

Joona Ahola

Potilasvalvontamonitorien B450 ja B650 testauksen automatisoinnin laitteisto

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

4.5.2016

Tekijä Otsikko	Joona Ahola Potilasvalvontamonitorien B450 ja B650 testauksen automatisoinnin laitteisto
Sivumäärä Aika	21 sivua 4.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka ja terveydenhuollon tekniikka
Ohjaajat	Manufacturing Engineer Marko Laasonen Yliopettaja Matti Fischer
<p>Tässä insinööriyössä suunniteltiin ja rakennettiin automaattisen testauksen laitteistoa potilasvalvontamonitorille. Työ tehtiin GE Healthcare Finland Oy:lle. Työssä pyrittiin automatisoinnilla nopeuttamaan käytössä olleen testausprosessin läpikäymistä karsimalla käsin suoritettavat vaiheet mahdollisimman vähälle.</p> <p>Työ koostui automaattisen testauslaitteiston suunnittelusta ja kokoamisesta. Laitteiston tehtävänä oli tunnistaa visuaaliset ja auditiiviset testauksen kohteet, jotka aiemmin olivat testaushenkilökunnan tehtävänä. Laitteiston vastuualueelle kuului myös monitoreiden akkujen kytkennän ohjaus ja kosketusnäytön kalibrointi.</p> <p>Laitteisto koottiin LabVIEW-ohjelmointiympäristö mielessä pitäen, jotta sen yhteen sovittaminen aiemman testauslaitteiston ja -ohjelmiston kanssa olisi mahdollisimman vaivatonta.</p> <p>Lopputuloksena syntyi testausjärjestelmälle kehikko, relepiirit testerin pneumaattikalaitteiston ohjaukseen ja komponenttihankintoja lopuille testauskohteille. Testausjärjestelmä fyysisessä kokonaisuudessaan on vielä vaillinainen eikä testausohjelmistoa ole toteutettu.</p>	
Avainsanat	potilasvalvontamonitori, automaatio, testaaminen

Author Title	Joona Ahola Automated Testing Hardware of Patient Monitors B450 and B650
Number of Pages Date	21 pages 4 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electronics and Medical Engineering
Instructors	Manufacturing Engineer Marko Laasonen Matti Fischer, Principal Lecturer
<p>In this thesis the hardware for an automated tester of patient monitors was designed and built. The project was executed for GE Healthcare Finland Oy. The goal of the project was to speed up the testing process in use by automating it and minimizing the need for manual tasks.</p> <p>The project consisted of designing and assembling the testing hardware. The hardware's task was to recognize the visual and auditive objects of the testing process, which was formerly a duty for the testing personnel. Also controlling the contacts of the devices' batteries and calibrating the touch screen are included in the responsibilities of the hardware.</p> <p>The hardware was assembled with the programming environment LabVIEW's capacities taken into account to assure the ease of combining the new tester with the tester in use and its software.</p> <p>As a result, a structure was built for the testing system, relay circuits to control the tester's pneumatic hardware, and hardware acquisitions were made for the rest of the tester's objects. Physically the testing hardware is still incomplete and the testing software has not been carried out.</p>	
Keywords	patient monitor, automation, testing

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Laitteiden testaaminen	2
3	Testattava laitteisto	3
3.1	Testattavat potilasvalvontamonitorit	3
3.1.1	B450	3
3.1.2	B650	4
3.2	Testauskohteet potilasvalvontamonitoreissa	5
3.2.1	Visuaaliset testaukset	5
3.2.2	Auditiiviset testaukset	5
3.2.3	Kosketusnäyttö ja painikkeet	5
4	Laitteiston testauksen automatisointi	6
4.1	Kuva	8
4.2	Ääni	10
4.3	Kosketusnäyttö ja painikkeet	11
4.4	Ohjausyksiköt	12
4.4.1	Releet	15
4.4.2	MOSFET:it	16
4.5	Testauskehikko ja akku	17
5	Yhteenveto	19
	Lähteet	22

Lyhenteet

ADC	Analog-to-digital conversion; analogia-digitaalimuunnos
DAQ	Data Acquisition; tiedonkeruu
DSP	Digital Signal Processing; digitaalisen signaalin käsittely
DVI	Digital Visual Interface; standardi kuvasignaalin siirtämiseksi
Full HD	Full High Definition; täysteräväpiirto
GE	General Electric; yhdysvaltalainen monialayritys
LCD	Liquid Crystal Display; nestekidenäyttö
LED	Light-emitting diode; valodiodi
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor; metallioksidipuolijohdekanavatransistori eli eristehilatransistori
RGB	Red Green Blue; värimalli, jossa eri värit saadaan sekoittamalla punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa
TFT	Thin film transistor; ohutkalvotransistori
WLAN	Wireless local area network; langaton lähiverkko

1 Johdanto

GE Healthcare Finland Oy:n Vallilan toimipisteessä valmistetaan muiden tuotteiden ohessa CARESCAPE Monitor B650 ja CARESCAPE Monitor B450 - potilasvalvontamonitorimalleja. Toimitiloissa sijaitsee monitorien kokoamislinjasto, jonka yhteydessä laitteet testataan prosessin päätteeksi, jotta voidaan varmistaa laitteiden tarkoituksenmukaisen toiminta.

Laitteiden testauskohteet määräytyvät laitteiden versioiden mukaan ja kohteita on tyypillisesti yli kymmenen, jotta monitorin toiminta saataisiin tarvittavalla tarkkuudella mitattua. Yleisimpiin testauksiin kuuluvat laitteiden kaiuttimien, LED-merkkivalojen, kosketusnäytön, akkuliitännän ja hämäräsensornin toiminnat. Testauksen yhteydessä varmistetaan myös monitoriin kytkettävien oheislaitteiden porttien toimivuus, kuten USB-, DVI- ja moduuliportit.

Testaus suoritetaan GE Healthcare Finland Oy:n testaushenkilökunnan toimesta ja siinä käytetään yrityksen tekemää testausohjelmistoa. Ohjelmiston sisältö vaihtelee riippuen laitteen versiosta ja tyylistä, mutta pääsääntöisesti ohjelmien ulkoasu ja toiminta ovat samankaltaista toisiinsa nähden. Ohjelmistossa on lista testattavista kohteista laitteessa, ja testaajan tehtävänä on käydä lista läpi joko järjestyksessä tai tarpeen vaatiessa yksi tai useampi kohde erikseen testaten. [1; 2.]

Tässä insinööriyössä rakennetaan laitteisto, jolla voidaan automatisoida manuaalinen testausprosessi. Laitteisto suunnitellaan niin, että se on yhteensopiva LabVIEW-ohjelmointiympäristön kanssa. Tavoitteena on testaukseen kuluvan ajan merkittävä vähentäminen.

GE Healthcare on General Electricin tytäryhtiö, ja GE Healthcare Finland Oy on sen suomalainen toimipiste Helsingin Vallilassa. GE Healthcare toimii Suomen lisäksi muualla Euroopassa, Aasiassa ja Amerikassa. Yrityksen toimialaan kuuluu laajan sairaalalaittevalikoiman valmistaminen aina yleiskirurgisista laitteista potilasmonitorointiin ja anestesian antoon liittyviin ratkaisuihin, joista viimeisimpiä tuotetaan Suomessa. [3; 4.]

2 Laitteiden testaaminen

Testaaminen yksinkertaisimmillaan on tuotteen tai palvelun käyttämistä sille tarkoitettussa ympäristössä, jotta varmistutaan että se toimii suunnitellusti ja havaitaan mahdollisia vikoja tai puutteita. Testausta tehdään yleensä koko tuotteen elinkaaren ajan aina raakavalmistuksesta loppukäyttäjän kokemukseen saakka. Prosessia voidaan kutsua tuotteen tai palvelun validoinniksi ja verifiointiksi. Verifiointi tarkoittaa sitä, että valmistaja varmistaa tuotteensa vastaavan omia asettamia määräyksiä, eli rakentaako tuotetta oikein. Validoinnissa valmistaja pitää huolen, että tuote tai palvelu täyttää odotukset, jotka asiakas on sille asettanut, eli rakentaako valmistaja oikeaa tuotetta. [5.]

Testaus on kriittinen osa tuotteen valmistusta ja kuuluu osaksi yrityksen laadunvarmistusta. Testaamisen tavoitteena on yksinkertaisimmillaan varmistaa tuotteen tai palvelun odotettu toiminta sille tarkoitettussa ympäristössä. Tähän pyritään löytämällä vikoja, puutteita ja toimintahäiriöitä, joita on saattanut tuotteen valmistamis-, kokoamis- tai ohjelmointivaiheessa syntyä. Testaamisen tavoitteena on myös pidemmällä tähtäimellä estää vikoja muodostumasta, jotta valmistaja voi luotettavasti taata tuotteen laadun. Tämä on erityisen tärkeää, kun myydään tuotteita ja palveluita asiakkaille ja yrityksille, jotka saattavat huonoimmassa tapauksessa lopettaa yhteistyön valmistajan kanssa toistuvan heikon laadun vuoksi. [6, s. 139 – 141.]

Testaamiseen on menetelmiä yhtä monta kuin testattavia kohteitakin, mutta kaikkien metodien pääasiallinen tarkoitus on tuoda esiin tuotteen viat tai niiden puutos. Realistisesti ajatellen ei ole kuitenkaan mahdollista testata tuotteesta aivan kaikkia järjestelmäkombinaatioita, joten testauksessa täytyy yrittää priorisoida kohteiden valinnat tuotteen pääasiallisen käyttökohteen mukaan. Käyttökohteet voivat liittyä esimerkiksi sähkötoimisen tuotteen pitkäaikaiseen käyttöön, jossa akun kunto ja keskeytymätön tehonsyöttö ovat tärkeimpiä kriteerejä. Jotta löydettäisiin uusia vikoja ja puutteita, täytyy myös testausmenetelmiä uudistaa. Jatkuvasti samoja kokeita suorittaen löytää vain niihin liittyvät ongelmat, ja osa ongelmista jää piilemään testien ulkopuolelle.

3 Testattava laitteisto

3.1 Testattavat potilasvalvontamonitorit

Testattavia potilasvalvontamonitoreita työssä on kaksi: B450 ja B650. Molemmat ovat GE Healthcaren valmistamia sairaalakäyttöön suunniteltuja, potilaan tilan ja vitaaliparametrien valvomiseen käytettäviä laitteita. Molemmat ovat käyttäjän kustomoitavissa tarpeeseen ja käyttöympäristöön sopivaksi, ja tarjoavat mahdollisuuden jatkuvaan potilasvalvontaan akkukäyttöisyyden kautta. [7; 8.]

3.1.1 B450

CARESCAPE Monitor B450 on GE Healthcaren valmistama pienikokoinen potilasvalvontamonitori. Se sopii kokonsa ja painonsa vuoksi helposti kuljetettavaksi missä ikinä sitä tarvitsekaan, mutta on kuitenkin pienestä koostaan huolimatta kestävä. B450 tuo joustavuutta potilasvalvontaan mahdollisella langattomuudellaan, ja käyttämällä CARESCAPE Patient Data Modulea ja CARESCAPE Gatewayta pystyy monitorin tärkeät datat automaattisesti synkronisoimaan tietojärjestelmän kanssa luoden keskeytymättömän valvontamahdollisuuden. [7.]



Kuva 1. CARESCAPE B450 -potilasvalvontamonitori. [9]

Kuvassa 1 esitetyllä B450-monitorilla pystyy muun muassa seuraamaan potilaan sydänsähkökäyrää, hengityskaasuja, entropiatasoa sekä kehon lämpötilaa. Laitteessa on myös mahdollista käyttää moduuliliitännöiden lisäksi esimerkiksi USB-, DVI-D- ja Ethernet-liitännöitä. Monitori on myös mahdollista kytkeä verkkoon langattomasti WLAN-tekniikalla. [1.]

3.1.2 B650

CARESCAPE Monitor B650 on GE Healthcaren valmistama keskikokoinen potilasvalvontamonitori. Se auttaa käyttäjänsä hallitsemaan potilaan hoitamista tarjoamalla oikeaa kliinistä informaatiota missä ja milloin vain. Monitori on myös suunniteltu mahdollisimman intuitiiviseksi, jotta perehtyminen laitteen ominaisuuksiin olisi mahdollisimman helppoa kaiken tasoisille käyttökäyttökunnan jäsenille. Laitetta pystyy myös päivittämään moduuli- ja ohjelmistotasolla, mikä varmistaa laitteen arvon pitkän ajan sijoituksena. Laite esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. CARESCAPE B650 -potilasvalvontamonitori. [10]

Valvontamonitorissa on muun muassa verenpaine-, sydänsähkökäyrä- ja hengityskaasumittarit, joilla pystytään valvomaan potilaan tilaa keskeytymättömästi. Käyttäjä pystyy määrittämään personoidut mittaustulosrajat, jolloin monitori hälyttää visuaalisesti ja auditiivisesti. Laite käyttää samoja liitännöitä kuin B450-malli, ja B650-malli sisältää myös mahdollisuuden langattoman verkon käyttöön WLAN-tekniikalla. [8; 11.]

3.2 Testauskohteet potilasvalvontamonitoreissa

Testauskohteet ovat monitoreissa B450 ja B650 lähes samat, mutta toisistaan poikkeava ulkomuoto luo tarpeen rakentaa kaksi erillistä testausasemaa, yksi kummallekin. Monitoreissa on eri määrä painikkeita toisiinsa nähden, ja B450-laitteessa ei B650:ssä olevaa ohjausrullapainiketta ole ollenkaan.

3.2.1 Visuaaliset testaukset

Monitoreiden visuaalisissa testauksissa tulisi varmistaa, että näyttö ja merkkivalot toimivat kuten tarkoitettu. Tämä sisältää sen, ettei näytössä saa olla niin sanottuja kuolleita pikseleitä tai muita vikoja, jotka eivät näytön toimintaan kuulu. Näytön hämärätunnistukseen liittyvä kirkkauden säätö pitää myös toimia suunnitellusti; kun hämärätunnistin peitetään tai se viedään pimeään tilaan, putoaa näytön kirkkaus sopivalle tasolle, ja hämärätunnistimen ollessa valoisassa tapahtuu päinvastoin.

Monitorien merkkivalot ilmaisevat esimerkiksi, onko laite kytketty päälle, käyttääkö se tehonlähteenä verkkovirtaa vai akkua, onko hälytyksenvaimennin päällä ja minkälainen vikatila laitteessa on. Suurin osa valoista on yksivärisiä ja palavat jatkuvasti, kun kyseistä toimintoa käytetään. Monitorien päällisosassa on kuitenkin hälytysvalo, joka voi olla sininen, keltainen tai punainen, riippuen hälytyksen tilasta. Monivärinen hälytysvalo myös vilkkuu hälytyksestä riippuen eri tahdeissa.

3.2.2 Audiitiiviset testaukset

Monitoreissa on kaksi kaiutinta, joilla tehostetaan merkkivalojen ohella hälytystilojen huomiota herättävyyttä. Hälytysääniä on monia erilaisia, ja kaiuttimien tulee pystyä tuottamaan kaikki tarvittavat taajuudet ja äänenvoimakkuudet liittyen hälytysääniin.

3.2.3 Kosketusnäyttö ja painikkeet

Molemmissa monitoreissa on resistiivinen LCD-kosketusnäyttö niin sanotulla aktiivimatriisi-TFT-tekniikalla. Aktiivimatriisinesitekidenäyttö koostuu kahdesta johtamattomasta tukilevystä, usein lasista, joiden väliin on laitettu nestekidemassaa.

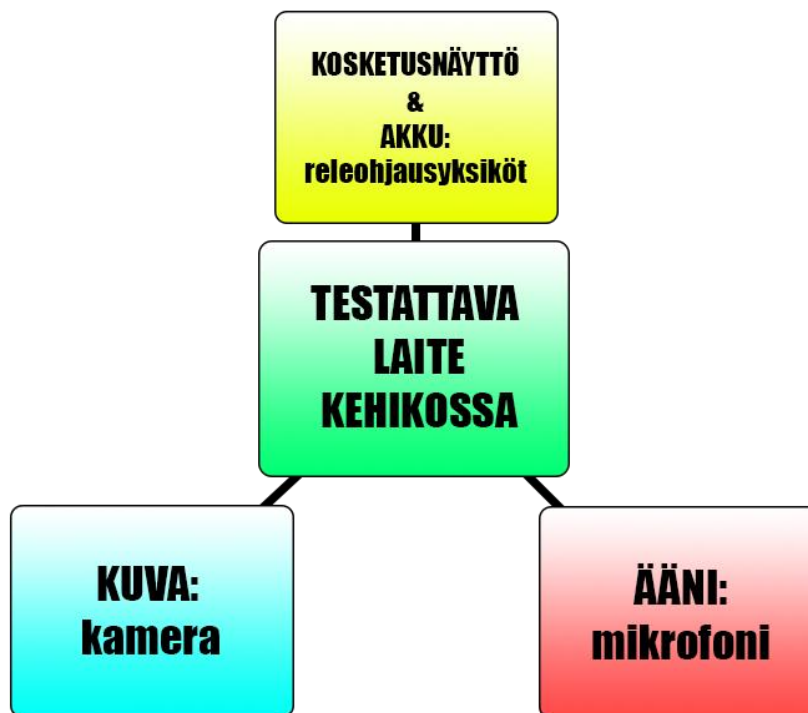
Päällimmäinen levy päällystetään RGB-värimallin mukaisella värisuodattimella ja polarisoivalla kalvolla, jollainen asetetaan myös alemman tukitason alle. Nestekidemassan alle sijoitetaan matriisiin ohutkalvotransistoreita, yksi jokaista punaista, vihreää, ja sinistä osapikseliä kohden. [12.]

Kosketusnäyttö tulee jokaisen testauksen yhteydessä kalibroida, jolloin myös näytön kosketusominaisuus tulee samalla varmistettua toimivaksi. Vaikka monitoreita pystyy ulkoisella näppäimistöllä ja hiirellä ohjaamaan, tulee kosketusnäyttö silti testata toimivaksi. Kosketusnäytön kalibrointi suoritetaan tulostamalla ruudun jokaiseen nurkkaan yksi kerrallaan ruksit, joita testausvaiheessa tulee koskettaa, jotta näytön kosketustekniikka ja visuaalinen esitys toimisivat virheettä yhteen.

B650-mallissa on virta-, koti- ja hälytyksenpysäytyspainike sekä ohjauksella, jolla voi vaihtoehtoisesti selata ohjelmiston valikoita kosketusnäytön tai hiiren sijaan. Painikkeet on esitetty kuvassa 2 laitteen alalaidassa. Kotipainiketta painamalla laitteen käyttöjärjestelmä palaa takaisin alkuvalikkoon. Hälytyksenpysäytyspainikkeella voidaan hiljentää hälytysääni tarvittaessa. B450- mallissa on vain virtapainike, sillä laite on tarkoitettu mobiilimmaksi kuin kookkaampi malli.

4 Laitteiston testauksen automatisointi

Testauksen automatisoinnin perimmäisenä tavoitteena on lyhentää testaukseen kuluvaa aikaa. Manuaalinen testaus vie noin 10 – 15 minuuttia testaushenkilökunnan toimesta GE Healthcaren omalla testausohjelmistolla. Automatisointi tehdään osittain ulkoisella laitteistolla ja osittain ohjelmointitasolla.



Kuva 3. Testauslaitteiston lohkokaavio.

Kuvassa 3 on havainnollistettu testauslaitteiston kokoonpanoa lohkokaaaviolla. Testauskohteet on jaettu kolmeen eri osioon: kuvaan, ääneen ja kosketusnäyttöön sekä akkuun. Testattava laite asetetaan kehikkoon, johon testausvälineet on kiinnitetty. Kuvan testaus sisältää näytön ja merkkivalojen toiminnan varmentamista, ja se on toteutettu kameralla. Äänen testaus on merkki- ja hälytysäänien voimakkuuden sekä taajuuksien testaamista. Kosketusnäytön kalibroinnin ja akun kytkennän automatisointi on toteutettu relepiireillä, jotka toimivat ohjausyksikköinä akun jännitteen kytkennälle ja paineilmasyylintereille, joita käytetään kalibrointipisteiden painamiseen.

4.1 Kuva

Kuvatestauksen automatisointiin valittiin kuvassa 4 esitetty Logitechin valmistama webkamera mallia C930e. Kamera pystyy 1920 x 1080 pikselin Full HD -piirtoon. Sillä on 90° näkökenttä ja automaattinen tarkennus sekä hämäräkorjaus, jotka sopivat tähän testausjärjestelmään mainiosti.



Kuva 4. Logitech C930e -webkamera. [13]

Kameran tärkeimmät tekniset tiedot on kerätty taulukkoon 1.

Taulukko 1. Logitech C930e tekniset tiedot. [14]

Osio	Kuvaus
Resoluutio	Full HD 1080p (1920 x 1080 saakka)
Videonpakkaus	H.264/SVC videokompressio
Näkökenttä ja suurennus	90 astetta, nelinkertainen suurennus 1080p
Tarkennus	Automaattinen
Ääni	Kaksi integroitua stereomikrofonia
Liitäntä	Hi-Speed USB 2.0 varmennettu (USB 3.0 yhteensopiva)
Objektiivi	Carl Zeiss –lasiobjektiivi
Muuta	Panorointi-, kallistus- ja kolmijalkamahdollisuus



Kuva 5. Logitech C930e -webkamera testauskehikossa.

Kamera asennettiin testausjärjestelmän kehikkoon kuvassa 5 esitetyllä tavalla, että se kuvaa yläpuolella olevan monitorin ruutua. Näin pystytään valvomaan, mitä ruudulla tapahtuu ja implementoimaan LabVIEW:n visuaaliseen tarkasteluun perustuvia toimintoja.

4.2 Ääni

Auditiivisen testauksen automatisointiin hankittiin miniDSP:n valmistama UMIK-1, joka on USB-liitäntäinen pallokuviainen mikrofoni, eli se poimii kaikista suunnista tulevat äänet yhtä voimakkaasti. Mikrofoni on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. miniDSP UMIK-1 -mikrofoni. [15]

Mikrofoni toimii helposti liittämällä sen suoraan tietokoneen USB-porttiin, ja jokaisen mikrofoniin mukana tulee laitteen sarjanumeroon perustuva ainutlaatuinen kalibroitiedosto, jotta voidaan kalibroida juuri oikea mikrofoni oikeilla arvoilla, ja näin varmistaa tarkat mittaustulokset. [16.]

Työssä tärkeänä pidetyt ominaisuudet mikrofoniin on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. miniDSP UMIK-1:n tekniset tiedot. [17]

Osio	Kuvaus
Kapselityyppi ja suuntakuvi	6mm elektreetti, pallokuvio
Mikrofonin runko	Alumiinia (valu)
Taajuusvaste	20Hz – 20kHz, +/- 1dB kalibroitu
USB audio-luokka	USB Audio class 1.0, ajuriton käyttöliittymä Windowsille, Macille ja Linuxille
Resoluutio ja näytteenottotaajuus	24 bitin ADC @ 44.1 tai 48kHz
Teho	Tehonlähteenä USB (5V)
Paino	120g mikrofoni, 600g koko pakkaus oheistuotteineen
Liitin	Mini-USB

Mikrofoni on määrä asentaa testausjärjestelmän kehikkoon niin, että se poimisi äänet läheltä monitorin kaiuttimia, jotka sijaitsevat monitorin alaosassa laitteen ollessa pystyasennossa.

4.3 Kosketusnäyttö ja painikkeet

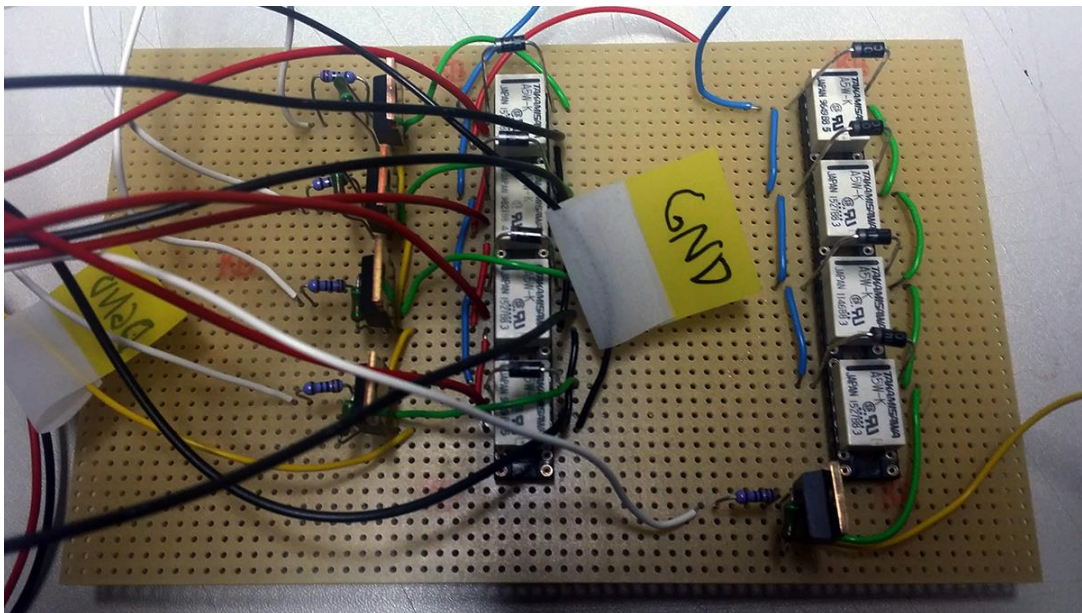
Kosketusnäytön kalibroinnin automatisointia varten rakennettiin laitteistokehikkoon neljän paineilmasyylinterin järjestelmä, jota voidaan ohjata tietokoneen, DAQ-laitteen ja relepiirin kautta.

Paineilmasyylintereinä käytettiin SMC:n CDU10-20D vapaasti asennettavia sylintereitä [18] ja järjestelmän paineilmanohjaukseen ennen sylintereitä asetettiin SMC:n elektroniset 5-aukkoiset SYJ5000-sarjan venttiilit [19], jotka toimivat 24 voltin ohjausjännitteellä. Ohjausjännite tuodaan venttiileille ulkoisena jännitteenä verkkovirrasta, ja kytkimenä välissä toimii ratkaisua varten koottu relepiiri. Ennen sylintereitä tulee asentaa kuristimet rajoittamaan paineilmaverkostosta purkautuvan

ilman painetta, jotta kosketusnäyttö säästyisi pahimmalta fyysiseltä kulumiselta kosketusnäytön kalibrointia suorittaessa.

4.4 Ohjausyksiköt

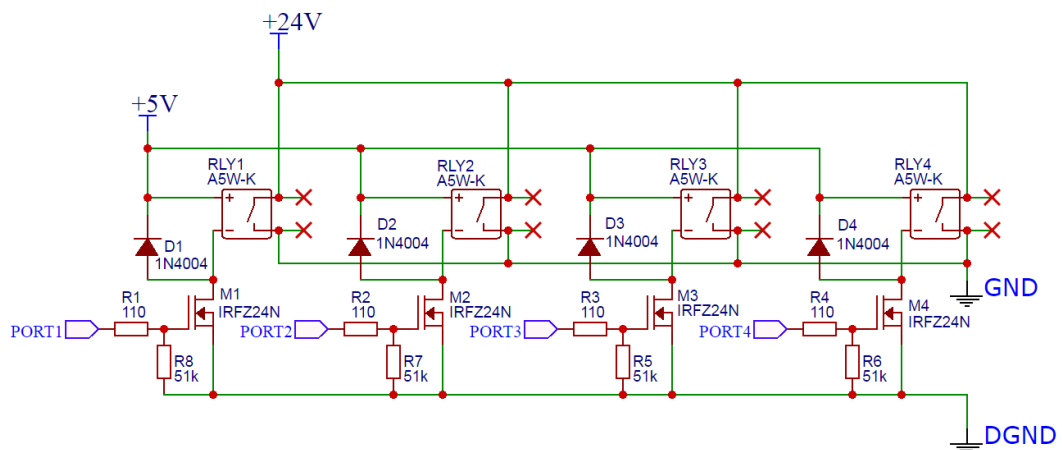
Kosketusnäytön kalibroimista ja akkukytken katkaisemisen ohjaamista varten suunniteltiin työssä kaksi relepiiriä, jotka poistavat manuaalisen toiminnan tarpeen kyseisissä toimenpiteissä toimimalla sähköisinä ohjausyksikköinä. Relepiirejä ohjataan USB-6216 -laitteella, joka on National Instrumentsin valmistama DAQ-laite, jossa on 16 bitillä 16 analogista sisääntuloa ja 2 ulostuloa. Laitteessa on myös 32 kappaleeseen asti digitaalisia sisään- ja ulostulokanavia. Laite tukee LabVIEW-ohjelmointikieltä, joka sopii testausjärjestelmän kokoonpanoon erittäin hyvin. Laite ottaa virtansa USB-liitännästä, joten siitä saatu jännite on maksimissaan 5 voltia ja virtakin milliampeeriluokkaa; 50 mA, joka on jaettu kaikkien digitaalisten ulostulojen kesken. Laitteen mukana tulevalla ohjelmistolla pystyy digitaalisia kanavia muuntamaan joko sisään- tai ulostuloiksi sekä ohjaamaan niiden binääritilaa, ja tätä kautta kontrolloida laitteesta tulevaa jännitettä. [25.]



Kuva 7. Relepiirien prototyypit kytkentälevyllä. Levyssä vasemmalla sylintereiden ohjauksen relepiiri ja oikealla akun kytkemisen relepiiri.

Relepiiriin valittiin Fujitsun valmistamat A5W-K-releet. Kyseisissä releissä on viiden voltin ohjausjännite, joka on juuri sopiva USB-6216:n ohjattavaksi. Releiden virtakestävyys on 2 ampeeria, jonka tulisi riittää akunkin teholle. Releellä pystyy kytkemään maksimissaan 110 voltin tasajännitettä ja 125 voltin vaihtojännitettä, joten elektronisten venttiilien 24 voltin tasajännitettä pystyy myös ohjaamaan releillä. [26.]

Releiden kanssa rinnan on laitettu 1N4004-diodit purkamaan virtapiikkiä, joka syntyy, kun releiden käämeihin kulkeva virta katkaistaan. Virtapiikki pääsee kulkemaan diodin lävitse, eikä siirry esimerkiksi takaisin virtalähteeseen eli USB-6126-laitteeseen. Koska DAQ-laitteen 50 mA jaettuna ei riitä kaikille neljälle releelle, tarvitaan väliin virranvahvistusta. Tämän takia DAQ-laitteen ulostulon ja releen väliin on laitettu IRFZ24N-malliset MOSFET-komponentit. Ne tarvitsevat todella vähän virtaa toimiakseen ja vahvistavat virran sopivan korkealle, jotta kaikkia neljää relettä voi kytkeä päälle tai pois samaan aikaan varmasti ja ongelmitta kerta toisensa jälkeen. MOSFET:ien lähteet ovat kytketty 51 k Ω :n vastuksilla digitaaliseen maahan, jotta ne eivät jäisi kellumaan ja mahdollisesti vuotaisi jännitettä. Näin komponentit toimivat vielä varmemmi. Digitaalisen ulostulon ja hilan välille on lisätty myös etuvastus rajoittamaan hilaan menevää virtaa ja tasapainottamaan MOSFET:in toimintaa. Relepiiri ja sen komponentit esitetään kuvassa 7.



Kuva 8. Sylinterien ohjaukseen käytettävän relepiirin piirikaavio.

4.4.1 Releet

Releiden historia juontaa juurensa 1800-luvun sähkötekniikkaan. Vuonna 1835 amerikkalainen tiedemies Joseph Henry kehitti primitiivisen version releestä. Hän käytti niin sanottua intensiteettimagneettia, jossa sähkömagneetin käämejä on kytketty sarjaan, jotta voidaan saavuttaa suurin magneettinen voima suuren jännitteen ja matalan virran akusta, jossa on useita elementtejä kytkettynä sarjaan. Henryn intensiteettimagneetti toimi hyvin matalalla teholla pitkien matkojen päähän, ja hän demonstroi tätä ohjaamalla intensiteettimagneetillaan paljon suurempaa sähkömagneettia, jossa oli kytketty rinnan käämejä. Suurempi magneetti kannatteli painoja, ja katkaisemalla intensiteettimagneetin sähköpiiriin hän myös katkaisi virran suuremman magneetin sähköpiiristä, tiputtaen magneetin kannattelemat painot alas. Tämän demonstraation tarkoituksena oli esittää tapa ohjata mekaanisia toimintoja pitkän matkan päästä, kuten esimerkiksi kirkonkellojen soittamista. [20.]

Releet koostuvat yksinkertaisimmillaan kelasta, rautasydäimestä, ankkurista, koskettimista, eristyksestä ja mahdollisesti palautusjouksesta. Galvaanisen eristyksen takia releet ovat turvallisempi ratkaisu yhdistää suuren jännitteen sähköpiiri matalan jännitteen piiriin kuin esimerkiksi transistorit, joissa vikavirtatilanteilla voi olla vakavimmat seuraukset. [21, s. 21 – 22.] Releiden epäedullinen puoli katkaisimina, verrattuna esimerkiksi transistoreihin, on niiden kuluminen. Releet kuluvat helposti, sillä koskettimet liikkuvat fyysisesti kiinni ja irti toisistaan aina relettä käyttäessä. Toinen ongelma, joka tulee ottaa huomioon, on ylikuumentuminen. Rele tarvitsee toimiakseen jatkuvan virran, mikä synnyttää oheistuotteena lämpöä kelaan. Tätä voi ehkäistä esimerkiksi pulssinleveysmodulaatiolla.

Releen toiminta perustuu sähkömagnetismiin, tarkemmin sanottuna induktioon. Kun releen kelaan johdetaan virtaa, varastoituu virrasta saatu energia kelan magneettikenttään. Magneettikentän voimakkuus kasvaa virran noustessa ja tasaantuessa. Tämän magneettikentän voiman kasvaessa yli sen voiman, joka pitää releen koskettimia erossa toisistaan (esim. jousi), syntyy koskettimiin kontakti, ja rele alkaa johtaa. Kun virta katkaistaan, muodostaa kela vastakkaissuuntaisen jännitepiikin, joka johtuu kelavirran nopeasta ehtymisestä. Jännite tulee magneettikentän varastoimasta energiasta releen käytön aikana. Tämän vuoksi useimmissa relesuunnitelmissa on releen yli kytketty suojadiodi, joka oikosulkee jännitepiikin ja purkaa sen tätä kautta. [21, s. 40 – 41.]

Releet voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: normaalisti avoimet ja normaalisti suljetut releet. Sanalla 'normaali' tarkoitetaan elektroniikassa yleensä vahingoittumatonta ja vikatilatonta suojattua sähköpiiriä, mutta releiden yhteydessä termi viittaa siihen, ettei releen kelaan johdeta virtaa. Normaalisti avoimessa releessä ovat releen koskettimet irti toisistaan, kun releen kelaan johdetaan virtaa. Tällaisia releitä kutsutaan myös piirin sulkeviksi tai kontaktin muodostaviksi releiksi. Vain kun releet ovat suunniteltu toimimaan sähköpiirin suunnitelluista ominaisuuksista poikkeavassa tilassa, kuten ylivirralla tai -jännitteellä, ovat releen koskettimet normaalissa tilassa, kun sähköpiirin toimintaolosuhteet ovat normaalit. Esimerkiksi normaalisti avoin alijänniterele on auki silloin, kun releen kelaan ei johdeta virtaa, eli sähköpiirin normaalissa täyden jännitteen tilassa alijännitereleen koskettimet ovat kiinni. [22, s. 5 – 6.]

4.4.2 MOSFET:it

Vuonna 1959 Martin M. Atalla ja Dawon Khang Bell Labsilla onnistuivat kehittämään ensimmäisen onnistuneen eristehilakanavatransistorin, mitä oli kauan uumoiltu elektroniikan saralla. He ratkaisivat ongelman, jossa sähkökentät eivät pystyneet kunnolla tunkeutumaan puolijohdemateriaaliin. Tutkiessaan lämmön avulla kasvatettuja piidioksidikerroksia, he huomasivat, että sähkökenttien läpäisykyky parani huomattavasti, kun puolijohteen päälle laitettiin eristekerros ja sen päälle johtava metallinen hilaelektrodi. [23.]

FET eli kanavatransistori toimii johtavana puolijohdekanavana ja koostuu kahdesta resistiivisestä kontaktista, lähteestä ja nielusta, sekä kolmannesta kontaktista, hilasta, joka ohjaa sähkövarauksien kantajien määrää kanavassa. Lähteen ja nielun välistä tilaa kutsutaan kanava-alueeksi. Kun tarkastellaan hila-kanava-aluepuolijohdesubstraatti-rakennetta pystysuoraan, voidaan sen ajatella olevan kohtisuora kahden liittimen komponentti, jossa kanavan varaustiheyttä ohjataan kapasitiivisen kytketymisen avulla.

Tärkein ja käytetyin FET on MOSFET. Silikoni-MOSFET:issä hilakontakti on erotettu kanava-alueesta eristävällä silikonidioksidikerroksella. Johtavassa kanavassa varauksien kantajat aiheuttavat käänteisvarauksen, eli elektroneja p-tyypin substraatissa (n-kanavan laite), ja aukkoja n-tyypin substraatissa (p-kanavan laite). [24,

s. 1 – 2.] FET:it ovat transkonduktanssivahvistimia, eli niistä lähtevä virta on suhteessa tulojännitteeseen, tässä tapauksessa hilan jännitteeseen. Tämän ominaisuuden vuoksi MOSFET:eillä voi vahvistaa lähtevää virtaa FET:in transkonduktanssi-arvon mukaisesti.

4.5 Testauskehikko ja akku

Testauksessa tarkistetaan myös akun ja akkuliitännän toimivuus, ja akku tulee liittää laitteeseen jossain vaiheessa testausta. Akun ei kuitenkaan tarvitse olla kytkettynä laitteeseen koko aikaa, joten automatisointijärjestelmään lisättiin relepiiri, joka tarvittaessa katkaisee tai kytkee akun nastat kiinni laitteeseen. Tämän ansiosta testaushenkilökunnalla on yksi manuaalinen vaihe vähemmän. Akku on valmistettu tilaustyönä GE:lle, ja siinä on viisi nastaa: plus, kello, data, termistori ja miinus, joka toimii sähköisenä maana. Akkua varten rakennetussa relepiirissä releitä on vain neljä kappaletta, sillä katkaistakseen akun muodostaman sähköpiirin, ei maata tarvitse kytkeä pois ollenkaan.



Kuva 10. B650-monitorin testausjärjestelmän kehikko, jossa monitori sijoitettu päälle.

Testausjärjestelmään on rakennettu myös kuvassa 10 esitetty kehikko, johon testauksen automatisointiin tarvittavat laitteet ja komponentit kiinnitetään. Kehikon prototyypissä on alumiiniputkista rakennettu luuranko, jonka alla on pyörät. Luurangon keskelle on sijoitettu poikkiputki, johon kamera on kiinnitetty. Luurangon sivuille on asennettu seinät mustasta aaltomuovista, jotta minimoidaan ulkoa vuotavan hajavalon vaikutus kameran suorituskykyyn. Kehikon päällä on vaaleanpunaisesta vaahtomuovista leikattu taso, jossa on potilasvalvontamonitorin etuosan muotoon veistetty aukko. Monitori sijoitetaan aukkoon ruutu alaspäin, jotta poikkiputkeen sijoitetulla kameraa on näköyhteys ruutuun.

5 Yhteenveto

Insinööriyössä tarkoituksena oli rakentaa GE Healthcaren valmistamille CARESCAPE B650- ja CARESCAPE B450-potilasvalvontamonitoreille automaattinen lopputestauslaitteisto, ja aikataulun salliessa ohjelmoida varsinaiset testausalgoritmit valmiin testausjärjestelmän täysautomatisointia varten. Automatisoinnin tarkoituksena on vähentää manuaalisen työn määrää testauksessa ja nopeuttaa prosessia huomattavasti.

Insinööriyön edetessä ilmeni haasteita saada aivan kaikki testauskohteet järkevästi automatisointijärjestelmän piiriin, lähinnä fyysisten rajoitteiden vuoksi. Testausjärjestelmille rakennettiin alumiiniputkista luurangot, jotka ovat pyörien päällä liikuttavuuden vuoksi. Molempien laitteiden testauskehikossa on päällä vaaleanpunaisesta vaahtomuovista tehty taso, johon laitteen saa ruutu alaspäin asetettua. Vain B650-laitteen kehikossa on myös mustasta aaltomuovista seinät, jotka suojaavat testausjärjestelmää sekä vähentävät hajavaloa ja -ääntä ympäristöstä. Testausjärjestelmän ensimmäistä prototyyppiä ryhdyttiin rakentamaan B650-laitteelle, mikä on syy siihen, ettei B450-monitorin testauskehikko ole samassa pisteessä edellisen kanssa.

Näytön ja etupaneelin merkkivalojen testaamiseen valittiin webkamera, joka kuvaa testialuetta jatkuvalla kuvasyötöllä. Kamera kiinnitettiin testauskehikon sisällä sijaitsevaan poikkiputkeen linssipuoli ylöspäin. Kamerasta saatavan kuvasyötön voi ohjata ulkoiseen näyttöön, josta testihenkilökunta voi nähdä, onko näyttö päällä vai ei. Toinen funktio webkameralla on napata testikuva etupaneelistä ja verrata sitä referenssikuvaan, jossa kaikki valot ja näyttö toimivat kuten pitäisi, ja ilmoittaa testaajalle, läpäiseekö näyttö testin. Kaikki ohjelmointi on suunniteltu tehtäväksi LabVIEW-ohjelmointiympäristössä, josta löytyy myös vaihtoehtoisesti kuvion tunnistamiseen perustuva funktio, jolla referenssikuvametodin voi korvata. Molemmilla tavoilla tulee kuvatunnistuksen virheen arvioimisen kynnyksensä sopivaksi, jotta testaus olisi mahdollisimman yhdenmukaista, mutta testeri ei kuitenkaan hylkäisi monitoria esimerkiksi erilaisten valaistusolosuhteiden vuoksi. LabVIEW-lisenssisyistä työssä ei ollut aikataulun puitteissa mahdollista testata kuvametodeja, joten ne jäivät ideatasolle. Merkkivalojen testaamiseen kokeiltiin myös erillistä LED-analysaattoria, jossa on valokuituanturit jokaista LED-valoa varten. Anturien ja monitorin täytyi

kuitenkin olla joka kerta millimetrilleen oikeassa paikassa, jotta mittaus onnistuisi luotettavasti, joten idea hylättiin.

Merkki- ja hälytysäänien testaamisen ratkaisuksi valittiin mikrofoni, joka nauhoittaa monitorin kaiuttimista lähteviä ääniä. Äänien testaamisen periaatteet ovat samankaltaiset kuin kuvan: joko verrataan mikrofonin poimimaa ääntä referenssiääneen, tai tarkkaillaan mikrofonin poimimia äänentaajuuksia ja niiden voimakkuuksia. Merkkiääniä on monitorissa useampia, mutta ne ovat silti aina saman kuuloisia useaan kertaan toistettaessa, eli teoreettisesti äänien käyttämät taajuudet pystytään erittelemään tarpeeksi suuresta taajuusspektrien otannasta. Näin pystyisi keskittämään mikrofonin poiminnan tärkeimmille äänentaajuuksille ja tarkkailla, nouseeko äänenvoimakkuus niillä tarpeeksi suureksi.

Suurin ongelma äänien automaattisessa testauksessa on ympäristöstä aiheutuvat taustäänet ja -häly. Ongelman poistamisen suunnitelmana on suodattaa tarpeettomat äänentaajuudet nauhoitusvaiheessa pois ohjelmallisesti. Tämä yhdistettynä paremmin äänieristettyyn koteloon luultavasti riittää taustäänen häiriön poistamiseksi testausvaiheessa.

Testausjärjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa päätettiin, että painikkeet monitorien etupaneelissa jätetään testaushenkilökunnan toimeksi tässä prototyypissä. Ratkaisuun päädyttiin, kun etupaneelin ohjausrullapainikkeen automaattinen testaus todettiin tarpeettoman haastavaksi resursseihin nähden. Kosketusnäytön kalibrointiin suunniteltiin paineilmalla toimiva sylinterijärjestelmä, jossa sylintereihin paineilmaa ohjaavat sähköllä operoitavat venttiilit. Venttiilit saavat käyttöjännitteensä verkkovirrasta muuntajan kautta, ja venttiilien toimintaa ohjataan siihen suunnitellulla relepiirillä, jota puolestaan ohjataan tiedonkeruulaitteella, jossa on digitaalisia ulos- ja sisääntuloja. Relepiirillä voi aktivoida sylintereitä yksi kerrallaan missä järjestyksessä tahansa.

Paineilmasyylintereitä varten hankittiin kuristimet, joilla voi ilman purkupainetta säädellä. Tämä ei kuitenkaan rajoita sylintereiden työntövoimaa, joten sylintereiden varsien päihin tulee lisätä jonkinlaista pehmustetta esimerkiksi kumista, ja työntövoimaa rajoittava jousi tai muu vastaava mekanismi. Näin kosketusnäytön kulumisen testausvaiheessa olisi mahdollisimman pieni. Sylintereille tulee vielä lisätä

testauskehikkoon kiinnikkeet näytön kalibrointipisteisiin. Huomattavaa paineilmajärjestelmässä on myös se, että järjestelmä kiinnitetään kehikon sisälle, joten letkut ja sähköjohdot tulee sijoittaa kameran kuvaaman alueen ulkopuolelle.

Koska laitteen testauksessa tulee koestaa myös akkuliitännän toimivuus, rakennettiin akkuliitäntöjen kytkemiseen insinööriyön toinen relepiiri. Manuaalisessa testauksessa tulee testaushenkilökunnan kytkeä akku kiinni laitteeseen ja testausohjelmiston kehotuksesta poistaa se. Relejärjestelmän ansiosta testaajan tarvitsee testauksen alkuvaiheessa kytkeä tyhjä akkukotelo, joka on kytketty relepiiriin, laitteeseen ja mahdollisesti testausakku relepiiriin. Tämän jälkeen laitteiston voi ohjelmoida hoitamaan akkukytkennän testauksen automaattisesti.

Laitteisto on suunniteltu niin, että sen toiminnot pystytään LabVIEW-ohjelmoinnilla automatisoimaan. Sen lisäksi että testausjärjestelmän laitteiston ominaisuuksien käyttö tulee ohjelmoida, täytyy potilasvalvontamonitorin toiminnoille ohjelmoida omat algoritminsä. Tämä vähentää testausaikaa entisestään, kun testaushenkilökunta itse voi määrittää milloin ja kuinka nopeasti laite koestaa eri funktioitaan, kuten esimerkiksi merkkivaloja ja -ääniä. LabVIEW-lisenssi ongelmien ja resurssien puutteiden vuoksi monia työn suunniteltuja toimintoja ei aikatauluun saatu mahdutettua, joten joitakin työn osuuksia joutunee mallintamaan vaihtoehtoisella tavalla.

Lähteet

- 1 CARESCAPE Monitor B450 – GE Healthcare. Verkkodokumentti. <http://www3.gehealthcare.sa/~media/documents/saudi-arabia/products/patient%20monitoring/spec%20sheets/gehc-spec-sheet_carescape-patient-monitor-b450.pdf> Luettu 15.2.2016.
- 2 Tommi Tuovinen. 13.11.2014. FLEX FRAME –laitteiden testaus.
- 3 GE Healthcare Fact Sheet. Verkkosivu. <http://www3.gehealthcare.com/en/About_Us/GE_Healthcare_Fact_Sheet> Luettu 15.2.2016.
- 4 GE Suomessa. Verkkosivu. <<http://www.ge.com/fi/company/ge-en-finland>> Luettu 15.2.2016.
- 5 Verifiointi ja validointi. Verkkodokumentti. <<http://www.cs.helsinki.fi/u/taina/ohtu/k-2005/luku7.pdf>> Luettu 23.2.2016.
- 6 H. James Harrington. 1987. Poor-Quality Cost. Marcel Dekker, Inc. ASQC Quality Press.
- 7 CARESCAPE Monitor B450 Brochure. Verkkodokumentti. <http://www3.gehealthcare.co.uk/~media/downloads/uk/product/patient%20monitoring/patient-monitors/carescape-monitor-b450/gehc-brochure_carescape-patient-monitor-b450.pdf> Luettu 23.2.2016.
- 8 CARESCAPE Monitor B650 Brochure. Verkkodokumentti. <http://www3.gehealthcare.com/~media/documents/us-global/products/patient-monitoring/brochures/carescape%20monitor%20b650/gehc-brochure-carescape-monitor-b650_global.pdf> Luettu 23.2.2016.
- 9 B450-potilasvalvontamonitori. Kuva. <<http://www3.gehealthcare.com/~media/images/product/product-categories/patient-monitoring/patient-monitors/carescape-monitor-b450/carescape-monitor-b450-spotlight.jpg>> Luettu 2.4.2016.
- 10 B650-potilasvalvontamonitori. Kuva. <http://www3.gehealthcare.com/~media/images/product/product-categories/patient-monitoring/patient-monitors/carescape-monitor-b650/gehc-carescape-%20monitor-b650_spotlight_product-front-back.jpg> Luettu 2.4.2016.
- 11 CARESCAPE Monitor B650. Verkkodokumentti <<http://www3.gehealthcare.com/~media/downloads/us/support/site->

- [planning/monitoring/gehc-site-planning-specifications_carescape-monitor-b650_pdf.pdf](#)> Luettu 17.3.2016.
- 12 17” TFT-näytöt. Verkkootikkeli. <<http://muropaketti.com/artikkelit/sekalaiset/17-tft-naytot>> Luettu 1.3.2016.
- 13 Logitech C930e -webkamera. Kuva. <[http://ecx.images-amazon.com/images/I/81twS6rWVaL_SL1500 .jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/81twS6rWVaL_SL1500.jpg)> Luettu 2.4.2016.
- 14 Logitech Webcam C930e. Verkkosivu. <<http://business.logitech.com/en-gb/product/webcam-c930e-business>> Luettu 1.3.2016.
- 15 miniDSP UMIK-1 -mikrofoni. Kuva. <http://www.hifimaailma.fi/wp-content/uploads/2014/12/umik_1483.jpg> Luettu 2.4.2016.
- 16 miniDSP UMIK-1. Verkkosivu. <<https://www.minidsp.com/products/acoustic-measurement/umik-1>> Luettu 30.3.2016.
- 17 Product brief – Umik. Verkkodokumentti. <<https://www.minidsp.com/images/documents/Product%20Brief%20-%20Umik.pdf>> Luettu 31.3.2016.
- 18 SMC:n verkkokatalogi: CDU10-20D. <https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=16741&part_number=CDU10-20D&filter_type=dc_search_filter&sub_filter_type=partnumber&filter_value=CDU10-20D> Luettu 24.3.2016.
- 19 SMC:n verkkokatalogi: SYJ5000. <https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/digital_catalog_2/jsp/view_product_configurator.jsp?dc_product_id=37397> Luettu 19.3.2016.
- 20 David Hochfelder. 2013. Verkkodokumentti. <<https://www.princeton.edu/ssp/joseph-henry-project/telegraph/henry-telegraph.pdf>> Luettu 24.3.2016.
- 21 Vladimir Gurevich. 2006. Electric Relays: Principles and Applications. CRC Press.
- 22 A. R. van C. Warrington. 1962. Protective Relays: Their Theory and Practice Volume One. Springer.
- 23 Metal Oxide Semiconductor (MOS) Transistor Demonstrated. Verkkosivu. <<http://www.computerhistory.org/siliconengine/metal-oxide-semiconductor-mos-transistor-demonstrated/>> Luettu 22.3.2016

- 24 T. Ytterdal, Y. Cheng ja T. A. Fjeldly. 2003. Device Modeling for Analog and RF CMOS Circuit Design. John Wiley & Sons, Ltd.
- 25 Bus-Powered M Series Multifunction DAQ for USB. Verkkodokumentti.
<<http://www.ni.com/datasheet/pdf/en/ds-9>> Luettu 1.4.2016.
- 26 A5W-K datasheet. Verkkodokumentti.
<http://www.partco.biz/verkkokauppa/datasheet/fujitsu_awk.pdf> Luettu 3.4.2016.