

# **Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Tatjana Balitskaja (praegu Fadejeva)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud magistritöö „Sidekursuse järjestikliideste labor“, mille juhendaja on Avo Ots
  - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

22.03.2021

Töö kaitsmise kuupäev: 21.05.2009

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Raadio- ja sidetehnika instituut

Kood: IRT80LT

## SIDEKURSUSE JÄRJESTIKLIIDESTE LABOR

Tatjana Balitskaja

Töö on tehtud telekommunikatsiooni õppetooli juures

Juhendaja Avo Ots

Kaitsmine toimub raadio- ja sidetehnika instituudi kaitsmiskomisjonis

Autor taotleb tehnikateaduste magistri kraadi

Esitatud: 14.05.2009

Kaitsmine: 21.05.2009

Tallinn 2009

# REFERAAT

Käesolev magistritöö teemal „Sidekursuse järjestikliideste labor“ sai kirjutatud vaimustuses laboritööde juhendamisel saadud kogemusest. Selle tulemusena tekkis mõte välja töötada mõned ettepanekud „RS-liides ja aeglased modemid“ laboratoorse töö edasiarendamiseks. Antud tegevus on suunatud tudengite õppimishuvi äratamisele ning teadmiste omandamise protsessile kaasaaitamisele.

RS-232 ei ole ainuke järjestikliides. Näiteks viimasel ajal on väga populaarseks saanud USB ja TMDS tehnoloogial põhinev HDMI järjestikliides, milledele rakendatakse erinevaid teste. Töö eesmärk on järjestikliidese laboritöö täiendamine, s.h. uute kaasaegsemate järjestikliideste otsimine ja selleks vajaliku varustuse ülevaatus.

Töö on kirjutatud eesti keeles 76 leheküljel ning sisaldab 37 joonist ja 3 tabelit.

Antud töö võtmesõnad: järjestikliidesed, RS-232, USB, HDMI, testimine.

## **ABSTRACT**

The present thesis “Study of Wire-Based Serial Interfaces” was written with inspiration by instruction of laboratory classes. The cause of this is an idea to make suggestions for “RS-interface and modems” lab exercises development. Outcome of this action is making study process for students more interesting and simpler.

RS-232 is not the only one serial interface. In example, USB and TMDS-based HDMI are very popular. There are many tests for serial interfaces. The purpose of the thesis is the development of the serial interface lab. There are also new serial interfaces searching and review of necessary implement resources.

The thesis has been written in Estonian and consists of 76 pages, including 37 figures and 3 tables.

Keywords of the thesis: serial interfaces, RS-232, USB, HDMI, testing.

# АННОТАЦИЯ

Вдохновением для написания данной работы послужил опыт проведения лабораторных работ по предмету «Связь». В результате, возникла мысль сформулировать несколько предложений по развитию лабораторной работы "Интерфейс RS-232 и медленные модемы". Данное действие направлено на разжигание интереса к учебе среди студентов и на способствование получению знаний.

RS-232 не единственный последовательный интерфейс. Например, в последнее время стали очень популярными USB и интерфейс HDMI, работа которого основывается на TMDS технологии. К последовательным интерфейсам применяются различные тесты. Целью данной работы является дополнение лабораторной работы о последовательных интерфейсах, в т.ч. поиск новых современных последовательных интерфейсов и обзор необходимых для этого аппаратных средств.

Работа написана на эстонском языке на 76 страницах и содержит 37 рисунков, а также 3 таблицы.

Ключевые слова, используемые в данной работе: последовательные интерфейсы, RS-232, USB, HDMI, тестирование.

# EESSÕNA

*Geeniuseks ei sünnita, geeniuseks saadakse.  
Simone de Beauvoir*

Kõik inimesed on erinevad, nii nagu erinev meie teadmiste pagas ja õppimismetoodikad. Õppimine on raske ja aeganõudev protsess. Teadlased on ammu püüdnud kergendada meie elu ning välja mõelda spetsiaalseid seadmeid, ravimeid, viise, mis aitaksid sellele protsessile kaasa. Kurb tõdeda, et väga edukalt pole neil see õnnestunud ning tänapäeval jäävad ikkagi kolm põhimeetodit – kuulamine, kirjutamine ja lugemine.

Tehnoloogiaarengut tihti võrreldakse kiirrongiga. Infotehnoloogiat õppivad inimesed peavad väga palju infot juurde õppima, et sellele rongile peale saada. Samas peavad nad saadud infot pidevalt uuendama ja oskama kasutada. Tihti see nõuab vananenud info välja filtreerimist.

Väga levinuks ja mugavaks saanud internet on ammu asendanud raamatuid. Võimsad internetiotsingu süsteemid võimaldavad leida mitmesugust infot. Kuid leitud info ei pruugi õige olla. Allika kontrollimine, analüüsimine ja valimine on aega ning kannatust nõudev töö. Igaüks ei saa sellega hakkama. Seda enamgi, et õige info hankimine internetist tihti meenutab otsingut prügikasti hunnikus.

Üks lahendus on soovitatavate internetiaadressidega nimekirja koostamine. Keeltevalik ja kirjutamisstiil annab ruumi varieerumiseks. Teine lahendus on teadmistekontroll ja küsimuste esitamine (Sidekursuse põhiteemade seostamine probleemülesannete lahendamisel [1]). Kui eelmine töö (Ülesannete kogu) oli suunatud kontrollimaks „õpetamise/õppimise protsessi positiivsete tulemuste saavutamist“ [1], siis käesolev magistritöö üritab sellele protsessile kaasa aidata.

Praktika või laboritöö tegemine on üks etapp teadmiste omandamise protsessist [1]. Võttes arvesse kiiresti arenevat keskkonda, järjestikliideseid puudutav laboritöö vajab täiendamist. Siinjuures esitatud ettepanekud ei ole lõplikud ning edaspidi võivad olla muudetud, täiendatud ja arendatud.

Siinkohal avaldan tänu väärtuslike nõuannete, juhendamise ja toetuse eest juhendaja Avo Otsale, kes tegi ettepaneku antud teema käsitlemiseks. Samuti siiralt tänan inseneri Evi Allas käesoleva töö korrigeerimise ja keelevigade parandamise eest. Ilma nende abita vaevalt oleksin hakkama saanud.

# SISUKORD

<b>1. SISSEJUHATUS</b> .....	11
1.1. TÖÖS KASUTATAVATE MÕISTETE DEFINITSIOON .....	12
1.2. TESTIMISE KLASSIFIKATSIOON .....	12
1.3. TÖÖ STRUKTUUR .....	13
<b>2. JÄRJESTIKLIIDESEID KÄSITLEVATE LABORITÖÖDE ÜLEVAADE</b> .....	15
2.1. JÄRJESTIKLIIDESTE ÕPETAMISE VAJADUS. ÜLESANDE PÜSTITUS .....	15
2.2. LÜHIÜLEVAADE TEISTE ÜLIKOOLIDE JÄRJESTIKLIIDESTE LABORITÖÖDEST .....	17
2.3. KURSUSE „SIDE“ RAAMES TEHTAVA LABORATOORSE TÖÖ KIRJELDUS .....	20
<b>3. ÜLEVAADE LIIDESTEST</b> .....	22
3.1. LIIDESTE ARENG LÄBI AJALOO .....	22
3.2. LIIDESTE KLASSIFITSEERIMINE.....	23
3.3. LIIDESTE ARENDAMISEL KASUTATAVAD PÕHIMÕTTED .....	24
3.4. FÜÜSILINE LIIDES .....	25
3.5. RS-232 LIIDES .....	26
3.5.1. RS-232 edasiarendused .....	28
3.5.2. RS-232 kaablid .....	28
3.6. USB LIIDES.....	29
3.6.1. USB versioonid.....	31
3.6.2. USB kaablid ja pistikud .....	31
3.7. HDMI LIIDES.....	33
3.7.1. HDMI versioonid .....	36
3.7.2. HDMI kaablid ja pistikud.....	37
<b>4. JÄRJESTIKLIIDESTE TESTIMISE METODOLOOGIA</b> .....	38
4.1. RS-232 LIIDESE TESTIMISEKS KASUTATAV VARUSTUS .....	38
4.2. USB ÜHILDUVUSE TESTIMINE.....	41
4.3. HDMI ÜHILDUVUSE TESTIMINE.....	46
<b>5. JÄRJESTIKLIIDESE LABORITÖÖ TÄIENDAMINE</b> .....	50
5.1. LABORITÖÖ KÄIGUS ESINENUD PROBLEEMID JA PUUDUSED .....	50
5.2. ETTEPANEKUD LABORATOORSE TÖÖ EDASIARENDUSEKS .....	51
5.2.1. Täiendused laboratoorse töö ettevalmistamiseks.....	52
5.2.2. Mõõtmised ja katsetused laboriseadmetel.....	54
5.2.3. Ettepanekud laboratoorse töö kaitsmiseks .....	56
5.3. RESSURSIVAJADUS JA EELDATAV AJARAAM.....	57
<b>6. KOKKUVÕTE</b> .....	60

Viiteloetelu .....	61
Lisa A. RS-232 kontaktide tähistus .....	66
Lisa B. RS-232-C ja EIA-232-D võrdlus .....	67
Lisa C. USB kontaktide paigutus .....	68
Lisa D. HDMI kontaktide paigutus .....	69
Lisa E. Internetiallikad liidestega tutvumiseks .....	72
Lisa F. Laboritöö ettevalmistuse koostamine .....	73

## **TABELITE LOETELU**

Tabel 1 RS-232 maksimaalne kaablipikkus [33] .....	28
Tabel 2 USB toodetele rakendatavad testid [26] .....	41
Tabel 3 Kõrge kiiruste toodete testimiseks sobivad ostsillograafid .....	57



# JOONISTE LOETELU

Joonis 1 E24 mooduli identifikaator [14].....	17
Joonis 2. Saatja-vastuvõtja struktuur skeem [15].....	17
Joonis 3 Cisco Network Academy poolt välja töötatud laboratoorses töös kasutatavad vahendid [16].....	18
Joonis 4 Paralleel- ja järjestikliideseid võrdlevas laboritöös kasutatav skeem valgusdiodidega ühendamiseks [17].....	18
Joonis 5 Kahe arvuti ühendamiseks konstrueeritud saatja [18] .....	19
Joonis 6 Makett paralleel- ja järjestikliideste õpetamiseks [19].....	19
Joonis 7 USB-RS232 üleminek [20] .....	20
Joonis 8 Sertifikaat HDMI testide läbimisest [31] .....	26
Joonis 9 RS-232 ühenduse näide.....	27
Joonis 10 RS-232 pistiku ja pesade kasutamise näide .....	27
Joonis 11 USB 2.0 ja 3.0 sümbol [35].....	29
Joonis 12 NRZI andmete kodeerimine [26] .....	30
Joonis 13 Andmete edastuse ja bittide lisamise (bit stuffing) näide [26].....	30
Joonis 14 USB konnektorite tüübid [26].....	32
Joonis 15 HDMI töötamise algoritm [25] .....	34
Joonis 16 720x480p video kaadri TMDS perioodid [25].....	35
Joonis 17 HDMI kaabel [25].....	37
Joonis 18 Mini-kross või klemmplaat .....	39
Joonis 19 Võrgu signaalide muundur [38] .....	39
Joonis 20 Breakout box [38] .....	40
Joonis 21 BER/BLER tester [38] .....	40
Joonis 22 USB 3.0 üldine silmadiagramm [26] .....	43
Joonis 23 Järsu voolutarbimise illustratsioon [40].....	44
Joonis 24 Drop testi skeem [26].....	44
Joonis 25 LED-karp Root 2 [41].....	45
Joonis 26 USB Loop-back Plug PMUSB01 [42].....	45
Joonis 27 TMDS test punktid [25] .....	46
Joonis 28 HDMI plokk diagramm ja igale osale rakendatavate testide hulk [44] .....	47
Joonis 29 Skeem saatja testide rakendamiseks [45].....	47
Joonis 30 Jitter Tolerantsuse test [45] .....	48
Joonis 31 HDMI kaabli ühilduvuse kontrollimiseks rakendatav silmadiagrammi test [45]....	48
Joonis 32 Centronics HDTE-200 HDMI Cable Tester (HDTE-200) [46].....	49
Joonis 33 LeCroy HDMI Test Solution QPHY-HDMI [48].....	49
Joonis 34 USB andmed analüsaatori ekraanil [50] .....	55
Joonis 35 USB-IF poolt soovitatud skeem silmadiagrammi testimiseks [57] .....	58
Joonis 36 Back-Voltage testimiseks vajalik seade [26] .....	59
Joonis 37 USB Tracer Bus analüsaatorilt saadud pilt [60].....	59

# LÜHENDITE LOETELU

<b>Abreviaatuur</b>	<b>Seletus inglise keeles</b>	<b>Seletus eesti keeles</b>
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>	Ameerika Informatsioonivahetuse Standardkood
ATC	<i>Authorized Testing Center</i>	Litsentseeritud testimiskeskus
B	<i>Byte</i>	Bait
BER	<i>Bit Error Rate</i>	Vigaste bittide arv
BLER	<i>Block Error Rate</i>	Blokiveategur
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i>	Tsükelkoodkontroll
CTLE	<i>Continuous Time Linear Equalizer</i>	Lõppajaga lineaarekvalaiser
CTS	<i>Compliance Test Specification</i>	Ühilduvuse testi kirjeldatav spetsifikatsioon
DB-25	<i>Data Bus 25</i>	Konnektorite tüüp
DB-9	<i>Data Bus 9</i>	Konnektorite tüüp
DCE	<i>Data Communication Equipment</i>	Sideseade
DP	<i>Data Packet</i>	Andmepakett, mis koosneb DPH ja DPP-st.
DPH	<i>Data Packet Header</i>	Andmepaketi päis
DPP	<i>Data Packet Payload</i>	Andmeid ja CRC sisaldav pakett
DTE	<i>Data Terminal Equipment</i>	Terminali seade
DUT	<i>Device Under Test</i>	Testitav seade
EDID	<i>Extended Display Identification Data</i>	Laiendatud monitori identifitseeritavad andmed
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>	Kõrgtehnoloogiafirmasid esindav ühendus
EOP	<i>End of Packet</i>	Paketilõpp
GPON OLT	<i>Gigabit Passive Optical Network Optical Line Terminal</i>	Lõppseade passiivses optilises võrgus
GUI	<i>Graphical User Interface</i>	Graafiline kasutajaliides
HDCP	<i>High-bandwidth Digital Content Protection</i>	Kõrglahutus-koopiakaitse
HDMI	<i>High Definition Multimedia Interface</i>	Kõrglahutusega multimeediumiliides
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Elektri- ja Elektroonikainseneride Instituut
ISI	<i>Inter-Symbol Interference</i>	Sümbolivaheline interferents
ITP	<i>Isochronous Timestamp Packet</i>	Ajatempliga pakett
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>	Rahvusvaheline Elekterside Liit
LED	<i>Light Emitting Diode</i>	Valgusdiod
LMP	<i>Link Management Packet</i>	Pakett linkide vahel andmete edastamiseks
LPT	<i>Line Print Terminal</i>	Reaprinteriterminal
NRZI	<i>Non Return to Zero, Inverted</i>	Kood andmete edastamiseks
OSI	<i>Open System Interconnection</i>	Avatud Süsteemide Sidumise (arhitektuur)
OTG	<i>On The Go</i>	Mobiilne USB seade

PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>	Elektronmärkmik
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>	Soovituslik standard 232
SCI	<i>Serial Communications Interface</i>	Järjestikliideste üldine lühend
SDP	<i>Shielded Differential Pair</i>	Varjestatud diferentsiaaljuhe
SQiDD	<i>Signal Quality Drop/Droop</i>	USB ühilduvuse testimiseks kasutatav plaat
TIA	<i>Telecommunication Industry Association</i>	Telekommunikatsioonitööstuse Ühing
TMDS	<i>Transition Minimized Differential Signaling</i>	Minimaalse üleminekuprotsessiga diferentsiaalne signaaliedastus
TP	<i>Transaction Packet</i>	Pakett andmete edastamiseks välisseadme ja jaoturi vahel
TP-n	<i>Test Point n</i>	Testi rakendatav koht, kus n on koha number
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>	Transistor-transistor loogikaskeem
USB	<i>Universal Serial Bus</i>	Universaalne järjestiksiin
USBHTT	<i>USB Hub Transaction Translator</i>	USB jaoturitele rakendatav test
USB-IF	<i>USB Implementers Forum</i>	USB tootjate foorum
USD	<i>United States Dollar</i>	Ameerika Ühendriikide dollar
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>	Varjestamata keerdpaarjuhe
VESA	<i>Video Electronics Standards Association</i>	Video-Elektronika standardiseerimisorganisatsioon

# 1. SISSEJUHATUS

Tallinna Tehnikaülikoolis infotehnoloogiat õppivatel üliõpilastel üks esimestest erialastest õppeainetest on „Side“. Selle kursuse läbimisel tudengid on tutvunud sidesüsteemide parameetritega, sidestandarditega, arvutivõrgu arhitektuuriga ja muude telekommunikatsiooni põhimõistetega. „Side“ õppeaine sisaldab praktilist osa, milles on viis laboratoorset tööd teemadel [2]:

- Telefoni juhtmepõhine analoogliides;
- Juurdepääs arvutivõrku ja võrgu põhiparameetrid;
- Traadita kohtvõrk WLAN;
- RS-liides ja aeglased modemid;
- Telefoniteenused.

Esimesel laboritööl tudengid saavad tuttavaks impulss- ja toonvalimisega, telefoniaparaadi töörežiimidega, telefoniliini signaalidega ning õpivad teostama vajalikke mõõtmisi, kasutades voltmeetrit ja ostsillograafi. Edasise laboratoorse töö eesmärk on „õppida tundma operatsioonisüsteemi Linux, uurida arvutivõrgu põhiparameetreid ja õppida kasutama erinevaid rakendusi“ [2]. Järgmises praktika tunnis üliõpilased tutvuvad spektrianalüsaatori abil traadita kohtvõrkude signaalide ja spektriga. Viimane laboratoorne töö käsitleb telefoniteenuseid ning telefonitehnika erinevaid võimalusi ja iseärasusi.

Käesolev töö keskendub neljandal laboratoorsel tööl (RS-liides ja aeglased modemid), mis käsitleb RS-232 liidest. Õppesüsteemid peavad arvestama sidetehnoloogia kiirest arengust tulenevaid muutusi. Eelmainitud laboratoorne töö võimaldab kaasata uusimaid liideseid ja sisse viia atraktiivsuselemente, arvestades laboritöö tegemise ajal esinenud puudusi ja äratades tudengite õppimishimu.

Käesolev töö on võtnud sihiks ettepanekute välja töötamist järjestikliideseid hõlmava laboritöö täiendamiseks, mille raames üliõpilased:

- saavad tuttavaks järjestikliideste teoreetiliste alustega,
- laiendavad silmaringi erinevate seadmete kokkuühendamisest ja toimuvatest andmevahetuste protsessidest,
- saavad aru füüsilise taseme liideste parameetrite mõõdistamisest,
- arendavad oskusi mõõtmistehnika kasutamises,
- õpivad tundma uurimistööde jaoks vajalikke testimismeetodeid,
- kogevad järjestikliideste efektiivset kasutamist.

Teema valik on seotud autori kolmesemestrilise „Side“ laboritööde juhtimise kogemusega. Käesoleva töö tulemuseks ei ole laboratoorse töö täielik koostamine. Tehtud soovitused kannavad informeeritavat iseloomu ning võivad olla arendatud ja täiendatud edaspidi.

## 1.1. TÖÖS KASUTATAVATE MÕISTETE DEFINITSIOON

Käesolevas töös kasutatavate terminite paremaks arusaamiseks ja võimalike segaduste vältimiseks, peavad nad olema lahti seletatud. Põhimõistete edaspidiseks mugavaks kasutamiseks liidese ja testimise definitsioon tuuakse töö alguses.

Testimise mõiste on lai. Sellega võib kohtuda peaaegu igal alal: pedagoogikas, meditsiinis, psühholoogias ja infotehnoloogias. Võõrkeelest tulnud sõnatähendus on kontroll, katsetamine, proov [3]. Arvestades kasutusala mitmekesisust on antud termini ühine defineerimine vaevalt võimalik. Näiteks tudengite jaoks „test“ tähendab kontrolltööd vastusevariantidega või mõnel juhul ka bingo-loto mängimist.

Sidetehnoloogias antud sõna samuti ei saanud ühist definitsiooni. **Testimine** on vigade leidmisele suunatud tegevus. Samas antud terminit võib defineerida süsteemi korrashoiu kontrollimisena. Käesolevas töös testimise all mõistetakse toote analüüsi, eesmärgiga kontrollida vastavust spetsifikatsioonile [4].

**Liides** (ingl. k. – *interface*, vene k. – *интерфейс*) on elektriliste, füüsiliste ja tarkvaraliste kirjelduste kogum erinevate süsteemi elementide ühendamiseks ja infovahetuse tagamiseks [5]. Inglise keelest tõlgitav sõna tähendusega „piir“ oma olemuselt määrab kohta või viisi kahe süsteemi vahelisel ühendamisel. Käesolevas töös traadita liideseid ei vaadelda.

## 1.2. TESTIMISE KLASSIFIKATSIOON

Testimisviise on umbes sama palju kui tooteid. Mitmekesisus annab võimaluse neid liigitada. Sidetehnoloogias testitavat toodet vaadeldakse kastina ning sõltuvalt testimismeetodist omistatakse sellele kindel värv - must-valge või värviline [6].

Must-valge värvi alla kuuluvad must, valge ja hall kasti testimismeetodid [7].

Nagu nimest võib kohe aru saada esimest liiki testimine vaatleb katsetatavat toodet musta kastina, mille tööpõhimõtete tundmine pole oluline. Süsteemi sisendisse antakse andmed ning väljundil saadud tulemuste põhjal tehakse analüüs [8]. Antud testimisviis tugineb spetsifikatsioonidele, kus süsteemide nõuded on kindlalt määratud. Kõige levinumad musta kasti alla kuuluvad testimised on järgmised [7]:

- Ekvivalentne jagamine (*Equivalence Partitioning*);
- Piirväärtuste analüüs (*Boundary Value Analysis*);
- Põhjuste ja tagajärgede esitamine (*Cause-Effect Graphing*).

Valge kasti testimise puhul on tagatud ligipääs nii süsteemi nõuetele, tema sisenditele ja väljunditele, kuid ka süsteemile endale [9]. Tihti nõuab see programmeerimisoskusi ning on mõeldud nn süsteemi sisepotentsiaali kontrollimiseks. Testija valib mõned süsteemi sisendid, määrab koodi, mille abil testimine käibki, ja määrab sobivad süsteemi väljundid. Antud testimisviis on kasulik, et teada võimalikke tagajärgi süsteemi uuendamise või edasiarendamise puhul. Kõige tuntumad antud ala testid on järgmised [7]:

- Tsükli lõppemise kontroll (*Loop testing*);
- Tingimuste testimine (*Condition testing*);
- Andmevoo testimine (*Data flow testing*).

Halli kasti testimine on valge ja musta kasti testimise põhimõtete kombinatsioon. Selle all mõeldakse nii koodi kui ka funktsionaalsuse osa atesteerimist [8].

Värvilise kasti testimismeetodid on suhteliselt uus liik ning teaduses sellist mõistet ei kasutata. Pigem antud terminid on tekkinud testimise ajaloo käigus ning on levinud testijate seas. Näiteks punase kasti all on mõeldud protokollide testimist. Kollase kasti testimine põhineb veateatel [6].

Samuti testimist võib klassifitseerida järgnevalt [10]:

- Graafilise liidese testimine (*Graphical User Interface (GUI) testing*);
- Infoturbe testimine (*Security testing*);
- Konfiguratsioonide testimine (*Configuration testing*);
- Piirvõimsustel testimine (*Volume testing*);
- Testimine stressitingimustel (*Stress testing*);
- Taastamistestimine (*Recoverability testing*);
- Usaldusväarsuse testimine (*Reliability testing*);
- Tootmistestimine (*Performance testing*).

Liideste ühilduvuse testimisel rakendatakse erinevaid kasti meetodeid sõltuvalt kontrollimist vajavast spetsifikatsiooni osast. Testide realiseerimiseks ja tulemuste jälgimiseks kasutatakse mitmesuguseid vahendeid ja seadmeid.

### 1.3. TÖÖ STRUKTUUR

Magistritöö koosneb kuuest peatükist. Käesoleva töö sisu võib tinglikult jagada kaheks: laboratoorset tööd käsitlev alateema ja järjestikliideste ülevaade.

Alguses tutvustatakse järjestikliideste kasutatavala ja näidatakse selle teema õpetamise aktuaalsust. Samuti tehakse ülevaade teistes maailma ülikoolides samal teemal tehtavatest

laboritöödest ja selleks kasutatavatest vahenditest. Peatükk lõpeb põgusa kirjeldusega kursuse „Side“ raames tehtavast laboritööst RS-liideste teemal.

Järgmine peatükk annab üldise ülevaate liidestest. Kõigepealt vaadeldakse liideste arengut läbi ajaloo, seejärel üritatakse neid klassifitseerida ja sõnastada arendamisel kehtivad põhimõtted. Eraldi peatutakse füüsilistel liidestel. Kolme järjestikliidese (RS-232, USB ja HDMI) kirjeldus sisaldab definitsiooni, versioonide ilmnemise ajalugu ning informatsiooni kasutatavatest kaablitest ja pistikutest.

Töö edasine osa keskendub eelmises peatükis kirjeldatud liideste testimisele. Alguses antakse ülevaade RS-232 kontrollimisel kasutatavatest vahenditest. Edasi räägitakse USB ja HDMI liideste ühilduvuse testidest, arvestades toodete spetsiifikat ja klassifitseerimist.

Eelviimane peatükk on pühendatud ettepanekutele laboratoorse töö täiendamiseks. Kõigepealt tehakse analüüs autoripoolsest vaatest esinenud probleemidest ja puudustest. Järgmise sammuna ideaalset laboratorset tööd üritatakse liigitada kolmeks ning vastavalt selle igale osale koostada ettepanekud. Samuti on tehtud ülevaade vajalikust ressursivajadusest.

Käesoleva töö lõpus on toodud lisad. Nendes sisalduv informatsioon on sekundaarne. Selle paigutamine põhiossa võib takistada töö kerget jälgimist. Enamasti on need järjestikliideste kontaktide paigutuste skeemid.

## **2. JÄRJESTIKLIIDSEID KÄSITLEVATE LABORITÖÖDE ÜLEVAADE**

Tallinna Tehnikaülikoolis loetakse „Side“ õppeainet mille käsitletavate teemade hulk on piisavalt lai. Praktiline kogemus mängib tähtsat rolli teadmiste saamise protsessis. Kahjuks, antud kursuse raames toimuvad laboratoorsed tööd on piiratud nii ajaliselt, kuid ka arvuliselt. Järsu tehnika arenguga mõned teemad kaotavad kiiresti aktuaalsuse. Kaasaegsust kaotanud põhimõistete õpetamine on mõttetu ajakulu. Seetõttu laboratoorse töö sisu nõuab pidevat analüüsimist ja uuendamist.

Käesolevas peatükis uuritakse järjestikliidese õpetamise vajadust, tuginedes teiste maailma ülikoolide kogemusele ja tehakse ülevaade erinevates laboratoorses töödes kasutatavatest vahenditest. Samuti antakse Tallinna Tehnikaülikoolis kasutatava järjestikliideseid puudutava laboratoorse töö kirjeldus.

Lihtsuse mõttes antud peatükis järjestikliideseid käsitlev laboritöö on edaspidi nimetatud neljandaks või lühidalt laboritöök.

### **2.1. JÄRJESTIKLIIDESTE ÕPETAMISE VAJADUS. ÜLESANDEPÜSTITUS**

Samuel F.B. Morse patenteeris telegraafi 1840. aastal [11]. Antud sündmust võib lugeda alguseks järjestikuse andmeülekanne ajaloos. Sajandi jooksul jõudis selle areng nii kaugele, et tekkisid järjestikuse andmeülekannega tööpõhimõtetega liidesed. Esimeseks märkimisväärseks järjestikliideseks sai RS-232, mis oli välja töötatud kahe välisseadme kokku ühendamiseks. Hiljem turule toodud USB liides on samuti saanud populaarseks erinevates andmevahetust nõudvates valdkondades. Areng läks loogiliselt edasi ja tänapäeval multimeedia andmete ülekandmiseks ning keerukamate seadmete ühendamiseks kasutatakse HDMI, mis vaatamata tema ülesehituse keerukusele vaadeldakse järjestikliideseena. Tulevikku on raske ette näha, kuid tänu järjestikuse andmeülekanne eripäradele ja ajaloolisele arengule võib arvata, et järjestikliideseid on saanud meie elu lahutamatuks osaks ja arenevad ka edaspidi.

Tänapäeva tehnomaailma vaadates, ei saa märkamatuks jätta kõikvõimalike funktsioonidega terminalide mitmekesisust – mobiiltelefonid, MP3 mängijad, televiisorid, PDA ja skännerid, rääkimata arvutitest ja printeritest. Loomulikult peavad nad omavahel ühenduma. Selleks eksisteerib mitu võimalust ning suure tõenäosusega kaasaegne välisseade on varustatud vähemalt ühe järjestikuse pordiga.

Siin tuleb mainida, et ka erinevate sidevõrkude sõlmede ühendamiseks kasutatakse järjestikliideseid. Suurt rolli mängib andmete edastuse korrektsus ja töökindlus, mida tagavad



antud liiki liidesed. Näiteks RS-232 liidest kasutatakse GPON jaama (Ericsson BLM1500 GPON OLT [12]) ja Juniper Netscreen seadmete [13] juures. Antud fakt näitab, et 40 aastat tagasi välja töötatud standard on siiamaani kasutuses. Järjestikliidese infovahetuse tundmaõppimine on oluline ka põhjusel, et nendega kindlasti tekkib kokkupuude.

Seega järjestikliideste tutvustus ja tööpõhimõtete printsiipide tundma õppimine on ülikoolide programmide raames kahtlemata vajalik. Maailma erinevates ülikoolides antud teema on samuti käsitlemisel. Järjestikliidestel põhinevad laboritööd aitavad üliõpilastel tekitada ettekujutust OSI mudeli seitsmendas kihis toimuvatest protsessidest ja illustreerida neid. Samuti selle alusel õpetatakse ASCII tabeli kasutamist, kanalikoode (näiteks NRZI) ja vigade avastamise algoritme (näiteks CRC ja paarsuse bitid). Järjestikliideste põhjal tehtavad laboritööd on väga levinud mikroprotsessorite ja elektroonikat õpetatavatel erialadel. Tuleb tõdeda, et ei õnnestunud leida ühtegi laboritööd eesmärgiga õppida testimise järjestikliideseid.

Testimine on muutunud nii levinuks ja tavapäraseks, et on peaaegu saanud sõltumatuks haruks. Pidevalt nõutakse häid spetsialiste lõpptoodete testimiseks. Ei tasu imestada, kui mõne aastaga infotehnoloogia või muus teaduskonnas tekkib testimist õpetatav eriala. Selle põhjusel testimisaluste õpetamine on piisavalt vajalik. Järjestikliideste põhjal on hea näidata ja rõhutada mõned tüüpilised meetodid, mis edaspidi saavad olla arendatud ja kasutatud. Sarnaste eesmärkidega laboritöö tegemine võib mitte ainult äratada huvi tudengite hulgas, kuid ka saada mõnes mõttes ainulaadseks.

Arvestades eelpool näidatud järjestikliideste aktuaalsust, käesolev magistritöö on seadnud järgmiseid eesmärke:

- anda lühiülevaade liideste ajastuse jooksul saanud tuntumatest järjestikliidestest (RS-232, USB, HDMI);
- teha ettepanekud „Side“ õppekursuse raames RS-liideste põhjal läbiviidava laboritöö täiustamiseks, tuginedes teiste maailma ülikoolide kogemusele;
- välja töötada ettepanekud laboratoorse töö juhendi täiendamiseks.

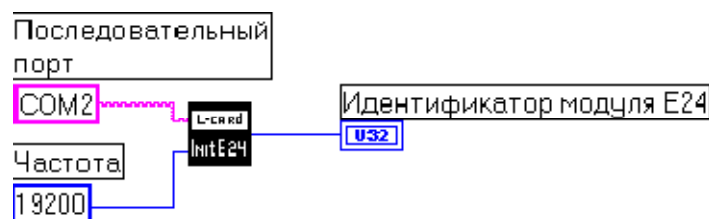
Antud töö on mõeldud „Side“ kursust õpetavatele inimestele, kes on huvitatud laboratoorsete tööde pidevast uuendamisest ja kaasajastamisest. Muutused on tingimata vajalikud mitmel põhjusel. Nad aitavad piirata plagiaati tudengite hulgas ja kohaneda kiiresti arenevas maailmas.

## 2.2. LÜHIÜLEVAADE TEISTE ÜLIKOOLIDE JÄRJESTIKLIIDESTE LABORITÖÖDEST

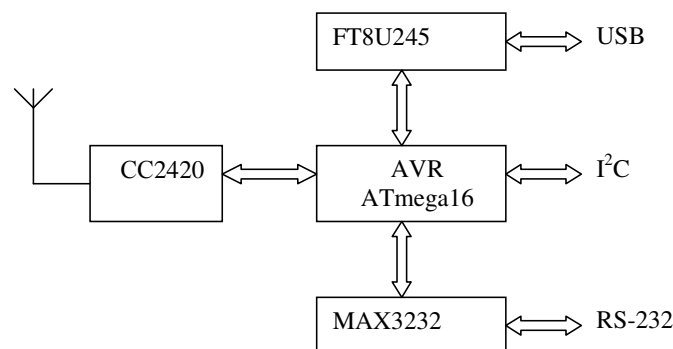
Interneti allikate põhjal tehtud analüüs näitas, et erinevates ülikoolides järjestikliideste teemad võetakse ette mitte ainult loengutel, vaid korraldatakse ka laboritööd. Kuid rõhutatakse mitte ainult RS-232 standardit, vaid järjestikuliideseid tervikuna. Eelmainitud liides on tihti võetud aluseks, silmas pidades tema lihtsust ja arusaadavust. Leitud järjestikliideseid puudutavate laboritööde eesmärgid võib tinglikult jagada kaheks:

- Praktilise kogemuse saamine C, LabView, Java või Assembler programmeerimisekeeles. Sarnastel töödel liidesed esinevad taustal. Põhiline uurimiseesmärk on teine (näiteks määratud mikrokontrollerite uurimine, elektriliste seadmete moduleerimine või ASCII koodiga tutvumine);
- Järjestiku- ja/või paralleelliidestega tutvumine (tihti sisaldab programmeerimiselemente).

Näiteks esimese variandi Samara riigiülikoolis ja Uurali tehnikaülikoolis tehtavates laboratoorsetes töodes koostatakse vajalikud skeemid (Joonis 1 ja Joonis 2). Koodi kirjutamisega või spetsiaalselt programmiga uuritakse süsteemi väljundeid. Põhimõtteliselt rakendatakse valge kasti testimist.



Joonis 1 E24 mooduli identifikaator [14]



Joonis 2. Saatja-vastuvõtja struktuur skeem [15]

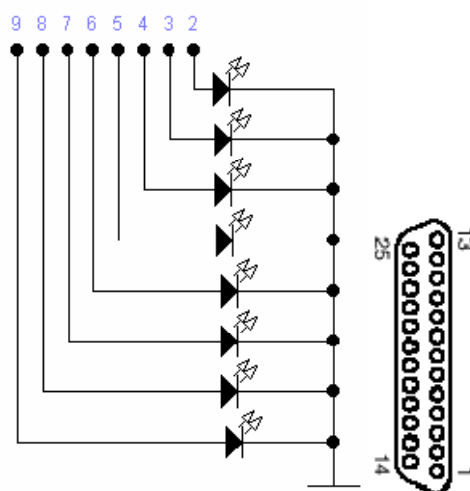
Viimase eesmärgiga korraldatavad laboritööd pakuvad käesoleva töö raames suuremat huvi põhjusel, et „Side“ õppeainel puuduvad eelisained ja programmeerimisoskuste nõuded.

Teist liiki näitena võib tuua Cisco Network Academy poolt koostatud laboritöö [16], mille käigus kaabli ühes otsas kasutatakse RJ-45-to-DB-9 adapterit ja teist otsastatakse spetsiaalse skeemi järgi. Järgmise sammuna saadud kaabel testitakse spetsiaalse seadmega – Flike 620 kaablitester. Kaabli üleminekute konstrueerimise töö (*Rollover Cable Construction*) eesmärgiks on kaabli otsastus (nn konstrueerimine) ja selle testimine. Juhendi alguses seletatakse, kus võib laboritöö käigus saadud teadmisi rakendada. Samuti on kirja pandud laboritöö käigus vajalikud teoreetilised alused (RS-232 kontaktide tähistus), toodud kasutatavate vahendite nimekiri ja illustreeritava sisuga pilt (Joonis 3).



Joonis 3 Cisco Network Academy poolt välja töötatud laboratoorses töös kasutatavad vahendid [16]

Teises samalaadses laboritöös uuritakse kahte vastastikust liiki liideseid: paralleel ja järjestik. Aluseks on võetud *loop-back* testimine. Määratud kontaktide külge spetsiaalse skeemi järgi (Joonis 4) ühendatakse valgusdiodid (LED), mis hakkavad vilkuma andmete edastamisel. Antud õpetamisviis tundub väga atraktiivne olevat. Juhendi lõpus on välja toodud võrdlemiseloomuga küsimused, mis panevad üliõpilasi otsima vastuseid ja analüüsima laboritöö käigus saadud teadmisi. Näiteks, võrrelda paralleel- ja järjestikühendust ning kiirusi.



Joonis 4 Paralleel- ja järjestikliideseid võrdlevas laboritöös kasutatav skeem valgusdiodidega ühendamiseks [17]

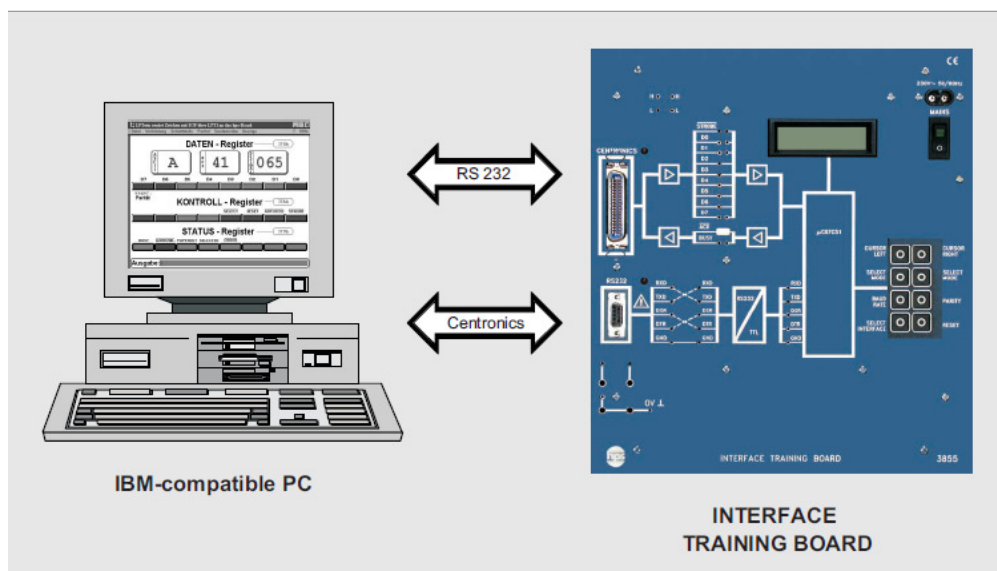
Samuti õpetatakse RS-232 liidese töökorrasoleku kontrollimist tavalise kirjaklambri vahendusel, ühendades vajalikud kontaktid ehk rakendades *loop-back* testi.

Veel ühes laboritöös on kasutusel mikroskeem, mille abil on võimalik ühendada laseri kiirtega kaks RS-232 liidestega varustatud arvutit, mis asuvad kuni 200 m kaugusel (Joonis 5).



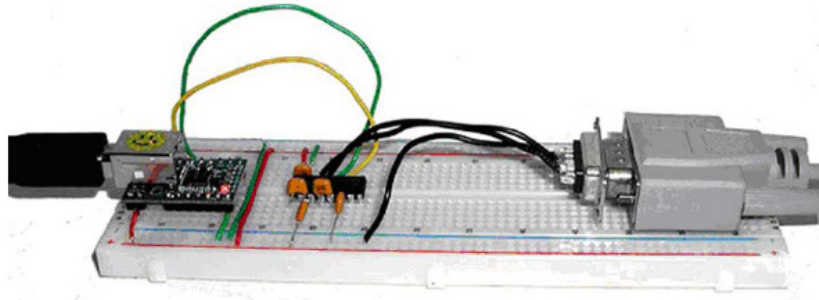
Joonis 5 Kahe arvuti ühendamiseks konstrueeritud saatja [18]

Laboritööde jaoks on spetsiaalselt välja arendatud nn makettplaat (*training board*), mis võimaldab võrrelda paralleel- ja järjestikliideseid RS-232 ja Centronics (Joonis 6).



Joonis 6 Makett paralleel- ja järjestikliideste õpetamiseks [19]

Elektronika eriala üliõpilastele pakutakse ka laboritööd BBUSB (*BreadBoard USB*) põhjal. Koostades vajaliku skeemi on võimalik teostada näiteks *loop-back* testimist ja RS-232 liidestega ühendamist (Joonis 7).



Joonis 7 USB-RS232 üleminek [20]

Peaaegu igas laboritöös kasutatakse määratud hulka seadmeid või makette, mis on reeglina kokku ostetud (ingl. k. *protoboard*). Selliseid makettplaatte võib jagada kolmeks tüübiks:

- Makett, mille abil tudengid koostavad ise vajaliku skeemi;
- Makett, kus korjatakse vajalikud andmeid kokku;
- Makett, kus andmete kogumise protsess on automatiseeritud arvuti poolt.

Eksisteerib võimalus varustada niinimetatud virtuaallaboritooriumi, installeerides spetsiaalse tarkvara, mis täidaks andmenuhutaja (*sniffer*) või analüsaatori funktsioone, võimaldades näha signaale, stoppbitte, aru saada biti- ja boodikiirustest jne [21].

Eelpool toodud näidete põhjal võib järeldada, et järjestikliidestega laboritöid on aktuaalne teha, arvestades ka kaasaegsemaid liideseid (näiteks USB). Ülaltoodud ideed on võimalik rakendada neljanda laboritöö täiendamiseks, et muuta seda atraktiivsemaks ja paremini arusaadavaks.

### 2.3. KURSUSE „SIDE“ RAAMES TEHTAVA LABORATOORSE TÖÖ KIRJELDUS

IRT3930 Side õppeaine loetakse sügissemestril ja on mõeldud peamiselt teise kursuse tudengitele. Vajaliku info üliõpilased saavad kodulehelt <http://www.lr.ttu.ee/side>, kus asuvad ka laboratoorsete tööde juhendid. Antud õppeaine lõpeb eksamiga, mille eelduseks on tehtud ja kaitstud laboritööd.

2008. aastal koostatud neljanda laboritöö „RS-liides ja aeglased modemid“ eesmärgiks oli „õppida tundma terminalliidest RS-232 ja terminalide ühendusviise vahetult RS-232 liidese signaale üle kandes ning telefonikaabli kaudu signaalide ülekannet modemite vahendusel“ [22]. Laboritöö juhendi koostamisest on võtnud osa Aimur Raja, Avo Ots ja Indrek Rökk. Antud dokument on samuti tõlgitud vene keelde T.Balitskaja poolt. Laboratoorse töö käigus kasutatud vahenditeks oli RS-232C ühenduskaabel koos klemmplaadiga, Nokia modemid, ostsillograaf Tektronix TDS 2012B ja andmete

salvestamiseks USB mälu pulgad. Sümbolite edastuse jälgimiseks terminalidest kasutati Tera Term programmi.

Laboritundidele sai registreeruda „Side“ õppeaine interneti kodulehe kaudu korraga maksimaalselt 12 inimest. Laboritöö käigus sai vormistatud neli brigaadi personaalse töökohaga. Iga brigaad koosnes maksimaalselt kolmest inimestest.

Laboratoorne töö on tinglikult jagatud kolmeks etapiks: töö tegemine, aruande kirjutamine, kaitsmine. Eelmistest juhendi versioonidest on selgelt eristatav ettevalmistuse etapp, mis eeldas enne laboritöö tegemist RS-232C tööpõhimõtete tutvumist.

Laboritöö tegemine koosnes neljast osast:

- Sümboli edastamine RS-232C liidesel, mille tulemusena sai tudengi poolt valitud sümboli kuju salvestus (*loop-back test*);
- Andmevahetus arvutite vahel nullmodemi abil, mille eesmärgiks oli kahe brigaadi arvutite ühendamine ning naabritele sümbolite või tervituste edastamine;
- Modemiühendus arvutite vahel, mis nõudis brigaadide vahelist koostööd. RS-liidese külge sai ühendatud modem ning andmevahetuse käigus saadi spektripilt;
- Kodune individuaalülesanne, kus põhirõhk sai tehtud boodikiiruse arusaamisele.

Esimese osa eesmärgiks on mitte ainult vajaliku skeemi koostamine, vaid ka signaali „1“ ja „0“ nivooide ja sümboli edastamiseks kulunud aja mõõdistamine. Samuti paarsuskontrolli viiside muutmine aitas vigade kontrollfunktsiooni arusaamisele kaasa. Kolmanda osa eesmärgiks on spektripildi uurimine ja @ sümboli edastamisel iseloomulike kühmude sageduste määramine. Individuaalülesanne sai koostatud iga üliõpilase jaoks erinevate lähteandmetega ning eeldas edastamisega ja bittide arvu leidmist.

Laboratoorse töö juhendi lõpus sai välja toodud kolm lisa: ASCII tabel, klemmplaadi kontaktväljade tähistus ja ühendus nullmodemi korral, omavahel suhtlevate V.21 modemite liinis kulgeva signaali spekter. Samuti on näidatud tähe A koodi esitus TTL nivooide ja RS-232 liidese liinisignaaliidena. Eelmised juhendi variandid sisaldasid lisaks eeltoodutele kontaktide paigutust DB25 ja DB9 pistikutes, kontaktide tähistust koos signaalide kirjeldustega, kanalikoodide, modulatsiooniviiside ja 16 ostsillogrammi näiteid.

Aruanne vormistatakse veebilehena W3C reeglistiku kohaselt ning võib olla ühine brigaadi kohta. Viide koostatud internetilehele saadetakse iga üliõpilase poolt WebCT elektroonilise süsteemi (<http://webct.e-uni.ee>) kaudu. Pärast laboratoorse töö aruande esitamist ja selle kontrollimist, toimub kaitsmine, mille käigus esitatakse küsimused tehtud töö põhjal. Antud tegevus on suunatud saadud teadmiste kontrollimisele ning vajadusel ka täiendamisele. Edukal kaitsmisel laboratoorne töö loetakse arvestatuks. Üliõpilane saab elektroonilises keskkonnas vastava märgistuse.

### 3. ÜLEVAADE LIIDESTEST

Ühtse arusaamise kujundamiseks mõisted peavad olema võimalikult selgelt ja täpselt defineeritud. Antud eesmärgiga käesolevas peatükis tehakse lühidalt ülevaade liideste ajaloos toimunud põhilistest arenguetappidest ning tuuakse välja liideste arendamiseks kasutatavad printsiibid. Samuti üritatakse neid klassifitseerida ning eraldi peatutakse füüsilistel liidestel, seoses antud töö temaatikaga. Nagu juba üleval mainitud, käesolevas töös käsitletakse ainult traadiga liidesed.

Mingil määral RS-232 ja USB tekitasid järjestikliideste hulgas revolutsiooni, mille tagajärjeks on tõusnud maailmas populaarsus kasutajate hulgas ja nimetatud liideste masstootmine. Multimeedia ajastut on veel vara analüüsida, kuid ta on kindlasti alanud. HDMI on saanud esimeseks digitaalseks liideseks, mis võimaldab kompressimata audio/video andmete ülekandmist ühe kaabli kaudu. HDMI on TMDS tehnoloogia põhjal töötav liides, seepärast peetakse teda järjestikuks.

Kolmandas peatükis kirjeldatakse kolme eelmainitud järjestikliidest, andes ülevaate kasutualast, ilmunud versioonidest ja kasutatavatest kaablitest.

#### 3.1. LIIDESTE ARENG LÄBI AJALOO

Meie elus liidese mõiste on laialt kasutatav. Selle võib leida mitte ainult tehnika ja teaduse leksikonis kuid ka tavapäeva elus.

Sidetehnoloogias liidese mõiste on tekkinud siis, kui ilmus vajadus kahe erineva süsteemi või seade kokku ühendamisel. Kuigi kirjanduses ei ole ühtset arvamust, liidese sünniaastaks võib lugeda 1963 aasta, siis kui Ivan Sutherland on esitanud Scetchpad süsteemi, mis võimaldas kasutajatele muuta, liigutada ja kustutada joonistatud objekte. Antud leiutis muutis inimeste ja arvuti vahelist suhtlemise viisi [23]. Nii tekkiski esimene kasutajaliidese mõiste. Liideste masstootmise ajaloos sai märkimisväärseks 1970. aasta, esimese printeri Centronics Model 101 leiutamisel, mis kasutas paralleelliidest [24].

Tänapäeval on liidesed saanud kahe sidesüsteemi vaheliseks toimimise aluseks. Juhul kui objekti liides jääb samaks, siis objekti võib modifitseerida ilma teiste objektide koostöö aluste muutmisteta.

Andmete mahud ja ülekantavad kiirused kasvavad iga aastaga. Tänapäeval arvuti ühendamine televiisoriga ühe kaabli kaudu ei imesta kedagi. HDMI liides sai leiutatud 2002 aastal tuntumate tootmisfirmade poolt nagu Hitachi, Philips, Sony, Toshiba. Nagu teised standardid, antud järjestikliides areneb ning tänaseks on teada juba kolm põhiversiooni, mis erinevad üksteisest enamasti kiiruse poolest.

Samal ajal kui HDMI liides võimaldab ülekandekiirust kuni 10,2 Gbps ja maailmas on olemas juba 180 mln erinevaid HDMI seadmeid [25], kõige tuntumaks jääb ikkagi USB, mis sai alguse tänu Intel, Compaq, Microsoft, Digital, IBM ja Northern Telecom firmadele 1996. aastal. USB tooteid loetakse biljonitena [26].

Selle liidesega on varustatud arvutid, printerid, fotoaparaadid, klaviatuurid, arvutihiiired ja muud kõik võimalikud välisseadmed. Raske arvata, mis tegi USB nii populaarseks, kas Plug-and-play võimalus või müügipoliitika. Liidese spetsifikatsioonid on avatud. Soovi korral iga tootja saab varustada oma tooteid USB jaoturiga ilma bürokraatia ja liigsete kuludeta patendi eest [24]. USB liidese areng samuti ei seisnud paigal ning tänaseks on sellest saanud kolm versiooni.

Liideste ajaloost rääkides on võimatu jätta mainimata ligi 40 aastat „elanud“ RS-232 standardit. Ajal kus arvutid olid suured ja püsis arvamus, et 640 KB peab jätkuma igale inimesele ning vajadus ülekandekiiruste järgi polnud nii kõrge, välisseadmete ühendamiseks kasutati RS-232 liidest.

Loomulikult olid ka teised märkimisväärsed liidesed (IEEE 488, LPT, IEEE 1284), kuid selle töö raames neid ei vaadelda.

### **3.2. LIIDESTE KLASSIFITSEERIMINE**

Täielikku ja objektiivset liideste klassifitseerimissüsteemi veel ei eksisteeri [5]. Kasutusel olevad liigitamisalused reeglina põhinevad mõnel üksikul tunnusel.

Näiteks liideseid võib liigitada vastavalt:

- Süsteemi komponentide ühendusviisile (magistraalne, radiaalne, järjestik ja segatud);
- Infoedastamise viisile (paralleelne, järjestikune);
- Infovahetuse viisile (sünkroonne, asünkroonne);
- Infovahetuse režiimile (simpleksne, pooldupleksne, dupleksne, multipleksne).

Kuigi liidese mõiste kannab kompleksset iseloomu (räägitakse liideste süsteemist) tihti liidese mõiste kasutamisel üritatakse rõhutada tema põhikomponente. See annab aluse sidesüsteemide liideste liigitamiseks järgmisel moel:

- Kasutajaliides (näiteks graafiline);
- Füüsiline (lüüs, siiniühendus);
- Tarkvara liides (funktsionaalne, rakenduste).



Siit on näha, et sõna „liides“ kasutusala on sama lai kui „testimise“ mõiste. Seega lisaiseloomustust on vajalik paremaks arusaamiseks ja segaduste vältimiseks.

### **3.3. LIIDESTE ARENDAMISEL KASUTATAVAD PÕHIMÕTTED**

Liideste arendamisel lähtutakse neljast omavahel seotud printsiibist: grupiline, agregaadiline, unifikaatsiooniline, üksteisega asendatav [5].

Grupiline printsiip tähendab seda, et projekteeritakse funktsionaalselt ja konstruktiivselt lähedasi seadmeid (moodulid, süsteemid), mis on kasutatavad erinevatel tingimustel. Antud printsiibi eesmärk on erinevate sidesüsteemide kokkusobivus ja universaalsus.

Agregaadilisuse printsiip põhineb süsteemi ratsionaalsel jagamisel erinevateks osadeks (mooduliteks) eesmärgiga arendada ja parandada tehnilisi parameetreid ning tagada kvaliteetsemat hooldust.

Unifitseerimise all mõistetakse erinevate seadmete osade, siduvate moodulite nomenklatuuri vähendamist tingimusel, et süsteem/seade on endiselt ratsionaalne ja efektiivne.

Üksteisega asendatavus tähendab, et moodul on võimeline täitma installeerimisfunktsioone ilma täiendavate arendusteta. Antud omadus määrab seadme universaalsuse [5].

Ülalloetletud printsiipide arvestamine liideste projekteerimisel ja arendamisel võimaldab anda aluseid masstoodanguks, tõsta kvaliteeti, vähendada ekspluatatsiooni ja seadistamise kulusid, tagada tulevikus tehniliste lahenduste integreerumist.

Arvutite arhitektuurilised erinevused takistavad liideste erinevate modifikatsioonide unifitseerimist. Kuid tuleb märkida, et määratud tehnoloogia arenguetapil liidese säilitamine vähendab süsteemi potentsiaali kasutamist ja uute võimaluste sisseviimist.

Tänapäeval on välja kujunenud järgmised liideste arendamise tendentsid [5]:

- Edaspidine unifitseerimise mõiste arendamine, mis on suunatud uutele liideste standardiseerimisele või olemasolevate ühilduvuse kontrollile;
- Liidese funktsionaalsete võimaluste moderniseerimine ja arendamine eesmärgiga pikendada liideste eluiga ja laiendada kasutamisala;
- Unifitseerimise ja standardiseerimise nõuete välja töötamine täiesti uute liideste jaoks.

Tõenäoliselt HDMI ei ole viimane liides. Selle täiendamiseks sai juba arendatud VESA poolt uus liides nimega VirtualPort [27]. Jääb ainult oodata, mida tulevik meile juurde toob ning kuidas arvestatakse eelmainitute printsiipidega liideste arendamisel.

### 3.4. FÜÜSILINE LIIDES

Füüsilise taseme liidesed on mõeldud erinevate seadmete ühendamiseks. Selleks peab liidese standardis olema kirjeldatud neli aspekti [28]:

- Elektrilised omadused, kus on kirjeldatud pinge (või voolu) väärtused ja signaali ajalised omadused;
- Funktsionaalsed omadused, mida võib klassifitseerida nivoo, sünkroniseerimise, andmete edastuse ja maandamise funktsioonideks;
- Mehaanilised, kus on määratud kaablite ja pistikute tüübid;
- Protseduurilised omadused, kus on kirjeldatud protsessid ja nende järjestikus andmete edastamisel.

Käesolevas töös vaadeldavate järjestikliideste puhul füüsiline mõiste on täiesti sobilik, kuna seadmed tõesti omavad füüsilist kontakti.

Andmeid edastatakse ühe või mitme biti kaupa. Järjestikliidese puhul sümboleid saadetakse ühe biti haaval. Iga bitt omab väärtust „on“ (mark, 0) või „off“ (space, 1). Paralleelkastuse puhul saadetakse vastupidi mitu bitti korraga ning tüüpiliselt kasutatakse ühe baidi edastamiseks kaheksat üksteisega paralleelset kanalit [29].

Vastavalt sellele füüsilisel tasemel kasutatavaid mittetraadita liideseid võib omakorda liigitada kaheks - paralleel ja järjestik, sõltuvalt sellest, kuidas toimub andmevahetus.

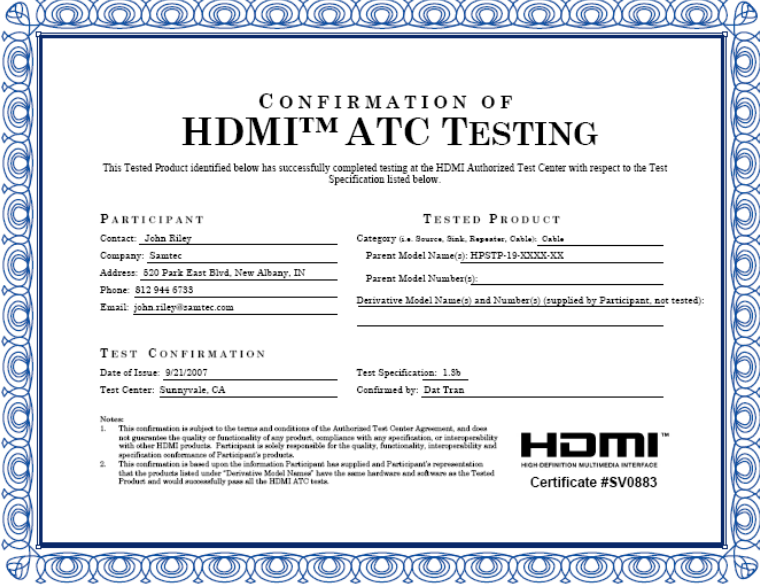
Järjestikliideseid said 1970 aastal Motorola poolt üldise lühendi SCI (SCI – ingl. k. *Serial Communications Interface*) [30]. Paralleelliidese näitena võib tuua LPT ja järjestikliidest - RS-232, Firewire, USB.

Nagu näitude arvust võib aru saada, järjestikliides on saanud laiema arenduse. Selle üheks peamiseks põhjuseks on andmete edastus pikematele vahemaadele. Teine põhjus on banaalne rahaline pool. Paralleelliideseid on reeglina kallima hinnaga, vaatamata lihtsamale loogikale ja kiiremale andmeedastusele [24]. Teisest küljest tihti määrab hinna firmade või organisatsioonide poliitika.

Mitmekesiste välisseadmete ja arvutite tüüpide tõttu tekkis standardimise vajadus. Viimase aja jooksul on selgelt välja kujunenud tendents nõuetele ühilduvuse kontrollimiseks (*compliance testing*) sõltumata laboratooriumides ATC (*Authorized Testing Center*), mis

asuvad üle maailma. Nende nimekiri on liidese ametlikul leheküljel välja toodud. Kuigi seadusega ei ole rangelt ettekirjutatud eelmainitud testimise nõue, annab see tavalistele kasutajatele kindlustunnet ja garantii kasutada seadet ilma tõrgeteta.

Testimisprotseduuri edukal läbimisel tootele antakse välja sertifikaat (Joonis 8), toode lisatakse spetsiaalsesse nimekirja (*Integrator's List*) ja ta võib kanda liidese logo.



The image shows a decorative certificate titled "CONFIRMATION OF HDMI™ ATC TESTING". It contains the following information:

**CONFIRMATION OF HDMI™ ATC TESTING**

This Tested Product identified below has successfully completed testing at the HDMI Authorized Test Center with respect to the Test Specification listed below.

PARTICIPANT	TESTED PRODUCT
Contact: John Riley	Category (i.e. Source, Sink, Repeater, Cable): Cable
Company: Saatec	Parent Model Name(s): HP87P-19-XXXX-XX
Address: 850 Park East Blvd, New Albany, IN	Parent Model Number(s):
Phone: 812 944 6735	Derivative Model Name(s) and Number(s) (supplied by Participant, not tested):
Email: john.riley@saatec.com	

**TEST CONFIRMATION**

Date of Issue: 9/21/2007	Test Specification: 1.3b
Test Center: Sunnyvale, CA	Confirmed by: Dat Tran

Notes:

- This confirmation is subject to the terms and conditions of the Authorized Test Center Agreement, and does not guarantee the quality or functionality of any product, compliance with any specification, or interoperability with other HDMI products. Participant is solely responsible for the quality, functionality, interoperability and specification conformance of Participant's products.
- This confirmation is based upon the information Participant has supplied and Participant's representation that the products listed under "Derivative Model Name" have the same hardware and software as the Tested Product and would successfully pass all the HDMI ATC tests.

**HDMI™**  
HIGH DEFINITION MULTIMEDIA INTERFACE  
Certificate #SV0883

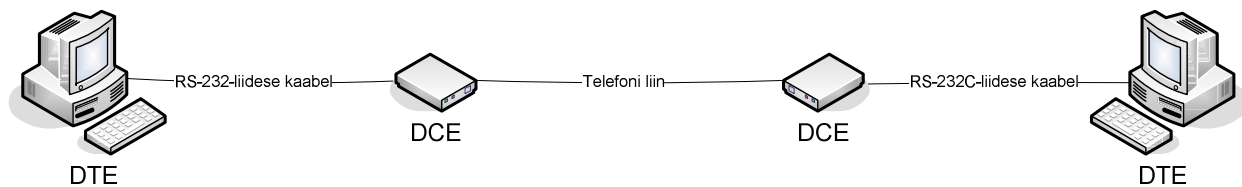
Joonis 8 Sertifikaat HDMI testide läbimisest [31]

Ajalooliselt saadud kogemuse põhjal võib väita, et liideste unifitseerimine ja standardimine annab võimsaid majanduslikke näitajaid nii toodangus, kui ka projekteerimis- ja eksploatatsioonilistel aladel.

### 3.5. RS-232 LIIDES

RS-232 on standard, mis kirjeldab järjestikust ühendusliidest kahe seadme (DTE ja DCE) vahel.

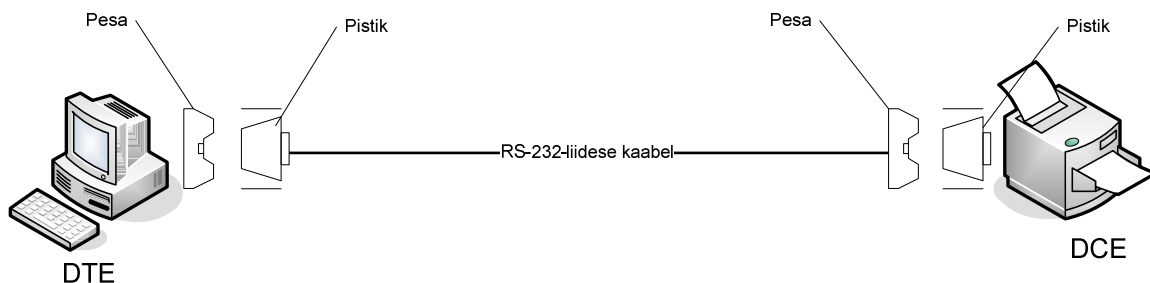
Terminalseade (DTE - *Data Terminal Equipment*) asub liini otsas (siit: *terminate* inglise keeles „otsastamine“) ning saadab ja võtab andmeid vastu. Sidesead (DCE - *Data Communication Equipment*) aitab terminaliseadmel andmeid järjestikuliselt edastada sidekanalile. Seega on ta ühelt poolt ühendatud DTE-ga ja teiselt – sidekanaliga. DTE näitena võib tuua arvutit ja DCE-na – modemit (Joonis 9).



**Joonis 9 RS-232 ühenduse näide**

Standardi järgi üks ühenduskaabli ots on pistik (*plug, male*) ning kasutatakse terminalseadme ühendamiseks. Teine ots on aga pesa (*receptacle, female*) mis on mõeldud aga DCE-ga ühendamiseks.

Teiste sõnadega kaabli ühendamiseks DTE peab „lõppema“ pesaga ja DTE – pistikuga (Joonis 10).



**Joonis 10 RS-232 pistiku ja pesade kasutamise näide**

Kuigi RS-232 standardis pistikute tüüp ei ole määratud, tavaliselt kasutatakse kas DB-25 või DB-9 [32]. Esimesel on 25 kontakti. DB9 on kompaktsem ja omab ainult 9 kontakti (Lisa A. RS-232 kontaktide tähistus).

DTE ja DCE kasutab TxD ja RxD kontakte erinevalt. Nimelt DTE kasutab TxD liini andmete vastu võtmiseks ning RxD – saatmiseks. DCE on aga vastupidi (TxD kasutatakse andmete saatmiseks ja RxD vastuvõtmiseks).

Kahe arvutite omavaheliseks ühendamiseks tuleb teostada TxD-RxD ristühendust. Arvuti nr 1 poolt saadetud TxD kaudu andmed (ingl. k. *Transmitted Data* - saadetud andmed) peavad olema arvutil nr 2 RxD (ingl. k. *Received Data* - vastuvõetud andmed) juures. Sellist ühendust nimetatakse nullmodemiks.

Rahvusvaheline Telekommunikatsiooni Liit (*International Telecommunication Union – ITU*) kasutab samaväärseid soovitusi V.24 ja V.28.

### 3.5.1. RS-232 edasiarendused

RS-232 standard on välja tulnud 1962 aastal. 1981.aastal ilmus RS-232 edasiarendus, neljas versioon, mis sai tähistuse RS-232C [28]. Kuigi hiljem, jaanuaris 1987.aastal, EIA poolt ilmus mõne täiendusega uus versioon – EIA-232-D (Lisa B. RS-232-C ja EIA-232-D võrdlus). Edasiarenduse käigus kaitsev maandus (*protective ground*) sai elimineeritud, varjestamine (*shield*) sai juurde lisatud. Samuti toimusid muutused terminoloogias. Nimelt DCE (*Data Communication Equipment*) on ära muudetud (*Data Circuit-terminating Equipment*). Termin draiver (*driver*) ja lõpp-punkt (*termination*) sai ära muudetud generaatoriks ja vastuvõtjaks vastavalt [29]. Samuti RS-232 standard sai edasi arendust - EIA/TIA-232-E (Jaanuar 1991) ja TIA-232-F (September 1997).

Käesolevas töös lihtsuse mõttes kasutatakse terminit RS-232. Täpsemalt versioonile viitamiseks antud termini juures kasutatakse versioonile vastavat tähte.

### 3.5.2. RS-232 kaablid

Maksimaalne kaablipikkus sõltub tema elektrilistest omadustest ning on otseselt seotud edastuskiirustega. Kaabli pikkuse suurenemisega kasvab ka elektrimahtuvus [33]. Järelikult reeglina pikem kaabel võimaldab madalamat andmeedastuskiirust, kuna ühe juhtme pingeväärtuste muutus võib mõjutada teist ning põhjustada signaali moonutust.

RS-232 spetsifikatsioonis maksimaalne kaablipikkus pole määratud, kuid tihti on piiratud tootjate poolt 15 meetriga (50 tolli) [28]. Tänapäeval võib leida madala elektrimahtuvusega kaableid (Tabel 1), mille abil andmeedastus toimub kiirusega 9600 boodi 500 meetri kaugusel [33].

**Tabel 1 RS-232 maksimaalne kaablipikkus [33]**

Andmeedastuskiirus, bood	Varjestatud kaabli pikkus, m	Varjestamata kaabli pikkus, m
110	1524	914
300	1524	914
1200	914	914
2400	304	152
4800	304	76
9600	76	76

### 3.6. USB LIIDES

Universaalne järjestiksiin ehk USB (*Universal Serial Bus, Универсальная Последовательная Шина*) on mõeldud erinevate välisseadmete lihtsaks ühendamiseks. Antud liidest kirjeldatakse kui lihtsat, populaarset ja kiiret ühendusviisi. Pidevalt rõhutatakse odavust ja Plug-and-Play võimalust. Teoreetiliselt võimaldab ühendada 127 välisseadet.

USB alguseks peetakse 1994. aastat, siis kui seitse liidrit arvutite ja telekommunikatsiooni seadmete tootjad (Compaq, Digital Equipment Corporation (DEC), IBM, Intel, Microsoft, NEC ja Northern Telecom) kogunesid eesmärgiga tuua turule midagi universaalset. Arvatakse, et „USB tähendab arvutimaailmas sama, mis mikrolained lõunasöögi valmistamise jaoks“ [34].

Tänapäeval USB sai nii populaarseks, et arvutihiired, PDA, skannerid, fotoaparaadid, printerid, MP3 mängijad, joistikud (*joystick*) ja teised välisseadmed on ilma selleta raskesti ettekujutatavad. USB-ga varustatud välisseadmete ühendamine on saanud tavakasutajate jaoks sama lihtsaks ja loomulikuks nagu lambipirnide vahetus.

USB tooted reeglina omavad USB sümbolit (Joonis 11):



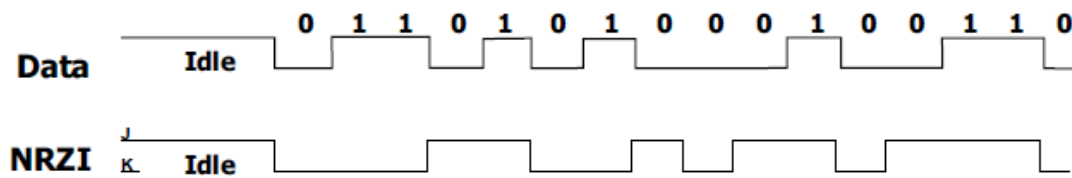
Joonis 11 USB 2.0 ja 3.0 sümbol [35]

Andmed edastatakse pakettidena. USB 2.0 versioonis on neid kolm tüüpi: tüübi- (*token packet*), andme- (*data packet*) ja ühendusepakett (*handshake packet*). Järgmises versioonis on aga neid juba neli: LMP, TP, DP ja ITP, millest andmepakett (DP - *Data Packet*) koosneb omakorda kahest osast – päisest ja andmeplokist (DPH ja DPP).

Andmete sisaldus pakettides (*data payload* või DPP) võib varieeruda, sõltuvalt seadmest:

- Low-speed: 8 B;
- Full-speed: 1023 B;
- High-Speed: 1024 B;
- SuperSpeed: 1024 B.

Andmete edastamisel kasutatakse NRZI kodeerimist (*Non Return to Zero Invert to ones, метод без возврата к нулю с инвертированием для единиц*). Signaali väärtus on seotud eelmisega, see tähendab „0“ väärtuse edastamisel potentsiaal muutub võrreldes eelmisega vastupidiseks ja „1“ edastamisel – jääb samaks (Joonis 12).



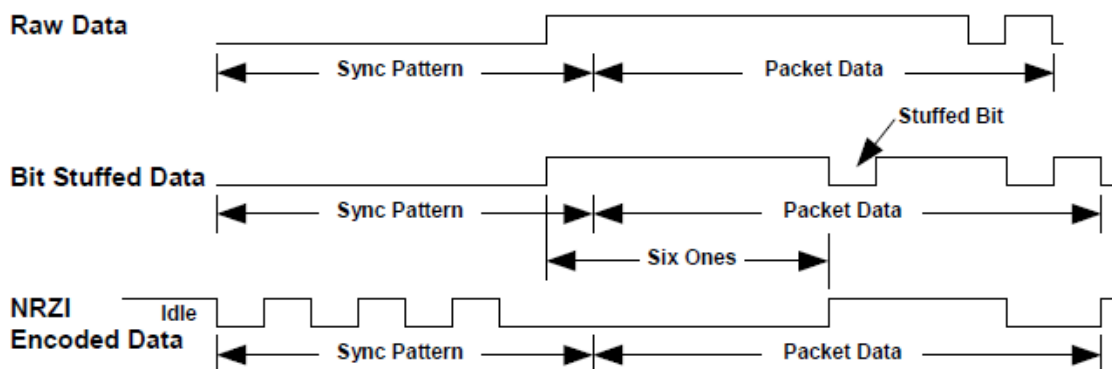
Joonis 12 NRZI andmete kodeerimine [26]

USB liideses vea kontrollimiseks kasutatakse CRC (*Cyclic Redundancy Check, Циклическая Избыточная Проверка*), mis võimaldab avastada üksikuid ja kahekordseid vigu. USB 3.0 versioonis andmeploki järgi edastatakse 4 B pikk CRC-32, USB 2.0 versioonis aga 16-bitiline polünoom:

$$G(X) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1 \text{ (binaarkujul: 1000000000000101B).}$$

Ilma vigadeta toimunud andmete edastuse puhul jäägiks jääb: 1000000000001101B [26].

USB spetsifikatsioonis on määratud, et kuue edastatud ühede jada järgneb „0“, v.a. EOP (Joonis 13).



Joonis 13 Andmete edastuse ja bittide lisamise (bit stuffing) näide [26]

USB-IF (*USB Implementers Forum, Inc.*) on antud tehnoloogia levitamisele ja juurutamisele suunatud organisatsioon, mis samuti tegeleb USB logo ja ühilduvusetestimist (ka testimisega) läbinud seadmete kvaliteetsuse reklaamimisega. Sai alguse 1995. aastal ja ühendab üle 800 liikme, millest Hewlett-Packard Company, Intel Corporation, LSI Corporation, Microsoft Corporation, NEC Corporation ja ST-Ericsson) moodustavad juhtrühma [26].

### 3.6.1. USB versioonid

USB areng ei seisnud paigal ja nagu teistel liidestel on tal erinevad versioonid. Kõik versioonid on tagasiühilduvad eelmiste versioonidega.

**USB 1.0** (1996), andmete ülekandekiirus on 12 Mbps.

Kaks andmeedastuserežiimi:

- Kõrge läbilaskevõimega (FS, *Full-Speed*) — 12 Mbps;
- Madala läbilaskevõimega (LS, *Low-Speed*) — 1,5 Mbps.

1998. aastal ilmunud USB 1.1 versioon peamiselt parandas avastatud vigu.

**USB 2.0** (Aprill 2000), andmete ülekandekiirus on 480 Mbps.

USB 2.0 põhiline erinevus USB 1.1 versioonist on väga kõrge läbilaskevõime režiimi (*Hi-speed*) poolest.

Seega USB 2.0 versioonis eristatakse kolm kiiruserežiimi:

- Madal kiirus, 10—1500 Kbps (kasutatakse sellistel interaktiivsetel seadmetel nagu klaviatuur, arvutihiir, joistik jt.);
- Keskmine kiirus (Full-speed), 0,5—12 Mbps (audio- ja videoseadmed);
- Kõrge kiirus (High-speed või Hi-Speed), 25—480 Mbps (videoseadmed, andmepulgad).

**USB 3.0** (November 2008), andmete ülekandekiirus on kirjeldatud High-Speed versioonis kümnekordne ehk 5 Gbps.

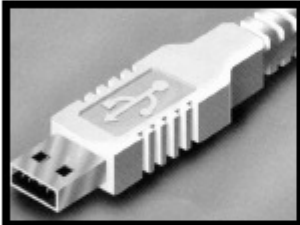

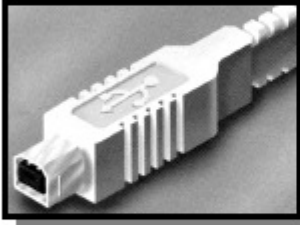
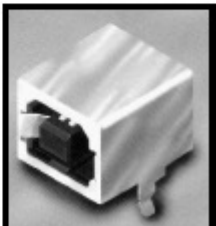
Kolmas versioon sai nimetuse *SuperSpeed*. Esimeste USB 3.0 kontrollrite maailma turule toomist oodatakse 2009 teiseks poolaastaks ja alles 2010. aastaks klientide seadmeid [36].

### 3.6.2. USB kaablid ja pistikud

Lõpptarbija mugavuseks eksisteerib kaks põhiliiki konnektorit (Lisa C. USB kontaktide paigutus). A-tüüpi pistik on suunatud andmete edastamiseks hosti juurde (välisseade poolt), samal ajal kui B-tüüpi pistik – hostist USB välisseade juurde [26].

B-tüüpi konnektor annab hankijatele võimaluse lahtivõetava kaabli tootmiseks (Joonis 14).



Series "A" Connectors	Series "B" Connectors
<p>◆ Series "A" plugs are always oriented <b>upstream</b> towards the <i>Host System</i></p>  <p><b>"A" Plugs</b> (From the USB Device)</p> <p><b>"A" Receptacles</b> (Downstream Output from the USB Host or Hub)</p> 	<p>◆ Series "B" plugs are always oriented <b>downstream</b> towards the <i>USB Device</i></p>  <p><b>"B" Plugs</b> (From the Host System)</p> <p><b>"B" Receptacles</b> (Upstream Input to the USB Device or Hub)</p> 

Joonis 14 USB konnektorite tüübid [26]

Fotokaamera suurusele sarnaste väikeste välisseadmete jaoks 2000 aastal on ilmunud mini-B pistik, kus andmed nii nagu standardse pistiku puhul on suunatud välisseade juurde. Ilmselt selle asendamiseks 2007 aastal sai esitatud Micro USB pistikud ja pesad. Eksisteerivad Micro-A, Micro-B ja Micro-AB ühendused.

USB 1.0 ja 2.0 versiooni kaabel koosneb neljast juhtmest. Kahte neist kasutatakse diferentsiaalkujul andmete edastamiseks ja teisi kahte – toiteks. Iga juhe omab oma värvi lihtsamaks identifitseerimiseks. Kusjuures USB 2.0 versioonis eristatakse:

- Standardsed lahtivõetavad kaablid;
- High-Speed ja Full-speed kaablid;
- Low-Speed kaablid.

Standardne lahtivõetav kaabel peaks olema ühelt poolt otsastatud A-pistikuga ja teiselt poolt – B tüüpi pesaga. Kaks viimast liiki kaablid „algavad“ A-pesaga ja omavad tootja poolt määratud „lõppu“. Need kaks liiki kaablid erinevad üksteisest varjestamise ja juhtme materjali poolest (*conductor arrangement, конструкция провода*). Näiteks madalkiiruselistele kaablitele on soovitatav, kuid mitte kohustuslik, keerupaar ja juhtmete varjestamisest High-Speed ja Full-Speed kaablitest erinevalt [26].

USB 3.0 spetsifikatsioonis [26] kaablite klassifitseerimise nimekiri on teisest versioonist pikem ja omab 8 erinevat liiki. Samuti peale standard ja Micro konnektoreid, eksisteerivad ka Powered B pistikud, mis võimaldavad välisseadmete kasutamist ilma lisatoiteta USB adapteri jaoks ja erineb kahe lisakonnektoriga (toite DPWR ja maandus DGND).

Viimase USB versiooni kaabel koosneb kolme tüüpi juhtmetest [26]:

- UTP (*Unshielded Twisted Pair*) paarist USB 2.0 signaalide ülekandmiseks;
- SDP (*Shielded Differential Pair*) paaridest SuperSpeed andmete ülekandmiseks;
- Maandus ja toitejuhe.

Lihtsa USB 2.0 ja 3.0 A-tüüpi konnektorite eraldamiseks, soovitatakse viimase versiooni pistikud värvida sinist värvi (Pantone 300).

Kuigi tihti räägitakse 5-meetrilisest kaablipiirangust, antud pikkus sai sätestatud ainult USB 1.0 versioonis (viide ei ületaks 30 ns) [37]. Järgmised USB spetsifikatsioonid konkreetset pikkust ei määra (välja arvatud Micro USB, mis ei tohi olla pikem kui 2 meetrit), vaid viidatud suvalisele kaablipikkusele, kuna dokumendis täidetakse toodud nõuded. Nii USB 2.0 nõuab, et 96 MHz sumbuvus oleks väiksem kui 1,9 dB ja viide ei ületaks 26 ns (madal kiiruse kaablite kohta on see parameeter 18 ns ja Micro USB kaablitel – 10 ns). USB 3.0 versioonis need parameetrid on teistsugused: 100 MHz – 1,5 dB [26].

### **3.7. HDMI LIIDES**

HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) – kõrglahutus multimeedialiides, mis on mõeldud kompressimata audio/video digitaalsignaalide edastamiseks. HDMI vahendusel võib saata videoallikast määratud kuvarile digitaalvideovoogu kiirusega 4,9 kuni 10,2 Gbps. HDMI spetsifikatsioonis maksimaalne kaablipikkus pole määratud, kuid oodatav kaablipikkus on alla 10 m ja soovitatav - 4,5 m [25].

HDMI on mugav, nutikas ja HD üleminekule ettevalmistatud liides. Üks suurtest eeldustest on lihtsus, suhteline odavus ja mitme funktsiooni kombineerimine ühes kaablis võrreldes keeruliste mitme erinevate kaablite nõutavate vanaaegsete süsteemidega. Tavakasutajatel puudub vajadus iga ühendusskeemi puhul valida seadmete seadeid, HDTV seadmed on reeglina isekonfigureeruvad.

Antud liidese väljatöötamise initsiaatoritena on esinenud tuntud elektroonikaseadmete tootjad Hitachi, Matsushita (Panasonic/National/Technics), Philips, Silicon Image, Sony, Thomson (RCA) ja Toshiba.

HDMI toetab kõiki ATSC HDTV standardeid ning samuti toetab 8-kanalilist, 192 kHz, kompressimata digitaalheli ja ka kõiki hetkel kasutatavaid kompressitud heliformaate (Dolby Digital ja DTS). HDMI 1.3 versioon lisaks eelloetletud omadustele, toetab andmekadudeta digitaal audioformaate (formats Dolby® TrueHD and DTS-HD Master Audio™) [25].

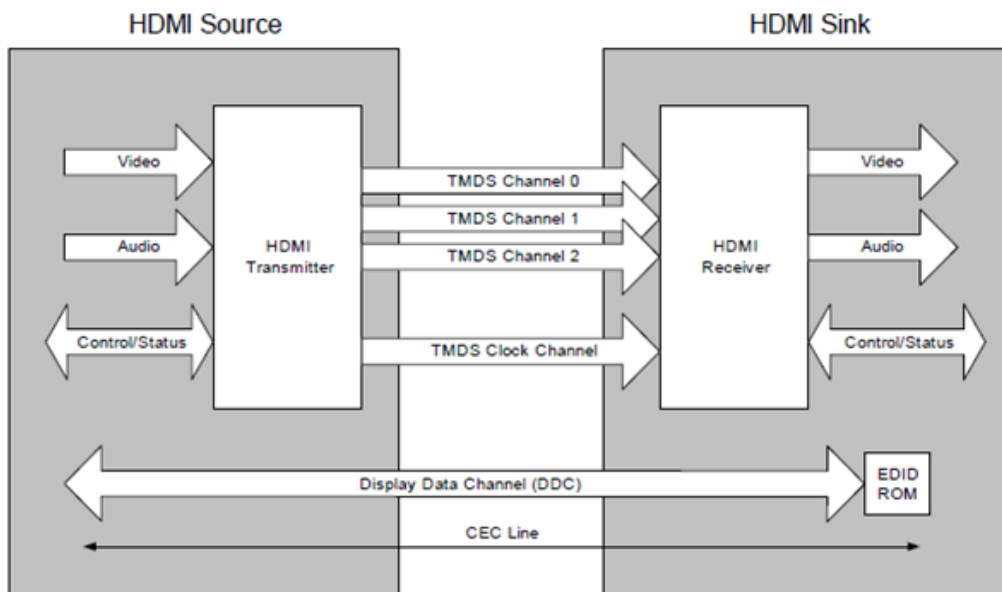
Andmete ülekanne põhineb TMDS (*Transition Minimized Differential Signaling, дифференциальная передача сигналов с минимизацией перепадов уровней*) protokollil ning kasutatakse Intel korporatsiooni poolt välja töötatud HDCP kopeerimiskaitset.

Samuti HDMI liides võimaldab erinevate audio/video allikate omavahelist ühendust (digiboks, tuunerid, DVD mängijad, A/V vastvõtjad, mängukonsoolid, kaamerad, arvutikuvaritega, televiisoritega, HDTV projektoritega ja muu digitaal-analoog seadmetega). Kuna HDMI on digitaalne liides ja analoog-digitaal muundust ei toimu ning järelikult selles kohas ei tohi olla andmekadusid, võimaldab ta võrreldes analoogkonnektoritega parema kvaliteediga videoid. Antud eelistus on eriti märgatav kõrgeresolutsioonide puhul.

HDTV't reklaamitakse nagu lihtsat, kõrgekvaliteetset, kõiki video- ja audioformaate toetavat, lihtsa ühendamise ja kindlat viisi erinevate seadmete ühendamiseks. See mängib päris suurt rolli, sest ta on tulevikule orienteeritud, kuna arvestab edaspidiste edasiarenduste ja paranduste siseseviimisega. Lubatakse, et antud liidesega saavad lahendatud kõik klientide seadete ühendamise mured ka tulevikus.

Järgmisel pildil (

Joonis 15) on piltlikult näidatud andmete edastamise loogika, kus on selgelt eristatud kolm osa – saatja (*Source*), vastuvõtja (*Sink*) ja neid ühendav HDMI kaabel ja konnektorid ehk HDMI kanal (*HDMI link*). HDMI saatjas andmeid kodeeritakse ja edastatakse järjestikuliselt TMDS kanalite kaudu vastuvõtjale.

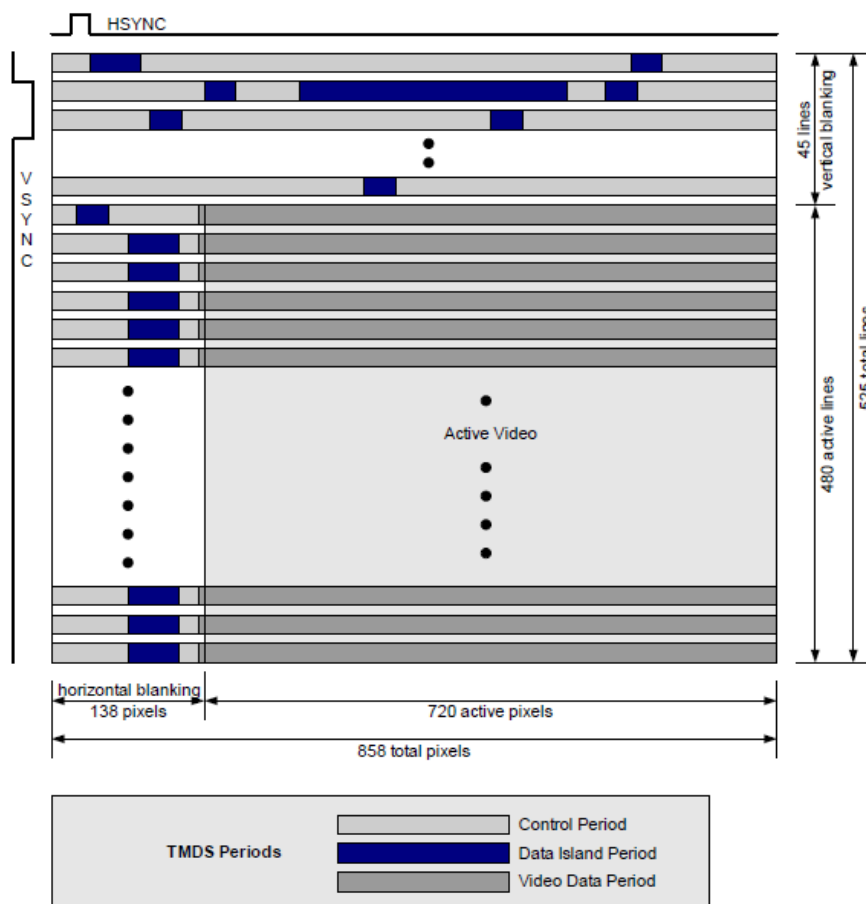


Joonis 15 HDMI töötamise algoritm [25]

HDMI saatja sisaldab kolm kodeerimisplokki kolme TMDS kanali jaoks. Igas ploki toimub 8-bitiliste andmete kodeerimine. Selle tulemuseks on balanseeritud ja saatmiseks minimiseeritud 10-bitiline jada, mis edastatakse järjestikuliselt iga taktiga või kiirusega 10 bitti TMDS ajaperioodi kohta.

TMDS kanali töös eristatakse kolm perioodi (Joonis 16):

- Video andmete periood (*Video Data Period*), video andmete edastamiseks;
- Eriandmete (*Island Data Period*) audio- ja lisaandmete edastamiseks;
- Kontrollandmete periood (*Control Data Period*), mis rakendub kui ei video-, audio- ega lisaandmeid pole vaja edastada ja kahe mitte kontrollandmete perioodi andmete eraldamiseks.



Joonis 16 720x480p video kaadri TMDS perioodid [25]

Selleks, et vastuvõtja oskaks andmeid õiges järjekorras kokku panna, kasutatakse eraldi kanalit TMDS Clock, mis reeglina töötab videovooga (*video pixel rate*) proportsionaalsel taktsagedusel.

HDMI saatja ja vastuvõtja suhtlevad omavahel kolme kanali kaudu: TMDS, DDC ja CEC. DDC kanal kasutatakse HDMI saatja poolt vastuvõtja võimaluste ja omaduste

identifitseerimiseks. EDID andmete põhjal HDMI saatja edastab ainult vastuvõtja poolt toetavaid audio- ja videoformaate. CEC kanal on mõeldud selliste lisafunktsioonide jaoks nagu automaatseadistamise või infrapunase kaugeltjuhtimise käskude edastamine.

### 3.7.1. HDMI versioonid

HDMI liidesel on erinevad versioonid. Iga versioon kasutab sama tüüpi kaableid ning erineb läbilaskevõime ja ülekantavate andmetüüpide poole pealt [25]. Uued versioonid on tagasiühilduvad kõikide eelmiste versioonidega.

Vaatame iga versiooniga kaasnevad täiendused [25] täpsemalt üle.

#### **HDMI 1.0** (Detsember 2002):

- 4,9 Gbps on maksimaalne läbilaskevõime;
- Toetab kuni 165 Mpxls/sek ja 8-kanalise audio 192 kHz/24 bit.

#### **HDMI 1.1** (Juuni 2004):

- Toetab DVD Audio;
- Tehtud täiendused ühilduvuse testimiste protseduurides.

#### **HDMI 1.2** (August 2005):

- Toetab ühebitilist audio formaati (SACD SuperAudio CD's DSD (*Direct Stream Digital*)).

#### **HDMI 1.2a** (Detsember 2005):

- Määratud CEC (*Consumer Electronic Control*) omadused ja testimisalused;
- Täiendatud kaablite ja pistikute testimisprotsessid ning on sõnastatud ATC nõuded.

#### **HDMI 1.3** (juuni 2006):

- Ribalaius on tõstetud kuni 340 MHz, mis tagab kiiruse kuni 10,2 Gbps;
- Võimaldab 10-bit, 12-bit and 16-bit (RGB or YCbCr) värvilahendust (värvisügavus);
- Uus mini konnektor, mis on mõeldud kaasaskantavates seadmetes kasutamiseks;
- Toetab andmekadudeta digitaal audioformaate (formats Dolby® TrueHD and DTS-HD Master Audio™).

### **HDMI 1.3a** (august 2006):

- Tüüp C konnektorite edasiarendus;

### **HDMI 1.3b** (märts 2007):

- Lisatud mõned pilti moonutamise kontrollimise mehhanismid.

## **3.7.2. HDMI kaablid ja pistikud**

Eristatakse standard- ja kõrgsageduslikke (High-Speed) kaableid. Standardkaabli kiirused testitakse 75 MHz juures ning kõrgsageduslikud 340 MHz (Joonis 17). Nagu sai mainitud, HDMI spetsifikatsioon ei dikteeri kaabli pikkust. Signaal võib olla edastatud erinevatele kaugustele sõltuvalt kaabli materjalist (CAT 5/6, RGBHV/RGHS koaksiaal- või valguskaabel). Kaabel lõpeb alati pistikuga (male plug) ning HDMI seade – pesaga (*female plug*).

HDMI spetsifikatsioonis on kirjeldatud kolm konnektori (pistiku) tüüpi, kuid ainult kaks neist on kasutusel. Laias kasutuses on A-tüüpi konnektorid. Viimasel ajal said populaarseks C-tüüpi konnektorid alates HDMI 1.3 versiooni tulekust. B-tüüp nii nagu A sai kirjeldatud HDMI 1.0 versioonis.

A-tüüpi pistikul on 19 kontakti (Lisa D. HDMI kontaktide paigutus). Välismõõtmete poolest on ta 13.9 mm lai ja 4.45 mm pikk.

B-tüüpi pistik omab 29 kontakti ning 21,2 mm lai ja 4,45 pikk. Eelmisest variandist on ta laiem kuna võimaldab kaks TMDS linki väga kõrge resolutsiooniga piltide ülekandmiseks. Hetkel ei toodeta.

C-tüüpi minikonnektor leidis kasutust mobiilsete ja kaasaskantavate seadmete juures. Samuti nagu A-tüüpi, omab 19 kontakti ja mõõtmeid 10.42 ja 2.42 mm. Tuleb märkida, et vaatamata sellele, et kontaktide arv on sama, mis A-tüüpi pistikutel, signaalide edastus on erinev kontaktide ühe ritta paigutamise pärast.



**Joonis 17 HDMI kaabel [25]**

## 4. JÄRJESTIKLIIDESTE TESTIMISE METODOLOOGIA

Seal, kus eksisteerib inimfaktor, leidub vigu ja defekte. Nende avastamiseks, kindlaks tegemiseks ja parandamiseks ning süsteemi omaduste arendamiseks, peab uus seade või toode läbima testimisfaasi. Testimiseks spetsiaalselt tekitatavad tingimused ja rakendatavad meetodid nimetatakse testimissituatsiooniks. Protseduuri, mis kirjeldab testimissituatsioonide tekitamist, nimetatakse testiks [8].

Pole raske arvata, et maailmas eksisteerib väga palju erinevaid seadmeid ning viise testimiseks ja vea diagnoosimiseks. USB ja HDMI tooted reeglina läbivad ühilduvuse kontrollimist spetsiaalsetes sõltumata laboratooriumites. Seega testimisvajadus nn kodustes tingimustes tavaliselt ei teki. Selle teema käsitlevate internetiallikate hulk on madalam võrreldes leitava informatsiooniga RS-232 kohta.

Antud peatükk sisaldab kirjeldust järjestikliideste testimiseks kasutatavast varustusest ning USB ja HDMI ühilduvuse testide meetmetest.

### 4.1. RS-232 LIIDESE TESTIMISEKS KASUTATAV VARUSTUS

Kuigi testseadmete tootjad üritavad välja mõelda ja lisada uusi funktsioone, tööpõhimõtete printsiibid jäävad ikkagi sarnaseks. See annab võimaluse neid liigitada. Näiteks, internetis hangitud info põhjal [38] võib välja tuua järgmisi tüüpe:

- Mini-kross (klemmplaat);
- Võrgu signaalide muundur;
- Breakout box;
- BER/BLER tester;
- Loggerid ja andmenühutajad;
- Analüsaatorid.

Antud liikide järjekord on järjestatud raskusastme järgi.

Mini-kross (Joonis 18) on kõige lihtsam testimisseade. Pistiku/pesa kontaktid tuuakse spetsiaalsel plaadil välja. See võimaldab kaableid ühendada vajalikul viisil. Ühendades lisajuhtmega vajalikke klemme, võib koostada ning soovi korral muuta testimiseks vajalikku skeemi. Antud mini-krossiga on lihtne teostada näiteks *loop-back* testimist.



**Joonis 18 Mini-kross või klemmplaat**

Vea leidmiseks ei pruugi iga kord kasutada kõrge hinnaga analüsaatoreid. Piisab ka võrgu signaalide muundurist, mille abil võib põhisignaale analüüsida. Valgusdiodidega varustatud seade ühendatakse kaablite külge ning lubab jälgida madalaid/kõrgeid signaalinivoosid, signaalide olemasolu ja identifitseerida töötavaid liine (Joonis 19).



**Joonis 19 Võrgu signaalide muundur [38]**

Breakout box (Joonis 20) on nn karp, kus signaalide muunduri ja mini-krossi omadused on ühendatud ning edasi arendatud. Tootjad pakuvad ka seadmeid, mis lubavad mitte ainult vajalikku skeemi koostada ja töötavaid liine hõlmata, vaid vajalikke liine välja/sisse lülitada, fikseerida lühikesi impulsse ja edastada määratud kujuga signaale. Mõned mudelid on varustatud ka sisseehitatud multimeetriga.





**Joonis 20 Breakout box [38]**

Antud seade võimaldab mõõta vajalikke parameetreid ning saadud andmete põhjal teha järeldusi kanali kvaliteedi kohta. Näiteks - taoline seade võib näidata saadud plokkide arvu, vigaste bittide/plokkide arvu, sünkroniseerimise häirete arvu, vigaste plokkidele/bittidele kulunud aega, vigaste paarsusbittide arvu, testimiseks kulunud aega ja vigade esinemise sagedust.

Reeglina BER/BLER testritel (Joonis 21) on sisseehitatud testandmetega generaator, mis võimaldab kasutada määratud sümbolite järjestust (*quick brown fox*).



**Joonis 21 BER/BLER tester [38]**

Loggerid võimaldavad reaajas andmete salvestamist. Salvestatud andmete põhjal võib hiljem analüüsi teha ning muuta andmeid ASCII koodiks ümber. Loggerid võivad olla varustatud displeiga.

Nagu nimest võib aru saada, analüsaatorid on suuremate võimalustega seadmed või tarkvara. Nende omapära seisneb selles, et võimaldavad testida süsteemi tervikuna (mõõta erinevaid protokollide parameetreid, tekitada testimiseks „stressitingimusi“, mõõta maksimaalset läbilaskevõimsust, analüüsida teenuste kvaliteeti) ning kiiremini tuvastada vea põhjust. Analüsaatorid võivad põhineda erinevatel protokollidel ning hinna poole pealt varieeruda sõltuvalt võimalustest ning tootjast [38].

## 4.2. USB ÜHILDUVUSE TESTIMINE

USB-IF nõuab elektrilisel ja protokollilisel tasemel USB toodete testimist logo ametlikuks kasutamiseks [34]. USB 2.0 spetsifikatsioonis leidub 22 elektrilist, mehaanilist ja keskkondlikku standardi. Kaablite ja konnektorite testimisel antud nimekirja puudutavad testid on jagatud 8 grupiks. USB toodete ühilduvuse testimiseks on võimalik valida 15 laboratooriumi vahel [26]. Ühest neist kontrollitavale tootele rakendatakse kokku 58 testi [39]. Laboratooriumites pööratakse tähelepanu ka keskkonna mõjule ja vastupidavusele mehaanilistele teguritele (vibratsioon).

Suured erinevused kiirustes on juurde toonud lisanõudeid signaalide testimisel. Seepärast ühilduvuse kontrollimise protseduur klassifitseerib mitte ainult USB toote liiki (jaotur, host, välisseade, kaabel) järgi, vaid samuti kiiruse järgi – madal, keskmine, kõrge ja SuperSpeed. Igat liiki toodetele rakendatakse oma testide hulk (Tabel 2).

**Tabel 2 USB toodetele rakendatavad testid [26]**

<b>Toode</b>	<b>Testid kõrge kiirusega toodetele</b>	<b>Testid madal ja keskmise kiirusega toodetele</b>
Välisseade	Keskmine kiirusega elektrilised Kõrge kiirusega elektrilised Ühilduvuse Funktsionaalsuse	Elektrilised Ühilduvuse Funktsionaalsuse
Jaotur	Keskmine kiirusega elektrilised Kõrge kiirusega elektrilised Ühilduvuse Funktsionaalsuse USBHTT ( <i>USB Hub Transaction Translator</i> )	Elektrilised Ühilduvuse Funktsionaalsuse
Süsteem	Keskmine kiirusega elektrilised Kõrge kiirusega elektrilised Ühilduvuse Funktsionaalsuse	Ei rakendata
Kiibid ja mikrokontrollerid ( <i>Silicon Building Blocks</i> )	USBHTT ja teised	USBHTT ja teised

Kaablid ja konektorid	Eraldi dokument	Ei rakendata
OTG	Tavaliste välisseadete juurde rakendatavad testid AB-pistiku ja kasutaja liidese displei füüsiline kontroll Signaalikvaliteet hosti rollis (A-Device) Signaalikvaliteet välisseade rollis (B-Device) OTG Elektriline OTE Protokoll Ühilduvuse	Tavaliste välisseadete juurde rakendatavad testid AB-pistiku ja kasutaja liidese displei füüsiline kontroll Signaalikvaliteet hosti rollis (A-Device) Signaalikvaliteet välisseade rollis (B-Device) OTG Elektriline OTE Protokoll Ühilduvuse

Eeltoodud tabelist on näha, et suure kiiruselistele toodetele (High Speed) nõutakse rangemaid teste.

Ühilduvuse testide väljatöötamisel on osa võtnud sellised tuntud firmad nagu Agilent, LeCroy, Tektronix ja Yokogawa. Loomulikult nende poolt tuleb ka sobiva varustuse pakkumine saadud lahenduste realiseerimiseks. Eriti kehtib see Hi-Speed toodetele ja on oodata, et sama tendents jätkub ka USB 3.0 testimisel.

Eelmiste versioonide ajaloost lähtudes, USB 3.0 ühilduvuse testimine ei ole veel lõplikult paika pandud. USB-IF pressiteatelt on teada, et mõõtmised rakendatakse vastuvõtjale ja saatjale. Antud testid läbitakse kahe stsenaariumi järgi ehk arvestatakse pikki vahemaid, kus võivad juhtuda kaod ja lühike, kuid peegeldustega kanal. Saatja testimise osas arvestatakse ka CTLE (*Continuous Time Linear Equalizer*) ülekandefunktsioon [26]:

$$H(s) = \frac{A_{dc} \omega_{p1} \omega_{p2}}{\omega_z} \cdot \frac{s + \omega_z}{(s + \omega_{p1})(s + \omega_{p2})},$$

kus  $H(s)$  on CTLE funktsioon,  $A_{dc} = 0,667$ ,  $\omega_{p1} = 2\pi(650\text{MHz})$ ,  $\omega_{p2} = 2\pi(1,95\text{MHz})$  ja  $\omega_z = 2\pi(5\text{GHz})$ .

USB-IF poolt välja töötatud dokumentides võib leida täpsema testimisprotseduuri ja vajaliku varustuse kirjeldust sõltuvalt kiirusest ja toote tüübist.

Üldistades, USB elektrilise testimise käigus uuritakse [34]:

- Signaali kvaliteeti;
- Vastuvõtja parameetreid;

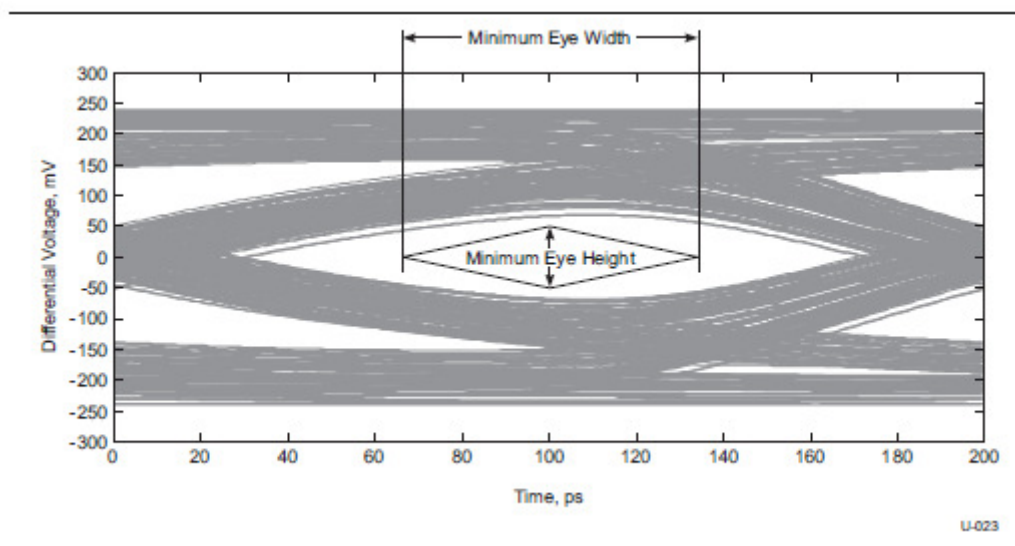
- Voolukõikumist (*Inrush current* (või *in-rush test*), *тесты на токовые выбросы*);
- Pingekõikumise teste (*Droop* ja *Drop* testid);
- Pakettide parameetreid.

Signaali kvaliteedi testimine on kõige tähtsam ühilduvuse kontrollimisel. Selle käigus rakendatavad testid sisaldavad [40]:

- Silmadiagrammi;
- Edastuskiiruse mõõtmist;
- Jitter;
- Paketi lõpu (EOP) laiuse määramist;
- Monotoonsuse kontrolli.

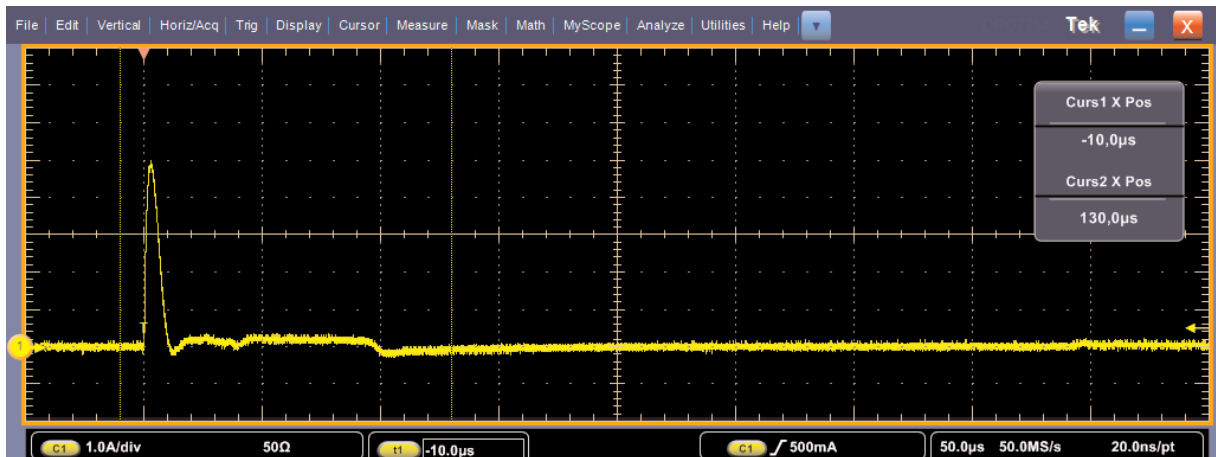
Testimine toimib nii alla- kui ka üleslaaditavate andmetega. Testimiste jaoks vajalik aparatuur arenes koos liideste arenguga. Praegu testimisprotseduure automatiseeritakse, kirjutades ja salvestades ostsillograafi spetsiaalsed skripte. See võimaldab rakendada mõnda kõige halvemat stsenaariumi.

Silmadiagramm (Joonis 22) on signaali pinge ja aja väärtuste graafiline esitus. Reeglina nõuab ostsillograafi. Silmadiagrammi abil võib uurida jitteri, müramõju ja sümbolitevahelist interferentsi (ISI) [34].



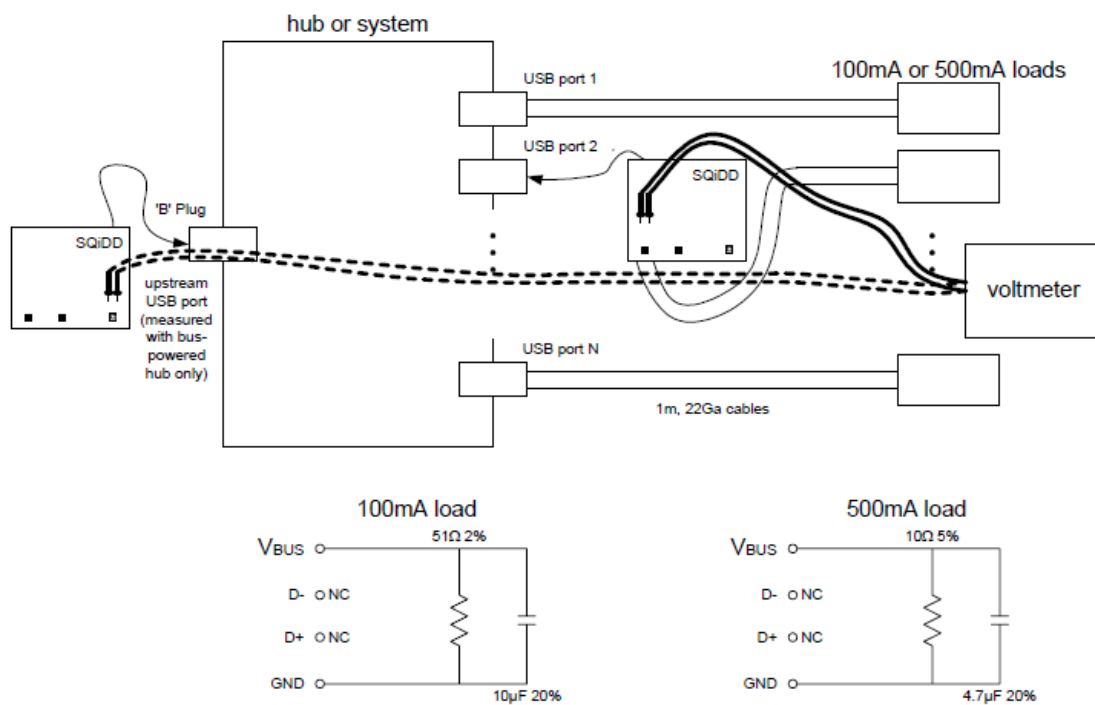
Joonis 22 USB 3.0 üldine silmadiagramm [26]

Välisseade sisselülitusel reeglina toimub järsk voolumuutus. Voolukõikumise testid tehakse veendumiseks, et DUT (*device-under-test*) ei tarbi liiga palju voolu (Joonis 23).



Joonis 23 Järsu voolutarbimise illustatsioon [40]

Drop ja droop testi reeglina nõutakse jaoturi ja süsteemide testimiseks ning USB spetsifikatsioonis määratud omaduste kontrollimiseks (Joonis 24).

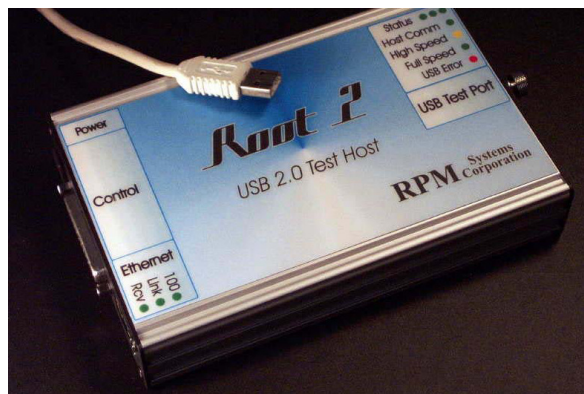


Joonis 24 Drop testi skeem [26]

Drop testi (*испытание режим снижением напряжения*) teostamiseks põhiriistaks on multimeeter ja droop testi – ostsillograaf.

USB 2.0 juurde rakendatavad kõrgekiiruse testid on see, mis eristab varasematest USB versioonidest. Siin teostatakse vastuvõtja tundlikkuse, signaali monotoonsuse ja takistuse mõõtmised. Näiteks monotoonsuse test kontrollib, et signaal kasvaks ja kahaneks aeglaselt, mitte hüppeliselt. Mitte-monotoonsus viitab müra olemasolule ja problemaatilisele jitterile.

Eksisteerivad lihtsamad lahendused - nii nimetatud LED-karpide näol koos spetsiaalselt arendatud tarkvaradega, mis võimaldavad kiirema USB toodete kontrollimist (mitte ühilduvuse testimiseks). Näiteks RPM System Corporation poolt välja töötatud Root 2 testhosti abil (Joonis 25) võib jaoturit ja välisseadmeid kontrollida, kaasa arvatud pingeväärtuste ja pingemõõtmised.



Joonis 25 LED-karp Root 2 [41]

Mõned USB LED-karbid on orienteeritud *loop-back* testimisele, illustreerides andmevahetuse protsessi vilgutavate diodidega ja võimaldades kontrollida edastuskiiruseid, BER ja teisi tähtsaid parameetreid (Joonis 26).



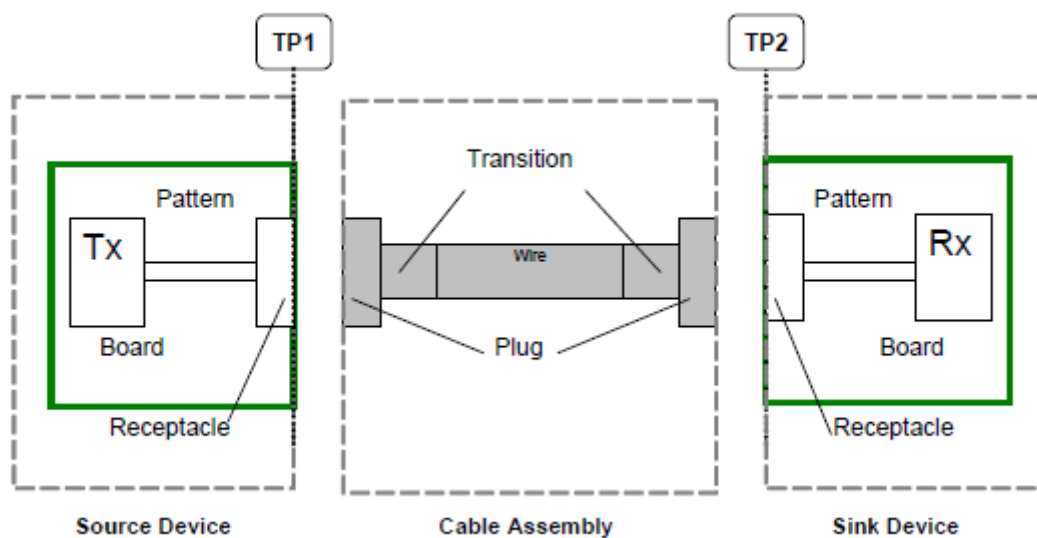
Joonis 26 USB Loop-back Plug PMUSB01 [42]

### 4.3. HDMI ÜHILDUVUSE TESTIMINE

HDMI seaded, kaablid ja pistikud peavad läbima spetsiaalse ühilduvuse testi. Soovitavad testimisprotseduurid, meetodid ning selleks vajalik varustus on kirjeldatud CTS (*Compliance Test Specification*) spetsifikatsioonis. Kahjuks on avaldatud mitmeid erinevaid versioone. Paljudel juhtumitel on välja pakutud testide variandid, mis jätavad valikuvõimaluse funktsionaalselt ja materiaalselt sobiva varustuse ostmiseks [43]. Üle maailma eksisteerib 6 laboratooriumi antud testide läbiviimiseks [25].

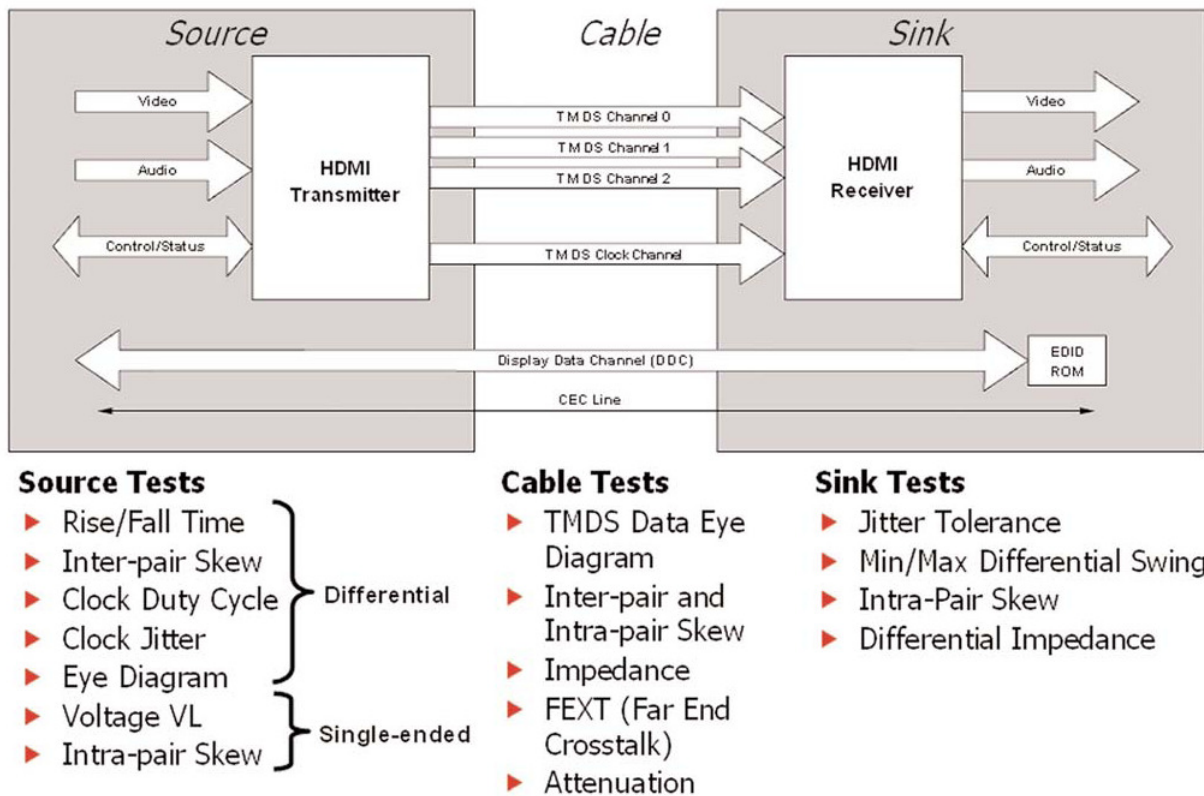
HDMI testimisel kontrollitakse kolme HDMI loogikat koostavat komponenti – allikas, kaabel ja vastuvõtja. Kuna HDMI on lisatud ka turvalisuselement HDCP (*High-bandwidth Digital Content Protection*), siis mõnikord testimisprotseduuris eristatakse ka nii nimetatud protokoll testi.

Allika signaalid mõõdetakse punktis TP1, samal ajal kui vastuvõtja testitakse punktis TP2. Kaablite testimisel mõõtmised teostatakse mõlemates eelmainitud punktides (Joonis 27).



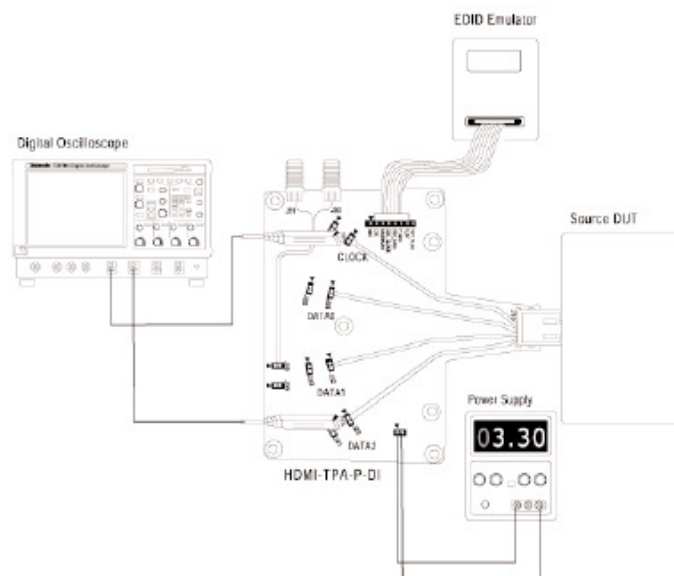
Joonis 27 TMDS test punktid [25]

Iga osa juurde rakendatakse erinev testide hulk (Joonis 28). Ilmselge, et 15 eelmainitud testide rakendamine nõuab erinevat ja mitmekülgset varustust.



Joonis 28 HDMI plokk diagramm ja igale osale rakendatavate testide hulk [44]

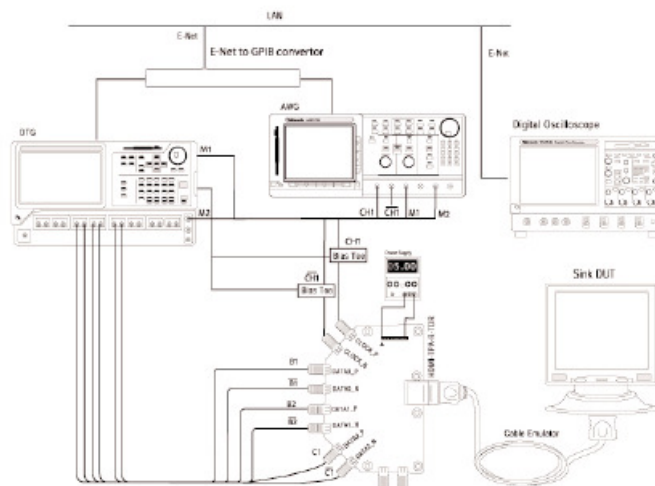
Näiteks saatja sünkroniseerimis- ja andmesignaali kontrollimiseks rakendatakse 7 testi punktis TP1. Nende testide läbimiseks vajaliku varustuse võib jagada neljaks osaks: EDID emulaator, adapter, toide ja ostsillograaf, jättes mainimata DUT ja ühenduskaablid (Joonis 29).



Joonis 29 Skeem saatja testide rakendamiseks [45]

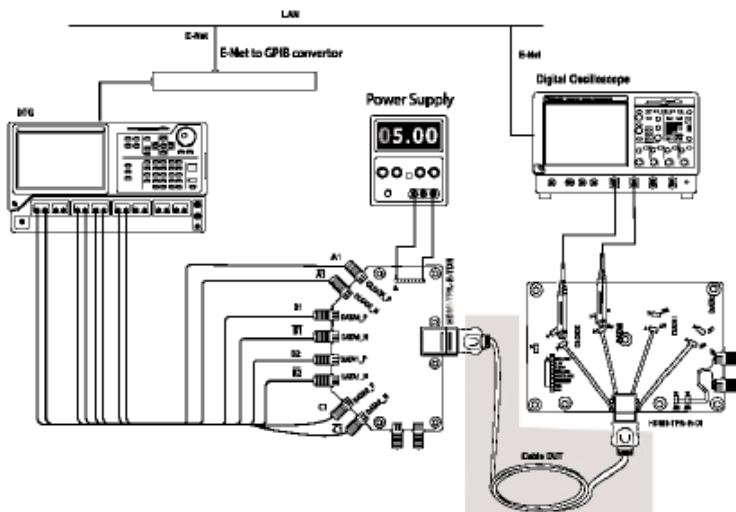


TP2 punktis rakendatakse 4 testi, mis nõuavad suuremat varustusosade arvu: kaks generaatorit (*Data Timing Generator, Arbitrary Waveform Generator*), adapter, toide ja ostsillograaf (Joonis 30).



Joonis 30 Jitter Tolerantsuse test [45]

Kaablite ühilduvuse kontroll nõuab 4-5 testi ning samuti 4-5 varustuse osa: kaks adapterit, DTG generaator, toide ja ostsillograaf (Joonis 31).



Joonis 31 HDMI kaabli ühilduvuse kontrollimiseks rakendatav silmadiagrammi test [45]

Maailma turul pakutakse erinevaid seadmeid HDMI toodete lihtsaks kontrollimiseks, mida saab kasutada näiteks enne ühilduvuse testide läbimist.

HDMI kaabli kiireks kontrollimiseks võib kasutada kahest põhiosast koosnevat testrit Centronics HDTE-200 (Joonis 32). Üks osa kujutab endast kaabli allikat ja teine täidab vastuvõtja rolli.



**Joonis 32 Centronics HDTE-200 HDMI Cable Tester (HDTE-200) [46]**

Kontrollitav kaabli üks ots ühendatakse HDMI saatja osa külge ja teine vastuvõtja teisele küljele. Tulemused kuvatakse kas spetsiaalsel ekraanil või näidatakse indikaatorite abil. Sobib nii A- kui ka C-tüüpi kaablite vastavuse kontrollimiseks HDMI erinevate versioonide spetsifikatsioonile (kaasaarvatud 1.3).

Loomulikult on müügil mitmesugused generaatorid koos šabloontestidega (näiteks DVI and HDMI Test Pattern Generator with Audio) ja analüsaatorid (näiteks Panasonic Universal Interoperability Test Analyzer UITA-2000). Võimaldavad ka EDID kontrollimist [47].

Soovi korral võib leida ka koormuseplaat (Allion HDMI load-board), adaptereid (Tektronix poolt pakutavad TPA-P plug-type test adapter) ja muid komplekslahendusi (LeCroy HDMI Test Solution QPHY-HDMI) (Joonis 33).



**Joonis 33 LeCroy HDMI Test Solution QPHY-HDMI [48]**

Kuid võrreldes eelmiste liidestega, testimisaparatuuri valik on märgatavalt tagasihoidlikum, mis võib olla tingitud HDMI suhteliselt värske leiutamisega.

## 5. JÄRJESTIKLIIDESE LABORITÖÖ TÄIENDAMINE

Maailm on tihti võrreldav sebraga. Kõigile meid ümbritsevale omistatakse kas valge või must värv, samuti nagu iga arvu ette kirjutatakse pluss- või miinusmärk. Huvitav, et paradigmade erinevuse tõttu inimesed suhtuvad asjasse erinevalt. Seal, kus üks näeb puudust, teine võib näha hoopis eelist. Hoides paradigmat eemale ja vaadates objektiivselt, võib leida järjestikliideseid puudutavas laboratoorses töös ka mõned puudused. Väljatoodud punktid põhinevad autori kolmeaastase kursuse „Side“ laboritööde juhtimise kogemusel ning võivad olla subjektiivselt hinnatud.

Käesolev peatükk hõlmab neljanda laboratoorse töö analüüsi (<http://www.lr.ttu.ee/side>). Väljatoodud puuduste põhjal tehakse ettepanekud selle täiendamiseks.

### 5.1. LABORITÖÖ KÄIGUS ESINENUD PROBLEEMID JA PUUDUSED

Laboritöö tegemise käigus ilmnis tudengite teoreetiliste teadmiste vähesus. Karta on, et mitte kõik üliõpilased ei loe juhendit enne laboritöö tegemist. Selle põhjuseks võib olla ka teoreetilise kirjelduse puudumine labori juhendi alguses. Samas puuduvad ka täiendavad kirjanduse allikad või viited interneti lehekülgedele, kus üliõpilased saaksid soovi korral enne laboritöö kaitsmist infot juurde hankida.

Siin tuleb märkida, et eelmistel aastatel neljanda labori juhendi lõpus sai välja toodud soovitatava kirjanduse nimekiri [49]:

[1] Вильховченко С. Д. Модем 97: выбор, установка, настройка. М.: АБФ, 1997, 560 с.

[2] Лагутенко О. И. Модемы. Справочник пользователя. Спб.: Лань, 1997, 368 с.

[3] Фролов А. В., Фролов Г.В. Модемы и факс-модемы. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1995, 284 с.

[4] Sinnema, William. Digital, Analog and Data Communication. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986, 524 p.

[5] Uotila, P. Tietoliikenteen tekniikka. Espoo, Suomen ATK-kustannus, 1998, 258 s.

Kolm venekeelset allikat, üks ingliskeelne ja üks soomekeelne. Tudengite vaatenurgast '95, '97 aastal ilmunud raamatud ei paku suurt huvi raamatukokku minekuks. Kuigi tuleb tõdeda, et kirjanduse valik polnud halb ning pakutud raamatud on kirjutatud lihtsas ja arusaadavas keeles.

Tihti jäi silmatorkavaks ainult ühe või kahe brigaadiliikme tegutsemine. Teise ja kolmanda laboritöö osa tegemine eeldas kuue inimese koostööd, mis mõnikord oli raske realiseerida ja

kui sai, siis reeglina ikkagi esinesid kaks-kolm domineerivat üliõpilast. Sellest järeldub, et oleks väga kasulik varustada iga üliõpilane individuaalse töökohaga.

Niinimetatud kollased karbid, mis on iseenesest töökindlad ja head vahendid laboritöö tegemiseks, vanad Nokia modemid ja arvutid Windows '95 operatsioonisüsteemiga tekitavad tudengitel kui mitte ehmatuse, siis osalise pettumustunde küll. On karta, et tudengitel võib tekkida ekslik arvamus, et ülikool on vana aparatuuri täis ja siin midagi kaasaegset, uudishimu pakkuvat ega kasulikku ei leia.

„RS-liides ja aeglased modemid“ on laboratoorse töö pealkiri. Utreerides võib üliõpilaste arvamustest teha järelduse, et RS-232 liides ammu pole kasutusel. Isegi kaasaegsetes arvutites pole seda arvestatud. Järelikult on see teema vananenud. Sarnase mõtteviisi puhul tekitab kahtlus antud teema vajalikkuses, mille võimalik tagajärg on õppimisest loobumine. Negatiivsed meeleolud levivad kiiremini ja tekitavad eelarvamusi teiste tudengite hulgas. Teisest küljest vaadates, ei tohi nõuda antud teema vajadusest arusaamist, kui pole seletatud ega välja toodud liidese kasutusala.

## **5.2. ETTEPANEKUD LABORATOORSE TÖÖ EDASIARENDUSEKS**

Idealis laboritöö võib jagada kolmeks etapiks:

- Ettevalmistus;
- Mõõtmised ja katsetused laboriseadmetel;
- Aruande koostamine ja kaitsmine.

Ettevalmistamine eeldab üliõpilaste laboritöö teemaga seotud teoreetiliste materjaliga tutvumust. Antud etapp võib lõppeda kontrollülesande või testi tegemisega.

Üks lahendus oleks koostada eesti keeles teoreetiline osa ja nõuda enne laboritöö tegemist selle läbi lugemist. Kuid sätestatud nõudeid tuleb kontrollida. Näiteks laboritöö alguses (laboritöö registreerumise ajal või süsteemi sisse logimiseks) võib pakkuda lühikest testi laboritöö teemaga seondavate küsimustega ja valikvastustega. Testi mitteläbimisel laboritöö praktilise osa tegemine lükkub edasi. Loomulikult antud variant on lisaressursse nõudev, mõnes mõttes karm ja utoopiline. Teisest küljest antud tegevus on liigne põhjusel, et aruande esitamise järel järgneb ka kaitsmise osa, kus laboratoorses töös saadud teadmisi kontrollitakse.

Samuti võib pakkuda valitud interneti allikate nimekirja, mis annab laiema platvormi keeltevaliku osas, hoiab üliõpilaste aega kokku ning osaliselt võimaldab usaldust mittepakkuvate allikate välja filtreerimist.

Laboritöö tegemine reeglina eeldab praktilises osas andmete kogumist. Siin tuleb arvestada, et

- Laboritöö ei tohi olla triviaalne, vaid peab tekitama tudengitel huvi ja stimuleerima õppimishimu;
- Laboritöö peab olema kergesti jälgitav;
- Laboritöö tegemise käigus tudengid peavad süvenema töö eesmärkidesse, mitte vaeva nägema selle tegemisega.

Teise punkti realiseerimiseks võib erinevad tööosad värvida erinevatesse värvidesse (nii nagu sai tehtud esimese laboratoorses töös „Telefoni juhtmepõhine analoogliides“ [2]) ja/või eristada neid kergesti meeldejäävate ja lühikeste nimedega – test nr 1, test nr 2 jne.

Saadud tulemused peavad olema kergesti salvestatavad, soovitavalt elektroonsel kujul, ning andmete üleskirjutamine ei võtaks suurema osa laboritöö ajast.

Aruande kirjutamine eeldab kokkuvõtete tegemist tehtud tööst ja tulemuste analüüsi. Siia juurde kuulub ka koduste ülesannete lahendamine. Näiteks RS-232C liidese andmeülekanne parameetrite ülesanne pööras tähelepanu boodi kiirusele, mis on väga mugav viis tudengite silmaringi laiendamiseks.

Kahtlemata laboratoorse töö juhend peab sisaldama kirjeldust aruande koostisosadest. Loetletud punktid peavad olema selgelt sõnastatud ja ühised kõikide üliõpilaste jaoks.

Kokkuvõtteks võib öelda, et järjestikliideseid puudutava laboratoorse töö võib täiendada järgmiste punktidega:

- Muuta laboritöö nimi, asendades RS-lühendi järjestikliideste peale;
- Muuta laboritöö huvitavamaks ja atraktiivsemaks;
- Tuua laboritöö sisse kaasaegsuse elemente näiteks USB näol.

### **5.2.1. Täiendused laboratoorse töö ettevalmistamiseks**

Inimesed on erinevad. Nii nagu looduses, meie hulgas on tugevamad ja nõrgemad isiksused. Teadus ei ole erand. Tehnikaülikooli tudengeid võib jagada kaheks tüübiks - need, kes palju teavad, omavad uudis- ja õppimishimu uute tehnoloogiate, süsteemide ja muude tehniliste asjade vastu (nii nimetatud „tarkpead“) ning need, kes õpivad uut infot juurde päris laisalt ja nende kohta tihti tekib iseenesest kahtlustunne ja küsimus, miks nad tehnikaülikooli õppima tulid (nii nimetatud „inertsed“). Side õppeaines toimuvatest laboritest tudengite käest saadud arvamused võib samuti jagada kaheks tüübiks:

- huvitav, võiks midagi veel kaasaegsemat juurde õppida;
- „õppisin tundma...“ vastavalt sellele mis laboritöö eesmärkides kirjas oli.

Antud klassifitseerimise kinnitamiseks võib näitena tuua laboratoorse töö aruannetes kirjutatud kokkuvõtete lõigud:

- Saime tegeleda vanade modemitega ning terminalliidesega RS-232. Õppisin, kuidas käib digitaalse info edastamisel kõige lihtsam veakontroll. Loogilisemaks ja arusaadavamaks sai edastuse põhimõte. Esmalt tundus minu jaoks ebaloogiline, miks paarisarvu ühtede ja paarsuskontrolli paaris (even) puhul saab paarsusbitt väärtuseks 0 mitte 1. Ning tekkis ka selline küsimus, et mis saab siis paarsusbiti väärtuseks, kui edastatakse NUL (Henri Hallik, sügis 2008);
- Этот способ передачи данных хорош при использовании на короткие дистанции. Очень зависит от длины провода, зато надёжный и удобный в использовании. И вообще это старый способ соединения терминала-к-устройству, такой интерфейс, к которому можно подключать что угодно: принтеры, сканеры, модемы, поэтому нам это обсуждать не приходится, разве что думать как можно обойтись без него, или изобретать что-то принципиально новое (Константин Алексеев, sügis 2008);
- Лично для меня в работе интерес заключался в исследовании назначений разъёмов интерфейса RS-232 (так называемая "распайка"). Раньше, когда у меня не было ни интернета, ни соответствующей литературы, мне приходилось иметь дело с RS-232, но в силу обстоятельств мне не удалось использовать его в своих целях. Теперь, впрочем, картина восстанавливается, именно в этом я нашёл для себя особую пользу в данной лабораторной работе (Алексей Тепляков, sügis 2007);
- Изучила интерфейс RS-232, узнала как выполняется передача сигналов при нуль-модемном соединении и телефонному кабелю с использованием модемов. (Юлия Петрова; Артём Жугунов, sügis 2008);
- Мы познакомились с интерфейсом RS-232, с медленными модемами, а также узнали как выглядят сигналы на осциллографе, вводимые с клавиатуры. (Александр Пятибратов, Юлия Кузнецова, sügis 2008).

Siit võib tõdeda, et aruande kokkuvõttes kirjutavad esimesed kolm varianti nii nimetatud „tarkpead“ ja kopeerivad laboritöö eesmärki nii nimetatud „inertsed“ tudengid.

Esimest tüüpi üliõpilased vajavad ja võivad meelde jätta rohkem infot. Sellist potentsiaali on kahju kasutamata jätta. Tihti nende jaoks laboritöö „RS-liides ja aeglased modemid“ paistis mitte kaasaegne olevat. Mis puudutab teist liiki üliõpilasi, siis reeglina nemad puutuvad

liidestega esimest korda kokku ning kaasaegsemad liidesed võivad keeruliseks osutada. Seepärast laboritöö koostamisel tuleb arvestada mõlema tüübi iseärasusi ja täiendada laboritööd vastavalt üliõpilaste ootustele.

Arvestades eelpool toodud üliõpilaste klassifitseerimist, „tarkpeadele“ võib pakkuda sisulisemaid materjale ja märkida neid tärniga. Kõik on õpitav ja „inertsetele“ üliõpilastele võib pakkuda lihtsas keeles kirjutatud infoallikaid ning lihtsa kontrolli/enesekontrolli küsimusi, et toetada ja aidata õppimisprotsessile kaasa. Seepärast inertseteks nimetamine on just õige, kuna tegelikult potentsiaal on ka olemas (Lisa E. Internetiallikad liidestega tutvumiseks). Samuti võivad juhendi alguses olla toodud teoreetilised alused (Lisa F. ettevalmistuse koostamine). Sellega üliõpilastel tekkib võimalus valida sobiv variant laboratoorse töö ettevalmistamiseks.

Pole välistatud, et mõnel üliõpilasel tekkib huvi järjestikliideste vastu. Internetiotsingumootoritest järjestikliidestesse puutuvat informatsiooni juurde otsimisel ametlik lehekülj reeglina pakutakse alles teisena välja. Loomulikult, et saa üliõpilastelt nõuda 276 lk HDMI, 482 lk USB 3.0 ja 650 lk USB 2.0 spetsifikatsioonide läbi lugemist. Võib ainult sujuvalt suunata spetsifikatsiooni või muud kasulikku infot sisaldavale lingile. Sellisel juhul risk, et teadmiste täiendamiseks valitakse ebausaldusväärne informatsiooniallikas, on mõnes mõttes maandatud. Hoolikalt valitud internetiallikate nimekirjaga võib üliõpilaste teadmisi juhendada.

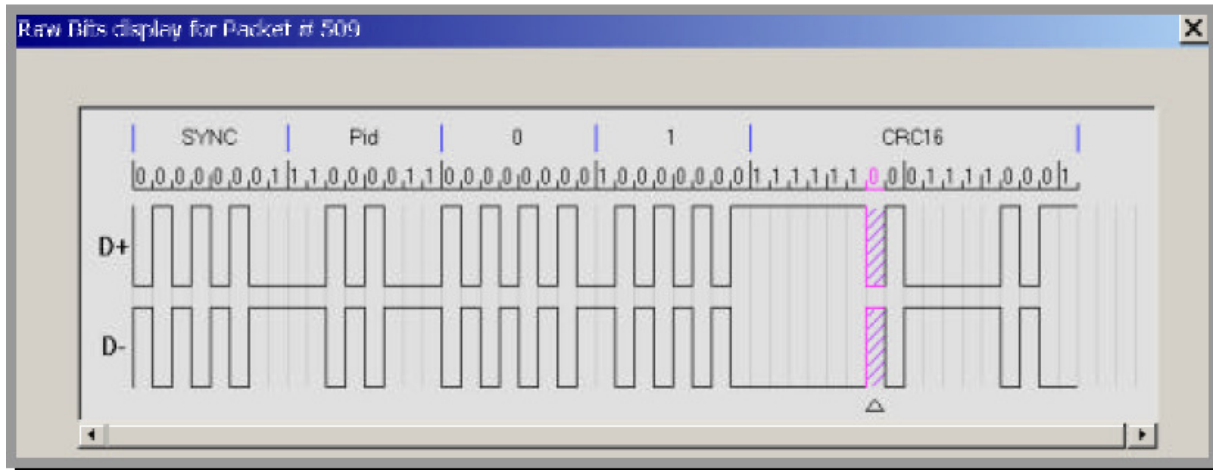
Erinevates elufaasides omandatakse teadmisi erinevalt ning täiskasvanuid ei saa õpetada otse ja vahetult, vaid saab ainult toetada muutust ja õppimist suunata. Arvestades 19.sajandil algust saanud pedagoogika haru (andragoogika) postulaate, kasulike allikate nimekirja koostamine on üks eduvõtmetest tudengite uudishimu äratamise poole.

### **5.2.2. Mõõtmised ja katsetused laboriseadmetel**

Arvestades eelpool mainitud punkte laboratoorse töö tegemiseks (punkt 5.1), selle täiendamiseks tuleb sisse viia mõned elemendid. Siin tuleb arvestada, et laboratoorse töö tegemine reeglina ei tohi ületada kahte akadeemilist tundi, mille pikkus on 45 min. Uute osade kaasamine võib antud tingimust rikkuda. Seepärast on mõistlik asendada mõni laboratoorse töö osa. Näiteks viimase punkti, kuna modemitega laboritöö osa läheb liideste teemast sujuvalt eemale, rõhutades pigem modulatsiooni.

Testimiselemendid võivad laboritööle anda atraktiivsust. Tehtava töö raames võib järjestikliideste näitel õppida *loop-back* testimisprintsipi ja kasutada selleks mõeldud vahendeid (ostsillograafi, klemmplaate jne). Selleks kaks esimest laboratoorse töö punkti – sümboli edastamine RS232C liidesel ja andmevahetus arvutite vahel nullmodemi abil - tuleb ümber nimetada ja sisu jätta samaks.

Uuemad ja tuntumad liidesed võivad laboritöösse sisse tuua kaasaegsust. Näiteks USB põhjal võivad tudengid tutvuda NRZI loogikaga, CRC-ga ja diferentsiaalsignaalidega. Analüsaatori kasutamisel võib saada illustreeritava pildi (Joonis 34).



**Joonis 34 USB andmed analüsaatori ekraanil [50]**

Käesoleva töö raames laboratoorse töö täiendust HDMI liidesel põhinevate näidetega ei vaadelda. Põhjus peitub varustuse keerukuses ja mitmekesisuses, nagu sai tutvuda HDMI ühilduvuse testimise kirjelduses. Kuigi tuleb rõhutada, et siin toodud ettepanekud võivad olla edaspidi kasutatud ja edasi arendatud. Seepärast pole välistatud, et mõne aastaga õppelabori tingimustes tekkib võimalus teostada HDMI teste.

Laboritöö tingimustes on samuti võimalik teostada võib olla kõige lihtsama ühilduvuse testi – *Back-Voltage testing*, mida rakendatakse välisseadmete ja Full-Speed jaoturi suhtes. Siin tuleb veenduda, et pingeväärtus ei ületa 400mV, nii nagu nõuab seda standard.

Laboratoorse töö tegemise ajal kindlasti tuleb kasuks eraldi toodud ASCII tabel, liideste kontaktide paigutus ja vajalikud ühendamisskeemid (nullmodem). Nende lisamaterjalide asukoht peab olema kergesti leitav. Näiteks, juhendis vajalikus kohas võib olla tehtud hüperlink antud infole.

Võimalusel tuleb varustada iga üliõpilast individuaalse laborikohaga, mis laboratoorse töö ajal aitab vältida võimalikke koostöö probleemide tekkimist. Vajaliku varustuse kirjeldus on toodud järgmises paragrahvis (5.3).



### 5.2.3. Ettepanekud laboratoorse töö kaitsmiseks

Teadmata põhjustel kaitsmine tihti tekitab tudengite hulgast paanikat ja stressi. Selle vältimiseks juhendi lõpus võivad olla esitatud kordamisküsimused, mis võiksid olla abiks kaitsmiseks ettevalmistamisel.

Laboratoorse töö juhend võib sisaldada allpool toodud küsimusi ja ülesandeid. See on abiks nii üliõpilastele kui ka juhendajatele kaitsmise ajal.

#### Küsimused ja ülesanded:

- Edastatakse multimeedia signaal. Projekteeritud süsteemi maksimaalne sagedus on 100 MHz. Kaablitrassi pikkus on 40 m, lubatud kaablisumbuvus on 3 dB. Kas võib kasutada kaablit, mille sumbuuse parameetrid 100 MHz kohta on – 6.79 dB/100m [51]?
- Milliseid pistikuid kasutab järjestikport?
- Kuidas aru saada lühendist USB ja kas on tegemist paralleel- või järjestikliidesega?
- Nimetage veel teile teadaolevaid liideseid. Kas tegemist on paralleel- või järjestikliidesega?
- Kuidas hakkab välja nägema bittide jada 011110111110111110 USB füüsilisel tasemel?
- Kuidas mõjub biti kadu, lisamine või muutus CRC koodi veakontrollimisele? Kas vigu annab tuvastada?
- Kuidas välja näeb bittide jada 0001110101 Manchesteri kood?
- Kuidas välja näeb bittide jada 0001110101 diferentsiaal Manchesteri kood? Liini algusnivoo lugeda madalaks.
- Mis asi on ASCII?
- Millised bitid RS-232 liidesel on standardse kujuga sõltumata edastatavast sõnumist? Mis on nende bittide eesmärk?
- Võrrelge RS-232 ja USB.
- Kas saab ühendada omavahel kaks arvutit USB abil? Miks?
- Miks USB andmekontaktid on lühemad kui toitekontaktid?
- Võrrelda paralleel- ja järjestikliideseid.
- Kas võib kasutada HDMI kaablit 1080p 60Hz HDTV videosignaali edastamiseks? Põhjendada oma arvamust matemaatiliste arvutustega. Lahenduses arvestada 16% värskendamisperioodi (*Blanking period*) [52].
- USB liidese abil edastatakse 8-bitiline jada 10110110. Milline on antud sõnumi kontrollväärtus, kui kasutatav polünoom on  $G(x) = x^5+x^4+x+1$ ?
- USB kaudu vastuvõetud sõnum on 1110001111010. Süsteemis kasutatav polünoom on  $G(x) = x^5+x^4+x+1$ . Kas saadud bittide jada sisaldab edastuse käigus tekkinud vigu? Miks[53]?

### 5.3. RESSURSIVAJADUS JA EELDATAV AJARAAM

Laboritöösse uute elementide sisse viimine USB näol eeldab vastava varustuse kasutamist. Antud liidese versioonide ja testimisnõuete erinevus määrab mõõtmisseadmete spetsiifika. Vastavalt eelpool toodud näidetele (Tabel 2, punkt 4.2), USB tooteid liigitatakse mitte ainult kiiruse, vaid ka kasutusala järgi. Klassidevaheline erinevus paneb testimismeetodid paika. Loomulikult iga meetod nõuab erinevat aparatuuri.

Vastavalt eelmainitud eesmärgile asendada üks laboratoorse töö punkt, tuleb leida ajaliselt sobiv testimisskeem. Eeldatavasti asendatav modemitega punkt võttis ühe kolmandiku tööst või ajaliselt 20-30 minutit. Järelikult USB käsitletav punkt peab olema ajaliselt sama pikk.

Kõrge kiirusega toodetele rakendatavad testid on rangema iseloomuga, kuna võrreldes eelmiste versioonidega, kiiruste erinevus on teinud suure hüppe. Järelikult spetsifikatsioonis kirjeldatud nõuete vastavuse kontrollimine eeldab spetsiifilist varustust.

Süsteemi ribalaius  $BW$  võib olla arvutatud järgmise valemiga [34], arvestades mõõtmisotsikuid ja muud lisavarustust:

$$BW = 1 / \sqrt{(1 / BW_{Ostsillograaf}^2 + (1 / BW_{Mõõtmisotsikud}^2 + \dots))}$$

Arvestades kõrge kiirusega toodete spetsifikatsioonis kirjeldatud nõuet, et tõusu- ja langusaeg peab olema vähemalt 500 ps [26], võib välja arvutada sobiva ostsillograafi ribalaiuse. Seega tuntumad mõõtmisseadmete maaletootjad pakuvad samalaadsete testide läbiviimiseks vähemalt 1,5 GHz ostsillograafi. Samuti rõhutatakse, et diskreetimissagedus peab olema ostsillograafi kahekordseks ehk antud juhul 4 Gdiskreeti/s.

Eelloetletud omadustega ostsillograafi pakutakse tuntumate tootjate poolt (Tabel 3).

**Tabel 3 Kõrge kiirusega toodete testimiseks sobivad ostsillograafid**

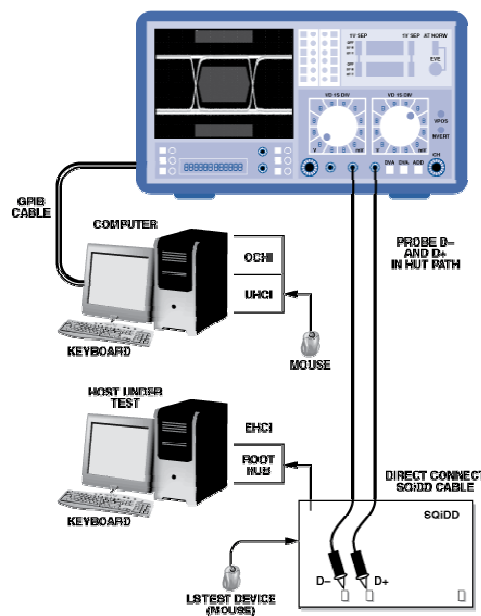
Tootja	Ostsillograafi nimetus	Hind (USD)
Tektronix, Inc.	DP07254	33 223 [54]
Yokogawa Electric Corporation	DL9240	19 489 [55]
Agilent Technologies	54854A Infinium Oscilloscope	14 950 [56]
LeCroy Corporation	WavePro 715Zi	38 562 [55]

Nagu siit võib järeldada, hinnaklass on enam vähem sama. Iga üliõpilase jaoks labori töökohtade varustamiseks läheb ca 200 000 USD. LeCroy poolt välja töötatud USB 3.0 testimiseks ostsillograafi WaveMaster 8 Zi hind varieerub 350 - 400 000 USD vahel [55].

Selge, et ülaltoodud näited on professionaalse taustaga. Tudengitele USB töö põhimõtete seletamiseks ja katsetamiseks sarnase aparatuuri kasutamine pole hädavajalik.

Samas laboritöö käigus kasutatakse 2007. aasta lõpus ostetud kahekanalisi Tektronix ostsillograafe TDS 2012B, ribalaiusega 100 MHz ja diskreetimissagedusega 1,0 Gdiskreeti/s. Antud omadustega ostsillograafiga on võimalik rakendada teste mitte ainult madala kiiruselistele, kuid ka keskmise kiiruselistele USB toodetele (*Low-Speed* ja *Full-Speed*). LS ja FS tõusu- ja langusaeg on vastavalt 75-300 ns ja 4-20 ns [26]. Heaks näiteks on alati saanud igapäevaelu seadmed. Tudengitele on lihtsam ja huvitavam USB tööpõhimõtete tutustumine arvutihiire või klaviatuuri näitel. Seepärast hetkel on mõttekam maksimaalselt kasutada olemasolevaid ressursse, sisetuues laboritöösse madalkiiruselistel toodetel põhinevaid testimiselemente. Madalkiiruselistele välisseadmetele rakendatakse elektrilised, ühilduvuse ja funktsionaalsuse testid [26].

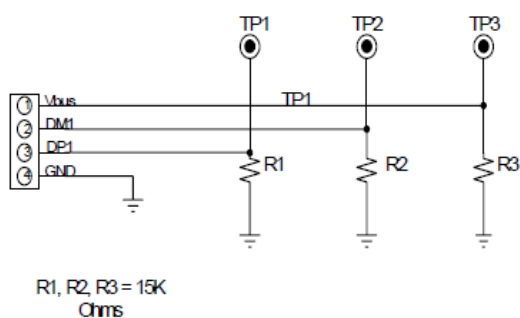
Ühilduvuse testimiseks kasutatakse erinevate funktsioonidega ja eesmärkidega lisaplaate. Näiteks signaali kvaliteedi testimisel silmadiagrammi saamiseks koostatakse skeem (Joonis 35), kus lisaplaat SQiDD (*Signal Quality Drop/Droop*) täidab hosti funktsioone [57]. Antud lisaplaat võib olla kasutatud samuti voolu- ja pingekõikumise testide realiseerimiseks.



Joonis 35 USB-IF poolt soovitatud skeem silmadiagrammi testimiseks [57]

Eelmainitud lisaplaadi maksumus (näiteks Agilent E2646A) on 306 USD [58]. Vaatamata SQiDD kasutamise mugavusele, iga laborikoha varustamine võib osutada kalliks. Samalaadse testi rakendamine võtab ajaliselt umbkaudselt pool tundi aega, mis on suurepäraselt kooskõlas enne määratud eesmärgiga.

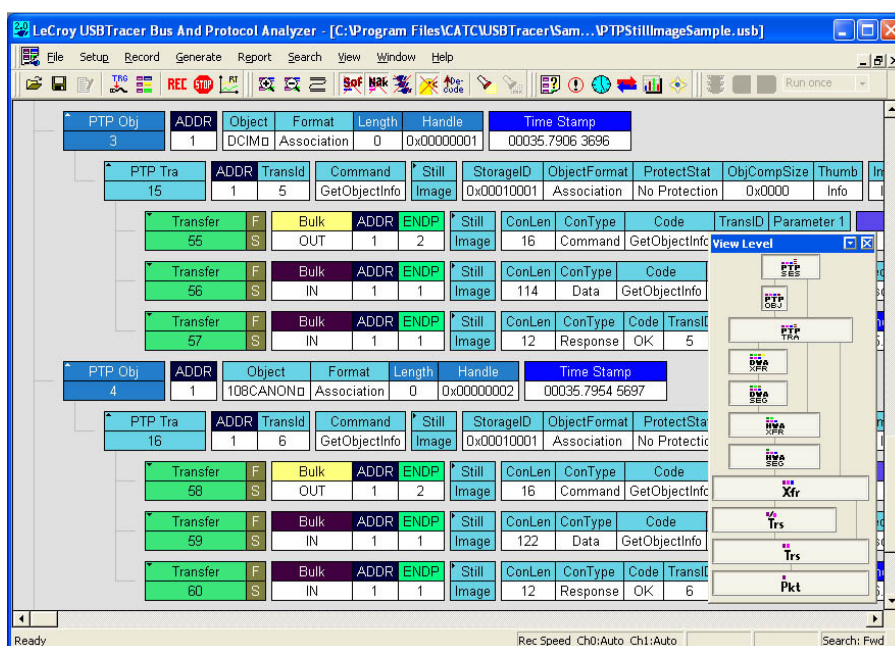
Eelmises paragrahvis (5.2.2) mainitud seade (näiteks Allion USB-TF-BV) Back-Voltage testimiseks (Joonis 36) maksab 100 USD [59].



Joonis 36 Back-Voltage testimiseks vajalik seade [26]

Teisest küljest vaadates, antud testi kirjeldus mahub ühe punkti sisse ning võtab mitte rohkem kui 5-10 minutit aega tegemiseks.

Süsteemi töötamise põhimõtetega saab tutvuda ka analüsaatori abil. Sellega on võimalik näidata tudengitele pakettide tasemel toimuvaid protsesse, emuleerida vigaste pakettidega andmete edastamist (Joonis 37).



Joonis 37 USB Tracer Bus analüsaatorilt saadud pilt [60]

Antud seadme valik on lai ning hinnaklassid on erinevad – alates 400 kuni tuhandeteni USD. Samuti arvestades analüsaatori suuri võimalusi, selle seadistamine, erineva info saamine ja toimuvate protsesside õpetamine võimaldab sisustada terve laboritöö aja ära.

## 6. KOKKUVÕTE

Järjestikliidesed on saanud meie elu lahutamatuks osaks. Ülekandekiiruste pideva kasvuga füüsilised liidesed on edasi arendatud. Selle tagajärjena tehnomaailm on saanud erinevaid liideseid. Enamus nendest kasutab järjestikust andmeülekannete põhimõtet. Seepärast antud teema õpetamine ülikoolides on aktuaalne. Tallinna Tehnikaülikooli õppeaine „Side“ neljanda laboratoorse töö põhieesmärk on õppida tundma terminaliliidest RS-232. Käesolev töö on võtnud eesmärgiks täiendada eelmainitud laboritööd.

RS-232, USB või HDMI – vähemalt üks nendest osutub tuttavaks ja võib-olla isegi järjepidevas kasutamises. Käesolev magistritöö on toonud ülevaate eelmainitud järjestikliidestest, eesmärgiga sisse tuua uuemaid elemente neljandasse laboratoorsesse töösse „RS-liides ja aeglased modemid“ ja muuta nimetus näiteks „Järjestikliideste testimine“. Testimise rõhutamine ja esiletoomine võib anda laboratoorsele tööle atraktiivsust, mis tõstab tudengite õppimishimu ning annab praktilist kogemust mõõtmistehnika kasutamises. Seepärast sai kirjeldatud järjestikliideste testimise protsessi, kaasa arvatud ühilduvuse testimist. Põgusalt sai vaadeldud selleks vajalikku varustust. Tehtud ülevaate tulemuseks on otsus laboritöös lisaks RS-232 liidesele käsitleda populaarset ja igapäevaelus kasutatavat USB-d.

Laboritöö täiendamiseks sai tehtud laboratoorse töö analüüs, välja toodud esinenud puudused ja probleemid, tuginedes autori kogemusele. Selle alusel on tehtud ettepanekud kolmes laboratoorse töö osas: ettevalmistamine, mõõtmiste teostamine ja aruande kaitsmine.

Ettevalmistamiseks on tingimata vajalik soovitatavate allikate nimekiri, mille alusel üliõpilased saaksid enne laboritöö tegemise alustamist tutvuda teoreetiliste alustega. Tärniga tuleb märkida neid infoallikaid, mis annaksid nõutavatest sügavamaid teadmisi ja laiendaksid silmaringi.

Laboritöös USB liidese kajastamiseks tuleb kasutada vajalikku varustust. Madala ja keskmise kiiruseliste välisseadmete testimiseks sobib laboris olemasolev Tektronix ostsillograaf TDS 2012B. Ressursivajaduse ja eeldatava ajaraami vaatest kõige sobilikumad on Back-Voltage ja SQiDD lisaplaati nõudev test.

Teadmiste kontrollimise jaoks laboratoorse töö juhendi lõpus peavad olema välja toodud mõned küsimused, mis võivad olla kasutatud nii kaitsmisel kui ka selle ettevalmistamisel.

Tehtud ettepanekud ei ole lõplikud. Järjestikliideseid käsitlev teema võib olla arendatud ja täiendatud edaspidi. Kaasaegsemate liideste laboratoorsesse töösse sisseviimine ei tohi tudengeid ülekoormata, vaid vastupidi, peab andma stiimulit ja teadmisi juurde. Töö kirjutamisel sai arvestatud inimeste iseärasusi ja tehtud vastavad ettepanekud. On lootus, et käesolev töö jääb mitte ainult kirjutatuna, vaid toob ka praktilist kasu.

## Viiteloetelu

- [1] Irina Tsernetsova, Kursuse „Side“ põhiteemade seostamine õppeülesannetega. Tallinn, 2007, 83 lk.
- [2] Side (IRT 3930) loengu sait sügisel 2008.  
[WWW] <http://www.lr.ttu.ee/side/index.html> (8.05.2009)
- [3] Inglise-eesti sõnaraamat. [WWW] <http://enet.animato.ee/index.php?otsida=test&pl=0> (21.04.2009)
- [4] Поиск вопросов и ответов. Что такое тестирование?  
[WWW] <http://otvety.google.ru/otvety/thread?tid=1812cb2c4e22c5ff> (21.04.2009)
- [5] Писарев А.П., Интерфейсы АСОИУ. Курс лекций.  
[WWW] [http://window.edu.ru/window\\_catalog/pdf2txt?p\\_id=26379](http://window.edu.ru/window_catalog/pdf2txt?p_id=26379) (21.04.2009)
- [6] What is Testing Techniques?  
[WWW] [http://www.geekinterview.com/question\\_details/17385](http://www.geekinterview.com/question_details/17385) (22.04.2009)
- [7] Testing Types.  
[WWW] <http://www.testinggeek.com/index.php/testing-types> (22.04.2009)
- [8] В.В. Кулямин, Методы верификации программного обеспечения  
[WWW] <http://www.ict.edu.ru/ft/005645/62322e1-st09.pdf> (22.01.2009)
- [9] Girish Janardhanudu, Cigital, Inc. [WWW] <https://buildsecurityin.us-cert.gov/daisy/bsi/articles/best-practices/white-box/259-BSI.html> (22.04.2009)
- [10] Тестирование от А до Я. Часть 1 - Основополагающие принципы и подходы  
[WWW] [http://cmcons.com/articles/testirovanie\\_instrumentalnye\\_sredstva\\_ibm\\_rational/test\\_concept\\_1/](http://cmcons.com/articles/testirovanie_instrumentalnye_sredstva_ibm_rational/test_concept_1/) (22.04.2009)
- [11] Morse Timeline. [WWW] <http://lcweb2.loc.gov/ammem/sfbmhtml/timeline02.html> (8.05.2009)
- [12] Gigabit Passive Optical Networks.  
[WWW] <http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=1/28701-FGC1010315&Lang=EN> (8.05.2009)
- [13] Juniper Networks. Knowledge base.  
[WWW] <http://kb.juniper.net/CUSTOMERSERVICE/KB4061> (8.05.2009)
- [14] Лабораторная работа. Изучение работы последовательного порта (RS-232) на примере подключения устройства L-CARD E-24. Самарский государственный университет.

- [WWW] [http://www.ni.ssu.samara.ru/index/trainings/labspec/lab02\\_spec.pdf](http://www.ni.ssu.samara.ru/index/trainings/labspec/lab02_spec.pdf)  
(21.04.2009)
- [15] В.Э.Иванов, О.В.Мироненко, О.А. Черных, М.12.О.Технологии National Instruments в лаборатории автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств и систем. [WWW]  
[http://digital.ni.com/worldwide/russia.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/e010e2f4e4daa476862570cf00312053/\\$FILE/M.12.O.doc](http://digital.ni.com/worldwide/russia.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/e010e2f4e4daa476862570cf00312053/$FILE/M.12.O.doc) (21.04.2009)
- [16] CCNA 1: Networking basics v3.1.1 Student Lab Manual, Cisco Systems.  
[WWW] <http://www.scribd.com/doc/6564396/CCNA-1-Networking-basics-v311-Student-Lab-Manual> (21.04.2009)
- [17] Testing the Parallel and the Serial Port.  
[WWW] <http://www.scribd.com/doc/4542714/CoE415R-Lab-Manual> (21.04.2009)
- [18] RS-232 Laser Transceiver, Australia, oktober 1997.  
[WWW] <http://www.geocities.com/siliconvalley/lakes/7156/laser.htm> (21.04.2009)
- [19] System Technik, Interface training board Type 3855.  
[WWW] <http://www.hps-systemtechnik.com/ENGLISCH/PDF-FILES/BOARDLINE/pg-3855.pdf> (21.04.2009)
- [20] Joe Pardue 2008 The serial port is dead! USB Serial Port Breadboard Experiments with the FTDI FT232R. [WWW]  
<http://www.smileymicros.com/download/NutsAndVolts/The%20Serial%20Port%20is%20Dead.pdf> (21.04.2009)
- [21] USB Monitor. [WWW] <http://www.filetransit.com/view.php?id=18355> (08.05.2009)
- [22] Aimur Raja, Avo Ots, Indrek Rökk. RS-liides ja aeglased modemid. Laboratoorse töö nr 4 juhend. [WWW] [http://www.lr.ttu.ee/side/labor/Side\\_labor\\_RS.pdf](http://www.lr.ttu.ee/side/labor/Side_labor_RS.pdf) (21.04.2009)
- [23] Краткая история компьютерного интерфейса.  
[WWW] [http://webmastera.org/files/File/web\\_design/InterfHist.pdf](http://webmastera.org/files/File/web_design/InterfHist.pdf) (21.04.2009)
- [24] Павел Шубский, Есть контакт. История развития внешних интерфейсов для подключения периферии. [WWW]  
[http://www.igromania.ru/Articles/14767/Est\\_kontakt\\_Istoriya\\_razvitiya\\_vneshnih\\_interfeisov\\_dlya\\_podklyucheniya\\_periferii.htm](http://www.igromania.ru/Articles/14767/Est_kontakt_Istoriya_razvitiya_vneshnih_interfeisov_dlya_podklyucheniya_periferii.htm) (21.04.2009)
- [25] HDMI ametlik veebilehekülg. [WWW] <http://www.hdmi.org> (21.04.2009)
- [26] USB IF ametlik koduleht. [WWW] <http://www.usb.org/home> (21.04.2009)
- [27] DisplayPort ametlik koduleht. [WWW] <http://www.displayport.org> (21.04.2009)
- [28] Ю.Блэк. Сети ЭВМ: Протоколы, стандарты, интерфейсы. М.: Мир, 1990.-506 с.

- [29] Uyless Black, Physical Level Interfaces and Protocols, Computer Society Press, 1988.- 218 p.
- [30] Whatis.com. Target Search. Serial Communications Interface. [WWW] [http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9\\_gci962055,00.html](http://whatis.techtarget.com/definition/0,,sid9_gci962055,00.html) (9.05.2009)
- [31] Amit Thakar, Do HDMI Cables Matter? November, 2008  
[WWW] <http://www.audioholics.com/news/editorials/do-hdmi-cables-matter> (21.04.2009)
- [32] Warren Hioki, Telecommunications, Columbus (Ohio) : Prentice Hall, c2001, 664 lk
- [33] Некоторые аспекты применения интерфейса RS232.  
[WWW] [http://www.shtrih-yug.ru/tr\\_rs232.html](http://www.shtrih-yug.ru/tr_rs232.html) (21.04.2009)
- [34] Rebecca Suemnicht, In the Eye of the Beholder: Compliance Testing for USB.  
[WWW] [http://www.analogzone.com/iot\\_1115.pdf](http://www.analogzone.com/iot_1115.pdf) (21.04.2009)
- [35] USB 2.0 ja 3.0 sümbol.  
[WWW] [http://nttup.files.wordpress.com/2008/06/img\\_3160\\_usb-logo.jpg](http://nttup.files.wordpress.com/2008/06/img_3160_usb-logo.jpg) ja [http://www.nwce.com/USB\\_Icon.gif](http://www.nwce.com/USB_Icon.gif) (21.04.2009)
- [36] 17 November 2008 USB-IF\_Press\_Release, USB 3.0 Specification now available.  
[WWW] [http://www.usb.org/press/USB-IF\\_Press\\_Releases/2008\\_11\\_17\\_USB\\_IF.pdf](http://www.usb.org/press/USB-IF_Press_Releases/2008_11_17_USB_IF.pdf) (21.04.2009)
- [37] 22 February 1998 White Paper. USB 1.0 Spec Position on Extension Cables and Pass-Through Monitors.  
[WWW] <http://www.usb.org/developers/whitepapers/cablew~1.pdf> (21.04.2009)
- [38] Игорь Иванцов, Анализаторы протоколов передачи данных.  
[WWW] <http://www.xserver.ru/computer/nets/razn/71/> (21.04.2009)
- [39] Contech Research, Inc. USB Testing.  
[WWW] <http://www.contechresearch.com/> (22.04.2009)
- [40] Understanding and Performing USB 2.0 Physical Layer Testing.  
[WWW] <http://www2.tek.com/cmswpt/tidetails.lotr?ct=TI&cs=apn&ci=2161&lc=EN> (22.04.2009)
- [41] RPM Systems Corporation, USB Test Hosts.  
[WWW] [http://www.rpmsys.com/root\\_flyer.pdf](http://www.rpmsys.com/root_flyer.pdf) (22.04.2009)
- [42] USB Loopback Plugs.  
[WWW] <http://www.passmark.com/products/usbloopback.htm> (22.04.2009)
- [43] Agilent solutions for HDMI testing.  
[WWW] [http://www.ace-plus.com/product/hdmi\\_cables/hdmi.pdf](http://www.ace-plus.com/product/hdmi_cables/hdmi.pdf) (22.04.2009)



- [44] HDMI CTS V1.3b Compliance Testing Support with TDSHT3 Compliance Test Software. [WWW] [www.scopeshop.de](http://www.scopeshop.de) (22.04.2009)
- [45] Physical Layer Compliance Testing for HDMI Using TDSHT3 HDMI Compliance Test Software Application Note [WWW]  
<http://www2.tek.com/cmswpt/tidetails.lotr?ct=TI&cs=apn&ci=2166&lc=EN>  
(22.04.2009)
- [46] Centronics HDTE-200 HDMI Cable Tester (HDTE-200).  
[WWW] [http://www.solidsignal.com/prod\\_display.asp?PROD=HDTE-200&xzoom=Large#xview](http://www.solidsignal.com/prod_display.asp?PROD=HDTE-200&xzoom=Large#xview) (22.04.2009)
- [47] HDMI Testers. [WWW] <http://www.hdtvsupply.com/hdcate.html> (22.04.2009)
- [48] HDMI Test Solutions. QPHY- HDMI. [WWW]  
<http://www.lecroy.com/tm/Options/Software/HDMI/default.asp?menuid=29>  
(22.04.2009)
- [49] Aimur Raja, Avo Ots. RS-liides ja aeglased modemid. Laboratoorse töö juhend. Tallinn, 2007.  
[WWW] <http://www.lr.ttu.ee/side/labor/RSmodemid2007aEk2.pdf> (22.04.2009)
- [50] Matthew Dunn, January 2004. Time for USB Development.  
[WWW] [www.lecroy.com/tm/library/registerPDF.asp?wp=810](http://www.lecroy.com/tm/library/registerPDF.asp?wp=810) (22.04.2009)
- [51] Видеокабель. Проблема выбора.  
[WWW] <http://www.colan.ru/support/artview.php?id=278> (9.05.2009)
- [52] HDMI Basics.  
[WWW] <http://www.practical-home-theater-guide.com/hdmi-cables.html> (27.04.2009)
- [53] The University of Queensland School of Information Technology and Electrical Engineering. COMS3200 – Tutorial 5 – Solutions. [WWW]  
<http://www.itee.uq.edu.au/~coms3200/tutorials/COMS3200-2008-Tutorial5-solns.pdf>  
(27.04.2009)
- [54] Tektronix, Inc. koduleht.  
[WWW] [http://www2.tek.com/price/tk\\_ec\\_pricepage.msrp](http://www2.tek.com/price/tk_ec_pricepage.msrp) (1.05.2009)
- [55] Осциллографы, настольные, носимые, многоканальные, осциллографы с регистрацией. [WWW] <http://kip-postavka.ru/oscillos.htm> (1.05.2009)
- [56] Agilent 54854A Infinium Oscilloscope eBay lehel. [WWW] [http://cgi.ebay.com.my/Agilent-54854A-Infinium-Oscilloscope\\_W0QQcmdZViewItemQQitemZ380090127666](http://cgi.ebay.com.my/Agilent-54854A-Infinium-Oscilloscope_W0QQcmdZViewItemQQitemZ380090127666) (1.05.2009)
- [57] Eva Murphy, Pdraig Fitzgerald. Switching in USB Consumer Applications.

[WWW] [http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/40-01/usb\\_switch.html](http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/40-01/usb_switch.html) (1.05.2009)

[58] Agilent Accessory Price List.

[WWW] [http://www.testequipmentdepot.com/agilent/pricelist\\_accy.htm](http://www.testequipmentdepot.com/agilent/pricelist_accy.htm) (1.05.2009)

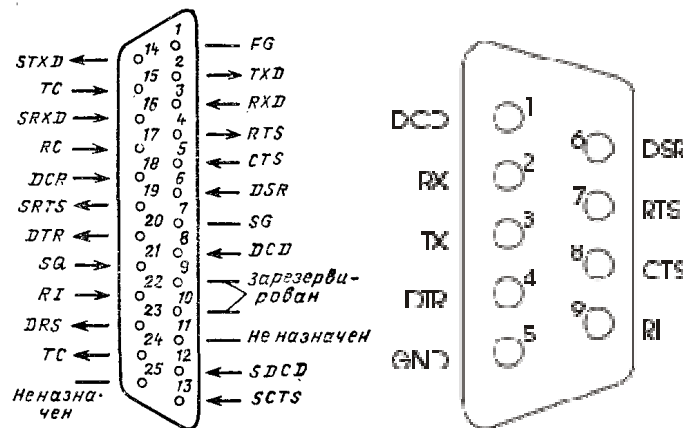
[59] Allion Test Labs.

[WWW] [https://shop.allion.com/Product\\_List.asp?iGroupNum=4](https://shop.allion.com/Product_List.asp?iGroupNum=4) (1.05.2009)

[60] USBTracer/Trainer™ Protocol Verification System.

[WWW] <http://www.lecroy.com/tm/products/ProtocolAnalyzers/usbttr.asp?menuid=67>  
(1.05.2009)

## Lisa A. RS-232 kontaktide tähistus



Kontakte läbivate signaalide funktsioon on lühidalt kirjeldatud tabelis:

DB25 kontakti number	DB9 kontakti number	EIA tähistus (RS-232)	ITU-T tähistus (V.24)	Leppe lühend	Signaali kirjeldus	DCE -lt	DTE -lt
1		AA		GND	Kaitsemaandus		
2	3	BA	103	TxD	Edastatavad andmed		x
3	2	BB	104	RxD	Vastu võetavad andmed	x	
4	7	CA CJ	105 133	RTS	Saate päring Valmisolek vastuvõtuks		x x
5	8	CB	106	CTS	Valmisolek saateks	x	
6	6	CC	107	DSR	DCE valmisolek	x	
7	5	AB	102	SG	Signaali maandus	x	x
8	1	CF	109	DCD	Kandva avastamine	x	
9					DCE testimise reserv: +12 B, 20 mA	x	
10					DCE testimise reserv: -12 B, 20 mA	x	
11			126		Saatmise sageduse valik		x
12		SCF	122	SDCD	Lisakanali kandevsignaali avastamine	x	
13		SCB	121	SCTS	Valmisolek saateks lisakanali kaudu	x	
14		SBA	118	STD	Lisakanali edastatavad andmed		x
15		DB	114	TC	Saatmise sünkroniseerimine (DCE)	x	
16		SBB	119	SRD	Vastu võetavad andmed lisakanalis	x	
17		DD	115	RC	Vastuvõtu sünkroniseerimine (DCE)	x	
18			141		Vaba (Kohalik ling)		x
19		SCA	120	SRTS	Saatmise päring lisakanalis		x
20	4	CD	108.1 108.2	DTR	DCE valmisolek DTE valmisolek		x x
21		CG	110	SQ	Signaali kvaliteedi detektor	x	
		RL	140		Emalolev ling		x
22	9	CE	125	RI	Kutse indikaator	x	
23		CH	111		Andmeedastuse kiiruse ümberlülitamine (DTE)		x
23		CI	112		Andmeedastuse kiiruse ümberlülitamine (DCE)	x	
24		DA	113		Saate sünkroniseerimine (DTE)		x
25			142		Vaba (Testi indikaator)	x	

## Lisa B. RS-232-C ja EIA-232-D võrdlus

### DB25

kontakti number	RS-232-C tähistus	RS-232-C signaali kirjeldus	EIA-232-D tähistus	EIA-232-D signaali kirjeldus
1	AA	Kaitsemaandus		Varjestamine
7	AB	Signaali maandus	AB	Signaali maandus
2	BA	Edastatavad andmed	BA	Edastatavad andmed
3	BB	Vastu võetavad andmed	BB	Vastu võetavad andmed
4	CA	Saate päring	CA	Saate päring
5	CB	Valmisoleks saateks	CB	Valmisoleks saateks
6	CC	DCE valmisolek	CC	DCE valmisolek
20	CD	DTE valmisolek	CD	DTE valmisolek
22	CE	Kutse indikaator	CE	Kutse indikaator
8	CF	Kandva avastamine	CF	Kandva avastamine
21	CG	Signaali kvaliteedi detektor Andmeedastuse kiiruse ümberlülitamine	RL/CG	Remote loopback/Signaali kvaliteedi detektor Andmeedastuse kiiruse ümberlülitamine
23	CH/CI	Saate sünkroniseerimine	CH/CI	Saate sünkroniseerimine
24	DA	Saatmise sünkroniseerimine	DA	Saatmise sünkroniseerimine
15	DB	Vastuvõtu sünkroniseerimine	DB	Saatmise sünkroniseerimine Vastuvõtu sünkroniseerimine
17	DD	Lisakanali edastatavad andmed	DD	sünkroniseerimine Lisakanali edastatavad andmed
14	SBA	Vastu võetatavad andmed	SBA	andmed Vastu võetatavad andmed
16	SBB	lisakanalis	SBB	lisakanalis
19	SCA	Saatmise päring lisakanalis	SCA	Saatmise päring lisakanalis
13	SCB	Valmisolek saateks lisakanali kaudu	SCB	Valmisolek saateks lisakanali kaudu
12	SCF	Lisakanali kande-signaali avastamine	SCF/CI	Lisakanali kande-signaali avastamine
9				Reserveeritud testimiseks
10				Reserveeritud testimiseks
11				Vaba
18				Local loopback
25				Testi indikaator

## Lisa C. USB kontaktide paigutus

### USB 2.0 kontaktide paigutus:

Kontakti number	Tähistus	Juhtme värv
1	V BUS	Punane
2	D-	Valge
3	D+	Roheline
4	GND	Must

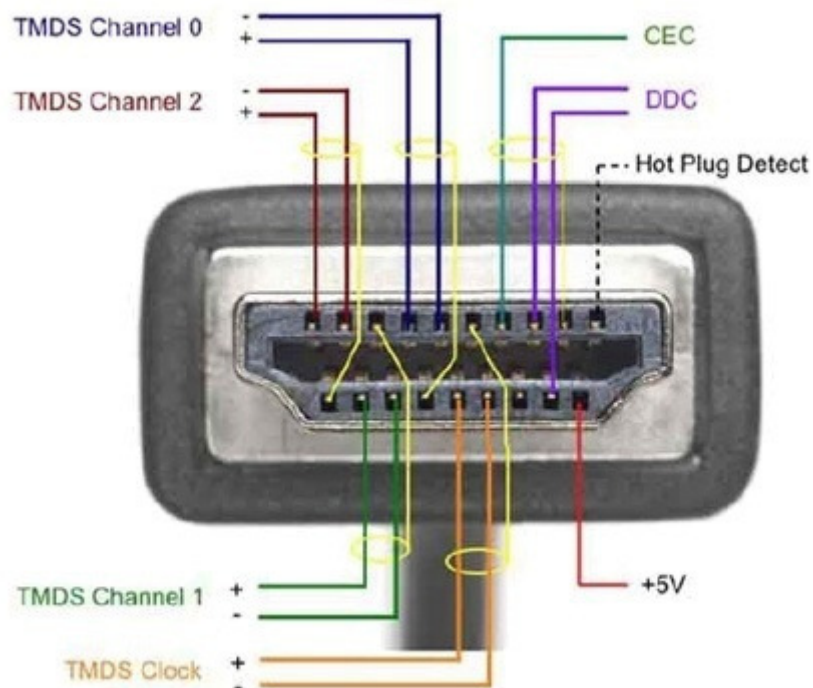
V BUS (+ 5 V) kaudu ühendatud USB seadmed saavad toidet, GND – maandus, D+ ja D- andmete edastamiseks.

### USB 3.0 kontaktide paigutus:

**Table 5-7. Cable Wire Assignments**

Wire Number	Signal Name	Description	Color
1	PWR	Power	Red
2	UTP_D-	Unshielded twist pair, negative	White
3	UTP_D+	Unshielded twist pair, positive	Green
4	GND_PWRrt	Ground for power return	Black
5	SDP1-	Shielded differential pair 1, negative	Blue
6	SDP1+	Shielded differential pair 1, positive	Yellow
7	SDP1_Drain	Drain wire for SDP1	
8	SDP2-	Shielded differential pair 2, negative	Purple
9	SDP2+	Shielded differential pair 2, positive	Orange
10	SDP2_Drain	Drain wire for SDP2	
Braid	Shield	Cable external braid to be 360° terminated on to plug metal shell	

## Lisa D. HDMI kontaktide paigutus



Kontaktid 1 kuni 9 kannavad kolm TMDS andmekanalit üle (kolm kontakti iga kanali kohta). TMDS andmed koosnevad nii audio kui ka video signaalidest. Iga kanal on eraldi realiseeritud kolme liiniga (+ väärtused, - väärtused ja maa).

Kontaktid 10 kuni 12 kannavad TMDS sünkroniseerimiskanalit, mis samuti omab kolm liini.

Kontakti nr 13 kaudu kantakse CEC (*Consumer Electronics Control*) kanal üle, mida kasutatakse ühendatud seadmete vahel käskude ja juhtimisandmete saatmiseks (näiteks sisse/väljalülitus, paus, käivitus jne).

Kontakt 14 on broneeritud tuleviku tarbeks.

Kontakt 15 ja 16 on DDC (*Display Data Channel*) kanal, mille kaudu seadmed vahendavad EDID (*Extended Display Identification Channel*) andmetega displei spetsifikatsioonist (tootja, mudel, toetavad formatid jne).

17. kontakt on maandus CEC ja DDC andmete jaoks.

Kontakt nr 18 on toide (+5V).

19. kontakt (*Hot Plug Detect*) jälgib välja/sisse lülitust.

HDMI A-tüüpi konnektori kontaktide paigutus:

PIN	Signal Assignment
1	TMDS Data2+
3	TMDS Data2-
5	TMDS Data1 Shield
7	TMDS Data0+
9	TMDS Data0-
11	TMDS Clock Shield
13	CEC
15	SCL
17	DDC/CEC Ground
19	Hot Plug Detect

PIN	Signal Assignment
2	TMDS Data2 Shield
4	TMDS Data1+
6	TMDS Data1-
8	TMDS Data0 Shield
10	TMDS Clock+
12	TMDS Clock-
14	Reserved (N.C. on device)
16	SDA
18	+5V Power

HDMI B-tüüpi konnektori kontaktide paigutus:

PIN	Signal Assignment
1	TMDS Data2+
3	TMDS Data2-
5	TMDS Data1 Shield
7	TMDS Data0+
9	TMDS Data0-
11	TMDS Clock Shield
13	TMDS Data5+
15	TMDS Data5-
17	TMDS Data4 Shield
19	TMDS Data3+
21	TMDS Data3-
23	Reserved (N.C. on device)
25	SCL
27	DDC/CEC Ground
29	Hot Plug Detect

PIN	Signal Assignment
2	TMDS Data2 Shield
4	TMDS Data1+
6	TMDS Data1-
8	TMDS Data0 Shield
10	TMDS Clock+
12	TMDS Clock-
14	TMDS Data5 Shield
16	TMDS Data4+
18	TMDS Data4-
20	TMDS Data3 Shield
22	CEC
24	Reserved (N.C. on device)
26	SDA
28	+5V Power

## HDMI C-tüüpi konnektori kontaktide paigutus:

PIN	Signal Assignment
1	TMDS Data2 Shield
2	TMDS Data2+
3	TMDS Data2-
4	TMDS Data1 Shield
5	TMDS Data1+
6	TMDS Data1-
7	TMDS Data0 Shield
8	TMDS Data0+
9	TMDS Data0-
10	TMDS Clock Shield
11	TMDS Clock+
12	TMDS Clock-
13	DDC/CEC Ground
14	CEC
15	SCL
16	SDA
17	Reserved
18	+5V Power
19	Hot Plug Detect



## Lisa E. Internetiallikad liidestega tutvumiseks

### RS-232:

Eestikeelsed allikad:

<http://www.dcc.ttu.ee/Automaatika/LAP/ISP0050/loengud/Loeng01.pdf>

Inglisekeelsed allikad:

<http://www.omega.ca/techref/pdf/RS-232.pdf>

[http://courses.cs.tamu.edu/rgutier/ceg411\\_f01/113.pdf](http://courses.cs.tamu.edu/rgutier/ceg411_f01/113.pdf)

[http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/83/](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/83/)

<http://webpages.charter.net/dperr/serial.htm>

<http://www.microlink.co.uk/rs232.html>

\*<http://www.omega.com/literature/transactions/volume2/digitalsignal2.html>

\*[http://www.zytrax.com/tech/layer\\_1/cables/tech\\_rs232.htm](http://www.zytrax.com/tech/layer_1/cables/tech_rs232.htm)

\*<http://www2.rad.com/networks/1995/rs232/rs232.htm>

Venekeelsed allikad:

<http://tehpoisk.ru/articles/RS232RS485RS422>

<http://www.novosoft.by/Ency/rs-232.htm>

<http://www.denvo.ru/hardware/rs-232.html>

\*[http://www.opennet.ru/docs/RUS/serial\\_guide/](http://www.opennet.ru/docs/RUS/serial_guide/)

### USB:

Inglisekeelsed allikad:

[http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_USB.html](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_USB.html)

[http://www.computer-solutions.co.uk/info/Embedded\\_tutorials/usb\\_tutorial.htm](http://www.computer-solutions.co.uk/info/Embedded_tutorials/usb_tutorial.htm)

[www.at91.com/repFichier/Document-123/USB-tutorial.ppt](http://www.at91.com/repFichier/Document-123/USB-tutorial.ppt)

<http://www.eeherald.com/section/design-guide/esmod14.html>

\*<http://www.usb.org>

Venekeelsed allikad:

<http://www.intuit.ru/department/hardware/csorg/15/5.html>

<http://citforum.univ.kiev.ua/hardware/articles/usb/>

### HDMI:

Inglisekeelsed allikad:

[http://www.pacificcable.com/HDMI\\_Tutorial.htm](http://www.pacificcable.com/HDMI_Tutorial.htm)

[http://www.hobbyprojects.com/high\\_definition\\_multimedia\\_interface\\_hdmi.html](http://www.hobbyprojects.com/high_definition_multimedia_interface_hdmi.html)

\*[http://www.hdmi.org/learningcenter/installer\\_training.aspx](http://www.hdmi.org/learningcenter/installer_training.aspx)

Venekeelsed allikad:

[http://www.thg.ru/display/hdmi\\_faq/index.html](http://www.thg.ru/display/hdmi_faq/index.html)

<http://www.podberi.tv/review/434/>

<http://blog.hi-tech.in.ua/18/02/2009/hdmi-2/>

<http://www.php-web.info/articles/video-info/hdmi-cable-format-more-info.html>

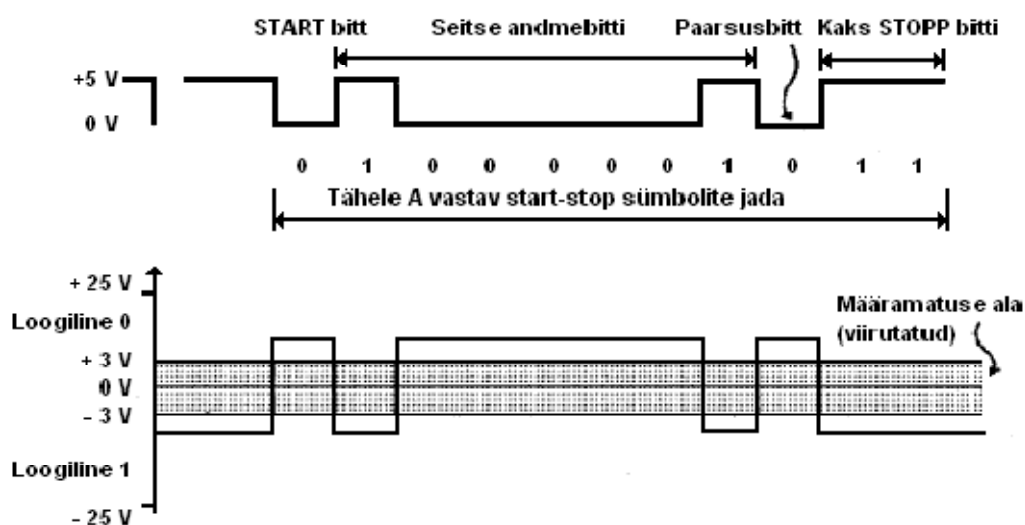
## Lisa F. Laboritöö ettevalmistuse koostamine

**Liides** (ingl. k. – interface, vene k. – интерфейс) on elektriliste, füüsiliste ja tarkvaraliste kirjelduste kogum erinevate süsteemielementide ühendamiseks ja infovahetuse tagamiseks. Inglise keelest tõlgitav sõna tähendusega „piir“ oma olemuselt määrab kohta või viisi kahe süsteemi vahelisel ühendamisel.

Arvuti edastab andmeid üks või mitu bitti korraga. Järjestikliidese puhul sümboleid saadetakse ühe biti haaval. Iga bitt omab väärtust „on“ (mark, 0) või „off“ (space, 1). Paralleel edastuse puhul saadetakse vastupidi mitu bitti korraga ning tüüpiliselt kasutatakse kaheksa üksteisega paralleelset kanalit baiti edastamiseks. Vastavalt sellele füüsilisel tasemel kasutatavaid mittetraadita liideseid võib omakorda liigitada kaheks - paralleel ja järjestik, sõltuvalt sellest, kuidas toimub andmevahetus. Paralleelliidese näitena võib tuua LPT ja järjestikliidest - RS-232, Firewire, USB, HDMI.

**RS-232** on standard, mis kirjeldab järjestiku ühendusliidest kahe seadme (DTE ja DCE) vahel. Terminaliseade (DTE - *Data Terminal Equipment*, *Терминальное (оконечное) устройство*) asub liini otsas (siit: terminate inglise keeles „otsastamine“) ning saadab ja võtab andmeid vastu. Sideseade (DCE - *Data Communication Equipment*, *Коммуникационное устройство*) aitab terminaliseadmel andmeid järjestikuliselt edastada sidekanalile. Seega on ta ühelt poolt ühendatud DTE-ga ja teiselt – sidekanaliga. DTE näitena võib tuua arvutit ja DCE-na – modemit. DTE ja DCE kasutab TxD ja RxD kontakte erinevalt. Nimelt DTE kasutab TxD liini andmete vastu võtmiseks ning RxD – saatmiseks. DCE on aga vastupidi (TxD kasutatakse andmete saatmiseks ja RxD vastuvõtmiseks).

Sünkroniseerimise mõttes kõigepealt edastatakse startbitt, andmebitid, paarsusbitt ja seejärel üks või kaks stopp bitti. Antud bitid (k.a. start- ja stopp bittidega) nimetatakse start-stop sümboliks. Start-stop sümbol reeglina sisaldab ühte infosümbolit, näiteks ASCII sümbolit (*American Standard Code for Information Interchange*). ASCII sümbolid on esitatud seitsme bitiga. Näiteks A täht omab koodi 1000001 (Joonis 1).

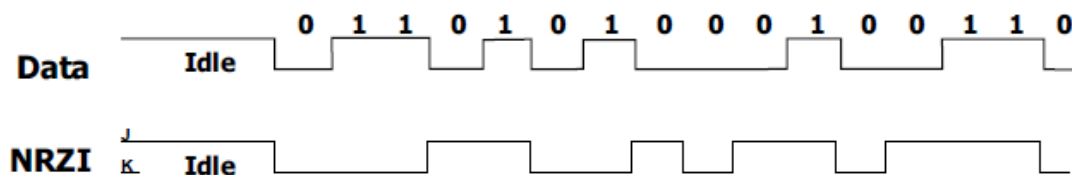


Joonis 1. Tähe A koodi esitus TTL nivoode ja RS-232 liidese liinisignaalenäitena

Kahe arvuti omavaheliseks ühendamiseks RS-232 abil tuleb teostada TxD-RxD ristühendust. Arvuti nr 1 poolt saadetud TxD kaudu andmed (ingl. k. *Transmitted Data* - saadetud andmed) peavad olema arvutil nr 2 RxD (ingl. k. *Received Data* - vastuvõetud andmed) juures. Sellist ühendust nimetatakse nullmodemiks.

Rahvusvaheline Telekommunikatsiooni Liit (*International Telecommunication Union* – ITU) kasutab samaväärseid soovitusi V.24 ja V.28.

Universaalne järjestiksiin ehk **USB** (*Universal Serial Bus*, *Универсальная Последовательная Шина*) teoreetiliselt võimaldab ühendada 127 välisseadet. Andmete edastamisel kasutatakse NRZI kodeerimist (*Non Return to Zero Invert to ones, метод без возврата к нулю с инвертированием для единиц*). Signaali väärtus on seotud eelmisega, see tähendab „0“ väärtuse edastamisel potentsiaal muutub võrreldes eelmisega vastupidiseks ja „1“ edastamisel – jääb samaks (Joonis 2).



Joonis 2. NRZI andmete kodeerimine

USB liideses vea kontrollimiseks kasutatakse **CRC** (*Cyclic Redundancy Check*, *Циклическая Избыточная Проверка*).

Järjestikandmete edastuskiirust mõõdetakse bitti sekundis (*bps, bit per second*) või boodides (*baud, бод*). Bood mõõdab modulatsiooni kiirust, s.t. signaali kuju muutumiste arv sekundis. Sõltuvalt modulatsiooni viisist 1 bood võib kanda mitut bitti. Mõnel juhul boodi ja bitikiirus võivad olla võrdsed.

## Разработка теоретических основ

**Интерфейс** (англ. – interface, эст. – liides) - совокупность электрических, физических и программных требований с целью соединения различных элементов системы и осуществления обмена информацией между ними. Интерфейс переводится с английского языка как "граница", что хорошо иллюстрирует место или способ взаимодействия двух систем.

Компьютер передает информацию (данные) посылками в один или более битов за один раз. Последовательная передача подразумевает передачу данных посылкой в один бит. При последовательной передаче, каждое пересылаемое слово (байт или символ) данных посылается побитно. Каждый бит имеет состояние on (mark,0) или off (space, 1). И наоборот, при параллельной передаче отправляется несколько бит за раз. Обычно используется восемь параллельных каналов для передачи одного байта. В соответствии с этим, проводные физические интерфейсы можно подразделить на последовательные и параллельные, в зависимости от используемого вида передачи данных. В пример параллельных интерфейсов можно привести LPT, последовательных - RS-232, Firewire, USB, HDMI.

**RS-232** - стандарт, описывающий последовательную передачу данных между двумя устройствами (DTE и DCE). Терминальное (оконечное) устройство DTE (*Data Terminal Equipment, Terminalseade*) находится на конце линии, а также отправляет и принимает данные. Коммуникационное устройство DCE (*Data Communication Equipment, Sideseade*) способствует данной передаче и с одной стороны соединено с DTE, а с другой - каналом передачи данных. Примером DTE служит компьютер, а DCE - модем. Причем DTE и DCE использует контакты TxD и RxD по-разному. В частности, DTE использует линию TxD для получения данных и RxD - для передачи, в то время как DCE, наоборот, TxD - для отправки, RxD - для получения.

Для синхронизации прежде всего передается стартовый бит, биты данных, бит четности (паритета) и затем один или два стоповых бита. Такая группа битов совместно со стартовым и стоповым битом называется старт-стопным символом, который содержит обычно один информационный символ, например, символ американского стандартного кода для обмена информацией ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). ASCII символ представлен семью битами. Например, латинская буква А кодируется кодом 1000001 (Рисунок 1).

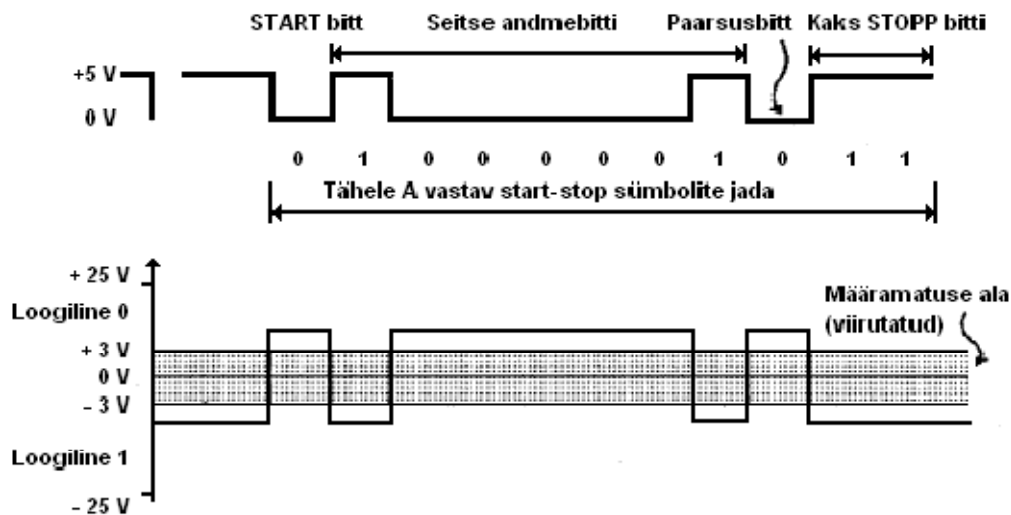


Рисунок 1. Представление буквы А уровнями ТТЛ (верх) и на сигнальных линиях интерфейса RS-232(низ).

Для соединения двух компьютеров между собой при помощи RS-232 необходимо произвести перекрестное соединение TxD-RxD. Отправленные данные с компьютера N1 через TxD (англ. *Transmitted Data* - переданные данные) должны быть получены на компьютере N2 через RxD (англ. *Received Data* - полученные данные). Так ое соединение называется нуль-модемным.

Концепция Международного союза по телекоммуникациям ITU (*International Telecommunication Union*) использует аналогичные рекомендации V.24 и V.28.

Универсальная Последовательная Шина **USB** (*Universal Serial Bus, Universaalne järjestiksiin*) теоретически позволяет соединить между собой 127 периферийных устройств. Для передачи данных используется NRZI кодирование (*Non Return to Zero Invert to ones, метод без возврата к нулю с инвертированием для единиц*). Значение сигнала связано с предыдущим. При передаче "0" потенциал изменится, а при передаче "1" - останется на прежнем уровне (Рисунок 2). Для проверки используется CRC (*Cyclic Redundancy Check, Циклическая Избыточная Проверка*).

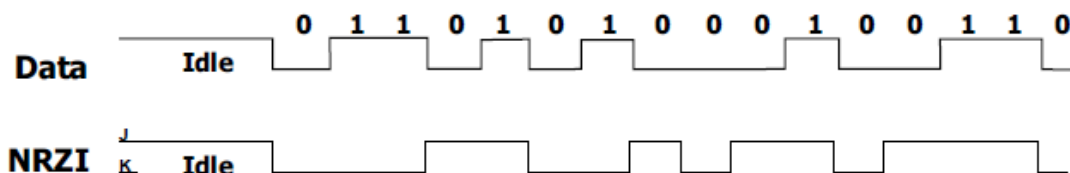


Рисунок 2. NRZI кодирование

Скорость последовательной передачи данных выражается в количестве битов переданных за секунду (bps, bits-per-second, biti sekundites) или в бодах (baud, bood). Бод измеряет скорость модуляции, то есть число изменений сигнала в секунду. В зависимости от метода модуляции 1 бод может нести несколько бит. В некоторых случаях бодовая и битовая скорости равны.