



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joonas Ristimäki

DIGITAALISTEN LÄMPÖTILA-ANTU-
REIDEN KÄYTTÄMINEN SÄHKÖ-
MOOTTORISSA

ABB Oy

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joonas Ristimäki
Opinnäytetyön nimi	Digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen sähkömoottorissa
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	27
Ohjaaja	Olli Tuovinen

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi ABB Oy IEC LV Motors Vaasan globaali tuotekehitysosasto. Työn aiheena on selvittää digitaalisten lämpötila-antureiden käytön mahdollisuutta sähkömoottoreissa. Digitaalisten lämpötila-antureiden käyttö vähentäisi komponenttien määrää ja sitä kautta kustannuksia.

Opinnäytetyön teoriaosiossa tutustutaan arduinon, antureiden ja sähkömoottorin toimintaperiaatteeseen ja rakenteeseen. Työn toteutusvaiheessa selvitetään digitaalisten lämpötila-antureiden soveltuvuutta moottorin valmistusprosessissa käytännön tasolla. Materiaaleina työssä toimivat internet- artikkelit, opintomonisteet sekä tietokirjat.

Opinnäytetyön lopputuloksen perusteella voidaan todeta, että digitaaliset lämpötila-anturit kestävät kriittisimmän vaiheen moottorin valmistusprosessissa.

ABSTRACT

Author	Joonas Ristimäki
Title	Use of Digital Temperature Sensors in an Electric Motor
Year	2021
Language	Finnish
Pages	27
Name of Supervisor	Olli Tuovinen

The client of this thesis was ABB Oy IEC LV Motors global development department in Vaasa. The purpose of this thesis was to solve the possibility of using digital temperature sensors in electric motors. The use of digital temperature sensors would decrease the number of components needed and the occurring costs.

The operating principles and structures of Arduino, sensors and electric motors are discussed in the theory part of this thesis. At the implementation phase the focus was on the suitability of using digital temperature sensors in manufacturing of electric motors in practice. This thesis uses internet articles, study materials and literature.

The outcome of this thesis is that digital temperature sensors withstand the most critical phase of manufacturing electric motors.

Keywords digital temperature sensor, electric motor, arduino, manufacturing

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVALUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
2	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY ABB OY	7
	2.1 ABB Suomessa	7
	2.2 ABB Oy IEC LV Motors	7
3	ARDUINO.....	9
	3.1 Arduino UNO.....	9
	3.2 Arduino IDE.....	10
4	SÄHKÖMOOTTORI	11
5	ANTURIT.....	12
	5.1 Analoginen signaali	13
	5.2 Digitaalinen signaali	13
	5.3 Lämpötila-anturi	14
	5.3.1 DS18B20.....	14
6	TYÖN TOTEUTUS	15
	6.1 Johtimien juottaminen antureihin	16
	6.2 Anturien sijoittaminen käämiin.....	19
	6.3 Anturien testaus ennen hartsausta	20
	6.4 Anturien testaus hartsausken jälkeen	22
	6.5 Eristyskoe.....	22
7	YHTEENVETO	26
	LÄHTEET.....	27

KUVALUETTELO

Kuva 1. Arduino Uno-mikroprosessori.	10
Kuva 2. Oikosulkumoottorin rakenne.	11
Kuva 3. Analoginen signaali.	13
Kuva 4. Digitaalinen signaali.	14
Kuva 5. Johtimet juotettuna anturiin.	16
Kuva 6. Anturin juotoskohta suojattuna kutistesukalla.	17
Kuva 7. Anturi suojattuna alumiiniholkilla.	18
Kuva 8. Anturi suojattuna silikonisukalla.	18
Kuva 9. Anturi käämin sisällä ja niputettuna.	19
Kuva 10. Anturien kytkentä arduinon.	20
Kuva 11. Anturien lämpötila-arvot arduinossa ennen hartsausta.	21
Kuva 12. Anturien testaus kokonaiskuvana.	21
Kuva 13. Anturien lämpötila-arvot arduinossa hartsauksen jälkeen.	22
Kuva 14. Eristyskokeen kytkentäkuva.	23
Kuva 15. Eristyskokeen kytkentä.	24
Kuva 16. Anturien lämpötila-arvot arduinossa eristyskokeen jälkeen.	25

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen sähkömoottorissa ja sen toimeksiantajana toimi ABB Oy IEC LV Motors Vaasan globaali tuotekehitysosasto. Työn tavoitteena oli perehtyä ja selvittää, onko digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen mahdollista sähkömoottorissa. Digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen analogisten sijaan vähentäisi komponenttien määrää ja sitä kautta vähentäisi kustannuksia. Työn tutkimisessa käytettiin digitaalisia DS18B20-lämpötila-antureita, arduino mikroprosessoria ja sähkömoottorin staattoripakettia.

Työssä käydään lyhyesti läpi teoriaa sähkömoottorin, arduinon ja anturien rakenteesta ja toimintaperiaatteesta. Varsinaisessa toteutusvaiheessa keskitytään työn etenemisen eri vaiheisiin ja niistä saatuihin tuloksiin, sekä selvitetään antureiden toimintaa moottorin valmistusprosessin aikana.

2 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY ABB OY

ABB on maailman johtavia teknologian edelläkävijöitä, jonka toiminta perustuu teollisuus-, energia-, liikenne- ja infrastruktuuraloille. ABB Yhtymä syntyi vuonna 1988, kun ruotsalainen ASEA ja sveitsiläinen Brown Boveri yhdistyivät, mutta yrityksen juuret ulottuvat kuitenkin yli 130 vuoden päähän. /1/

ABB työllistää 110 000 ihmistä yli sadassa eri maassa ja yrityksen pääkonttori sijaitsee Sveitsissä, Zurihissä. Vuonna 2019 yrityksen liikevaihto oli 28,6 miljardia dollaria. /4/

2.1 ABB Suomessa

ABB Oy on ABB Yhtymään kuuluva suomalainen tytäryhtiö. Osakeyhtiön juuret ulottuvat vuoteen 1889, kun suomalainen Gottfrid Strömberg ryhtyi itsenäiseksi yrittäjäksi ja avasi ensimmäisen liikkeen Helsingin Kamppiin. Vuodesta 1988 ABB Oy on jatkanut toimintaa menestyksekkäästi Strömbergin jalanjäljissä.

Yhtiö toimii 20 paikkakunnalla Suomessa, joista Vaasalla, Helsingillä, Porvoolla ja Haminalla on lisäksi tehdastoimintaa. ABB Oy työllistää Suomessa 5000 työntekijää ja on Suomen yksi suurimmista teollisista työnantajista, pääkaupunkiseudulla suurin. /3/

2.2 ABB Oy IEC LV Motors

ABB on maailman johtava sähkömoottorivalmistaja ja edelläkävijä energiatehokkaiden moottoreiden kehittämisessä. ABB:n IEC LV Motors -divisioona Vaasassa panostaa vahvasti korkean hyötysuhteen moottoreiden tutkimukseen ja tuotekehitykseen. IEC LV Motors -divisioona valmistaa ja kehittää räätälöityjä IEC-pienjännitemoottoreita kaikille teollisuudenaloille ja kaikkiin sovelluksiin maailmanlaajuisesti. /2/

Vaasan yksiköllä on vastuu pienjännitemoottoreiden valmistuksesta ja tuotekehityksestä vaativiin käyttöihin. Kattavalla tuotevalikoimalla ja asiantuntemuksella

autetaan arvoa ajattelevia teollisuusasiakkaita parantamaan tuottavuutta ja energia-
tehokkuutta.

Vaasan tehdas työllistää noin 600 korkeasti koulutettua ammattilaista, jotka suunnittelevat ja valmistavat moottorit vastaamaan asiakkaiden toiveita. /2/

3 ARDUINO

Arduino on avoimeen lähdekoodiin perustuva elektroninen kehitysalusta ja ohjelmointiympäristö. Arduino sisältää helppokäyttöisen laitteiston ja ohjelmiston, sekä sen käyttö perustuu ympärille muodostuvasta kytkennästä ja ohjelmoitavasta koodista. Koodi muodostetaan tietokoneella Arduino IDE-ohjelmalla, johon Arduino yhdistetään USB-liitännän avulla, minkä kautta se saa myös jännitteen toimiakseen. /12/

Arduino syntyi vuonna 2005, kun sen kehittäjät David Cuartellies, Massimo Banzi ja Dave Mellis halusivat kehittää oppilaille helpomman tavan opiskella teknologiaa. Arduinon suosio perustuu sen helppokäyttöisyyteen ja suhteelliseen edulliseen hintaan, joten se soveltuu hyvin myös aloitteleville elektroniikan harrastelijoille. /5/

Arduinon voidaan käyttää muun muassa moottorien ja valojen ohjaamiseen, painikkeiden ja antureiden ohjauksiin sekä lämpötilojen seurantaan. Siihen voidaan liittää kytkentälevyjä, joiden avulla toimintoja voidaan laajentaa ja saada suurempia kokonaisuuksia. /7/

3.1 Arduino UNO

Arduino Uno on arduino-tuoteperheeseen kuuluva mikroprosessori (**Kuva 1.**). Sen piirilevy sisältää mikroprosessorin, 14 digitaalista sisään-/ulostuloa, 6 analogista sisääntuloa, USB-liitännän, oskillaattorin, ICSP-portin ja kiittauskytkimen. Uno on italiaa ja se tarkoittaa numeroa yksi. Nimi muodostui, kun arduinosovelluksen merkinnäksi valittiin 1.0. Tämä arduinotuote on myös ensimmäinen USB-ohjauksella toimiva. /6/



Kuva 1. Arduino Uno-mikroprosessori.

3.2 Arduino IDE

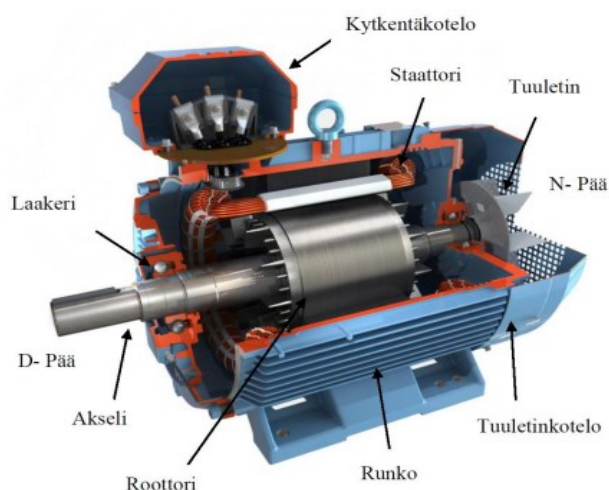
Arduino IDE on tietokoneelle ladattava ohjelmointiympäristö, jolla luodaan koodi kehitysalustalle. Ohjelma tukee Windows, Macintosh OSX ja Linux käyttöjärjestelmiä ja se on ladattavissa ilmaiseksi. Arduino IDE:n toiminta perustuu C++ ohjelmointikieleen, josta ohjelma kääntää koodin mikroprosessorin ymmärtämälle kielelle. Ohjelmaan on myös ladattavissa erilaisia kirjastoja, jotka antavat valmiin pohjan mikroprosessorilla ohjattavaan laitteeseen, ja näin ollen helpottaa ohjelmointia. /7/

4 SÄHKÖMOOTTORI

Sähkömoottori on laite, joka muuntaa siihen syötetyn sähköenergian liike-energiaksi. Sähkömoottorin toiminta perustuu siihen, että virrallisen johtimen ja moottorin sähköisten magneettien avulla luodaan moottoriin magneettikenttä, jonka napaisuutta sopivalla taajuudella vaihtelemalla moottori saadaan pyörimään.

Sähkömoottoreita on olemassa useampaa eri tyyppiä, mutta ne voidaan jakaa karkeasti kolmeen tärkeimpään: epätahti-, tahti- ja tasavirtamoottoreihin. Epätahti- ja tahtimoottorit ovat vaihtosähkömoottoreita. /10/

Sähkömoottori muodostuu kahdesta pääkomponentista, jotka ovat akselin mukana pyörivä roottori ja paikallaan pysyvä staattori. Roottori ja staattori sisältävät käämitykset, joiden muotoilu ja rakenne vaihtelevat konetyypin mukaan. Lisäksi huomioitavia komponentteja ovat liitinkotelo, laakerikilvet ja laakerointi. Staattori ja laakerikilvet ovat kiinnitettynä toisiinsa ja muodostavat yhdessä moottorin rungon. Laakerikilpiin on kiinnitetty laakerit, jotka ovat joko liuku-, rulla- tai kuulalaakereita ja niiden tehtävänä on kannatella staattoriaukossa olevaa roottoria. Kuvassa 2 on havainnollistettuna oikosulkumoottorin rakenne. /10/



Kuva 2. Oikosulkumoottorin rakenne.

5 ANTURIT

Anturit ovat mittauslaitteen osia, joihin mitattava suure välittömästi vaikuttaa. Ne mittaavat tai tunnistavat jonkin kemiallisen tai fysikaalisen ilmiön ja muuntavat siitä saadun tiedon käyttökelpoiseen muotoon, kuten sähköiseksi tai pneumaattiseksi viestiksi.

Mittaavat anturit toimivat lähinnä prosessiteollisuudessa ja kiinteistöautomaatiossa, jolloin mitattavasta kohteesta tarvitaan jatkuvaa tietoa ja kohde voi sisältää useita eri arvoja mittausajan kuluessa. Tunnistavat anturit toimivat pääasiassa kappaletavara-automaatiossa, jolloin anturin tehtävänä on tunnistaa esineiden ja koneiden osien paikkaa. Näistä antureista saadaan tyypillisesti vain kaksi tietoa eli anturi tunnistaa esineen, jolloin signaalin tila on 1 tai anturi ei tunnista esinettä, jolloin signaalin tila on 0. /9/

Antureihin liittyvät nimitykset ja käsitteet:

Tuntoelin: se osa anturia, joka suorittaa varsinaisen mittauksen tai tunnistautumisen, esimerkiksi lämpöanturin vastus

Mittamuunnin: muunnin, joka muuntaa mitattavan suureen arvot mittausviestiksi

Mittalähetin: lähetin, joka muuntaa mittausarvot standardin mukaiseksi lähtöviestiksi.

Nimellinen mitta-alue: alue, jonka on oltava vähintään yhtä suuri kuin mitattava arvo

Mittausepävarmuus: prosentteja koko mittausalueesta

Epälineaarisuus: lähtöviestin poikkeama ideaalisuorasta

Hystereesi: mittausarvojen ero nousu- ja laskusuunnassa

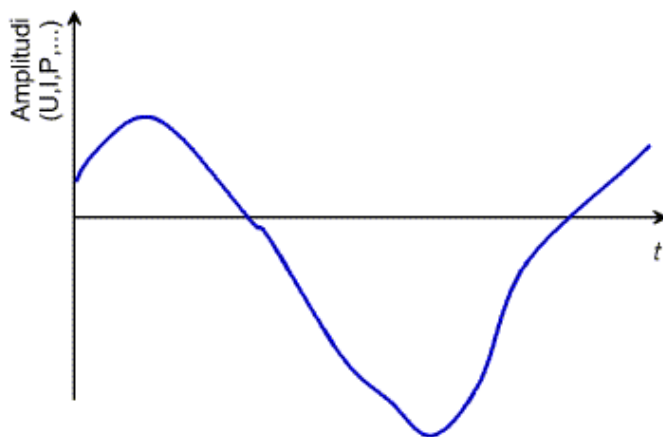
Toistettavuus: anturin kyky pitää tarkkuus

Resoluutio: erotustarkkuus, pienin askelmuutos

Erotuskynnys: pienin mittausarvon muutos, joka saa aikaan lähtöviestin muutoksen /9/

5.1 Analoginen signaali

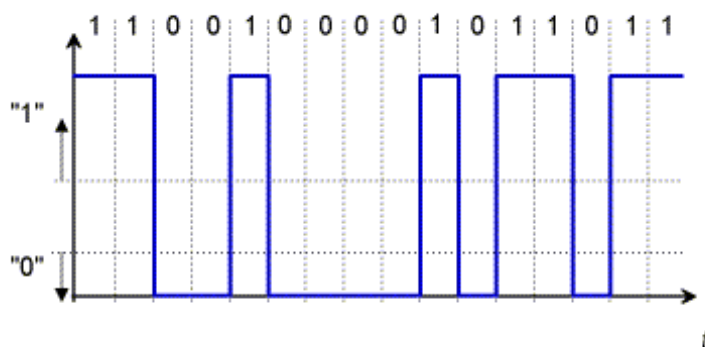
Signaali on analogista, jos sen arvo voi muuttua portaattomasti mittausjakson aikana (**Kuva 3.**). Analoginen signaali on olemassa kaikkina ajanhetkinä ja se voi saada minkä tahansa arvon vaihteluvälillään. Analogisella signaalilla on jatkuva amplitudiskaala. /9,11/



Kuva 3. Analoginen signaali.

5.2 Digitaalinen signaali

Digitaalinen signaali eli toiselta nimeltään binäärisignaali perustuu kahteen tilaan eli joko "1" tai "0" (**Kuva 4.**). Näitä kahta arvoa kutsutaan biteiksi, jotka yhdessä muodostavat digitaalisia lukuja. Nämä bittijonot voivat tarkoittaa esimerkiksi mitattua lämpötilaa. Digitaalinen signaali on määritelty vain tietyinä ajanhetkinä ja se voi saada vain tiettyjä arvoja resoluution rajoissa. Esimerkiksi digitaalinen lämpömittari voi ilmaista lämpötilan 0,1 asteen tarkkuudella, jolloin tätä pienemmät muutokset jäävät havaitsematta /9,11/



Kuva 4. Digitaalinen signaali.

5.3 Lämpötila-anturi

Lämpötila-anturi on elektroninen laite, joka mittaa ympäristön lämpötilan ja muuntaa saadut signaalit sähköiseksi tiedoksi. Lämpötila-antureita on olemassa monia erilaisia. Jotkut anturit vaativat suoran kosketuksen tarkkailtavan fyysisen kohteen kanssa, kun taas toiset mittaavat epäsuorasti kohteen lämpötilan. /13/

5.3.1 DS18B20

DS18B20 on Dallas semiconductorin valmistama digitaalinen lämpötila-anturi, joka mahdollistaa 9-12bitin lämpötilamittauksen celsiusasteina. DS18B20 käyttää kommunikointiin 1-wire protokollaa, joka mahdollistaa vain kahden johtimen käytön, maapotentiaalin ja datan. Anturi saa käyttöjännitteensä datajohtimesta, jonka ansiosta erillistä jännitesyöttöä ei välttämättä tarvita. Jokaisella anturilla on oma yksilöllinen 64-bitin sarjanumero, joka mahdollistaa usean DS18B20-anturin kytkemisen samaan väylään. /8/

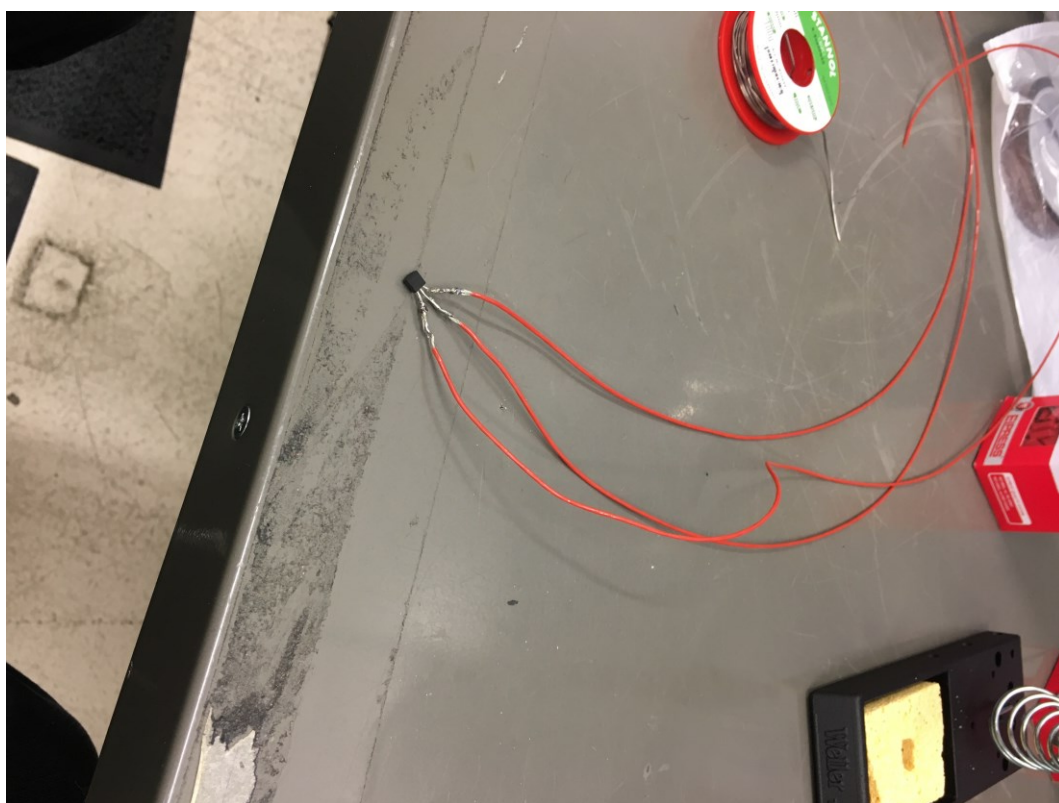
6 TYÖN TOTEUTUS

Työ aloitettiin tutkimalla, millaisia eri vaihtoehtoja digitaalisista lämpötila-antureista löytyy. Painotus antureiden tutkimisessa oli kiinnittää huomiota niiden toimintalämpötilaan, etenkin maksimiarvoon, jonka anturi kykenee mittaamaan. Vaihtoehtoja löytyi paljon, mutta nopeasti kävi ilmi, että suurin mahdollinen maksimiarvo, jonka digitaalinen lämpötila-anturi kykenee mittaamaan, on 150 astetta. Tämä tieto oli tässä kohtaan ratkaiseva, sillä aiemmin digitaalisen lämpötila-anturin toimintaa oli prototyypillisesti testattu Dallas semiconductorin DS18B20-anturilla ja tällä anturilla oli jo kyseinen 150 asteen maksimi toimintalämpötila. Kävi siis selväksi, ettei tästä suurempaa toimintalämpötilan omaavaa anturia löydy, joten DS18B20 alkoi tässä kohtaan näyttää parhaimmalta vaihtoehdolta. Antureita kuitenkin tutkittaessa kaksi vaihtoehtoa MAX31820 ja DS18S20 nousivat potentiaalisiksi DS18B20 rinnalle, myös niihin valmiina olevan ja helposti löydettävän arduinokoodin ansiosta. Ajatuksena oli lähteä testaamaan kaikkia kolmea anturia, mutta niiden samankaltaisuuden ja DS18B20 helpon saatavuuden vuoksi päädyttiin käyttämään pelkkää DS18B20-anturia työssä. Anturit hankittiin paikalliselta Starlec Oy elektroniikkaliikkeeltä.

Kun anturien tutkiminen oli saatu päätökseen ja anturit hankittua alettiin keskustelemaan, miten itse testausta lähdetään suorittamaan. Tultiin siihen tulokseen, että asennettaisiin anturit staattoripaketin käämiin, ajetaan staattoripaketti hartsauksen läpi ja tehdään lopuksi eristyskoe antureille. Näiden kaikkien toimenpiteiden aikana anturien toimintaa tuli testata arduino-mikroprosessorilla, jolloin voitiin seurata miten anturit toimivat eri testausvaiheissa. Suunnitelman oltua selvillä, lähdettiin kyselemään KK-rakennuksen kääminnästä, josko heillä löytyisi tuotantokelvotonta staattoripakettia, jota voitaisiin käyttää opinnäytetyön tutkimisessa. Mainitun mukainen staattoripaketti löytyi ja päästiin aloittelemaan työn testausvaiheita. Työn testausvaiheet etenivät seuraavasti.

6.1 Johtimien juottaminen antureihin

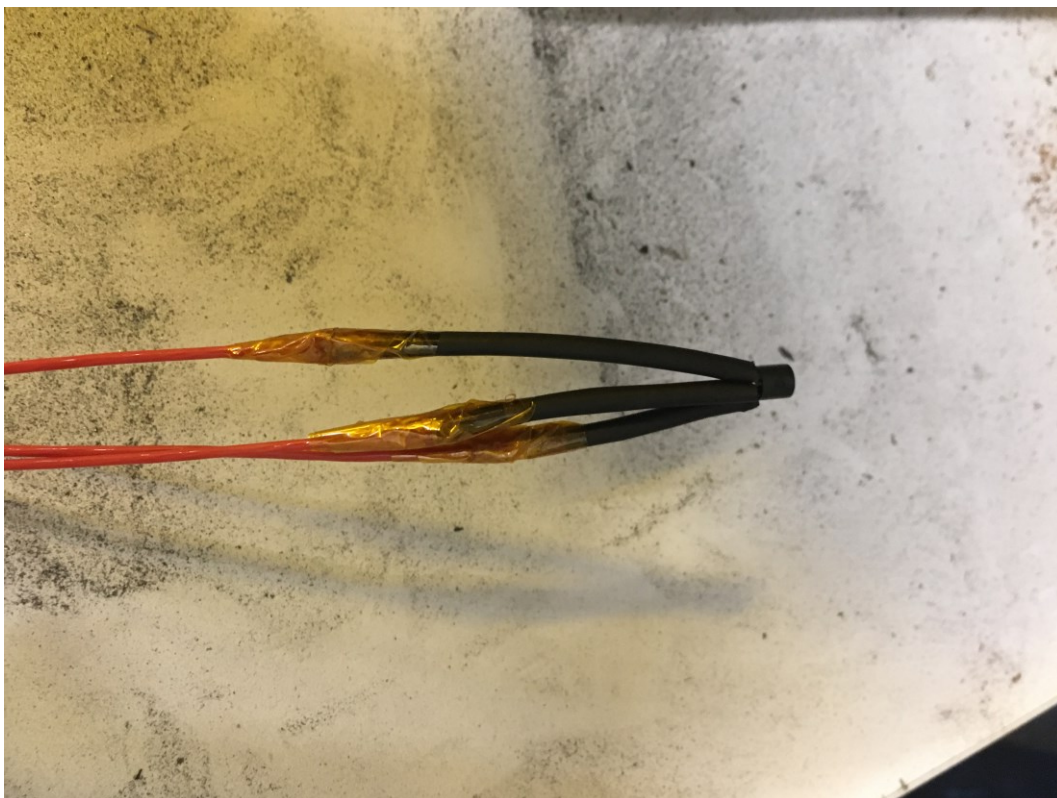
Testausvaihe alkoi anturien valmisteluilla, mikä tarkoitti johtimien juottamista antureihin. Johtimiksi alun perin ajateltiin käyttää 0,25 mm johdinta, mutta tämä osoittautui kuitenkin toimintalämpötilaltaan liian alhaiseksi. Päädyttiin tiedustelemaan kääminnästä löytyisikö heiltä soveltuvaa johdinta varastosta. Heiltä löytyi soveltuvia vaihtoehtoja ja päädyttiin pienimpään mahdolliseen johtimeen, joka oli poikkipinnaltaan 0,5 mm. Johtimien juottaminen antureihin osoittautui aluksi hie- man hankalaksi, 0,5 mm johtimen ja anturin antaman lämpötilakestävyyden sekä allekirjoittaneen ruostuneen juottamiskokemuksen johdosta. Anturia sai kuormittaa 240 asteella maksimissaan 10 sek ajan, joten tämä tuli huomioida juottaessa. Ku- vassa 5 on yhden valmiin anturin juotos johtimiin.



Kuva 5. Johtimet juotettuna anturiin.

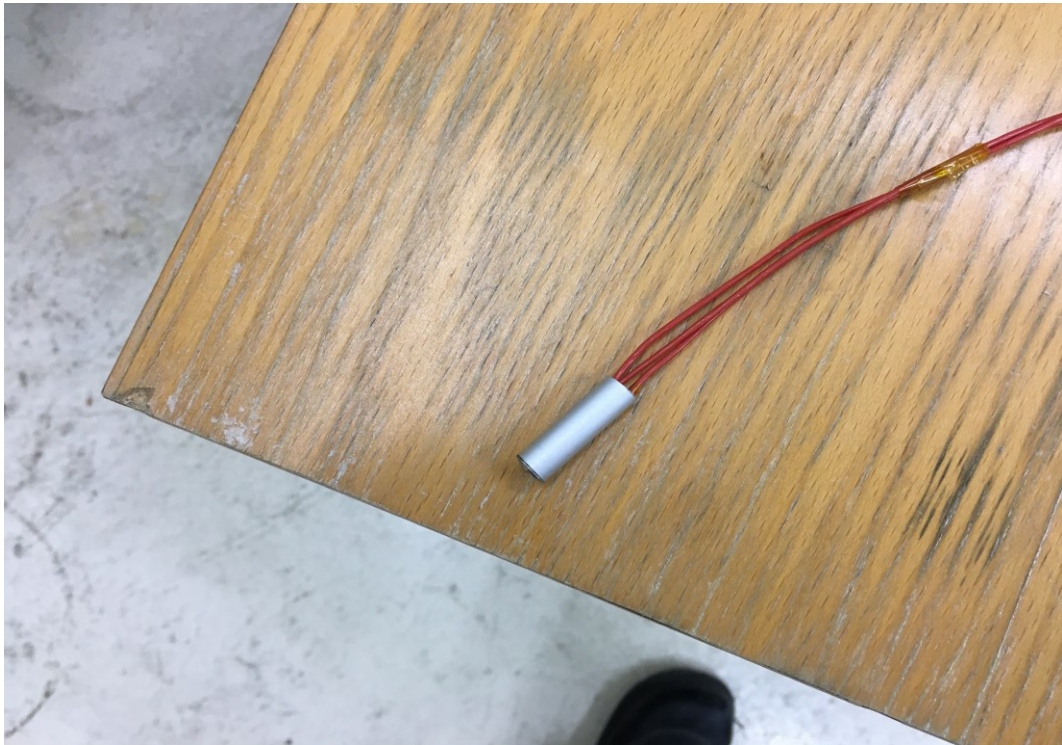
Anturien jalat suojattiin kutistesukalla, estäen niiden koskettamisen toisiinsa. Kutistesukkaa ei varmuuden vuoksi lämmitetty kiinni, ettei anturia vahingoitettaisi. Tähän ratkaisuksi käytettiin kapton teippiä kutistesukan paikoillaan pitämiseen

(**Kuva 6.**), joka on silikonipohjaisella liimalla varustettu lämmönkestävä teippi. Tällä menetelmällä toteutettiin jokainen anturi.



Kuva 6. Anturin juotoskohta suojattuna kutistesukalla.

Itse anturit oli tarkoitus suojata alumiiniholkeilla (**Kuva 7.**), mutta nämä paljastuivat seuraavassa sijoitusvaiheessa liian kömpelöiksi ja isoiksi testattavaan käämiin. Vaikka anturit olisi voinut kovempaa voimaa käyttäen saada käämin sisälle, ei tämä olisi oikeassa tuotantokäytössä ollut millään tavalla järkevää, joten luovuimme alumiiniholkkien käytöstä. Kääminnän henkilökunta tiesi neuvoa silikonisukan mahdollisuudesta, joten päädyttiin käyttämään silikonisukkaa kaikissa kolmessa anturissa. Antureissa käytettiin 6 mm paksuista silikonisukkaa, jota laitettiin pidempi pätkä, pitäen samalla anturin johtimia siististi nipussa (**Kuva 8.**).



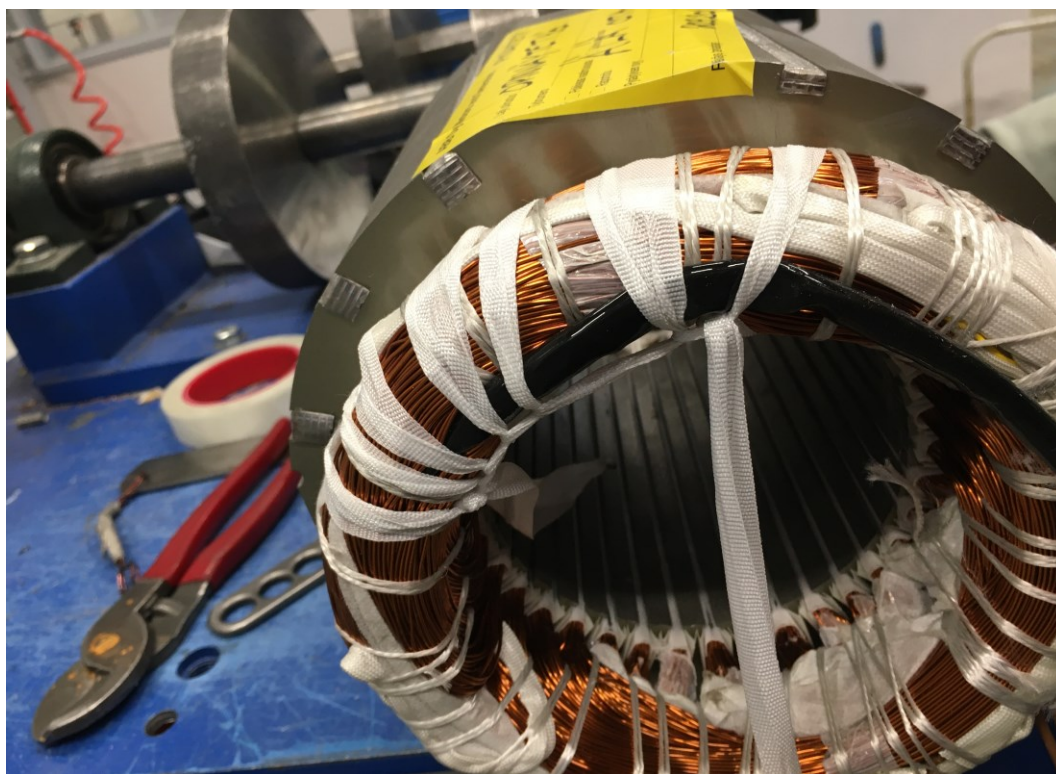
Kuva 7. Anturi suojattuna alumiiniholkilla.



Kuva 8. Anturi suojattuna silikonisukalla.

6.2 Anturien sijoittaminen käämiin

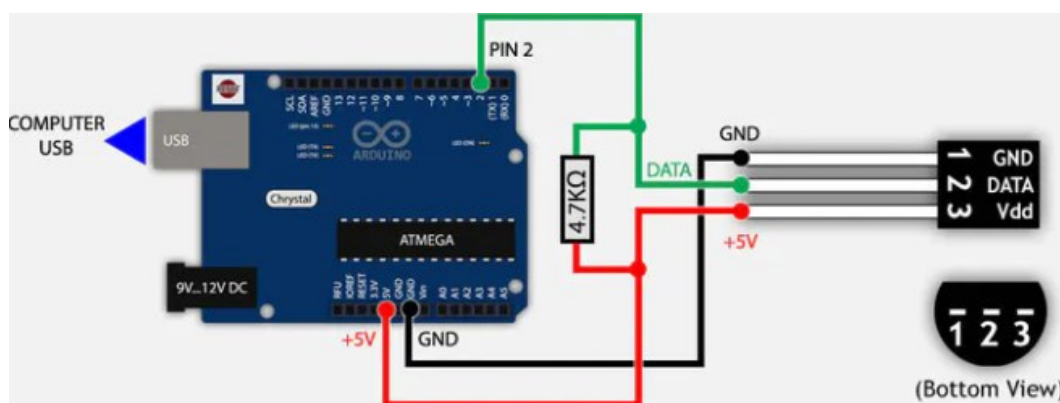
Ennen anturien sijoittamista täytyi johtimet merkata, että sijoittamisen jälkeen tiedetään mikä johdin on mikäkin. Merkkkaus toteutettiin pituuserittelyllä siten, että GND jätettiin pisimmäksi, DQ katkaistiin keskimittaiseksi ja V_{DD} katkaistiin johtimista lyhyimmäksi. Anturien sijoittaminen käämiin tapahtui siten, että staattoripaketin käämejä kangotettiin siihen tarkoitetulla työkalulla ja sujautettiin anturit kääminnän sisälle. Käämilankoja aseteltiin anturien päälle niin, että anturit jäivät piiloon niiden alle. Tässä työvaiheessa tuli edellä mainittu ongelma alumiiniholkkien kanssa, jotka päätettiin vaihtaa silikonisukka ratkaisuun. Testattavana olevat kolme anturia sijoitettiin eri puolille vyyhtiä, sillä menetelmällä, että yksi antureista laitettiin yläreunaan, yksi keskivaiheille ja yksi alareunaan. Tällöin anturit olivat sijoitettuna joka vaiheelle. Lopuksi anturit niputettiin siististi vyyhtiin (**Kuva 9**).



Kuva 9. Anturi käämin sisällä ja niputettuna.

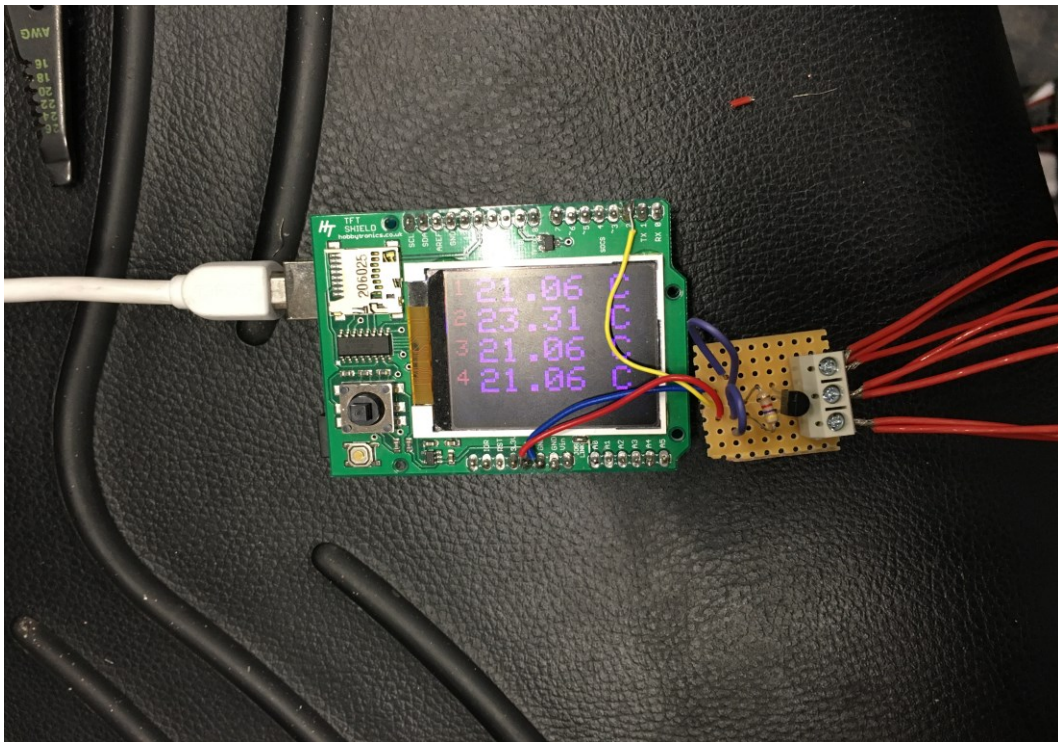
6.3 Anturien testaus ennen hartsausta

Antureiden sijoittamisen jälkeen oli tärkeää testata anturien toiminta ennen hartsausta, jotta voidaan olla varmoja, että anturit ovat ehjiä vielä tässä vaiheessa. Antureiden testauksessa käytettiin arduino UNO-mikroprosessoria, johon oli valmiiksi ajettuna ohjelma sisälle. Arduinon kytkentä oli toteutettu aiemmin, johon tehtiin pieniä muutoksia muun muassa juottamalla uusi liitin, jonka ansiosta johtimet saatiin vain ruuvata kiinni, mikä helpotti testauksien tekemistä. Kuvassa 10 on havainnollistettuna arduinon tehty kytkentä poikkeuksena, että työssä käytettiin maan (GND) värinä sinistä ja datan (DQ) värinä keltaista. Virtajohdin (V_{DD}) oli toteutettu punaisella niin kuin kytkentäkuvassa. Kaikki kolme anturia voitiin kytkeä arduinon rinnan tämän kytkennän mukaisesti.



Kuva 10. Anturien kytkentä arduinon.

Testauksessa anturit kytkettiin rinnan arduinon kytkentälevyllä oleviin liittimiin ja liitettiin arduino usb-kaapelilla tietokoneeseen, josta se sai syöttävän jännitteen. Tämän jälkeen arduinon ruudulle ilmestyi realistiset lämpötilat ja päästiin todistamaan, että anturit toimivat (**Kuva 11**). Yksi antureista näytti hieman eri lämpötilaa muihin verrattuna, mutta tähän ei löydetty järkevää selitystä. Tultiin siihen tulokseen, että ero johtuu anturin virheestä. Kytkentälevyllä sijaitsee myös yksi anturi, joten siksi näytössä näkyy neljä arvoa. Kuvassa 12 on vielä kokonaiskuva testauksesta. Kun tässä vaiheessa kaikki oli valmista, staattoripaketti oli valmis lähetettäväksi hartsaamoon. Tärkeää oli merkata selkeästi lavaan ohje, että staattoripaketti hartsausken jälkeen takaisin alakertaan, ettei se vahingossakaan joutuisi tuotantoon.



Kuva 11. Anturien lämpötila-arvot arduinossa ennen hartsausta.



Kuva 12. Anturien testaus kokonaiskuvana.

6.4 Anturien testaus hartsauksen jälkeen

Hartsaus on moottorin valmistusprosessin vaihe, jossa staattoripaketin käämit kylästetään hartsilla. Tämän ansiosta se sitoo eristeet sähköisesti ja mekaanisesti kestäväksi kokonaisuudeksi. Hartsausmenetelmiä on kolmenlaisia, tyhjiö-, uppo- ja valutuskyllästys. Tässä työssä käytettiin tyhjiökyllästystä. Kun staattoripaketti saapui tästä työvaiheesta, suoritettiin anturien testaus samalla periaatteella kuin ennen hartsaukseen menoa. Johtimet laitettiin kiinni arduinon ja näytölle ilmestyi lämpötilat jokaiselle anturille. Voitiin todeta, että anturit olivat ehjät ja läpäisivät tämän testausvaiheen (**Kuva 13.**).

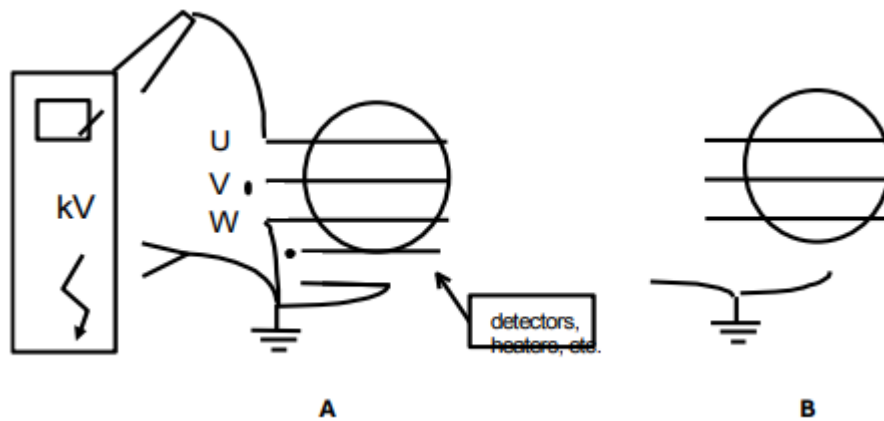


Kuva 13. Anturien lämpötila-arvot arduinossa hartsauksen jälkeen.

6.5 Eristyskoe

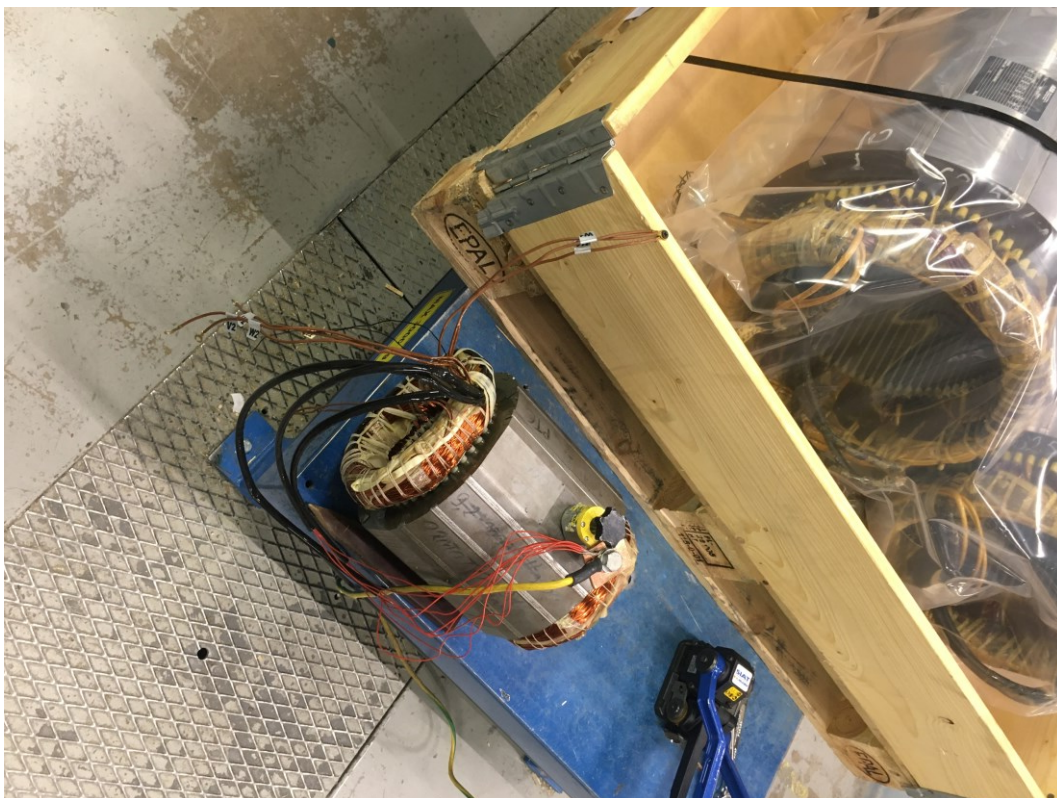
Viimeisenä vaiheena antureille suoritettiin eristyskoe. Testin tarkoituksena oli selvittää, kestävätkö anturit ulkoisella yksiköllä syötetyn hetkellisen ylijännitteen. Testauksessa anturin johtimet maadoitettiin ja staattoripaketin vaihejohtimet ruuvattiin yhteen. Ylijännite ajettiin vaihejohtimien ja maadoitettujen anturien välille.

Kuvassa 14 on havainnollistettuna suoritettu kytkentä testaukselle. Tässä testauksessa käytettiin kuvassa 14 oikealla puolella esitettyä B-menetelmää.



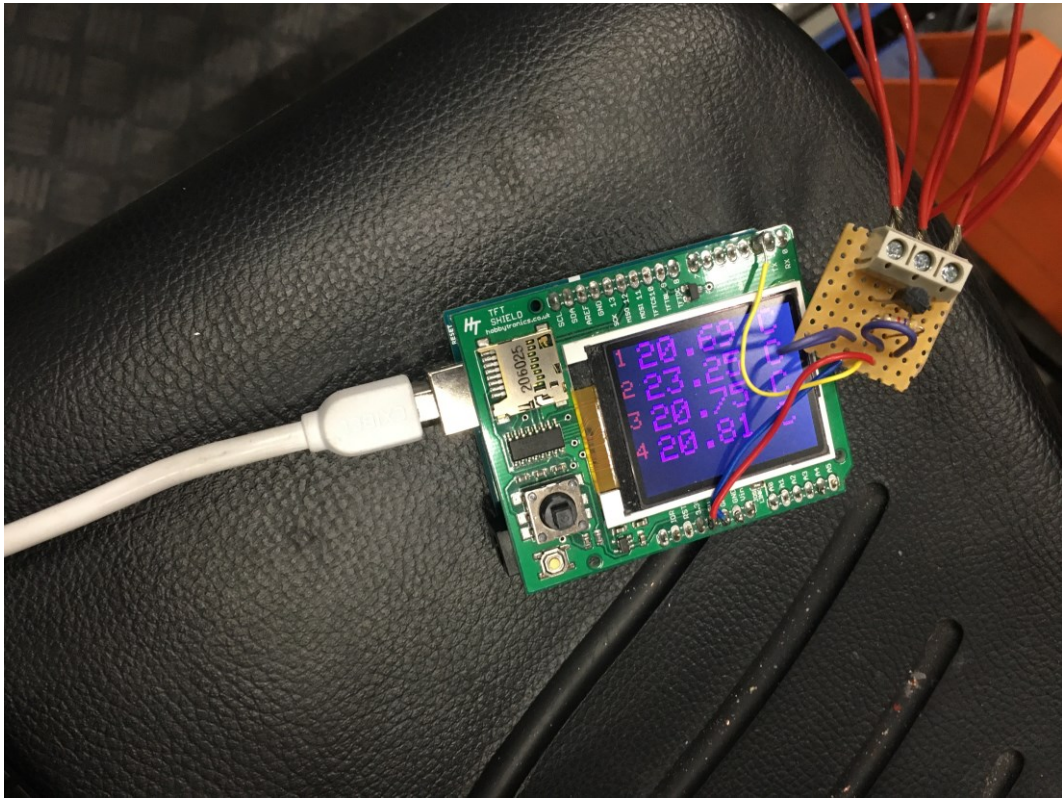
Kuva 14. Eristyskokeen kytkentäkuva.

Koestusjännitteenä eristyskokeelle käytettiin 2400 V ja 2900 V vaihtojännitettä. 2400 V testauksessa koestusaika oli 60 sekuntia ja 2900 V testauksessa 1 sekunti. Vuotovirraksi 2400 VAC saatiin 6 mA ja 2900 VAC saatiin 9 mA. Hyväksytyyn vuotovirran tulee alittaa 150 mA, joka tämän testin perusteella alittui molempien koestusjännitteiden tapauksissa, todeten anturien johtimien eristysten kestävä testauksen. Kuvassa 15 on esitettyä tehty kytkentä kokeelle. Kuvan 15 ruskeat johtimet ovat vaihejännitteiden johdot yhdistettynä ruuvilla lavaan ja oranssit antureiden johtimet maadoitettuna staattoripaketin päälle.



Kuva 15. Eristyskokeen kytkentä.

Eristyskokeen jälkeen oli aika testata jälleen anturien toiminta ja selvittää kestävätkö ne kokeessa syötetyn ylijännitteen. Johtimet kiinni arduinon ja ratkaisun hetket. Arduinon näytölle ilmestyi realistiset lukemat, joten anturit toimiva viimeisenkin testauksen jälkeen (**Kuva 16.**).



Kuva 16. Anturien lämpötila-arvot arduinossa eristyskokeen jälkeen.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, onko digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen mahdollista sähkömoottorissa ja etenkin selvittää kestävätkö anturit moottorin valmistusprosessissa. Työssä tutkittiin valmistusprosessin kannalta kriittisintä vaihetta, jossa staattoripakettiin sijoitetut anturit ajettiin hartsausprosessin läpi. Työn tulokseen voidaan olla tyytyväisiä, sillä anturit kestivät valmistusprosessin kriittisimmän vaiheen ja näin ollen avasi ovia jatkokehitysmahdollisuuksia ajatellen.

Opinnäytetyön kehitysideana voisi olla jatkojalostaa antureiden soveltuvuutta oikeassa tuotantokäytössä, sillä työssä antureiden testaus oli prototyypistä. Antureihin voisi olla mahdollista kehittää jonkinlainen piirikortti, jolloin juottamisprosessia ei tarvitsisi tehdä, mikä ei oikeassa tuotantovaiheessa olisi kannattavaa.

Digitaalisten lämpötila-antureiden käyttäminen sähkömoottoreissa voisi jatkokehityksen jälkeen olla kannattavaa, sillä se vähentäisi komponenttien määrää ja sitä kautta kustannuksia saataisiin pienennettyä.

LÄHTEET

- /1/ ABB lyhyesti. ABB verkkosivut. Viitattu 09.03.2021.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/>
- /2/ ABB Oy IEC LV Motors. ABB verkkosivut. Viitattu 13.11.2021.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/iec-lv-motors>
- /3/ ABB Suomessa. ABB verkkosivut. Viitattu 09.03.2021.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- /4/ ABB-yhtymän koko vuoden 2019 tulos. sttinfo 2020. Viitattu 09.03.2021.
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/abb-yhtymän-q4-ja-koko-vuoden-2019-tulos?publisherId=4270&releaseId=69874197>
- /5/ About Us. Arduino verkkosivut. Viitattu 7.4.2021. <https://www.arduino.cc/en/Main/AboutUs>
- /6/ Arduino Uno. Arduino verkkosivut. Viitattu 7.4.2021. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- /7/ Banzi, M. 2014. Getting started with Arduino. Viitattu 7.4.2021.
<https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.puv.fi/lib/vamklibrary-ebooks/reader.action?docID=1887986>
- /8/ DS18B20 datasheet. Maximintegrated. Viitattu 17.5.2021. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- /9/ Keinänen, T & Lappalainen, M. 2019. Automaatiotekniikka. Helsinki. Sonoma Pro Oy.
- /10/ Korpinen, L. 10 Sähkökoneet, osa 1. Viitattu 27.4.2021.
http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf
- /11/ Sähköisiä signaaleja. Kuisma. Viitattu 15.5.2021.
<http://www.kuisma.eu/elper/2signal/1index.html>
- /12/ What is Arduino? Arduino verkkosivut. Viitattu 7.4.2021. <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- /13/ What is temperature sensor? Fierce electronics verkkosivut. Viitattu 18.5.2021. <https://www.fierceelectronics.com/sensors/what-a-temperature-sensor>