

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:

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

a rugóerő

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

Egyensúly esetén

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

ahonnan

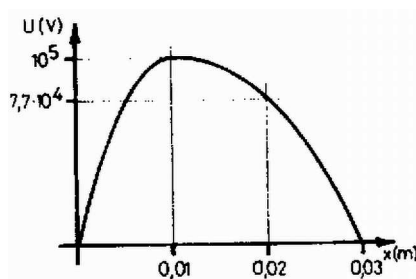
$$(3) \quad U = \sqrt{\frac{2D}{\varepsilon_0 A}} d \sqrt{d_0 - d}$$

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

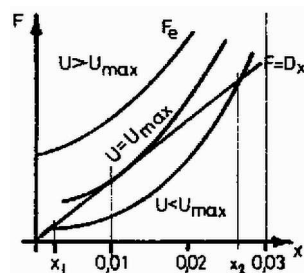
A lemez  $x = d_0 - d$  elmozdulásának függvényében

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

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



2. ábra



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!  $c = \frac{\sqrt{2D}}{\varepsilon_0 A}$  jelöléssel

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

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

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 lemezekon található töltések terének szuperpozíciójaként áll elő, és így (1)-ben nem osztottak 2-vel. Ezért 1 pontot vontunk le.