

Felület feltérképezése dielektromos anyagi jellemzők alapján

Írta:
Jéhn Zoltán

Témavezetők:
Dobos Gábor
Réti Ferenc

TDK dolgozat
2012

Tartalomjegyzék

1.Bevezetés.....	3
2. Irodalmi áttekintés a tűszondás mikroszkópokról:.....	4
2.1 AFM mikroszkópia:.....	4
2.2 STM (Alagút elektronmikroszkóp):.....	5
2.3 SCM:.....	5
Összehasonlító táblázat.....	7
3.Elméleti bevezető:.....	8
3.1 Alapgondolat:.....	8
3.2: A szenzorfej terének meghatározása:.....	9
3.3 A LOCK IN mérés technika alkalmazása.....	11
3.4 Az érzékelés mechanizmusának leírása:.....	11
3.5 Következtetés.....	12
4.Szimulációk:.....	13
4.1 Alapjelenség vizsgálata.	13
4.2 Távolságfüggés:.....	15
4.3: A rendszer felbontása laterális felbontása.....	16
5. Megvalósítás.....	19
5.1 A kezdeti modell.....	19
5.2. A második modell:.....	20
5.3 A mostani összeállítás.....	22
6. Az elért eredmények:.....	25
6.1 A legelső modell eredményei.....	25
6.2 A második modell eredményei:.....	27
6.3 A harmadik modell eredményei:.....	29
6.3.1 Nyomatott áramkörök vizsgálata:.....	29
6.3.2 Különböző dielektrikumok elkülönítése:.....	32
7.Továbbfejlesztési irányok.....	33
7.1 A felbontóképesség növelése.....	33
7.2 A feltérképezés gyorsaságának növelése.....	34
8.Összegzés:.....	36
8.Összegzés:.....	36
9.Felhasznált Eszközök:.....	37
10.Köszönetnyilvánítás:.....	38
11.Irodalomjegyzék:.....	39

1.Bevezetés:

Manapság kimagasló igény van nagy felbontású felület feltérképező eljárásra, amellyel a mikrovilágba betekintést nyerhetünk Ezek segítségével lehet információt gyűjteni a határfelületi jelenségeket befolyásoló elemekről, azok mechanizmusáról. Olyan eljárások ezek, ahol a képkészítés sebessége nem kritikus szempont.

Fontos cél, hogy újabb jelenségeken alapuló mikroszkópokat fejlesszünk, ki, így újabb szemszögből világíthatunk rá felületet alkotó réteg tulajdonságaira. Újabb jellemző alapján lehet azonosítani a felületen található estleges hibákat.

Ezen eljárásoknak számos fajtája létezik, amelyekkel sikerült atomi felbontást elérni, és különböző felületi jelenségek alapján a vizsgálható tulajdonság tárházát bővíteni. A TDK munkám célja az volt, hogy egy újabb jellemző alapján tudjam mérni, és feltérképezni a felületet alkotó réteg tulajdonságait.

Ismert jelenség, hogy egy elektromos térbe dielektrikumot helyezünk, akkor az megváltoztatja a tér szerkezetét. Ezen hatás érzékelésére építhetünk egy pásztázószondás mérőműszert, amellyel képesek vagyunk a felület alakjára következtetni.

A témám célja egy ilyen elven működő műszer megépítése, valamint a geometria és a mérési eljárás optimalizációja volt a felbontás növelése céljából. Ennek érdekében végeztem szimulációkat és építettem modelleket, amelyek segítségével a szimulációkban látott jelenséget kívántam igazolni. Vizsgáltam fémes vezetők és dielektrikumok hatását a tér szerkezetére, és ezen hatás alapján képeket vettem fel több minta felületéről. Bár a megépített műszer nagy felbontású mikroszkópiai célokra még nem alkalmas, más pásztázószondás eljárásokkal (pl.: Profilométer, örvényáramú mérések, stb.) összemérhető felbontást biztosít.

A dolgozatomban röviden összefoglalom általánosan a tűszondás pásztázó mikroszkópok elvi felépítését és néhányuk működési elvét. Továbbá a legelterjedtebb típusokat összehasonlítom a technikai paramétereik alapján, és megpróbálom a saját eljárásomat elhelyezni a besorolásban.

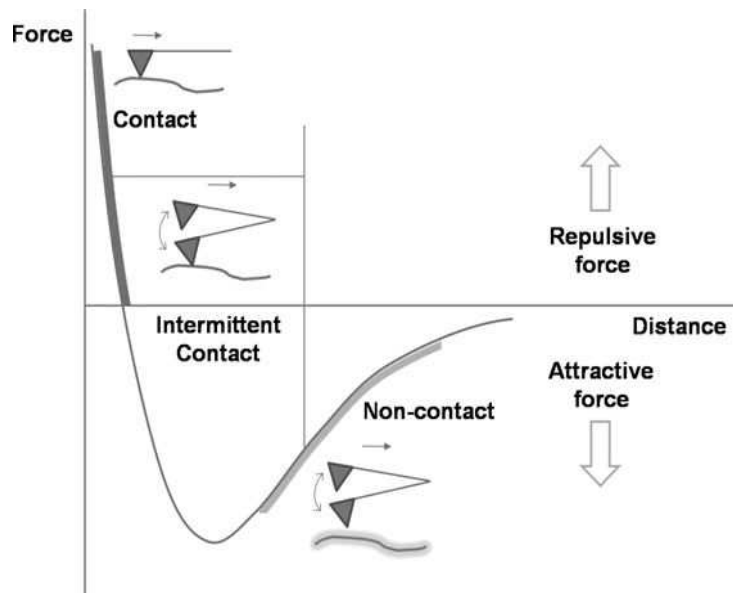
2. Irodalmi áttekintés a tűszondás mikroszkópokról:

A manapság használt tűszondás mikroszkópok működése azon az alapjelenségen alapul, hogy a hegyes tű feje és minta felső rétegének kölcsönhatásának távolsága a tű fejének és távolságának a mérettartományában van, így az információs térfogat a tű kis környezetére koncentrálódik. Minél hegyesebb tűvel dolgozunk, és minél közelebb visszük őket a mintához, annál nagyobb felbontást érhetünk el. Mivel a tű és a minta között különböző kölcsönhatások is létrejöhetnek, így a felületet több különböző jellemző alapján is feltérképezhetjük. Az általam közölt eljárás is ilyen megoldás, a tűszondás eljárások közé sorolható.

A következőkben néhány manapság népszerű tűszondás eljárást mutatok be, és azoknak az összehasonlítását.

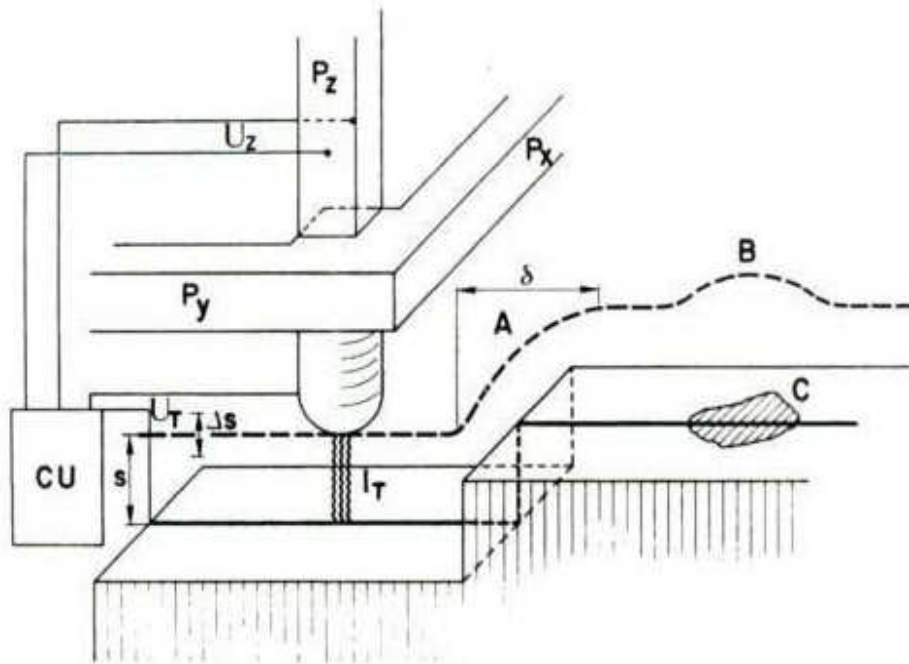
2.1 AFM mikroszkópia:

Az Atomi erő mikroszkópban, egy finoman kihegyezett tű van rászerezve egy rugalmas lapka végére, amelynek rugóállandója nagyon kicsi. Ez a tű, ha a felülethez közel ér, akkor több dolog történhet vele:



ábra 1. AFM mikroszkóp mérési elve

A felülethez érve a tűre az minta legfelső atomi rétege erőt gyakorol, ez a tűt rögzítő rugalmas lapka deformálódásához vezet. A lapka deformációja mérhető, ebből a deformációból a felület alakjára, legfelső atomi réteg elrendeződésére lehet következtetni. A felbontása nm alatti. [4]



ábra 2. STM mérési elrendezése

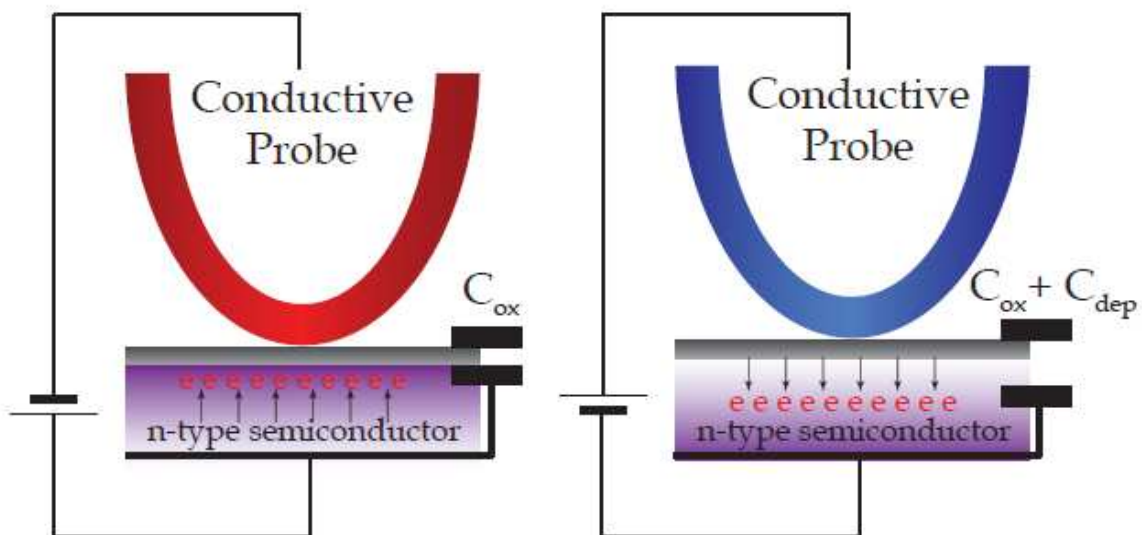
2.2 STM (Alagút elektronmikroszkóp):

Legegyszerűbb mérési elv:

Az alagútáram mikroszkópban, a vezető minta felett egy fém tűt úgy mozgatunk, hogy az alagútáram állandó legyen, ahogy végighúzzuk a felületen. A tűske mozgatásához szükséges jelet jegyzi fel a hely függvényében, ebből a minta 3D képe megszerkeszthető. A felbontása atomi szintű.[3]

2.3 SCM:

Talán ez hasonlít a legjobban az általam készített elrendezésre, amelyet különböző módon doppolt félvezető felületek ellenőrzésére használnak.

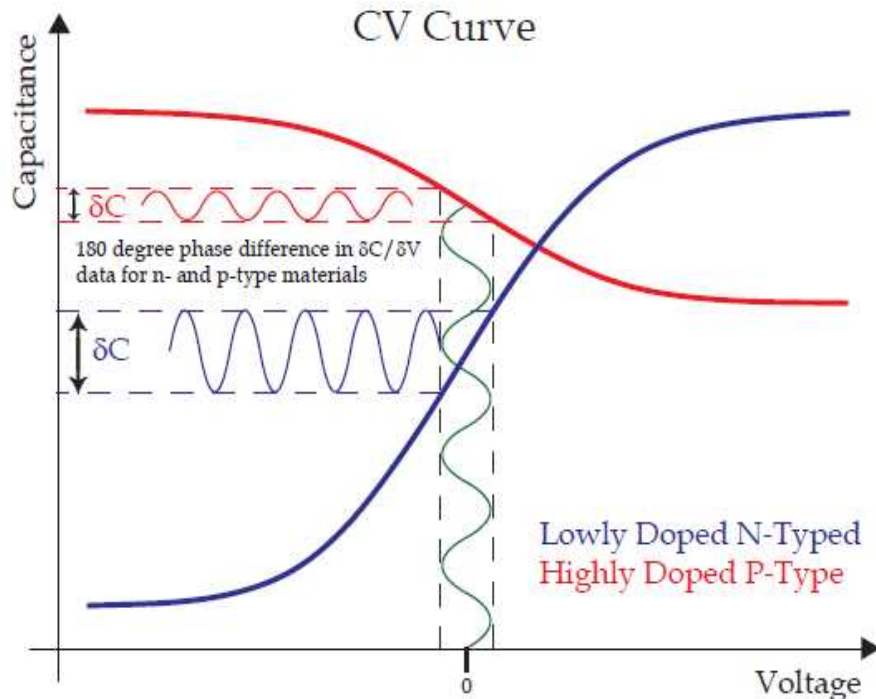


ábra 3. Az SCM működése elve

Az eszköz egy fémtűskéből és a mintát bevonó vékony oxidrétegből áll. Ha a minta hozzáér a felülethez, akkor nagyon kicsi kapacitású kondenzátor jön létre, a félvezető lapka és a mérőtűske között.

Azaz az ábrán látható fémtűskét váltófeszültségre kapcsolják, és különböző amplitúdóval, és

frekvenciával vizsgálják a minta felszínét.



Ha minta felszínén más az adalékolás, akkor az ábrán látható módon a kapacitás feszültség grafikonok különböznek, ebből következtetéseket lehet levonni a felület minőségéről. [5]

Egyéb pásztázószondás módszerek:

Szükség van olyan eljárásokra is, amelyek nem a mikroszkopikus jellemzőit mérik a felületet alkotó réteg egy darabjának, hanem makroszkopikus tulajdonságai alapján térképezik fel a felület hibát, szerkezetét. Ezek az eljárások használatosak gyártás utáni minőség-ellenőrzésben, és egyéb roncsolásmentes anyagvizsgálatokban

Örvényáramú mérőeszköz: A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek fontos képviselője az örvényáram alapján mérő eszköz fém minták vizsgálatára. Ennek a szenzorfeje áll egy tekercsből, amelyet váltakozó feszültségre kapcsolunk, és mérjük a tekercsen átfolyó áramot. A változó mágneses tér a vezető felületben örvényáramokat kelt, amelyek visszahatnak a tekercsre. Ha a minta felületén repedés, vagy valamilyen hiba található, akkor a rendszer induktivitása megváltozik, ezzel érzékelte a hiba helyét. A módszerrel csövek, és a nagy igénybevételnek alávetett mechanikai elemek állapota ellenőrizhető. [6]

Ultrahangos mérőrendszer: Szigetelő minták esetén az örvényáramú elven működő eljárások nem alkalmazhatóak, az ilyen esetekben használnak ultrahangos mérőeszközt. [7] Ekkor egy Ultrahang forrás rezgéseit irányítják rá a síkminta felületére, és a visszaverődött hullám intenzitását mérik. A hiba szórja a forrás jelét, így a mért jel lecsökken a repedés környezetében.

Összehasonlító táblázat

Név	Alapjelenség	Érzékelhető mennyiség	Kontakt módszer	Felbontóképesség	Első elkészült model
AFM (Atomic force microscopy)	Erő a szenzortűske és a feltületi atomok között	Elmozdulás/Erő	Igen	Nm alatti	1989
STM (Scanning tunneling microscopy)	Alagútáram a minta és a mérőfej között	Elmozdulás	Nem	Atomi szintű	1981
SCM (Scanning capacitance microscopy)	Kapacitásváltozás a mérőfej és a feltület között	Kapacitásváltozás	Igen	~2nm	
SGM (Scanning gate microscopy)	Vezetőképesség változás a feltületen	Áram	Igen	Nanométeres tartomány	1990
Kelvin sonda	Kontakt potenciál változás	Kontaktpotenciál	Nem	Nm alatt	1991
NSOM/SNOM (Scanning near-field optical microscopy)	Fényintenzitás változás	Reflexióképesség	nem	2-5nm	1986
SECM (Scanning electrochemical microscopy)	Ionkoncentráció/vezetőképesség változás	Kémiai információ	nem	100nm	1989

3. Elméleti bevezető:

3.1 Alapgondolat:

Adott egy felület, amelynek dielektromos állandója $\epsilon > 1$, és van rajta egy R magasságú „kinövés”. Ekkor, ha ezt elektrosztatikus térbe helyezzük a dielektrikum polarizálódik, és a felületi hiba környezetében a tér elveszti a homogenitását.

A térerősség a felület felett:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_+$$

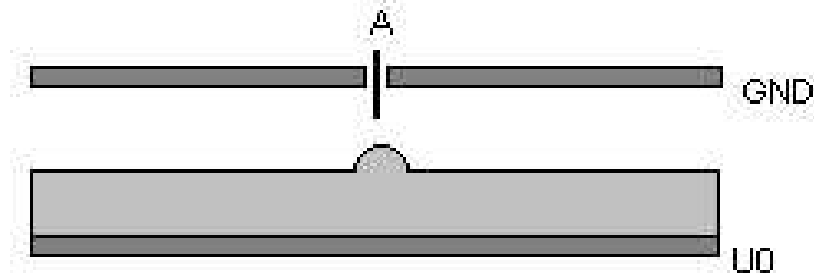
Ahol \vec{E}_0 az a térerősség, amely akkor jönne létre, ha nem lenne hiba a felületen. Ha a síklap elég nagy a megfigyelés teréhez képest, akkor ez állandó. Továbbá \vec{E}_+ a kinövés polarizációjából származó járulékos térerősség. Dipólmomentumának nagysága $p = \alpha \cdot E_0$, a hiba geometriájára és anyagára jellemző konstans $\alpha = R \cdot a$, ahol „a” az anyagra és az alakra jellemző konstans. Egy dipólus tengelyén a potenciál nagysága pedig $U = \frac{p}{r^2}$. Ebből deriválással a dipólus térerőssége a tengelyen:

$$E_+ = \frac{2p}{r^3} = \frac{2\alpha E_0}{r^3}$$

Így a szingularitás felett a térerősség nagysága

$$\frac{2\alpha \cdot E_0}{r^3} + E_0$$

Ennek a mérésére a feszültséget kell mérni két adott távolságú pont között. A mérést nehezíti, hogy az elektródák, amelyekkel az adott térfogatelemben akarjuk meghatározni a térerősség nagyságát megváltoztatják azt, így a pontos értéket nehéz megkapni.

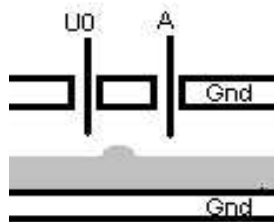


ábra 4. Alapelrendezés

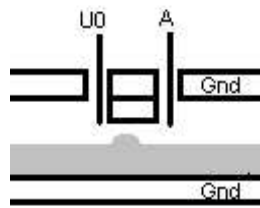
Először gondolkodjunk az alapelrendezésen, és mérjük meg az A pontnál található fémből készült tűske és a felső lapon mérhető feszültség különbséget. A kondenzátorlapok közé be van helyezve a szigetelő minta, és a felső fegyverzetten fűrt lyukon van átvezetve a fém tűske. Ez látható az 4. ábrán feljebb. Az elrendezés nem hatékony, mivel a homogén tér minden térfogatelemre hat, és így a minta egésze polarizálódik. Így az elektródára az egész minta térfogatában lévő dielektrikum hat. Ehhez képest a mérni kívánt felületdarab hatása kicsi lesz.

Ezért végezzük a mérést nem homogén térrel, hanem inhomogén térrel végezni. Ezáltal korlátozni tudjuk az „információs térfogatot”, a minta térfogatának csak kis hányadát vonjuk be a mérésbe.

Az ötlet az, hogy legyen a másik elektróda is tűske, ez legyen a forráselektroda és egy szenzor melletti lyukon legyen bevezetve a lapok közé. (Ebben az esetben az alsó lap a mérés szempontjából tulajdonképpen fölöslegessé válik, a felső elektródával megegyező földpotenciálra kötve szerepe inkább csak a külső zavaró hatások leárnyékolására korlátozódik.) Ennek a megoldásnak az előnye, hogy a forrás-elektrodáról elinduló térerősség vonalak, a hozzá közel elhelyezkedő mérő-elektrodán záródnak, így a mintának az elektródától távolabb eső részein csak nagyon kevés térerősség vonal halad keresztül. Ezáltal a mért értéket elsősorban a mintának az elektródákhoz közel eső részei fogják befolyásolni, vagyis jelentősen kisebb az információs térfogat.



ábra 5. Két túszerű elektróda



ábra 6. Árnyékolt tű elektródák

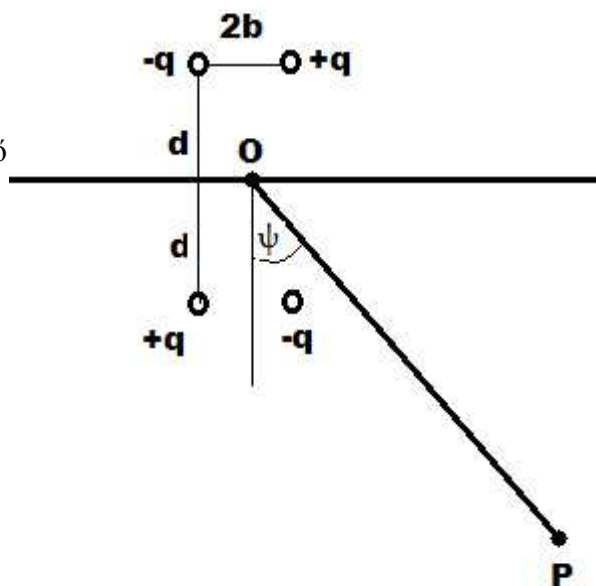
Ez az elrendezés a 5. ábrán látható.

Ebben az esetben a fő probléma az, hogy a forráselektroda túlzottan ráhat a hozzá közel elhelyezkedő mérő elektródára, így a mért jel nagyságában csak relatíve kisebb változást okoz maga a minta. Ennek a hatásnak a csökkentése érdekében le kell árnyékolni a forrás terét a mérő elektróda felé. Így a térerővonalak csak a dielektrumon keresztül záródhatnak a másik elektródán. A problémát úgy oldhatjuk meg, hogy forrás és a szenzor közé egy földelő lapkát teszünk be, ahogy a 6. ábrán látszik.

Ekkor határozzuk meg a tér szerkezetét a tér szerkezetét!

3.2: A szenzorfej terének meghatározása:

A szenzorelektrodát most hagyjuk el, és csak a forrás terére koncentráljunk. A forrást modellezzük egy ponttöltésként, a forrást és a szenzort elválasztó fémlemezt pedig félvégtelen felületként. Ekkor aránylag egyszerűen meghatározhatjuk a potenciáeloszlást az ábra síkjában, hiszen a forrást reprezentáló ponttöltés „tükröződik” mindkét vezető felületre. Ezek után 4 egyenlő töltésű ponttöltést kapunk, amelyből a potenciál kiszámolható. Legyen $d=b$ ekkor írjuk fel a potenciált a 4 ponttöltés összegeként a szimmetriaközépponttól r távolságban, ha mindegyik töltés nagysága q :



$$\beta = \frac{\pi}{4} - \varphi$$

$$l = \sqrt{(2) \cdot d}$$

Az 7. ábra jelöléseit alkalmazva:

ábra 7. A tükrőtöltések

$$U = k \frac{q}{\sqrt{((r+l \cdot \sin \beta)^2 + (l \cdot \cos \beta)^2)}} + k \frac{q}{\sqrt{((r-l \cdot \sin \beta)^2 + (l \cdot \cos \beta)^2)}} +$$

$$-k \frac{q}{\sqrt{((r+l \cdot \cos \beta)^2 + (l \cdot \sin \beta)^2)}} - k \frac{q}{\sqrt{((r-l \cdot \cos \beta)^2 + (l \cdot \sin \beta)^2)}}$$

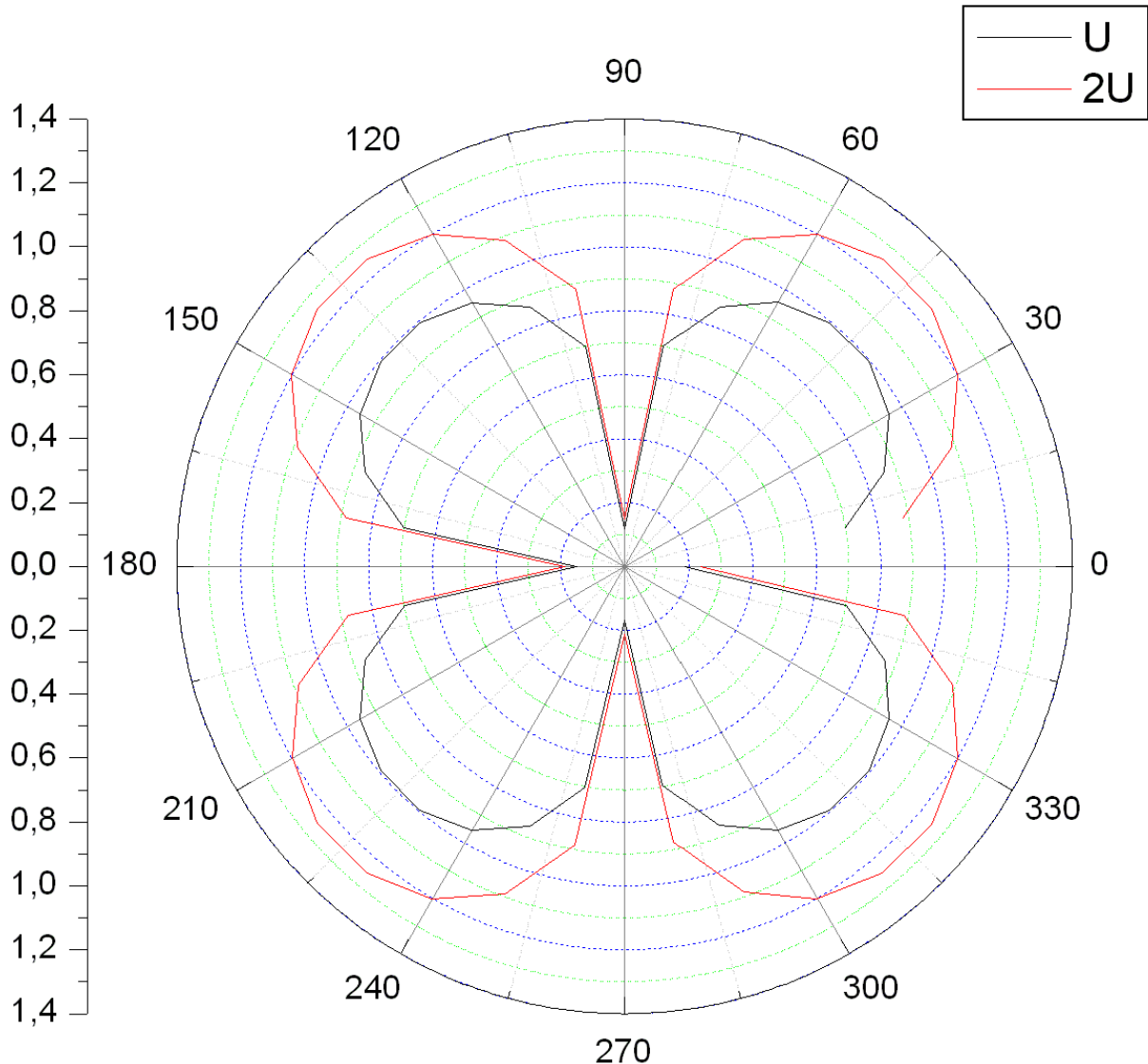
Összevonva és feltételezve hogy $r \gg l$, és felhasználva, hogy $(1 + \alpha)^n = 1 + n \alpha$, ha $\alpha \rightarrow 0$

$$U = k \cdot q \frac{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{l \sin \beta}{r^2} \right)^2 + 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{l \sin \beta}{r^2} \right)^2 - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{l \cos \beta}{r^2} \right)^2 - 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{l \cos \beta}{r^2} \right)^2}{r}$$

$$U = k \frac{ql^2}{r^3} (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) = k \frac{ql^2}{r^3} \cos 2\beta$$

$$U = k \frac{ql^2}{r^3} \cos 2\beta = k \frac{ql^2}{r^3} \cos \left(\frac{\pi}{2} - 2\varphi \right) = k \frac{ql^2}{r^3} \sin 2\varphi$$

Ennek ekvipotenciális felületei:



ábra 8. Ekvipotenciális felületek

A szenzor által elérhető felbontást legegyszerűbben úgy becsülhetjük meg, hogy megvizsgáljuk, hogy a térerősség x irányú komponense mikor csökken le 0-ra. (Az x komponens által okozott polarizáció a hibán tükröződik át az árnyékoló fegyverzetben. Az y komponens pedig a fegyverzet y irányú orientációja miatt a fémfelület polarizációja kioltja.)

Az ábrán látható orientációjú koordináta rendszerben:

$$U = k \frac{ql^2}{(x^2 + y^2)^{1.5}} \frac{x \cdot y}{x^2 + y^2} = k \frac{ql^2}{(x^2 + y^2)^{2.5}} x \cdot y$$

Ebből az x irányú térerősség:

$$E_x = \frac{\partial U}{\partial x} = k ql^2 \frac{y(x^2 + y^2)^{2.5} - yx 5x(x^2 + y^2)^{1.5}}{(x^2 + y^2)^5}$$

Ha ez nullára csökken akkor:

$$y(x^2 + y^2)^{2.5} - yx 5x(x^2 + y^2)^{1.5} = 0$$

Ebből: $4y^2 = x^2$

Azaz $\varphi = 26^\circ$

Ha odatesszük az árnyékoló lemezt a két elektróda közé, akkor nem csak az „áthallás” lett kisebb, hanem a teret is sikerült koncentrálni. (Ez dipólus esetében, azaz ha nincs ott a fémlemez 45 fok lenne.)

Ezt a felbontást tovább növelhetjük, ha a forráselektroda másik oldalaira is árnyékolást teszünk. Például ha a másik oldalon is van fém, akkor a tükröltésekkel együtt 6 db ponttöltés terét kell kiszámolnunk (Ha elhanyagoljuk a további tükröződések). Ha ezekre is merőlegesen, akkor 12-vel. Ezeknek a tere $1/r^n$ csökken ahol n értéke a behelyezett fémlemeznek a száma. Mint axiális multipólusoknál. (Simonyi K.: Elméleti Villamosságtan)

Így a szimulációkban (4. fejezet) azt kell vizsgálni, hogy körbezárjuk a forrást vezetővel, és figyeljük, hogy milyen paraméterektől hogyan szűkül a tér.

3.3 A LOCK IN mérés technika alkalmazása

Az első próbamérésekből kiderült, hogy szenzorfej nagyon érzékeny a külső hatásokra, és a mérőelektróda hajlamos a feltöltődésre. Ezen problémák egyszerűen csökkenthetőek voltak, a LOCK IN mérés technika alkalmazásával. Ezek szerint a minta váltakozó térbe kerül, és a szenzorelektrodán megjelenő a gerjesztéssel megegyező frekvenciájú jelet mérjük.

A feltöltődés kiküszöbölése érdekében a szenzorelektrodát egy nagy (a következőkben R_k) ellenállással leföldeltem. Ezt a megoldást statikus mérések esetében nyilván nem lehet alkalmazni, mivel ekkor statikus mérések nagy időállandója alatt a töltések elszivárognának. Ezzel szemben a LOCK IN mérésekben alkalmazott frekvencián erre nincs idő, így a jel továbbra is mérhető, de az ellenállás mégis képes levezetni a lassan felhalmozódó töltéseket.

A LOCK IN technika alkalmazása megnövelte a mérés érzékenységét és stabilitását is, továbbá új anyagi jellemző, a vezetőképesség is érzékelhetővé vált a jel fázisszögén keresztül.

3.4 Az érzékelés mechanizmusának leírása:

Eddig azt vizsgáltuk, hogy milyen lehet a tér alakja, és hogyan lehet korlátozni. Most azt vizsgáljuk, hogy a minta tulajdonságaitól és a szenzor elhelyezkedésétől hogyan függ a jelenség. Ezt modellezzük úgy, hogy a forrás elektróda tere polarizálja a felületen elhelyezkedő „félgömbszerű” hibát, és az így létrejövő dipólus tere hat a szenzorelektrodára a nagy felület hatása mellett. Csak a szenzor töltésének változását nézzük, ha a félgömb jelen van, ahhoz képest ha a „felsík” hiba mentes.

Ha váltófeszültségre kapcsoljuk a forrást, akkor hanyagoljuk az elektromágneses hullámokat, hiszen a modellben található geometriai paraméterek messze kisebbek a létrejövő elektromágneses hullámok hullámhosszájánál. Ezért vizsgáljuk úgy, mintha a félgömbre csak egy váltakozó elektromos térerősség hatna.

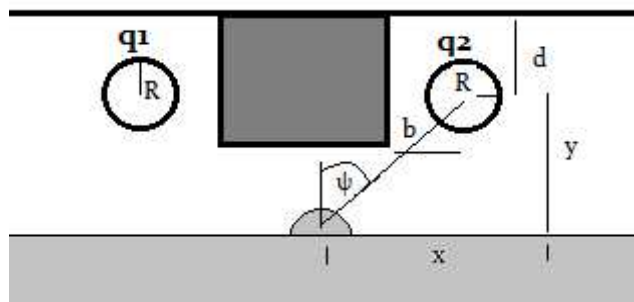
A modellben a forrás és a szenzor legyen pontszerű. A hiba helyén létrejövő x irányú térerősség:

$$E_{x0} = \frac{\partial U}{\partial x}$$

Az elrendezés a 9. ábrán. Ennél tételezzük fel, hogy a forrás által generált tér jól modellezhető a tükrözött téren kívül is, ugyanazokkal a közelítésekkel, amelyekkel belül tettük. A forráselektroda töltése legyen q_1 a szenzoré q_2 , ezek kapcsolatát vizsgáljuk, mintha a fémfelülettel való kölcsönhatások jól modellezhetők tükrözött töltésekkel ($d \gg b$). A polarizált félgömb dipólusmomentuma:

$$p = \alpha \cdot E_{x0}$$

Ennek a tere fog hatni a szenzorra. Ehhez azt feltételezzük fel, hogy a szenzor töltése két ok miatt változik, egyrészt azért mert a hiba tere próbálja megosztani a töltéseket, és az R_k (az ellenállás ami megakadályozza hogy szenzor feltöltődjön) miatt megpróbálna kisülni.



ábra 9. Változó elektromos térben

Ebből a hiba által okozott potenciál a szenzorelektroda helyén:

$$\frac{p \cos \varphi}{r^2} = \frac{p x}{(x^2 + y^2)^{2.5}}$$

Így a szenzor töltésére felírt differenciálegyenlet:

$$p \frac{b-R}{(x^2 + y^2)^{2.5}} - k q_2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{b} \right) = \dot{q}_2 \cdot R_k$$

$$\alpha \frac{\partial U}{\partial x} \frac{b-R}{(x^2 + y^2)^{2.5}} - k q_2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{b} \right) = \dot{q}_2 \cdot R_k$$

Az U feszültség szinuszos, azaz ebből következik hogy az egyenlet állandósult megoldása:

$$q_2 = \alpha \frac{\partial U}{\partial x} \frac{b-R}{(x^2 + y^2)^{2.5}} \frac{1}{\sqrt{k^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{b} \right)^2 + \omega^2 R_k^2}} \sin(\omega t + \delta)$$

A szenzoron érzékelhető feszültség $U_{sensor} = \dot{q}_2 \cdot R_k$

$$U_{sensor} = \alpha \frac{\partial U}{\partial x} \frac{b-R}{(x^2 + y^2)^{2.5}} \frac{R_k \omega}{\sqrt{k^2 \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{b} \right)^2 + \omega^2 R_k^2}} \cos(\omega t + \delta)$$

$$U_{sensor} = \alpha \frac{\partial U}{\partial x} \frac{1}{(x^2 + y^2)^{2.5}} \frac{1}{\sqrt{R_k^2 \omega^2 \left(\frac{1}{R b} \right)^2 + \frac{1}{(b-R)^2}}} \cos(\omega t + \delta)$$

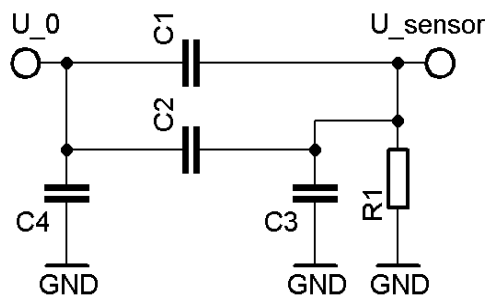
Számunkra az amplitúdó érdekes, ami a képletből látszik, hogy ha a földelő ellenállás értékét és a forrás frekvenciáját növeljük, akkor az egyre nagyobb lesz.

Ha két anyagot meg akarunk különböztetni a rendszerben akkor ahhoz a frekvencia értékét bizonyos értékre be kell állítani, amely frekvencián a két anyag(hordozó és rajzolat) permittivitása különbözik. Főleg ha az anyag veszteséges, akkor legjobb eredményt azon a frekvencián érünk el, ahol a kívánt anyag $\operatorname{tg}(\delta)$ -ja a legnagyobb.

Továbbá számít a $b-R$ és a bR érték, amely a szenzor geometriájával(kapacitásával) van összefüggésben. Azaz minél nagyobb a szenzorelektroda kapacitása, annál kisebb lesz az érzékelt jel.

3.5 Következtetés

Az előbbi tapasztalatokat összegezzük 10 ábra alapján:



ábra 10. A szenzorfej helyettesítő képe

Az U_0 feszültség a gerjesztőelektrodára kapcsolt feszültség, az U_{sensor} pedig a kimeneten mérhető feszültség, amelyből következtetéseket kívánunk levonni a felület alakjára vonatkozóan.

A $C1$ kondenzátor szabja meg az üres csatolást forrás és a szenzor között, amikor nincsen a szenzorfej alatt minta. Ennek az értéknek kell minimálisnak lennie, hogy a számunkra értékes érték, azaz a felület minőségének és alakjára jellemző mennyiség minél nagyobb legyen az üresjáratú feszültség mellett.

A C2 értéke pedig a hiba/minta hatása a szenzorra, ettől függ hogy minél több erővonal záródjon a hibán keresztül a szenzoron. Így ennek kell minél nagyobbak lennie, az előbb említett okok miatt. A C3 a szenzor elektróda kapacitása a földhöz képest. Ezért ez is legyen minél kisebb. A C4 értéke nem számít mivel a rendszert feszültséggenerátorról hajtjuk. Az Rk értéke az előbb említett kisütést jellemző ellenállásérték.

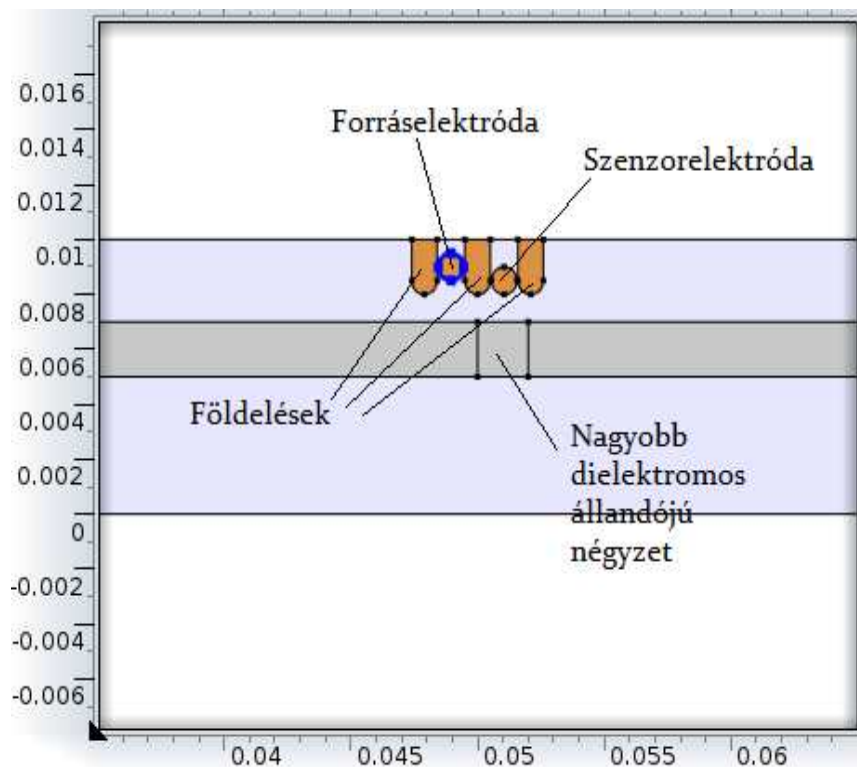
A szimulációk arra mennek ki, hogy a C1 és C3 értékeket minimalizáljuk, amíg a C2 értéket maximalizáljuk.

4.Szimulációk:

A jelenség megfigyelésére különböző geometriákat vizsgáltam. Az elrendezés a következő: az egyik elektródra állandó feszültséget kapcsoltunk, majd figyeltük a tér szerkezetét, ha az elektród környezetében valamilyen permittivitás változás van. Majd később egy másik elektródot is helyeztünk a rendszerbe, amely a földre lett kötve(a rajta változó töltés az hoz képest igen kicsi) és mértük a rajta kialakuló töltés nagyságát, mivel ez az elektród(szenzor elektród). Jelenleg csak sztatikus teret használunk mivel ez egyszerűbb és csak a maximumértékere vagyunk kíváncsiak, és a jelenleg az anyagok -t nem vesszük figyelembe. A következőkben a 2 dimenziós szimulációkra korlátozódik a leírás.

4.1 Alapjelenség vizsgálata.

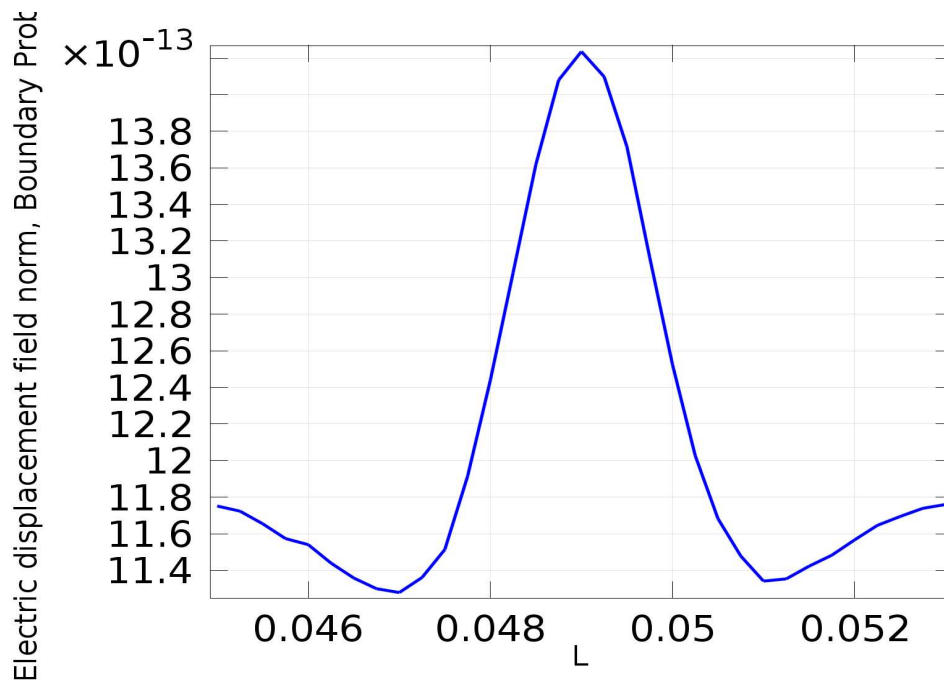
Először vizsgáltuk az alap szenzor felépítését két dimenzióban. A 11. ábrán látható módon van összeállítva a modell. A bal oldali kör a forrás, és a többi pedig földpotenciálán van. A jobb oldali körön, mint szenzoron számoltattam ki a felhalmozódott töltést. A minta szerepét egy téglalapot töltötte be, amelyben található volt egy négyzet amelynek relatív permittivitása (5) különbözött a levegőtől. Ezt a négyzetet húztam el a szenzorfej alatt, közben feljegyeztem a felhalmozódott töltést. Először a forrás helyzetét változtattam, azaz különböző magasságokban húztam a szenzorfej alatt a négyzetet.



ábra 11. A geometria

A szimulációk eredményeként a 12. ábrához hasonló grafikonokat kaptam. Megfigyelhető, hogy ha nagyobb permittivitású anyag kerül a szenzorfej alá, akkor megnövekszik rajta a töltés, ebből lehet

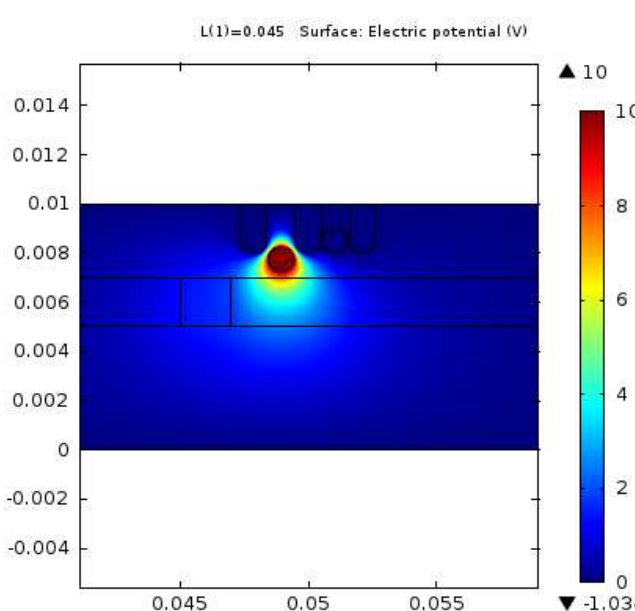
következtetni arra, hogy a teret valahogy „visszaverte” a nagyobb permittivitású anyag. Ennek oka, hogy benne az erővonalak jobban haladtak, mint levegőben, így sikerült az erővonalakat a négyzetnek átvezetni a földelés túloldalára, ahol a szenzor van, így megnövelve azon térrészben a potenciált, és így a szenzoron több erővonal záródhatott. Így a nagyobb permittivitású anyag átvezeti a szenzorelektrodára az erővonalakat a forráselektrodáról.



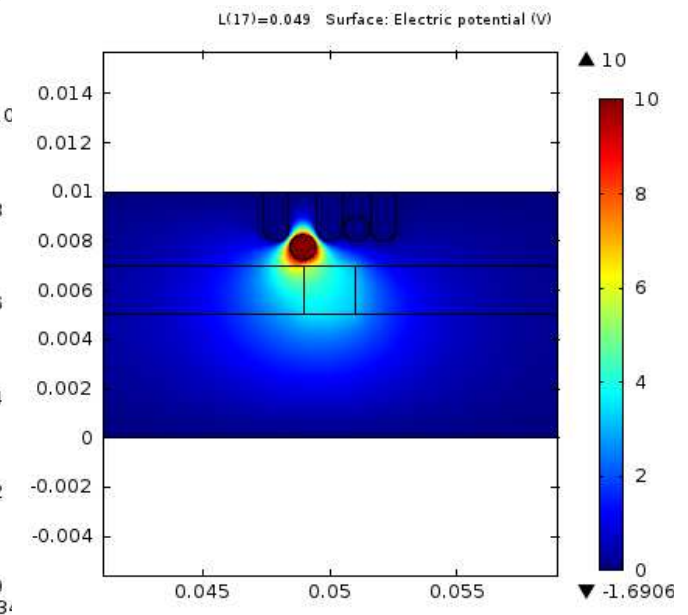
ábra 12. Alapjel

Egy bizonyos ideig a felhalmozódott töltés csökken, de tovább tolva a négyzetet beljebb az erővonalaknak előnyösebb a dielektrikumban haladni. Ezért a felhalmozódott töltés újra elkezd nőni.

A potenciáeloszlás a négyzet két különböző helyzetében az alábbi ábrákon látható:

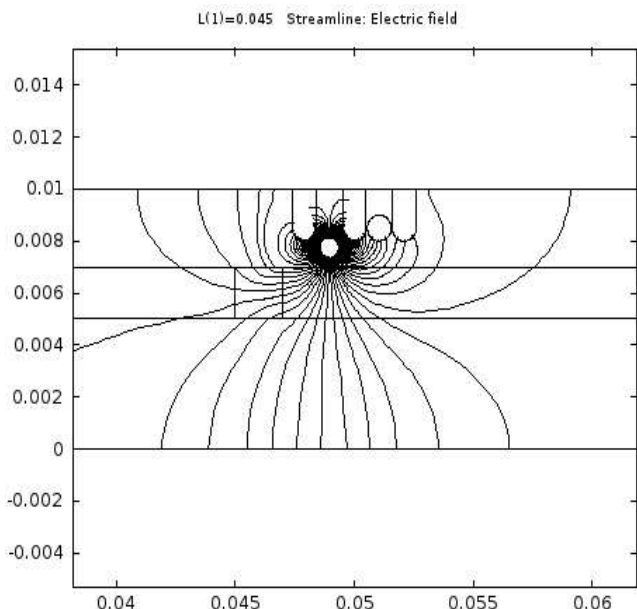


ábra 13. Potenciáeloszlás négyzet nélkül

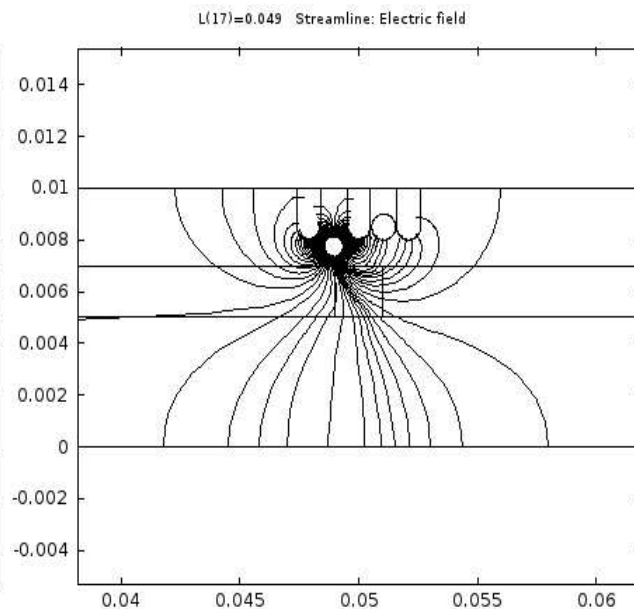


ábra 14. Potenciáeloszlás négyzettel

Először ahol a négyzet nincsen a szenzor alatt, majd alatta van.



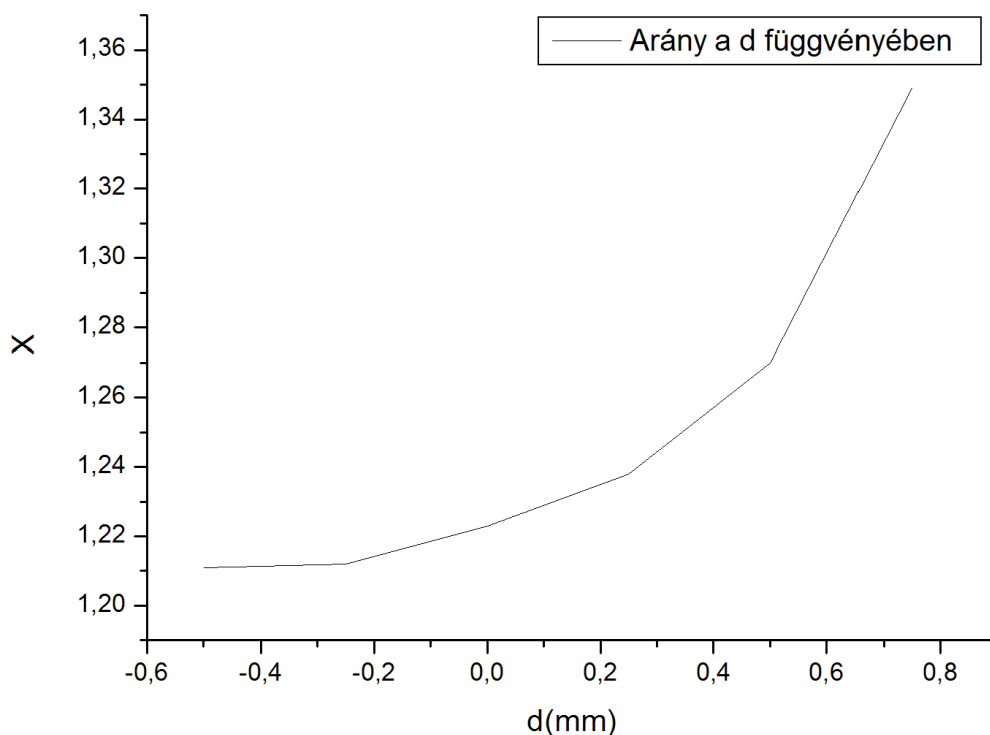
ábra 15. Erővonalterkép a négyzet nélkül



ábra 16. Erővonalterkép négyzettel

Az erővonalterkép jól mutatja, hogy amikor odakerül a négyzet a tér nagyban deformálódik, és a jobb oldali elektródára több erővonal terelődik. Ez a két kép a forráselektóról indított 100 db erővonal lefutását mutatja(15.,16. Ábra):

4.2 Távolságfüggés:



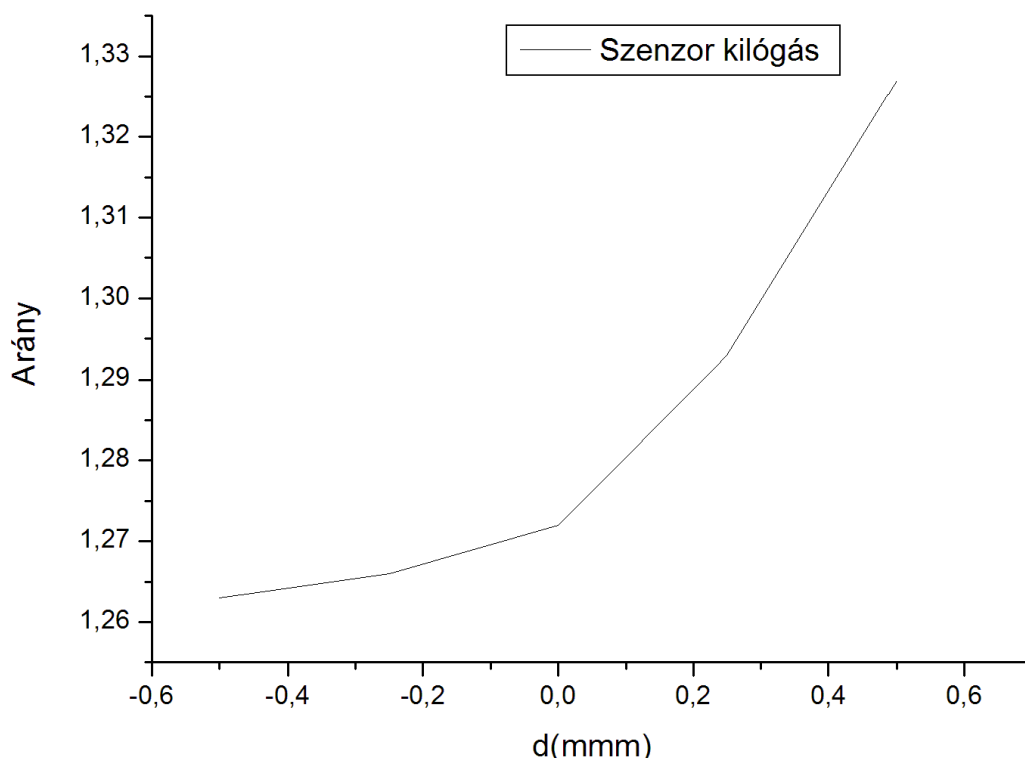
ábra 17. Arány a forrás helyzete függvényében

Ahhoz hogy eldöntsük milyen helyzetben kell lennie a forráselektórának ahhoz, hogy a lehető legnagyobb C2 kapacitást kapjuk a C1 mellett, ahhoz megnéztem, hogy hogyan változik a felhalmozódott töltés, ha a forráselektóda y tengely irányú koordinátáját változtattam adott szenzorelektóda magasság mellett. Azt kell elérni, hogy minék több töltés halmozódjon fel, továbbá a relatív változás minél nagyobb legyen.

Elméletem szerint ehhez az kell hogy a töltést szemléltető ábrán látott csúcs és az állandósult

töltés(amikor már elég messze van a minta a fejtől) hányadosa minél nagyobb legyen. Ehhez a szimulációt 6 különböző geometrián végeztem el, és a maximum és a minimum arányát vettem, az eredmények a 17. ábrán látszanak: Ahol d a forráselektroda kilógása a földelés alól, a forrás-elektrodának a mintához való közelítésével nő a minta hatása. Így arra a következtetésre jutottam, hogy kissé ki kell lógnia forrásnak az árnyékolás alól.

A következő esetben a szenzorelektroda kilógását vizsgáltam:



ábra 18. Arány a szenzor helyzetének függvényében

Az ábrán látszik, hogy itt is ugyanaz a helyzet, a szenzornak ki kell lógnia egy kissé, azaz jobban befolyásolja a jelet a dielektrikum közelsége, mint az árnyékolásé. Így tegyük olyan közel az elektrodákat amennyire csak lehet.

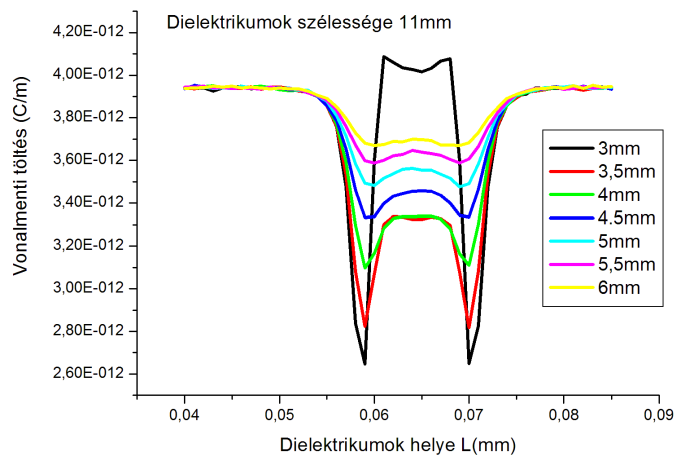
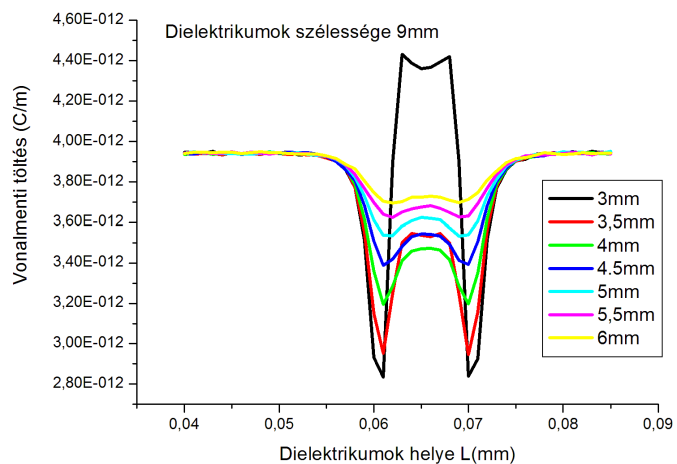
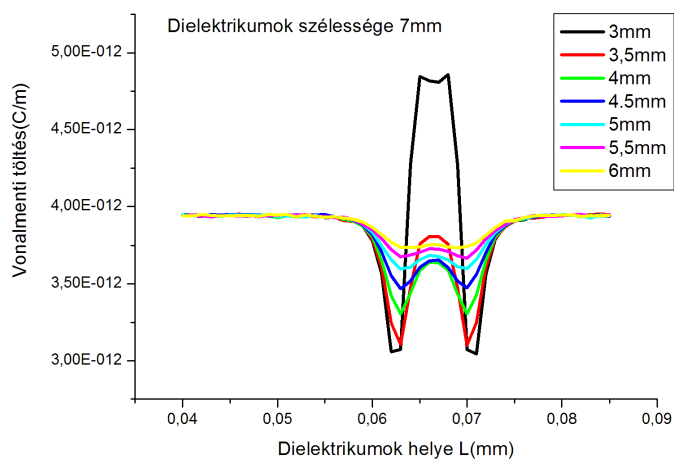
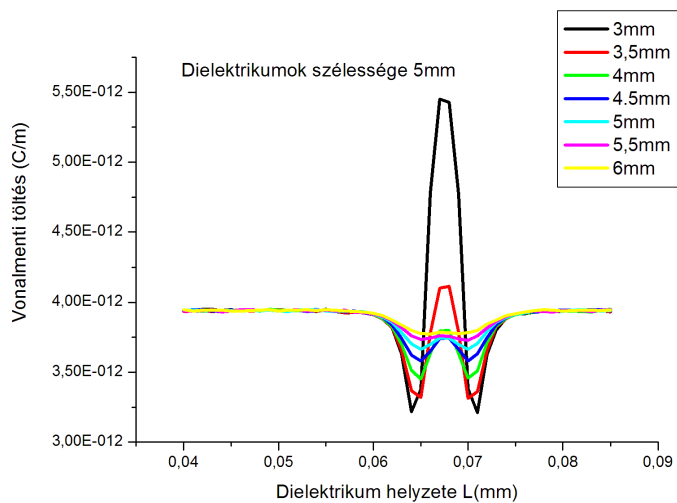
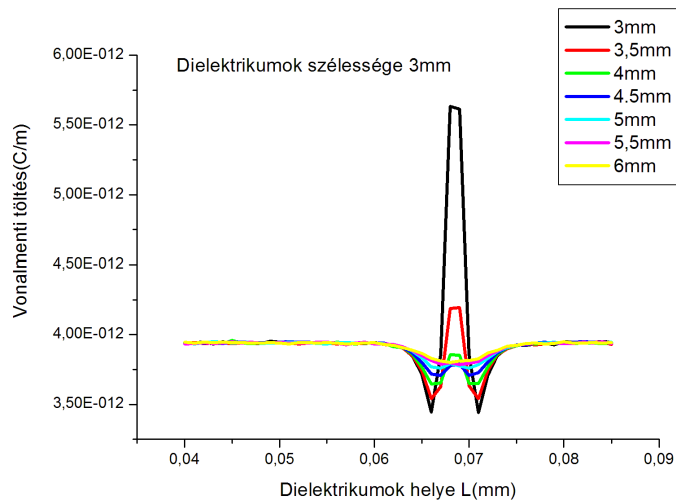
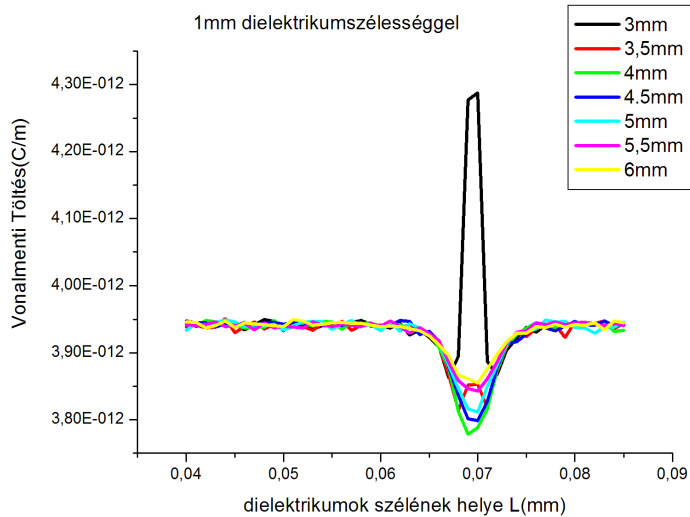
Ha magukat az árnyékolások hosszát csökkentem, akkor elér az arány egy maximumot, majd csökken. Mivel ha nagyon kicsi a középső árnyékolás, akkor túl nagy lett a részkapacitás a két elektróda között. Ha túl nagy az előző okok miatt újra csökken az arány. A berendezés felbontása az előbbieken alapján az elektrodák távolságának és az elektród minta távolságának a függvénye.

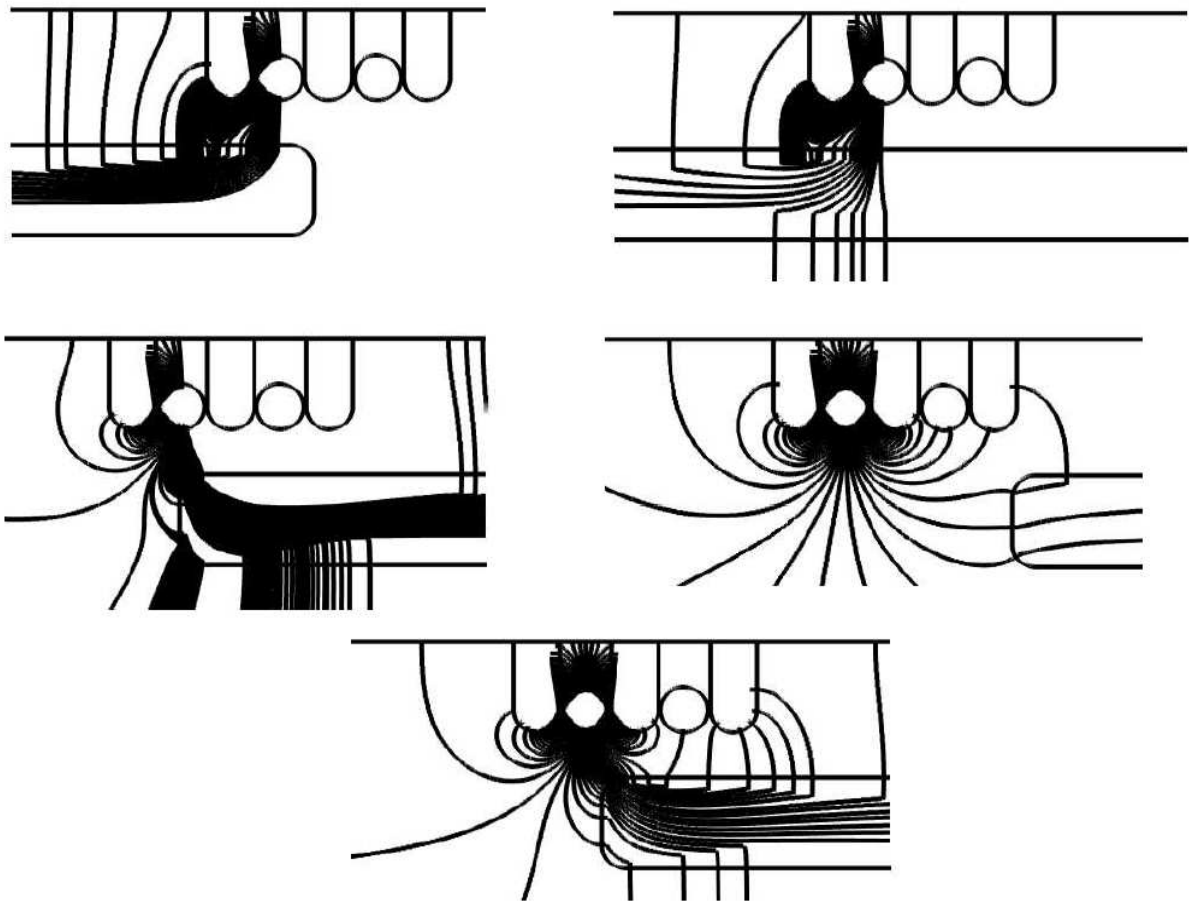
4.3: A rendszer felbontása laterális felbontása

A következő érdekes kérdés az, hogy hogyan változik a szenzorfej felbontása azaz milyen széles „négyzeteket” képes megkülönböztetni, és hogy milyen távolságban. A következőkben úgy nézett ki a geometria, hogy a négyzetet két részre osztottam. Pontosabban két négyzet volt egymástól négyzetnyi távolságra, ahogy az ábrán látható.

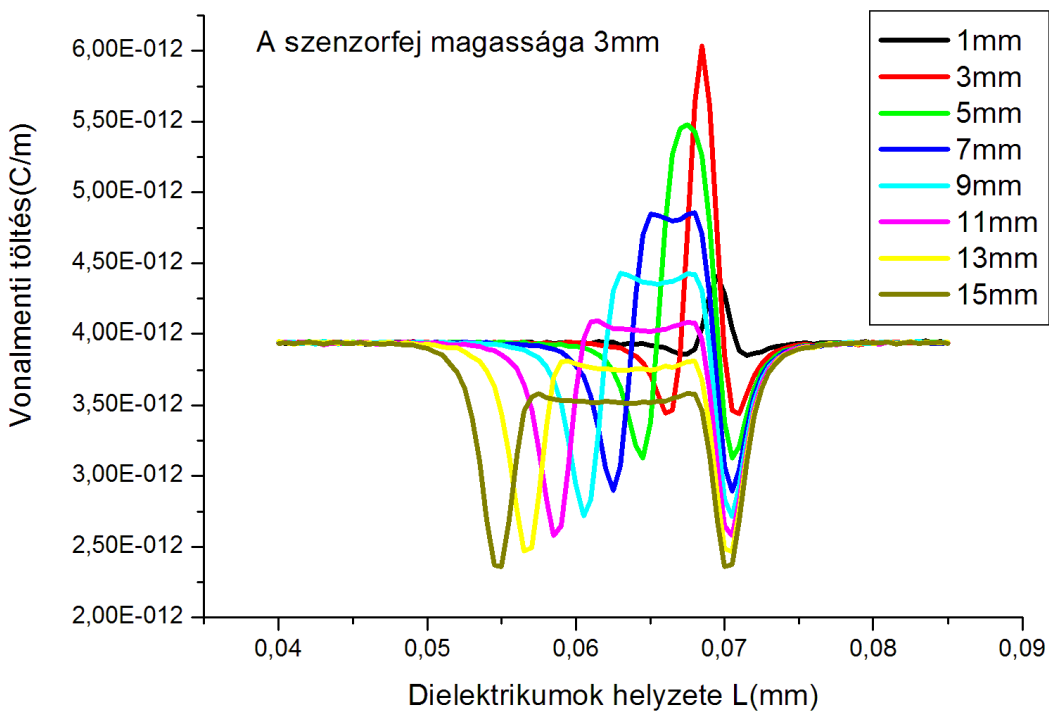
Húzzuk el meg adott elektróda távolságok és változó mintatávolságok mellett a téglalapokat, és a téglalapok szélességét is változtassuk. Ez alapján szimuláljuk az eszköz felbontását. Az ábrákon az látszik, hogy különböző téglalapszélességek esetén hogyan változik a rendszer felbontóképessége, ha növeljük a felülettől való távolságát a szenzorfejnek.

Az alábbi ábrákon a mért értékek láthatóak a dielektrikumok pozíciójának és szélességének függvényében. Egy-egy ábra egy adott szélességű dielektrikumhoz tartozik. A vízszintes tengelyek a dielektrikumok vízszintes irányú pozícióját mutatják, míg a különböző színű görbék a szenzortól eltérő távolságokban mérhető jelet szemléltetik.





Jól látszik, hogy egyre élesebb tuskék jönnek létre ahogy csökkentjük a minta távolságát. Ennek oka az, hogy azon éleknél, ahol különböző minőségű anyagok találkoznak, ott lesz egy pont, ahol hirtelen jobb (alacsonyabb energiájú) az anyagba behatolnia, és keresztülmennie az erővonalnak, és a szenzor túoldalán a földre záródnia, mint kikerülnie a nagyobb permittivitású anyagot. Bizonyítandó, hogy ez nem az éles sarkok miatt történik, a szimuláció lekerekített sarkokkal, és grafikusán megjelenítve az erővonalakat 3 különböző helyzetben:



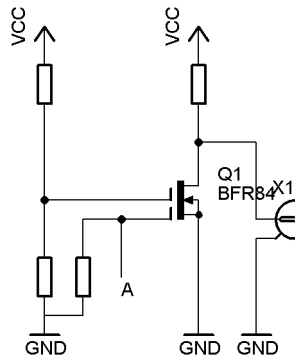
ábra 19. A mért jel a szenzorfej állandó magassága és különböző mintaszélességek mellett

Bizonyítandó, hogy a tüskék nem az éles sarkok miatt jelennek meg, a szimulációt lefuttattam egy darab lekerekített sarkú dielektrikummal is. Ezen szimuláció eredményei láthatóak az alábbi ábrákon. Jól megfigyelhető, hogy a jelenség ebben az esetben is fellép. Ez alapján lehet élek érzékelésre is használni, továbbá érdesség mérésére. A következő 19. ábrán adott mintatávolság esetén különböző dielektrikumszélességek esetén ábrázoltuk a felhalmozódott töltést. 3D szimulációkat is végeztem, de hasonló eredményekkel járt, mint az előbbieket, és ezek részletesebbek, így megelégedtem ezek dokumentálásával.

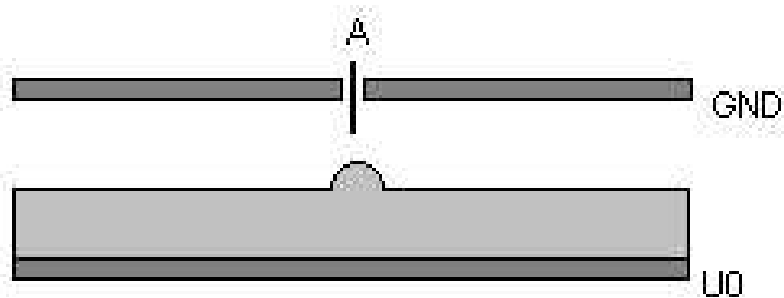
5. Megvalósítás

5.1 A kezdeti modell

A kezdeti megvalósítás a jelenség igazolására a következőképpen történt:
A kezdeti mérési modell legyen a következő:



ábra 20. Kapcsolási rajz



ábra 21. Elrendezés

A 20. ábrán a mérőfej kapcsolási rajza látható-az A pontra kötődik a mérőfej, amely a 21 ábrán látható. Az U_x feszültséget mérjük, ahogy a felület felett mozgatjuk mérőfejet konstans U_0 mellett. Az R1-R2 ellenállásosztó szerepe, hogy a Dual csatornás FET egyik kapujának feszültségét megemelve a másik bemenet érzékenységét növelje.

Ekkor a felületen végighúzva, ha sikerül a síkkal párhuzamosan húzni, minden egyes pontjában a síknak megmérve U_x értékét az érdességek kirajzolódnak. Más távolságban a felülettől az érdességek más értéket mutatnak, ebből az érdességek nagyságára lehet következtetni.

Ugyanis az érdesség felett $E = \frac{\alpha \cdot E_0}{r^3} + E_0$, amely d távolsággal feljebb $E^* = \frac{\alpha \cdot E_0 \cdot d}{r^4} + E_0$

Mivel az $\alpha = R \cdot a$ ahol „a” a kiterjedése az érdességnek, hibának.

Ennek a megoldásnak nehézsége az, hogy ha a feszültség konstans a fegyverzetek között, akkor idővel a FET tüje feltöltődik, ezzel meghamisítva mérést. A külső zavaró hatások(külső tér) nagyon zavarhatja a mérést->Ezért inkább váltakozó elektromos teret használjunk:

Így a számunkra értékes frekvenciakomponens kiszűrhető.

A FET Gate nem töltődik fel, ha egy ellenállással leföldeljük.

Új tulajdonság alapján mérhetünk, a szigetelő $tg(\delta)$ -ja alapján. A különböző vezetőképességű minta megkülönböztethető.

Ez volt a legelső modell, ahol az elektromos teret párhuzamos kondenzátorlemezek szolgáltatták.

A kondenzátorlemezt váltófeszültségre kapcsolva, és LOCK-IN-el mérve az adott frekvencián a hatás érzékelhető. A mérés során a kondenzátorlemezei közé egy műanyag lapot helyeztem, amelyre körülbelül 2mm széles grafitcsíkok voltak ragasztva. Ezt a szenzor alatt végighúzva az elmozdulás függvényében mértem a feszültséget. A grafit csíkok kissé vezetnek, így jól elkülöníthetőek voltak a dielektrikumtól.

A csíkok különböző távolságban vannak felragasztva a hordozóra(irásvetítő fólia) Így a megoldás felbontása tesztelhető.

Az áramkör a következő módon volt felépítve:

A tápellátás egyenfeszültségről történt, amely szűrés után lett rákapcsolva az első ábrán

látható áramkörre. Egy 5mm hosszú tűske lógott ki a nyáklapok közül, az lett rákapcsolva a FET gate elektródájára.

A megoldást megpróbáltam módosítani úgy, hogy egy hangszóróra lett a felső kondenzátorlemez rögzítve. A hangszórót alacsony f0 frekvenciáról meghajtva, a felső kondenzátorlemez és a tűske ezen f0 frekvenciával rezgett. A kondenzátorlemezek távolsága a kezdeti értékhez képest alig változott, ellenben a tűske és a minta távolsága ez átlagértékhez képest sokat. Így a FET Drain elektródáján mérhető feszültséget az f0 frekvenciára szűrve megkaphatjuk a minta valódi távolságát, ha az alsó kondenzátorlemezre kapcsolt frekvenciára szűrjük az előző jelet.

Ennek oka, hogy a szenzoron mérhető feszültség lejjebb látható alakú, ahol C_0 és C_1 a kondenzátor gerjesztőfeszültségével változik. Az r távolság pedig a hibának a távolsága a szenzortól, amely a kondenzátorlemezek távolságának változása miatt folyamatosan változik.

$$U_{sens} = \frac{C_1}{r^n} + C_0$$

A két szélsőértékben:

$$U_{max} = \frac{C_1}{r_{min}^n} + C_0 \quad U_{min} = \frac{C_1}{r_{max}^n} + C_0$$

Így a feszültség szűrése után:

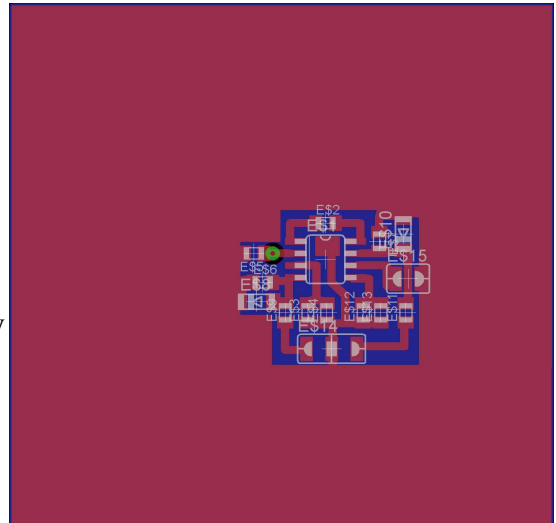
$$\Delta U = \frac{C_1 \cdot n \cdot A}{r^{n+1}}$$

Ahol A a rezgés amplitúdója, ha ezt ismerjük, és a szenzorra jellemző C_1 függvényt. Ekkor a ΔU feszültségből r kiszámolható.

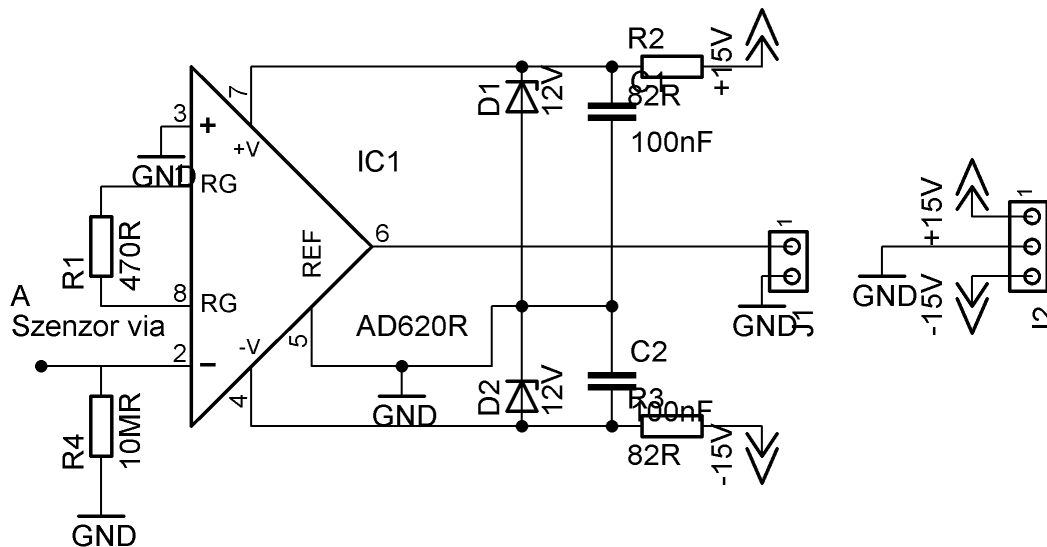
Sajnos a megvalósításban ez nem működött rendesen, mivel a hangszóró mágneses tere a FET-re is hatással van, amely elnyomja a számunkra értékes jelet.

5.2. A második modell:

Itt már külön nyomtatott áramkörön volt a a szenzor. Egy INSTRUMENTATION erősítő bemenetére van kapcsolva egy via (amely a kezdeti elrendezésben a mérőelektróda szerepét tölti be) Ez a mérőelektróda egy szintben van a lemez síkjával, így nagyon közel lehet rakni a mintát. A via középpontjának a földelés kezdetének a távolsága 2mm. A forráselektrodát úgy alakítottam ki, hogy egy árnyékolt vezeték végét



ábra 22. Nyomtatott áramköri terve a második modellnek



ábra 23. A műveleti erősítő modell kapcsolási rajza

lecsupaszítottam, és ezt a csupasz vezetékvéget a via mellé rögzítettem.

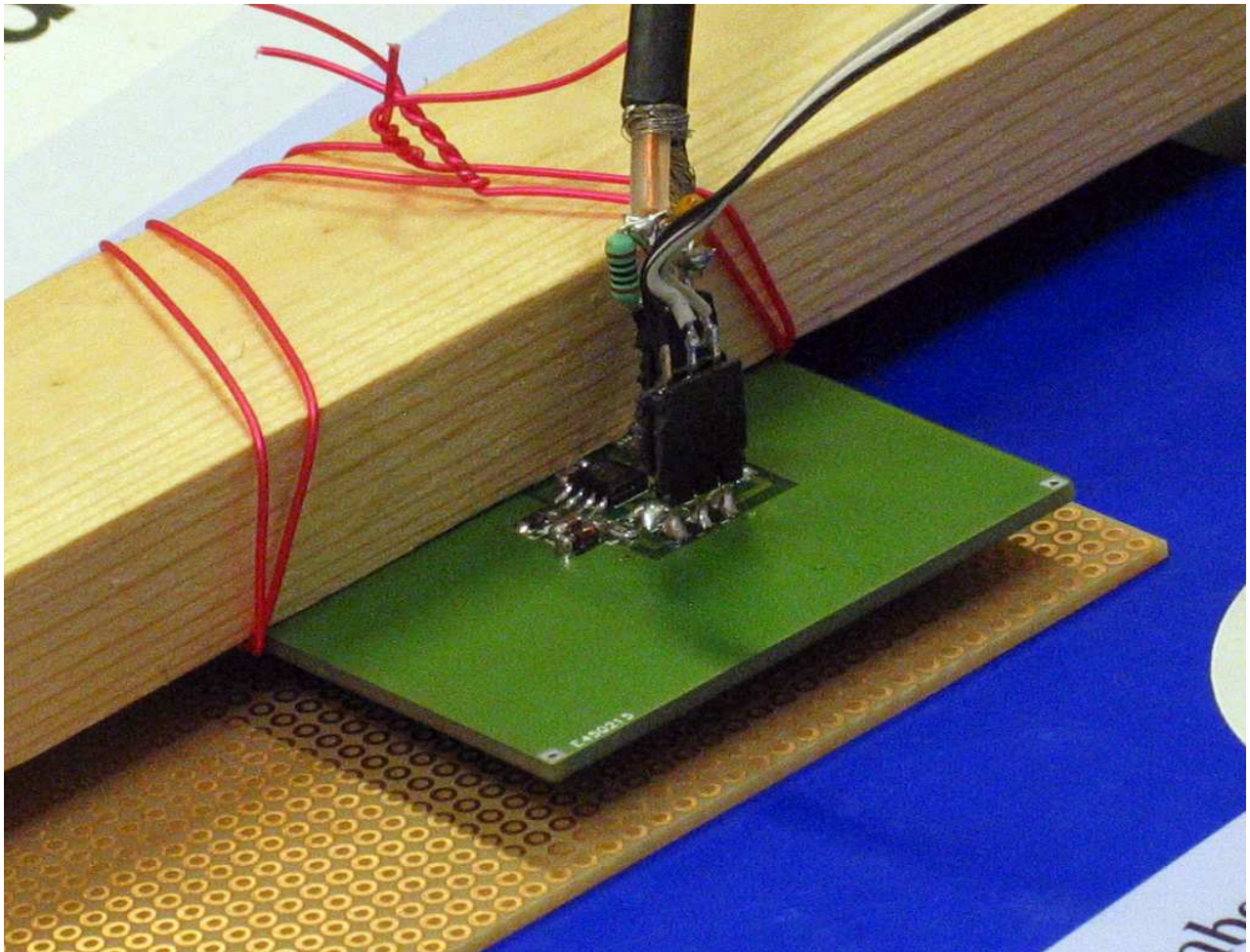
Ennél a megoldásnál lett először felhasználva a léptetőmotoros asztal, amely fölé lett elhelyezve a nyomtatott áramkör, amely szenzoregységként funkcionál. A LOCK IN erősítő van rákapcsolva az Instrumentation erősítő kimenetére, amely által mért értéket számítógéppel lehet kiolvasni.

Az asztal mozgatására és a LOCK IN kiolvasására egy számítógépes programot írtam, amely az értékek kiolvasása után grafikusan is ábrázolja az értékeket.

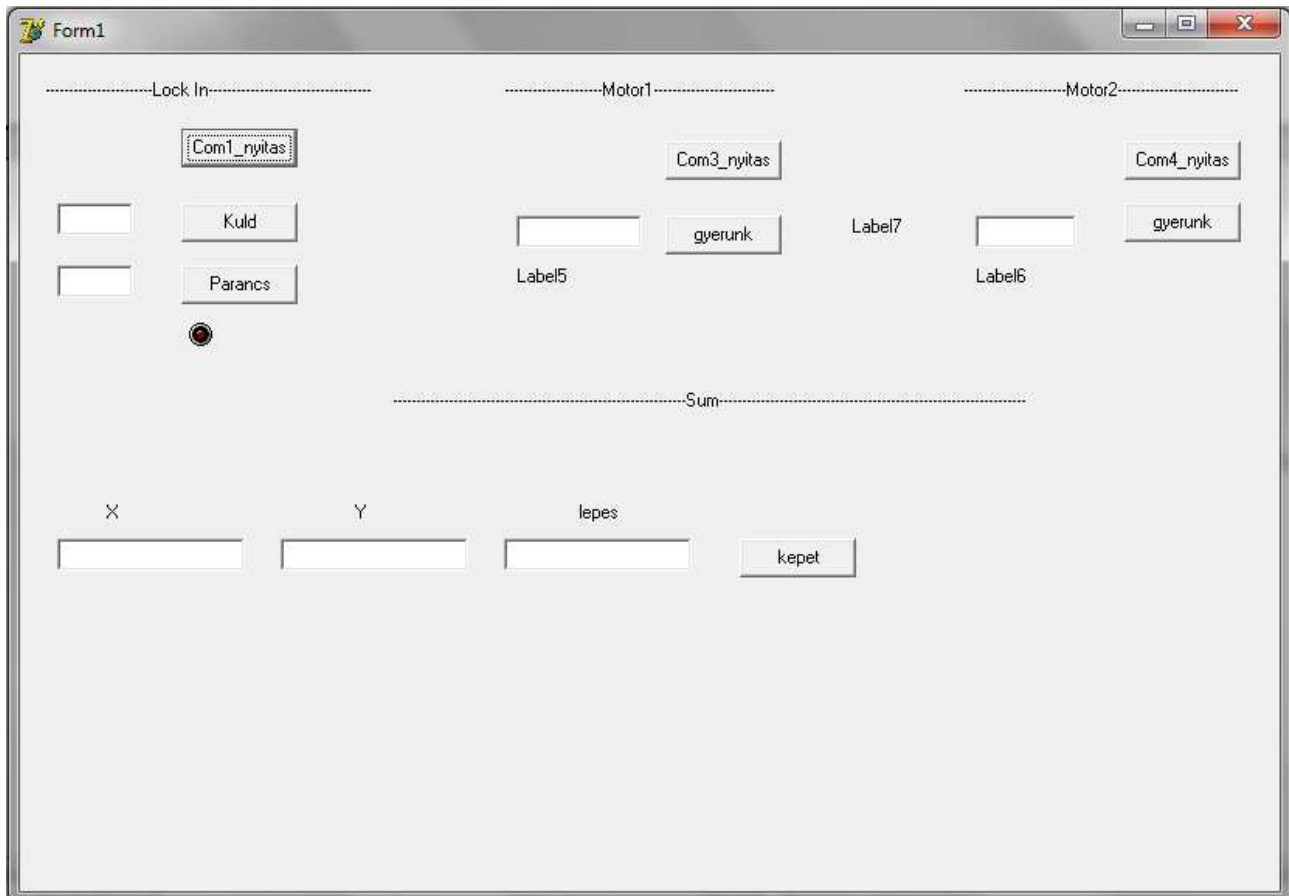
Az elmélet szerint a felbontás annál nagyobb lehet, minél jobban sikerül az elektróda jelét koncentrálni a minta egy területére.

A nyomtatott áramköri terv látható az 22. ábrán, amelyben zölddel van jelölve az a via, amely számunkra a szenzor szerepét tölti be. Ennek az elrendezésnek kapcsolási rajza látható az 23. ábrán, az erősítés 1000 szerez értékre van beállítva az R1 ellenállás segítségével.

A mechanikai megoldás a szenzor fej rögzítésére, és az asztal szabad mozgására fából készítettem egy keretet, amelyet állítani lehetett csavarok segítségével. A következő képeken látható az eszköz:



ábra 24. A második mérőfej, amikor egy próbapanelt vizsgál



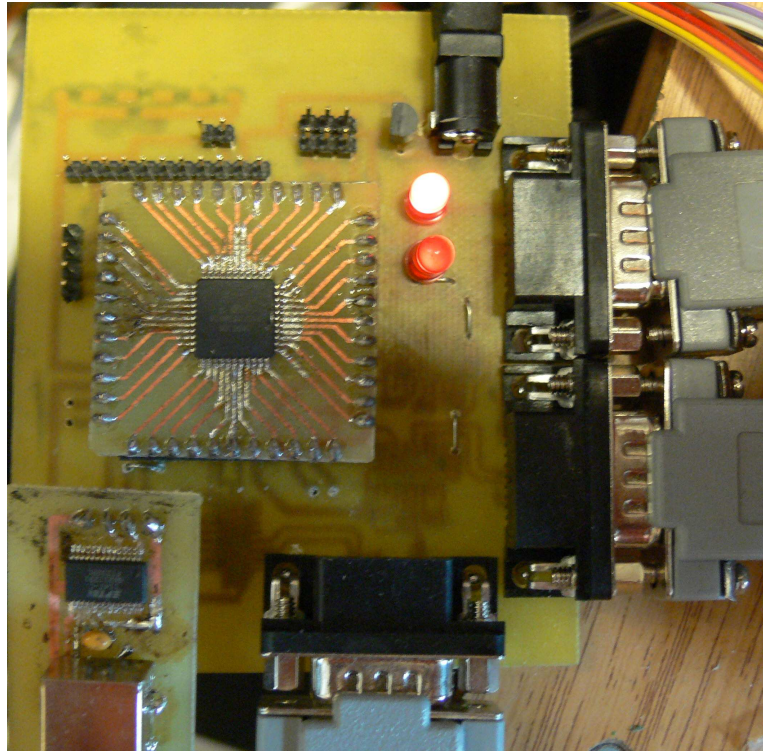
ábra 25. A második mérőprogramról egy pillanatfelvétel

A számítógépes programról:

A léptetőmotoros asztal soros porton keresztül kommunikál a számítógéppel, mindegyik tengelynek szüksége van egy portra. A kiadott parancs alapján az egyes tengelyeken az asztal elmozdul a megfelelő koordinátákra. A Lock In megfelelően szintén soros porton kommunikál, itt egy parancsra elküldi a jel valós és komplex részét. A kiértékelésben a X tengelyű vetületét jegyeztem fel a jelnek. Ez alapján egy következő program képet készít az adatokból.

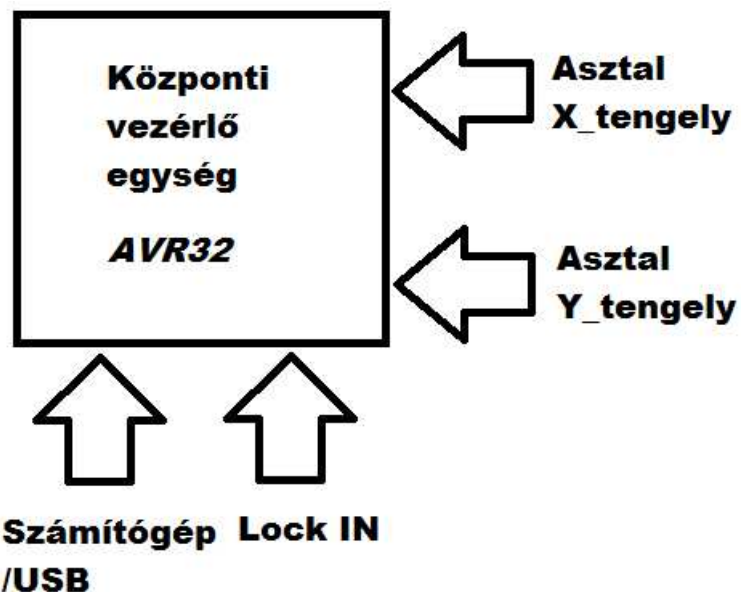
5.3 A mostani összeállítás

Felmerült az az igény, hogy a további fejlesztések érdekében ne a számítógép vezérelje külön az asztalt és a LOCK IN -t, hanem legyen egy központi egység, amelyet USB-n keresztül kapcsolódik a PC-hez, és ez vezérelje a többi szerkezetet. Ennek köszönhetően a központi vezérlőegység tudja vezérelni azt is, ha több szenzor van, vagy esetleg függőleges irányba is kell mozgatni a szenzorfejet. Ezért építettem egy olyan elektronikát, ami rendelkezik minimum 4 soros porttal, mivel egy soros porton lett a PC-re kötve, amely át lett alakítva USB porttá.



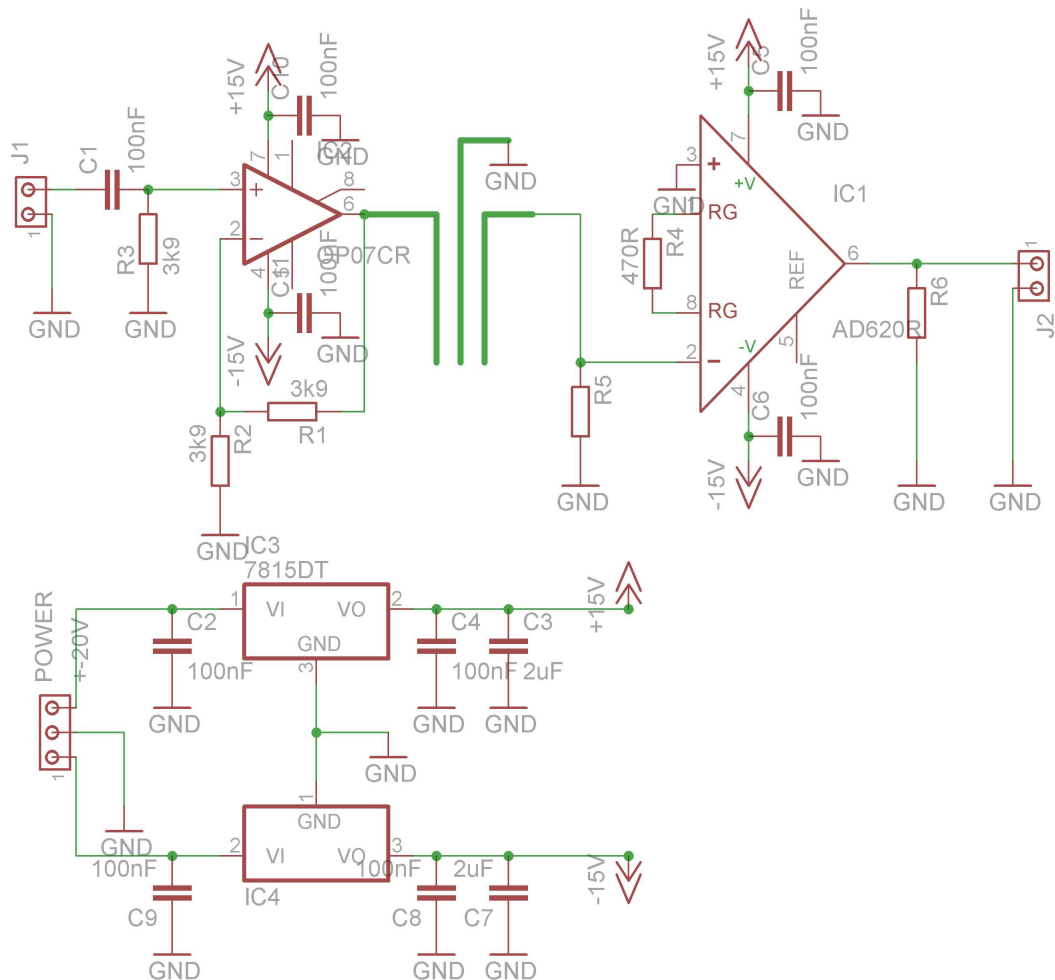
ábra 27. A központi vezérlő egység

Ehhez a AVR32 mikrovezérlőt választottam ki, ennek akkora a számítási kapacitása, hogy a későbbiekben képes kiváltani a LOCK IN-t, és ő maga egy digitális LOCK IN e erősítőként működni

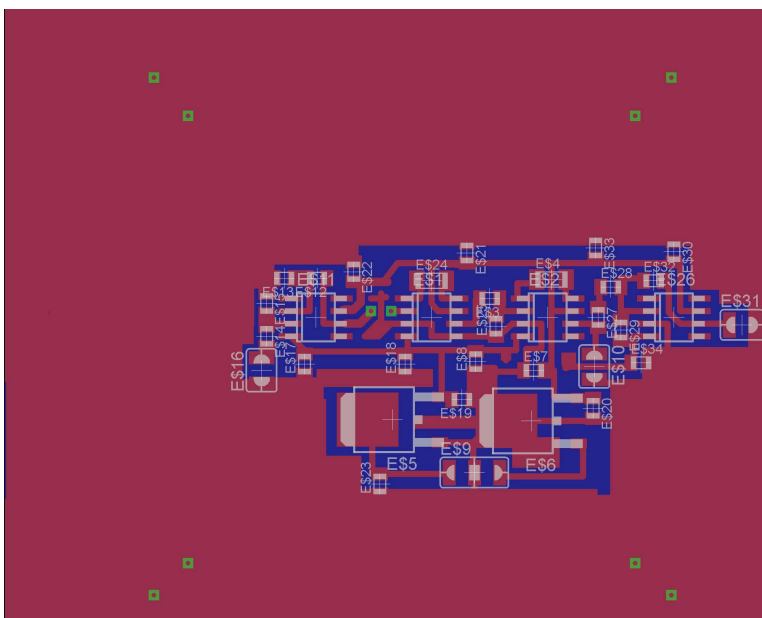


ábra 28. A rendszer logikai felépítése

Itt már szerepelt az a megoldás, hogy a szenzorfejben a forráselektroda is véges kiterjedésű. Azaz megpróbáltam a szimulációban leírtak szerint elkészíteni a mérőfejet. Az eredeti terveim szerint a jelet több fokozatban kívántam erősíteni, annak nagyon kicsi volta miatt, ezért a nyákon több fokozatnak van hely. A gyakorlati próbák során kiderült, hogy erre nincsen szükség, mivel megfelelő pontossággal lehet egy fokozattal is mérést végezni.



ábra 29. A szenzorfej kapcsolási rajza



ábra 30. A szenzorfej nyák terve

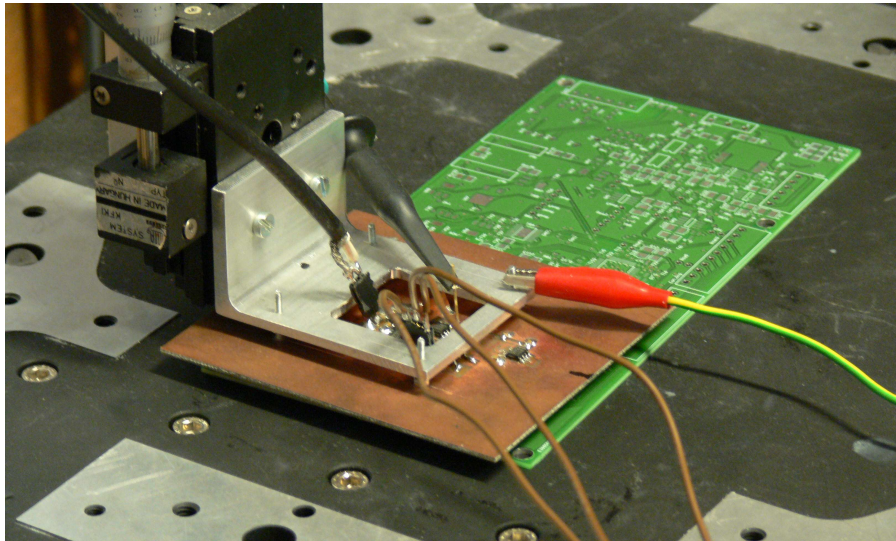


ábra 31. A szenzorfej alján az érzékelőegység kiképezése

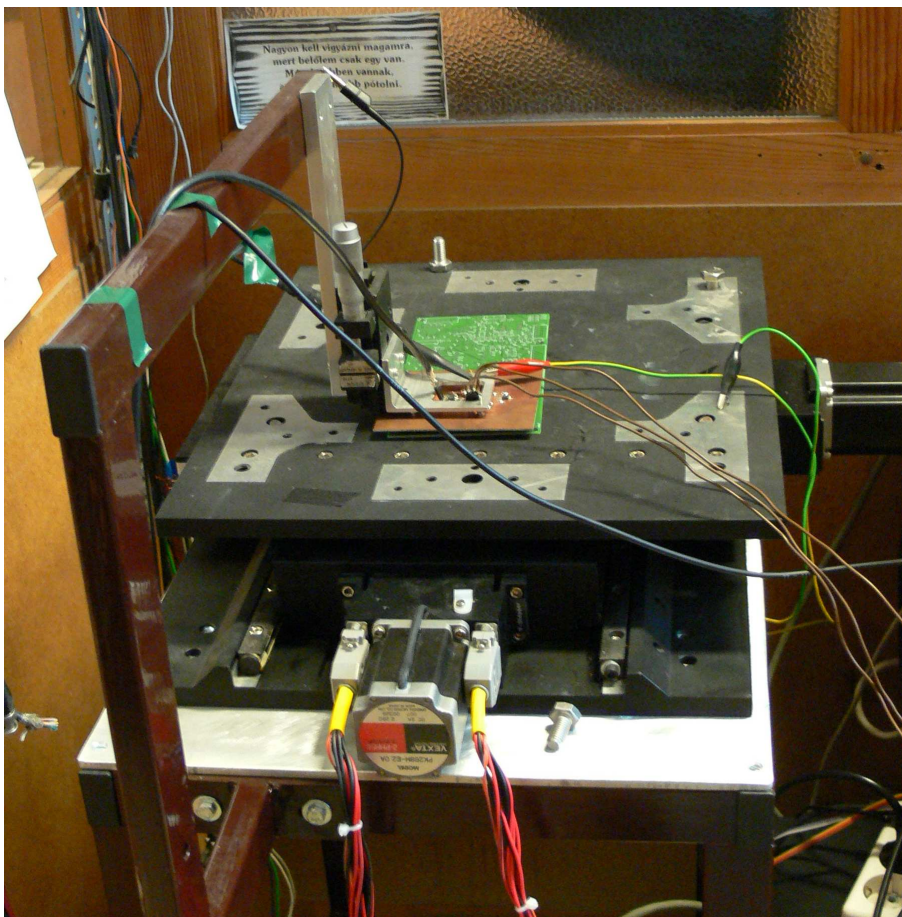
A NYÁK alsó oldala teljesen egybefüggő föld. Ebben a két középső egymás mellett lévő zöld via, ahol át van vezetve a két elektróda. A két elektróda két 70um-s szigetelt rézvezetékéből van, amelyek a 0.6mm-s lyukakon van átvezetve. Ezeket elválasztottam egy nyáklemről lehántott rézfóliával, amelynek vastagsága 50um volt. A rézfóliát a két rézvezeték közé forrasztottam, ezek után a vezetékeket hozzáragasztottam a fóliához. Majd, hogy a vezetékek egy szintben legyenek az

egészet elvágtam a nyáklappal párhuzamos sík mentén.

Ebben a modellben egy külön mechanikai tartószerkezetet készítettem. Ennek a tetejére lett a szenzor rögzítve egy mikrométer csavar segítségével, így a szenzorfej helyének függőleges koordinátája pontosan állítható lett. A szenzortartó kar behajlott az asztal fölé engedve annak szabad mozgását.



ábra 32. A szenzorfej az állítható magasságú tartószerkezeten



ábra 33. A mechanikai összeállítás

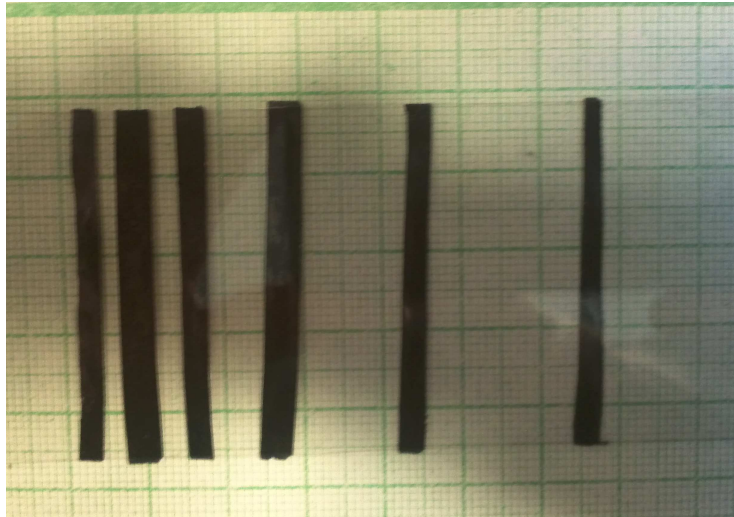


ábra 34. A szenzorfej egy minta fölött

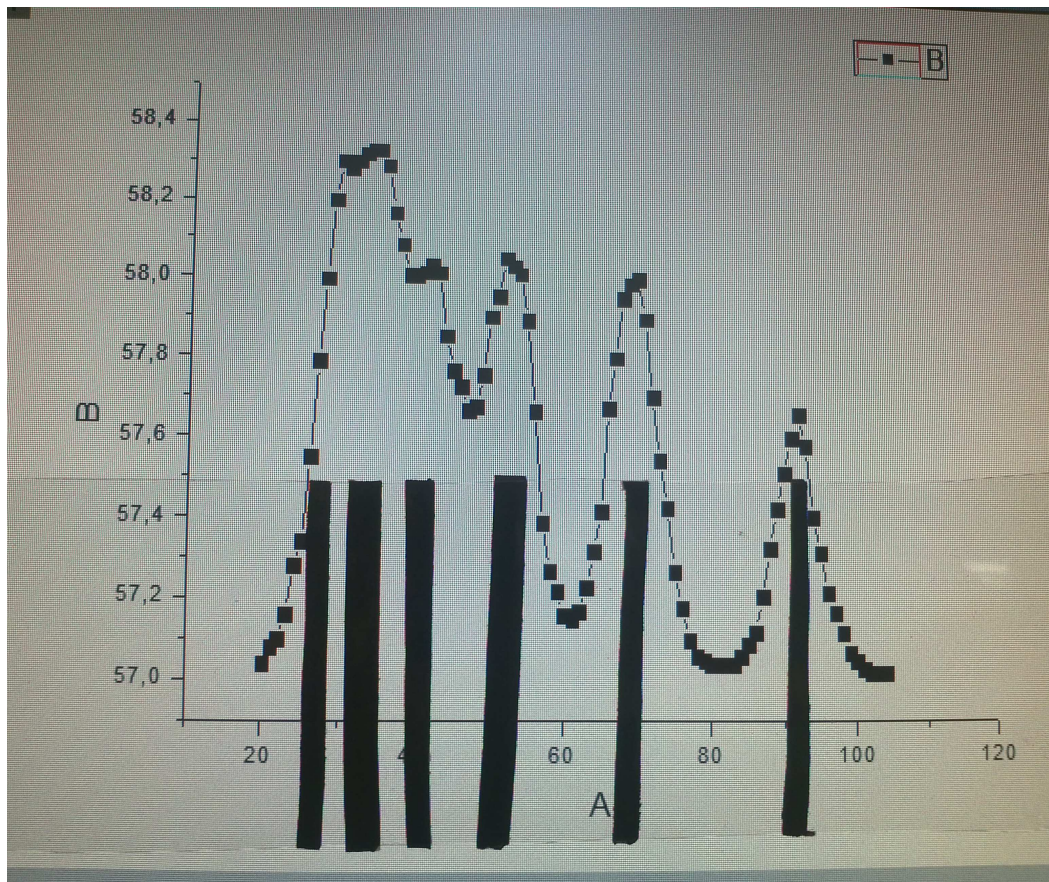
6. Az elért eredmények:

6.1 A legelső modell eredményei

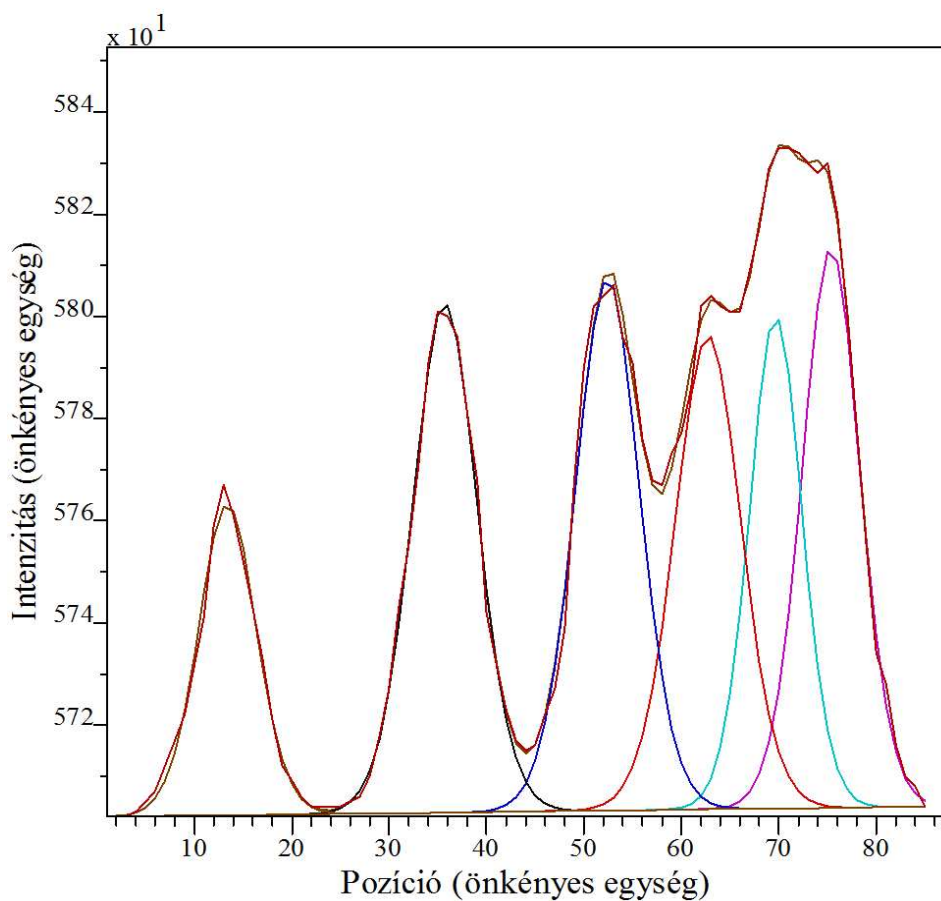
A legelső modell úgy lett tesztelve, hogy a szenzortűske alatt el lett helyezve egy vastag műanyag lap, és ezen lett elcsúsztatva az írásvetítő fóliára ragasztott grafitcsíkok.



ábra 35. A grafitcsíkok, amik fel vannak ragasztva a fóliára



ábra 36. Ezek a számítógépre felvive, és a monitoron lefotózva



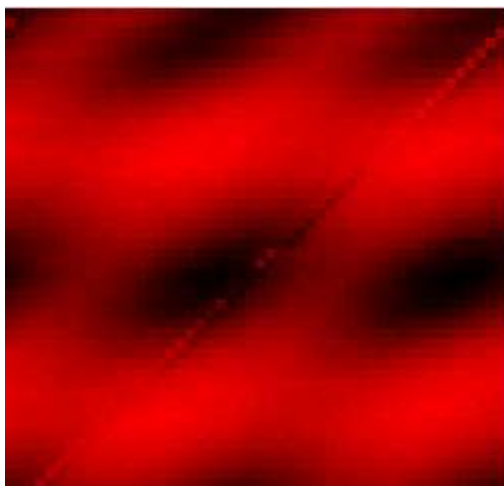
ábra 37. A grafikon a csúcsok illesztése után

Jól látható, hogy a szondának mindegyik sávot sikerül elkülönítenie kivéve a két legközelebbit, amelyeknek távolsága 2mm illetve 3mm.

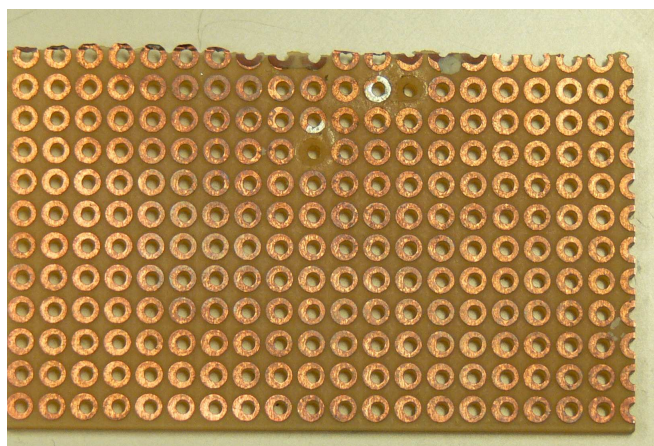
6.2 A második modell eredményei:

Ekkor egy próbanyákról készítettem felvételt.

Ennél a lyukak távolsága 2,54mm, és körülöttük fél milliméter vastagon vannak rézfóliázott részek. A kép 50*50 pixeles, amelynek felbontása 0,1mm.



ábra 38. Próbanyák nagy felbontással



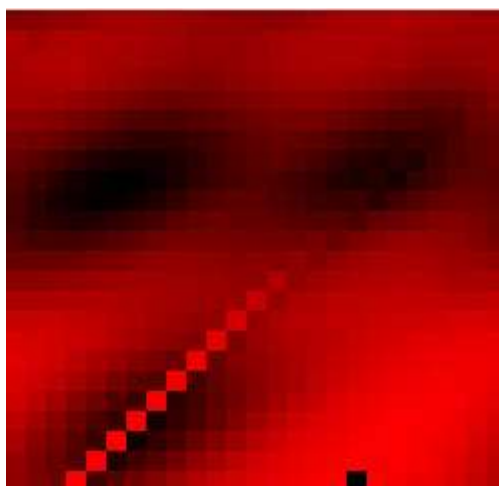
ábra 39. A próbanyákról egy kép

Ugyanez kisebb felbontással:



ábra 40. Kisebb felbontással a próbanyák

Azért, hogy megtudjuk mit érzékel az eszköz, a fémezést, vagy a lyukat, egy helyről leszedtem a fémezést, ekkor:



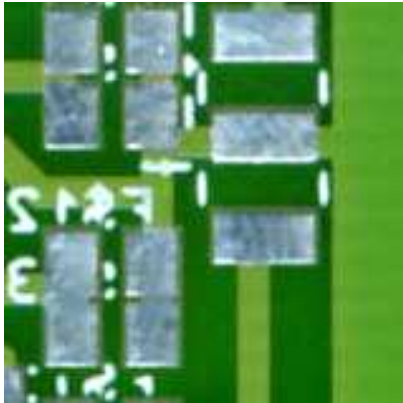
ábra 41. Egy fémezés mentes lyukkal a próbanyák

Azaz a szerkezet igazából a fémezést érzékeli és az, hogy lyuk van a fémezés közepén nem számít, a lyuk átmérője 1mm.

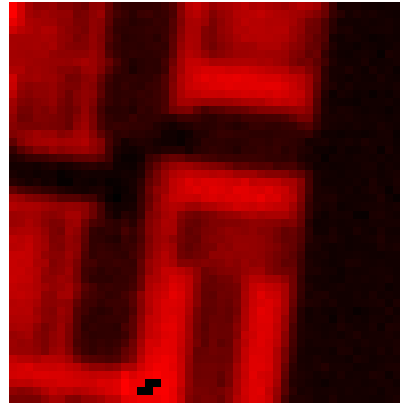
6.3 A harmadik modell eredményei:

6.3.1 Nyomtatott áramkörök vizsgálata:

A teszteléshez először finom rajzolatú nyákokról vettem fel képeket 5400 Hz-s frekvencián



ábra 42. Első nyák fényképezve

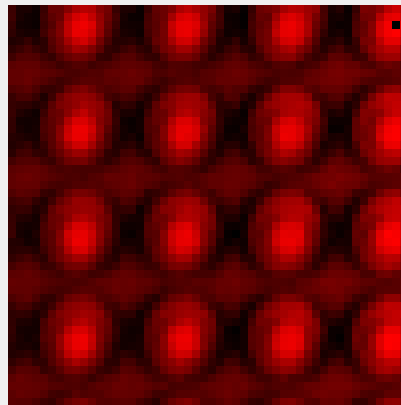


ábra 43. Első nyák képe

A 42.ábrán látható a mérés eredménye, a bal oldalin pedig a minta azon területe, amelyről készült a felvétel. A vezetősávok szélessége 0,7mm, és 50*50 pixeles a felvétel.

A képen jól látható, hogy van egy nagyon sötét sáv. Ennek oka az, hogy ez a sáv le lett földelve. Ha más potenciálra kötünk egyes vezetősávokat, akkor azokat jól el lehet különíteni a mérés során a többitől, azokat jól lehet nyomon követni az áramkör terjedelmében.. Az alap fémezés nem túl sötét, egy szűrőssel meg lehet határozni, hogy meddig terjed.

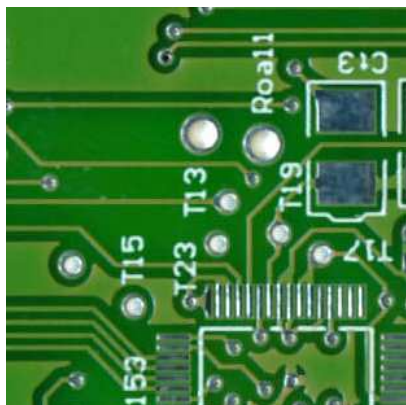
A következő esetben az előbbi próbapanelről készítettem egy újabb képet



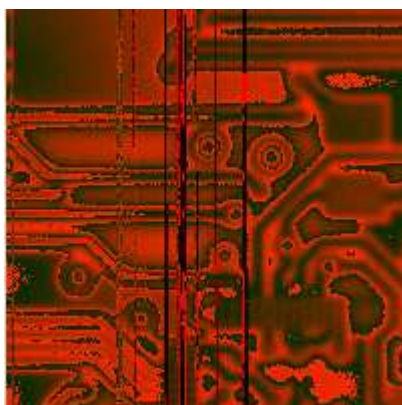
ábra 44. Próbanyák a harmadik model segítségével

Ennél a mérésnél az egyes mérési pontok 0,2mm távolságra voltak egymástól, a kép 50*50 pixeles, Itt már látszik, hogy ahol a furat van, ott a jel különbözik, ahol fém van ott lecsökken, majd végül a fém és a szigetelő határfelületén hirtelen lecsökken, és visszaemelkedik egy normál értékre. Ez a szimulációkban is látszott, ahol a grafikonokon a tűskéket kaptuk.

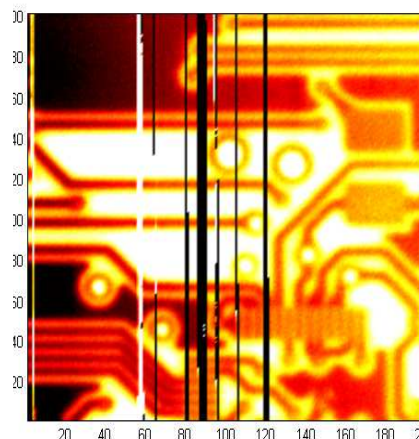
Megint egy nagyobb nyákot vizsgáljunk nagyobb felbontással:



ábra 46. Nagy nyák
fényképezve



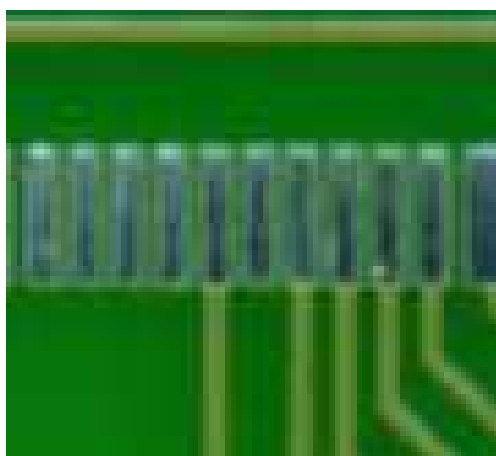
ábra 47. Nyers mérési adatok



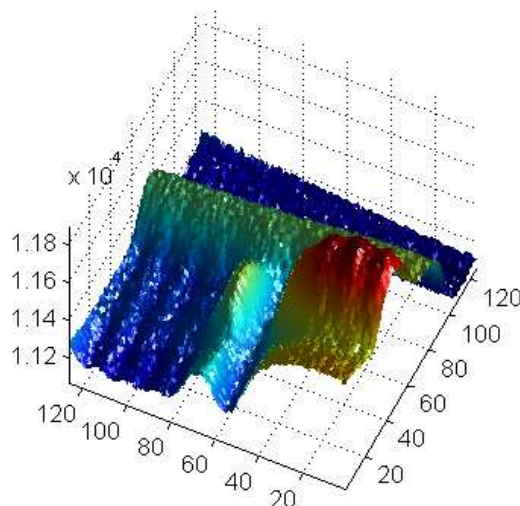
ábra 45. MATLAB segítségével
kiértékelt

A 46. ábra mutatja az áramkorról készült fényképet. A 47. ábra a nyers mérési eredményt amelyet saját képkészítővel csináltam. A 45. ábrán MATLAB segítségével javított változat.

A következőkben egy nyákot vizsgáltam, ahol a egy olyan csatlakozót térképeztem fel, amelynek érintkezői 0,5mm-re vannak egymástól



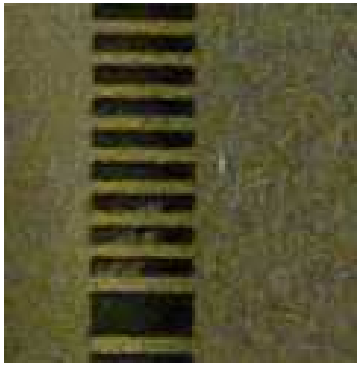
ábra 49. A befényképezett minta



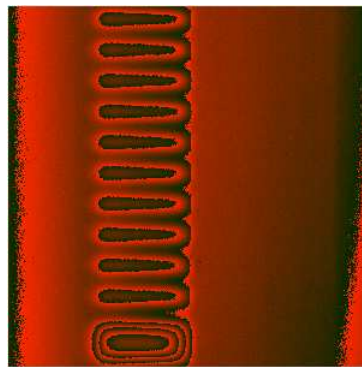
ábra 48. 3D-ben ábrázolva a kapott
értékek

A bal oldalon látható ábrán látható az nyák lemez, amelyről egy 5mmx5mm darabot térképeztem fel. Az eredmény a jobb oldalon látható 3D-ben ábrázolva. Amelyik csatlakozókhöz fémzés vezet, azok kiemelkednek a többi közül, ezek láthatók piros színnel.

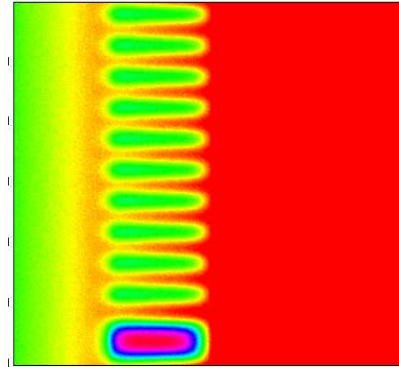
A 50, 51, 52 ábrákon ugyanennek a csatlakozónak a stencil fémfóliájáról készült képek láthatóak. Ezek egy 6x6mm területet mutatnak, a kivágások távolsága 0,5mm. Megfigyelhető, hogy a kép alján található széles kivágás nagyobb jelet eredményez.



ábra 51. A fém stencil fényképezve

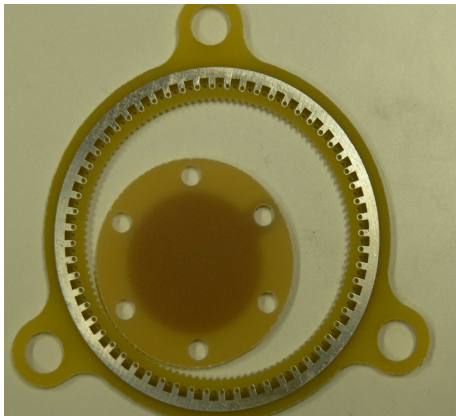


ábra 52. A feltérképezett felület

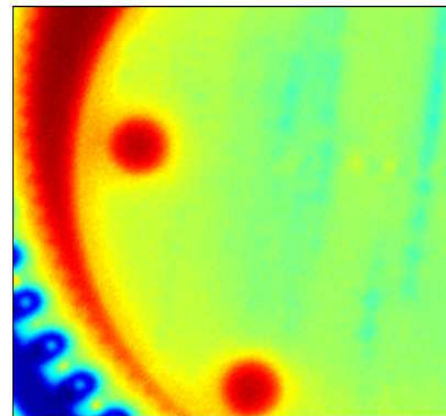


ábra 50. MATLAB segítségével kiértékelve

Az alábbi ábrákon látható, hogy a szenzorfej egy dielektrikum alakját is képes érzékelni. Nyomatott áramkörből készült gyűrűket helyeztem el a mérőszonda alatt.

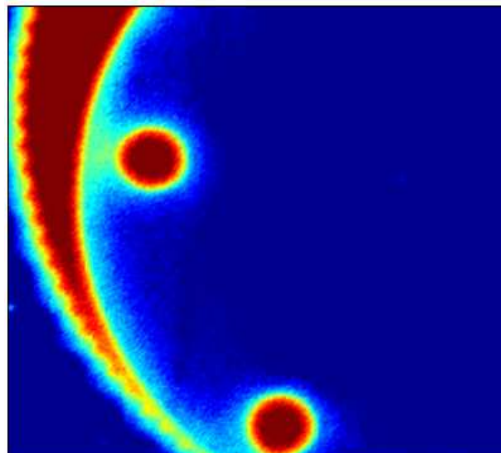


ábra 53. A gyűrűk fényképezve



ábra 54. MATLAB segítségével a kép kiértékelve

A nagyobb gyűrű belseje recés, amely jól látszik a felvételen, ha a képet feldolgoztuk:

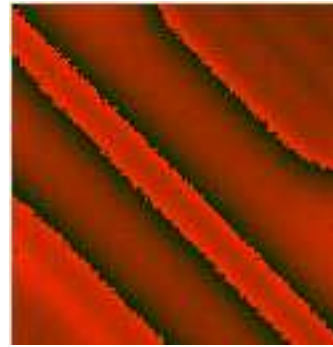


ábra 55. Recék kiemelése

Mivel a mérési módszerünk érintésmentes, így nincs szükség a fém vezetékek kimutatásához kontaktusra. Ez lehetővé teszi, hogy a nyákokon az eltemetett rétegeket is detektáljuk. Ennek bemutatására egy szigetelőszalagot ragasztottam a nyák felületére, és ezen keresztül vizsgáltam a vezetősávok elhelyezkedését.



ábra 56. Szigsawalaggal leragasztott NYÁK

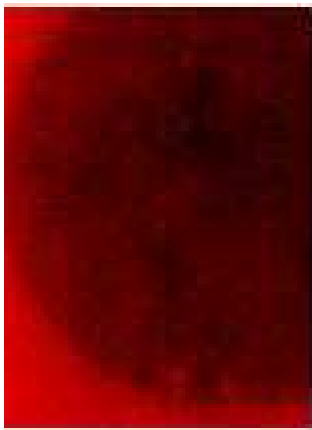


ábra 57. Feltérképezett eltemetett réteg

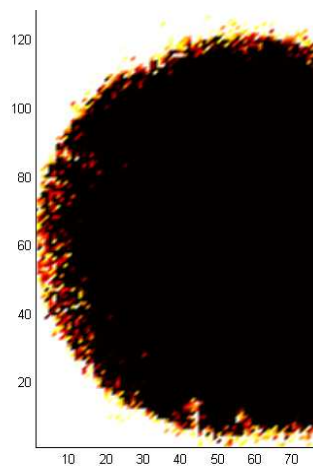
6.3.2 Különböző dielektrikumok elkülönítése:

Mivel a műszer a műszer az anyag dielektromos állandóját méri, így képes a különböző dielektrikumok elkülönítésére is. Ennek demonstrálásának érdekében egy műanyag lapba 20 mm átmérőjű lyukat fúrtam, és ebbe gyurmát nyomtam bele úgy, hogy egy szinten legyen a műanyag szintjével.

Az így kialakuló kép (77*150):

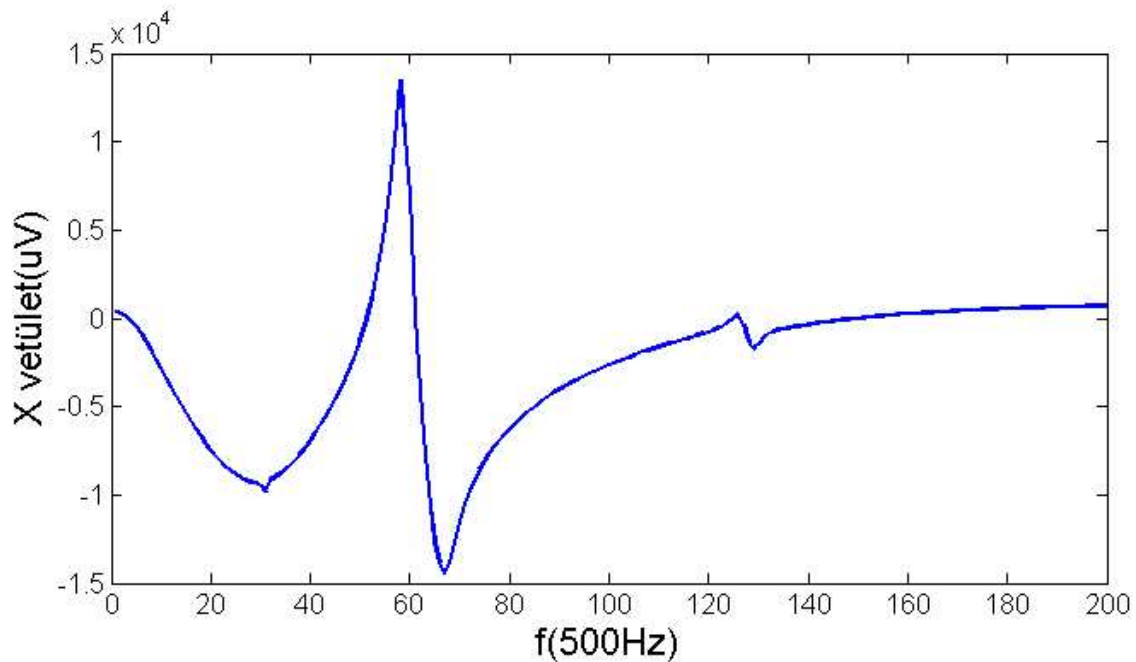


ábra 59. Gyurma a műanyag felszínben



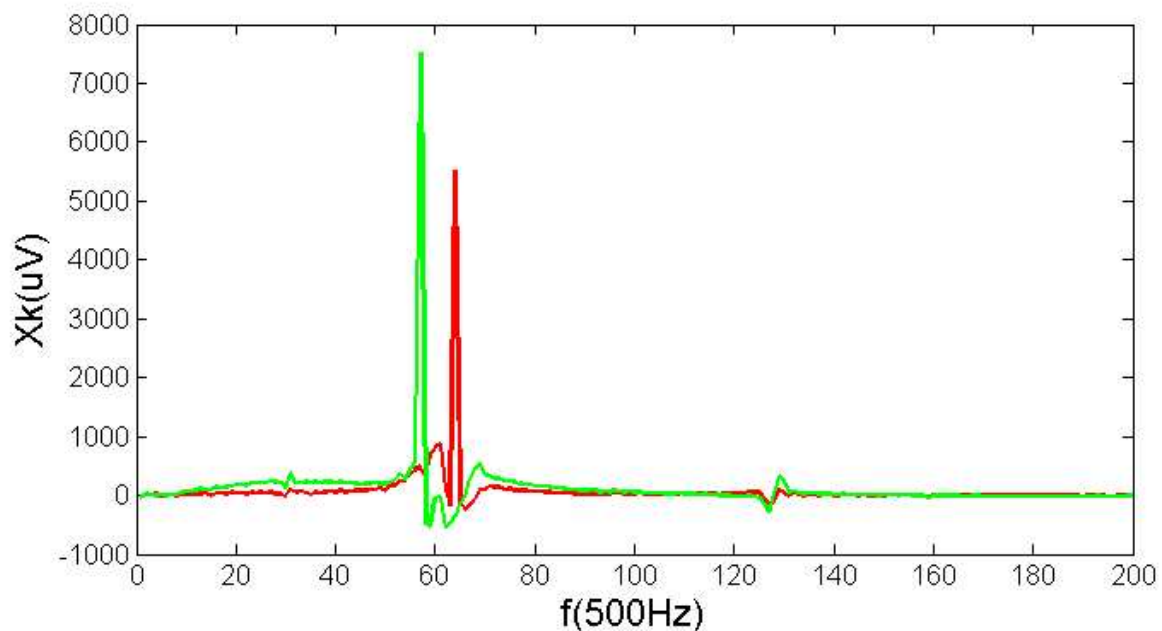
ábra 58. A gyurma jelének kiemelése

Hogy ez a hatás érzékelhető legyen, azaz hogy a műanyag és a gyurma jele elváljon (megkülönböztethetők legyenek), ahhoz a permittivitásnak különböznie kell. Ennek bemutatására, először vegyük fel a szonda üres jelét, azaz, amikor az a levegőben lóg.



ábra 60. A mérőszonda "alapjele" a frekvencia függvényében

Ezt a görbét felvesszük a gyurmára és a műanyagra azonos távolságból, és kivonjuk belőlük ezt a nyugalmi, minta mentes görbét, akkor közös diagramon ábrázolva a következőt kapjuk:



ábra 61. A műanyag és a gyurma jelének frekvenciafüggése

A frekvenciamenetből jól látszik, hogy a mérés frekvenciát jól megválasztva a két dielektrikum jól elkülöníthető.

7. További fejlesztési irányok

7.1 A felbontóképesség növelése

Az első gondolat a szenzorfej felbontóképességének növelése. Ehhez az kell, hogy a két szenzorelektroda közelebb kerüljön egymáshoz, úgy, hogy közéjük egy szigetelt földelektroda is elférjen. Erre a következő lehetőségeket mutatom be:

1 A földelést, és a két elektrodát is a nyáklemez anyagából képezzük ki. Azaz a nyák kétoldalas, az egyik oldalon az elektrodákból csak két pötty látszik, a másik oldalon van elvezetve az elektrodák vezetékvezése.

2 A másik megoldásban vékony fémcsíkát bevonunk szigetelővel, majd erre egy újabb réteg fémmezést, újra szigetelőt, legvégül még egy fémmezést viszünk fel. Így egy koaxiális mérőtűskét kapunk. Ha a tűske elég hegyes volt, és a rávitt rétegek elég vékonyak lehetnek, akkor a tűske végét lecsiszolva felszínre kerülő 3 fémmezés igen nagy felbontású szenzorfejet eredményez.

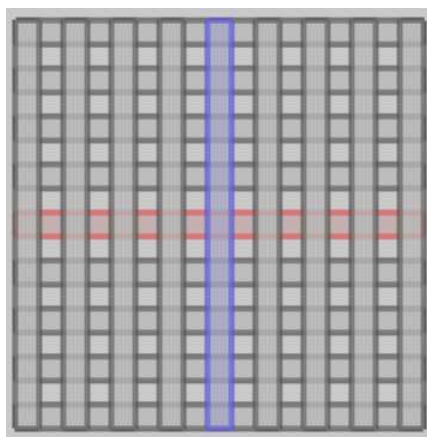
3 Próbáljunk minél vékonyabb fémfelületet találni, és ebből kiképezni a szondát. Egy alufóliát (amelynek vastagsága 10 μ m) eloxálunk, és így szigeteljük a felületét. Ebből a fóliából csíkokat vágunk, amelyeket a következőképpen helyezünk el (keresztmetszeti kép):



A középső félbehajtott alufólia darab lesz az árnyékolás. A jobb oldali a szenzorelektroda, míg a forráselektroda az, amelyet körbevesz az árnyékolás. Ennek jelentősége az, hogy nagyon közel lehet tenni a fegyverzeteket, kevesebb, mint 20 μ m-re.

7.2 A feltérképezés gyorsaságának növelése

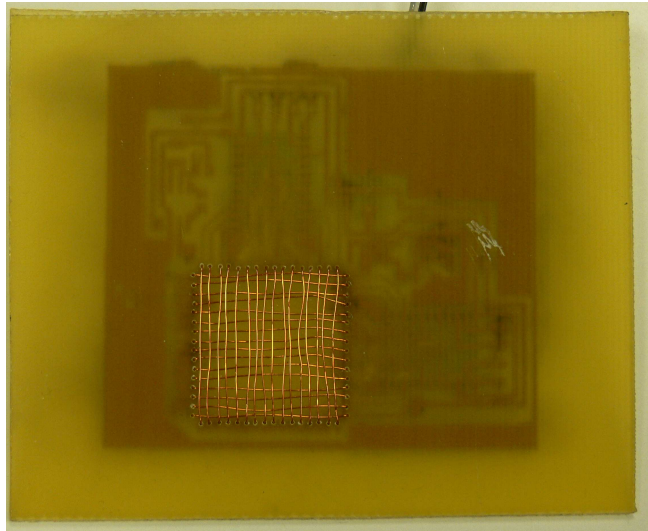
A másik irány, hogy több szenzoregységet próbálunk egyszerre vezérelni, azaz egymáshoz nagyon közel képezzük ki az elektródákat. Ennek előnye, hogy az asztal mozgatása nélkül készíthetünk képeket, így az eljárás gyorsítható, időben gyorsan változó folyamatok nyomon követhetők. Ennek egy megvalósítási lehetősége a következő: vékony fémcsíkokat helyezünk el egy vékony hordozóra párhuzamosan, majd erre merőleges irányban a hordozó másik oldalára. Így kialakul egy rácsozat, ahogy az ábrán látszik.



ábra 62. Mátrix felépítése

Ekkor a pirossal jelölt elektródára kapcsoljuk a forrás jelét, és a kékkel jelölt lesz a szenzor elektróda. A többi fémcsíkot leföldeljük. Ekkor, ahol a két csík metszi egymást, azon pont körül lesz az a terület, amelyről információt gyűjtünk. Ahol pedig a forrás olyan csíkokkal találkozik, amelyek le vannak földelve, ott a hordozó vékonysága miatt kis töltés fog kialakulni, így azoknak a pontoknak a hatása kicsi lesz. Így az információ csak a szenzor és a forrás metszéspontjából származik.

Bár magát ezt a mátrixos elrendeződést, még nem sikerült legyártani, de egy deszkamodellt készítettem, amelyen a működést sikerült tesztelni. Ez látható a 63. ábrán.



ábra 63. Mátrix modellje

Itt egy nyáklap túloldalára szigetelt rézhuzalok lettek beforrasztva, amelyek végei multiplexerrel lettek vezérelve.

Az elrendezésnek további előnye, hogy nem csak 1 pontban, hanem a mátrix összes pontjában mérhetünk egyidejűleg. Ma már elérhetőek olyan sokcsatornás ADC-k, amelyekkel az összes mérőelektrodán megjelenő jel egyidejűleg megmérhető. A különböző forráselektrodákra pedig kapcsolhatunk kissé eltérő frekvenciájú gerjesztéseket. Ekkor a műszert vezérlő mikrokontroller az összes mérőelektrodán érzékeli az összes forráselektroda hatását. Ezeket pedig az eltérő gerjesztőfrekvenciák alapján egy Fourier transzformációval képes elkülöníteni egymástól. Így egyidejűleg több mérési pont nyerhető. Például egy 16×16 mátrix esetén is 256-szorossá növelhető a mérés sebessége ezáltal.

8.Összegzés:

A TDK munkám célja az volt, hogy megvizsgáljam miként változik meg az elektromos tér egy dielektrikum környezetében, ha bekerül elektromos mezőbe, és ezt hogyan lehet felhasználni felületfeltérképezési célokra.

A jelenség felderítése érdekében végeztem analitikus, és numerikus számításokat végesem módszer segítségével. Az analitikus számolásokban kvalitatíven próbáltam leírni a problémát, majd az ebből származó következtetéseket a numerikus szimulációkban igazoltam. A szimulációk segítségével a mérési elrendeződést optimalizáltam.

A gyakorlati megvalósítás során egyre jobb felbontásra képes eszközöket sikerült építenem, amelyekkel képes voltam dielektrikum, és fém felületek feltérképezésére, ezek elkülönítésére. A nyomtatott áramkörök vezetékvezetését sikerült felderítenem. Demonstráltam, hogy a módszer nem csak a felületen húzott, hanem eltemetett rétegekben húzódó vezetékvezetések felderítésére is alkalmas. Bemutattam, hogy az egyes vezetékek leföldelésével azok kiemelhetőek a képen, ez pedig alkalmas az esetleges szakadások, illetve a nem kívánatos rövidzárak kimutatására. Dielektrikum minták vizsgálatai során pedig a különböző anyagú minták elkülönítésére.

A későbbiekben tovább fogok dolgozni a módszer felbontásának és gyorsaságának növelése érdekében.

9.Felhasznált Eszközök:

A Szimulációk elvégzéséhez COMSOL Multiphysics 4.2a programot használtam

DSP7625 LOCK IN

MSD5-300S Mozgatható asztal

Borland Delphi 7 a PC programok megírásához, integrálva a TcomPort csomaggal.

Matlab R2009 szimulációk kiértékeléséhez

BASCOM AVR 2.7 mikrovezérlőre való programok megírásához

AVR Studio 4 a mikrovezérlők felprogramozásához

Cadsoft Eagle 5.4 a nyomtatott áramkörök tervezéséhez

10.Köszönetnyilvánítás:

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek: Dobos Gábornak és Réti Ferencnek a téma kidolgozásában nyújtott segítséghez, és a dolgozat elkészítéséhez.

Továbbá Majoros Tamásnak a szimulációban, és azok kiértékelésében nyújtott segítségével, és útmutatásáért, ezenfelül a nagyon sok ötletért.

A mechanikai műhelynek a mechanika elkészítésért.

Piel Bélának az elektronikai problémák megoldásában nyújtott segítségével, és Újhelyi Ferencnek a léptetőmotoros asztalért és a LOCK IN oda adásáért.

11. Irodalomjegyzék:

[1] Simonyi Károly: Villamosságtan *Tankönyvkiadó, Budapest 1975*

[2] Simonyi Károly Elméleti Villamosságtan *Tankönyvkiadó, Budapest 1967*

[3] Roland Wiesendanger. Scannig Probe Microscopy and Spectroscopy: Methods and Applications. *Cambridge University Press 1994*

[4] Scanning Probe Microscopy Nikodem Tomczak

Kuan Eng Johnson Goh *World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.*

[5] http://www.multiprobe.com/technology/technologyassets/MP-SCM_app_note.pdf

[6] http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf

[7] http://dokutar.omikk.bme.hu/collections/mgi_fulltext/minoseg/2006/03/0304.pdf

[8] C. Schenk, U. Tietze, Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó,

Budapest, 2000

[9] G.G. Raju, Dielectrics in Electric Fields, Marcel Dekker Inc., New York, 2003