

14. ročník, úloha III. E ... kapacita člověka (8 bodů; průměr ?; řešilo 19 studentů)

Změřte co nejvíce zdraví neohrožujícími způsoby elektrickou kapacitu člověka.

Kolibrík (Jiri Libra) si hrál s měřícím přístrojem a statickou elektřinou.

Teoretický úvod

Nejprve je třeba si uvědomit, co vlastně máme měřit. Elektrická kapacita C je schopnost vodiče akumulovat volný náboj. Rozlišujeme kapacitu osamocené nabitý vodiče a kapacitu soustavy dvou navzájem izolovaných vodičů nabitých stejně velkým opačným nábojem (kondenzátoru).

Kapacita osamocené vodiče C vyjadřuje, že potenciál φ_0 na povrchu vodiče je úměrný volnému el. náboji Q tohoto vodiče $Q = C\varphi_0$ (přičemž se předpokládá, že φ_0 je nulový v nekonečnu). Kapacita vodiče závisí na jeho tvaru a velikosti a na charakteru nevodivého prostředí, které vodič obklopuje. Například nabitá vodivá koule o poloměru R ve vakuu má kapacitu $C = 4\pi\epsilon_0 R$. Pro $R = 0,50$ m, což přibližně odpovídá poloměru koule, která by se uplácala z člověka dostáváme $C = 56$ pF.

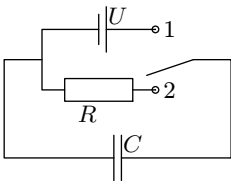
Kapacita soustavy dvou navzájem izolovaných vodičů nabitých opačným nábojem Q , mezi nimiž je el. pole odstíněné od vnějších el. polí, je dána vztahem $C = q/|\varphi_{02} - \varphi_{01}|$, kde φ_{01} , φ_{02} jsou potenciály uvažovaných těles. Například pro kondenzátor tvořený dvěma rovnoběžnými vodivými deskami o ploše S a vzdálenosti d ($S \gg d^2$), mezi nimiž je vakuum, je $C = S\epsilon_0/d$.

Kdybychom chtěli měřit kapacitu člověka coby osamocené vodiče, museli bychom ho odizolovat, nabít a změřit jeho potenciál vzhledem k nekonečnu, což samozřejmě neumíme, ale umíme změřit jeho potenciál vzhledem k zemi. Uděláme-li to a zároveň změříme náboj na člověkově, můžeme spočítat kapacitu člověka jako kapacitu kondenzátoru, kde jednu desku tvoří člověk a druhou země.

Uvědomte si, že měřit kapacitu člověka tak, že vezmu nějaký přístroj či metodu pro měření kapacity kondenzátorů a člověka zapojím do elektrického obvodu tak, že se např. každou rukou chytne jeden z přívodových drátů, je naprostý nesmysl, neboť člověk sám o sobě není žádný kondenzátor.

Metody a výsledky měření

Pro měření jsme vybrali jednu z nejpřímochařejších metod měření kapacity, neboť např. měření kapacitoměrem může být zatíženo obrovskou systematickou chybou vyplývající z toho, že všechny běžné přístroje jsou konstruovány pro měření běžných kondenzátorů. Těžko zhodnotit, zda by kapacita kondenzátoru člověk–země šla změřit např. hojně používanou rezonanční metodou.



Obr. 1

Zapojíme obvod podle obr. č. 1. Kondenzátor na obrázku je kondenzátor člověk–země, konkrétně jeden drát vede na topení, druhý držíme v ruce a on země jsme odizolováni např. gumovou podrážkou a kobercem. Nejprve kondenzátor nabijeme přes voltmetr zdrojem stejnosměrného napětí (v našem provedení $U = 20$ V), tomu odpovídá poloha spínače 1. Též by bylo možné se nabít statickou elektřinou, kupodivu pouhým třením ponožky o koberec se lze nabít až na několik voltů. Poté zdroj odpojíme a kondenzátor se začne přes voltmetr o odporu R vybíjet, na voltmetru pozorujeme klesající napětí.

Pro napětí na kondenzátoru v každém okamžiku platí, že jeho úbytek je úměrný úbytku náboje, tj. proudu procházejícímu obvodem $dU = dQ/C = -I dt/C$, z Ohmova zákona známe

proud, a tedy $dU/dt = -U/RC$, což je jednoduchá diferenciální rovnice, jejíž řešením je $U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$. Pokud za čas t klesne napětí na voltmetru z hodnoty U_1 na U_2 , platí pro kapacitu kondenzátoru

$$C = \frac{t}{R \ln \frac{U_1}{U_2}}.$$

Kondenzátor člověk–země se vybíjel velmi rychle, proto jsme za čas t zvolili vzorkovací frekvenci voltmetru, která v našem případě byla $t = 0,5$ s (vyčteno z manuálu a ověřeno přibližným měřením na stopkách). Za hodnotu U_1 jsme brali první hodnotu, která se na voltmetru objevila po zapojení spínače do polohy 2. Za hodnotu U_2 tu, která se tam objevila po ní, tj. po půl sekundě. Předtím jsme samozřejmě ověřili, že pokud voltmetr např. rychle připojíme (či odpojíme) na zdroj napětí, tak hned první hodnota, která se na něm objeví odpovídá vcelku přesně té, která se posléze ustálí. Odpor voltmetru je $R = 10 \text{ M}\Omega$ (vyčteno z manuálu a přibližně přeměřeno). Několik měření je uvedeno v následující tabulce

U_1 (V)	0,99	1,70	1,22	0,68	0,94	0,69	1,34	1,26
U_2 (V)	0,70	0,79	0,70	0,47	0,69	0,49	0,74	0,70
C (μF)	0,14	0,07	0,09	0,14	0,16	0,15	0,08	0,09

Průměrně tedy $C = 0,11 \mu\text{F}$. Statistickou odchylku nemá smysl počítat, neboť systematická je mnohem větší. Jedná se spíše o řádový odhad měřené kapacity člověka než o její přesné měření.

Závěr a diskuze výsledků

Vybíjecí křivku kondenzátoru a tudíž i kapacitu bychom mohli určit mnohem přesněji při použití např. osciloskopu, na kterém by se křivka přímo zobrazila. Aby se kondenzátor vybíjel pomaleji, potřebovali bychom větší odpor, ten jsme ovšem k dispozici neměli. Navíc při pomalejším vybíjení by velkou chybu do měření vnašel fakt, že kondenzátor není ideální, resp. že desky nejsou ideálně odizolovány, a tedy se kondenzátor vybíjí i při nezapojeném voltmetru (náboj odtéče podlahou do země).

Samotná kapacita člověka velmi závisí na tom, jak dobře je odizolován, jak stojí, na čem, v čem je oblečen atd.

Lenka Zdeborová