

Kondenzátorok

Fizikai alapok

A kapacitás

A kondenzátorok a kapacitás áramköri elemet megvalósító alkatrészek.

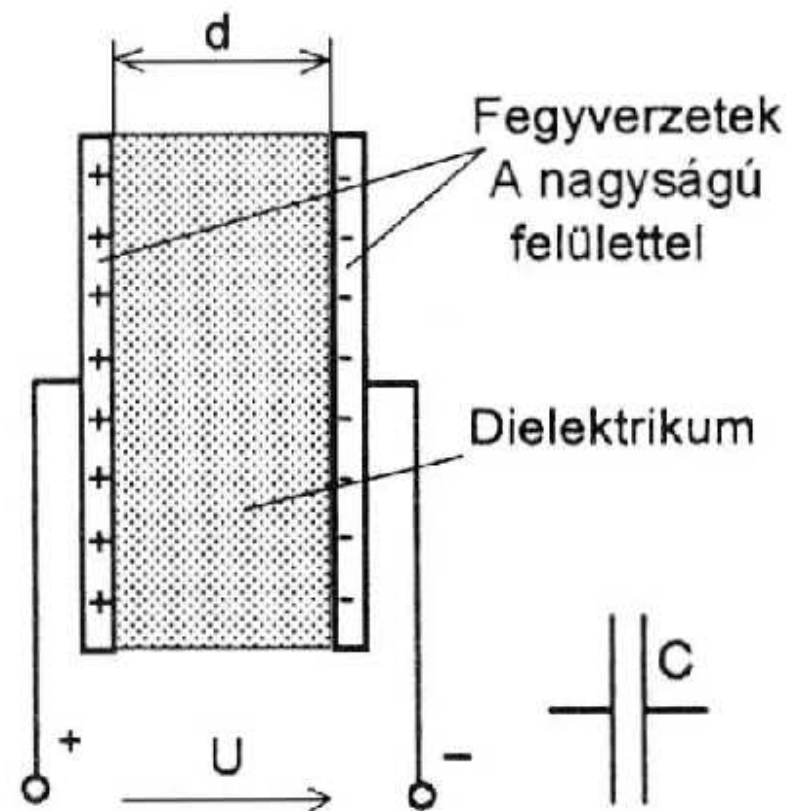
Ha a kondenzátorra feszültséget kapcsolunk, feltöltődik. Egyenfeszültség esetén a lemezekon felhalmozódó ellentétes előjelű töltés mennyisége (Q) arányos a feszültséggel (U):

$$Q = CU \quad (1)$$

A C arányossági tényezőt kapacitásnak nevezzük. Ez a definíció csak egyenfeszültség esetén érvényes.

Általános esetben a kapacitás definíciója:

$$C = dQ/dU \quad (2)$$



2.1. ábra

A síkkondenzátor felépítése

Az elektromos erőtér

A felhalmozódó töltés hatására a lemezek között elektromos erőtér alakul ki, mely két vektormennyiséggel jellemezhető. Az egyik az elektromos eltolás (\underline{D}), amelynek az értéke számszerűleg megegyezik a töltéssűrűséggel:

$$D = \sigma = Q/A \quad (3)$$

ahol A a felület.

A másik vektormennyiség az elektromos térerősség, amelyik az elektromos tér erőhatásával kapcsolatos. Az elektromos térerősség szintén arányos a töltéssel, és így az elektromos eltolással:

$$\underline{D} = \varepsilon \underline{E} \quad (4)$$

Az ε arányossági tényező a permittivitás vagy dielektromos állandó. A vákuumra vonatkozó értéke univerzális állandó:

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm} \quad (5)$$

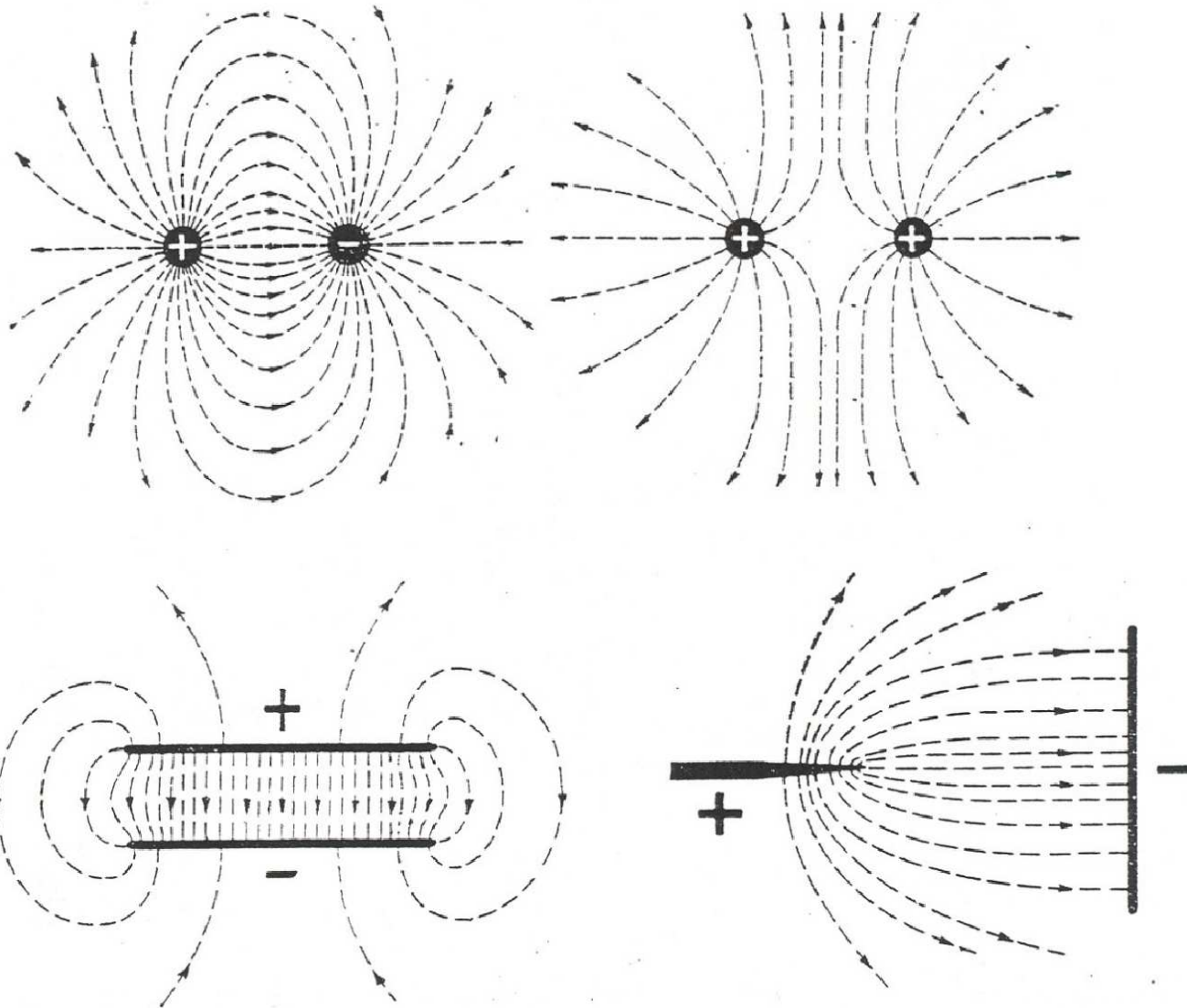
Mind az eltolás, mind a térerősség vektor a pozitív potenciál felől a negatív potenciál felé mutat (megállapodás alapján).

Erővonalak

Az elektromos tér erővonalakkal jellemezhető. Az erővonalak elektromos töltésből indulnak és elektromos töltésen érnek véget.

Az erővonalak sűrűsége a térősséggel arányos, irányuk megegyezik az elektromos tér irányával.

Síkkondenzátor belsejében az elektromos tér homogénnek tekinthető, az erővonalak merőlegesek a fegyverzetekre.



A dielektrikum hatása

Ha szigetelőanyag (dielektrikum) tölti ki a fegyverzetek közötti teret, a szigetelő polarizációja miatt a fegyverzeteken lévő töltéssel ellentétes töltés alakul ki a szigetelő felületén (Q'), ami leárnyékolja a térerősséget (ellentétes irányú térerősséget hoz létre).

Ennek következtében az elektromos térerősség kisebb lesz a szigetelőben, mint amekkora vákuumban volna a fegyverzeteken lévő ugyanakkora töltéssűrűség esetén.

A polarizációt ill. az árnyékoló hatást a relatív dielektromos állandóval (ϵ_r) jellemzik. Ennek értéke azt mutatja meg, hogy hányad rész a térerősség a szigetelőben a vákuumban lévő térerősséghez képest ugyanakkora elektromos eltolás esetén. Így a szigetelő anyagok dielektromos állandója:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (6)$$

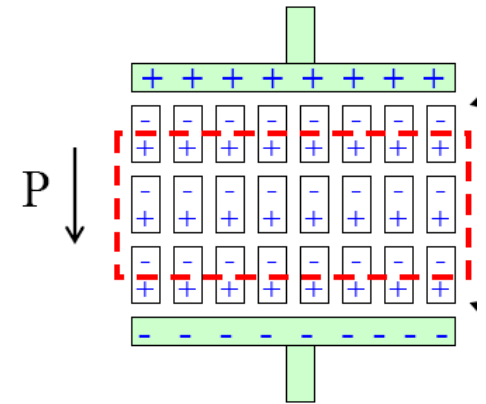
Energiaviszonyok

A kondenzátorban az energia a dielektrikumban tárolódik, melynek értéke:

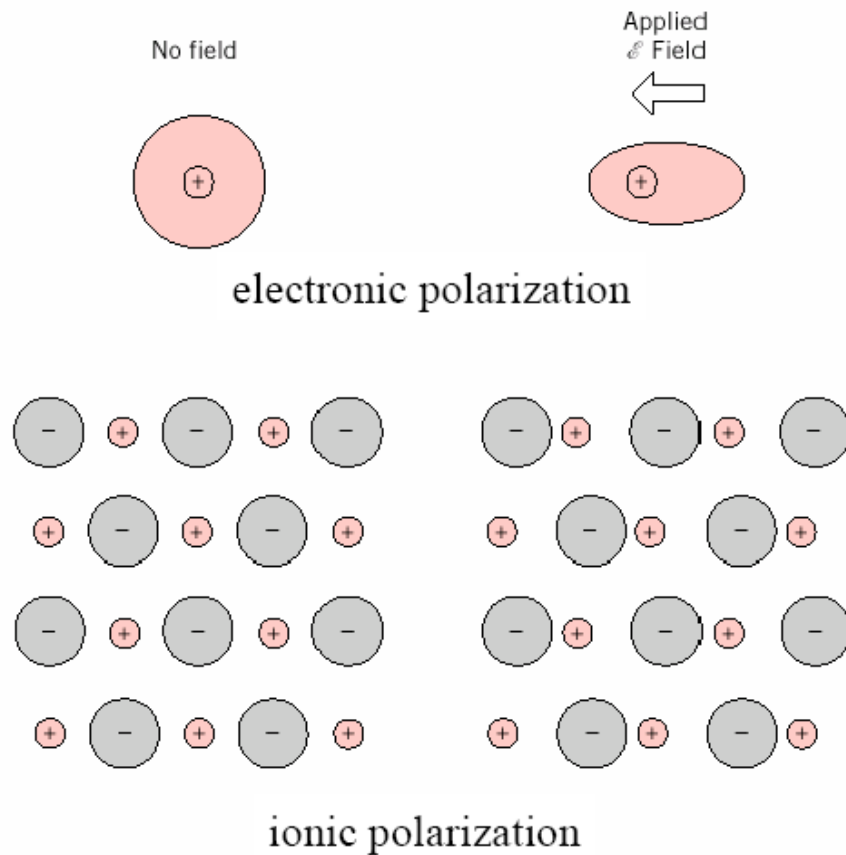
$$W = 1/2 \cdot QU = 1/2 \cdot CU^2 \quad (7)$$

Az energiasűrűség (egységnyi térfogatra jutó energia) a szigetelőben:

$$w = W/V = 1/2 \cdot ED = 1/2 \cdot \epsilon_0 \epsilon_r E^2 \quad (8)$$



Polarizációs mechanizmusok



molecular (orientation) polarization

Elektron (indukált) polarizáció: az elektromos tér elmozdítja egymáshoz képest az atommagok és a körülöttük keringő elektronok súlypontját. Minden anyagban létrejön.

Ionos (indukált) polarizáció: Ionos kötésű anyagokban - a pozitív és negatív ionok ellentétes irányban mozdulnak el az elektromos tér hatására.

Molekula (orientációs) polarizáció: Poláros molekulák esetén (pl. H_2O). Az elektromos tér hatására a molekulák befordulnak a térrel szemben.

Az orientációs mikrohullámú, az ionos infravörös, az elektron polarizáció ultraibolya frekvenciáig jön létre.

$$P_{\text{eredő}} = P_e + P_i + P_o$$

A kondenzátor kapacitása

A kondenzátor kapacitása a szigetelő anyagától és a geometriai elrendezéstől és a méretektől függ.

Síkkondenzátor kapacitása

A fegyverzetek közötti feszültség kifejezhető a *homogén* térerősségen keresztül:

$$\underline{U} = \underline{E}d \quad (9)$$

ahol d a fegyverzetek közötti távolság. A (4) kifejezés alapján:

$$U = D/\varepsilon \cdot d \quad (10)$$

A (3) és (6) kifejezések alapján:

$$U = Q/(\varepsilon_0 \varepsilon_r A) \cdot d \quad (11)$$

Innen (1) vagy (2) alapján:

$$C = (\varepsilon_0 \varepsilon_r A)/d \quad (12)$$

A (10) kifejezésből látható, hogy minél közelebb vannak a fegyverzetek egymáshoz és minél nagyobb a szigetelő dielektromos állandója, annál kisebb méretű kondenzátorral lehet megvalósítani ugyanazt a kapacitás értéket.

Hengeres és gömbkondenzátor kapacitása

A fentiekhez hasonló módon meghatározható a hengeres kondenzátor kapacitása:

$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r l / \ln(r_2/r_1) \quad (13)$$

ahol l a henger hossza, r_2 a külső, r_1 a belső fegyverzet sugara. Ez a kifejezés adja meg a koaxiális kábel kapacitását is.

A gömbkondenzátor kapacitása:

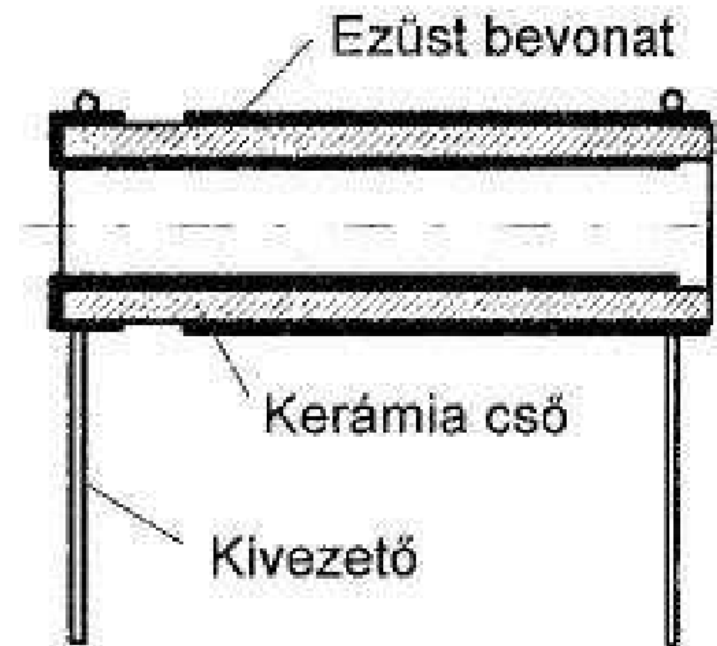
$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r r_1 r_2 / (r_2 - r_1) \quad (14)$$

Magányosan álló gömb kapacitásának értelmezésénél feltételezzük, hogy a másik fegyverzet végtelen távol van, vagyis $r_2 = \infty$:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r r \quad (15)$$

ahol r a gömb sugara.

Csőkondenzátor



Feszültség, áram viszonyok

A kapacitás definíciója alapján ((2) kifejezés) írhatjuk:

$$dQ=C \cdot dU \quad (16)$$

A töltés egyenlő az áramerősség (i) és az idő (dt) szorzatával. Behelyettesítve:

$$i \cdot dt=C \cdot dU \quad (17)$$

Innen az áram pillanatnyi értéke:

$$i=C \cdot dU/dt \quad (18)$$

A (17) és (18) kifejezésből látható, hogyha a kapacitás nem függ a feszültségtől és a kondenzátort állandó értékű egyenárammal töltjük, akkor lineárisan változik rajta a feszültség.

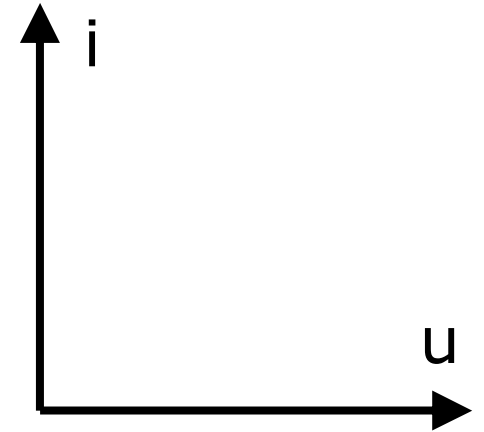
Ha a kondenzátorra szinuszos váltófeszültséget kapcsolunk, melynek komplex alakja:

$$u=U_0 e^{j\omega t} \quad (19)$$

a (18) kifejezés alapján az áram:

$$i=j\omega C U_0 e^{j\omega t} \quad (20)$$

ahol $\omega C U_0=I_0$ az áram amplitúdója. A (20) kifejezésből látható, hogy az áram 90° -kal siet a feszültséghez képest.



Reaktancia, admittancia

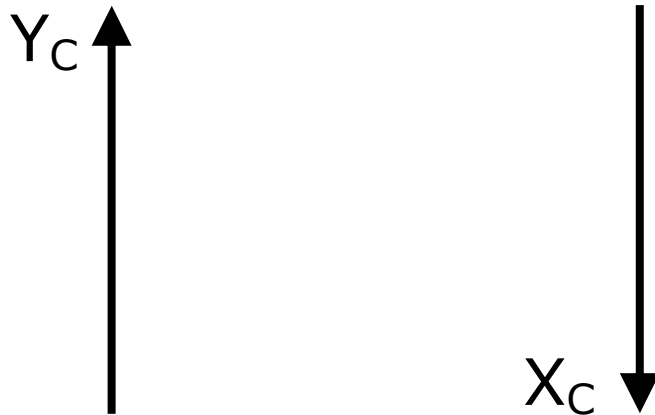
A kondenzátor reaktanciája a (19) és (20) kifejezések alapján:

$$X_C = u/i = 1/(j\omega C) = -j \cdot 1/(\omega C) \quad (21)$$

Az admittancia hasonló módon:

$$Y_C = 1/X_C = i/u = j\omega C \quad (22)$$

Vektoriálisan ábrázolva a komplex számsíkon:



Átütés, letörés

Az áram hirtelen növekedése a feszültség/térerősség kismértékű növekedése hatására. Kb. 10^{-8} s alatt végbemegy.

Jellemzője az átütéshez szükséges térerősség: letörési térerősség, kritikus térerősség, átütési szilárdság. Értéke tipikusan 3-200 MV/m.

Fajtái:

Lavina átütés: az elektronok/lyukak két szóródás között akkora mozgási energiát kapnak a tértől, ami elegendő újabb elektron-lyuk pár keltésére. Lavinyszerű töltéshordozó generáció indul be.

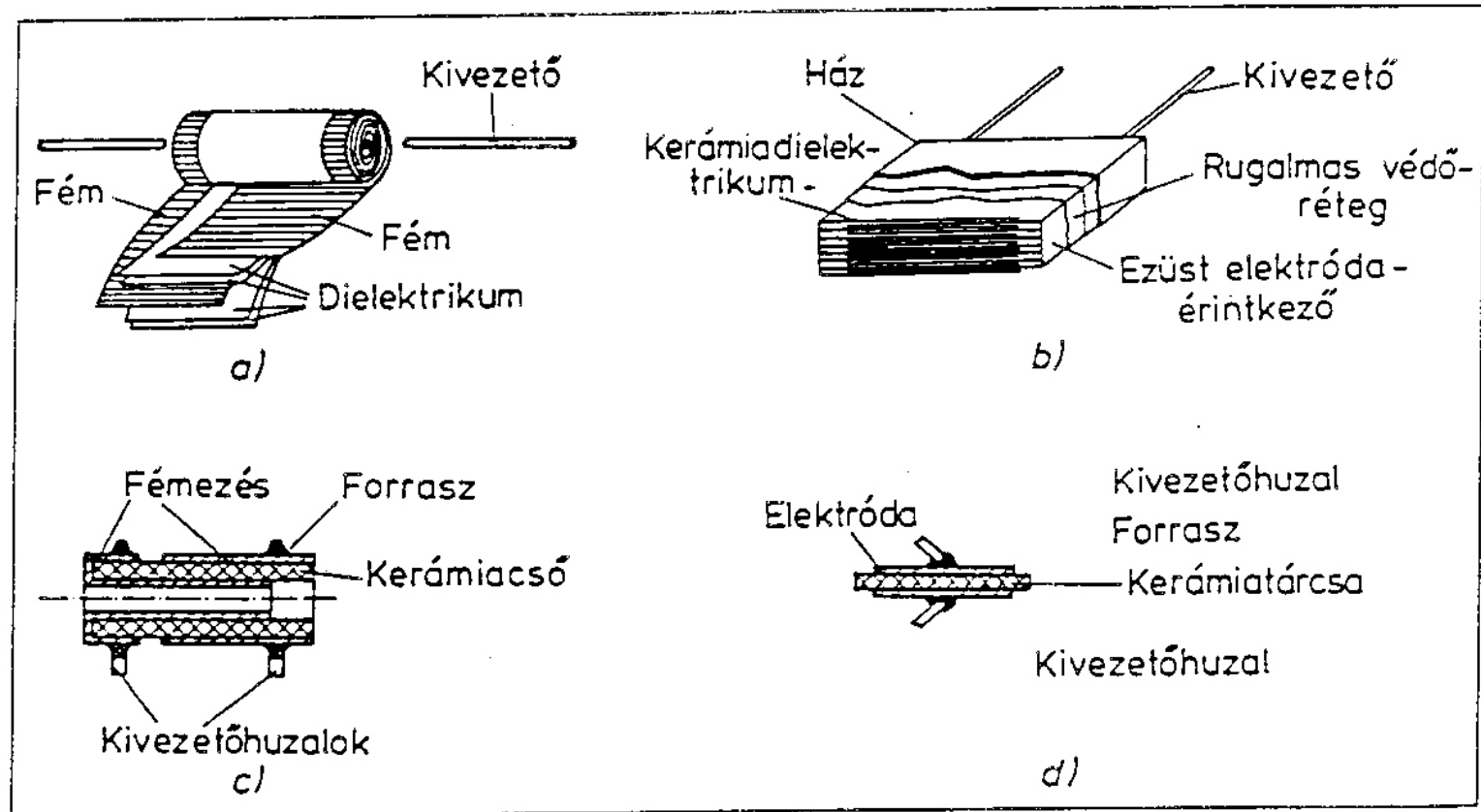
Termikus átütés: az ionizáció melegedés és az elektromos tér együttes hatására jön létre.

Kisüléssel átütés: pórusos vagy gázzárványokat tartalmazó szigetelőkben (pl kerámiák). A gáz előbb ionizálódik, mint a szilárd fázis – a pórusok ellenállása lecsökken, a szilárd fázisban megnő a térerősség. Ha eléri a letörési térerőt, bekövetkezik a letörés.

Felépítés Állandó értékű kondenzátorok:

- sík
- hengeres
- tekercselt
- átvezető
- elektrolit
(lásd lent)

1pF – néhány mF



Állandó értékű kondenzátorok

- a) tekercselt műanyag fólia fegyverzetű kondenzátorok;
b) többrétegű kerámiakondenzátorok; c) kerámia csőkondenzátorok;
d) kerámia tárcsakondenzátorok

Tekercselt kondenzátor egyik oldalán fémezett szigetelő fóliából is készül.

Szigetelő anyag szerinti felosztás

Légkondenzátor

Kis kapacitásértékek, de nagyon pontos, minimális veszteségű:

- etalon célokra
- forgó kondenzátor: ma már inkább varikap.

Vákuumkondenzátor

Nagy átütési feszültség (10 kV), nagy áram (25 A), kb. 20 MHz-ig.

Olajkondenzátor (folyadékkondenzátor)

Finomított ásványi olaj (ma már egyéb szintetikus nem vezető folyadékok, pl. szilikonolaj, szintetikus észterek, stb.): nagy feszültségű vagy áramú alkalmazások (motor hajtás, motor indítás, fázisjavítás, stb.)

Csillámkondenzátor

Pontos, kis veszteségű, hosszú élettartamú. Már nem gyártják.

Papírkondenzátor

Néhány pF-néhány száz μF , 100 kV-ig. Sn vagy Al fólia, a papírt impregnálják (parafin, epoxigyanta, bitumen). Maximum 80 °C-ig használható. Már nem gyártják.

Kerámiakondenzátorok

Kis szórt induktivitásúak.

Előállítás: őrlés, keverés (különböző összetétel), szinterelés, fémezés, trimmelés, kivezetések elkészítése, lakkozás.

Különböző tulajdonságú kerámiákból:

Magnéziumszilikát és titánoxid alapú –
veszteségi tényező $\sim 10^{-3}$, relatív
dielektromos állandó 8-15.

Bárium-, stroncium-, magnézium-titanát
alapú - ezek keveréke – ferroelektromos
anyagok. Relatív dielektromos állandó
1000 fölött, de függ a hőmérséklettől és
a rákapcsolt feszültségtől (télerősségtől),
veszteségi tényező nagy ($\sim 10^{-2}$). A
polarizációnak hiszterézise van.

Ólom-cirkónium-titanát (PZT)
kondenzátor polarizációja a
feszültség függvényében

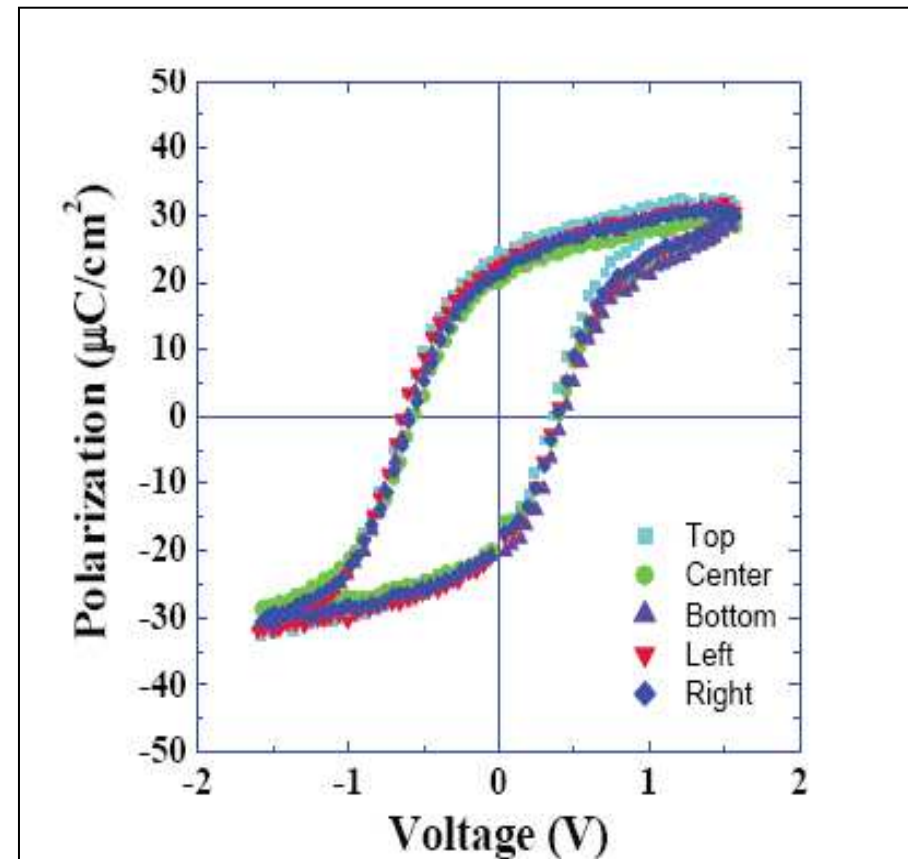


Fig. 6 Passivation level ferroelectric hysteresis curves of 130 nm, PZT capacitors.

Műanyagkondenzátorok

Polisztirol - Viszonylag rossz fajlagos kapacitású kondenzátor, korlátozott hőmérséklettűréssel. Kedvező öregedési tulajdonságai miatt precíziós analóg elektronikában alkalmazzák. Veszteségi tényezője alacsony.

Polipropilén

Poliészter - Leginkább magasfeszültségű alkalmazásra javasolt. Veszteségi tényezője viszonylag magas, ezért nagy frekvenciákon nem használják.

Poliamid - A poliészterhez hasonló, de magasabb működési hőmérsékletet is tolerál.

Polikarbonát - Kiváló szigetelési tulajdonságai miatt nagy feszültségeknél népszerű.

Teflon (politetraflour-etilén)- Nagyon kedvező magas frekvenciás tulajdonságokkal rendelkezik, ezért gyakran alkalmazzák mikrohullámú, illetve rádiófrekvenciás alkalmazásokban. Nagyon jó stabilitás, magas átütési szilárdság és kis veszteségi tényező jellemzi, még magas hőmérsékletek mellett is. Hátránya, hogy alacsony dielektromos állandója miatt a fajlagos kapacitása alacsony, valamint igen drága.

Polietilén

Elektrolit kondenzátorok

Nagy kapacitások megvalósítása. Az egyik fegyverzet elektrolit, a másik feldurvított felületű fém (nagy felület), a szigetelő vékony fénoxid a feldurvított felületen.

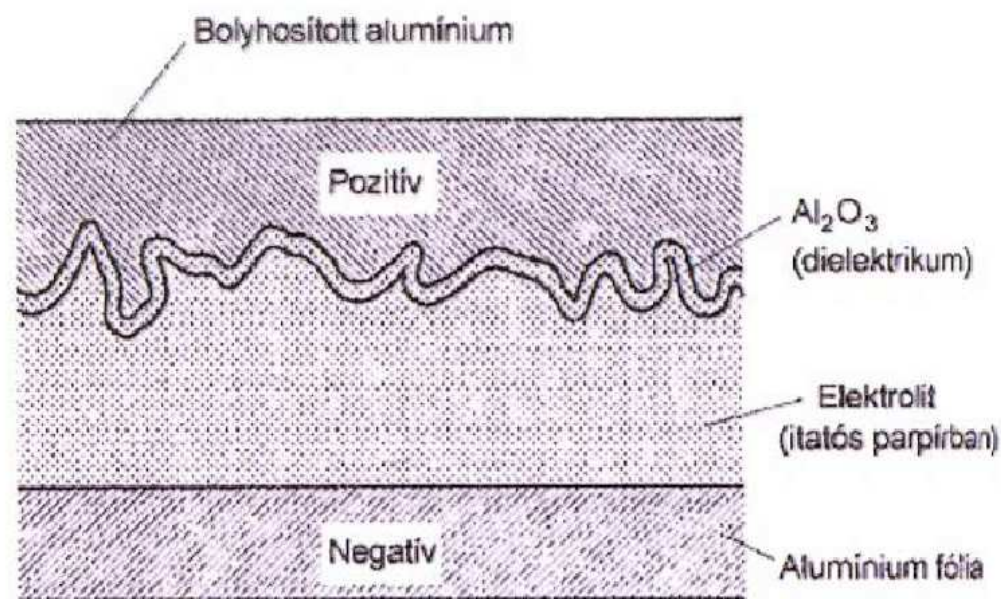
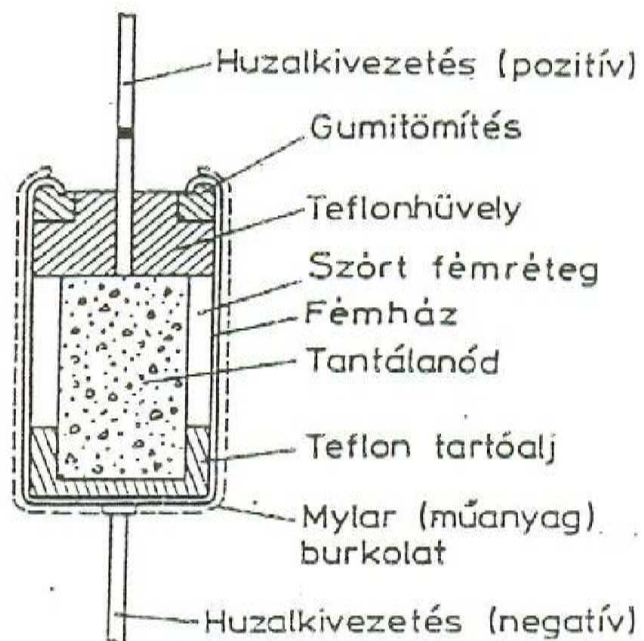
Hátrány: hőfokfüggés, öregszik, nagy veszteségek (szivárgás), polaritás függő, minimális környezeti hőmérséklet $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Anyagok:

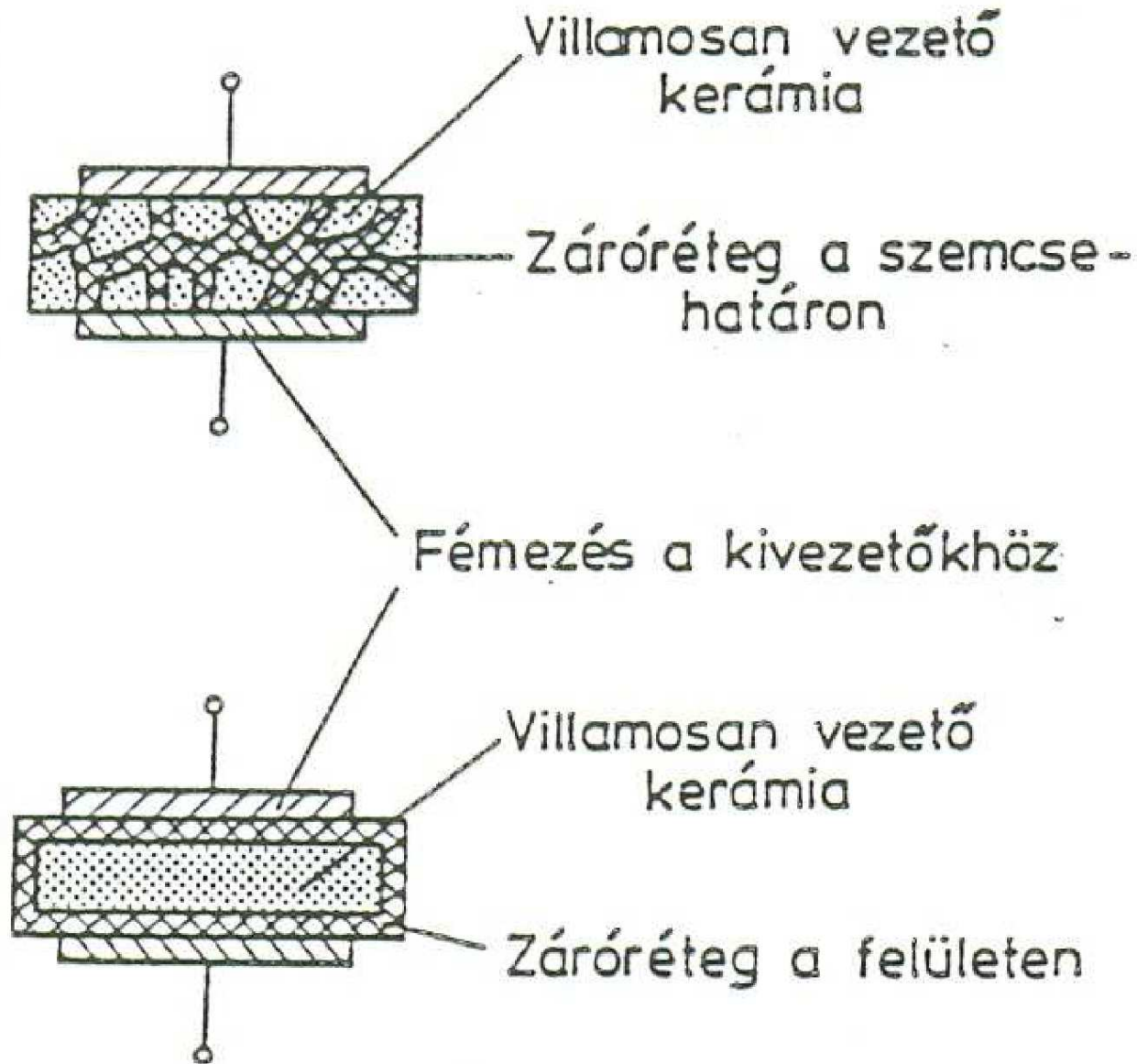
Al/Al₂O₃/elektrolit (alumíniumborát+borsav+glicerin (etilénglikol))

Ta/Ta₂O₅/elektrolit (30-40%-os kénsav)

Nedves és száraz változat. Száraz: elektrolit itatóspapírban, feltekerceslik.

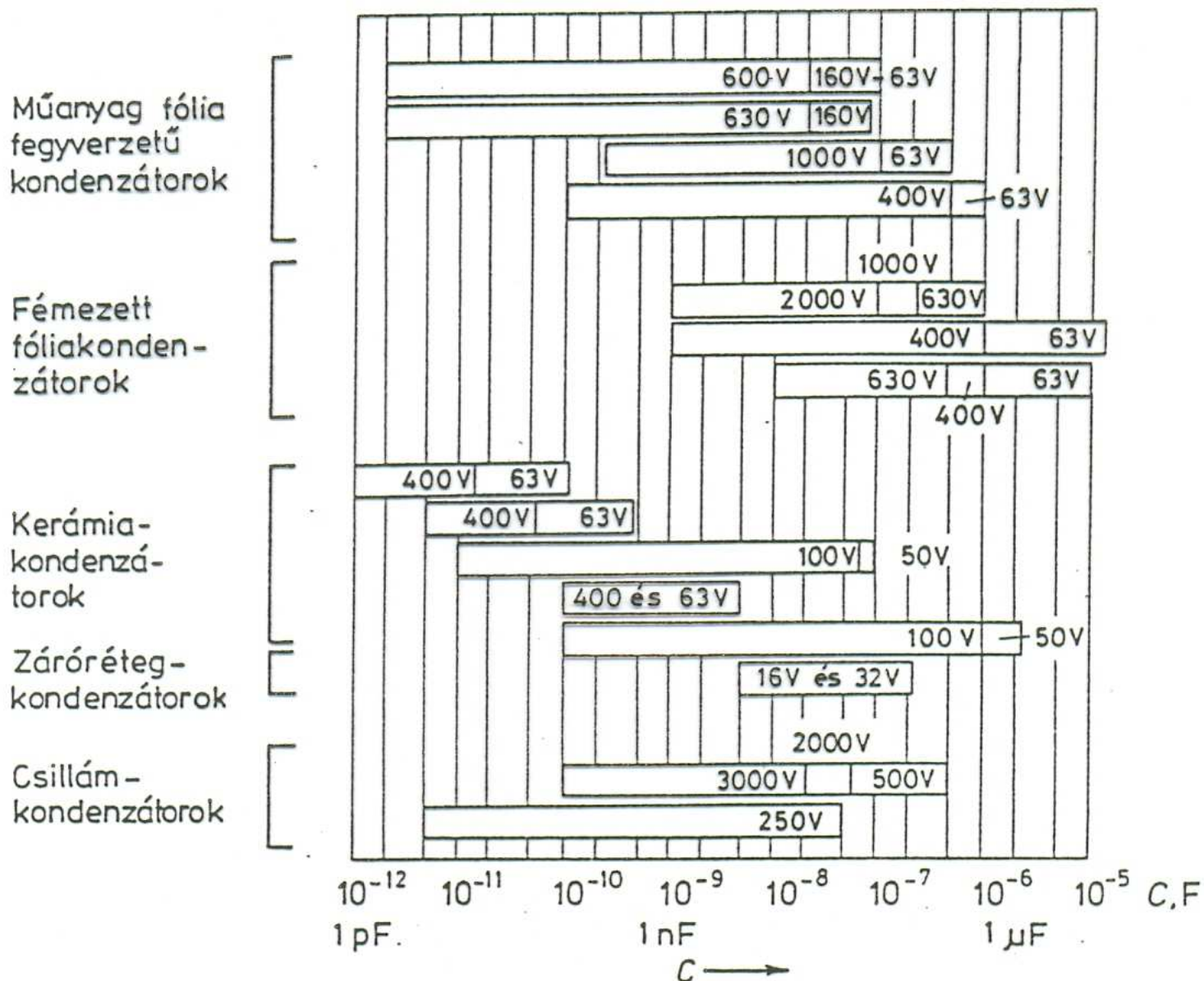


Zárórétegű kondenzátorok

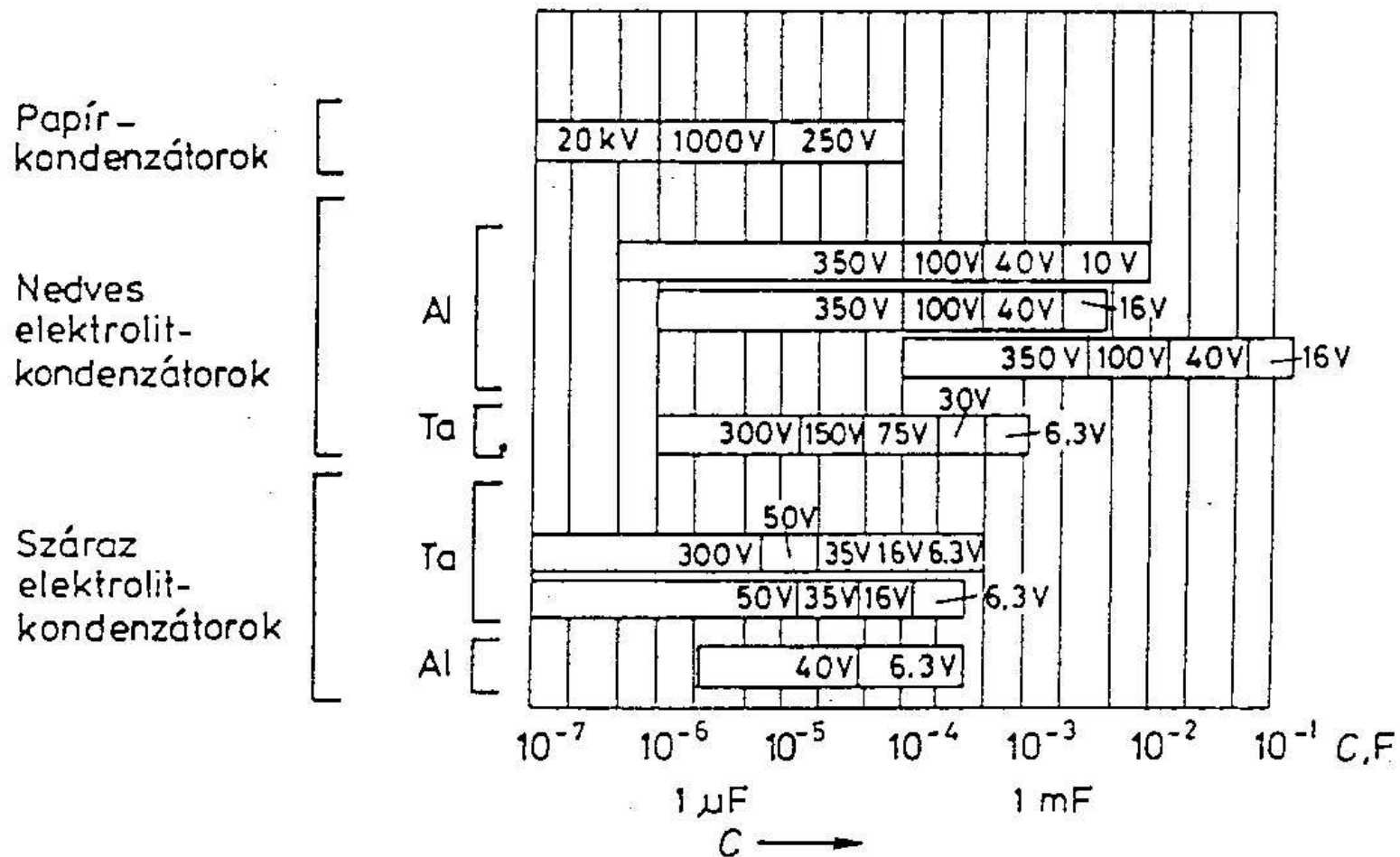


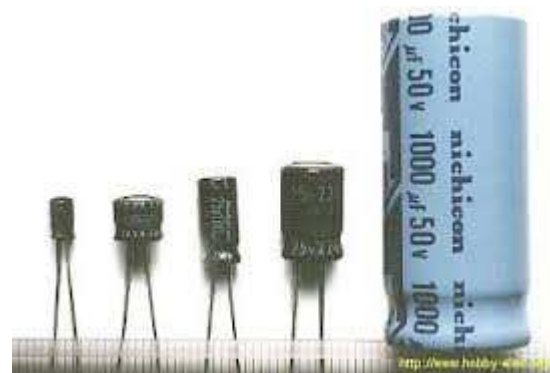
Nagy fajlagos kapacitású kondenzátorok. Vezető kerámiaréteg vagy szemcsék felületén kialakult oxidréteg alkotja a szigetelő réteget.

Kapacitás és feszültség tartományok

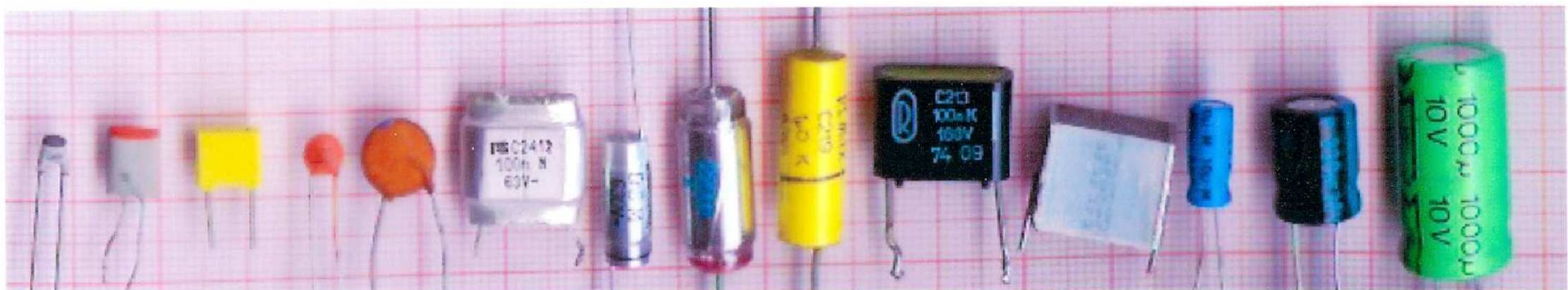


Kapacitás és feszültség tartományok (2)





Állandó értékű kondenzátorok

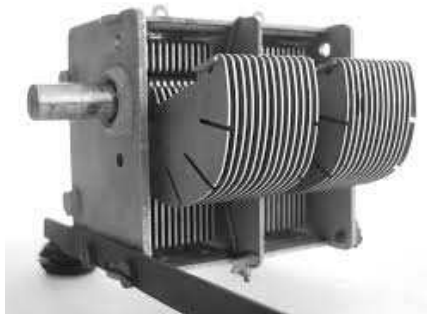
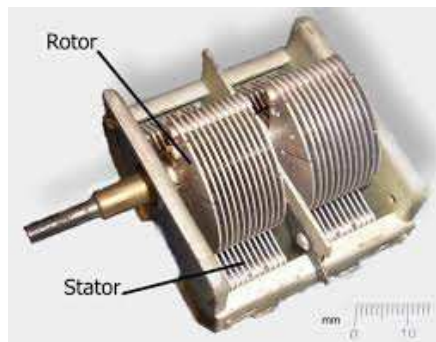
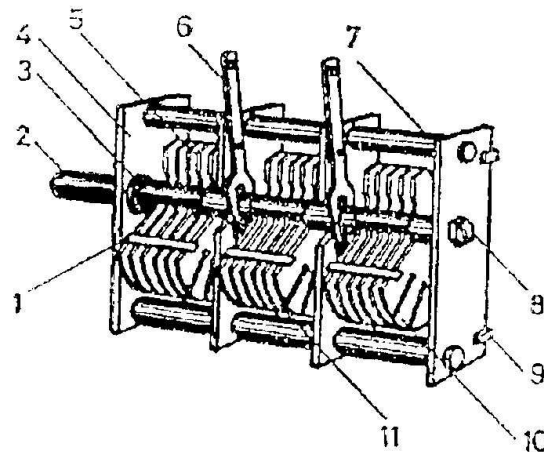
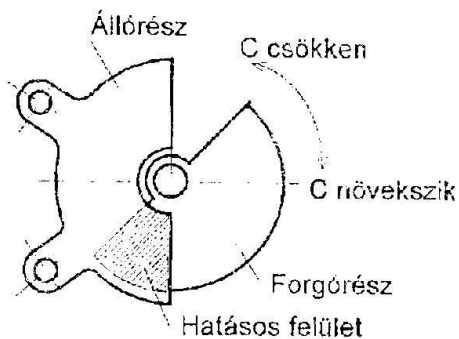


Változtatható értékű kondenzátorok:

- forgó
- trimmer

Forgókondenzátor

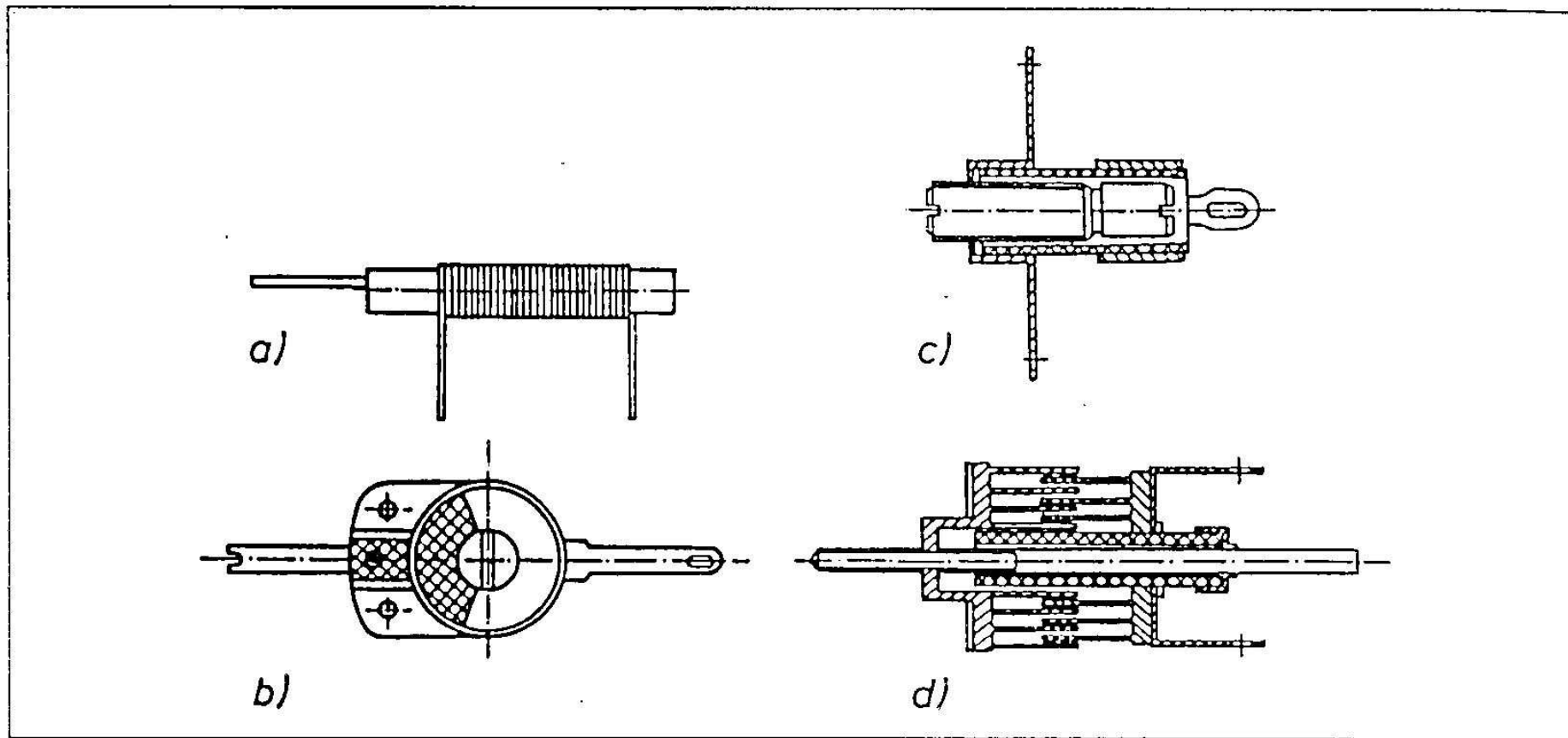
Felépítés: mozgatható fegyverzetek, légrés
a fegyverzetek alakja határozza meg a szabályozási jelleget



Korda Dezső
szabadalma, 1893,
Németország

Szabályozás jellege:
- lineárisan változik a kapacitás
- lineárisan változik a frekvencia
Szigetelőanyag:
levegő vagy kerámia

Trimmer kondenzátorok

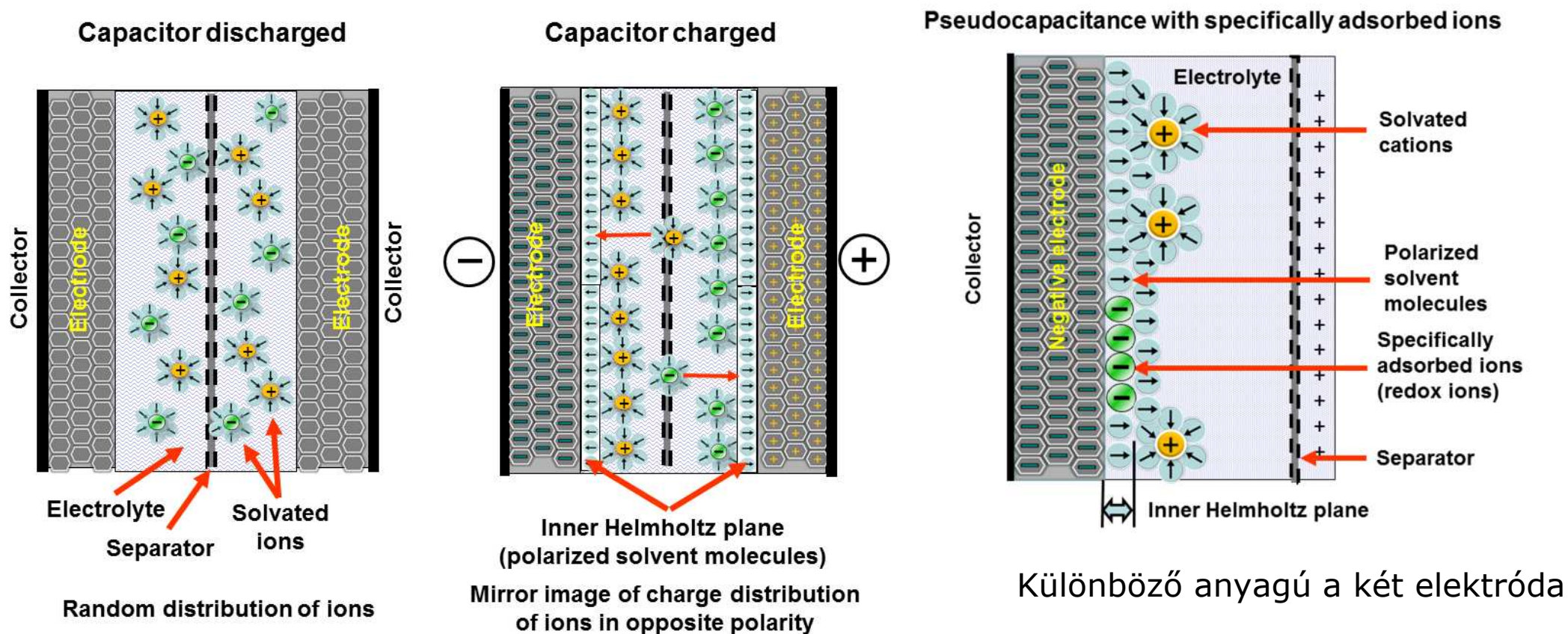


9.6. ábra. Beállító- (trimmer-) kondenzátorok

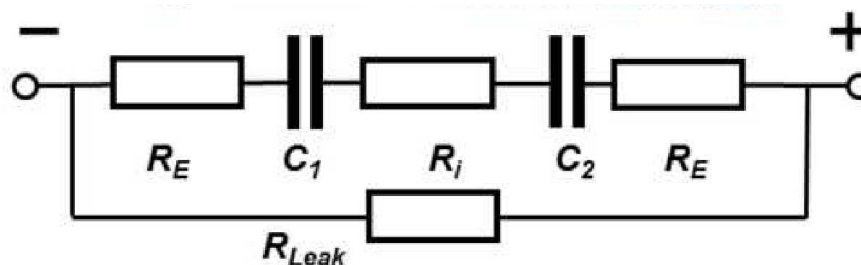
a) huzalkondenzátor; b) kerámia tárcsakondenzátor; c) kerámia cső-kondenzátor;
d) légszigetelésű serleg

Elektrokémiai kondenzátor (szuperkondenzátor, ultrakondenzátor)

Két fajta működési elv: elektrosztatikus kettős réteg kapacitás és elektrokémiai pseudokapacitás

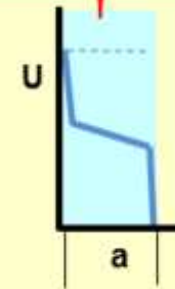
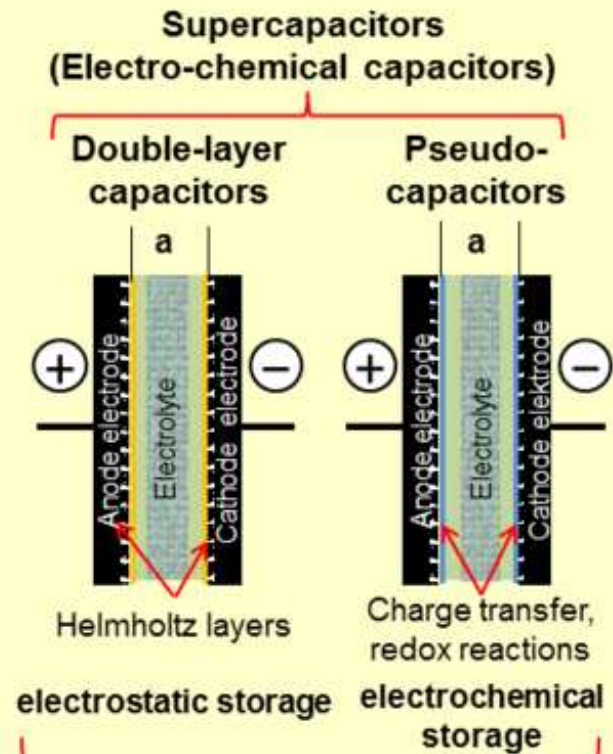
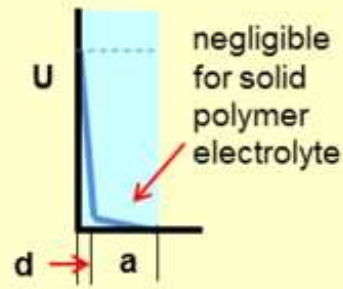
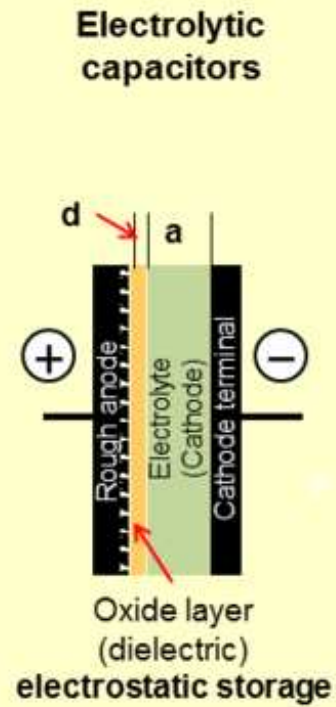
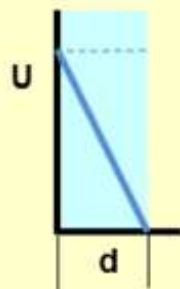
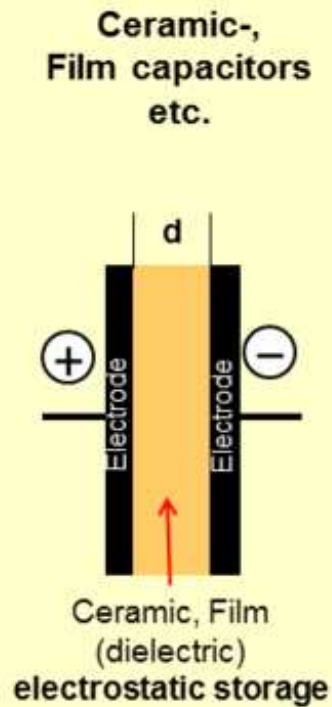


Helyettesítő kapcsolás:

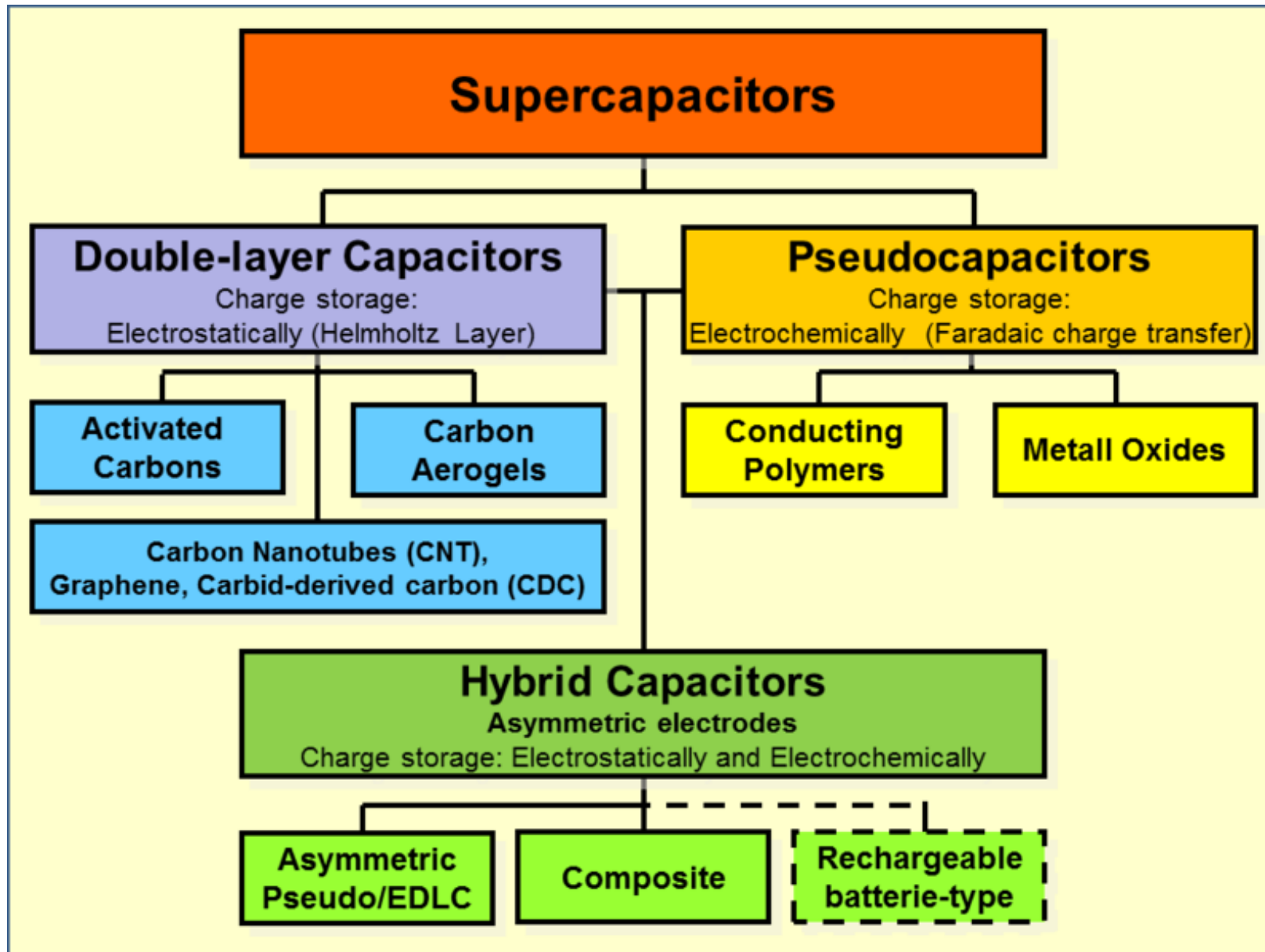


Potenciálmenet

Fixed capacitors, charge storage principles



Fajtái, elektróda anyagok



Alkalmazás

Főként energiatárolás (gyors töltés/kisülés): napelemek, vakuk, laptopok, közlekedési eszközök (vonatok, hibrid autók, versenyautók – fékezés, gyorsítás), egészségügy (defibrillátor), stb.

2010-ben 400 millió US\$ értékben gyártották.

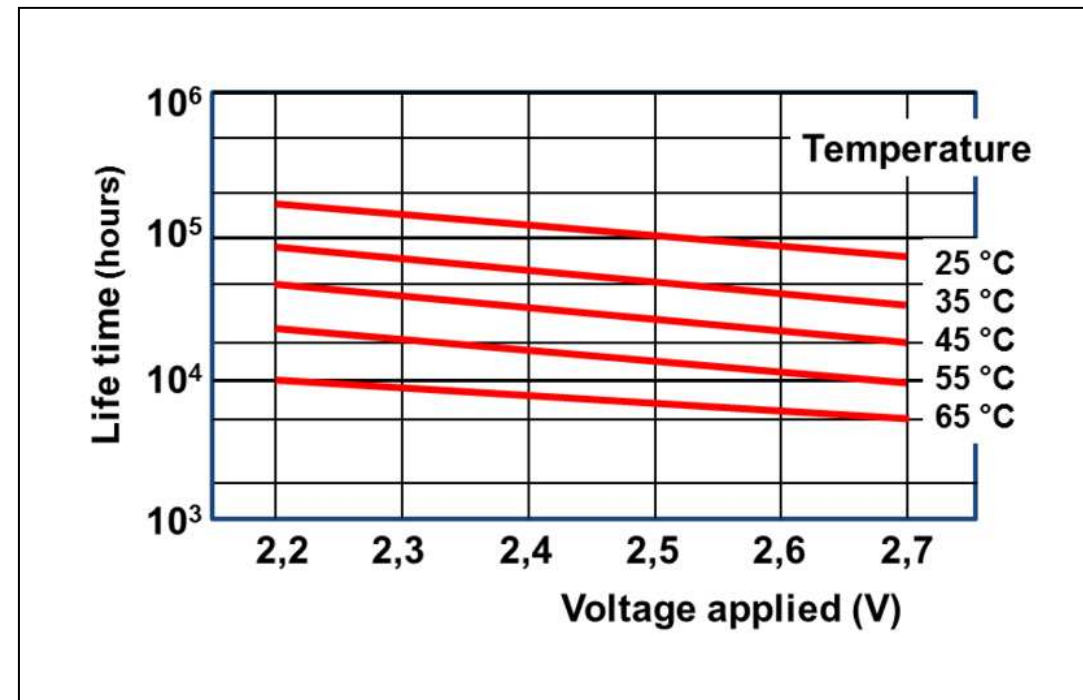
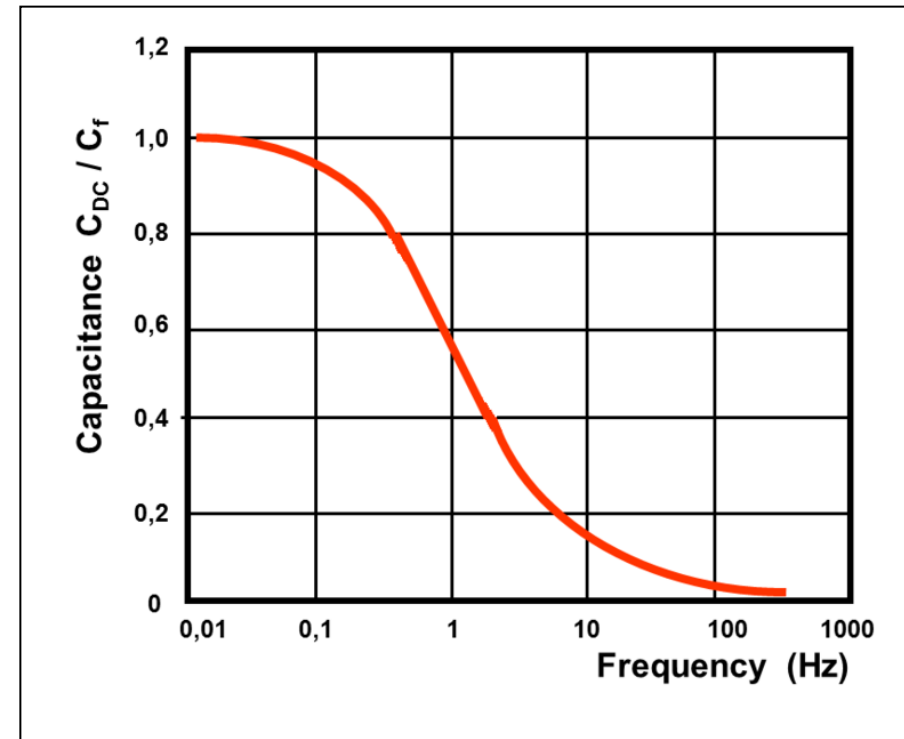
Tulajdonságok

Előnyök:

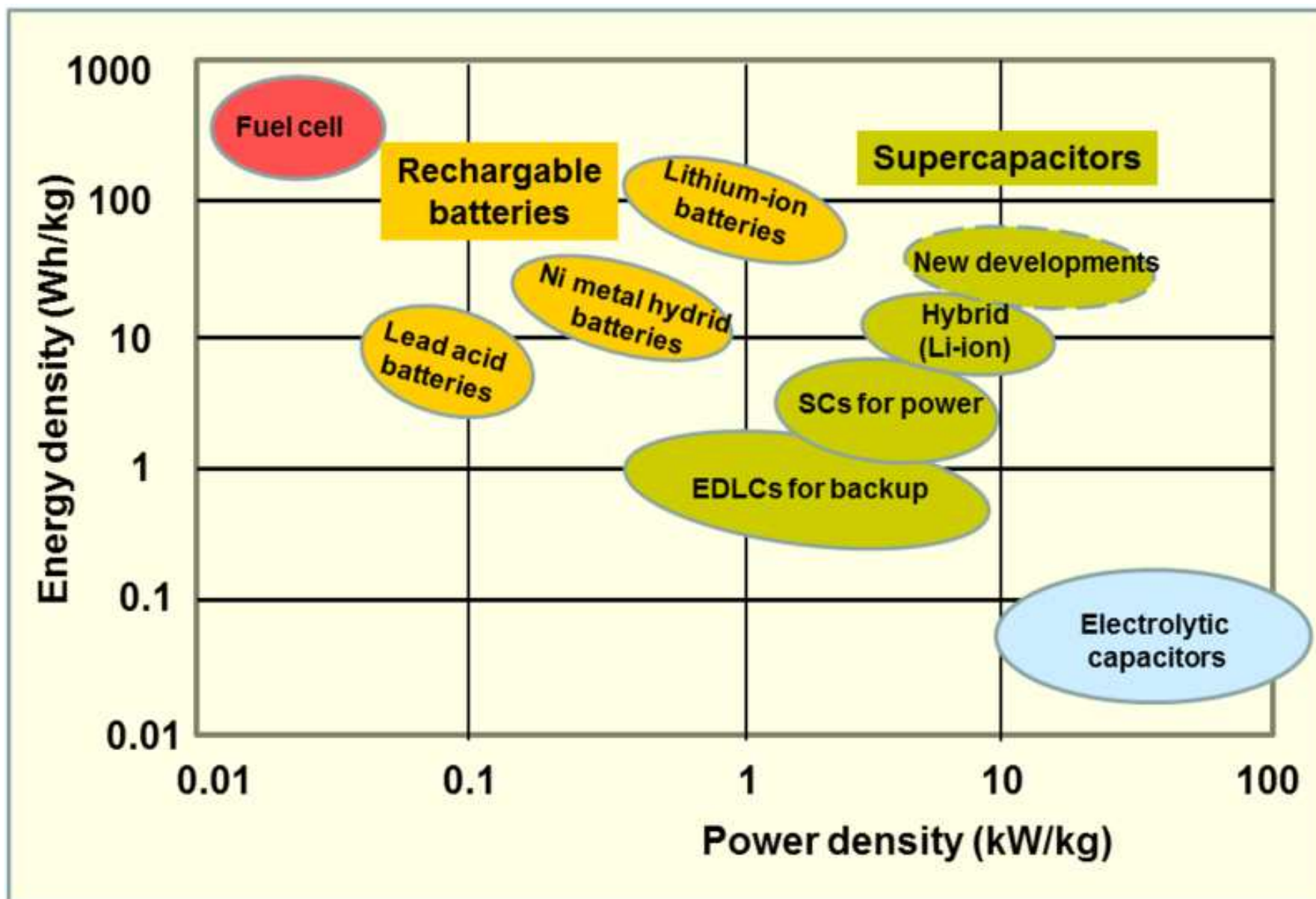
Nagyon nagy kapacitás (néhány ezer F - vékony szigetelőréteg).
Nagyon sok (néhány millió) ciklust kibír.
Nagyon gyors feltöltés, kisülés (néhány sec - nagy kivehető teljesítmény).
Biztonságos, nincs túltöltés.
Alacsony hőmérsékleten is működik.
Hosszú élettartam.

Hátrányok:

Kicsi fajlagos tárolt energia.
Kisüléskor lineárisan csökken a feszültség.
Nagy önkisülés.
Kis cellafeszültség (sorba kell őket kapcsolni, szabályozás).
Drága.



Tulajdonságok (2)



Kivitel



1 F



58 F



160 F (16 V)



400 F (2,7 V)



3 kF (2,7 V)

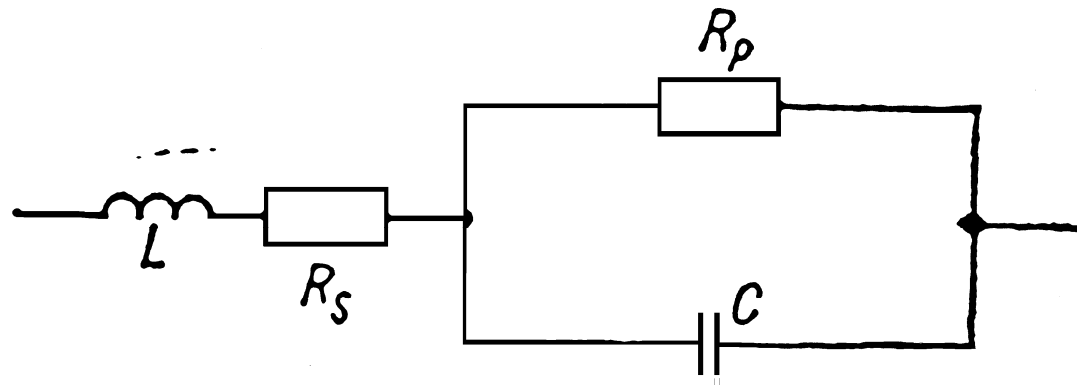
Veszteségek, helyettesítő kapcsolások

Veszteség – a hővé alakuló (disszipált) energia/teljesítmény

Veszteségek:

- ohmos: hozzávezetések és fegyverzetek ellenállása, szivárgás
- dielektromos veszteség: a szigetelő minden félperiódusban átpolarizálódik – anyagmozgás: melegedés.

Teljes (nagyfrekvenciás) helyettesítő kapcsolás



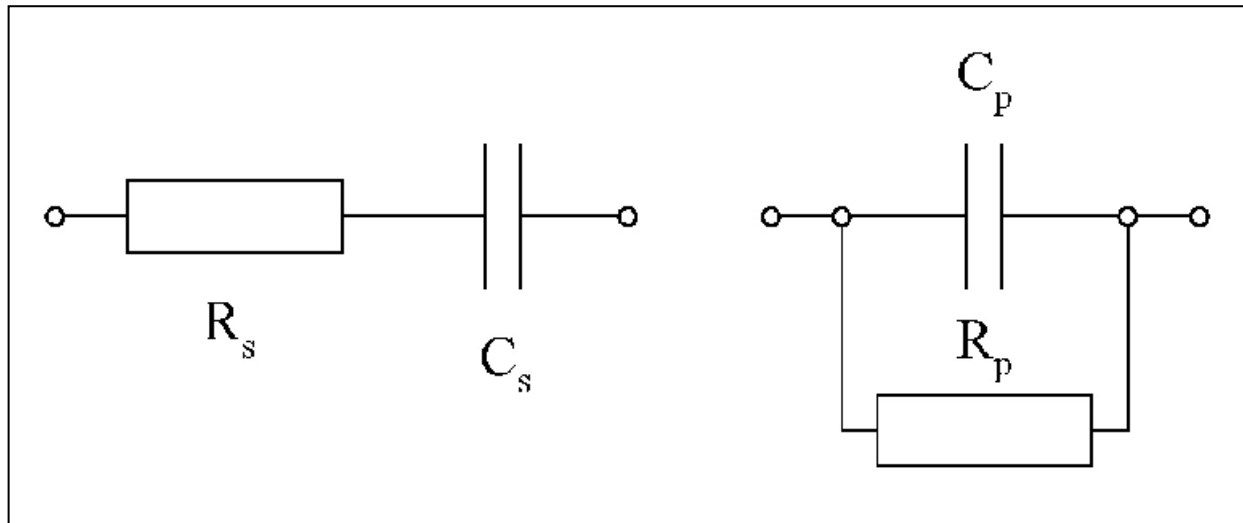
R_S – kivezetések, csatlakozások és a fegyverzet soros ellenállása;

R_p – dielektrikum és a tokozás anyagának átvezetéséből, valamint a dielektromos veszteségből adódó ellenállás;

L – a kivezetések és a fegyverzetek szórt induktivitása.

Egyszerűsített helyettesítő kapcsolások

Soros és párhuzamos



A két helyettesítő kapcsolás ekvivalens egymással, ami az impedanciák és a veszteségi tényezők azonosságát jelenti.

Az impedanciák:

$$Z_s = R_s - j \cdot 1 / (\omega C_s)$$

$$Z_p = R_p / [1 + (\omega R_p C_p)^2] - j \cdot (\omega R_p^2 C_p) / [1 + (\omega R_p C_p)^2]$$

Veszteségi tényező

A veszteségi tényező a valós (veszteségi, disszipált) és a meddő teljesítmény aránya.

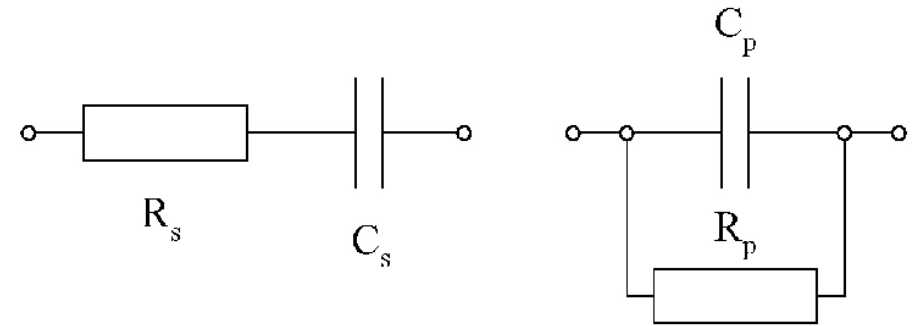
Soros helyettesítő kapcsolás esetén:

$$P_v = I^2 R_s$$

$$P_m = I^2 / (\omega C_s)$$

A veszteségi tényező:

$$D_s = P_v / P_m = \omega R_s C_s$$



Párhuzamos helyettesítő kapcsolás esetén:

$$P_v = U^2 / R_p$$

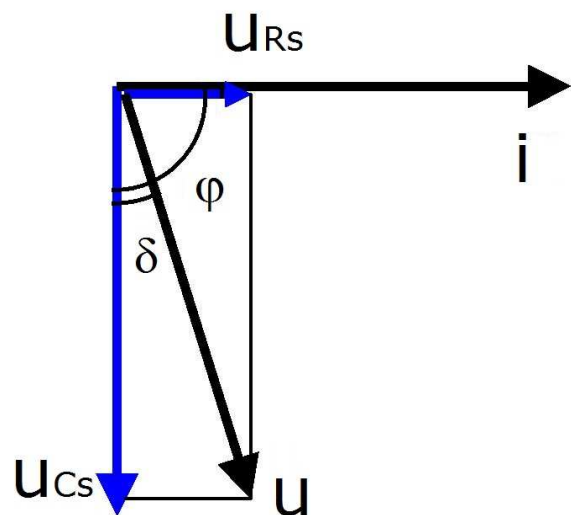
$$P_m = U^2 \omega C_p$$

A veszteségi tényező:

$$D_s = P_v / P_m = 1 / (\omega R_p C_p)$$

Veszteségi szög

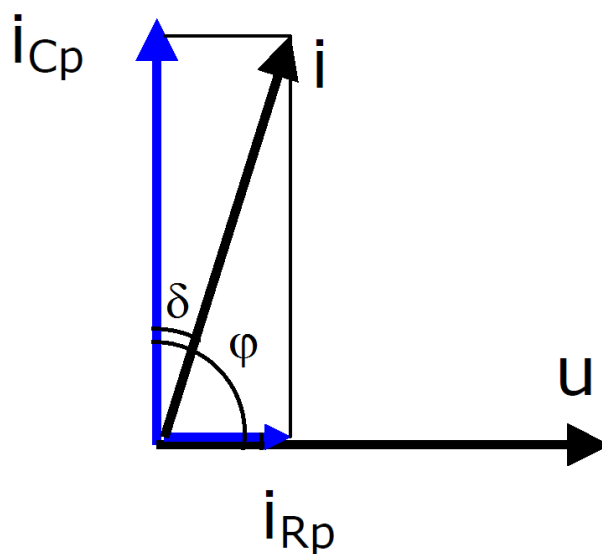
A fázisszög kisebb 90° -nál. A kiegészítő δ szög a veszteségi szög. $D = \operatorname{tg} \delta$.



Soros

$$\operatorname{tg} \delta = u_{R_s} / u_{C_s} = (i R_s) / (i / \omega C_s)$$

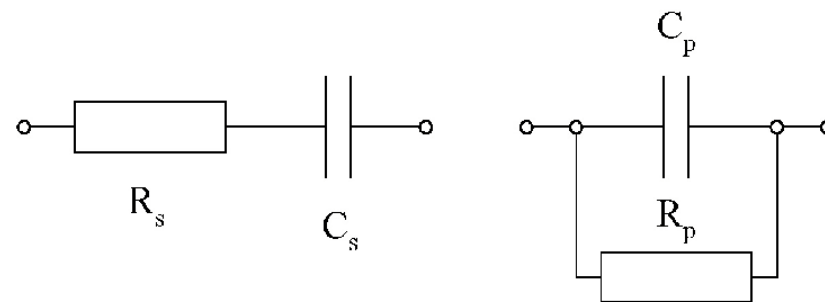
$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_s C_s$$



Párhuzamos

$$\operatorname{tg} \delta = i_{R_p} / i_{C_p} = (u / R_p) / (u \omega C_p)$$

$$\operatorname{tg} \delta = 1 / (\omega R_p C_p)$$



Jósági tényező

$$Q = 1/D = 1/\operatorname{tg}\delta$$

Az impedanciák és a veszteségi tényezők egyenlőségéből következik a soros és párhuzamos helyettesítő kapcsolás paramétereinek közötti átszámítás:

$$R_p = R_s(1 + Q^2)$$

$$C_p = C_s/(1 + D^2)$$

Hőmérsékletfüggés

A kapacitás hőmérsékletfüggését az ellenálláséhoz hasonló módon első fokú közelítéssel veszik figyelembe:

$$C_2 = C_1[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

Kondenzátorok esetében a hőmérsékleti tényező pozitív és negatív is lehet a dielektrikum függvényében.

Jellemző paraméterek

Névleges érték

Tűrés – E sorok

Névleges feszültség

Maximális váltakozó feszültség

Üzemi hőmérséklettartomány (min., max.)

Kategória feszültség (max. hőmérsékleten megengedett max. fesz.)

Üzemi feszültség (max. feszültség az adott környezeti feltételek mellett)

Vizsgálati feszültség (adott ideig ki kell bírnia tesztelésnél)

Szigetelési ellenállás

Önindukció

Megbízhatóság (élettartam vagy λ)

Szivárgási egyenáram (elektrolitkondenzátornál)

Túlfeszültség (elektrolitkondenzátoroknál az a feszültség, melyet az eszköz korlátozott ideig tetszőleges működési hőmérsékleten elvisel).

Mintafeladatok

Síkkondenzátor méretezése

Síkkondenzátor méretezésénél két feltételt kell teljesíteni:

- a., meg kell valósítani a kondenzátor kapacitásának névleges értékét,
- b., a legnagyobb térerősség nem lépheti túl az E_b letörési térerősség értékét.

$$C = (\epsilon_0 \epsilon_r A) / d$$

$$E_k = U_{\max} / d$$

A gyakorlatban nem léphet fel a letörési térerősség értéke, mert a legkisebb pontatlanság, vagy a környezeti körülmények legkisebb megváltozása is átütéshez vezetne. Ezt egy biztonsági tényező ($\beta > 1$) bevezetésével veszik figyelembe, és a méretezési feltétel:

$$U_{\max} = \beta U_{\ddot{u}}$$

Ha C , $U_{\ddot{u}}$ (üzemi feszültség) és E_k adottak, A és d meghatározhatók.

$$d = \beta U_{\ddot{u}} / E_k \text{ és}$$

$$A = dC / (\epsilon_0 \epsilon_r) = \beta U_{\ddot{u}} C / (\epsilon_0 \epsilon_r E_k)$$

Szám példa:

Tervezzünk légekondenzátort az alábbi adatok alapján: $C=500$ pF, levegőben $E_k=30$ kV/cm= 3×10^6 V/m, $U_{\ddot{u}}=3000$ V. A biztonsági tényező $\beta=1,5$.

$$d=1,5 \times 3000 / 3 \times 10^6 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$$

$$A=1,5 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-10} / 8,854 \times 10^{-12} = 8,47 \times 10^{-2} \text{ m}^2 = 847 \text{ cm}^2$$

Ez megvalósítható pl. egy $a=29,1$ cm-es oldalhosszúságú négyzettel vagy egy $D=32,9$ cm átmérőjű körrel. A méretekből látható ($a, D \gg d$), hogy a kondenzátor tere jogosan tekinthető homogénnek.

Kondenzátortelep számítása

Rendelkezésünkre áll 500 V üzemi feszültségű és 1 μF kapacitású kondenzátor korlátlan mennyiségben. Milyen kapcsolással lehet létrehozni 4000 V üzemi feszültségű és 2 μF kapacitású kondenzátort?

$n_s = 4000/500 = 8$ kondenzátort sorbakötve a feszültségigénybevétel megoldható.

Ekkor

$$C_s = 1/8 = 0,125 \mu\text{F}.$$

$n_p = 2/0,125 = 16$ ilyen láncot kell párhuzamosan kapcsolni.

A szükséges kondenzátorok száma:

$$n = n_s n_p = 8 \times 16 = 128.$$

A kapcsolást úgy is megvalósíthatjuk, hogy előbb a kondenzátorokat 16-osával párhuzamosan kötjük, és 8 ilyen elemet kapcsolunk sorba.

Fázisjavító kondenzátortelep
transzformátorállomáson



Ellenőrző kérdések:

- 1., Mi a kapacitás általános definíciója?
- 2., Melyik két vektormennyiséggel jellemzik az elektromos erőteret?
- 3., Mi a dielektromos állandó definíciója?
- 4., Milyen az elektromos erőter a síkkondenzátor belsejében?
- 5., Mit jelent a dielektrikum polarizációja?
- 6., Milyen elektromos polarizációs mechanizmusok vannak?
- 7., Mekkora frekvenciáig működnek az egyes elektromos polarizációs mechanizmusok?
- 8., Mekkora energia tárolódik a kondenzátorban?
- 9., Hol tárolódik az energia a kondenzátorban?
- 10., Mitől függ a kondenzátor kapacitása?
- 11., Vékonyabb vagy vastagabb szigetelőréteg esetén nagyobb az ugyanolyan értékű kondenzátor mérete?
- 12., Hogy függ a kapacitás a szigetelő anyag dielektromos állandójától?
- 13., Hogy változik a feszültség a kondenzátoron, ha állandó értékű árammal töltjük?
- 14., Siet vagy késik az áram a feszültséghez képest a kondenzátoron szinuszos jel esetén?
- 15., Mi a szigetelő anyagok letörése?

- 16., Milyen átütési mechanizmusok vannak?
- 17., Milyen az állandó értékű kondenzátorok felépítése?
- 18., Mi az átvezető kondenzátor?
- 19., Mi a csillám?
- 20., Milyen különleges tulajdonsággal rendelkeznek a ferroelektromos anyagok?
- 21., Miért nagy kapacitásúak az elektrolit kondenzátorok?
- 22., Milyen anyagokból készítenek elektrolit kondenzátort?
- 23., Hol helyezkedik el az elektrolit száraz elektrolit kondenzátorban?
- 24., Miért nagy kapacitásúak a záróréteges kondenzátorok?
- 25., Mivel helyettesítik ma a forgókondenzátorokat?
- 26., Mekkora kapacitások valósíthatók meg az elektrokémiai kondenzátorokkal?
- 27., Mi a Helmholtz réteg?
- 28., Mire használják a szuperkondenzátorokat?
- 29., Milyen előnyeik vannak a szuperkondenzátoroknak az akkumulátorokhoz képest?
- 30., Melyek a szuperkondenzátorok hátrányai az akkumulátorokhoz képest?
- 31., Mi a veszteség?

- 32., Milyen veszteségek vannak a kondenzátorokban?
- 33., Rajzolja fel a kondenzátorok helyettesítő kapcsolásait!
- 34., Mi a veszteségi tényező?
- 35., Mi a veszteségi szög? Hogy kapcsolódik a veszteségekhez?
- 36., Mekkora a veszteséges kondenzátor fázisszöge?
- 37., Hogy függ a veszteségi tényező a párhuzamos veszteségi ellenállástól?
- 38., Hogy függ a veszteségi tényező a soros veszteségi ellenállástól?
- 39., Mi a jósági tényező?
- 40., Hogy függ a kapacitás a hőmérséklettől?
- 41., Melyek a kondenzátorok jellemző paraméterei?