CNC mjerenje gustoće elektrostatskog naboja na nevodljivim površinama

Marin Lukas

V. Gimnazija, Klaićeva 1, 10000 Zagreb, Croatia

SADRŽAJ

1. UVOD 2
   1.1 Cilj rada 3
2. MATERIJALI I METODE 3
   2.1 Općenito o izvedbi 3
   2.2 Sonda za mjerenje električnog polja 4
   2.3 Jedinica visoke impedancije 5
      2.3.1. Općenito 5
      2.3.2. FE Tranzistori 5
      2.3.3. Pojačalo LMC6062 6
      2.3.4. Sklopovlje jedinice visoke impedancije 6
   2.4 Referentni signal 7
      2.4.1. Procesiranje referentnog signala 7
   2.5. Sustav za pozicioniranje sonde 8
      2.5.1. Dvodimenzionalni translator 8
      2.5.2. Kontrola koračnih motora 9
      2.5.3. Matična ploča sustava 9
         2.5.3.1. Općenito 10
         2.5.3.2. Operativni sustav 11
   2.6. Prikupljanje podataka 11
   2.7. Kalibracija uređaja i mjerenje gubitaka naboja 11
   2.8. Postupak pripreme probnog uzorka 12
   2.9. Mjerenje 12
   2.10. Obrada podataka 12
3. Rezultati i rasprava 13
4. Zaključci 15
5. Popis literature 15
6. Životopis 15

Zahvale 15

Sažetak

U radu se opisuje računalno upravljan analizator površinske gustoće naboja za mjerenje jednoslojnog površinskog naboja sa srednjom rezolucijom na dielektričkim površinama. Uređaj se zasniva na poluvodičkom FET elektrometru s elektrostatskim mlinom i optički generiranim referentnim signalom što omogućava precizno fazno – zaključano mjerenje. Skeniranje uzorka i kontrola izvedena je dvodimenzionalnim računalno upravljanim translatorom. Rad uređaja demonstriran je kroz mjerenje raspodjele površinskog naboja na plastičnom ravnalu protrljanom pamučnom krpom.

Abstract

We present a computer numerically controlled surface charge density analyser for measuring mono – layer surface charges in medium resolution on dielectric surfaces. The device is based on a solid state FET electrometer coupled with an optically referenced electrostatic mill enabling accurate phase – locked measurement. The scanning and control are obtained with a two – dimensional computer controlled discrete step translator capable of delivering up to 20 steps per second. The device was demonstrated in a measurement of the surface charge on a plastic ruler rubbed with a cotton cloth.

1. Uvod

Mnogi predmeti oko nas pod određenim okolnostima postaju elektrostatski nabijeni. Već je grčki filozof Tales iz Mileta otprilike 600 godina pr.kr. otkrio da komad jantara protrljan vunenom krpom privlači kosu. Isto tako grci su tokrili da ako predmet dovoljno protrljaju može doći go izboja u obliku isktre. Dvije tisuće godina kasnije 1729. znanstvenik Stephen Gray na temelju istraživanja o prijenosu naboja materijale dijeli na vodiče i izolatore.Nešto kasnije C.F. du Fay određuje da se naboj pojavljuje u dva oblika koji se međusobno poništavaju.Du Fay je naboje nazvao staklasti i smolasti zbog materijala na kojima se pojavljuju prilikom trljanja vunenom krpom. Krajem osamnaestog stoljeća B. Franklin i W.Watson vrste naboja nazivaju pozitivni i negativni. Ekektrometar instrument za mjerenje električnog naboja pojavljuje se tek krajem 19.st. Izumom elektrometra počinje doba kvantitativnog mjerenja električnog

naboja. Prvi elektrometri ili elektroskopi bili su jednostavni i koristili su dva zlatna listića koja bi se pod djelovanjem naboja razdvojila. U moderno vrijeme elektrometri su vrlo osjetljivi elektronički voltmetri čija je ulazna impedancija toliko velika da struju na ulazu možemo zanemariti za praktične primjene. Danas su uz mnoge izvedbe za mjerenje naboja najučestaliji : Elektrometar s vibrirajućim perom, Ventilni elektrometar, Poluvodički (Solid.State) elektrometar.

1.1 Cilj rada

Kada plastično ravnalo protrljamo pamučnom krpom znamo da se ono nejednoliko nabije. Cilj ovog rada je koristeći znanja iz elektronike, robotike i prije svega fizike konstruirati i izraditi uređaj za automatsku analizu površinske gustoće naboja na plastičnom ravnalu. Analiza gustoće naboja uključuje određivanje prosječne površinske gustoće naboja ravnala i raspodjele tj. mape naboja na ravnalu.

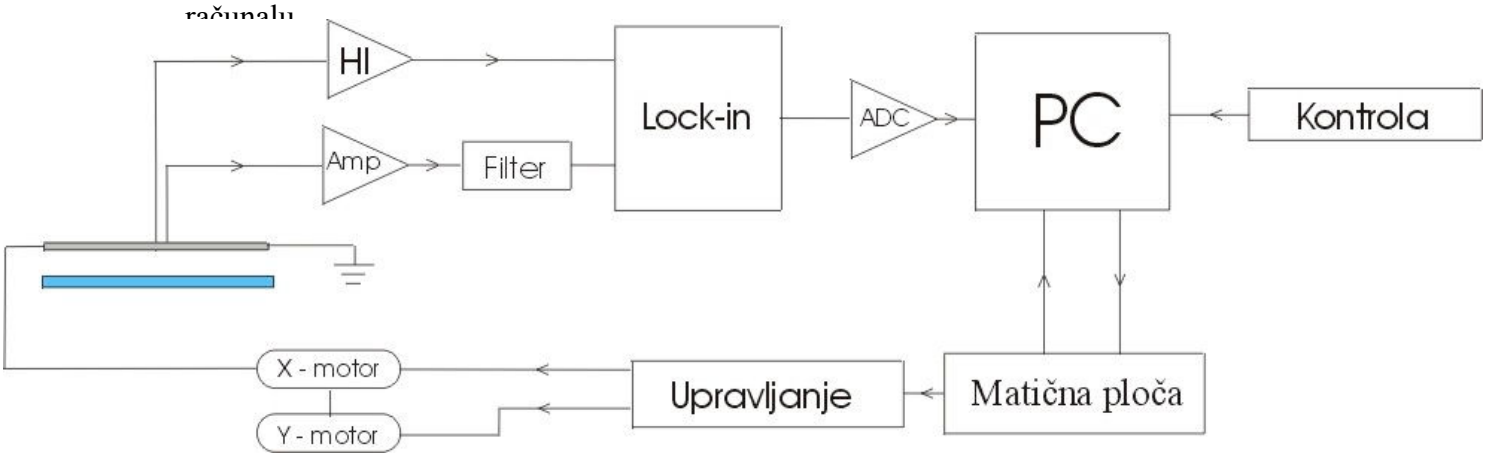
2. Materijali i metode

U ovom dijelu biti će do u detelje opisani materijali korišteni za izradu uređaja i postupci mjerenja odnosno kalibracije uređaja.

2.1. Općenito o izvedbi

Naš uređaj za analizu površinske gustoće naboja temelji se na poluvodičkom elektrometru čiji je glavni dio pojačalo LMC6062 u jedinici visoke impedancije. Konstrukcijski uređaj nije jednostavan i sastoji se od više zasebnih sklopova povezanih u jedan sustav (sl.1). Prva jedinica sustava je sonda za mjerenje električnog polja, drugi dio sustava čine jedinice za procesiranje mjerenog i referentnog signala. Treći dio sustava čini Lock-in pojačalo, a linija signala završava A/D pretvornikom i osobnim računalom. Osobnim računalom počinje linija upravljanja pozicioniranjem sonde. Tu liniju nakon računala čine matična ploča translatora i jedinica za upravljanje koračnim motorima. Zaseban strojarski dio sustava je X-Y translator koji postavlja sondu u zadani položaj. Rad cijelog sustava potpuno je automatski, a

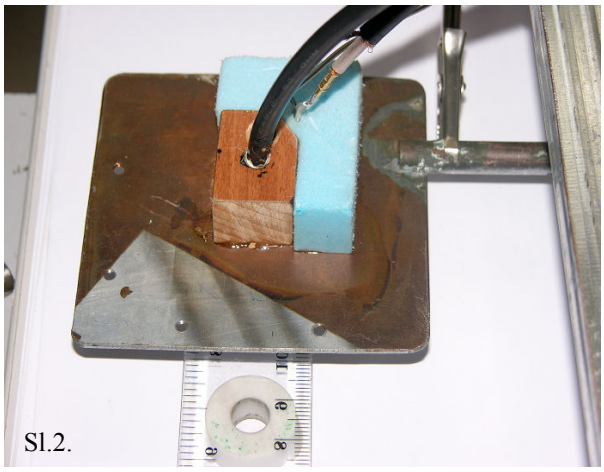
nadgledanje i sve potrebne korekcije vrše se preko korisničkog sučelja na osobnom računalu.



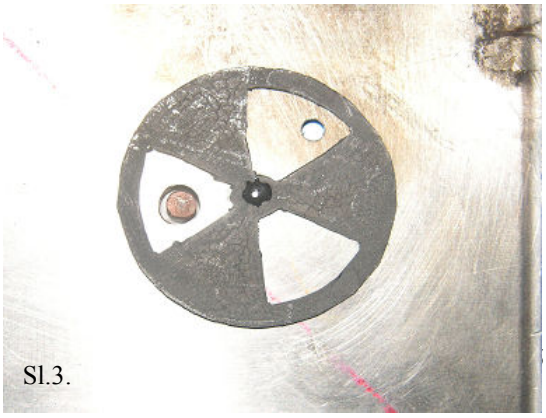
Sl.1

2.2 Sonda za mjerenje električnog polja

Sonda za mjerenje električnog polja jedan je od najvažnijih djelova sustava. Sastavljena je od nekoliko dijelova nužnih za rad sustava. Senzorska ploča izrađena je od bakra kružnog oblika radijusa 1.5mm. Vrlo je važno da radijus senzorske pločice bude čim manji jer o njemu ovisi površinska rezolucija mjerenja. Signal sa senzorske pločice prema jedinici visoke impedancije obvezno odlazi kroz koaksijalni kabel kako bi se minimalizirali vanjski utjecaji na signal. Drugi senzor koji se nalazi na sondi je fotodioda BPW34. Senzorska pločica i foto dioda prekrivene su rotirajućim zaslonom (sl.3.) izrađenim od papira presvučenog tankim slojem grafita kako bi bio lagan i vodljiv. radijusa 15mm s tri jednako udaljena otvora (Chopperom). Zaslon okrece minijaturni DC motor stalnom kutnom brzinom.Kada se zaslon okreće otvori stalno prelaze preko fotodiode i senzorske pločice. Ti prelasci uzrokuju izmjenične signale na fotodiodi i senzorskoj pločici. Senzorska pločica, foto dioda i zaslon s motorom smješteni su na čeličnu ploču (sl.2.) dimenzija 80x



Sl.2.



Sl.3.

80 x 2. Sonda je vijcima pričvršćena na pomičnu glavu X-Y translatora kako bi se mogla pomicati preko uzorka u zadanim koracima.

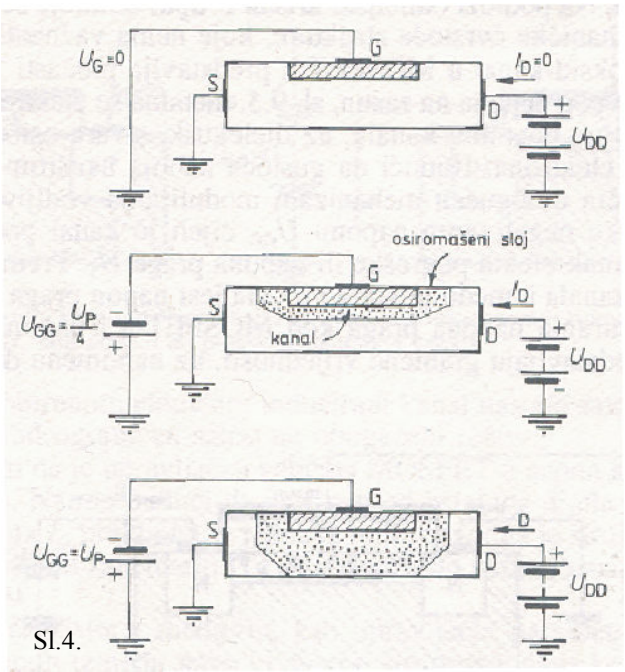
2.4. Jedinica visoke impedancije

2.4.1. Općenito

Jedinica visoke impedancije ključna je za rad našeg uređaja. Jedinica visoke impedancije pravi razliku između klasičnih voltmetara i poluvodičkih elektrometara. Naša jedinica kao i većina njih sastoji se od FET operacionog pojačala s visokom impedancijom ulaza spojenim u sklopu slijedila signala (pojačanje neinvertirajućeg pojačala je 1). Radi jednostavnosti i dostupnosti na tržištu u izvedbi je korišteno National Semiconductors operaciono pojačalo LMC6062.

2.4.2. FE tranzistori

Tranzistori s efektom poljaili FET – ovi su tranzistori kod kojih se protokom struje upravlja vanjskim poljem. Budući da je za njihov rad potrebna samo jedna vrsta naboja nazvani su unipolarni tranzistori. Na sl. 4. Prikazana je načelna shema rada



Sl.4.

FET- a koji se zasniva na promjeni poprečnog presjeka vodljivog dijela poluvodičkog materijala. Promatrajmo P Fet. Osnovni dio strukture tj. kanal izrađen je od N tipa poluvodiča, a poprečni izvodi nazivaju se uvod (Source) i odvod (Drain). Na jednoj bočnoj stranici nalazi se sloj P-poluvodiča , tako da se na granici uspostavlja PN-prijelaz. Taj sloj naziva se zasunom (Gate) i na jega se spaja upravljačka elektroda strukture. Unutar PN prijelaza nastaje područje prostornog naboja (osiromašeni sloj) u kojemu praktično

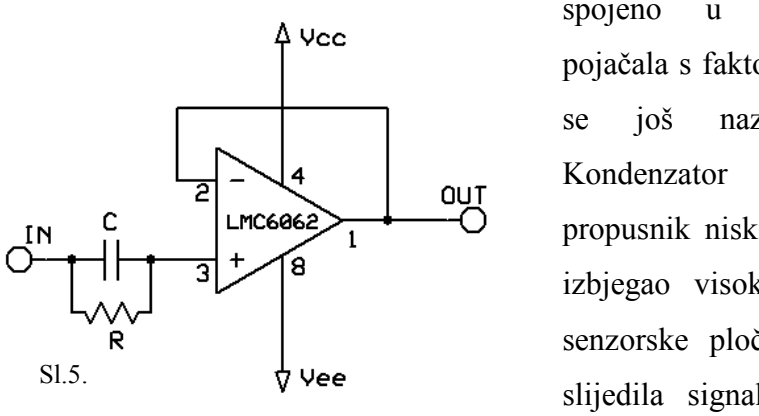
nema nositelja naboja. Povećanjem zapornog napona na zasunu širina PN prijelaza se povećava. Primjeni li se negativni napon na zasun tranzistora, područje prostornog naboja se širi u dubinu kanala što smanjujen poprečni presjek dijela u kojem se nalaze slobodni nositelji naboja. Na taj način prmjenom napona na zasunu upravljamo strujom između uvoda i odvoda. U našem uređaju na zasun je priključena senzorska pločica dakle struja između uvoda i odvoda ovisi o električnom polju u kojem se nalazi senzorska pločica.

2.4.3.Pojačalo LMC 6062

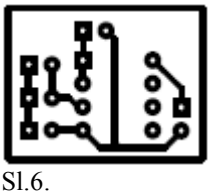
S obzirom da je koristeći samo FE - tranzistor teško postići pouzdane rezultate zbog problema s vanjiskim utjecajima i nestabilnostima cijelog skolpa u jedinici visoke impedancije korišteno je operaciono pojačalo LMC 6062 proizvođača National Semiconductors. Ovaj integrirani krug posjeduje vrlo visoku impedanciju ulazu upravo zbog korištenja opisanog FET ulaznog stupnja. Impedancija ulaza pojačala iznosila je 12 10^{12} ohma, a napajanje je simetrično +12V,-12V. Radna struja pojačala je vrlo mala što pogoduje radu na baterije.

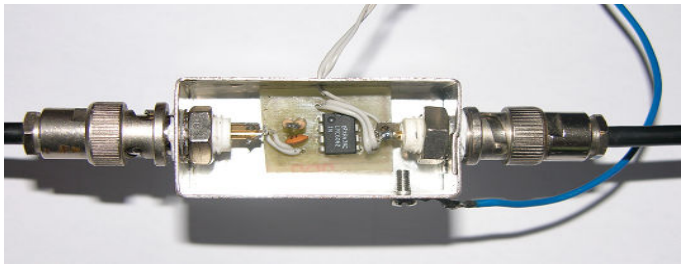
2.4.4.Sklopovlje jedinice visoke impedancije

Za postizanje vrlo visoke impedancije ulaza važne za rad elektrometra korišteno je pojačalo prikazano na sl.5. Kao što se vidi iz električne sheme sklopa, pojačalo je spojeno u obliku neinvertirajućeg pojačala s faktorom pojačanja jedan koje se još naziva slijedilo signala. Kondenzator C i otpornik R čine propusnik niskih frekvencija kako bi se izbjegao visoko frekvencijski šum sa senzorske pločice. Pojačalo radi u spoju slijedila signal kako bi se izbjegle potencijalne distorzije kod pojačavanja i smetnje zbog malih oscilacija napajanja. Cijeli sklop zalemljen je na tiskanu pločicu Sl.6. Pločica



Sl.5.


Sl.6.


Sl.7

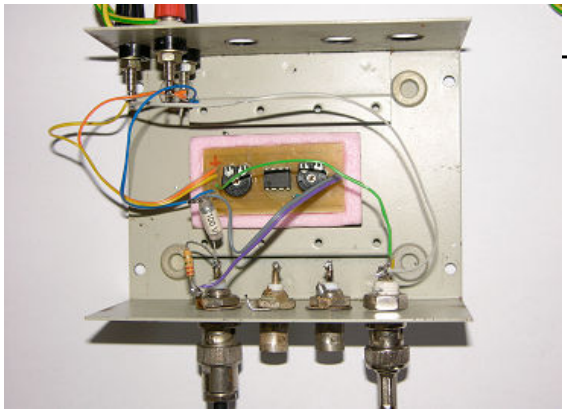
nikako ne može biti zamjenjena univerzalnom ili eksperimentalnom pločicom zato jer cijeli sklop motra biti zatvoren u uzemljeno kućište Sl. 7. kako bi bio izoliran od vanjskih elekričnih polja konektori za kablove prema sondi i prema lock-in uređaju moraju biti BNC kako bi se izbjegle smetnje.

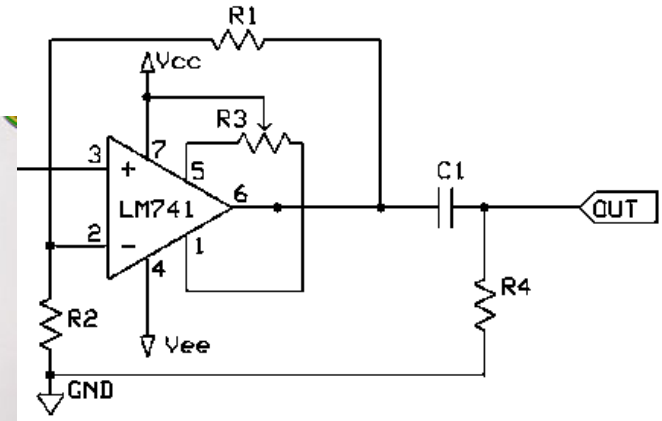
2.5. Referentni signal

Izvor referentnog signala je foto dioda BPW 34. Na izvodima fotodiode kada ju osvijetlimo pojavljuje se napon koji je proporcionalan intenzitetu svijetla na fotodiodi. Kako rotirajući zaslon stalno prelazi preko fotodiode signal na njoj je izmjeničan I njegova frekvencija ovisi jedino o brzini okretanja zaslona. Frekvencije referentnog I mjernog signala su jednake jer se nalaze pod istim zaslonom. Koristeći tu činjenicu možemo izvesti fazno zaključavanje upotrebom Lock-in pojačala. Fazno zaključavanje omogućuje nam vrlo precizno i stabilno mjerenje.

2.5.1 Procesiranje referentnog signala

Sklopovlje za procesiranje referentnog signala je jednostavno i sastoji se od neinvertirajućeg pojačala i propusnika visokih frekvencija koji izolira istosmjerni prednapon (offset). Iz električne sheme sklopa





Sl.9.

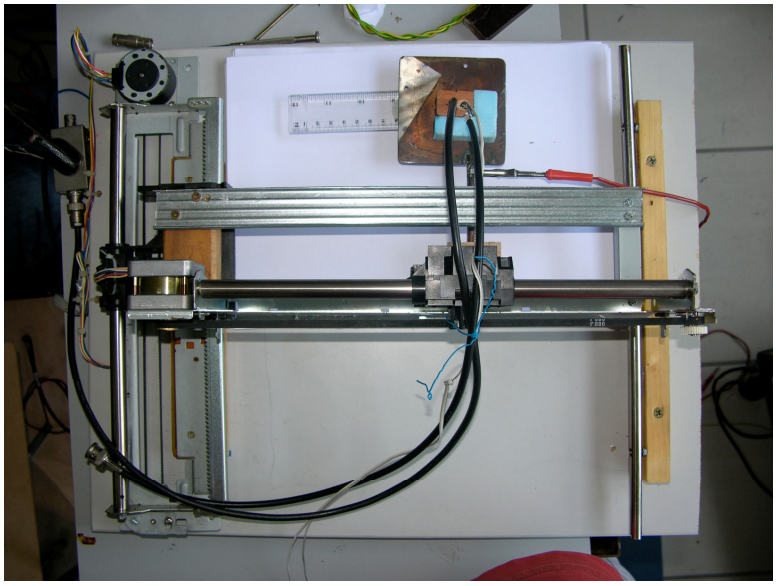
vidimo da se radi o jednostavnom pojačalu s promjenjivim faktorom pojačanja koje koristi jednostavno operaciono pojačalo LM741. Kondenzator C1 i otpornik R1 čine propusnik visokih frekvencija koji izolira istosmjerni offset s fotodiode. Cijeli sklop zalemljen je na univerzalnoj tiskanoj pločici (Sl.9.) što je potpuno opravdano jer su signali s kojima se radi relativno visoki pa smetnje nastale neuzemljenim kućištem i univerzalnom pločicom možemo zanemariti. Konektori prema sondi i Lock-in sustavu ne moraju nužno biti BNC.

2.6. Sustav za pozicioniranje sonde

Sustav za pozicioniranje čini dvodimenzoinalni translator za pomicanje sonde preko površine uzorka s potrebnim elektroničkim sklopovljem koje omogućava numeričko upravljanje računalom tj. automatski rad sustava. Glavni dio sklopovlja za upravljanje je matična ploča translatora koja RS-232 vezom dvosmjerno komunicira s računalom i povezuje osobno računalo tj. korisnika s mjerenjem. Koračnim motorima translatora upravljaju Allegrovi paralelni kontroleri prema uputstvu matične ploče.

2.6.1 Dvodimenzionalni translator

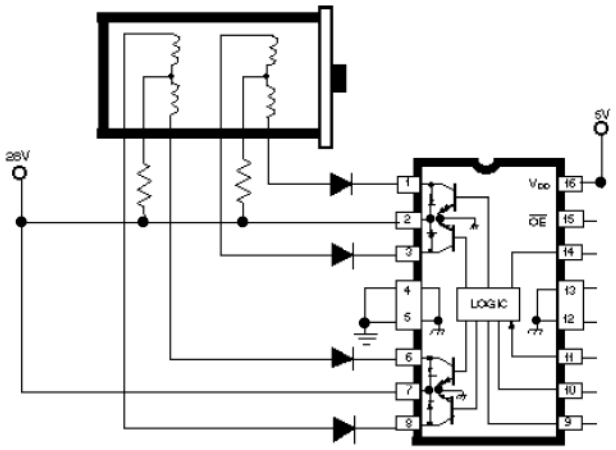
Na sl. 10. Jasno se vidi strojarska konstrukcija translatora. Izrađen je od djelova odbačenih pisača. Sonda se pomiče preko uzorka u dva smjera x (na slici okomito) i y (na slici horizontalno). Duljina x pomaka iznosi 30cm dok y os iznosi 25 cm. Glavu translatora pomiču unipolarni koračni motori s korakom od 1.8 stupnjeva što omogućava minimalni pomak glave od 0.2 mm u punom koraku ili 0.1 u polukoraku. Oba motora rade s 24V napajanjem .



Sonda je na glavu translatora pričvršćena vijcima zalivenim epoksidnom smolom kako bi se izbjeglo potencijalno odvijanje zbog vibracija nastalih kod brzog skeniranja uzorka. Maksimalna brzina kontroliranog pomicanja glave iznosi 50 mm/s.

2.6.2. Kontrola koračnih motora

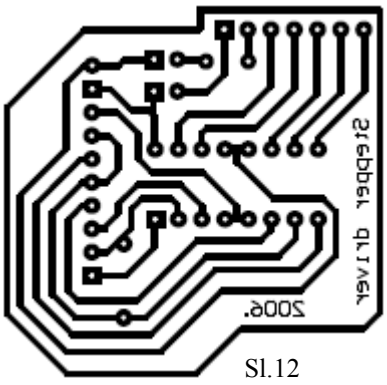
Koračni motori kontrolirani su Allegrovim kontrolerima UCN5804. UCN 5804 je paralelni kontroler unipolarnih koračnih motora male snage.



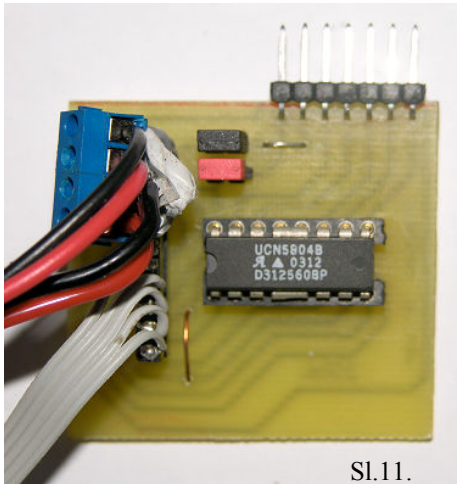
Sl.10.

Ovaj integrirani krug odabrali smo zbog njegove vrlo praktične konstrukcije i vrlo dobrih dinamičkih karakteristika. Kontroler je smješten u 16 pinsko kućište i podjeljen je na dva dijela izvodi od 1 do 8 služe za spajanje koračnog motora kako je prikazano na sl.11. dok su izvodi od 9 do 16 namijenjeni za upravljanje kontrolerom. Oni se spajaju na I/O izvode mikrokontrolera. Logička stanja izvoda 14, 11, 10 određuju način rada motora na slijedeći način izvod 14 određuje smjer okretanja vratila motora, promjena logičkog stanja izvoda 11 uzrokuje pomicanje vratila za jedan korak, a izvod 10 određuje način pomicanja puni korak-polukorak. Logika integriranog kruga se napaja kroz izvode 15, 12 i 13. Sklop kontrolera zalemljen je na tiskanoj pločici Sl.11. koja se spaja na glavnu I/O sabirnicu matične ploče sustava. Nacrt tiskane pločice prikazan je na sl.12.

.



Sl.12

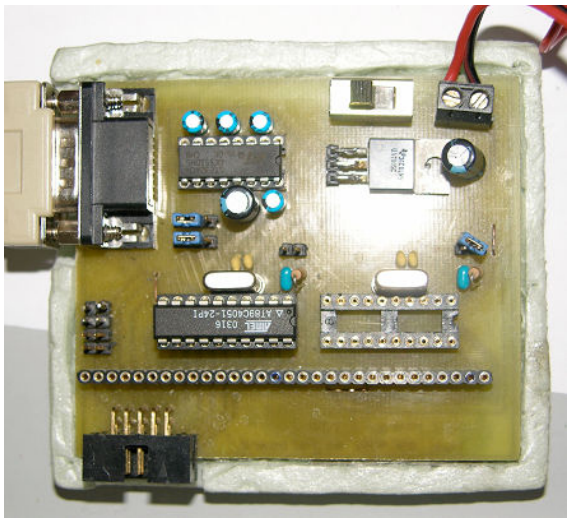


Sl.11.

2.6.3.Matična ploča sustava

2.6.3.1. Općenito

Matična ploča složen je elektronički sklop koji upravlj sustavom za pozicioniranje sonde prema uputstvima glavnog računala (PC). Ona je malo računalo za sebe



Sl.12.

(Sl.12.). Ploča podržava dva Atmelova mikrokontrolera iz porodice 8051 (AT89C4051) s kristalnim oscilatorima frekvencije 12 Mhz. Mikrokontroleri koriste napajanje +5V pa se na ploči nalazi stabilizator napona MC7805. Komunikacija između matične ploče i Glavnog računala odvija se RS-232 protokolom. Za tu svrhu na ploči se nalazi Maksimov MAX232. Svim I/O izvodima mikrokontrolera pristupa se preko glavne I/O sabirnice koju čini jedna 30 pinska kontaktna letvica. Sve periferije (kontroleri koračnih motora) spajaju se kontaktnim letvicama direktno na sabirnicu. Ovaj način spajanja periferija omogućava daljni razvoj sustava. Komponente su zalemljene na tiskanu pločicu sl.13.

2.6.3.2. Operativni sustav

Operativni sustav je relativno jednostavan računalni program čiji je kod napisan u Basic kompajleru prilagođenom za procerore porodice 8051 “Bascom 8051”. Program je osmišljen da na temelju komandi koje računalo pošalje RS-232 vezom izvrši određenu radnju. Opis komandi i pripadajućih radnni nalazi se u tablici 1.

Naredba (Character)	Pripadajuća radnja
S	Inicijalizacijska naredba
X	Pomicanje glave u X smjeru za 1mm
Y	Pomicanje glave u Y smjeru za 1mm
R	Povratak na početak - inicijalizacija

Promotrimo komunikaciju između PC-a i matične ploče na primjeru naredbe X : Prvo varijabla koja predstavlja vrijednost ulaza RS-232 komunikacije na mikrokontroleru poprima vrijednost X. Operativni sustav prepoznaje da je to naredba za pomicanje glave u smjeru X i prelazi u potprogram za kontrolu koračnih motora. Dalje potprogram vrijednost X prepoznaje kao naredbu pomicanja glave za 5 koraka. Izvršava se konačna programska petlja koja pet puta promjeni logičko stanje izvoda mikrokontrolera spojenom na ulaz 11. kontrolera UCN 5804. Vratilo koračnog motora pomiče se za 5 koraka tj. glava translatora se pomiče 1mm u x smjeru.
Ostale naredbe računala odvijaju se jednako osim što se aktiviraju različiti potprogrami (pomak u Y smjeru, povratak na početak). Inicijalizacijska naredba je naredba kojom glavno računalo provjerava je li sustav za pozicioniranje sonde (matična ploča) priključen i spreman za rad i odvija se na slijedeći način : Kada se matična ploča spoji na napajanje ona automatski preko RS-232 komunikacije emitira vrijednost S. Kada program glavnog računala primi tu informaciju on natrag pošalje vrijednost S. Tada operativni sustav prepoznaje da je ploča spojena na računalo i prelazi u stanje slušanja operativnih naredbi (X,Y,R)

2.4. Prikupljanje podataka.

S obzirom na brzinu pomicanja sonde i količinu mjerenja mjereni podaci (napon s jedinice visoke impedancije) prikupljani su automatski 12-bitnim maksimovim A/D pretvornikom MAX 1240 preko LPT porta računala. 12-bitna preciznost bila je sasvim dovoljna za naše mjerenje. Na računalu je cijelim sustavima prikupljanja podataka i pozicioniranja sonde upravljao program za tu svrhu napisan u Pascalu.

2.5. Kalibracija uređaja i mjerenje gubitaka naboja

Kada je uređaj sastavljen potrebno ga je kalibrirati kako bismo znali u kakvoj je vezi naš signal s nabojem uzorka. Tu kalibraciju najlakše je izvesti postavljanjem ploče poznatog naboja ispod sonde za mjerenje. Kao ploča poznatog naboja korištena je metalna ploča priključena na istosmjerni visokonaponski izvor. Napon na ploči povećavan je u rasponu od 1500 do 3000 volti. Gubitak naboja za vrijeme mjerenja određivan je mjerenjem električnog polja
na jednom mjestu iznad uzorka u vremenu.

2.6. Postupak pripreme probnog uzorka

Prije mjerenja probni uzorak tj. plastično ravnalo mora biti očišćeno od prašine i odmašćeno etanolom kako bi se spriječilo gubljenje naboja s uzorka za vrijeme mjerenja. Nakon toga ravnalo treba lokalizirano protrljati pamučnom krpom i postaviti na keramičke nosače kako bi bilo izolirano od podloge.

2.7. Mjerenje

Mjerenje je vršeno skeniranjem ravnala dimenzija 35 x 150 mm što odgovara 5250 mjerenih točaka. Skeniranje je izvedeno brzinom od 20 točaka po sekundi što je maksimalna brzina skeniranja određena strojarskom konstrukcijom dvodimenzionalnog translatora.

2.8. Obrada podataka

Nakon mjerenja mapa okomite komponente električnog polja za dva trljanja ravnala, iz polja nam je ostalo izračunati stvarni naboj na ravnalu. To je prilično netrivijalna zadaća s obzirom na činjenicu da je udaljenost sonde od ravnala (uglavnom 5 mm) veća od tipične linearne skale nehomogenosti polja (koja je oko 1 mm, kako gdje) što znači da je rezultantno polje na položaju sonde kombinacija polja s prilično širokog područja različitih gustoća naboja. To ukupno polje lako je pronaći ako podijelimo ravnalo na male kvadratiće na kojima smo gustoću uprosječili; stranice tih kvadratića neka budu jednake razmaku između koraka sonde, a njihov broj jednak ukupnom broju koraka MN, gdje su N i M broj uzdužnih odnosno poprečnih koraka, respektivno. Polje koje daje jedan kvadratić na položaju sonde će biti

$$\mathbf{E}_i(x_s, y_s) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\sigma_i \Delta x \Delta y}{|\mathbf{r}_s - \mathbf{r}_i|^2} \hat{\mathbf{r}}$$

gdje je ε_0 permitivnost vakuuma, σ_i gustoća naboja na i – tom kvadratiću, Δx i Δy duljine stranica kvadratića (u našem slučaju jednake, iznosa duljine koraka), $\mathbf{r}_s$ radiusvektor sonde, $\mathbf{r}_i$ radiusvektor promatranog i – tog kvadratića i $\hat{\mathbf{r}}$ jedinični vektor u smjeru vektora koji spaja sondu u i – ti kvadratić. To je polje lako izvesti iz osnovne

Coulombove relacije za polje naboja. Okomita komponenta slijedi nakon nešto geometrijskih razmatranja:

$$E_{iz} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\sigma_i h \Delta x \Delta y}{\left[(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 + h^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

gdje je x_s uzdužna koordinata sonde, x_i uzdužna koordinata promatranog kvadratića, y_s poprečna koordinata sonde, y_i poprečna koordinata kvadratića i h udaljenost sonde od ravnala. Ukupno polje za koordinate sonde x_s i y_s dobivamo sumiranjem polja svih nabijenih kvadratića:

$$E_z(x_s, y_s) = \frac{h}{4\pi\varepsilon_0} \sum_{i=1}^{MN} \frac{\sigma_i \Delta x \Delta y}{\left[(x_s - x_i)^2 + (y_s - y_i)^2 + h^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$

Međutim, to polje je upravo ono što mi mjerimo, za sve koordinate x_s i y_s! Vidimo dakle da smo zapravo dobili sustav jednadžbi od NM nepoznanica za gustoće naboja σ_i, s rezolucijom jednakom rezoluciji kretanja sonde, koja je u našem mjerenju bila prilično dobrih 1 mm. Sad je jasno i zašto smo uzeli da je duljina stranice kvadratića jednaka duljini koraka; to znači da je broj koraka i kvadratića jednak, pa je naš sustav rješiv za sve nepoznate gustoće. S obzirom da je sustav linearan relativno ga je jednostavno riješiti pomoću njegove matrice

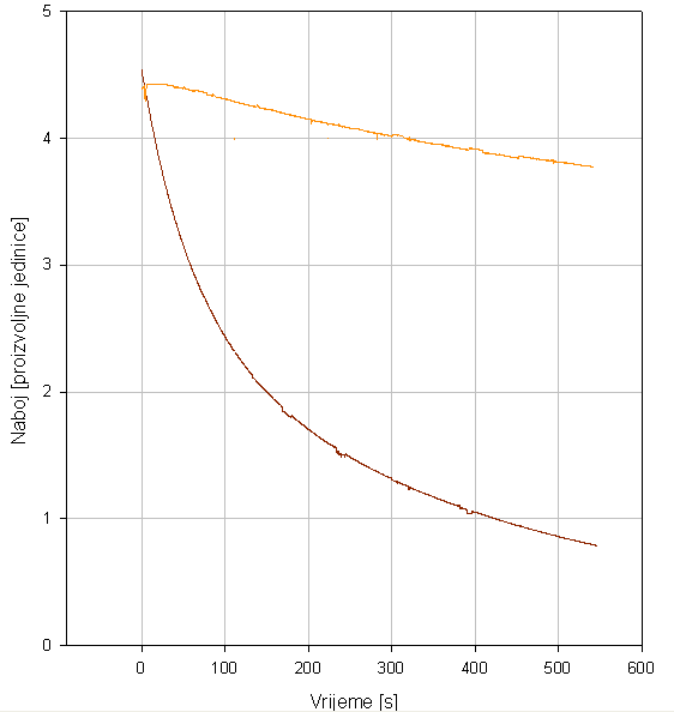
$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1(NM)} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{1(NM)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{(NM)1} & \alpha_{(NM)2} & \cdots & \alpha_{(NM)(NM)} \end{pmatrix}$$

čije koeficijente očitavamo iz jednadžbi (2). Sustav je najlakše riješiti triangulacijom matrice (3) i očitavanjem rješenja, što je poznato kao Gaussov algoritam. Naravno, rješavanju smo pristupili pomoću računala zbog vrlo velikog broja koraka (cca. 5000, što znači da matrica sustava ima dvadesetak milijuna članova); program je pisan u Turbo Pascalu 7.0. Sustav rješenja eksplicitno daje gustoće naboja na svim nabijenim kvadratićima, dakle efektivno diskretnu ovisnost površinske gustoće naboja o položaju, što je bio i cilj našeg rada.

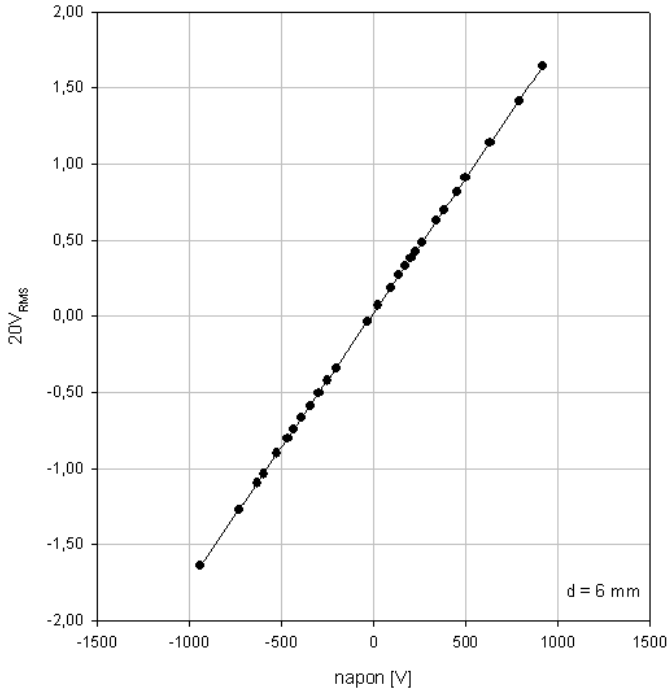
3. Rezultati i rasprava

Sl. 16. Prikazuje graf ovisnost mjerenog signala o razlici potencijala površine referentne ploče i zemlje . Graf je pravac iz čega možemo zaključiti da je ovisnost

linearna što nam olakšava preračunavanje mjerenog signala u stvarne vrijednosti. Udaljenost između referentne ploče ploče i sonde za vrijeme mjerenja bila je konstantna i iznosila je 6 mm. Slika 17. prikazuje ovisnost naboja uzorka o vremenu

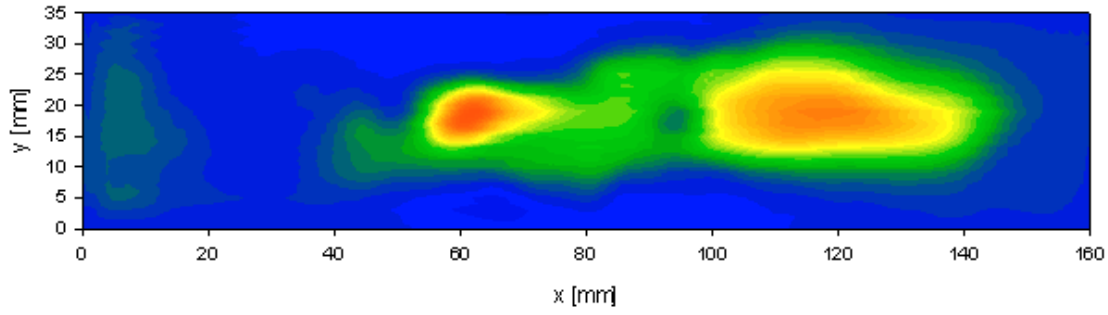


Sl.17.



Sl.16.

za dva različita slučaja. Crvena linija prikazuje pad površinske gustoće naboja vremenu bez prethodnog odmašćivanja uzorka dok žuta linija prikazuje ponašanje s odmašćenim uzorkom. Iz mjerenja slijedi da je pad površinske gustoće naboja na ravnalu znatno manji kada se uzorak odmasti. Kod odmašćenog uzorka pad naboja za vrijeme skeniranja je oko 5% što je za naše uvjete dovoljno precizno. Gubitak naboja mogao bi se smanjiti kada bi se uzorak nalazio u visokom vakuumu, ali to nije izrađeno zbog komplikacija s vakuumskom teknologijom. Slika 18. Prikazuje konačnu "mapu" površinske gustoće naboja na plastičnom ravnalu. Veličine su radi jednostavnosti prikazane bojom (tamno plavo prikazuje područja s gustoćom naboja blizu nule). Dva crvena područja prikazuju mjesta s najvećom gustoćom naboja tj. mjesta gdje je ravnalo protrljano krpom.



4.Zaključci

Izrađen je uređaj za automatsku analizu nevodljive nabijene površine. Kalibracijskim mjerenjima potvrđeno je da signal koji mjerimo ovisi o naboju. Mjerenjem gubljenja naboja u vremenu otkriveno je da odmašćivanje uzorka i izolacija od podloge uvelike povećava precisnost mjerenja. Rad uređaja demonstriran je na izradi "mape" površinske gustoće naboja na plastičnom ravnalu protrljanom pamučnom krpom. Primjena ovog uređaja je vrlo široka. Kao takav može se primjenivati za analizu površinske gustoće naboja u industriji poluvodiča, za mjerenje gustoće naboja kod elektrostatskog nanošenja raznih boja i metala na određenu nevodljivu površinu. Isto tako kada bismo neku nevodljivu površinu nabili tako da područja visoke površinske gustoće naboja čine određene znakove ovim uređajem mogli bismo te znakove pročitati i tako uređaj koristiti za prijenos informacija.

Sl. 18

5. Popis literature

Brodić, Tomislav "Elektronički elementi i osnovni sklopovi" Školska knjiga 1995.
Dunlap, R.A. "Experimental Physics" Oxford univesity press 1988.
Mitrović, Mikleln "Programiranje mikrokontrolera jezikom BASCOM" 2002.
en.wikipedia.org

6. Životopis

Rođen sam 18. siječnja 1989. u Zagrebu. Završio sam OŠ Jabukovac-Zagreb. Danas pohađam V. Gimnaziju u Zagrebu. Sudjelovao sam na raznim natjecanjima iz elektrotehnike, inovacija i fizike među kojima se ističu Arhimed 2003 Moscow, IYPT 2004 Australia, IYPT 2005 Switzerland, IYPT 2006 Slovakia. U slobodno vrijeme bavim se alpinizmom i speleologijom.

7. Zahvale

Zahvaljujem mentoru Dariu Mičiću i dr.sc.Željku Marohniću bez čije pomoći ovo istraživanje ne bi bilo moguće. Isto tako zahvaljujem svojim kolegama iz IYPT radne grupe: Jošku Jeličiću, Milanu Markoviću, Damjanu Pelcu i Ivanu Sudiću te svima koji su mi približili natjecanje Vip Eureka i potakli uobličavanje ovoga rada.