

Villamos kapcsolókészülékek

BMEVIVEA336

Szigetelések feladatai, igénybevételei

A villamos szigetelés feladata:

Az üzemszerűen vagy időszakosan különböző potenciálon lévő vezető részek (fém alkatrészek – elektródok) egymástól való elszigetelésére, egymáshoz való térbeli helyzetük rögzítése.

- Szilárd szigetelőanyag nélkül nincs szigetelés
- Igénybevételek

A szigetelés jelentősége

Pl. műanyag szigetelésű kábel esetén

Névleges fesz. [kV]	A szigetelés anyag és gyártási költsége a teljes ár %-ában (kb.)
10	10
20	15
35	20
120	38

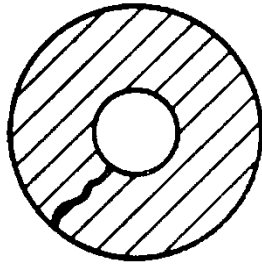
A tudatos tevékenységhez ismernünk kell:

- A szigetelőanyagokban lejátszódó folyamatokat
- Az üzem és a gyártás során fellépő igénybevételeket
- A szigetelések ellenőrzésének módszereit

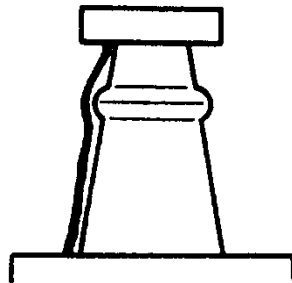
A szigeteléseket érő igénybevételek

- Villamos igénybevételek
- Hőigénybevétel
- Mechanikai igénybevétel
- Környezeti igénybevételek

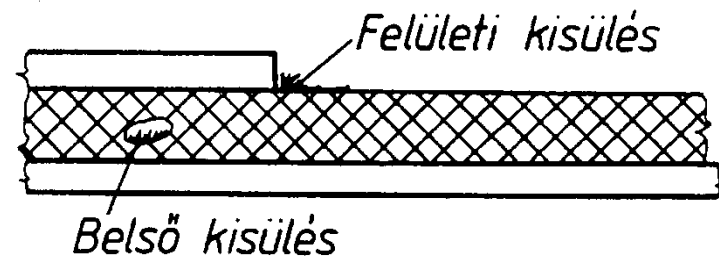
Villamos igénybevételek



Átütés

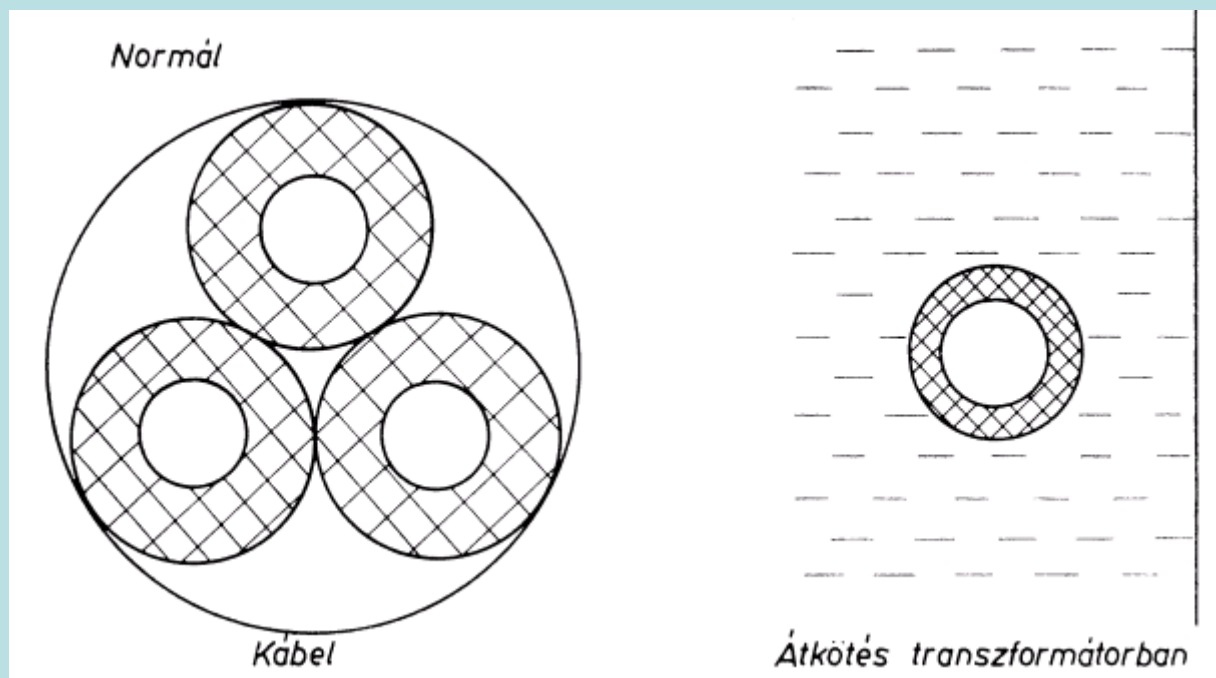


Átívelés



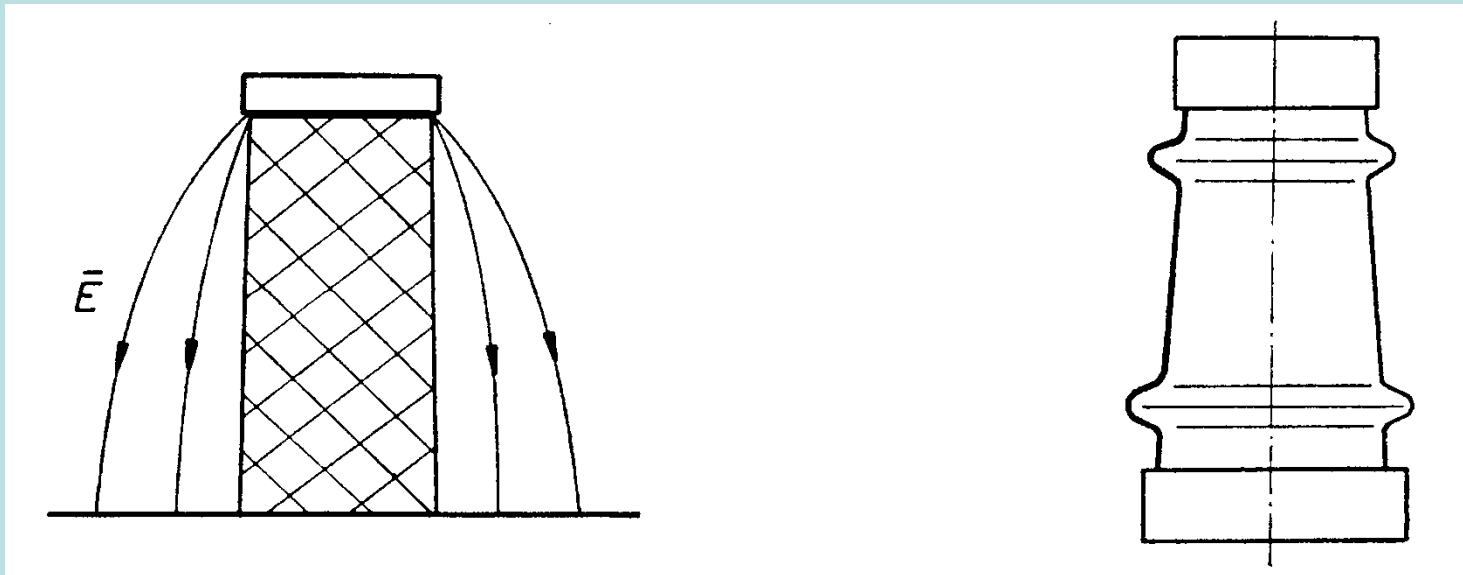
Részkisülés

Szigetelések típusai



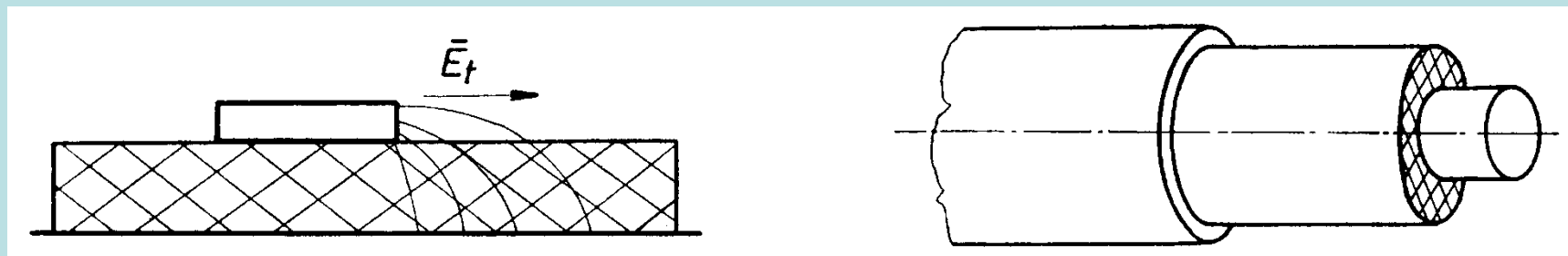
Beágyazott típusú szigetelés

Szigetelések típusai



Támszigetelő típusú szigetelés

Szigetelések típusai

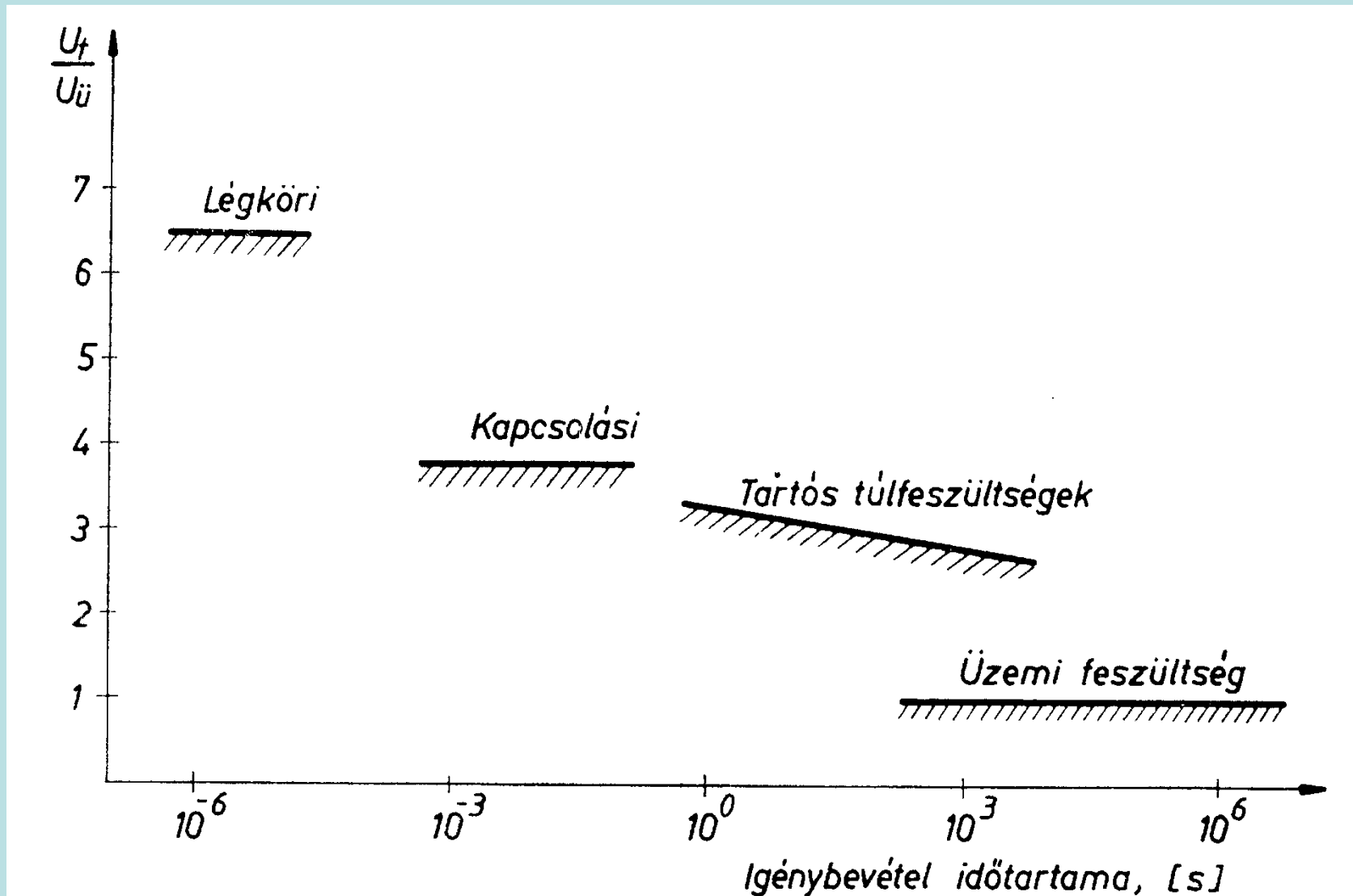


Részben beágyazott típusú szigetelés

A szigeteléseket igénybe vevő feszültségek

- névleges feszültség
- üzemi feszültség
- tartós túlfeszültségek
- kapcsolási vagy belső túlfeszültségek
- légköri túlfeszültségek

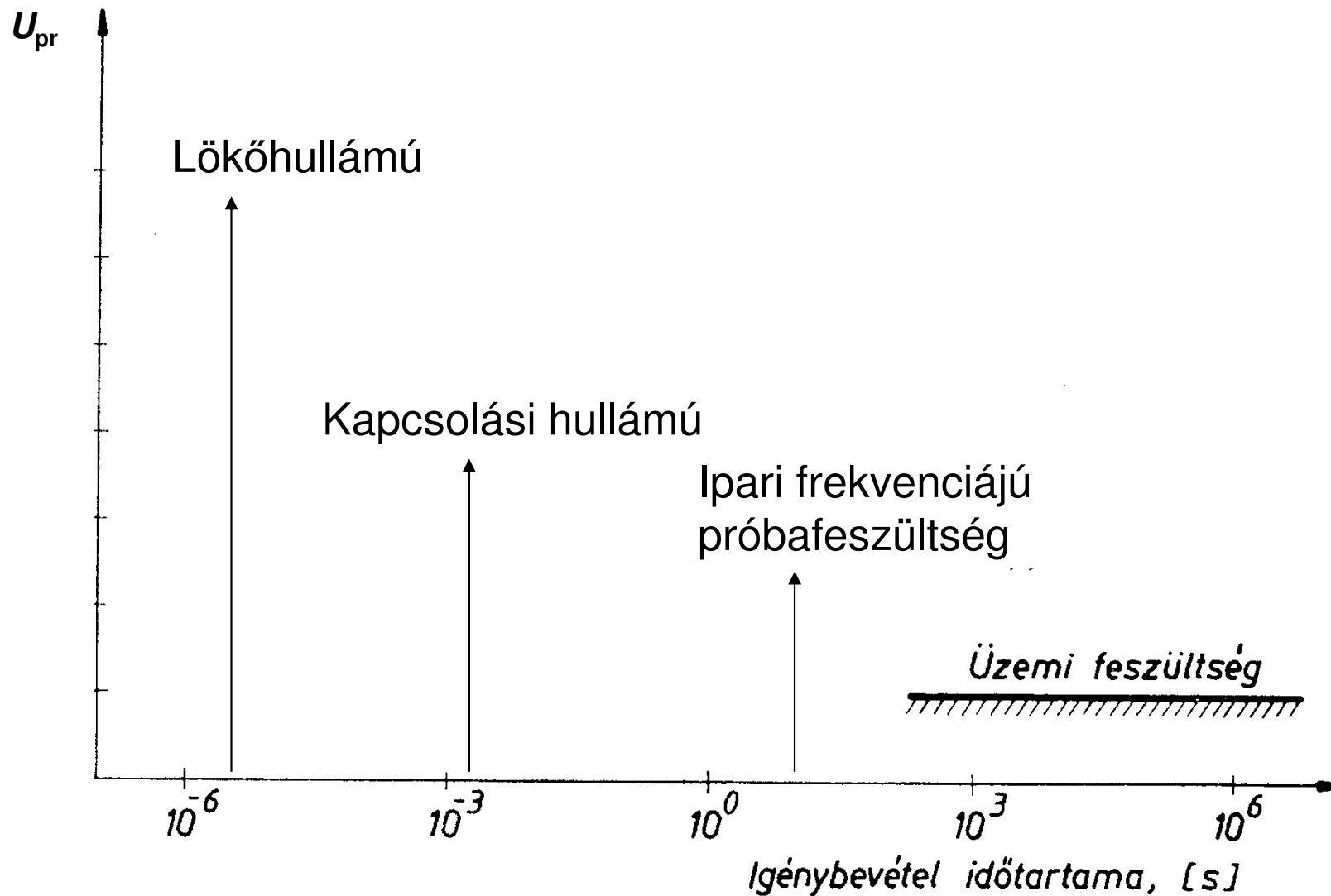
A szigeteléseket érő túlfeszültségek



Próbafeszültségek

- Ipari frekvenciájú próbafeszültség
- Lökőhullámú próbafeszültség
- Kapcsolási hullámú próbafeszültség

A szigetelés próbafeszültségei



Szigetelési feszültség szintek koordinálása (MSZ 9250)

Belső túlfeszültségek (≤ 220 kV)

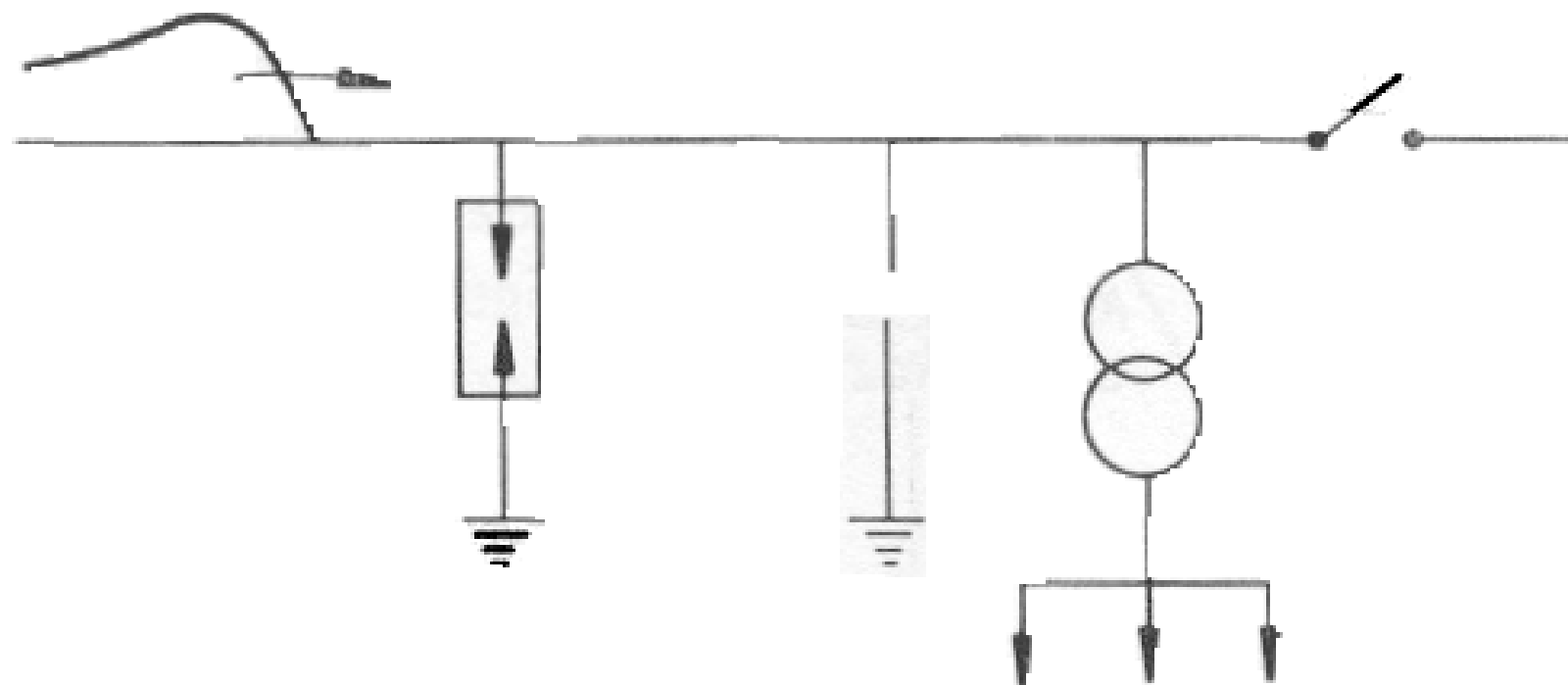
El kell tudni viselnie a berendezésnek

Légköri túlfeszültségek

Veszélyeztetett berendezések
(szabadvezetékek berendezései)

Védőeszközök!

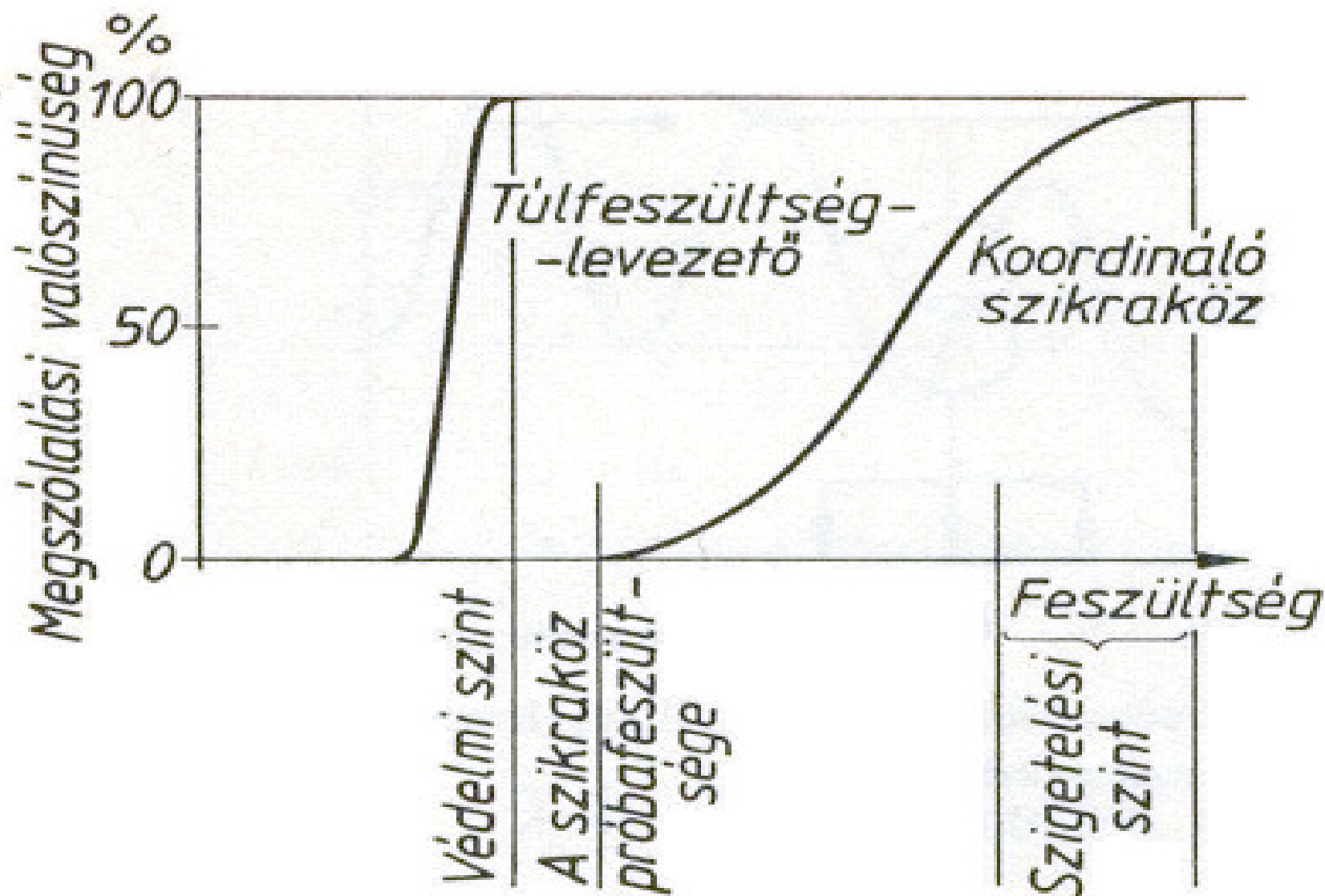
Nem veszélyeztetett berendezések
(kábelhálózatok berendezései)



$$U_v < U_k < U_{sz} < U_{pr} \text{ szakaszoló}$$

Villamos berendezés túlfeszültségvédelme túlfeszültség-levezetővel és koordináló szikraközzel

A koordinált feszültség szintek viszonya



Biztonsági tényező

$b = \text{szigetelési szint} / \text{védelmi szint}$

A:	3...35 kV	$b = 1,4 (1,2)$
B:	120...220 kV	$b = 1,4...1,2$
C:	≥ 400 kV	$b = 1,1...1,2$

Hálózatok koordinációja

A:	3...35 kV	közvetve földelt csp. tartós ip. fr-ájú túlfesz. $U_{pr\sim}$
B:	120...220 kV	mereven földelt csp. U_{pr} lökő
C:	≥ 300 kV	U_{pr} kapcsolási

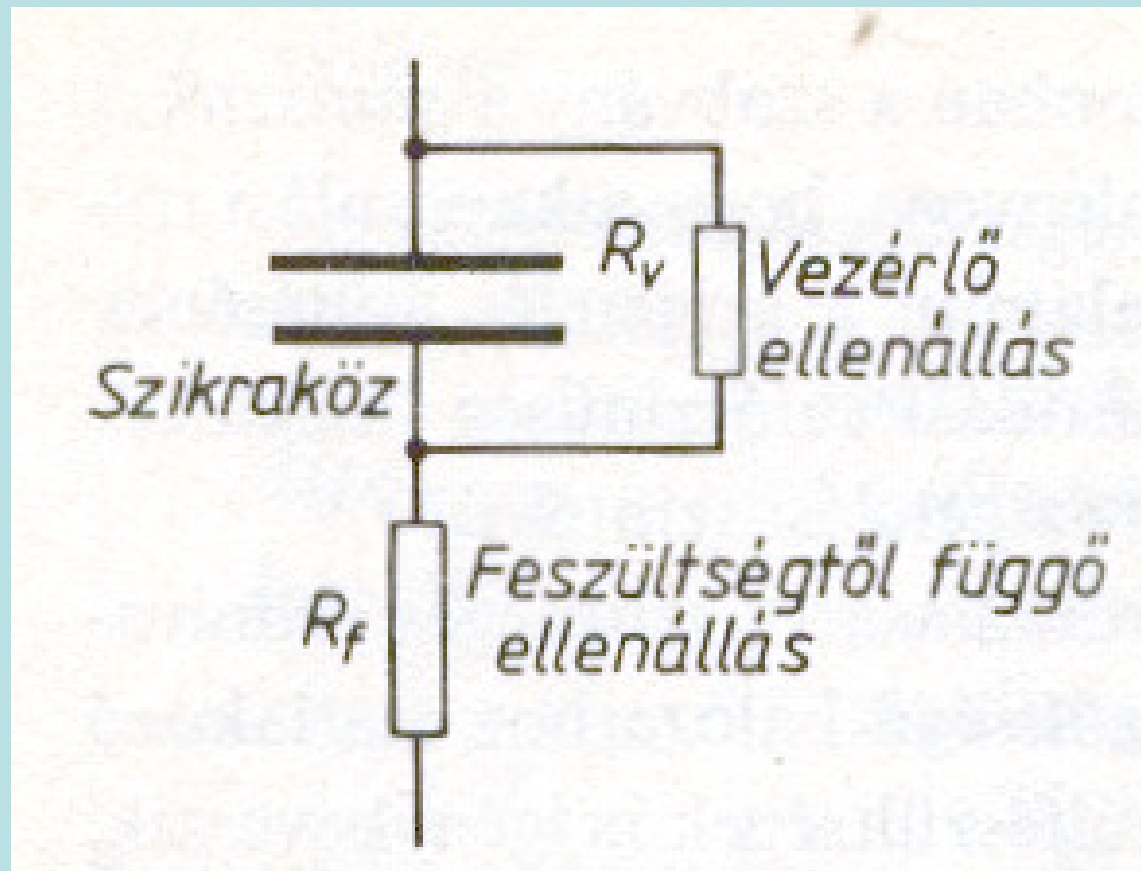
Transzformátorszigetelés koordinációja

U_n kV	$U_{pr\sim}/U_n$	U_v/U_n	U_{sz}/U_n
10	2,8	4,35	7,5
20	2,5	4,3	6,25
35	2,29	4,17	5,43
120	1,92	3,33	4,58
220	1,8	2,95	4,1
400	1,58	2,75	3,56

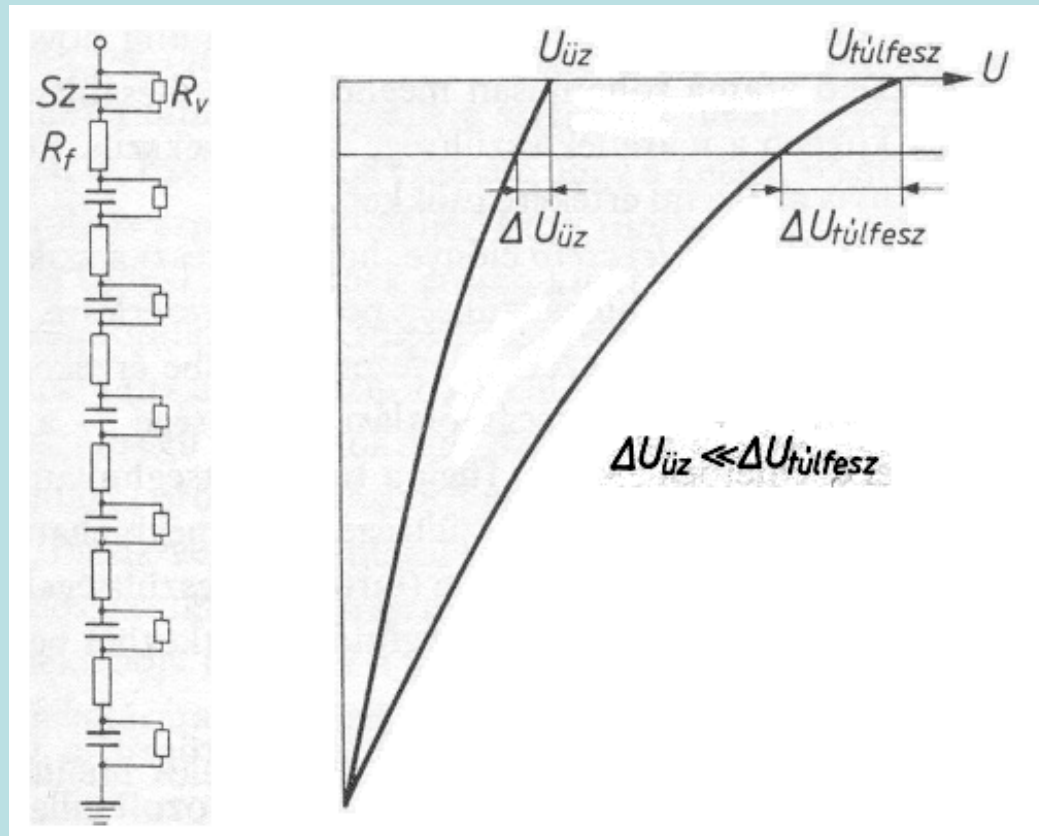
Védőeszközök

- Túlfeszültség-levezető
- Oltócső
- Koordináló szikraköz

Túlfeszültség-levezető

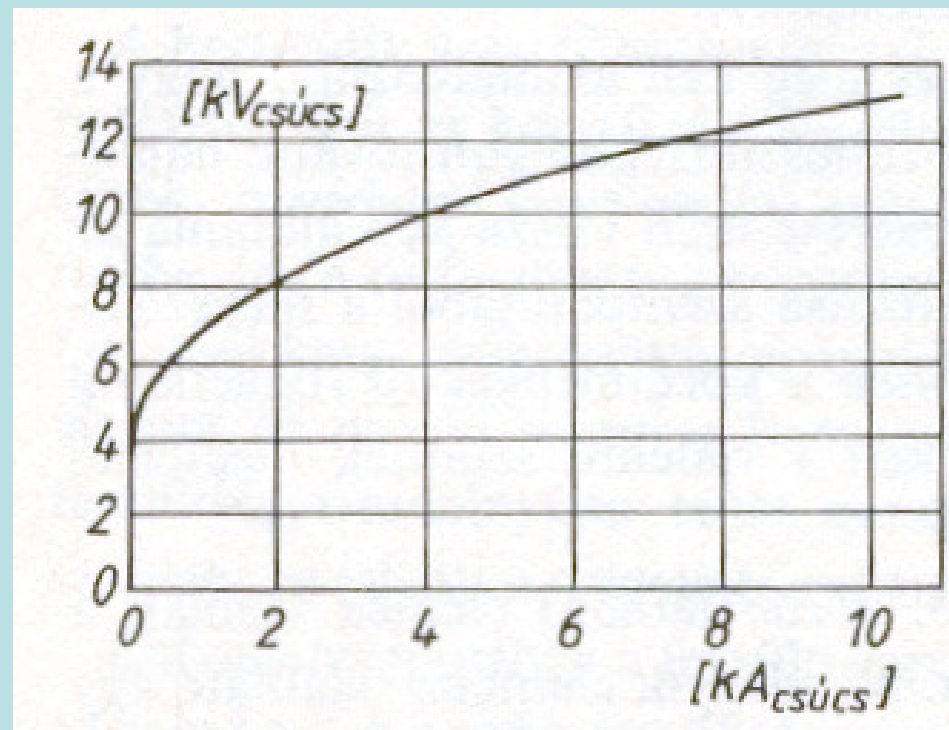


Túlfeszültség-levezető



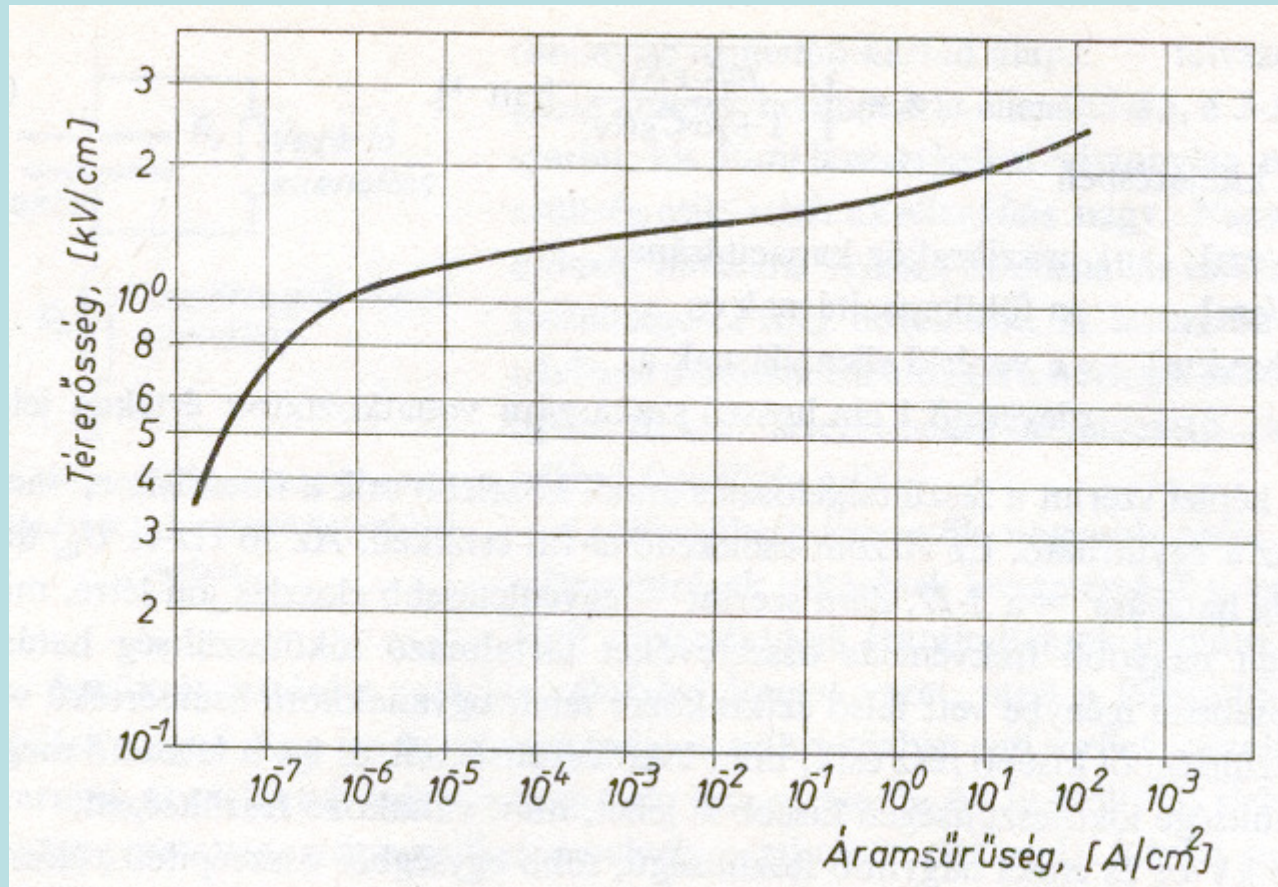
Szikraközös túlfeszültséglevezető helyettesítő
kapcsolása és potenciáeloszlása

Túlfeszültség-levezető

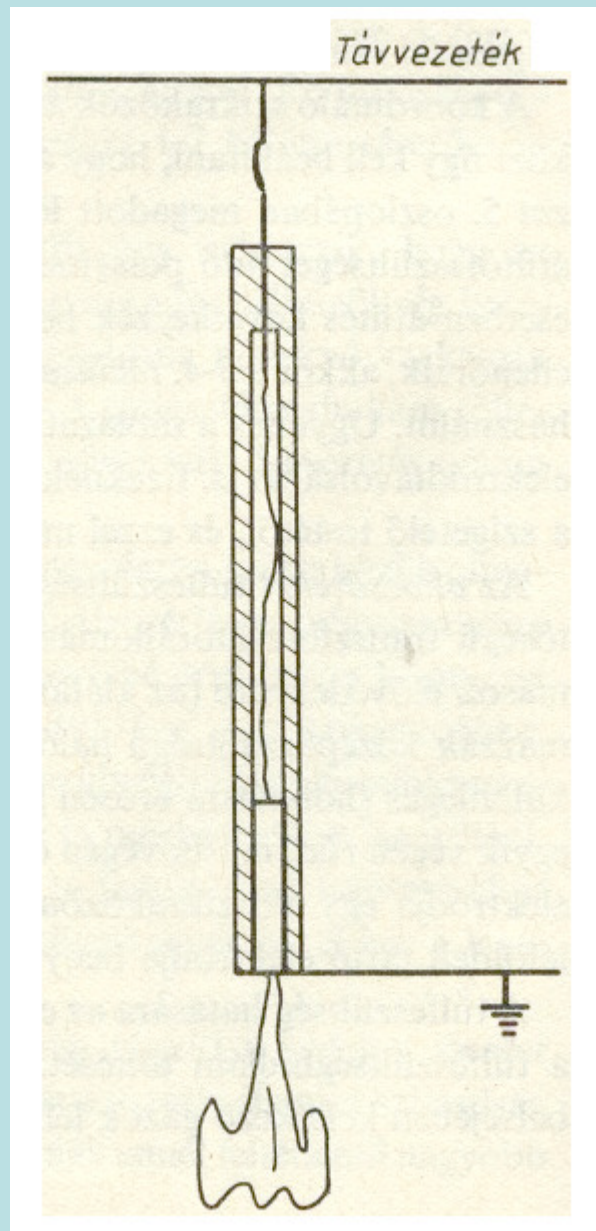


Szilíciumkarbid ellenállás
áram-feszültség jelleggörbéje

Túlfeszültség-levezető



Cinkoxid ellenállás
áram-feszültség jelleggörbéje



Oltócső szerkezete

Koordináló szikraközök és ívvédő szerelvények

1	2	3	4
A hálózat névleges feszültsége	Berendezés legnagyobb feszültsége	Koordináló szikraköz	Ívvédő szerelvény
kV	kV	elektrodtávolság	
		mm	mm
3	3,6	—	—
6	7,2	—	—
10	12	—	120
20	24	130	200
30	36	190	270
35	40,5	220	300
60	72,5	420	450
120	145	700	850
220	245	1400	1500

Mechanikai igénybevételek

- külső erők
- elektrodinamikus erőhatások
- rázás, súrlódás
- egyenlőtlen hőtágulás
- gyártáskor, szereléskor kapott erőhatások

**KÖSZÖNÖM
A
FIGYELMET!**

Villamos kapcsolókészülékek

BMEVIVEA336

A villamos igénybevételre méretezés alapjai

$$U \rightarrow E$$

$$E_{\max} = f(U, \text{geometria})$$

$$E_{\text{megengedett}}$$

$$E_{\text{üt}}$$

$$E_{\max} \leq E_{\text{megengedett}} = E_{\text{üt}} / b$$

A biztonsági tényező

látható biztonság: $U_{pr} / U_{üz}$

látszólagos biztonság: $U_{\text{üt méretezési}} / U_{üz}$

valódi biztonság: $U_{\text{üt}} / U_{üz}$

A biztonsági tényező

<i>ipari frekvencián:</i>	b:	gáz	1,2 ... 2,0
		folyadék	1,5 ... 3,0
		szilárd	2,0 ... 5,0

<i>lökőfeszültségen:</i>	l:	gáz	1 ... 1,5
		folyadék	1 ... 2,0
		szilárd	2 ... 3,0

lökési tényező:

$$l = \frac{E_1}{\sqrt{2} E_{\text{ütváltó}}}$$

Vákuumban

$$\text{rot } \mathbf{E} = 0$$

$$\text{div } \mathbf{D} = \rho$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\varepsilon_0 = 8,859 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

$$\mathbf{J} = 0$$

Szigetelőanyag esetén

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E}$$

$$\operatorname{div}(\mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t) = 0$$

$$dW/dV = 1/2 \mathbf{E} \mathbf{D}$$

Az elektrosztatika Gauss-tétele

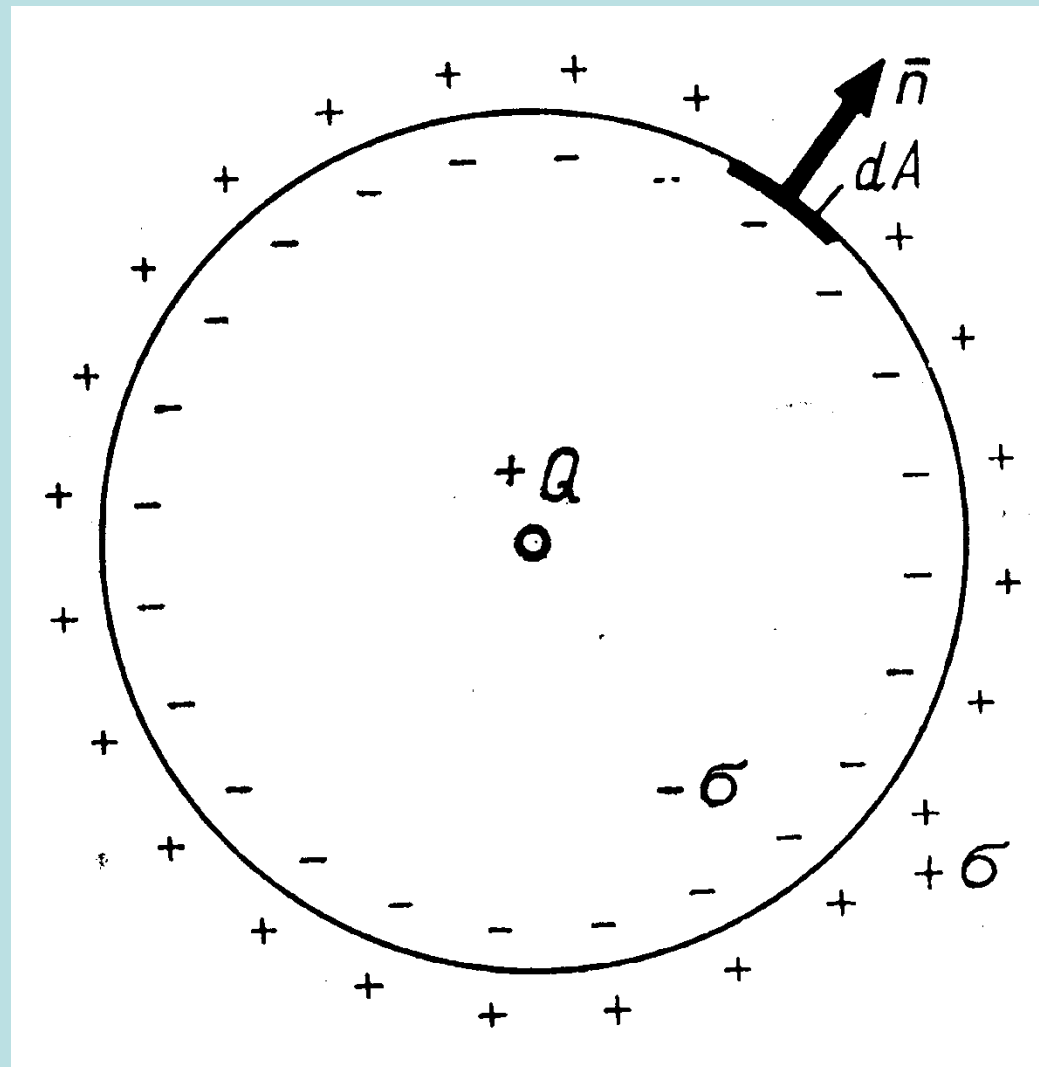
$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho$$

$$\oint_V \operatorname{div} \mathbf{D} dV = \oint_V \rho dV$$

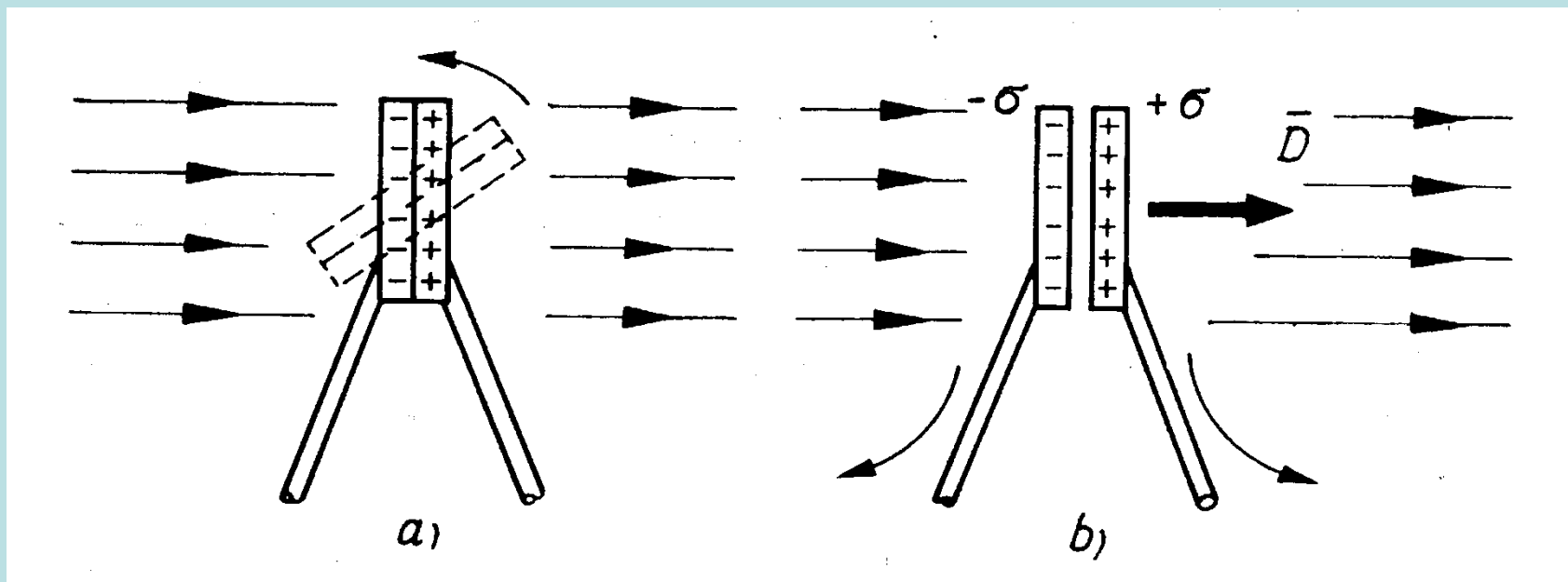
$$\oint_V \operatorname{div} \mathbf{D} dV = \oint_A \mathbf{D} dA$$

$$\oint_V \rho dV = Q$$

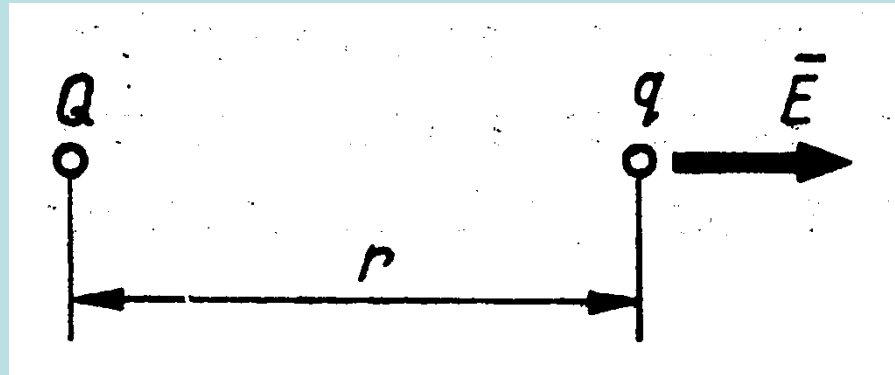
$$\oint_A \mathbf{D} dA = Q$$



Az eltolás szemléltetése



A térerősség és az erőhatás



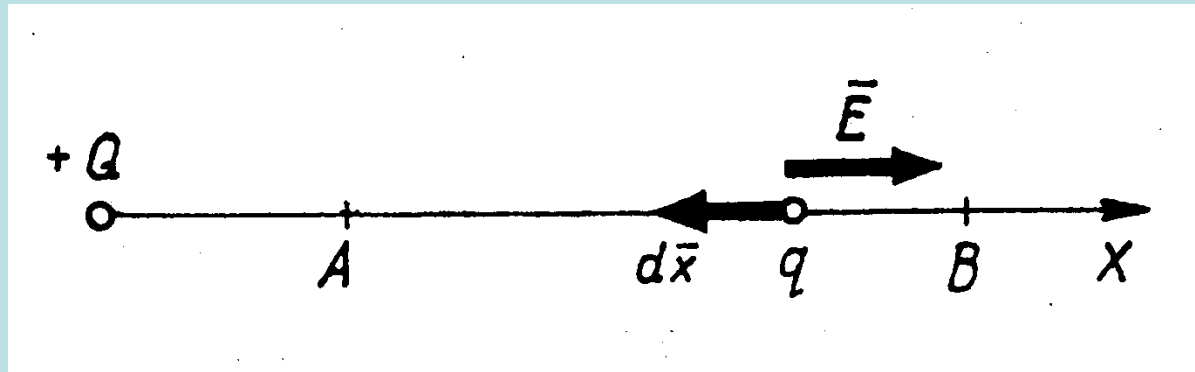
$$\mathbf{E} = \mathbf{D} / \varepsilon_0 \varepsilon \rightarrow \mathbf{E} = Q / A \varepsilon_0 \varepsilon = Q / 4 \pi \varepsilon \varepsilon_0 r^2$$

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} q$$

$$\mathbf{F} = k Qq / r^2$$

COULOMB-törvény

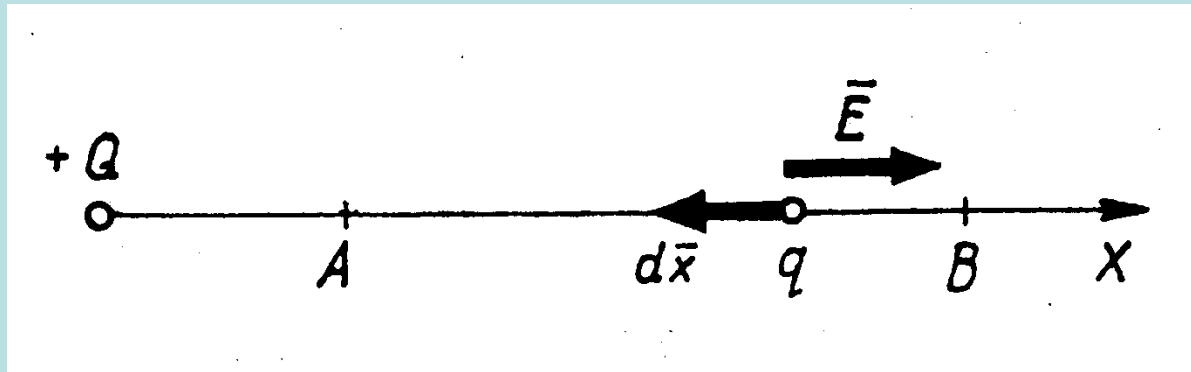
Energia és potenciál



$$dW = -q\mathbf{E} \, d\mathbf{x}$$

$$W_{AB} = -q \int_B^A \mathbf{E} \, d\mathbf{x}$$

Energia és potenciál

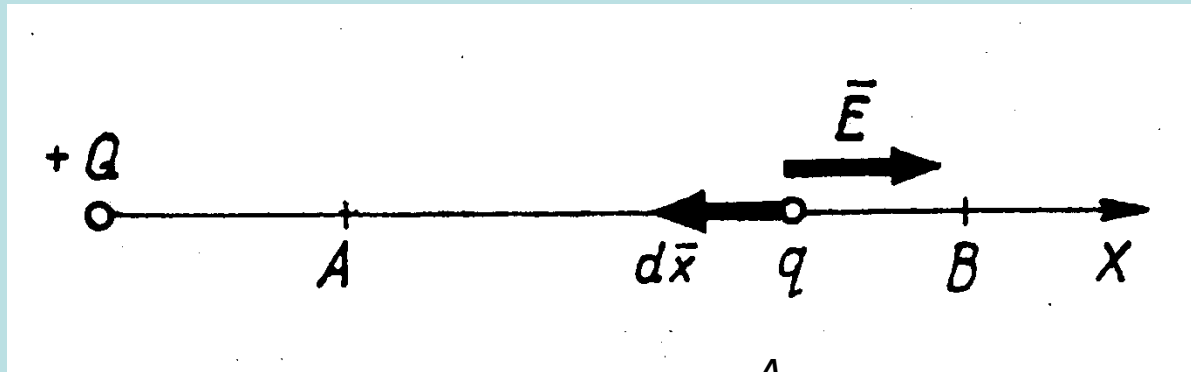


$$W_{AB} = W_A - W_B$$

$$W_{AB} = -q \int_B^A \mathbf{E} d\mathbf{x} = qU$$

$$U_{AB} = W / q = - \int_B^A \mathbf{E} d\mathbf{x}$$

Energia és potenciál



$$U_{AB} = W / q = - \int_B^A \mathbf{E} \, d\mathbf{x}$$

$$\mathbf{E} = - dU/d\mathbf{x} = - \text{grad } U$$

$$\mathbf{E} = - (\partial U / \partial x \mathbf{i} + \partial U / \partial y \mathbf{j} + \partial U / \partial z \mathbf{k})$$

$$[E] = \text{V} / \text{m}$$

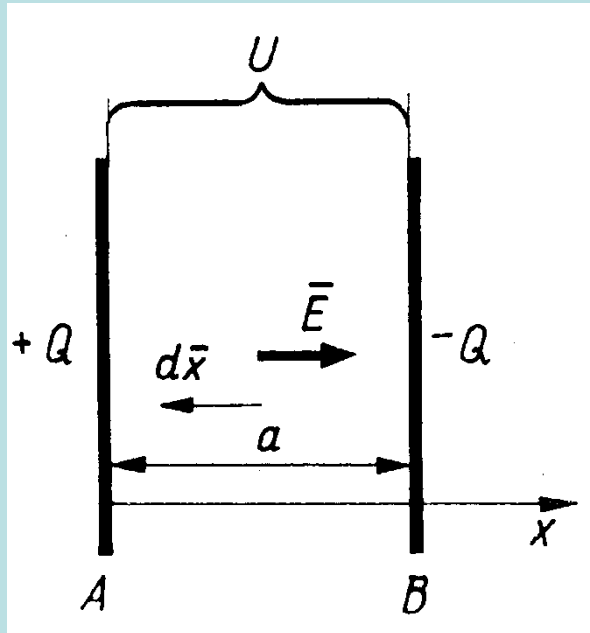
Laplace-Poisson egyenlet

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \mathbf{E} = - \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{grad} U$$

$$- \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{div} \operatorname{grad} U = \rho$$

$$\Delta U = - \rho / \varepsilon_0 \varepsilon$$

Síkkondenzátor



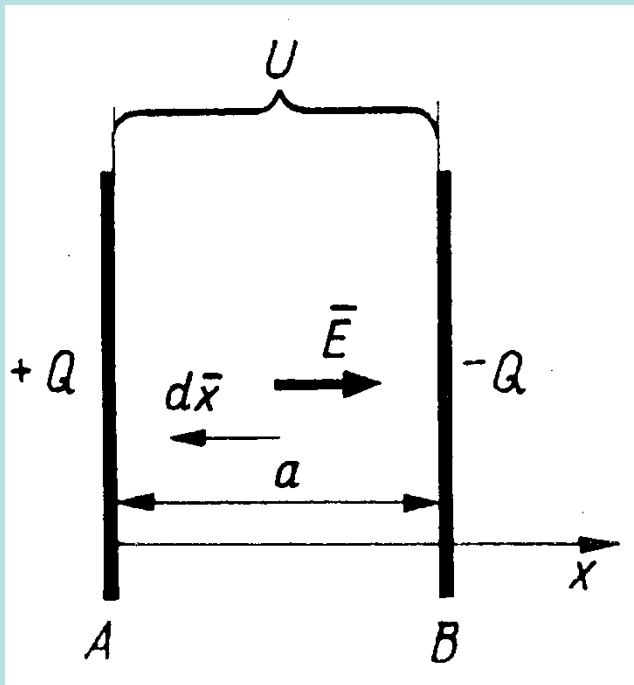
$$DA = Q$$

$$E = Q / \varepsilon_0 \varepsilon A$$

$$U_{AB} = Q / (\varepsilon_0 \varepsilon A) \int dx = Q a / \varepsilon_0 \varepsilon A$$

$$Q = \varepsilon_0 \varepsilon A U / a$$

Síkkondenzátor kapacitása



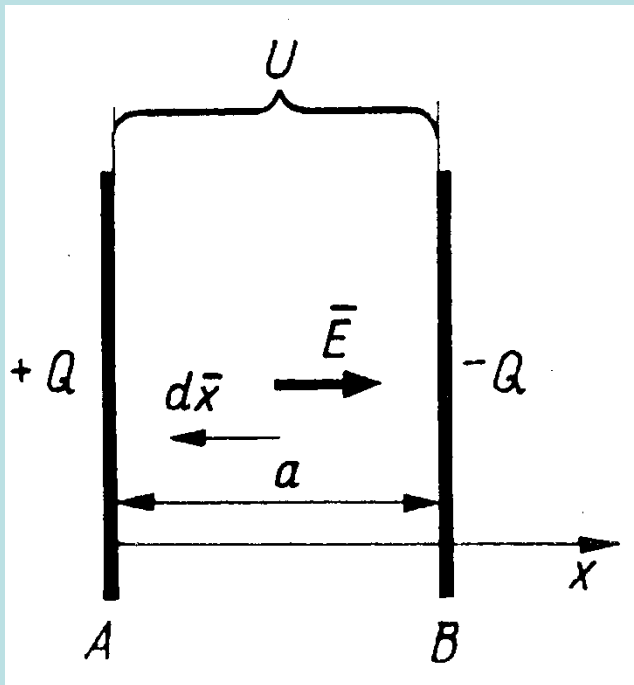
$$Q = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{a} U$$



$$Q = CU$$

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{a}$$

Síkkondenzátor kapacitása

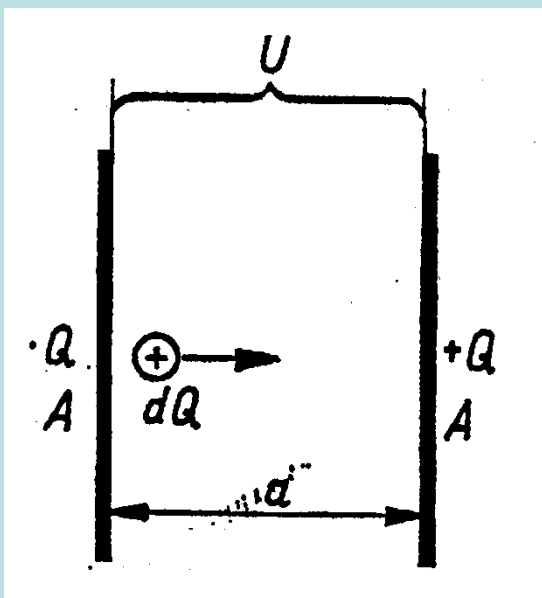


$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 A}{a}$$

$$[C] = \text{As} / \text{V} = \text{F (farad)}$$

$$E = U / a$$

Kondenzátor energiája



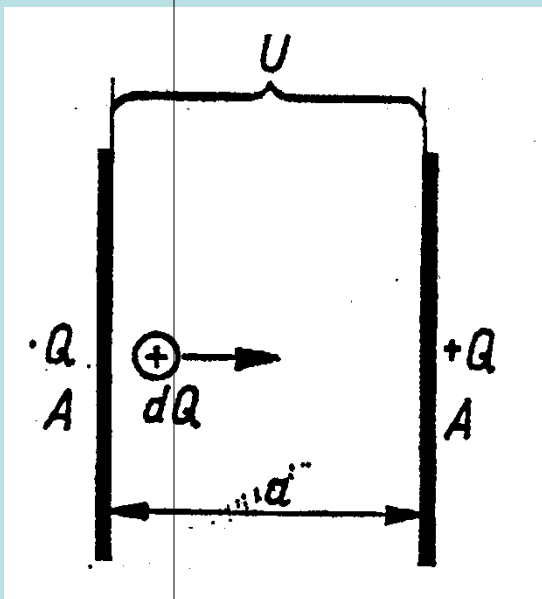
$$dW = U dQ$$

$$dQ = C dU$$

$$dW = C U dU$$

$$W = \int_0^U C U dU = \frac{1}{2} C U^2$$

Kondenzátor energiája



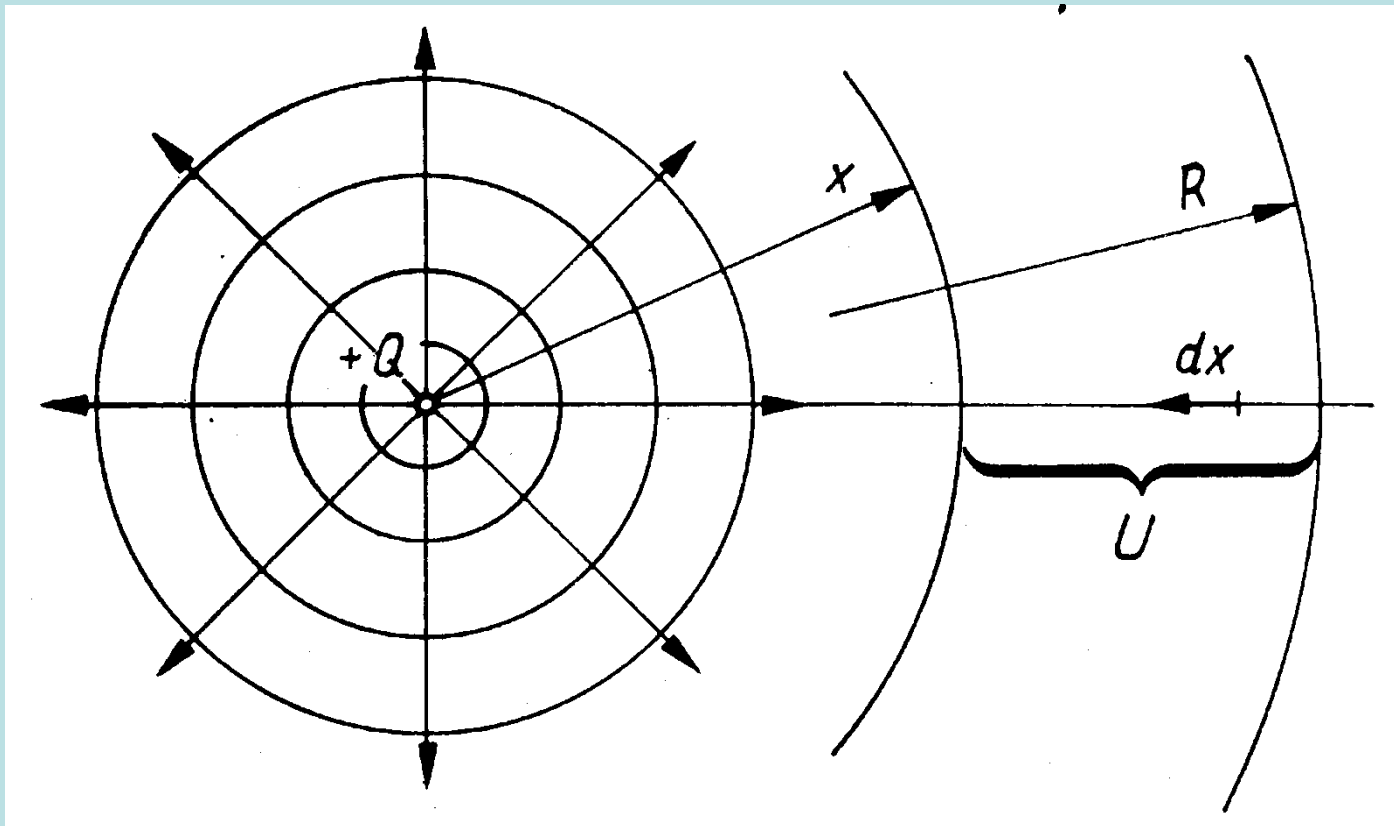
$$W = \frac{1}{2} C U^2$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{a} \quad \text{és} \quad U = E a$$

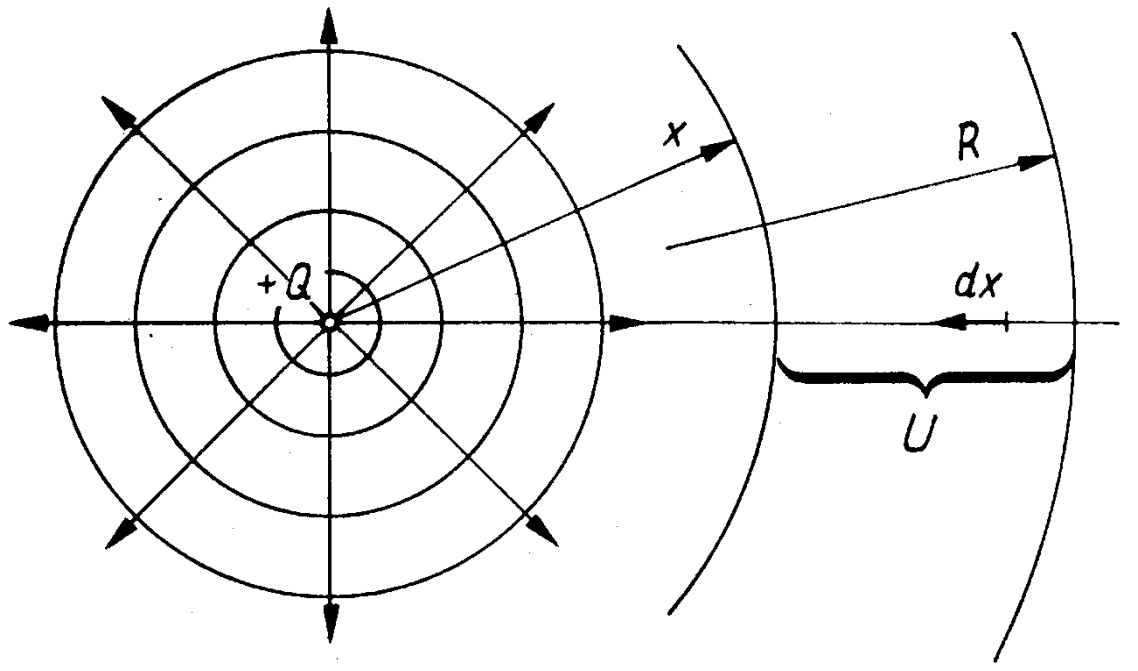
$$W = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 V$$

$$W = \frac{1}{2} D E V$$

Pontszerű töltés erőtere



Pontszerű töltés erőtere



Gauss tv.:

$$\oint_A \mathbf{D} \, dA = Q$$

$$D \, 4 \pi x^2 = Q$$

$$E = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \frac{1}{x^2}$$

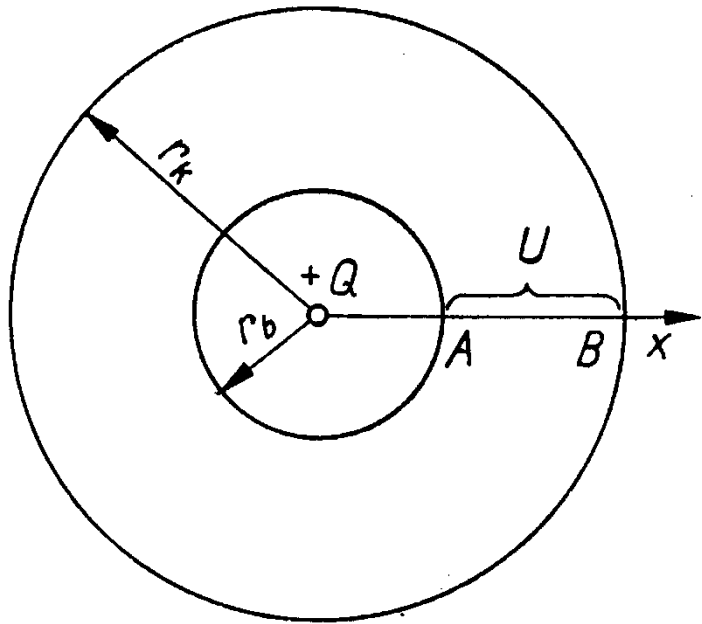
Potenciál:

$$U = - \int_R^x E \, dx = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \int_x^R \frac{dx}{x^2}$$

$$U = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{R} \right) \quad R \rightarrow \infty$$

$$U = \frac{1}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \frac{Q}{x}$$

Pontszerű töltésekre visszavezethető erőterek



Adott: U , geometria

Kérdés: E , ha $r_b \leq x \leq r_k$

$$U = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{R} \right)$$

$$U = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_k} \right)$$

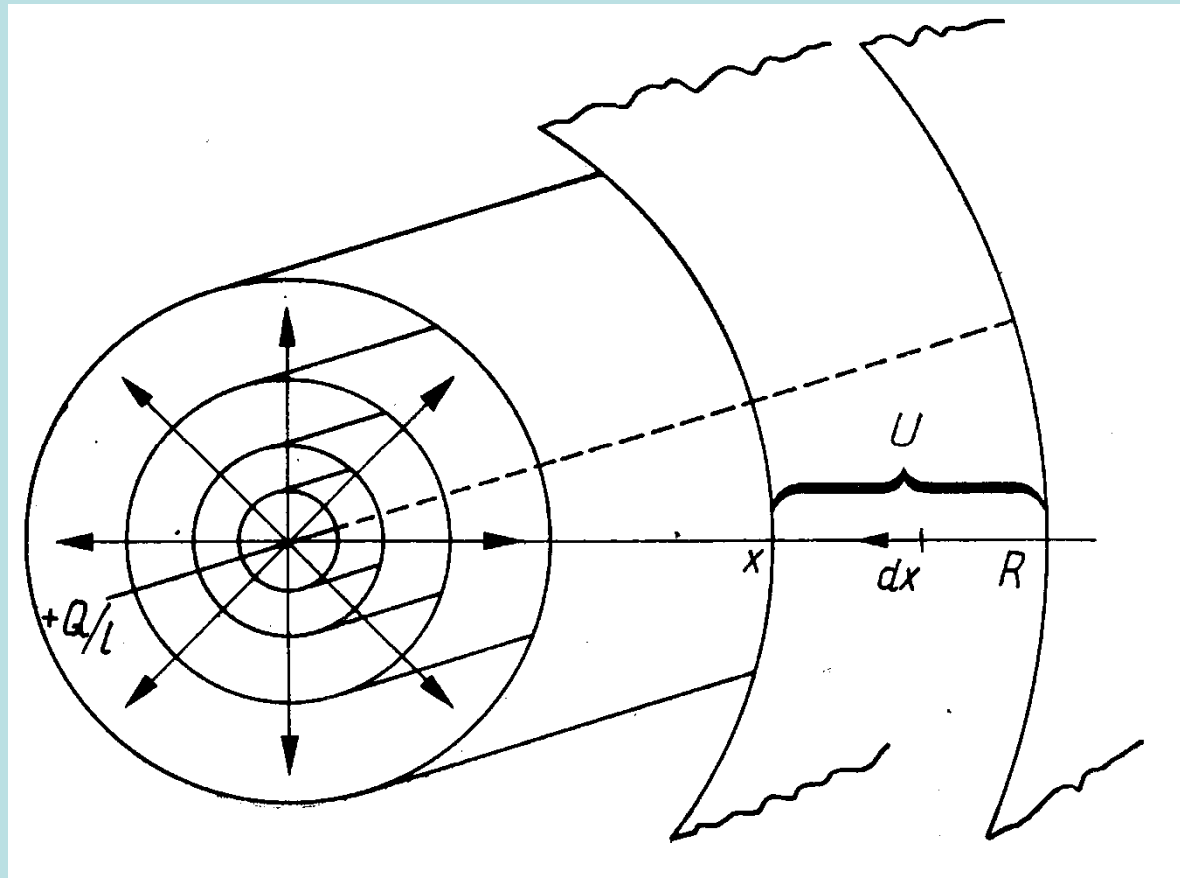
$$Q = 4 \pi \epsilon \epsilon_0 \frac{r_k r_b}{r_k - r_b} U \quad (Q = C U)$$

$$E = \frac{Q}{4 \pi \epsilon \epsilon_0} \frac{1}{x^2}$$

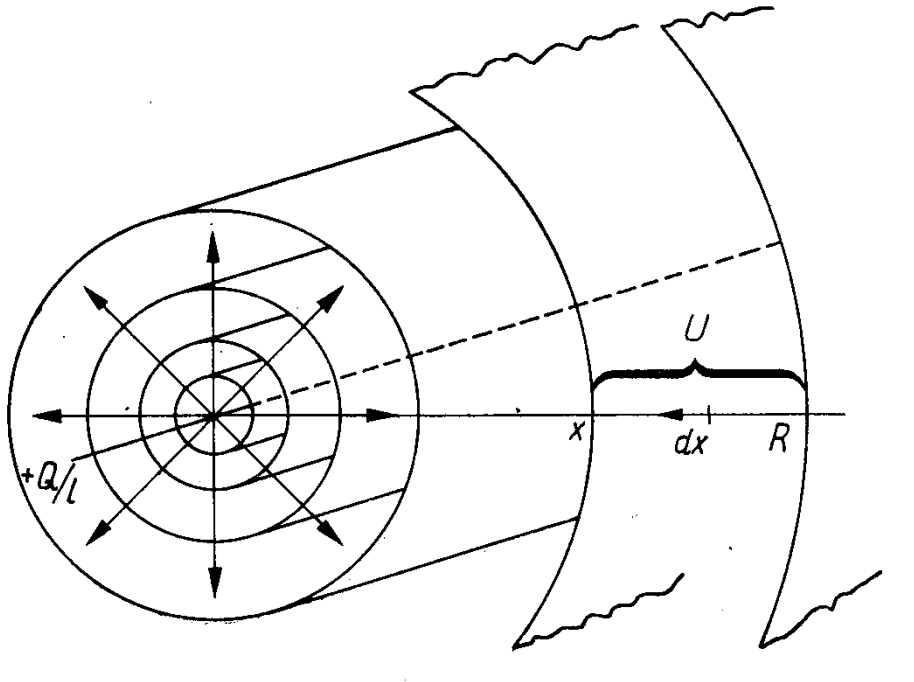
$$E(x) = U \frac{r_k r_b}{r_k - r_b} \frac{1}{x^2}$$

$$E_{\max} = U \frac{1}{r_k - r_b} \frac{r_k}{r_b}$$

Végtelen hosszú egyenes vonaltöltés erőtere



Végtelen hosszú egyenes vonaltöltés erőtere



Gauss tv.: $\oint_A \mathbf{D} \, dA = Q$

$$D 2 \pi x l = Q$$

$$E = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \frac{1}{x}$$

Potenciál:

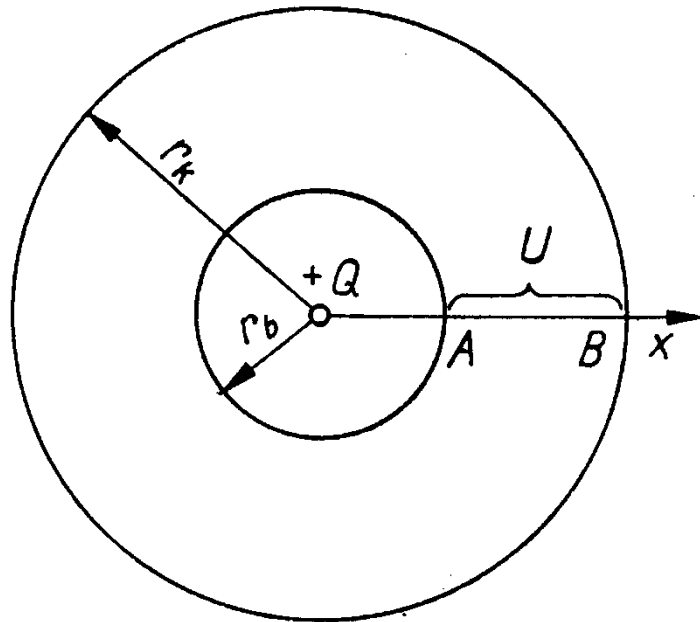
$$U = - \int_R^x E \, dx$$

$$U = - \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \int_R^x \frac{dx}{x} = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \ln \frac{R}{x}$$

$$R \rightarrow \infty$$

Értelmetlen!

Végtelen egyenes vonaltöltésre visszavezethető erőterek



Adott: U , geometria

Kérdés: E , ha $r_b \leq x \leq r_k$

$$U = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \ln \frac{R}{x}$$

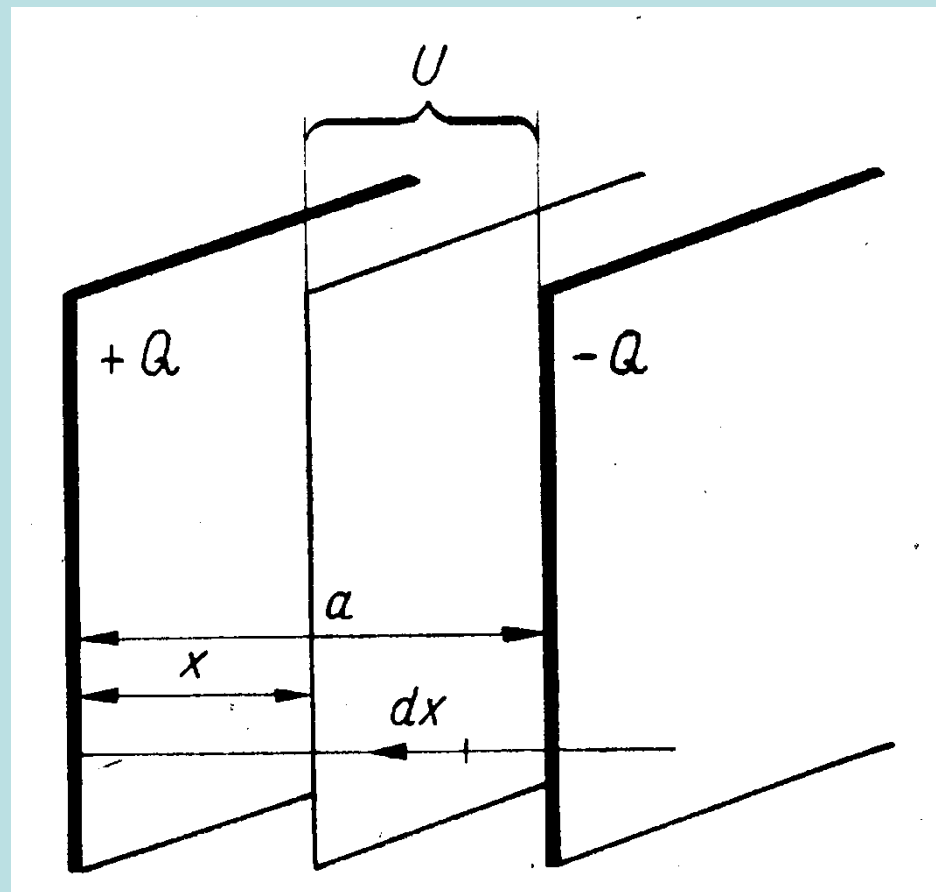
$$U = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \left(\ln \frac{R}{r_b} - \ln \frac{R}{r_k} \right)$$

$$Q = U 2 \pi \epsilon \epsilon_0 l \frac{1}{\ln \frac{r_k}{r_b}} \quad (Q = C U)$$

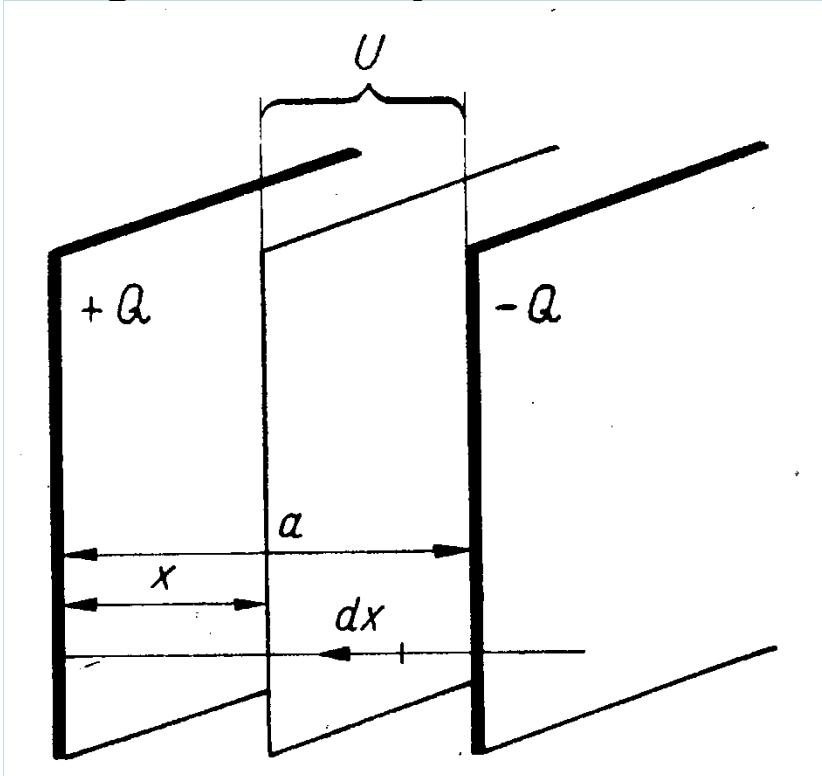
$$E(x) = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \frac{1}{x} = \frac{U}{x \ln \frac{r_k}{r_b}}$$

$$E_{max} = \frac{U}{r_b \ln \frac{r_k}{r_b}}$$

Végtelen kiterjedésű töltött sík



Végtelen kiterjedésű töltött sík



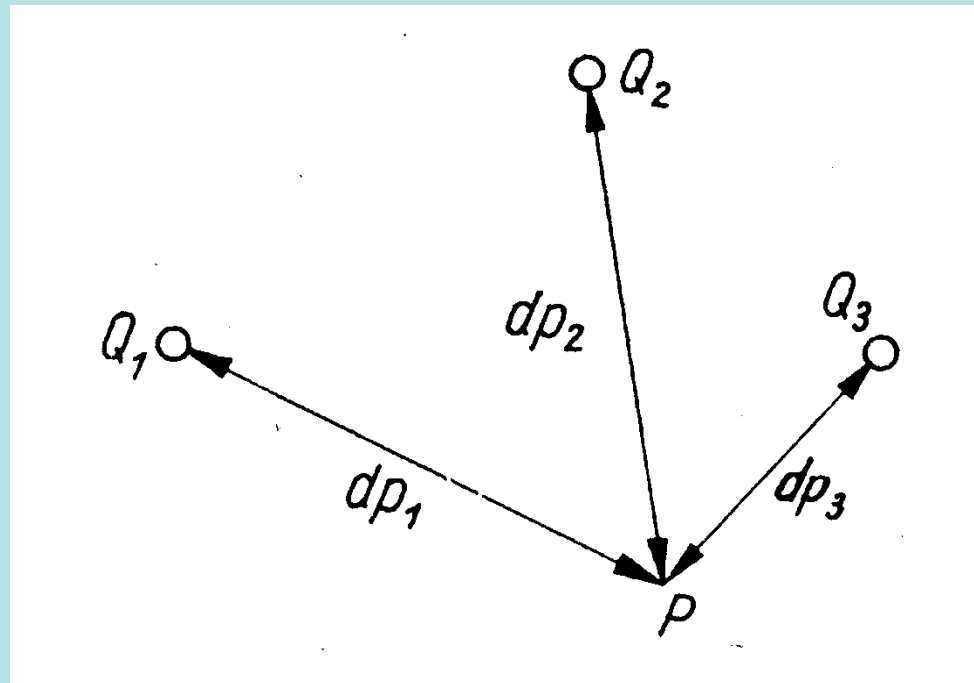
Gauss tv.: $\oint_A \mathbf{D} \, dA = Q$

$$D A = Q$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0 A}$$

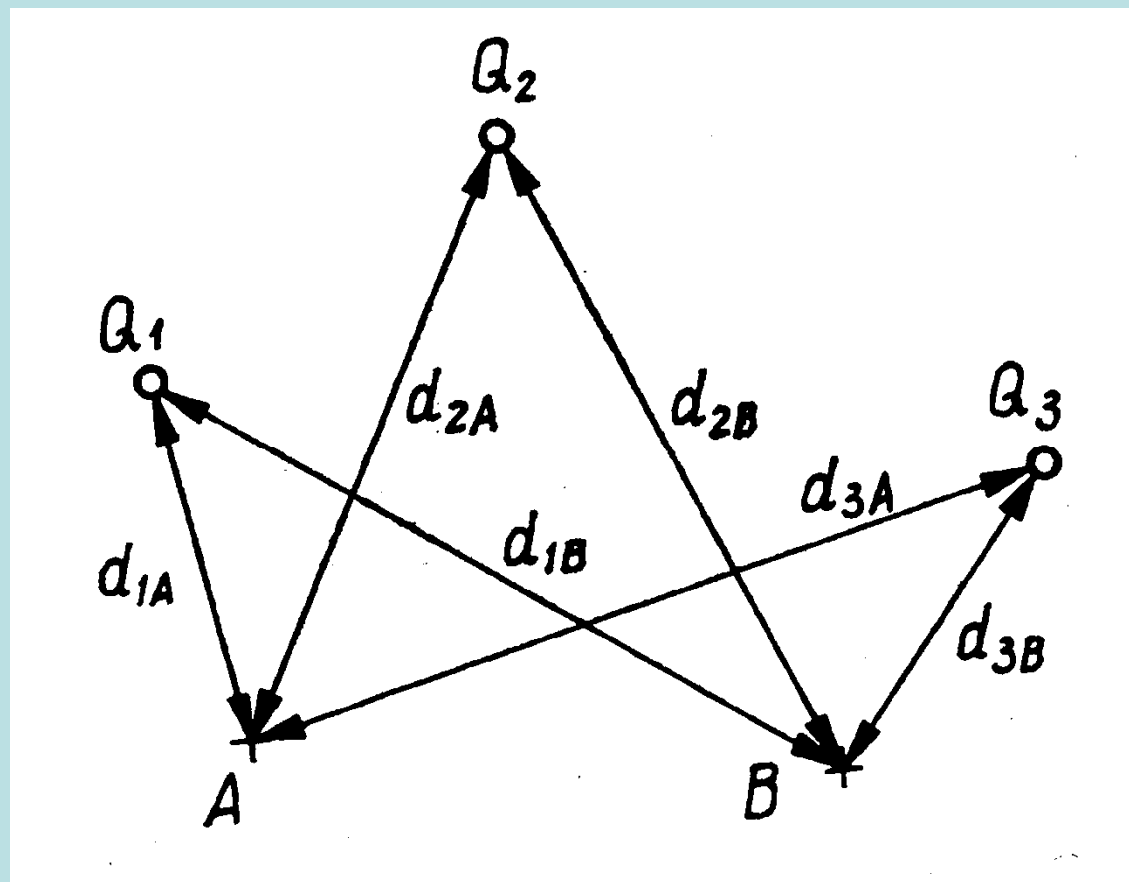
$$U = - \int_a^x E \, dx = \frac{Q}{\epsilon \epsilon_0 A} (a - x)$$

Több pontszerű töltésből álló rendszer



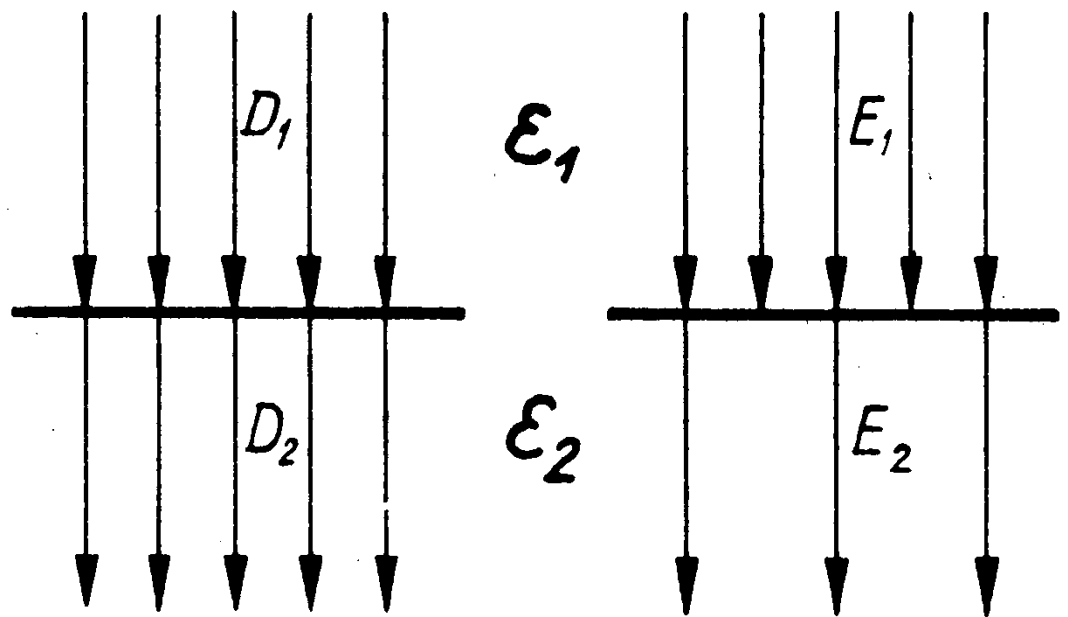
$$U_P = \frac{1}{4 \pi \epsilon \epsilon_o} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{dp_i}$$

Több pontszerű töltésből álló rendszer



$$U_{AB} = \frac{1}{4 \pi \epsilon \epsilon_o} \sum_{i=1}^n Q_i \left(\frac{1}{dA_i} - \frac{1}{dB_i} \right)$$

Erőterek többféle szigetelőanyaggal



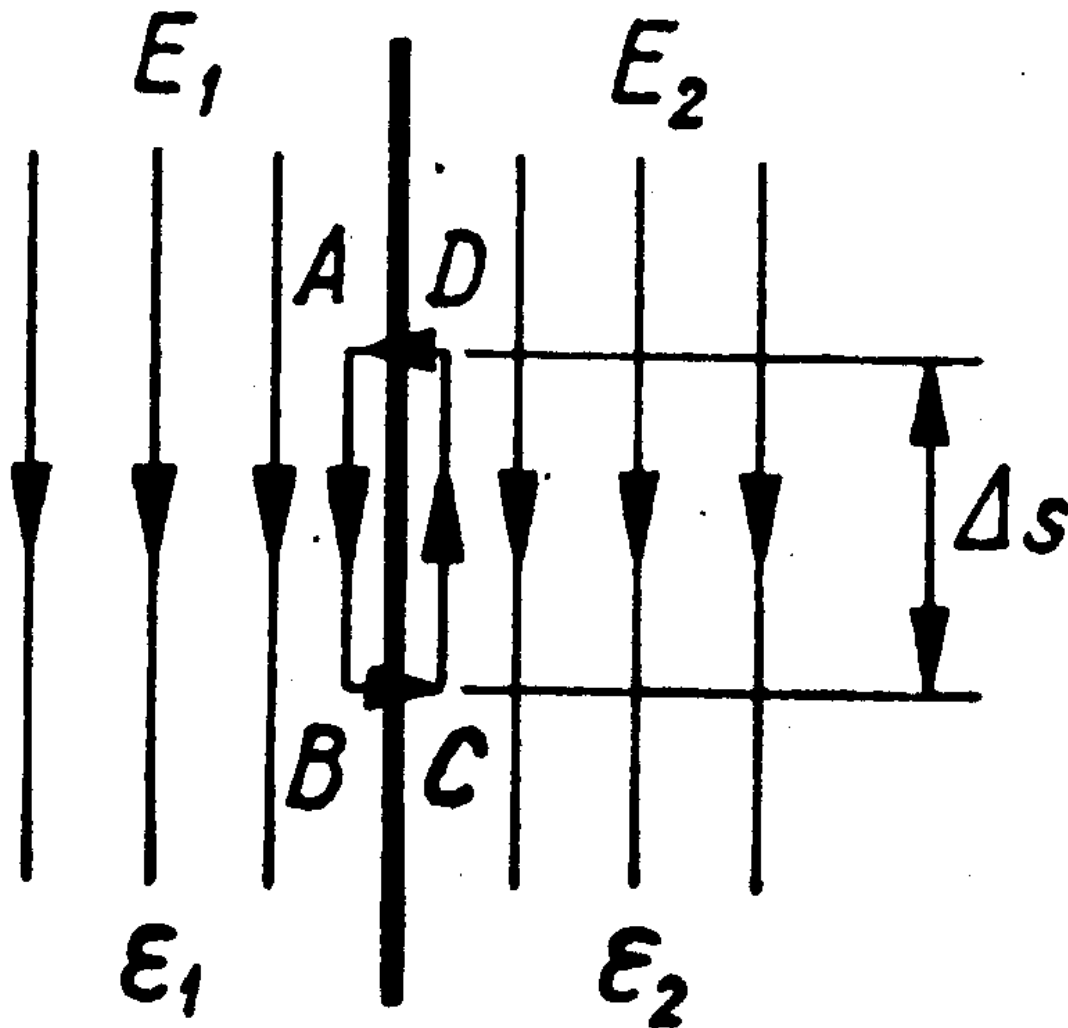
$$\oint_A \mathbf{D} \, dA = Q$$

$$\mathbf{D}_1 = \mathbf{D}_2$$

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E}$$

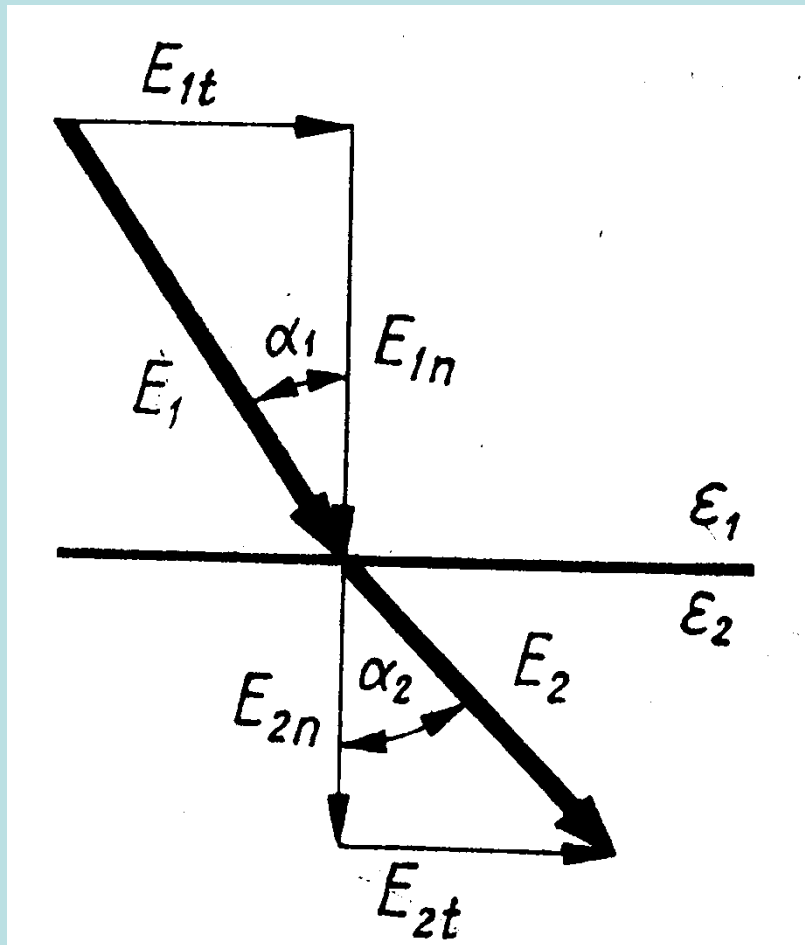
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

Erőterek többféle szigetelőanyaggal



$$E_1 = E_2$$

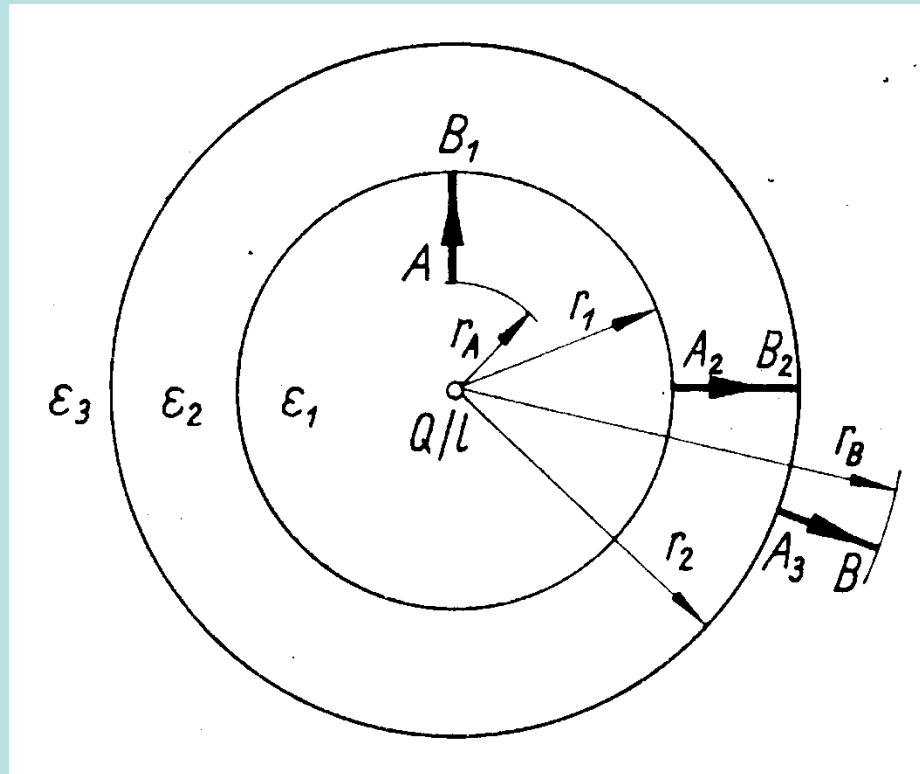
Erőterek többféle szigetelőanyaggal



$$E_{1t} = E_{2t} \quad \text{és} \quad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{E_{1t}}{E_{1n}} \frac{E_{2n}}{E_{2t}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

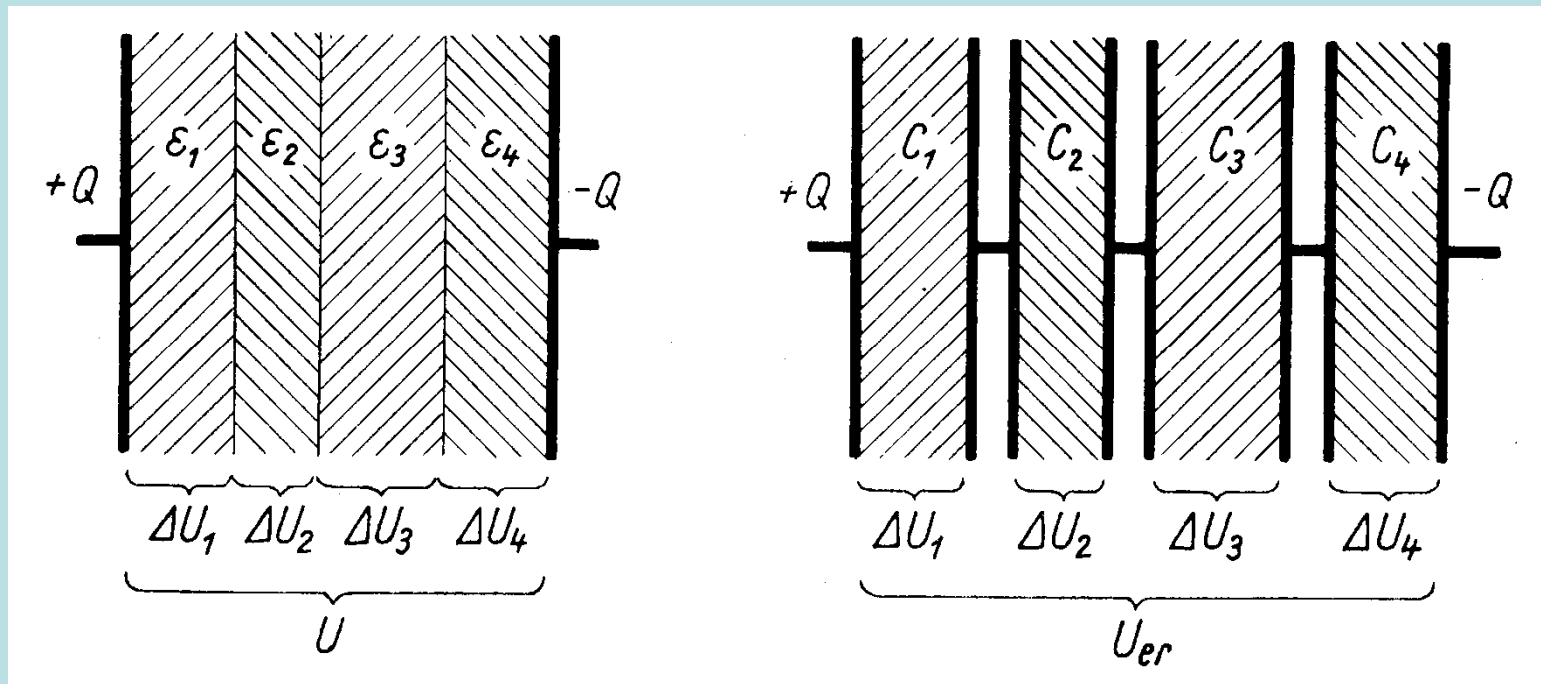
Keresztirányú hengeres rétegezés



$$U = \frac{Q}{2 \pi \epsilon \epsilon_0 l} \ln \frac{R}{x}$$

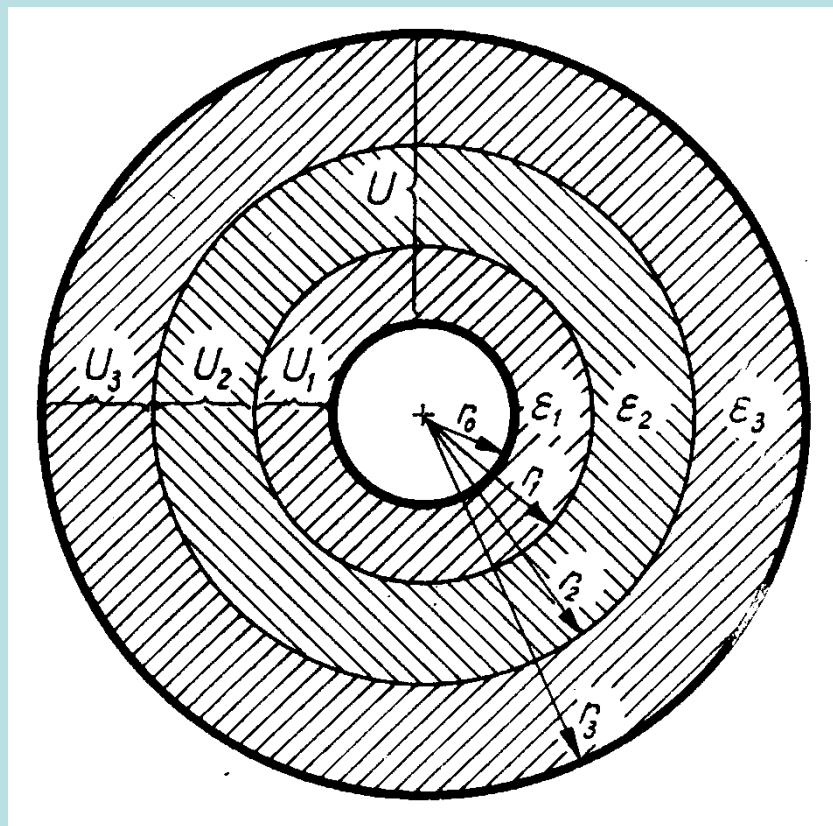
$$U_{AB} = \frac{Q}{2 \pi \epsilon_0 l} \left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_1}{r_A} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_3} \ln \frac{r_B}{r_2} \right)$$

Keresztirányú rétegezés



$$Q = C_1 \Delta U_1 = C_2 \Delta U_2 = C_3 \Delta U_3 = \dots = C_{er} \Delta U_{er}$$

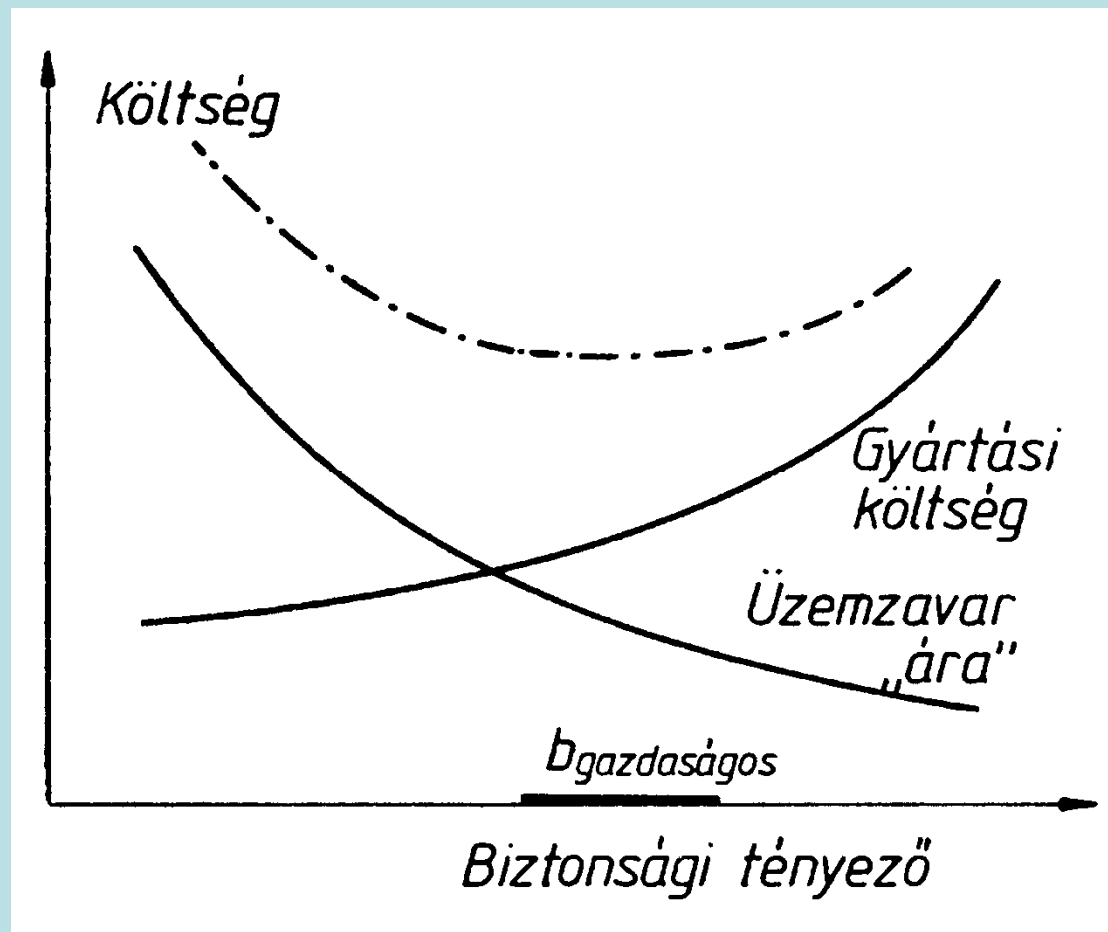
Két közös tengelyű henger rétegezett szigeteléssel



$$Q = C_1 \Delta U_1 = C_2 \Delta U_2 = C_3 \Delta U_3 = C_{er} \Delta U_{er}$$

Szigetelések gazdaságos kihasználása

Szigetelések gazdaságossága



$$b_x = U_{\text{üt}} / U_x$$

Szigetelés gazdaságossága

- Szigetelés és a villamos gép ára
- Szigetelés üzembiztonsága
- Szigetelés élettartama

Biztonsági tényező

- Nem a vizsgált anyagot építjük be
- Előre nem látható igénybevételek
- Labormérés körülményei eltérnek az üzemitől
- Gazdaságosság

Névleges feszültség	Műanyagszigetelésű kábelek árában a szigetelésre jutó részarány
10 kV	10 %
20 kV	15 %
35 kV	20 %
120 kV	38 kV

Szigetelés kihasználtsága

Akkor jó, ha minden pontban

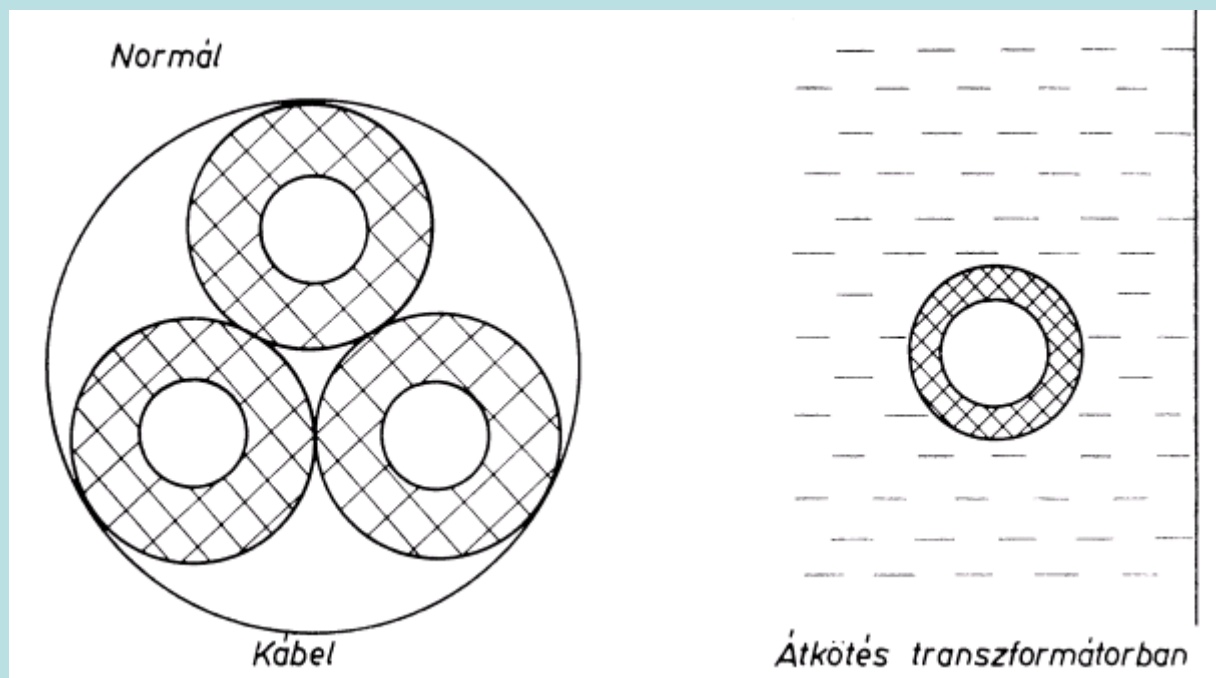
$$E_{\text{üzemi}} = E_{\text{megengedett}}$$

Ez a gyakorlatban lehetetlen!

Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

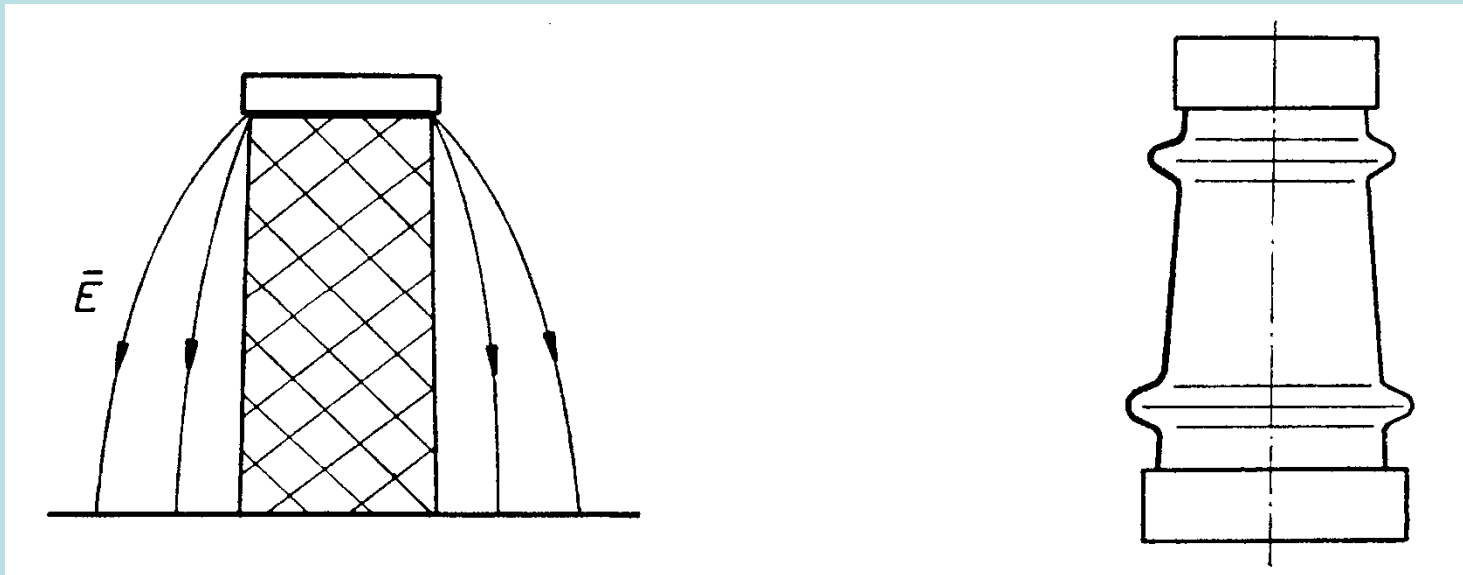
1) Kedvező alaptípus választása

Szigetelések típusai



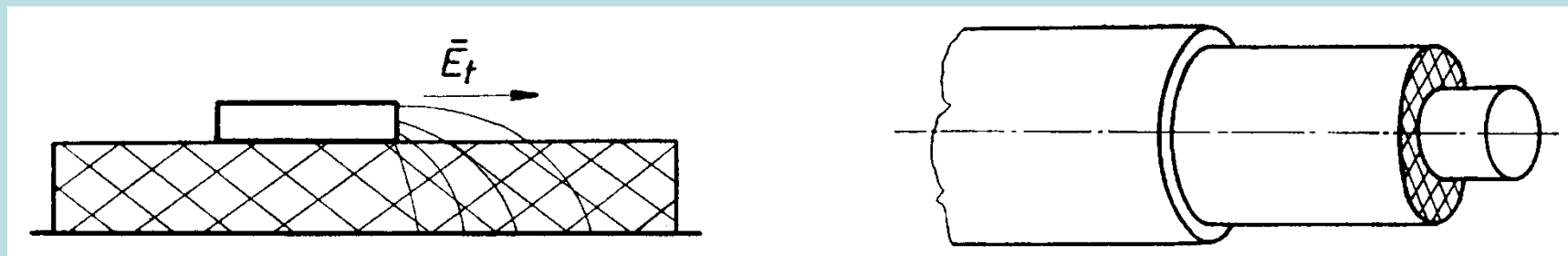
Beágyazott típusú szigetelés

Szigetelések típusai



Támszigetelő típusú szigetelés

Szigetelések típusai

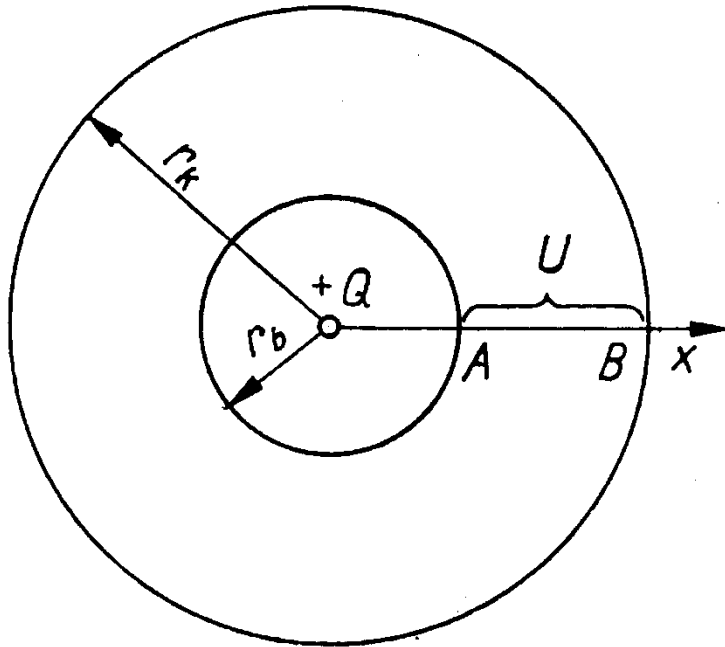


Részben beágyazott típusú szigetelés

Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárarány választása
- rétegzés

A legjobb kihasználás feltétele pontszerű töltésre
visszavezethető erőterben



$$E_{max} = U \frac{1}{r_k - r_b} \frac{r_k}{r_b} \quad r_k = \text{áll}$$

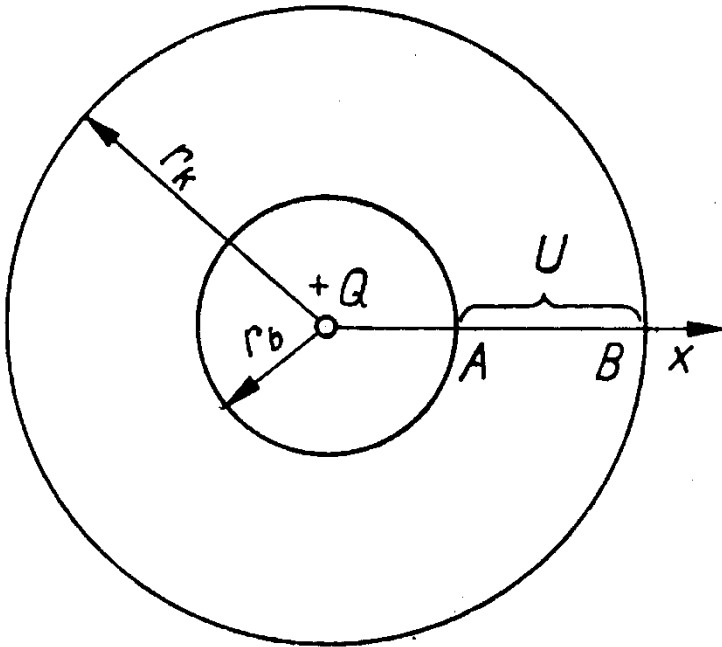
$$U = E_{max} \frac{1}{r_k} r_b (r_k - r_b) \quad /' r_b$$

$$U' = E_{max} \frac{1}{r_k} [r_k - r_b + r_b (-1)]$$

$$r_k = 2r_b$$

$$\frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{r_k^2}{r_b^2} = 4$$

A legjobb kihasználás feltétele hengeres erőterben



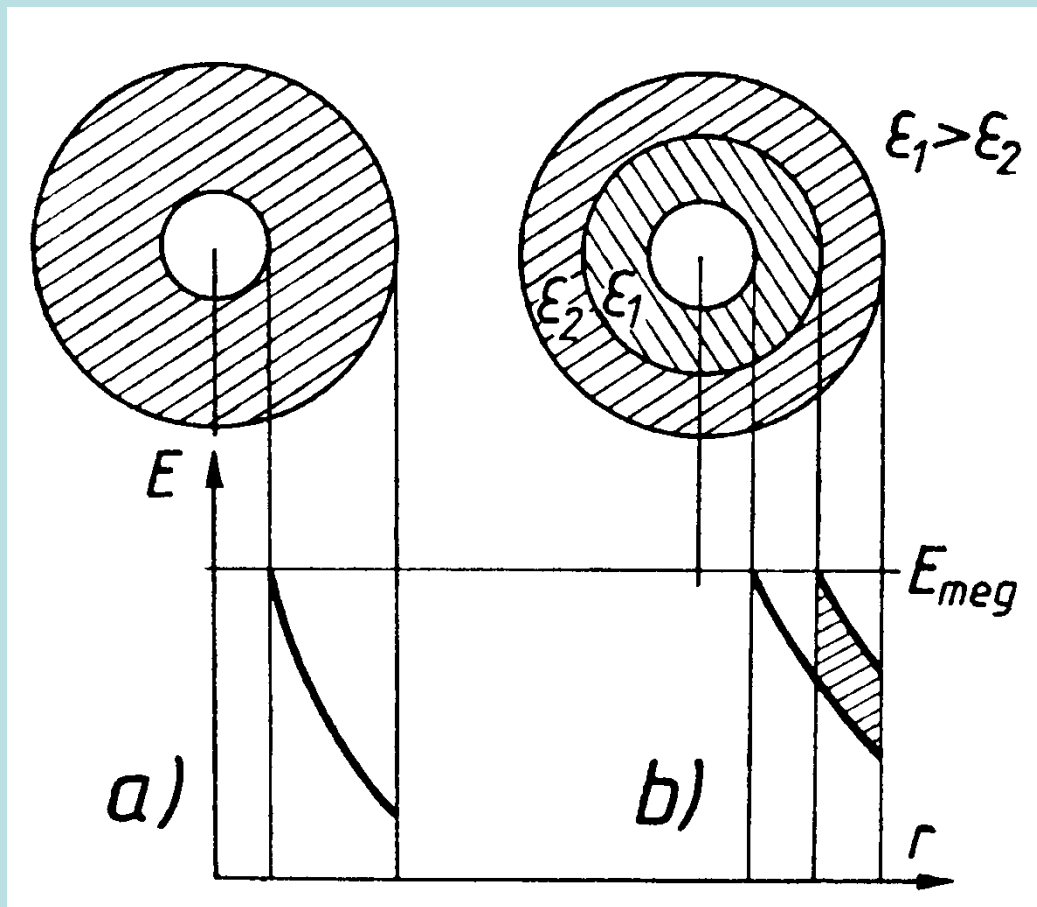
$$U = E_{max} r_b \ln \frac{r_k}{r_b} \quad r_k = \text{áll}$$

$$U' = 0$$

$$\frac{r_k}{r_b} = e$$

$$\frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{r_k}{r_b} = e$$

A szigetelések jobb kihasználását elősegítő módszerek

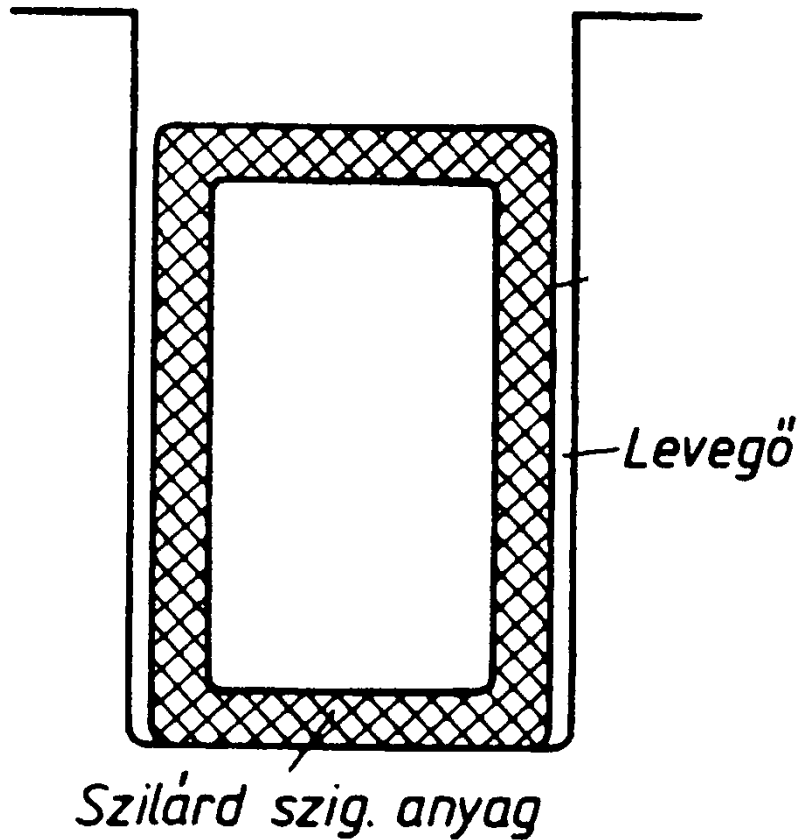


$$E \epsilon r = \text{állandó}$$

Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárarány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés

A szigetelések jobb kihasználását elősegítő módszerek



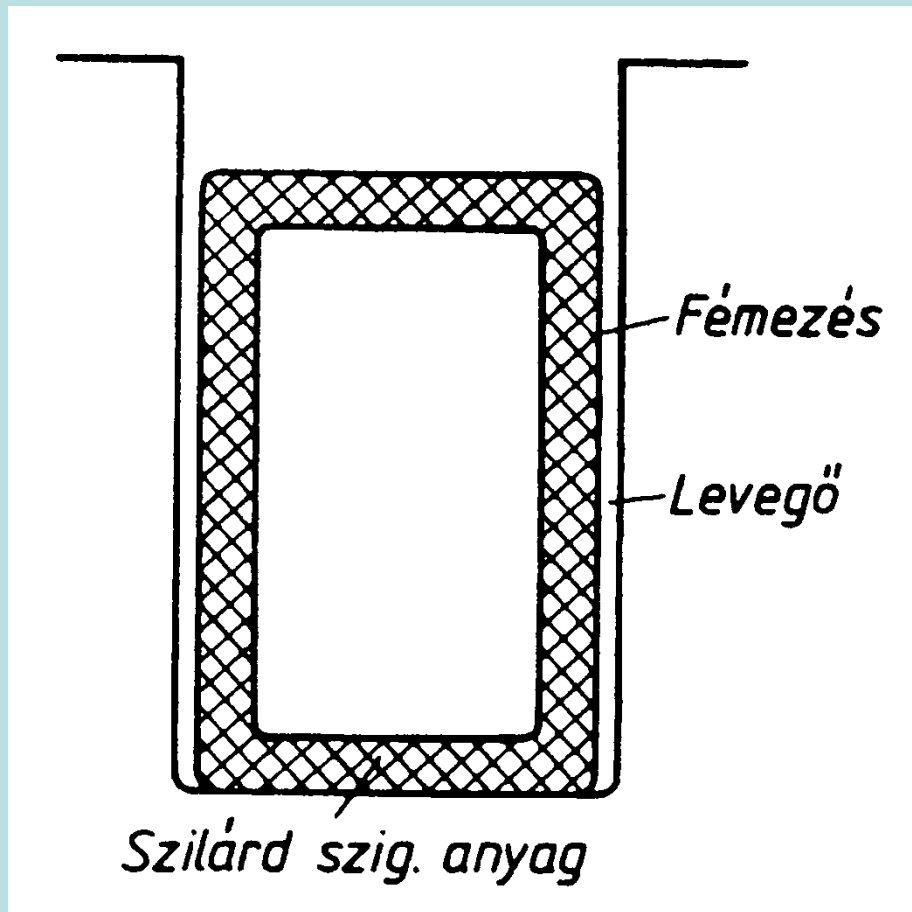
Példa: $a_{sz} = 4 \text{ mm}$ $\epsilon_{sz} = 5$
 $a_{lev} = 0,2 \text{ mm}$ $\epsilon_{sz} = 1$
 $U_n = 10,5 \text{ kV}$

$$U = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 6 \text{ kV}$$

$$E_{lev} = U \frac{\epsilon_{sz}}{a_{sz} \epsilon_{lev} + a_{lev} \epsilon_{sz}} = 60 \text{ kV/cm} > E_{\ddot{u}t \text{ lev}} = 52,5 \text{ kV/cm}$$

A szigetelések jobb kihasználását elősegítő módszerek

Megoldás:



$$E_{sz} = \frac{U}{a_{sz}} = \frac{6 \text{ kV}}{4 \text{ mm}} = 15 \text{ kV/cm}$$

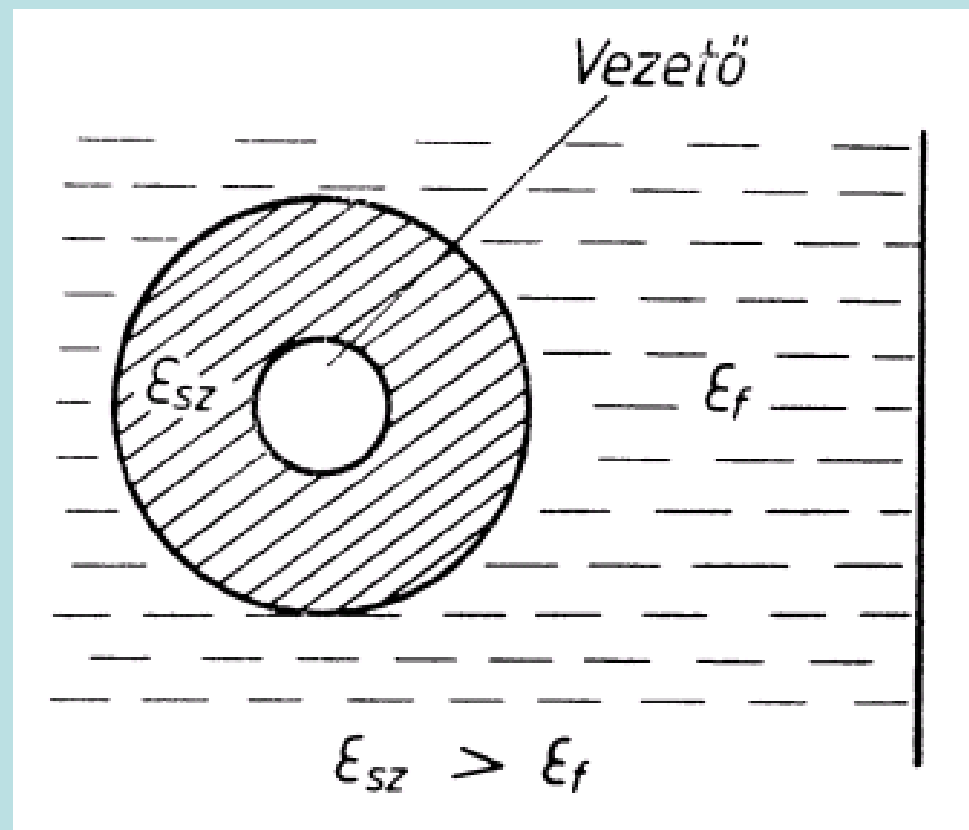
$$E_{\text{üt sz}} = 240 \text{ kV/cm}$$

$$E_{\text{üt sz}} \gg E_{sz}$$

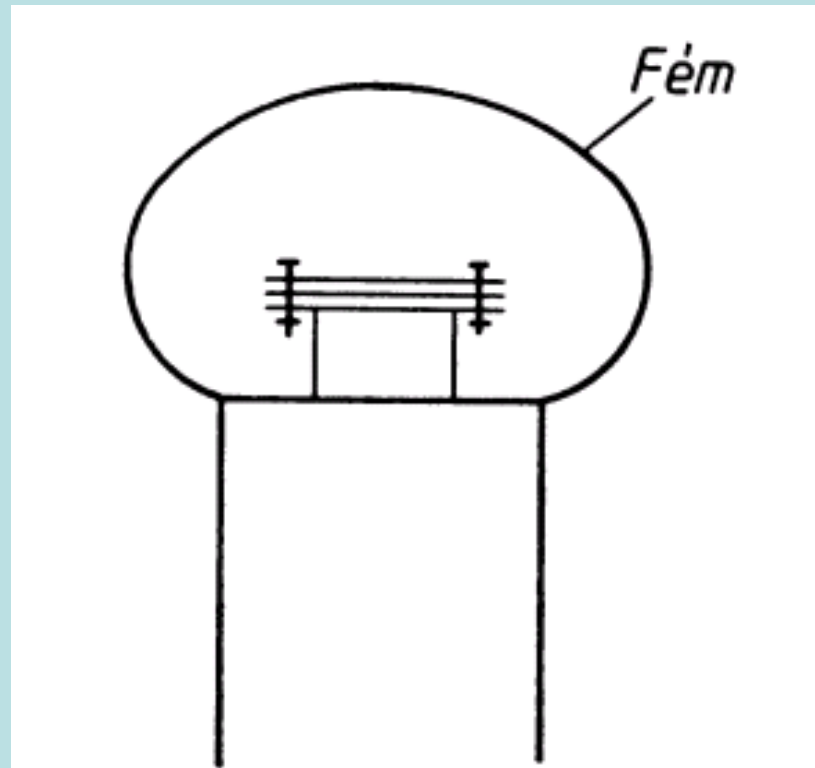
Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárarány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés
- 5) Gáz v. folyékony szigetelésben: burkolat
a burkolat lehet:
 - szigetelő: $\epsilon_{\text{burkolat}} > \epsilon_{\text{környezet}}$
 - fém: cél a görbületi sugár növelése

Nagy görbületű elektródok burkolása szigetelőanyaggal



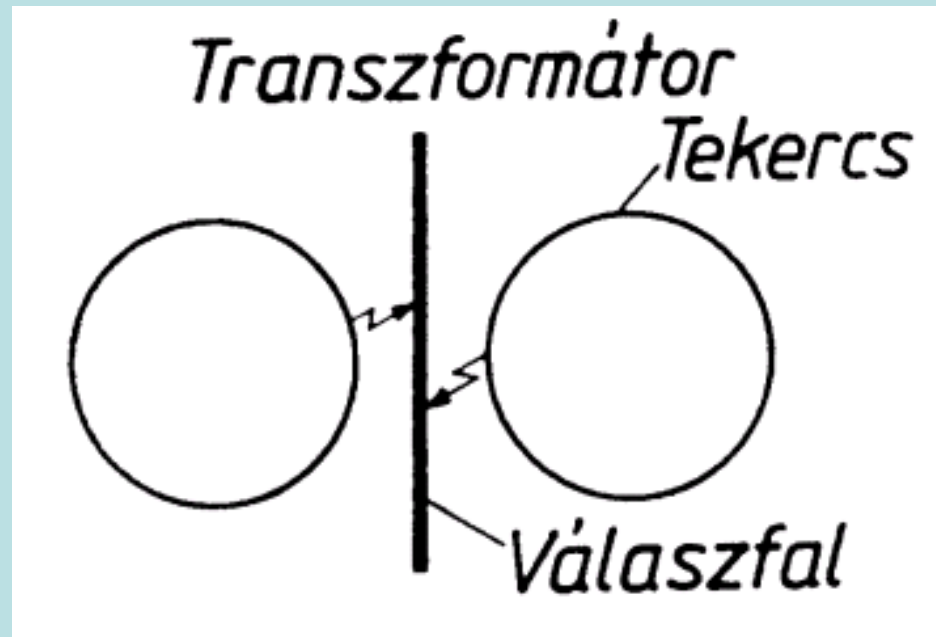
Nagy görbületű elektródok burkolása fémmel (árnyékolás)



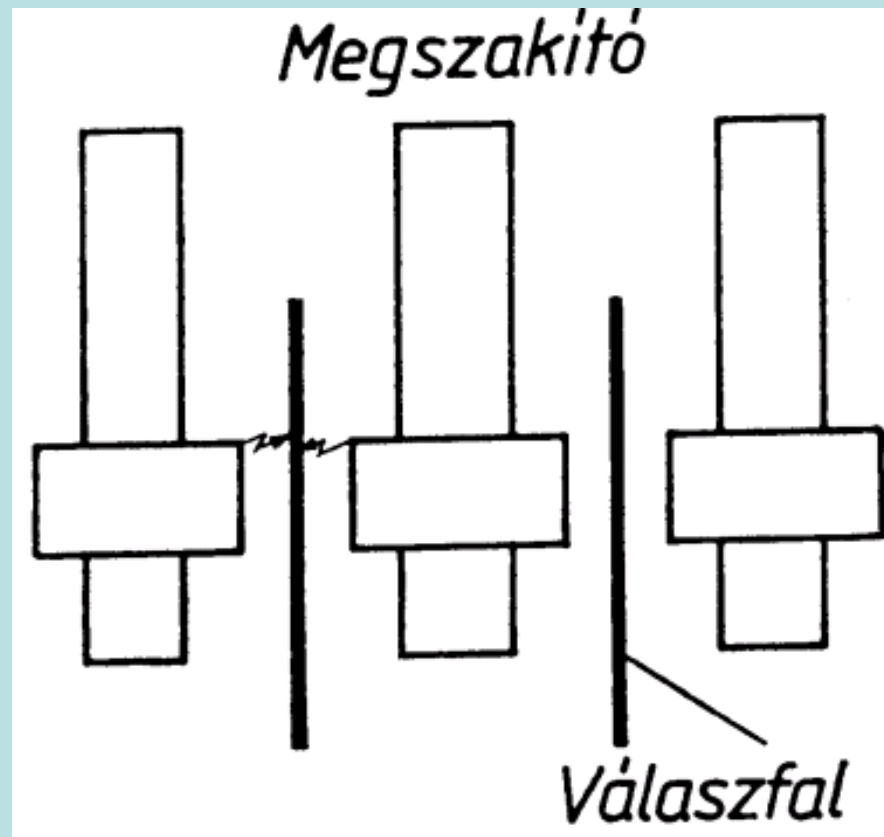
Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárárány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés
- 5) Gáz v. folyékony szigetelésben: burkolat
- 6) Rövid idejű túlfeszültségek elleni védelem:
 - válaszfal (mindig szigetelő)
 - ernyő (fém vagy szigetelő)

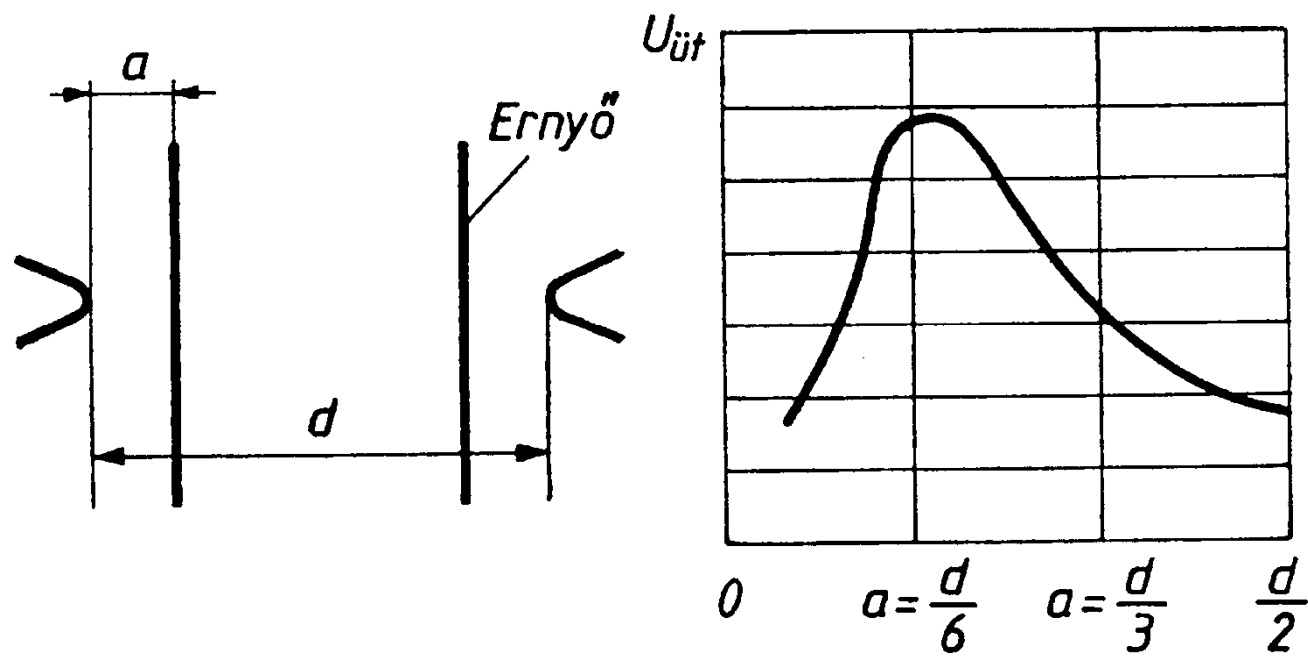
Válaszfal



Válaszfal



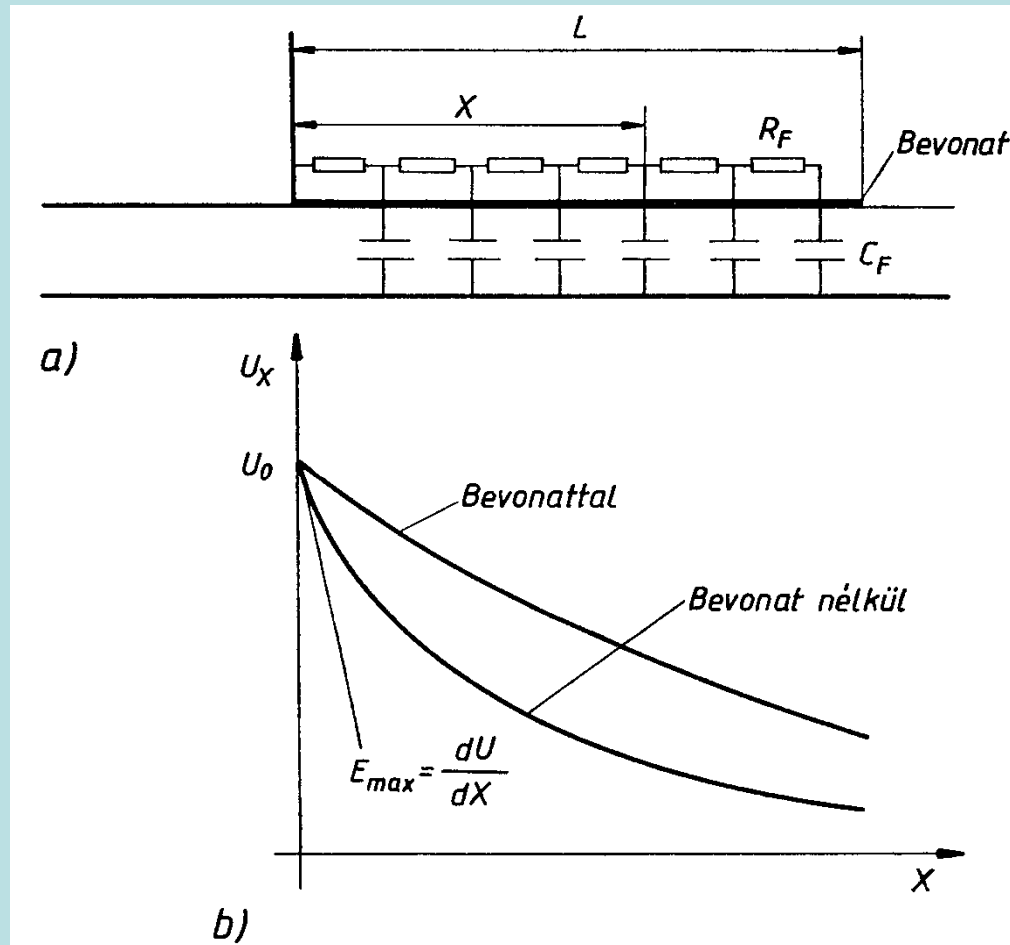
Ernyő



Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárarány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés
- 5) Gáz v. folyékony szigetelésben: burkolat
- 6) Rövid idejű túlfeszültségek elleni védelem
- 7) Részben beágyazott alaptípus esetén
 - a) Átalakítása beágyazottá
 - b) Felület bevonása csökkentett ellenállású réteggel

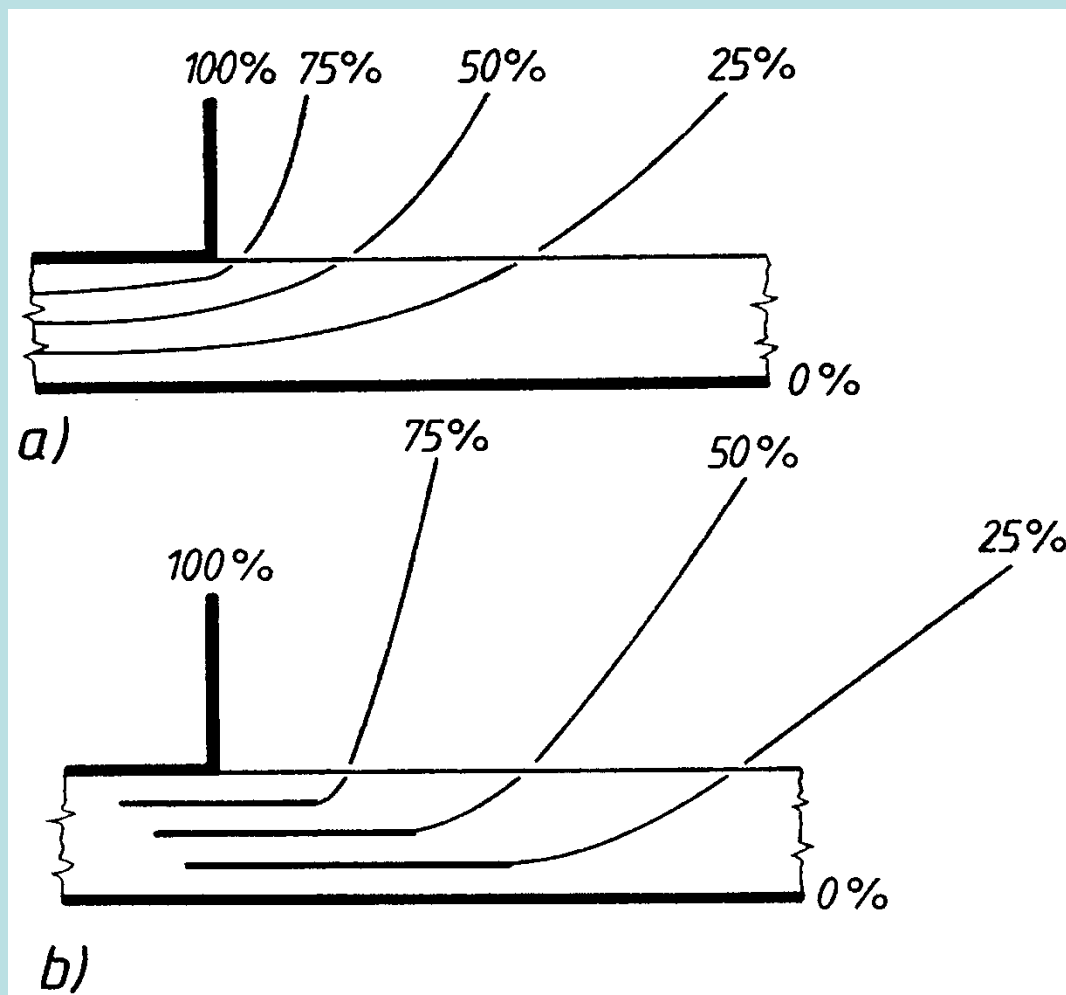
Felületi térerősség csökkentése nagyellenállású vezetőréteggel



Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: - optimális sugárarány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés
- 5) Gáz v. folyékony szigetelésben: burkolat
- 6) Rövid idejű túlfeszültségek elleni védelem
- 7) Részben beágyazott alaptípus esetén
 - a) Átalakítása beágyazottá
 - b) Felület bevonása csökkentett ellenállású réteggel
 - c) Potenciálvezérlő elektródok beépítése

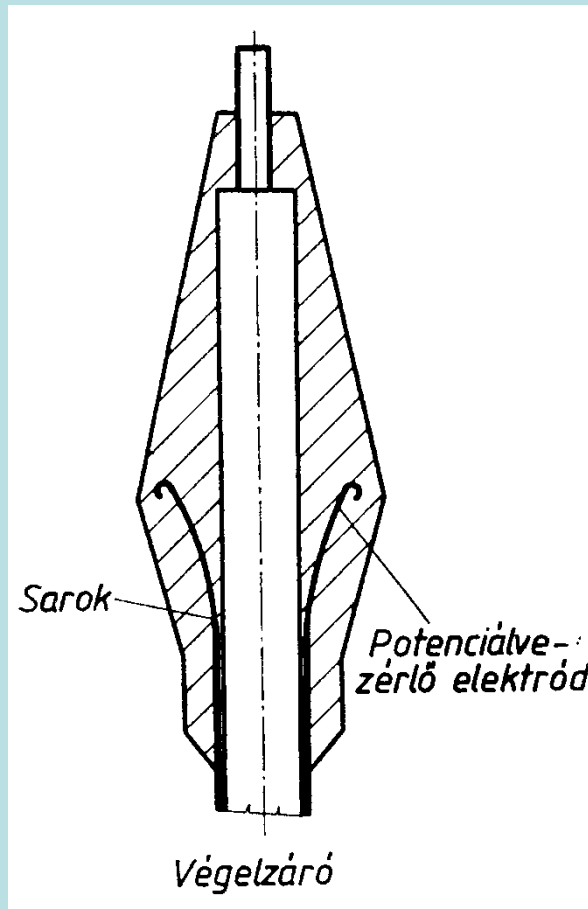
Felületi térerősség csökkentése fóliaelektrodok beépítésével



Szigetelések jobb kihasználtságát elősegítő módszerek

- 1) Kedvező alaptípus választása
- 2) Jól számítható elrendezés
- 3) Hengeres erőterben: -optimális sugárarány választása
- rétegzés
- 4) Homogén erőterben: NE legyen rétegzés
- 5) Gáz v. folyékony szigetelésben: burkolat
- 6) Rövid idejű túlfeszültségek elleni védelem
- 7) Részben beágyazott alaptípus esetén
 - a) Átalakítása beágyazottá
 - b) Felület bevonása csökkentett ellenállású réteggel
 - c) Belső potenciálvezérlő elektródok beépítése
 - d) Külső potenciálvezérlő elektródok beépítése (végelzáró)

Felületi térerősség csökkentése kúpos potenciálvezérlő elektródokkal



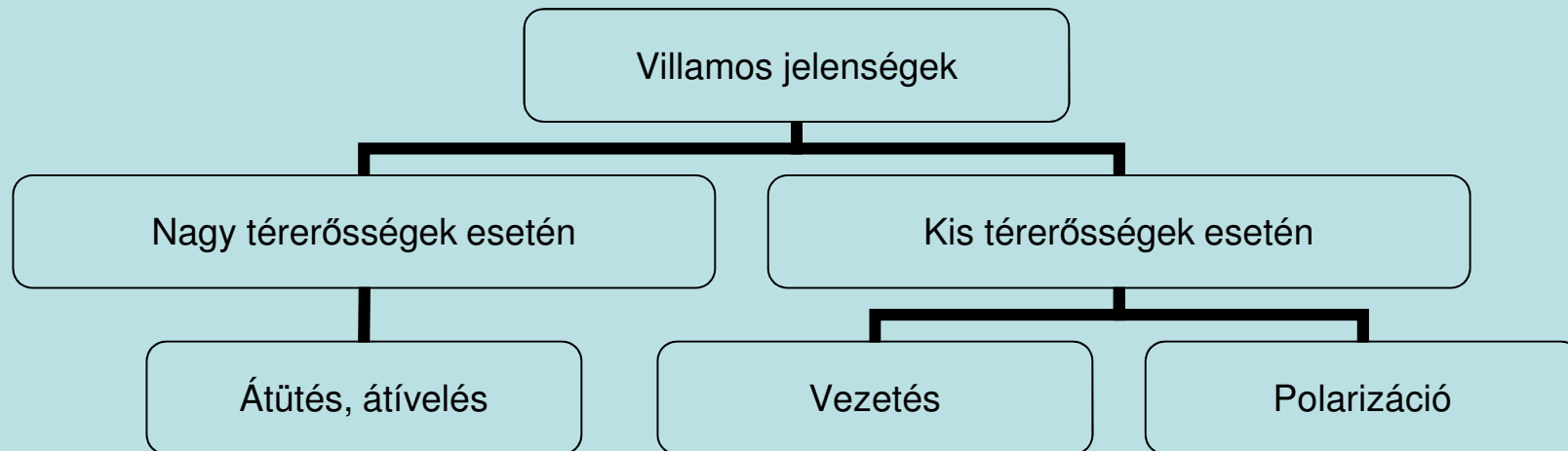
**KÖSZÖNÖM
A
FIGYELMET!**

Villamos kapcsolókészülékek

BMEVIVEA336

A szigetelésekben végbemenő fizikai folyamatok

Villamos jelenségek szigetelőanyagokban



Vezetés

Szigetelőanyagok villamos vezetése

$$\gamma = \frac{J}{E}$$

γ : fajlagos vezetőképesség, $1/\Omega\text{cm}$

ρ : fajlagos (térfogati) ellenállás, Ωcm

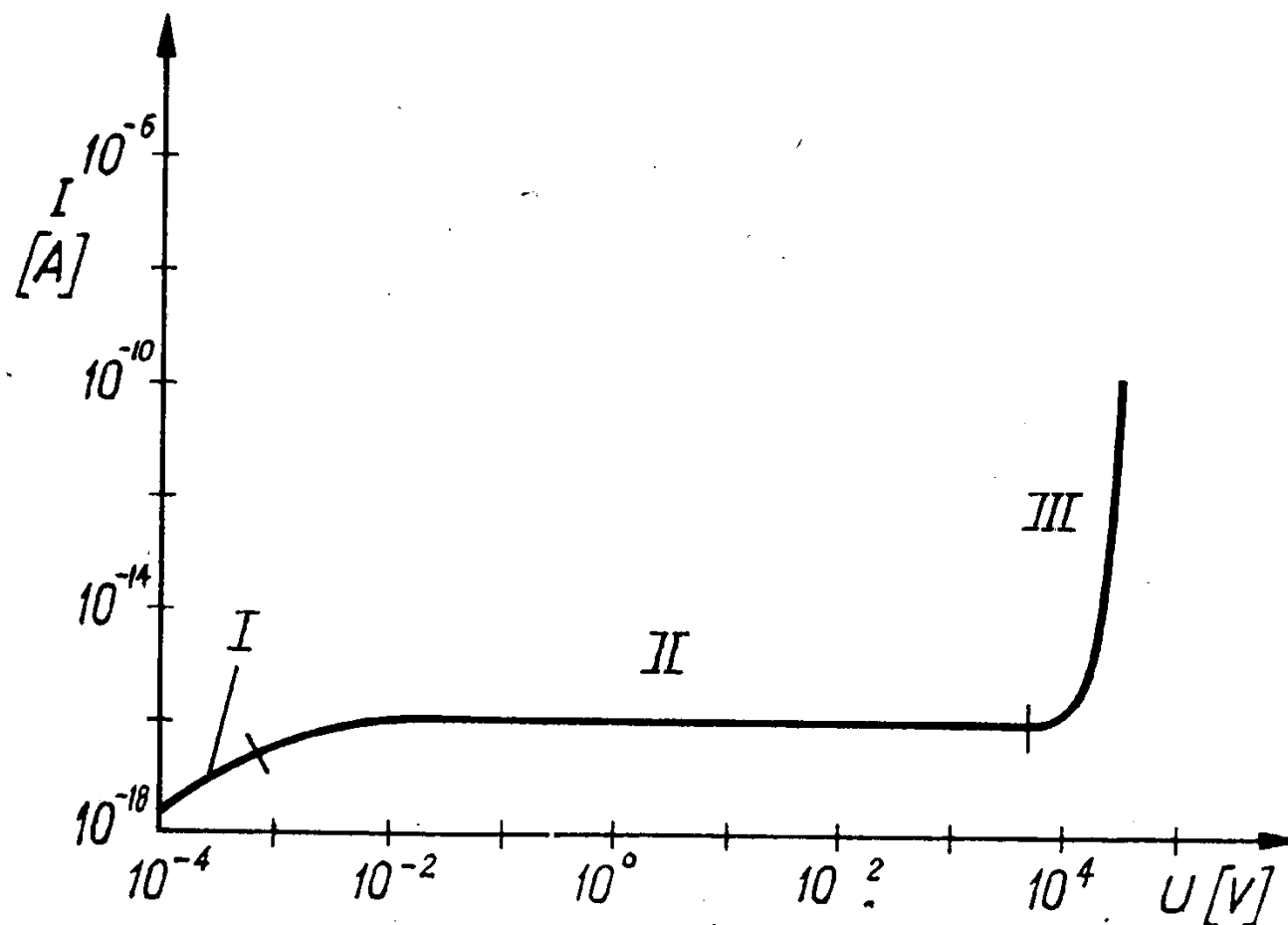
Szigetelőanyagok villamos vezetése

- Vezetés gázokban

I. arányos szakasz

II. telítési szakasz

III. elektron lavina



($A = 100 \text{ cm}^2$, $a = 1 \text{ cm}$, homogén erőter)

Vezetés gázokban

Töltéshordozók: elektronok, ionok

Nagy a külső ionozó hatások szerepe

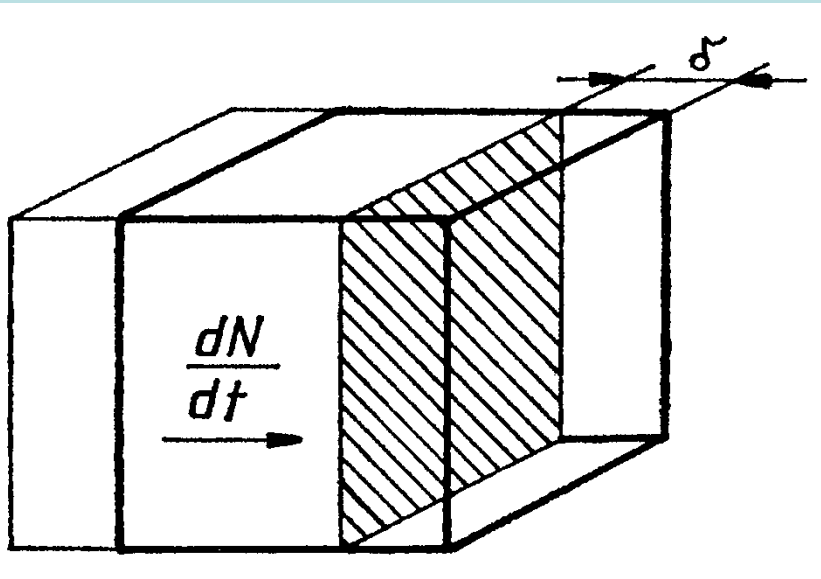
$$N = 10^3 \dots 10^4 \text{ ion/cm}^3$$

Normál levegőben:

$$E = 10 \text{ V/cm} \rightarrow j = 10^{-15} \dots 10^{-16} \text{ A/cm}^2$$

Szigetelőanyagok villamos vezetése

- Vezetés folyadékokban
 - Ionos vezetés



$$J = q_i \delta \frac{dN}{dt}$$

q_i : egy ion töltése

dN/dt : a térerősség irányába mozgó ionok száma egységnyi idő alatt

Vezetés folyadékokban

Töltéshordozók: ionok

Fajlagos vezetőképesség: $\gamma = Ae^{-B/T}$

ahol: A, B: anyagtól függő állandók

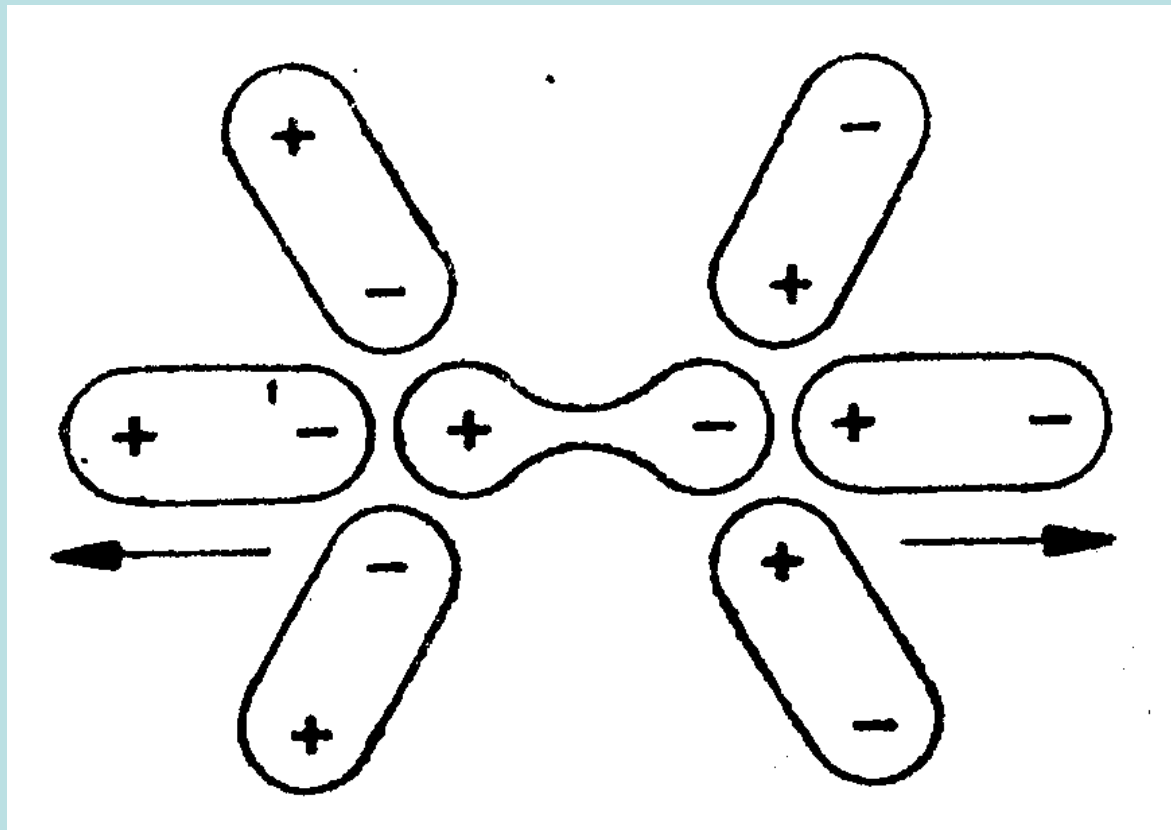
T: hőmérséklet, K

$$\gamma = \gamma_o e^{a(\vartheta - \vartheta_o)}$$

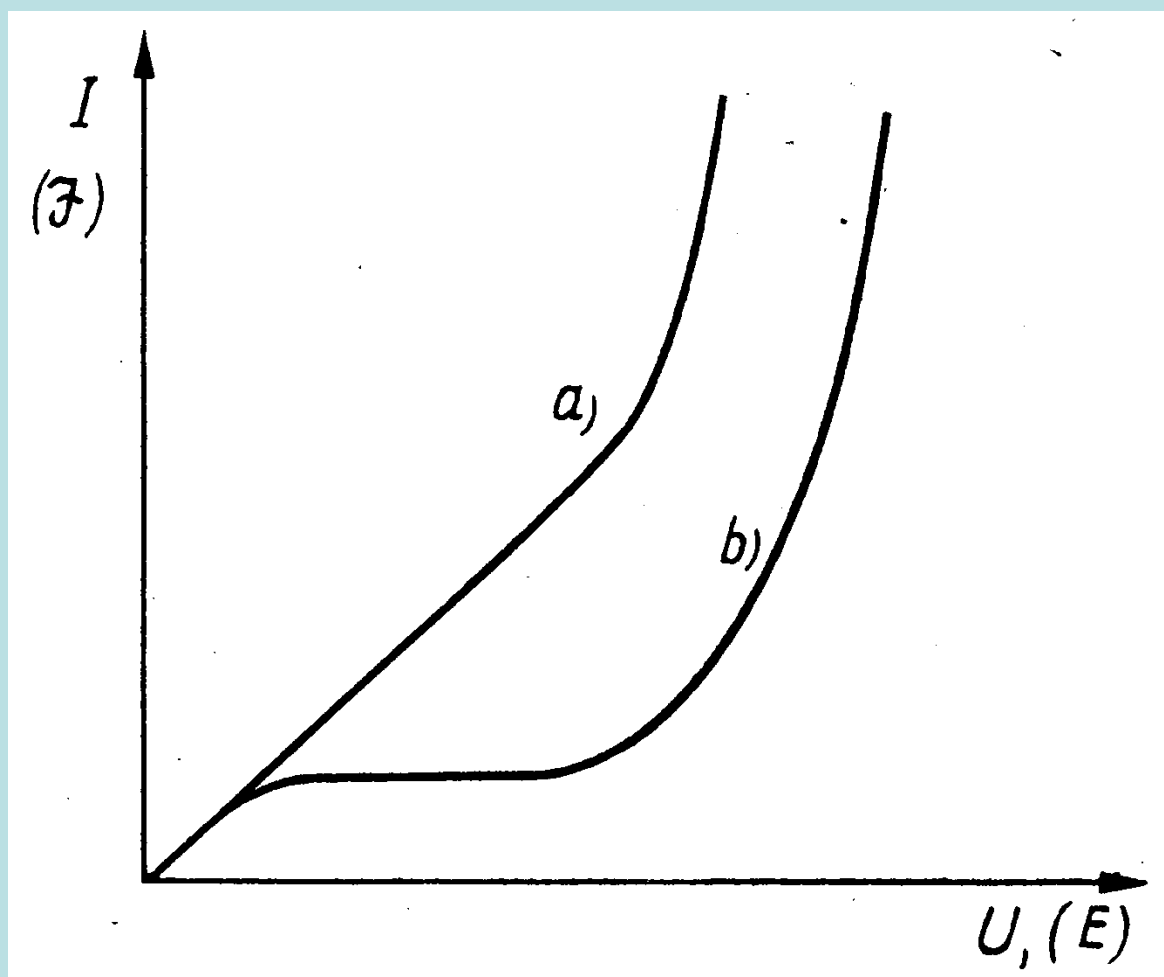
szigetelő folyadékok esetén: $\gamma < 10^{-6} \text{ 1}/\Omega\text{cm}$

Szigetelőanyagok villamos vezetése

- Vezetés folyadékokban
 - Disszociáció



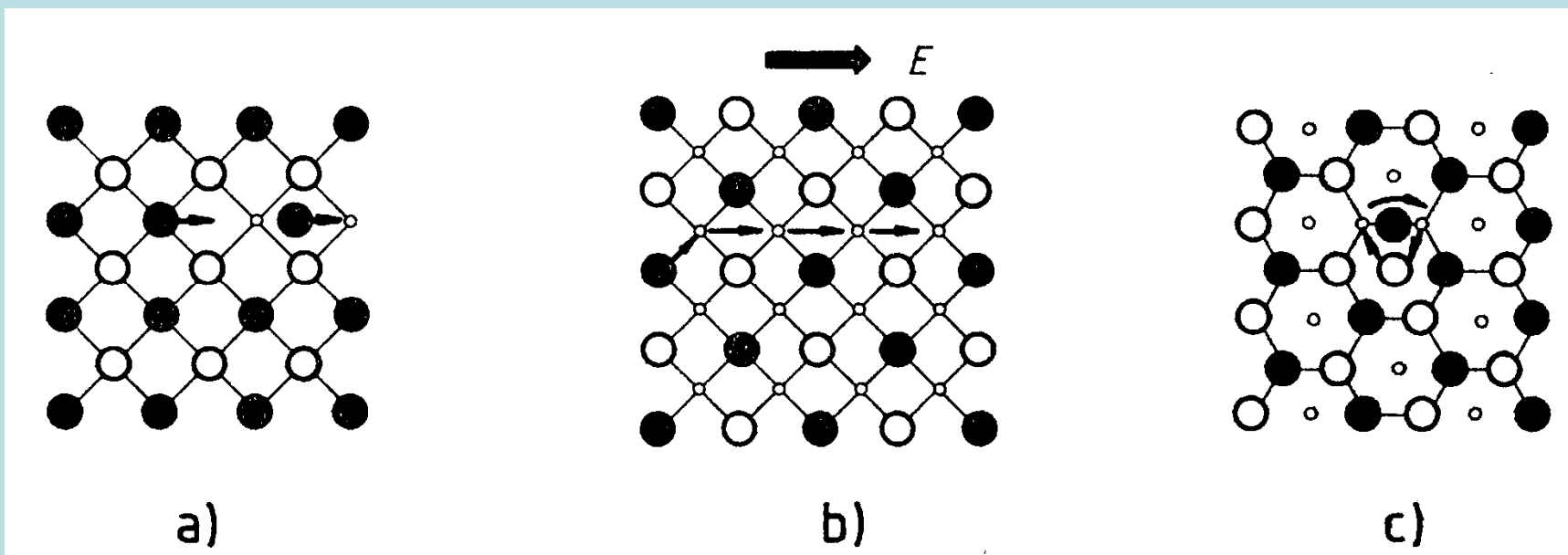
Szigetelőanyagok villamos vezetése



- A vezetés
térférfősség-
függése
 - a.) technikai
tisztaságú
 - b.) extrém
tisztaságú

Szilárd szigetelőanyagok villamos vezetése

- Vezetés kristályos anyagokban
 - a.) lyukvezetés telített kristályban
 - b.) ionvezetés telítetlen kristályban
 - c.) ionvezetés metastabil helyek útján



Szilárd szigetelőanyagok villamos vezetése

- Vezetés amorf anyagokban
 - Nincs általános összefüggés
 - Hasonló a folyadékokéhoz

Szilárd szigetelőanyagok villamos vezetése

Töltéshordozók: ionok

Fajlagos vezetőképesség: $\gamma = Ae^{-B/T}$

ahol: A, B: anyagtól függő állandók
T: hőmérséklet, K

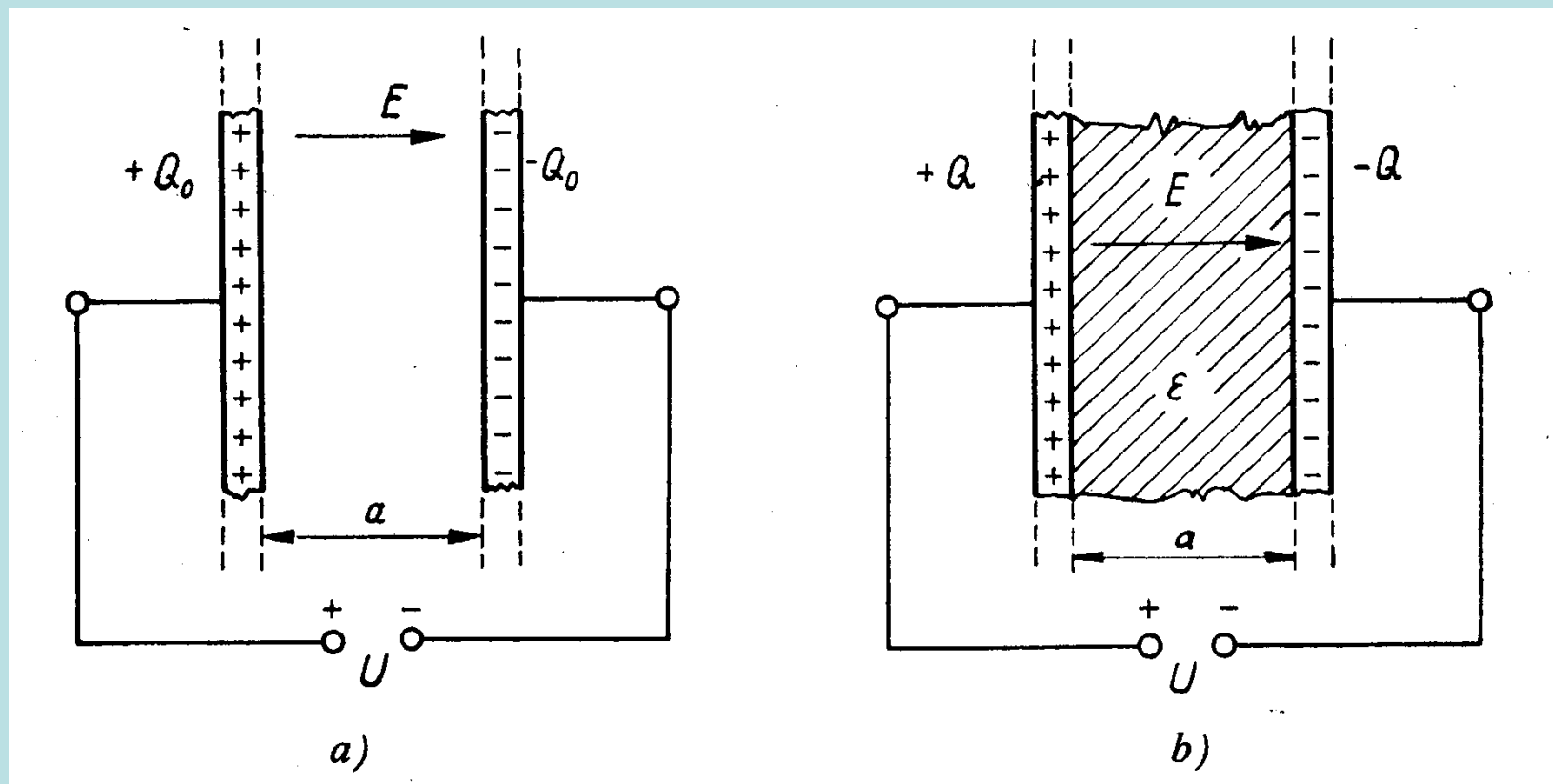
Fajlagos vezetőképesség: $\gamma = ae^{bE}$

ahol: a, b: anyagtól függő állandók
E: térerősség

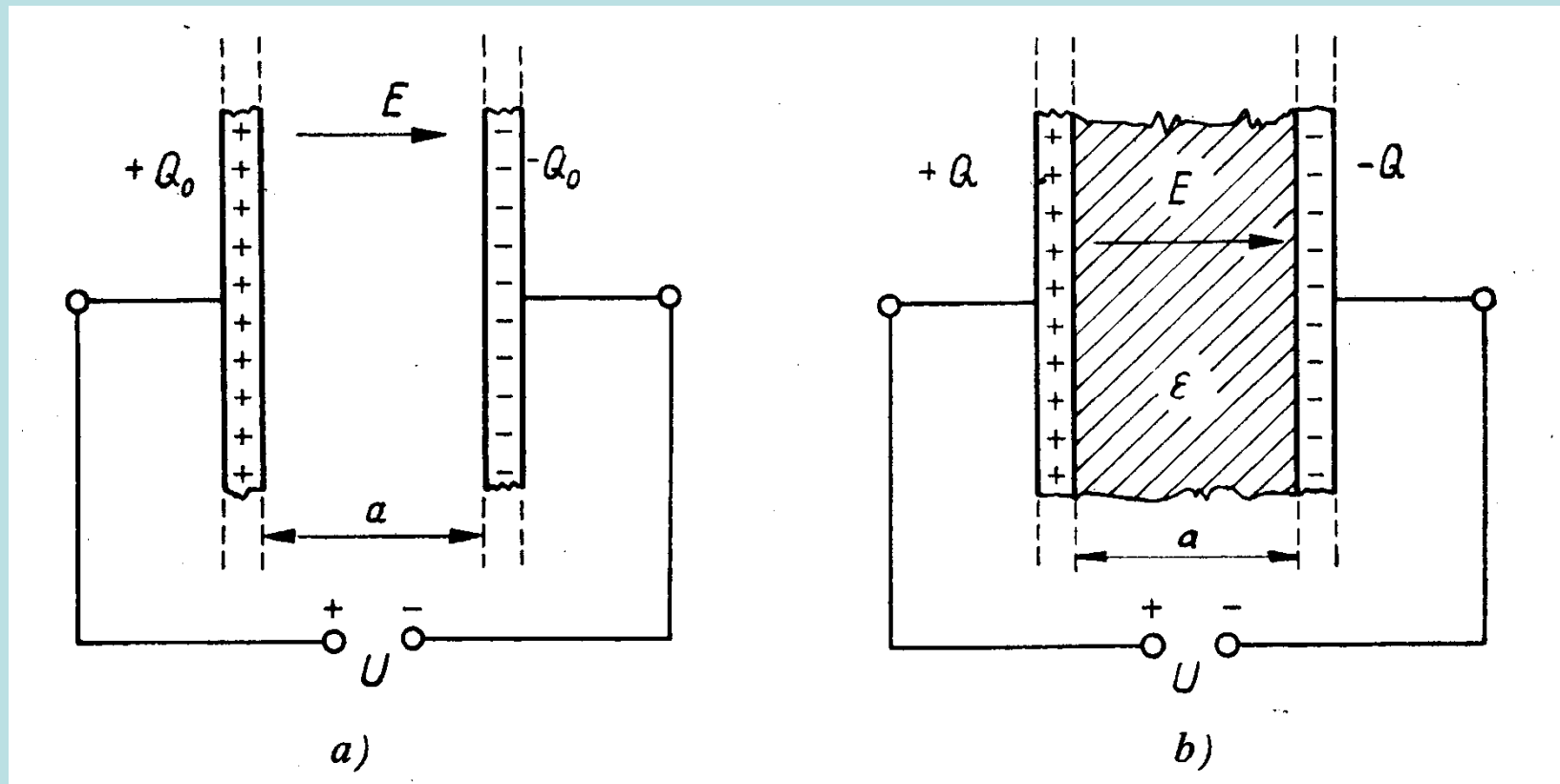
Polarizáció

A polarizáció

- A polarizáció makro-jellemzői



A polarizáció



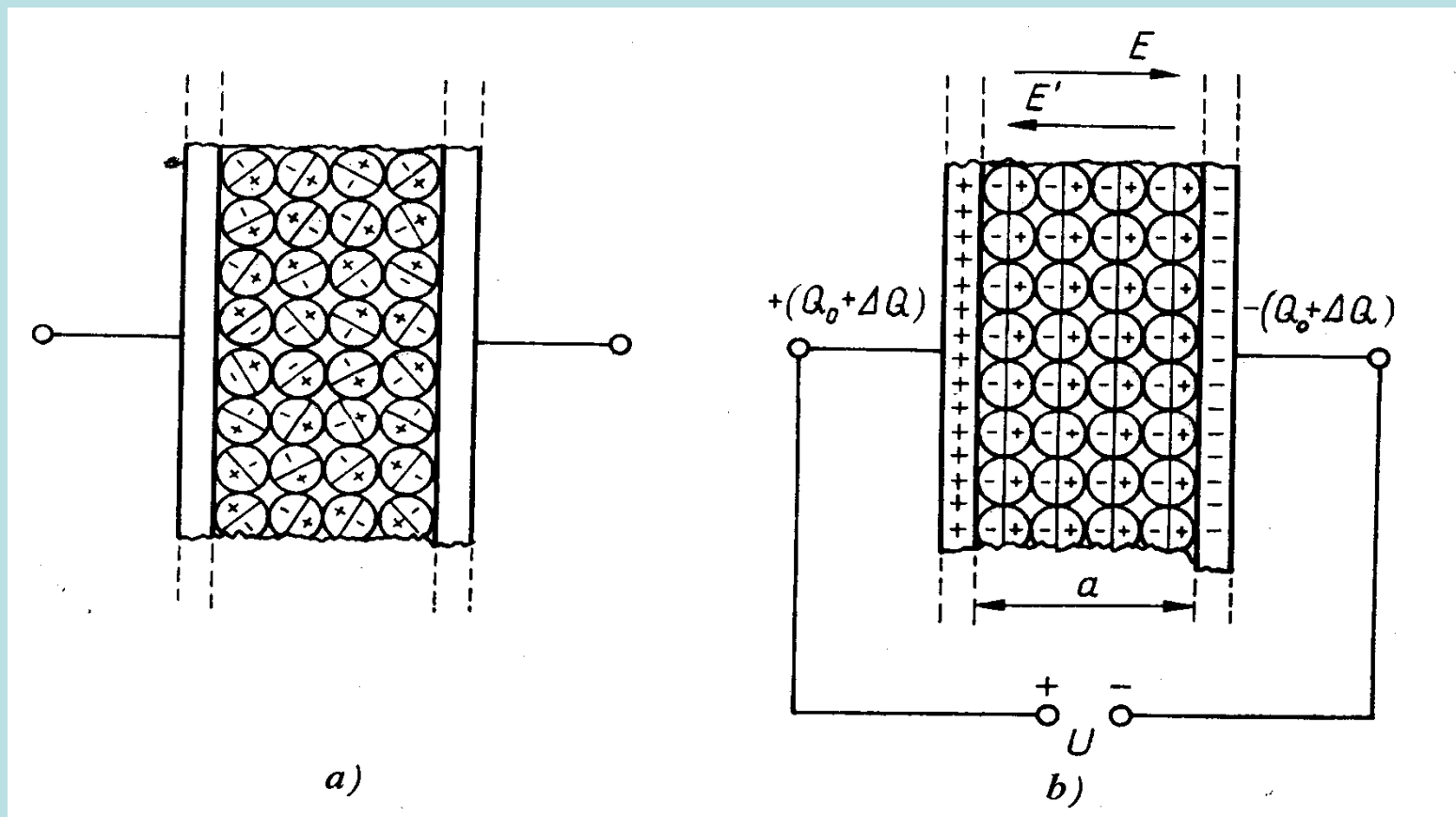
$$Q = Q_0 + \Delta Q = Q_{sz} + Q_k$$

Q_{sz} : szabad töltések

Q_k : kötött töltések

A polarizáció

- A polarizáció makro-jellemzői



A polarizáció

$$Q = Q_0 + \Delta Q = Q_{sz} + Q_k$$

$$Q = \varepsilon Q_{sz} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{Q}{Q_{sz}}$$

$$Q = Q_{sz} + Q_k = \frac{Q}{\varepsilon} + Q_k \quad \rightarrow \quad Q_k = Q \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \right)$$

$$E = \frac{U}{a} = \frac{Q}{aC} = \frac{Q}{a\varepsilon\varepsilon_o \frac{A}{a}} = \frac{Q_{sz}}{A\varepsilon_o} = \frac{\sigma_{sz}}{\varepsilon_o} \quad \rightarrow \quad \varepsilon_o E = \sigma_{sz}$$

$$D = \frac{Q}{A} = \sigma \quad \Rightarrow \quad P = \frac{Q_k}{A} = \sigma_k$$

A polarizáció

$$Q = Q_0 + \Delta Q = Q_{sz} + Q_k$$

$$\sigma = \sigma_{sz} + \sigma_k$$

$$D = \varepsilon_0 E + P$$

mivel $D = \varepsilon \varepsilon_0 E$

$$\varepsilon_0 E + P = \varepsilon \varepsilon_0 E$$

$$P = (\varepsilon - 1) \varepsilon_0 E$$

A polarizáció

$$M = Q_k a = \sigma_k A a = P V$$

$$P = M / V$$

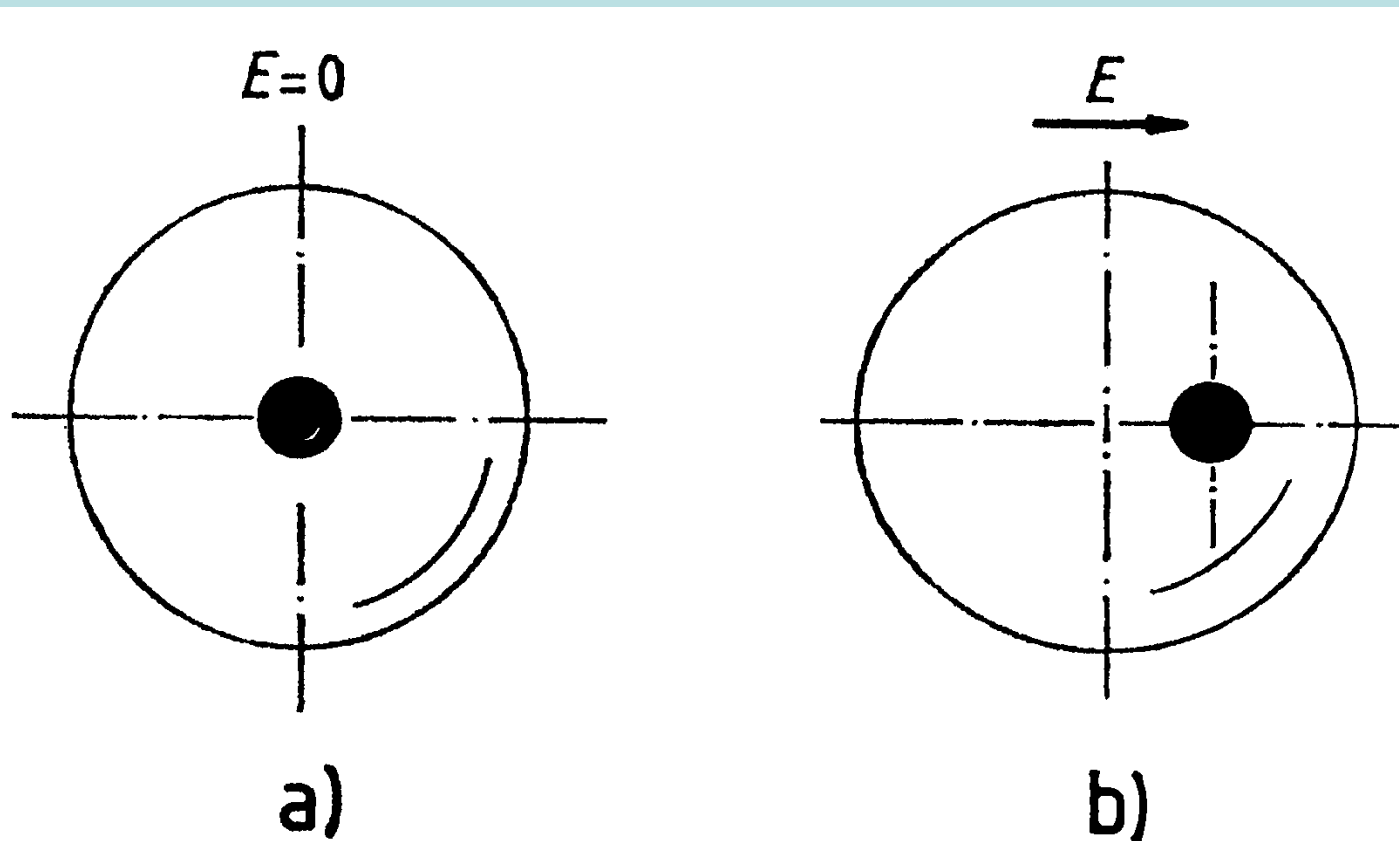
a térfogategységre jutó dipólusmomentum

A polarizáció

- A polarizáció fajtái

- Elektroneltolódási polarizáció

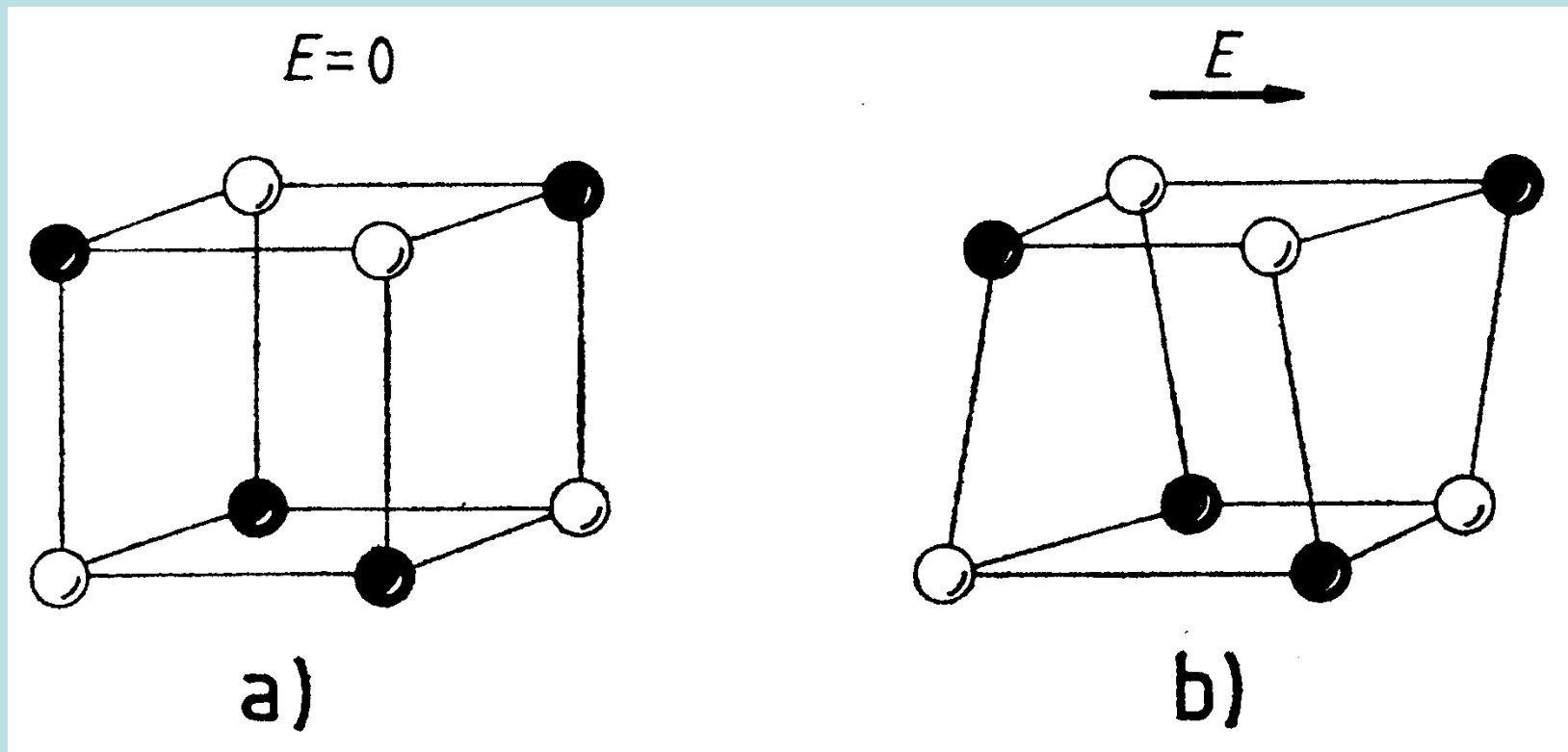
$$\tau = 10^{-14} - 10^{-16} \text{ s}$$



A polarizáció

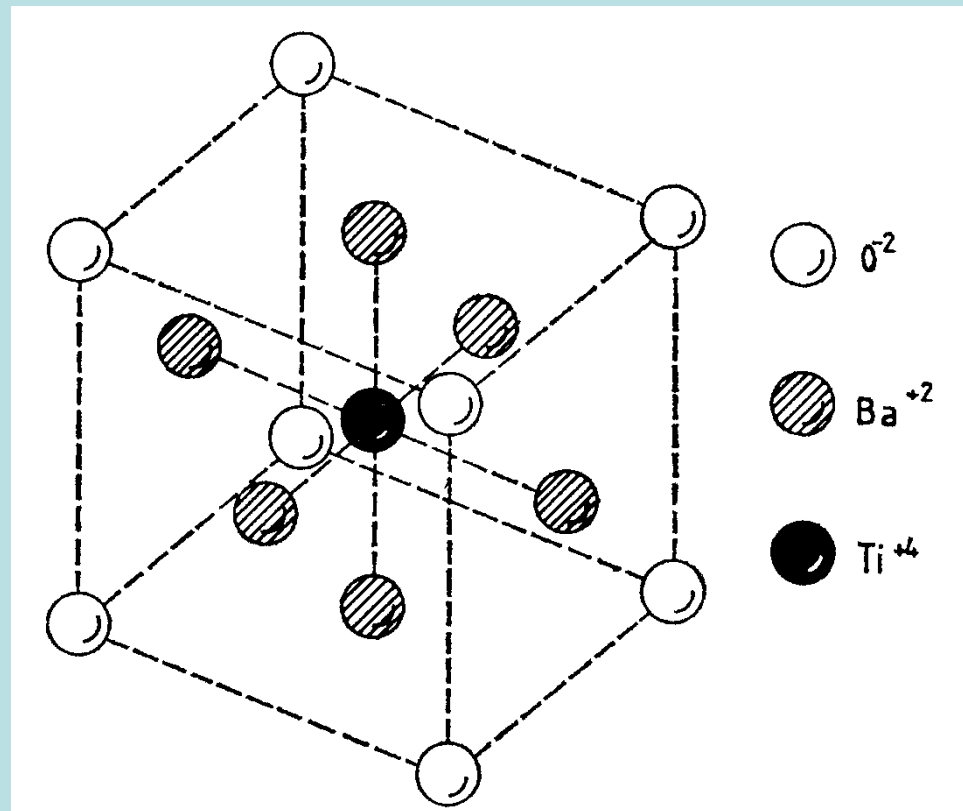
- A polarizáció fajtái
 - Ioneltolódási polarizáció

$$\tau = 10^{-12} - 10^{-13} \text{ s}$$



A polarizáció

- A polarizáció fajtái
 - Ioneltolódási polarizáció (báriumtitanát)

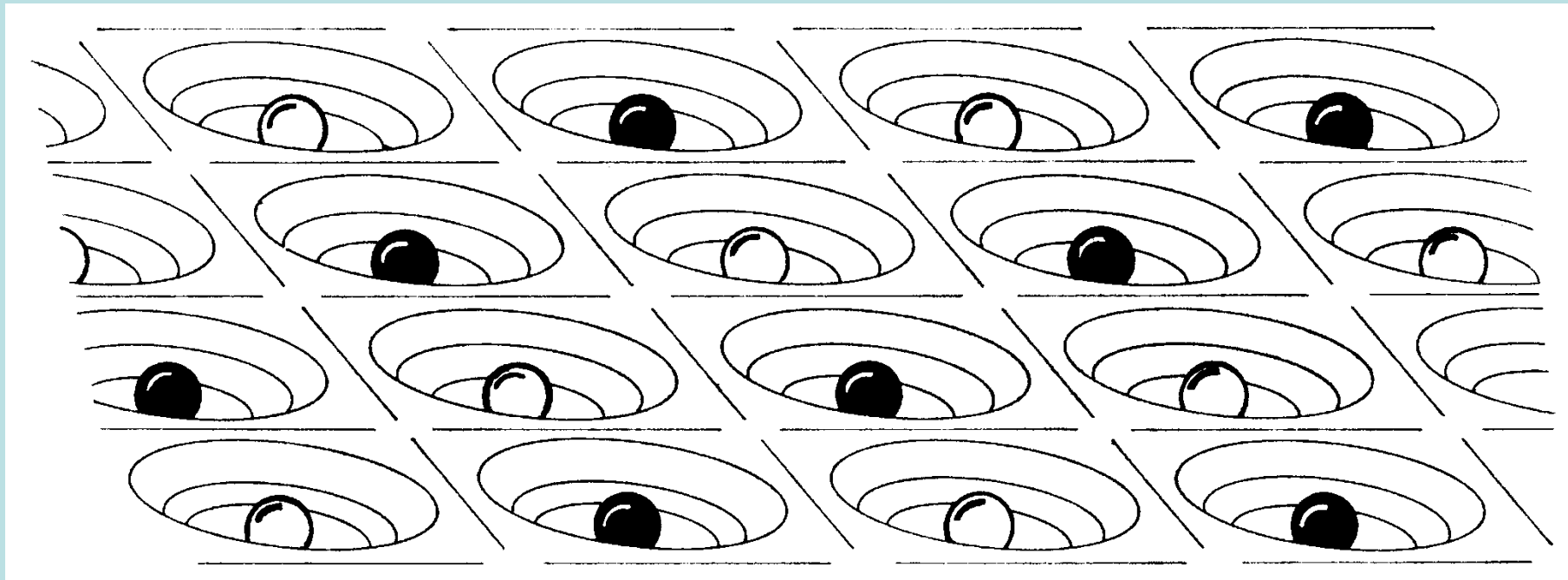


A polarizáció

- A polarizáció fajtái

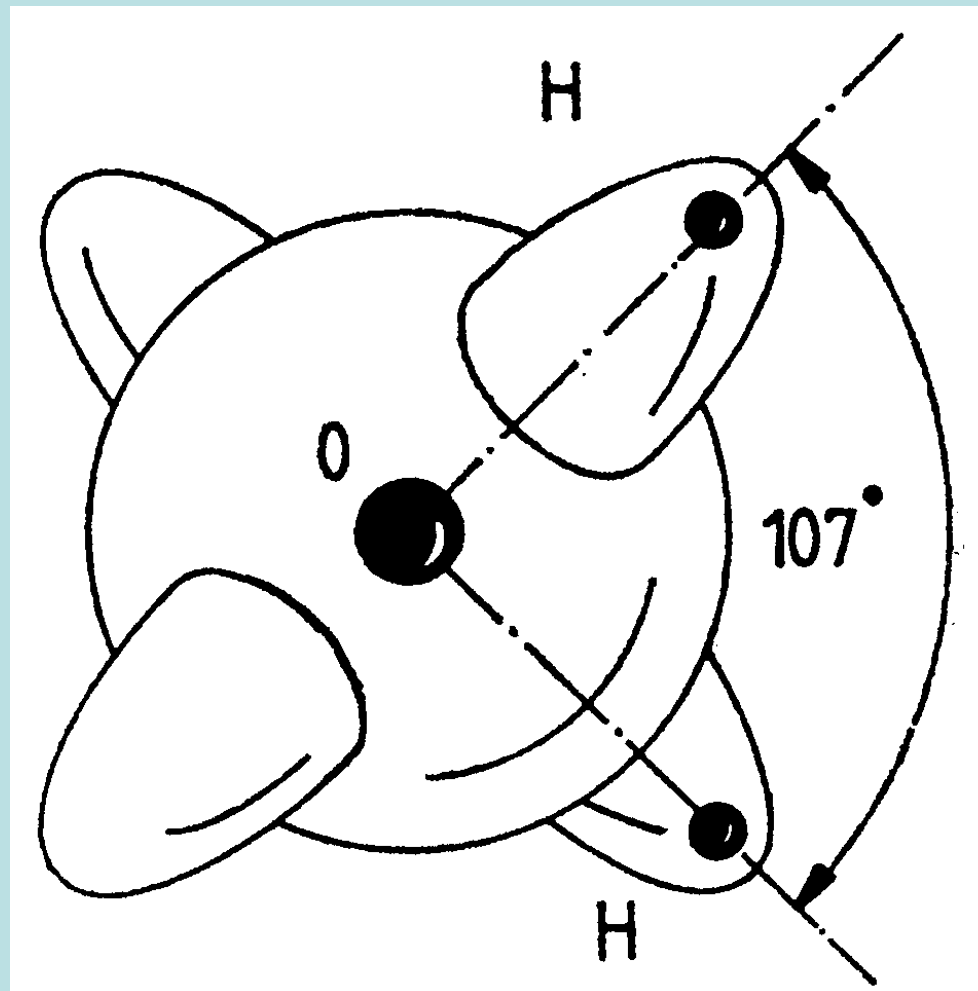
- Hőmérsékleti ionpolarizáció

$$\tau = 10^{-2} - 10^{-4} \text{ s}$$



A polarizáció

- A polarizáció fajtái
 - Állandó dipólusok

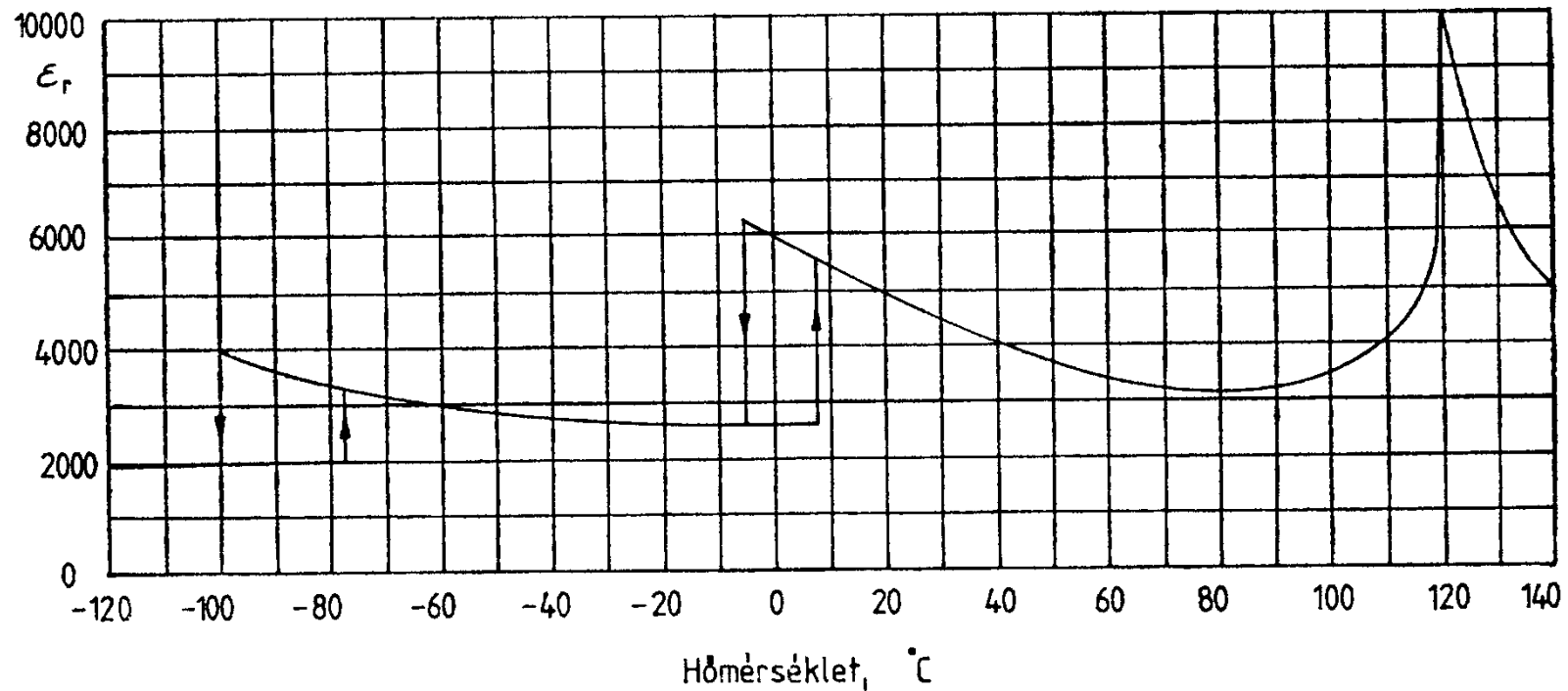


A polarizáció

- A polarizáció egyéb fajtái
 - Hőmérsékleti orientációs polarizáció $\tau = 10^{-6} - 10^{-10} \text{ s}$
 - Rugalmas orientációs polarizáció $\tau = 10^{-10} - 10^{-13} \text{ s}$

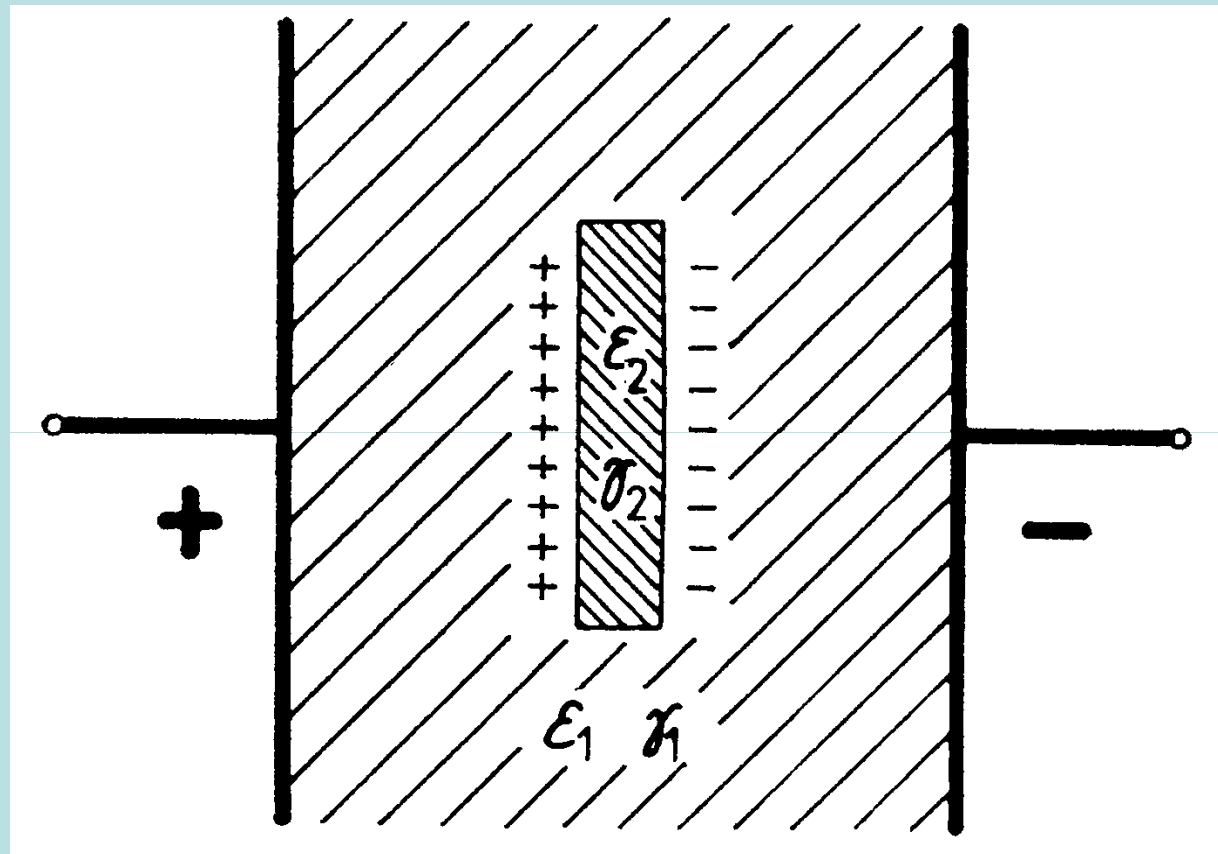
A polarizáció

- A polarizáció fajtái
 - Elektrétek és ferroelektromos anyagok
 - Báriumtitanát ϵ_r hőmérsékletfüggvénye



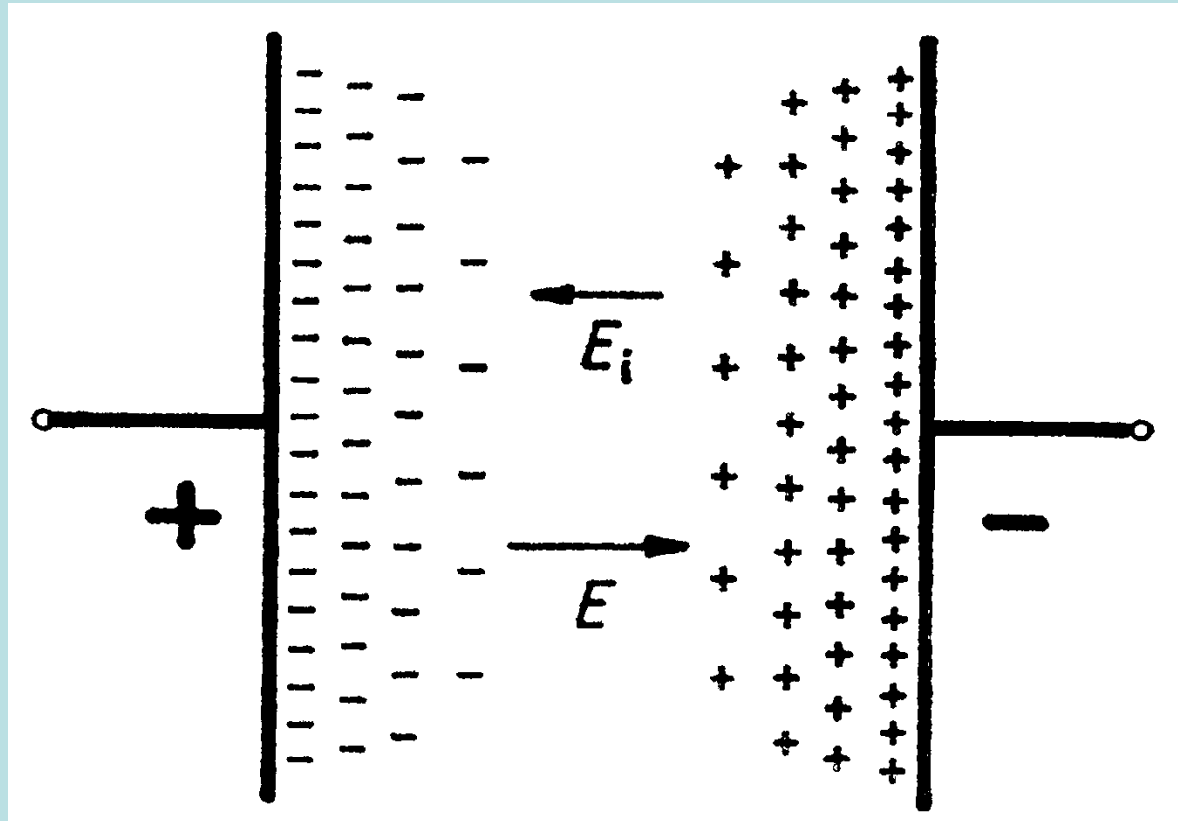
A polarizáció

- A polarizáció egyéb fajtái
 - Határréteg polarizáció



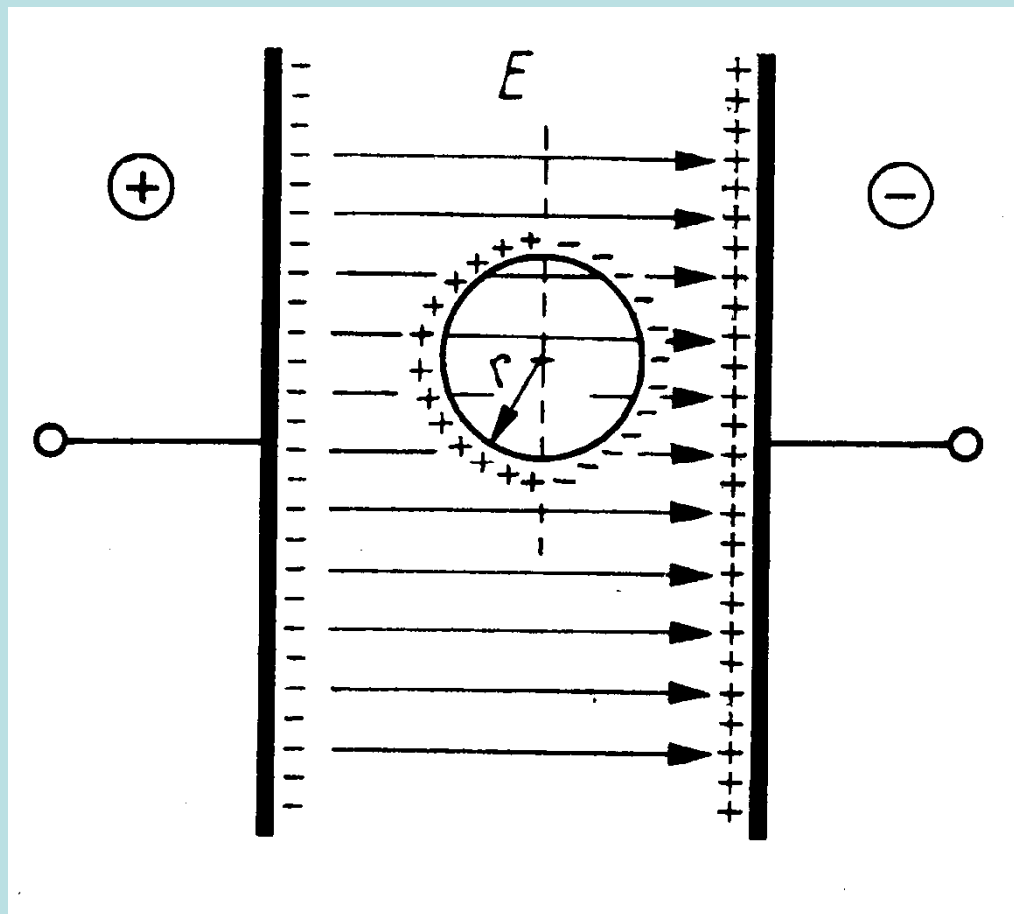
A polarizáció

- A polarizáció egyéb fajtái
 - Téröltéses polarizáció



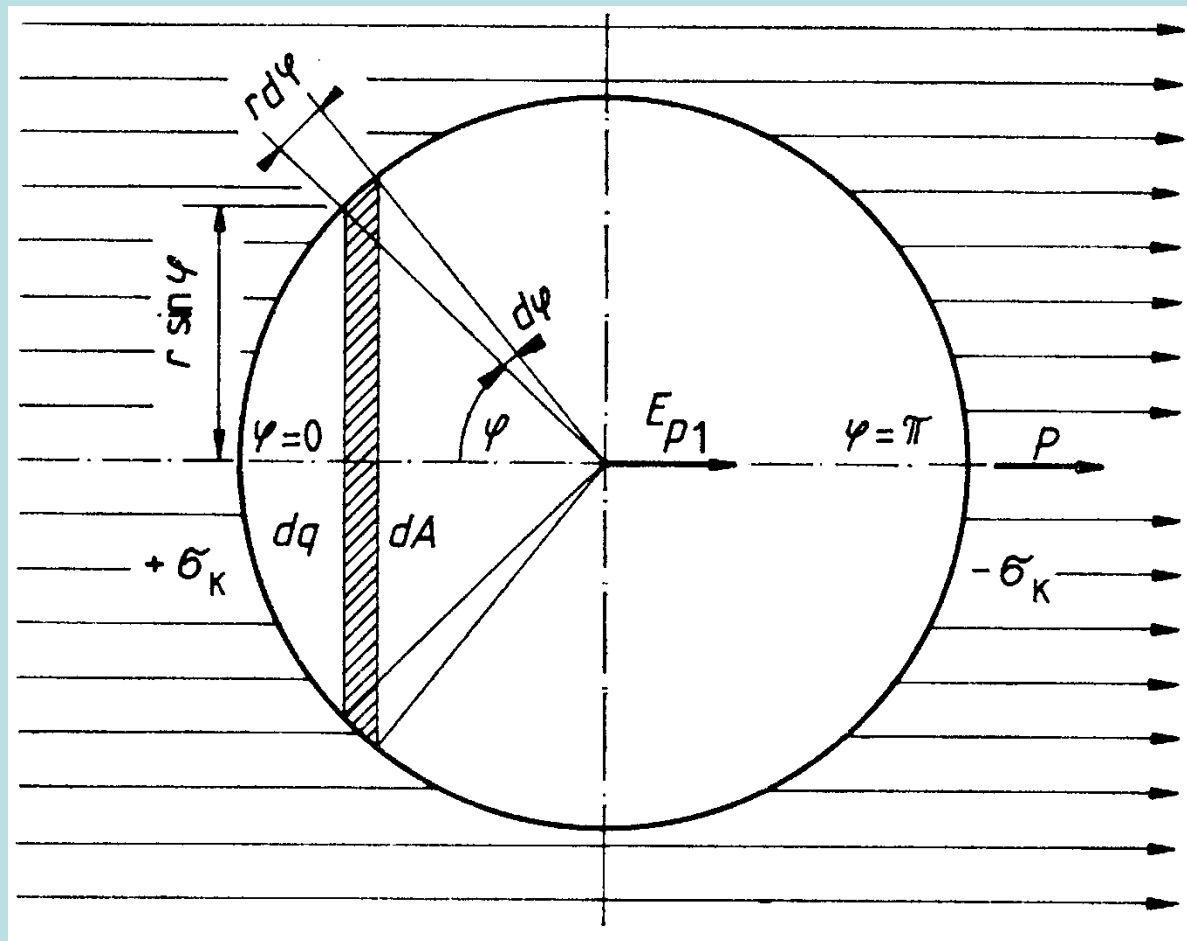
A polarizáció

- A belső térerősség



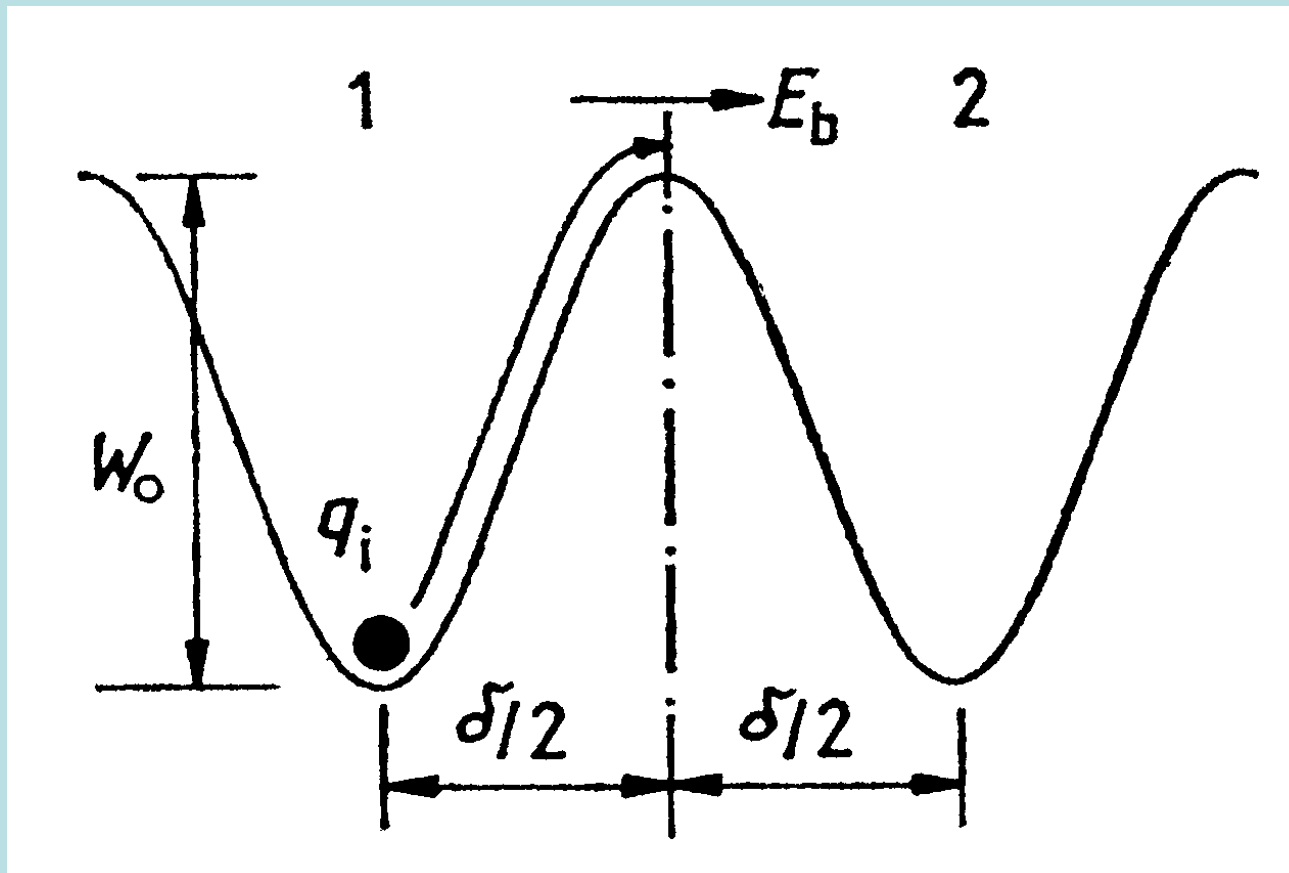
A polarizáció

- A belső térerősség



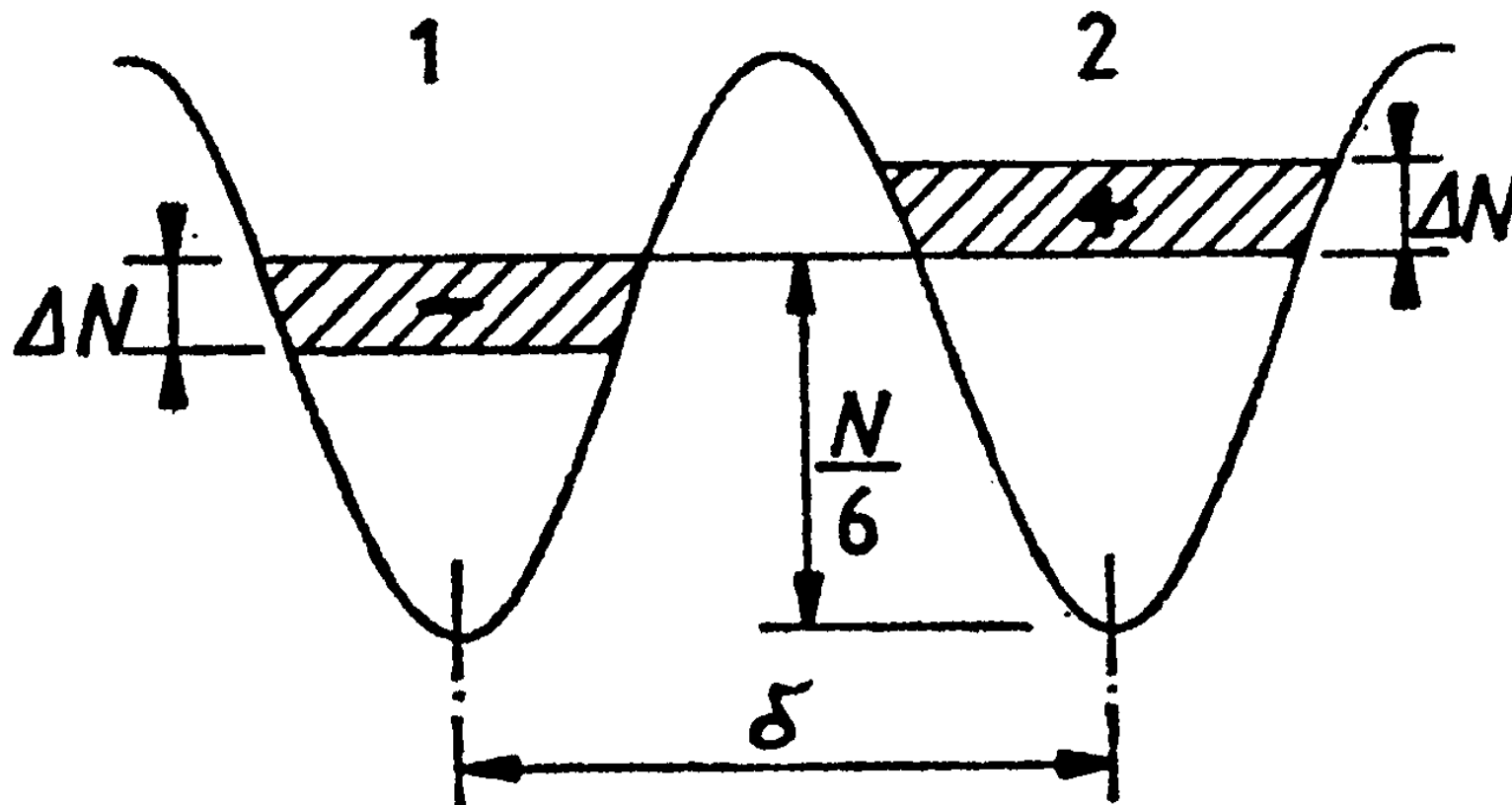
A polarizáció

- Ion helyváltoztatását meghatározó körülmények



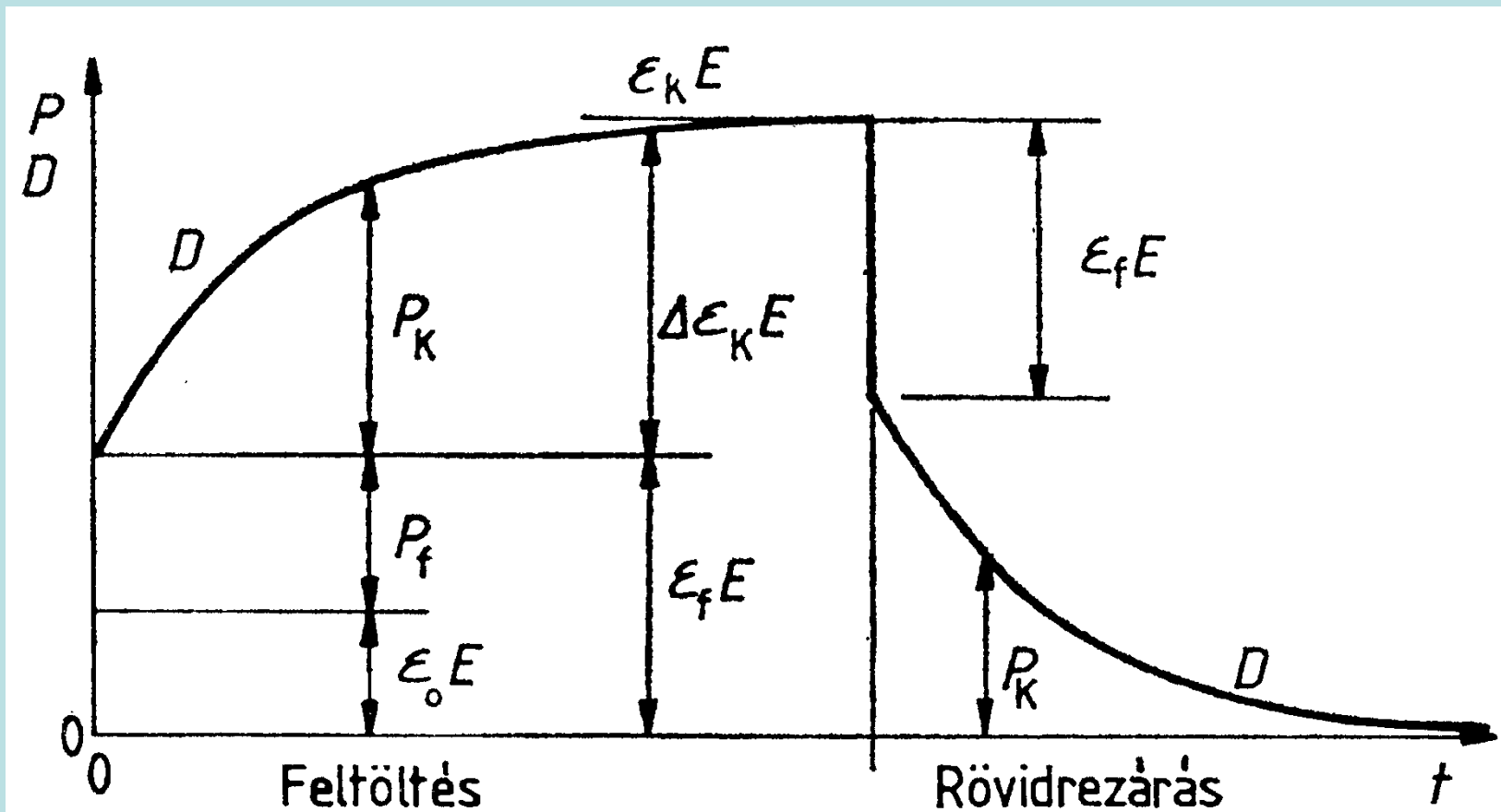
A polarizáció

- Hőmérsékleti ionpolarizáció keletkezése



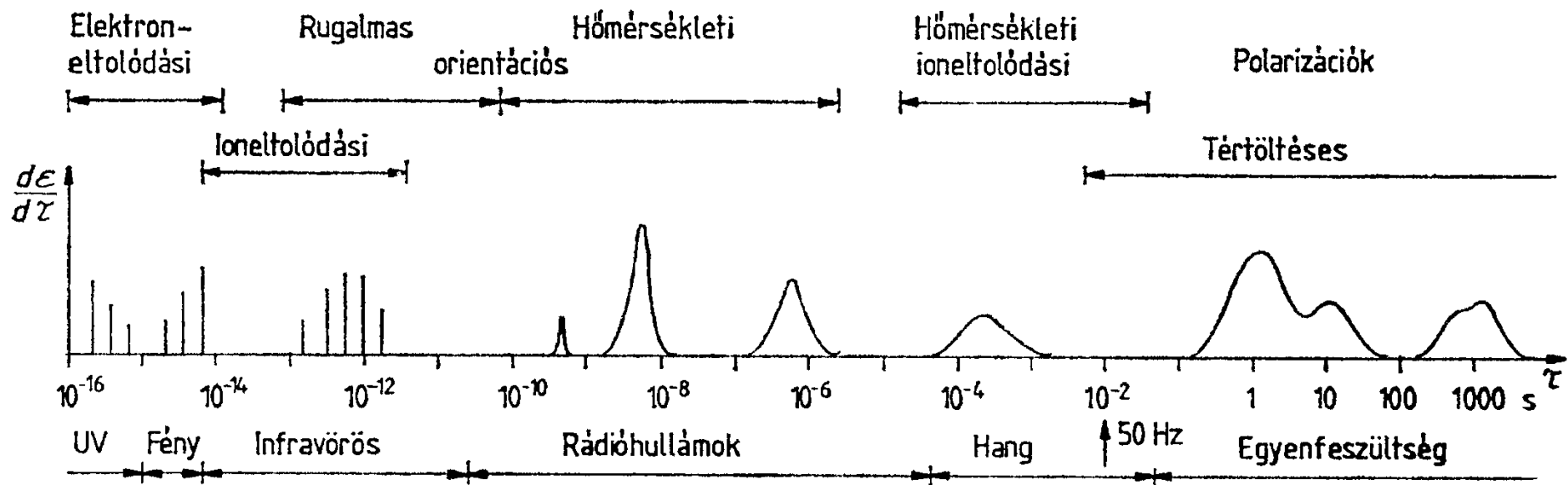
A polarizáció

- D eltolás és polarizáció alakulása

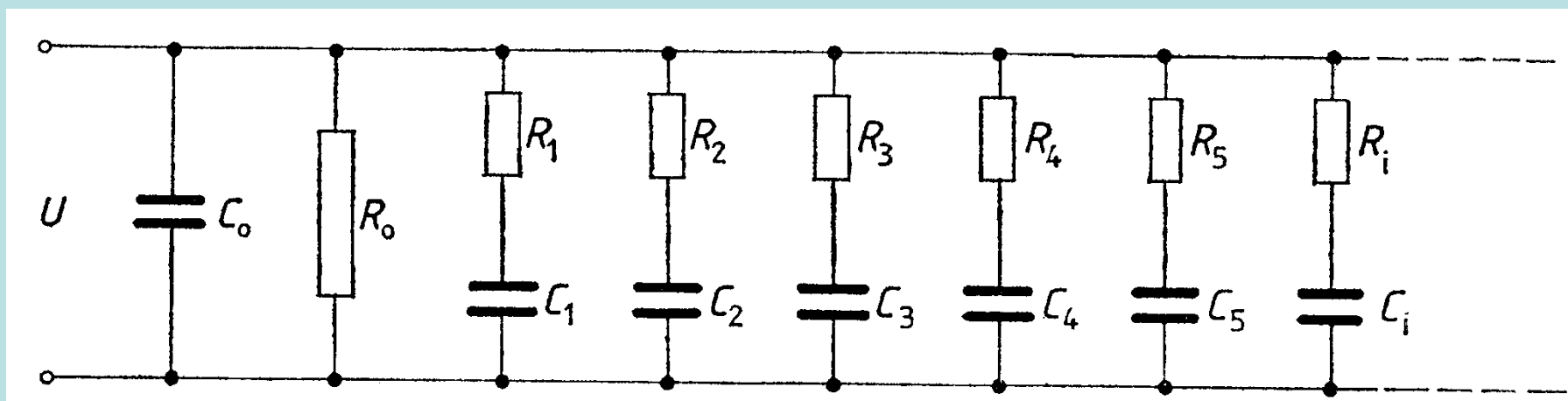


A polarizáció

- A polarizációs spektrum



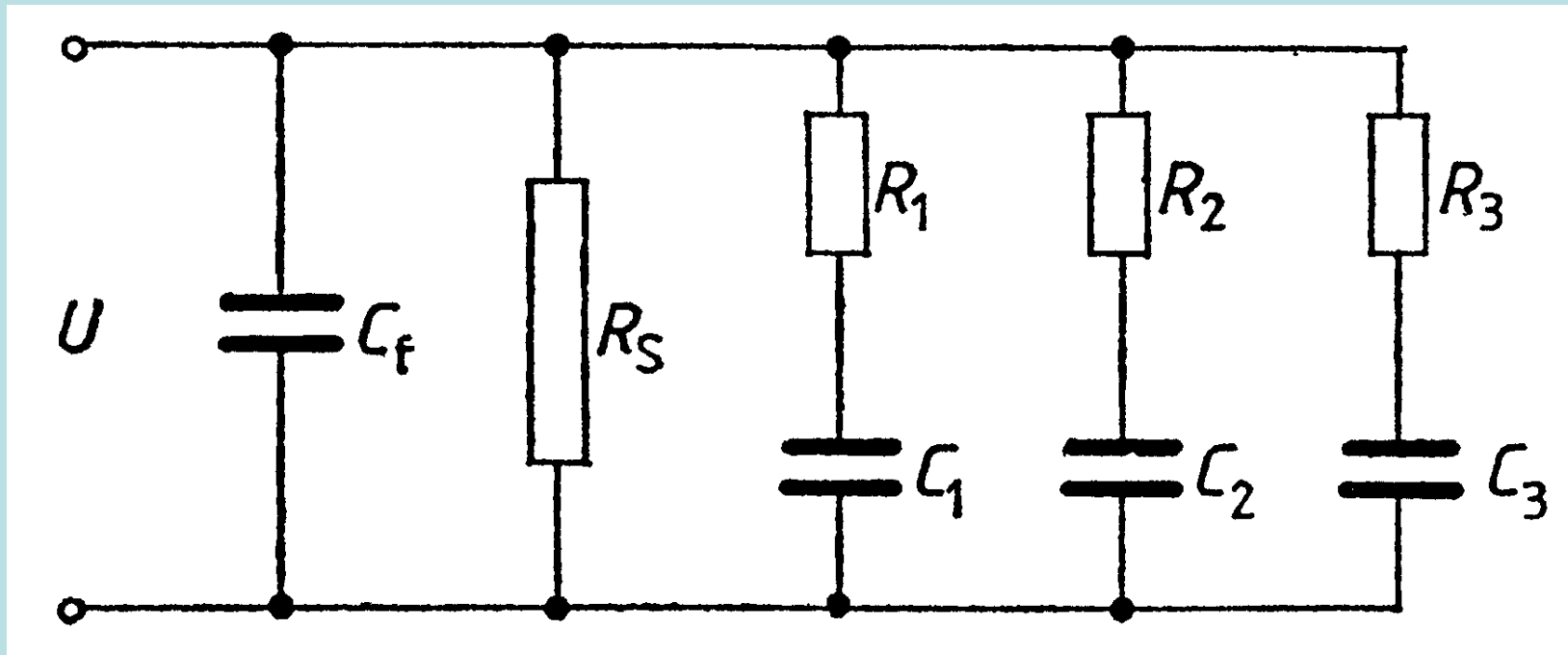
Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása



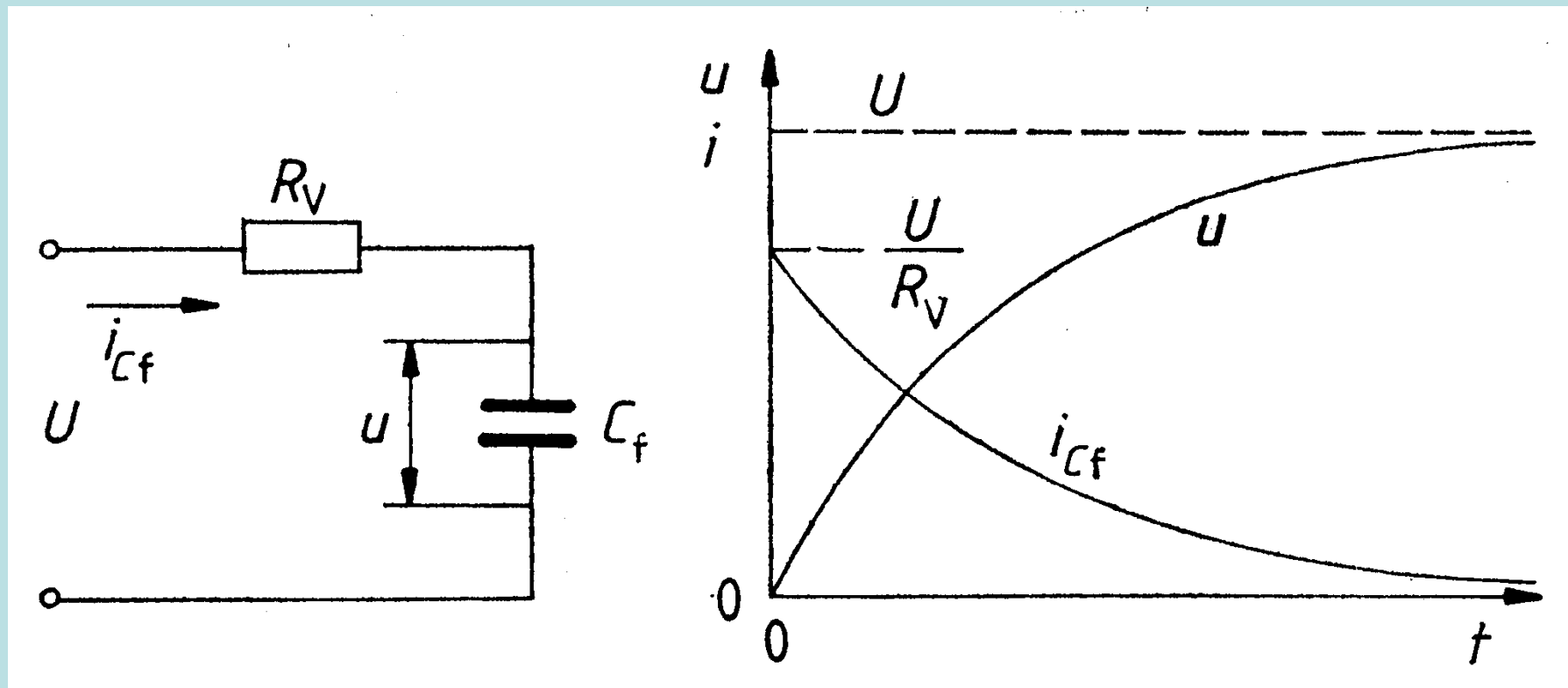
$$C_i/C_0 = \Delta\varepsilon_i / \varepsilon_0$$

$$\tau_i = R_i C_i$$

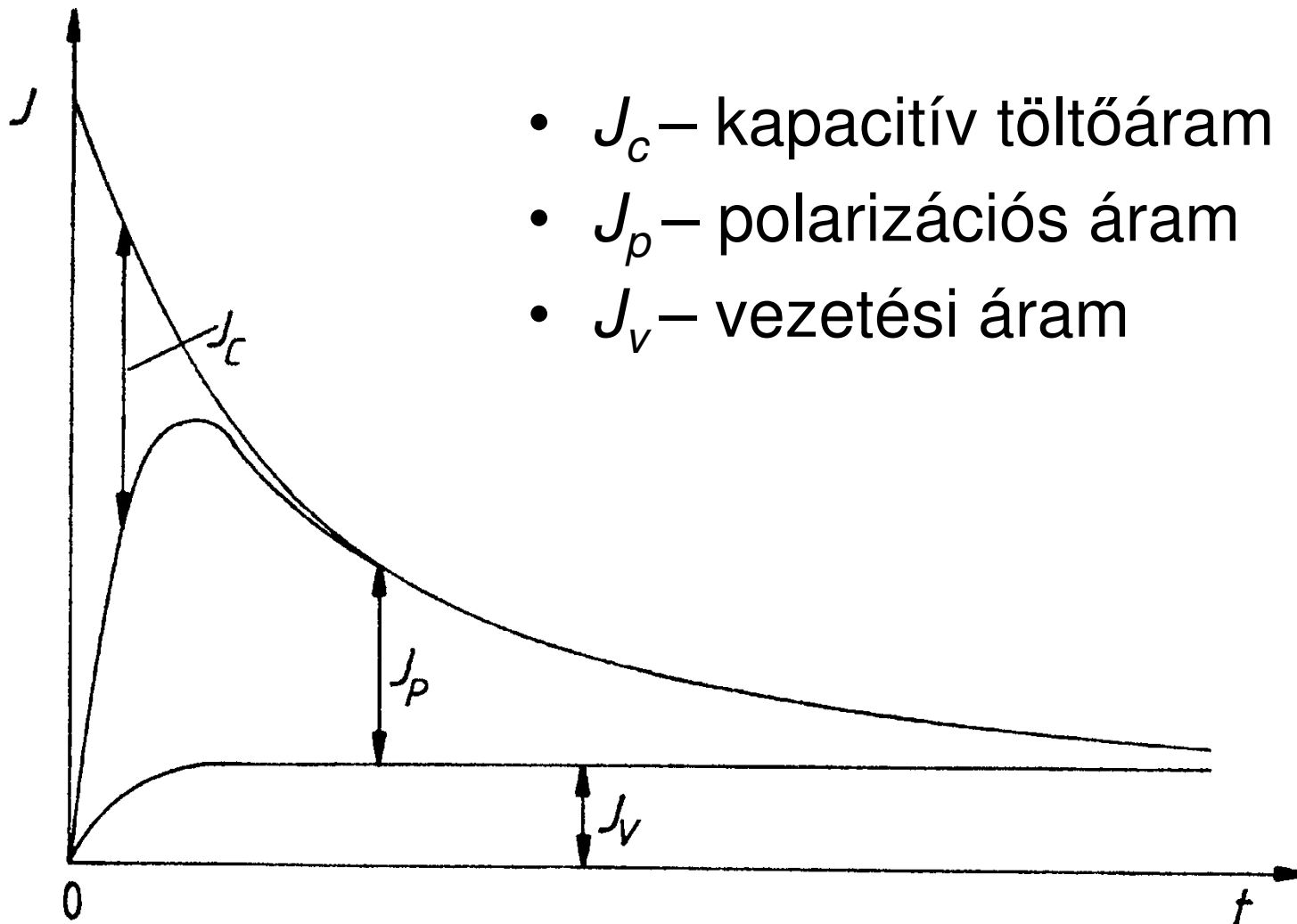
Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása



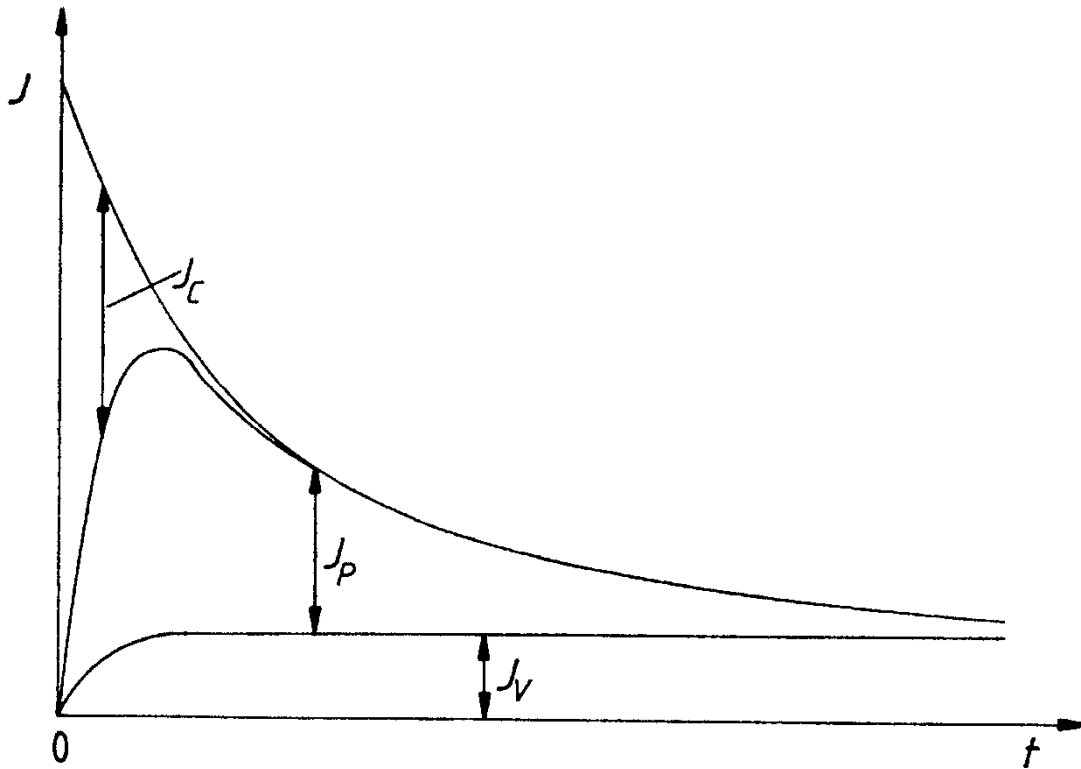
Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



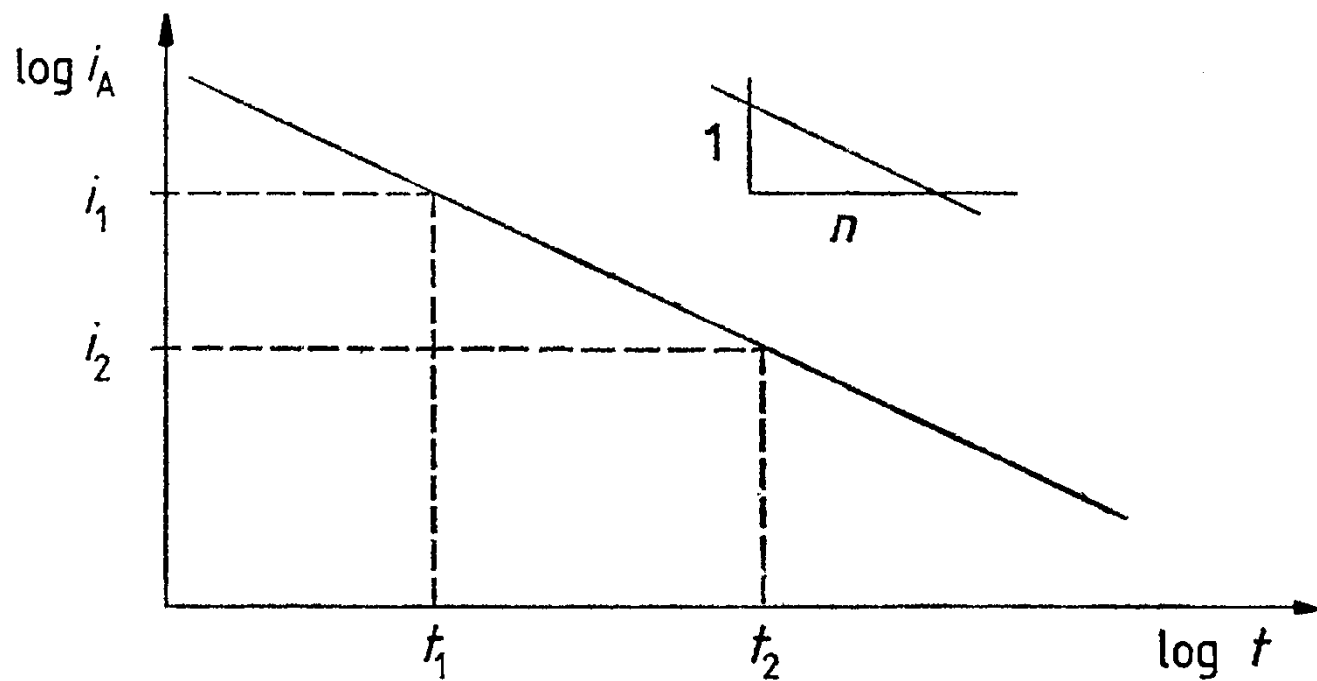
- J_c – kapacitív töltőáram
- J_p – polarizációs áram
- J_v – vezetési áram

$$J = \gamma E + \frac{\partial D}{\partial t} = \gamma E + \epsilon_o \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial t}$$

$$J = J_v + J_c + J_p$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

Abszorpciós (polarizációs) áram a Curie-féle képlet szerint



$$i_A = K C U t^{-n}$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

$$1/R = i_A / U = K C t^{-n} \quad \text{Hogyan definiáljuk a szigetelő ellenállását?}$$

$$J(t) = J_v + J_c(t) + J_p(t) \rightarrow J(t) = J_v + J_p(t)$$

$$J(0) = J_v + J_p(0) = E \gamma + E \beta$$

$$J(\infty) = J_v = E \gamma \quad \rightarrow \quad \gamma = \frac{J(\infty)}{E} \quad \begin{array}{l} \text{ohmos} \\ \text{vezetőképesség} \end{array}$$

$$\beta = \frac{J_p(0)}{E} \quad \begin{array}{l} \text{polarizációs} \\ \text{vezetőképesség} \end{array}$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

$$1/R = i_A / U = K C t^{-n} \quad \text{Hogyan definiáljuk a szigetelő ellenállását?}$$

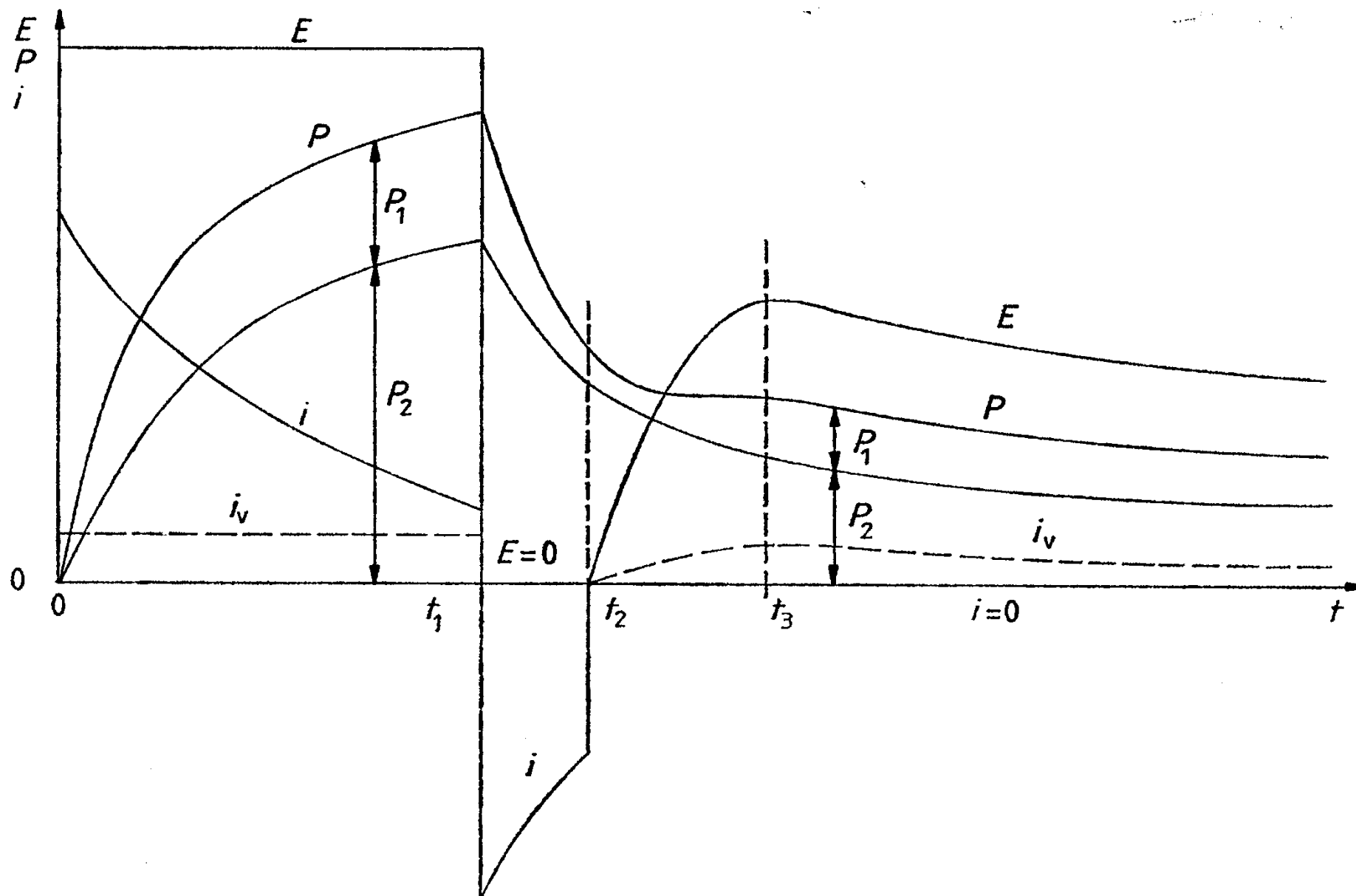
$$J(t) = J_v + J_c(t) + J_p(t) \rightarrow J(t) = J_v + J_p(t)$$

$$J(0) = J_v + J_p(0) = E \gamma + E \beta$$

$$J(\infty) = J_v = E \gamma \quad \rightarrow \quad \gamma = \frac{J(\infty)}{E} \quad \begin{array}{l} \text{ohmos} \\ \text{vezetőképesség} \end{array}$$

$$\beta = \frac{J(0) - J(\infty)}{E} = \frac{J_p(0)}{E} \quad \begin{array}{l} \text{polarizációs} \\ \text{vezetőképesség} \end{array}$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

A kisülési és a visszatérő feszültség

ohmos
vezetőképesség

$$\gamma = \frac{M_k}{U} \varepsilon_o$$

M_k a kisülési feszültséggörbe
kezdeti meredeksége

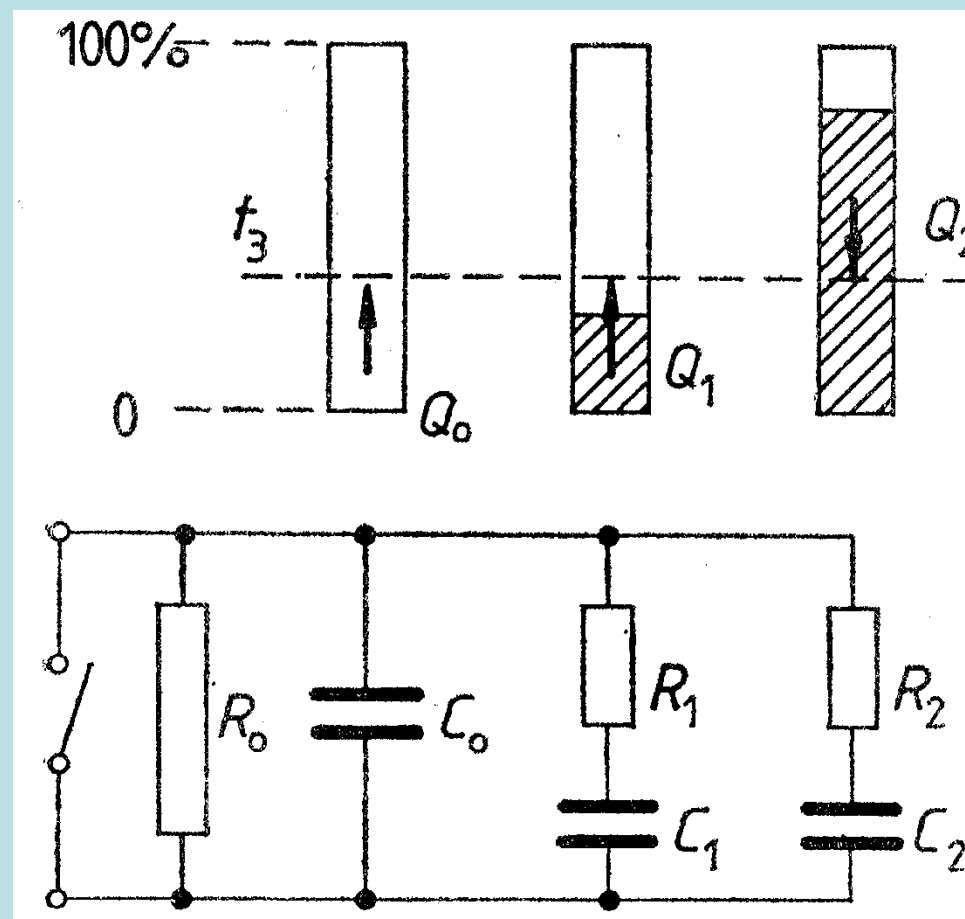
polarizációs
vezetőképesség

$$\beta = \frac{M_v}{U} \varepsilon_o$$

M_v a visszatérő feszültséggörbe
kezdeti meredeksége

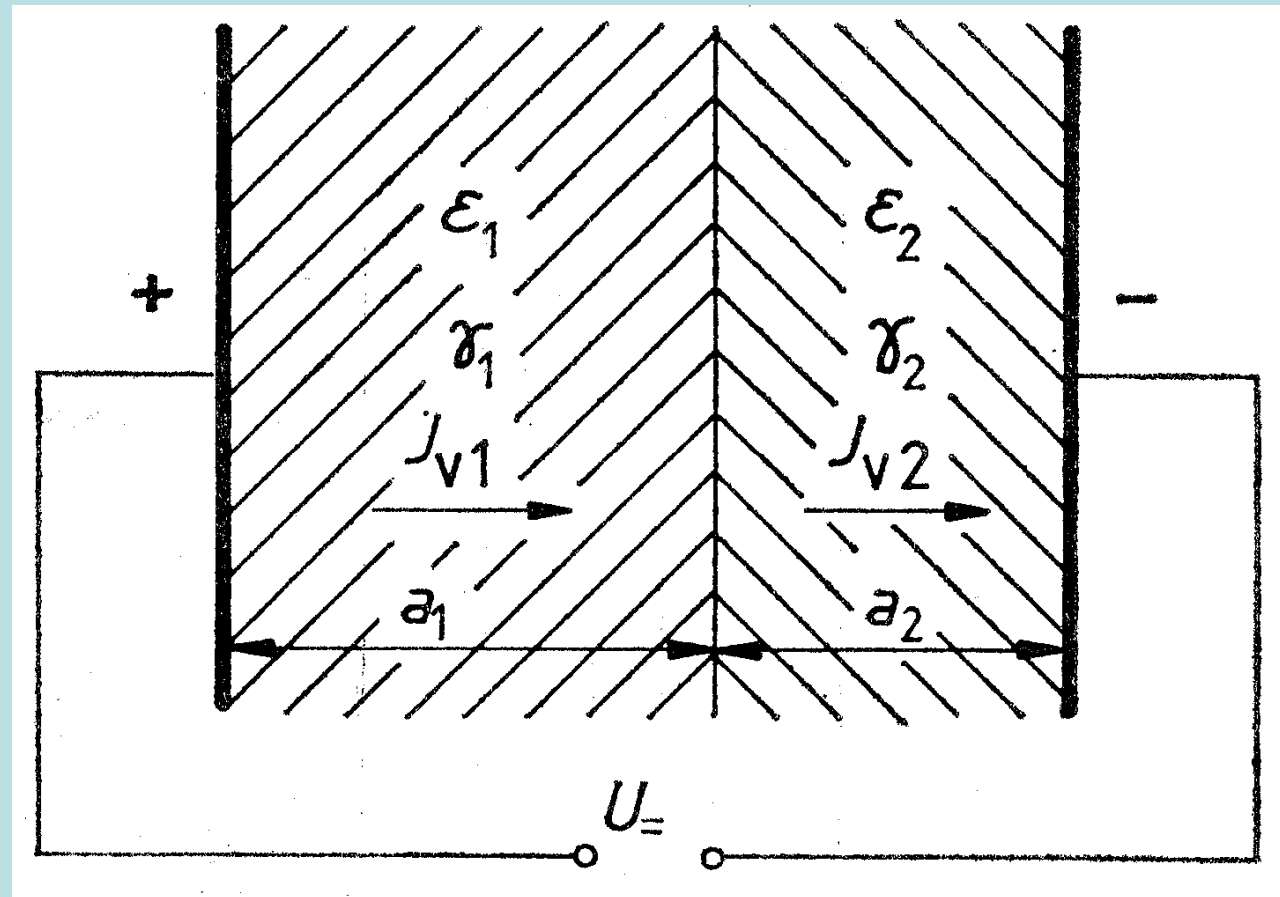
Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

- A kötött töltések átalakulása szabad töltéssé a rövidzár bontása után

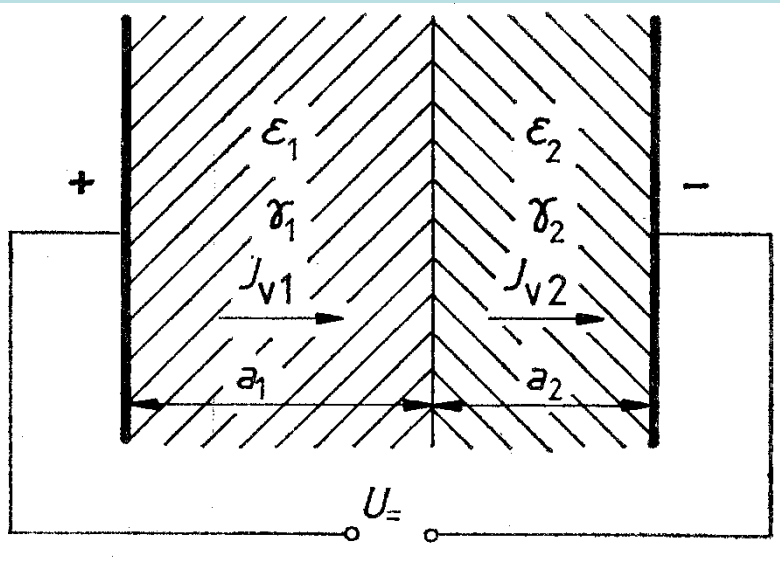


Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

- Rétegzett szigetelés



Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



$$J_1 = J_2 \Rightarrow J_{v1} + \frac{\partial D_1}{\partial t} = J_{v2} + \frac{\partial D_2}{\partial t}$$

$$a_1 E_1 + a_2 E_2 = U$$

$$E_1(t) = U \left[\frac{\gamma_2}{a_1 \gamma_2 + a_2 \gamma_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \frac{\epsilon_2}{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1} e^{-\frac{t}{\tau}} \right]$$

$$E_2(t) = U \left[\frac{\gamma_1}{a_1 \gamma_2 + a_2 \gamma_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) + \frac{\epsilon_1}{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1} e^{-\frac{t}{\tau}} \right] \quad \left(\tau = \frac{a_1 \epsilon_2 + a_2 \epsilon_1}{a_1 \gamma_2 + a_2 \gamma_1} \right)$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

$$t = 0 \quad \frac{E_1(0)}{E_2(0)} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \Rightarrow$$

$$D_1(0) = D_2(0)$$

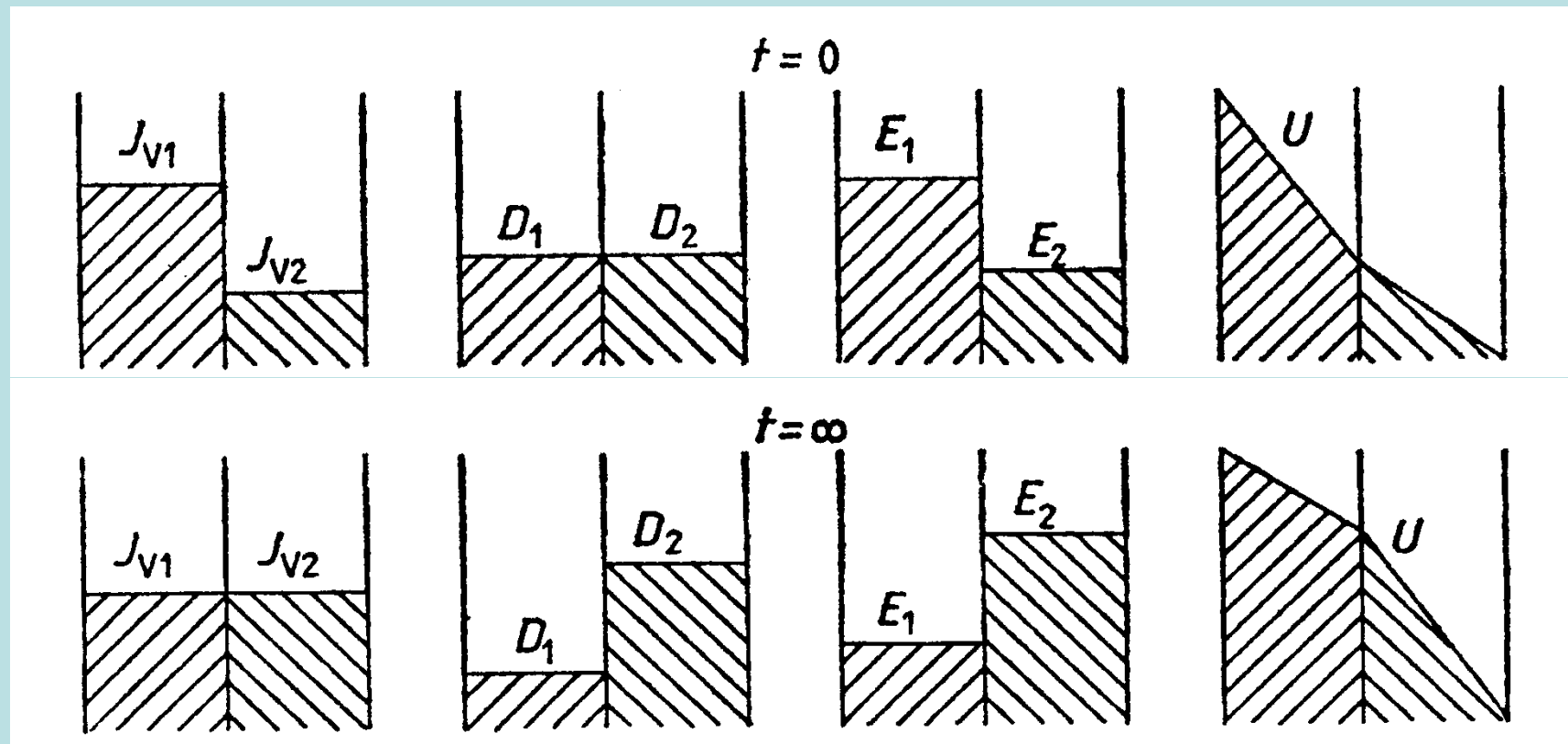
$$\frac{J_{v1}(0)}{J_{v2}(0)} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} > 1$$

$$t = \infty \quad \frac{E_1(\infty)}{E_2(\infty)} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \Rightarrow$$

$$\frac{D_1(\infty)}{D_2(\infty)} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \frac{\gamma_2}{\gamma_1} < 1$$

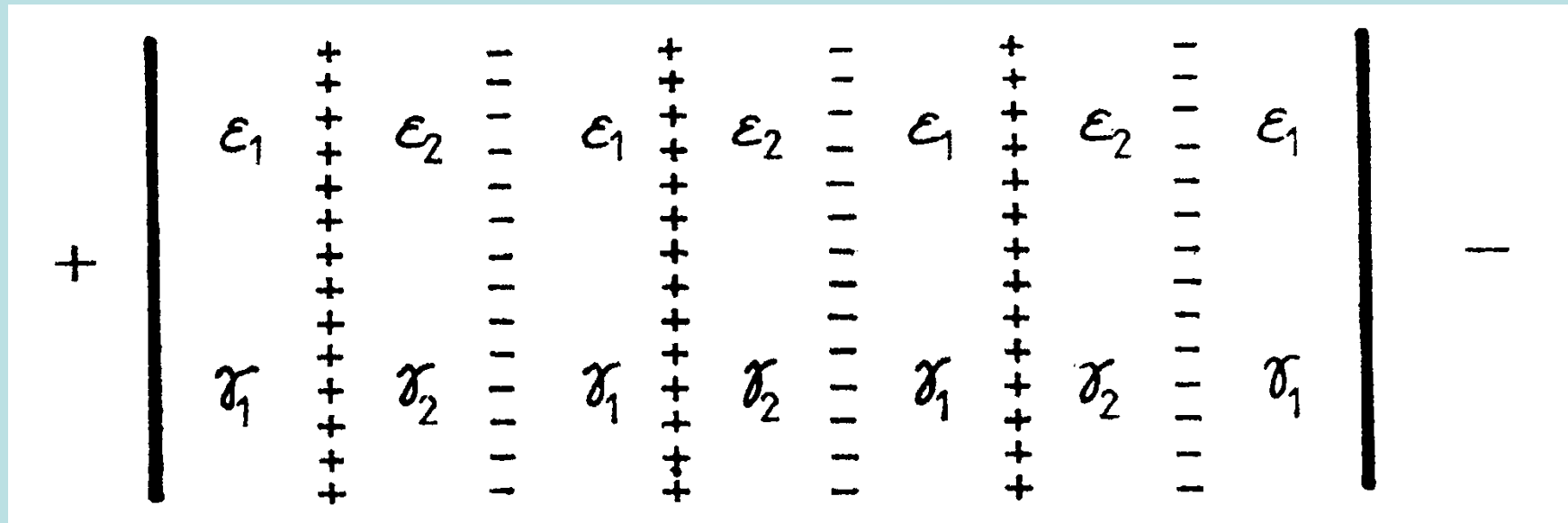
$$J_{v1}(\infty) = J_{v2}(\infty)$$

Egyenfeszültségen fellépő jelenségek



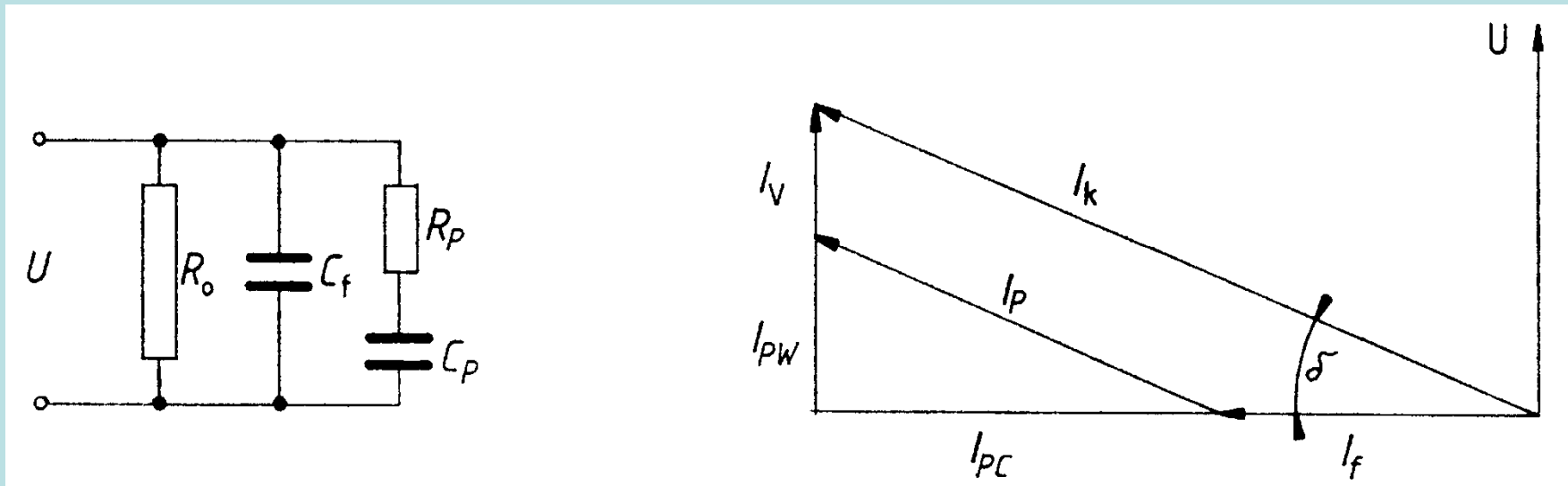
Egyenfeszültségen fellépő jelenségek

- Rétegzett szigetelőanyag határrétegein keletkező töltések



Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Szigetelőanyag egyszerűsített fazorábrája



Veszteségi tényező:

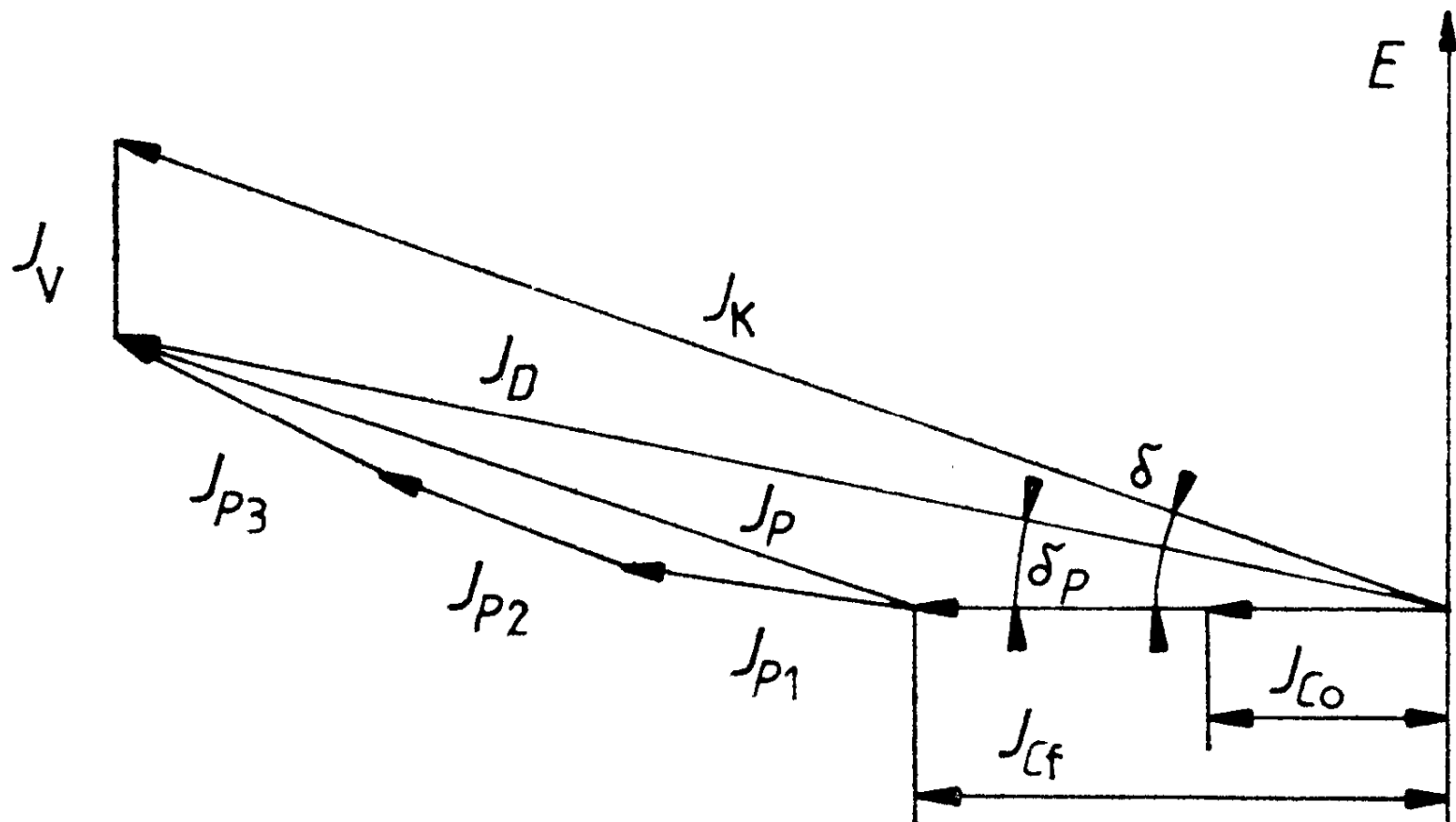
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w}{I_c} = \frac{I_{pw} + I_v}{I_f + I_{pc}}$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

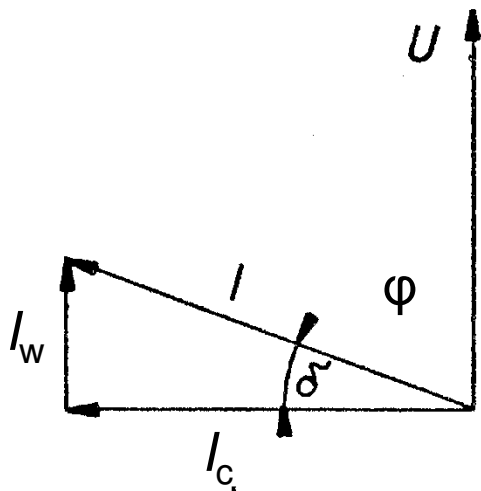
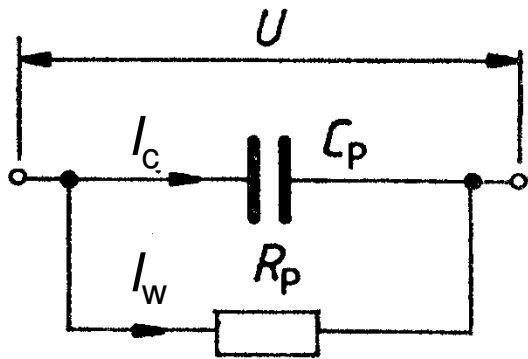
Veszteségi tényező

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w}{I_c}$$

anyag	$10^4 \operatorname{tg} \delta$
csillám	2 - 5
PE	2 – 5
trafó olaj	20
porcelán	150
PVC	1000 - 1500



Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek



$$S = UI$$

látszólagos teljesítmény

$$P = UI_w = UI \cos \varphi \text{ hatásos teljesítmény}$$

$$Q = UI_c = UI \sin \varphi \text{ meddő teljesítmény}$$

Csak I_c számítható könnyen: $I_c = \omega C U$

$$I_w = I_c \operatorname{tg} \delta = \omega C U \operatorname{tg} \delta$$

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta \text{ dielektromos veszteség}$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Szigetelőanyag vesztesége

dielektromos veszteség

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta$$

$$P = (2\pi f)(\varepsilon \varepsilon_0 \frac{A}{a})(a^2 E^2) \operatorname{tg} \delta$$

fajlagos veszteség

$$p = \frac{P}{V} = \omega \varepsilon \varepsilon_0 E^2 \operatorname{tg} \delta$$

térfogati veszteségi szám

$$p' = \frac{p}{E} = \omega \varepsilon \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta$$

A dielektromos veszteség

homogén erőterben:

$$P = pV = p' E^2 V$$

inhomogén erőterben:

$$P = \int_V p \, dV = \int_V p' E^2 \, dV$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Példa szigetelőanyag veszteségére

a) $f = 50 \text{ Hz}, \quad \varepsilon = 4, \quad \operatorname{tg} \delta = 50 \cdot 10^{-4}$

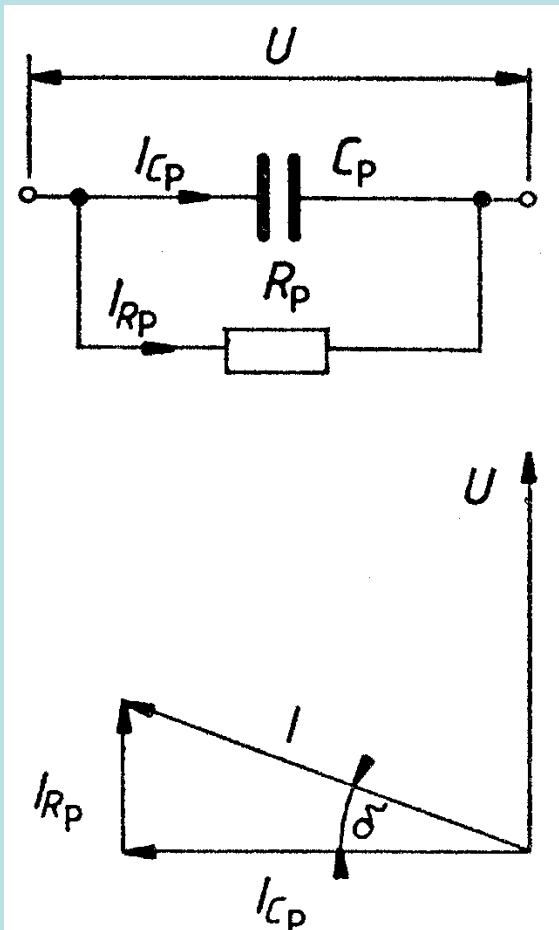
$$p = P / V = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ W/cm}^3$$

b) $f = 1 \text{ MHz}, \quad \varepsilon = 3, \quad \operatorname{tg} \delta = 25 \cdot 10^{-4}$

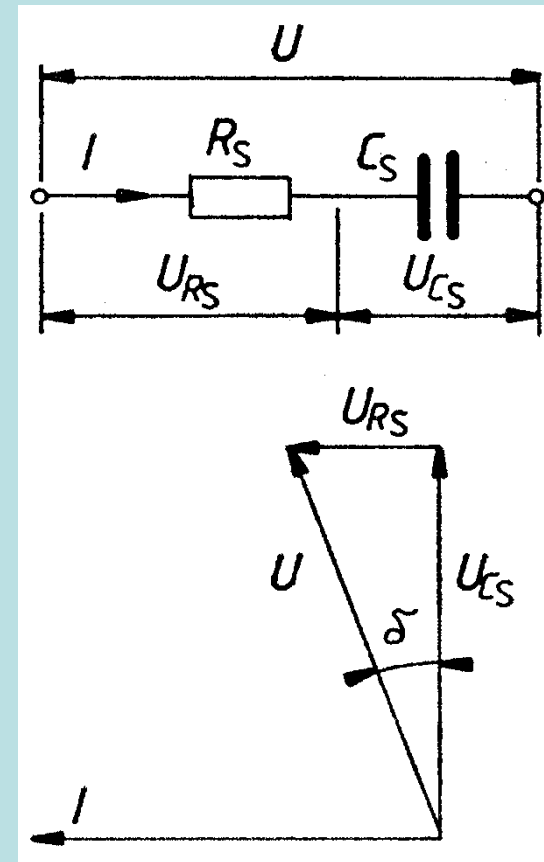
$$p = P / V = 0,42 \text{ W/cm}^3$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Reális szigetelés gyakorlati helyettesítő kapcsolásai



Párhuzamos helyettesítő kapcsolás

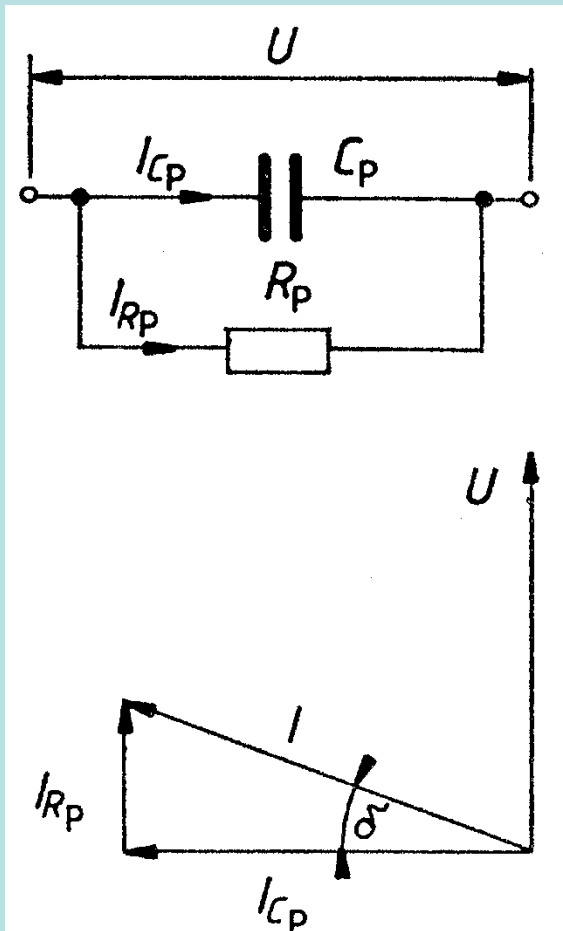


Soros helyettesítő kapcsolás

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Párhuzamos helyettesítő kapcsolás

$$I_v = \frac{U}{R_p} \quad \text{és} \quad I_c = \omega C_p U$$



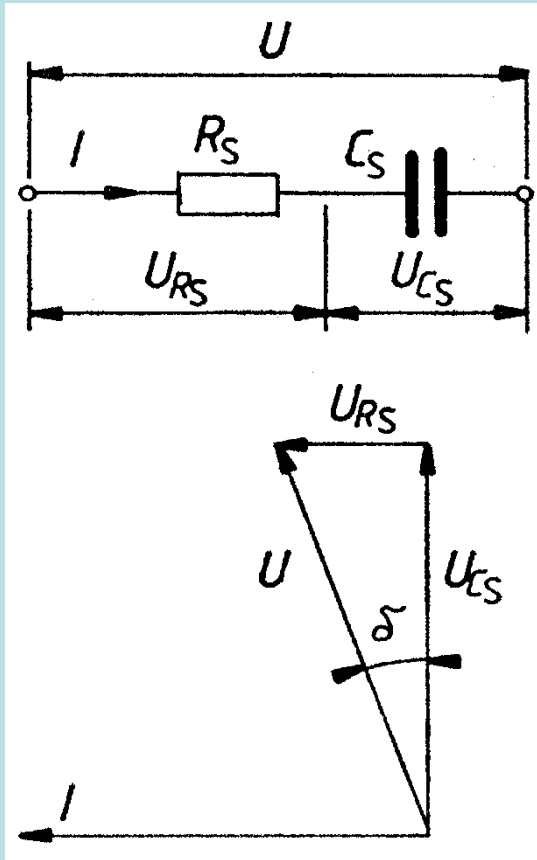
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_v}{I_c} = \frac{U/R_p}{\omega C_p U} = \frac{1}{\omega R_p C_p}$$

$$P = \frac{U^2}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{U^2}{P}$$

$$P = \omega C_p U^2 \operatorname{tg} \delta \Rightarrow C_p = \frac{P}{\omega U^2 \operatorname{tg} \delta}$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

Soros helyettesítő kapcsolás



$$U_R = IR_s \quad \text{és} \quad U_c = I / \omega C_s$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_R}{U_c} = \frac{IR_s}{I / \omega C_s} = \omega R_s C_s$$

$$P = \frac{U_R^2}{R_s} = \frac{U^2}{R_s} \sin^2 \delta \Rightarrow R_s = \frac{U^2}{P} \sin^2 \delta$$

$$P = IU_R = \omega C_s U^2 \cos^2 \delta \operatorname{tg} \delta \Rightarrow C_s = \frac{P}{\omega U^2 \operatorname{tg} \delta} \frac{1}{\cos^2 \delta}$$

Váltakozófeszültségen fellépő jelenségek

A párhuzamos és soros helyettesítő kapcsolások összehasonlítása

$$R_s = R_p \sin^2 \delta$$

$$C_s = C_p \frac{1}{\cos^2 \delta}$$

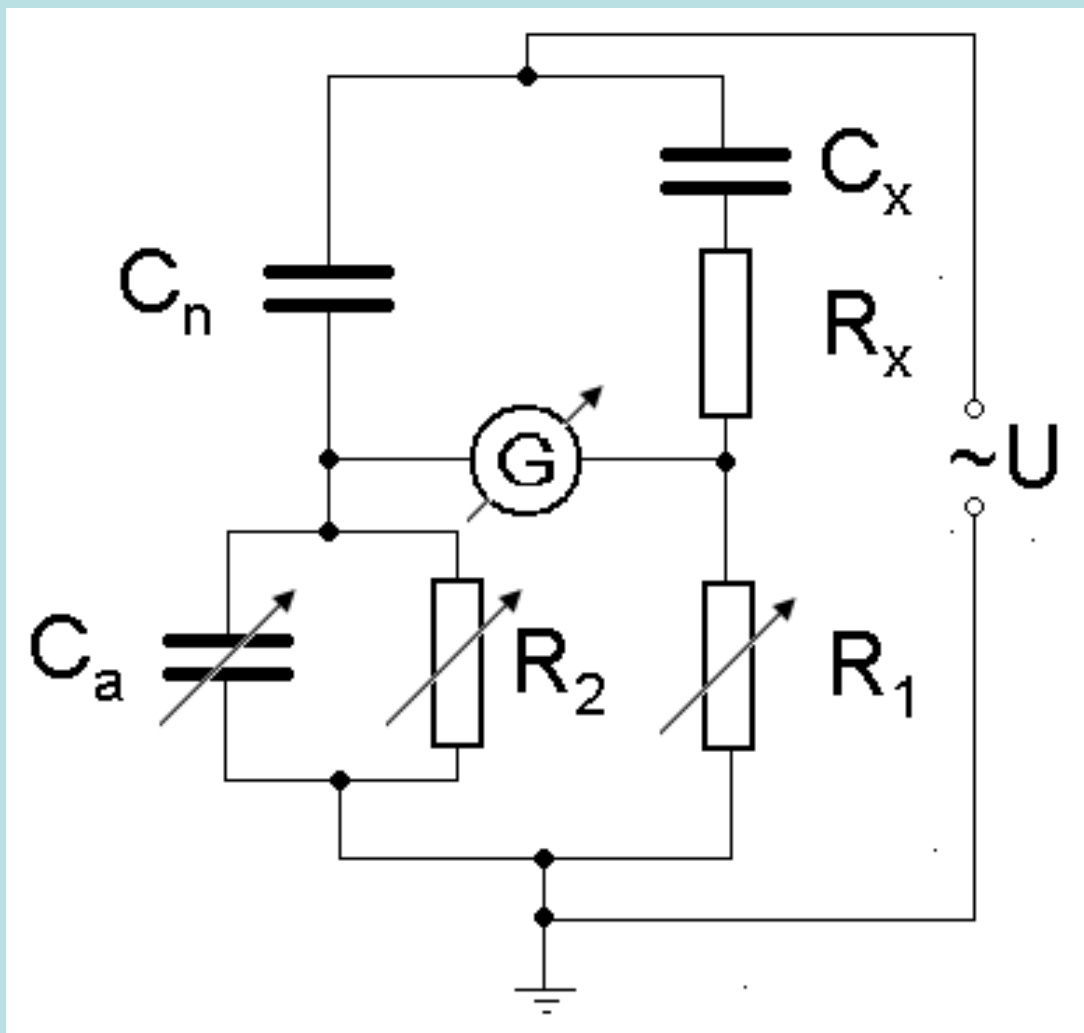
Mivel δ kicsi, ezért $\cos \delta \approx 1$ és $\sin \delta \ll 1$

$$R_s \ll R_p$$

$$C_s \approx C_p$$

A veszteségi tényező és a dielektromos állandó mérése

Schering híd



$$Z_n Z_1 = Z_2 Z_x$$

$$Z_1 = R_1$$

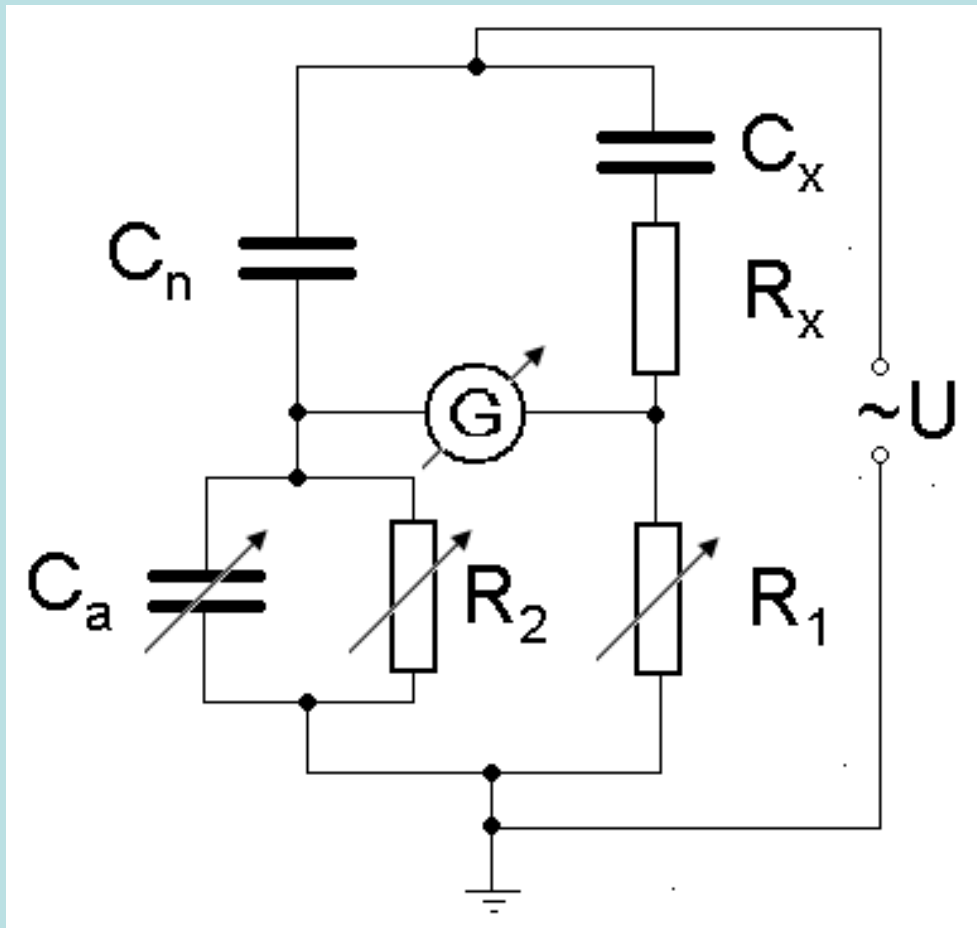
$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2} + j\omega C_a$$

$$\frac{1}{Z_n} = j\omega C_n$$

A veszteségi tényező és a dielektromos állandó mérése

Schering híd



$$\frac{R_1}{R_2} + j\omega C_a R_1 = \frac{C_n}{C_x} + j\omega C_n R_x$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{C_n}{C_x} \Rightarrow C_x = C_n \frac{R_2}{R_1}$$

$$C_a R_1 = C_n R_x$$

$$\omega R_2 C_a = \omega R_2 C_n \frac{R_x}{R_1} = \omega C_x R_x$$

$$\operatorname{tg} \delta = \omega R_2 C_a$$

Kisülési jelenségek

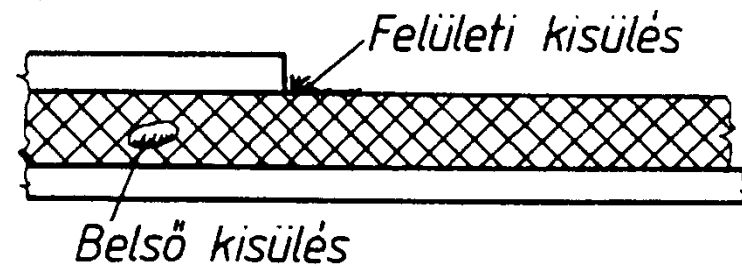
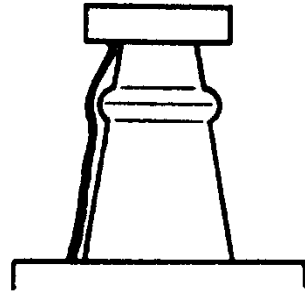
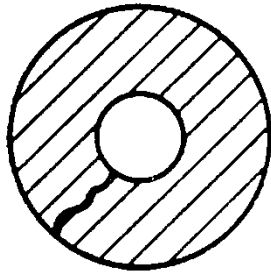
Kisülések

Gázokban

Szilárd szigetelőanyagokban

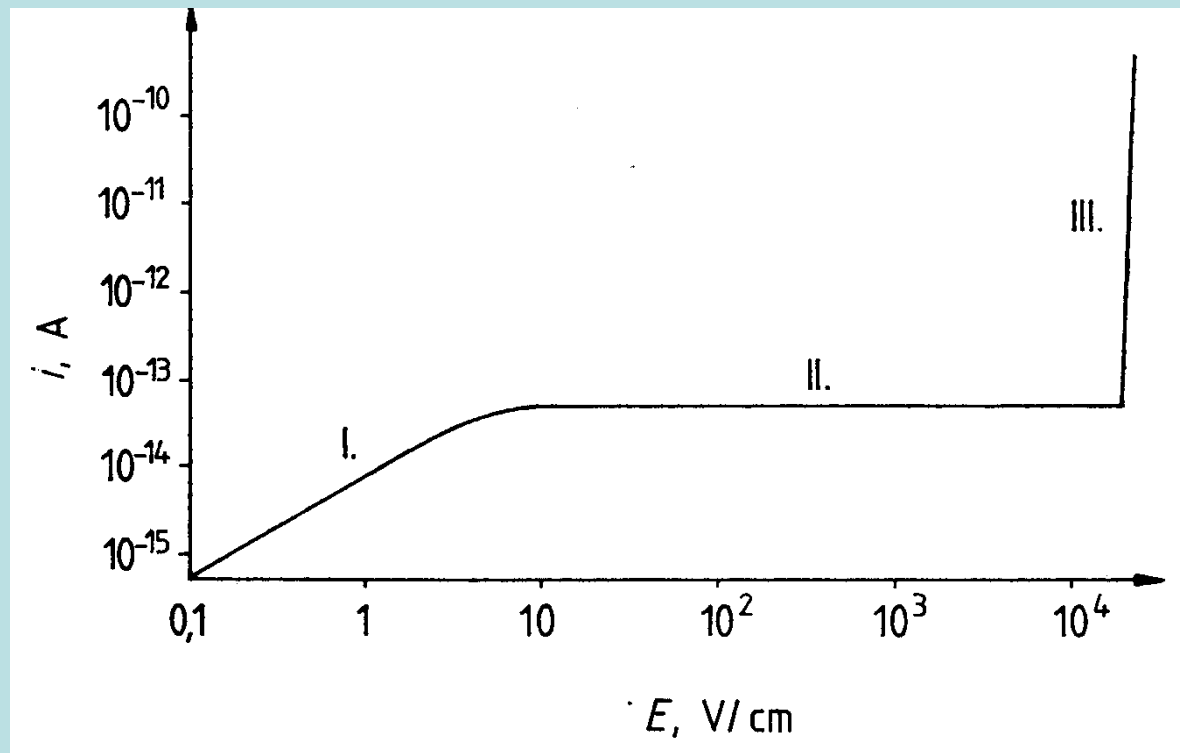
Folyadékokban

Kisülések alaptípusai



Gázkisülések

Térerősség hatására a gázokban folyó áram



Az ütközési ionozás

Townsend elmélet

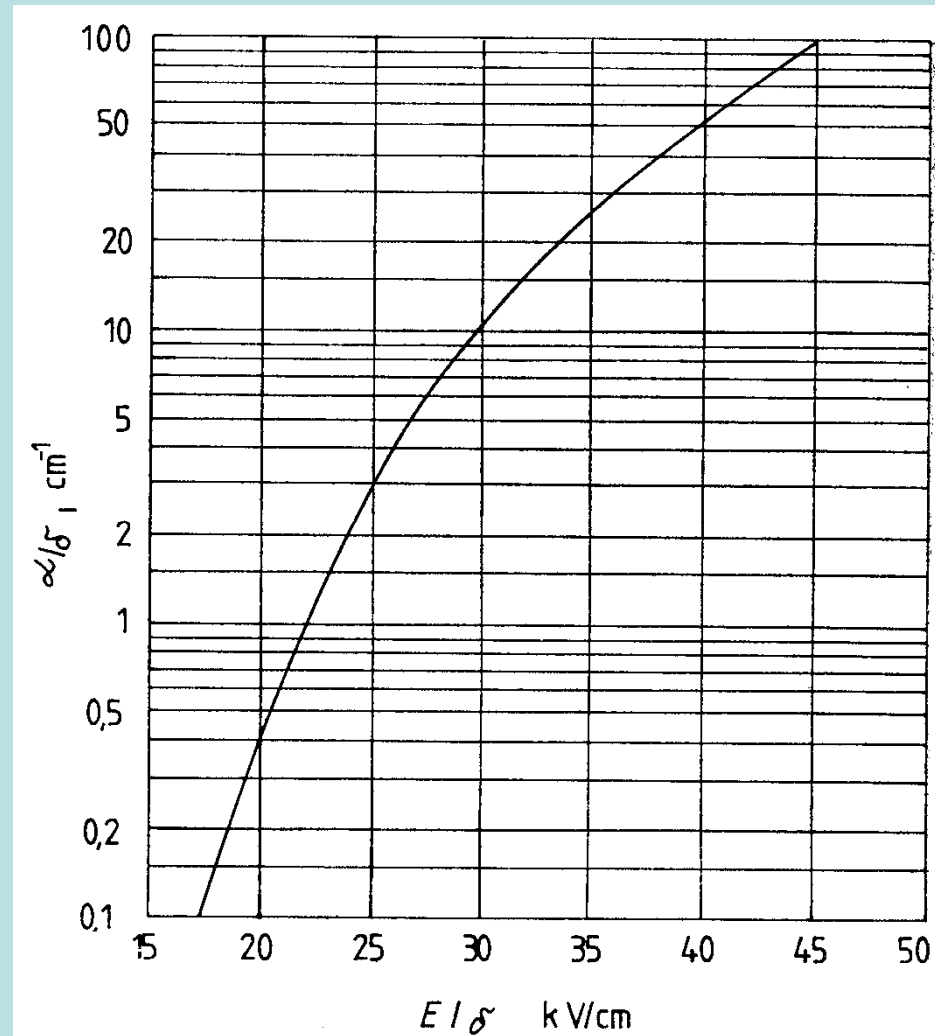
W_i : ionizációs energia

x_i : ionozási út

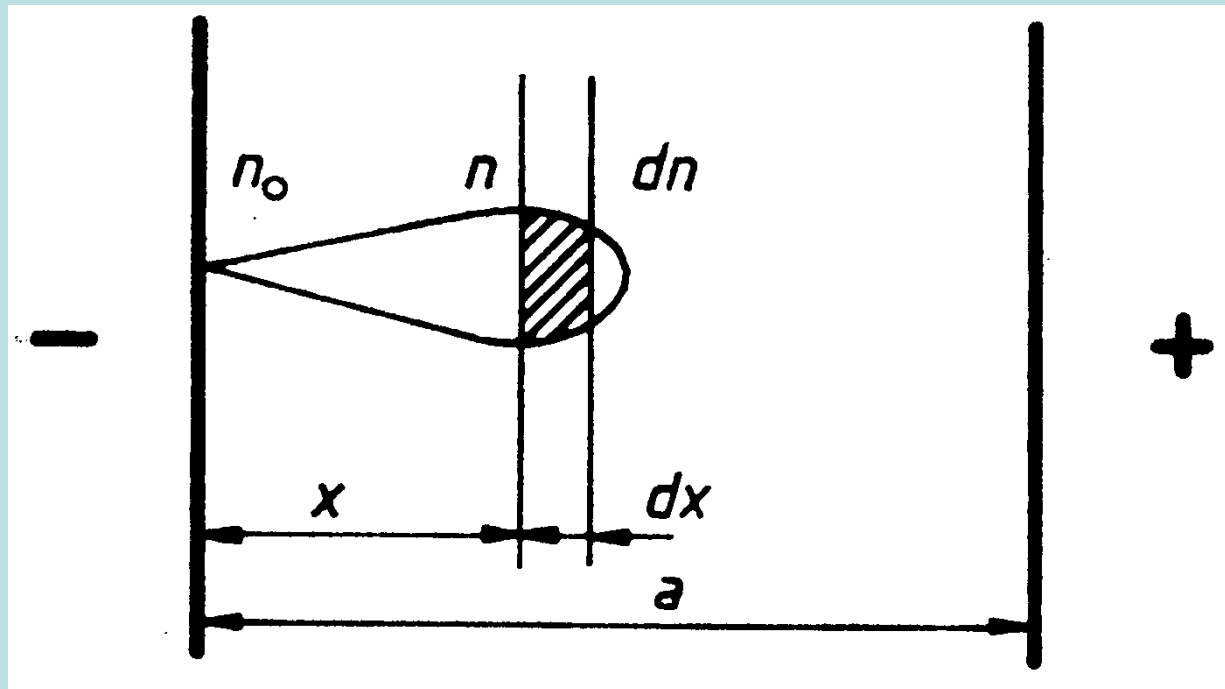
λ : átlagos szabad úthossz

α : Townsend tényező

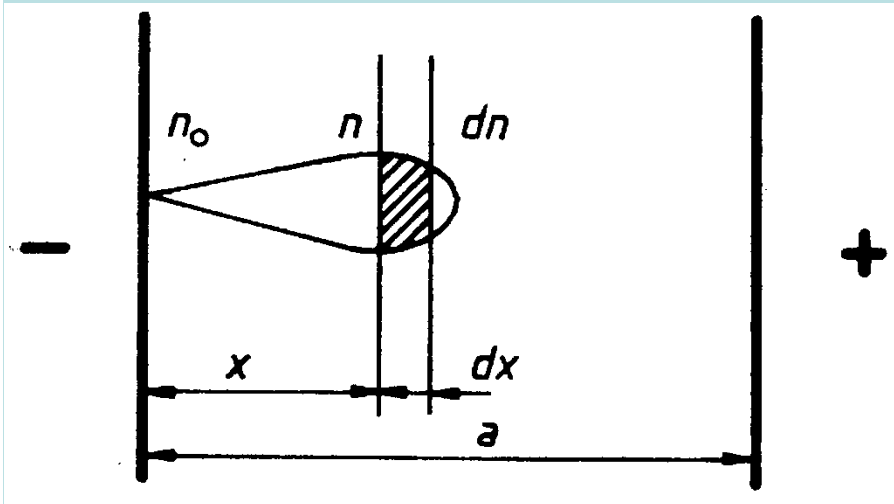
Az ütközési ionozás tényezője levegőben



Elektronlavina



Elektronlavina



$$dn = \alpha n dx$$

$$dn / n = \alpha dx$$

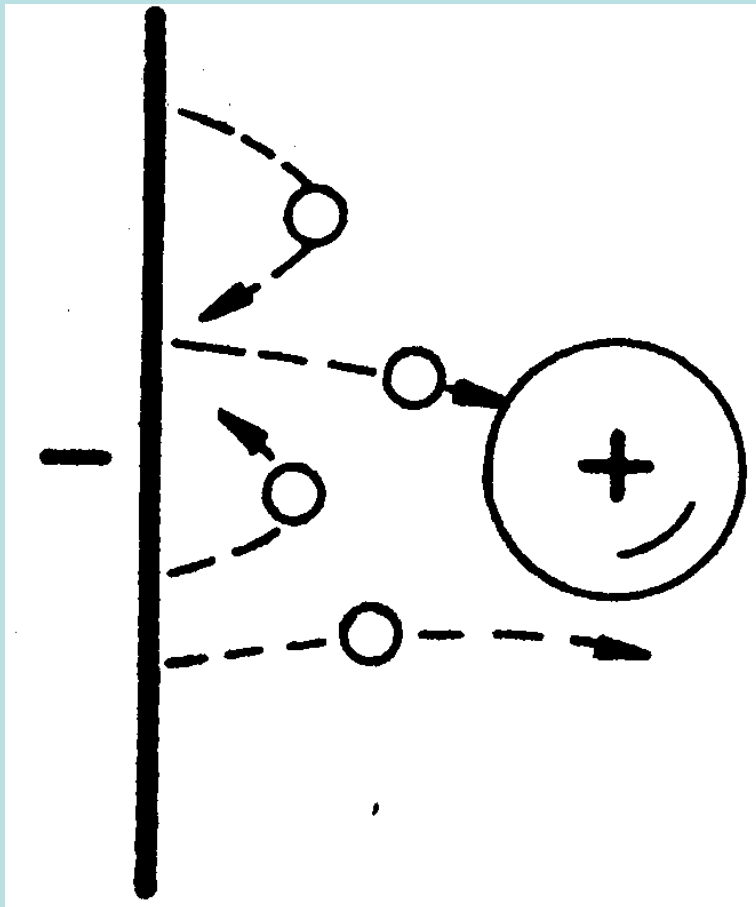
$$\int_1^n \frac{dn}{n} = \int_0^x \alpha(x) dx$$

$$n = e^{\int_0^x \alpha(x) dx}$$

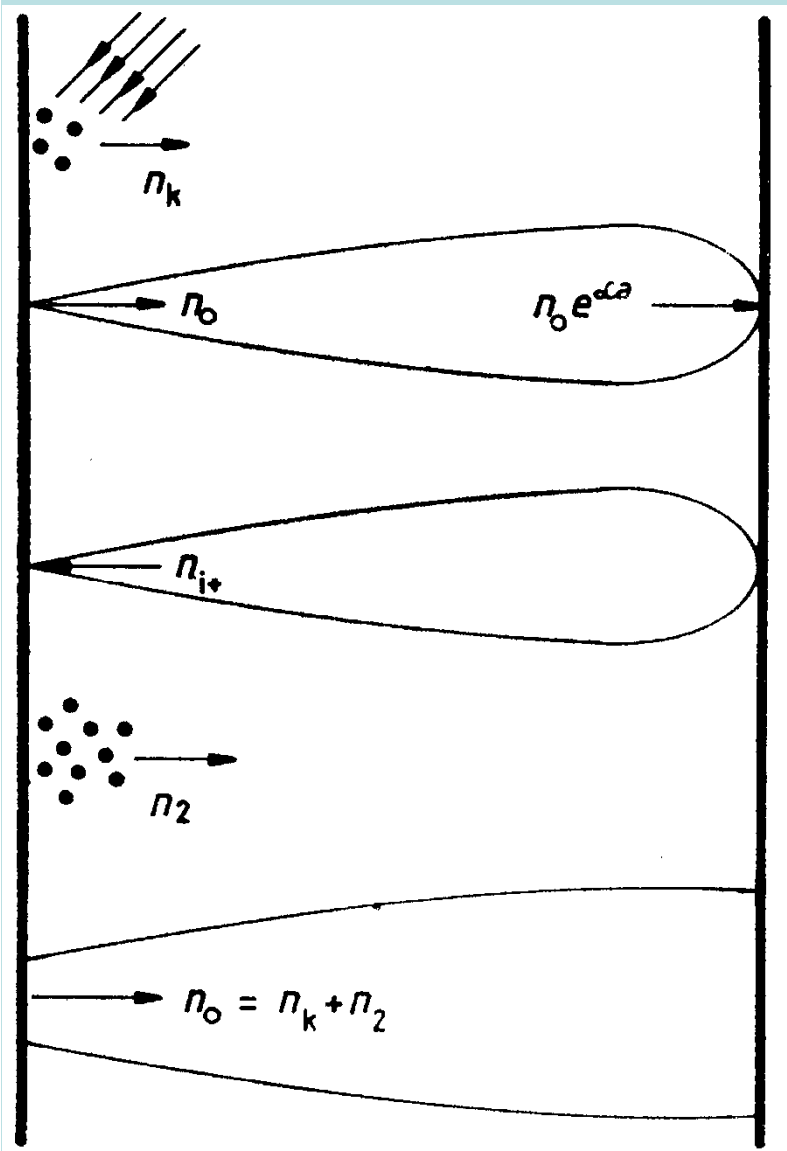
$$n = e^{\alpha x}$$

$$n(x) = n_0 e^{\alpha x}$$

Szekunder katódemisszió



$$n_e = \gamma n_{i+}$$



Önfenntartó kisülés

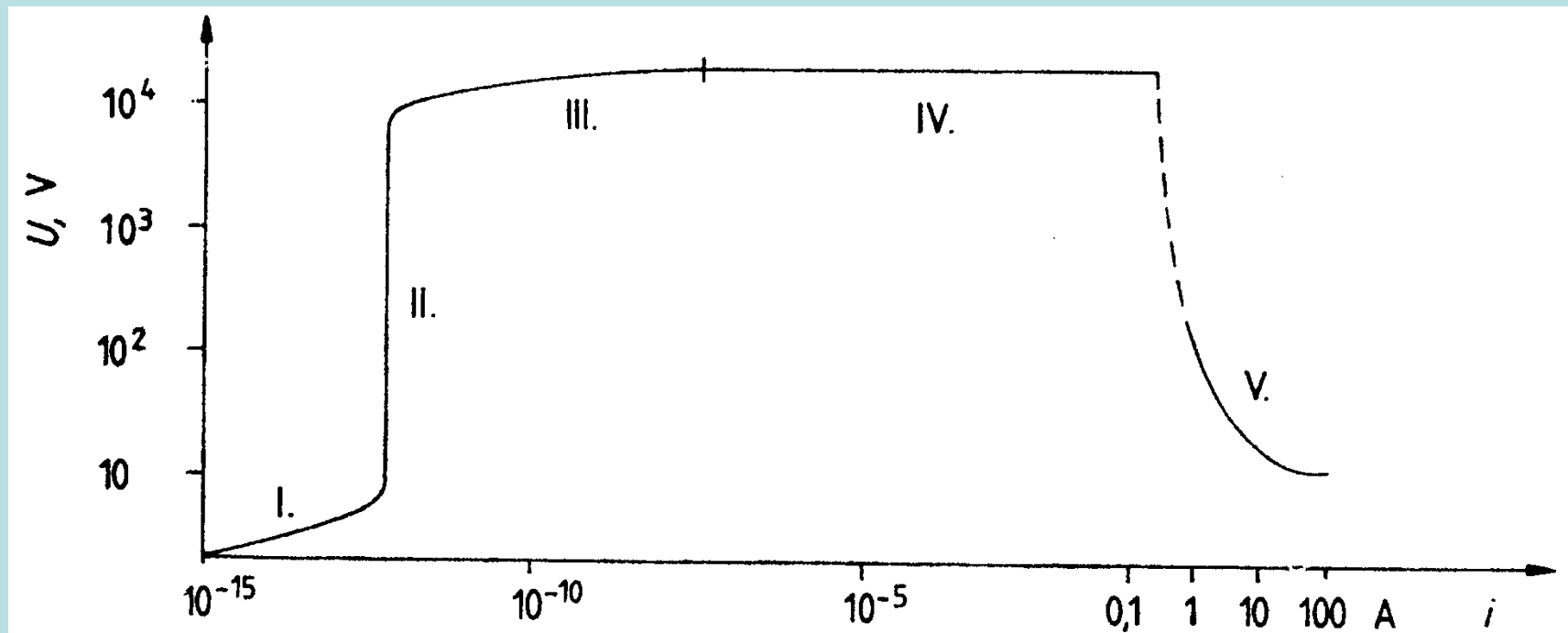
$$n(a) = n_o e^{\alpha x}$$

$$n_{i+} = n(a) - n_o = n_o (e^{\alpha x} - 1)$$

$$n_2 = \gamma n_{i+} = n_o \gamma (e^{\alpha x} - 1)$$

$$n_2 \geq n_o \Rightarrow \gamma (e^{\alpha x} - 1) \geq 1$$

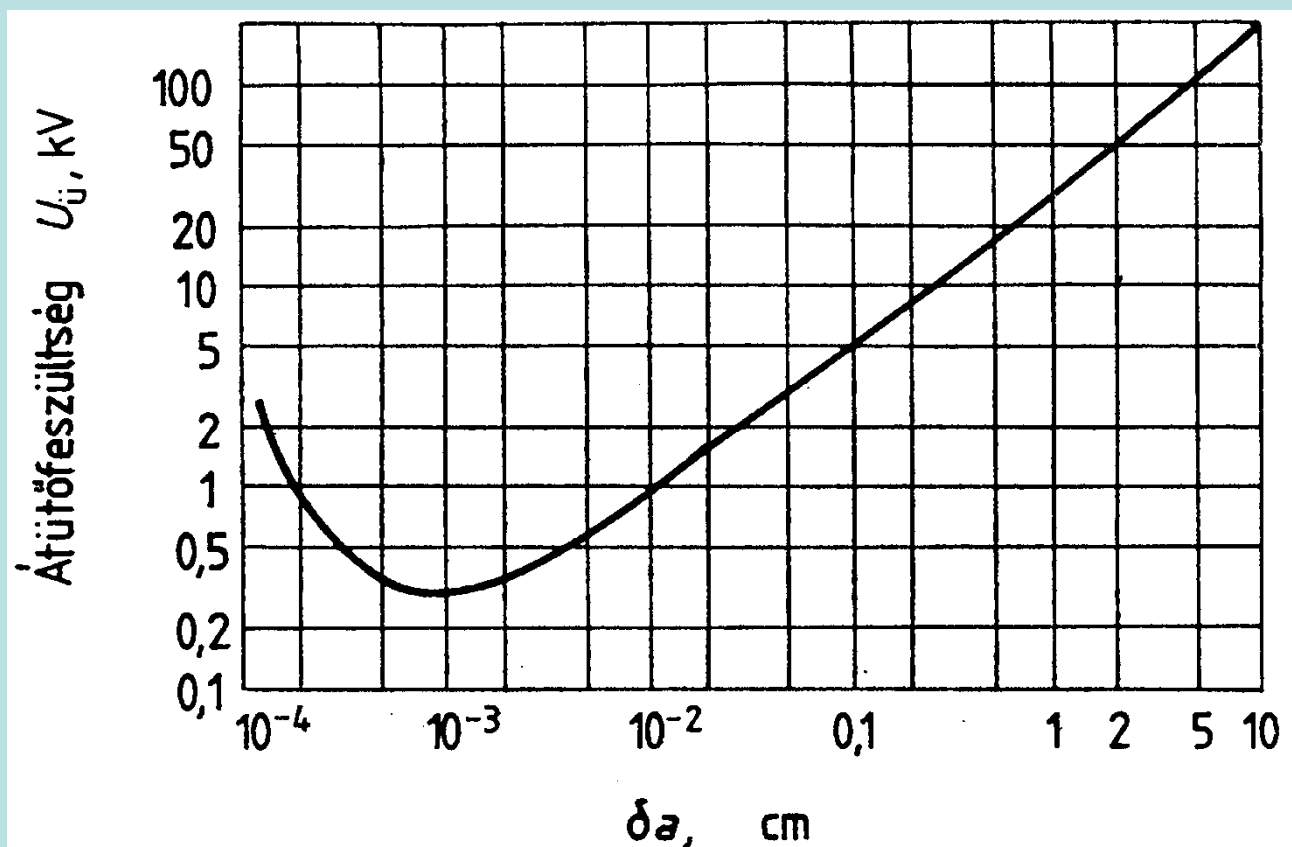
U-I karakterisztika homogén erőterben



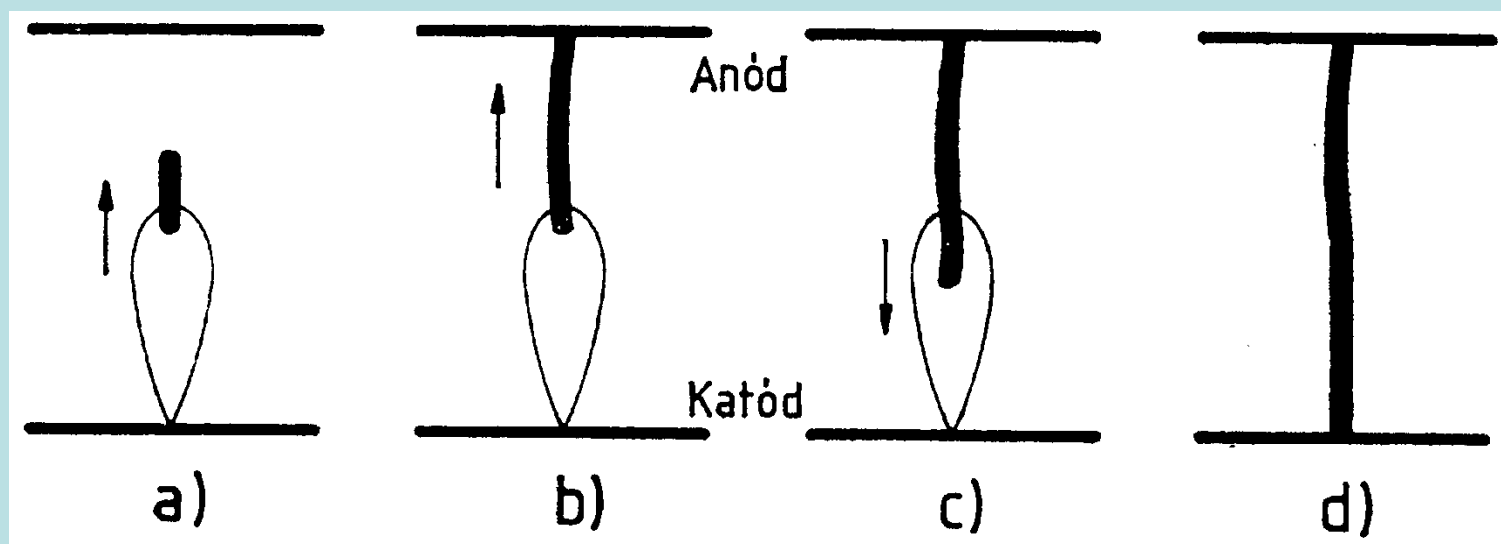
Paschen-törvény

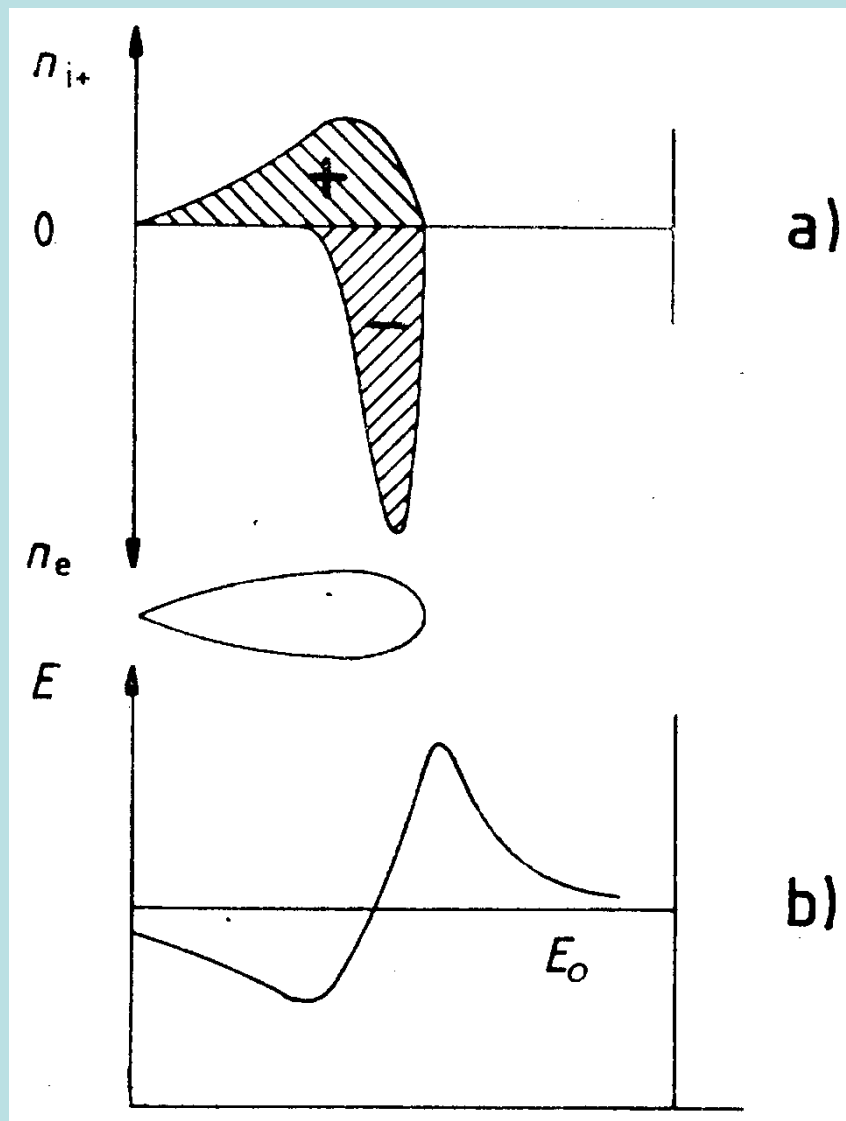
$$U_{\ddot{u}} = \frac{B\delta a}{\ln \frac{A\delta a}{\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}}$$

Paschen-görbe levegőre



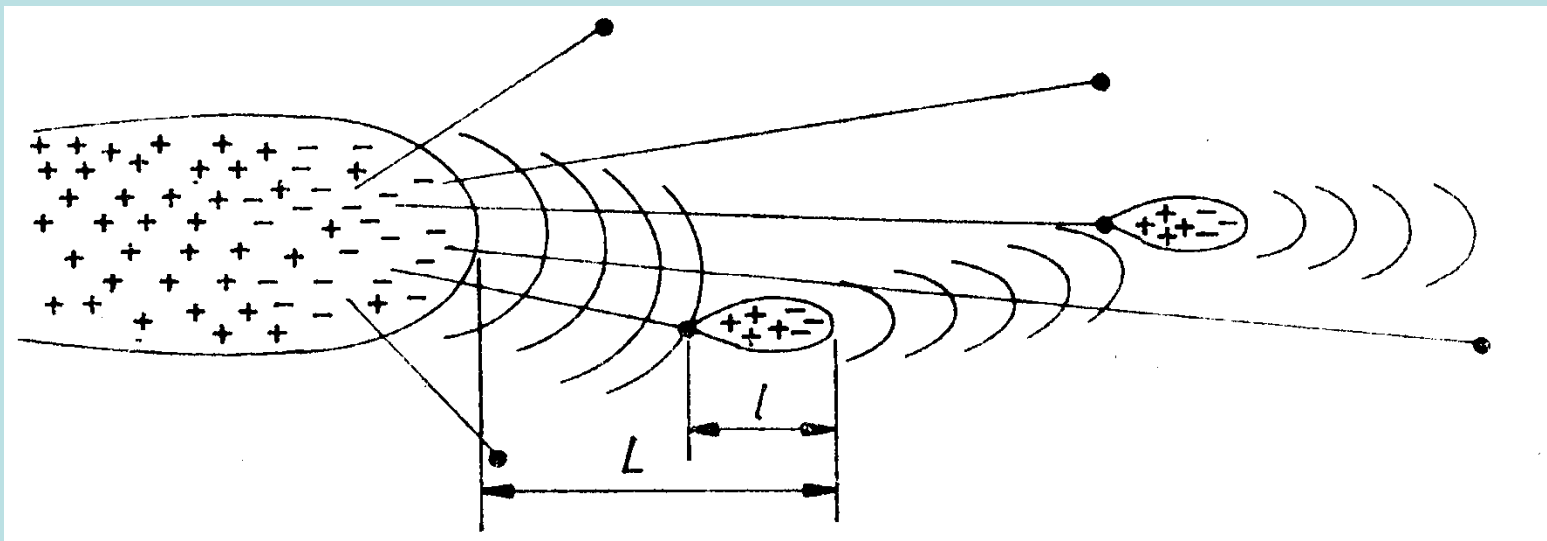
Az elektronlavina átalakulása homogén erőterben



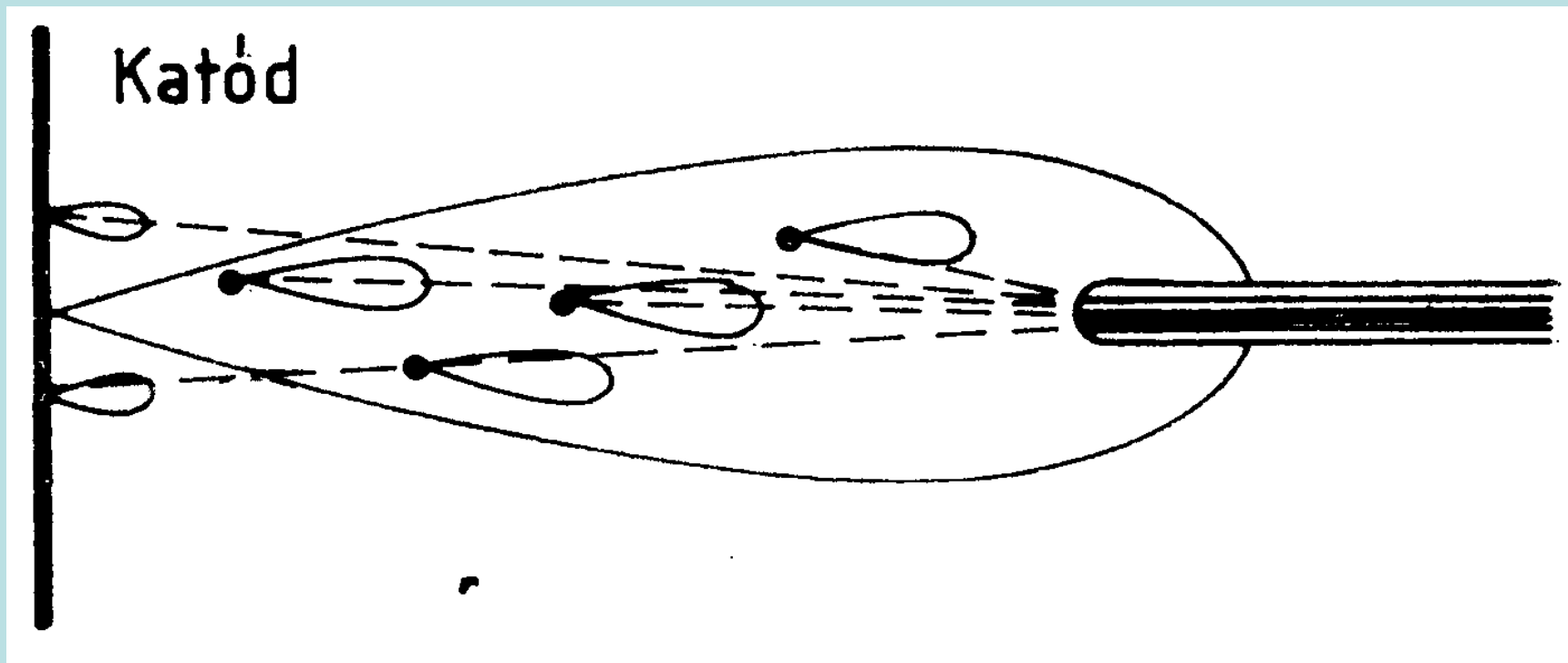


Az elektronlavina által
okozott erőtértorzulás

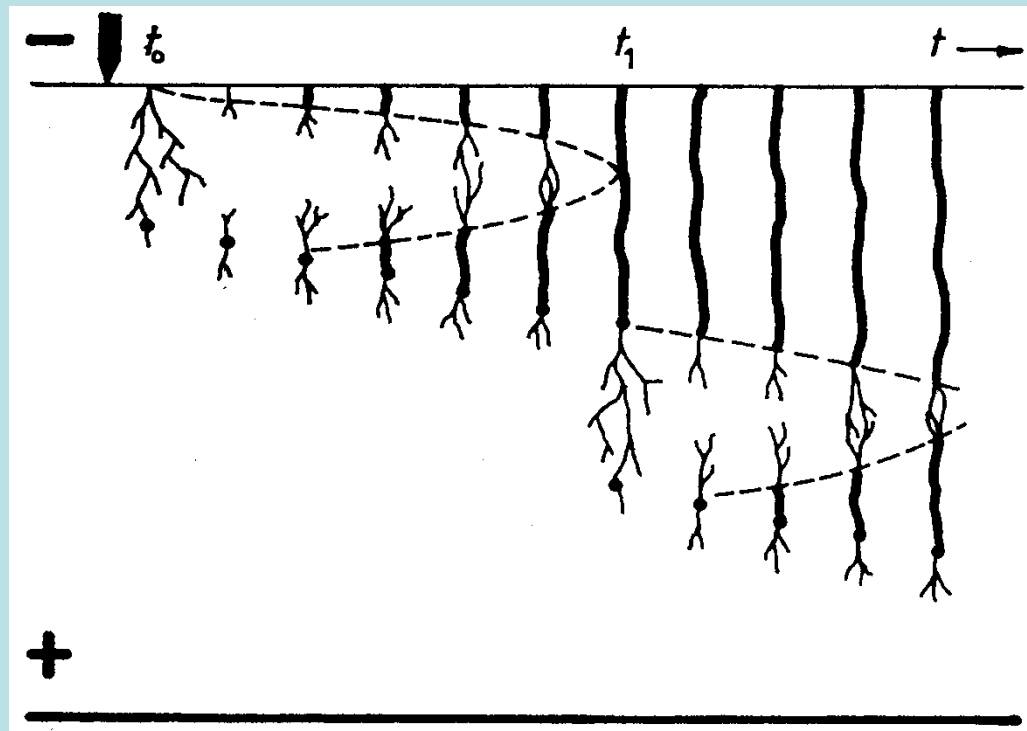
Az anódirányú csatorna fejlődése

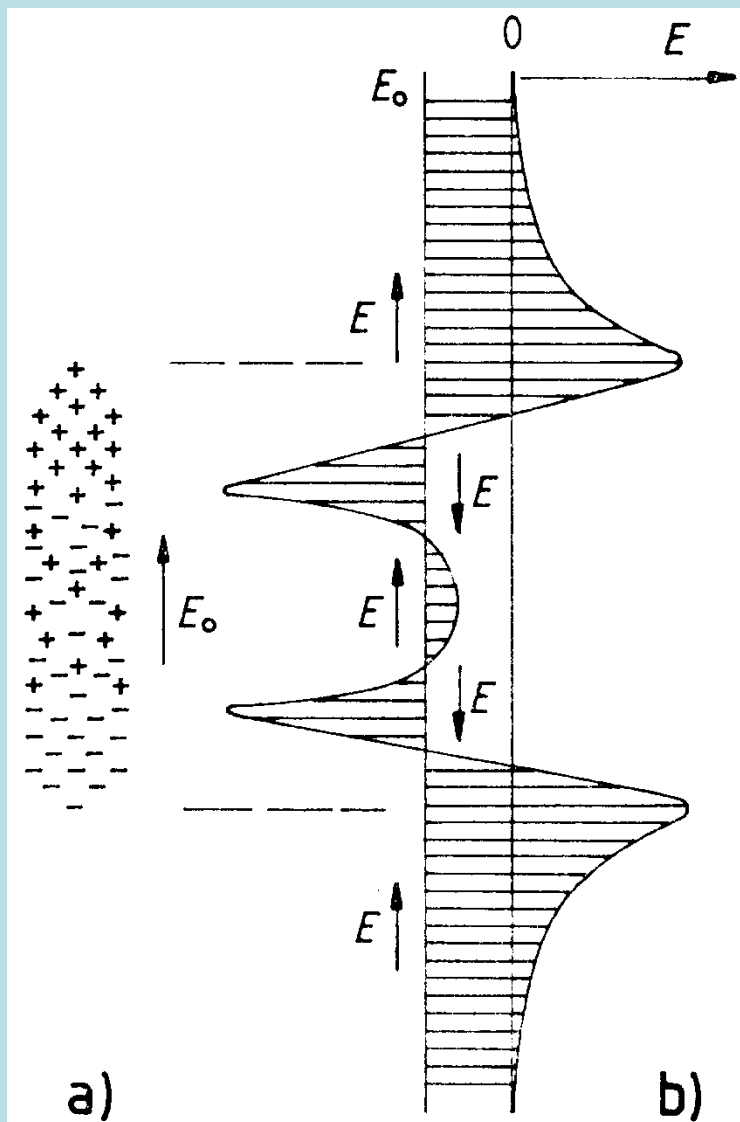


A katódirányú csatorna fejlődése



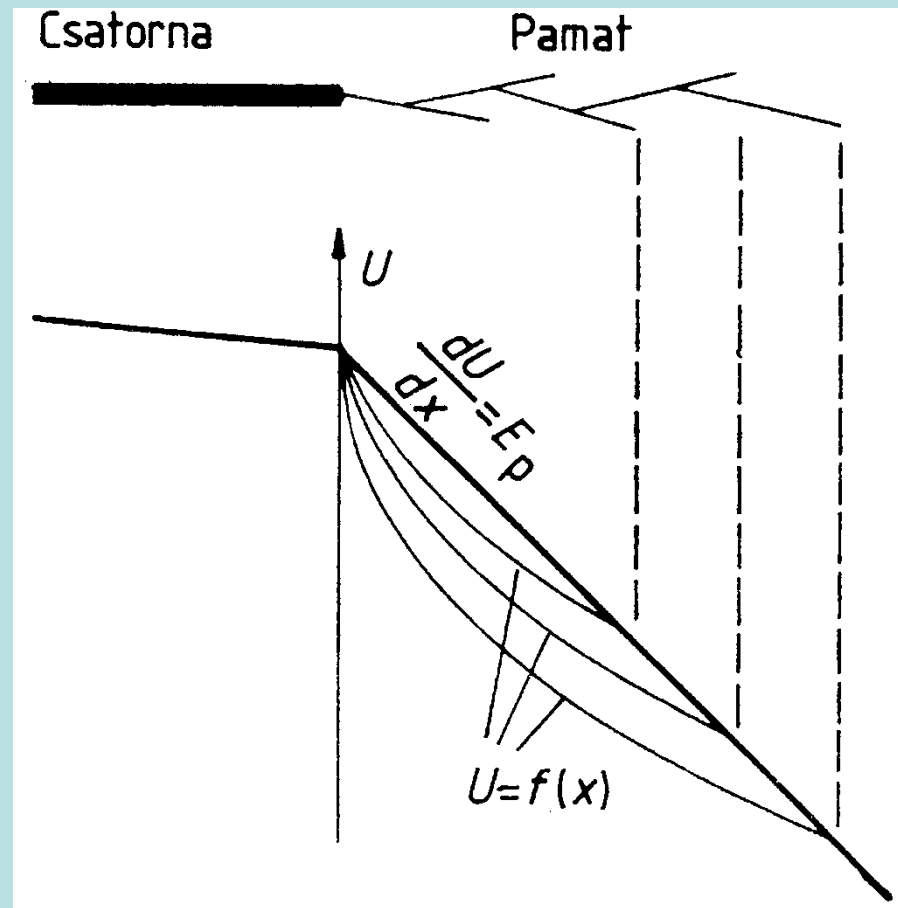
A kisülés fejlődésének képe



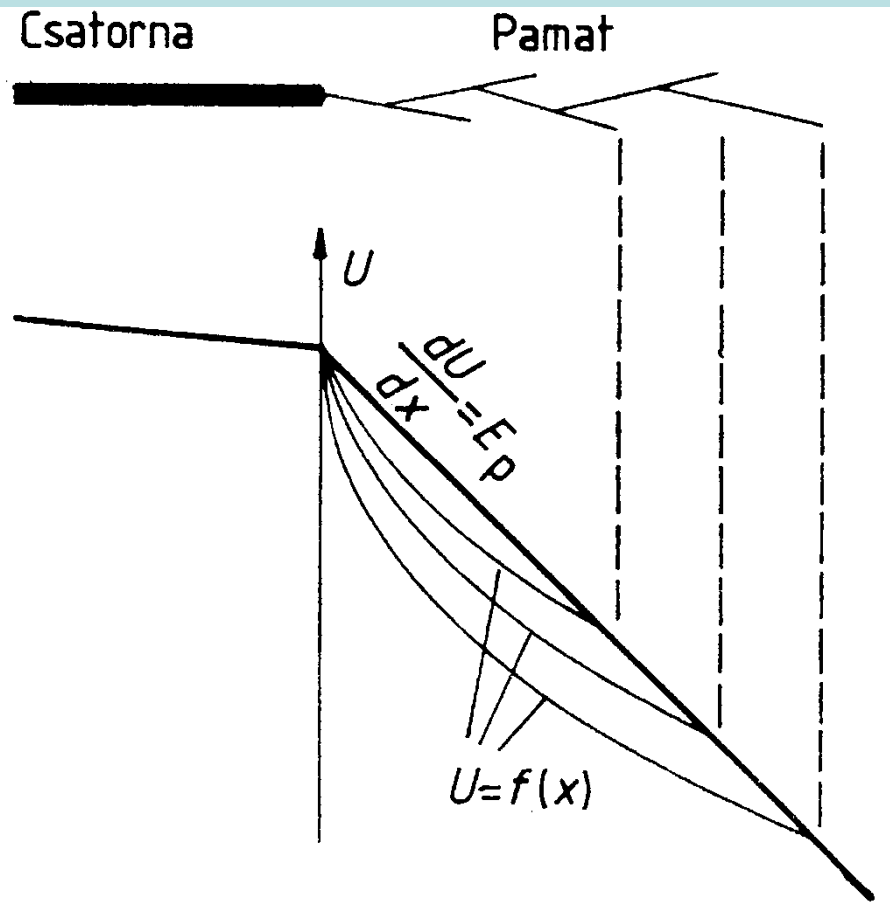


Negatív kisülésben keletkező
fénylő góc szerkezete

A csatorna végén lévő pamatos kisülés potenciálviszonyai



A csatorna végén lévő pamatos kisülés potenciálviszonyai

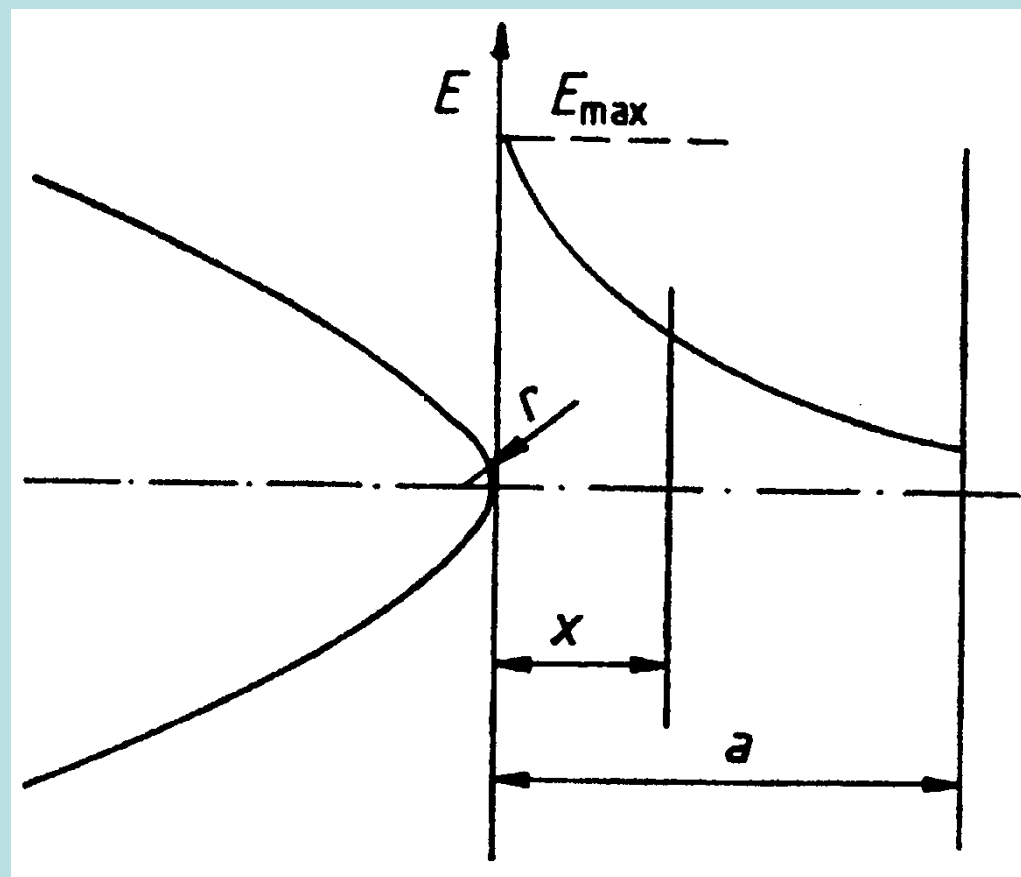


elektron lavina: $E > 30 \text{ kV/cm}$
ütközési ionozás

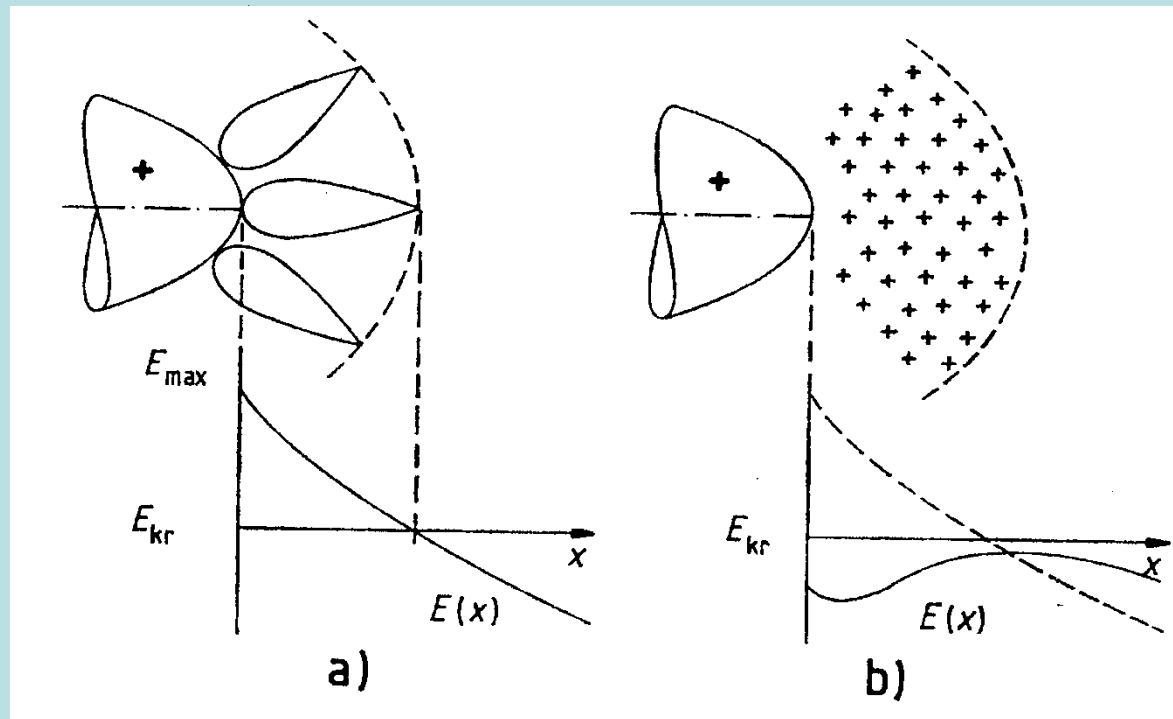
pamatos kisülés: $E = 5 \dots 6 \text{ kV/cm}$
ütközési ionozás
foto ionozás

csatorna kisülés: $E \leq 1 \text{ kV/cm}$
foto ionozás
hőionozás

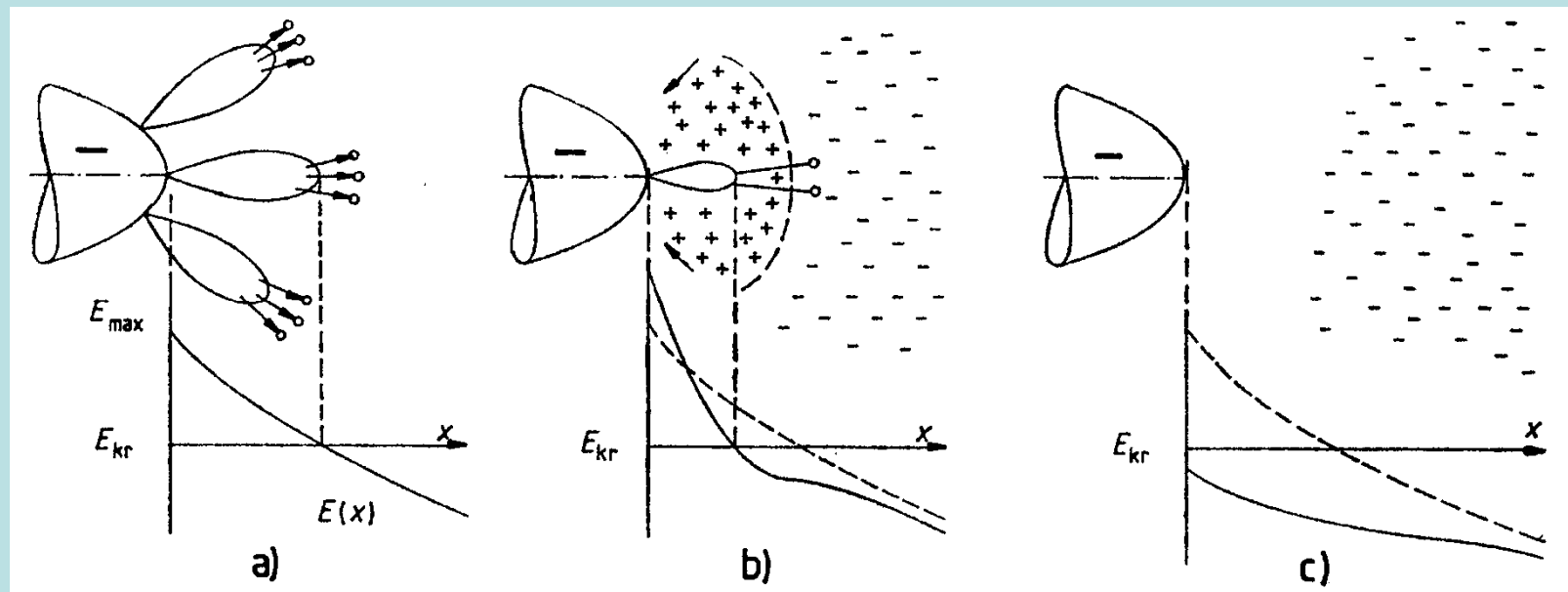
A térerősség változása forgási hiperboloid alakú csúcs előtt



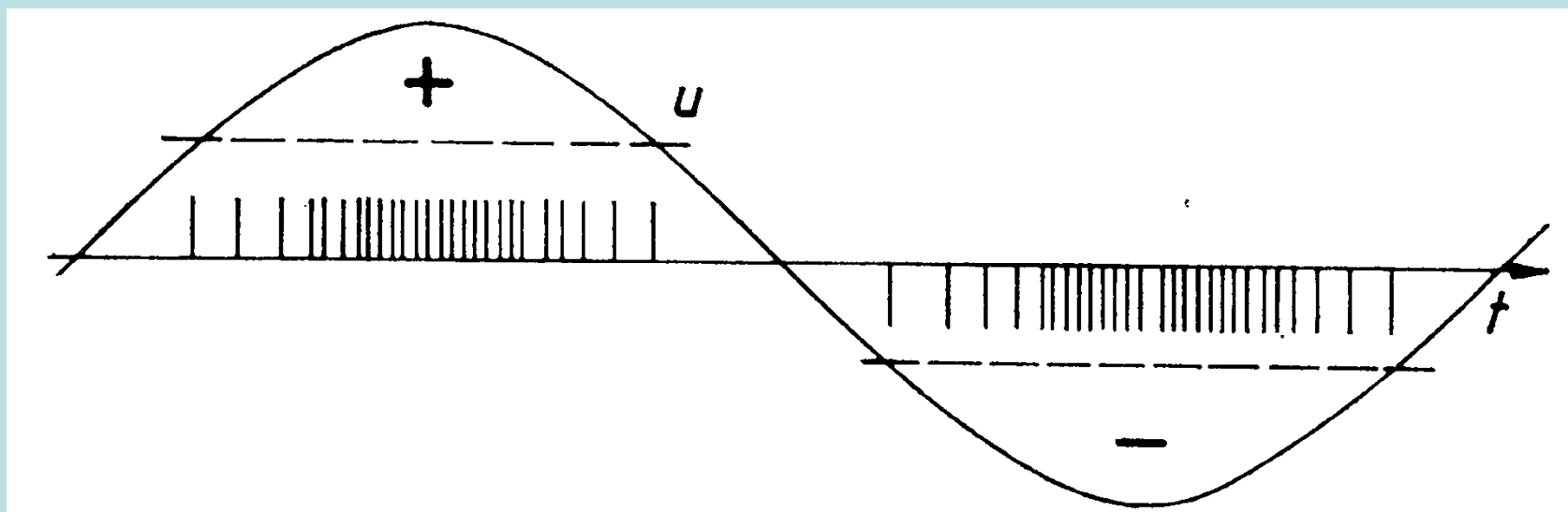
Koronakisülés pozitív csúcson



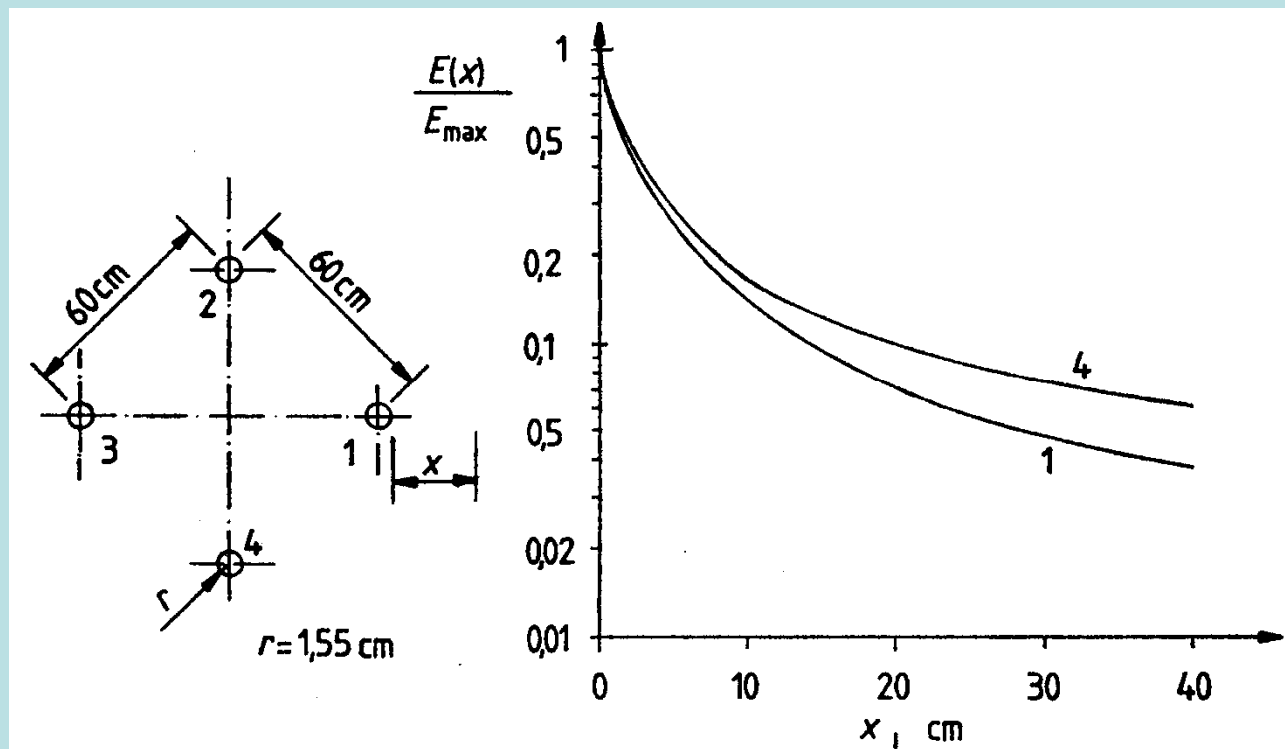
Koronakisülés negatív csúcson

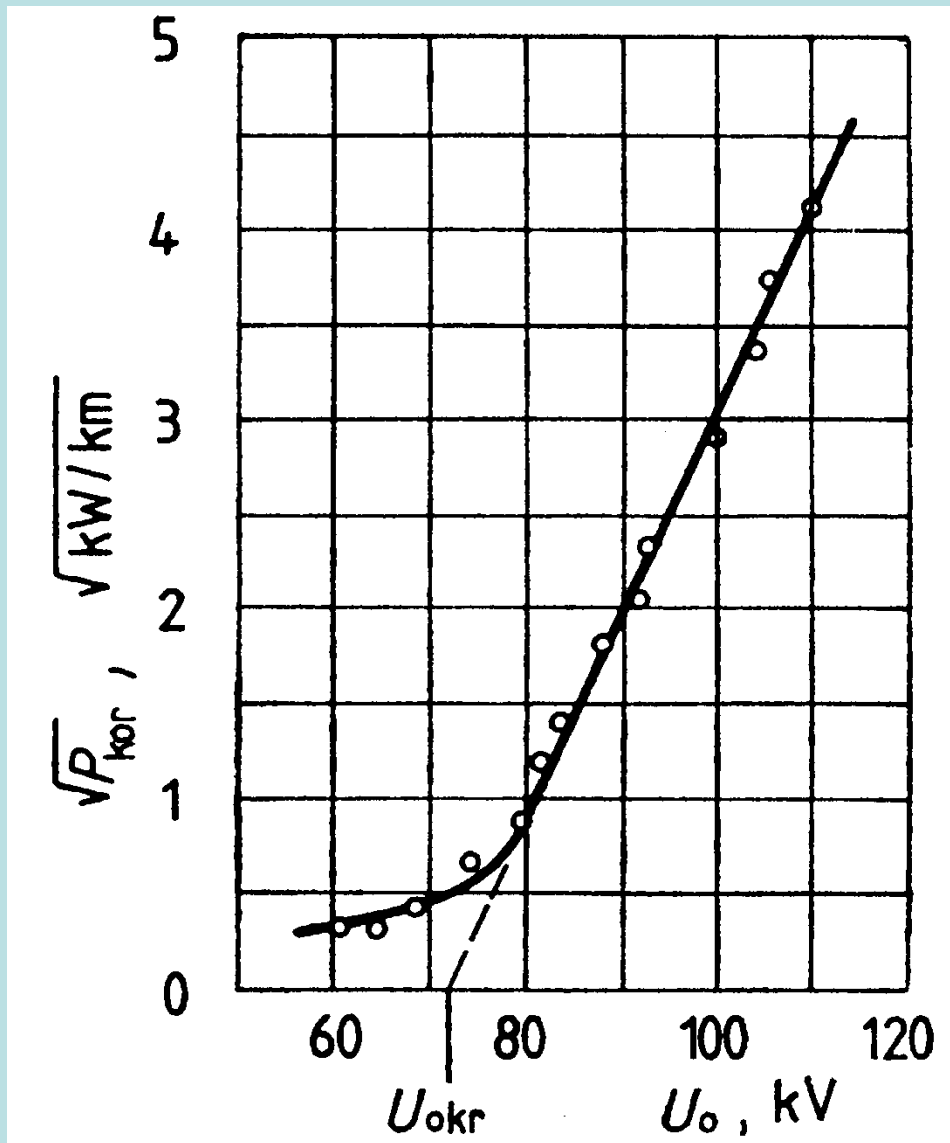


Koronakisülés váltakozó feszültségen



750 kV-os távvezeték térerősségének alakulása

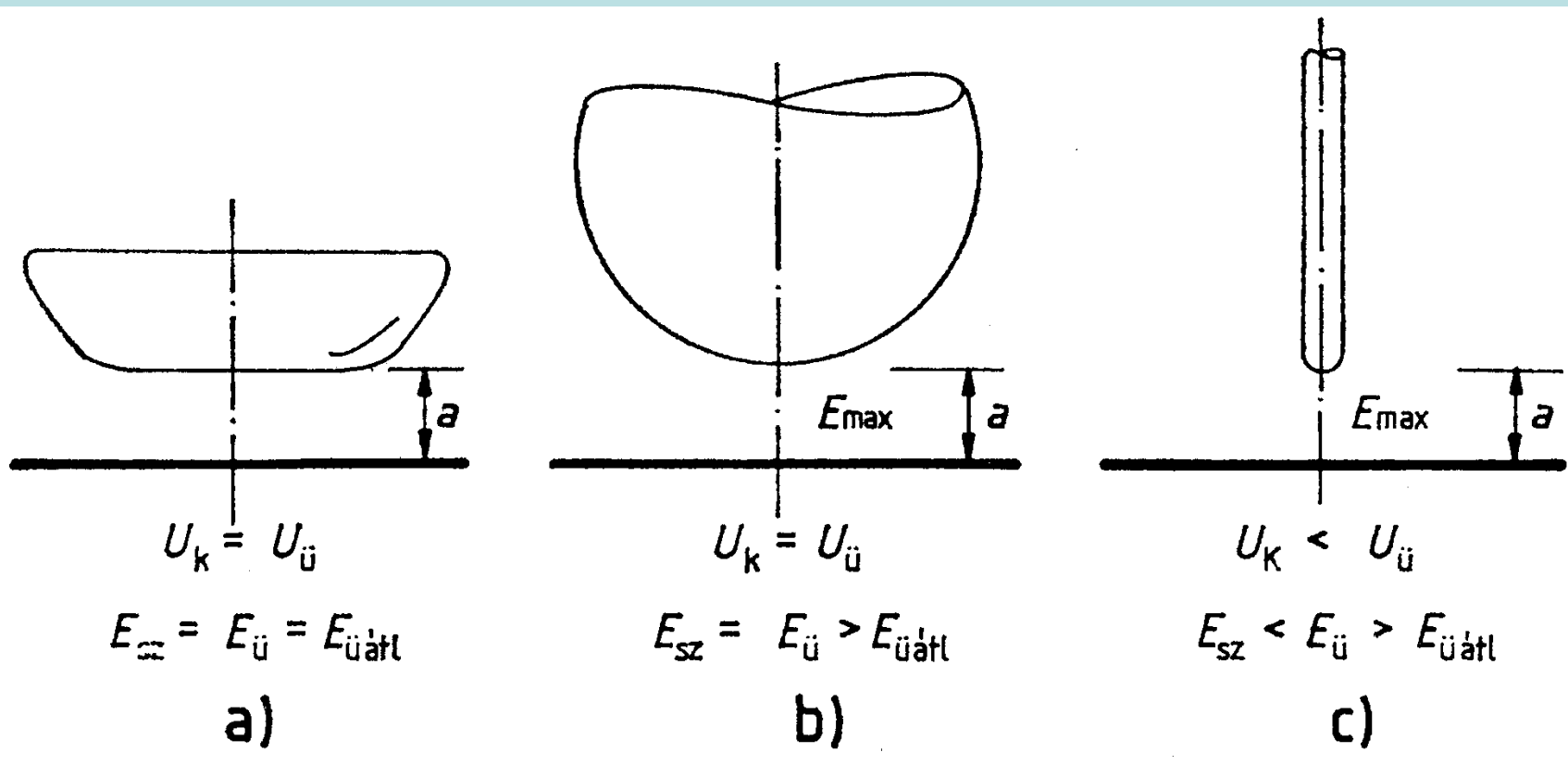




A távvezetéken keletkező
koronaveszteség alakulása

A körülmények hatása az átütőfeszültségre

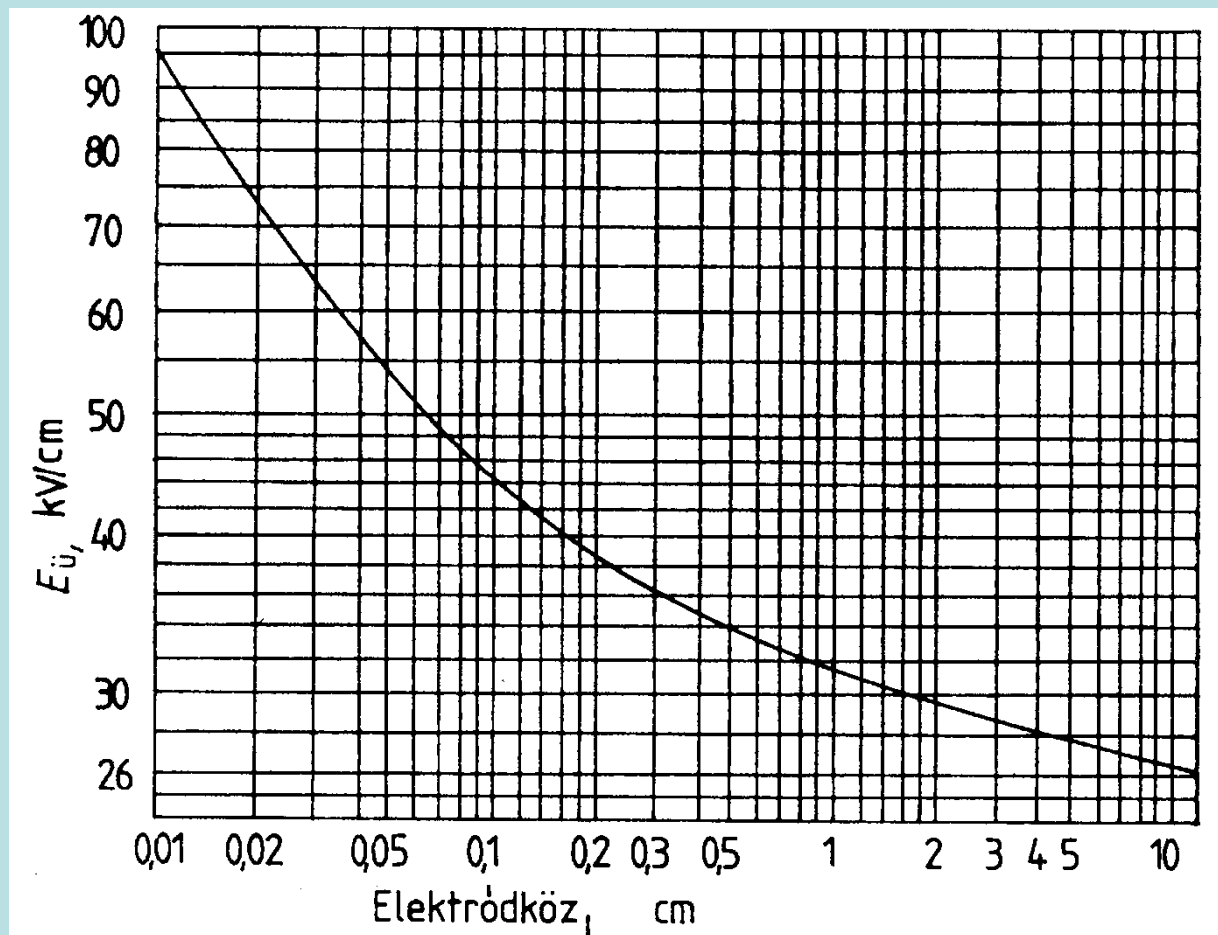
Az elektródok alakjának hatása



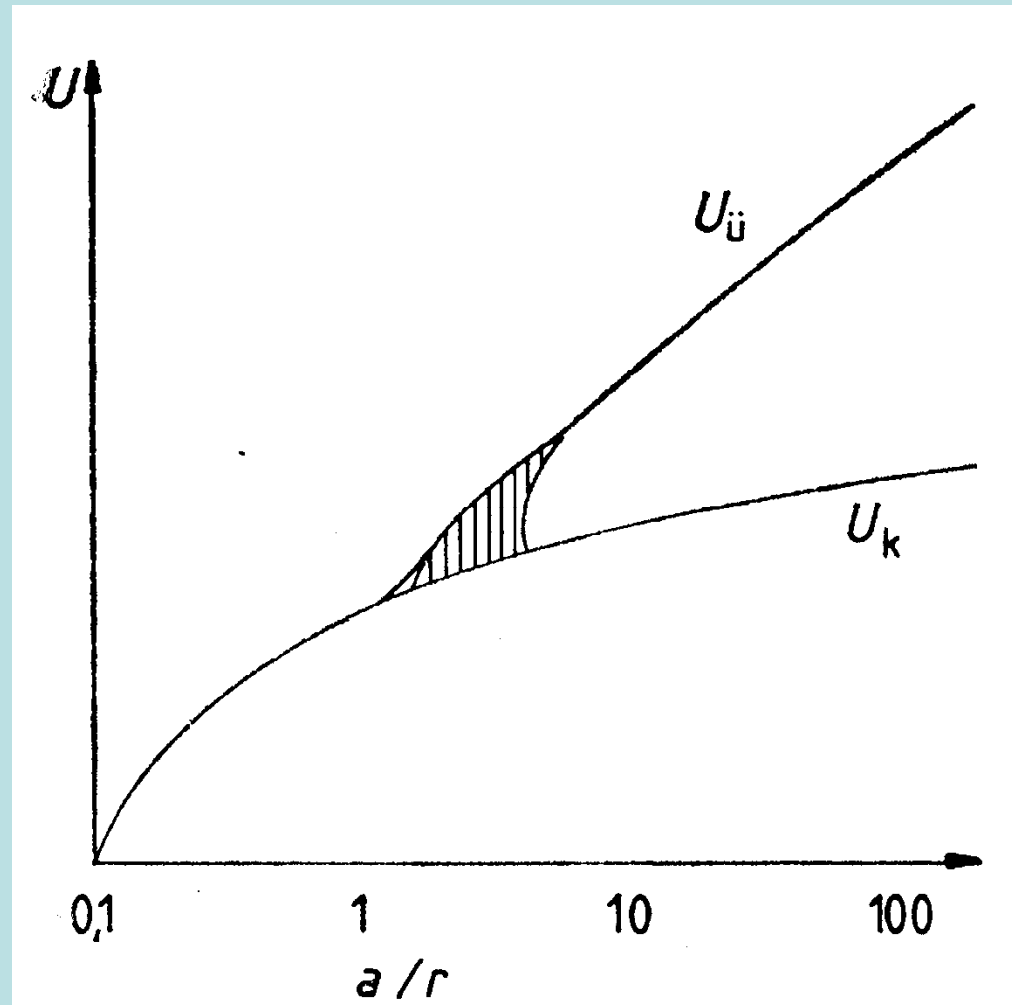
inhomogenitási tényező:

$$f = E_{\max} / E_{\text{átl}}$$

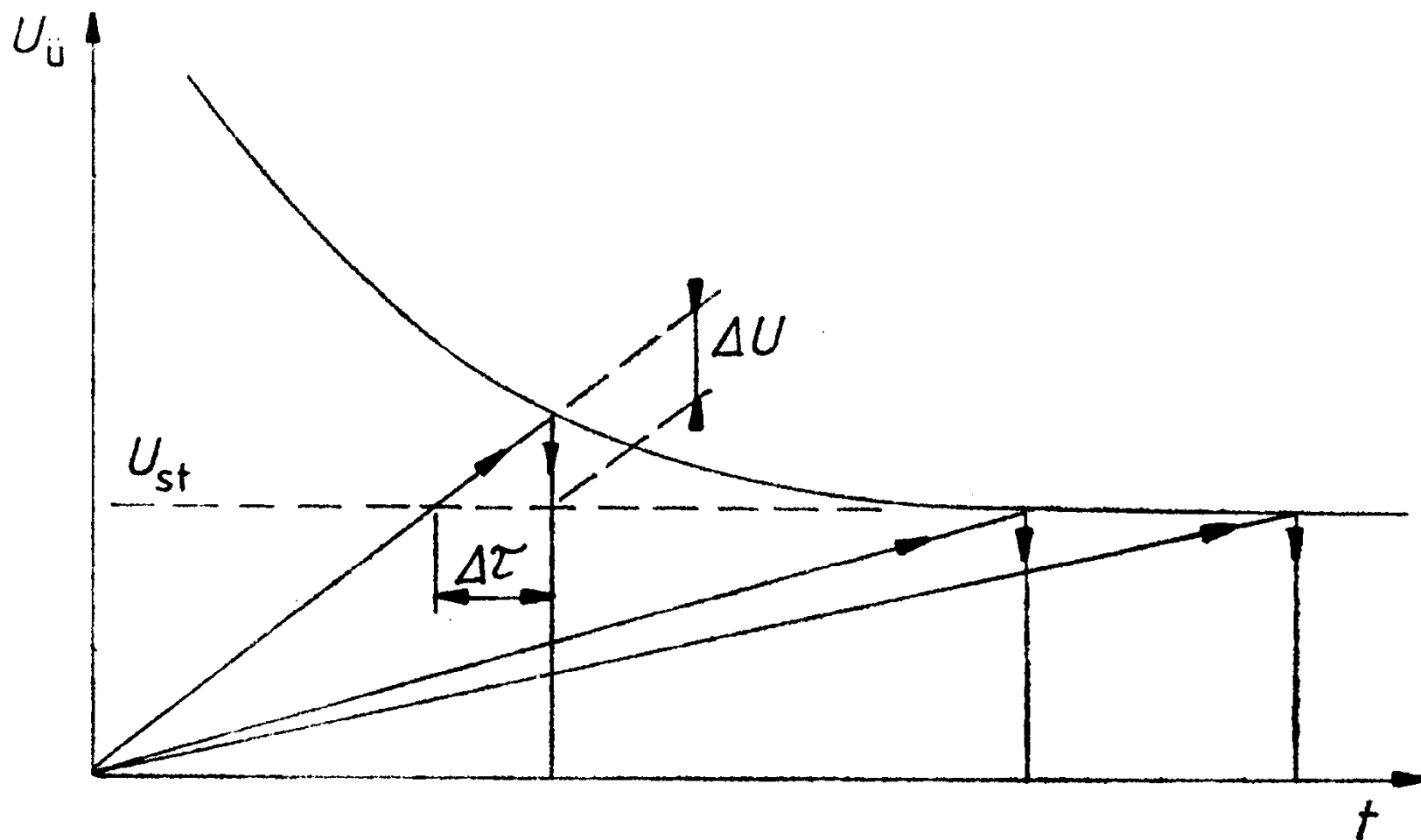
Az átütési térerősség homogén erőterben



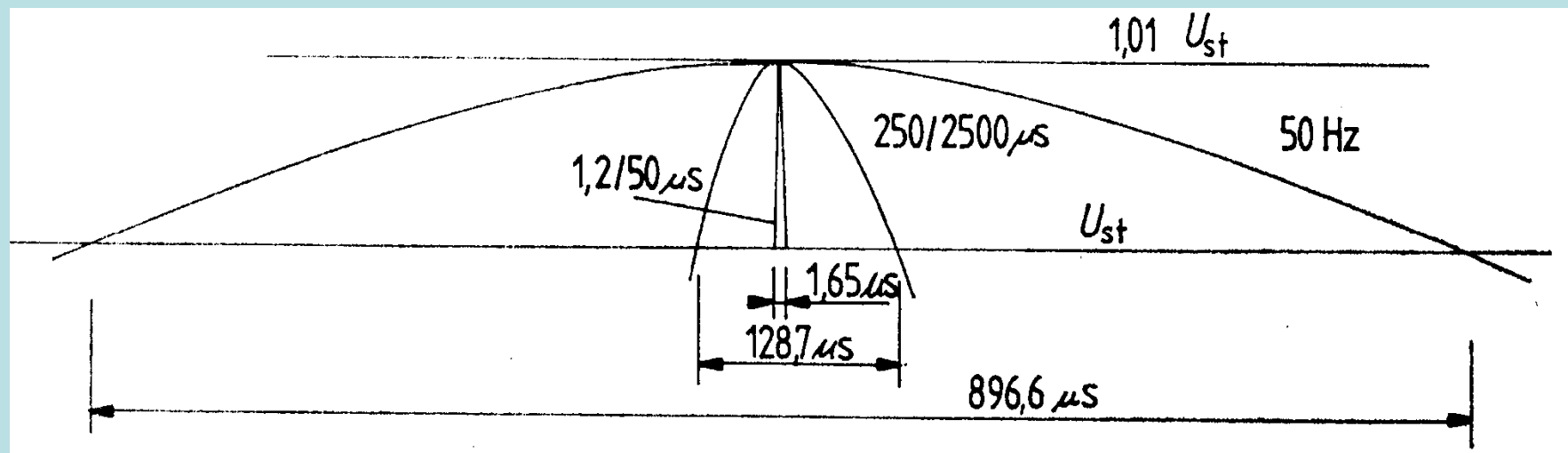
Az átütőfeszültség változása erősen inhomogén erőterben

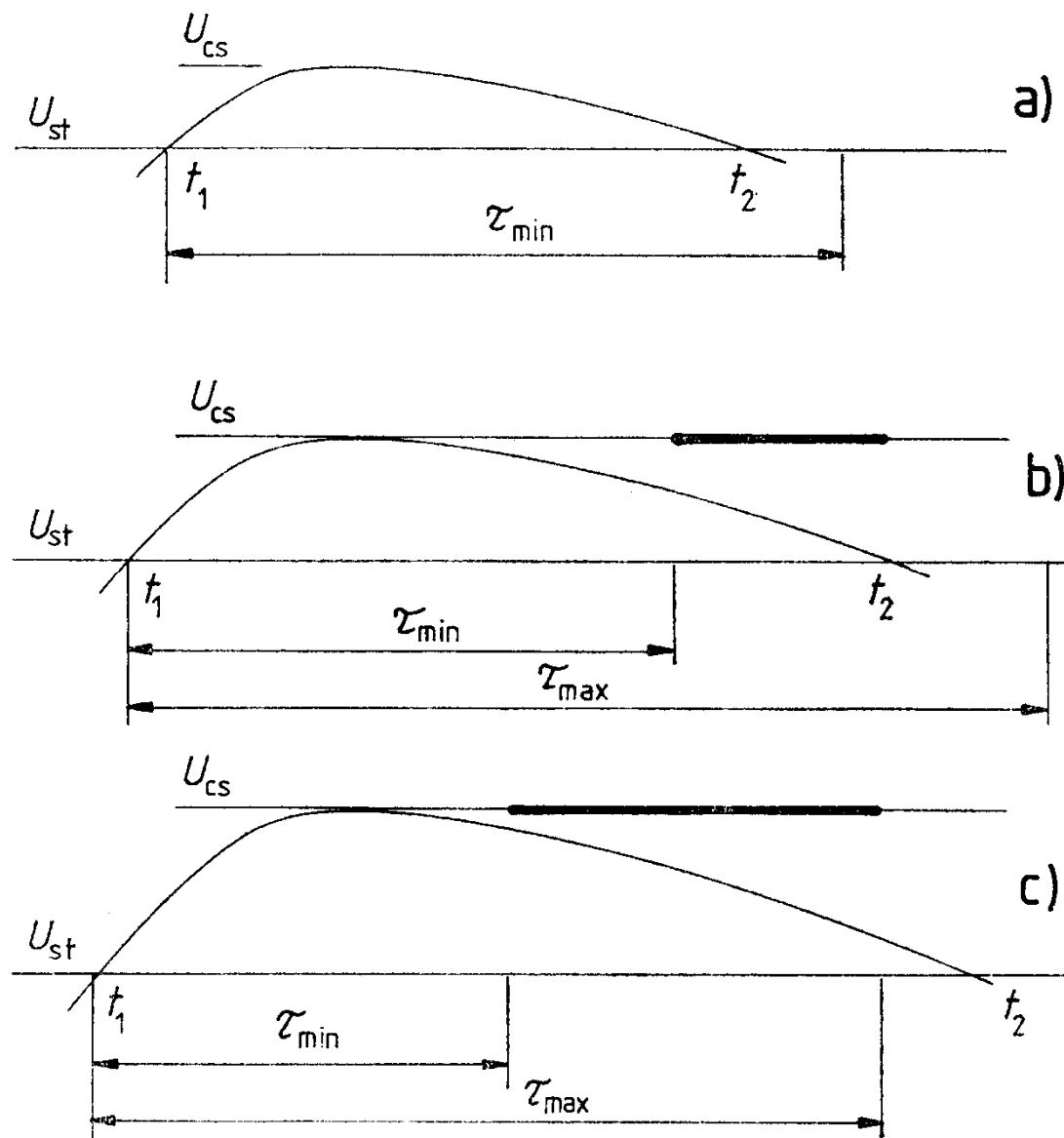


A feszültségnövelés meredekségének hatása



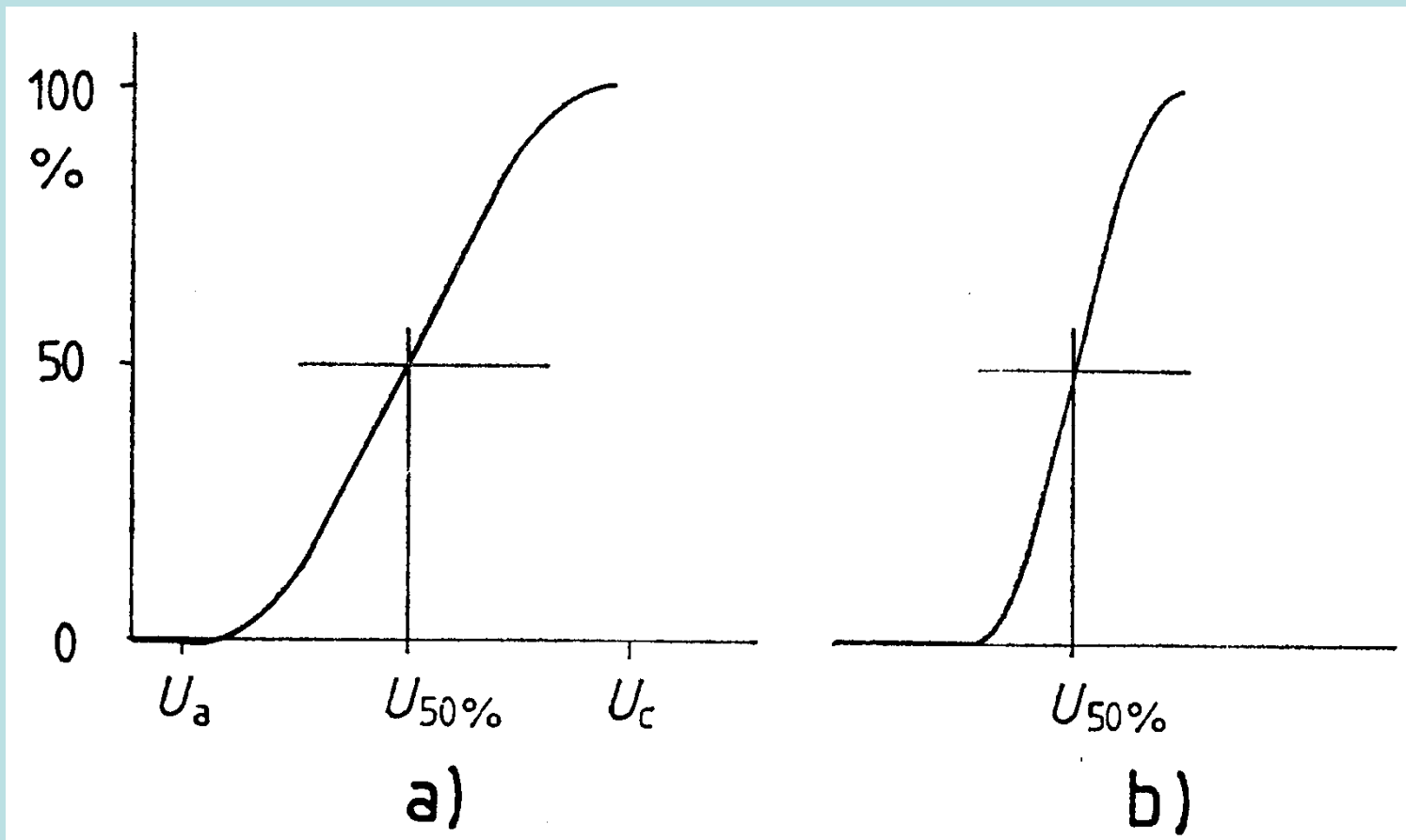
Az idő szerepe



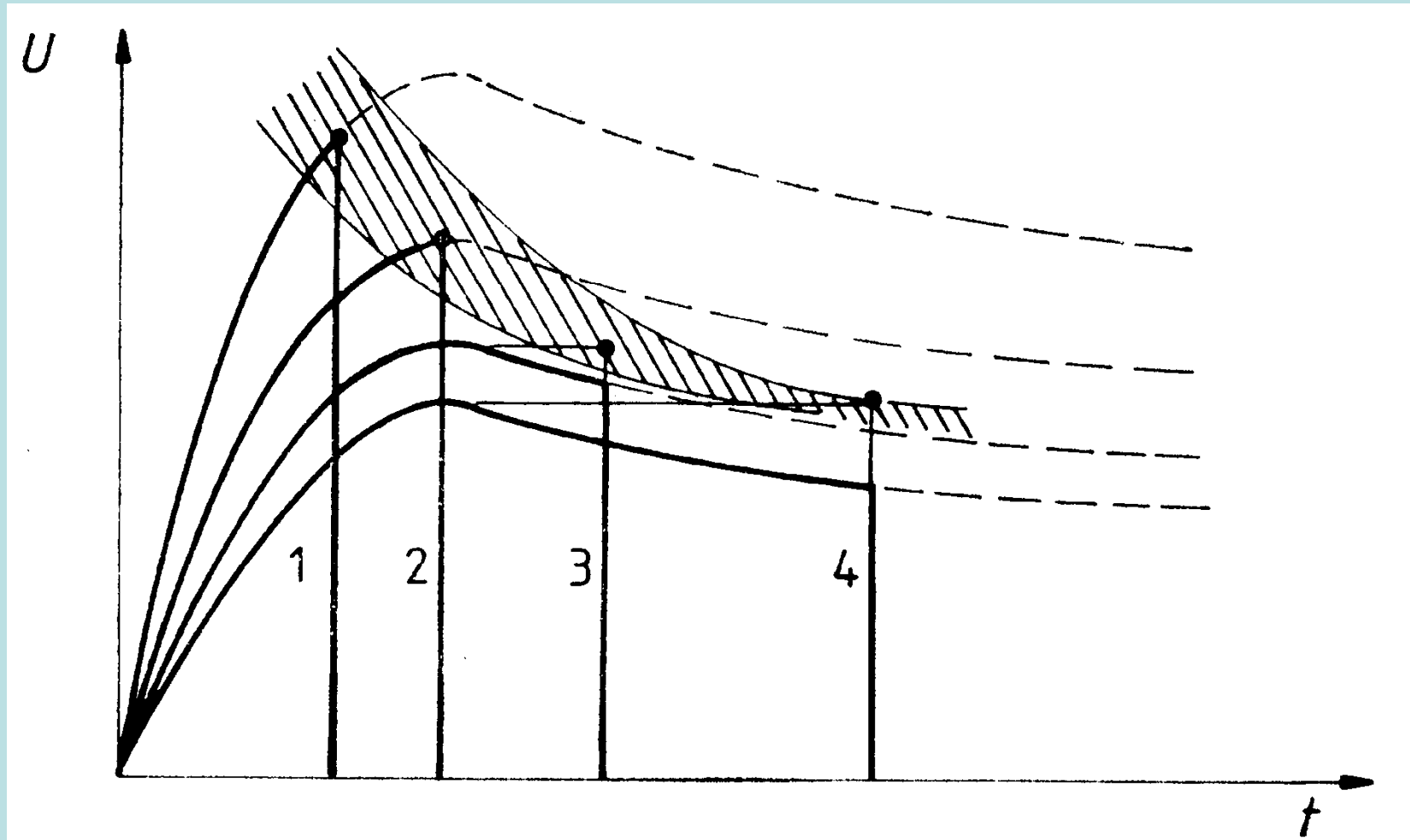


Az átütés késése

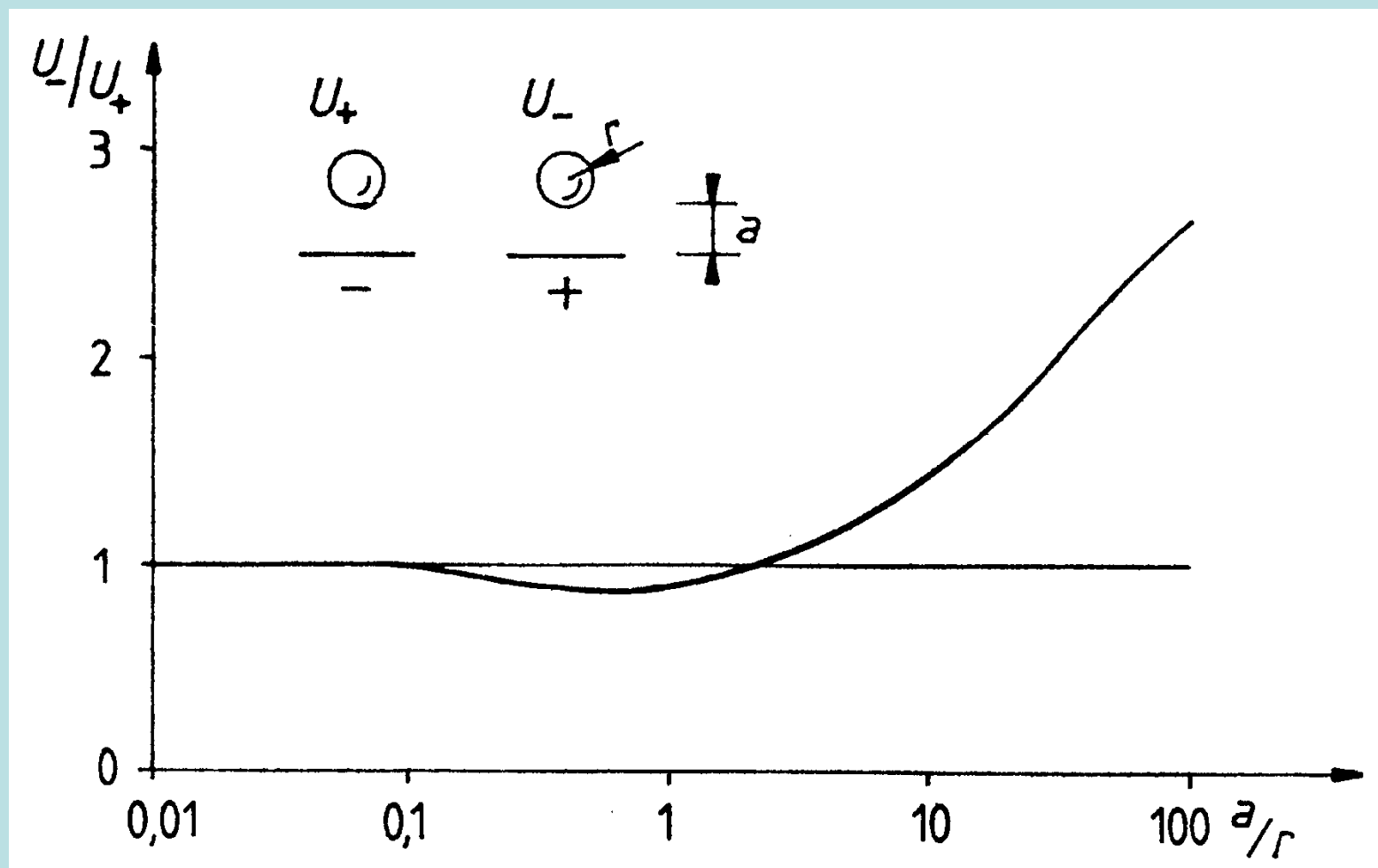
Az átütés gyakorisága



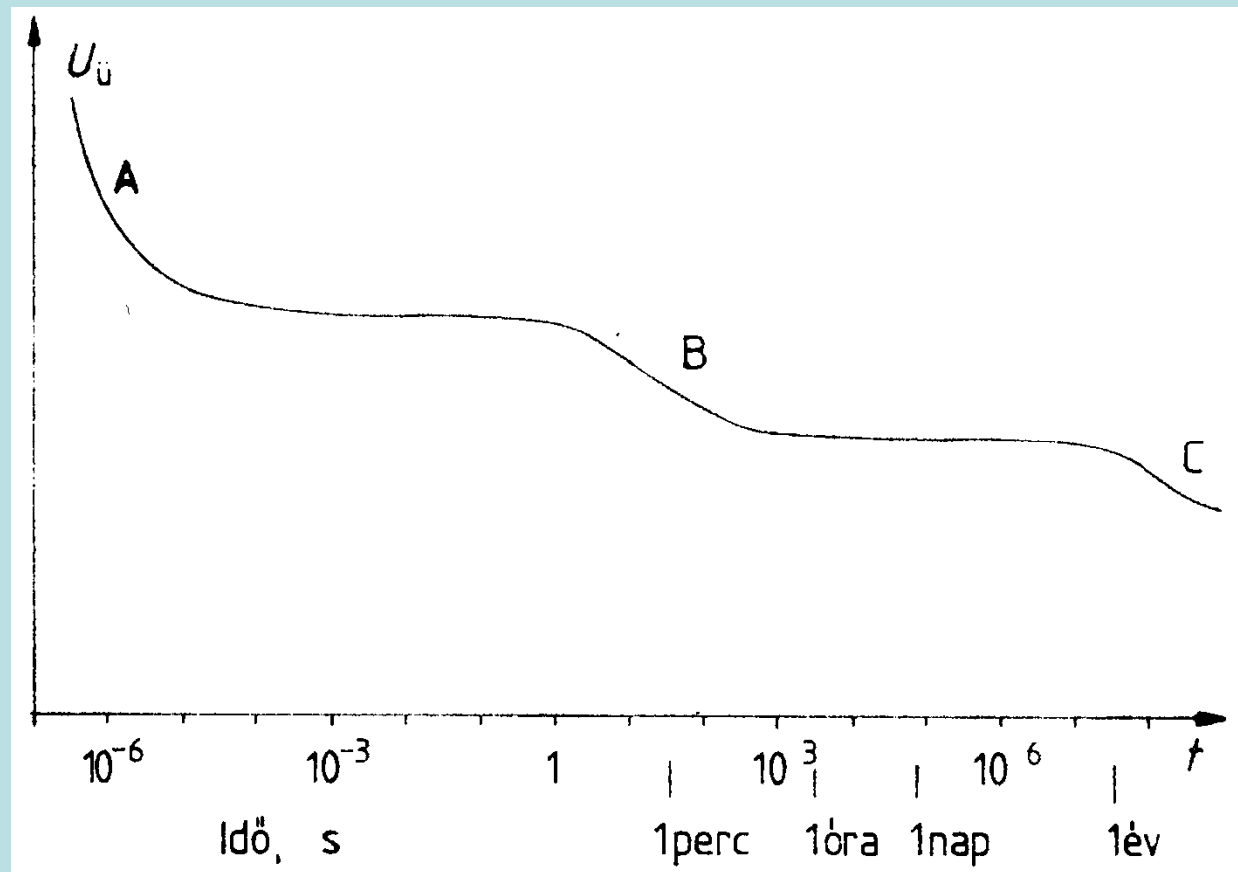
Az átütés jelleggörbéjének meghatározása lökőfeszültséggel



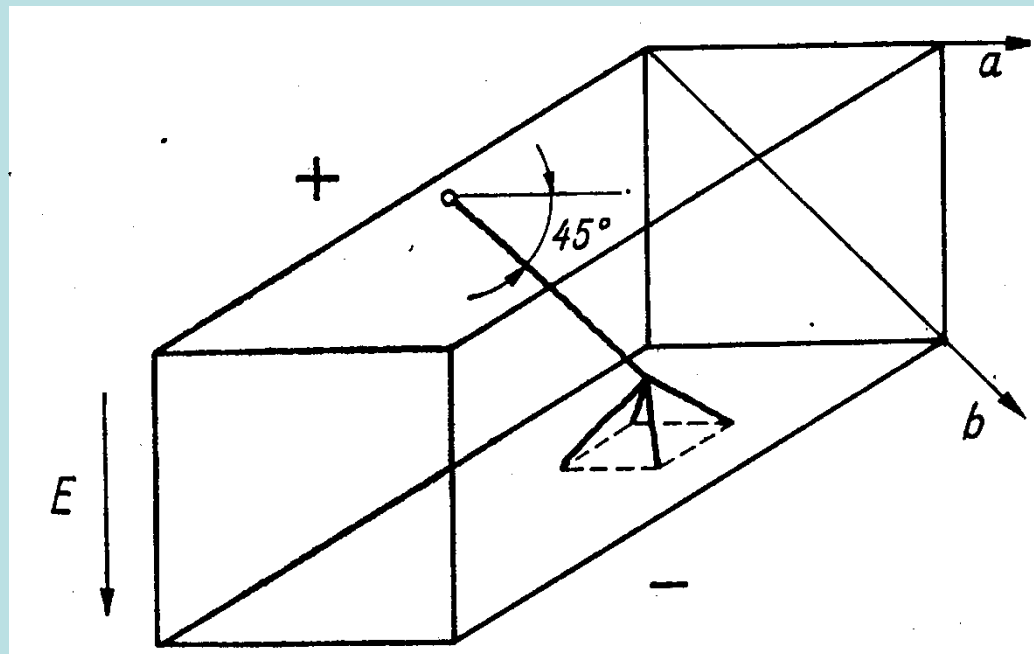
A polaritás hatása



Kisülések szilárd szigetelőanyagokban



Tisztán villamos átütés kőszókristályban



**KÖSZÖNÖM
A
FIGYELMET!**

Villamos kapcsolókészülékek

BMEVIVEA336

Nagyfeszültség előállítása

Vizsgálófeszültségek fajtái:

- Váltakozó feszültség,
- egyenfeszültség,
- aperiodikus feszültség hullám,
- nagyfrekvenciás, csillapodó feszültség hullám.

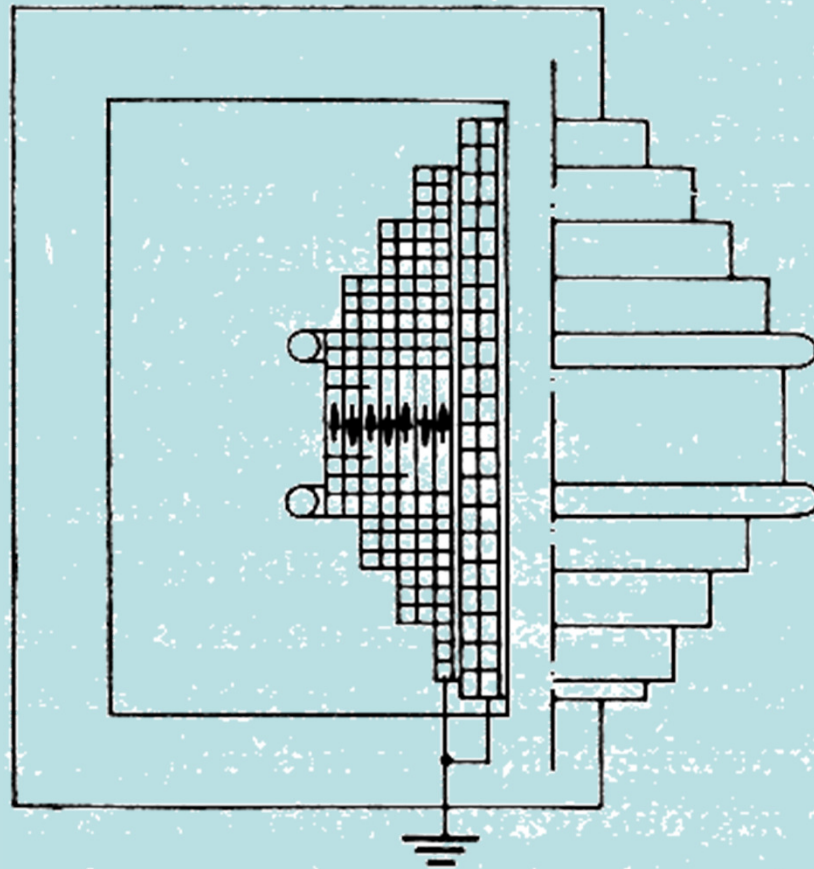
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Próbatranszformátorok

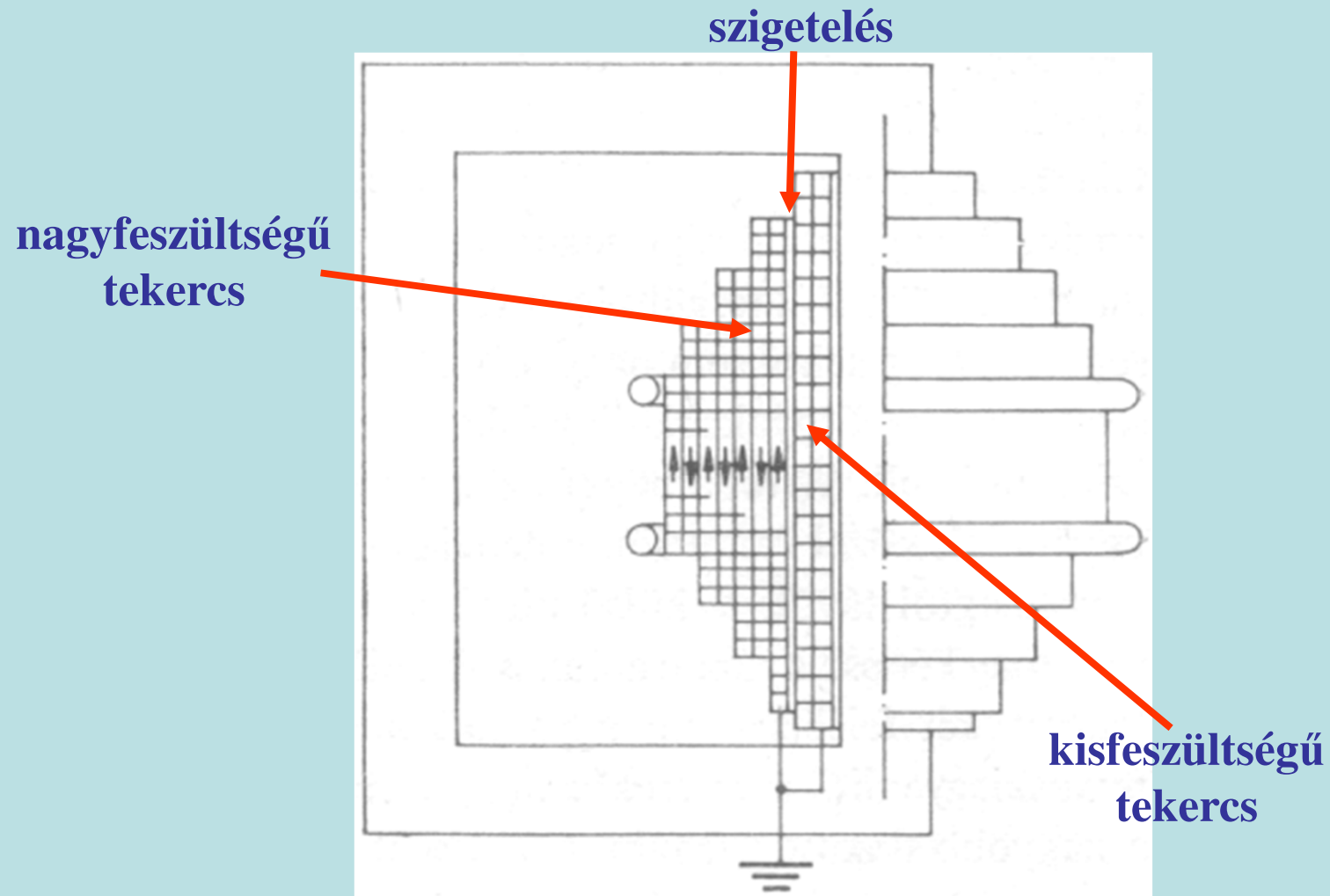


Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Próbatranszformátor lépcsős felépítésű nagyfeszültségű tekercse:

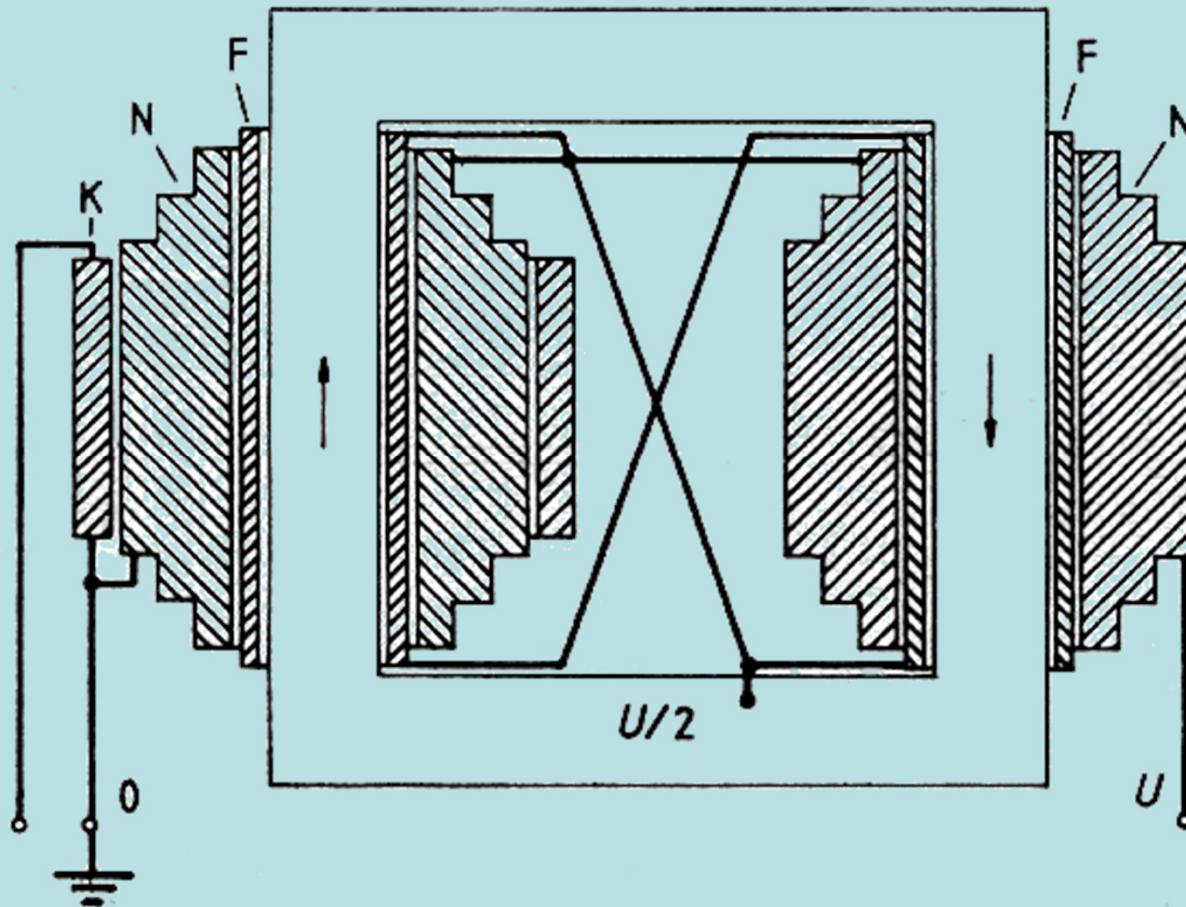


Lépcsős felépítésű nagyfeszültségű tekercselés, áramirányok feltüntetésével

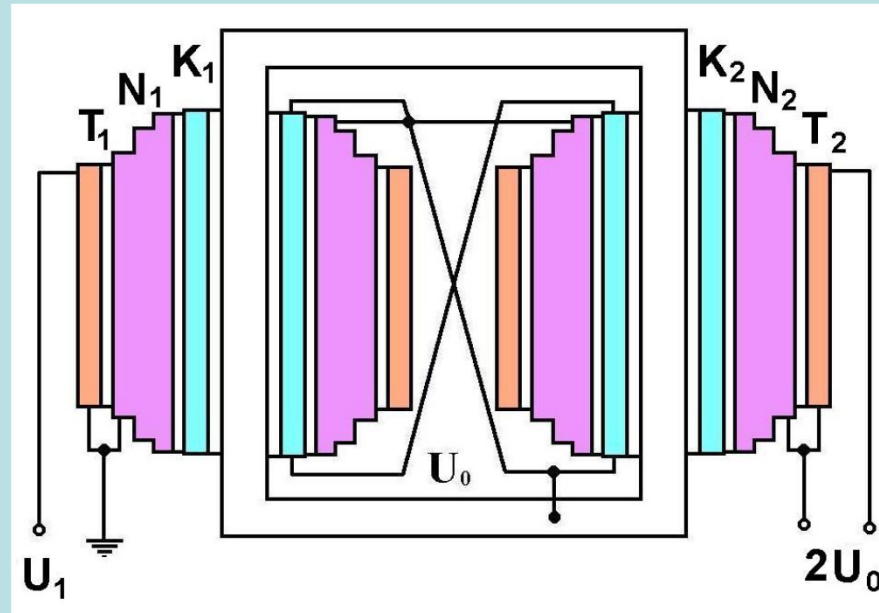


Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Szigetelés igénybevételének megosztása két félre osztott tekercssel és félfeszültségen lévő vasmaggal:



Próbatranszformátorok



T_1, T_2 : tápláló tekercs

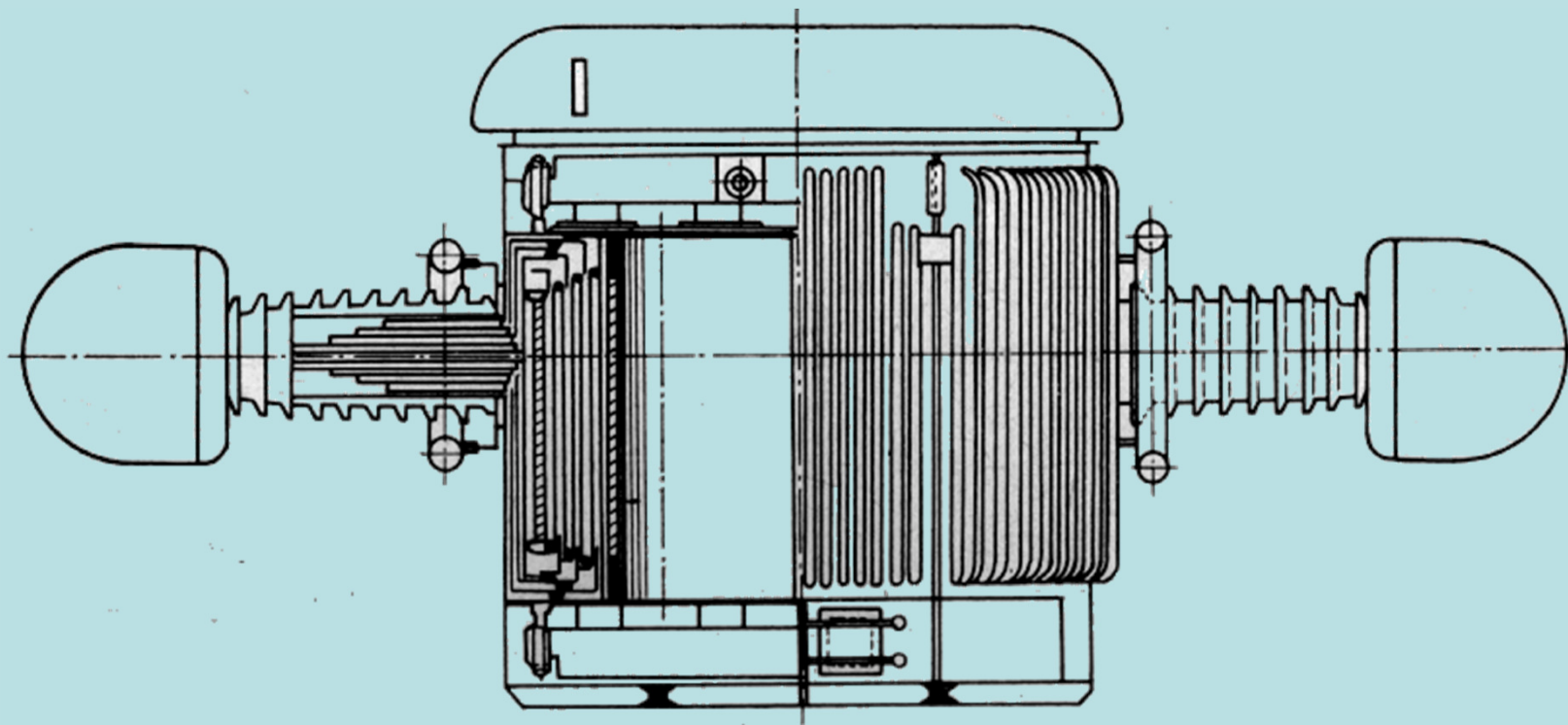
N_1, N_2 : nagyfeszültségű tekercs

K_1, K_2 : kiegyenlítő tekercs

A vasmagot el kell szigetelni a föld potenciáltól!!!

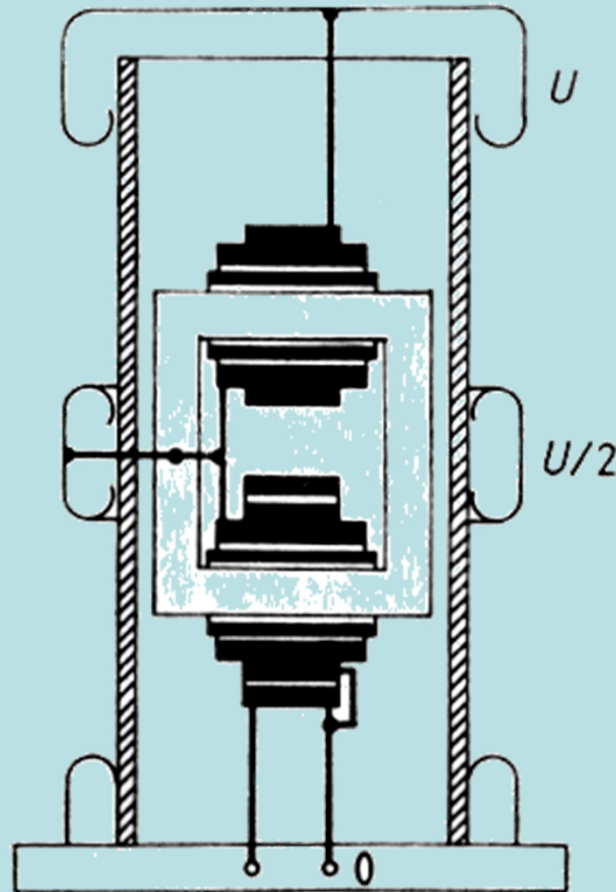
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Szigetelés igénybevételének megosztása két félre osztott tekercessel és félfeszültségen lévő vasmaggal:



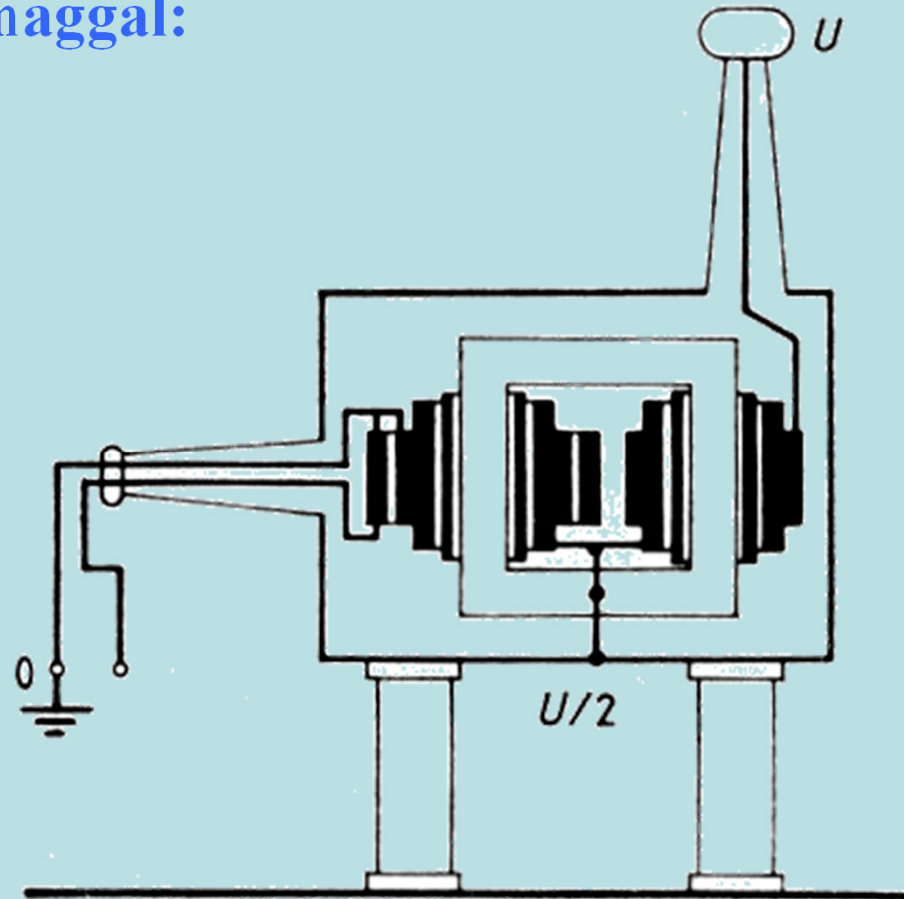
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

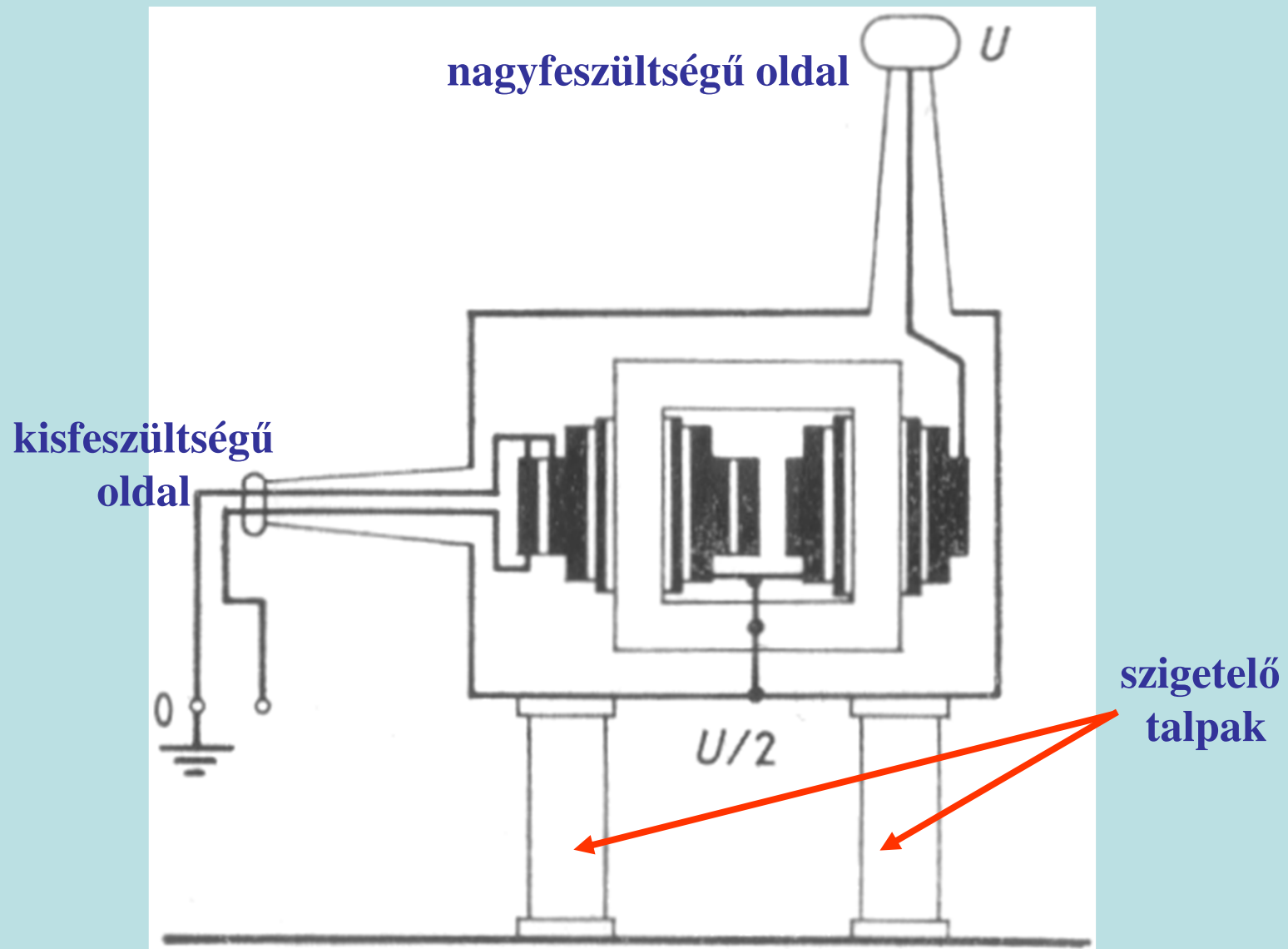
Szigetelő házba épített olajszigetelésű transzformátor:



Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

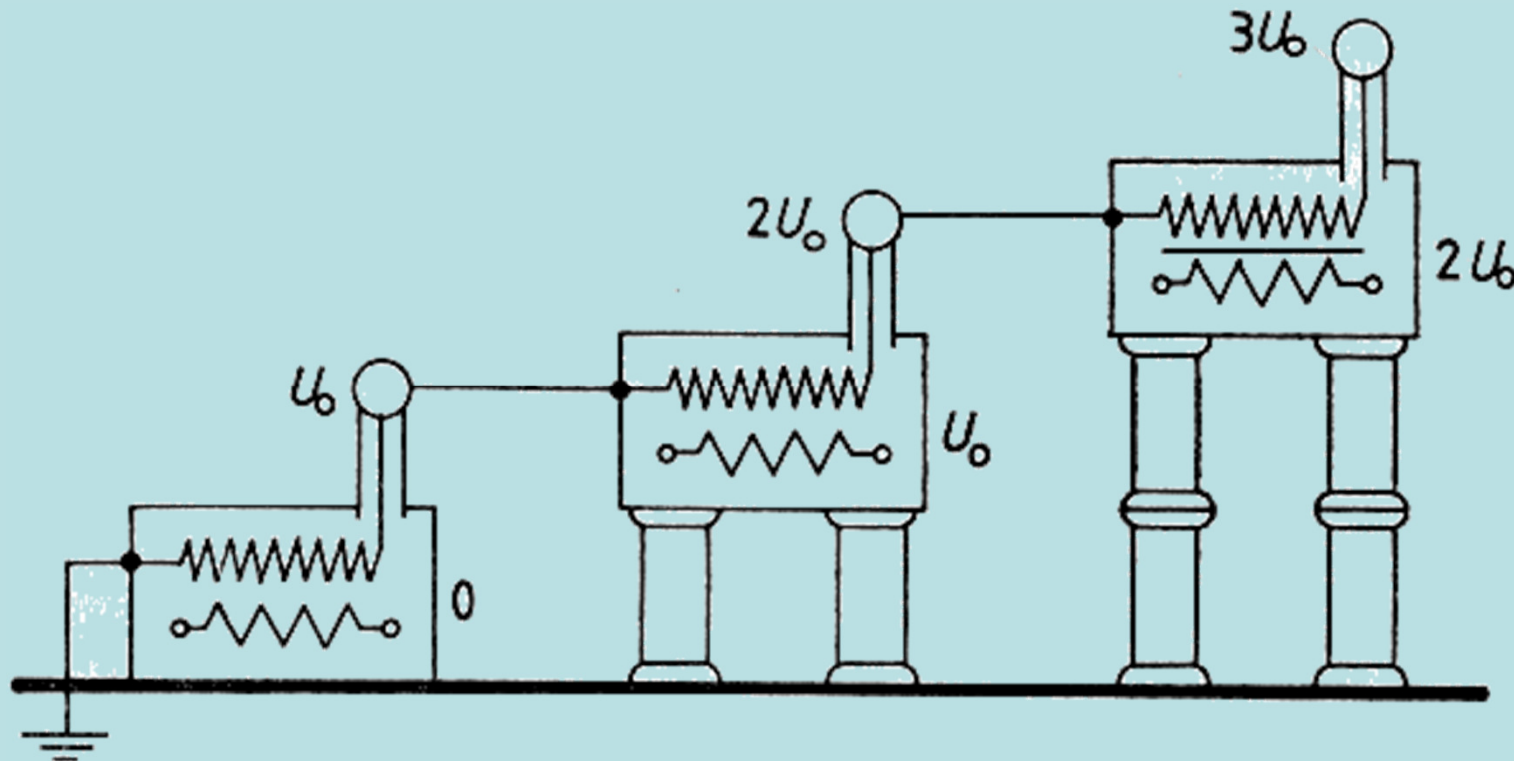
Osztott tekercsű próbatranszformátor a földtől szigetelt házzal és vasmaggal:





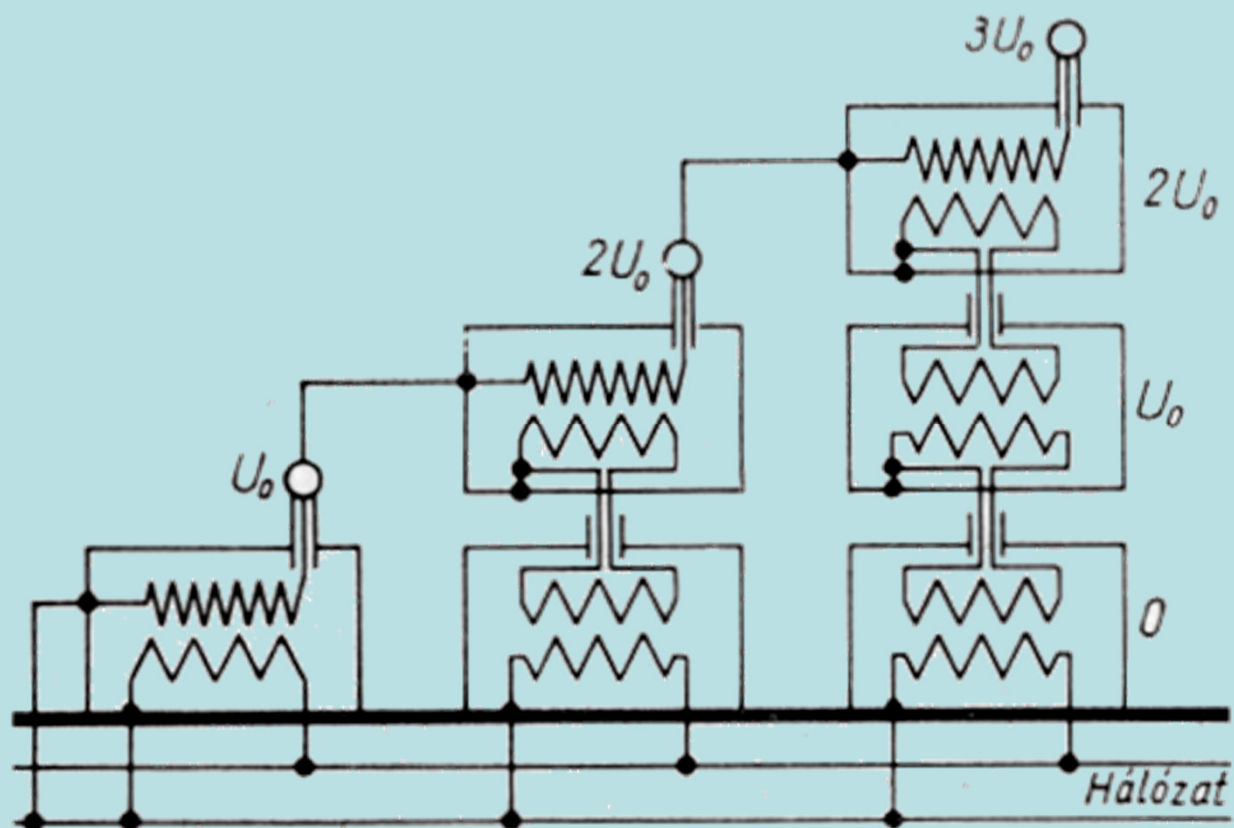
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Lépcsős transzformátorok:



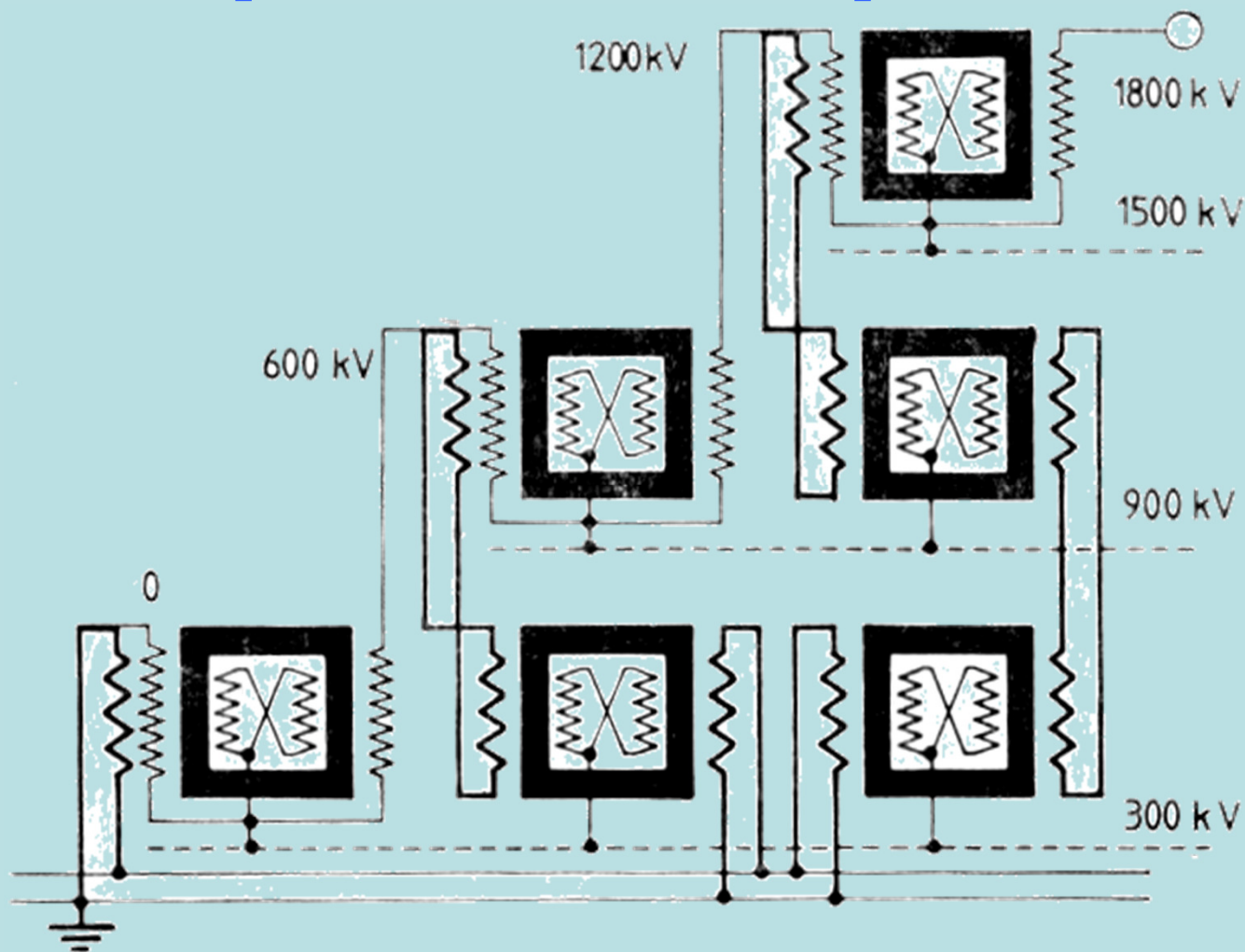
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Dessauer-féle lépcsős transzformátor kapcsolása:



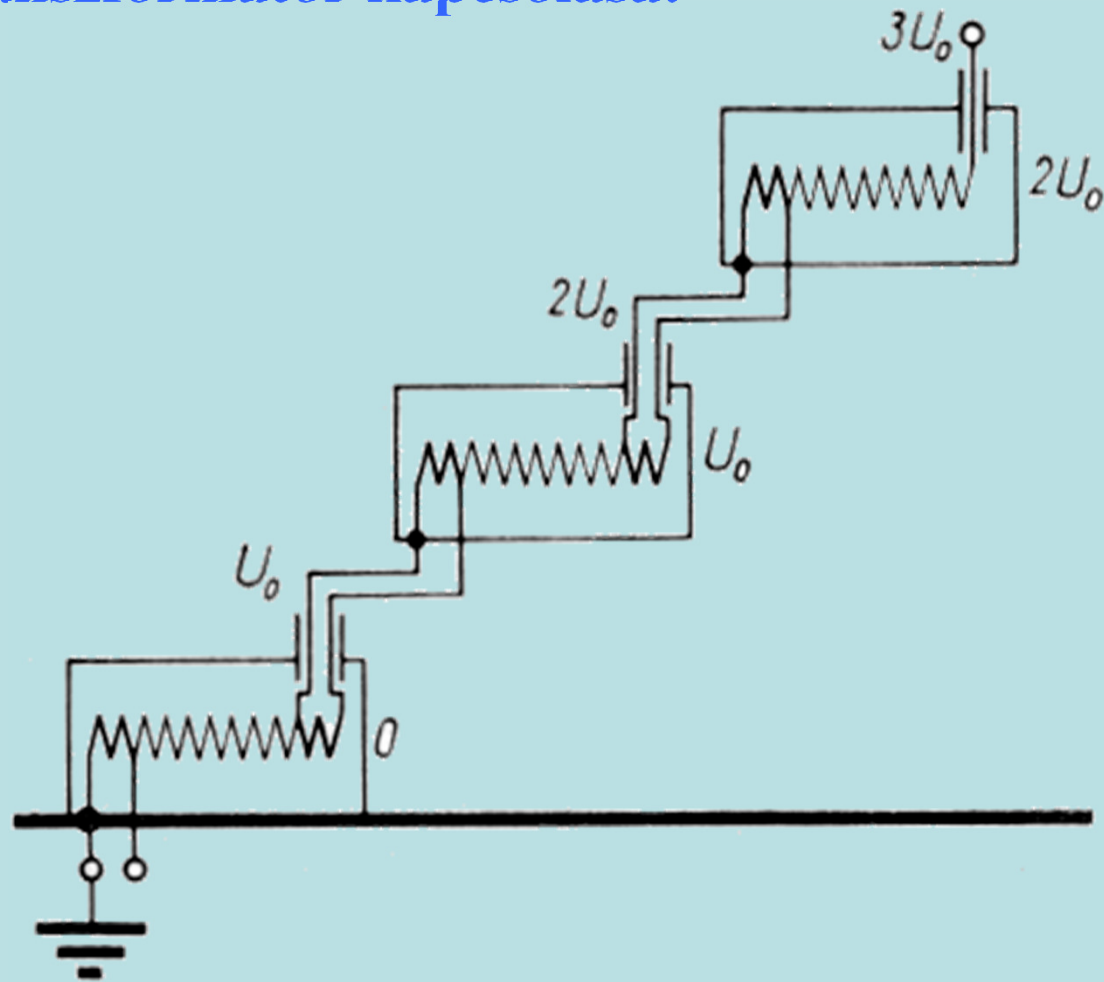
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Dessauer-féle lépcsős transzformátor kapcsolása:



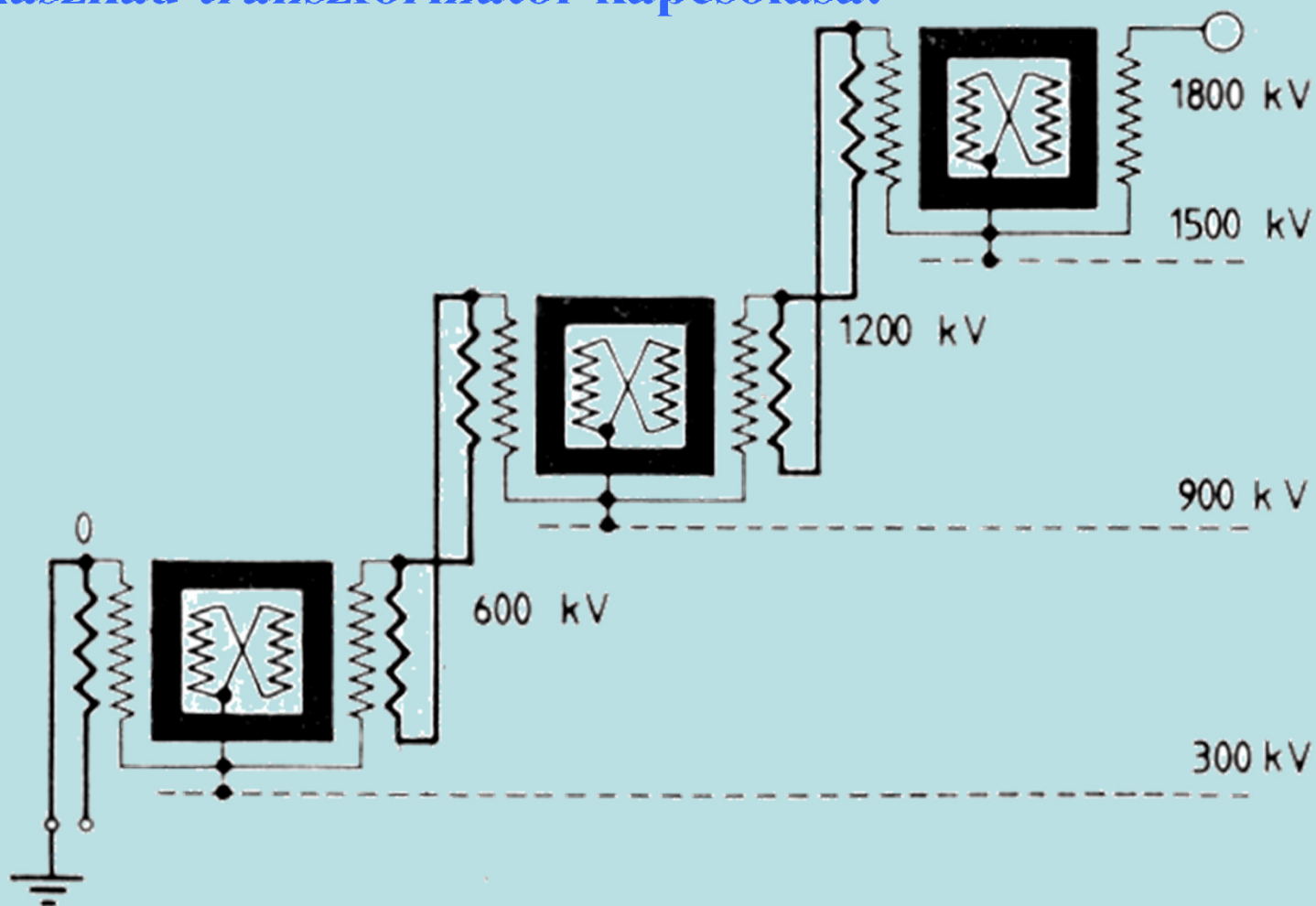
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Kaskád transzformátor kapcsolása:



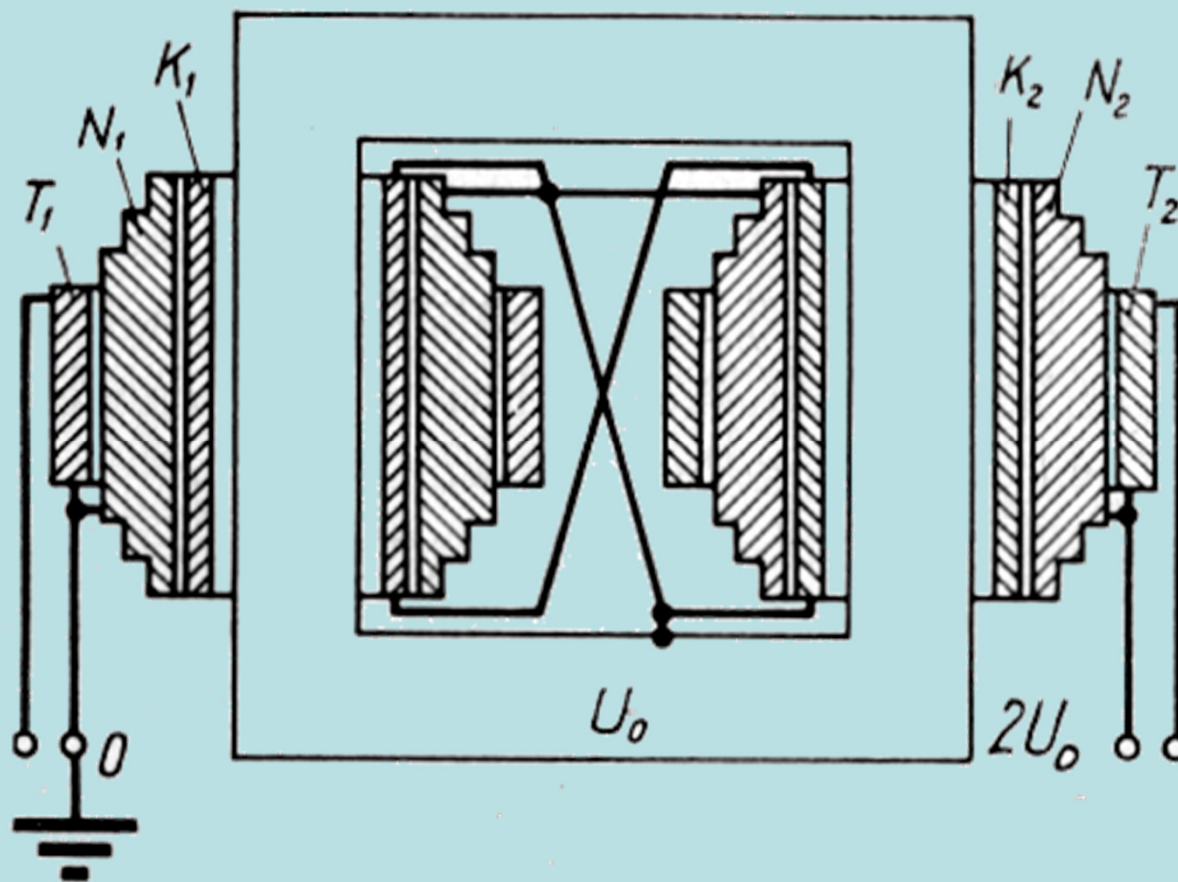
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Kaskád transzformátor kapcsolása:



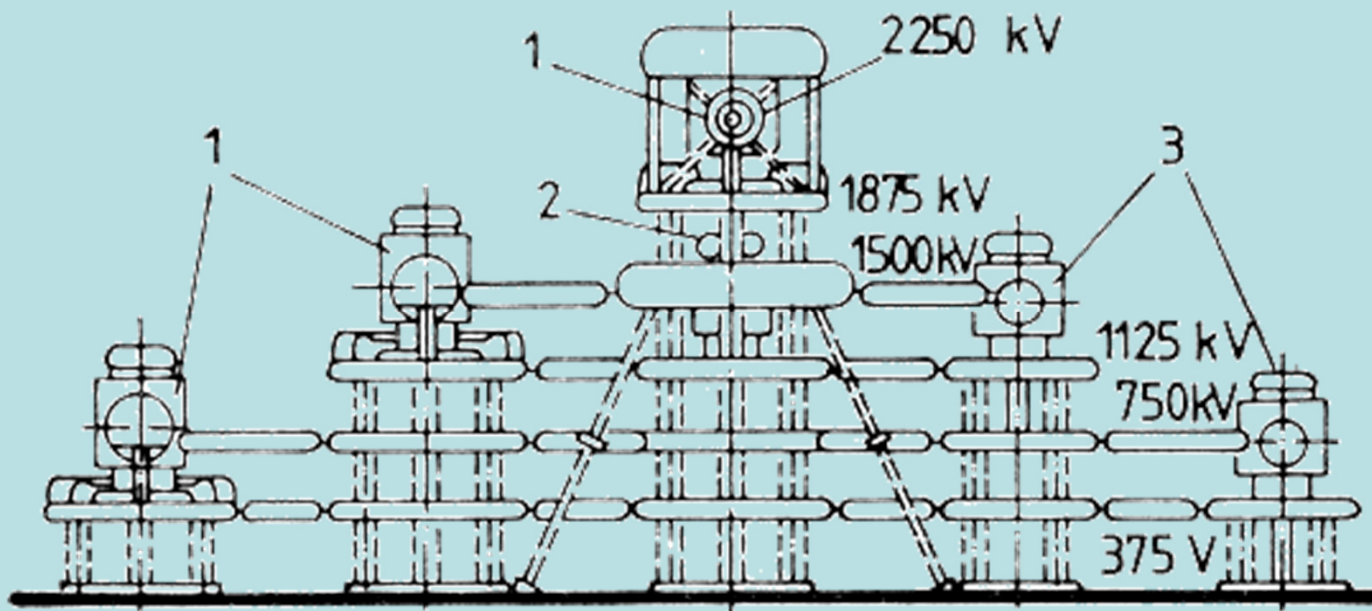
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Osztott tekercsű transzformátor kisfeszültségű tekercessel a nagyfeszültségű oldalon:



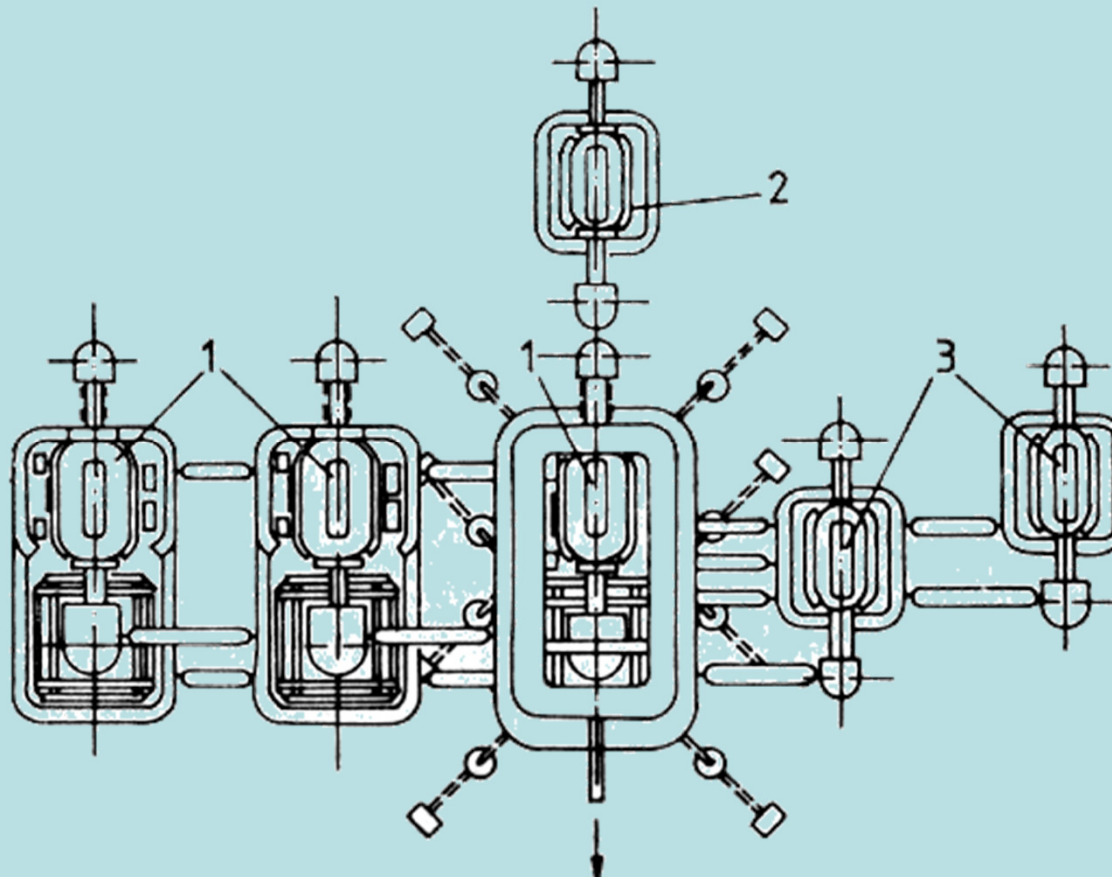
Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Dessauer-rendszerű 3x750 kV-os próbatranszformátor:



Ipari frekvenciájú váltakozófeszültség előállítása

Dessauer-rendszerű 3x750 kV-os próbatranszformátor:



Nagy egyenfeszültség előállítása

Nagy egyenfeszültség előállítása

Egyenfeszültség paraméterei:

Hullámosság:

$$h = \frac{U_{CS \max} - U_{CS \min}}{2}$$

Lineáris középérték:

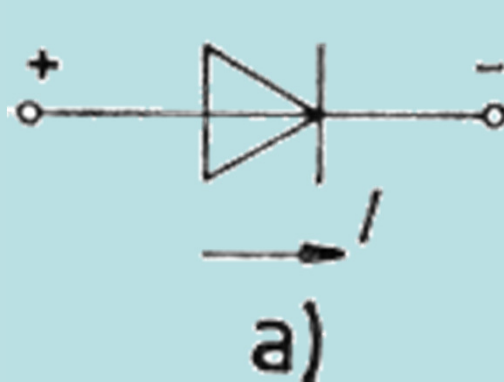
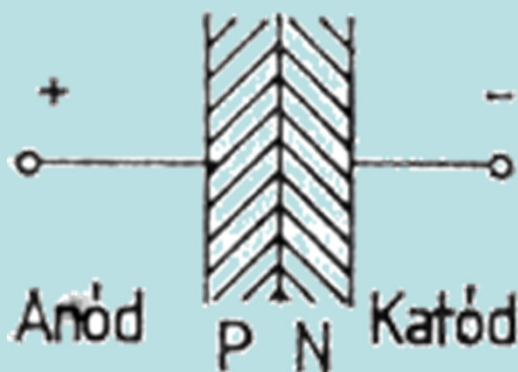
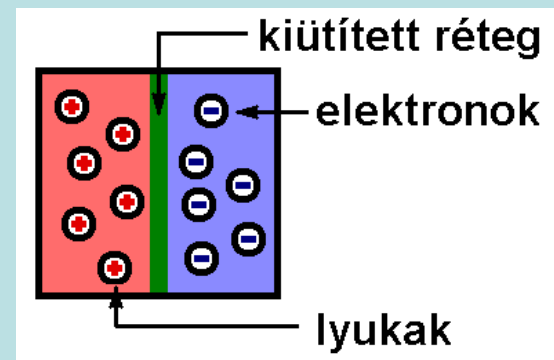
$$U = U_{CS \min} + h$$

Polaritás: A földhöz viszonyítva pozitív vagy negatív.

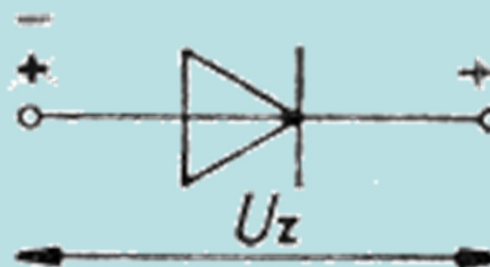
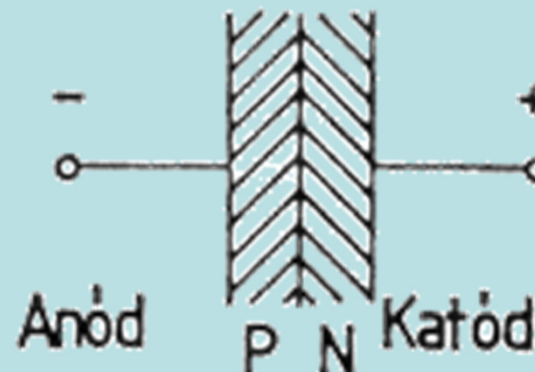
Nagyfeszültségű egyenirányítók

Félvezető dióda

a) vezető állapotban; b) záró állapotban



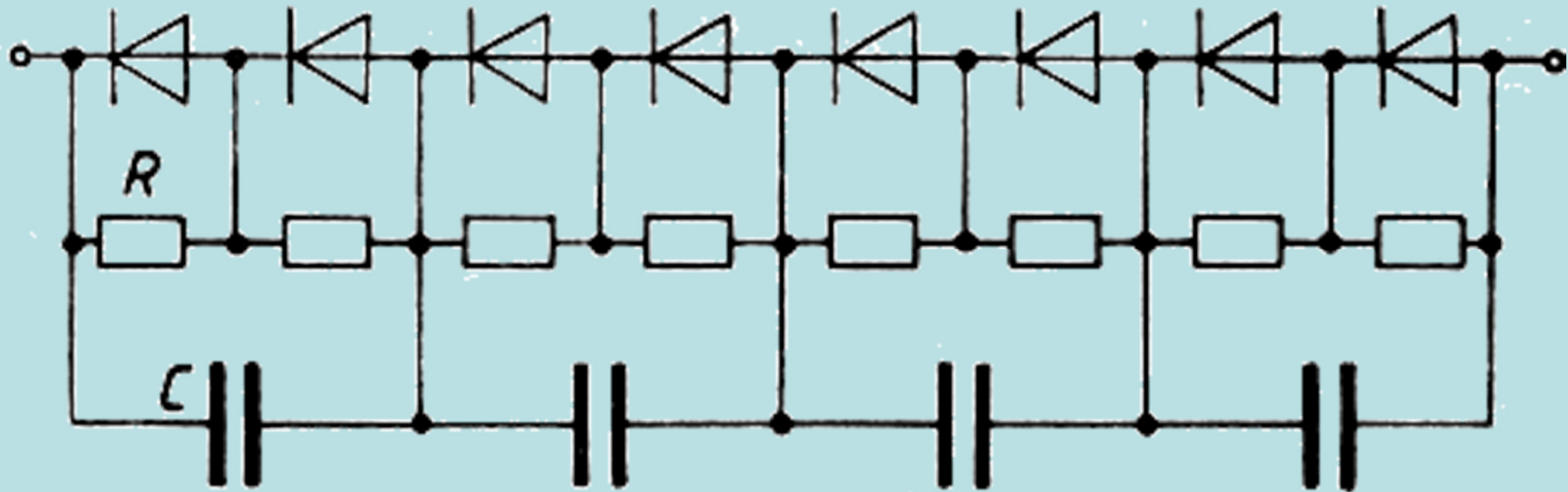
a)



b)

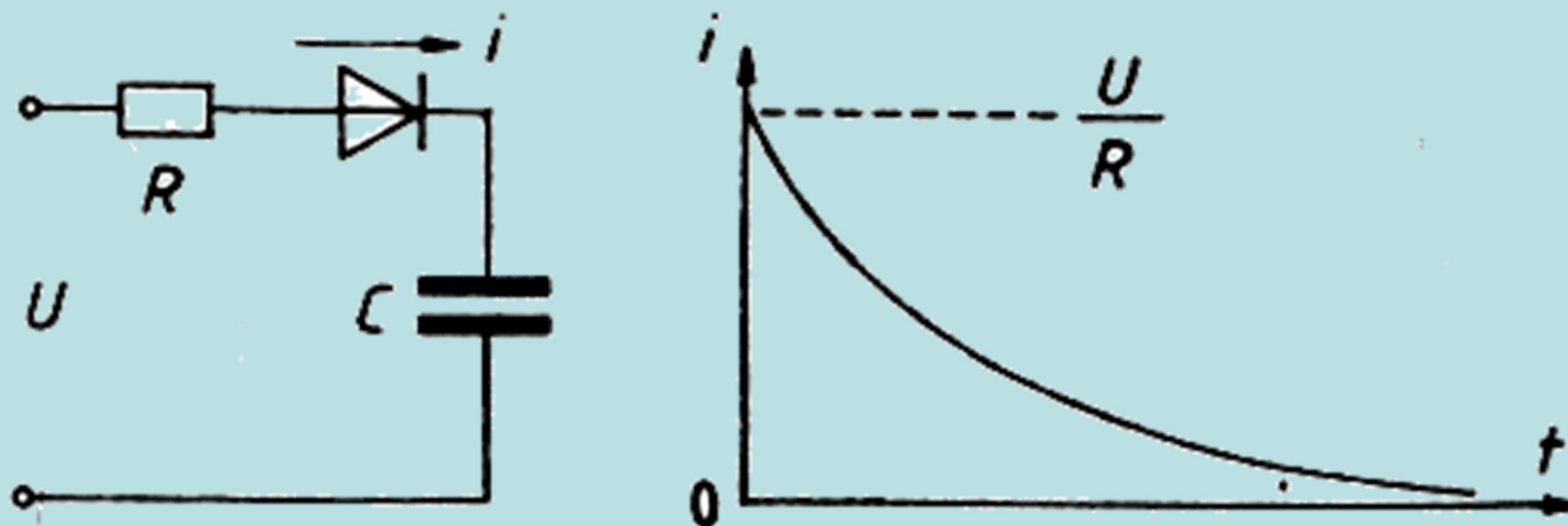
Nagyfeszültségű egyenirányítók

Diódákból összeállított nagyfeszültségű egyenirányító
feszültségvezérlő ellenállásokkal és kondenzátorokkal



Nagyfeszültségű egyenirányítók

Dióda árama kondenzátor feltöltésekor:

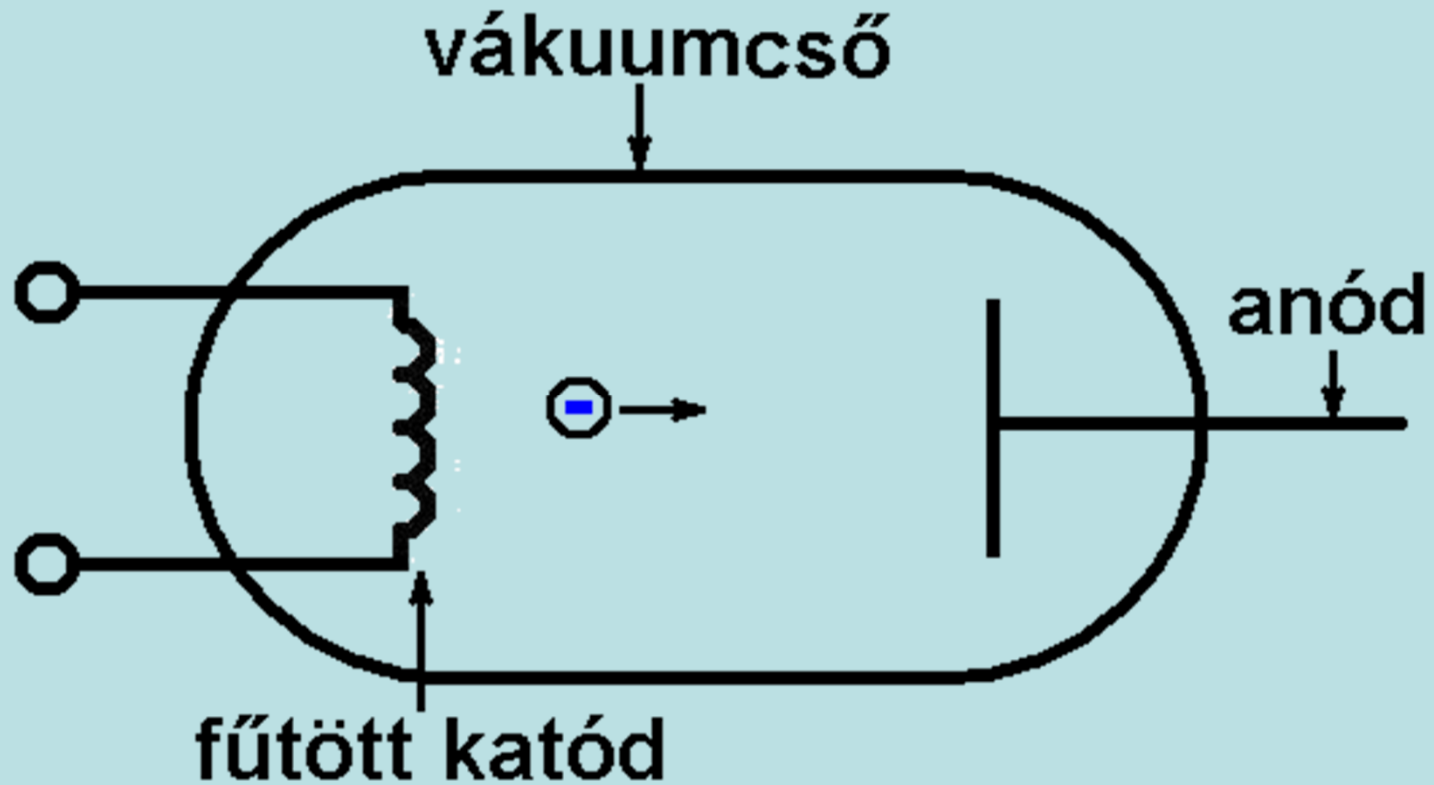


$$I = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$W_i = \int_0^{\infty} i^2 dt \longrightarrow W_i = \frac{1}{2R} CU^2 = \frac{W_C}{R}$$

Nagyfeszültségű egyenirányítók

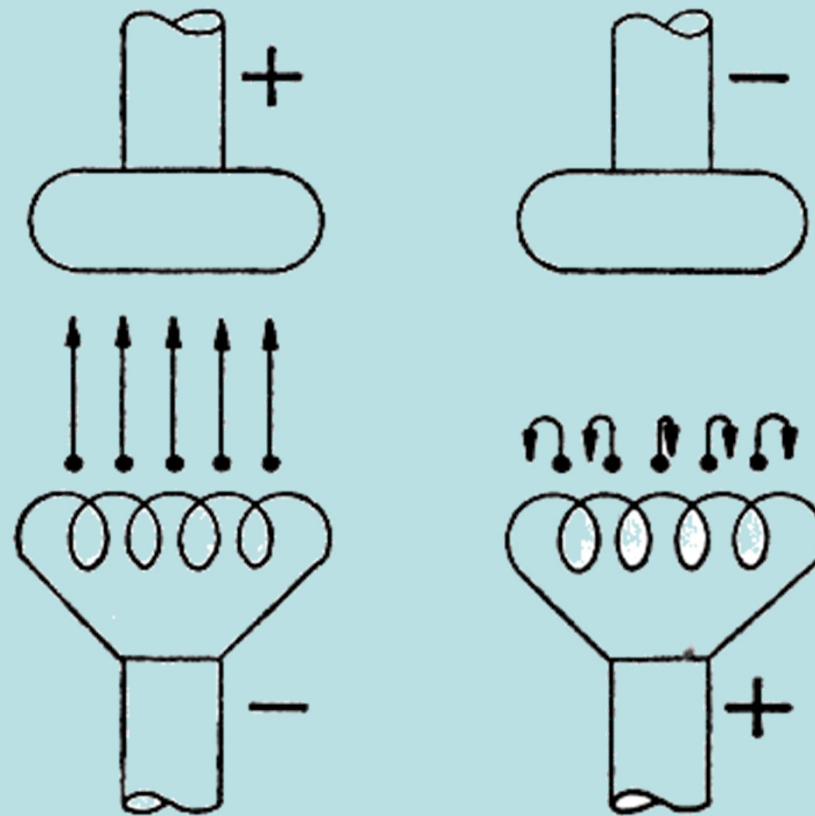
Nagyfeszültségű vákuumdióda:



Nagyfeszültségű egyenirányítók

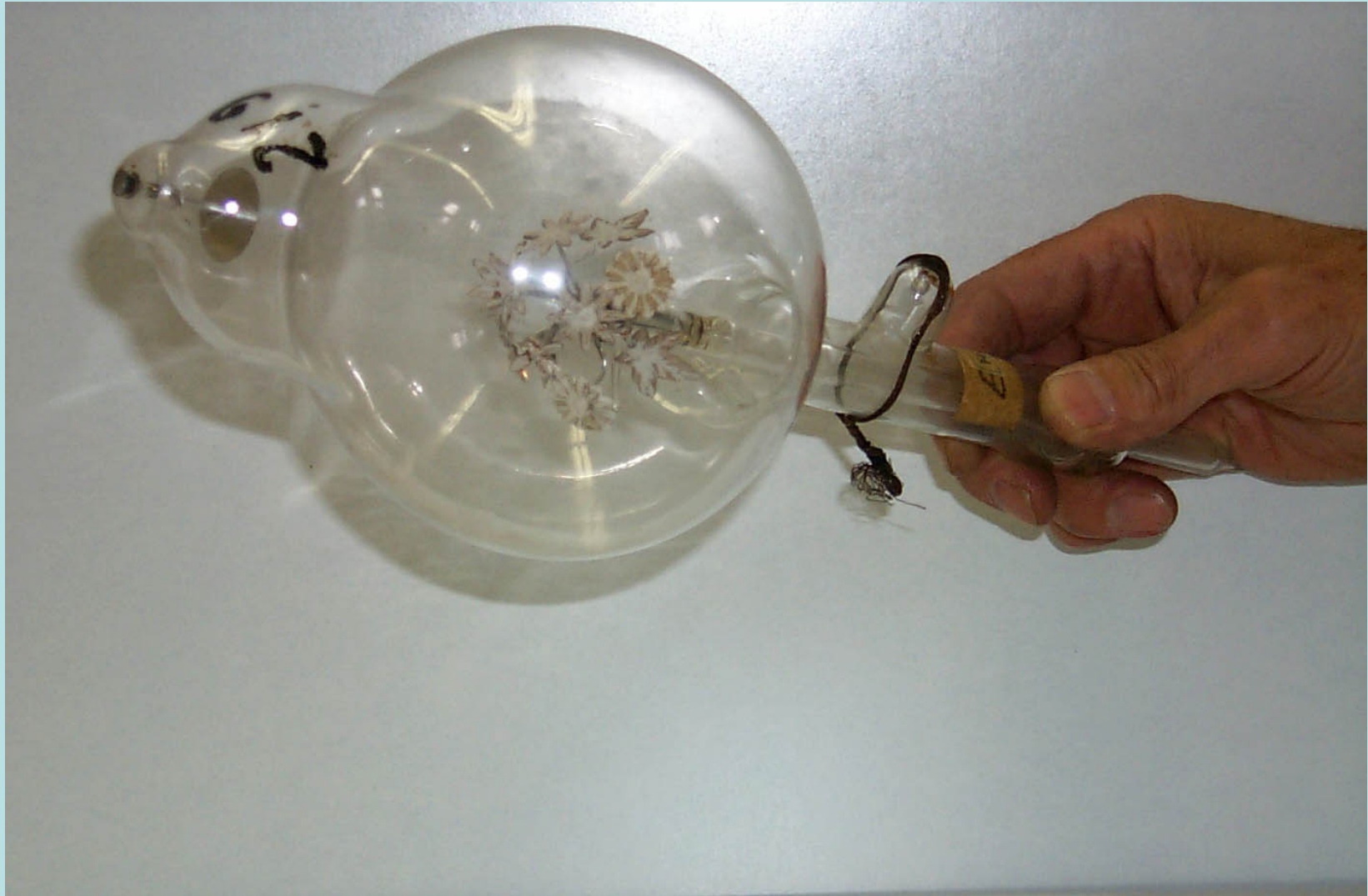
A vákuumdióda üzemállapotai:

a) vezető állapot; b) záró állapot



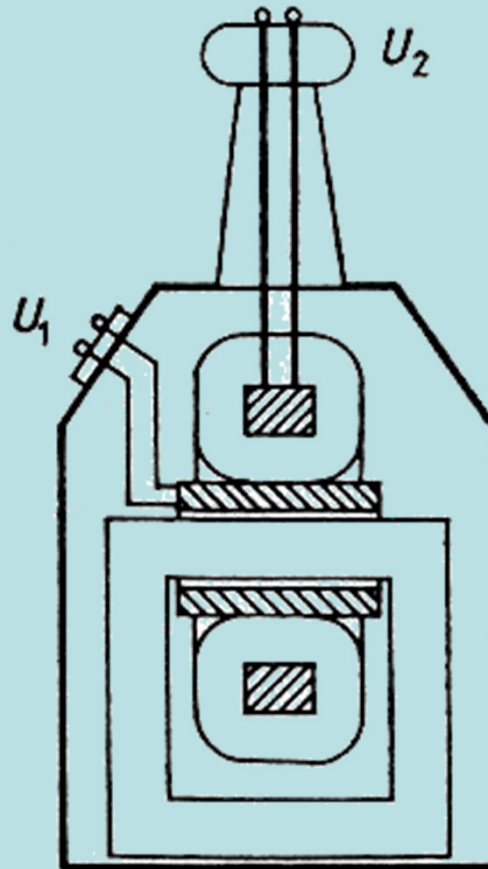
a)

b)



Nagyfeszültségű egyenirányítók

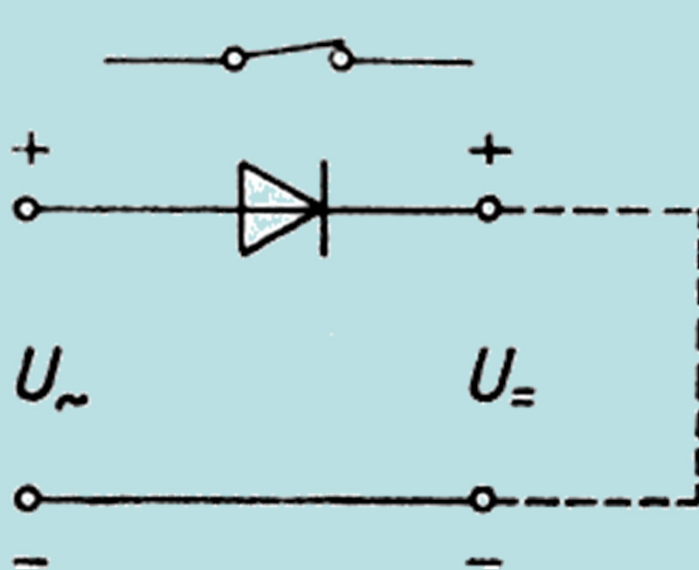
Fűtőtranszformátor vákuumdiódához:



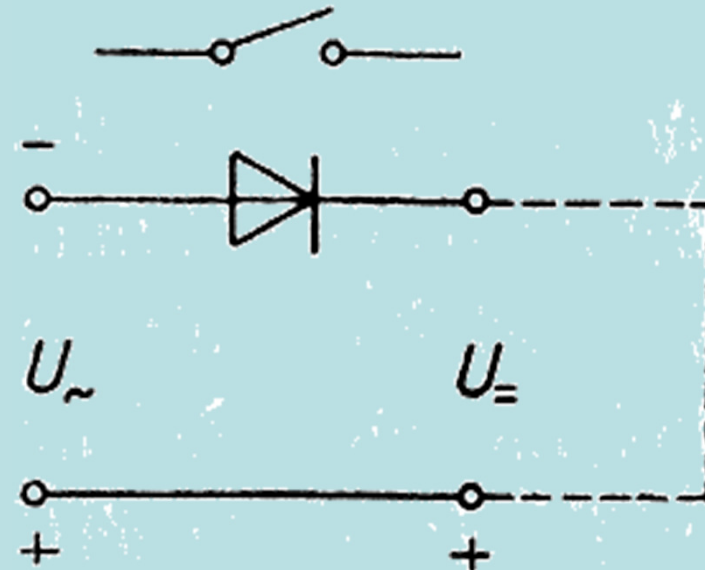
Nagyfeszültségű egyenirányítók

A dióda üzemállapotát helyettesítő kapcsoló:

a) vezető állapot; b) záró állapot



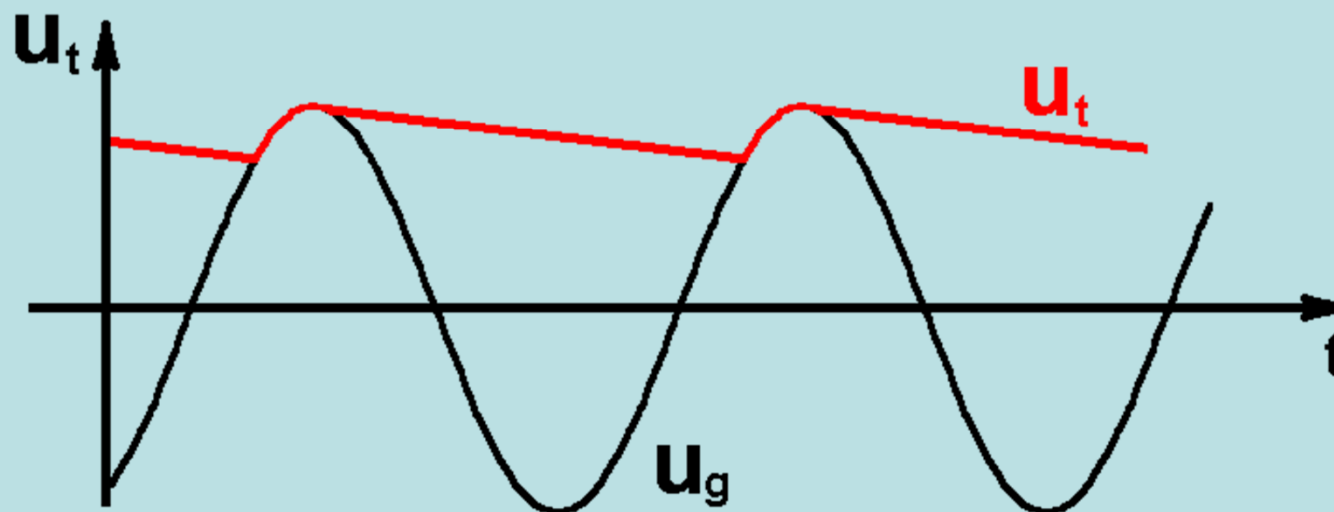
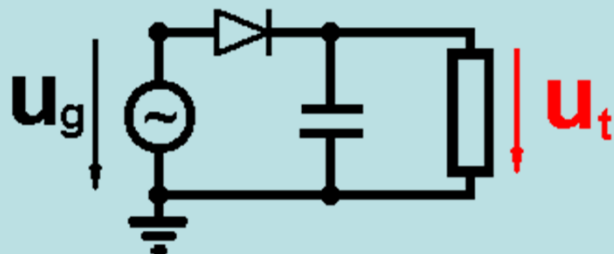
a)



b)

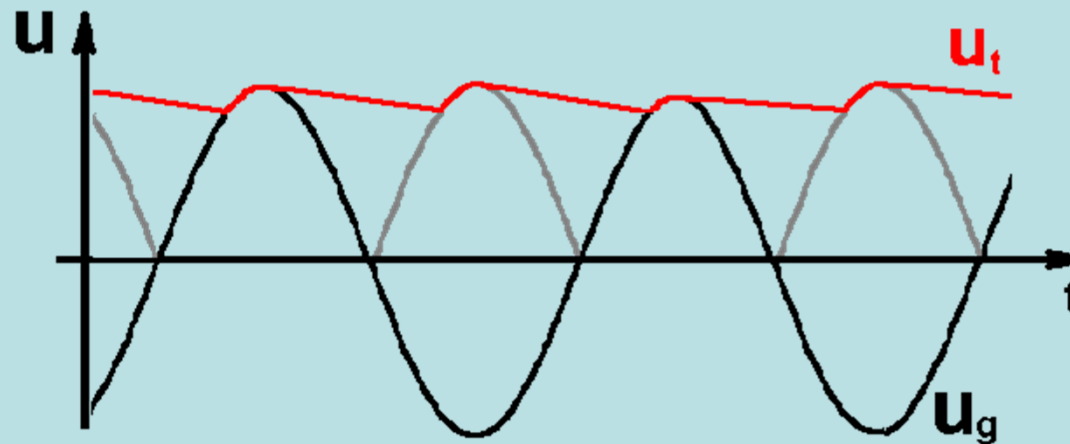
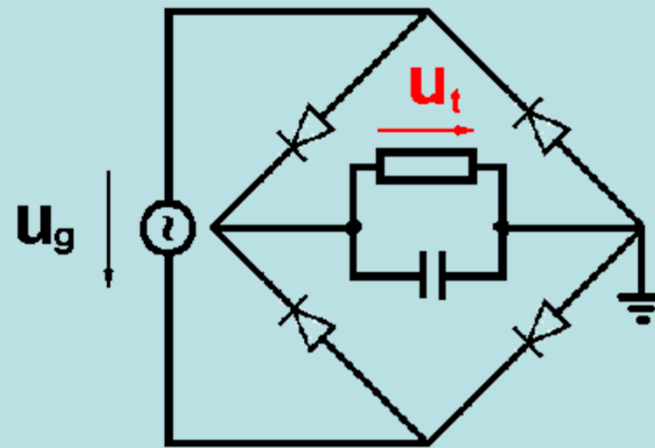
Nagyfeszültségű egyenirányítók

Egyutas egyenirányító:



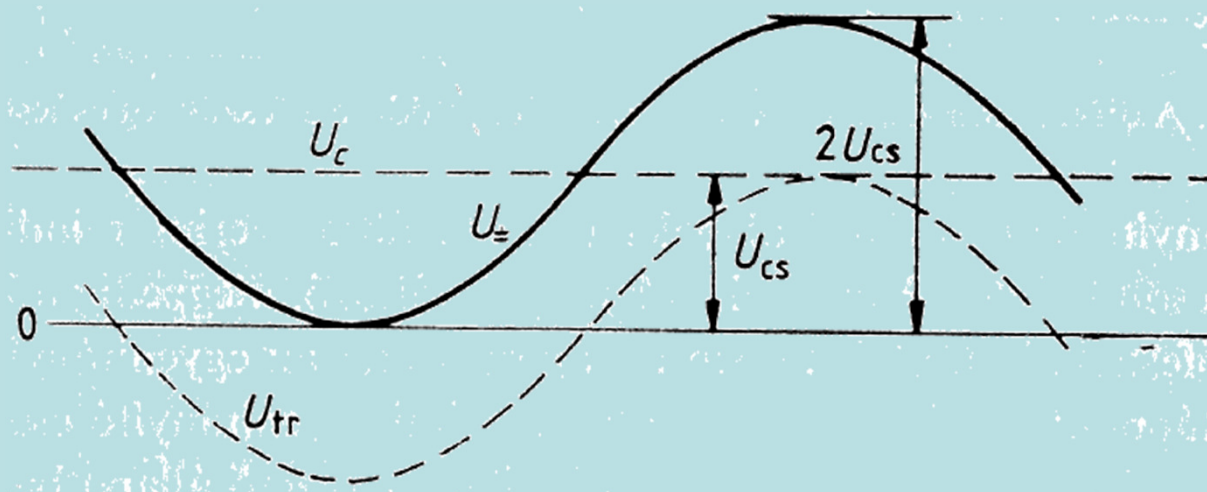
Nagyfeszültségű egyenirányítók

Graetz-kapcsolású (2 utas) egyenirányító:

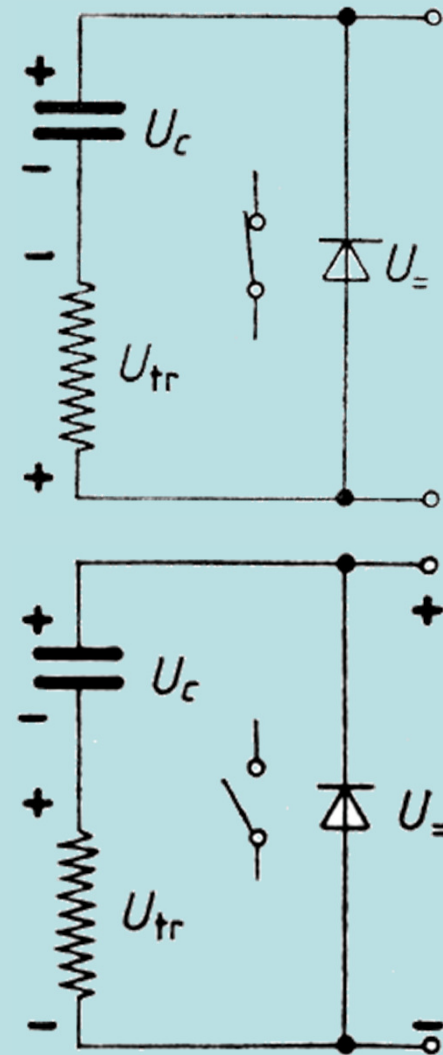


Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

Villard-kapcsolás:

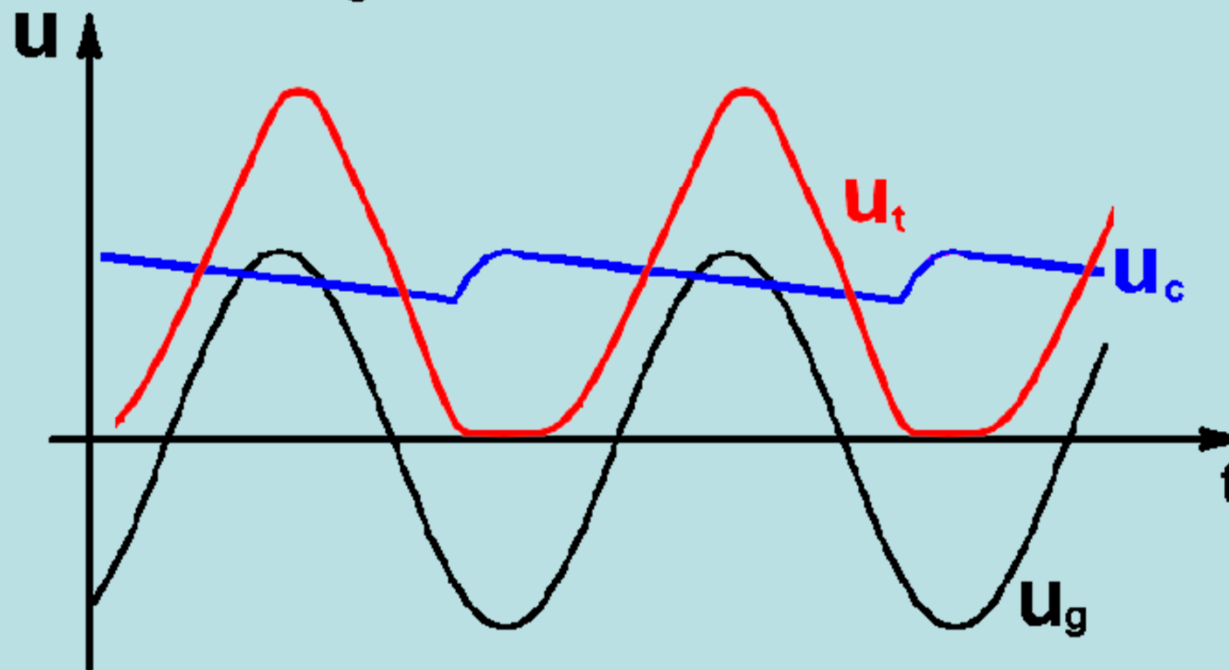
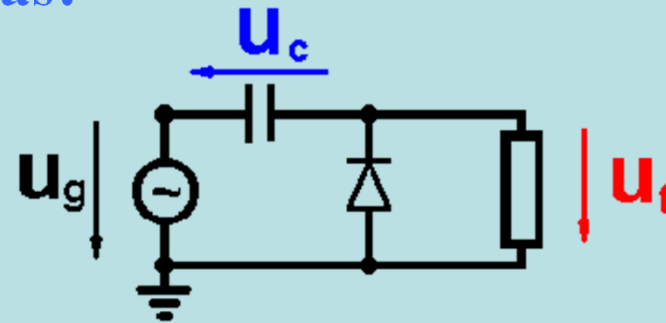


$$U_{=} = U_c + U_{cs} \sin \omega t = U_{cs} (1 + \sin \omega t)$$



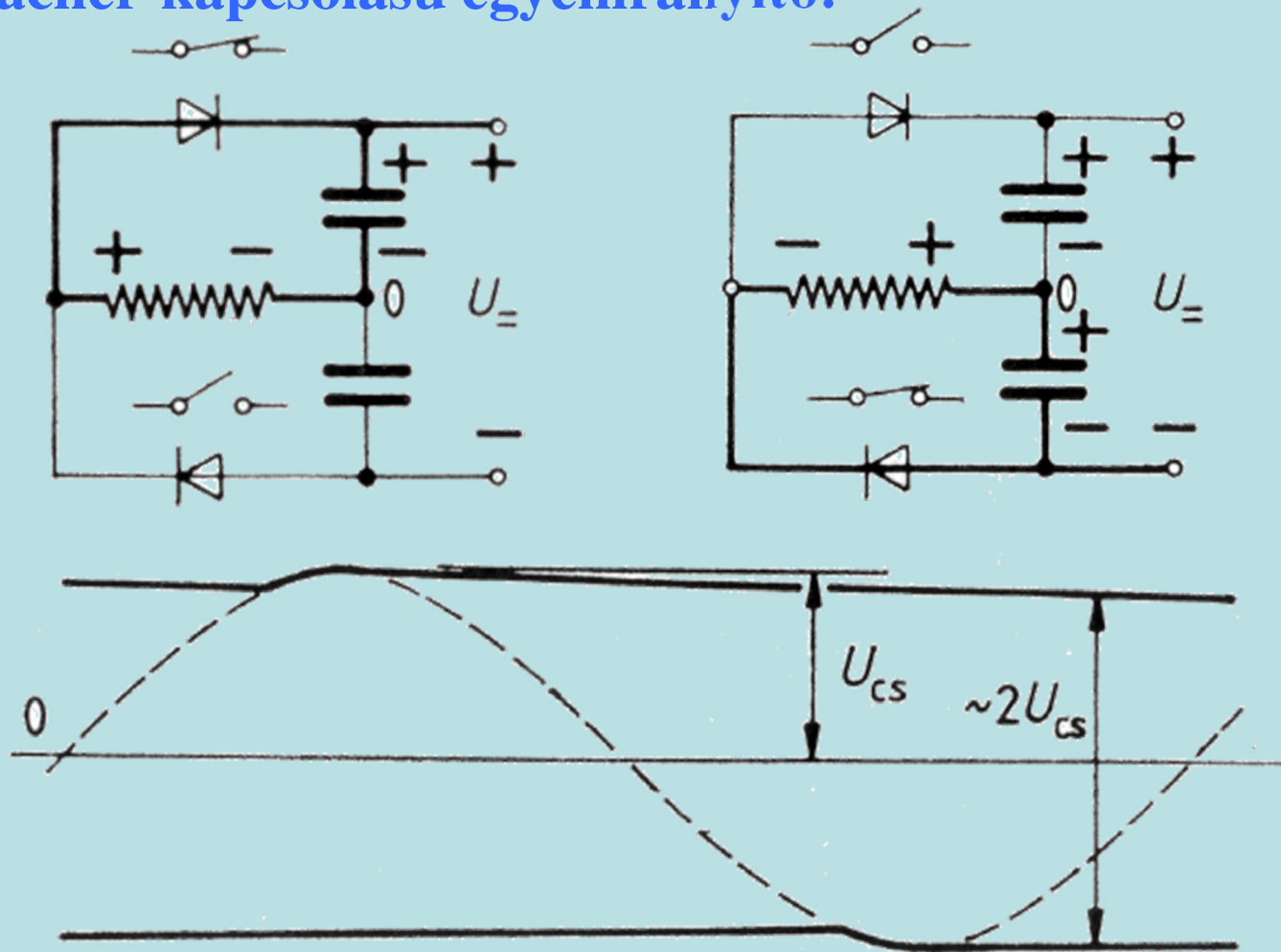
Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

Villard-kapcsolás:



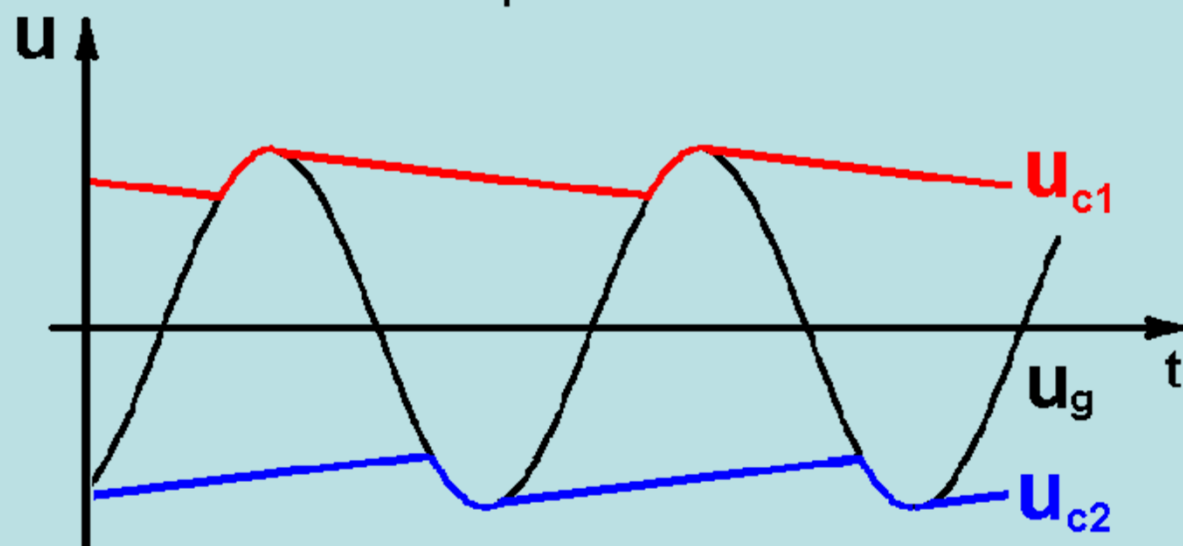
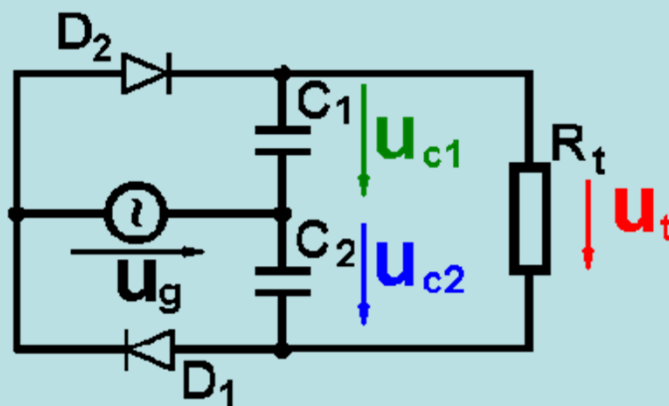
Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

Greinacher-kapcsolású egyenirányító:



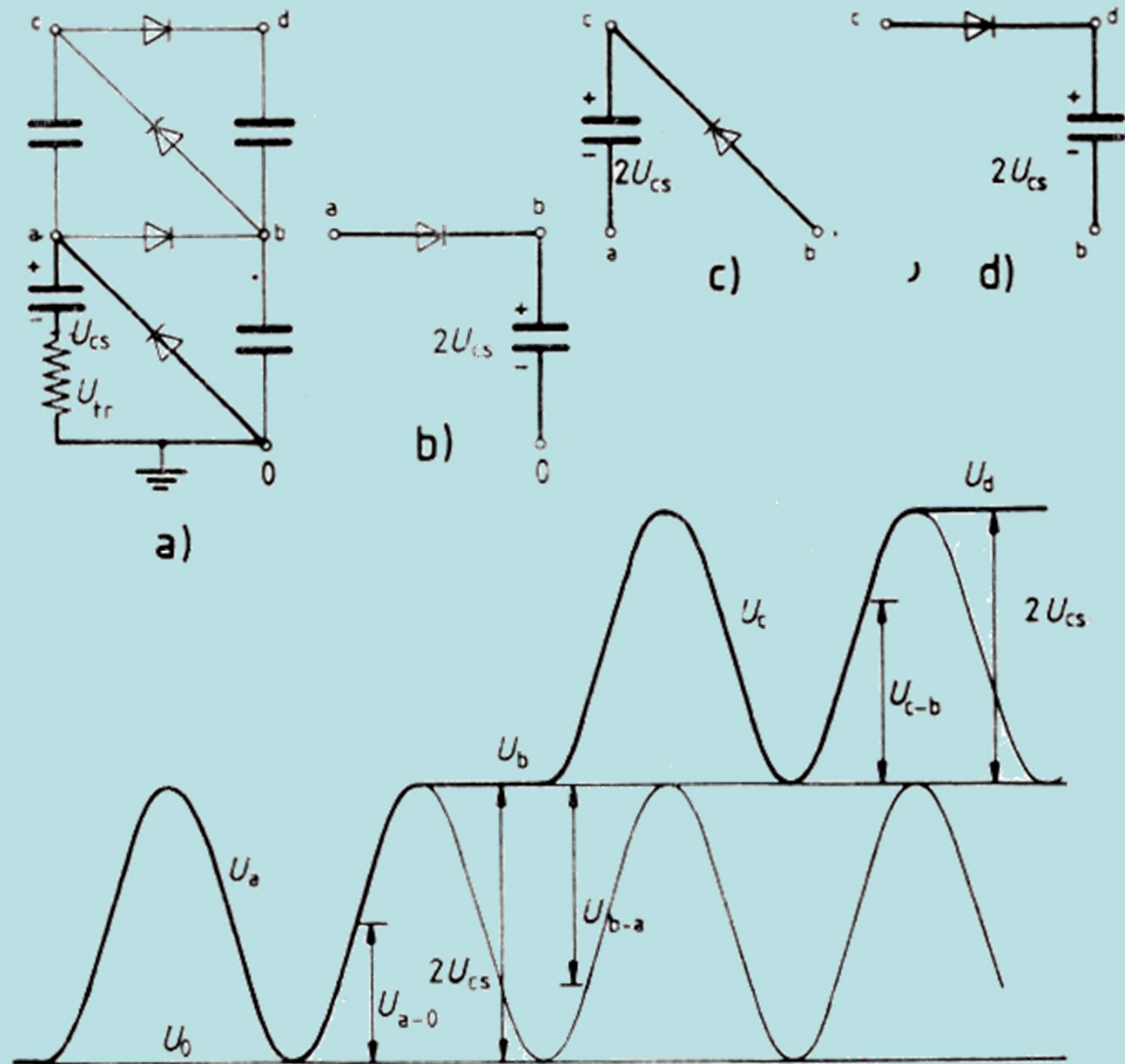
Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

Greinacher-kapcsolású egyenirányító:



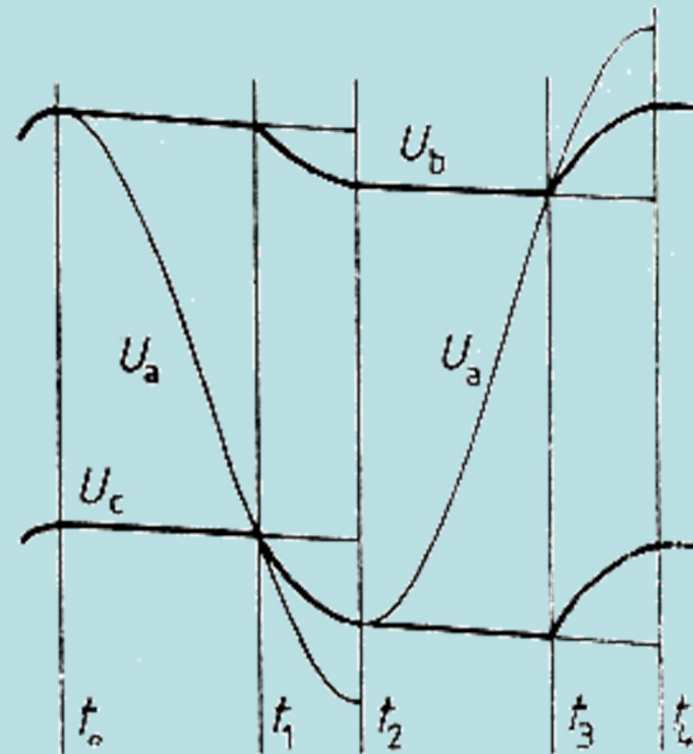
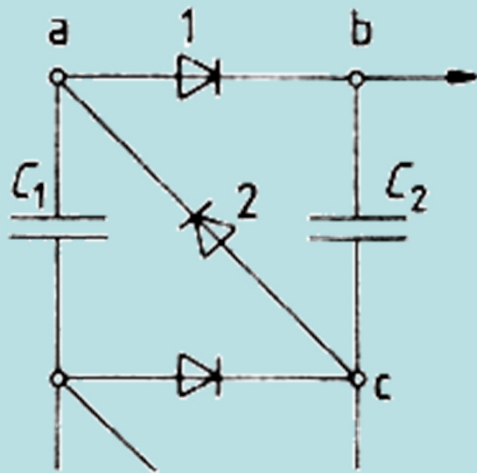
Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

Kaskád
egyenirányító:

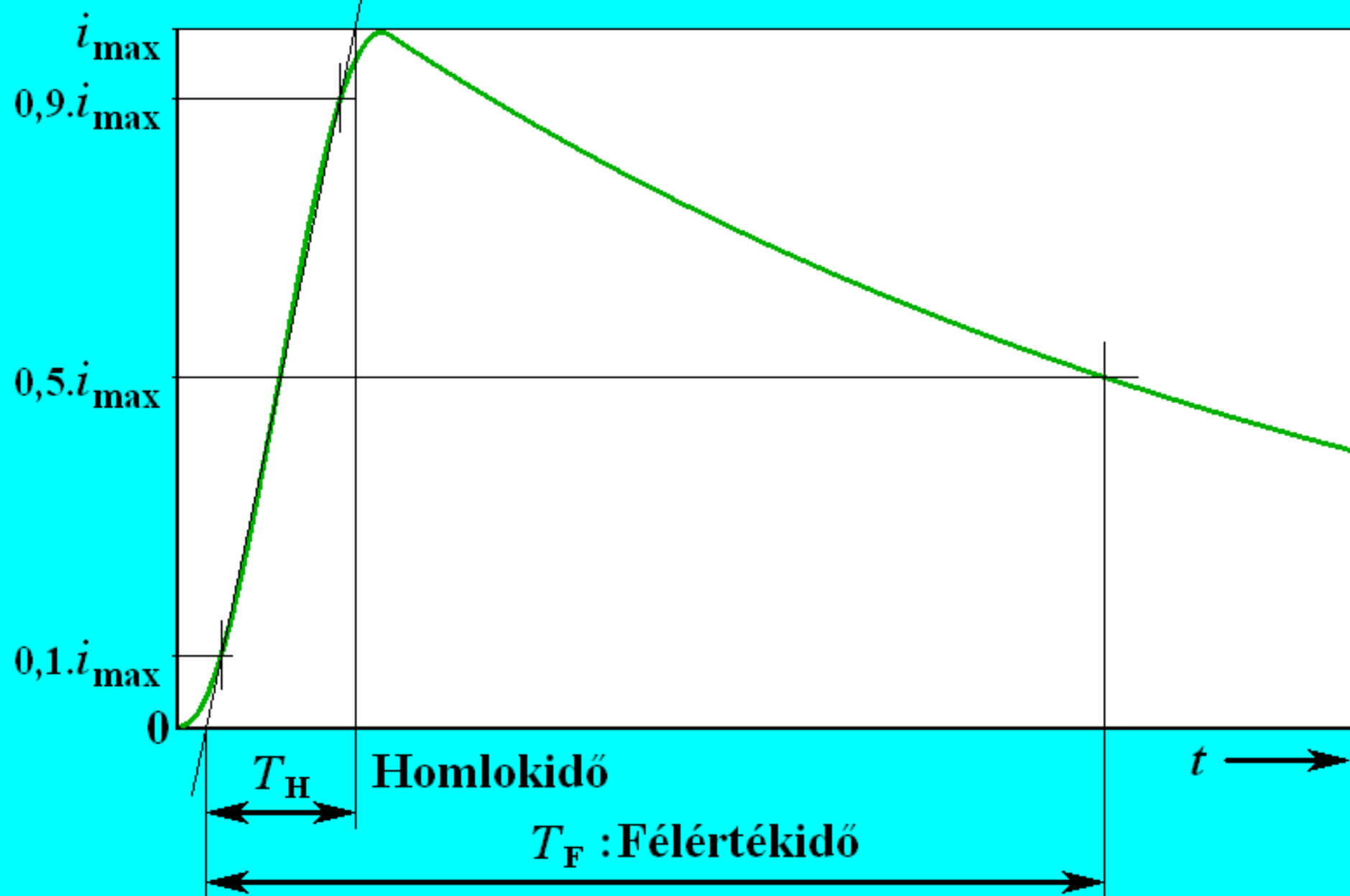


Feszültségnövelő egyenirányító kapcsolások

A kaszkád egyenirányító egy fokozatának feszültségviszonyai terhelés esetén:



Aperiodikus feszültség hullám előállítása



A lökőfeszültség és a kapcsolási hullám előírt jellemzői

	$T_h [\mu s]$	$T_f [\mu s]$
Lökőhullám	1,2	50
Kapcsolási túlfeszültség	250	2500

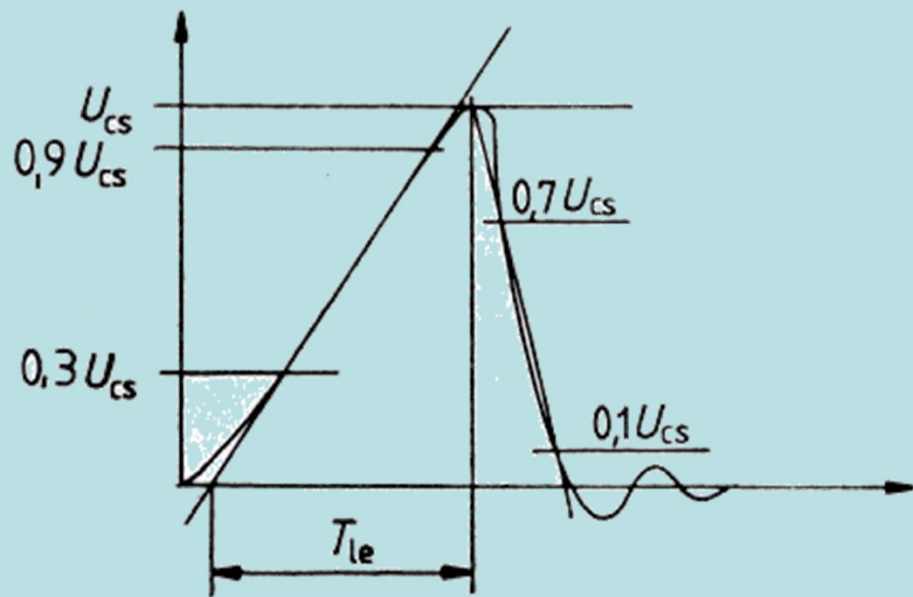
(Tesztáramok)

E	Surge: 8/20 áramhullám
M	ESD: meredek felfutású, néhány ns-os impulzus
C	Burst: néhány ns-os impulzusokból álló csomag

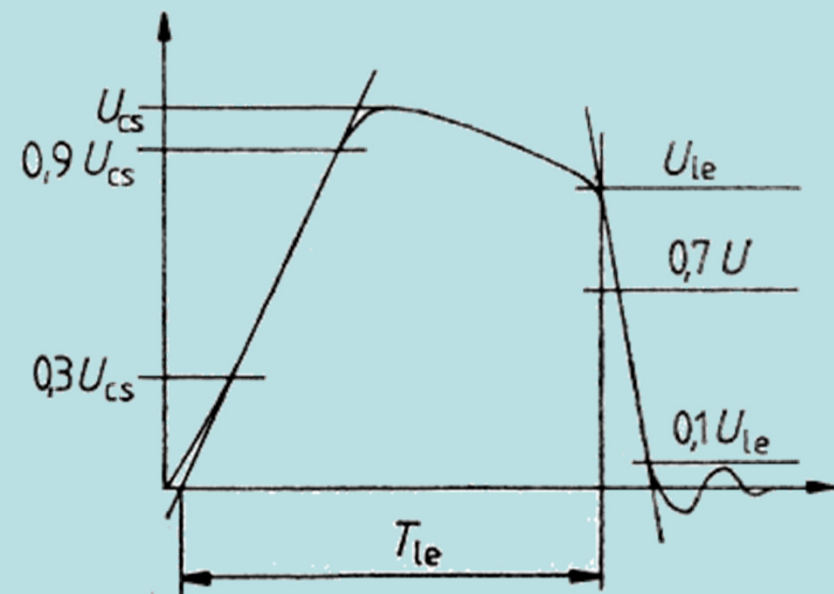
A lökőfeszültség és a kapcsolási hullám előírt jellemzői

Levágott feszültség hullámok:

a) homlokon; b) háton levágott hullám



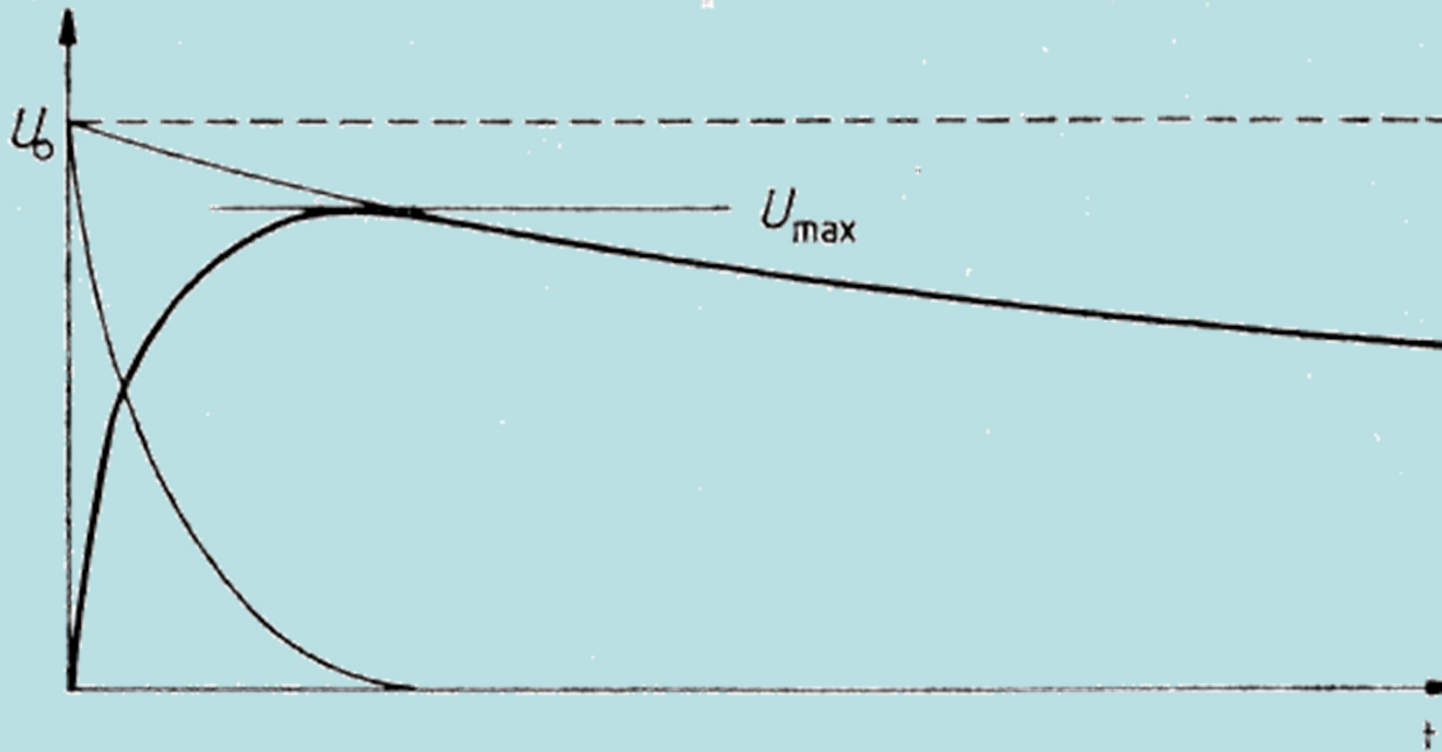
a)



b)

A feszültség-hullám analitikai kifejezése

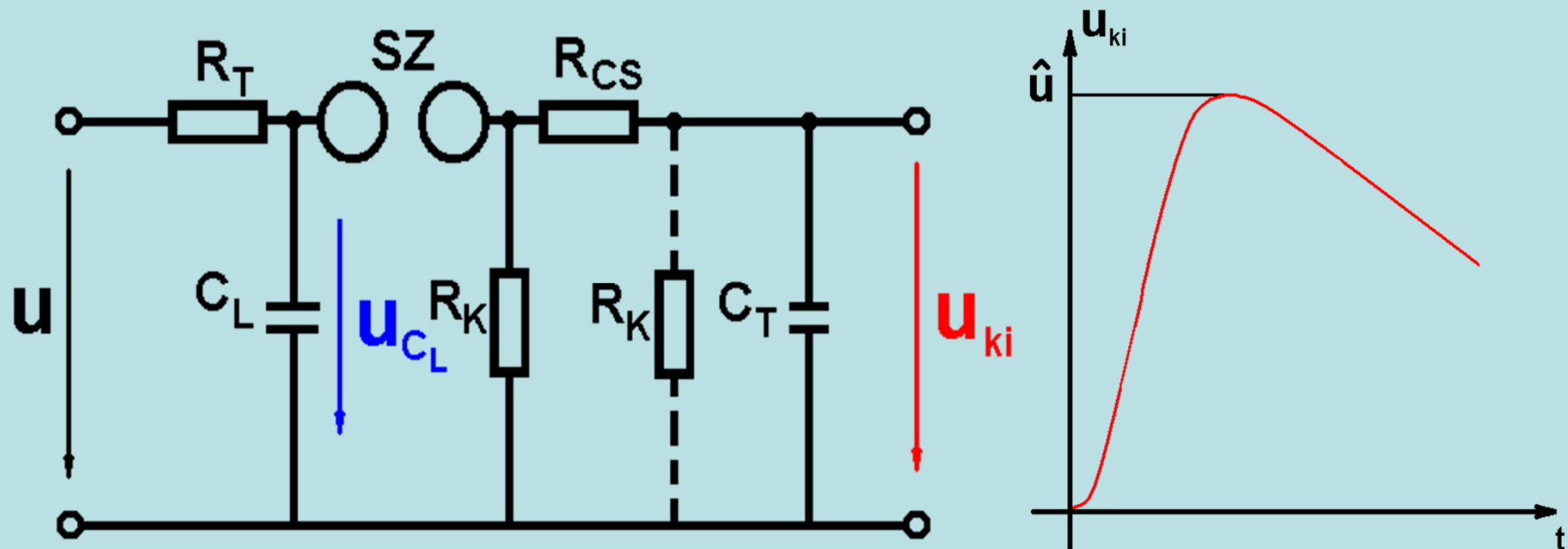
Ideális lökőfeszültség-hullám előállítása két, exponenciálisan csökkenő feszültségből:



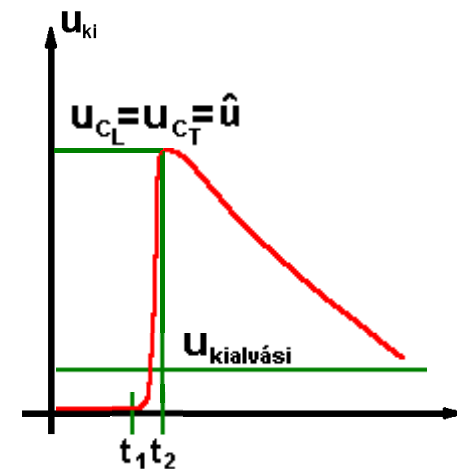
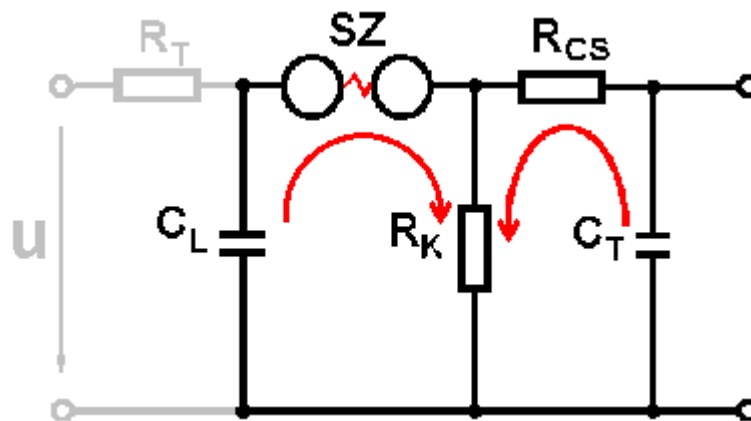
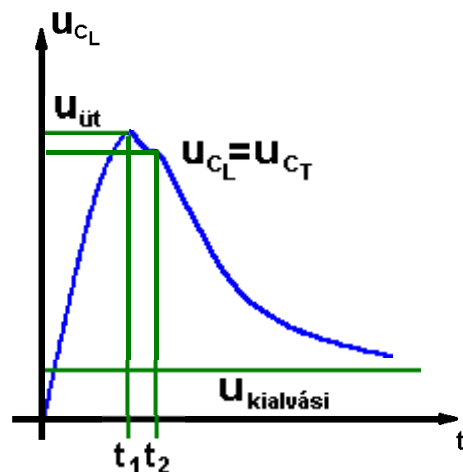
$$U(t) = U_0(e^{-at} - e^{-bt})$$

Lökésgerjesztő áramkörök

Általános elvi kapcsolás



Lökésgerjesztő áramkörök

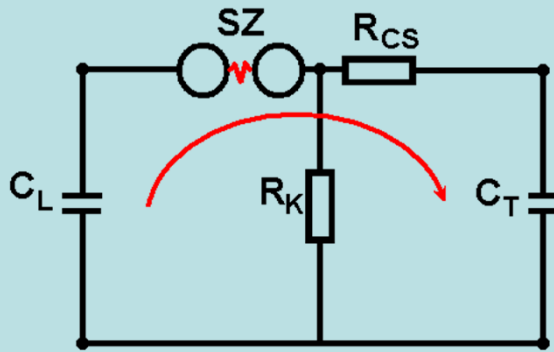


Működése:

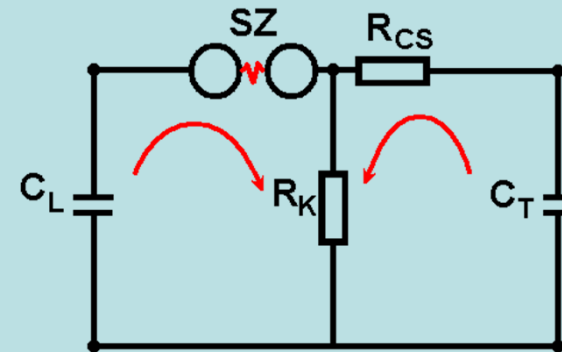
- U tölti R_T -n keresztül a C_L kapacitást
- U_{CL} feszültség növekszik, amikor U_{CL} eléri a szikraköz(SZ) átütési feszültségét, akkor a szikraköz átüt
- $R_T \gg R_{CS}$ ezért C_L C_T -t tölti R_{CS} -n és SZ -n keresztül mivel $R_K > R_{CS}$ miatt C_L töltésének legnagyobb része C_T -be töltődik át, kialakul a hullám „homloka”
- $U_{CL} = U_{ki}$ esetén mindkét kondenzátor (C_L , C_T) kisül, kialakul a hullám „háta”

A lökeshullám és a lökésgerjesztő paramétereinek meghatározása:

$$U_{ki}(t) = U \cdot \frac{1}{R_{cs} \cdot C_t} \cdot \frac{1}{b-a} \cdot (e^{-at} - e^{-bt})$$



$$b = \frac{1}{T_h} \cdot \frac{C_L + C_T}{C_L \cdot C_T \cdot R_{CS}}$$

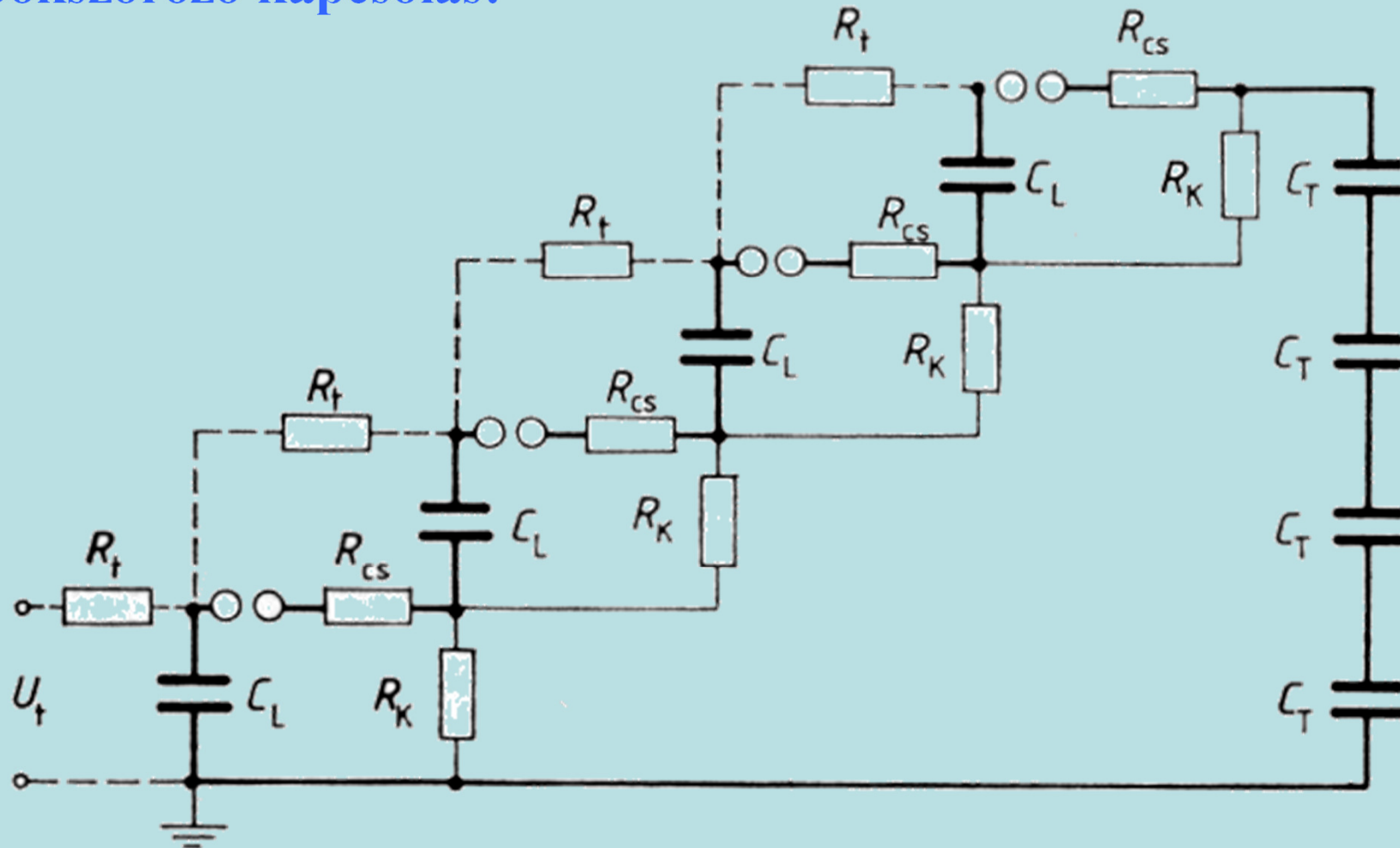


$$a = \frac{1}{T_f} \cdot \frac{1}{(C_L + C_T) \cdot R_K}$$

$\hat{U}_{ki}$: a szikraköz távolságának állításával változtatható
U: változtatása az impulzusok gyakoriságát befolyásolja

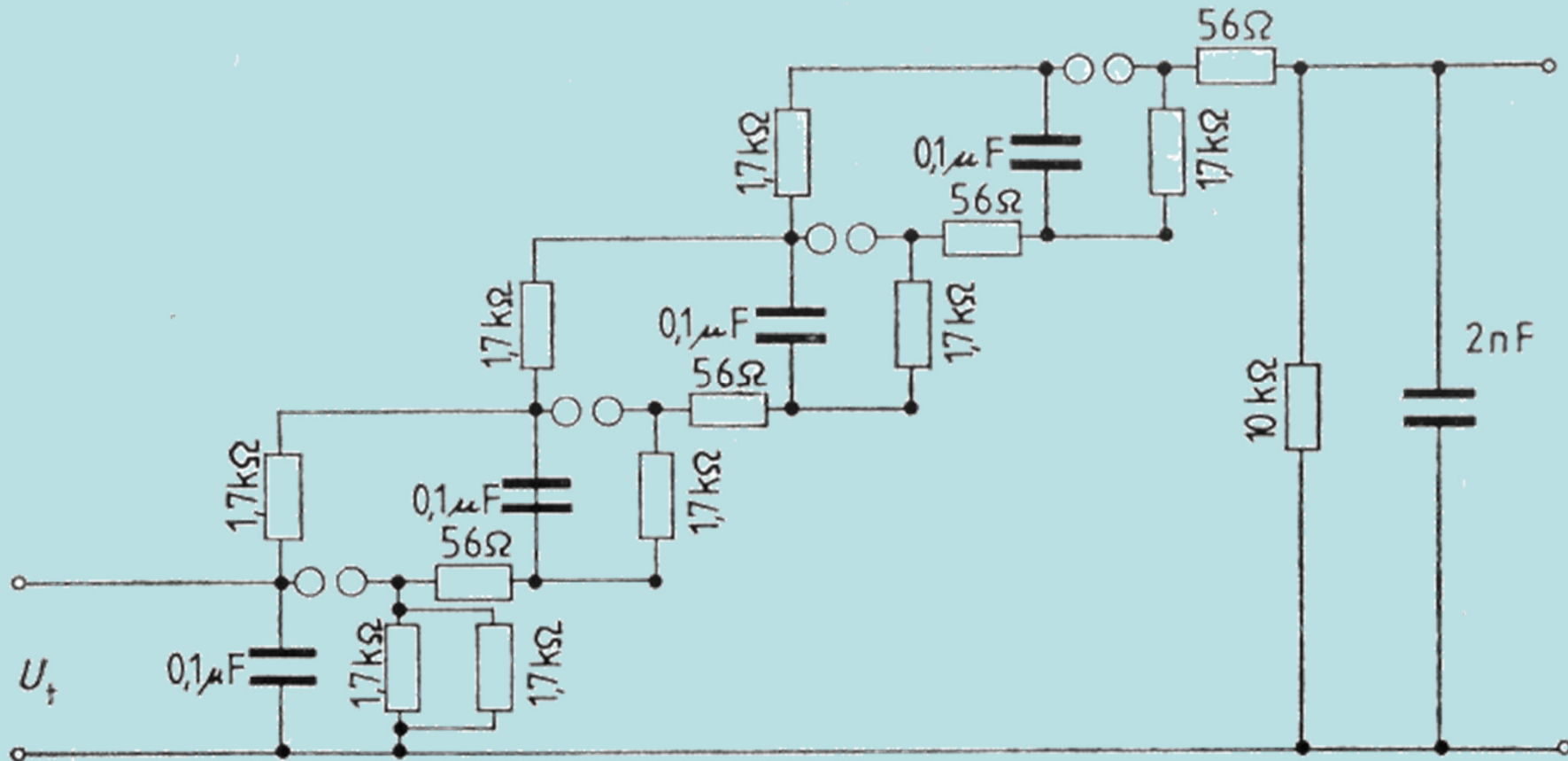
Lökésgerjesztő áramkörök

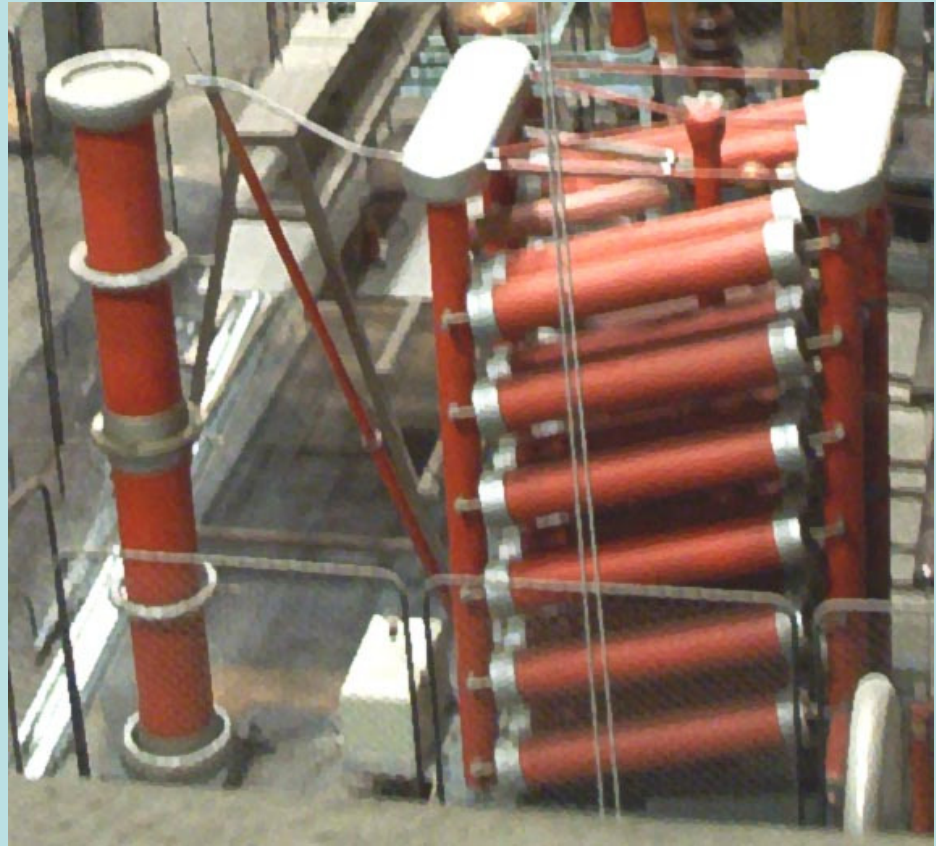
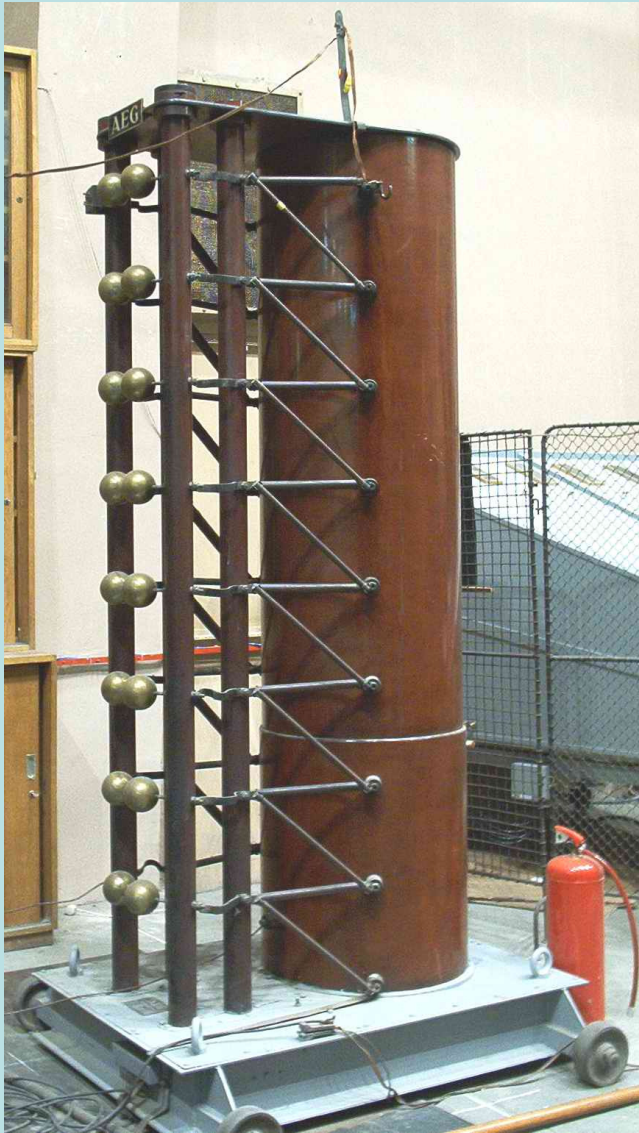
Sokszorozó kapcsolás:



Lökésgerjesztő áramkörök

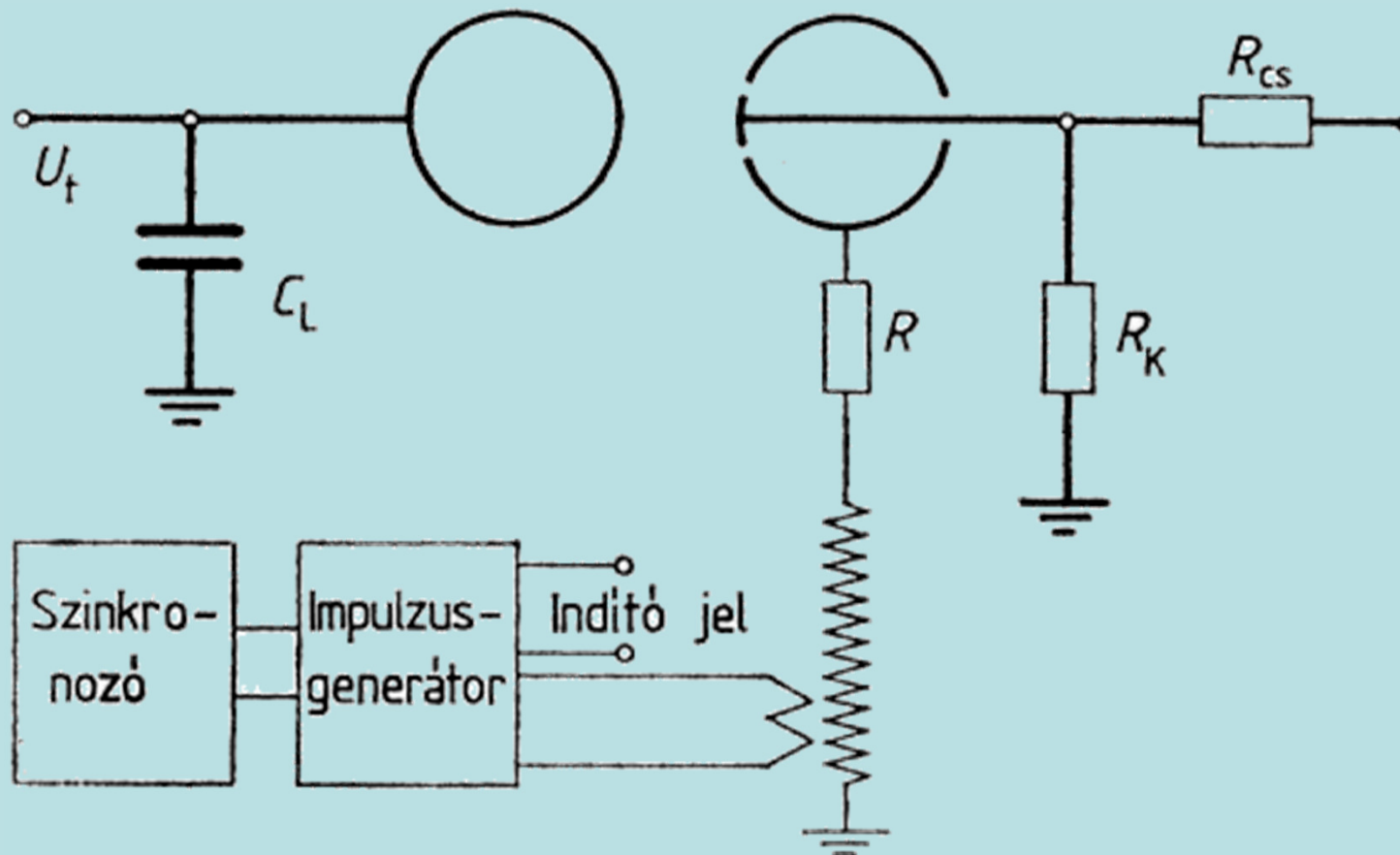
Négyfokozatú lökésgerjesztő konkrét elemei:





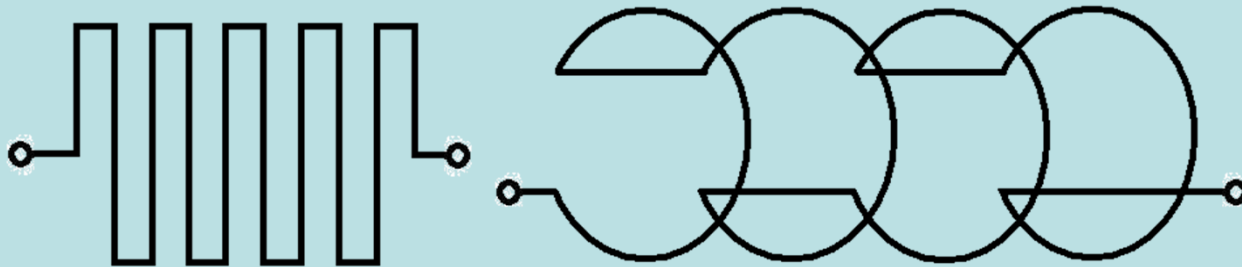
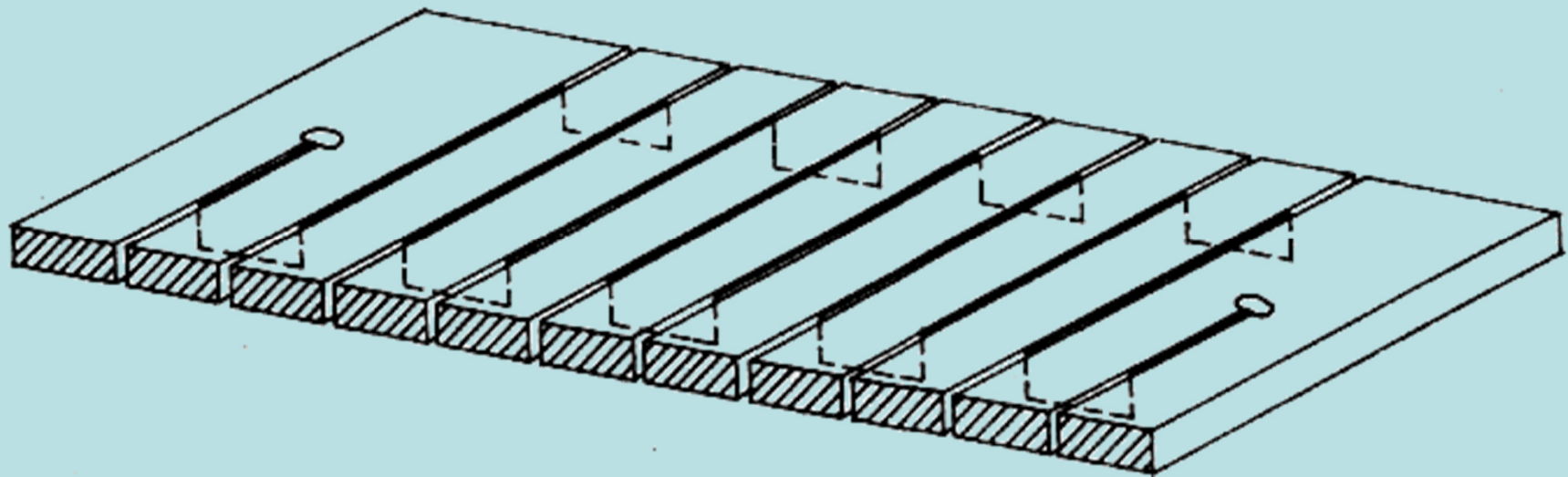
Lökésgerjesztők szerkezete

Gyújtószikraköz indításának vázlata:



Lökésgerjesztők szerkezete

Kis induktivitású, nagy feszültségű ellenállás:



**KÖSZÖNJÜK
A
FIGYELMET!**

Nagyfeszültségű technika - felkészülést segítő kérdések

- Rajzolja fel a gázokra jellemző $I(U)$ függvényt!
- Milyen módon keletkezhet töltéshordozó a gázokban?
- Milyen jellegű általában a szilárd szigetelőanyagok vezetése?
- Hogyan változik a vezetés a hőmérséklet függvényében?
- Mi a veszteségi tényező?
- Mutassa be vektorábra segítségével a dielektromos folyamatok és a veszteségi tényező kapcsolatát!
- Miért van szükség az anyagban lejátszódó dielektromos folyamatok ismeretére?
- Csoportosítsa a szigetelőanyagokban előforduló villamos jelenségeket!
- Mi a polarizációs vektor?
- Milyen polarizáció fajtákat ismer?
- Rajzolja fel a szigetelőanyag polarizációs helyettesítő ábráját!
- Mi a polarizáció időállandója?
- Mit tud az abszorpció áram időfüggvényéről?
- Mi a visszatérő feszültség?
- Mi a villamos szilárdság?
- Mi az átütés?
- Mi az átívelés?
- Mi a részleges letörés?
- Mi az elektronlavina?
- Mi a Paschen törvény következménye?
- Sorolja fel a részleges letörések fajtáit!
- Mi a koronakisülés?
- Mi a felületi kúszókisülés?
- Hogyan függ a villamos szilárdság az igénybevétel idejétől?
- Milyen próbafeszültségeket ismer?
- Rajzolja fel a lökőhullám $U(+)$ görbét!
- Mi a célja a szigetelési szintek koordinálásának?
- Mi a koordináló szikraköz feladata?
- Soroljon fel túlfeszültségvédelmi elemeket!
- Milyen követelményeket támaszt egy túlfeszültség levezetővel szemben?
- Mi a látható biztonság és a valódi biztonság közötti különbség?
- Mi a lökőtényező?
- Mi az inhomogenitási tényező?
- Mi a burkolás szerepe?
- Mi az ernyőzés?
- Mi az optimális sugárány koaxiális elrendezésnél?
- Milyen szigetelés alaptípust célszerű választani?
- Milyen részleges letörés fordul elő a kábelszelvényekben?
- Rajzoljon egy öntött műgyanta kábelvégelzárót!
- Hogyan lehet elkerülni a koronakisülést a horonyszigetelésnél?
- Milyen próbafeszültséget használnak általában?
- Rajzolja fel a lépcsős próbatranszformátor szerkezetét!
- Rajzolja fel a váltakozófeszültségű kaszkád kapcsolást!
- Rajzolja fel az 1/50-es lökőfeszültség hullámalakját!
- Rajzolja fel az egyfokozatú lökésgerjesztő kapcsolását!
- Mi a kapcsolási hullám?
- Rajzolja fel a Villard kapcsolást!
- Rajzolja fel a Greinacher kapcsolást!
- Rajzolja fel az egyenfeszültségű feszültségsokszorozó kapcsolását!
- Milyen eszközökkel lehet veszteségi tényezőt mérni?
- Rajzolja fel a kisülési feszültségmérés kapcsolási rajzát!
- Mitől függ a kisülés feszültség meredeksége?
- Mitől függ a visszatérő feszültség meredeksége?
- Rajzolja fel a visszatérő feszültségmérés kapcsolási rajzát!
- Mi a különbség a kisülési feszültség és a visszatérő feszültség információ tartalma közt?
- Mi a látszólagos töltés?

VIVEA336 vizsgakérdések

Nagyfeszültségű Technika - vizsgakérdések

1. Írja le a dielektromos polarizáció jelenségét (töltések, polarizációs vektor polarizáció fajták)!
2. Ismertesse a nagy váltakozófeszültség előállításának módszereit.
3. Ismertesse a nagy egyenfeszültség előállításának módszereit.
4. Ismertesse a lökésgerjesztő működését!
5. Írja le a gázok átütésben szerepet játszó folyamatokat és az átütést!
6. Mitől függ a gázok villamos szilárdsága, és hogyan?
7. Csoportosítsa a szigetelések lehetséges villamos igénybevételeit, és ismertesse a szigetelési szintek koordinálását!
8. Ismertesse a szigetelések gazdaságos kialakításának alapelveit!
9. Ismertesse a szigetelőanyag jobb kihasználását elősegítő konstrukciós szempontokat!
10. Ismertesse az üregkisülés fizikáját!

Gyakorlati kérdések

Minden vizsgának részét képezi a házi feladatok valamelyike. A számításokat nem kell számszerűen elvégezni, ugyanakkor be kell mutatni:

- a megoldás lépéseit,
- az alkalmazott képleteket,
- az időfüggvények minőségileg helyes vázlatát.

A vizsga felépítése és értékelése:

- 2 kérdés nagyfeszültségű technika (2*10p)
- 2 kérdés villamos kapcsolókészülékek (2*10p)
- 1 gyakorlati kérdés (1*10p)

elégtelen (1)	0-20p
elégséges (2)	21-28p
közepes (3)	29-35p
jó (4)	36-43p
jeles (5)	44-50p