

FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY UNIVERZITY
KOMENSKÉHO

ÚLOHA 3.6.1

MAPOVANIE ELEKTRICKÉHO POĽA POMOCOU
ELEKTROLYTICKEJ VANE

DENISA LAMPÁŠOVÁ
JÁN ĎURIAN

11 november 2015

Abstrakt

The aim of this paper was to determine by measurement the position of equipotential levels of electric field created by two electrodes, as well as to calculate the distribution of intensity of this field. After that we graphically processed our results. Our measurements were, unfortunately, inaccurate.

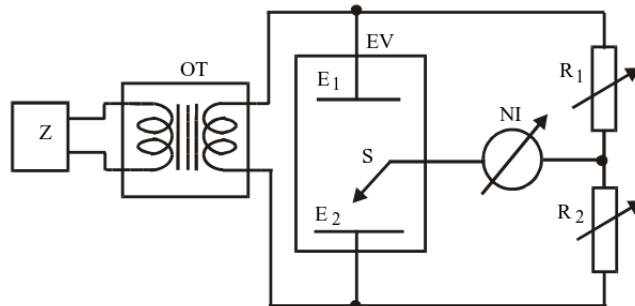
1 Teoretická analýza

Na mapovanie elektrického poľa rôznych objektov sa využíva analógia medzi elektrostatickým a stacionárnym prúdovým poľom. Preto súčasťou našej aparatury, ktorou budeme merať priebeh ekvipotenciálnych hladnín elektrického poľa elektród, bude aj elektrolytická vaňa – nádoba naplnená vodivým roztokom, elektrolytom, ktorého koncentráciu volíme tak, aby jeho vodivosť bola voči vodivosti modelov (v našom prípade 2 valcov predstavujúcich elektródy) v tom istom pomere, ako permitivita prostredia k permitivite skúmaných objektov. Nakoľko elektrická intenzita E a elektrický potenciál V spolu súvisia

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

stačí nám namiesto intenzity sondovať potenciál prúdového elektrického poľa.

Nakoľko efekty polarizácie kovových elektród predstavujú pre meranie komplikáciu, použijeme miesto jednosmerného napájania zdroj striedavého napätia s frekvenciou niekoľkých kHz. Chemické procesy na povrchu elektród potom nestačia sledovať také rýchle zmeny potenciálu elektródy voči elektrolytu a ich rušivý vplyv sa tým pádom neuplatní.



Obr. 1: Schéma experimentálneho usporiadania: E_1 , E_2 sú elektródy, na ktoré je naložené napätie zo zdroja Z privádzané cez oddeľovací transformátor OT . Potenciál sondy S porovnávame s napätím na premenlivých (dekádových) odporoch R_1 , R_2 . Napätový rozdiel sledujeme nulovým indikátorom NI – čo je v skutočnosti voltmeter.

2 Meranie

Úlohy:

1. Zmerať priebeh ekvipotenciálnych hladnín elektrického poľa pre dané elektródy.
2. Pre zadanú konfiguráciu elektród a napätie na elektródach vypočítať rozloženie intenzity elektrického poľa a potenciálu na spojnici elektród.
3. Získané výsledky spracovať graficky.

Pomôcky: voltmeter, 2 odporové dekády, zdroj striedavého napätia, vodiče, sonda, elektrolytická vaňa, transformátor, milimetrový papier, pantograf



Obr. 2: Fotka použitej aparatury

Postup:

Odmeriame napätie medzi elektródami U_0 . Hodnoty R_1 a R_2 nastavíme tak, aby sme pohodlne vedeli nájsť 5 rôznych ekvipotenciálnych hladín. Tie získame použitím pantografu¹. Na jednu stranu jeho ramena pripevníme sondu, ktorá umožňuje určiť hodnotu efektívneho napätia U_V miest v roztoku (voči bodu medzi odpormi R_1 a R_2) a na druhú stranu kresliacu časť. Pre každú ekvipotenciálnu hladinu zakreslíme na milimetrový papier aspoň 6 bodov, ktoré vytvoria približnú predstavu, ako daná ekvipotenciálna hladina vyzerá. Zmeníme odpory R_1 a R_2 na iný pomer a daný postup zopakujeme.

Z napätia na elektródach U_0 , hodnoty efektívneho napätia U_V zobrazovanom na voltmetri a hodnôt odporov R_1 a R_2 určíme napätie i -tej hladiny² ako

$$U_i = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_V. \quad (2)$$

Intenzitu E v strede medzi dvoma nameranými susednými ekvipotenciálnymi hladinami vypočítame zo vzťahu

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{V_{i+1} - V_i}{x_{i+1} - x_i}, \quad (3)$$

kde V_j je potenciál j -tej ekvipotenciálnej hladiny voči elektróde E_1 a x_j jej poloha.

Na záver graficky zobrazíme priebeh intenzity elektrického poľa medzi elektródami.

3 Výsledky a diskusia

Meranie sme uskutočnili pre hodnoty odporov:

- 1.) $R_1 = R_2 = 10\,000\,\Omega$,
- 2.) $R_1 = 2000\,\Omega$ a $R_2 = 3000\,\Omega$.

¹Pantograf je pohyblivé rameno, ktorého stred je upevnený na otáčavom čape.

²Konkrétne rozdiel potenciálu i -tej hladiny a potenciálu prvej elektródy E_1 (tento predpoklad platí, keď zanedbáme odpor vodičov).

Nanešťastie nás pri meraní nenapadlo zaznačiť si hodnotu napätia medzi elektródami U_0 . Nakoľko je to však podstatná informácia pre splnenie väčšiny úloh, odhadli sme danú hodnotu na $U_0 = 16,214 \text{ V}$. K odhadu tejto hodnoty nás viedol spôsob nášho merania.

Na voltmetri, ktorý nám ukazoval efektívnu hodnotu napätia³, sme hľadali konkrétne hodnoty napätia, ktoré sme po nájdení preklopením pantografu zaznačili na milimetrový papier. Pre každý bod sme si zaznačili aj danú hodnotu U_V . Samozrejme, ako prvé sme zaznačili polohu valcov (elektród).⁴

Body, ktoré sme takto zakreslili (aj s približným názorným odhadom, ako by dané ekvipotenciály mohli vyzerat) sú priložené pre odpory $R_1 = R_2 = 10\,000 \Omega$ v prílohe 1 a pre odpory $R_1 = 2000 \Omega$ a $R_2 = 3000 \Omega$ v prílohe 2. Môžeme si všimnúť, že ekvipotenciály sa aspoň tvarom/charakterom približujú k očakávanému výsledku.

Namerali sme teda niekoľko potenciálnych hladín určených efektívnou hodnotou napätia voči časti zapojenia priamo prepájajúcej odporové dekády. Potrebovali sme zistiť, aké je ich napätie U_i voči elektróde E_1 . Hodnoty uvádzame v tabuľkách:

U_V / V	U_i / V
1	9,107
2	10,107
5	13,107
6	14,107
8	16,107

Tabuľka 1: Vypočítané hodnoty napätí ekvipotenciál U_i pre určené ekvipotenciály s U_V pre odpory $R_1 = R_2 = 10\,000 \Omega$.

U_V / V	U_i / V
1	7,4856
3	9,4856
5	11,4856
7	13,4856
9	15,4856

Tabuľka 2: Vypočítané hodnoty napätí potenciál U_i pre určené ekvipotenciály s U_V pre odpory $R_1 = 2000 \Omega$ a $R_2 = 3000 \Omega$.

S predpokladom, že sme nikde v zapojení a teda ani nikde v elektrolyte nemohli nájsť väčšie napätie, ako je U_0 a pre potenciálu s $U_V = 8 \text{ V}$ sme dostali zo vzťahu (2) napätie $U_V = 16,107 \text{ V}$, odhadujeme, že napätie $U_0 = 16,214 \text{ V}$. Nakoľko sme však hodnotu U_0 iba odhadli, naše výpočty sú s vysokou pravdepodobnosťou veľmi nepresné a slúžia iba na hrubú názornú predstavu.

³teda aspoň predpokladáme

⁴Konkrétne, až na jeden prípad sme zaznačili iba krajnú polohu valca (viď Príloha 1, Príloha 2).

Keď už poznáme napätia ekvipotenciálnych hladín U_i vzhľadom k elektróde E_1 , môžeme zo vzťahu (3) vypočítať elektrické intenzity bodov medzi nájdenými ekvipotenciálami na úsečke určenej elektródami. Hodnoty uvádzame v tabuľkách:

U_i / V	x / cm	E / Vm^{-1}	x_E / cm
16,107	2,6	181,82	1,4
14,107	3,7	125	2,8
13,107	4,5	150	4,4
10,107	6,5	166,67	6,7
9,107	7,1	0	8,3
9,107	7,8	125	9,8
10,107	8,6	230,8	10,8
13,107	9,9	142,86	11,9
14,107	10,6	666,67	15,9
16,107	10,9		

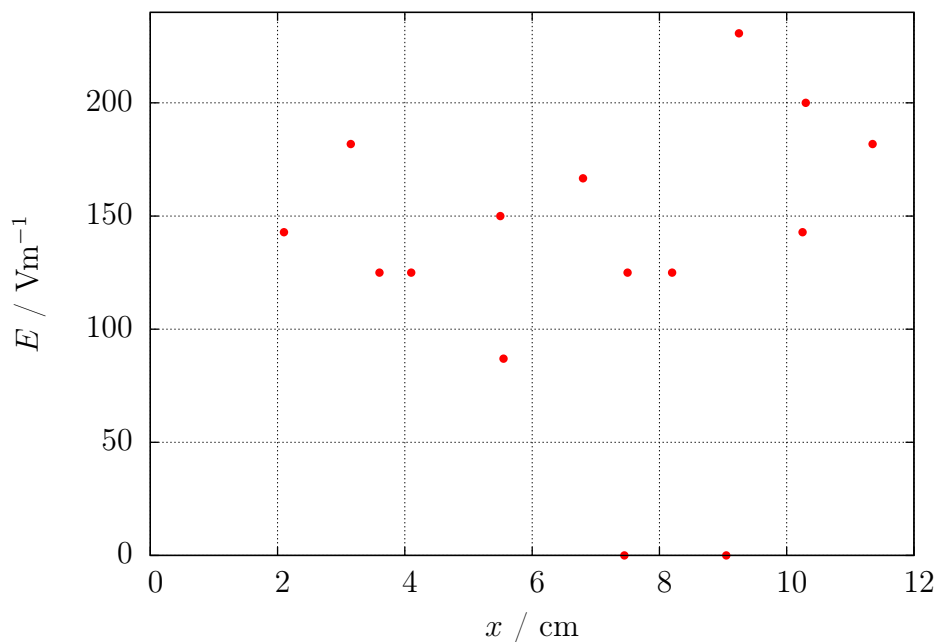
Tabuľka 3: Vypočítané hodnoty intenzity E a jej polôh x_E na spojnici elektród pri $R_1 = R_2 = 10\,000\,\Omega$.

U_i / V	x / cm	E / Vm^{-1}	x_E / cm
15,4856	1,4	142,8571428571	2,1
13,4856	2,8	125	3,6
11,4856	4,4	86,9565217391	5,55
9,4856	6,7	125	7,5
7,4856	8,3	0	9,05
7,4856	9,8	200	10,3
9,4856	10,8	181,8181818182	11,35
11,4856	11,9	50	13,9
13,4856	15,9		

Tabuľka 4: Vypočítané hodnoty intenzity E a jej polôh x_E na spojnici elektród pri $R_1 = 2000\,\Omega$ a $R_2 = 3\,000\,\Omega$.

Nakoľko už po výpočte napätia medzi i -tou ekvipotenciálou a elektródou E_1 ekvipotenciály v oboch prílohách prestali mať dôvod⁵, prečo by mali byť oddelene a nesúvisieť, tak závislosť rozloženia intenzity E na spojnici elektród už zobrazujeme pre všetky vypočítané hodnoty spoločne:

⁵Ak nerátame chybu nášho merania, že sme nedopatrením zistili, že elektródy sa dajú posúvať a teda ich poloha už nebola totožná s tou na začiatku.



Graf 1: Graf zobrazujúci rozloženie elektrickej intenzity na spojnici elektród

Graf však nezodpovedá očakávaniam⁶. Dôvodov môže byť hneď niekoľko. Od nename-
ranej/odhadnutej hodnoty U_0 , cez nechcené posúvanie elektród, nepresné určovanie polôh
ekvipotenciál x na spojnici elektród z odhadu ich priebehu na milimetrovom papieri, nastave-
nie odporov dekád na $2\,000\,\Omega$ a $3\,000\,\Omega$, avšak nezistením si, ktorý z nich je R_1 a ktorý R_2 až
po nepresnosť meracích prístrojov, ktoré však, súdiac ostatné chyby, budú asi zanedbateľné.

K problémom s nepresnosťou sa mohlo⁷ pripísať aj to, že napätie ekvipotenciálnych hla-
dín sme určovali z efektívnych hodnôt napätí. Keď si uvedomíme, že napätie sa s časom
mení, zistíme, že v skutočnosti je otázne, či ekvipotenciála s U_V napríklad 1 V je jedna ek-
vipotenciála, alebo dve nezávislé ekvipotenciály (viď Príloha 1 alebo Príloha 2, na oboch
ju/ich znázorňujú dve nezávislé krivky). Ak rátame s efektívnou hodnotou, ich potenciál je
rovnaký, ak však skutočné napätie, ich potenciál je opačný. Predpokladáme, že pri jedno-
smernom prúde by bol opačný (minimálne rozdielny, ale meranie by už ovplyvnili aj chemické
reakcie na elektródach). Tomuto problému sa dalo vyhnúť meraním ekvipotenciálnych hladín
tak, že každá by predstavovala ekvipotenciálu s minimálnym možným napäťovým rozdielom
s porovnávacím bodom. Viacero ekvipotenciálnych hladín by sme získali menením pomeru
napätí R_1 a R_2 . Tu by sme efektívne napätie nemuseli vôbec uvažovať, nakoľko pre každý
pomer by bola práve jedna krivka a jej napätie voči elektróde E_1 by sme počítali zo vzťahu

$$U_i = U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}. \quad (4)$$

⁶Nesplňa dokonca ani predpokladanú vlastnosť mať práve jedno minimum. Naozaj nepovažujeme za
možné, že by intenzita bola nulová na rozdielnych krivkách (v skutočnosti to nie je krivka ale nejaká 3-
rozmerná sféra, zostaníme však obmedzení na 2 rozmery).

⁷nemuselo, bohužiaľ nevieme posúdiť

4 Záver

Zmerali sme priebeh niekoľkých ekvipotenciálnych hladín elektrického poľa dvoch valcových elektród (zmerané hladiny sú znázornené v Prílohe 1 a Prílohe 2). Aj napriek chýbajúcej podstatnej informácii (napätie U_0) sme sa pokúsili vypočítať a graficky znázorniť rozloženie elektrickej intenzity na spojnici elektród. Nakoľko sme sa dopustili mnohých chýb, usudzujeme, že naše meranie vôbec nezodpovedá skutočnosti.

Literatúra

- [1] Pavlík, J.: Fyzikálne praktikum II. Univerzita Komenského Bratislava, 2002.