

10. SLEDOVÁNÍ ELEKTROSTATICKÝCH POLÍ V ELEKTROLYTICKÉ VANĚ

Měřicí potřeby

- 1) elektrolytická vana
- 2) elektrody různých tvarů
- 3) voltmetr
- 4) zdroj napětí 5 V
- 5) milimetrové papíry A3
(nutno přinést s sebou)

Obecná část

Při konstrukci elektronek, kondenzátorů, čoček pro elektronovou optiku a dalších přístrojů často potřebujeme znát tvar elektrického pole v prostoru, mezi elektrodami složitějšího tvaru. Analytické řešení pole je známé pouze při zcela jednoduchých konfiguracích elektrod, ale v obecném případě je lze řešit pouze pomocí numerických metod na počítačích. I pak je často třeba výsledek ještě ověřit experimentálně. K tomu lze použít elektrolytické vany nebo částečně vodivého papíru.

Měření v elektrolytické vaně se provádí pomocí elektrod, jejichž tvar je zvětšeným nebo zmenšeným dvourozměrným modelem elektrod skutečných. Na elektrody se vkládají potenciály, buď stejné, nebo zmenšené v určitém poměru. Elektrické pole vzniklé mezi elektrodami je pak shodné, až na měřítko, s originálem.

Prostor mezi elektrodami se zaplní slabě vodivou kapalinou. Pokud modelujeme pole elektrostatické, záměna nevodivého prostředí za vodivé by obecně mohla změnit rozdělení elektrického pole. Proto je nutno stanovit, jaké jsou podmínky pro to, aby k takovým změnám nedošlo.

Rozdělení elektrického pole v prostoru je určeno parciálními diferenciálními rovnicemi (Maxwellovy rovnice), jejichž řešení závisí jak na tvaru rovnic, tak na okrajových podmínkách. Není těžké ukázat, že tvar rovnic se při změně nevodivého prostředí za vodivé nemění: hustota elektrického proudu \mathbf{j} uvnitř kapaliny splňuje rovnici kontinuity:

$$\operatorname{div} \mathbf{j} = 0. \quad (1)$$

Použijeme-li Ohmův zákon v diferenciálním tvaru:

$$\mathbf{j} = \gamma \mathbf{E}, \quad (2)$$

kde γ je konduktivita (dříve měrná elektrická vodivost) a \mathbf{E} intenzita elektrického pole, dostaneme z prvních dvou rovnic:

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = 0 \quad (3)$$

Jestliže nepůsobí proměnné magnetické pole, pak je:

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = 0. \quad (4)$$

Rovnice (3) a (4) zcela určují chování pole mezi elektrodami (tj. při zadaných okrajových podmínkách). Těmto rovnicím odpovídá, jak známo, i elektrostatické pole \mathbf{E}_0 ve vakuu. Hlavní pozornost musí být proto obrácena na okrajové podmínky na povrchu kapaliny, na stěnách a na dně nádoby. Ty jsou určeny tím, že

elektrický proud nemůže vycházet z vodivé kapaliny do nevodivých stěn nádoby a vzduchu. Protože hustota proudu v určitém místě je úměrná intenzitě elektrického pole E , nemůže mít vektor E složku kolmou k povrchu kapaliny i stěn. Aby nádoba nezpůsobila znatelnou deformaci pole, musí být stěny dostatečně daleko od sledovaného objemu.

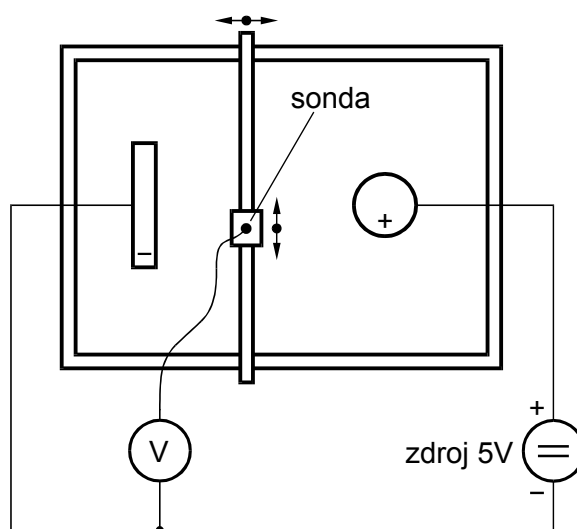
Dále se uplatňují okrajové podmínky na elektrodách. V případě elektrostatického pole je vektor intenzity E vždy kolmý k povrchu elektrod. V proudovém poli elektrolytické vany je toto splněno, pokud je proud dostatečně malý, takže elektrody se jeví jako ekvipotenciální plochy (tj. nevzniká na nich úbytek napětí).

V elektrolytické vaně se obvykle neměří přímo vektory intenzity pole, ale elektrické potenciály, vztažené k některé referenční elektrodě. Místa se stejným elektrickým potenciálem (ve voltech) tvoří tzv. ekvipotenciální plochy, jež jsou vždy kolmé na vektory elektrického pole. Zjistíme-li proměřením modelu tyto plochy (nebo křivky – u dvourozměrného modelu), můžeme rekonstruovat tvar pole E tak, že nalezneme siločáry kolmé k ekvipotenciálním plochám. Vektory E pak tvoří tečny siločar. Siločáry se snažíme kreslit tak, aby jejich hustota byla mírou velikosti intenzity elektrického pole v daném místě.

Pro měření se do kapaliny vkládají sondy – tenké kovové tyčinky, spojené s voltmetrem o velkém vnitřním odporu. Vložení sondy do kapaliny se poněkud mění rozložení pole jejím v okolí, protože sonda tvoří ekvipotenciální plochu. Měřicí sonda nezpůsobí zkreslení tehdy, jestliže leží v ekvipotenciální ploše a má rozměr velmi malý ve srovnání s měřeným modelem. Zvláště vhodné je proto pomocí válcových sond sledovat rovinná pole, tj. pole, která závisí pouze na souřadnicích x a y , ale nezávisí na souřadnici z . Sonda, položená rovnoběžně s osou z , pak nenaruší rozložení elektrického pole. Jisté zkreslení je ovšem způsobeno tím, že sonda nemůže být vyrobena nekonečně tenká.

Měření

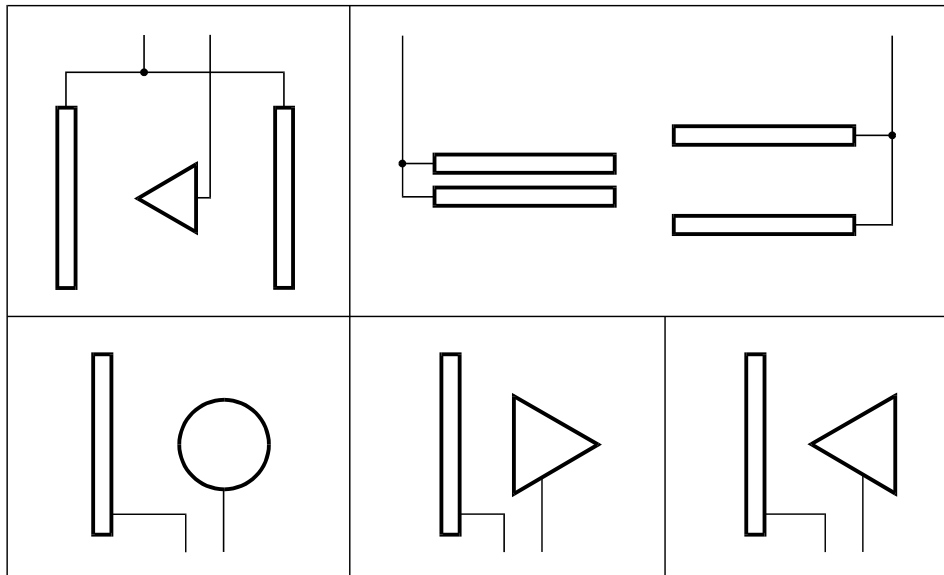
Při sledování rovinného elektrického pole použijeme zapojení podle schématu na obr. 1. Elektrolytická vana je nádoba z izolačního materiálu naplněná asi 5 mm silnou vrstvou slabě vodivé kapaliny. Pro naše účely postačí voda z vodovodu. Jako elektrod použijeme měděných poniklovaných elektrod různých tvarů. Je nutné, aby dno vany bylo dokonale vodorovné a elektrody vertikální. Elektrody se musí dotýkat dna, ale z kapaliny musí trochu vystupovat na hladinu. Měřicí sonda je připevněna svisle; ponořit ji lze do



Obr. 1 Schéma zapojení

libovolné hloubky, neboť v rovinném poli je potenciál konstantní podle libovolné svislé přímky.

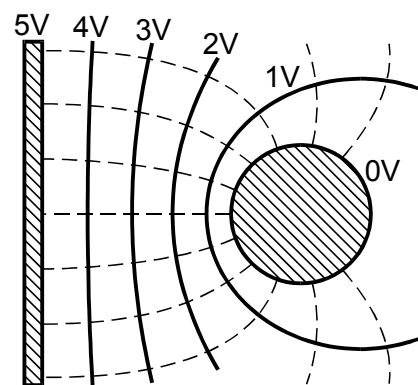
Na elektrody vložíme stejnosměrné napětí do 5V, tvary elektrod a vzdálenosti uspořádáme podle přiložených obrázků (viz obr.2). Elektrody by měly být



Obr. 2 Různé konfigurace elektrod v elektrolytické vaně

umístěny dost blízko sebe, aby pole bylo dostatečně výrazné, ale nesmějí být umístěny blízko stěn vany – viz předchozí výklad o okrajových podmínkách.

Postavení elektrod v elektrolytické vaně si naznačíme na milimetrový papír formátu A3. Při určování ekvipotenciálních křivek hledáme sondou v celém prostoru vany místa stejného potenciálu. Souřadnice těchto bodů, čtené na milimetrové stupnici, přenášíme přímo na milimetrový papír ve skutečném měřítku. Krok $\Delta\varphi$ změny potenciálu mezi sousedními plochami se volí konstantní, nejlépe 0,5 V, maximálně 1 V. Povrchy elektrod jsou též ekvipotenciální plochy. Vynesené body pak spojíme plynulou křivkou, abychom získali ekvipotenciální křivky. Do sítě ekvipotenciálních čar pak přibližně zakreslíme siločáry; vycházejí kolmo z elektrod a protínají kolmo všechny ekvipotenciální křivky (viz příklad na obr. 3).



Obr. 3 Příklad naměřeného pole

Pracovní úkol

- 1) Vyhledejte ekvipotenciální křivky alespoň pro dvě konfigurace elektrod.
- 2) Body stejného potenciálu na milimetrovém papíru proložte křivkami, označte hodnotami a zakreslete siločáry.
- 3) Pokuste se stanovit velikost intenzity elektrického pole E [V/m] v několika místech.