



Jouni Räisänen

PAINETTUJEN KONDENSAATTOREIDEN OMINAISUUKSIEN MÄÄRITTELY

PAINETTUIJEN KONDENSAATTOREIDEN OMINAISUUKSIEN MÄÄRITTELY

Jouni Räisänen
Opinnäytetyö
Talvi 2013
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, elektroniikan suunnittelu ja testaus

Tekijä: Jouni Räisänen

Opinnäytetyön nimi: Painettujen kondensaattorien ominaisuuksien määrittely

Työn ohjaaja: Timo Vainio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Talvi 2013 Sivumäärä: 39 + 2 liitettä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin painettujen kondensaattorien ominaisuuksia. Tavoitteena oli tutustua ja oppia painettujen komponenttien ominaisuuksista ja painomenetelmistä. Komponentit suunniteltiin aikaisempien tutkimusten perusteella.

Työ toteutettiin työn tilaajan eli Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tiloissa. Komponentit painettiin VTT:n painokoneilla ja -musteilla. Kondensaattorit oli tarkoitus mitata uudella R2R-mittalaitteella (rullalta-rullalle), joka rekisteröi komponenttien arvot automaattisesti tietokantaan, mutta sitä ei saatu käytettäväksi. Huonon saannon ja mittalaitteen viivästymisen vuoksi jouduttiin mittaamaan jokainen komponentti käsin.

Työstä saatiin tulokseksi myöhemmin käytettävä tietolomake. Tietolomake sisältää kaikki kondensaattoreiden mittaustulokset, joita voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa materiaalien ja ominaisuuksien vertailemiseen.

Asiasanat: painettu elektroniikka, kondensaattorit, painomenetelmät.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information technology, research and development of electronics

Author: Jouni Räisänen

Title of thesis: Defining the characteristics of printed capacitors

Supervisor: Timo Vainio

Term and year when the thesis was submitted: Winter 2013 Pages: 39 + 2
appendices

This thesis concentrated on finding the characteristics of capacitors. Other interest was learning about the printing methods. Components were designed using the previous projects as a reference.

Thesis was made in VTT's (Technical Research Centre of Finland) facilities in Oulu. VTT was the orderer and supporter of this thesis. The components were made with their printing units and inks. R2R –measuring system was meant to measure the components, which could make a register from the data automatically but the lack of yield and the delay of the measuring device led into the one-by-one manually measuring with a Fluke.

Keywords: printed electronics, capacitors, printing methods.

ALKULAUSE

Työn tilaajana oli Oulussa sijaitseva VTT (Valtion teknillinen tutkimuslaitos) ja sieltä yhteyshenkilönä oli erikoistutkija Mikko Paakkolanvaara. Opiskelijoiden ja työn tilaajan yhdyshenkilönä toimi OAMK:n erikoistutkija Harri Määttä, joka meille tarjosi ja esitteli opinnäytetyöaiheen. Opinnäytetyöohjaajana toimi yliopettaja Timo Vainio ja dokumentin tarkastamisesta vastasi lehtori Tuula Hopeavuori. Työkollegoina toimivat Laura Leinonen, Jussi Torppa ja Jari Varjus.

Ensimmäisenä haluan kiittää VTT:tä tästä mahdollisuudesta tutustua painetun elektroniikan maailmaan, joka oli vielä todella uusi ja outo käsite ennen opinnäytetyötä. Miltei yhtä tärkeäksi resurssiksi nousivat opiskelijatoverit, jotka työstivät omia opinnäytetöitään. Ilman heitä matka olisi ollut kivinen ja puuduttava. Lopuksi haluan eritoten kiittää Määttän Harria opinnäytetyön tarjoamisesta ja allekirjoittaneen valinnasta sen tekijäksi.

Oulussa 16.1.2013

Jouni Räisänen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO.....	8
2 PAINETTAVA ELEKTRONIIKKA.....	9
2.1 Painomenetelmät.....	9
2.1.1 Syväpaino	10
2.1.2 Seripaino	11
2.1.3 Fleksopaino.....	12
2.1.4 Mustesuihkutulostus.....	14
2.1.5 Laakapaino.....	15
2.2 Materiaalit	16
2.2.1 Orgaaniset materiaalit	16
2.2.2 Epäorgaaniset materiaalit.....	17
2.2.3 Substraatit	17
3 PAINETTU KONDENSAATTORI.....	18
3.1 Määritelmä	18
3.2 Toimintaa kuvaavat parametrit.....	18
3.2.1 Kapasitanssi.....	19
3.2.2 Toleranssi.....	19
3.2.3 Vuotovirta	19
3.2.4 Tehonkesto, jännitteenkesto ja ESD	20
3.2.5 Vastinpiiri, ESR ja induktanssit.....	20
3.2.6 Toimintaolosuhteiden vaikutus	22
4 TYÖN TOTEUTUS	23
4.1 Painomenetelmä.....	23
4.2 Musteet.....	24
4.3 Substraatti.....	25
4.4 Kuivaus.....	25
5 KOMPONENTTIEN MITTAUKSET	26

5.1 Saanto	26
5.2 Kapasitanssi	27
5.3 Kalanterointi.....	28
5.4 Olosuhdemittaus.....	29
5.5 Syklitesti.....	31
5.6 Taivutustesti.....	32
6 YHTEENVETO	35
LÄHTEET	37
LIITE 1 Painetun kondensaattorin tietolomake	
LIITE 2 Painogeometria	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, valmistaa ja mitata painettuja komponentteja. Työn lähtökohtana oli suunnitella ja valmistaa johtimia, vastuksia, keloja ja kondensaattoreita. Työn tavoitteena oli oppia painetusta elektroniikasta ja sen valmistusmenetelmistä, painettujen komponenttien ominaisuuksista ja testilayoutin suunnittelusta, ja näitä oppeja hyväksi käyttäen tehdä dokumentti työstä ja tietolomake, joka sisältäisi komponentin teossa käytetyt materiaalit ja mittaustulokset. Opinnäytetyöntekijöitä oli neljä ja jokainen tekijä sai valita itsellensä haluamansa komponentin. Työn tekijät olivat mukana painoprosessissa ja testaavat komponentit sekä sähköisesti että mekaanisesti.

Lähtötietoina oli aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia, joita mukailemalla pyrimme lähtötietomuistiossa mainittuihin arvoihin. Työ tehtiin tutkimuksen tilaajan eli Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tiloissa ja VTT:n musteita ja koneita käytettiin työn tekemiseen. Komponentista tehtiin työn tilaajalle tietolomake, jota tulevaisuudessa voidaan käyttää hyväksi komponentteja valmistessa sekä vertauskohteena eri materiaaleille. Tietolomake sisältää arvokasta ja harvinaista tietoa komponenttien painamisesta.

2 PAINETTAVA ELEKTRONIikka

Painettu elektroniikka on sarja erilaisia menetelmiä valmistaa elektronisia laitteita monenlaisille substraateille. Painettava elektroniikka käyttää lähes kaikkia kaupallisia tulostustekniikoita, joita on muokattu soveltumaan painetun elektroniikan toteuttamiseen. Käytettyjä painomenetelmiä ovat muun muassa silkkipaino-, flekso- paino-, syväpaino-, laakapaino- ja mustesuihkumenetelmät. Painetun elektroniikan toiminnallisia komponentteja, kuten kondensaattoreita ja vastuksia, tehdään painamalla sähköisesti funktionaalisilla musteilla. Painetulla elektroniikalla halutaan tehdä monimuotoista, erittäin matalakustanteista, matalatehoista sovellettua elektroniikkaa, joka ei vaadi korkeaa suorituskykyä, kuten taipuvia koristeltuja ja animoituja julisteita, näyttöjä, tunnistetarroja ja aktiivisia vaatteita. (1.)

Komponentteja on mahdollista tehdä suuria määriä lyhyessä ajassa, jolloin työajan merkitys kustannuksissa on materiaalikustannuksia pienempi. Matalista valmistuskustannuksista syntyy painetun elektroniikan tärkein etu, joka avaa sille lukemattomia käyttökohteita. Esimerkiksi RFID-järjestelmät vaativat jokaiseen tuotteeseen oman tunnisteensa, jotka tekevät tavaraliikenteessä tuotteen tunnistuksen ilman kosketusta. Tällöin tunnisteesta on saatava erittäin halpa, koska muutoin sen käyttäminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa.

Painetun elektroniikan taipuisuus mahdollistaa komponenttien käytön kaarevilla alustoilla, jolloin esimerkiksi auton katoille voidaan asentaa aurinkokennoja ilmaisen energian tuottamiseksi. Vaikkakin normaalit alkuaineiden puolimetalleista valmistetut kiinteät puolijohteet ovatkin paljon kalliimpia valmistaa, ovat ne myös huomattavasti tehokkaampia. (1; 2.)

2.1 Painomenetelmät

Painetussa elektroniikassa käytetyt painomenetelmät perustuvat kaikki tavanomaisiin paperi- ja kangaspainatuksessa käytettyihin mekanismeihin. Graafisten painovärien sijasta käytetään painomusteita, jotka antavat painomateriaalille jonkin toiminnallisuuden. Painetussa elektroniikassa pohjamateriaalina käytetään yleensä erilaisia muoveja, mutta myös paperin ja

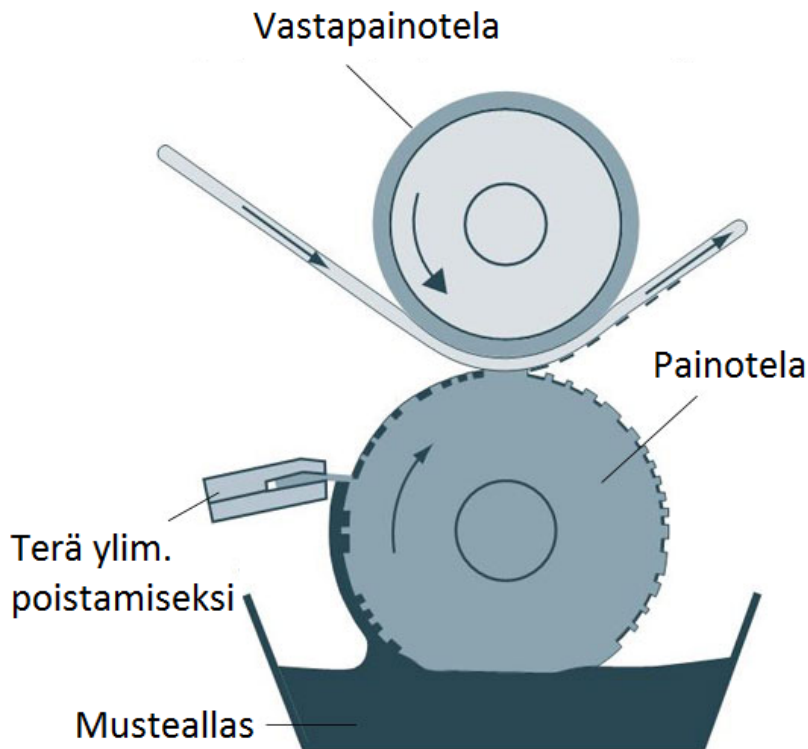
kankaiden käyttö on mahdollista. Painokoneen rakenne riippuu siitä, mikä on valittuna pohjamateriaalina. (3, s. 46.)

2.1.1 Syväpaino

Rullalta rullalle -syväpainomenetelmää pidetään tulevaisuuden johtavana painomenetelmänä, kun tuotetaan taipuisaa ja matalakustanteista painettavaa elektroniikkaa. Syväpainomenetelmällä voidaan painaa paperille ja muoveille sileäpintaisia komponentteja suurella nopeudella, joka johtaa pienempiin työtuntimääriin. Painonopeutta hidastaa musteen kuivatus, joka yleensä määrää painonopeuden. Syväpainokoneistuksen aloituskustannukset ovat suuret, jolloin painomenetelmä on kannattavaa kun painosmäärät ovat suuret. (3, s. 73.)

Syväpainomenetelmä aloituskustannukset koostuvat sylinterien valmistuksesta. Painosylinteri muodostuu teräsvaipasta, jonka pinta on päällystetty kuparilla ja sylinterin molemmissa päissä on akselit. Kupariin kaiverretaan haluttu painoaihe ja se voidaan halutessa poistaa ja päällystää uudelleen. Painopinta koostuu rasterikupeista ja niiden väliin jäävistä kannaksista, joiden tehtävän on kannatella raakeliterää sen pyyhkiessä painomustetta pois painosylinterin pinnalta ja estää sen leviäminen painopinnalla. Syväpainojäljen tunnistaakin helposti rasteroinnin aiheuttamasta sahalaitaisuudesta. Painosylinterit voidaan varastoida ja käyttää myöhemmin samaa painoaihetta käyttäessä. Tällöin ei tule uudestaan painosylinteristä johtuvia alkukustannuksia. (3, s. 64.)

Syväpainomenetelmän perustana on nostaa painosylinterin painoaiheen mukaisella kaiverruksella muste substraatille kuvan 1 osoittamalla tavalla. Tällöin vastapainotelaa tai painotelaa painetaan mekaanisesti toista telaa vastaan, jolloin paine nippiin ja substraattia kohden syntyy. Painosylinteriin kaiverrettu tai syövytetty painoaihe kerää altaasta painomusteen ja raakeliterä poistaa painosylinteristä ylimääräisen musteen, jolloin mustetta jää vain painopinnan syvennyksiin. Painopinnan syvennyksistä muste siirtyy substraatille sylinteriltä painonipissä. Painettava substraatti voi liikkua eteenpäin tai taaksepäin. (3, s. 64.)



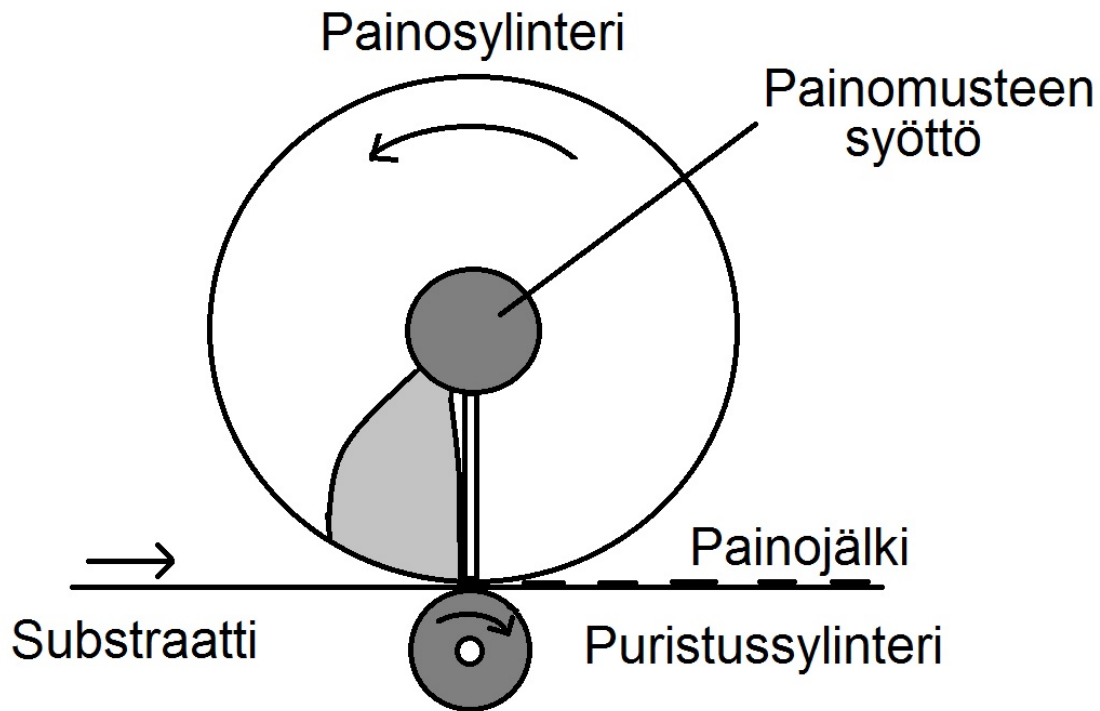
KUVA 1. Syväpainotela (4)

2.1.2 Seripaino

Seripainomenetelmää voidaan pitää monipuolisimpana painomenetelmänä sen useiden käyttökohteiden vuoksi. Sillä voidaan painaa mm. elektroniikan piirikortteja, julisteita, tekstiilejä, tarroja ja jopa elintarvikkeita. Seripainolla voidaan painaa jopa valmiisiin tuotteisiin, kuten vaatteisiin ja kaareville lasipinnoille. (3, s. 88.)

Seripainon painoaiheen sisältävä painokaavio kiinnitetään seulakankaaseen, joka läpäisee painomustetta. Seulakangas voi olla tehty synteettisistä materiaaleista, esimerkiksi nylonista ja silkistä, metalleista tai näiden sekoituksista. Seulakankaan tyyppi valitaan komponenttiin käytettävän painomusteen ominaisuuksien perusteella. Lämmönkestävyyttä tarvittaessa yleensä käytetään teräslankaa ja antistaattisuutta saadaan karbonoidulla polyamidilla tai metalloidulla polyesterillä. Raakeliterä puristaa painomusteen kuvan 2 mukaisesti seulakankaan läpi alla olevalle substraatille, jolloin

seulakankaassa olevat kiinteät kohdat estävät painomusteen siirtymisen substraatille. Myös opinnäytetyössä käytetyssä seripainokoneessa seula ja kaavio olivat painosylinterin vaipalla. Puristussylinterin tehtävänä on pitää substraatti painosylinteriä vasten. (3, s. 88.)



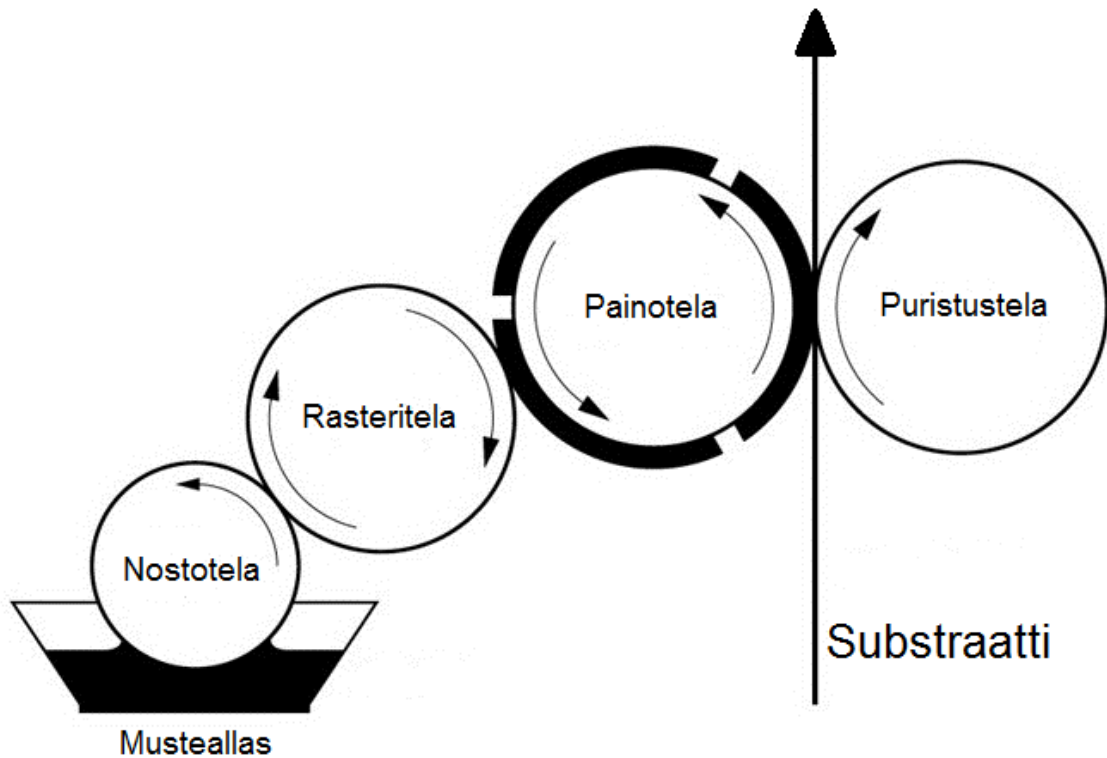
KUVA 2. Seripaino (3, s.88.)

2.1.3 Fleksopaino

Fleksopaino on kohopainomenetelmä, jossa käytetään joustavia painolaattoja tai -levyjä. Se on paljon käytetty painomenetelmä pakkausteollisuudessa joustavuutensa ansiosta, koska sillä voidaan painaa paperille, kartongille, aaltopahville, muoville ja erilaisille laminaateille. Painettava pinta voi olla joustavan painolaatan ansiosta karhea tai sileä, päällystetty tai päällystämätön. (3, s. 75.)

Fleksopainomenetelmän painoaihetta eli kohokuviota kutsutaan reliefiksi. Reliefi on tehty joustavasta materiaalista, joka on painolaatan tai -levyn muodossa. Fleksopainossa käytettävä matalaviskootinen muste nostetaan kuvassa 3 näkyvällä nostotelalla anilox- eli rasteritelalle. Rasteritela koostuu

rasterikupeista, jollainen on tuttu aikasemmin esitellystä syväpainomenetelmästä. Muste siirtyy rasteritelasta painotelan koholla olevalle painoaiheelle ja siitä painonipissä substraatille.



KUVA 3. *Fleksopaino (5)*

Kumi- tai fotopolymeerilevystä tehty painotela voi muodostua useammasta pienemmästä tai yhdestä isosta painolaatasta. Painotela on useimmiten 0,75 mm – 6 mm paksu ja sen kovuus on noin 30–60 shorea. Mitä kovempi painotelan pinta on, sitä vähemmän se siirtää painomustetta substraatille. Myös aniloxi- tai rasteritelan vaikutus on tässä suuri, sillä se määrittelee kuinka paljon väriä voi siirtyä painotelan. Tähän voidaan vaikuttaa aniloxi- tai rasteritelan kuppikaiverruksilla muuttamalla niiden värinsiirtomäärää pinta-alayksikköä kohden. Painoalustan materiaalin karheus vaikuttaa painotelan kovuuden valitsemiseksi. Mitä karheampi painoalusta on, sitä pehmeämpi painotela ja syvämpi reliefi tarvitaan. Painotelan kovuus-joustavuussuhde vaikuttaa haluttuun nippipuristukseen, kun nippipuristus ei saa olla liian kova eikä liian löysäkään. Jos painoaihe on liian pehmeä, painoaiheen pienet pisteet ja viivat

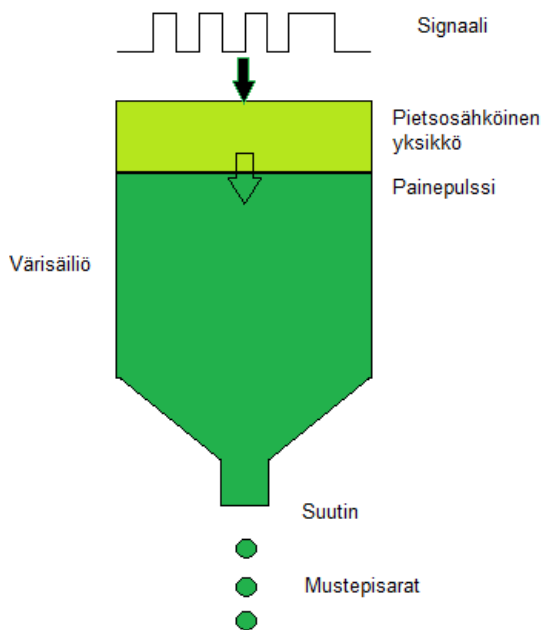
eivät ole riittävän jäykkiä, jolloin ne alkavat vääntyä ja pistekoko kasvaa, mikä johtaa huonoon painojälkeen. (3, s. 77.)

2.1.4 Mustesuihkutulostus

Mustesuihkutulostus on digitaalinen painotekniikka, jossa musteaihe valmistetaan kuvasignaalin ohjaamista pienistä mustepisteistä.

Mustesuihkutulostuksessa on kaksi erilaista periaatetta johtaa pisteet esimerkiksi paperille. Jatkuvassa mustesuihkutulostuksessa signaali antaa varauksen niille pisteille joita ei paperille haluta, jolloin ne keräytyvät pois. Epäjatkuvan ns. drop on demand -tulostuksen periaatteena on signaalin perusteella aiheuttaa esimerkiksi painepulssi suuttimeen, jolloin syntyy mustepisara painojäljeksi. (3, s. 98.)

Drop on demand –tulostuksen pisarat voidaan tuottaa lämpöenergialla, elektrostaattisesti tai pietsosähköisesti. Lämpöenergiaa käyttäviä mustesuihkutulostimia kutsutaan termisiksi tai kuplamustetulostimiksi. Termisissä mustesuihkutulostimissa mustetta kuumennetaan, jolloin musteeseen syntyy kuplia, jotka nostavat painetta säiliössä. Ylipaine pakottaa musteen ulos säiliöstä, jolloin syntyy mustesuihku. Näistä uusimmassa menetelmässä muste irrotetaan suuttimesta elektrostaattisesti sähkökentän avulla. Kuvan 4 pietsosähköisessä menetelmässä mustesäiliön tilavuutta pienennetään pietsosähköisellä ilmiöllä. (3, s. 99.)



KUVA 4. Pietsosähköinen mustesuutin (3, s. 98.)

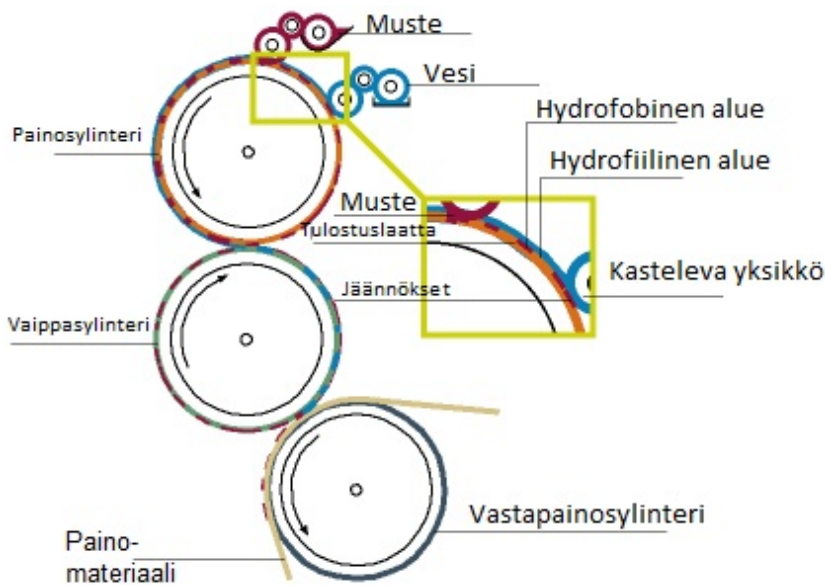
2.1.5 Laakapaino

Laakapaino eli offset on maailman yleisin painomenetelmä. Laakapaino on yleisnimitys erilaisille painomenetelmille, jossa on samassa tasossa painava ja ei-painava pinta, joiden pintakemialliset ominaisuudet eroavat toisistaan. (3, s. 47.)

Offset-nimitys kuvaa painomenetelmän tapaa käyttää vaippasyylinteriä musteen epäsuoraan kuljetukseen painopohjalle. Offsetin painotapahtuma perustuu veden ja öljyn ominaisuuksiin hylkiä toisiaan, koska niillä on erilaiset pintajännitykset. Myös painosylinterin kiinteillä pinnoilla on erilaiset pintaenergiat, joihin neste leviää ja tarttuu, jos nesteen pintajännitys on alhaisempi kuin kiinteän pinnan pintaenergia. (3, s. 47.)

Kuvan 5 offset-prosessissa painolevy kastellaan vedellä, joka leviää painolevyn ei-painaville pinnoille, joiden pintaenergia on veden painojännitystä korkeampi. Sitten painolevylle tuodaan öljypohjainen painomuste, joka tarttuu ainoastaan painaville pinnoille. Sitten painomuste siirtyy esimerkiksi kumiselle vaippasyylinterille ja siitä painomateriaalille, joiden pintaenergiat ovat korkeampia kuin painomusteen pintajännitys. Painolevyn painavaa pintaa kutsutaan

hydrofobiseksi, koska se hylkii vettä, ja ei-painava pinta on hydrofiilinen eli vettä vastaanottava. (3, s. 47.)



KUVA 5. Laakapaino (6)

2.2 Materiaalit

Materiaalit ovat pääosassa, kun tuotteita sijoitetaan erilaisiin ympäristöihin. Uudet materiaalisovellutukset voivat kehittää tuotteen ympäristöystävällistä valmistusta, suorituskykyä ja kilpailukykyä ja tuoda uusia mahdollisuuksia tuotteelle. Näiden asioiden johdosta on tärkeää, että materiaaleja kehitetään kokeellisesti ja tutkitaan aikaisempien tietojen pohjalta tietäen materiaalin valmistusprosessi läpikotaisesti. Kun uuden idean pohjalta tehdään prototyyppi eli raakaversio isommasta kokonaisuudesta, sitä tarjotaan ulkopuolisille. Tällä tavalla annetaan asiakkaalle tai rahoittajalle tae tuotteen toimivuudesta, jota kutsutaan POC:ksi (Proof-Of-Concept). (7; 8.)

2.2.1 Orgaaniset materiaalit

Orgaanisilla yhdisteillä tehty elektroniikka yhdistää tuntemuksen ja kehitystyön tulostamisesta, materiaalitieteistä, elektroniikasta ja kemiasta, eritoten orgaanisesta ja polymeerikemiasta. Orgaaniset materiaalit eroavat kovista ja elottomista materiaaleista rakenteeltaan, käyttäytymiseltään ja toiminnaltaan.

Nämä eroavaisuudet johtavat muutoksiin laite- ja kytkentäsuunnittelussa, piirin optimoimisessa ja valmistamisessa. (9.)

Johtavien polymeerien löytäminen ja niiden kehitys 1980-luvulla toimiviksi materiaaleiksi johti ensimmäisiin orgaanisiin musteisiin. Tämän polymeeriluokan materiaalit voivat mm. olla johtavia, puolijohtavia, valoa emittoivia ja energiaa valosta tuottavia. Nämä ominaisuudet luovat tälle polymeeriluokalle tarvittavan pohjan tulostettavassa elektroniikassa ja muita polymeereja käytetään ainoastaan eristeinä. (9.)

2.2.2 Epäorgaaniset materiaalit

Epäorgaaniset materiaalit tarjoavat ominaisuuksia joita orgaanisilla ei ole. Epäorgaanisilla materiaaleilla voidaan valmistaa monikerroksisia komponentteja ja rajapintoja esimerkiksi aurinkokennoille. Painettu gallium-arsenidi-germanium-aurinkokenno tuottaa 41,1 %:n muunnoksella valosta energiaa, joka on kahdeksankertainen verrattuna parhaaseen orgaanisella materiaalilla valmistettuun kennoon. (10.)

2.2.3 Substraatit

Painettu elektroniikka mahdollistaa joustavien substraattimateriaalien käytön, joka laskee kuluja ja sallii joustavien piirimekaniikkojen valmistuksen. Mustesuihku- ja silkkipainomenetelmät käyttävät hyvin erilaisia substraatteja, kuten erilaatuisia papereita, kartonkeja, laminaatteja tai muoveja.. Massatuotantomenetelmät käyttävät joustavaa foliota ja paperia. Yleensä käytetään polyetylenitereftalaattifoliota (PET), koska se on matala kustannuksiltaan ja korkeampi lämpötilastabilisuudeltaan. Polyeteeninaftalaatti (PEN) ja polyimidi (PI) ovat polyetylenitereftalaattifoliolle vaihtoehtoisia materiaaleja. Paperin monimuotoisuus ja edullisuus tekevät siitä mielenkiintoisen substraatin, mutta paperin karheus ja absorptiokyky aiheuttavat sen ongelmallisen käytettävyyden elektroniikassa. (11.)

3 PAINETTU KONDENSAATTORI

3.1 Määritelmä

Ensimmäisen kondensaattorin keksi Ewald Georg von Kleist vuonna 1745 Pommerin valtakunnassa, kun hän yritti varastoida energiaa elohopeaa täynnä olevaan pulloon. Leidenin pullo on kuitenkin ensimmäinen julkistettu kondensaattori, jonka keksi vuotta myöhemmin professori Pieter van Musschenbroek. Tämä mahdollisti varsinaisen alun sähkön tutkimukselle 1700-luvun puolivälissä. (12.)

Kondensaattori koostuu kahdesta elektrodista ja niiden välisestä eristeestä, joka estää elektrodien oikosulkeutumisen. Kondensaattori varastoi energiaa sisällään olevaan magneettikenttään, joka ei päästä tasajännitettä lävitseen. Kondensaattorin sisällä olevat sähkövaraukset (+ ja –) kompensoivat jännitteen, joka kondensaattorin navoissa on. Sähkövaraukset tasapainottavat jännite-erot muuttaen varaustaan, jolloin virta menee nolnaan. (12.)

Tavanomaisia puolijohdekondensaattoreita käytetään laajalti erilaisilla aloilla. Niitä käytetään mm. suodattimissa, LC-resonanssipiireissä, loistehon kompensointiin sähköverkoissa ja tietokoneen DRAM-muistipiireissä bittien tilojen rekisteröimiseen. Painetut kondensaattorit eivät sovellu näin tarkkoihin ja kovaa suorituskykyä vaativiin tehtäviin. Painaen tuotetut kondensaattorit soveltuvat paremmin kuluttujaelektroniikkaan, jonka ei ole tarkoitus kestää kuin joitain kuukausia. (12.)

3.2 Toimintaa kuvaavat parametrit

Parametreillä voidaan kuvata kondensaattorin ominaisuutta, jotka vaikuttavat sen toimintaan. Kondensaattorin parametrejä ovat kapasitanssi, toleranssi, vuotovirta, tehonkesto ym. Näitä tietoja voidaan myöhemmin käyttää hyväksi ilman komponentin testaamista kytkennässä.

3.2.1 Kapasitanssi

Kapasitanssi kuvaa sähköstaattiseen rakenteeseen latautunutta sähkövarausta. SI-järjestelmässä kapasitanssin yksikkö on faradi (F), joka on yksi coulombi voltia kohden (C/V). Kapasitanssin yksikkö faradi on siis kaavan 1 mukaisesti

$$[C] = \frac{As}{V} = \frac{C}{V} = F, \quad \text{KAAVA 1}$$

jossa A on ampeeri, s sekunti, V voltti ja C coulombi.

Koska faradi on melko suuri yksikkö, käytetään siitä yleisesti sen pienempiä kerrannaisyksiköitä mikrofaradista (μF) lähtien. Kapasitanssi voidaan laskennallisesti määrittää kaavan 2 yhtälöllä

$$C = \frac{Q}{U}, \quad \text{KAAVA 2}$$

jossa Q on sähkövaraus ja U jännite. (12.)

3.2.2 Toleranssi

Toleranssi on yksi massatuotannon kulmakivistä ja myös yksi painettavan elektroniikan suurista haasteista. Toleranssilla kuvataan parametrien pysymistä tiettyjen rajojen sisässä, kun komponentteja valmistetaan. Tämä voi siis esimerkiksi kapasitanssin kohdalla tarkoittaa varmuutta, jolla komponentti pysyy 10 %:n sisällä nimelliskapasitanssista. Tällöin 100 nF nimelliskapasitanssi voisi todellisuudessa olla välillä 90–110 nF. (13.)

3.2.3 Vuotovirta

Jokaisella kondensaattorilla on pieni vuotovirta, joka syntyy, kun kondensaattori on latautunut täyteen. Tämä kuitenkin on yleensä niin pieni, ettei sitä tarvitse kytkennöissä ja sovellutuksissa ottaa huomioon. Vaihtovirtapiireissä kondensaattoriin muodostuu lataus- ja purkuvirta. Tämän vuoksi kondensaattorin keskimääräinen vuotovirta kasvaa taajuuden noustessa. (14.)

3.2.4 Tehonkesto, jännitteenkesto ja ESD

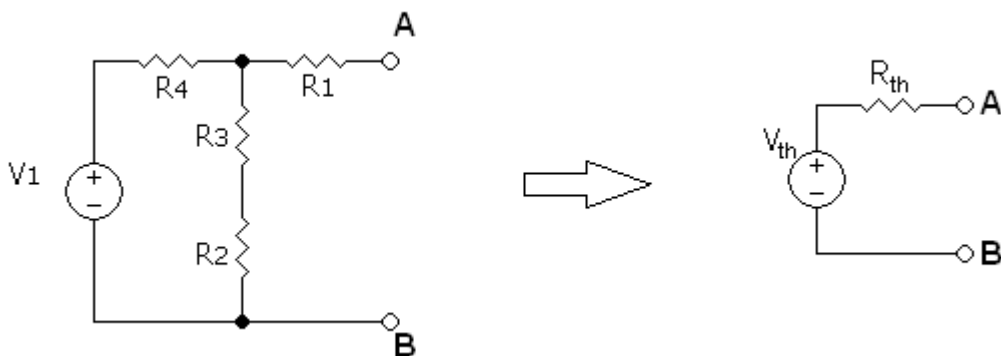
Tehonkesto ja jännitteenkesto sivuavat toisiaan. Kondensaattorin tehonkesto ei ole kriittinen parametri, koska kondensaattori ei päästä virtaa lävitseen.

Jännitteenkestoltaan kondensaattorit voivat erota toisistaan. Tämä siis kuvastaa jännitettä, jolla kondensaattorin eristemateriaali pettää napojen välissä. Kun jännite kohoaa tarpeeksi korkeaksi, eriste pettää ja kondensaattori menee oikosulkuun eli lyö läpi ja hajoaa. (12.)

ESD (electrostatic discharge) on osa komponentin EMC-yhteensopivuutta muiden komponenttien kanssa. Kipinäpurkauksenakin tunnettu ESD voi syntyä, kun materiaalien kontaktin, ionisaation tai johtumalla siirtyvien varausten kautta muodostuu staattisia varauksia. Nämä purkaukset yleensä näkyvät ihmiselle kipinäinä, kun jännite lyö esimerkiksi ilman läpi, jonka läpilyöntilujuus on n. 3 kV/mm normaaleissa olosuhteissa. Tällöin sentin pituiselle läpilyöntimatkalle tarvitaan n. 300 kV jännitettä, jossa saattaa syntyä jopa useita kymmeniä ampeereja virtaa. ESD siis tuhoaa helposti puolijohteita, kun hetkelliset jännite-, energia-, teho- ja virta-arvot ovat todella korkeita. (12; 15.)

3.2.5 Vastinpiiri, ESR ja induktanssit

Vastinpiireillä voidaan korvata kytkennässä monimutkaisempi lineaarinen kytkentä, joko Thevenin tai Nortonin vastinpiirillä. Kuvan 6 Thevenin vastinpiiri voi korvata minkä tahansa kaksiporttisen piirin, jossa on käytetty miten tahansa jännitelähteitä, virtalähteitä ja vastuksia. Thevenin teoreeman mukaan nämä voidaan korvata yhdellä jännitelähteellä ja vastuksella. (16.)



KUVA 6. Thevenin teoreema

Jos kuvan 6 perusteella laskettaisiin vastinpiiri, tarvittaisiin jännitteen laskemiseksi kaavaa 3

$$V_{th} = \frac{R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) + R_4} * V_1 \quad \text{KAAVA 3}$$

ja vastuksen määrittämiseksi kaavaa 4

$$R_{th} = R_1 + [((R_2 + R_3) || R_4)]. \quad \text{KAAVA 4}$$

Nortonin teoreema eroaa Thevenin teoreemasta virtalähteeltään.

Laskennallinen osuus siis on erilainen, kun lasketaan virtalähteelle arvoja.

Perustuen Nortonin teoreemaan on virtalähteen ampeerimäärä on kaavan 5 mukaisesti

$$I_{tot} = \frac{V_1}{R_4 + R_1 || (R_3 + R_2)} \quad \text{KAAVA 5}$$

josta saadaan lopulliseksi virraksi kaavalla 6

$$I_n = \frac{R_3 + R_2}{(R_4 + R_1)} * I_{tot}. \quad \text{KAAVA 6}$$

Nortonin virtalähteelle saadaan vastus normaalilla vastusten laskukaavalla 7

$$R_n = R_1 + (R_4 || (R_3 + R_2)). \quad \text{KAAVA 7}$$

Näillä kaavoilla ja teoreemoilla voidaan siis yksinkertaistaa kytkentää ja tehdä siitä edullisempi ja mahdollisesti pienempi fyysisiltä mitoiltaan. (16.)

Teoriassa ideaalinen kondensaattori ei muodosta resistanssia. Käytännössä komponentit eivät ole lineaarisia, jolloin ne muodostavat sähköistä resistanssia. Tämän takia laskentaa varten kytkennöissä pitää huomioida ESR (equivalent series resistance) eli sarjaresistanssit, joilla voidaan kumota epälineaaristen komponenttien muodostamat resistanssit. Sarjaresistanssien suuruudet on

ilmoitettu kunkin komponentin tietolomakkeessa, jonka komponentin valmistaja tarjoaa. (17.)

Sähköisesti kondensaattorin vastakohtana toimii kela, jolla on positiivinen reaktanssi. Kela on yksinkertaistettuna kierrettyä kaapelia ferromagneettisen sydämen ympärillä. Kelan muodostama induktanssi vastustaa virran muutoksia varastoimalla energiaa sen läpi kulkevan sähkövirran muodostamaan sähkökenttään. Kondensaattori taas estää virran kulkua muuttamalla jännitettä napoihin tulevan virran perusteella. Kela siis edistää virran kulkua ja täten sillä on positiivinen reaktanssi ja kondensaattorilla negatiivinen, koska se estää virran kulkua. (18.)

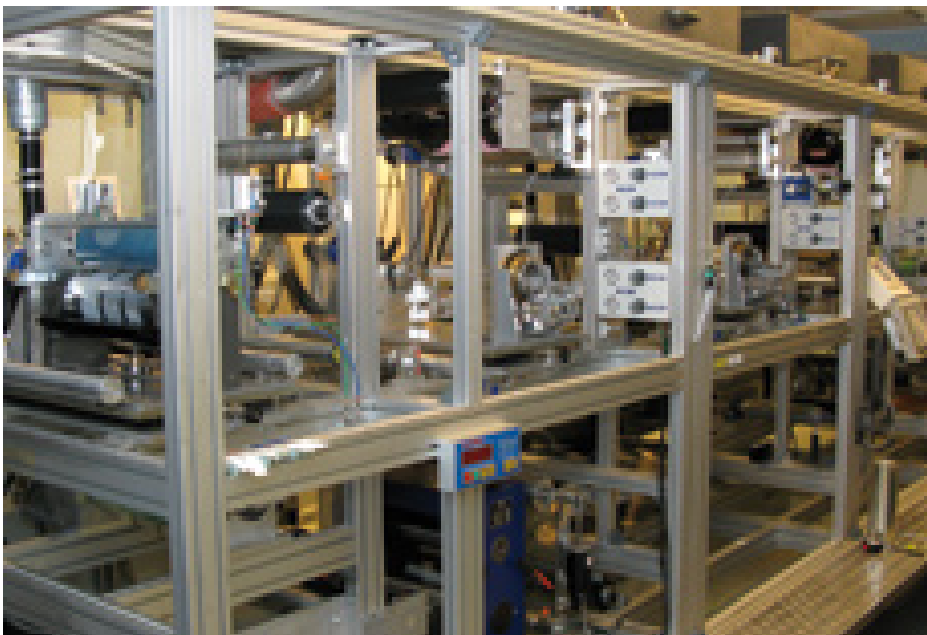
3.2.6 Toimintaolosuhteiden vaikutus

Komponenttien kannalta olisi parasta, jos olosuhteet olisivat aina samat ja stabiilit. Olosuhteet kuitenkin voivat muuttua -40 °C :sta ulkotilasta systeemin sisään, jossa on $+90\text{ °C}$. Tämän vuoksi on siis hyvä testata keinotekoisesti, miten minkäkin komponentin arvot muuttuvat, kun olosuhteet muuttuvat radikaalisti. Tätä varten on kehitetty mm. 85/85-testi, jossa komponentteja pidetään $+85\text{ °C}$:ssa, kun ilmankosteus on 85 %. Tämä testi on yleensä pitkäkestoinen ja voi kestää satoja, ellei tuhansia tunteja. On myös lyhytkestoisempia syklistestejä. Niissä olosuhteet muuttuvat radikaalisti lyhyen ajan sisällä ja niitä voidaan toistaa satoja kertoja. Nämä lämpöshokkitestit muuttavat olosuhdetta esimerkiksi -40 °C :sta $+100\text{ °C}$:seen ja takaisin, ja tätä sykliä voidaan toistaa satoja kertoja. Tällaisilla testeillä voidaan huomata kestävätkö jotkin tietyt materiaalit epästabiileja olosuhteita. (19.)

4 TYÖN TOTEUTUS

4.1 Painomenetelmä

Aikasempia projekteja hyväksi käyttäen suunniteltiin valmistettavaksi liitteen 2 komponenttilayoutin. Jotta komponenttien tarvittavat monikerrosrakenteet saatiin ajettua, valittiin painomenetelmäksi kuvan 7 VTT:n ROKO-painokoneen R2R-silkkipainoyksikkö, koska sen on todettu olevan hyvä tämän kaltaiseen monikerroskomponenttien valmistukseen. Komponenttien painaminen jaettiin kahteen päivään. Johtavia kerroksia painettiin kaksi, joista ensimmäinen painettiin ensimmäisenä ja toinen toisena päivänä. Lisäksi painettiin ensimmäisenä päivänä toisessa ajossa eristekerros ja toisena päivänä jälkimmäisessä ajossa vastuskerros. Silkkipainolla saadaan tarkkaa ja tasaista jälkeä, jonka pitäisi parantaa toleransseja. Silkkipainokoneen huonona puolena on manuaalisesti toimiva substraatin kireyden hallinta, joka johtikin huonoon saantoon. Komponentit oli tarkoitus mitata painamisen jälkeen uudella R2R-mittalaitteella, mutta suurin osa painetusta tavarasta oli kelvotonta materiaalia, koska kerrokset eivät olleet samalla tasolla ja hopeakerrokset olivat päällekkäin. Siksi päätettiin mitata komponentit käsin. (15.)



KUVA 7. ROKO-painokone

4.2 Musteet

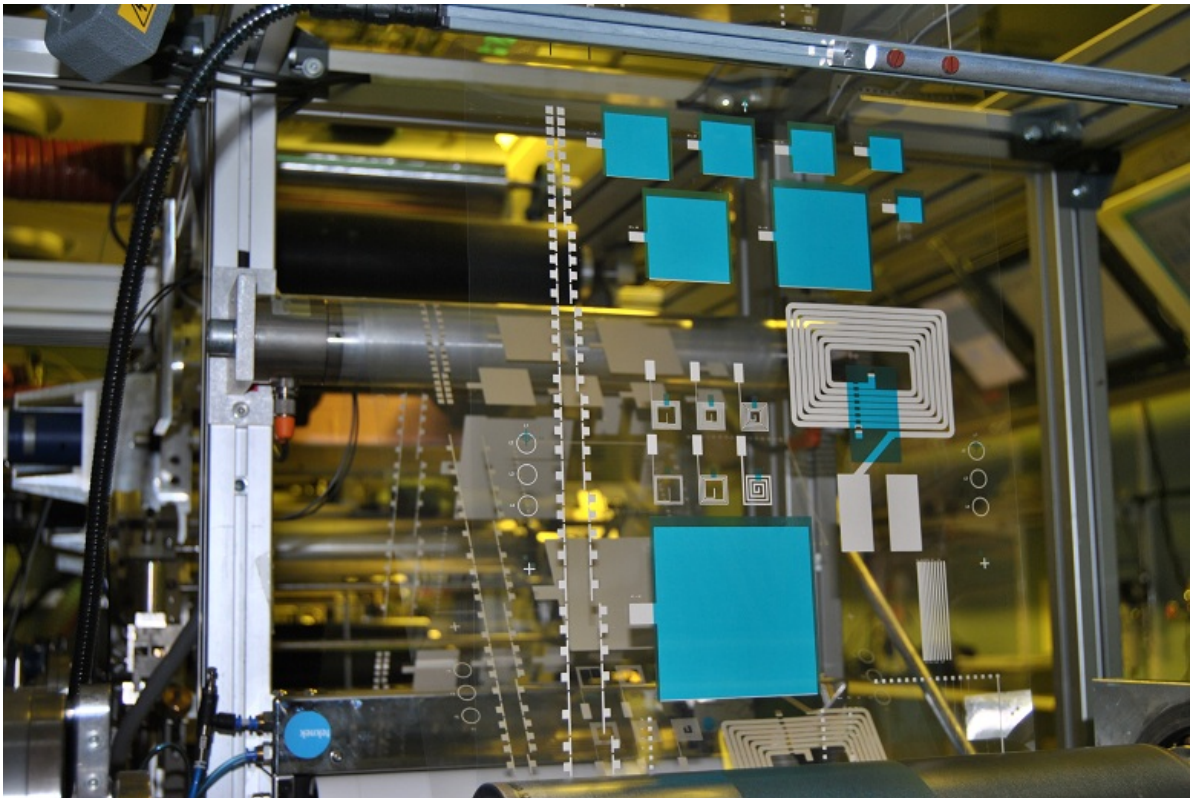
Kondensaattoreiden tekemiseen käytettiin kahta eri mustetta, jotka olivat Sunchemicalin hopeamuste CRSN2442 ja eristemuste UV600B.

Hopeamustetta ajetaan kahteen eri kerrokseen, joita eristemuste erottaa.

Vaihtoehtoisina musteina tarjottiin Asahin valmistamia LS-411 AW - hopeapastaa ja CR-18GT-KT1 -eristepastaa, jotka olivat n. kaksinkertaisissa hinnoissa verrattuna Sunchemicalin vastaaviin.

Hopeamusteeseen sekoitetaan tarvittaessa painojäljen parantamiseksi hidastetta, joka hidastaa musteen kuivumista ja siten estää silkkiverkon tukkeutumista. Kuvan 8 ensimmäiseen kerrokseen painetaan johtava hopeakerros, jonka päälle ajetaan toisella kierroksella eristekerros.

Eristekerroksen mahdolliset reiät aiheuttavat kondensaattorien toimimattomuuden, koska ne sallivat läpilyönnin. Kolmanteen kerrokseen ajetaan toinen johtava kerros hopeamustetta. Lisäksi vastuserroksien tekemiseen tarvittiin neljänteen ajoon PM-404- ja 6017SS-musteet, joita sekoittamalla saadaan erilaisia vastusarvoja.



KUVA 8. Eristekerroksen ajo

4.3 Substraatti

Substraattina käytettiin 125 µm paksua ja 300 mm leveää Melinex ST506 -kalvoa. Melinex ST506 on kirkas, kiiltävä ja lämpöstabiliisoitu polyesterikalvo. Se on monikäyttöinen substraattimateriaali, jonka päälle voidaan painaa liuotinpohjaisia musteita erinomaisen pintakiinteen johdosta. Kalvo on lämpökäsitelty, jotta se kestää jopa +150 °C:seen asti muuttamatta fyysisiä mittojaan. Substraatti on myös erittäin kestävä ja kova, joka tekee siitä pitkäkestoisen pohjan komponenteille. (20.)

4.4 Kuivaus

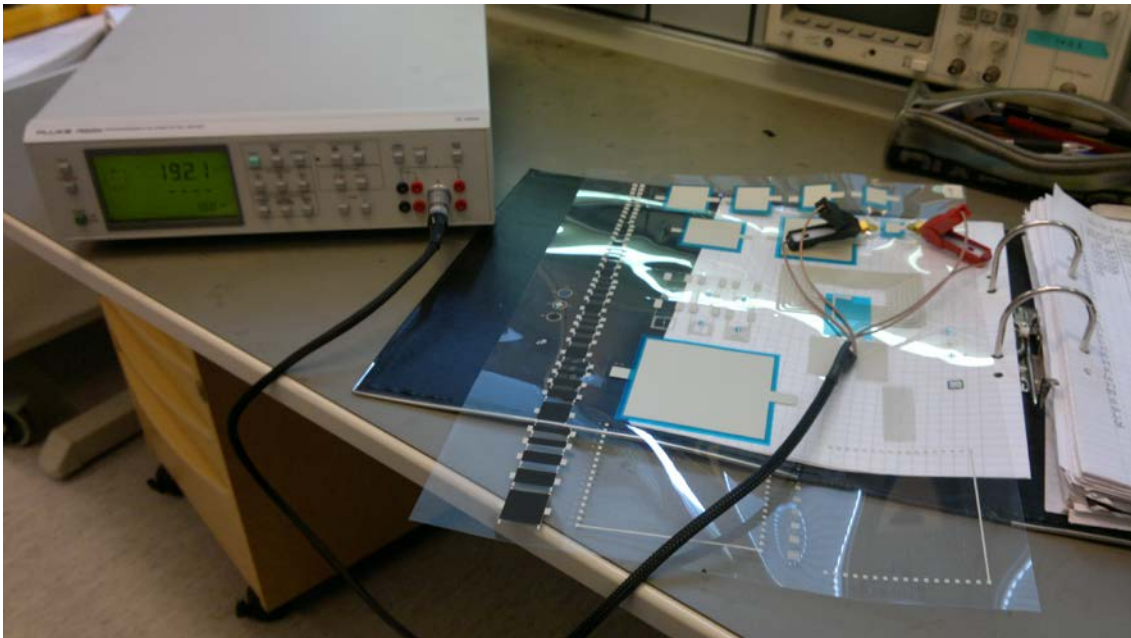
Musteet täytyy kuivattaa, ennen kuin painoaihe kierretään takaisin rullalle, joten musteiden kuivattamiseen käytettiin painokoneen päällä sijaitsevia uuneja. Uuneja oli neljä kappaletta ja UV-musteen kuivattamiseksi eristekerroksessa ensimmäisen uunin tilalle asennettiin ilmajäähdytteinen UV-kuivausyksikkö. Muilla kerroksilla uunit asetettiin +130 °C:seen ja tarvittaessa niiden lämpötilaa pystyttiin nostamaan.

5 KOMPONENTTIEN MITTAUKSET

Komponenttien painaminen jaettiin kahdelle päivälle, joista ensimmäisenä päivä ajettiin kaksi ensimmäistä kerrosta eli ensimmäinen johtava ja eristekerros. Toisena päivänä painettiin toinen johtava kerros ja vastuspasta. Alkuperäinen suunnitelma oli mitata valmistetut komponentit uudella R2R-mittalaitteella automaattisesti. Huonon saannon vuoksi päätimme kuitenkin mitata komponentit käsin, koska saimme vain 32 arkkia toimivia komponentteja n. 300 painetusta arkista. Saanto oli siis mekaanisista ongelmista johtuen lähtökohtaisesti huono. Työssä esitetyt saantoprosentit on laskettu 32 visuaalisesti toimivan arkin perusteella.

5.1 Saanto

Kondensaattorien mittaamiseen käytettiin Fluken PM6304-LCR-mittalaitetta. Mittapainä käytettiin kuvassa 9 näkyviä Fluken omia hauenleukapihtejä, kun kondensaattorit mitattiin 100 Hz:n taajuudella ja 1 V:n jännitteellä.



KUVA 9. Mittauslaitteisto

Kondensaattoreita oli kahdeksaa eri kokoa eli 10 mm * 10 mm, 15 mm * 15 mm, 20 mm * 20 mm, 25 mm * 25 mm, 30 mm * 30 mm, 40 mm * 40 mm, 50 mm * 50 mm ja 80 mm * 80 mm. Näin ollen mitattavia komponentteja kertyi yhteensä

256 kappaletta. Näistä 256 komponentista 149 kpl eli 58,21 % oli toimivia. Taulukon 1 lukumäärät on laskettu liitteen 1 perusteella. Saantoprosentti laskee, mitä isommaksi komponentti kasvaa, mahdollisten eristekerroksen reikien vuoksi. Saantoa laskee myös huomattavasti isoimman 80 mm * 80 mm ja keskikokoisen 25 mm * 25 mm kondensaattorin toimimattomuus.

TAULUKKO 1. Saanto ennen kalanterointia

Koko	Toimivat	Vialliset	Saanto
10 x 10 mm	30	2	93,75 %
15 x 15 mm	28	4	87,50 %
20 x 20 mm	32	0	100,00 %
25 x 25 mm	5	27	15,63 %
30 x 30 mm	19	13	59,38 %
40 x 40 mm	21	11	65,63 %
50 x 50 mm	14	18	43,75 %
80 x 80 mm	0	32	0,00 %
Kaikki	149	107	58,20 %

5.2 Kapasitanssi

Komponentit mitattiin käsin ja tulokset siirrettiin Exceliin. Liitteen 1 mittaustulosten perusteella tehtiin taulukko 2, jossa on esitetty fyysiseen kokoon suhteutettu kapasitanssi.

TAULUKKO 2. Varauskyky ennen kalanterointia

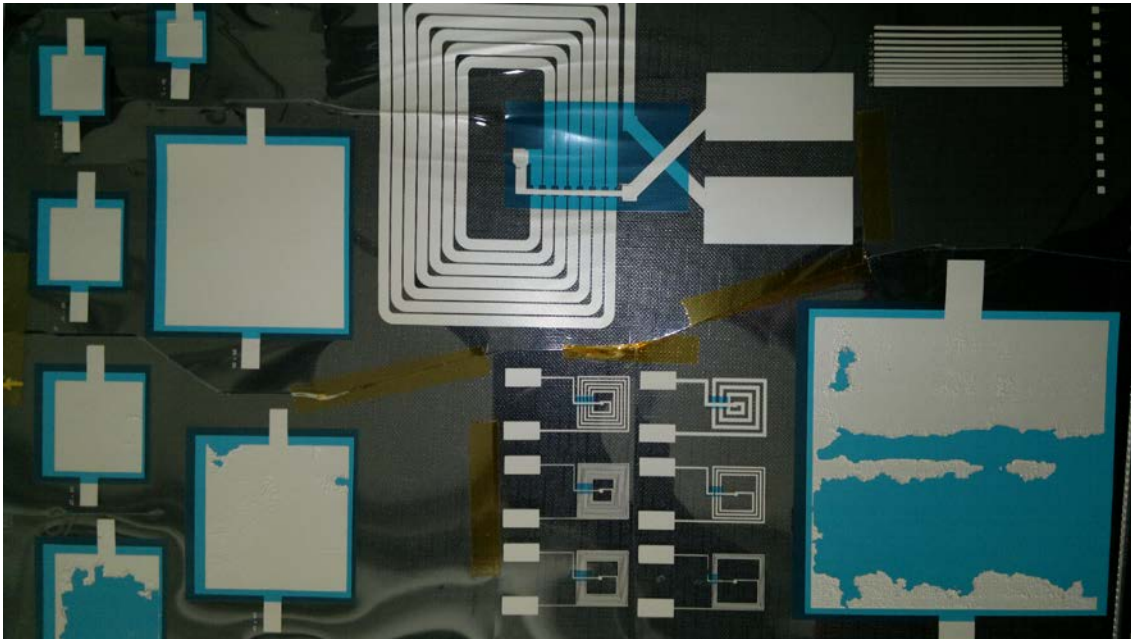
Kond. Koko	Lukumäärä	nF ka.	pF ka.	pF/mm ²
10 x 10 mm	30	0,19	187,99	1,88
15 x 15 mm	28	0,40	404,33	1,80
20 x 20 mm	32	0,72	715,60	1,79
25 x 25 mm	5	1,19	1190,40	1,90
30 x 30 mm	19	1,65	1654,79	1,84
40 x 40 mm	21	2,97	2974,29	1,86
50 x 50 mm	14	4,51	4508,00	1,80
80 x 80 mm	0	0,00	0,00	0,00
Kaikki	256			1,84

Ennen kalanterointia kapasitanssin keskiarvoksi saatiin 1,84 pF/mm². Tällä arvolla voidaan teoreettisesti ennustaa, minkälainen kapasitanssi tällä

tekniikalla ja musteilla tehdyllä kondensaattorilla on. Tätä arvoa tullaan vertaamaan tässä työssä kalanteroinnin jälkeisiin arvoihin jotta saadaan selville, minkälainen vaikutus kalanteroinnilla on kondensaattoreihin.

5.3 Kalanterointi

Kalanteroinnissa painorulla vedetään kahden tai useamman telan läpi. Telojen puristuksen ja korkean lämpötilan vuoksi painomuste silottuu ja huokoinen pinta tasoittuu. Tällä saadaan hopeakerroksista paremmin johtavia. Lämpötila ei kuitenkaan saa olla liian korkea, sillä muuten pinta voi lähteä repeilemään. Liian korkea lämpötila johtaa hopeamusteen pehmenemiseen ja paineen alla se lähtee repeilemään. Kuvassa 10 näkyvä repeillyt pinta johtaa pienempään alaan johtavaa kerrosta, jolloin kondensaattorin varauskyky pienenee.



KUVA 10. Liian korkeasta lämpötilasta aiheutunut johtavan kerroksen repeily

Kalanteroinnin jälkeen kaikki kondensaattorit mitattiin uudestaan. Mittauksien perusteella kalanterointi oli aiheuttanut 11 viallista kondensaattoria.

Mittaustulokset ovat liitteessä 1. Kalanteroinnin jälkeen saannoksi saatiin 53,91 %.

TAULUKKO 3. Kalanteroinnin jälkeinen saanto

Koko	Toimivat	Vialliset	Saanto	Kalanteroinnissa vikaantuneet
10 x 10 mm	29	3	90,63 %	1
15 x 15 mm	28	4	87,50 %	0
20 x 20 mm	29	3	90,63 %	3
25 x 25 mm	5	27	15,63 %	0
30 x 30 mm	18	14	56,25 %	1
40 x 40 mm	20	12	62,50 %	1
50 x 50 mm	9	23	28,13 %	5
80 x 80 mm	0	32	0,00 %	0
Kaikki	138	118	53,91 %	11

Liitteen 1 perusteella voidaan myös laskea kondensaattoreille kapasitanssikykyä neliömillimetriä kohden. Tällä arvolla voidaan hyvin verrata kalanteroinnin hyödyllisyyttä. Kalanteroinnin jälkeen kondensaattoreille saatiin keskiarvoksi 1,87 pF/mm² joka on n. 1,6 % korkeampi kuin ennen kalanterointia.

TAULUKKO 4. Varauskyky kalanteroinnin jälkeen

Kond. Koko	Lukumäärä	nF ka.	pF ka.	pF/mm ²
10 x 10 mm	29	0,238548	238,55	2,39
15 x 15 mm	28	0,39	391,47	1,74
20 x 20 mm	29	0,69	694,57	1,74
25 x 25 mm	5	1,14	1138,80	1,82
30 x 30 mm	18	1,59	1587,06	1,76
40 x 40 mm	20	2,91	2908,90	1,82
50 x 50 mm	9	4,56	4557,33	1,82
80 x 80 mm	0	0,00	0,00	0,00
Kaikki	138			1,87

5.4 Olosuhdemittaus

Olosuhdemittauksena käytettiin standardin IEC 60068-2-67:n mukaista 85/85-testiä, se on pitkän aikavälin testi, jossa lämpötilaksi asetetaan 85 °C ja suhteelliseksi ilmankosteudeksi 85 %. Testikaappina käytettiin kuvan 11 Espec SH-240 -lämpötila- ja kosteuskammiota. Laitteen sisällä kammio on n. 30 cm *

30 cm leveä ja 24 cm syvä. Komponentit laitettiin metalliverkon päälle ja komponenttien mittapäät suojattiin lämmönkestävällä teipillä. (21.)



KUVA 11. Espec SH-240

Testin oli tarkoitus kestää 1000 tuntia, mutta ammattikorkeakoululla oli ollut sähkökatkos 700 tunnin jälkeen, jonka jälkeen mittaus päätettiin lopettaa. Taulukossa 5 on esitetty 4. kalvon 15 mm * 15 mm:n kondensaattorin käyttäytyminen kaapissa.

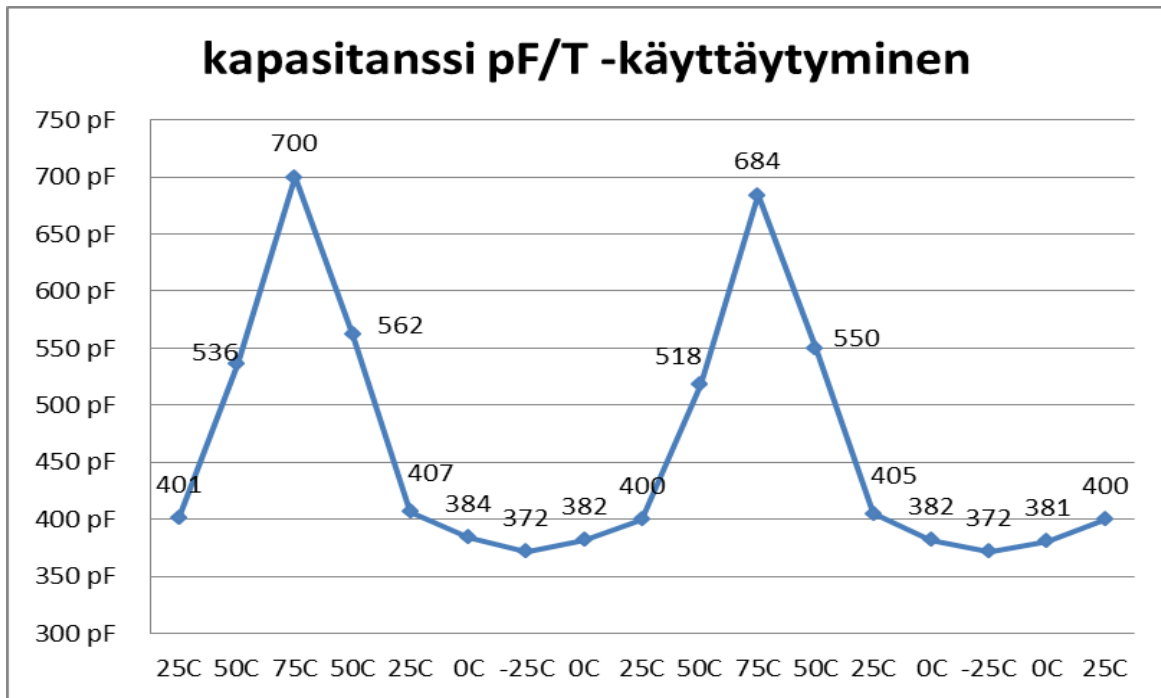
TAULUKKO 5. Olosuhdemittaus

Aika (h)	Kapasitanssi (nF)
10	1,027
25	1,192
50	0,1465
100	0,577
195	1,224
335	1,22
407	1,255
503	1,262
579	1,273
700	1,291

Kondensaattorilla on siis huomattavasti parempi varauskyky, kun sitä käytetään kuumemmissa olosuhteissa. Jos jätetään huomioimatta todennäköiset mittalaitteen asetuksista johtuneet mittausrvirheet ajoilta 50 h ja 100 h, saadaan varauskyvyn keskiarvoksi 1,218 nF. Kyseinen kondensaattori sai alunperin huoneenlämmössä kapasitanssiksi 0,445 nF, joka on ainoastaan n. 36,5 % olosuhdekaapissa saadusta varauskyvystä.

5.5 Syklitesti

Syklitestiä tekemiseen käytettiin samaa lämpökaappia kuin olosuhdemittaustenkin yhteydessä. Syklitestissä päätimme testata komponenttien kestoa todellisuutta vastaavissa tilanteissa. Ohjelma lähtisi siis huoneenlämpötilasta ja nousisi 25 °C:n pykälän +75 °C maksimilämpötilaan, josta lämpötila sitten laskisi kunnes saavutettaisiin -25 °C ja nousisi pakkaselta takaisin huoneenlämpötilaan. Tämä kierto toteutettiin kaksi kertaa, jotta mahdolliset mittausrvirheet huomattaisiin. Testissä käytettiin samankokoista kondensaattoria kuin olosuhdetestissäkin verrattavuuden parantamiseksi. Syklitestistä saatiin tulokseksi kuvan 12 kuvaaja käyttäen liitteen 1 arvoja.



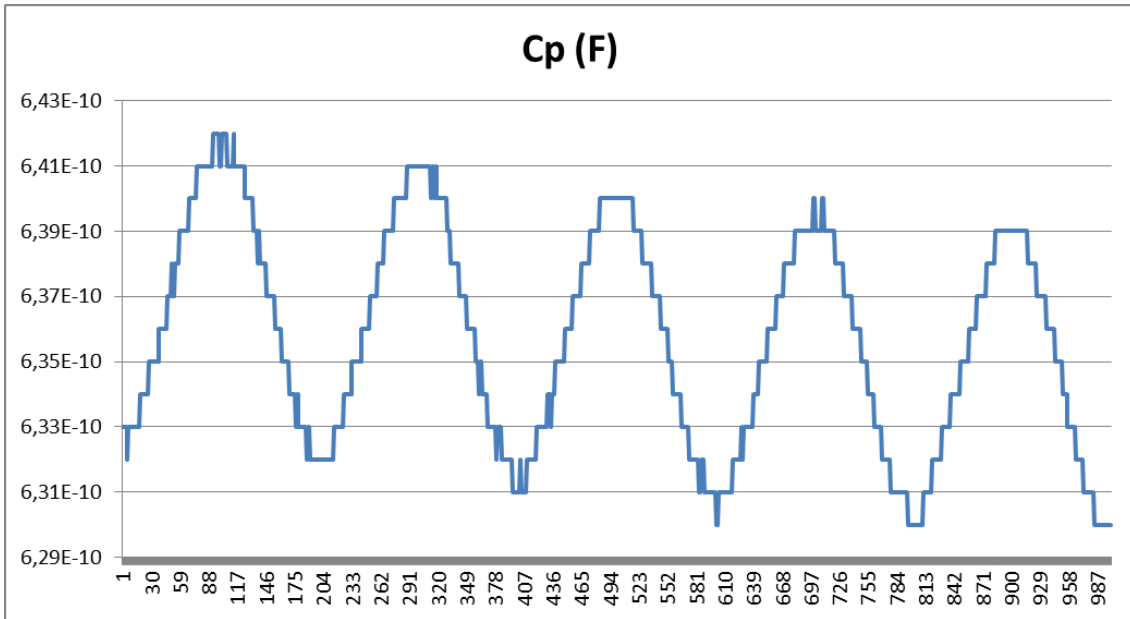
KUVA 12. Syklitesti

Kuvaajasta näkyy selvästi, kuinka kondensaattorin varauskyky parani, kun lämpötila nousee ja vastaavasti huononi, mitä alemmas lämpötila laskee. Kondensaattori itsessään ei juurikaan tuota lämpöä, joten ympäristön lämpötila on erittäin merkittävä painettua kondensaattoria käytettäessä.

5.6 Taivutustesti

Kondensaattoreille tehtiin kaksi erilaista taivutustestiä, joissa tutkittiin miten varausarvo muuttuu, kun kondensaattoria taivutetaan äärimmilleen.

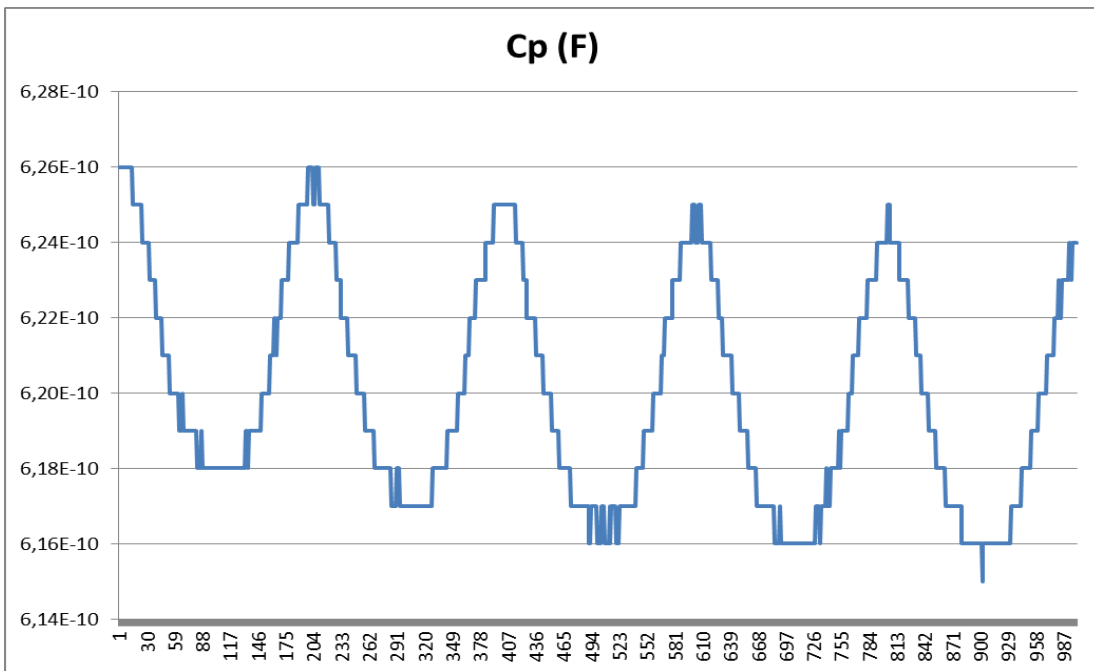
Taivutustestejä on kaksi erilaista, kompressio- ja taivutustesti, määrittäen kummalle puolelle kondensaattoria taivutetaan. Testilaitteisto oli yhdistettynä LabView-ohjelmaan, joka ohjasi taivuttajan liikettä ja mittasi kondensaattorin varausarvoja n. 1000 kpl viiden toiston aikana. Ensimmäisenä mittasimme kuperan taivutuksen aikana varausarvot, joista saimme kuvan 13 kuvaajan.



KUVA 13. Kompressio

Kondensaattorin varausarvot siis muuttuivat maksimiarvosta 642 pF minimiarvoon 630 pF. Maksimiarvo saatiin, kun kondensaattori oli taivutuksen lakipisteessä. Käyrän alimmat pisteet ovat siis kohtia, joissa kondensaattori oli vaakatasossa. Suhteellisesti kondensaattorin varausarvo muuttui 1,9 %.

Toisena testinä oli kovera testi, jonka tulokset näkyvät kuvan 14 kuvaajassa.



KUVA 14. Taivutus

Tässä testissä vastaavasti lakipisteet ovat kohtia, joissa kondensaattori on suorassa. Matalimmat pisteet ovat kondensaattorin taivutuksen lakipisteet. Kondensaattorin arvot muuttuivat maksimiarvosta 626 pF minimiarvoon 615 pF. Tällöin kondensaattorin suhteellinen muutos oli 1,8 %.

6 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli oppia erilaisista painotekniikoista ja yleensä painettusta elektroniikasta. Ennen työn alkua termi painettu elektroniikka ei oikeastaan sanonut mitään koska se on niin uusi ala, ettei ammattikorkeakoulussa ollut meidän opintosuunnitelmassa missään kurssissa mitään asiaa siitä. Nyt opinnäytetyön tehneenä voi todeta tietävänsä alasta huomattavasti enemmän. Yleisimmät painotekniikat tulivat tutuiksi ja painettujen komponenttien käyttötarkoitukset selvisivät. Myös mahdolliset testit ja käytettävät mustelaadut tulivat tutuksi.

Työn mielenkiintoa nosti todella paljon komponenttien monimutkainen käyttäytyminen. Miltei kaikki asiat vaikuttavat siihen, miten kondensaattori toimii. Muun muassa lämpötila, substraatti, musteet, kosteus ja geometriat vaikuttavat, joten näen, että alalla riittäisi mielenkiintoista mietittävää vielä pitkäksi aikaa. Jos työ olisi ollut laajempi ja pitempi, olisi ollut mielenkiintoista päästä kokeilemaan erilaisia geometrioita, musteita ja niiden kerrosten paksuuksia. Esimerkiksi jos hopeakerrosten paksuutta kasvatettaisiin kaksinkertaiseksi, miten lämpötilavaikutus silloin muuttuisi. Olisi myös tärkeää, että paneuduttaisiin enemmän geometrian tuomiin vaikutuksiin. Geometrialla voitaisiin saada uusia näkökulmia ja innovatiivisia ideoita.

Käytetyillä tekniikoilla ja menetelmillä saatiin tehdyksi toimivia komponentteja. Komponenttien saannosta tuli mielestäni turhan huono. Osin se johtuu suunnitelmasta tehdä 80 mm * 80 mm kokoinen kondensaattori valituilla menetelmillä. Kondensaattoriin tehtävä eristekerros on siis todella iso, jolloin mahdollisten reikien määrä eristeessä kasvaa huomattavasti. Painotelassa todettiin keskikokoisen 25 mm * 25 mm kondensaattorin valmistuksessa olleen tukos silkkipainoverkossa, joka johti niiden huonoon saantoon. Testimielessä näille kondensaattoreille annettiin n. 50 V jännite, jolloin komponentin vasemmassa yläkulmassa kävi läpilyönti ja jäljelle jäi palojälki.

Tärkeimpänä huomiona pidän lämpötilan vaikutusta kondensaattorin varauskykyyn. Varauskyky voi tippua jopa puoleen, jos lämpötilan laskee esim +75 °C:stä +25 °C:en. Varauskyky ei kuitenkaan ole yhtä altis lämpötiloille

matalimmissa lämpötiloissa, kun +25 °C ja –25 °C varausero oli alle 10%. Jos komponentteja halutaan käyttää kytkennöissä, on kuitenkin otettava todella tarkasti huomioon käyttöympäristön lämpötila ja ilmankosteus.

LÄHTEET

1. Printed Intelligence. 2012. Saatavissa:
http://www.vtt.fi/research/area/printed_intelligence.jsp?lang=en.
Hakupäivä 1.8.2012.
2. Printed electronics. 2012. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_electronics. Hakupäivä 1.8.2012.
3. Viluksela, Pentti – Ristimäki, Seija – Spännäri, Toni 2007.
Painoviestinnän tekniikka. Opetushallinto. Helsinki: Otava.
4. Gravure printing. 2012. Saatavissa:
<http://www.automation.siemens.com/mcems/mc/en/mechanical-engineering/printing-machines/gravure-printing-machine/pages/gravure-printing-machine.aspx>. Hakupäivä 1.8.2012.
5. Flexographic Printing. 2012. Saatavissa:
<http://www.pneac.org/printprocesses/flexography/>. Hakupäivä 1.8.2012.
6. Offset. 2012. Saatavissa:
<http://www.mm-packaging.com/en/company/technologies/printing-technologies/offset.html>. Hakupäivä 1.8.2012.
7. Functional materials. 2012. Saatavissa:
www.vtt.fi/research/technology/functional_materials.jsp?lang=en.
Hakupäivä 3.8.2012.
8. Proof-of-concept. 2012. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Proof_of_concept. Hakupäivä 3.8.2012.
9. Functional polymers. 2012. Saatavissa:
http://www.vtt.fi/research/technology/newmaterials/functional_materials_functional_polymers.jsp?lang=en. Hakupäivä 3.8.2012.

10. Ojanperä, Kari 2009. Tulevaisuuden energiatekniikka. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/aurinkokennojen+hyotysuhde+uuteen+ennatykseen/a207655>. Hakupäivä 3.8.2012.
11. Torvinen, Katariina 2012. SUBSTRAL loppuraportti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-00993-10.pdf>. Hakupäivä 6.8.2012.
12. Capacitor. 2012. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>. Hakupäivä 6.8.2012.
13. Toleranssi. 2012. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Toleranssi_%28valmistustekniikka%29. Hakupäivä 6.8.2012.
14. Leakage. 2012. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Leakage_%28semiconductors%29. Hakupäivä 6.8.2012.
15. Paakkolanvaara, Mikko 2012. Senior Scientist, VTT Oulun yksikkö. Opinnäytetyöhön liittyvät keskustelut kesällä 2012.
16. Thévenin's theorem. 2012. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9venin%27s_theorem. Hakupäivä 8.8.2012.
17. ESR. 2012. Saatavissa: <http://members.shaw.ca/swstuff/esr-meter.html>. Hakupäivä 8.8.2012.
18. Inductor. 2012. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Inductor>. Hakupäivä 13.8.2012.
19. 85/85 and Thermal Shock. 2012. Saatavissa: <http://www.swtechcon.com/PDF/8585ts.pdf>. Hakupäivä 16.8.2012.
20. Melinex ST506. 2012. Saatavissa: <http://www.dupontteijinfilm.com/filmenterprise/Datasheet.asp?ID=271&Version=US>. Hakupäivä 16.8.2012.

21. Espec SH-240. 2012. Saatavissa:

http://www.atecorp.com/equipment/espec/sh_240.asp. Hakupäivä

16.8.2012.

PAINETUN KONDENSAATTORIN TIETOLOMAKE

Käytetyt painomenetelmät

Tekniikka: Silkkipaino

Painokone: ROKO-yksikkö

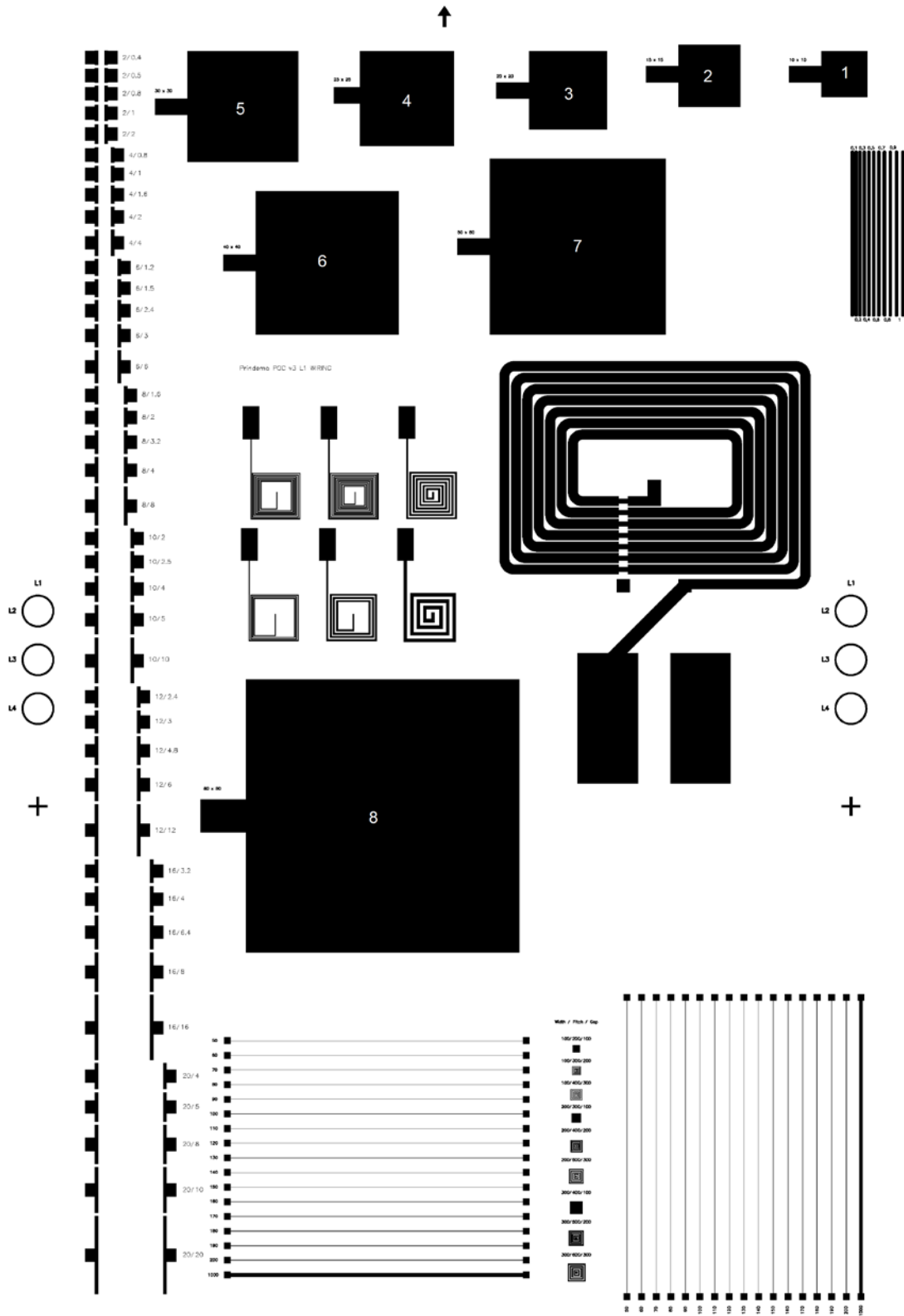
Käytetyt materiaalit

Musteet: Sunchemical hopeamuste CRSN2442 ja eristekerros UV600B.

Hopeamusteelle Sunchemical Hidastin 503-99033 (2,25 - 3 m% hopeamusteessa).

Substraatti: Melinex ST506 125 µm paksu ja 300 mm leveä.

Kondensaattorit numeroituna kalvolta.



Edellisessä kuvassa näkyvät kondensaattorit ja niiden koot.

1. 10 mm * 10 mm

2. 15 mm * 15 mm

3. 20 mm * 20 mm

4. 25 mm * 25 mm

5. 30 mm * 30 mm

6. 40 mm * 40 mm

7. 50 mm * 50 mm

8. 80 mm * 80 mm

Kalanteroimattomien kondensaattoreiden varausarvot nanofaradeina.

Mittaukset	FLUKE PM6304		TULOKSET NANOFARADEINA					
Kalanteroimattomat	f=100Hz							
Sheet nro	10x10mm	15x15mm	20x20mm	25x25mm	30x30mm	40x40mm	50x50mm	80x80mm
1	0,1956	0,421	0,745	0	1,716	3,078	0	0
2	0,2105	0,4288	0,802	0	1,9	3,386	5,15	0
3	0	0,39	0,7318	1,194	0	0	0	0
4	0,2118	0,4552	0,823	0	0	3,5	0	0
5	0,1825	0,377	0,7145	0	0	0	0	0
6	0,1527	0	0,5957	0	0	2,572	0	0
7	0,2009	0,4126	0,7265	0	0	2,759	0	0
8	0,1937	0,4088	0,7307	0	0	3,086	4,6	0
9	0,1918	0,4126	0,7171	0	1,627	0	0	0
10	0,1966	0,4286	0,773	0	0	0	4,74	0
11	0,2061	0,4328	0,7727	1,23	1,767	3,445	5,18	0
12	0,1881	0,4561	0,7806	1,217	1,716	2,878	4,029	0
13	0,1868	0,4681	0,7965	1,238	1,736	2,871	0	0
14	0,2226	0,4431	0,8018	0	1,702	3,32	0	0
15	0	0,426	0,7622	0	1,753	0	4,63	0
16	0,1992	0,403	0,726	0	1,716	0	0	0
17	0,1574	0,3317	0,6013	0	1,411	0	3,822	0
18	0,1762	0,3899	0,6961	0	1,592	2,798	4,242	0
19	0,175	0,3717	0,6631	0	0	0	4,19	0
20	0,2112	0,3995	0,6471	0	1,563	2,99	4,166	0
21	0,1622	0,4122	0,7361	0	1,73	0	0	0
22	0,1653	0,3535	0,6283	0	1,431	2,712	4,181	0
23	0,1765	0,3823	0,69	0	0	2,545	0	0
24	0,174	0	0,6601	1,073	1,543	2,785	0	0
25	0,2151	0,4467	0,7968	0	0	2,837	0	0
26	0,1868	0,3705	0,6658	0	0	3,343	0	0
27	0,1607	0	0,5927	0	1,439	2,698	4,11	0
28	0,1992	0,3964	0,7213	0	0	0	4,972	0
29	0,215	0	0,815	0	1,894	0	5,1	0
30	0,1985	0,43	0,7776	0	1,791	3,433	0	0
31	0,1616	0,335	0,6045	0	1,414	2,744	0	0
32	0,166	0,3381	0,6044	0	0	2,68	0	0

Kalanteroitujen kondensaattoreiden varausarvot nanofaradeina.

Mittaukset	FLUKE PM6304		TULOKSET NANOFARADEINA					
Kalanteroidut	f=100Hz							
Sheet nro	10x10mm	15x15mm	20x20mm	25x25mm	30x30mm	40x40mm	50x50mm	80x80mm
1	0,186	0,3943	0,5862	0	1,543	2,329	0	0
2	0,2131	0,433	0,8055	0	1,728	3,072	4,67	0
3	0	0,3933	0,7358	1,2	0	0	0	0
4	ei ole	0,4394	0,7432	0	0	3,08	0	0
5	0,1495	0,3111	0	0	0	0	0	0
6	0,1864	0	0,7337	0	0	3,101	0	0
7	0,1746	0,3762	0,6632	0	0	2,192	0	0
8	0,1912	0,4075	0,722	0	0	3,046	0	0
9	0,1758	0,3805	0,6584	0	1,287	0	0	0
10	0,2173	0,4736	0,852	0	0	0	5,198	0
11	0,1733	0,3645	0	1,029	1,476	2,894	4,451	0
12	0,1712	0,4159	0,7124	1,111	1,57	2,636	0	0
13	0,2081	0,5207	0,8848	1,372	1,921	3,168	0	0
14	0,1833	0,4079	0,732	0	1,709	3,326	0	0
15	0	0,3546	0,6331	0	1,459	0	0	0
16	0,1636	0,3342	0,6015	0	1,416	0	0	0
17	0,1771	0,3726	0,6728	0	1,565	0	0	0
18	1,794	0,3957	0,7027	0	1,596	0	4,281	0
19	0,1783	0,3797	0,677	0	0	0	4,28	0
20	0,1951	0,3346	0,5944	0	0	2,695	4,17	0
21	0,1817	0,3826	0,681	0	1,589	0	0	0
22	0,1955	0,4269	0	0	1,735	3,258	4,95	0
23	0,177	0,3846	0,6884	0	0	2,783	0	0
24	0,1591	0,3376	0,6089	0,982	1,41	2,543	0	0
25	0,1801	0	0,6723	0	0	2,885	0	0
26	0,1737	0,3458	0,6189	0	0	2,793	0	0
27	0,1645	0	0,6095	0	1,451	2,715	0	0
28	0,1829	0,3687	0,6657	0	0	0	4,695	0
29	0,1798	0	0,6824	0	1,527	0	4,321	0
30	0,2229	0,485	0,8702	0	1,919	3,769	0	0
31	0,1968	0,4041	0,7322	0	1,666	3,256	0	0
32	0,166	0,3365	0,6024	0	0	2,637	0	0

Kalvon 4 pienin kondensaattori oli päässyt 85/85-olosuhdemittausharjoituksiin ja täten sitä ei ollut kalanteroinnissa. Lopulta valitsin 85/85-testiin 15 mm * 15 mm:n kokoisen kondensaattorin samasta kalvosta niiden hyvä saannon ja toleranssin vuoksi.

Kalanteroimattomien kondensaattoreiden varauskyky pinta-alaan suhteutettuna.

Kond. Koko	10x10mm	15x15mm	20x20mm	25x25mm	30x30mm	40x40mm	50x50mm	80x80mm
nF ka.	0,19	0,40	0,72	1,19	1,65	2,97	4,51	0,00
pF ka.	187,99	404,33	715,60	1190,40	1654,79	2974,29	4508,00	0,00
pF/mm ²	1,88	1,80	1,79	1,90	1,84	1,86	1,80	0,00
pF/mm ² ka.	1,839							

Kalanteroitujen kondensaattoreiden varauskyky pinta-alaan suhteutettuna.

Kond. koko	10x10mm	15x15mm	20x20mm	25x25mm	30x30mm	40x40mm	50x50mm	80x80mm
nF ka.	0,24	0,39	0,69	1,14	1,59	2,91	4,56	0,00
pF ka.	238,55	391,47	694,57	1138,80	1587,06	2908,90	4557,33	0,00
pF/mm ²	2,39	1,74	1,74	1,82	1,76	1,82	1,82	0,00
pF/mm ² ka.	1,870							

Kalanterointi näyttäisi nostavan keskiarvoista kapasitanssia 1,7 % pinta-alaan suhteutettuna. Pitää kuitenkin muistaa, että saanto pieneni.

Kalanteroimattomien kondensaattoreiden saanto:

Yhteensä	Toimivat	Failit	Prosentteina
256	149	107	58,203

Kalanteroitujen saanto:

Yhteensä	Toimivat	Failit	Prosentteina
256	138	118	53,906

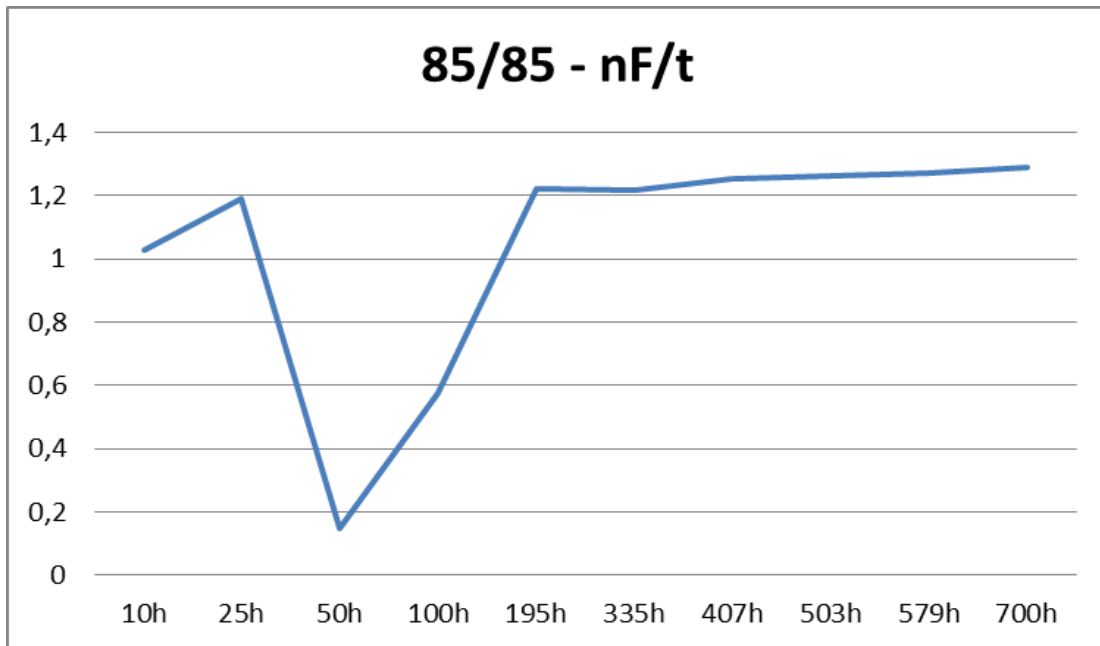
Kondensaattoreiden saanto siis pieneni 4,3 % kalanteroinnin vaikutuksesta.

85/85-testi

IEC 60068-2-67 –standardin mukainen olosuhdetesti tehtiin Espec SH-240 –kaapissa. Kaappiin laitettiin 4. kalvon 15 mm * 15 mm:n kokoinen kondensaattori. Tämän kondensaattorin varauskyky huoneenlämmössä oli n. 0,44 nF.

85/85	
Aika (h)	Kapasitanssi (nF)
10	1,027
25	1,192
50	0,1465
100	0,577
195	1,224
335	1,22
407	1,255
503	1,262
579	1,273
700	1,291

Testin aikana, n. 730 h:n kohdalla, tuli sähkökatkos, jolloin olosuhdekaappi oli sammunut. Päätimme lopettaa testin, koska loput tulokset olisivat olleet vertailukelvottomia. Varauskyky nousi melkein kolminkertaiseksi. Olosuhdetestin tulokset kuvaajana, pieni nouseva trendi havaittavissa:



PAINETUN KONDENSAATTORIN TIETOLOMAKE

LIITE 1/8

Syklitesti

Syklitestin suoritimme samassa Espec SH-240 -olosuhdekammiossa.

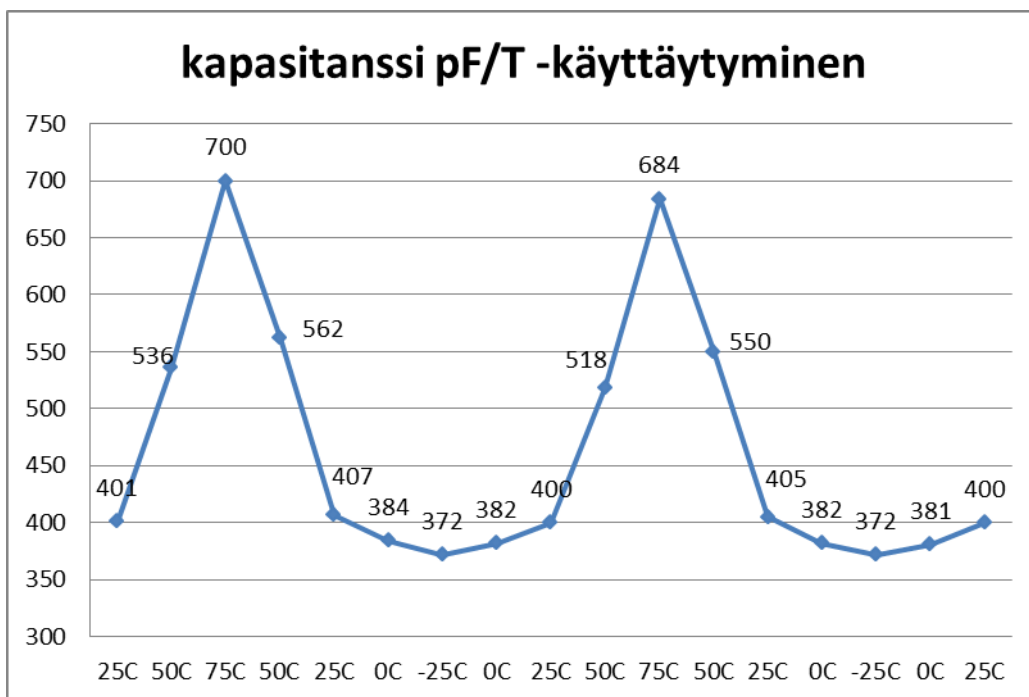
Lämpötila (°C)	Ilmankosteus (%)	Kapasitanssi pF
25	24	401
50	42	536
75	43	700
50	53	562
25	41	407
0	0	384
-25	0	372
0	0	382
25	32	400
50	35	518
75	37	684
50	47	550
25	40	405
0	0	382
-25	0	372

0	0	381
25	33	400

PAINETUN KONDENSAATTORIN TIETOLOMAKE

LIITE 1/9

Samat tulokset havainnollisemmassa kuvaajassa:

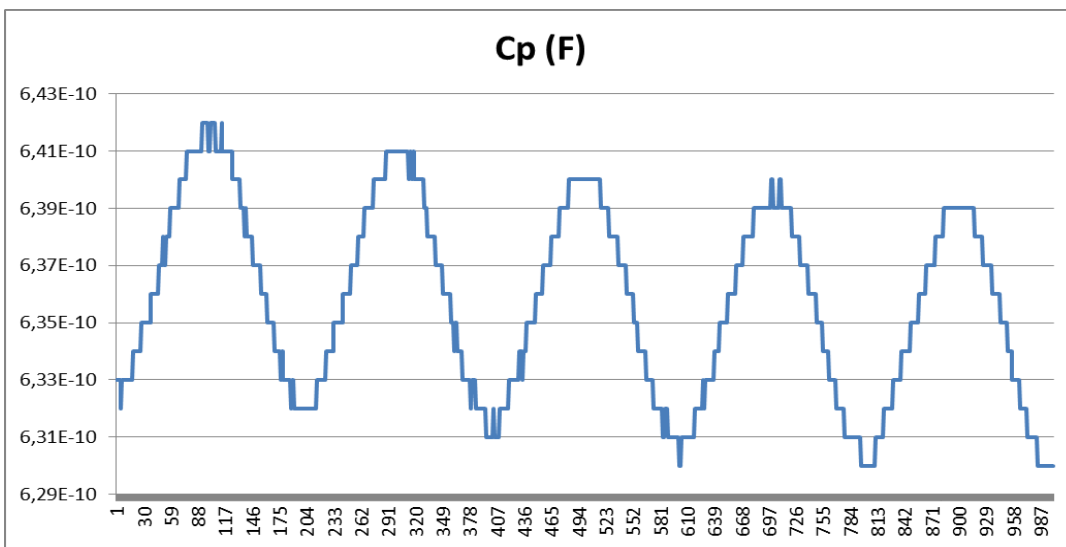


Kondensaattorit siis pitävät lämpimästä ja kosteasta ilmasta. Kun lämpötila nousi 25°C -> 75°C, varauskyky miltei kaksinkertaistui. On myös tärkeää huomata ilmankosteuden muutos, joka voi myös vaikuttaa kondensaattoreiden toimintaan.

Taivutustestit**Compression**

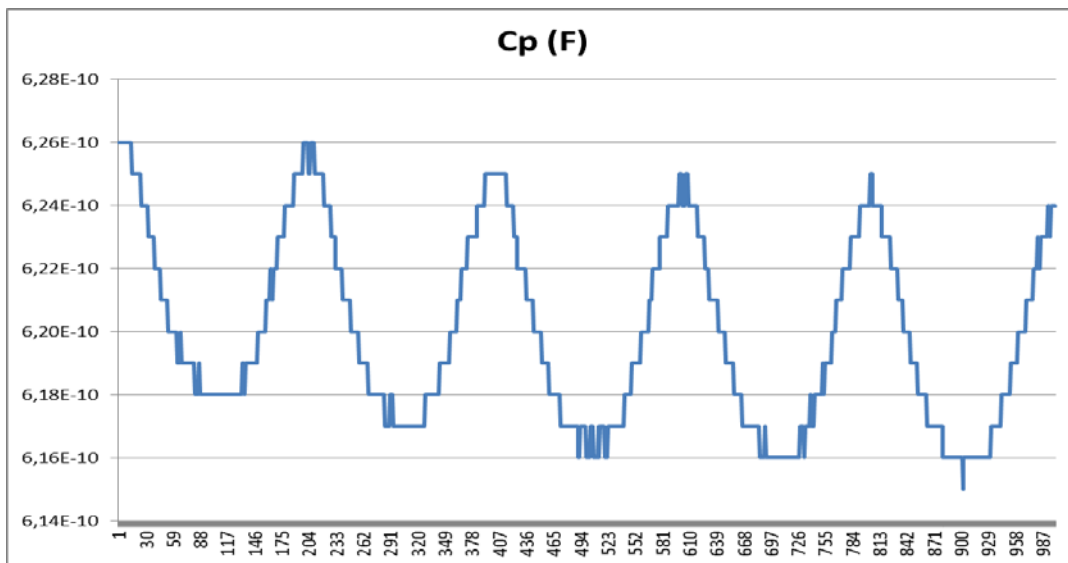
Tässä testissä lakipisteet ovat kohtia joissa kondensaattori on laakana ja matalimmat pisteet ovat kondensaattorin taivutuksen lakipisteet.

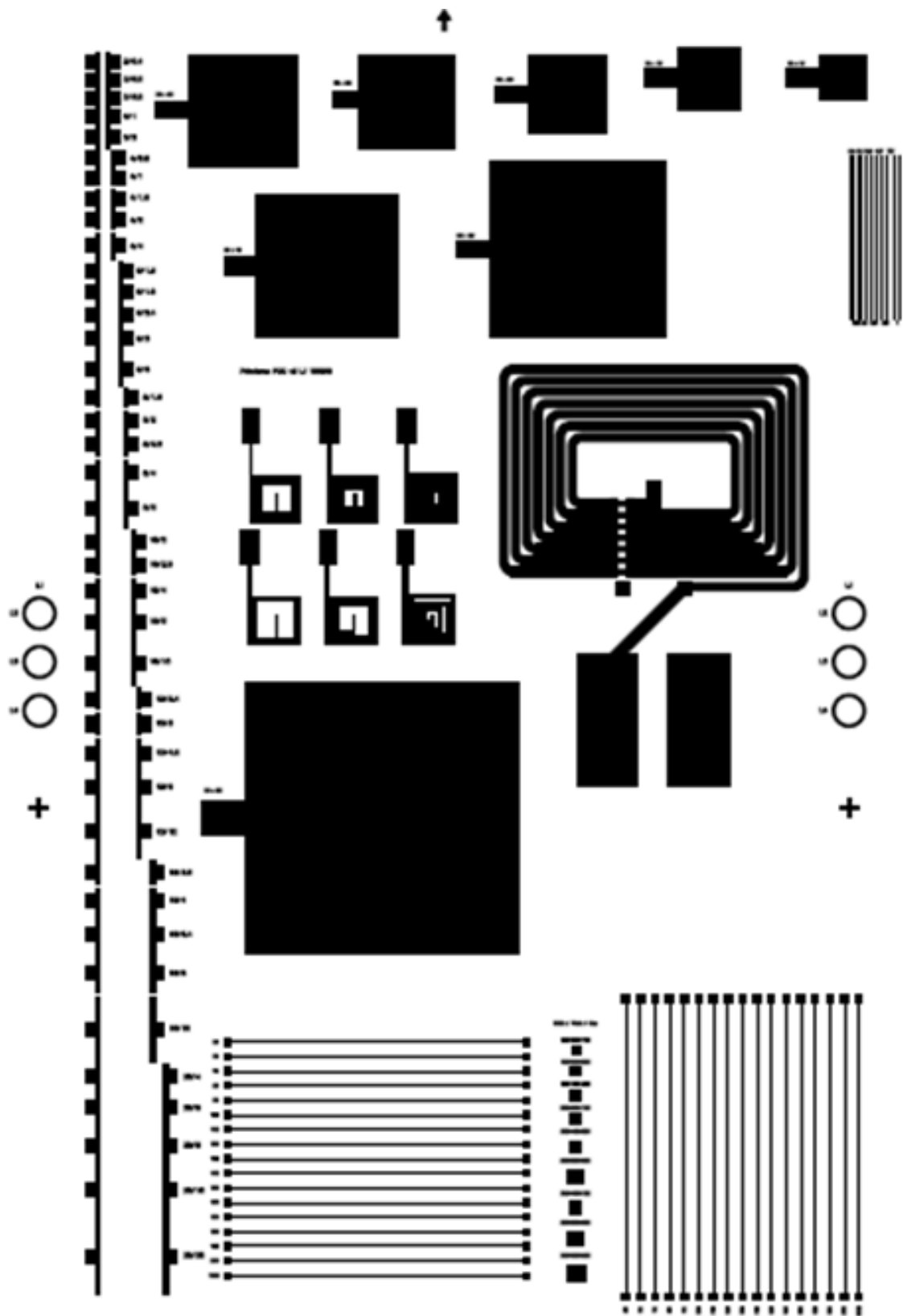
Kondensaattorin arvot muuttuivat nyt maksimiarvosta 626 pF minimiarvoon 615 pF. Tällöin kondensaattorin suhteellinen muutos oli 1,8 %.

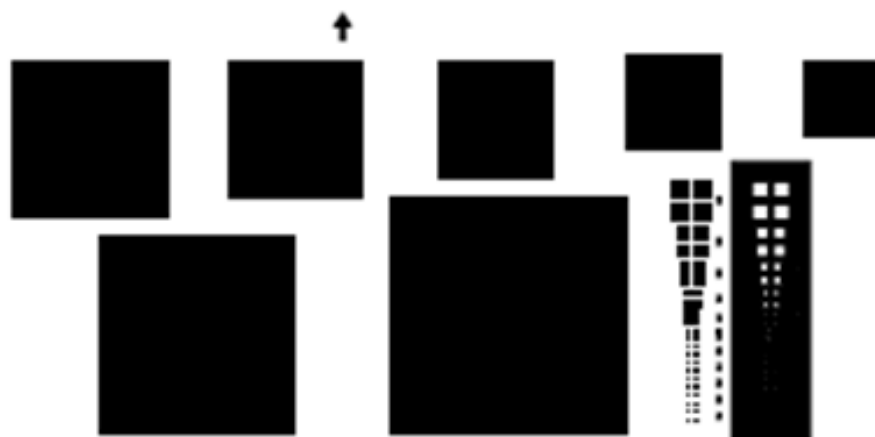


Tension

Kondensaattorin arvot siis muuttuivat maksimiarvosta 642 pF miniarvoon 630 pF. Maksimiarvo saatiin kun kondensaattori oli taivutuksen lakipisteessä. Käyrän alimmat pisteet ovat siis kohtia, joissa kondensaattori oli vaakatasossa. Suhteellisesti kondensaattorin arvo muuttui 1,9 %.







Plattenschema P16, 6, 2, 2, 2, 2, 2, 2

