



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOI
INSENERITEADUSKOND
Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

IP VÕRGUÜHENDUSTE LISAMOODULI LOOMINE TELEM-AGC SEADMELE MARTEM AS-IS

IP NETWORKING EXPANSION CARD FOR TELEM-AGC IN MARTEM AS

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Robert Putnik

Üliõpilaskood 164380MAHB

Juhendaja: Tanel Jalakas, vanemteadur

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021.

Autor: Robert Putnik

Töö vastab bakalaureusetöö esitatud nõuetele

"....." 2021.

Juhendaja: Tanel Jalakas

Kaitsmisele lubatud

"....."2021.

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Robert Putnik (sünnikuupäev: 21.07.1997)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose IP võrguühenduste lisamooduli loomine Telem-AGC seadmele Martem AS-is,

mille juhendaja on vanemteadur Tanel Jalakas,

- 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.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Robert Putnik, 164380MAHB
Õppekava, peeriala: MAHB02/13 Mehhatroonika
Juhendaja(d): vanemteadur, Tanel Jalakas, 6203703
Konsultant: Harri Trampärk, elektroonikainsener
Martem AS, +372 5083780, harri@martem.ee

Lõputöö teema:

IP võrguühenduste lisamooduli loomine Telem-AGC seadmele Martem AS-is
IP networking expansion card for Telem-AGC in Martem AS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Üldine arusaam elektrisüsteemide automatiseerimise andmesidest.
2. Arendada Telem-AGC seadmele võrguühendustega lisamoodul.
3. Testida arendatud lisamoodulit.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kirjanduse läbitöötamine, struktuuriskeemi koostamine	26.02
2.	Trükkplaadi projekteerimine lõpetatud, testimiste läbiviimine	30.04
3.	Töö kokkuvõtte ning lõpliku versiooni vormistamine	14.05

Töö keel: Eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: 18.05.2021

Üliõpilane: Robert Putnik ".....".....2021

Juhendaja: Tanel Jalakas ".....".....2021

Konsultant: Harri Trampärk ".....".....2021

SISUKORD

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut.....	4
EESSÕNA.....	6
Lühendite ja tähiste loetelu	7
SISSEJUHATUS	8
1. ÜLEVAADE ELEKTRISÜSTEEMIDE AUTOMATISEERIMISE ANDMESIDE STANDARDITEST.....	9
1.1 IEC 61850.....	9
1.1.1 Kasutusala	9
1.1.2 Alajaama ja juhtimiskeskuse side IEC 61850 baasil.....	10
1.2 Modbus.....	11
1.2.1 Modbusi kasutusala ning tööpõhimõte	12
2. LIIASUS ELEKTRIALAJAAMADES.....	13
2.1 PRP.....	13
2.2 HSR.....	14
2.3 PRP ja HSR omavaheline ühendamine	15
3. Telem-AGC SWITCH	17
3.1 Telem-AGC Switch lisamooduli struktuuriskeem	17
3.2 Põhiliste komponentide valik.....	18
3.2.1 KSZ9477S	18
3.2.2 LAN9500	19
3.2.3 MSP430FR2476TRHB.....	21
3.2.4 DP83869HM.....	21
3.3 Trükkplaat.....	22
4. TULEVIK.....	24
KOKKUVÕTE.....	25
SUMMARY.....	26

EESSÕNA

Antud lõputöö teema pakkus välja ettevõtte Martem AS. Töö eesmärgiks oli luua võrguühendustega lisamoodul olemasolevale Telem-AGC seadmele, millel oleks SFP liidesed ning liiasuse (PRP ja HSR) tugi. Välja arendatava lisamooduli tööülesanne on ühenduda tänapäevaste elektrialajaamades kasutatavate automaatikaseadmetega, millel on optilised ühendused. Töös viiakse läbi komponentide analüüs, projekteeritakse trükkplaadi prototüüp. Töö on teostatud ettevõttes Martem AS.

Käesoleva töö autor soovib tänada Martem AS töötajat Harri Trampärk ning juhendajat vanemteadur Tanel Jalakas.

Lühendite ja tähiste loetelu

IEC - Rahvusvaheline Elektrotehnika Komisjon (ingl k International Electrotechnical Commission)

IED – tark elektrooniline seade (ingl k intelligent electronic device)

TCP/IP – Internetiprotokollistik (ingl k Internet protocol suite)

SCADA – arvutisüsteemide ja sidevõrkude abil toimuv tehniliste protsesside jälgimine ja juhtimine (ingl k supervisory control and data acquisition)

PLC – programmeeritav loogikakontroller (ingl k programmable logic controller)

RTU – kaugterminaliüksus (ingl k remote terminal unit)

TCP – edastusohje protokoll (ingl k transmission control protocol)

PRP – paralleelse liiasuse protokoll (ingl k parallel redundancy protocol)

HSR – kõrgvalmiduslik sujuv liiasus (ingl k high-availability seamless redundancy)

DAN – kahe pordiga seade (ingl k double attached node)

SAN – ühe pordiga seade (ingl k single attached node)

MAC-aadress – meediumpöörduse juhtimise aadress (ingl k media access control address)

SFP – transiiveri tüüp (ingl k small form-factor pluggable)

SGMII – jadaside gigabitine meediumist sõltumatu liides (ingl k serial gigabit media-independent interface)

RGMII – koondatud gigabitine meediumist sõltumatu liides (ingl k reduced gigabit media-independent interface)

MII – meediumist sõltumatu liides (ingl k media-independent interface)

RMII – koondatud meediumist sõltumatu liides (ingl k reduced media-independent interface)

PHY – füüsiline kiht (ingl k physical layer)

PTP – täpne aja protokoll (ingl k precision time protocol)

EEPROM – elektriliselt kustutatav programmeeritav püsimälu (ingl k electrically erasable programmable read-only memory)

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on üha enam kasutusel automatiseeritud seadmeid, mis hõlbustavad tööd. Samal põhjusel on ka elektrialajaamades kasutusel automaatikaseadmed, tänu millele saab kaugelt jälgida ja juhtida elektrialajaama tööd, mis tagavad elektrialajaama töökindluse. Rikke korral on juhtimiskeskusest näha rikkis seadet ning seejärel saab saata välja meeskonna, kes rikke kõrvaldab. Ilma automaatikata peaks alajaamades käima meeskond tihedamini kontrollide tegemiseks, et kõik oleks töökorras. Selline töö on väga aeganõudev ja majanduslikult kulukas. Tänu tänapäeva tehnoloogia arengule on võimalik elektrialajaamu kaugelt hallata. Sellise andmeside jaoks on samuti vajalik töökindlus ning selle tagab liiasus. Kui üks võrguühendus peaks katkema, siis mööda teist võrku toimub andmevahetus automaatikaseadmete vahel edasi. Antud töö kirjeldab elektrialajaamade andmeside standardeid, liiasusprotokolle ning neid probleeme lahendatava seadme projekteerimist.

Peamiseks lahendatavaks probleemiks on Martem AS poolt välja pakutud olemasolevale Telem-AGC seadmele uue lisakaardi projekteerimine, millel oleks ühilduvus tänapäevaste elektrialajaamade automaatikaseadmetega ning liiasuse tugi.

Käesoleva töö esimeses peatükis antakse ülevaade elektrisüsteemide automatiseerimise andmeside standarditest ning lähemalt on kirjutatud IEC 61850 ning Modbusi protokollid. Teises peatükis on kirjeldatud elektrialajaamades kasutatavate liiasuste protokolle HSR ja PRP. Kolmandas peatükis kirjeldatakse Telem-AGC Switch lisamooduli projekteerimist, komponentide valikut ning nende kirjeldusi. Neljandas peatükis on kirjeldatud tulevikus edasi arendamisest.

Lõputöös on kasutatud trükkplaadi projekteerimiseks EAGLE ja KiCad tarkvarasid.

1. ÜLEVAADE ELEKTRISÜSTEEMIDE AUTOMATISEERIMISE ANDMESIDE STANDARDITEST

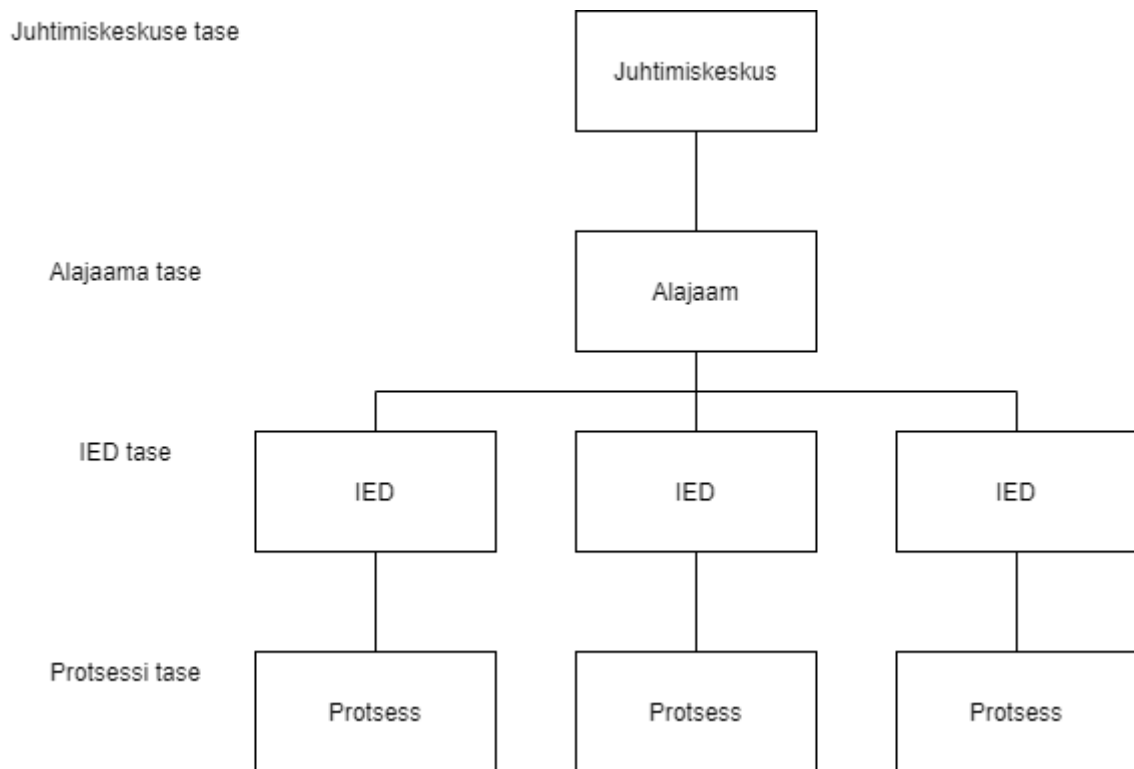
Elektrialajaamade automatiseerimiseks on vajalik seadmete vaheline andmeside. Automatiseerimine võimaldab teha monitooringut ning juhtida seadmeid alajaamas, et tagada töökindlus ning efektiivsus. Et kõik toimiks korrapäraselt, on vaja side andmete vahel standardiseerida. Enim kasutuses olevad standardid on IEC 61850, Modbus, IEC 60870 ning DNP3.[1] Järgmistes peatükkides tutvustatakse IEC 61850 ning Modbusi standardit.

1.1 IEC 61850

IEC 61850 standardit esitleti 2004. aastal. Standard defineerib sidet tarkade elektrooniliste seadmete (IED) ja alajaamade vahel. IEC 61850 on tänu TCP/IP kommunikatsiooniplatvormile kasutatav ka laia võrgu kommunikatsioonitehnoloogiates. Standardiseerimise töögrupid fokuseerisid uutele aladele nagu alajaama-alajaama vaheline side ning juhtimiskeskuse ja alajaama vaheline side.[2]

1.1.1 Kasutusala

Infovahetus on põhiülesanne alajaama ja juhtimiskeskuse vahelisel kommunikatsioonil. Joonisel 1.1 on kujutatud plokk skeemina automatiseeritud elektrisüsteemi ning nende juhtimise tasemeid. Infovahetus süsteemide ja komponentide vahel on näidatud joontega.



Joonis 1.1 Elektrisüsteemi juhtimise ja automatiseerimise skeem

Kaitse, juhtimine ning monitoring seadmetele on funktsioonid, mis peavad olema teostatud alajaama automatiseeritud süsteemi poolt. Targad elektroonilised seadmed küsivad seadmetest staatust ja mõõtetulemusi ning juhul kui toimub juhtimiskäsk või automaatkaitselüliti rakendumine, edastatakse info seadmetele läbi protsessliidese. Tarkade elektrooniliste seadmete vaheline side toimub nende endi vahel alajaama sees, näiteks juhtimise takistamine. Juhtimise ja järelevalve eesmärgil toimub infovahetus vertikaalselt. Targast elektroonilisest seadmest läbi alajaama juhtimiskeskusesse ning vastupidi.[2]

1.1.2 Alajaama ja juhtimiskeskuse side IEC 61850 baasil.

Tüüpilised kasutusala alajaama ja juhtimiskeskuse vahelise side jaoks on järgmised:

- SCADA
- Mõõtmine
- Aja sünkroniseerimine
- Rikete edastamine

- Laia ala monitooring
- Elektrienergia kvaliteedi monitooring
- Vara järelevalve
- Parameetrite ning konfiguratsiooni muutmine

SCADA kasutusala sisaldab hetkelist ning perioodilist seisundi informatsiooni või mõõtmistulemust alajaamast juhtimiskeskusesse. Lisaks on võimalik jälgida alajaamu individuaalselt või rühmiti. Samuti võimaldab SCADA alajaamade kaugjuhtimist juhtimiskeskusest.

Mõõtmine sisaldab infovahetust integreeritud mõõtetulemustest alajaamadest.

Aja sünkroniseerimine on vajalik, et kõik alajaamad ja targad elektroonilised seadmed on ajaliselt omavahel kogu süsteemiga sünkroniseeritud. See on oluline rikete analüüsimisel ning monitooringuks.

Laia ala monitooringu kasutusosalal kasutatakse spetsiaalseid seadmeid, millega mõõdetakse pinget või voolutugevust ning saadetakse läbi alajaamade juhtimiskeskustesse.

Elektrienergia kvaliteedi monitooring sisaldab parameetrite omandamist ning saatmises juhtimiskeskustesse, näiteks pingelangused, katkestused ning korrapäratu võnkumine individuaalsetes vahetasemetes ning alajaamades.

Vara järelevalve puhul koguvad ning saadavad targad elektroonilised seadmed info juhtimiskeskusesse, kus spetsiaalse programmiga hinnatakse vara seisundit. Näiteks turvakaamerate kasutamine alajaamades.

Distsantsilt parameetrite ning konfiguratsiooni muutmine juhtimiskeskusest võib sisaldada kaitseseadmete muutmist ilmast tulenevate muutuste tõttu. Lisaks saab lülitada tarku elektroonilisi seadmeid töörežiimist hooldusrežiimi. [2]

1.2 Modbus

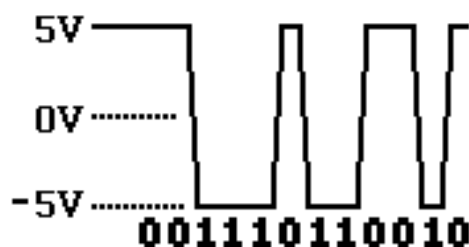
Modbus on jadaside protokoll, mis on arendatud välja Modiconi poolt 1979. aastal. Esmalt kasutati seda Modiconi programmeeritavates loogikakontrollerites (PLC).

Seade, mis küsib informatsiooni, kutsutakse Modbus ülemaks (ingl k Modbus master) ning seade, mis annab informatsiooni, kutsutakse Modbus alamaks (ingl k Modbus slave). Standardi järgi on üks ülem ning kuni 247 alamseadet, igal unikaalne alamaadress vahemikus 1-247. Lisaks saab ülem kirjutada informatsiooni alamseadmetele.[3]

1.2.1 Modbusi kasutusala ning tööpõhimõte

Modbus on avatud protokoll, ehk selle kasutamiseks ei pea maksma litsentsitasusid. Nüüdseks on Modbusist saanud üks kasutatavamaid infoedastusprotokolle elektroonikaseadmetes. Modbusi kasutatakse tihtipeale arvuti ning RTU vahelises ühenduses SCADA süsteemides. Erinevad režiimid eksisteerivad, millest kaks on jadaühenduse režiimid (Modbus RTU ning Modbus ASCII) ja üks on Ethernet režiim (Modbus TCP).

Modbus infovahetus toimub jadaside põhimõttel. Lihtsaim seadistus oleks üks kaabel kahe seadme vahel, ülem ja alam. Andmed saadetakse bitijadana, kus 0 väärtusega bitt saadetakse positiivse pingega ning 1 väärtusega bitt saadetakse negatiivse pingega (joonis 1.2). Tavaliselt kasutatakse ühenduse kiirust 9600 bitti sekundis.[3]



Joonis 1.2 ModBus andmeedastuse graafik [3]

Et andmevahetus, olgu selle edastamiseks kasutusel ModBus, IEC 61850 või mõni muu standard, tarkade elektrooniliste seadmete vahel toimiks sujuvalt, on tähtis kasutada liiasüsteeme. Need süsteemid vähendavad rikete tekkimist ning hoiavad alajaamade sidet stabiilsemana.

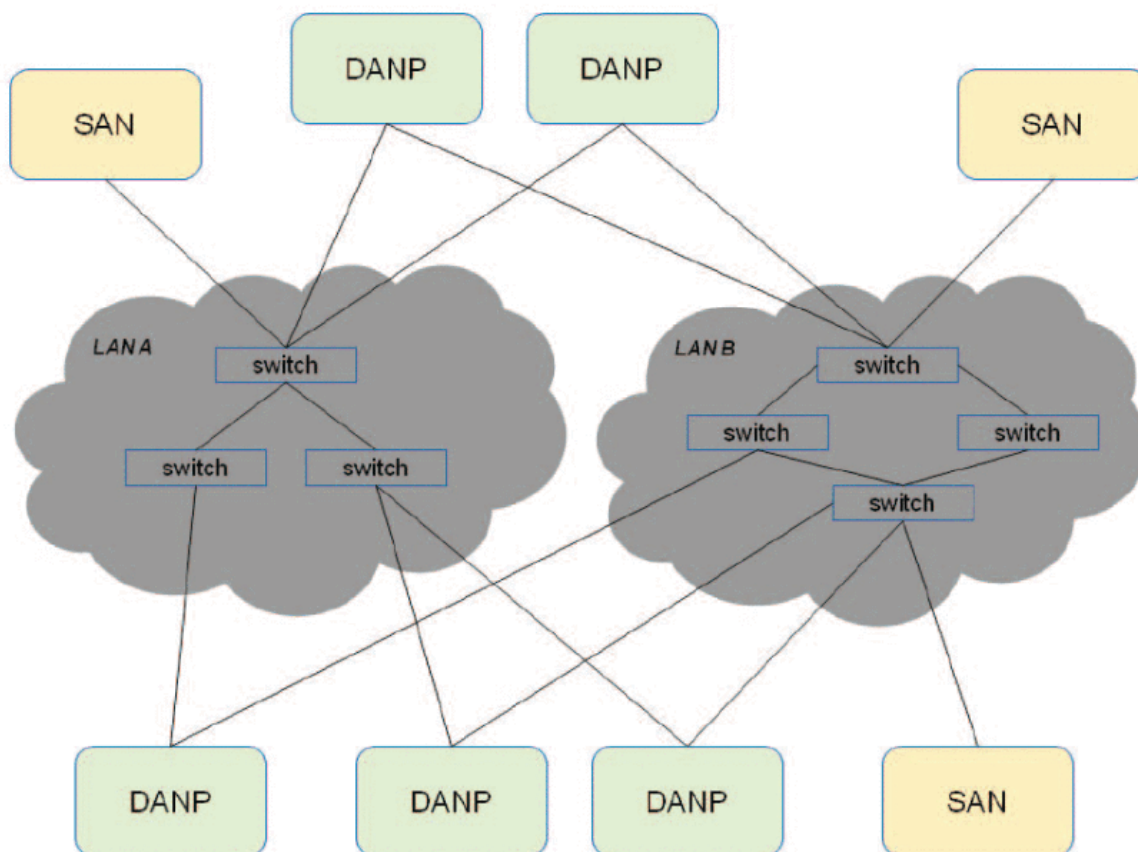
2. LIIASUS ELEKTRIALAJAAMADES

Liiasus on üks võtmenõuetest elektrialajaamades. See on tähtis automaatsete alajaamade töö sujuvaks toimimiseks. Liiasussüsteemid eemaldavad üksikrikke tekkimist ja parandavad üleüldist süsteemi kättesaadavust, turvalisust ning töökindlust. Üha rohkem on alajaamades kasutusel Etherneti kasutamine elektrisüsteemide kaitsel, seega liiasuse nõudmine ei kata ära ainult releekaitseid vaid ka sidesüsteeme alajaama sees. Et saavutada kõrget süsteemi töökindlust ning saadavust, peavad sidesüsteemid vältima andmeside katkemise, kui üks elementidest lõpetab töö.

Paralleelse liiasuse protokoll (PRP) ja kõrgvalmiduslik sujuv liiasus (HSR) on loodud töökindlaks tööstusliku andmeside liiasuseks ning on standardiseeritud ja kirjeldatud IEC 62439-3 standardis. HSR ja PRP toimivad samal printsiibil, kus liiasus saavutatakse andmevahetuse dubleerimisel. Pakkudes aktiivset liiasust, seetõttu ka katkematut side ümberkorraldamist kommutaatori või ühenduse rikke puhul, on HSR JA PRP sattunud alajaamade andmeside huviorbiiti, kus on kasutusel IEC 61850-9-2 ja IEC 61850-8-1 standardid. PRP-d ja HSR-i kasutatakse erinevates võrgutopoloogiates, mida kirjeldatakse järgnevatel peatükkides.[4]

2.1 PRP

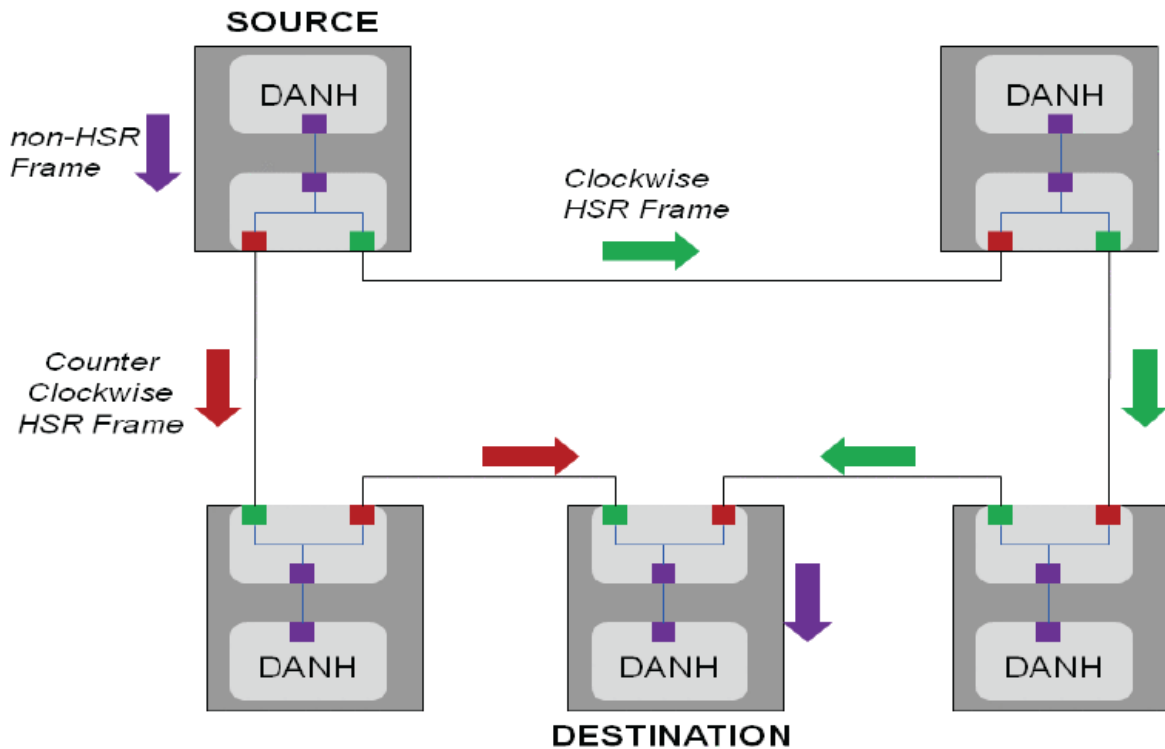
Paralleelse liiasuse protokoll rakendab liiasust seadme tasemel läbi kahe pordiga seadme, inglise keeles DAN (double attached node). Ühe pordiga seade, mida saab korraga ühendada ainult ühte võrku, on SAN (single attached node). PRP puhul on kasutusel DANP (double attached node with PRP). DANP ühendatakse kahte iseseisvasse kohtvõrku, näiteks LAN A ja LAN B, mis toimivad paralleelselt (joonis 2.1). Saatev seade saadab andmed läbi mõlema kohtvõrgu ning vastuvõttev seade võtab mõlemast võrgust saadetud andmed vastu, kasutab esimesena jõudnut ning tühistab hilisemast kohtvõrgust tulnud andmed. Kaks kohtvõrku on identsed protokollide tasemel, kuid võivad erineda topoloogiliselt. Õigesti töötamiseks peavad mõlemad kohtvõrgud järgima konfigureerimisreegleid, mis lubavad võrgu haldamise protokolle nagu näiteks ARP (ingl k address resolution protocol).[4]



Joonis 2.1 PRP kasutamise näide, kus on viis DANP-d ühendatud LAN A ja LAN B kohtvõrku ning kolm SAN-i ühetatud kas LAN A või LAN B kohtvõrku [4]

2.2 HSR

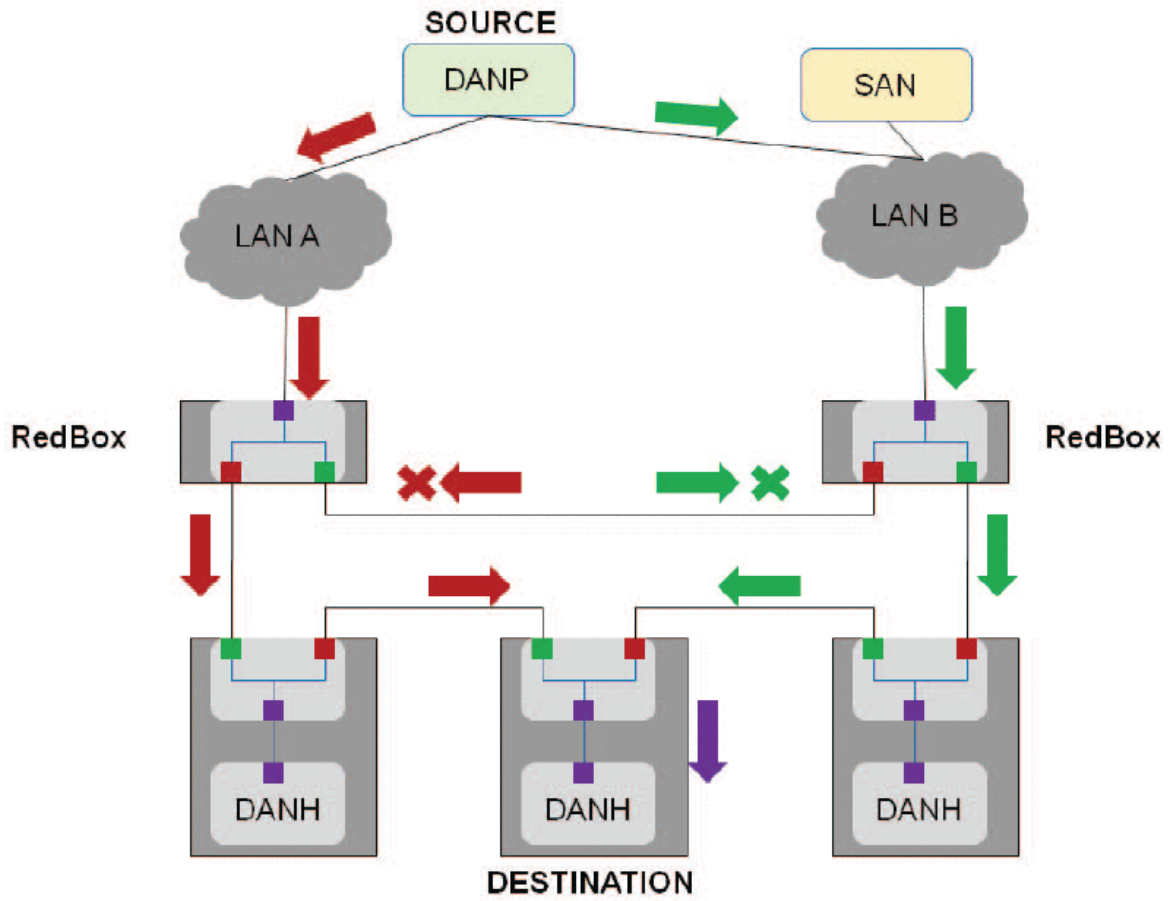
Kõrgvalmiduslik sujuv liiasuse protokoll kasutab sarnaselt paralleelse liiasuse protokollile katkematut ümberkorraldamist rikke korral. HSR puhul ühendatakse kahe pordiga seade samuti paralleelselt. Seadmeid nimetatakse DANH (double attached node with HSR protocol). HSR puhul on topoloogia PRP-ga võrreldes erinev. Joonisel 2.2 näidatud DANH seadmed ühendatakse ringvõrku, kus saatev seade (Source) saadab samaaegselt andmed ringi mõlemas suunas, kus vastuvõttev seade (Destination) aktsepteerib esimesena kätte saadud paketi ning tühistab hiljem jõudnu. Iga saadetud pakett sisaldab vastuvõtva DANH MAC aadressi ning HSR märgist, millega tuvastatakse õige vastuvõtu seade.[4]



Joonis 2.2 näide viiest DANH seadmest HSR ringvõrgus ning andmevahetus ühe saatja ja vastuvõtja vahel [4]

2.3 PRP ja HSR omavaheline ühendamine

HSR võrku võib ühendada PRP võrguga kasutades kahte RedBox (redundancy box) seadet. RedBox ehk liiasusemoodul koosneb kolmest Etherneti pordist. Kaks ühendatakse liiasusega ning üks on traditsiooniline Etherneti port. HSR ja PRP ühendamiseks läheb üks RedBox ühe PRP kohtvõrgu ja teine teise kohtvõrgu ühendamise jaoks (joonis 2.3).[4]



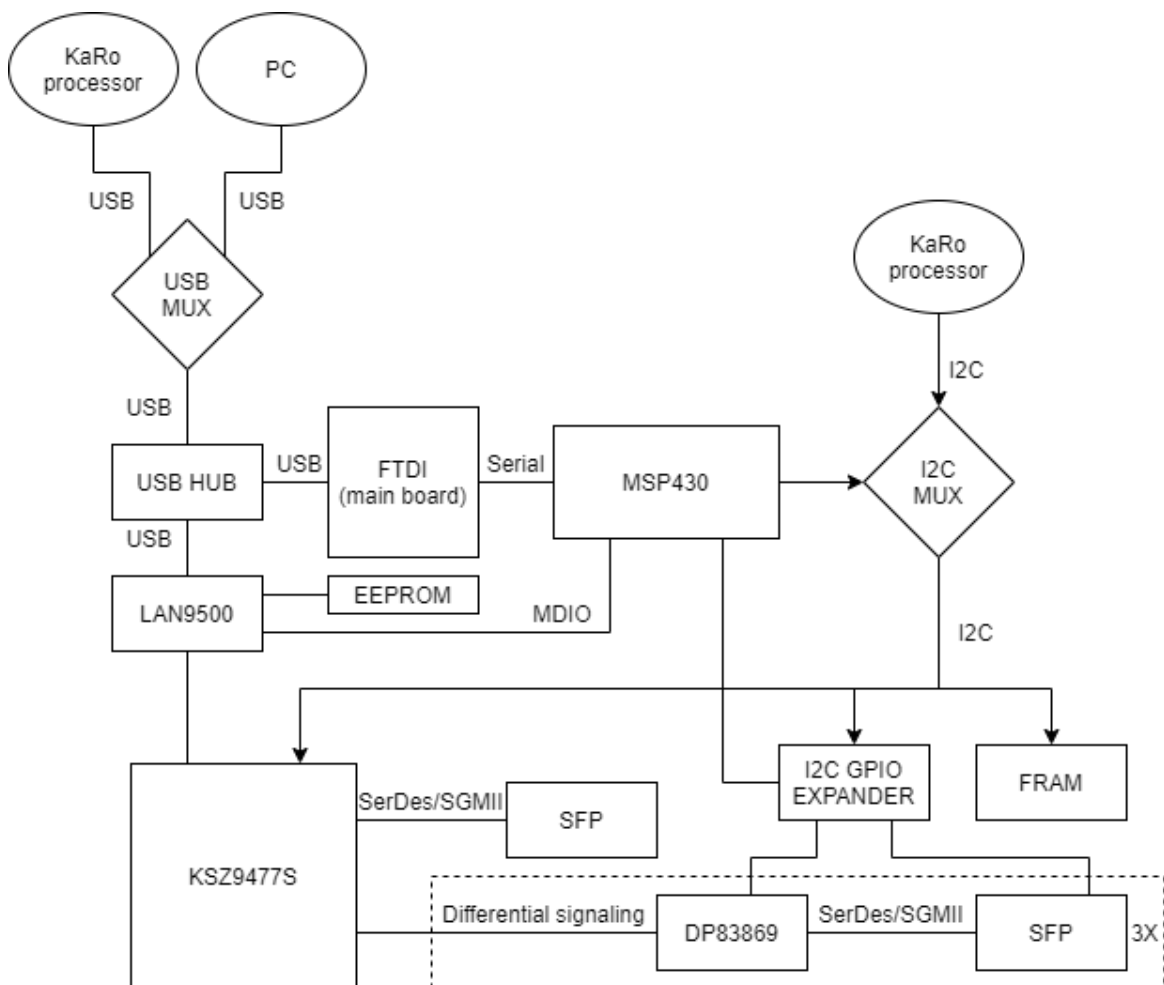
Joonis 2.3 HSR ja PRP võrkude omavaheline ühendamine kasutades kahte RedBox-i [4]

3. Telem-AGC SWITCH

Ettevõtte Martem AS soovis arendada oma olemasolevale Telem-AGC seadmele lisamoodulit, millel on SFP liidesed ning liiasuse (PRP ja HSR) tugi. Välja arendatava lisamooduli tööülesandeks on ühenduda tänapäevaste elektrialajaamades kasutatavate automaatikaseadmetega, millel on optilised ühendused.

3.1 Telem-AGC Switch lisamooduli struktuuriskeem

Käesolevas töös väljaarendatava lisamooduli struktuuriskeemis (joonis 3.1) on kujutatud nii lisamoodulit, kui ka Telem-AGC põhiplaadil olevaid olulisi komponente. Komponentide valik on tulnud nii saadavusest, sobivusest Telem-AGC põhiplaadiga, kui ka eelnevatest kogemustest Martem AS seadmete arendamises.



Joonis 3.1 AGC Switch lisamooduli struktuuriskeem

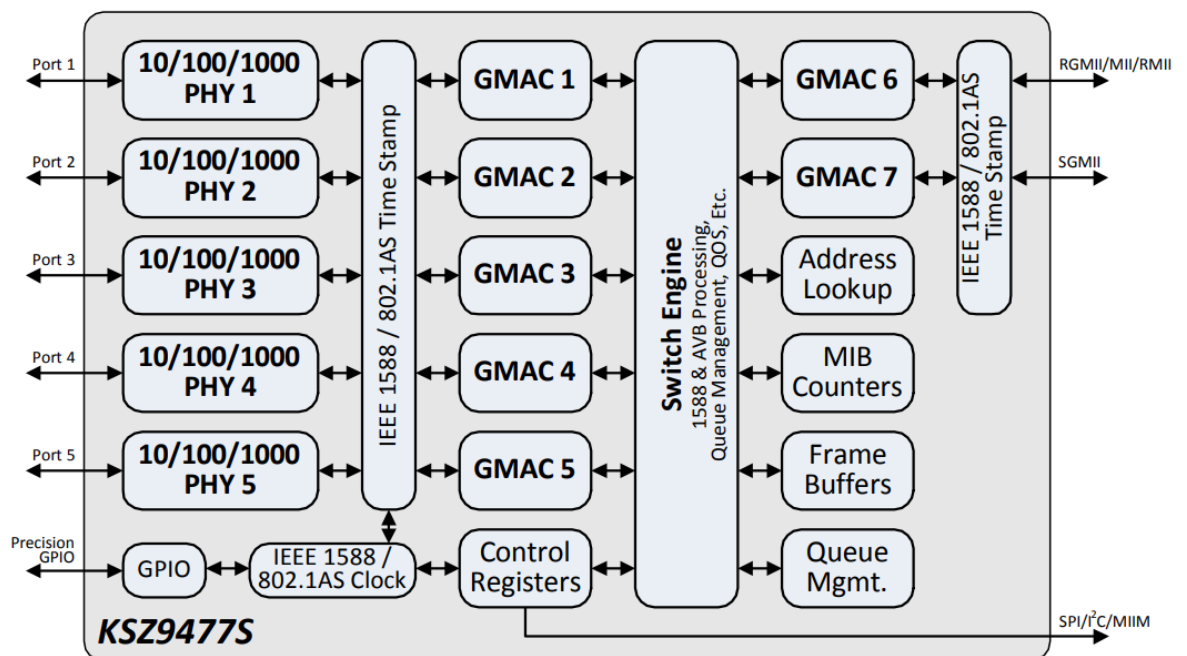
3.2 Põhiliste komponentide valik

Siin peatükis on kirjeldatud Telem-AGC Switch lisamooduli põhiliste komponentide parameetrid, kasutusala ning blokkdiagrammid. Loetelu põhilistest komponentidest:

- KSZ9477S – gigabitine Ethernet kommutaator ringliiasuse toega
- LAN9500 – USB to Ethernet adapter
- MSP430FR2476TRHB - mikrokontroller
- DP83869HM – gigabitine Etherneti PHY transiiver

3.2.1 KSZ9477S

7-pordiline gigabitine Ethernet kommutaator ringliiasuse ning SGMII ja RGMII/MII/RMII liidestega. IEEE 802.3 nõuetele vastav võrguseade, mis sisaldab hallatud gigabitist kommutaatorit, viis 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T füüsilise kihi (PHY) transiiverit ja nendega seotud MAC üksust, kahte individuaalset konfigureeritavat MAC porti (üks SGMII liidese ja teine RGMII/MII/RMII liidese jaoks) otse ühendamise protsessori, teise kommutaatori või PHY transiiveri külge. SGMII pordil on kaks töörežiimi: SerDes ning SGMII.[5]



Joonis 3.2 KSZ9477S blokkdiagramm[5]

Kasutusala:

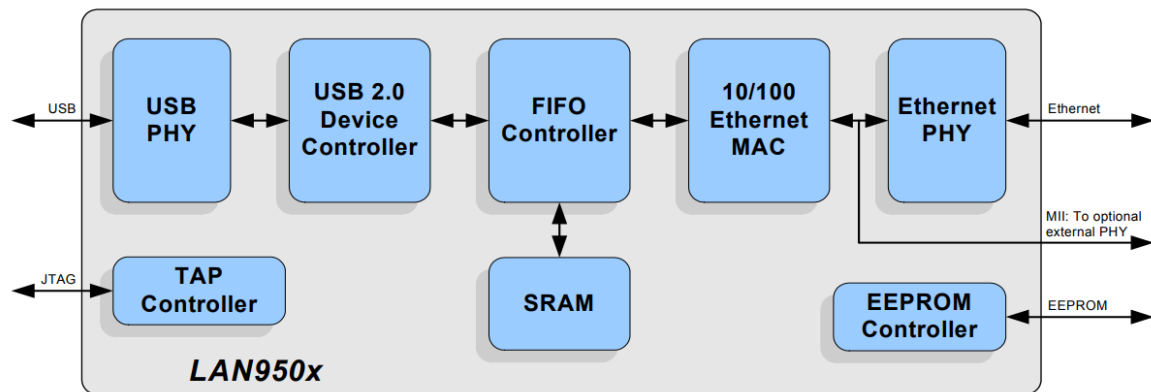
- Tööstuslik Ethernet (Profinet, Modbus, Ethernet/IP)
- Reaalaja Etherneti võrk
- IEC 61850 võrgud elektrialajaama automaatikaga
- Tööstusliku juhtimise/automaatika lülitid
- Võrguühendusega mõõte- ja juhtimissüsteemid
- Testimis- ja mõõteriistad

Funktsioonid:

- Kommutaatori haldamise võimekus
- Üks väline MAC port koos SGMII toega
- Üks väline MAC port koos RGMII/MII/RMII toega
- Viis integreeritud PHY porti
- Ringliiasus HSR toega
- IEEE 1588v2 PTP ja aja sünkroniseerimine
- Ulatuslik registrite seadistamine
- Energiahaldus

3.2.2 LAN9500

LAN9500 on suure jõudlusega lahendus USB-st 10/100 Etherneti pordi sildamiseks. Kasutusala on manussüsteemid, digiboksid, USB pordi replikaatorid, USB-Ethernet tongelid ja testimisseadmed. LAN9500 on suunatud kui suure jõudlusega ning madala hinnaga USB-Ethernet ühenduvuse lahendus. [6]



Joonis 3.3 LAN9500 blokkdiagramm [6]

LAN9500 sisaldab:

- integreeritud 10/100 Ethernet PHY
- USB PHY
- USB 2.0 kontrolleri
- 10/100 Ethernet MAC
- TAP kontrolleri
- EEPROM kontrolleri
- FIFO kontrolleri

Sisemine USB 2.0 kontrolleri ning USB PHY vastab USB 2.0 Hi-Speed standardile. Ethernet kontrolleri toetab automaatset läbirääkimist, automaatset polaarsuse korrigeerimist ning vastab IEEE 802.3 ja 802.3u standarditele. Väline MII liides võimaldab tuge välisele kiire Etherneti füüsilisele kihile.

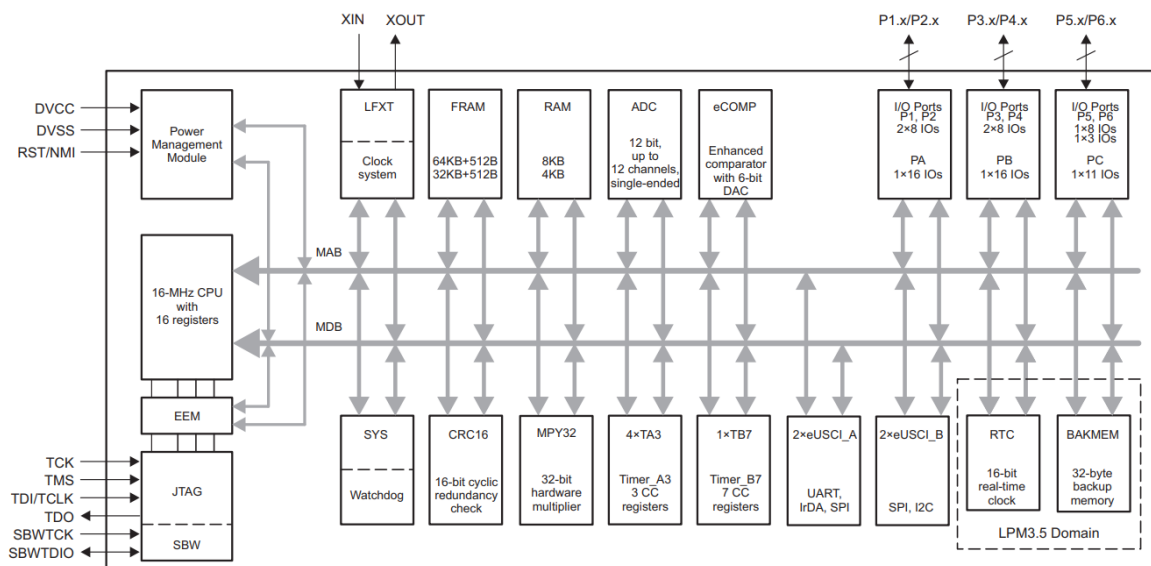
Mitmeid energiahaldus funktsioone on võimalik kasutada, nende hulgas Wake On LAN ja Link Status Change.

Sisene EEPROM kontrolleri on laadimiseks erinevate USB konfiguratsioonide ja seadme MAC aadressi jaoks. Integreeritud IEEE 1149.1 vastav TAP kontrolleri võimaldab skännimist JTAG-i kaudu.[6]

3.2.3 MSP430FR2476TRHB

MSP430FR247x mikrokontrollerid on MSP430 seeria mikrokontrollerite väga madala volutarbe ning madala hinnaga kontrollerid. MSP430FR247x kontrollerid sisaldavad 12-bitist järjestikulist ligikaudset analoog-digimuundurit ja ühte komparaatorit. Lisaks on mikrokontrollerile olemas suur valik riist- ja tarkvaralisi viiteprojekte ning koodinäited, mis kiirendavad tootearendamist.

Mikrokontrollerid sisaldavad 16-bitist RISC protsessorit, 16-bitiseid registreid ja konstantide generaatoreid, mis tagavad tõhusa töö. Digitaalselt kontrollitav ostsillaator lubab mikrokontrolleril ärgata madala energia režiimist aktiivsesse režiimi vähem kui 10 mikrosekundiga. [7]



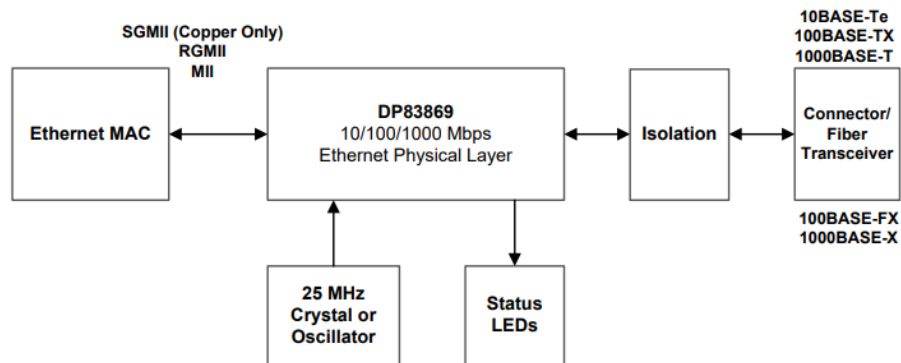
Joonis 3.4 MSP430FR247x blokkdiagramm [7]

3.2.4 DP83869HM

DP83869HM on jõuline gigabitine PHY transiiver, millel on integreeritud PMD vahekihid, mis toetavad 10BASE-Te, 100BASE-TX ja 1000BASE-T Etherneti protokolle. Lisaks on tugi 1000BASE-X ja 100BASE-FX fiiber protokollidele. Optimeeritud ESD kaitsele, DP83869HM ületab 8 kV IEC 61000-4-2 otsese kontaktiga. See seade liidestub MAC kihile läbi RGMIII ja SGMII. 100M režiimis on seade disainitud kasutama MII-d vähendamaks latentsust.

DP83869HM toetab andmete teisendamist hallatud režiimis. Selles režiimis saab jooksutada 1000BASE-X – 1000BASE-T ja 100BASE-FX – 100BASE-TX teisendamisi.

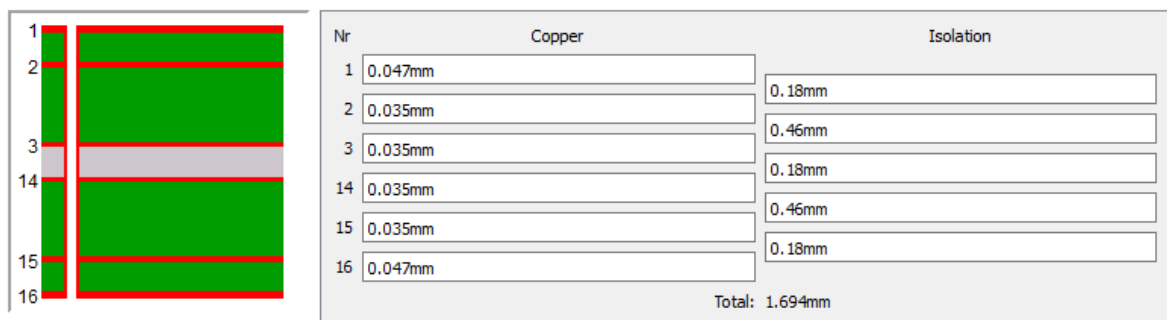
Lisaks on olemas tugi sillatud teisendamisele RGMII-st SGMII-sse ja vastupidi. DP83869HM vastab TSN standarditele ning pakub väikest latentsust.[8]



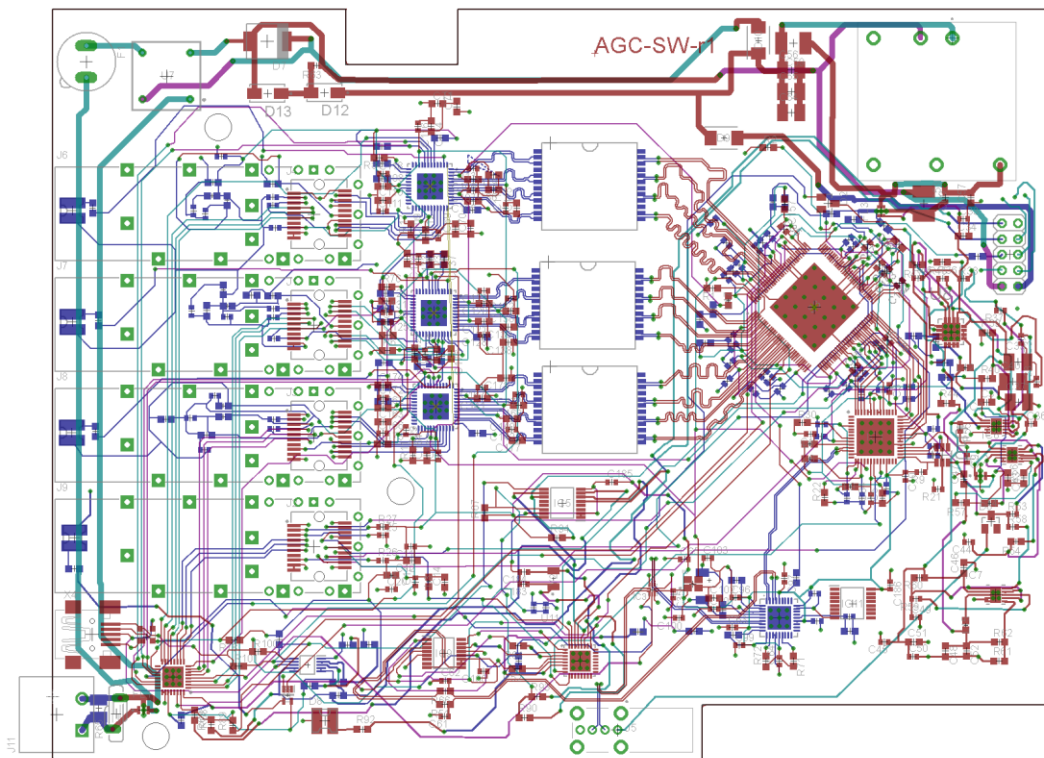
Joonis 3.5 DP83869HM blokkdiagramm [8]

3.3 Trükkplaat

Esimese trükkplaadi arendamisel on kasutatud tarkvara EAGLE 6.6.0. Joonisel 3.7 on kujutatud trükkplaadi läbilõige. Tegemist on kuuekihilise plaadiga, mille välimised vasekihid on 0,047 mm paksused, sisemised 0,035 mm paksused ning isolatsioonikihid on vaheldumisi 0,18 mm ja 0,46 mm paksused. Arendatava trükkplaadi maksimaalsed mõõtmed on 160x120 mm. Esimese prototüübi (kujutatud joonisel 3.7) loomisel tuli trükkplaati sisse palju vigu, näiteks läksid erinevate pingetega juhtmed kokku ja osade komponentide jalajäljed olid valedes mõõtmetes. Trükkplaati sai proovitud küll parandada, kuid edutult.



Joonis 3.6 trükkplaadi kihtide paksused EAGLE tarkvaras



Joonis 3.7 projekteeritud trükkplaat EAGLE tarkvaras

Projekteerimisel tuli arvesse võtta Telem-AGC suurust ning ühilduvust põhiplaadiga. Telem-AGC Switch lisamoodul kinnitatakse põhiplaadile jätkumutrite abil. Elektromagnetilise ühilduvuse saavutamiseks on projekteerimisel kasutatud filtreid ja drosseleid. Lisaks on proovitud vältida pikki paralleelseid juhtmeid ühel kihil ning selle vähendamiseks on induktiivsust ühtlustatud läbiviikude abil.

Teise prototüübi loomist alustati nullist ning võeti kasutusele KiCad, mis on EAGLE tarkvaraga võrreldes oluliselt intuitiivsem. Teise prototüübi projekteerimisel on arvestatud sellega, et kriitiliste signaalide elektromagnetiliste häirete vähendamiseks tuleks panna need juhtmed trükkplaadi sisemistele kihtidele, näiteks diferentsiaalpaarid KSZ9477S ja DP83869 vahel. Teise trükkplaadi projekteerimine on hetkel pooleli ning edasine arenduskäik on kirjeldatud järgmises peatükis.

4. TULEVIK

Lõputöö käigus ei saanud Telem-AGC Switch lisamoodul valmis, kuid selle arendamine jätkub siiski edasi. Enne tootmisküpsiks saamist on vaja veel teine prototüüp valmis projekteerida, seda testida ning kontrollida üle elektromagnetilist sobivust. Lisaks tuleb testida SFP pordid erinevate turul olevate moodulitega, et näha, millistega on ühilduvus ning kui töökindel projekteeritud lisamoodul tuli.

Telem-AGC seadmele on võimalik lisada erinevaid lisamoduleid, seda arvestades on seadme korpus disainitud lisaruumiga. Joonisel 4.1 on kujutatud Telem-AGC seadet, millel on kaks IO lisamoodulit. Telem-AGC Switch lisamooduli müügikõlblikuks saamiseks tuleb veel projekteerida korpusele uus esipaneel, arvestades lisamoodulil olevate SFP portide asukohaga.



Joonis 4.1 Telem-AGC kahe IO lisamooduliga.[9]

KOKKUVÕTE

Antud lõputöö jaoks seatud eesmärgid said osaliselt täidetud. Töö käigus projekteeriti Telem-AGC Switch lisamooduli esimene prototüüp, mille edasiarendus jätkub.

Töö esimeses peatükis tehti ülevaade elektrisüsteemide automatiseerimiseks kasutusolevatest andmeside standarditest, nende tööpõhimõttest ja kasutusala. Lähemalt on kirjutatud IEC 61850 ning Modbusi protokollidest.

Teises peatükis on kirjeldatud liiasuse kasutamist elektrialajaamades ning lähemalt on kirjeldatud kahte liiasuse protokollit, PRP ja HSR. Liiasuse kasutamisega saavutatakse süsteemide töökindlus ning välditakse rikete tekkimist. PRP puhul luuakse kaks kohtvõrku, kuhu ühendatakse kahe pordiga seadmed. Saatev seade edastab andmed läbi mõlema võrgu ning vastuvõttev seade võtab mõlemast võrgust andmed vastu, kasutades ainult esimesena jõudnud andmeid. HSR puhul kasutatakse samuti kahe pordiga seadmeid, mis ühendatakse ringi, kus saatev seade saadab samaaegselt andmed ringi mõlemas suunas ning vastuvõttev seade aktsepteerib esimesena kätte saadud andmed. Lisaks on peatükis kirjeldatud ka PRP ja HSR omavaheline ühendamine, milleks kasutatakse RedBox seadmeid.

Töö kolmandas peatükis kirjeldatakse arendatavat seadet Telem-AGC Switch lisamoodul. Lisamoodulile sooviti SFP liideseid ning PRP ja HSR tuge. Lisamoodul peab ühenduma tänapäevaste elektrialajaamades kasutatavate automaatikaseadmetega.

Selles peatükis on välja toodud nii struktuuriskeem kui ka olulisemate komponentide nimekiri koos parameetrite ja blokkdiagrammidega. Samuti on peatükis kirjeldatud trükkplaadi arendamist, projekteerimisel tulenevaid takistusi ning elektromagnetilist ühilduvust.

Antud töö neljandas peatükis on kirjeldatud töö edasiarendamist ning mida lõputöö piiratud ajaga valmis ei jõutud. Edasiseks on teise prototüübi lõpetamine ja testimine ning samuti Telem-AGC seadme korpusele uue esipaneeli projekteerimine.

Lõputöö käigus ja lisamooduli projekteerimisega oli kokkupuuteid mitme mehhatroonika haruga, laienesid inseneriteadmised nii materjali läbikäimisel, probleemide lahendamisel kui ka projekteerimisel.

SUMMARY

In this thesis, the main problems were partially completed. During thesis, the Telem-AGC Switch expansion card first prototype was designed, and further development continues.

The first chapter describes the overview of communication protocol standards used in electrical substations. IEC 61850 and Modbus protocols are described in more detail.

The second chapter describes redundancy use in electrical substations and more details are written about two redundancy protocols, PRP and HSR. Redundancy usage helps system reliability and avoids failures in system work. In PRP case, two local networks are created where double attached nodes are connected. Source device sends data from both networks and destination device receives data from both networks but only uses data from first arrived network. In case of HSR double attached nodes are also used which are connected in ring where source device sends data in both directions and destination device only uses data received first. Second chapter also describes connection of PRP and HSR, which uses RedBox devices.

The third chapter describes development of the Telem-AGC Switch expansion card where SFP modules, PRP and HSR support was requested. The expansion module has to connect with electrical substations automation devices. In this chapter there is block diagram of expansion card and main components parameters and block diagrams. This chapter also describes development of PCB, problems resulting from design and electromagnet compatibility.

The fourth chapter describes future development and testing of the Telem-AGC Switch expansion card and designing new front panel to the Telem-AGC housing which support new module.

Over the course of thesis and development of expansion module I had contact in several fields of mechatronics. Research, problem solving and designing expanded my skills in engineering.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] J. Horalek, J. Matsyka, V. Sobeslav, "Communication protocols in substation automation and IEC 61850 based proposal", 2013, IEEE
- [2] H.Englert, H. Dawidczak, "IEC 61850 substation to control center communication – Status and practical experiences from projects", 2009, IEEE
- [3] Modbus. [Online] <https://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm> (10.05.2021)
- [4] G.Antonova, L. Frisk, J.C. Tournier "Communication redundancy for substation automation", 2011, IEEE
- [5] KSZ9477S Datasheet [Online]
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/KSZ9477S-Data-Sheet-DS00002392C.pdf> (10.05.2021)
- [6] LAN9500 Datasheet [Online]
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/00001875C.pdf> (10.05.2021)
- [7] MSP430FR247x Datasheet [Online]
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430fr2476.pdf?ts=1620563198267>
(10.05.2021)
- [8] DP83869HM Datasheet [Online]
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/dp83869hm.pdf?ts=1620563245042&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FDP83869HM (10.05.2021)
- [9] Telem-AGC infoleht [Online] <https://martem.eu/telem-agc-2/> (15.05.2021)