syöttävän verkon maata (Beckhoff 2019, 32). Osa laitteista saa maayhteytensä apujännitesyötön miinusnavan kautta, joten esim. energiavaraston väylän GND-liitintä ei tarvitse erikseen maadoittaa.

EL6751-moduulissa ei ole terminointivastusta, joten terminointivastus päädyttiin lisäämään moduuliin liitettävän pistokeliittimen sisälle, jotta terminoimatonta väyläosuutta olisi mahdollisimman vähän. Muunnoskortissa sen sijaan on molemmille väylille 120 ohmin vastukset jo valmiina. SAE J1939 -väylän toinen terminointivastus on energiavaraston riviliittimessä valmiina. Näin saadaan molemmille väylille vaadittu 60 ohmin resistanssi CANH- ja CANL-johtimien välille.

4.7 Viestien purku TwinCat-ohjelmassa

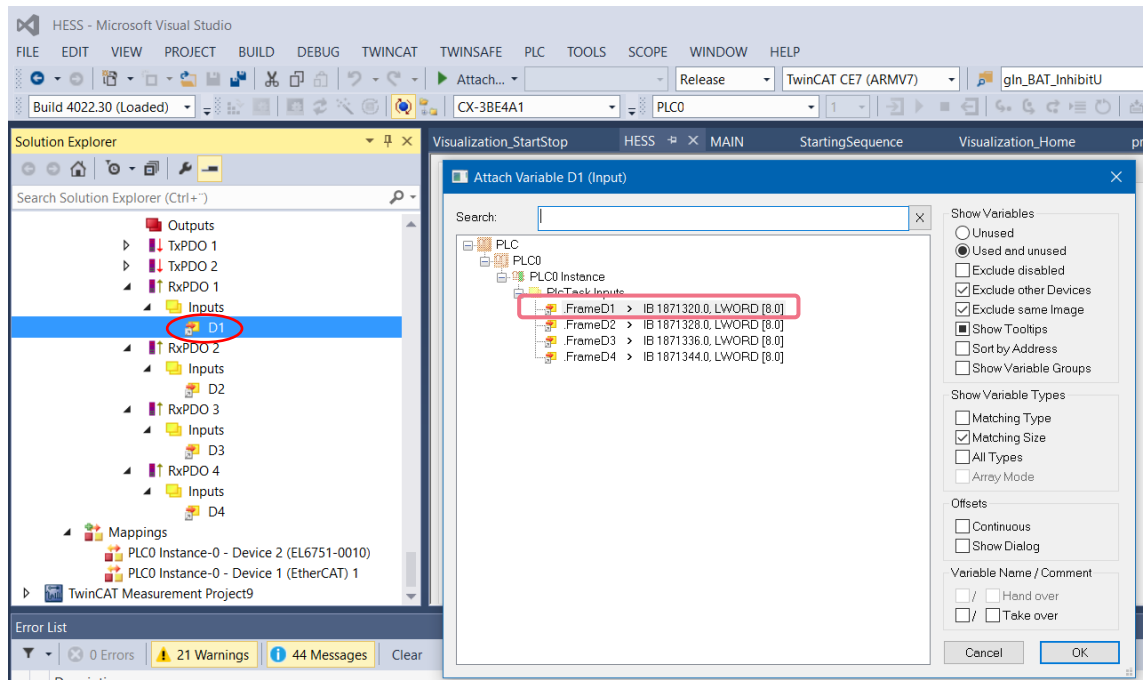
Seuraavaksi näytetään, miten väylän viestit on purettu TwinCat-ohjelmassa. Aluksi RxPDO:den "Input"-kohtiin lisätään kahdeksan tavuiset LWORD-muuttujat siten, että RxPDO1:llä on muuttuja nimeltä D1, RxPDO2:lla D2, RxPDO3:lla D3 ja RxPDO4:lla D4. Kuvassa 29 on näytetty ohjelman näkymä, jossa muuttujan

voi lisätä RxPDO:hon. Kuvan 29 ”Insert Variable” -ikkunan saa näkyviin, kun painaa esim. RxPDO1:sen ”Inputs”-kohtaa hiiren oikealla painikkeella, ja valitsee ”Add New Item”. ”Insert Variable” -ikkunasta tarvitsee valita ainoastaan uuden muuttujan nimi (esim. kuvassa 29 ”D1”) ja muuttujatyyppi (kuvassa 29 ”LWORD”). Kuvassa 29 muuttujat on jo lisätty jokaiseen RxPDO:hon.



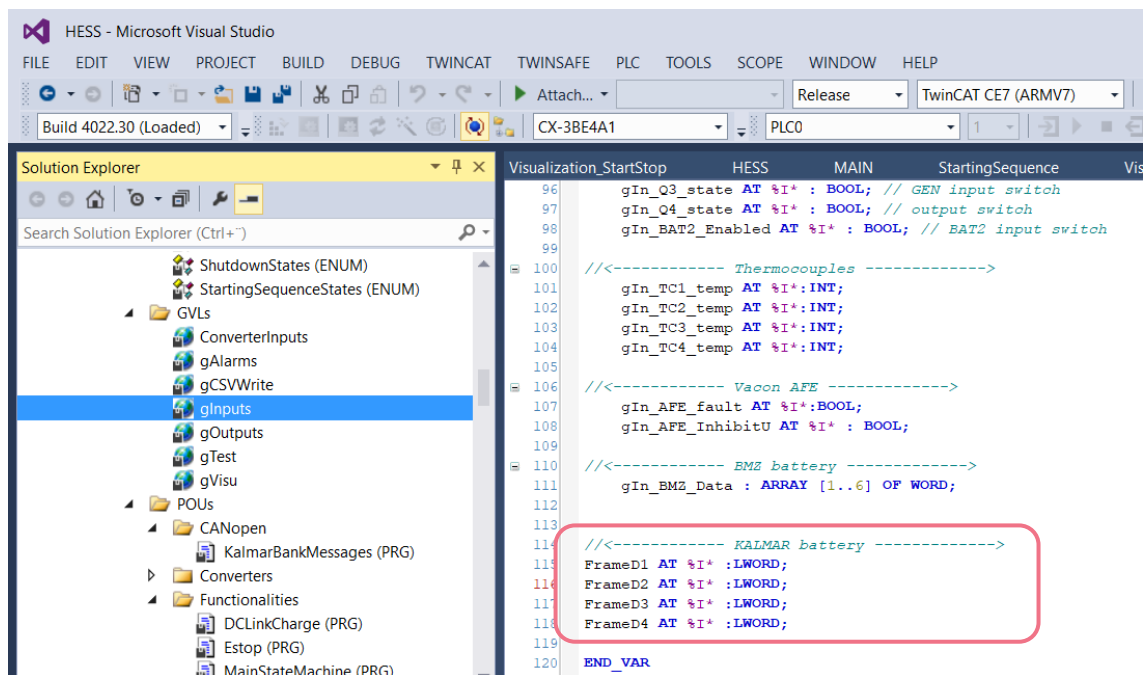
KUVA 29. Muuttujien lisääminen

Edellä lisättyihin muuttujiin tallentuvat kahdeksan tavuiset D1-D4 viestikehykset, jotka tulevat muunnoskortilta. Seuraavaksi lisätyt muuttujat täytyy linkittää ohjelmaan, jossa muuttujia käsitellään. Kuvassa 30 muuttujat on linkitetty ”PlcTask Inputs”:n FrameD1, FrameD2, FrameD3 ja FrameD4 muuttujiin.



KUVA 30. Muuttujien linkitys "PlcTask Inputs":n muuttujiin

MAIN-ohjelmassa jokaiselle viestikehykselle on oma muuttuja. Nämä muuttujat näkyvät kuvassa 31.



KUVA 31. Viestikehyksien muuttujat "gInInputs"-muuttujalistassa

Näihin muuttujiin linkitettiin edellä RxPDO:den D1-D4 -muuttujat. Koska jokainen kahdeksantavuinen muuttuja sisältää useita eri tietoja kuten Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 19-20) -dokumentin taulukoista 4.3.1,

4.3.2, 4.3.3 ja 4.3.4 nähdään, täytyy jokaiselle yksittäiselle tiedolle tehdä oma muuttujansa. Kuvassa 32 on tehty esimerkiksi D3-kehiksen muuttujat. Muuttujien nimet vastaavat dokumentin taulukon 4.3.3 "Data name" -sarakkeen nimiä.

```

15  MinTotalVoltage:REAL;
16  MaxModuleTemp:SINT;
17  AvgCurrent:REAL;
18  BankError:BOOL;
19  BankErrorCode:UINT;
20  BusError:BOOL;
21  BatteryFull:BOOL;

1  //Numeric values from bank
2  SOC:=REAL_TO_UINT((UINT_TO_REAL(ByteFlipUint(LWORD_TO_UINT(KehysD1)))))/10;
3
4  MaxTotalVoltage:=(UINT_TO_REAL(ByteFlipUint(LWORD_TO_UINT(KehysD3))))/10;
5  AvgTotalVoltage:=(UINT_TO_REAL(ByteFlipUint(LWORD_TO_UINT(SHR(KehysD3,16)))))/10;
6  MinTotalVoltage:=(UINT_TO_REAL(ByteFlipUint(LWORD_TO_UINT(SHR(KehysD3,32)))))/10;
7  MaxModuleTemp:=LWORD_TO_SINT(SHR(KehysD3,48));
8  AvgCurrent:=(INT_TO_REAL(ByteFlipInt(LWORD_TO_INT(SHR(KehysD4,16)))))/2;
9

```

KUVA 32. D3-kehiksen muuttujat

Seuraavaksi näytetään kuvassa 33 esimerkkinä AvgTotalVoltage-lukuarvomuuttujan (hyllyjänniteiden keskiarvo) purku D3-kehiksestä. Tämä purku sisältää käytännössä kaikki toimenpiteet, joita viestien purkamisessa tässä työssä käytetään. Muut muuttujat vaativat ainoastaan vähemmän toimenpiteitä, kuin AvgTotalVoltage-muuttuja.

```
5 AvgTotalVoltage:=(UINT_TO_REAL(ByteFlipUint(LWORD_TO_UINT(SHR(KehysD3,16)))))/10;
```

KUVA 33. AvgTotalVoltage-muuttujan erittely D3-kehiksestä

Että ymmärtää, mitä kuvassa 33 tehdään, täytyy katsoa alla olevaa kuvaa 34.

Byte	Bit	Data Name	Data Length		
1	analog	Max Total Voltage (Upper Byte)	1byte	Conversion Coefficient=0.1 Data Range=0~6553.5 (0000h~FFFFh) *1	0000h
2	analog	Max Total Voltage (Lower Byte)	1byte		0000h
3	analog	Average Total Voltage (Upper Byte)	1byte		0000h
4	analog	Average Total Voltage (Lower Byte)	1byte		0000h
5	analog	Min Total Voltage (Upper Byte)	1byte	Conversion Coefficient=1 Two's complement format Data Range=-128~127 (80h~7Fh) Conversion Coefficient=1, Data Range=-128~128 (00h~80h~FFh)	00h
6	analog	Min Total Voltage (Lower Byte)	1byte		00h
7	analog	Max Module Temp.	1byte		
8	analog	Min Module Temp.	1byte		

KUVA 34. D3-kehiksen sisältö (Kalmar 2015, 20, muokattu)

Kuvasta 34 nähdään, että D3-kehiksen kolmas tavu merkitsee "Average Total Voltage" -tiedon ylempää tavua (Upper Byte). Neljäs tavu sen sijaan merkitsee alempaa tavua. Tämä on niin sanottu Little Endian- tai Intel Byte Order -tavujärjestys, jossa vähemmän merkitsevät tavut ilmoitetaan ensin vasemmalta oikealle luettaessa (All about circuits 2018). Tämä on havainnollistettu taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Little Endian -tavujärjestys

TAVU 2 (Vähemmän merkitsevä)								TAVU 1 (Enemmän merkitsevä)							
7	6	5	4	3	2	1	0	15	14	13	12	11	10	9	8
Bit															


PLC:n ohjelman muuttujien arvoja luetaan kuitenkin juuri toisinpäin (Big Endian -tavujärjestys) eli taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Big Endian -tavujärjestys

TAVU 2 (Enemmän merkitsevä)								TAVU 1 (Vähemmän merkitsevä)							
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Bit															

Käänteisen tavujärjestyksen lisäksi tarvittavat tavut ovat vasta kolmas ja neljäs tavu, joten niihin täytyisi päästä jotenkin käsiksi. Asia on ratkaistu tässä työssä siten, että ensimmäisenä kahdeksan tavuiselle FrameD3-muuttujalle tehdään 16 bitin bittisiirto, joka näkyy kuvassa 33 ohjelmakoodina "SHR(FrameD3, 16)". Tämä tarkoittaa, että FrameD3-muuttujan bitit siirtyvät oikealle 16 bitin verran, jolloin tarvittava tieto siirtyy viestin alkuun ensimmäiseksi ja toiseksi tavuksi. Tämä on havainnollistettu taulukossa 5. Kirjaimet A ja B merkitsevät tarvittavia tavuja.

TAULUKKO 5. Bittisiirto

Ennen bittisiirtoa									Bittisiirron jälkeen							
X	X	X	X	A	B	X	X		X	X	X	X	X	X	A	B
Byte																

Sen jälkeen tämä muokattu kahdeksan tavuinen muuttuja (LWORD) muutetaan kaksi tavuiseksi muuttujaksi (UINT), jolloin käytännössä kaikki muut paitsi kaksi

ensimmäistä tavua katoavat. Tämä näkyy kuvassa 33 ohjelmakoodina "LWORD_TO_UINT". UINT-muuttuja on etumerkitön kokonaislukumuuttuja eli "Unsigned integer". Muunnos on havainnollistettu taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Muuttujatyypimuunnos

Ennen muunnosta									Muunnoksen jälkeen	
X	X	X	X	X	X	A	B	➔	A	B
Byte										

Tämän jälkeen täytyy tavut kääntää aiemmin mainitusta syystä toisinpäin, että ohjelma lukee muuttujan arvon oikein. Tämä näkyy kuvassa 33 ohjelmakoodina "ByteFlipUint". Käsky kääntää käytännössä suoraan ensimmäisen tavun toiseksi ja toisen tavun ensimmäiseksi.

Lopuksi ennen skaalausta täytyy etumerkitön kokonaislukumuuttuja vielä muuttaa REAL-muuttujatyypin, että luvussa näkyvät myös desimaalit. Tämä näkyy kuvassa 33 ohjelmakoodina "UINT_TO_REAL", joka muuttaa muuttujan desimaalilliseksi luvuksi. Tämän jälkeen luku voidaan skaalata Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 20) -dokumentin taulukon 4.3.3 ohjeiden mukaisesti, eli jakaa kymmenellä. Tämä näkyy myös kuvassa 33 ohjelmakoodina "/10". Nyt muuttuja on ns. valmis luettavaksi, eli se näyttää hyllyjännitteiden keskiarvon oikeana numeerisena arvona. Muille kehyksille ja niiden lukuarvomuuuttujille tehdään vastaavia toimenpiteitä, mutta niitä ei erikseen tässä työssä käydä lävitse, sillä niitä on suuri määrä.

Käydään vielä erikseen kuitenkin tilalippujen/vikatietojen purku ohjelmassa, sillä ne ovat olennaisia työn kannalta. Vikatiedot/tilaliput sijaitsevat Kalmar:n Communication Specifications Document (2015, 19) -dokumentin mukaisesti D1-kehyksessä viidennessä, kuudennessa ja seitsemännessä tavussa. Tehdään tilalipuille/vikatiedoille oma neljä tavuinen (DWORD) muuttuja "Flags". Kuvan 35 mukaisesti tähän muuttujaan tallennetaan tilaliput/vikatiedot siten, että "KehysD1" muuttujalle tehdään neljän tavun eli 32 bitin bittisiirto oikealle, jolloin haluamme tiedot tulevat D1 kehyksen alkuun taulukon 7 mukaisesti. Tämä näkyy kuvassa 35 ohjelmakoodina "SHR(KehysD1,32)".

```
//Binary information
Flags:=LWORD_TO_DWORD(SHR(KehysD1,32));
```

KUVA 35. Tilalippujen/vikatietojen tallennus neljä tavuiseen muuttujaan

TAULUKKO 7. Bittisiirto

Ennen bittisiirtoa									Bittisiirron jälkeen							
X	A	B	C	X	X	X	X	➔	X	X	X	X	X	A	B	C
Byte																

Sen jälkeen muutetaan muokattu kahdeksan tavuinen muuttuja neljä tavuiseksi muuttujaksi ohjelmakoodilla "LWORD_TO_DWORD". Tällöin muuttujasta poistuu kaikki tavut, jotka eivät sisällä haluamaamme tietoa lukuun ottamatta yhtä tavua. Muuttujatyypimuunnos on havainnollistettu taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Muuttujatyypimuunnos

Ennen muunnosta									Muunnoksen jälkeen			
X	X	X	X	X	A	B	C	➔	X	A	B	C

Nyt "Flags"-muuttujan tavut 1-3 sisältävät haluamamme tilaliput/vikatiedot. Nyt tilaliput/vikatiedot voidaan tallentaa kaksi tavuiseen "Errors"-muuttujaan. Errors muuttujaan poimitaan kaikki "Flags"-muuttujan sellaiset tilaliput/vikatiedot, joiden ilmaantuessa täytyy energiavaraston käyttö lopettaa välittömästi. Alla olevassa kuvassa 36 on ohjelmakoodi, jossa juuri tämä asia on tehty. Esimerkiksi kuvan 36 rivillä 45 on "Errors"-muuttujan "nollanteen" bittiin tallennettu "Flags"-muuttujan seitsemäs bitti, joka sisältää "AcsNotDetected"-vikatiedon. Jos tämä bitti on yksi, tarkoittaa se vian olevan aktiivinen. Kuvassa 36 riveillä 45-60 näkyvät kaikki energiavaraston käytön estoon johtavat viat, ja niiden tallentaminen "Errors"-muuttujaan.

```

45 Errors.0:=Flags.7; //AcsNotDetected
46 Errors.1:=SocOrVoltageUnbalance; //Unbalance
47 Errors.2:=Flags.5; //DcControlPowerError
48 Errors.3:=Flags.0; //VoltageUnbalance
49 Errors.4:=Flags.13; //BatteryTempUpError
50 Errors.5:=Flags.11; //ModuleCommunicationError
51 Errors.6:=Flags.10; //DomainLibmError
52 Errors.7:=Flags.9; //FanError
53 Errors.8:=Flags.8; //Overcurrent
54 Errors.9:=Flags.23; //LackOfOnBanks
55 Errors.10:=Flags.22; //AcsError
56 Errors.11:=Flags.21; //BankLibmError
57 Errors.12:=Flags.20; //BankMocbTrip
58 Errors.13:=Flags.17; //CurrentUnbalance
59 Errors.14:=Flags.16; //FuseDisconnection
60 Errors.15:=Flags.1; //BattTempUp;
61
62 IF Errors>0 AND BusError=FALSE THEN
63     BankError:=TRUE;
64     BankErrorCode:=Errors;
65 ELSE BankError:=FALSE;
66 END_IF

```

KUVA 36. Vikatietojen tallennus

Jos yksikään näistä vioista tulee aktiiviseksi, muuttuu "Errors"-muuttujan arvo nol-
laa suuremmaksi. Kuvan 36 riveillä 62-66 on tehty ehto "Errors"-muuttujalle. Se
muuttaa "BankError"-bitin arvon ykköseksi, jos yksikään vioista tulee aktiiviseksi,
eli jos "Errors"-muuttujan arvo on nollaa suurempi. Vikakoodi kirjoitetaan "Ban-
kErrorCode"-muuttujaan, jotta se voidaan tarvittaessa ilmoittaa käyttäjälle. Vika-
koodin tulkinta selitetään liitteessä 1. Jos yksikään vioista ei ole aktiivinen, on
"BankError"-muuttujan arvo nolla.

"Errors"-muuttujaan on tuotu yksi vikatieto, joka on tehty ohjelmallisesti itse. Ky-
seessä on kuvan 36 rivillä 46 oleva vikatieto "SocOrVoltageUnbalance". Tämä
vikatieto on määritelty kuvan 37 mukaisesti.

```

40 IF MaxSoc-MinSoc>5 OR MaxCellVoltage-MinCellVoltage>0.4 THEN
41     SocOrVoltageUnbalance:=TRUE;
42 ELSE SocOrVoltageUnbalance:=FALSE;
43 END_IF

```

KUVA 37. "SocOrVoltageUnbalance"-vikatieto

Kuvassa 37 edellä mainitun muuttujan tilan määrittämiseen on käytetty kaikkia
D2-kehysten lukuarvomuuttujia. D2-kehys sisältää energiavaraston yksittäisten
paristojen maksimi- ja minimiarvoja. "SocOrVoltageUnbalance"-vikabitin tila on
kuvan 37 mukaisesti yksi, jos energiavaraston yksittäisen pariston pienimmän ja
suurimman varausprosentin välillä on yli viisi prosenttia eroa, tai jos maksimipa-
ristojännitteen ja minimiparistojännitteen välillä on yli 0,4 voltia eroa. Muuten vi-
kabitin tila on nolla.

Tilaliput/vikatiedot jotka eivät johda energiavaraston käytön estoon, on määritelty kuvassa 38. Näitä tietoja ovat esimerkiksi energiavarasto täynnä/tyhjä -tiedot ja energiavaraston lämpötila alarajalla -tieto.

```

15 //Battery full/empty
16 BatteryEmptyError:=Flags.14; //CellVoltageDownError
17 BatteryFullError:=Flags.15; //CellVoltageUpError
18 SocUp:=Flags.19;
19 SocDown:=Flags.18;
20 CellVoltageUp:=Flags.3;
21 CellVoltageDown:=Flags.2;
22 IF SocUp=TRUE OR CellVoltageUp=TRUE OR BatteryFullError=TRUE THEN
23     BatteryFull:=TRUE;
24     ELSE BatteryFull:=FALSE;
25 END_IF
26 IF SocDown=TRUE OR CellVoltageDown=TRUE OR BatteryEmptyError=TRUE THEN
27     BatteryEmpty:=TRUE;
28     ELSE BatteryEmpty:=FALSE;
29 END_IF
30
31 //Temp down, discharge only
32 BattTempDown:=Flags.4; //BattTempDown
33 BattTempDownError:=Flags.12; //BatteryTempDownError

```

KUVA 38. Muut tiedot

Kuvassa 38 "BatteryFull"-muuttujan arvo muuttuu ykköseksi, jos "SocUp"-, "CellVoltageUp"- tai "BatteryFullError"-bitti muuttuu ykköseksi. Kukin näistä biteistä on poimittu "Flags"-muuttujasta. Jos "BatteryFull"-bitin arvo on yksi, tarkoittaa se energiavaraston olevan täynnä. Tällöin energiavarastoa voidaan ainoastaan purkaa.

Kuvassa 38 "BatteryEmpty"-muuttujan arvo muuttuu ykköseksi, jos "SocDown"-, "CellVoltageDown"- tai "BatteryEmptyError"-bitti muuttuu ykköseksi. Kukin näistä biteistä on poimittu "Flags"-muuttujasta. Jos "BatteryEmpty"-bitin arvo on yksi, tarkoittaa se energiavaraston olevan tyhjä. Tällöin energiavarastoa voidaan ainoastaan ladata.

"BattTempDown"- ja "BattTempDownError"-muuttujat tallennetaan "Flags"-muuttujasta. Jos edes toinen näistä muuttujista muuttuu arvoltaan ykköseksi, on energiavaraston lämpötila alarajalla, jolloin energiavaraston purku- ja latausvirtaa joudutaan rajoittamaan pienemmiksi.

CAN-väylän vikoja voidaan tässä työssä indikoida kahdella eri tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on se, että SAE J1939 -väylän kaapeli vikaantuu tai irtoaa, tai väylälaite vikaantuu. Tällöin väylämuunnoskortti ei vastaanota viestejä SAE J1939 -puolelta. Kuvan 20 "TimeOut Data" -asetuksessa määritetyn ajan verran

muunnoskortti odottaa viestejä, mutta jos tämän ajan kuluttua viestejä ei ole tullut, lähettää se CANopen-väylään viestin "FFFFFFFF". Tällaista viestiä luettaessa voidaan todeta SAE J1939 -väylän olevan vikaantunut.

Toinen vaihtoehto on se, että CANopen-väylän kaapeli vikaantuu tai irtoaa, tai väylälaite vikaantuu. Tällöin EL6751-moduuli ei vastaanota enää viestejä. Kuvassa 27 "Event Time" -kohdassa asetetun ajan verran moduuli odottaa viestejä, mutta jos tämän ajan kuluttua viestejä ei ole tullut, kirjoittaa se jokaiseen RxPDO:hon arvon nolla, jonka jälkeen se menee "Can error" -tilaan. Eli jos jonkun viestikehyksen arvo on nolla, voidaan todeta CANopen-väylän vian olevan aktiivinen. Molemmat viantunnistukset on toteutettu ohjelmakoodissa kuvan 39 mukaisesti.

```

68 IF KehysD1=0 OR KehysD2=0 OR KehysD3=0 OR KehysD4=0
69 OR KehysD1=CanErrorValue OR KehysD2=CanErrorValue OR KehysD3=CanErrorValue OR KehysD4=CanErrorValue THEN
70     BusError:=TRUE;
71     SOC:=0;
72 ELSE BusError:=FALSE;
73 END_IF

```

KUVA 39. Väylävikojen tunnistus

Kuvan 39 ehtolausekkeessa määritetään, että jos jokin käytetyistä kehyksistä saa arvon nolla tai "CanErrorValue", muuttuu "BusError"-muuttujan arvo ykköseksi. Muutoin arvo on nolla. "CanErrorValue"-muuttujan arvo on heksadesimaalina "FFFFFFFF", eli aiemmin mainittu vikaindikaattori.

Viestien purkamiseen tarkoitettun ohjelman "KalmarBankMessages" rajapinta näyttää kuvan 40 mukaiselta.

```

10 //Kalmar message parsing
11 KalmarBankMessages (
12     KehysD1:=gInputs.FrameD1,
13     KehysD2:=gInputs.FrameD2,
14     KehysD3:=gInputs.FrameD3,
15     KehysD4:=gInputs.FrameD4,
16     SOC=>,
17     MaxTotalVoltage=>,
18     AvgTotalVoltage=>,
19     MinTotalVoltage=>,
20     MaxModuleTemp=>,
21     AvgCurrent=>,
22     BankError=>,
23     BankErrorCode=>,
24     BusError=>,
25     BatteryFull=>,
26     BatteryFullError=>,
27     BatteryEmpty=>,
28     BatteryEmptyError=>,
29     BattTempDown=>,
30     BattTempDownError=>);

```

Input: CAN-viestit

Output: Lukuarvomuuttujat

Output: Tilabitit

Output: Vikakoodi

Output: Tilabitit

KUVA 40. "KalmarBankMessages"-ohjelman rajapinta

Ohjelman sisään tuodaan CAN-väylän viestit. Ohjelmasta tulee ulos kuvassa 40 punaisella ympyröidyt lukuarvomuuttujat, joiden nimestä voi jo päätellä, mitä viesti sisältää. Ohjelmasta ulos tulee myös kuvassa 40 vihreällä ympyröidyt tilabitit ja violetilla ympyröity vikakoodi.

4.8 Energiavaraston tilakone

Energiavarastolle päädyttiin tekemään HESS:n PLC:llä "KALMARbatteryCtrl"-tilakoneohjelma, joka hallinnoi mahdollisia tiloja, joissa energiavarasto voi olla. Jokaisella energiavaraston tilakoneen tilalla on jokin toiminnallisuus ja rajat, mitä energiavarasto voi kyseisessä tilassa tehdä, ja millä ehdoin tilasta voidaan mennä toiseen tilaan. Tilakoneeseen tuotiin sisään edellä mainitut "BankError"-, "BatteryFull"-, "BatteryFullError"-, "BatteryEmpty"-, "BatteryEmptyError"-, "BattTempDown"-, "BattTempDownError"- ja "BusError"-muuttujat. Näiden tietojen lisäksi tilakoneen sisään tuotiin numeerisena arvona "SOC" eli varausprosentti, konvertterin sisääntulojännite, käyttäjän kosketusnäytöltä antama "SOC"-alaraja ja -yläraja ja binaarinen käynnistyspyyntö. Näiden tietojen avulla energiavaraston tilakonetta voitiin hallita. Edellä mainitut muuttujat merkitsevät energiavaraston varaustilaa ja lämpötilaa taulukon 9 mukaisesti.

TAULUKKO 9. Energiavaraston tilaa ilmaisevat muuttujat

BankError	Energiavarastossa aktiivinen vika
BusError	Väylässä aktiivinen vika
BatteryFull	Energiavarasto täynnä
BatteryFullError	
SOC>SOC-yläraja	
BatteryEmpty	Energiavarasto tyhjä
BatteryEmptyError	
SOC<SOC-alaraja	
BattTempDown	Energiavarasto liian kylmä
BattTempDownError	

Energiavarastolle päädyttiin tekemään seitsemän erilaista tilakoneen tilaa, jotka löytyvät taulukosta 10.

TAULUKKO 10. Energiavaraston tilakoneen tilat

Nro.	Tila	Selitys	Mahdolliset seuraavat tilat
1.	KalmarIdle	Tyhjäkäyntitila	2
2.	KalmarStarting	Käynnistystila	3,4,5,6,7
3.	KalmarRunning	Normaali käyttötila	4,5,6,7
4.	KalmarChargeOnly	Vain lataus -tila	3,5,6,7
5.	KalmarDischargeOnly	Vain purku -tila	3,4,6,7
6.	KalmarShutdown	Sammutustila	1,7
7.	KalmarEstop	Hätäpysäytystila	1

"KalmarIdle" on tyhjäkäyntitila, jossa energiavarasto on sammutettu, ja sen pääkontaktori on auki, mutta jossa energiavaraston tilakoneohjelma odottaa käskyä siirtyä käynnistystilaan eli "KalmarStarting"-tilaan.

"KalmarStarting"-tila on käynnistystila, jossa energiavarastolle tehdään sen käynnistyssekvenssi. Tilaan siirrytään, jos "KalmarIdle"-tilassa vastaanotetaan käynnistyskäsky, jonka käyttäjä antaa kosketuspaneelistä. Energiavaraston on mahdollista vastaanottaa käynnistyskäsky vain, jos energiavaraston konvertterin pääkytkin on kiinni. Käynnistyssekvenssin alussa energiavarastolle kytketään päälle

apujännitteet HESS:n PLC:n ohjaamalla releellä. Apujännitteiden kytkeytyessä päälle energiavaraston pääkontaktorin 10 sekunnin vetohidastus alkaa. Tämän 10 sekunnin aikana tarkastellaan, toimiiko energiavaraston ja HESS PLC:n välinen väyläliikenne (BusError-bitin arvon täytyy olla nolla), ja ettei energiavarastossa ole aktiivisia vikoja (BankError-bitin arvon täytyy olla nolla). Jos kahdeksan sekunnin kohdalla ja sen jälkeen väyläliikenne toimii ja vikoja ei ole, jätetään energiavaraston apujännitteet päälle, jolloin 10 sekunnin kohdalla pääkontaktori sulkeutuu. Jos aktiivisia vikoja sen sijaan on (BankError=1), tai väyläliikenne ei toimi (BusError=1), siirrytään "KalmarShutdown"-tilaan. Jos apujännitteet jätetään päälle, tarkastetaan 12 sekunnin kohdalla tuleeko energiavaraston jännite sen oman konvertterin tulonapoihin. Jos jännitettä ei tule, siirrytään "KalmarShutdown"-tilaan. Jännitteettömyys voi tarkoittaa esimerkiksi konvertterin ja energiavaraston välisen kaapelin irtoamista tai pääkontaktorin vikaantumista. Jos jännite sen sijaan tulee konvertterille asti, siirrytään joko "KalmarChargeOnly"-, "KalmarDischargeOnly"- tai "KalmarRunning"-tilaan. Se tila johon siirrytään, riippuu energiavaraston varaustilasta.

"KalmarRunning"-tilaan siirrytään, jos energiavarasto ei ole tyhjä tai täynnä. Tässä tilassa ohjelma asettaa energiavaraston maksimipurku- ja maksimilatausvirraksi energiavaraston nimelliset lataus- ja purkuvirrat. Maksimilatausjännitteeksi asetetaan energiavaraston suurin sallittu jännite ja minimipurkujännitteeksi energiavaraston pienin sallittu jännite.

"KalmarChargeOnly"-tilaan siirrytään, jos "BatteryEmpty"- tai "BatteryEmptyError"-bitit muuttuvat ykköseksi, tai jos energiavaraston "SOC" on pienempi kuin käyttäjän asettama "SOC"-alaraja. Nämä tarkoittavat, että energiavarasto on tyhjä. Tähän tilaan siirryttäessä ohjelma laskee ensin energiavaraston purkuvirtarajan lineaarisella rampilla nolnaan, jonka jälkeen ohjelma asettaa energiavaraston maksimilatausvirraksi energiavaraston nimellisen latausvirran. Maksimipurkuvirraksi asetetaan nolla. Maksimilatausjännitteeksi asetetaan energiavaraston suurin sallittu jännite. Minimipurkujännitteeksi asetetaan 1000 voltia, joka varmistaa, että energiavarasto ei purkaudu.

"KalmarDischargeOnly"-tilaan siirrytään, jos "BatteryFull"- tai "BatteryFullError"-bitit muuttuvat ykköseksi, tai jos energiavaraston "SOC" on suurempi kuin käyttäjän asettama "SOC"-yläraja. Nämä tarkoittavat, että energiavarasto on täynnä. Tähän tilaan siirryttäessä ohjelma laskee ensin energiavaraston latausvirtarajan lineaarisella rampilla nolnaan, jonka jälkeen ohjelma asettaa energiavaraston maksimipurkuvirraksi energiavaraston nimellisen purkuvirran. Maksimilatausvirraksi asetetaan nolla. Minimipurkujännitteeksi asetetaan energiavaraston pienin sallittu jännite. Maksimilatausjännitteeksi asetetaan nolla voltia, joka varmistaa, että energiavarasto ei lataudu.

"KalmarRunning"-, "KalmarChargeOnly"- ja "KalmarDischargeOnly"-tiloihin tulee vielä edellä mainittujen ehtojen lisäksi yksi lisäehto. Jos tilakone on jossain näistä kolmesta tilasta, ja "BattTempDown"- tai "BattTempDownError"-bitti on päällä samanaikaisesti, lasketaan latausvirtaraja 10-prosenttiin maksimilatausvirrasta ja purkuvirtaraja 50-prosenttiin maksimipurkuvirrasta. Virtarajat lasketaan rampilla näihin rajoihin. Tällä ehdolla pienennetään energiavaraston paristojen vaurioitumisriskiä ja nopeaa ikääntymistä matalalla lämpötilalla.

"KalmarShutdown"-tilaan voidaan siirtyä kustakin neljästä edellä mainitusta tilasta. Aiemmin mainittujen syiden lisäksi tähän tilaan voidaan siirtyä seuraavista syistä:

1. Jos huomataan CAN-väylä-/energiavarastovika (BusError tai BankError)
2. Jos konvertterin pääkytkin aukaistaan
3. Jos konvertterin tulonavoista häviää jännitteet
4. Jos tulee HESS-järjestelmän sammutuspyyntö
5. Jos konvertterilta tulee vikatieto
6. Jos HESS-järjestelmän käynnistys keskeytetään

"KalmarShutdown"-tilassa ensimmäisenä lataus- ja purkuvirtarajat lasketaan lineaarisella rampilla nolnaan, jonka jälkeen lataus- ja purkuvirtarajaksi asetetaan nolla. Maksimilatausjännitteeksi asetetaan nolla voltia ja minimipurkujännitteeksi 1000 voltia, jonka jälkeen apujännitteet poistetaan energiavarastolta, jolloin pääkontaktori aukeaa. Tämän jälkeen palataan tilaan "KalmarIdle" odottamaan uutta käynnistystä.

”KalmarEstop”-tilaan voidaan siirtyä mistä tahansa edellä mainitusta viidestä tilasta, jos hätäpysäytyspainiketta painetaan. Tässä tilassa tehdään muutoin samoin kuin ”KalmarShutdown”-tilassa, mutta virtarajat lasketaan rampin sijaan suoraan alas.

”KALMARbatteryCtrl”-ohjelman rajapinta näyttää kuvan 41 mukaiselta.

```

33 //Kalmar battery control
34 KALMARbatteryCtrl(
35     HessStartingInterrupted:=MainStateMachine.o_StartingInteruppted,
36     BatteryConverterState:=prgBatConvCtrl.eStatus,
37     KalmarConverterVoltage:=Inputs_Main.rIn_BAT_InputVoltage,
38     KalmarSOC:=KalmarBankMessages.SOC,
39     KalmarSocLimitUp:=prgBatConvCtrl.iESchargeSOClimit,
40     KalmarSocLimitDown:=prgBatConvCtrl.iESdischargeSOClimit,
41     KalmarBankOnRequest:=,
42     CanBusError:=KalmarBankMessages.BusError,
43     KalmarBankError:=KalmarBankMessages.BankError,
44     BankFull:=KalmarBankMessages.BatteryFull,
45     BankFullError:=KalmarBankMessages.BatteryFullError,
46     BankEmpty:=KalmarBankMessages.BatteryEmpty,
47     BankEmptyError:=KalmarBankMessages.BatteryEmptyError,
48     BankTempDown:=KalmarBankMessages.BattTempDown,
49     BankTempDownError:=KalmarBankMessages.BattTempDownError,
50     Estop:=NOT gInputs.gIn_EstopNotTripped,
51     KalmarSupplyVoltageControl=>gOutputs.KalmarSupplyVoltageOn,
52     KalmarMaxChargeCurrent=>,
53     KalmarMaxDischargeCurrent=>,
54     KalmarChargeCurrentFactor=>,
55     KalmarDischargeCurrentFactor=>,
56     KalmarMaxChargeVoltage=>,
57     KalmarMinDischargeVoltage=>,
58     ConvOnReq=>,
59     o_KalmarRunning=>,
60 );

```

KUVA 41. ”KALMARbatteryCtrl”-ohjelman rajapinta

Rajapintaan tulee muuttujia useilta eri ohjelmilta. Eniten niitä tulee ”KalmarBankMessages”-ohjelmalta, joka käsittelee energiavaraston väyläviestejä. Kuvassa 41 on ympyröity ohjelmaan tulevat muuttujat sinisellä ja ohjelmasta lähtevät muuttujat punaisella. Rajapinnan muuttujia ja niiden toiminnallisuuksia ei enempää tässä työssä selitetä, mutta niiden tarkoitus selviää liitteistä 2 ja 3, joissa on energiavaraston tilakoneen vuokaavio.

4.9 Akkukonvertterin viat ja tilakone

Energiavaraston konvertterin viat voivat johtaa edellä mainitusti konvertterin ja energiavaraston sammutukseen. Konvertterilla on neljä erilaista vikaa, jotka voivat johtaa sammutukseen. Viat löytyvät taulukosta 11.

TAULUKKO 11. Konvertterin viat

Vika
Ylivirta
Energiavaraston ylijännite
DC-kiskon ylijännite
Ylilämpö

Konvertterin oman tilakoneen ”prgBatConvCtrl” tilasta voidaan havaita, milloin konvertteri sammuu viasta johtuen. Taulukossa 11 mainitut viat johtavat HESS:n päällä ollessa siihen, että konvertterin tilakone menee tilaan ”eBat_conv_shutdown_reboot_needed”, jolloin konvertteri sammuu. Energiavaraston oma tilakone lukee tämän tiedon, jolloin myös energiavarasto tiedetään sammuttaa. ”KALMARbatteryCtrl”- ja ”KalmarBankMessages”-ohjelmasta viedään paljon tietoa myös ”prgBatConvCtrl”-ohjelmaan. ”prgBatConvCtrl”-rajapinta näyttää kuvan 42 mukaiselta.

```

137 // BAT Converter Controller
138 prgBatConvCtrl (
139     xBatConvOnReq := ConverterInputs.gBat_OnOffReset AND KALMARbatteryCtrl.ConvOnReq,
140     rDCLinkVoltage := Inputs_Main.rIn_DCLC_DCLinkVoltage,
141     rBatInputVoltage := Inputs_Main.rIn_BAT_InputVoltage,
142     rBatCurrent := Inputs_Main.rIn_BAT_ES_Current,
143     rTempConv := Inputs_Main.rIn_BAT_Temp_IO,
144     xBAT_ITR_Lock := NOT(gInputs.gIn_BAT_ITR_Lock), // Active low
145     xBAT_ESOV_Lock := NOT(gInputs.gIn_BAT_ESOV_Lock), // Active low
146     xBAT_DCOV_Lock := NOT(gInputs.gIn_BAT_DCOV_Lock), // Active low
147     xBAT_OT_Lock := NOT(gInputs.gIn_BAT_OT_Lock), // Active low
148     i_StartingInterrupted:=MainStateMachine.o_StartingInterrupted,
149     iSOC:=KalmarBankMessages.SOC,
150     iBMZ_chargeCurrentLimit:=KALMARbatteryCtrl.KalmarMaxChargeCurrent,
151     iBMZ_dischargeCurrentLimit:=KALMARbatteryCtrl.KalmarMaxDischargeCurrent,
152     iBMZ_chargeVoltageLimit:=KALMARbatteryCtrl.KalmarMaxChargeVoltage,
153     iBMZ_dischargeVoltageLimit:=KALMARbatteryCtrl.KalmarMinDischargeVoltage,
154     iBMZ_maxChargeCurrentFactor :=KALMARbatteryCtrl.KalmarChargeCurrentFactor,
155     iBMZ_maxDischargeCurrentFactor :=KALMARbatteryCtrl.KalmarDischargeCurrentFactor,
156     eStatus =>,
157     eBatWarning =>,
158     rDcLinkVoltageSet => Outputs_main.rOut_BAT_Setpoint,
159     rCurrentLimDischarge => Outputs_main.rOut_BAT_DischargeCurrentLimit,
160     rCurrentLimCharge => Outputs_main.rOut_BAT_ChargeCurrentLimit,
161     xGeneratorRequired => ConverterInputs.g_x_Gen_needed_BAT,);

```

KUVA 42. ”prgBatConvCtrl”-ohjelma

Kuvassa 42 on ympyröity punaisella "KalmarBankMessages"-ohjelmasta tulevat muuttujat, ja sinisellä "KALMARbatteryCtrl"-ohjelmasta tulevat muuttujat. Kyseiset muuttujat on selitetty myös liitteessä 3.

4.10 Rajapinnat muihin tilakoneisiin

Energiavaraston tilakoneesta täytyy viedä tietoa muihinkin tilakoneisiin, jotta esimerkiksi vikatilanteita, käynnistyksiä ja sammutuksia voidaan hallita oikein. Energiavarastolta menee HESS:n päätilakoneelle eli "MainStateMachine":lle tieto, onko energiavarasto käyttötilassa vai sammuksissa. Tämä tieto on energiavaraston tilakoneen ulostulobitissä "o_KalmarRunning". Tieto on viety HESS:n päätilakoneelle kuvan 43 mukaisesti.

```
i_KalmarRunning:=KALMARbatteryCtrl.o_KalmarRunning,
i_ShutdownRequest := (NOT KALMARbatteryCtrl.o_KalmarRunning AND gVisu.xStopSystem) OR Estop.EstopTripped,
```

KUVA 43. Osa päätilakoneen sisääntulojen määrittelyistä

Kuvassa 43 "i_ShutdownRequest" on päätilakoneen sisääntulobitti, joka pyytää HESS:n sammutusta bitin ollessa yksi. Bitti voi olla yksi vain jos energiavarasto on sammuksissa, ja "STOP"-painiketta on painettu, tai jos hätäseis-painiketta on painettu. "o_KalmarRunning"-bitti on lisätty ehtoon, jotta HESS-järjestelmän sammutussekvenssi ei ala ennen kuin energiavaraston sammutussekvenssi on suoritettu. Energiavaraston sammumisen jälkeen "i_ShutdownRequest"-bitti voi muuttua ykköseksi, jolloin HESS-järjestelmä voi myös sammua.

Päätilakoneeseen viedään erikseen myös "i_KalmarRunning"-bitti, joka on edellä mainittu "o_KalmarRunning"-bitti. Tällä on kuvan 44 mukainen tarkoitus.

```
IF (i_Bat_Konv_MainSwitch AND i_KalmarRunning) OR
   (NOT i_Bat_Konv_MainSwitch AND (i_PV_Konv_MainSwitch OR
   i_Gen_Konv_MainSwitch OR gTest.xUseTestValues) AND gVisu.xRunButton) THEN
   gAlarms.sStarted_a := TRUE;
   state := eMS_Starting;|
END_IF
```

KUVA 44. "i_KalmarRunning"-bitin vaikutus

Kuvan 44 mukainen ohjelmakoodi hallinnoi päätilakoneen menemistä käynnistystilaan. Se voi mennä kyseiseen tilaan, jos energiavaraston pääkytkin on suljettu ja energiavarasto on käyttötilassa. Se voi mennä kyseiseen tilaan myös, jos energiavaraston pääkytkin on auki, ja jonkun muun tulon pääkytkin kiinni, ja "START"-painiketta on painettu. Tämä estää HESS-järjestelmää käynnistymästä ennen energiavaraston käynnistymistä, jos energiavaraston pääkytkin on kiinni. Tämä tehdään siksi, että energiavaraston pääkontaktori täytyy saada suljettua ennen HESS-järjestelmän käynnistymistä, jotta HESS-järjestelmä tekee esimerkiksi DC-välipiirin esilatauksen oikein.

5 OHJAUSJÄRJESTELMÄN TESTAUS

Energiavaraston ohjausjärjestelmää testattiin laboratorioympäristössä mahdollisimman monipuolisesti. HESS-järjestelmää ohjaavaan PLC:hen syötettiin oikeaa tilannetta vastaavia simulaatiojännitteitä ja -virtoja, jotta nähtiin, miten energiavarastolle tehty ohjelma ja ohjausjärjestelmä reagoi erilaisiin käyttötilanteisiin ja viikatilanteisiin. Simuloiduissa tilanteissa ohjaus saatiin toimimaan halutulla tavalla monien ohjelmapäivitysten jälkeen, jotka sisältyvät myös liitteeseen 2 ja 3. HESS-järjestelmää ohjataan normaalissa käyttötilanteessa kosketusnäytöllä, joka näkyy kuvassa 45.



KUVA 45. HESS-järjestelmän kosketusnäyttö

Tämän jälkeen siirryttiin oikeaan käyttöönottoympäristöön, jossa tehtiin lopullinen käyttöönotto energiavarasto-osuudelle HESS-järjestelmässä. Aluksi testattiin energiatulojen pääkytkimien tilatietojen ja tulokontaktorien toiminta, jotta ne toimivat halutulla tavalla. Sen jälkeen energiavaraston apujännitteet pakotettiin päälle, jotta nähtiin, toimiiko väyläliikenne, ja vetääkö energiavaraston pääkontaktori normaalisti 10 sekunnin kuluttua apujännitteiden kytkemisestä. Kun edellä mainitut asiat toimivat normaalisti, käynnistettiin HESS-järjestelmä siten, että energiavaraston konvertteri oli ainoa, joka liitettiin DC-välipiiriin. Tällöin testattiin

energiavaraston ja HESS-järjestelmän käynnistyssekvenssi siihen pisteeseen asti, että välipiirin jännite saatiin nostettua energiavaraston sen hetkisestä jännitteestä välipiirin nimelliseen jännitteeseen asti. Tämän jälkeen seurasi järjestelmän sammutus, jolloin nähtiin energiavaraston ja HESS:n sammutussekvenssin toiminta.

Järjestelmä toimi hienosti näiltä osin, joten seuraavaksi kokeiltiin HESS-järjestelmää täydessä toiminnassaan, eli myös saarekeverkkoinvertteri kytkettiin välipiiriin. Käynnistys tehtiin koko järjestelmälle. Käynnistys tehtiin siten, että ensin valittiin energiatulot, joilla saarekeverkko halutaan luoda, eli tässä tapauksessa energiavarastotulon pääkytkin Q2. Tämän jälkeen painettiin kosketusnäytöltä "START", jonka jälkeen energiavaraston käynnistyssekvenssi alkoi. Näytölle ilmestyi "ES1 starting", joka kertoi energiavaraston käynnistyssekvenssin olevan aktiivinen. Kun energiavaraston käynnistyssekvenssi oli suoritettu ja sen pääkontaktorit olivat sulkeutuneet, alkoi HESS:n oma käynnistyssekvenssi. Sekvenssi alkoi välipiirin esilatauksella energiavaraston jännitteeseen. Esilatauksen jälkeen HESS:n energiavarastotulon kontaktorit sulkeutuivat, ja energiavaraston konvertteri nosti välipiirin jännitteen nimelliseen arvoon. Tämän jälkeen saarekeverkkoinvertteri käynnistyi ja sen lähtökontaktorit sulkeutuivat. HESS muodosti saarekeverkon nyt onnistuneesti pelkästään energiavarastosta.

Energiavaraston konvertteri sai energiavarastolta oikeat tiedot sen jännitteen ylä- ja alarajoista sekä lataus- ja purkuvirtarajoista. Tämän jälkeen oli vuorossa järjestelmän sammutus. "STOP"-nappia painaessa kosketusnäytöltä laski energiavaraston konvertterille antamat virtarajat lineaarisella rampilla nolnaan, jonka kuuli hyvin myös konvertterin kytkentä-äänien pienenemisestä. Tämän jälkeen energiavarastolta poistui apujännitteet ja pääkontaktorit aukesivat. Energiavaraston sammutussekvenssin päätyttyä HESS:n oma sammutussekvenssi alkoi. Järjestelmä sammui lopulta kokonaan onnistuneesti.

Ensimmäisen koekäynnistyksen ja sammutuksen jälkeen käynnistystä ja sammutusta kokeiltiin pelkällä energiavarastolla vielä muutaman kerran, jolloin pysyttiin toteamaan järjestelmän toimivan siltä osin melko vakaasti. Tämän jälkeen kokeiltiin Vacon:n AFE:n eli aktiivisen etuasteen ja energiavaraston yhteiskäyttöä saarekeverkkokäytössä. Käynnistys sujui kuten edellä. Ensin energiavarastoa

kokeiltiin purkaa AFE:lla, eli käytännössä ajaa tehoa energiavarastosta syöttävään verkkoon. Energiavaraston purkuvirtaa nostettiin asetettuun purkuvirtarajaan saakka, jolloin nähtiin, ettei konverteri ylitä annettua parametriä. Energiavarastoa purettiin myös SOC:n alarajalle asti, jolloin nähtiin, pysähtyykö energiavaraston purku alarajalla niin kuin kuuluisi. Edellä mainitut toiminnot toimivat odotetusti.

Energiavarastoa kokeiltiin myös ladata AFE:lla syöttävästä verkosta. Latausvirtaa nostettiin asetettuun latausvirtarajaan saakka, jolloin nähtiin myös, ettei latausvirtaraja ylity. Energiavarasto ladattiin SOC:n ylärajalle asti, jolloin nähtiin, pysähtyykö energiavaraston lataus niin kuin kuuluisi. Edellä mainitut toiminnot todettiin toimivaksi. Saarekeverkkoon syötettiin tehoa lopuksi vielä energiavaraston ja AFE:n kautta yhtäaikaisesti onnistuneesti.

Seuraavaksi katsottiin, miten energiavaraston ohjaus toimii vikatilanteissa ja häätäpysäytyksissä. Erilaisia vikoja ja häätäpysäytyksiä tehtiin energiavarastolle taulukon 12 mukaisesti. Testien välissä tehtiin aina normaali käynnistys ja sammutus ilman vikaa, jotta nähtiin, palautuuko HESS vioista, ja toimiiko se normaalisti niiden poistuttua. Aluksi vikoja ja häätäpysäytyksiä tehtiin välittömästi HESS:n käynnistymisen jälkeen ensimmäisen sarakkeen mukaisesti siten, että energiavarasto ja AFE olivat ainoat aktiiviset energiatulot. HESS:n käynnistys keskeytyi vikojen seurauksena odotetusti ja energiavarasto palasi odotustilaan kuten myös HESS.

TAULUKKO 12. Vikatestaustaulukko

Käynnistys (AFE ja ES1)	HESS päällä (AFE ja ES1)	HESS päällä (ES1)
CANopen-vika	CANopen-vika	CANopen-vika
SAE J1939 vika	SAE J1939 vika	SAE J1939 vika
Energiavaraston vika	Energiavaraston vika	Energiavaraston vika
Tehonsiirtoyhteys poikki	Tehonsiirtoyhteys poikki	Tehonsiirtoyhteys poikki
Apujännitteet puuttuvat	Apujännitteet puuttuvat	Apujännitteet puuttuvat
ES1 hätäseis	ES1 hätäseis	ES1 hätäseis
HESS hätäseis	Energiavarasto kylmä	HESS hätäseis
START → 5s → STOP	Q2 aukaisu	Energiavarasto kylmä
Q2 aukaisu		Q2 aukaisu

Sen jälkeen HESS käynnistettiin näillä kahdella tulolla käyntiin asti, ja vikoja asetettiin toisen sarakkeen mukaisesti. Viat tehtiin aktiiviseksi HESS:n ollessa päällä eli normaalissa käyntitilassa. Vikojen ja hätäpysäytysten seurauksena energiavarasto ja sen konvertteri erottuivat HESS-järjestelmästä hallitusti ja odotetulla tavalla lopun järjestelmän jäädessä aktiiviseksi. Yksi tapaus johti virheelliseen toimintaan, josta kerrotaan luvun lopussa.

Lopuksi samat viat tehtiin vielä sarakkeen kolme mukaisesti energiavaraston ollessa ainut energiatulo ja HESS:n ollessa päällä. Tällä asetelmalla HESS sammui kokonaan vikojen seurauksena kuten kuuluu, koska ainoan tulon sammumisen seurauksena HESS ei pysty muodostamaan saarekeverkkoa, jolloin se on järkevää sammuttaa.

HESS ja energiavarasto reagoivat odotetusti vikoihin ja pysäytyksiin lukuun ottamatta yhtä tapausta. Kun energiavarasto ja AFE olivat energiatuloina, ja HESS-järjestelmä oli normaalissa käyttötilassa, toimi järjestelmä virheellisesti tehonsiirtoyhteyden katketessa. Tehonsiirtoyhteys energiavaraston ja HESS:n välillä voi katketa, jos painetaan energiavaraston hätäpysäytyspainiketta, energiavaraston sulakkeet palavat tai jos kaapeli yksinkertaisesti katkeaa. Näissä tapauksissa energiavaraston ohjelman kuuluisi tehdä sammutussekvenssi, mutta näin ei testeissä tapahtunut.

Syyksi selvisi energiavaraston konvertterin odottamaton toiminta. Vaikka konvertteri menettää vastajännitteen energiavaraston puolelta, pyrkii se edelleen muodostamaan jännitteen energiavaraston puolelle DC-välipiirin kautta. Jännitteen huomattiin olevan sama, mikä on DC-välipiirissäkin. Jos energiavarasto on ainut energiatulo, tätä ongelmaa ei ole. Tämä johtuu siitä, että HESS tarvitsee vähintään yhden energiatulon muodostaakseen välipiirijännitteen. Mikäli viimeinenkin tulo eli energiavarasto irtoaa välipiiristä, romahtaa välipiirin jännite, jolloin konvertteri ei pysty muodostamaan energiavaraston puolelle jännitettä. Tässä tapauksessa energiavaraston jännitteen puuttuminen konvertterilta pystytään mittaamaan, ja sen seurauksena energiavarasto ja sen konvertteri sammuttamaan, kuten testeissä tapahtuikin.

Jos kuitenkin AFE on toisena tulona syöttämässä välipiiriin jännitettä, ei energiavaraston tehonsiirtoyhteyden katkeaminen poista välipiiristä jännitettä. Näin ollen energiavaraston konvertteri saa välipiiristä yhä jännitteen, jolloin se ylläpitää energiavaraston puoleista jännitettä. Kun energiavaraston jännitettä mitataan konvertterilla, ei voida tietää, onko jännite oikeasti energiavaraston vai konvertterin muodostama. Näin ollen tilanteeseen ei pystytä reagoimaan. Koska energiavaraston jännite voi olla hyvin samansuuruinen DC-välipiirin jännitteen kanssa, edes jännitteen suuruudesta ei voida päätellä mitään.

Edellä mainitun kaltainen toiminta voi aiheuttaa useita vaarallisia tilanteita, kun energiavaraston lähtökontaktorien navat ovat jännitteiset, vaikka kontaktorit ovat auki. Energiavaraston hätäpysäytys tässä tapauksessa voitaisiin toteuttaa yhdellä lisäjohtimella energiavaraston ja HESS:n välillä, jossa kuljetettaisiin hätäpysäytyspainikkeen tilatieto. Sulakkeiden palamista voitaisiin indikoida lisäämällä sulakkeille tilatiedot, mutta välikaapelista loppuu johtimet kesken tilatietojen kuljettamiseen HESS-järjestelmälle, ellei tietoja lähetetä CAN-väylässä. Tehonsiirtoyhteyden katkeamista sen sijaan on erittäin hankala mitata, sillä jännite jää katkon molemmille puolille suunnilleen yhtä suurena. Ratkaisua ei HESS-järjestelmän konvertterin toiminnan takia tällä hetkellä ole, joten käyttäjän on erittäin tärkeää tiedostaa tämä ongelma.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa yksinkertainen, mutta toimiva ja turvallinen ohjausjärjestelmä energiavarastolle. Energiavaraston ja HESS-järjestelmän välille saatiin rakennettua luotettava CAN-väyläyhteys, vaikka järjestelmät käyttätkin eri CAN-väyläprotokollaa. Väyläviestit saatiin purettua onnistuneesti HESS-ohjelmassa siten, että energiavarastolta saadaan kaikki tarvittava tieto HESS-järjestelmälle. Järjestelmä saatiin reagoimaan oikein myös CAN-väylän vikoihin.

Energiavaraston sähköinen ohjaus tehtiin ohjausjohtimien pienen määrän ja yksisuuntaisen väyläyhteyden vuoksi hyvin yksinkertaiseksi. Kaapelien määrä ohjaavan järjestelmän sekä energiavaraston välillä saatiin onnistuneesti hyvin pieneksi säilyttäen samalla energiavaraston hyvä hallinta. Tämä yksinkertainen ohjausratkaisu vaati kuitenkin ohjaavalta järjestelmältä enemmän älyä ja toimenpiteitä turvallisen ohjauksen takaamiseksi. Ohjaus saatiin suurimmilta osin turvallisiksi ja toimiviksi käyttäen HESS-järjestelmän olemassa olevia mittauksia, ja muokkaamalla ohjelmakoodia työn tarkoitukseen sopivaksi.

Energiavarastolle tehty PLC-ohjelma todettiin toimivaksi. Energiavaraston tilakoneohjelma ja väyläviestien purkamiseen tarkoitettu ohjelma toimi kuten kuuluu. Energiavaraston vikojen ja hälytysten indikointi ja niihin reagointi ohjausjärjestelmässä toimi halutulla tavalla lukuun ottamatta yhtä tilannetta.

Työn edetessä huomattiin, että ohjaavan järjestelmän ja energiavaraston välillä olisi voitu ottaa käyttöön GB/T-kaapelissa vapaana oleva johdin "CC1" tai "CC2" energiavaraston pääkontaktorin suoraan ohjaukseen. Tällöin energiavaraston ohjausta olisi saatu vieläkin monipuolisemmaksi. Idea tuli kuitenkin liian myöhään, sillä suunnitelman muutos olisi vaikuttanut melko laajalti, ja olisi aiheuttanut näin ollen liian paljon työtä. Tämän hetkisessä ohjauksessa on se huono puoli, että energiavaraston vian tai väylävian ilmaantuessa energiavarastosta katoaa apujännitteet HESS:n toiminnan seurauksena. Tällöin energiavarastosta ei saada minkäänlaista tietoa enää vian jälkeen. Käyttäjälle ilmoitetaan ainoastaan näytön avulla, mikä vika johti energiavaraston ja sen konvertterin sammutukseen.

Olisi parempi, jos energiavaraston tilaa pystyttäisiin seuraamaan vielä vian jälkeenkin. Tällä hetkellä energiavarasto voidaan yrittää kytkeä vain uudestaan päälle, jolloin nähdään, onko vika poistunut. Apujännitteiden katkeamisessa on myös se huono puoli, että energiavaraston puhaltimet sammuvat. Tällöin esimerkiksi ylikuumentumisen seurauksena sammunut energiavarasto jäähtyy hitaammin, jos puhaltimet ovat sammuneet.

Edellä mainitut ongelmat eivät sinällään ole suuria, mutta ne olisi voitu korjata, jos yksi lisäpinni GB/T-liittimestä olisi otettu käyttöön. Tällöin energiavaraston pääkontaktorin ohjaus ja apujännitteen positiivinen johdin olisi voitu viedä energiavarastolle eri johtimissa, jolloin pääkontaktorin avaaminen ei poista apujännitteitä.

Myös energiavaraston hätäpysäytyspainikkeen tilatieto olisi voitu tuoda GB/T-liittimen vapaassa "CC1" tai "CC2" johtimessa HESS:lle, jotta energiavaraston hätäpysäytys olisi saatu toimimaan, kun useampi energiatulo on käytössä. Energiavaraston sulakkeiden palamista pystyttäisiin aiemmin mainitun mukaisesti indikoimaan sulakkeille lisättävillä tilatiedoilla, mutta tilatiedot täytyisi lähettää CAN-väylässä, jotta välikaapelin johtimet saataisiin riittämään. Tehonsiirtoyhteyden katkeamista ei pystytä kuitenkaan mitenkään indikoimaan konvertterin toiminnan takia, eikä sille ole keksitty vielä ratkaisua.

LÄHTEET

ADFweb-verkkokauppa. N.d. J1939 / CANopen – Converter. Luettu 22.11.2019. https://adfweb.com/Home/products/J1939_CANopen.asp?language=FIN

All About Circuits. 2018. Big Endian, Little Endian, Endianness: Understanding Byte Arrangements in Digital Systems. Julkaistu 21.12.2018. Luettu 19.12.2019. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/big-endian-little-endian-endianness-byte-arrangement-digital-systems/>

Axiomatic. 2006. Q&A – What is SAE J1939.

Barr Group. 2016. Introduction to the SAE J1939 Protocol. Julkaistu 4.5.2016. Luettu 3.12.2019. <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/How-To/Introduction-SAE-J1939>

Beckhoff. 2019. EL6751 documentation.

CiA. 2011. CANopen application layer and general communication profile. Luettu 5.12.2019. https://www.can-cia.org/fileadmin/resources/documents/brochures/co_poster.pdf

CiA. N.d.a. History of CAN technology. Luettu 10.11.2019. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>

CiA. N.d.b. Process data object. Luettu 22.11.2019. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/canopen/pdo-protocol/>

CiA. N.d.c. Network management (NMT). Luettu 25.11.2019. <https://www.can-cia.org/can-knowledge/canopen/network-management/>

Corrigan, S. 2016. Introduction to the Controller Area Network (CAN). Päivitetty 5.2016. Texas Instruments.

Hietikko, M. & Alanen, J. & Tiusanen, R. 1996. Työkoneiden ja automaation CAN-väyläsovellusten turvallisuus. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

HMS Networks. N.d. SAE J1939 – a short introduction. Luettu 1.12.2019. <https://www.HMSNetworks.com/technologies/all4can/sae-j1939-technology>

Kalmar. 2015. Communication Specifications Document. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Koppe, U. 2003. Identifier Usage in CANopen Networks. MicroControl.

MSc-Electronics. 2019. HESS AFE Block Diagram. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

National Instruments. 2019a. CAN Physical Layer and Termination Guide. Päivitetty 5.3.2019. Luettu 11.11.2019. <http://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/09/can-physical-layer-and-termination-guide.html>

National Instruments. 2019b. The Basics of CANopen. Päivitetty 5.3.2019. Luettu 15.11.2019. <https://www.ni.com/fi-fi/innovations/white-papers/13/the-basics-of-canopen.html>

Phoenix Contact. 2019a. EV-GBG4C-DC125A-10,0M -tuotedokumentaatio.

Phoenix Contact. 2019b. EV-GBM4I-DC-125A2,0M -tuotedokumentaatio.

Phoenix Contact. N.d. CANopen. Luettu 23.11.2019. https://www.phoenixcontact.com/online/portal/fi?1dmy&urile=wcm:path:/fifi/web/main/products/subcategory_pages/CANopen_P-08-12-02/0801ee43-d97a-4158-a48e-a92ec76eda5c

SAB Bröckskes. N.d. Calculate cross-section and conversion factors for cables and wires. Luettu 15.12.2019. <https://www.sab-cable.com/cables-wires-harnessing-temperature-measurement/technical-data/cables-and-wires/instructions-for-the-safe-application-of-cables/boundary-conditions/calculate-wire-cross-section-current-carrying-capacity-table.html>

LIITTEET

Liite 1. Vikakoodi-taulukko

Selitys	Bitti
Yliämpö	15
Johdonsuoja auki	14
Virtaepäbalanssi	13
Hyllyn johdonsuoja lauennut	12
LIBM-kortti vika	11
Moduulien BMS-vika	10
Liian moni hylly pois käytöstä	9
Ylivirta	8
Tuuletinvika	7
Domain-kortti vika	6
Hyllykommunikaatiovika	5
Yliämpövaroitusta	4
Jännite-epäbalanssi	3
Apujännitevika	2
Jännite/SOC-epäbalanssi	1
Moduulien BMS-yhteysvirhe	0

Huom. Vikakoodin oikeanpuolimmaisina bitti on nolla ja vasemmanpuolimmaisina bitti 15.

Liite 3. "KALMARbatteryCtrl"-ohjelman vuokaavio 2/2

INPUTS:
 HESSStartingInterrupted //HESS käynnistys keskeytynyt
 BatteryConverterState //Akkukonvertterin tila
 KalmarConverterVoltage //Konvertterin tulojännite
 KalmarSOC //Energiavaraston varausprosentti
 KalmarSOCLimitUp //Energiavaraston varausprosentti yläraja
 KalmarSOCLimitDown //Energiavaraston varausprosentti alaraja
 KalmarBankOnRequest //Käynnistys-/sammutuspyyntö
 CanBusError //CAN-väylävikä
 KalmarBankError //Energiavarastossa aktiivinen vika
 BankFull //Energiavarasto täynnä -bitti
 BankFullError //Energiavarasto täynnä -varoitusbitti
 BankEmpty //Energiavarasto tyhjä -bitti
 BankEmptyError //Energiavarasto tyhjä -varoitusbitti
 BankTempDown //Energiavarasto liian kylmä -bitti
 BankTempDownError //Energiavarasto liian kylmä -varoitusbitti
 Estop //HESS:n hätäseis painettu

OUTPUTS:
 KalmarSupplyVoltageControl //Energiavaraston apujänniteohjaus
 KalmarMaxChargeCurrent //Energiavaraston maksimilatausvirta
 KalmarMaxDischargeCurrent //Energiavaraston maksimipurkuvirta
 KalmarChargeCurrentFactor //Virtakerroin latausvirralle
 KalmarDischargeCurrentFactor //Virtakerroin purkuvirralle
 KalmarMaxChargeVoltage //Maksimilatausjännite
 KalmarMinDischargeVoltage //Minimipurkujännite
 ConvOnReq //Akkukonvertterin käynnistys-/sammutuspyyntö
 o_KalmarRunning //Energiavarasto käyttötilassa

INTERNAL VARIABLES:
 CanBusTimer //Väylällikenteen tarkistukseen käytettävä ajastin käynnistytessä
 BankVoltageDetectionTimer //Konvertterin tulojännitteen tarkistuksen ajastin
 state //Energiavaraston tila
 chargeRamp //Latausvirtarampifunktio
 chargeRamp.out //Latausvirtarampifunktion ulostulo
 bChargeRamp //Latausvirtarampin käytössä
 rChargeRampIn //Latausvirtarampilla kohti tätä lukua
 dischargeRamp //Purkuvirtarampifunktio
 dischargeRamp.out //Purkuvirtarampifunktion ulostulo
 bDischargeRamp //Purkuvirtarampin käytössä
 rDischargeRampIn //Purkuvirtarampilla kohti tätä lukua

