A kondenzátorlemezek – a töltésmegoszlás miatt – a rákapcsolt feszültség polaritásától függetlenül vonzzák egymást. Egyensúlyi helyzetben a rugóerő ezzel a vonzóerővel azonos nagyságú, de ellenkező irányú (1.ábra).

Vizsgáljuk ezen erők változását! A fellépő elektrosztatikus vonzóerő:

(1) $$F_e = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{Q^2}{2A} = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0 A U^2}{d^2} \quad (l.\ \text{III. oszt. tk. 148. o.}),$$

a rugóerő

(2) $$F_r = D(d_0 - d).$$

Egyensúly esetén

(2*) $$D(d_0 - d) = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0 A U^2}{d^2},$$

ahonnan

(3) $$U = \sqrt{\frac{2D}{\varepsilon_0 A}}\, d\,\sqrt{d_0 - d}$$

$$(D = 177\,\mathrm{N/m}, \quad \varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\mathrm{As/Vm}, \quad A = 1{,}6\cdot 10^{-2}\mathrm{m}^2).$$

A lemez $x = d_0 - d$ elmozdulásának függvényében

(4) $$U = \sqrt{\frac{2D}{\varepsilon_0 A}}(d_0 - x)\sqrt{x}.$$

Mivel az $x(U)$ összefüggés megállapításához harmadfokú egyenletet kellene megoldanunk, vizsgáljuk inkább az $U(x)$ függvényt, amelyből invertálással előállítható $x(U)$.

1986-11-426-1.eps

2. ábra

1986-11-426-2.eps

3. ábra

Természetesen x értéke 0 és 0,03 m között változhat. A (4) függvény képét a 2. ábra mutatja. (A megfelelő függvényértékeket számítógépes behelyettesítéssel nyerhetjük.) Elemezzük ezt a függvényt! $c = \dfrac{\sqrt{2D}}{\varepsilon_0 A}$ jelöléssel

$$U'(x) = c\,\frac{1}{2\sqrt{x}}(d_0 - 3x),$$

ennek alapján a függvénynek $x = \dfrac{d_0}{3}$ helyen maximuma van, $0 \le x < \dfrac{d_0}{3}$ esetén szigorúan nő, $x > \dfrac{d_0}{3}$ esetén szigorúan csökken. A felvett maximális függvényérték $U_{\max} = 10^5$ V.

Nézzük meg, milyen az $U(x)$ hozzárendelés! Láthatjuk, hogy minden $U < U_{\max}$ értékhez két egyenesági x érték is tartozik. Mivel $U = 0$-nál $x = 0$, így a rákapcsolt feszültség növelésére a lemezek 2 cm-re megközelítik egymást. $U_{\max}$-nál nagyobb feszültség hatására a lemezek összecsapódnak, nincs akkora rugóerő, amely képes lenne a vonzóerőt ellensúlyozni. Egy adott $U < U_{\max}$ értéknél azonban $0{,}01 < x < 0{,}03$ egyensúly is megvalósulhat, ha valamilyen módon ezt kívülről beállítjuk, de ez az egyensúly labilis.

Az egyensúlyok vizsgálatához ábrázoljuk egy koordináta-rendszerben (2*) két oldalát (3. ábra).

$-U > U_{\max}$ esetén láthatjuk, hogy a lemez bármelyik helyzetében a vonzóerő nagyobb, mint a rugóerő, így nem valósulhat meg egyensúlyi helyzet;

$-U = U_{\max}$ esetén a két erő $K = 0{,}01$ m-nél egyenlővé válik, azonban bármelyik irányban mozdítjuk ki a lemezt, a vonzóerő lesz a nagyobb, tehát ez az egyensúlyi helyzet labilis.

$-U < U_{\max}$ esetén két egyensúlyi helyzet (x_1 és x_2) van. $x_1(< 0{,}01$ m) esetében a lemezt a rugó felé kitérítve egy kicsit, láthatjuk, hogy a vonzóerő lesz a nagyobb, így az visszaállítja az eredeti helyzetet. Hasonlóan a másik lemez felé kitérítve is visszaáll az eredeti helyzet, mert ekkor a rugóerő nagysága haladja meg a vonzóerőt. Ez az egyensúlyi helyzet tehát stabil. Hasonló gondolatmenettel belátható, hogy $x_2(> 0{,}01$ cm) esetében a helyzet éppen fordított, tehát ez labilis egyensúlyi helyzet.

Megjegyzések. **1.** Ha csak egy átlagos kondenzátort tekintünk, annak átütési szilárdsága 30 000 V/cm, ennek megfelelően csak kb. 79 000 V feszültségig mérhetünk.

2. A műszer skálája nem lesz lineáris, a mérési pontosság $x = 0{,}01$ m-hez közeledve fokozódik, hiszen ekkor egységnyi feszültség változásra egyre nagyobb elmozdulásokat kapunk.

3. Nagyon sokan nem vették figyelembe, hogy a kondenzátorlemezek között levő tér a lemezeken található töltések terének szuperpozíciójaként áll elő, és így (1)-ben nem osztottak 2-vel. Ezért 1 pontot vontunk le.