

Samostojne eksperimentalne laboratorijske vaje

Priročnik za opravljanje laboratorijskih vaj v š.l. 2016/17

Dejan Križaj, Edi Bulić, Sara Stančin, Aleš Berkopec, Samo Penič

Kazalo

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Semena v električnem polju | 7 |
| 1 | Namen eksperimenta | 7 |
| 2 | Opis eksperimenta | 7 |
| 3 | Poskusi | 8 |
| 4 | Dodaten razmislek | 9 |
| 5 | Poišči v literaturi | 9 |
| 2 | Elektrostatični “kompas” | 11 |
| 1 | Namen eksperimenta | 11 |
| 2 | Opis eksperimenta | 11 |
| 3 | Poskusi | 11 |
| 4 | Poišči v literaturi | 12 |
| 3 | Izračun električnega polja v okolici linijske elektrine | 13 |
| 1 | Namen eksperimenta | 13 |
| 2 | Opis eksperimenta | 13 |
| 3 | Poskusi | 14 |
| 4 | Dodaten razmislek | 15 |
| 5 | Poišči v literaturi | 15 |
| 4 | Električna sila, preboj | 17 |
| 1 | Namen eksperimenta | 17 |
| 2 | Opis eksperimenta | 18 |
| 3 | Poskusi | 18 |
| 4 | Poišči v literaturi | 19 |
| 5 | Elektrofor | 21 |
| 1 | Namen eksperimenta | 21 |
| 2 | Opis eksperimenta | 21 |
| 3 | Poskusi | 22 |
| 4 | Dodaten razmislek | 23 |
| 5 | Poišči v literaturi | 23 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 6 | Izračun elektrostaticnega polja s pomočjo računalnika | 25 |
| 1 | Namen eksperimenta | 25 |
| 2 | Opis eksperimenta | 26 |
| 3 | Poskusi | 26 |
| 4 | Dodaten razmislek | 26 |
| 5 | Poišči v literaturi | 26 |
| 7 | Električna vezja, 1. del | 27 |
| 1 | Namen eksperimenta | 27 |
| 2 | Opis eksperimenta | 27 |
| 3 | Poskusi | 28 |
| 4 | Poišči v literaturi | 28 |
| 8 | Električna vezja, 2.del | 29 |
| 1 | Namen eksperimenta | 29 |
| 2 | Opis eksperimenta | 29 |
| 3 | Poskusi | 31 |
| 4 | Dodaten razmislek | 31 |
| 5 | Poišči v literaturi | 32 |

Predgovor

V letu 2016 vam ponujamo kot alternativo običajnemu načinu izvajanja laboratorijskih vaj še nekoliko drugačen, bolj raziskovalen način izvajanja. V klasičnem načinu izvajanja dobijo študenti natančna navodila za izvajanje vaje korak po koraku in vpisujejo rezultate kot jih vodi skripta za izvajanje laboratorijskih vaj.

V eksperimentalnem načinu dobi študent bolj splošna in krajša navodila za izvajanje več krajših poskusov, ki jih reši samostojno, brez natančnega vodenja oziroma sugeriranja na kakšen način organizira izvajanje laboratorijske vaje. Pri takem načinu izvajanja pričakujemo, da bo vsak študent ali skupina študentov, ki bo izvajala določene eksperimente imela različne rezultate, jih tudi na različen način pripravila in argumentirala. Tak način dela je seveda bolj zahteven, saj si mora vsak sam zamisliti način izvajanja eksperimenta in opisa rezultatov. Zato je namenjen predvsem tistim študentom, ki imajo morda že nekaj več izkušenj z izvajanjem eksperimentov in tudi želijo biti pri delu bolj samostojni, raziskovalni.

Študent, ki se bo odločil za tak način izvajanja bo dobil predloge z opisi eksperimentov, ne pa tudi predloge za vpisovanje rezultatov. To mora pripraviti, pri čemer naj upošteva vnaprej pripravljena vprašanja (hipoteze) in na njih odgovori z izvajanjem eksperimenta(ov).

Študenti, ki delajo po klasičnem programu uporabljajo pri laboratorijskih vajah skripto za Laboratorijske vaje, v kateri so naprej priprave na laboratorijsko vajo, ki jo rešijo doma z domačim delom ter nato laboratorijski del, ki ga opravijo v laboratoriju na fakulteti.

Študenti, ki delajo po eksperimentalnem sistemu nimajo predhodnih domačih nalog, morajo pa po opravljenih eksperimentih pripraviti poročilo, ki ga po elektronski pošti pošljejo asistentu, ki ga imajo na vajah. Dobro poročilo vsebuje preprosto (na roke narisano) skico eksperimenta, opis eksperimenta oz. meritev, primeren zapis eksperimentov in rezultatov.

Dober opis eksperimenta vsebuje preprosto skico, rezultati pa so lahko v obliki opisa ali tabele/grafa kot rezultat več meritev. Grafičen opis je posebej zaželen, saj omogoča vizualno predstavitev odvisnosti določenih veličin/parametrov. Pri tem lahko uporabljajo programe kot so Excel ali Linux alternativo LibreOffice, še bolj pa (še posebno za izris grafov s krivuljami) priporočamo uporabo programov kot so Matlab ali Matematica ali alternativno Octave ali Python. Nekaj o osnovni uporabi teh programov piše na spletni strani <http://lbm.fe.uni-lj.si> v Meniju ŠTUDIJ.

prof. dr. Dejan Križaj

1. vaja

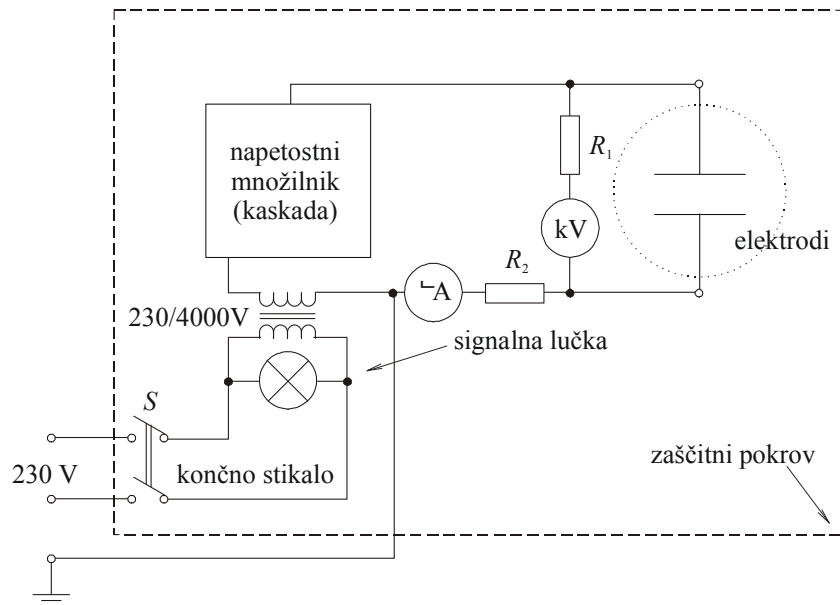
Semena v električnem polju

1 Namen eksperimenta

Električnega polja ne moremo meriti in opazovati neposredno. Pa vendar so znani pojavi, s katerimi lahko detektiramo naboje in opredelimo prisotno električno polje. Če v električno polje postavimo prevoden delec, bo v njem prišlo do prerazporeditve naboja, kar imenujemo influenza. Podolgovat prevoden delec se v električnem polju postavi tako, da je njegova daljša os vzporedna s smerjo polja. Enako se postavi tudi neprevoden delec, katerega dielektričnost je večja od dielektričnosti medija. V eksperimentu bomo obravnavali usmerjanje semenk v električnem polju. Suhe semenke imajo dielektričnost večjo od dielektričnosti medija (olja). Ker pa semenke vedno vsebujejo vsaj določeno količino vode, so tudi nekoliko prevodne. Zaradi teh dveh lastnosti se usmerjajo vzporedno z električnim poljem, ki so mu izpostavljene.

2 Opis eksperimenta

Seznani se z merilnim priborom. Pri vaji se uporablja visokonapetostni vir napetosti 25 kV, ki od uporabnika zahteva kar največjo previdnost. Vsi deli, ki so pod visoko napetostjo, so zaščiteni z zaščitnim steklenim pokrovom.



Slika 1.1: Shema vezja za prikaz elektrostaticnega polja.

Prepovedano je dviganje zaščitnega pokrova, preden se napetost na V-metru zniža na nenevarno nizko vrednost (pod 100 V). Prepovedano je pritiskanje na vklopni gumb ali končno stikalo pri dvignjenem zaščitnem pokrovu.

Primerjaj shemo z elementi v napravi za prikaz elektrostaticnega polja. Pri poskusu z uporabo semen po vrsti opazuj električno polje med

- naelektrenima ravnima ploščatima elektrodama,
- naelektreno ploščato in koničasto elektrodo,
- koncentričnima naelektrenima okroglima elektrodama.

Za vsako različico poskusa ob dvignjenem pokrovu namesti ustrezni elektrodi na približno medsebojno razdaljo 4 cm, visokonapetostne priključke priključi na kontakte elektrod, spusti zaščitni pokrov in s pritiskom na gumb vklopi napetost.

3 Poskusi

Iz usmerjenosti semen skiciraj silnice električnega polja za vse tri opazovane primere poskusa. Razloži kako se in zakaj pri poskusih postavijo podolgovati prevodni delci. Na podlagi silnic električnega polja skiciraj še ekvipotencialne ploskve, za katere velja, da so vedno pravokotne na silnice električnega polja. Preveri tudi, kako vpliva polariteta napetostnega vira na obliko razporeditve delcev v prostoru med elektrodama.

4 Dodaten razmislek

Odgovori na naslednji vprašanji:

- a. Kaj je elektroforeza in kje se uporablja v praksi?
- b. Kaj je dielektroforeza in kakšna je razlika med dielektroforezo in elektroforezo?

5 Poišči v literaturi

V literaturi poišči porazdelitve polja in potenciala tudi za druge strukture.

2. vaja

Elektrostatični “kompas”

1 Namen eksperimenta

seznanitev z elektrostatičnimi silami in delovanjem elektrostatičnega “kompasa”.

2 Opis eksperimenta

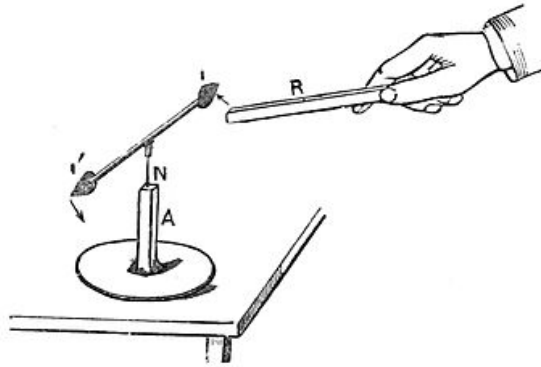
V eksperimentu boste uporabili preprost “inštrument”, ki je na pogled videti kot kompas. Podoben inštrument je za merjenje električnih sil predlagal že leta 1600 *William Gilbert*, ki je bil sicer tedaj bolj znan kot osebni zdravnik kraljice Elizabete 1. Gilbert je tudi sicer en pomembnejših mož v zgodovini elektrike. Napisal je morda prvo znanstveno knjigo “*de Magnete*”, v kateri je natančno opisoval poskuse z elektriko in magnetiko ter trdil, da le eksperimenti lahko dajo pravilen odgovor na teoretična razpravljanja. Tedaj (l. 1600) razlika med električnimi in magnetnimi silami ni bila jasna, Gilbert pa je uporabil napravo, ki jo je imenoval *Versorium* (lat. vrteti naokoli) in z njo opravil razne poskuse iz elektrike.



Slika 2.1: Versorium

3 Poskusi

Palico predhodno naelektrite s priloženo krpico in jo postavite na stojalo. Na enak način naelektrite tudi druge palice. Nato se z drugo naelektreno palico približate palici na stojalu in ugotavljajte ali se palica na vrtljivem stojalu premakne in ali je sila privlačna ali odbojna. Ugotavljajte katere materiale je mogoče bolj močno naelektriti in katere manj.



Slika 2.2: Odbojna sila med palico in "kompasom"

- Kateri material se je najbolj naelektril?
- Kateri material se je najmanj naelektril?
- Če naelektrite en del palice, ali se prenese naelektritev tudi na drugi del palice?
- Med katerima palicama pride do privlačne sile?
- Kako bi naboj na palici prenesli na prevodno palico?

4 Poišči v literaturi

V literaturi poiščite in opišite bolj moderne pristope za merjenje elektrenja teles. (možne ključne besede: measuring, (contact) electrification, charging, ...)

V literaturi poiščite in opišite poskus, kjer se raziskuje vpliv elektrenja. Na primer, lahko se osredotočite na elektrenje obleke, človeka, avtomobila, tekočin itd.

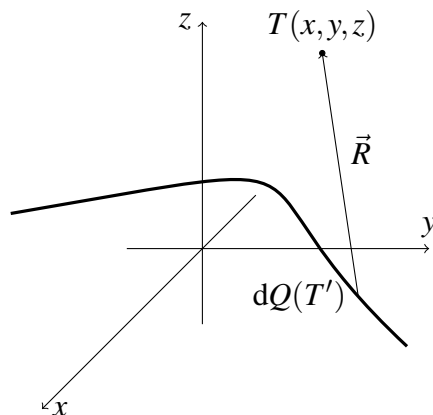
3. vaja

Izračun električnega polja v okolici linijske elektrine

1 Namen eksperimenta

spoznati preprost način numeričnega izračuna električne poljske jakosti v okolici poljubne strukture, uporaba superpozicije

2 Opis eksperimenta



Slika 3.1: Električno polje v okolici poljubne krivulje.

V prostoru se nahaja krivulja poljubne oblike, ki je enakomerno naelektrena z nabojem Q . Izhajamo iz enačbe za izračun diferenciala polja v poljubni točki T

$$d\vec{E}(T) = \frac{dQ(T')}{4\pi\epsilon_0 R^2} \vec{R}, \quad (3.1)$$

kjer je T' točka, kjer se nahaja dQ , vektor \vec{R} pa je vektor, ki začenja v točki T' in končuje v točki T . Čeprav je naboj porazdeljen po krivulji, lahko za naboj na neskončno kratkem odseku dl rečemo, da je točkasti.

Vektor električne poljske jakosti \vec{E} v točki T bi dobili s seštevanjem prispevkov $d\vec{E}(T)$. Takšno seštevanje ali superpozicijo izvedemo z integralom.

$$\vec{E} = \int d\vec{E}(T) \quad (3.2)$$

Za poljubno obliko razporeditve nabojev integral ni vedno analitično rešljiv, zato posežemo po numeričnih metodah. Naredimo poenostavitev enačbe 3.1, tako, da infinitezimalni naboj dQ nadomestimo s končno majhnim nabojem ΔQ na neki končno majhni razdalji Δl . Če so delitve krivulje Δl dovolj majhne, potem lahko še vedno predpostavljamo, da “sestavljamo” vektor električne poljske jakosti z nizom točkastih nabojev po enačbi

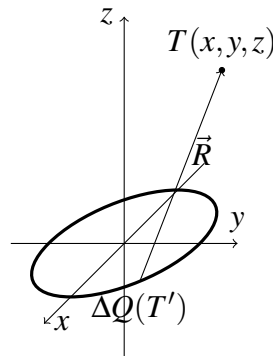
$$\Delta\vec{E}(T) = \frac{\Delta Q(T')}{4\pi\epsilon_0 R^2} \vec{R}. \quad (3.3)$$

Skupna električna poljska jakost je enaka vsoti končnih prispevkov $\Delta\vec{E}(T)$. Vsak prispevek odseka, ki ga računamo, indeksiramo z naravnim številom i , kjer je n število odsekov.

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \Delta\vec{E}_i(T) \quad (3.4)$$

Pri vaji se bomo osredotočili na izračun električne poljske jakosti v okolici enakomerno naelektrenega obroča.

3 Poskusi



Slika 3.2: Električno polje v okolici naelektrenega obroča.

Pripravimo si parametre za nalogo. Obroč z radijem $a = 0,1$ m je enakomerno naelektren z nabojem $Q = 1$ nC. Obroč leži v ravnini x – y tako, da njegova os sovpada z osjo z . Obroč bomo razdelili na $n = 100$ odsekov. Točka T ima poljubne koordinate (x, y, z) .

Problem izračuna električne poljske jakosti lahko razbijemo na štiri podprobleme:

- določiti enačbo krivulje (krožnice),
- določiti velikost naboja na posameznih odsekih (ΔQ),
- določiti vektor \vec{R} za vsak odsek na krožnici,

d. vektorsko sešteti vse prispevke izračunane po enačbi 3.3.

V poljubnem programskem jeziku sprogramiramo algoritem za reševanje zgornjih podproblemov. Program preizkusimo na primerih, za katere poznamo analitične rešitve (električna poljska jakost v osi obroča). Na preizkusih preverimo pravilnost algoritma.

4 Dodaten razmislek

Odgovorite na vprašanja:

- a. Kakšen je vektor električne poljske jakosti v središču obroča ($z = 0$)?
- b. Kakšen je vektor električne poljske jakosti na osi obroča na poljubni višini?
- c. Kako bi v program vključili neenakomerno naelektritev obroča $q(\varphi) = q_0 \sin(\varphi)$, kjer je q_0 konstanten?
- d. Kako bi spremenili program, da bi izračunali električno poljsko jakost v okolici enakomerno naelektrenega elipsastega obroča?
- e. Sestavite strukturo iz dveh koaksialnih obročev, ki bi modelirali krožni elektrodi pri 1. laboratorijski vaji. Sestavite program, ki izračuna in izriše električno poljsko jakost med obročema.

5 Poišči v literaturi

4. vaja

Električna sila, preboj

1 Namen eksperimenta

Čeprav elektrostatične sile v elektrotehniki ne izkoriščamo tako pogosto kot magnetne sile (motor, magnet, ...), pa ima elektrostatična sila kar nekaj zanimivih aplikacij. Najprej spomnimo na neželen, a dobro poznan pojav: kopičenje prašnih delcev na površinah. Ko prašni delci – zaradi premikanja zračnih tokov – drsijo ob površini, zaradi trenja površinam oddajo nekaj naboja, sami pa postanejo nasprotno naelektreni. Ob površini se tako pojavi električno polje, ki jih privlači, zato se tam tudi zadržijo. To je razlog, da moramo takšne površine (npr. armaturno ploščo v avtomobilu) pogosto čistiti. Celo sredstva za preprečevanje tega pojava so dobila ime po elektro“statiki”: “antistatic spray”.

Druga aplikacija istega pojava je “lakiranje s praški” oz. “powder coating”. Ta pristop v zadnjem času izpodrinja klasično nanašanje barv. Princip delovanja je naslednji. Telesa, ki jih želimo pobarvati, močno naelektrimo z nabojem nasprotnega predznaka, kot je nabita praškasta barva. Tako se v njihovi okolici pojavi močno polje, ki povzroča precej bolj učinkovito oprijemanje barve, kot je to pri običajnem nanosu tekoče barve z lakirno pištolo. Odpadne barve skorajda ni, saj ves prah, ki ne zadane barvanega telesa, lahko ponovno uporabimo v procesu elektrostatičnega nanašanja barve. Še eno zelo razširjeno uporabo elektrostatične sile omenimo: v vsakem televizorju s katodno cevjo (slikovno elektronko) žarek elektronov riše sliko na zaslon. Kaj je ta žarek in kako nastane? Žarek so gibajoči elektroni, ki se v slikovni elektronki trgajo iz katode in pospešijo v električnem polju med katodo in anodo. Od tam pa odletijo do zaslona in na njem rišejo sliko. Pri prvem poskusu te vaje bomo opazovali silo na prevodno in izolacijsko telo v električnem polju ter posledično gibanje telesa.

Najslikovitejša demonstracija preboja je zagotovo strela, ki nastane, ko naelektrene zračne gmote med seboj izmenjajo naboj, ali pa ga izmenjajo z zemeljskim površjem. Strela, ki v nekaj mikrosekundah švigne skozi zrak, v njem ne pusti trajnejših posledic; zrak se “premeša” in prevoden kanal se poruši. Drugače je, če prenapetost po vodnikih električnega omrežja pride do elektronskih naprav. Visoka poljska jakost lahko npr. povzroči preboj dielektrika – izolatorja v kondenzatorju, pri katerem pa se prevodni kanal ohrani tudi po preboju in je zato trajno uničen. Zapomnimo si: do preboja pride, če električno polje v izolatorju preseže njegovo električno prebojno trdnost.

Preboj pa srečamo tudi drugje. Preboj kot oblok, ki se “vleče” med sponkama stikala, srečamo pri izklopu induktivnega bremena. Rezultat so ožgani in slabše prevodni kontakti stikala. Preboj pa ni vedno neželjen. V koristne namene se izkorišča pri vžiganju z iskro. Ta princip se uporablja pri bencinskih motorjih, pri katerih vžigalna tuljava generira visokonapetostni impulz, ki povzroči preboj med kontaktoma svečke in vžig

zmesi bencina in zraka. Podoben pristop vžiga se uporablja tudi pri plinskih štedilnikih in pečeh. Pri drugem poskusu te vaje se bomo spoznali s prebojem v kontroliranem, laboratorijskem okolju. Videli bomo, da do prebojev navadno pride ob konicah ali na robovih. Ob ostrih konicah lahko pride celo do kontinuiranega trganja elektronov – žarenja (korone) in ne klasičnih prebojev v obliki iskre. Preverili bomo, ali polariteta ostre elektrode vpliva na velikost toka pri konstantni napetosti in razdalji do ploščate elektrode. Preverili bomo vpliv prisotnosti dielektrikov na preboj.

2 Opis eksperimenta

Visokonapetostni vir priključite na omrežno napetost preko regulacijskega transformatorja. Napetost na regulacijskem transformatorju naravnajte na 230 V.

Prepovedano je dviganje zaščitnega pokrova, preden se napetost na V-metru zniža na nenevarno nizko vrednost (pod 100 V). Prepovedano je pritiskanje na vklopni gumb ali končno stikalo pri dvignjenem zaščitnem pokrovu.

3 Poskusi

Preizkusite vpliv električne sile na plastično kroglico med naelektrenima prevodnima ploščama/elektrodama. Spreminjajte razdaljo med ploščama. Kaj opazate? Ali se kroglica naelektri? Ali se kaj spremeni, če kroglico navlažite s slano vodo? Razložite ugotovitve eksperimenta.

Preizkusite tudi vpliv električne sile na kroglico prebarvano s prevodno barvo. Kdaj se ta kroglica naelektri? Kakšen je predznak elektrine na kroglici? Kako ocenjujete odvisnost električne sile na kroglico od razdalje med naelektrenima prevodnima ploščama? Argumentirajte svoj odgovor. Skicirajte ekvipotencialke v prostoru med elektrodama in pripadajoče gostotnice (silnice) v primeru, ko se žogica dotika ene elektrode in v primeru, ko je žogica v letu med elektrodama. Ali med elektrodo in kroglico prihaja do preboja? Kdaj in zakaj? Naštejte, po čem vse opazate preboj. Katera snov pri tem prebija?

Preizkusite vpliv napetosti med elektrodama, ki jo spreminjate s pomočjo regulacijskega transformatorja, na električno silo na prevodno prebarvano kroglico. Pozor! Napetost na primarni strani ne sme nikdar preseči 230 V. Kako ocenjujete odvisnost električne sile na kroglico od napetosti med elektrodama? Argumentirajte svoj odgovor.

Kroglico umaknite izven naprave. Napetost na regulacijskem transformatorju naravnajte na 230 V.

Spreminjajte razdaljo med elektrodama in opazujte preboje med njima. Pozorni bodite, da se elektrodi ne dotikata. Zapišite in pojasnite opažanja.

Med elektrodi vrnite dielektrično ploščo. Kako ta vpliva na preboje? Zapišite ugotovitve eksperimenta ter jih razložite. Ali je kritična razdalja med elektrodama, pri kateri pride do preboja, večja ali manjša, ko sta med njima zaporedno sloj zraka in plošča iz kakovostnega dielektrika (velike dielektričnosti), kot pa, če je med elektrodama samo zrak? Zakaj?

Na elektrodo (s pomočjo magneta) pritrdite iglo. Preizkusite kako to vpliva na preboj. Skicirajte ekvipotencialke v prostoru med elektrodama in pripadajoče gostotnice (silnice). Preizkusite različne kombinacije: igla s topo ter ostro konico, le ena igla ali vsaka na svoji elektrodi, z in brez dielektrične plošče v bližini igel. Kdaj in kje prihaja do prebojev? Katera snov prebija? Argumentirajte svoje odgovore. Naštejte, po čem vse opazate preboj. Kako bi lahko preboj videli bolj razločno?

Na eno od elektrod pritrdite iglo z ostro konico. Izrišite graf odvisnosti prebojnega toka med elektrodama od razdalje med njima in sicer enkrat, ko je igla pritrdjena na pozitivno naelektreno ploščo in drugič, ko je

pritrjena na negativno ploščo. S pomočjo transformatorja regulirajte vedno enako napetost med elektrodama pri vseh razdaljah med njima. Razmislite o morebitnih vzrokih za neenakost obeh grafov. Podobno izrišite še grafa odvisnosti prebojnega toka med elektrodama od napetosti med njima, ki jo spreminjate s pomočjo regulacijskega transformatorja. Zapišite, kaj opazate na vseh teh grafih in to poskušajte razložiti.

4 Poišči v literaturi

Poiščite relativne dielektrične konstante za različne snovi. Poiščite podatke o zgradbi različnih dielektričnih plasti energijskih vodov. Poiščite podatke o različnih prebojnih lastnosti materialov. Kateri materiali so zelo primerni za zaščito pred prebojem? Kako se spreminjajo prebojne lastnosti zraka z vlago in temperaturo? Raziščite pojav strele.

5. vaja

Elektrofor

1 Namen eksperimenta

razumeti delovanje elektrofora, seznaniti se s pojmom triboelektrike, izvesti poskuse ločevanja nabojev in opazovati pojav elektrostatične indukcije

2 Opis eksperimenta

Elektrofor je preprosta naprava za generiranje električnega naboja. Prvo napravo naj bi predstavil že leta 1762 Švedski profesor Johan Carl Wilcke, bolj poznano pa ga jo je naredil Italijan Alessandro Volta leta 1775. Ime napravi je dal ravno Volta (electrophorus) in izhaja iz grških besed ἤλεκτρον ('elektron') in φέρω ('phero'), kar bi pomenilo prenašalec elektrike.



Slika 5.1: Elektrofor

Elektrofor je sestavljen iz dielektrične plošče (v našem primeru iz teflona) in kovinske plošče (v našem primeru iz aluminija) z izoliranim ročajem (plastika).

Ekspiriment poteka tako, da z nekim materialom (npr. plastično krpico) podrgnete po dielektrični plošči in nato nanjo položite kovinsko ploščo. Ob drgnenju se zaradi triboelektričnega efekta (torna elektrika) teflonska plošča močno naelektri. Glede na sliko na desni ima teflon močno tendenco, da sprejme elektrone in torej ob drgnenju postane negativno naelektren.



Slika 5.2: Triboelektrična lestvica

Ko položimo na teflon kovinsko ploščo, na njej pride do prerazporeditve naboja – elektrostaticne indukcije. Običajno je prerazporejenega naboja toliko, da ob počasnem približevanju prsta robu plošče začutimo kratko razelektritev. Po dotiku kovinske plošče primemo za izoliran ročaj in ploščo počasi dvigamo. Poleg sile težnosti lahko čutimo še dodatno – elektrostaticno silo med kovinsko in dielektrično ploščo. Če se še enkrat počasi dotaknemo s prstom roba dvignjene plošče, še enkrat čutimo razelektritev.

3 Poskusi

Z razmislekom in poskusi odgovorite na spodnja vprašanja:

- Zakaj pride v kovinski plošči do prerazporeditve nabojev?
- Kateri naboji stečejo in kam, ko se s prstom dotaknete plošče položene na naelektreno dielektrično ploščo?
- Zakaj čutimo dodatno silo ob dviganju razelektrene plošče?
- Zakaj še enkrat začutimo razelektritev ko se dotaknemo dvignjene plošče?
- Ali lahko eksperiment večkrat ponovimo brez da bi dodatno drgnili po teflonski plošči?

Z uporabo osciloskopa opravite meritve toka razelektritve in odgovorite na vprašanja:

Osciloskop meri časovno spremembo napetosti na priključenem merilnem uporu velikosti ***. Tok določite kot napetost/upornost. Upor je izbran tako, da se ustrezno omeji velik tok ob razelektritvi in omogoči merjenje pri manjših napetostih. Opazujte potek toka ob razelektritvi. Poleg tega je osciloskop nastavljen tako, da izvede integracijo izmerjenega signala.

- Kakšnega predznaka je bil na naboj plošči glede na tok (napetost), ki ga izmerite?
- Kolikšen je največji tok, ki steče ob razelektritvi?
- Koliko časa traja prehodni pojav?

- d. Zakaj opazimo več krivulj razelektritve?
- e. Kaj nam predstavlja integriran signal? Koliko naboja je steklo ob razelektritvi?
- f. Opazujte še tok razelektritve pri dvignjeni kovinski plošči. Ali je istega predznaka kot prej?

4 Dodaten razmislek

Iz razelektritve dvignjene prevodne plošče ste določili velikost naboja na prevodni plošči in s tem tudi na dielektrični plošči. Predpostavimo, da je naboj na ploščah enakomerno porazdeljen.

- a. Določite velikost polja med ploščama, ko dvignemo prevodno ploščo za 1 cm.
- b. Kolikšna je potencialna razlika med ploščama?
- c. Se napetost med ploščama poveča ali zmanjša, če plošči še bolj razmaknemo?
- d. Ocenite velikost polja v sredini dielektrične plošče, ko prevodno ploščo popolnoma odmaknemo.
- e. Ali lahko določimo kapacitivnost med dielektrično in prevodno ploščo?

5 Poišči v literaturi

S pomočjo triboelektričnega efekta (trenja) je mogoče proizvajati elektriko tudi na bolj modern način kot z uporabo elektroforja. V literaturi (na spletu) poiščite moderne načine uporabe triboelektričnega efekta. Opišite osnovno idejo delovanja, način izvedbe in uspešnost delovanja (izkoristek, dosežene napetosti, ...).

6. vaja

Izračun elektrostatičnega polja s pomočjo računalnika

1 Namen eksperimenta

Za nekatere porazdelitve nabojev lahko izračunamo polje z analitičnimi formulami ali si do rešitve (kot na primer pri zrcaljenju) pomagamo z dodatnim razmislekom, a v splošnem so take naloge rešljive le z numeričnimi postopki. Računalniki so danes dovolj hitri in dostopni za take naloge, podobno je s programsko opremo. Namen te vaje je, da enega od takih programskih paketov uspešno namestite na svoj računalnik in z njim rešite izbrani elektrostatični problem.

Na voljo je kar nekaj programskih paketov te vrste – lahko izberete kateregakoli in z njim rešite problem, ki ga izberete sami – a če pogledamo med tistimi, ki so prosto dostopni in delujejo na večih platformah (Linux, Mac OSX, Win), potem lahko predlagamo naslednje:

a. FEMM:

dostopen na <http://www.femm.info> z zbirko primerov na podnaslovu <http://www.femm.info/wiki/Examples> (na Linux-u dela preko Wine-a)

b. Agros2D:

dostopen na naslovu <http://www.agros2d.org/>, video predstavitev na kanalu youtube-a <https://www.youtube.com/watch?v=lyGcFgBDPt4> pod nalovom *Agros2D - Static Problems*

c. FEniCS:

dostopen na naslovu <http://fenicsproject.org/download> in z obsežno dokumentacijo na <http://hplgit.github.io/fenics-tutorial/pub/pdf/fenics-tutorial1-4print.pdf>

Vsem je skupno, da probleme rešijo z isto metodo: metodo končnih elementov (ang. finite element method, ali krajše FEM). Čeprav teorija, na kateri sloni metoda, sodi v funkcionalno analizo (z drugimi besedami precej prehiteva vaš pouk matematike), pa programski paketi s svojimi navodili za uporabo in grafičnimi vmesniki omogočajo uspešno delo tudi uporabnikom, ki jim je matematično ozadje neznano.

V okviru naloge si izberite preprost problem iz elektrostatike (npr. dva ali več objektov na predpisanih potencialih) ter določite potencial in električno polje v prostoru.

2 Opis eksperimenta

Opis testnega primeru je v delu.

3 Poskusi

4 Dodaten razmislek

5 Poišči v literaturi

7. vaja

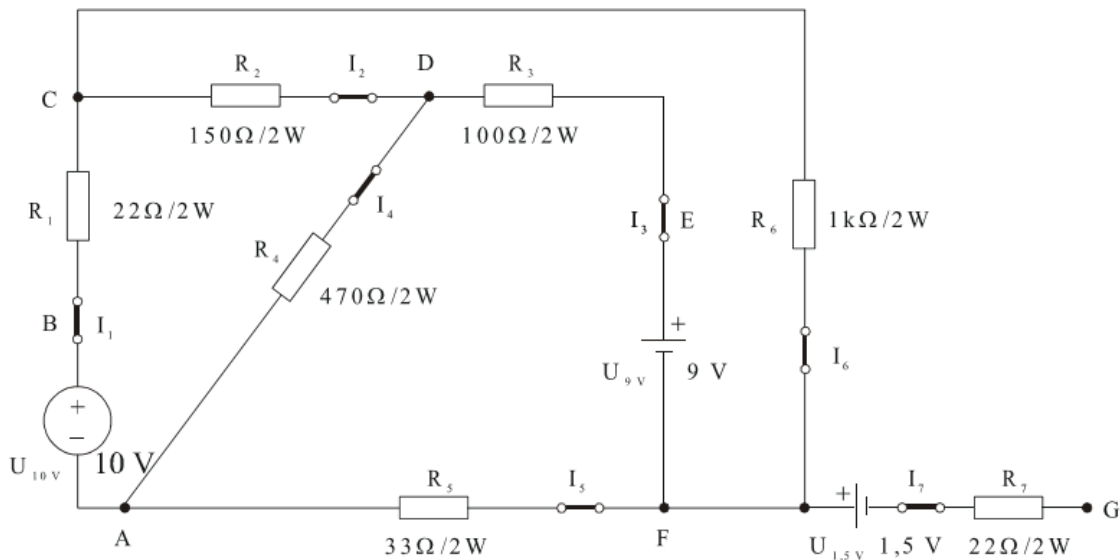
Električna vezja, 1. del

1 Namen eksperimenta

Vežja so le redko tako enostavna, da jih lahko analiziramo s sekvenčnim reševanjem zaporedno oz. vzporedno vezanih elementov. Kot primer vzemimo neko sodobno elektronsko napravo, npr. daljinski upravljaliec, žepni kalkulator ali mobilni telefon. Vsaka izmed njih vsebuje komplicirano vezje, ki ga poleg linearnih elementov običajno sestavljajo tudi nelinearni. K reševanju takšnih vezij pristopimo z učinkovitejšimi metodami, ki temeljijo na uporabi osnovnih zakonov in teoremov električnih tokokrogov. Namen vaje je eksperimentalno preverjanje teh zakonov in teoremov.

2 Opis eksperimenta

Elemente vežite po spodnji merilni shemi. Pozor! V vsako vežo vstavite kratkostični vezni člen.



Slika 7.1: Shema vezja.

3 Poskusi

Izmerite vejske tokove. Pred tem izberite referenčne smeri za posamezne veje. Izmerite tudi napetosti na posameznih uporih ter napetosti virov. Z izmerjenimi vrednostimi preverite veljavnost Kirchhoffovih zakonov za eno spojišče ter eno zanko vezja. Ali je kaj odstopanja in zakaj? Izračunajte moči na posameznih uporih ter moči virov. Ali je kakšen izmed uporov preobremenjen? Preverite veljavnost Tellegenovega stavka. Ali je kaj odstopanja in zakaj?

Določite nadomestni vir za vezje med sponkama B in D. V ta namen izmerite napetosti in toke med tema sponkama v treh delovnih točkah (tretja je za kontrolo). Narišite U-I karakteristiko nadomestnega vira. Kolikšne so vrednosti elementov nadomestnega vira? Narišite shemo nadomestnega vira in ga zvežite na merilni deski. Med njegovima sponkama opravite meritve napetosti in toka v istih treh delovnih točkah kot prej med sponkama B in D originalnega vezja. Komentirajte (ne)ujemanja. Ali vam je uspelo sestaviti nadomestni vir za originalno vezje med sponkama B in D?

4 Poišči v literaturi

Kolikšne so tipične notranje upornosti A-metrov in V-metrov?

8. vaja

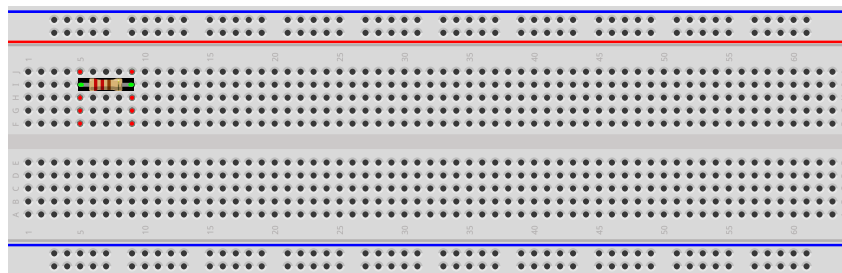
Električna vezja, 2.del

1 Namen eksperimenta

seznanitev z osnovnimi gradniki električnih vezij, prepoznavanje vrednosti uporov, preveriti kirchoffova zakona

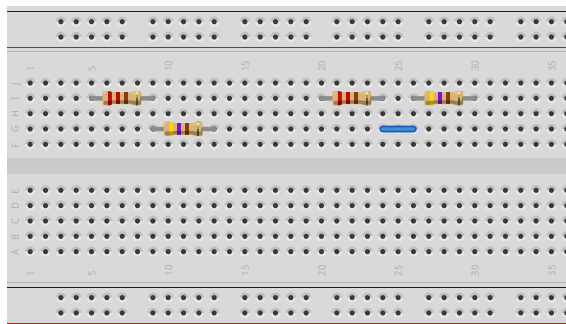
2 Opis eksperimenta

Pri vaji bomo ponovno sestavili vezje iz prejšnje vaje, le da bomo tokrat uporabili prototipne ploščice za izdelavo kompleksnejših vezij. Prototipna ploščica z vstavljenim uporom je prikazana na sliki.



Slika 8.1: Prototipna ploščica z uporom izrisana s programskim orodjem Fritzing.

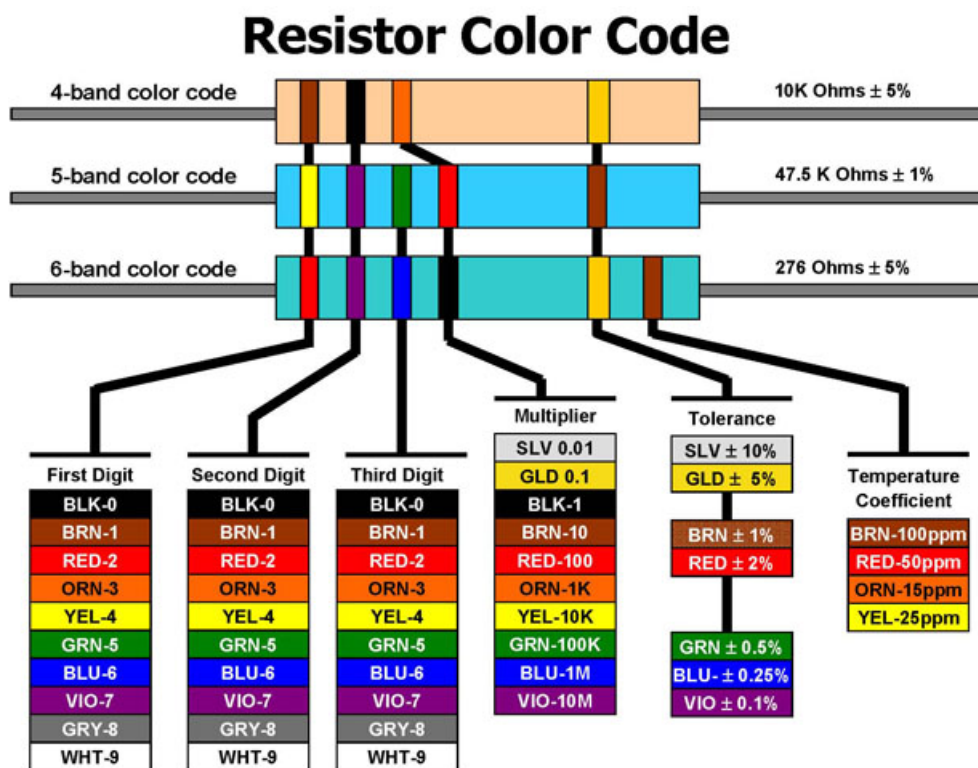
Prototipna ploščica ima medsebojno povezane vertikalne priključke (luknje), kar omogoča enostavno povezovanje posameznih električnih elementov med seboj. Na sliki so z rdečo barvo označeni priključki, ki so v galvanskem stiku s priključki upora. Dva elementa povežemo tako, da njuna priključka vstavimo v isto vrsto ali pa različni vrsti povežemo s spojnimi žicami. Oba načina priklopa prikazuje naslednja slika.



Slika 8.2: Povezava med uporoma na dva načina: na levi direktna povezava s priključki upora v isti vrsti; na desni povezava med priključkoma upora, ki nista v v isti vrsti z vezno žico (modro).

Upori so elementi, ki se v elektroniki pogosto uporabljajo. Zato se pojavljajo v najrazličnejših oblikah, vendar so za prototipno delo najenostavnejši THD upori (through hole device) ali včasih tudi imenovani tudi kot THT (through hole technology) upori. Upori niso občutljivi na to, kako ga obrnemo v vezju (nimajo izražene polaritete). Pri določevanju vrednosti njihovih upornosti pa moramo poznati barvno kodiranje upornosti, saj se upori običajno označujejo z barvnimi obročki. Glede na kvaliteto upora je na uporu lahko 4-6 obročkov, ki povedo njegovo upornost, toleranco ter včasih celo temperaturni koeficient

Lestvico barv in njihov pomen najboljšo ponazori slika.



Slika 8.3: Pomen barv pri različnih uporih.

Na levi strani so trije do štirje obroči. Pri boljših uporih je obročev več in ti običajno spadajo v boljše tolerančne lestvice. Vrednost upornosti določamo od leve proti desni. Prva obročka predstavljata prvo in drugo

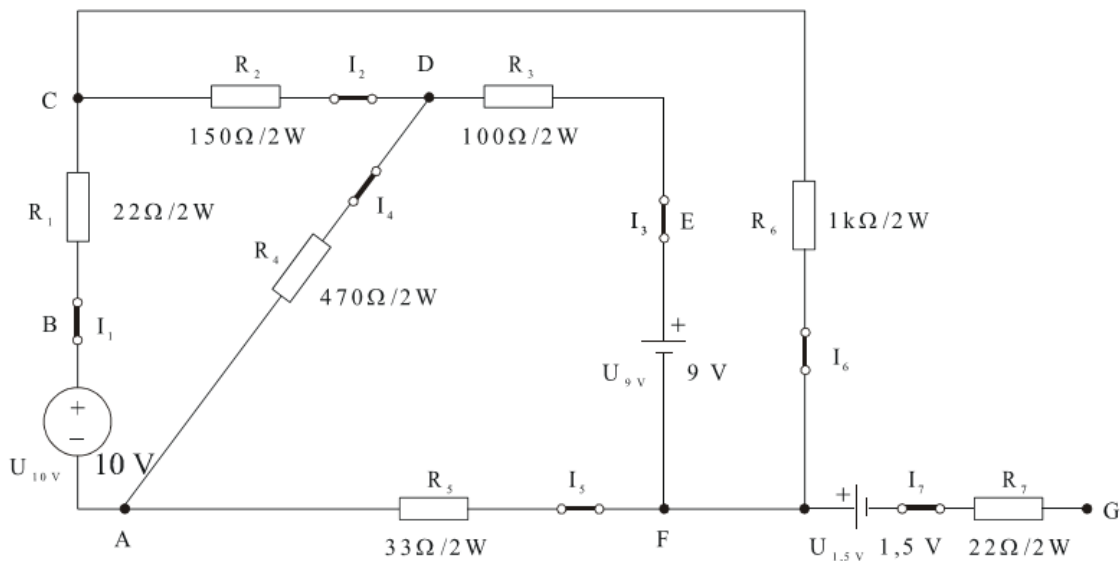
števko vrednosti (če je obročkov 5 ali 6, pa prve tri), zadnja pa multiplikator (s koliko moramo pomnožiti vrednosti sestavljeno iz prej določenih števk, da dobimo končno nazivno vrednost upornosti).

Primer srednjega upora ima barvno zaporedje rumena (4), vijolična (7), zelena (5), rdeča (2), kar se bere kot $4\text{-}7\text{-}5\text{-}10^2\ \Omega$ ali $475 \cdot 10^2\ \Omega$ oz. $47,5\ \text{k}\Omega$.

Na desni strani sta sva ali en obroček. Če sta obročka dva, skrajno desni pove temperaturni koeficient upornosti α v enotah ppm (parts-per-million) ali 10^{-6} , zraven njega pa obroček, ki pove, koliko lahko vrednost upornosti odstopa od nazivne v procentih. Če je na desni obroček le eden, potem ta pove le toleranco.

3 Poskusi

Na prototipni plošči sestavite vezje na sliki, tako, da uporabite prave upore. Poleg uporov z uporabo veznih žic priklopite napetostne vire (napajalnik in baterije). Potrudite se, da bo vezje urejeno in pregledno, saj bo odkrivanje morebitnih napak pri vezavi tako dosti bolj enostavno.



Slika 8.4: Vezje.

Naredite naslednje meritve:

- Z voltmetrom pomerite potenciala vseh označenih spojišč ter jih zabeležite.
- Z ampermetrom izmerite vejske tokove v vseh vejah ter jih zabeležite.

4 Dodaten razmislek

Iz meritev poskusite izračunati naslednje:

- Kolikšne so napetosti na posameznih uporih?
- Na katerem uporu se troši največja moč?

c. Kolikšna je vsota vseh tokov v poljubno izbrano spojišče?

d. Kolikšna je vsota napetosti na uporih in baterijah v poljubno izbrani zanki?

Ali so rezultati pričakovani ali se razlikujejo od teoretičnih napovedi? Poskusite razložiti in utemeljiti vsa odstopanja.

5 Poišči v literaturi

THD elemente v vezjih je skoraj popolnoma izpodrinila izpopolnjena, cenejša in zanesljivejša tehnologija SMD (surface mount device) elementov. V literaturi poiščite v kakšnih oblikah najdemo upore v sodobnih elektronskih napravah.