

KARELIA AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Arto Palviainen

CAN-väyläarkkitehtuurin kehittäminen materiaalinkäsittelykoneessa

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014



OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2014
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. +358 50 260 6800

Tekijä
Arto Palviainen

Nimeke
CAN-väyläarkkitehtuurin kehittäminen materiaalinkäsittelykoneessa

Toimeksiantaja
Mantsinen Group Ltd Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ohjauslaitteiden ja ohjelmistojen välistä tiedonsiirtoa materiaalinkäsittelykoneen ohjauksessa. Työssä kerrotaan CAN-väylän perusteita pe-
rehtyen myös OSI-malliin ISO 11898-standardin kautta.

CAN-väylä on nykyisin yleinen ajoneuvoväylä, jota käytetään muun muassa moottorin ohjausväylän J1939 rinnalla. Elektroniikan lisääntymisen vuoksi CAN-väylä kasvattaa suosiotaan koneohjauksessa. Elektroniset ohjaukset tarvitsevat runsaasti anturitietoa. CAN-väylässä liikkuvat kaikki anturitiedot, mitä koneen ohjainyksiköt tarvitsevat. Väylän kautta koneen diagnosointi on helpompaa, sillä kaikki väylä liikenne on luettavissa testeillä.

Työn tarkoituksena on tutustua CAN-väylään ja eri diagnosointi-laitteisiin sekä selvittää CANopen ohjausjärjestelmään liittyviä ongelmakohtia ja tehdä niiden pohjalta korjaavat kehitysmuutokset. Mittaamisessa käytin Peak PCAN-Diag 2 diagnosointi-laitetta, jossa on mahdollista tarkastella oskilloskooppi kuvasta väyläliikennettä.

Työn lopputulos onnistui ja opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin. Tuloksena saatiin väyläarkkitehtuurin muuttaminen lineaariseksi ja väylävirheiden loppuminen koneohjaus väylästä.

Kieli
suomi

Sivuja 30
Liitteet 1
Liitesivuja 2

Asiasanat
CAN-väylä, CANopen, ajoneuvoväylän testaus



THESIS
May 2014
**Degree Programme in Mechanical and
Production Engineering**
Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel.+358 50 260 6800

Author
Arto Palviainen

Title
Developing CAN Bus architecture in materials handling machine

Commissioned by
Mantsinen Group Ltd Oy

Abstract

The thesis focuses on data transmission between steering appliances and softwares in control of material handling machine. It presents the basics of the CAN Bus and also OSI model by ISO 11898 standard.

Nowadays the CAN Bus is a common vehicle channel which is used along with engines steering networks J1939. Because of the increase of electronics, the CAN Bus is going to increase its popularity in machine automation. Electronic steering requires a lot of sensor information. CAN Bus can transfer all the sensor information that is needed in machine control units. Diagnosis of the machine is easier with the channel because all the channel traffic can be read with testers.

The aim of this study is to explore CAN Bus and different kind of diagnosing equipment and to find out complications of CANopen steering system as well as to make improving adjustments based on the problems. In measurements, a Peak PCAN-Diag 2 -diagnostic appliance was used which can be utilised to observe Bus traffic from oscilloscope picture.

The aims of this thesis were achieved. The project resulted in changing the Bus architecture to linear and eliminating channel errors from machine automation channel.

Language
Finnish

Pages 30
Appendices 1
Pages of Appendices 2

Keywords
CAN Bus, CANopen, CAN Bus measurement

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet ja termit

1	Johdanto	7
2	Mantsinen Group Ltd Oy	8
3	Materiaalinkäsittelykone	9
4	CAN-automaatioväylä	11
4.1	Fyysinen kerros	12
4.2	Siirtokerros	15
4.3	Kehysrakenne	15
4.4	Virhekehys	17
5	Virheiden hallinta	18
5.1	Viestikehyksen tarkastus	18
5.2	Lähetetyn viestin tilan tarkastus	19
5.3	Kuittaus	19
6	CAN-väylän mittaus	19
6.1	Digitaalinen yleismittari	19
6.2	CAN-testeri	19
7	CAN-väylävikoja	20
8	CAN-väylän mittaus koneella	21
8.1	Canto2-ohjelma	21
8.2	Peak PCAN-Diag 2	22
8.3	Oskilloskooppi-mittaus	24
9	CAN-väyläarkkitehtuuri	26
9.1	CAN-väylä materiaalinkäsittelykoneessa	26
9.2	CAN-väylän muutos	27
10	Tulokset	28
11	Pohdinta	29
	Lähteet	30

Liitteet

Liite1 Peak PCAN-Diag2 oskilloskooppikuvia

Lyhenteet ja termit

Bus	Verkkotopologia, missä jokainen solmu on kytketty samaan siirtomediaan.
Bus length	Verkkokaapelin pituus kahden päätevastuksen välillä.
Bus load	Väyläkuorma, missä verrataan lähetettyjen bittien määrää suhteessa väylän vapaisiin bitteihin aikayksikköä kohden.
CAN	Controller Area Network. Ajoneuvoissa, koneissa ja teollisuuslaitteissa käytetty automaatioväylä. Määritelty ISO 11898-1- ja ISO 11898-2-standardissa.
CAN high	Resessiivinen taso 2,5V ja dominaatti taso 3,5V, ISO 11898-2 yhteensopiva lähetin-/vastaanotinpiiri.
CiA	CAN in Automation. Kansainvälinen valmistajien ja käyttäjien organisaatio, mikä aktiivisesti ylläpitää ja kehittää CANopen integrointialustaa.
CAN low	Resessiivinen taso 2,5V ja dominaatti taso 1,5V, ISO 11898-2 yhteensopiva lähetin-/vastaanotinpiiri.
CANopen	Korkeamman tason integraatioalusta, sovellusprofiilimääritys- ja kommunikaatioprotokollaperhe ensisijaisesti CAN- laitteille.
CiA301	CANopen liikennöintiprofiilin ja sovelluskerroksen määrittely kattaa NMT- orjalaitteet.
Node ID	CAN-verkossa laitteen eli solmun yksilöivä tunniste. Käytetään kokonaislukua väliltä 1-127.

ISO 11898-1	Kansainvälinen standardi, mikä määrittelee CAN:n, LLC, MAC ja PLC-alikerrokset sisältävän data link- kerroksen.
ISO 11899-2	Kansainvälinen standardi, mikä määrittelee CAN high-nopeuden väyläliikenne-rajapinnan.
OSI	Open System Interconnect. 7- tasoinen , fyysisen-, linkki-, verkko-, siirto-, istunto-, esitys, ja sovelluserroksista muodostuva tiedonsiirto malli.
SDO	Service Data Object. CANopen protokolla laitteiden konfigurointiin, kuten siirtonopeuden, Node ID:n ja muiden asetusten muuttamiseen.

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli työnantajani Mantsinen Group Ltd Oy. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää CANopen ohjausjärjestelmään liittyviä ongelmakohtia ja tehdä niiden pohjalta korjaavat kehitysmuutokset. Myös päätavoitteena opinnäytetyössäni oli löytää ongelmakohdat ja tehdä siten koneesta toimintavarmempi.

Ohjaavana teoriana ja viitekehyksenä opinnäytetyön toteutukselle on toiminut CANopen standardit ja niihin liittyvät periaatteet. Yritys hyväksyi sen soveltuvaan pohjaksi kehitystyölle.

Tutkimustyössäni materiaalinkäsittelykoneen CAN-väylän tarkastelussa käytin kahta eri laitetta. Peak PCAN-Diag 2 on kannettava diagnostinen laite, jossa on monipuoliset ominaisuudet CAN-väylän tutkintaan [1]. Laitteista toinen on kannettavan tietokoneen Canto2-ohjelma, joka toimii myös työkaluna ohjausjärjestelmän ohjelmoinnissa ja päivittämisessä.



Kuva1. Peak PCAN- Diag 2 [1].

2 Mantsinen Group Ltd Oy

Yrityksen toiminta alkoi 1970-luvun alussa Uimaharjun tehtaan kanssa tehdystä sopimuksesta tuontipuun käsittelystä tehtaan syöttöön. Toimintaan kuului koneenvuokrausta, metsäkoneurakointia, ja tullessa 1980-luvulle alkoi yrityksessä materiaalinkäsittelykoneiden sekä työkalujen tuotanto. 1990-luvulla siirryttiin kokonaisvaltaiseen puunkäsittelyyn ja yritys keskittyi terminaalioperointiin. Osaaminen kehittyi ja urakointitoiminta alkoi Venäjällä, Virossa ja Latviassa. Vuosikymmenen loppupuolella valmistui ensimmäinen satamanosturi. [2.]

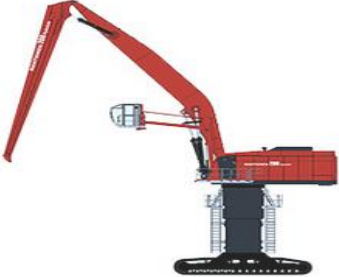














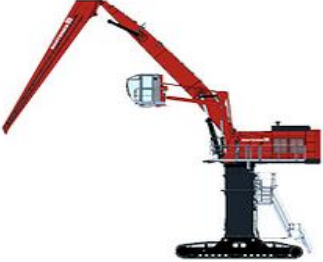














2000-luvulle tultaessa rakennettiin Liperin Ylämyllylle uusi konepaja ja siihen laajennus saman tien. Mantsinen aloitti HybriLift®-teknologian (selvitys luvussa 3) testauksen jo vuonna 2006. Ensimmäinen HybriLift®-teknologialla varustettu materiaalinkäsittelykone lanseerattiin vuonna 2008. Eri kohteisiin perustetut yhtiöt fuusioitiin yhdeksi kokonaisuudeksi ja näin syntyi Mantsinen Group Ltd Oy. [2.]

Omalla nimellään ja omina malleinaan jo vuodesta 2000 lähtien Mantsinen on valmistanut materiaalinkäsittelykoneita. Koneita on valmistettu satoja eri kokoluokissa, ja myynnin kasvua on odotettavissa talouden suhdanteista huolimatta. Pohjoiskarjalaisuus on omistajille erityisen tärkeä asia, koska juuret ovat syvällä maakunnassa. ”Osaaminen ja työ pysyvät täällä, kun suunnittelu ja tuotanto ovat täällä”, totesi Veli Mantsinen yrityksen 50-vuotisjuhlapuheessaan. [3.]

Mantsinen-konsernilla on kaksi keskeistä liiketoiminta-aluetta: materiaalin käsittelykoneiden valmistus ja logistiikkapalvelut. Materiaalinkäsittelykoneiden (ks. kuvio 1) päämarkkina-alueet ovat Skandinavia, Venäjä, Eurooppa ja Pohjois-Amerikka. Koneita on toimitettu yli 300 kappaletta 25 maahan.

Logistiikkapalvelujen päämarkkina-alueet ovat Suomi ja Venäjä, joihin tarjotaan kokonaispalvelukonseptiin perustuvia palveluita [2].

Mantsinen tarjoaa laajan valikoiman materiaalinkäsittelykoneita.

		
MANTSINEN 200	MANTSINEN 160	MANTSINEN 120
 Moottori: Diesel tai sähkö	 Moottori: Diesel tai sähkö	 Moottori: Diesel tai sähkö
 Pyörä Tela Kisko Kiinteä	 Pyörä Tela Kisko Kiinteä	 Pyörä Tela Kisko Kiinteä
 Omapaino: 220 - 250 t	 Omapaino: 170 -190 t	 Omapaino: 120 - 130 t
 Max ulottuma: 37 m	 Max ulottuma: 32 m	 Max ulottuma: 27 m
		
MANTSINEN 95	MANTSINEN 90	MANTSINEN 70
 Moottori: Diesel tai sähkö	 Moottori: Diesel tai sähkö	 Moottori: Diesel tai sähkö
 Pyörä Tela Kisko Kiinteä	 Pyörä Tela Kisko Kiinteä	 Pyörä Tela Kisko Kiinteä
 Omapaino: 95 - 115 t	 Omapaino: 90 -110 t	 Omapaino: 78 -95 t
 Max ulottuma: 27 m	 Max ulottuma: 26 m	 Max ulottuma: 24 m

Kuvio 1. Kone valikoima 70- 200t [2].

3 Materiaalinkäsittelykone

Mantsinen suunnittelee ja valmistaa koneita erilaisten materiaalien käsittelyyn. Perusajatuksena on tuottaa kokonaisratkaisuja, jotka pitävät sisällään tekniikan lisäksi myös logistiikan, urakoinnin, konsultoinnin ja kunnossapidon. Materiaalinkäsittelykoneet (ks. kuva 2) kehitetään asiakkaalle työn ja tarpeen mukaan, tarvittaessa yksilöllisesti räätälöiden. ”Malli Mantsinen” tarkoittaa ennakkoluulo-tonta ja luovaa ratkaisua käsittelyketjun jokaiseen vaiheeseen. Onnistunut logis-

tinen suunnittelu perustuu vankkaan käytännön osaamiseen tehdasalueilla, terminaaleissa ja satamissa. [2.]



kuva 2. Koneita lastaustyössä [2].

Materiaalinkäsittelykoneessa on HybriLift®-järjestelmä, joka toimii seuraavasti: Nostopuomin laskeutuessa alaspäin vapautuva energia kerätään talteen ja käytetään uudelleen nostopuomia nostettaessa, mikä alentaa energiankulutusta olennaisesti. Nostopuomia laskettaessa palautuva öljy nostosylintereistä ohjataan paineakkuihin (ks. kuvio 2), missä kaasu paineistuu ja näin energia keräytyy talteen. Puomia nostettaessa tämä energia otetaan käyttöön. Kone käsittelee enemmän taakkaa pienemmällä energiankulutuksella.

HybriLift®-järjestelmällä varustellut Mantsinen-materiaalinkäsittelykoneet tarvitsevat teholtaan pienemmän diesel- tai sähkömoottorin kuin perinteiset materiaalinkäsittelykoneet. Teholtaan pienempi moottori kuluttaa vähemmän energiaa, ja lisäksi huoltokustannukset alenevat olennaisesti. [4.]



Kuvio 2. Materiaalinkäsittelykoneen paineakut. [4].

4 CAN-automaatiiväylä

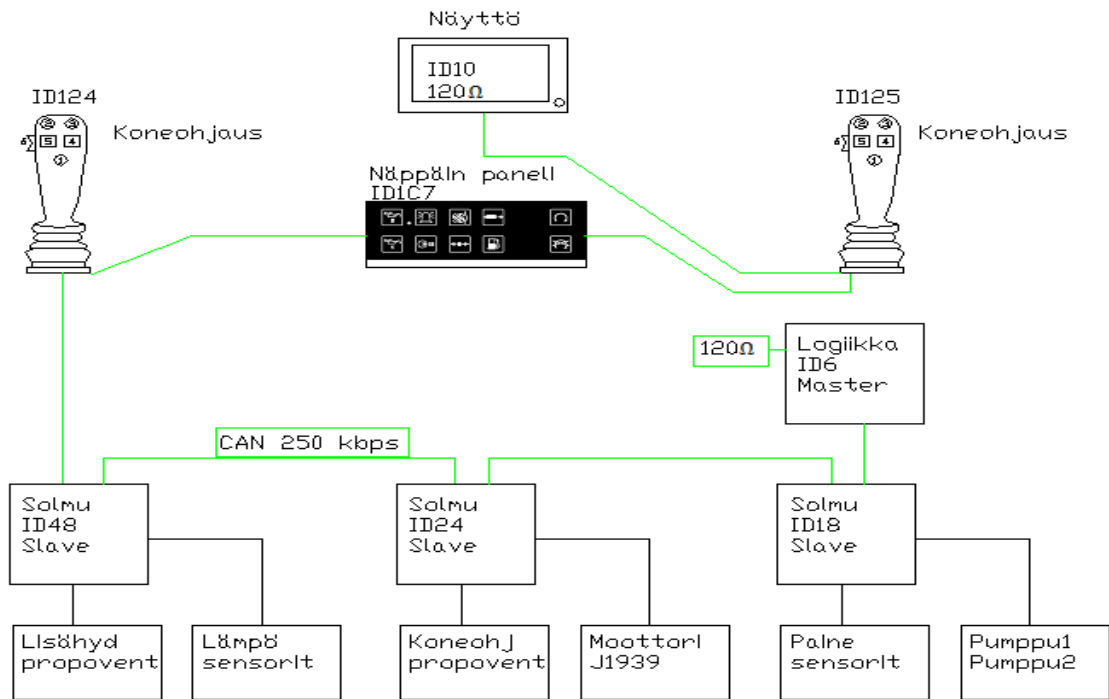
Controller Area Network (CAN) esiteltiin alun perin ajoneuvokäyttöön Society of Automotive Engineers (SAE)-kokouksessa helmikuussa 1986 Robert Bosch GmbH:n toimesta. Nykyään lähes kaikki henkilöautot, jotka valmistetaan Euroopassa varustetaan ainakin yhdellä CAN-väylällä. [5.]

CAN-väylä on autojen hajautettujen ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tiedonsiirtoväylä. CAN-väylää soveltavat useat autonvalmistajat kuten esimerkiksi Mercedes-Benz, BMW, Audi, Renault, Saab, Volkswagen ja Volvo. [6, s. 1.]

Luonteeltaan CAN on ajoneuvoväylä. Kuitenkin CAN-väylää sovelletaan laajasti myös muissa tuotteissa muun muassa busseissa, hisseissä, materiaalinkäsittelykoneissa, kuorma-autoissa, roboteissa, mittausjärjestelmissä ja ohjelmoitavissa logiikoissa. Se sopii periaatteessa mihin tahansa laitteeseen, jossa on tarve lyhyillä tiedonsiirtoetäisyyksillä siirtää reaaliaikaisesti lyhyitä sanomia prosessorien välillä. CAN ei ole optimaalinen ratkaisu massatiedonsiirtoon esimerkiksi videokuvan siirtoon. [6, s. 1.]

CAN-väylä on profiililtaan usean isännän väylä. Jokainen solmu (node-ID) voi lähettää tietoa väylälle aina silloin, kun väylä on vapaa. Viestin sisällön mukaan määräytyvää tunnistenumeroa käyttävät kaikki viestit. Kaikki solmut, jotka viestiä tarvitsevat, ottavat sen vastaan. CAN-väylällä ei siis lähetetä viestiä erityisesti millekään tietylle solmulle. [6, s. 4–5.]

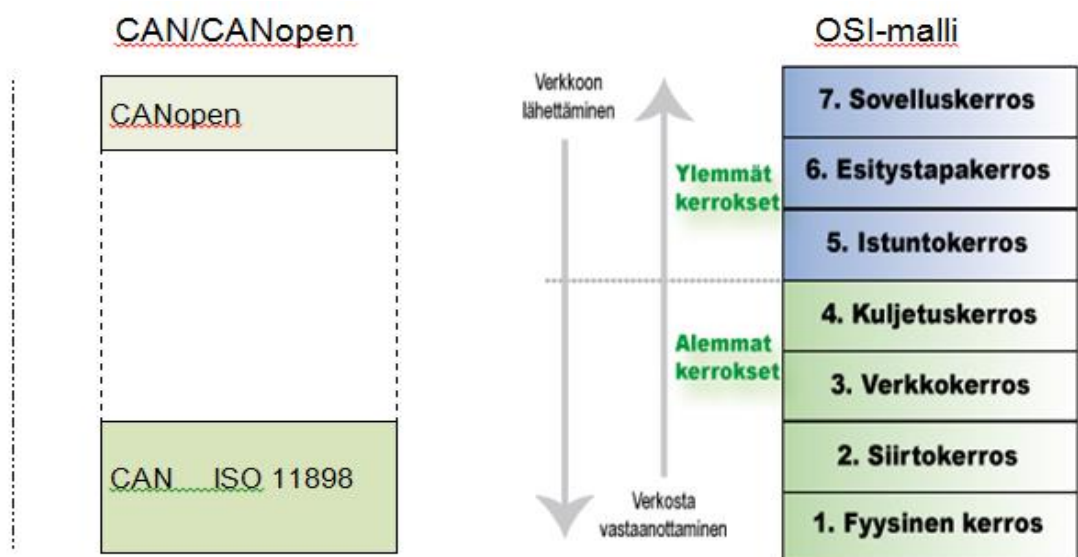
CAN-väylän toimintokaaviossa (ks. kuvio 3) väylä alkaa näytöstä, jossa on 120Ω pääteterminointi. Näytöstä (ID10) saadaan informaatio koneen tilasta muun muassa hydraulipumppujen painetiedot, lämpötilat, dieselmoottorin tiedot ja hälytykset. Väylä päättyy logiikkamoduliin (ID6), jossa on 120Ω pääteterminointi. Logiikkamoduli toimii masterina, elikkä koneenohjausohjelma on logiikkamodulissa. Järjestelmässä on lisäksi kolme kappaletta slave modulia (ID18, ID24 ja ID48), joiden tehtävänä on muun muassa koneohjauksen propoventtiilien käyttö ja kerätä tietoa lämpö- ja painesensoreilta.



Kuvio 3. Koneohjausväylän toimintokaavio. (Arto Palviainen).

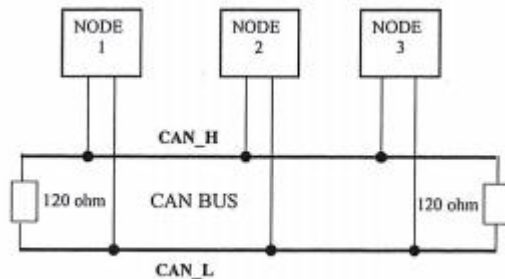
4.1 Fyysinen kerros

Open Systems Interconnection Reference eli OSI-malli esittää tiedonsiirtoprotokollien seitsemän kerrosta [7]. Kukin kerros hyödyntää aina seuraavan kerroksen palveluita. Fyysinen kerros on näistä alimpana (ks. kuvio 4). Toisin sanoen fyysinen kerros on perusta, jonka päälle kaikki muut kerrokset on rakennettu.



Kuvio 4: OSI-mallin kerrokset suhteessa CAN- ja CANopen-standardeihin. OSI-mallia [7] soveltaen.

CAN-väyläkaapeli muodostuu kahdesta keskenään parikierretystä johtimesta, jotka ovat nimeltään CAN high ja CAN low. Näiden lisäksi väyläkaapelissa kulkee yleensä syöttövirta 24VDC (+ ja -) sekä vaippa (shield). Väylän rakenteen tulee olla lineaarinen, ja se kulkee jokaisen solmun kautta. Terminointi tehdään molemmista päistä 120 ohmin vastuksilla (ks. kuvio 5). Pääterminoinnilla estyy signaalien heijastumiset väylällä. [8, s. 45.]



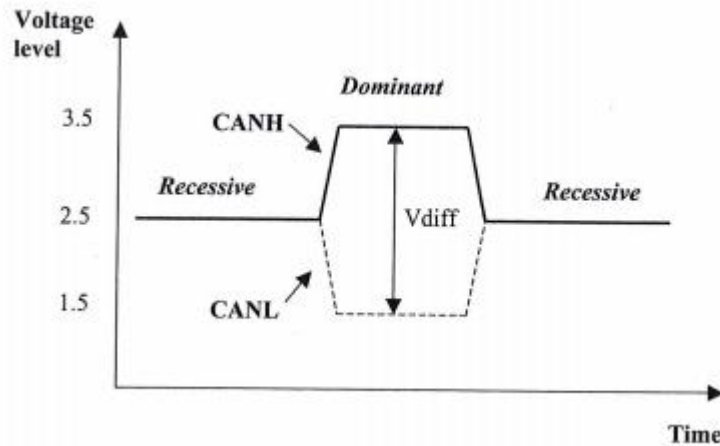
Kuvio 5: CAN-väylän periaatekuva [8, s. 46].

CAN-väylän maksimipituus riippuu tiedonsiirtonopeudesta. Solmun lähettäessä bitin väylälle, sen on ennätettävä väylän toiseen päähän ja takaisin ennen kuin solmu lähettää seuraavan bitin. Näin kaikki solmut voivat priorisoida viestinsä suoraan dominoivan ja resessiivisen bitin avulla viestin lähetyksen alusta alkaen. Tästä johtuen käytettäessä nopeutta 1Mbit/s väylän maksimipituus on 25 m. Pidempiä väyliä käytettäessä tiedonsiirtonopeus hidastuu. Esimerkiksi 250kbit/s:n nopeudella voidaan käyttää 250 m pitkää väylää ja 20 kbit/s:n nopeudella jopa 2500 m:n väyläpituutta. [9, s. 23–24.]

Taulukko1. Väylän pituus vs. tiedonsiirtonopeus [9, s. 24] soveltaen.

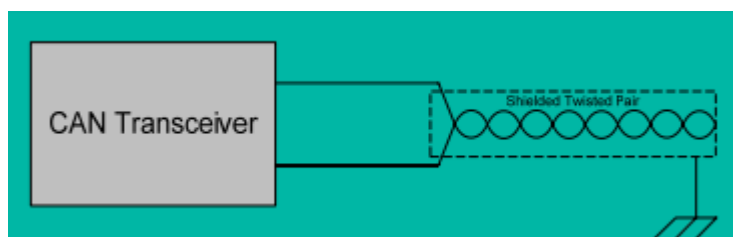
Väylän pituus	Tiedonsiirto nopeus
25m	1Mbit/s
50m	800kbit/s
100m	500kbit/s
250m	250kbit/s
500m	125kbit/s
1000m	50kbit/s
2500m	20kbit/s
5000m	10kbit/s

CAN high- ja CAN low -johtimien välillä oleva jännite-ero määrittää väylän loogisen tilan. Kyseessä olevan bitin 0-arvo on dominantti ja 1-arvo on resessiivinen. Resessiivisen bitin aikana high- ja low-johtimessa jännite on 2,5V ja jännite-ero 0V ja tästä seuraa, että bitti saa arvon 0. Dominantin bitin aikana CAN high -johtimen jännite on 3,5V ja CAN low -johtimen jännite on 1,5V. Näin saadaan 2V:n jännite-ero johtimien välille ja tästä seuraa, että bitti saa arvon 1 (ks. kuvio 6). [8, s. 49.]



Kuvio 6: CAN-väylän tilat [8, s.49].

CAN high- ja CAN low -johtimien jännite-eron avulla tapahtuu väyläsignaalin tulkinta biteiksi. Ulkoiset häiriöt eivät vaikuta signaalin laatuun, koska ne muuntavat molempien johtimien jännitettä yhtä paljon. Tästä johtuen jännite-ero pysyy muuttumattomana. [10, s. 7.]



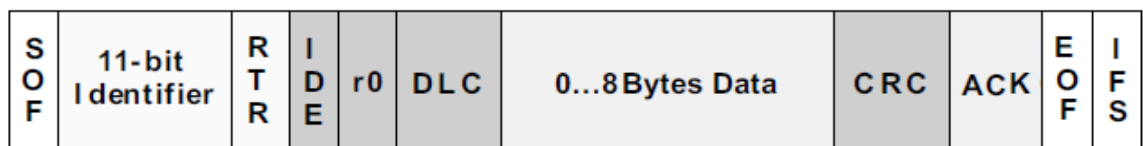
Kuvio 7. Parikierretty kaapeli, vaippa maadoitettu [10, s 7].

4.2 Siirtokerros

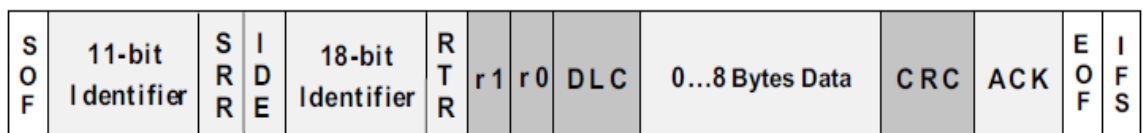
CAN-protokolla käyttää sellaista tiedonvälitystä, että viesteillä ei ole varsinaisia osoitteita, vaan viestit lähetetään väylälle yleisesti vastaanotettavaksi. Esimerkiksi CAN-väylään liitettävä absoluuttianturi voisi lähettää paikkatietoa tunnistenumeroilla 12. Ne solmut, jotka tarvitsevat paikkatietoa lukevat väylältä viestin, jonka tunniste on 12. Kukaan muu solmu ei saa lähettää tunnisteella 12, sillä seurauksena viestien törmäminen tavalla, jota CAN-protokolla ei salli. [6, s. 6.]

4.3 Kehysrakenne

CAN-väylän solmut lähettävät viestinsä kehyksessä, jossa jokaisella solmulla on erillinen tunnistenumero. Tunnistenumeroilla viestit erottuvat toisistaan. Viestikehys on käytössä kahta eri tyyppiä: standardikehys (ks. kuvio 8) (Standard CAN: 11- Bit identifier) ja jatkettu kehys (ks. kuvio 9) (Extended CAN: 29- Bit identifier). [11, s. 3.]



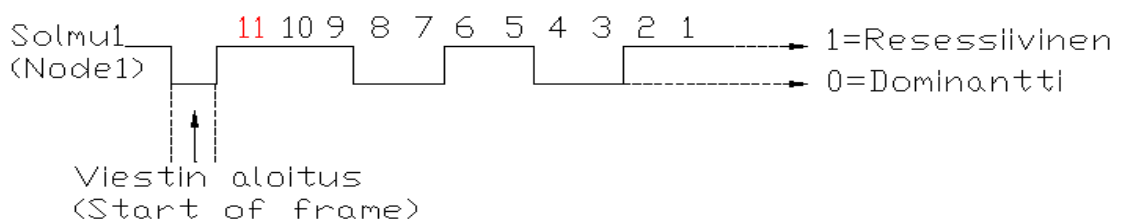
Kuvio 8. Standard CAN: 11-Bit Identifier [11, s. 3].



Kuvio 9. Extended CAN: 29-Bit Identifier [11, s. 3].

Esimerkkinä standardi CAN 11-bittinen solmun yksilöivä tunniste. Merkitsevin bitti on **11**, joka lähetetään viestin alussa (ks. kuvio 10).

Solmu1: Viesti binäärilukuna: 11100110011
(Node1)



Kuvio 10. 11-bittinen identifier kuvaus 5.3 [8, s. 57] soveltaen.

Taulukossa 2 on solmun1 viesti esitetty ensin binäärilukuna. Bitti 11 on merkitsevin sitä vastaa 2^{10} potenssi (1024), bitti 10 vastaa 2^9 potenssi (512) ja viimeistä bitti 1 vastaa 2^0 potenssi (1). Desimaaliluvuksi muutos tehdään 2:n potensseilla siten, että vain 1-bitin kohdalla oleva arvo summataan ja 0-bitin arvoa ei laskennassa huomioida. Vastaavuus on myös saatavissa binäärilaskimella esimerkiksi pmaBinary.

Taulukko 2. Viesti Bin-, Dec- ja Hexlukuna [8, s. 58] soveltaen.

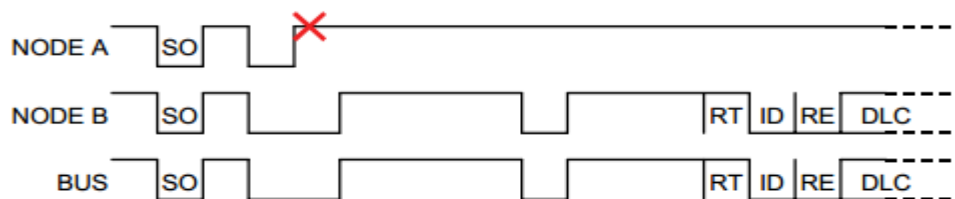
Bin	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
2:n potenssit	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Dec	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
Summa	1024	512	256			32	16			2	1
Dec summa	1843										
Hex	733										

Standardi CAN 11-bittisen solmun yksilöivän tunnustekentän ja jatkettun CAN 29-bittisen solmun yksilöivän tunnustekentän (ks. kuviot 8 ja 9) esittely seuraavasti:

SOF (Start of Frame): Jokaisen datakehysten alussa on aloituskenttä, joka muodostuu yhdestä dominanttibitistä. Väylän ollessa odotustilassa on väylän tila resessiivinen, joten vaihto resessiivisestä tilasta dominanttitilaan tulkitaan aloitukseksi.

ID (Identifier): Viestikehysten 11-bittinen tunnustekenttä yksilöi jokaisen datakehysten. Törmäystilanteessa pienemmällä ID:llä oleva viesti lähetetään ensin. Tunnustekentässä eniten merkitsevä bitti lähetetään ensin.

Esimerkki törmäystilanteesta, jossa solmut A ja B lähettävät viestikehysten yhtäaikaaisesti, koska solmun B viestikehyksellä on pienempi ID. Siitä johtuen solmu A häviää väylän kilpavarauksen. Törmäystilanteesta (ks. kuvio 11) häviää solmu A kilpavarauksen punaisen rastin osoittamalla kohdalla ja lopettaa välittömästi lähetyksen.



Kuvio 11. Viestien törmäystilanne [12, s. 10]

RTR (Remote Request): Kenttä, joka ilmaisee, onko kyseessä tietokehys (dominantti) vai kyselykehys (resessiivinen). Jatketussa kehyksessä RTR-bitin tilalla on SRR-bitti.

IDE (Identifier Extension): Määrää onko viestikehys 11-bittinen standardi vai 29-bittinen jatkettu viestikehys. Dominanttibitillä käytetään standardikehystä, ja resessiivisellä bitillä käytetään jatkettua viestikehystä.

DLC (Data Length Code): Kenttä, joka kuvaa datakehysten sisältämien datatavujen määrän. Datasivuja voi olla 0...8 kpl.

Data: Kenttä, joka sisältää DLC- kentän ilmaiseman määrän datatavuja.

CRC: (Cyclic Redundancy Check): Sisältää viestin 16-bittisestä CRC-tyyppisestä syklisestä tarkistussummasta 15 vähiten merkitsevää bittiä. Tarkistussumma lasketaan jokaisesta aloituskentän jälkeisistä kentistä tarkistussummaan saakka.

ACK: (Acknowledge): Kuittauskenttä, jossa viestin vastaanottavan solmun täytyy kuitata viestikehys vastaanotetuksi. Solmut kirjoittavat dominantin bitin ensimmäisen bitin kohdalle. [12, s. 9–10.]

EOF: (End of Frame): Lopetuskenttä, joka muodostuu seitsemästä peräkkäisestä resessiivisistä CAN data- ja remote-kehysten biteistä.

IFS: (Interframe Space): Kolmebittinen kenttä, joka erottaa kaikki CAN-kehukset toisistaan. [13.]

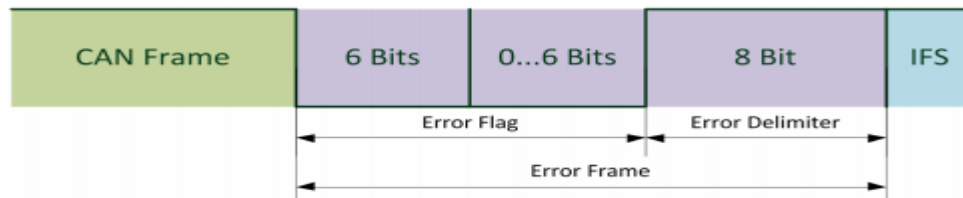
4.4 Virhekehys

Virhekehys lähetetään heti aina virheen sattuessa kesken vastaanotettavaa viestikehystä. Kehys (ks. kuvio 12) muodostuu 6-bittisestä virhe-lipusta (error flag), joka sisältää ainoastaan dominoivia 0-bittejä. Siitä seuraavaksi tulee 8-bittinen virhe-erotin (error delimiter), joka puolestaan muodostuu ainoastaan resessiivisistä 1-biteistä.

Koska virhe aiheutuu aina lähetettäessä yli viisi samaa bittiä, vastaavat muut solmut tähän aina virhekehyksellä. Tästä seuraa, että virhekehys voi koostua

monesta osittain päällekkäisistä samanlaisista kehyksistä, joten viestin mitta voi venyä 14 bitistä enintään 20 bittiin.

Solmulla on kaksi virhetilaa; aktiivinen ja passiivinen. Solmu voi mennä passiiviseen virhetilaan, jos kuuden dominantin bitin sijasta lähetetään kuusi resessivistä bittiä. Tällöin kyseinen solmu ei enää häiritse muiden solmujen liikennettä. [14, s. 12–15.]



Kuvio 12. Aktiivinen virhekehys [14, s. 12–15].

5 Virheiden hallinta

CAN-väylässä on hyvin monipuolinen virheidenhallinta, jonka tehtävänä on varmistaa jokaisen viestikehyksen siirtyminen väylän yli muuttumattomana. Virheiden esiintyessä pyrkii virheidenhallinta vaiheittain poistamaan todennäköisten virheitä tuottavien solmujen vaikutuksia virheettömästi toimivien solmujen tiedonsiirtoon. Virheidenhallinta muodostuu kolmesta perustoiminnosta:

- viestikehyksen tarkastus
- lähetetyn viestin tilan tarkastus
- muuttumattomana vastaanotetun viestikehyksen kuittaus.

5.1 Viestikehyksen tarkastus

Kaikki solmut vastaanottaessaan viestikehyksen tarkastaa kiinteiden kenttien oikeellisuuden ja viestikehyksen eheyden tarkistussumman avulla. Kaikkien lähettävien CAN-solmujen tulee havaitessaan virheen lopettaa lähettäminen välittömästi, ja kaikkien vastaanottavien solmujen tulee merkata kyseinen viestikehyks virheelliseksi virhekehyksellä.

5.2 Lähetetyn viestin tilan tarkastus

Lähettävä solmu valvoo, että lähetetyn bitin tila on asettanut väylän tahdottuun tilaan. Lähetysvirheestä on kysymys, jos solmu lähettäisi resessiivisen tilan ja vastaanottaisi dominantin tilan kilpavarauskehysten ulkopuolella. Dominantin tilan lähetyksen jälkeen vastaanotettava resessiivinen tila on poikkeuksetta lähetyksvirhe. [12, s. 11.]

5.3 Kuittaus

Lähettävä solmu lähettää ensimmäisen bitin resessiivisenä ja kaikki onnistuneesti vastaanottavat solmut kuittaavat viestin vastaanotetuksi lähettämällä dominanttia tilaa viestin ajan. Tuon bitin dominantista tilasta lähettävä solmu tietää, että viestin oikein vastaanottaneita solmuja on vähintään yksi. [13.]

6 CAN-väylän mittaus

6.1 Digitaalinen yleismittari

Dominantin bitin aikana CAN high jännite on 3,5V ja CAN low jännite on 1,5V, mutta koska bitin pituus on 10 kbit/s:n siirtonopeudella niinkin vähäinen kuin 0,1ms, ei digitaalisesta yleismittarista ole huomattavasti apua. Lähinnä mittamalla voi todeta CAN high -jännitetason olevan hieman korkeampi kuin CAN low:n. Digitaalisella yleismittarilla onnistuu hyvin väylän päätevastusten (2x120 Ω) ja väyläkaapeleiden eheyden mittaus.

6.2 CAN-testeri

CAN-testeri näyttää CAN-viestien sisällön. Tarvitaan konekohtainen dokumentaatio CAN-viesteistä, jotta tiedetään, mitä kukin CAN-tunnistenumero merkitsee ja mitä tietotavut tarkoittavat.

Oskilloskoopilla CAN-viestit piirtyy näyttöön sykäsmäisinä kanttiaaltoina, jossa kantin pituus vaihtelee. Jos CAN-viestit näkyvät näytöllä CAN high 3,5V ja CAN low 1,5V, väylä on todennäköisesti fyysisesti kunnossa. Vielä ei kuitenkaan ole varmuutta, siirtyykö väylällä kaikki tarvittavat viestit. [15.]

7 CAN-väylävikoja

Oikosuluku: Liikennöinti loppuu väylässä, jos CAN high ja CAN low ovat keskenään yhdessä, CAN low on yhdessä ulkopuoliseen jännitteeseen tai CAN high on yhdessä maatasen (GND) kanssa. Symmetrisyys muuttuu vastaavasti, jos CAN low on yhdessä maatasoon tai CAN high on yhdessä ulkopuoliseen jännitteeseen.

Kytkentäristissä: Signaalit menevät väärinpäin. Solmu ei kuule muiden solmujen viestejä eivätkä muut solmut ymmärrä viestejä.

Terminointivirheet: Terminointi tulee tehdä 120Ω vastuksella väylän molemmista ääripäistä. Johtuen liiallisesta vastuksesta väylällä hidastuu siirtyminen dominantista tilasta resessiiviseen tilaan. Vastaavasti dominanttitaso laskee, jos vastus väylällä on liian vähäinen.

Terminoinnin puuttuessa CAN low puuttuu myös, koska se tuotetaan terminointivastuksen avulla (terminointivastus vahvistaa signaalin). Seurauksena on väyläliikenteen toiminnan heikkeneminen.

Jos esimerkiksi molemmat terminointivastukset ovat samassa päässä väylää tai on asennettu useampi terminointivastus, kuitenkin niin että resistanssi on oikein. Seurauksena on heijastuksia.

Virheellinen parikaapeli: Väärästä parikaapelin impedanssista seuraa heijastuksia.

Siirrettäessä parikaapelissa signaaleja muodostuu tärkeäksi käytetyn parikaapelin impedanssi. Signaali siirtyy mahdollisimman puhtaana ja häviöttömänä, kun parikaapeliin liitettävien solmujen impedanssit on sovitettu yhteen [15].

Suuri parikaapelin resistanssi (kuvaa johtimen virranvastustus kykyä) yhdessä terminointivastusten kanssa aiheuttaa signaalitason heikkenemisen. [16.]

8 CAN-väylän mittaus koneella

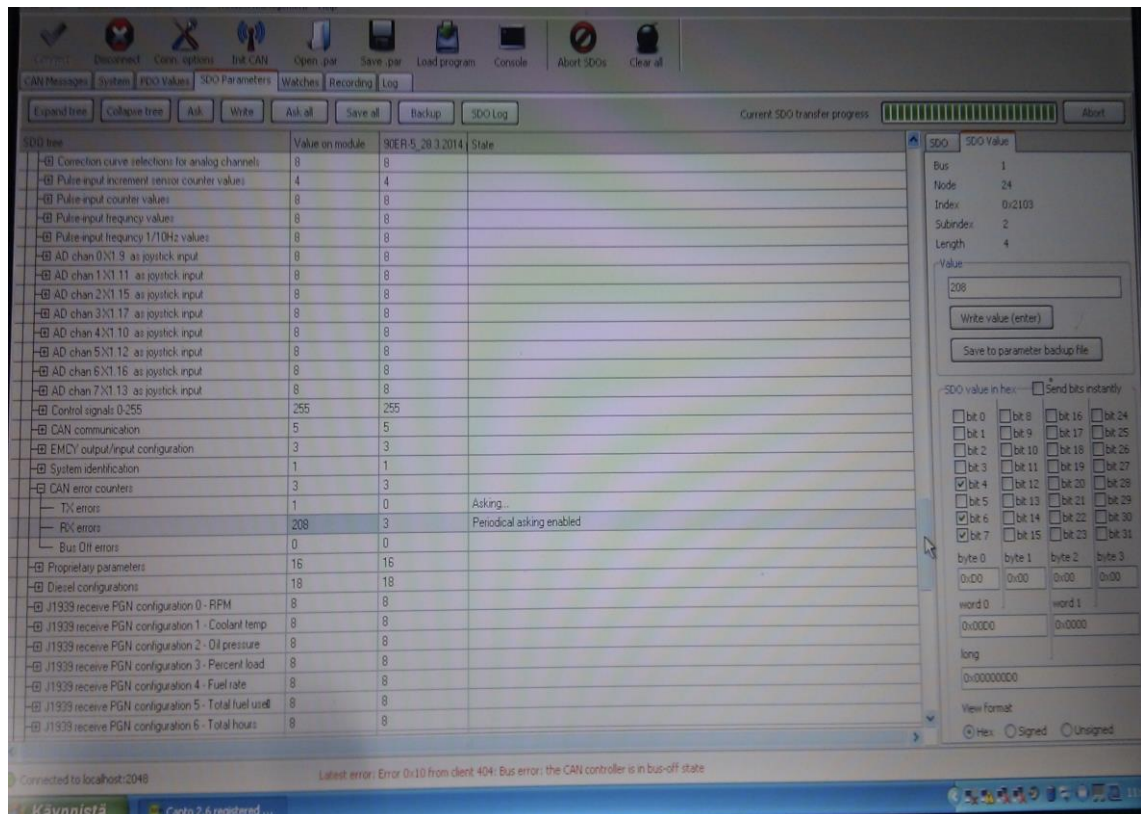
8.1 Canto2-ohjelma

Kannettavan tietokoneen (PC) kytkentä CAN-väylään tehdään PCAN-USB-sovittimen avulla [17.]. Peak-sovitin liitetään koneen väylään D9-liitinpistokkeella (ks. kuva 3), joka sijaitsee ohjaamossa ohjausjärjestelmän näytön vieressä. D9-liitinpistoke on yleisesti käytössä CAN-väylän liitinpistokkeena.



Kuva 3: PCAN-USB sovitin ja D9- liitinpistokkeen kytkentä [17].

PC laitetaan käyntiin ja valitaan Canto2-ohjelma. Int CAN -valikosta valitaan väylänopeudeksi 250 kbit/s. Siirrytään seuraavaksi SDO Parametres-valikkoon ja kysytään koneen arvot (Ask all). Arvot tulevat näkyviin Value on module -sarakkeeseen. Avaamalla SDO tree (SDO puu) kunkin moduulin kohdalta, voidaan aktivoida virhelaskurit (CAN error counters) (ks. kuva 4).



Kuva 4. Canto2 ohjelman virhelaskurit aktivoitu. (Kuva: Arto Palviainen)

Sarakkeella CAN error counters:

- TX error tarkoittaa viestin lähetyksen virhettä
- RX error tarkoittaa viestin vastaanoton virhettä
- Bus off errors tarkoittaa solmun lopettaneen viestien lähettämisen.

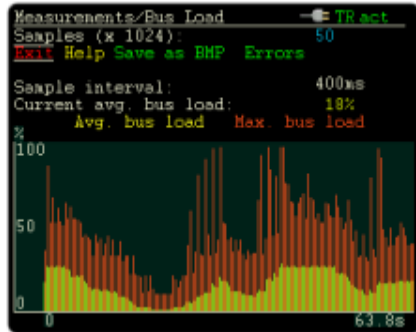
Kuten havaitaan väylässä virhelaskurit kasvavat. Lähetysvirheitä on kertynyt yksi kappaale, vastaavasti vastaanottovirheitä on kertynyt 208 kappaletta. CAN-väylä sietää hyvin väylässä esiintyviä virheitä. Pienissä määrin väylävirheet aiheuttavat ensisijaisesti viivettä koneohjaukseen. Lähetysvirheiden kasvaessa yli 255:een solmu menee bus-off -tilaan [12, s. 11].

8.2 Peak PCAN-Diag 2

CAN-väylässä havaittujen virheiden tarkempaan tarkasteluun täytyy olla oskilloskooppimittalaite. Peak PCAN-Diag2 on kannettava väylän monipuolinen diagnostinen laite, jossa on oskilloskooppi väyläsignaalin tarkasteluun. Laite kytetään D9-liitinpistokkeella koneen väylään.

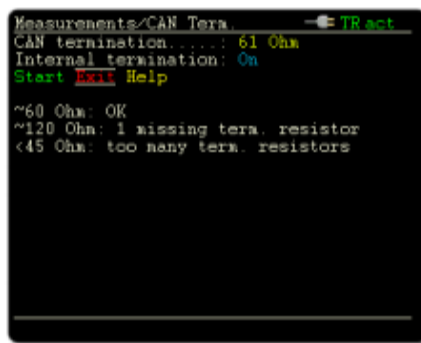
Muutamia perusmittauksia on syytä tehdä ennen oskilloskooppitarkastelua:

1. Väyläkuorma (Bus load) arvo ilmaistaan prosentteina ja kuvaaja on palkkina. Yli 80 %:n väyläkuormaa tulee välttää.



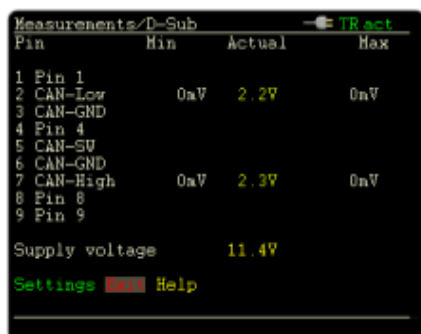
Kuva 5. Bus load [18, s. 54]. (ks. liite 1).

2. Terminointiarvo ilmaistaan ohmeina.



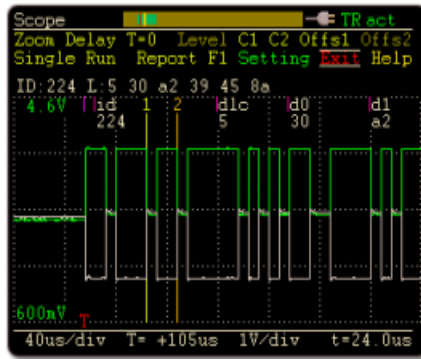
Kuva 6. Terminointi [18. s, 56]. (ks. liite 1).

3. D9-liitinpistokkeen CAN high- ja CAN low -jännitearvo ilmaistaan voltteina.



Kuva 7. D9-liitinpistokkeen CAN high- ja CAN low -jännite [18. s, 58]. (ks. liite 1).

4. Oskilloskooppikuva

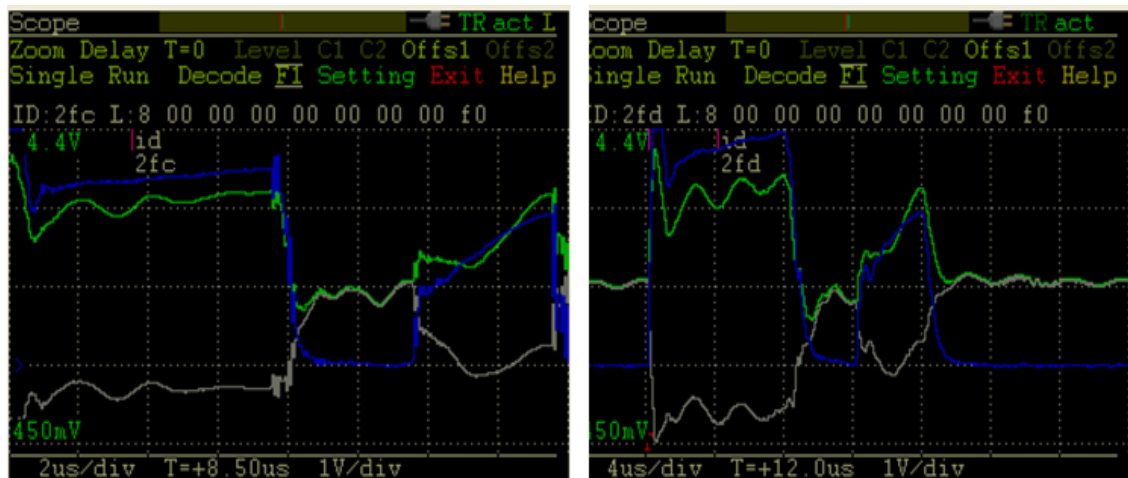


Kuva 8. Oskilloskooppikuva ID224 [18, s. 60]. (ks. liite 1).

Peak PCAN-Diag2 laite on helppokäyttöinen. Laitteen käynnistys tapahtuu painaltamalla käyttöpyörää. Valikoissa liikkuminen tapahtuu käyttöpyörää pyörittelemällä ja toiminnon valinta painamalla käyttöpyörää.

8.3 Oskilloskooppi-mittaus

Väylän tarkastelu Canto2-ohjelmalla osoitti virheiden määrän kasvavan CAN-väylässä, joten tarkempi analysointi väylästä tuli tehdä. Mittauksessa käytin PCAN-Diag2-laitetta. Väylävirheet kohdentuivat koneen vasemman- ja oikeanpuoleisiin hallintajoystickeihin. Väylävirheet (ks. kuva 9) eivät esiintyneet tasaisesti vaan satunnaisesti. Kuvassa 9 CAN high vihreä viiva, CAN low harmaa viiva ja differentaali jännite (kuva CAN high ja CAN low jännite-eroa) sininen viiva.



Kuva 9. ID2fc vasen joystick ja ID2fd oikea joystick. (Kuva: Arto Palviainen)

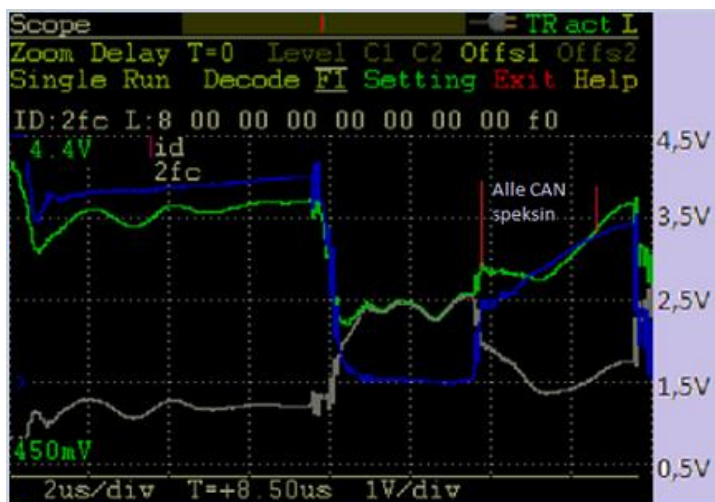
Molempien solmujen virhe piirtyy oskilloskooppikuvaan lähes samanlaisena ja sijoittuu viestin alkuun. Viestin kokonaispituus on 11 bittiä (ks. kuvio 10). Virhe tapahtuu siten bitin 9 kohdalla.

Kuvan 10 tarkastelussa CAN high kuvataan vihreällä viivalla, CAN low kuvataan harmaalla viivalla, ja sinisellä viivalla kuvataan differentiaalijännite (kuvaa jännite-eroa CAN high:n ja CAN low:n väliltä).

Viestin alussa dominantin bitin (11) aikana CAN high-jännite nousee yli 3,5V ollen myös hieman epävakaa. CAN low-jännite laskee alle 1,5V ja tämän seurauksena syntyy yli 2V jännite-ero.

Resessiivisen bitin (10) aikana CAN high ja CAN low on epävakaa ja piirtyy aaltomaisena 2,5V:n kohdalle. Kuvaajan tulisi olla mahdollisimman suora horisontaalisesti. Aiheuttajana voi olla heijastuma tai ulkoinen häiriö, mikä vaikuttaa molempiin signaaleihin, koska signaalit pysyvät yhdessä.

Dominantin bitin (9) alku on alle CAN-speksin ja seurauksena on lähetysvirhe. Mahdollinen aiheuttaja voi olla miinusjännitteinen heijastuma, joka peittää bitin alleen.



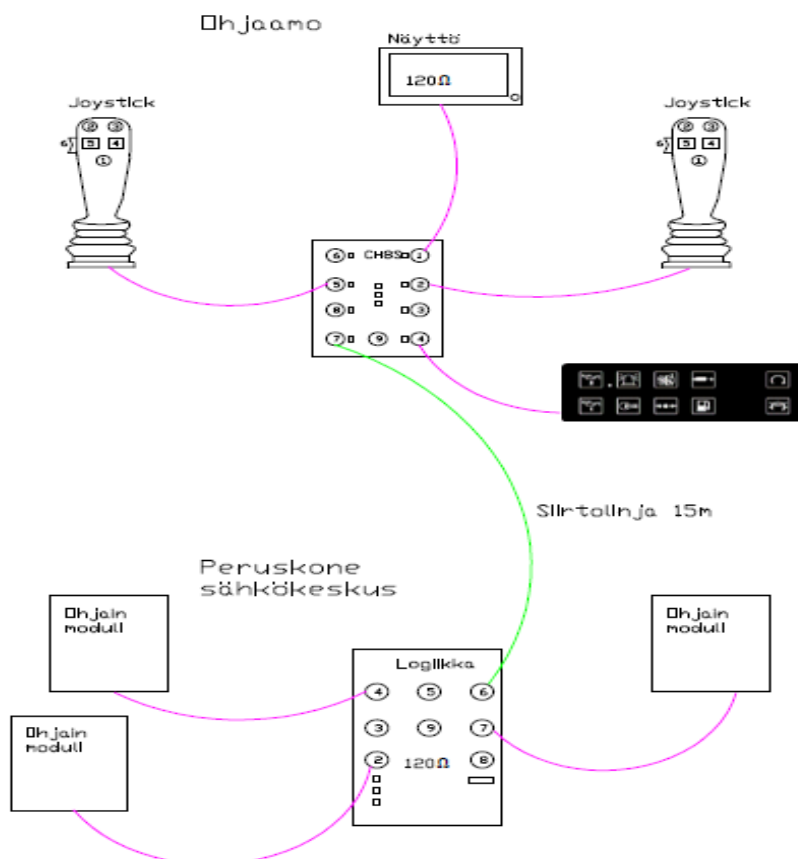
Kuva 10. ID2fc vasen joystick. (Kuva: Arto Palviainen)

9 CAN-väyläarkkitehtuuri

9.1 CAN-väylä materiaalinkäsittelykoneessa

Koneessa CAN-väylä on kytketty tähtikytkenällä (ks. kuvio 13). Tämä tarkoittaa sitä, että ohjaamon CAN-laitteet (solmut) on kytketty tähtimuotoon yhdistettynä CH-8 Hub-moduuliin. Päätevastus (120Ω) on kytketty näyttömoduulin sisälle. Ohjaamosta on peruskoneen keskukseseen 15 metriä siirtolinjaa. Keskuksessa sijaitsevat logiikkamoduuli ja kolme ohjainmoduulia. Ohjainmoduulit on kytketty tähtikytkenällä logiikkamoduuliin. Päätevastus (120Ω) on kytketty logiikkamoduulin sisälle.

Hub-moduulin ja logiikkamoduulin väyläliittimenä käytetään kahdeksaa kappaletta viisinapaista M12-liittintä. Jokaiseen M12-liittimen väyläkontaktiin on kytketty moduulien sisälle 10Ω :n sarjavastus CAN high-napaan ja 10Ω :n sarjavastus CAN low-napaan. Tästä seuraa, että mitatessa väylävastusta mittaus tulos poikkeaa 60Ω :sta. Sarjavastusten kytkeminen CAN high- ja CAN low-virtapiiriin aiheuttaa varmuudella signaalitason laskua väylässä.



Kuvio 13. Väylän tähtikytkentä. (Arto Palviainen).

9.2 CAN-väylän muutos

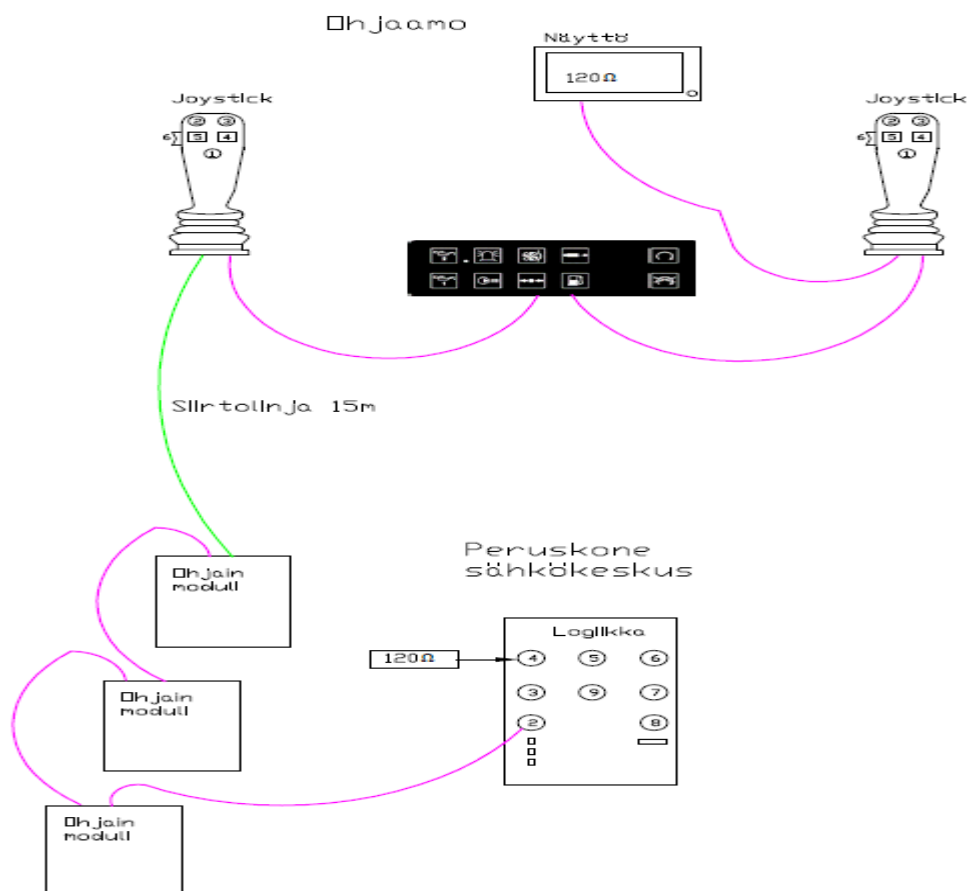
CAN-väylän kytkentä muutettiin tähtikytkennästä lineaariseen kytkentään (ks. kuvio 14), joka tarkoittaa sitä, että väylä kulkee kaikkien solmujen kautta ja on molemmista päistään terminoitu 120Ω :n vastuksella.

Toimenpiteet ohjaamossa olivat seuraavanlaiset:

- CH-8 hub-moduulin poisto ja väyläkytkennän muuttaminen niin, että väylä alkaa näytöstä, missä on myös terminointivastus (120Ω). Muut solmut seuraavassa järjestyksessä: oikea joystick, näppäinpaneeli, vasen joystick ja sitten siirtolinja 15 metriä peruskoneen sähkökeskukseen.

Toimenpiteet sähkökeskuksessa:

- Poistettiin terminointivastus (120Ω) ja sarjavastukset (10Ω) logiikan sisältä. Väylä kytkettiin kulkemaan solmujen kautta, ja terminointi tehtiin väylän viimeisen solmun jälkeen.

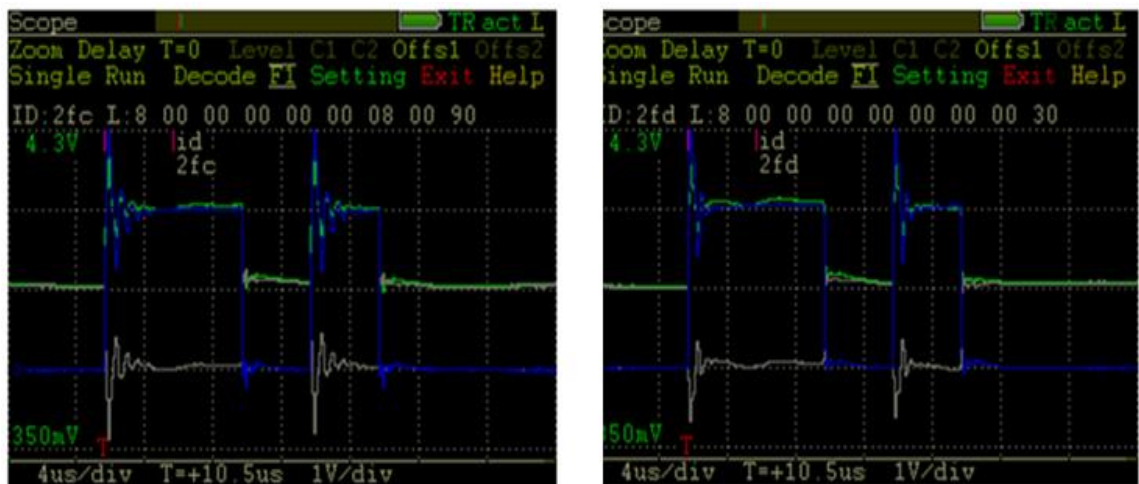


Kuvio 14. Väylän lineaarinenkytkentä. (Arto Palviainen).

10 Tulokset

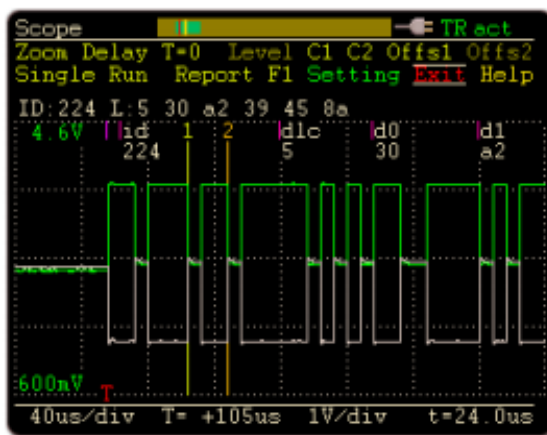
Ennen oskilloskooppimittausta tarkastin väyläkuorman (bus load) tuloksena sain 21 %. Tulos on todella hyvällä tasolla. Vasta kun väyläkuorma nousee yli 80 %:iin siirrytään kriittiselle alueelle. Terminointivastuksen mittauksessa tulokseksi tuli 62Ω , mikä tarkoittaa terminoinnin olevan kunnossa.

Oskilloskooppikuvasta (ks. kuva 11) voidaan havaita, että bitti ei hajoa ja näin ollen virhettä ei tapahdu. Bitin alussa on vielä ylilyöntiä ja jännitteen elämistä, mutta tämä tasoittuu hyvin näytteenottopisteelle tultaessa (bitin viimeinen 1/3). Resessiivisen bitin (10) alussa jännite on hieman yli 2,6V, mutta se ei haittaa merkittävästi toimintaa.



Kuva 11. ID2fc vasen joystick ja ID2fd oikea joystick. (Kuva: Arto Palviainen)

Virheettömässä väylässä (ks. kuva 12) piirtyy oskilloskooppikuvaan terävästi nouseva ja laskeva reuna sekä horisontaaliksi tasainen etenevä kanttialto.



Kuva 12. Oskilloskooppikuva ID224 [18, s. 60].

11 Pohdinta

Controller Area Network (CAN) esiteltiin alun perin ajoneuvokäyttöön Society of Automotive Engineers (SAE)-kokouksessa helmikuussa 1986 Robert Bosch GmbH:n toimesta, mutta vasta 2000-luvulla se on alkanut yleistymään. CAN-väylä on autojen hajautettujen ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tiedonsiirtoväylä, mutta nykyisin CAN-väylä on laajennut sen alkupe- räisestä käyttötarkoituksestaan muun muassa ohjelmitaviin logiikkoihin teolli- suuteen ja materiaalinkäsittelykoneisiin. Elektroniikan määrän vain lisääntyessä ajoneuvoissa CAN-väylä tulee olemaan entistä enemmän tärkeä osa ajoneuvo- teollisuutta.

Tavoitteena oli selvittää CANopen ohjausjärjestelmään liittyviä ongelmakohtia ja tehdä niiden pohjalta korjaavat kehitysmuutokset. Tavoite onnistui hyvin, selvi- tin CAN-väylän teoriaa, väylävirheitä sekä niiden hallintaa. CAN-väylän mittauk- sissa tutuksi tuli Peakin PCAN-Diag2-oskilloskooppi mittalaite.

CAN-väyläarkkitehtuurin muuttaminen tähtikytkennästä lineaariseksi väyläksi, Hub-modulin poisto kokoonpanosta ja terminoinnin muuttaminen väylän alku ja loppu päähän oli onnistunut muutos. Väylässä esiintyneet häiriöt poistuivat ja signaalitaso (2V) CAN-high ja CAN-low välillä saavutettiin. Signaalitasoon alen- tavasti vaikuttaneiden sarjavastusten (10Ω) poisto selittää hyvän signaalitason koneen käyttöönotossa.

Koneohjaus-väylässä on useita liitoksia kokonaismitan ollessa 25 metriä, tästä johtuen huonoista liitoksista tulee ylimääräistä vastusta, joka osaltaan madaltaa signaalitasoa. Tämän vuoksi on tärkeää mitata CAN-väylä aina koneen käyt- töönnotossa, jotta havaitaan mahdolliset ongelmakohdat heti tehtaalla.

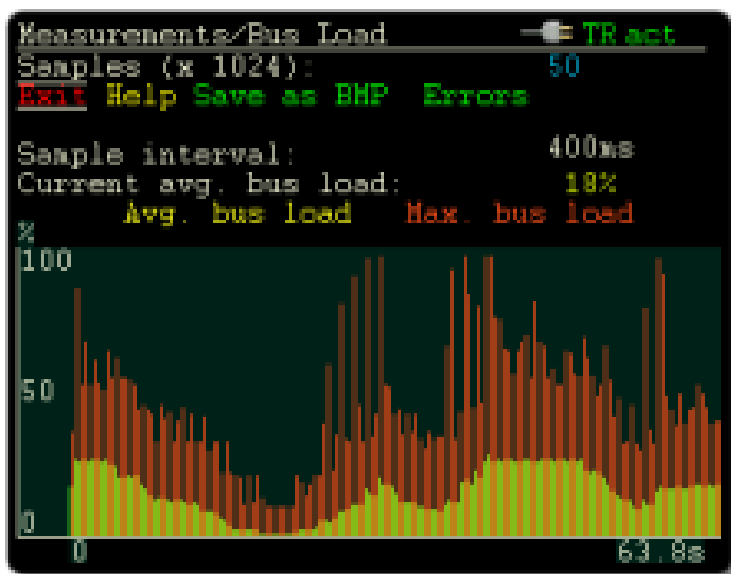
Oskilloskooppi kuvista voidaan havaita, että bitin alussa oli vielä ylilyöntiä ja jännitteen elämistä. Tämä tarkoittaa sitä, että väylässä on vielä jokin häiriötekijä joka ei vielä tehdyillä muutoksilla poistunut. Tutkimusta ja kehitystyötä tulee tehdä jatkossa häiriötekijän löytämiseksi ja poistamiseksi väylästä.

Lähteet

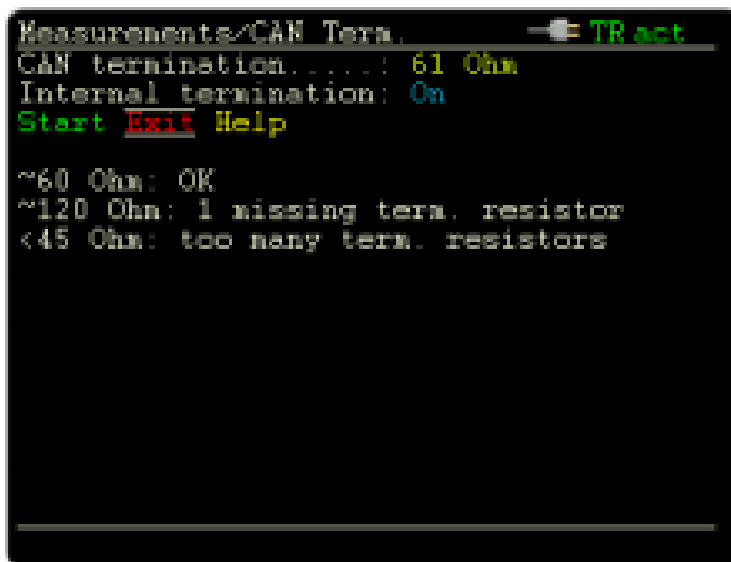
1. PCAN- Diag 2. Diagnostiikka laitteen esittely. Internet sivusto.
<http://www.peak-system.com/PCAN-Diag-2.231.0.html?&L=1>.
6.4.2014.
2. Mantsinen Group LTD Oy. 2014 Intranet sivusto.
3. Eilavaara, E.2013. Pieniä ja suuria innovaatioita. Koneyrittäjä lehti 8. 36-37.
4. Mantsinen Group Ltd Oy. 2014. Internet sivusto.
<http://www.mantsinen.com/fi/tuotteet/materiaalinkasittelykoneet/ominaisuudet/>. 6.4.2014.
5. CiA, CAN in Automation (CiA). CAN history. Internet sivusto.
<http://www.can-cia.org/index.php?id=systemdesign-can-history>.
6.4.2014.
6. Alanen, J. 2000. CAN- ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. Tampere: VTT Automaatio. Internet sivusto.
http://www.oamk.fi/~eeroko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf. 6.4.2014.
7. Wikipedia, OSI- malli. Internet sivusto.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/OSI-malli>. 6.4.2014.
8. Dogan, I. 2011. Controller Area Network Projects. United Kingdom: Elektro Internationael Media BV.
9. CiA, Cia 301. 2011. CANopen application layer and communication profile.
10. Microchip Technology Inc. 2006. Protecting Your CAN. Internet sivusto.
http://www.microchip.com/stellent/groups/SiteComm_sg/documents/Training_Tutorials/en528477.pdf. 6.4.2014.
11. Corrigan, S. 2008. Controller Area Network Physical Layer Requirements. Internet sivusto. Dallas: Texas Instruments Incorporated.
<http://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf>. 6.4.2014.
12. Saha, H. 2005. CAN- väylä. Internet sivusto.
<http://www.canopen.fi/artikkelit/CAN.pdf>. 6.4.2014.
13. CiA, CAN in Automation (CiA). CANdictionary. Finnish edition 2008. Internet sivusto. http://www.can-cia.org/fileadmin/cia/pdfs/CANdictionary-v4_fi.pdf. 6.4.2014.
14. Block, A. & Webermann, H. 2012. CAN Error Injection, a Simple but Versatile Approach. Internet sivusto.
<http://www.cancia.org/fileadmin/cia/files/icc/13/webermann.pdf>.
6.4.2014.
15. Wikipedia, Impedanssi. Internet sivusto.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Impedanssi>. 6.4.2014.

16. Virtanen, A. CAN ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. Diagnostiikka mittaukset CAN- väylästä. Internet sivusto.
https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/as-116.2120/luennot/AS-116_2120_lec7_slides_part1.pdf. 6.4.2014.
17. PCAN-USB. CAN sovitin kannettavalle tietokoneelle. Internet sivusto.
<http://www.peak-system.com/PCAN-USB.199.0.html?&L=1>
18. PCAN Diag2.Laitteen käyttöohjekirja. Internet sivusto.
http://www.peak-system.com/produktcd/Pdf/English/PCAN-Diag2_UserMan_eng.pdf. 6.4.2014.

1. Väyläkuorma (Bus load) arvo ilmaistaan prosentteina ja kuvaaja on palkkina. Yli 80 %:n väyläkuormaa tulee välttää.



2. Terminointiarvo ilmaistaan ohmeina.



3. D9-liitinpistokkeen CAN high- ja CAN low -jännitearvo ilmaistaan voltteina.



4. Oskilloskooppikuva

