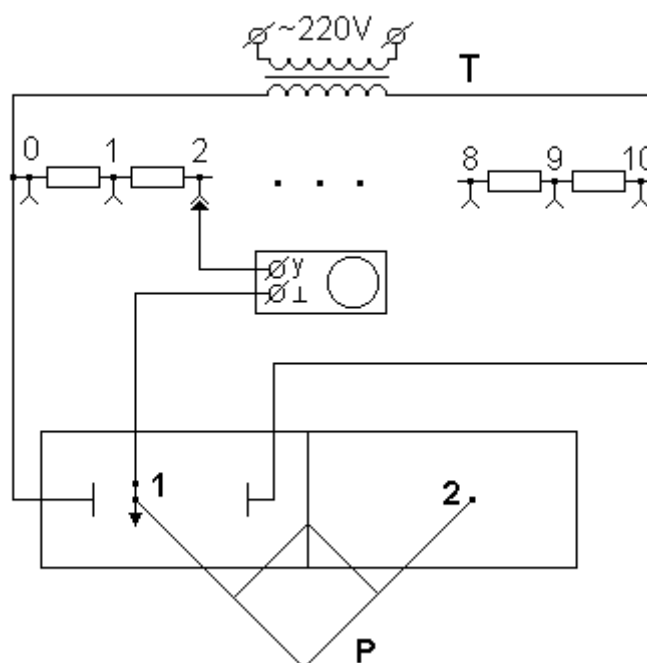


Tallinna Tehnikaülikool Füüsikainstituut	
Üliõpilane : Rait Rand	Teostatud: 28.10.98
Õpperühm : LAE 51	Kaitstud:
Töö nr. 5	OT allkiri:
Elektrostaatiline väli	
<u>Töö eesmärk:</u> Elektrostaatilise välja modelleerimine ja välja parameetrite määramine.	<u>Töövahendid:</u> Elektrolüüsvann, mudelelektroodid, ümberlülitatav pingejagaja.



1. Töö teoreetilised alused:

Elektrostaatiline väli on paigalolevaid laenguid ümbritsev väli. Tema jõuparameetriteks on väljatugevus E , mistõttu väli loetakse määratuks, kui vektor E on teada igas ruumi punktis. Välja geom. Kujutamiseks kasutatakse välja jõujooni. Jõujooned konstrueeritakse nii, et igas välja punktis, mida jõujoon läbib oleks tema puutuva väljatugevuse vektori E suunaline. Jõujoonte tihedus on võrdeline välja tugevusega.

Elektrostaatilise välja energeetiliseks parameetriks on potentsiaal φ . Võrdse potentsiaaliga välja punktid moodustavad ekvipotentsiaalpinna ($\varphi = \text{const.}$). Välja jõujooned on alati risti ekvipotentsiaalpindadega. Seetõttu on mõlemad välja geomeetriselise kujutamise meetodid samaväärsed.

Igas elektrostaatilise välja punktis kehtib seos

$$E = -\text{grad } \varphi, \quad (1)$$

s.t. E on alati suunatud potentsiaali vähenemise suunas.

Elektrostaatilise välja tugevuse otsene mõõtmine ei ole võimalik, kuna igasuguse mõõteriista sisseviimine kutsub esile välja moonumise.

Lahendus seisneb selles, kui saaks anda metallist sondile sama potentsiaali, mis on välja punktis, kuhu sond asetatakse. Seejuures peab olema täidetud ilmselt 2 tingimust: peab teadma, et sondi potentsiaal on kindlasti sama, mis väljal selles punktis, ja seda sondi potentsiaali peab olema võimalik mõõta. Need tingimused eeldavad elektrivoolu olemasolu sondi ahelas. Seega peaks sond ise omandama välja punktis laengu, mis võrdsustaks tema potentsiaali välja punkti potentsiaaliga. Selleks peavad uuritava välja piirkonnas olema vabad laengu kandjad, mis, liikudes sondile muudavad ta potentsiaali seni, kuni see saab võrdseks uuritava välja potentsiaaliga. Selline protsess on võimalik vaid plasmas.

Vaatleme nüüd sondi potentsiaali φ_s (õigemini sondi ja mingi tingimisi nullise potentsiaaliga punkti potentsiaalide vahe) mõõtmise võimalusi. Selle potentsiaalide vahe $\Delta\varphi_s$ mõõtmine voltmeetriga kutsub esile suure vea, mille suurus pealegi sõltub mõõdetavast potentsiaalide vahest. Põhjus seisneb selles, et voltmeeter mõõdab pinget oma sisetakistusel, mis tekib tänu voolule läbi voltmeetri. See vool on seda suurem, mida suurem on voltmeetri klemmide potentsiaalide vahe $\varphi_1 - \varphi_2$. Kui ühendada voltmeeter sondi ($\varphi_1 = \varphi_s$) ja mingit teist potentsiaali (näiteks $\varphi_2 = 0$) omava punktiga, siis hakkab sondi laeng muutuma ja koos sellega ka tema potentsiaal, mistõttu voltmeetri registreeritud pinge ei vasta välja potentsiaalile nullpunkti suhtes. Erinevus tegelikust välja potentsiaalidest on seda suurem, mida suurem on voolutugevus voltmeetris, s.t. mida kõrgem on välja potentsiaal ja väiksem voltmeetri sisetakistus. Siit järeldub selgelt voltmeetri kõlbmatus sondi potentsiaali mõõtmiseks.

Teine võimalus seisneb nn. kompensatsiooni- ehk sondi nullvoolu meetodi kasutamises. Siin ühendatakse sond läbi tundliku vooluregistraatori (nn. nullgalvanomeetri) reguleeritava vooluallika ühe klemmiga, kusjuures selle teine klemm omab nullpotentsiaali. Reguleerides vooluallika väljundpinget, saavutatakse olukurd, kus nullgalvanomeeter ei registreeri voolu sondi ahelas.

Kompensatsioonimeetodil mõõtmise on võimalik juhul, kui uuritavast ruumipiirkonnast ajaühikus sondile liikuvate laengukandjate arv s.t. voolutugevus I_s vastab tingimusele:

$$I_s \gg I_g \quad (2)$$

sest vastasel juhul muutub sondi laeng ja seetõttu ka tema potentsiaal.

Sondi nullvoolu meetodit kasutatakse välja jaotuse määramiseks plasmas, sest seal on tingimus 2 realiseeritud, kuid nõrgalt ioniseeritud gaasides ja ka vaakumis ei ole see täidetav. Kehtib ka elektrostaatilise välja mõõtmise kohta dielektrikutes. Seega, tuleb kasutada välja modelleerimist, kuna potentsiaalijaotust vaakumis või dielektrikus ei ole võimalik mõõta.

Füüsikaliseks modelleerimiseks nim. ühe füüsikalise nähtuse uurimise asendamist teise nähtuse uurimisega tingimisel, et mõlemad mudelid omavad analoogseid matemaatilisi mudeleid.

Elektrostaatilise välja mudelina saab kasutada voolutiheduse välja elektrolüüdis.

Vooluväli on igas välja punktis määratud voolutiheduse vektoriga j . Vooluvälja kujutatakse voolujoontega, mis ühtivad laengukandjate liikumise trajektooriga. Voolujoone igas punktis on j puutujasuunaline. Voolujoonte tihedus on suurem seal, kus on suurem voolutihedus j .

Siit on ka näha, et vooluvälja tihedus ühtib täielikult elektrostaatilise välja kirjeldusega. Kuid lisaks peab olema soovitatavalt lineaarne seos neid nähtusi iseloomustavate parameetrite vahel. Selliseks seoseks on Ohmi seadus diferentsiaalkujul.

$$j = \sigma * E, \quad (3)$$

kus σ on keskkonna juhtivus, mis Ohmi seaduse kehtivuse korral ei sõltu elektriväljatugevusest E .

Voolutihedus on avaldatav ka laengukandjate kontsentratsiooni n , laengu e ja triivikiiruse v kaudu:

$$j = n * e * v = n * e * b * E \quad (4)$$

kus b on laengukandjate liikuvus.

Seostest 3 ja 4 tuleneb, et $\sigma = n * e * b$. Järelikult σ on väljatugevusest sõltumatu, kui E muutusega ei kaasne laengukandjate arvu ja nende liikuvuse muutusi. Need tingimused on täidetud metallides ja ka elektrolüütides, näiteks soolade vesilahuses. Samuti ei sõltu elektrolüüdis väljatugevusest ka laengukandjate liikuvus. Need asjaolud ongi aluseks elektrostaatilise välja modelleerimisele nn. elektrolüüsivanni meetodil.

See meetod seisneb selles, et elektroode ümbritseva uuritava välja piirkond täidetakse nõrga elektrolüüdiga (kraanivesi) ja uuritava vooluvälja jaotust elektrolüüdis, mis eelöeldu põhjal langeb üldjoontes kokku elektrostaatilisest välja jaotusega.

Elektroodide pingestamisel alalisvooluallika abil toimub elektrolüüs, millega kaasneb elektroodidel elektrolüüdi komponentide eraldumine ja elektroodide aine sattumine elektrolüüti. See viib nii elektrolüüdi kui ka elektroodide pindade omaduste muutumiseni. Samuti tekib ka nn. elektroodide polarisatsioon, mis seisneb püsiva, ajast ja voolu tugevusest sõltuva ruumilaengu tekkimises metallelektroodidel pinna vahetus läheduses. See ruumilaeng moonutab vooluvälja jaotust elektrolüüdis. Nendel põhjustel on elektrostaatilisest välja modelleerimine alalisvoolu välja abil peaaegu võimatu.

Seetõttu kasutatakse modelleerimiseks vahelduvvoolu välja. Kui voolu suund elektrolüüdis perioodiliselt muutub, siis elektrolüüsiga kaasnevad protsessid on tunduvalt nõrgendatud. Kuna enamik ioone liigub piki voolujoont võnkuvalt, jäädes tasakaaluasendi lähedale elektrolüüdis, siis ei toimu nende kogunemist elektroodide piirkonda ja seega ka elektroodide polarisatsiooni. Samuti väheneb tunduvalt elektroodide pindade ja elektrolüüdi koosseisu muutus ajas sest ühel poolperioodil toimub ühel elektroodil näiteks hapendusprotsess, siis teisel poolperioodil asendub see taandusprotsessiga, mis suurel määral takistab nii elektroodide aine sattumist elektrolüüti, kui ka elektrolüüdi aine väljasadestumist.

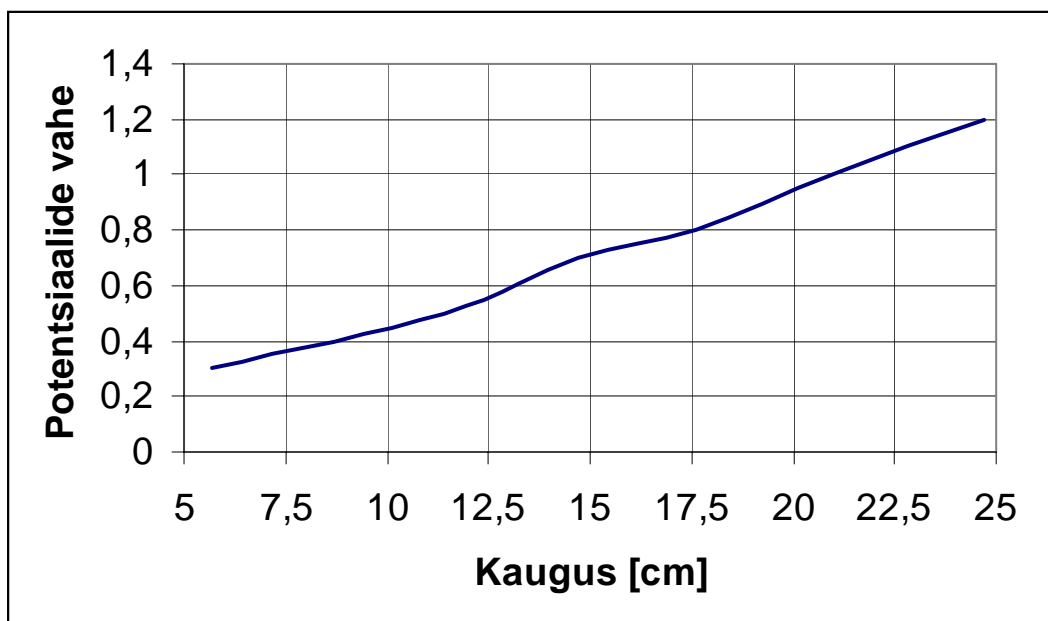
Valemitest 1 ja 3 tuleneb, et $j = -\sigma \cdot \text{grad}\phi$. Seega on voolujooned risti ekvipotentsiaalpindadega elektrolüüdis. Seetõttu võib vooluvälja jaotust uurida samuti sondi abil. Kuna elektrolüüdis on pingestatud elektroodide korral elektrivool, siis temasse paigutatud sond omandab kohe vastava potentsiaali, mida nüüd on lihtne määrata eespool kirjeldatud kompensatsioonimeetodil.

Tavaliselt teostatakse lihtsuse mõttes välja tasapinnaline modelleerimine, s.t. , et uuritakse vooluvälja ühes tasapinnas. Sel juhul elektrolüüdi vanni teha väikese sügavusega ja määrata vooluvälja jaotust elektrolüüdi pinnalähedases kihis. Ekvipotentsiaalpinnad asenduvad siis ekvipotentsiaaljoontega, mida on tunduvalt lihtsam leida.

Kuna elektroodid on väikese voolutiheduse tõttu peaaegu ekvipotentsiaalsed siis määratakse potentsiaalijaotus ühe elektroodi suhtes. Leitud ekvipotentsiaaljoonte abil konstrueeritakse välja jõujooned.

Elektrolüüdivannis võib modelleerida ka pingestamata elektroodide mõju pingestatud elektroodide poolt tekitatud väljale. Pingestamata elektrood on ka ekvipotentsiaalne. Dielektriliste kehade mõju elektrostaatilisest välja jaotusele on elektrolüüdivannis modelleerida tunduvalt ja seda siin ei käsitle.

Ekvipotentsiaaljoonte järgi konstrueeritud graafikud:



a.) Graafik $\varphi=f(r)$

b.) Graafik $E=f(r)$

Kuna $E = -\text{grad}\varphi$ ehk, teisisõnu E on suunatud φ vähenemise suunas, siis on tegu sama graafikuga, mis eelmina, ainult kalle on vastupidi, ehk negatiivne.

