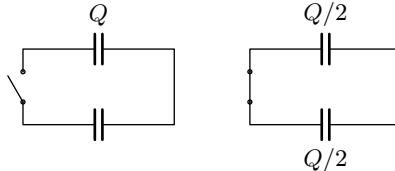


22. ročník, úloha IV . P ... zachraňte fyziku (3 body; průměr 1,67; řešilo 18 studentů)

Rozpojený obvod na obrázku 1 obsahuje jeden nenabitý a jeden nabitý kondenzátor (náboj Q). Vodiče jsou ideální, nemají žádný odpor, oba kondenzátory jsou stejné. Celková energie nábojů v obvodu tedy je $Q^2/2C$. Pokud se po sepnutí vypínače náboje na kondenzátorech vyrovnají, celková energie bude $Q^2/8C + Q^2/8C = Q^2/4C$, což je polovina oproti počáteční situaci. Vysvětlete tento rozdíl. Kde se spotřebovala polovina energie? Vypínač je vyrobený tak šikovně, že v něm vysvětlení netkví.

S touhle záludností přišel Jarda Trnka.



Obr. 1. Obvod s kondenzátory před a po sepnutí vypínače

Po sepnutí spínače je obvod jistě v nerovnováze, elektrony ze záporně nabitých elektrod kondenzátorů (uvědomme si, že kladný nebo záporný potenciál získá před nabitím kondenzátoru celý vodič spojený s danou elektrodou a s ním i vodič spojená elektroda druhého kondenzátoru) začnou být urychlovány k druhé elektrodě.

Při dosažení rovnovážného stavu, když se náboje na kondenzátorech vyrovnají, se však elektrony stále pohybují a k jejich zastavení je potřeba práce přesně opačná té, jež je urychlila. Vzhledem k symetrii to znamená, že se původně nabitý kondenzátor zcela vybijí a nenabitý kondenzátor získá náboj Q ; obvod se dostal zjevně do původního stavu, jen se kondenzátory vyměnily. Tímto způsobem by měl oscilovat stále dál; zkušenost by však ukázala, že i pro obvod s ideálními součástkami by se kmity časem utlumily a na obou kondenzátorech bychom naměřili stálé hodnoty nábojů $Q/2$.

Vysvětlení je prosté. Pohybující se náboj (elektrony) vytváří kolem sebe magnetické pole. Jelikož rychlost elektronů se bude měnit, bude proměnlivé i vznikající magnetické pole a jak známo, při změně magnetického pole vznikají elektromagnetické vlny. Energie se tak z obvodu prostě vysvítí ve formě těchto elektromagnetických vln (při běžných kapacitách kondenzátorů půjde nejspíše o nějaké rádiové frekvence).

Stojí za zmínku, že se jedná vlastně o klasický LC oscilátor. Takový nebuzený LC oscilační obvod se obvykle skládá z cívky a předem nabitého kondenzátoru; zde je kondenzátor tvořen dvěma stejnými sériově zapojenými kondenzátory, takže celková kapacita bude $C/2$, původní napětí na kondenzátorech bude $U = Q/C$, takže výsledný kondenzátor se bude navenek tvářit, jako by měl na začátku náboj $Q/2$.

A co cívka? Ta přeci na schémátku není... Nebo snad ano? Běžnou značku cívky tu sice nenajdeme, ale ve skutečnosti je v obvodu „cívka“ s jedním závitem, tvořená vlastním vodičem propojujícím součástky. Tato smyčka má určitou vlastní indukčnost (její přesná hodnota závisí na tvaru a rozměrech obvodu a též na prostředí, v němž se obvod nachází), a je tedy schopna účinně indukovat napětí v obvodu a stejně tak vytváří ve svém okolí magnetické pole, jež svými změnami v důsledku konečné rychlosti šíření svých změn (rychlost světla) bude vytvářet elektromagnetické vlny.

Marek Nečada

marekn@fykos.mff.cuni.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty UK MFF. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci UK MFF a podporován Ústavem teoretické fyziky UK MFF, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.