

KÖF kapcsolóberendezések helyszíni feszültségpróbái VLF feszültséggel

Szigeteléstechikai Konferencia
Zalakaros, 2022.05.05.

Mányoki László
SPIE Hungaria Kft.



SPIE, sharing a vision for the future

Célja

A készre szerelt berendezés szigetelési képességének ellenőrzése, különös tekintettel a **szállítás és szerelés** közben bekövetkezhetett sérülések és hibák kimutatására.

Előírások

1) **MSZ-09-00.0280:1989**

Erőművi, transzformátor- és kapcsolóállomási (ETK) új villamos berendezések minőségi vizsgálatainak és üzembe helyezésének műszaki követelményei

2) **MSZ EN 60071-1:2020** *(korábban: MSZ 9250-1:1981)*

Szigeteléskoordináció. 1. rész: Fogalommeghatározások, alapelvek és szabályok

3) **MSZ EN 60060-3:2006** *(korábban: MSZ 4822)*

Nagyfeszültségű vizsgálati módszerek. 3. rész: Fogalommeghatározások és követelmények helyszíni vizsgálatokhoz

MSZ-09-00.0280:1989 Erőművi, transzformátor- és kapcsolóállomási (ETK) új villamos berendezések minőségi vizsgálatainak és üzembe helyezésének műszaki követelményei

7. KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK ÉS KÁBELVONALAK

7.5.1.2. Feszültségpróba / Kapcsolóberendezések

- üzemi feszültség $10\text{kV} < U_R < 120\text{kV}$
- próbafesz. nagysága MSZ EN 60071-1:2020 (korábban MSZ 9250)
 - ❑ AC (50Hz) $U_{\text{testRMS}} = 0,8 \cdot U_{\text{vvRMS}}$ 1min
 - ❑ DC $U_{\text{test}} = 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{vvRMS}}$ 1min
- próbafesz minősége MSZ EN 60060-3:2006 (korábban MSZ 4822)

MSZ EN 60071-1:2000

Szigeteléskoordináció - 1. rész:

Fogalommeghatározások, alapelvek és szabályok

**Próbafeszültségek menyiségi
előírása különböző névleges
feszültségű berendezésekhez**

Highest voltage for equipment, U_m kV (RMS value)	Standard rated short-duration power-frequency withstand voltage kV (RMS value)
3,6	10
7,2	20
12	28
17,5 ^a	38
24	50
36	70
52 ^a	95
72,5	140

MSZ EN 60060-3:2006

Nagyfeszültségű vizsgálati módszerek - 3. rész

Fogalom meghatározások és követelmények helyszíni vizsgálatokhoz

**Próba feszültségek hullámalakjának és mérésének
minőségi előírásai
különböző hullámalakok esetére -
AC, DC, LIWV, SIWV, VLF, DAC**

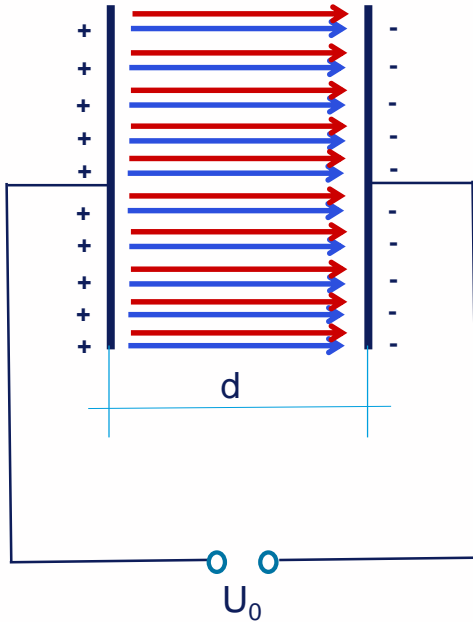
-1) „AC és DC próba esetén a szigetelésben kialakuló **villamos erőterek különböznek.**”

-2) „AC és DC vizsgálat esetén **más-más az átütési feszültség értéke.**”

-3) „DC vizsgálat esetén **nincs polarizációs veszteség.**”

-4) „DC vizsgálat esetén a műgyanta szigetelők felületén **felületi töltések alakulhatnak ki.**”

**„AC és DC próba esetén
a szigetelésben kialakuló
villamos erőterek különböznek.”**



feszültség

$$U_0$$



töltéssűrűség

$$\sigma_0$$



villamos eltolás

$$\text{div } D_0 = \sigma_0$$

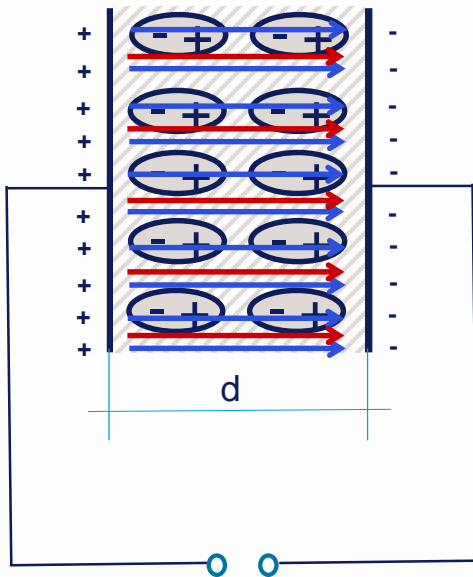
$$\iint D_0 dA = \iiint \sigma_0 dV = \iint \sigma_0 dA$$

$$D_0 = \sigma_0 \text{ (homogén térben)}$$



villamos térerősség

$$E_0 = D_0 / \epsilon_0 = U_0 / d = \sigma_0 / d$$



esz. lekapcs.



dielektrikum be



polarizáció



össztöltés

villamos eltolás



szabad töltés

villamos térerősség



feszültség

$$U_0 ; \sigma_0 ; D_0 ; E_0$$

$$U ; \sigma ; D ; E$$

$$P$$

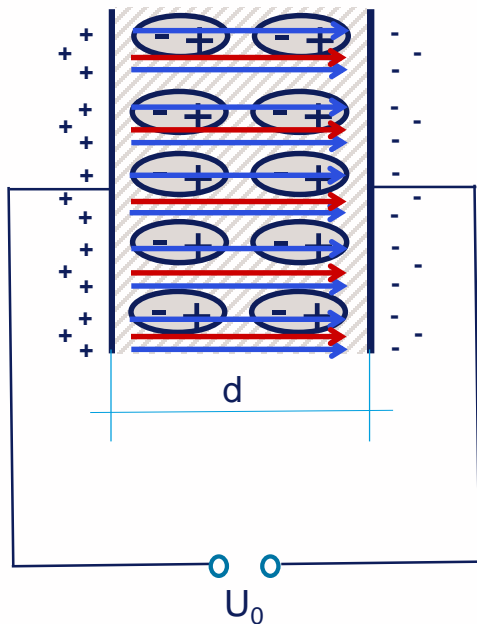
$$\sigma = \sigma_0$$

$$D = D_0 = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_r E$$

$$\sigma_{sz} < \sigma_0$$

$$E = (D_0 - P) / \varepsilon_0 < E_0$$

$$U = E d < U_0$$



feszültség alatt



dielektrikum be



polarizáció



össztöltés

villamos eltolás



szabad töltés

villamos térerősség



feszültség

$$U_0 ; \sigma_0 ; D_0 ; E_0$$

$$U ; \sigma ; D ; E$$

$$P$$

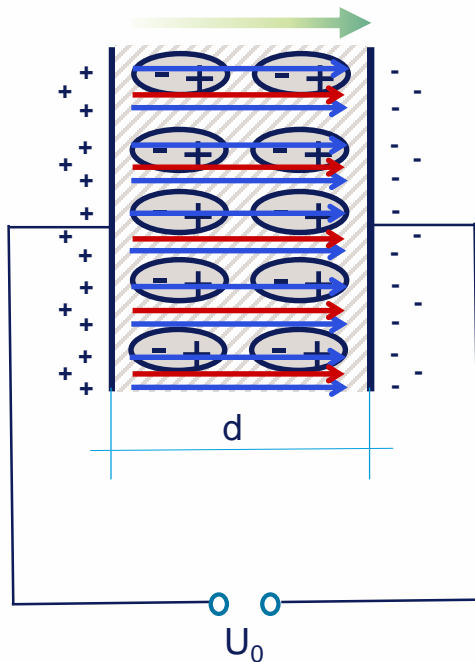
$$\sigma > \sigma_0$$

$$D > D_0 = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_r E$$

$$\sigma_{sz} = \sigma_0$$

$$E = (D_0 - P) / \varepsilon_0 = E_0$$

$$U = E d = U_0$$



feszültség alatt



dielektrikum be



polarizáció



össztöltés

villamos eltolás



szabad töltés

villamos térerősség



áramsűrűség

$$U_0 ; \sigma_0 ; D_0 ; E_0$$

$$U ; \sigma ; \gamma ; D ; E$$

P

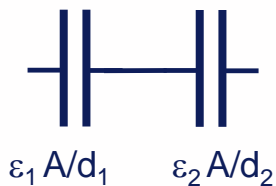
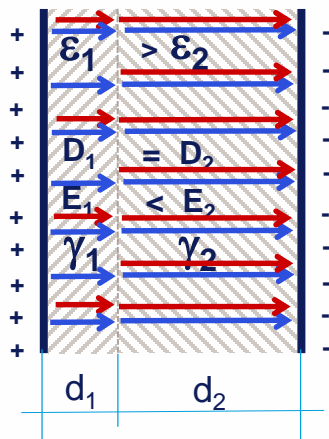
$$\sigma > \sigma_0$$

$$D > D_0 = \varepsilon_0 E + P = \varepsilon_r E$$

$$\sigma_{sz} = \sigma_0$$

$$E = (D_0 - P) / \varepsilon_0 = E_0 = U_0 / d$$

$$j = j_v + j_p = \gamma E + \partial D / \partial t$$



vezetési áram



határréteg-töltés



villamos eltolás



villamos térerősség



feszültségek



eredő kapacitás

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$$\sigma_{hr} = 0$$

$$D_1 = D_2 = D$$

$$E_1 = D/\varepsilon_1 < E_2 = D/\varepsilon_2$$

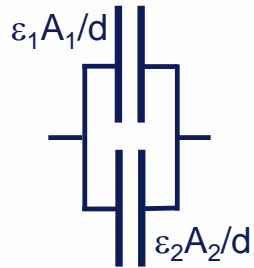
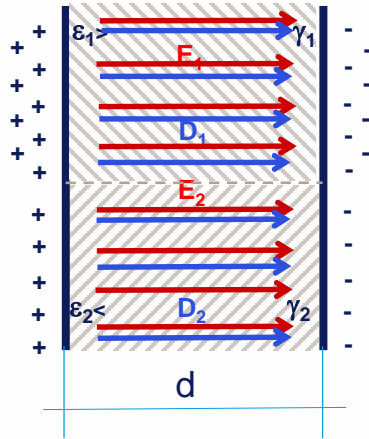
$$E_1 / E_2 = \varepsilon_2 / \varepsilon_1$$

$$U_0 = U_1 + U_2 = D (d_1/\varepsilon_1 + d_2/\varepsilon_2)$$

$$U_1 = E_1 d_1 = D d_1 / \varepsilon_1$$

$$U_2 = E_2 d_2 = D d_2 / \varepsilon_2$$

$$C = C_1 \times C_2 = (\varepsilon_1/d_1)A \times (\varepsilon_1/d_1)A$$



vezetési áram



határréteg-töltés



villamos térerősség



villamos eltolás



töltések



eredő kapacitás

$$\gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$$\sigma_{hr} = 0$$

$$E_1 = E_2 = E = U/d$$

$$D_1 > D_2$$

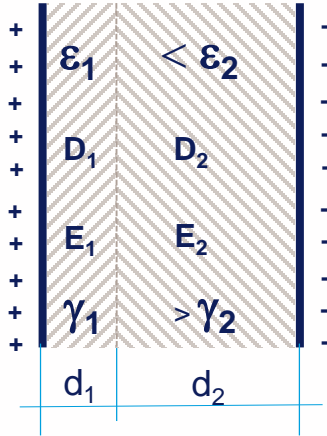
$$D_1 / D_2 = \epsilon_1 / \epsilon_2$$

$$Q = E \epsilon_1 A_1 + E \epsilon_2 A_2$$

$$Q_1 = \sigma_1 A_1 = D_1 A_1 = E \epsilon_1 A_1$$

$$Q_2 = \sigma_2 A_2 = D_2 A_2 = E \epsilon_2 A_2$$

$$C = C_1 + C_2 = (\epsilon_1/d)A_1 + (\epsilon_2/d)A_2$$

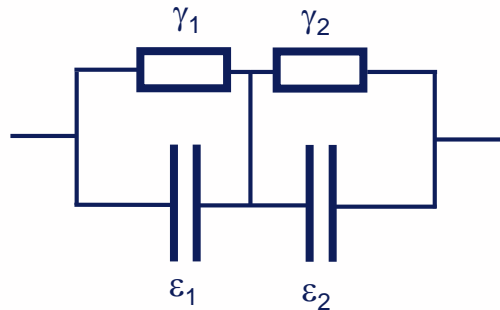


vezetés $\gamma_1 \neq \gamma_2 \neq 0$

határréteg-töltés $\sigma_{hr} > 0$

$$j_{v1} + \partial D_1 / \partial t = j_{v2} + \partial D_2 / \partial t$$

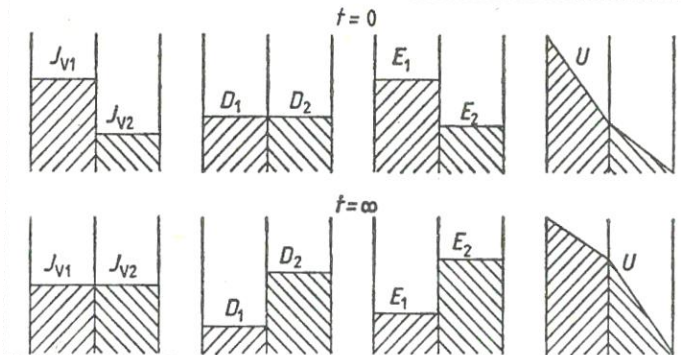
$$j_{v1} - j_{v2} = \partial / \partial t (D_2 - D_1)$$



DC esetben

$$t = 0 \quad E_1 / E_2 = \epsilon_2 / \epsilon_1$$

$$t = \infty \quad E_1 / E_2 = \gamma_2 / \gamma_1$$



[2]

AC esetben

ált. eset $E_1 / E_2 = (\gamma_2 + j\omega\epsilon_2) / (\gamma_1 + j\omega\epsilon_1)$

$f \geq 50\text{Hz}$ $E_1 / E_2 = \epsilon_2 / \epsilon_1$

**„AC és DC vizsgálat esetén
más-más az átütési feszültség értéke.”**

+1) MSZ-09-00.0280:1989

Erőművi, transzformátor- és kapcsolóállomási (ETK) új villamos berendezések minőségi vizsgálatainak és üzembe helyezésének műszaki követelményei

7.5.1.2. Feszültségpróba / Kapcsolóberendezések

AC (50Hz)

$$U_{\text{testRMS}} = 0,8 \cdot U_{\text{wvRMS}} / 1 \text{ min}$$

DC

$$U_{\text{test}} = 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{wvRMS}} / 1 \text{ min}$$

+2) Közép- és nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikai vizsgálata - Bp. 2000.

p.295.

„A váltakozó feszültségű próbák különösen érzékenyek a szennyezések kimutatására, de tulajdonképpen a hibakimutatás szempontjából ugyanilyen hatékonyságú az egyenfeszültség alkalmazása is. Az egyen- és a váltakozó feszültségű próbák közötti különbség olyan esetekben lehet jelentős, ha a berendezésben a villamos erőtér alakítására szabad potenciálú, a szigetelőkbe beágyazott vezérlő elektródákat is alkalmaznak.”

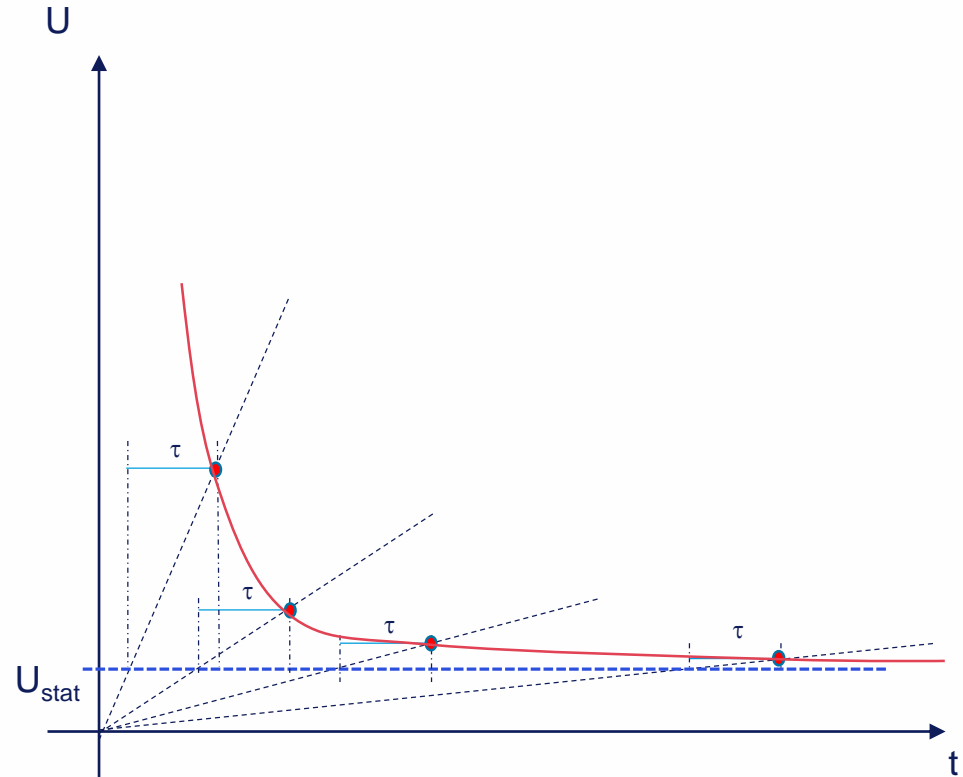
Átütési késés

$$\tau = \tau_v + \tau_k$$

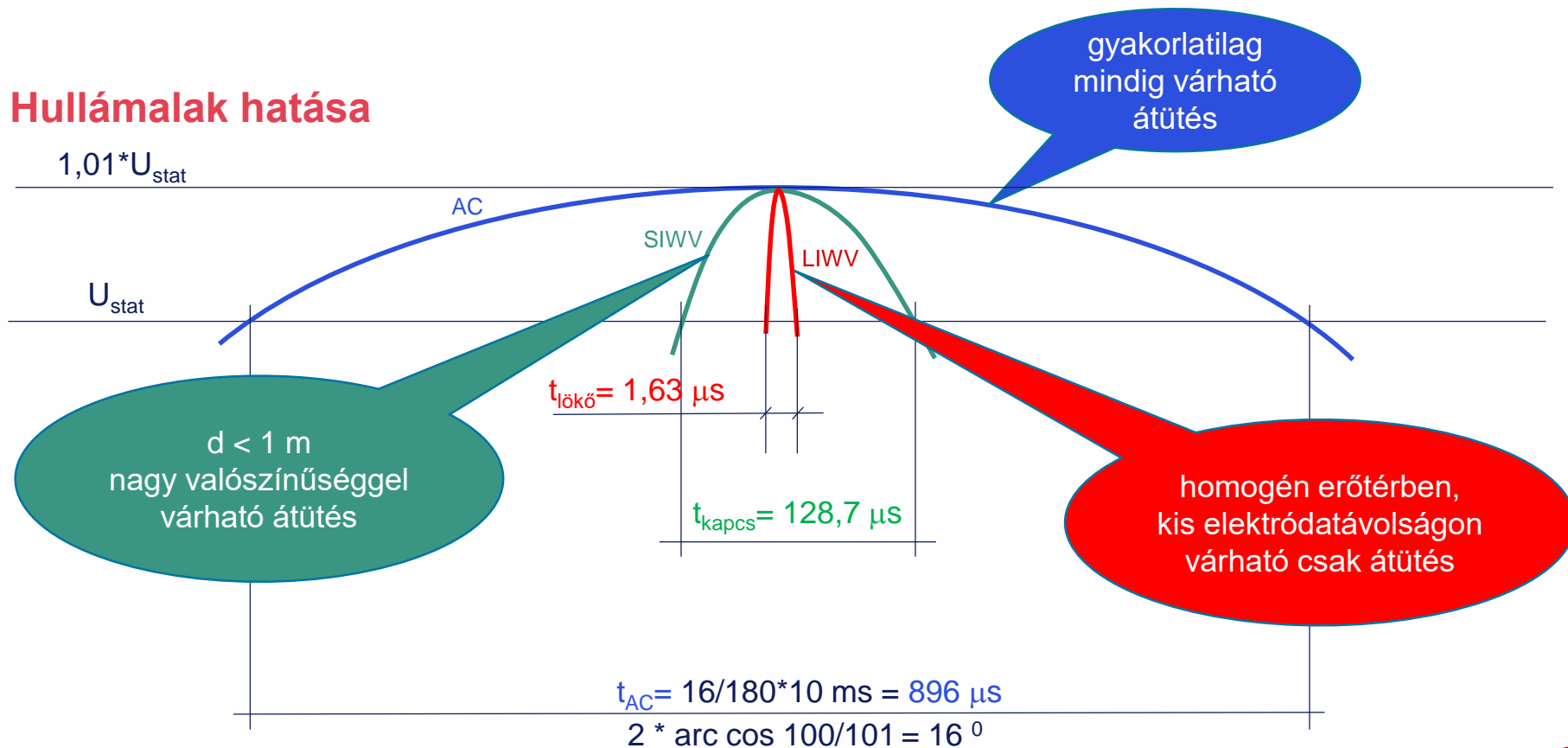
τ teljes késés

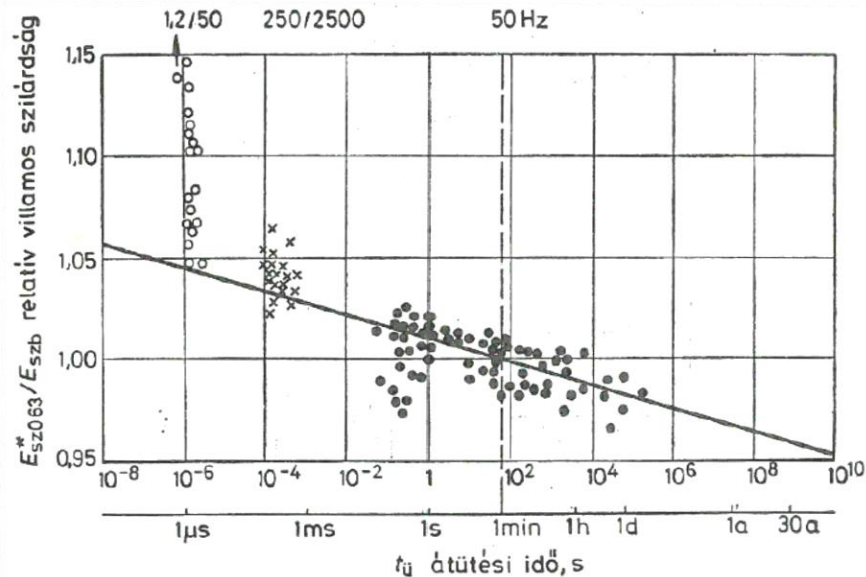
τ_v várakozási idő (szabad elektronok; 0...0,1 μs)

τ_k kialakulási idő (távolságfüggő; 1...100 μs)

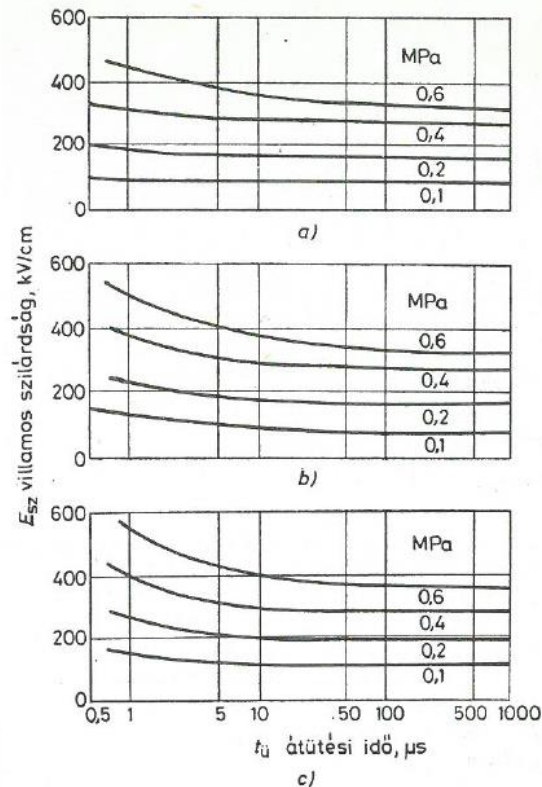


Hullámalak hatása





4.17. ábra. A villamos szilárdság empirikus időfüggésének általánosítása (0,1 MPa = p_{20} = 0,4 MPa) homogén erőterben $s = 0,5$ cm; $p_{20} = 0,25$ MPa; $E_{sz0.63}/E_{szb} = 1 - 0,0025 \ln(t_u/t_{10})$ [3]



4.18. ábra. Impulzus feszültségek esetén (1,7/40 és 170/3000) fellépő villamos szilárdság és az átütési idő kapcsolata ([4.32] alapján)

- a) Gömb—gömb esetén: $r = 7,5$ cm; $s = 1$ cm; $\eta_B = 0,96$.
- b) Félgömb—félgömb esetén: $r = 1,5$ cm; $s = 1$ cm; $\eta_B = 0,61$.
- c) Félgömb—félgömb esetén: $r = 0,5$ cm; $s = 1$ cm; $\eta_B = 0,48$

[3]

**„DC vizsgálat esetén
nincs polarizációs veszteség.”**

Kondenzátor veszteségi teljesítménye

$$P_v = (U/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

Névleges feszültségen (U_n ; $t = \infty$)

$$P_{vn} = (U_n/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

$$t_n = \infty$$

Próbafezültségen (U_{100} ; $t = 1 \text{ min}$)

$$P_{v100} = (U_{100}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

$$t_{100} < 1 \text{ min} \\ ???$$

12kV: $U_{100}/U_n = 28/12 = 2,34$

$$P_{v100} = (U_{100}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = (2,34 U_n/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = \mathbf{5,47 P_{vn}}$$

24kV: $U_{100}/U_n = 50/24 = 2,08$

$$P_{v100} = (U_{100}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = (2,08 U_n/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = \mathbf{4,32 P_{vn}}$$

Csökk. próbafez. (U_{80} ; $t = 1 \text{ min}$)

$$P_{v80} = (U_{80}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta$$

$$t_{80} < 1 \text{ min} \\ ???$$

12kV: $U_{80}/U_n = 22,4/12 = 1,86$

$$P_{v80} = (U_{80}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = (1,86 U_n/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = \mathbf{3,45 P_{vn}}$$

24kV: $U_{80}/U_n = 40/24 = 1,66$

$$P_{v80} = (U_{80}/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = (1,66 U_n/\sqrt{3})^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = \mathbf{2,75 P_{vn}}$$

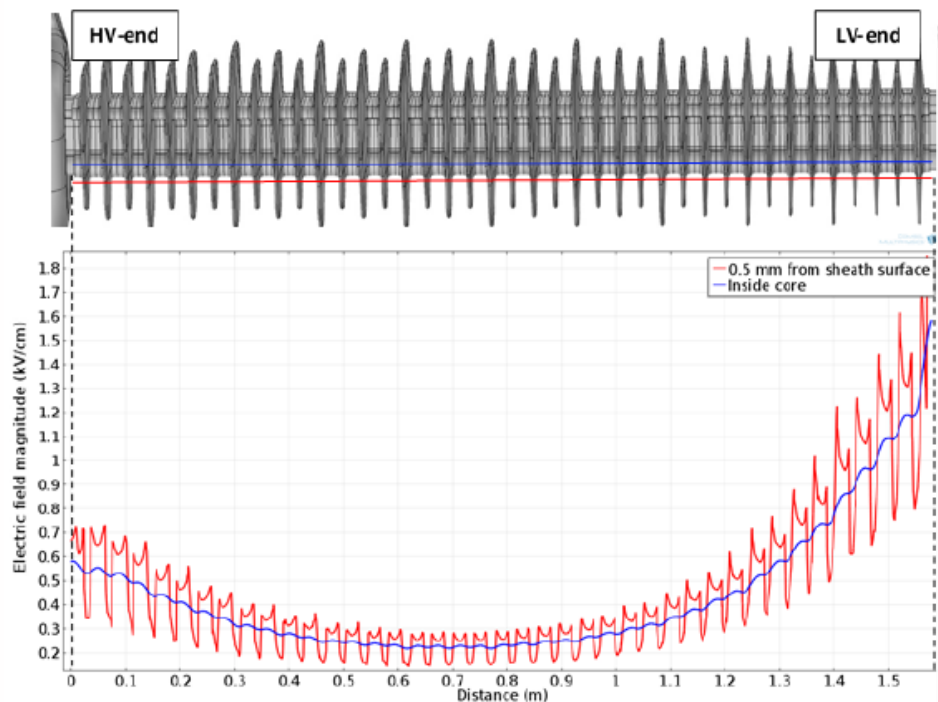
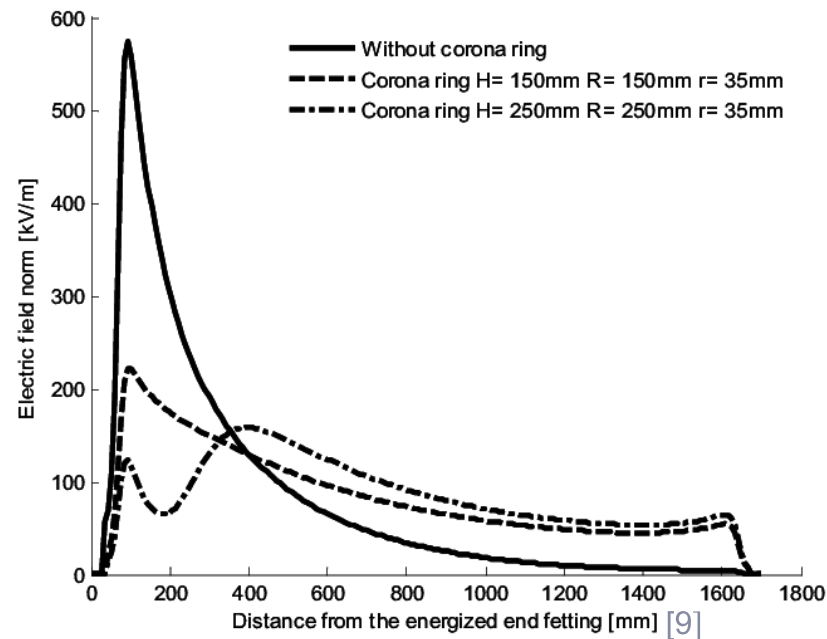


Fig. 10. Electric field magnitude on the surface and inside the core of the compression insulator at 132 kV. [8]



„DC vizsgálat esetén
a műgyanta szigetelők felületén
felületi töltések alakulhatnak ki.”

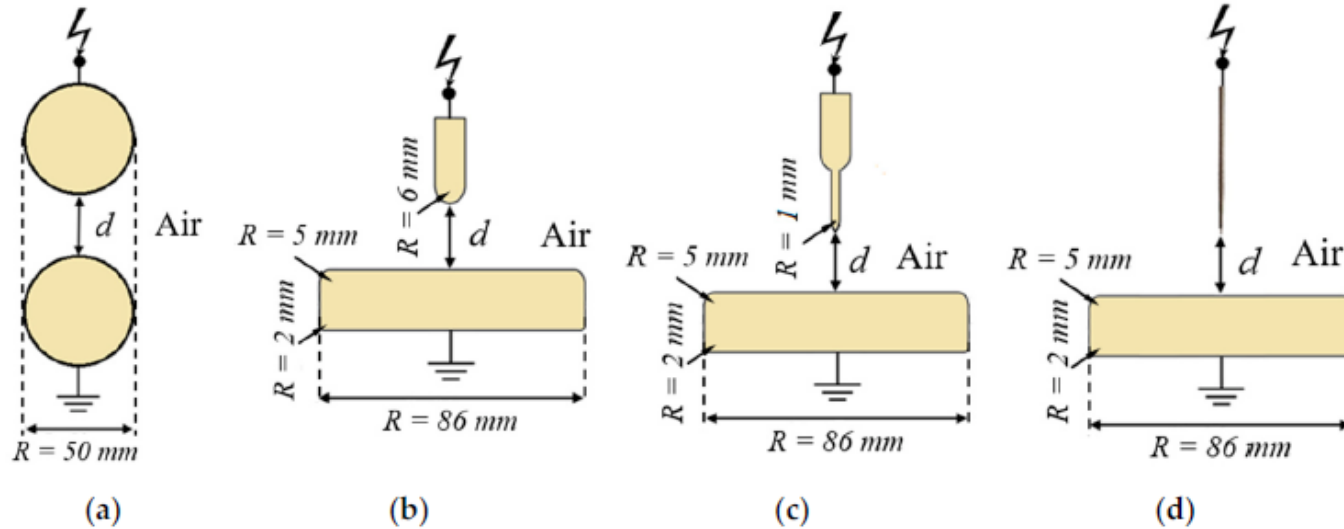
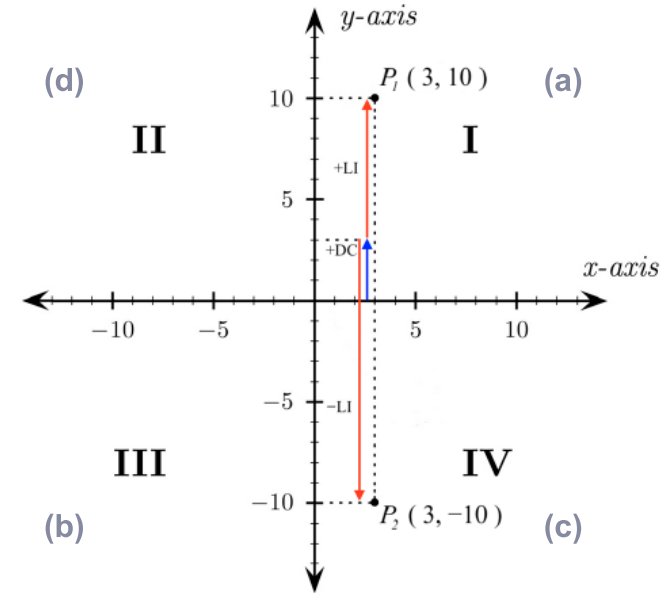
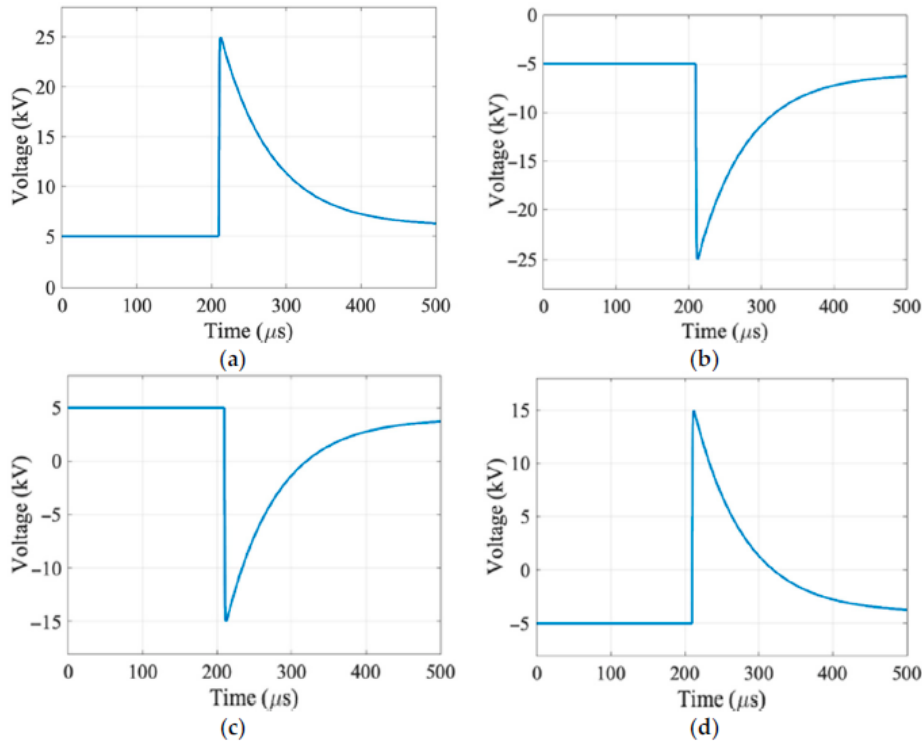


Figure 9. Electrodes used for less uniform and non-uniform electric field experiments: (a) sphere–sphere; (b) rod ($R = 6\text{ mm}$)–plane; (c) rod ($R = 1\text{ mm}$)–plane; (d) needle–plane.

[10]



[10]

Figure 10. (a) Unipolar composite voltage (+DC and +LI); (b) unipolar composite voltage (-DC and -LI); (c) bipolar composite voltage (+DC and -LI); (d) bipolar composite voltage (-DC and +LI). [10]

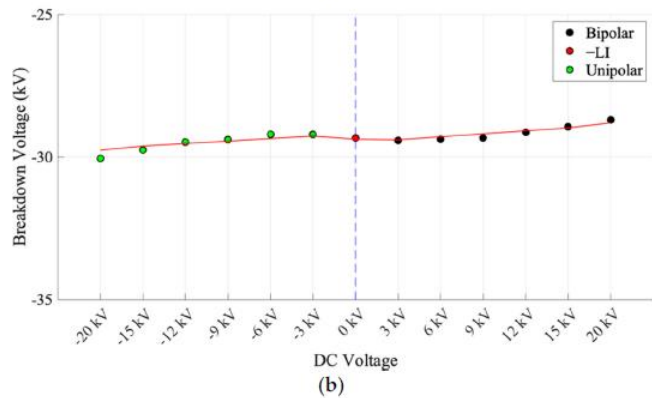
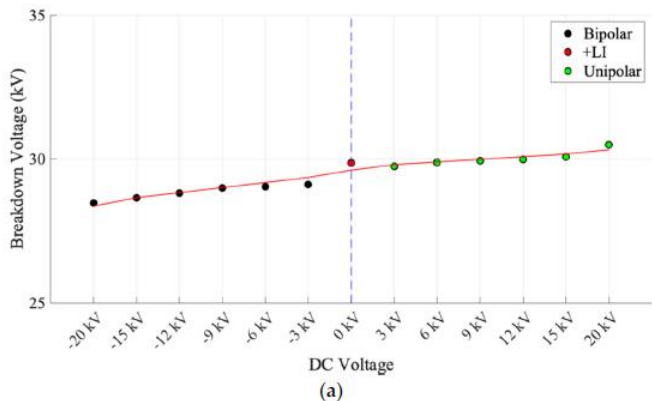


Figure 13. Variation of 50% breakdown voltage in less uniform electric field [10]

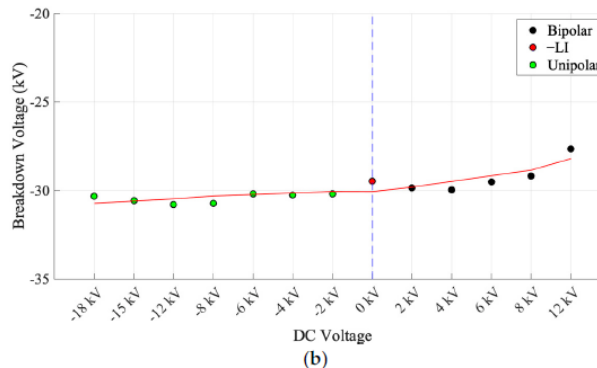
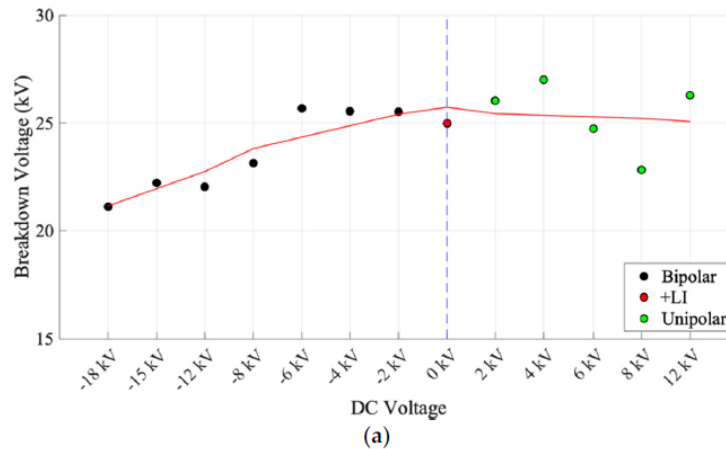
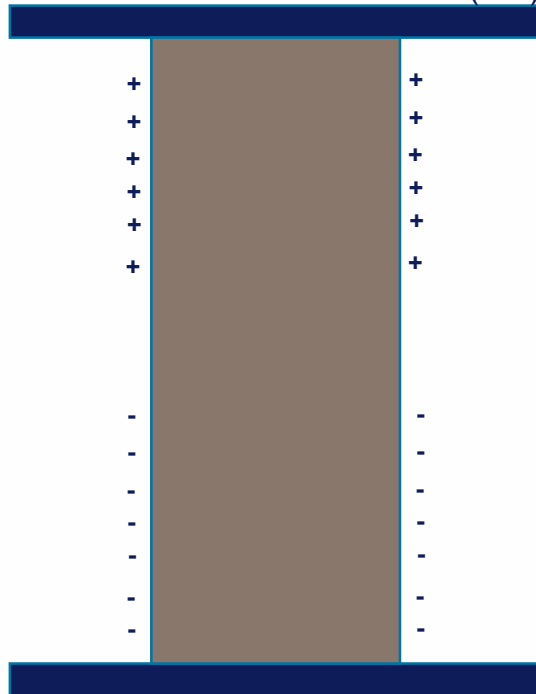


Figure 17. Variation of 50% breakdown voltage for needle-plane electrode system [10]

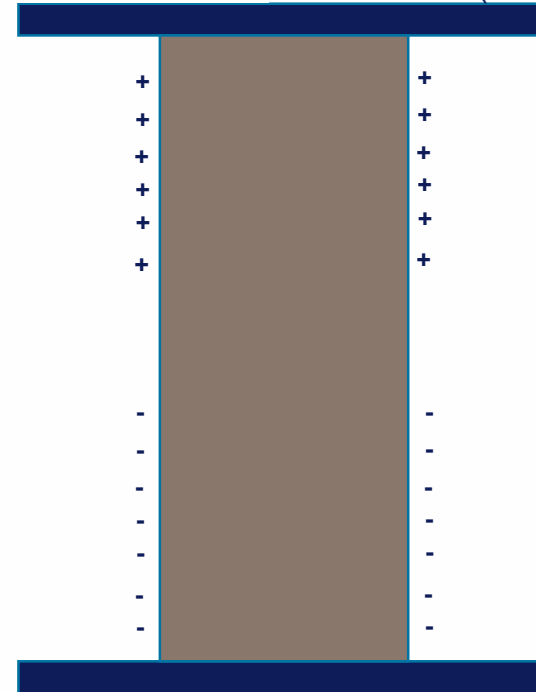
Üzemi feszültségre kapcsolás

- 19 kV (AC)



VLF próba

- 56 kV (VLF)



~~-1) „AC és DC próba esetén a szigetelésben kialakuló **villamos erőterek** különböznek.”~~

~~-2) „AC és DC vizsgálat esetén **más-más az átütési feszültség értéke.**”~~

~~-3) „DC vizsgálat esetén **nincs polarizációs veszteség.**”~~

~~-4) „DC vizsgálat esetén a **műgyanta szigetelők felületén felületi töltések alakulhatnak ki.**”~~

- [1] **Simonyi Károly:** **Villamosságtan** - Akadémiai Kiadó, Bp., 1973.
- [2] **Horváth T. - Csernátóy H. A.:** **Nagyfeszültségű technika** - Tankönyvkiadó, Bp., 1986.
- [3] **W. Mosch – W. Hauschild:** **SF₆ szigetelések** - Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1982.
- [4] **Luspay Ödön (szerk.):** **Közép- és nagyfeszültségű hálózati berendezések diagnosztikai vizsgálata** - MÁSZ, Bp., 2000.
- [5] **MSZ-09-00.0280:1989** **Erőművi, transzformátor- és kapcsolóállomási (ETK) új villamos berendezések minőségi vizsgálatainak és üzembe helyezésének műszaki követelményei**
- [6] **MSZ EN 60071-1:2020** **Szigeteléskoordináció.**
1. rész: Fogalommeghatározások, alapelvek és szabályok
- [7] **MSZ EN 60060-3:2006** **Nagyfeszültségű vizsgálati módszerek.**
3. rész: Fogalommeghatározások és követelmények helyszíni vizsgálatokhoz
- [8] **Zachriades-Rowland-Cotton-Peesapati-Chambers** **Development of Electric Field Stress Control Devices for a 132 kV Insulating Cross-Arm using Finite Element Analysis**
IEEE Transactions on Power Delivery, Iss. 99, 2015
- [9] **Hamdi-Teguar-Mekhaldi** **Optimal Design of Corona Ring on HV Composite Insulator Using PSO Approach with Dynamic Population Size**
IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 23(2):1048-1057
- [10] **Ispirli-Kalenderli-Seifert-Rock-Oral** **The Effect of DC Voltage Pre-Stress on the Breakdown Voltage of Air under Composite DC and LI Voltage and Test Circuit. Design and Application**
<https://www.mdpi.com/journal/energies-15-1353>, 2022