

## 291. Az eltűnt energia nyomában

Egy kondenzátort töltünk fel  $U_1$  egyenfeszültségre. Ekkor a benne tárolt töltés

$$Q = C \cdot U,$$

míg a tárolt energia

$$E_1 = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} C \cdot U^2 .$$

Ezután kapcsoljuk a feltöltött kondenzátorra egy másik, vele azonos kapacitású töltetlen kondenzátort (424. ábra). Az üres kondenzátor töltődni kezd, és ez mindaddig folytatódik, míg a két kondenzátor feszültsége egyenlővé nem válik. Mivel a két kapacitás egyenlő, a töltések is egyenlően oszlanak meg, mert csak így alakulhat ki egyforma feszültség. Ez azt jelenti, hogy az eredetileg feltöltött kondenzátor összekapcsolás előtti állapotához képest mindkét kondenzátoron felényi feszültség és felényi töltésmennyiség van. Számoljuk ki most az egyik kondenzátorra jutó energiát:

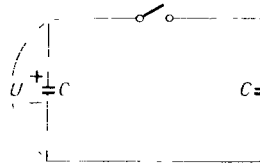
$$E_2 = \frac{1}{2} C \left( \frac{U}{2} \right)^2 = \frac{1}{8} C \cdot U^2 = \frac{1}{4} E_1 .$$

Az eredeti energiának tehát csak negyedrésze jut egyik-egyik kondenzátorra, a két kondenzátorban tárolt összes energia pedig csak fele az eredetinek, a másik fele látszólag eltűnt. Ez azonban ütközik az energiamegmaradás törvényével.

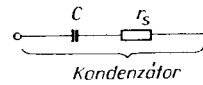
*Mi a magyarázata az energia eltűnésének?*

## V á l a s z

Fejtegetésünk szóról szóra igaz, ez a jelenség valóban így játszódik le a gyakorlatban is. Elgondolkoztató azonban, hogy okoskodásunk során sehol sem említettük a minden kondenzátornál jelenlevő soros veszteségi ellenállást (425. ábra). A gyakorlatban nyilván nem hanyagolható el ezen a veszteségi ellenálláson hővé alakuló energia. Ha a feltöltött kondenzátort a fél feszültségéig sütnénk ki ezen az ellenálláson, de a másik kondenzátor nélkül, ugyanígy az energia negyedrésze maradna a kondenzátorban. Az eltűnt háromnegyed rész itt nem okoz gondot, mert tudjuk, hogy az ellenálláson alakult hővé. Ha most a fél feszültségig történő kisütést úgy ismétljük meg, hogy a körben az ellenállás mellett az üres kondenzátor is szerepel, úgy az utóbbiban a folyamat végén az energia második negyedrésze is megmarad. Itt is nyilvánvaló, hogy az energia fele az ellenállásban emésztődött fel. Most tételezzük fel, hogy áttöltési kísérleteinket egymás után többször megismétljük, de egyre kisebb soros ellenállással. Nyilvánvaló, hogy a kisütőáram egyre nagyobb értékű lesz. Matematikailag bebizonyítható, hogy az



424. ábra. Üres és feltöltött kondenzátorok összekapcsolása



425. ábra. A kondenzátor soros veszteségi ellenállása