

Tomi Paananen

Tuotantotyökalun ohjaus- ja mittausliitännän toteuttaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Koulutusohjelman nimi

Insinööriyö

29.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Tomi Paananen Tuotantotyökalun ohjaus- ja mittausliitännän toteuttaminen
Sivumäärä Aika	24 sivua 29.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Elektroniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Kasurinen Tuotekehitysjohtaja Kari Toivokoski
<p>Insinööriyön tavoitteena oli kehittää ja testata Sintrol Oy:n kehitteillä olevan Production Tool -tuotantotyökalun signaaleja ohjaavat ja mittaavat kytkennät. Tuotantotyökalun tarkoitus on automatisoinnin avulla nopeuttaa tuotantoa ja minimoida inhimillisiä virheitä.</p> <p>Tuotantotyökalun laajuuden takia tuli ensin valita mitä kytkentöjä aiotaan liittää työhön. Työhön valittiin virtamittauskytkentä sekä mittauksen ohjaus.</p> <p>Virtamittauksen pohjaksi tuli Sintrol Oy:n muissa tuotteissa käytetty jännitteennostin, josta syötetään jännite tunnetun vastuksen läpi ja lasketaan virta linjassa. Kytkimien avulla saadaan vaihdettua virran suunta eli se, mitataanko tuotteelle menevän signaalin arvo vai tuotteelta tuleva virta.</p> <p>Mittauksen ohjaus suoritetaan syöttämällä signaaligeneraattorista signaalia vaimentimen läpi. Vaimennettu signaali syötetään testattavan tuotteen mittapäälle ja mitattu arvo luetaan tietokoneelta.</p> <p>Työn lopputuloksena oli piirilevy, jossa on virtamittauskytkentä ja vaimennin, jonka alihankkija on suunnitellut ja testannut.</p>	
Avainsanat	Virtamittaus, Sintrol Oy, teollisuuden liitännät

Author Title Number of Pages Date	Tomi Paananen The Implementation of the Measurement and Control Interface of the Production Tool 24 pages 29 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Specialisation option	Electronics
Instructor(s)	Kari Toivokoski Research and Development Manager Timo Kasurinen Senior Lecture
<p>The goal of the thesis was to create a test circuit for the connections of the Production Tool. Production Tool is an upcoming product of Sintrol Oy. Production Tool tests and produces Sintrol's dust measuring devices.</p> <p>The subject is quite broad so first it was needed to reduce the size of the work. Current measuring circuit and control for the dust measurement were chosen for this work.</p> <p>The current circuit is based on a voltage booster that is used in Sintrol's other products. The current flows through a measuring resistor and the voltage difference is measured. When voltage and resistance are known, the current can be calculated. Whether to read from the product or write to the product, can be changed with switches</p> <p>The measurement control is created by running a signal from a signal generator through a attenuator and then driven to the measurement probe of the product.</p> <p>The end result was a circuit board that includes both of the circuits. The attenuator was designed and tested by a subcontractor.</p>	
Keywords	Current measuring, Sintrol products, Industrial connections

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sintrol Oy:n tuotteet	2
2.1	S500-tuoteperhe	2
2.2	Snifter pölymittaustuoteperhe	3
2.3	Dumo pölymittaustuoteperhe	3
2.4	S700-tuoteperhe	5
2.5	Sintrol-tuotteisiin valittavat lohkot	6
2.5.1	Milliampeerikytkentä	6
2.5.2	Langaton radiotaajuinen yhteys	6
2.5.3	RS485 langallinen sarjamuotoinen teollisuusliitäntä	6
2.5.4	230V:n virtalähde	7
3	Aiheen valinta ja rajaus	7
4	Ongelmaratkaisumenetelmä	10
5	Production Tool -Tuotantotyökalu	10
5.1	Tuotantotyökalu	11
5.2	Ohjelmointi ja testaus tuotannossa	12
5.2.1	Virtasignaalin testaus	12
5.2.2	Mittasignaalin testaus	12
5.2.3	Langattoman yhteyden (RF) testaus	13
6	Tuotantotyökalun työssä kalibroitavat osuudet	13
6.1	Milliampeerisilmukan testauskytkennän teoria ja toteutus	13
6.2	Mittakytkennän teoria ja toteutus	15
6.3	Sisään- ja ulostulosignaalien teoria ja toteutus	16
7	Tuotantotyökalun kalibroitavien osuuksien piirikaavioiden tekeminen	17
8	Piirikortti ja sen fyysinen toteutus	18
8.1	Jännitteennostin 3.6 V:sta 24 V:iin	19

8.2	Sisään- ja ulostulosignaalien fyysinen toteutus	20
8.3	Milliampeerikytkennän fyysinen toteutus	20
8.4	Vaimentimen fyysinen toteutus	21
9	Tuotteen testaus	22
10	Muutoksia tuleviin versioihin	22
11	Yhteenveto	23
	Lähteet	26

Lyhenteet

RF Radio Frequency, tarkoittaa langatonta radiotaajuista yhteyttä.

IO Input Output, sisään- ja ulostulosignaalit.

mA Milliampeeri

NAMUR Alue on 3.5 mA:sta 23 mA:iin

1 Johdanto

Sintrol Oy on suomalainen pölymittausjärjestelmien valmistaja ja jälleenmyyjä. Sintrol Oy:n laitteet soveltuvat prosessi- ja ambient-pölymittauksiin aina leipomoista suuriin voimalaitoksiin. Tuoteperhe on kattava ja sisältää itsenäisesti toimivan Dumo-tuotteen, suurempiin järjestelmiin soveltuvan S500-perheen tuotteet, sekä monia muita mittareita. Sintrol Oy valmistaa myös tietokoneohjelmat, joilla mittareita ohjataan, parametroidaan ja valvotaan.

Sintrol Oy:n tuotteet tulevat varastoon kasattuina ja sähköisesti testattuina. Ohjelmisto tulee ladata tuotteeseen ennen asiakkaalle lähetystä. Tuote tulee myös testata. Ohjelmiston lataaminen ja testaus tulee tehdä manuaalisesti jokaiselle tuotteelle erikseen. Tämä haluttiin automatisoida, joten ruvettiin kehittämään Production Tool -tuotantotyökalu.

Työn aiheena on kehittää virranohjaus ja mittakytkennän toteuttaminen pölymittareita valmistavaan Production Tool -tuotantotyökaluun. Työkalu on tarkoitus käyttää pölymittareiden tuotannossa. Projektin tavoitteena on nopeuttaa tuotantoa ja eliminoida mahdollisia inhimillisiä virheitä.

Kun tuotteita testataan, tulee niille pystyä syöttämään tarkalleen oikeita milliampeeri-arvoja. Näiden arvojen tulee olla täsmälleen oikein, sillä ne ovat perusta tarkalle mittaukselle. Kytkennän tulee myös pystyä syöttämään laaja skaala arvoja, jotta saadaan tarkka mittaus.

Jotta tiedetään, että tuotteen mittaamat tulokset ovat oikein, tulee tuote testata. Mittaus toteutetaan samalla periaatteella kaikissa Sintrol Oy:n tuotteissa. Prosessin putkessa kulkee pölyä, joka ohittaessaan ja osuessaan tuotteen mittapäähän aiheuttaa tribosähköisen ilmiön, joka saa aikaiseksi sähkövirran. Signaali vahvistetaan ja muutetaan digitaaliseen muotoon. Digitaalinen signaali syötetään tietokoneelle, jossa ohjelma tulkitsee signaalin ja esittää sen käyttäjälle. Jotta voidaan varmistaa mittauksen paikkansapitävyys, tulee pystyä simuloimaan tilannetta. Työssä kehitetään ohjauskytkentä, jonka avulla saadaan simuloitua mittatilanne luotettavasti.

2 Sintrol Oy:n tuotteet

Sintrol Oy:n tuoteperheet, joita voidaan tuottaa Production Tool-tuotantotyökalulla, ovat S500-, Dumo-, Sniffer- ja S700-perheiden tuotteet. Kaikissa tuoteperheissä on useita tuoteversioita, joiden ladonta vaihtelee.

2.1 S500-tuoteperhe

S500 (Kuva 1) on Sintrol Oy:n pölymittauksen lippulaiva. Tuote on tarkoitettu teollisiin korkean tarkkuuden prosessi- ja päästömittauksiin. Lisäksi tuote esittelee kattavimman joukon ominaisuuksia ja uutta tekniikkaa verrattuna muihin tuotteisiin ja kilpailijoihin. S510 sisältää kaksi korttia, jotka on sijoitettu päällekkäin. Alempi levy sisältäätoiminnot ja ylempi kortti on lähinnä liitinkortti. Yläkortilla on myös etäisyysmittari, jonka avulla saadaan kortin valot sammutettua, kun kansi avataan. Valot valaisevat kannessa olevan logon. S500-tuotteita voidaan käyttää 24 V lisäksi myös verkkovirralla. S500-tuotteissa on metallinen runko, jossa on kiinni mittapäät. Mittapäitä on eripituisia eri käyttötarkoituksiin. S500 sisältää myös releitä, joilla voidaan ohjata muita laitteita sen ympärillä.



Kuva 1. S510-pölymittari [3, s. 26]

2.2 Snifter pölymittaustuoteperhe

Snifter-tuoteperheen (kuva 2) tuotteet ovat pienikokoisia laitteita, joissa on perusmallissa pölymittaus ja paremmin varustelluissa versioissa on myös RF- ja USB-liitännät. Snifter-tuotteet käyttävät 24 V:n käyttöjännitettä. Snifter-tuote on tarkoitettu asennettavaksi osaksi jo olemassa olevaa laitteistoa, jossa ilmavirta, joka kuljettaa pölyä mittapähän, on jo olemassa. Snifter-tuotteissa metallinen runko, johon kiinnitetään mittapää. Snifter myydään usein kiinnityslaatikon kanssa, johon on sijoitettu esimerkiksi USB-erotin.

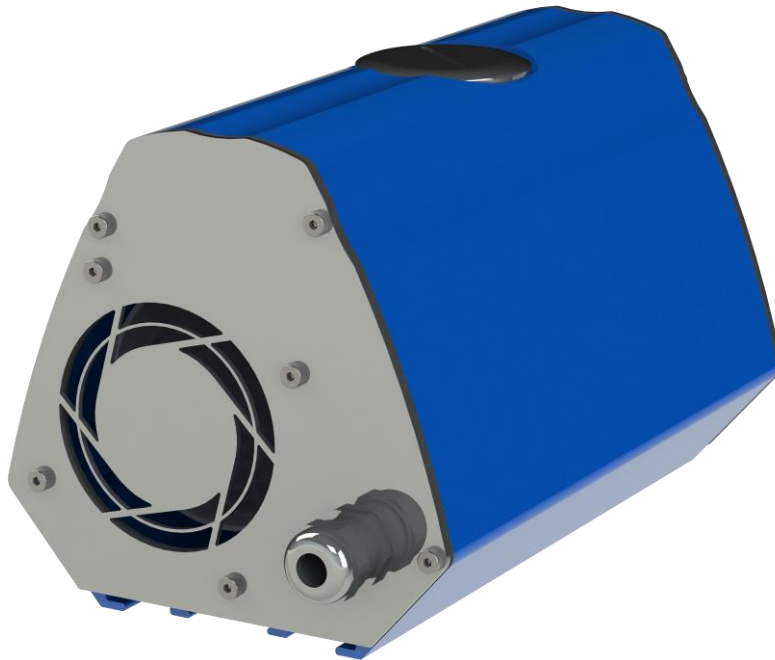


Kuva 2. Snifter A2-pölymittari [3, s.26]

2.3 Dumo pölymittaustuoteperhe

Dumo-tuoteperheen (kuva 3) tuotteet ovat isompia ja itsenäisesti toimivia laitteita, joiden oma tuuletin luo tarvittavan virtauksen. Dumo on tarkoitettu kokonaispölyn reaaliaikaiseen monitorointiin ympärillä olevasta ilmasta, eikä prosessin putkista. Tästä syystä tuote soveltuu hyvin ympäristön pölykonsentraation tarkkailuun, pölyräjähdyksille otollisten olosuhteiden syntymisen estämiseen ja valvontaan. Dumo-tuotteet käyttävät samaa teknistä rakennetta kuin Snifter-tuotteet, mutta näihin kortteihin ladotaan tuuletinliitin, josta saadaan virta tuotteen omalle tuulettimelle. Tuotteen kotelo on metallia ja siinä on lyhyt mittapää, joka on kotelossa olevassa mittaputkessa. Tuuletin imee laitteen sisään

pölyä, jota mittapää sitten mittaa. Dumo-tuotteet käyttävät 24 V:n käyttöjännitettä. Mikäli Dumoa halutaan käyttää verkkovirralla, tulee käyttää erillistä muuntajaa.



Kuva 3. Dumo-pölymitari [3, s.26]

2.4 S700-tuoteperhe

S700 (kuva 4) on laivoissa käytettävä mittalaite. Itse tuote on erityisen hyvin suojattu ja elektroniikka onkin upotettu silikonimassaan, jotta se kestäisi hyvin vaativat laivaolosuhteet ja voimakkaat suolavesisuihkut. Mekaanisten iskujen sekä voimakkaan värinän kestävyys on keskeisiä vaatimuksia S700-perheen tuotteilla. Lisäksi laiva-asennettavien tuotteiden sähköisten emissioiden vaatimukset ovat tarkasti määriteltäviä ja valvottuja ja edellyttää erillistä hyväksyntää.



Kuva 4. S700-pölymittari [4, s. 26]

Keskeistä Sintrol Oy:n tuotteissa on eri toimintojen muokattavuus. Tuotteita voidaan muokata tilanteisiin sopiviksi mm. valitsemalla oikeat moduulit kortille. Kaikissa tuotteissa on suoritin, pölynmittaus sekä virtalähde. Näiden lisäksi muita valittavia moduuleja ovat tyypillisesti mA-, RS485-, radio(RF)- ja USB-moduulit. Tuotannon optimointi usein myös johtaa siihen, että kortit suunnitellaan sisältämään kaiken mahdollisen. Vasta ladonnassa jätetään kyseiseen versioon kuulumattomat osat latomatta piirikortille, jolloin voidaan maksimoida komponenttien hankintakoot sekä minimoida rinnakkaisten komponenttien tarvetta.

2.5 Sintrol-tuotteisiin valittavat lohkot

2.5.1 Milliampeerikytkentä

Milliampeerikytkentä on virtasilmutta, jota perinteisesti käytetään siirrettäessä analogista tietoa suhteellisen pitkiä matkoja. Virtasignaalin etu jännitesignaaleihin nähden on sen tarjoama merkittävästi parempi häiriöiden sietokyky. Yleensä virtasilmutta on galvanisesti erotettu, jotta voidaan estää siirtojohtimien maa-silmukat.

Mittauksesta tuleva tieto muutetaan digitaalisesta muodosta analogiseen ja lähetetään mA-linjaa pitkin eteenpäin. Vastaanottimessa virtasignaali otetaan vastaan, muutetaan takaisin digitaaliseen muotoon ja näytetään tietokoneohjelmassa. Tuotteissa käytetään analogi/digitaalimuunninta, joka säättää silmukavirran halutulle tasolle automaattisesti. virtasilmutkan tulee pystyä tuottamaan arvoja 4 – 20mA. Milliampeerikytkentää ohjataan käyttäen SPI-väylää.

Sintrolin tuotteissa mA-silmukka on erotettu muusta kortista. Näin asiakkaan ei tarvitse rakentaa erillistä erotusta signaalihohtimiin.

2.5.2 Langaton radiotaajuinen yhteys

Radioyhteyttä käytetään sovelluksissa erityisesti silloin, kun halutaan välttää johtoja. Radioyhteyttä käytettäessä tulee kuitenkin ottaa huomioon olosuhteet. Jos tila on häiriöinen tai lähettimen ja vastaanottimen välillä on esteitä, yhteydessä saattaa olla katkoksia, jolloin yhteys voi olla jopa käyttökelvoton. Silloin käytetään yleensä langallista teollisuusväylää, kuten RS485.

2.5.3 RS485 langallinen sarjamuotoinen teollisuusliitäntä

RS485 on differentiaalinen eli balansoitu sarjakytkentäväylä, johon voi olla kytkettynä useampia laitteita samanaikaisesti. Kolmijohtimisessa väylässä liikennöinti tapahtuu vuoro-
suuntaisesti, sillä vain yksi laite voi lähettää kerrallaan. Viisijohtimisessa väylässä liikennöinti voi tapahtua kaksisuuntaisesti [2, s.26.]

RS485-liitäntää käytetään teollisuussovelluksissa, joissa väylälaitteiden etäisyydet voivat olla pitkiä, eivätkä siirtonopeudet ole suuria [2, s. 26]. Sintrol Oy:n tuotteissa RS485 on niin ikään erotettu muusta kortista, eikä tarvetta erilliselle väyläerottimelle ole.

2.5.4 230V:n virtalähde

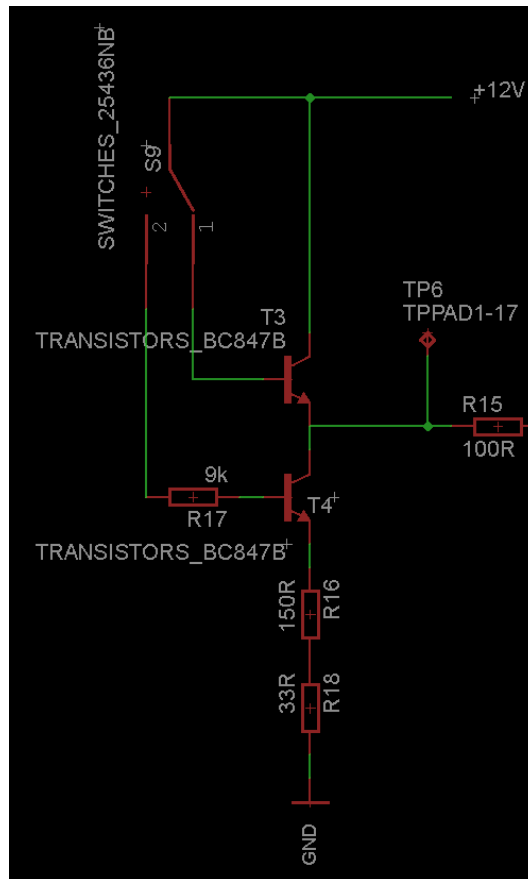
S500-tuoteperheessä on mahdollisuus käyttää 80 - 240 VAC:n verkkovirtaa laitteen käyttämiseen. Liiketoiminnan kansainvälisyys edellyttää virtalähteeltä toimivuutta eri jännitteillä sekä siirtotaajuuksilla (50 - 60 Hz). Kytkenässä käytetään yhteismuotoisen häiriön suodattamiseen Pulse Electronicsin PL2763NL suodatinta, joka pienen kokonsa ansiosta soveltuu hyvin asennettavaksi korttien väliin. Signaali tasasuunnataan käyttämällä diodisiltaa. Päävirtalähteessä käytetään erikseen käämitettyä ACFB20W5V02 muuntajaa, joka muuntaa tasasuunnatun verkkovirran 5 V jännitteeksi. Päävirtalähteen kytkennän sydämenä toimii FSB127H-piiri, joka takaisinkytkennällä ohjaa lähtevän jännitteen suuruutta.

3 Aiheen valinta ja rajaus

Sintrol Oy tarjosi insinööriyöpaikan. Työnohjaajan Kari Toivokosken kanssa päätettiin, että aiheeksi sopisi hyvin Production Tool -nimisen tuotantotyökalun sisään- ja ulostulo-liitäntöjen mittausta- ja testaus. Aluksi tuli laajaa aihepiiriä rajata ja valita, mitä työssä tulee tarkemmin tarkastella.

Aihepiirin tutustumisen jälkeen milliampeeri- ja mittausliitännät sekä sisään- ja ulostulosignaalit osoittautuivat kattavaksi ja monipuoliseksi kombinaatioksi aiheen kannalta. Muita vaihtoehtoja olisivat olleet mm. radio- ja RS485-tiedonsiirtoverkot.

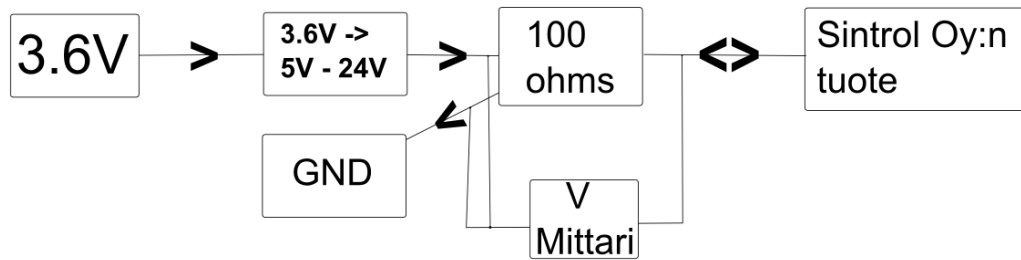
Ensivaiheessa perehdyttiin tarkemmin, mitä käytännössä on tarkoitus saada ulos kytkennästä. mA-signaalin tapauksessa tulee liitäntään saada 4-20 mA virtaa. Seuraava askel oli tarkistaa, mitä tekniikkaa voidaan hyödyntää muista tuotteista ja selvittää, tuleeko kytkentöjä muokata sopiviksi työhön. Tuotteista löydettiin muunneltava virtalähde, jonka skaala sopi hyvin virtamittauskytkentään. Tavoitteena on saada mitattua molempiin suuntiin virrat, mistä syystä tuli kytkennästä saada monipuolinen. Kytkentään lisättiin kytkimiä, joilla saa vaihdettua syöttöpään tarvittaessa maaksi ja työkalun lähtösignaalin tuloksi (kuva 5).



Kuva 5. Transistorit, joilla määritetään virran suunta

Seuraavaksi selvitettiin, miten saadaan mitattua tarvittavat arvot kytkennästä. Tässä vaiheessa tuli selvittää, mikä on paras tapa saada tulevaisuudessa tietokone lukemaan mitta-arvo automaattisesti ja sen perusteella päättämään, tuleeko kytkentään tehdä säätöjä vai siirtyä testauksen seuraavaan kohtaan.

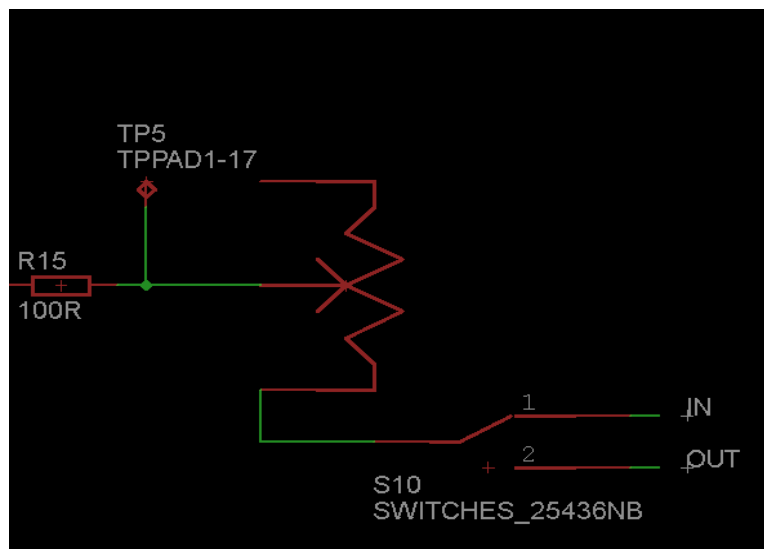
Lopulta päädyttiin rakentamaan kytkentä, jossa mittavastuksen molemmin puolin on jännitemittauspisteet (kuva 6).



Kuva 6. Virtamittauskytkennän lohkokaavio

Kun vastuksen arvo on tarkasti selvillä, saadaan sen läpi kulkeva virta laskettua vastuksen yli olevan jännitteen avulla. Toinen vaihtoehto olisi ollut asettaa paikka virtamittarille ja ohitusvastus, jos virtamittaria ei haluta käyttää. Tämä osoittautui hankalaksi tietokoneen ja mikroprosessorin kannalta, joten ajatus hylättiin.

Lisäksi, jotta voitiin ottaa huomioon eri laitteiden sisääntuloimpedanssit, lisättiin säädettävä vastus mittavastuksen kanssa sarjaan (kuva 7).



Kuva 7. Säädettävä sarjavastus ja kytkin, jolla määritetään luetaanko vai kirjoitetaanko tuotteelle

4 Ongelmaratkaisumenetelmä

Tuotantotyökalun tulee saada selville liitännästä lähtevä virta ja mitattua liitäntään tuleva virta. Valmiita virtamittauskytkentöjä löytyy paljon, mutta ei täysin työn tarkoituksiin sopivaa. Tarkoitus on saada mahdollisimman vähillä testaamattomilla osilla mahdollisimman monipuolinen kytkentä. Virran saa laskettua Ohmin lain mukaan. Kun tiedetään jännite tunnetun vastuksen yli, saadaan virta selville. Sintrol Oy:llä on muissa tuotteissa jännitteen nostin, joka pystyy tarkasti nostamaan 3,6 V:sta aina 24 V:iin asti. Koska käytössä on jännitelähde, jolla saadaan generoitua tarvittava jänniteskaala, tulee jännite syöttää tunnetun vastuksen yli ja mitata jännite-ero. Näin saadaan tarkasti selville liitännässä kulkeva virta.

Työssä käytetään 3.6 V:n käyttöjännitettä, joka voidaan nostaa jännitenostimen avulla 5 V:sta 24 V:iin, sillä työkalussa on 3.6 V:n jännite käytössä muuallakin. Käytössä on jännitelähde, joka on testattu toimivaksi tuolla jännitteellä.

Koska kytkennän tulee pystyä mittaamaan myös palaava virta, täytyi kytkentään asettaa kytkimet, joilla virran suunta voidaan mittavastuksella vaihtaa. Näin saadaan vain muutamalla uudella osalla aikaiseksi molemmat toiminnot.

5 Production Tool -Tuotantotyökalu

Production Tool on tuotantoa automatisoiva laite, jonka avulla Sintrol Oy:n tuotteita voidaan tuotannossa testata, kalibroida ja parametroida automaattisesti. Kun alihankkija saa tilauksen tuotteesta, hän ensin tilaa kortin ja lataa siihen osat. Tämän jälkeen tuote kytketään tuotantotyökaluun, joka lataa tuotteeseen ohjelman. Seuraavaksi tuotteelle tehdään useita automaattisia testejä, joiden avulla saadaan varmistettua tuotteen toimivuus ja dokumentoitua sekä työvaiheet että laadulliset tuotantovaatimukset.

Kun tuotannon vaiheet ovat päättyneet, tuote siirtyy varastoon ja sille tulostetaan testiraportti sekä laitekilpi (Kuva 8).



Kuva 8. Laitekilpi Snifter A2 EX [4, s.26]

Jokaisen yksittäisen tuotteen koko tuotantoprosessi kirjautuu tietokantaan, mikä luo pohjan laadulliselle ja tilastolliselle tuotantoprosessin hallinnalle. Monet keskeiset parametrit, kuten tuotteen yksilölliset valmistusenaikaiset ohjelmointi- ja hallinta-avaimet, tallentuvat tuotantotietoihin samoin kuin myöhemmin reklamaatiot tai huoltoreportit.

5.1 Tuotantotyökalu

Tuotantotyökalu käyttää verkkovirtaa, jonka laitteen oma virtalähde muuttaa 12 V:iin. 12 V:n jännitteellä ohjataan releitä ja akun latauspiiriä. 12 V:n jännite muunnetaan edelleen 3.6 V:iin, jota käytetään muualla kortilla piirien käyttöjännitteenä. Kortilla on useita moduuleja, joita käytetään tuotteiden testauksessa.

Työkalussa on liitännät kaikkiin tuotteisiin, joita Sintrol Oy valmistaa, joten kaikki tuotteet voidaan tuottaa tällä laitteella.

Työkalun pirikortilla on virtamittauksen ja mittasignaalin lisäksi radiolähetin-vastaanotin, RS485-moduuli ja verkkovirtamuunnin. Työkalua voidaan myös käyttää akulla, joka on sijoitettu samaan koteloon.

Työkalua käytetään tietokoneen avulla, joka on liitetty piirikorttiin. Koteloon on kiinnitetty mittaputki, johon tuotteen mittapää tulee asettaa.

Prototyyppi tullaan kasaamaan pöydälle, mutta tulevat versiot tullaan rakentamaan matkasalkkuun, jotta tuotteen liikuteltavuus paranisi. Salkun kanteen tulee kosketusnäyttö, jonka takana on työkalua ohjaava tietokone. Salkun alaosaan tulee piirikortti, jonka alla on akku ja mittaputki.

5.2 Ohjelmointi ja testaus tuotannossa

Puolivalmisteiden, kuten piirikortin, ohjelmointi ja testaus aloitetaan kiinnittämällä se tuotantotyökaluun. Itse tuotantotyökalu ohjataan PC-ohjelmalla. Aluksi ohjelmasta valitaan, minkä tuoteperheen puolivalmiste on kyseessä ja mikä tuote siitä halutaan tehdä. Snifferin levystä voidaan tehdä useampia versioita. mA+-versiossa on nimensä mukaisesti mA-moduuli. Muita esimerkkejä tuotenimistä ovat A1, A1+, A2 ja A3. Seuraavaksi tuotantotyökalu lataa vaadittavan ohjelmiston Sintrol Oy:n palvelimelta ja ohjelmoi sen piirikortille. Tämän jälkeen käynnistyy automaattinen tuotekohtainen testaus ja kalibrointijakso.

5.2.1 Virtasignaalin testaus

Tuotteen liitäntäpiiriin sisääntuloon syötetään haluttu arvo. Tuote tulkitsee arvon ja määrää mA-kytkentänsä syöttämään samaa arvoa. Virta ajetaan vastuksen läpi, jonka molemmin puolin on jännitemittaus. Työkalu tarkistaa, onko virta-arvo oikein. Jos kaikki on kohdallaan, annetaan tuotteelle hieman korkeampi arvo ja näin toistetaan koko tarvittavan skaalan matka. Mikäli arvo on väärin, työkalu antaa testattavalle tuotteelle käskyn joko nostaa tai laskea arvoa, kunnes arvo on kohdallaan ja siirtyy seuraavaan arvoon.

5.2.2 Mittasignaalin testaus

Kun virtasignaali on testattu, tarkistetaan mittaus. Tuotteen anturille syötetään signaalia, joka vastaa noin 2 %:n hiukkaspitoisuutta, ja tarkistetaan, mitä tuote antaa arvoksi. Tulos kirjataan ylös ja asetetaan ensimmäiseksi laitteen omaksi hälytysarvoksi. ”Hiukkaspitoisuutta” kasvatetaan 6 %:iin ja taas tarkastetaan tulos ja kirjataan toinen hälytysarvo ylös. Kun molemmat laitteen omat hälytykset ovat kirjattuina, tulee niiden toimivuus testata. Anturille syötetään signaalia, joka vastaa rajojen välistä hiukkaspitoisuutta. Nyt tuotteen valojen tulisi alkaa vilkkua ja tuotteen tulisi laukaista hälytys. Seuraavaksi anturille syötetään signaalia, joka vastaa yli 6 %:n hiukkaspitoisuutta. Nyt valojen tulisi muuttaa vilkkuntamoodia eli vilkahtaa kaksi kertaa ja olla sammuksissa hetki. Samalla tuotteen tulisi antaa uusi hälytys.

5.2.3 Langattoman yhteyden (RF) testaus

Tuotantotyökalu lähettää testattavalle tuotteelle paketin. Mikäli yhteys toimii, tuote vastaa. Samalla periaatteella testataan RS485-yhteys. Kun koko tuote on testattu, sille annetaan sarjanumero ja se lukitaan. Tuotantotyökalu tulostaa laitekilven ja testiraportin, jossa on testaajan nimi ja päivämäärä. Nyt toimiva ja testattu tuote on valmiina myyntiin.

6 Tuotantotyökalun työssä kalibroittavat osuudet

6.1 Milliampeerisilmukan testauskytkennän teoria ja toteutus

Milliampeerisilmukkaa käytetään tiedon siirtoon pitkiä matkoja. mA-linja on erotettu häiriöiden poistamiseksi tuotteen päässä. Mittauksesta tuleva tieto muutetaan digitaalisesta muodosta analogiseen ja lähetetään mA-linjaa pitkin eteenpäin, jossa se otetaan vastaan, muutetaan takaisin digitaaliseen muotoon ja näytetään tietokoneohjelmassa. Tuotteissa käytetään mA-piirinä Analog Devicesin digitaali/analogia-muunninta, joka pystyy säätämään syöttämänsä arvoa silmukkaan kytketyn impedanssin mukaan. mA-kytkennän tulee pystyä syöttämään arvoja 4 – 20mA (myös yli ja ali =NAMUR). Piiriä itseään ohjataan käyttäen SPI-väylää.

Milliampeerikytkentää testataan siten, että tuotantotyökalu syöttää tuotteen liitäntäpiiriin signaalin, jolla se pyytää laitetta syöttämään 4 mA liitäntään, jonka jälkeen arvo mitataan ja tarkistetaan. Mikäli arvo täsmää haluttua, annetaan seuraava arvo. Näin jatketaan aina 20 mA:n asti. Mikäli arvo ei ole kohdallaan, työkalu antaa käskyn joko nostaa tai laskea arvoa, kunnes arvo täsmää haluttua.

Tehtävänä oli luoda kytkentä, jolla saadaan mitattua tuotteelta tulevan virran arvo. Virran mittaamista varten suunniteltiin kytkentä, jossa jännite syötetään vastuksen läpi ja mitataan jännitteen muutos. Koska vastuksen arvo on tiedossa, voidaan laskea Ohmin lain (kaava 1) perusteella kytkennässä kulkeva virran.

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

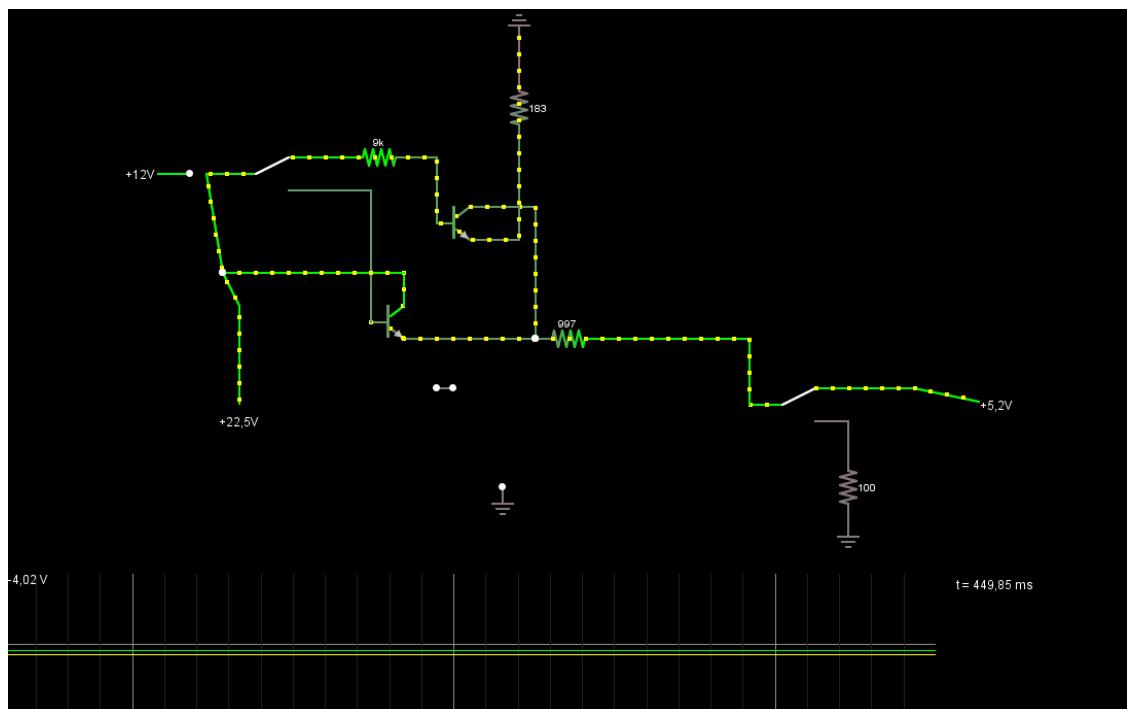
Oletetaan että kyseessä olisi 100Ω vastus ja siihen syötetään jännitettä. Jännite mitataan vastuksen molemmin puolin ja jännite-eroksi saadaan 0,4 V (kaava 2),

$$U_2 - U_1 = \Delta U \quad (2)$$

Vaikka jännite laskisi, muutos on aina positiivinen. Nyt arvo voidaan asettaa kaavaan ja tulokseksi saadaan, että kytkennässä kulkee 4 mA:n virta.

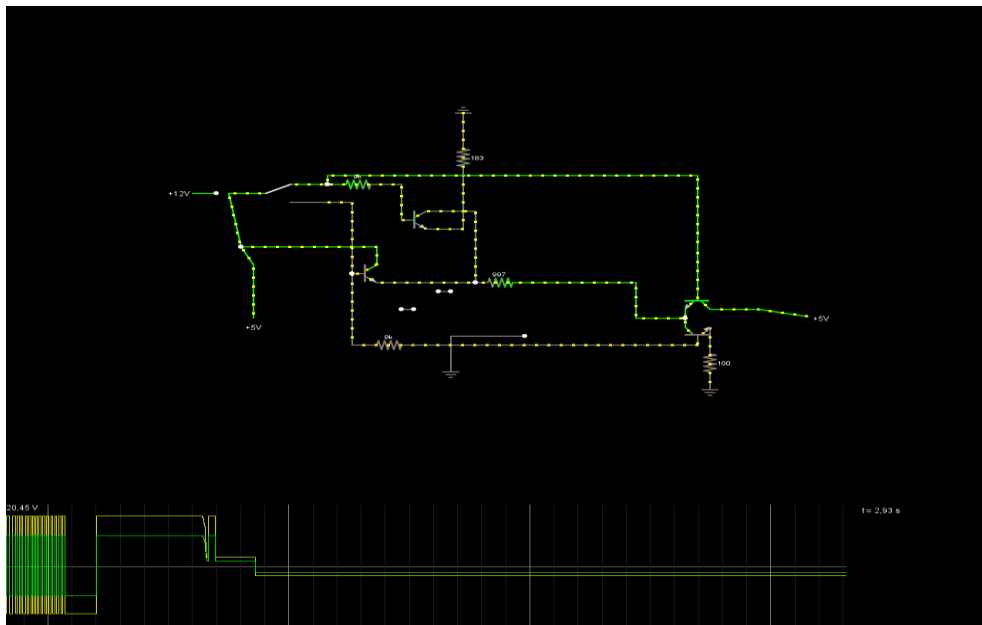
$$4mA = \frac{0,4V}{100\Omega} \quad (1)$$

Työssä käytetään mittavastuksena 997 Ω :n vastusta ja lisäksi säätövastusta, jotta voidaan säätää vastuksen suuruutta sopivaksi. Samaa kytkentää käytetään myös liitäntäpiirin kalibroinnissa. Siksi kytkentään täytyy laittaa myös kytkin, jolla voidaan valita, halutaanko mitata tuotteelle menevää vai tuotteelta tulevaa signaalia. Toisella kytkimellä valitaan syötetäänkö signaali kummalle kahdesta transistorista. Toinen ohjaa signaalin vastuksen kautta maahan ja toinen kytkee sen virtalähteeseen (kuva 9).



Kuva 9. Simulointikuva mA/IO- kytkennästä

Seuraavassa versiossa kytkentää muokattiin siten, että siinä on vain yksi kytkin, joka vaihtaa virran suunnan yhdellä kytkimellä (kuva 10).

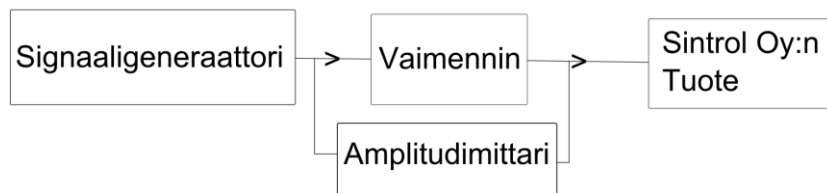


Kuva 10. KytKentä toimii yhdellä kytkimellä.

Muita tapoja tehdä mittaus olisi ollut asettaa mittavastuksen kanssa sarjaan ampeerimitari. Tämä voisi olla hyvä tapa testivaiheessa, mutta tietokoneelle on helpompi lukea kaksi jännitearvoa ja niiden perusteella laskea linjassa kulkeva virta.

6.2 Mittakytkennän teoria ja toteutus

Tuotteen mittaus on säädetty havaitsemaan erittäin pieniä pölymääriä, joten mittaukseen syötettävän signaalin tulee olla niin pieni, että vain vaimentamalla signaaligeneraattorin syöttämää signaalia voidaan saada mitattavia arvoja (kuva 11).



Kuva 11. Vaimenninkytkennän lohkokaavio

Kun signaaligeneraattorista syötetään 100 Hz 40 mV:n signaalia, joudutaan signaali vaimentamaan 4 μ V:iin, jotta sen voi mitata. Vaimentimet ovat taajuusherkkiä, joten mitauksessa on käytettävä vaimentimelle sopivaa taajuutta. Jotta vaimennus voidaan mitata, tulee vaimennettu signaali saada nostettua mitattavalle tasolle tavallisilla mittareilla. Vaimentimelle syötetään huomattavasti tavanomaista suurempi jännite ja katsotaan, kuinka suuri signaali on vaimentimen toisella puolella. Kun molemmat puolet ovat selvillä, voidaan laskea vaimennus.

Jos vaimentimelle syötetään 12 V ja vaimentimen jälkeen mitataan 0,5 V vaimennus on kaavan 3 mukaisesti:

$$20 \log \left(\frac{U_2}{U_1} \right) = 20 \log \left(\frac{0,5V}{12V} \right) = 7,604dB \quad (3)$$

Kun tuote saa signaalin mitattua, mittatulos lähetetään tietokoneelle. Varsinaisessa tuotteessa vaimennus on noin 100 dB:n luokkaa, joten mitattavat arvot ovat erittäin pieniä.

6.3 Sisään- ja ulostulosignaalien teoria ja toteutus

Milliampeerikytkennässä käytetään laitteelta tulevan signaalin mittaukseen kytkentää, jolla saadaan liitännästä tuleva virta mitattua. Kun mitataan ja kalibroidaan liitäntäpiiriä, tulee käyttöön kytkennän toinenkin puoli kytkennästä. Kytkentään saadaan jännite muunneltavasta jännitelähteestä. Jännite syötetään tunnetun vastuksen läpi, jonka molemmin puolin jännite mitataan ja näiden avulla saadaan laskettua virta Ohmin lain mukaan (kaava 1).

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

Jos halutaan 4 mA, tulee 1 K Ω :n vastuksen yli syöttää:

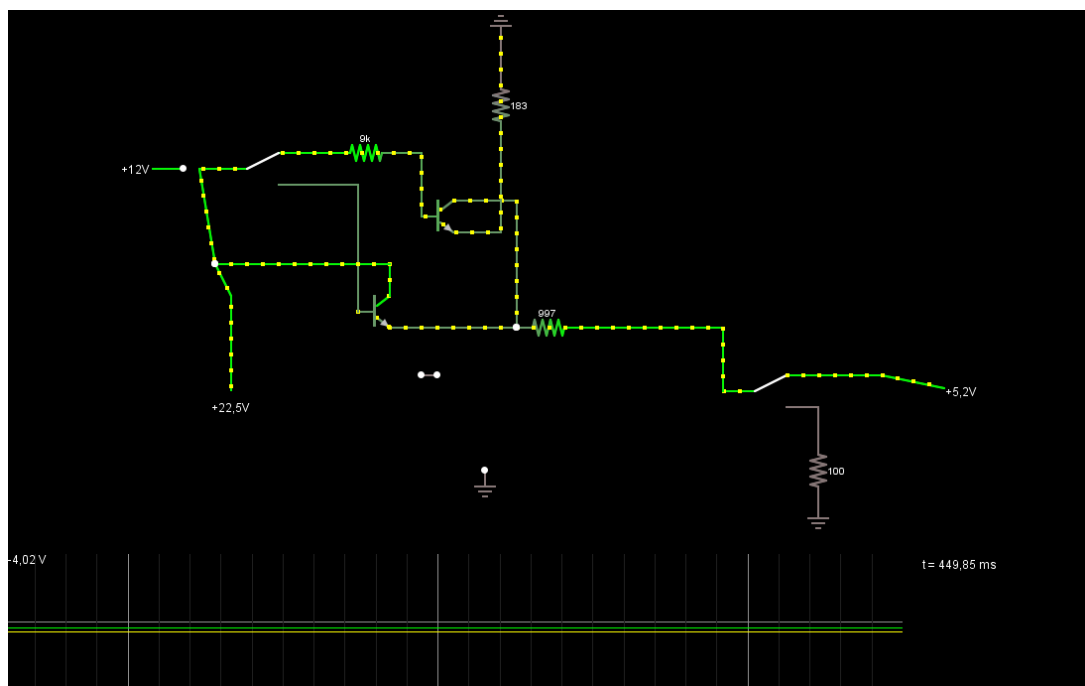
$$U = RI = 1000\Omega * 0,004A = 4V \quad (1)$$

Kytkentään on lisätty kaksi kytkintä, joiden avulla saadaan vaihdettua mitataanko jännitelähteeltä vai tuotteelta tuleva virta. Tuotteelle syötetään ensin 4 mA ja tarkistetaan tuotteen takaisinsyöttämä arvo. Seuraavaksi virtaa kasvatetaan pienin pykälän aina

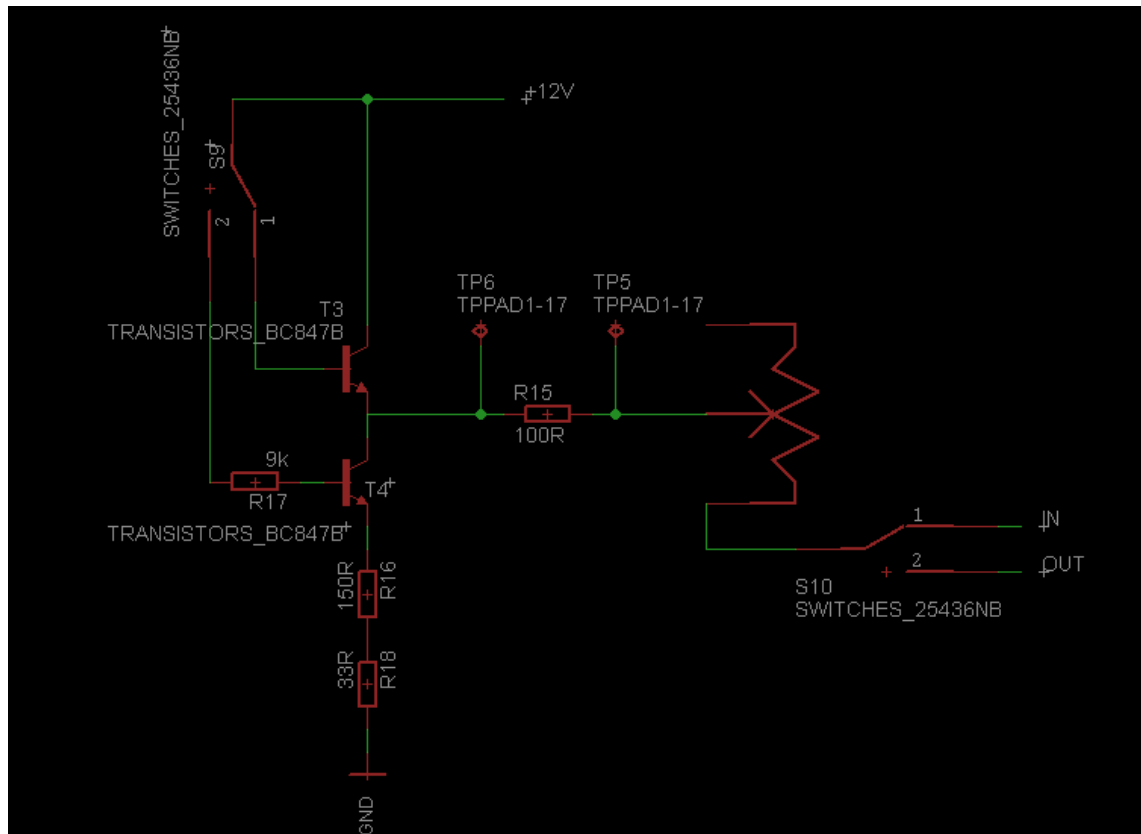
20 mA asti. Jokaisen syötetyn arvon jälkeen mitataan kytkennän takaisin syöttämä arvo. Näin saadaan testattua koko mA-kytkennän skaala.

7 Tuotantotyökalun kalibroittavien osuuksien piirikaavioiden tekeminen

Piirikaaviota lähdettiin suunnittelemaan työnohjaajan Kari Toivokosken kanssa, jolta saatiin perusidea kytkentään. Alihankkijalta saatiin signaaligeneraattorin kytkennän lohkokaaavana, jonka perusteella tehtiin piirikaavion ja myöhemmin piirilevyn. Kun piirilevyä alettiin suunnittelemaan, otettiin Sintrol Oy:n jo olemassa olevissa tuotteissa käytetty muunneltava virtalähde ja sen ympärille rakennettiin kytkentä, jolla saadaan mitattua ja tarkistettua tuotteiden lähettämiä signaaleja. Korttia suunniteltiin Eagle-suunnitteluohjelmalla. Apuna suunnittelussa käytettiin Fastad.com:in Circuit Simulator v1.6h-ohjelmaa, jolla kokeiltiin, millaisia arvoja tulisi käyttää (kuva 12 ja 13).



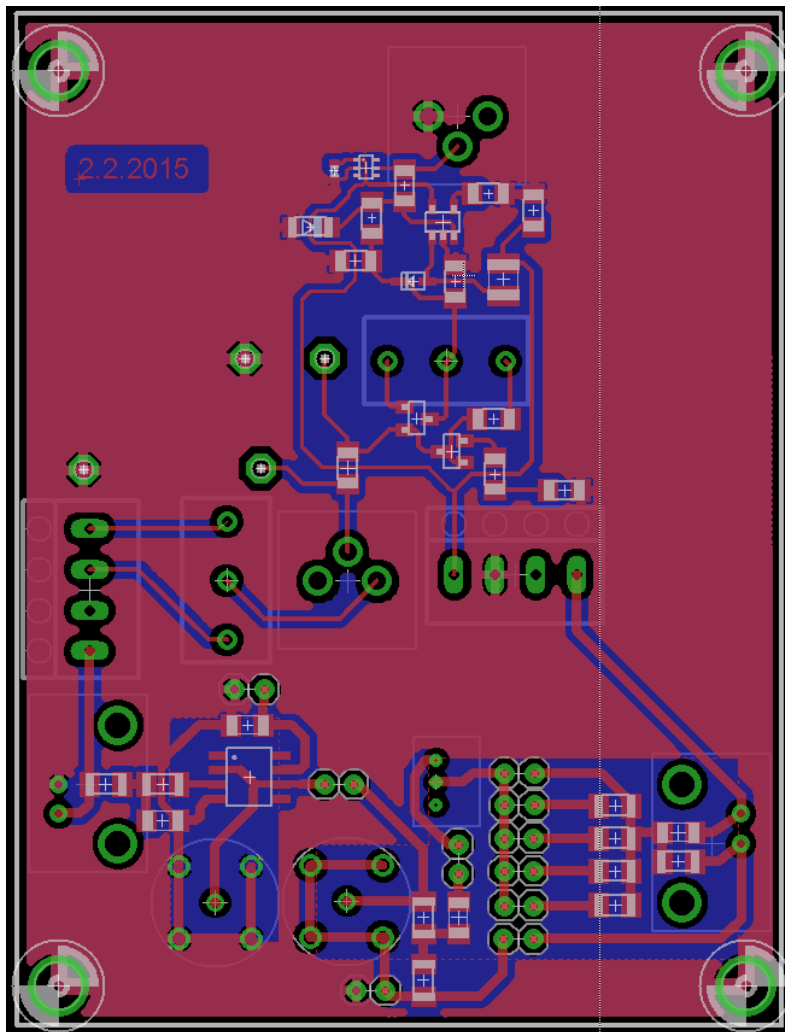
Kuva 12. Simulointikuva mA/IO-kytkennästä



Kuva 13. Piirikaaviokuva mA/IO-kytkennästä

8 Piirikortti ja sen fyysinen toteutus

Kortti (kuva 14) suunniteltiin siten, että levy voitaisiin valmistaa itse työpaikan syövytyslaitteilla, mutta tultiin siihen tulokseen, että on halvempaa ja helpompaa teettää kortti ja juottaa komponentit itse. Tästä syystä kaikki komponentit on aseteltu kortille siten, että ne on helppo juottaa ja komponenttikokona käytettiin 1206- tai 0804-komponentteja mahdollisuuksien rajoissa. Kortista tehtiin yksipuolinen ja läpiladottavat liittimet sekä säätövastukset asetettiin pohjapuolelle. Levyä on tarkoitus käyttää pohjapuoli ylöspäin, jotta osat, joihin tulee pystyä koskemaan, ovat esillä ja muu elektroniikka on kortin toisella puolella suojassa kosketukselta. Näin saadaan kortista esteettisesti miellyttävämmän näköinen. Kortissa oleva signaaligeneraattori tulee lähettää tarkastettavaksi sen suunnittelijalle.



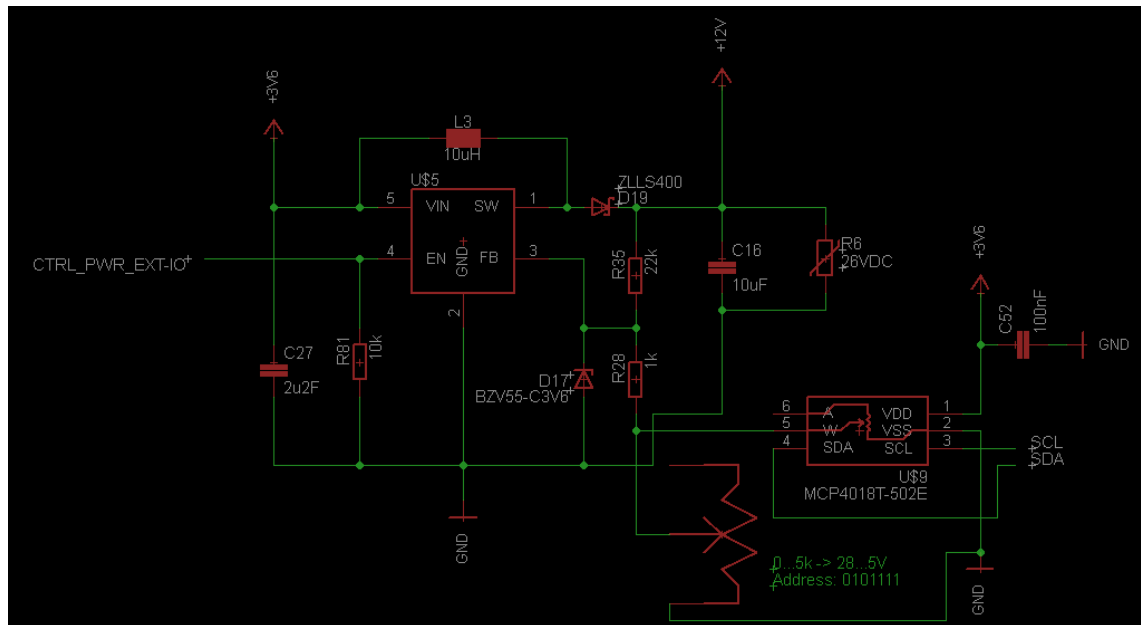
Kuva 14. Piirikortti Eagle-suunnitteluohjelmassa

8.1 Jännitteennostin 3.6 V:sta 24 V:iin

Virtalähteen (kuva 15) sydämenä toimii Boost Converter-piiri, joka muuntaa 3,6 V aina 24 V:iin asti. Jännitearvoa muunnellaan jännitejaolla jonka hoitaa 1 kΩ:n ja 22 kΩ:n vastukset. 1 kΩ:n vastuksen kanssa sarjassa on säädettävä 10 kΩ:n vastus. Varsinaisessa tuotteessa säädettävä vastus korvataan I²C väylään kytketyllä muunneltavalla vastuksella, jotta ulostulojännitettä voitaisiin muokata digitaalisesti. Ulostulojännite muokkautuu kaavan 4 mukaan [4, s. 25.]

$$V_{out} = V_{ref} * \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right) \quad (4)$$

, jossa V_{ref} on 1.24 V



Kuva 15. Jännitteennostin

8.2 Sisään- ja ulostulosignaalien fyysinen toteutus

Virtamittauskytkennänpää, joka on kiinnitettyä virtalähteeseen, on toteutettu käyttäen kahta transistoria kytkiminä. Erillisellä liukukytkimellä ohjataan toinen transistoreista vetämään. Tuotteen päässä on vain kytkin, jolla vaihdetaan, syötetäänkö tuotteelle signaalia vai luetaan tuotteesta lähtevää signaalia. Valmiissa tuotantotyökälussa tämän kytkimen paikalla saatetaan käyttää monipykäläisiä kytkimiä, jolla voidaan vielä määrittää, mihin tai miltä liitännältä signaalia luetaan. IO-signaali syötetään mittavastuksen yli, jonka molemmin puolin on asetettu mittapisteeet, joista saadaan selville jännite kussakin kohdassa. Näin saadaan laskettua virta kaavojen 1 ja 2 mukaan. Signaali syötetään seuraavaksi tuotteelle. Kun halutaan lukea, mitä tuotteen liitännäpinnistä tulee, suoritetaan sama mittaus uudelleen, mutta toiseen suuntaan. Nyt signaalia ei syötetä virtalähteelle, vaan se ohjataan vastuksen kautta maihin.

8.3 Milliampeerikytkennän fyysinen toteutus

Milliampeerikytkentään ei tarvitse syöttää mitään, sieltä vain luetaan tietoa. Milliampeerikytkennässä käytetään vain liitännäkytkennän toista puolisko eli jälkimmäistä kytkintä, jolla valitaan, mitä signaalia halutaan lukea. Signaali syötetään tunnetun mittavastuksen

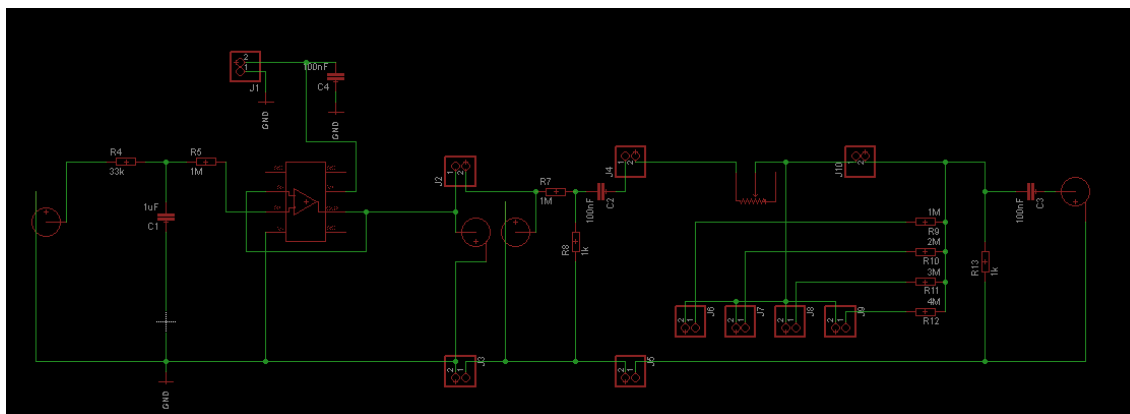
yli, jonka molemmin puolin on asetettu mittapisteet. Mittapisteistä saadaan selville jännite vastuksen molemmin puolin ja näin voidaan laskea virta kaavojen 1 ja 2 mukaan.

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

$$U_2 - U_1 = \Delta U \quad (2)$$

8.4 Vaimentimen fyysinen toteutus

Alihankkijalta saatiin suunnitelma vaimentimesta (kuva 16), jonka perusteella suunniteltiin piirikaavion ja sen perusteella kytkentä levyille. Vaimenninkytkentä on toteutettu siten, että levyllä on BNC-liitin, josta syötetään kortille signaaligeneraattorin antamaa signaalia. Signaali syötetään tarkkuusoperaatiovahvistimelle. Tämän jälkeen signaalia vaimennetaan käyttäen jännitteenjakoa ja muunneltavia vastuksia. Vaimennettu signaali syötetään BNC-liittimelle, josta se voidaan lukea ja tarkistaa. Valmiissa tuotteessa vaimennettu signaali syötetään suoraan tuotteen anturille.



Kuva 16. Vaimenninkytkentä

Anturille syötettävät signaalit ovat niin pieniä, että niitä ei voi mitata kuin erittäin herkällä ja siten kalliilla laitteilla. Tästä syystä on onni, että vaimentimet vaimentavat saman verran, kunhan taajuus on sama. Vaimentimelle voidaan siten syöttää suurempia jännitteitä ja siten saadaan mitattua vaimennus tavallisilla mittalaitteilla.

Alihankkija testasi kytkentää ja ehdotettiin, että vaimennin sijoitettaisiin erilliselle kortille, joka asennetaan mittaputkeen. Näin saadaan häiriöt minimoitua ja tarkempia mittauksia.

9 Tuotteen testaus

Testausta varten tilattiin kolme korttia, jotta olisi enemmän pelivaraa, mikäli jokin kortista menisi rikki. Yhteen korttiin ladottiin signaaligeneraattorin osat ja lähetettiin testattavaksi alihankkijalle. Toiseen korttiin juotettiin osat mittakytkentää varten. Alihankkijalle lähetetty kortti meni rikki ja alihankkijalle lähetettiin uusi sekä uudet osat kytkentää varten. Epähuomiossa alihankkijalle lähetettiin myös säädettävät vastukset, jotka olivat jääneet juottamatta levyille. Säätövastusten paikalle juotettiin hyppylangat ja testaaminen aloitettiin. Aluksi huomattiin, että jännitteennostin ei toimi halutulla tavalla, joten se ohitettiin ja kokeiltiin toimiiko virtamittaus. Kytkentä saatiin toimimaan ja huomattiin, että kytkentää simuloitaessa oli tehty virhe, kun tuotantotyökaluun kiinnitetyn tuotteen impedanssia oli merkitty 100Ω :n vastuksella, aikeena mitata kyseinen impedanssi ja korjata se simulointiin. Koko kytkennän impedanssin tulisi olla 1097Ω , joten mittavastuksen arvoa tulisi pienentää 100Ω :iin ja käyttää tarkkuusvastusta. Säätövastuksen tulisi pystyä kompensoimaan puuttuva impedanssi, kun saadaan selville tuotteen sisääntuloimpedanssi (kaava 5).

$$100\Omega + \text{tuotteen sisääntuloimpedanssi} + \text{Säätövastus} = 1097\Omega \quad (5)$$

Seuraavaksi testattiin jännitteennostinta uudelleen. Testattaessa huomattiin että nostinpiiri ei toiminut. Testattaessa juotosta havaittiin että kaikki jalat olivat juottuneet kunnolla eikä jalat olleet kiinni toisissaan. Tästä voidaan päätellä että piiri on mennyt rikki. Piiri vaihdettiin uuteen, mutta tilanne ei korjaantunut.

10 Muutoksia tuleviin versioihin

Koska tuotetta pitää pystyä testaamaan ilman ulkoisia kytkentöjä ja tietokonetta, tuli säätövastuksien olla manuaalisesti säädettäviä. Lopullisessa tuotteessa ne tulevat olemaan I²C-väylään kytkettyjä säätövastuksia. Lisäksi mittavastuksen tulee olla pieni ja tarkasti

märitetty. Ja sen kanssa sarjassa olevan säätövastuksen tulee pystyä kompensoimaan mittavastuksen impedanssin alenemaa. Komponentit tulee valita niin, että ne kestävät kytkennän vaatimukset (24 V, 20 mA).

Sintrol Oy:n tuotteiden liitännöiden sisäänuloimpedanssit vaihtelevat joten virtamittauskytkentää tulisi pystyä säätämään jokaiselle tuotteelle ja liitännälle erikseen, jotta vaadittu 1097 Ω :n impedanssi saavutettaisiin.

Valmiissa tuotteessa tulee olemaan useampia samanlaisia kytkentöjä, joista jokaisella on oma tehtävänsä. Esimerkiksi milliampeeriliitäntään ei tarvitse syöttää mitään, joten siihen riittää, että pystytään lukemaan liitännästä tuleva virta eli kytkimiä ja liitäntää virtalähteeseen ei tarvita.

Liitäntäpiirin signaaleja tulee olemaan useampia, joten on mahdollista asettaa jokaiselle oma kytkentänsä tai vaihtaa nykyinen kaksiasentoinen kytkin sellaiseen, jossa on useampia pykälä, jotta kaikki liitännät saadaan testattua.

Mitta-anturille syötettävän signaalin vaimennin tullaan sijoittamaan mittaputkeen, sillä vaimennettu signaali häiriintyy helposti.

11 Yhteenveto

Sintrol Oy on kotimainen pölynmittauslaitteiden valmistaja ja jälleenmyyjä. Työn aiheena oli Sintrol Oy:n Production Tool -laitteen tulojen ja lähtöjen kalibroiminen. Laite suorittaa tuotteiden kalibroinnin, ohjelmoinnin sekä testauksen sekä testiraportin ja tuotekilpien tulostuksen. Valmistettava tuote kiinnitetään tuotantotyökaluun ja tietokoneelta käynnistetään tuotanto-ohjelma, joka ”tuottaa” kyseisen laitteen. Ensin laitteeseen ladataan ohjelmisto ja asetetaan mallinumero, joka määrittelee, mikä versio tuotteesta on kyseessä (yhdestä puolivalmisteesta voidaan tehdä useampi lopputuote). Laite kalibroidaan ja sille annetaan hälytysarvot, tämän jälkeen tuotteelle syötetään jokin tietty milliampeeriarvo ja tarkistetaan, onko tuotteen antama arvo oikein. Näin tehdään koko tarvittavan skaalan matka. Mikäli arvot ovat oikein, siirrytään seuraavaan kohtaan.

Signaaligeneraattorista syötetään signaalia, joka vastaa sitä että tuotteen anturia ruvettaisiin ”pommittamaan” pölyhiukkasilla, jotka osuessaan anturiin aiheuttaisivat sähkövirran, jota mitataan. Tämä mitattu signaali muunnetaan analogiseksi milliampeerisignaaliksi, joka sitten tarkistetaan. Tuote kalibroidaan 2 %:n pölyhiukkaspitoisuudella (2 kertaa normaali hiukkasmäärä), jolloin saadaan ensimmäinen hälytysarvo. Pitoisuus nostetaan 6 % (20 kertaa normaali hiukkasmäärä), jolloin saadaan toinen hälytysarvo. Seuraavaksi määritetyt hälytysarvot testataan. Hiukkaspitoisuutta nostetaan niin, että ensimmäinen raja-arvo ylittyy. Tuote huomaa kohonneen mittausarvon ja sytyttää tuotteen valot vilkkumaan indikoiden virhetilaa. Mikäli hälytys käynnistyy normaalisti, nostetaan arvo yli toisen raja-arvon. Nyt valojen tulisi muuttaa vilkuntaansa indikoiden toisen hälytysarvon ylittymistä. Molemmissa tilanteissa tuote lähettää käyttäjälle virheilmoituksen.

Mikäli tuotteessa on RF-yhteys, se tarkastetaan lähettämällä työkalussa olevaan RF-vastaanottimeen viestin, joka toimiessaan vastaa. RS485-signaali tarkistetaan käyttäen samaa metodologiaa. Kun testit on suoritettu, laite lukitaan, ja tiedot kirjataan tietokantaan. Tuotteelle tulostetaan laitekilpi ja testiraportti, jossa on merkitty kaikki testit, testaajan nimi sekä päivämäärä.

Kaikki edellä mainitut vaiheet tehdään nykyään käsin. Mikäli tuote myydään Connection Box-nimisen kytkentälaatikon kanssa, tulee kaikki testit tehdä sen välityksellä niin, että kytkentälaatikko on kiinni työkalussa ja tuote kytkentälaatikossa.

Ensimmäinen versio tuotantotyökalusta on tarkoitettu asennettavaksi pöydälle ja mahdollisesti käyttäen erillisiä osa-alueita kuten erillistä virtalähdettä tai signaaligeneraattoria. Tuotantotyökaluun tullaan liittämään tietokone, jonka avulla työkalua käytetään ja jossa on yhteys Sintrol Serveriin, jonne kaikki tuotteen tiedot tallennetaan. Tuotteet asennetaan niille tehtyyn mittaputkeen, joissa ne testataan.

Production Tool nopeuttaa tuotantoa ja minimoi inhimillisiä virheitä. Tulevissa versioissa työkalua optimoidaan ja tarkoituksena on saada tuote mahtumaan salkkumalliseen koteloon, jotta sen voisi viedä asiakkaan luo ja mahdollisesti huoltomiehet voisivat suoraan asiakkaan luona diagnosoida rikkimenneen tuotteen. Tämä parantaisi yhtiön palvelua ja nopeuttaisi asiakkaan luona vietettyä aikaa, joten huoltomies ehdisi useamman asiakkaan luo ja näin huoltojonot lyhenisivät. Salkun kanteen tulee kosketusnäyttö, jonka takana on tietokone, jolla työkalua ohjataan.

Työkalulla voisi myös todentaa rikkimenneet tuotteet ja nähdä, missä on vikaa. Näin voitaisiin saada myös vanha tuote takaisin toimintakuntoon esimerkiksi vaihtamalla rikkoutunut kondensaattori tai vastus.

Lähteet

1. 5V Ultra Low Noise, Zero Drift Rail-to-Rail Precision Op Amp. 2015. Verkkodokumentti. Intersil. <<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/isl2/isl28134.pdf>> Päivitetty 14.10.2014. Luettu 12.3.2015
2. RS-485. 2015. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/RS-485>> Päivitetty 13.3.2013. Luettu 4.2.2015.
3. 2015 Sintrol Oy:n sisäinen intra. Luettu 2014 - 2015
4. MIC2288. 2015. Verkkodokumentti. Micrel. <http://www.micrel.com/_PDF/mic2288.pdf> Päivitetty 4.2005. Luettu 28.2.2015.
5. MCP4017/18/19. 2015. Verkkodokumentti. Microchip. <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22147a.pdf>> Päivitetty 2009. Luettu 18.4.2015