Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Nagyfeszültségű Laboratórium

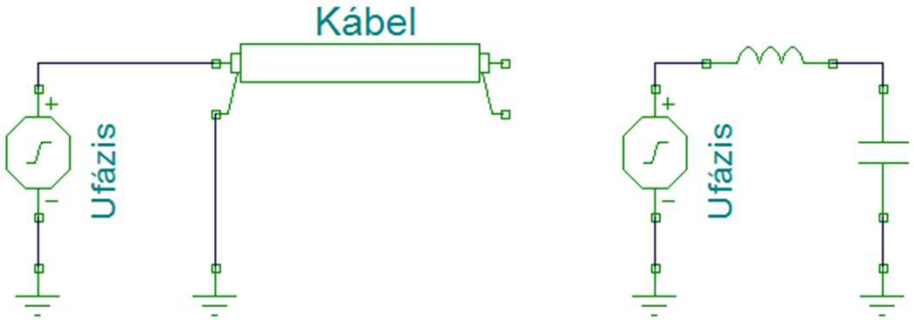
HVDC kábelek technológiai áttekintésre, különös tekintettel a tértöltésekre

Cselkó Richárd
Dr. Németh Bálint, Tóth Zoltán

Villamos Energetika Tanszék
Nagyfeszültségű Technika és Berendezések Csoport
cselko.richard@vet.bme.hu

Miért HV**DC**?

- Kapacitív töltőáram AC esetben



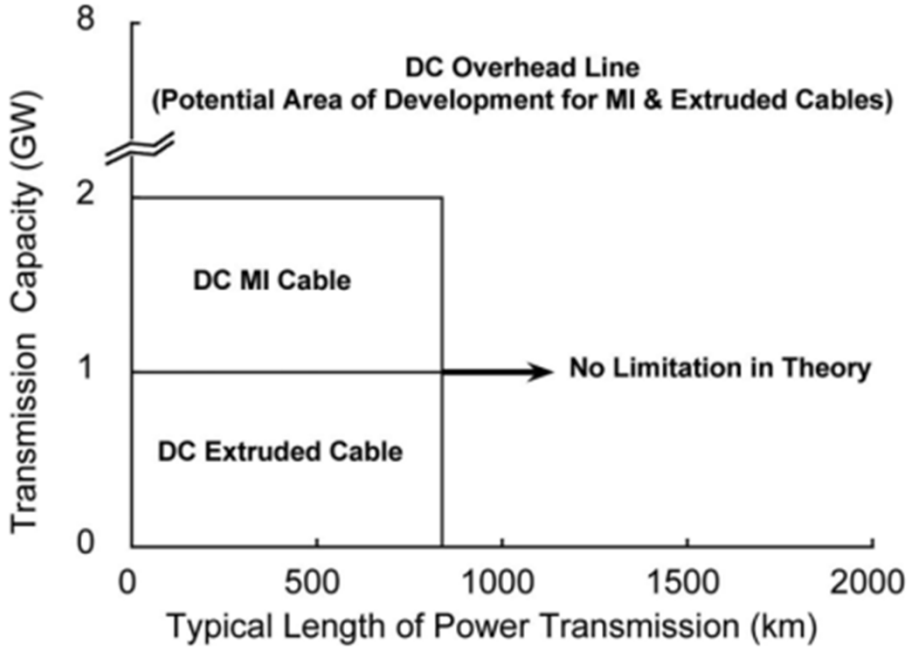
	Középfeszültség	Nagyfeszültség
Névleges feszültség	10 kV	420 kV
Kapacitás	0,36 µF/km	0,25 µF/km
Hossz	2 km	150 km
Töltőáram	**1,3 A**	**2855 A**

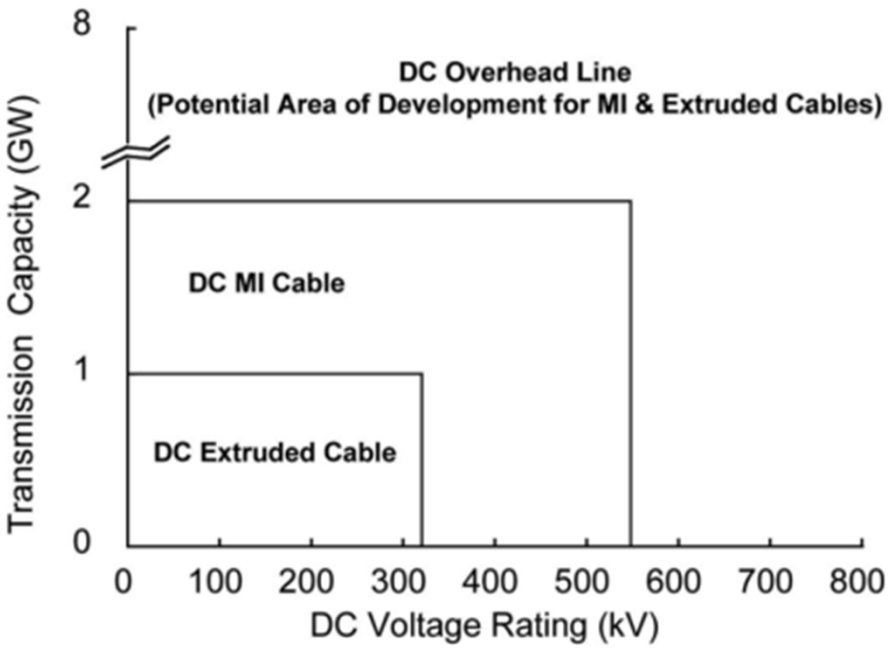
- Szkin-hatás miatt kisebb veszteség
  - HVAC: 6,7…10% (1000km, 3000MW)
  - HVDC: 3,5…5% (1000km, 6400MW)

Jelenleg üzemben lévő, bizonyított HVDC technológiák

- A HVDC szabadvezetékek ma a legolcsóbb módjai az igen nagy teljesítmények igen nagy távolságú átvitelére
  - vezetékjogi problémák miatt előnyös lenne kábeleket alkalmazni
  - átviteli hálózati AC feszültségeken a kábelek alkalmazásának jelentős problémái vannak; legfontosabb a kábel kapacitása miatt keletkező óriási meddő teljesítmény
    - nagy távolságra kábeles átvitel műszakilag optimálisan egyenfeszültségen kivitelezhető
- HVDC kábeltechnológia
  - olajtöltésű kábelek
  - olajmassza / impregnált kábelek
  - extrudált szigetelésű kábelek
  - (gázszigetelésű kábelek)
  - (magashőmérsékletű szupravezetős kábelek)

Jelenleg üzemben lévő, bizonyított HVDC technológiák





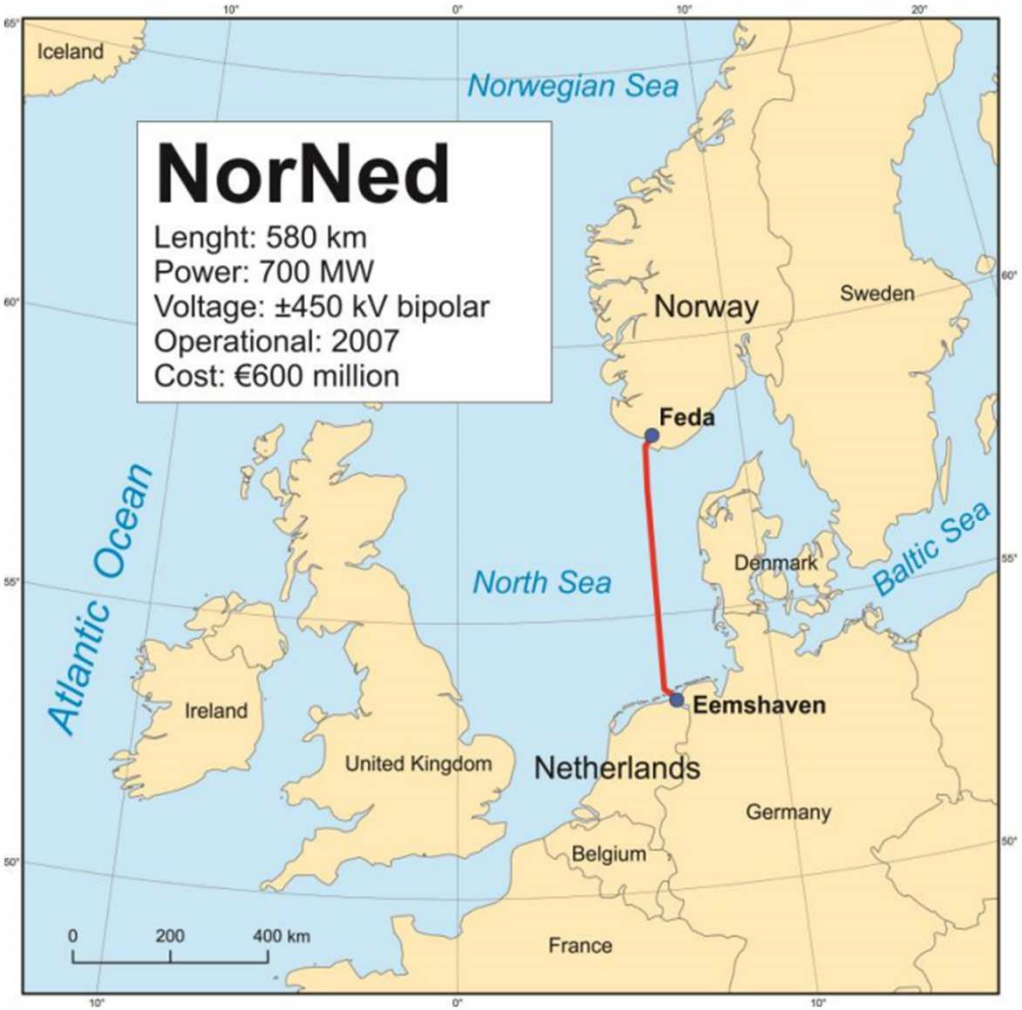
- Szárazföldön, ahol lehet, HVDC szabadvezetéket alkalmaznak
- Tenger alatti alkalmazásokra jelen pillanatban a massza impregnálású kábelek a legelőnyösebbek, ugyanakkora az extrudált szigetelésű kábelek rohamosan fejlődnek

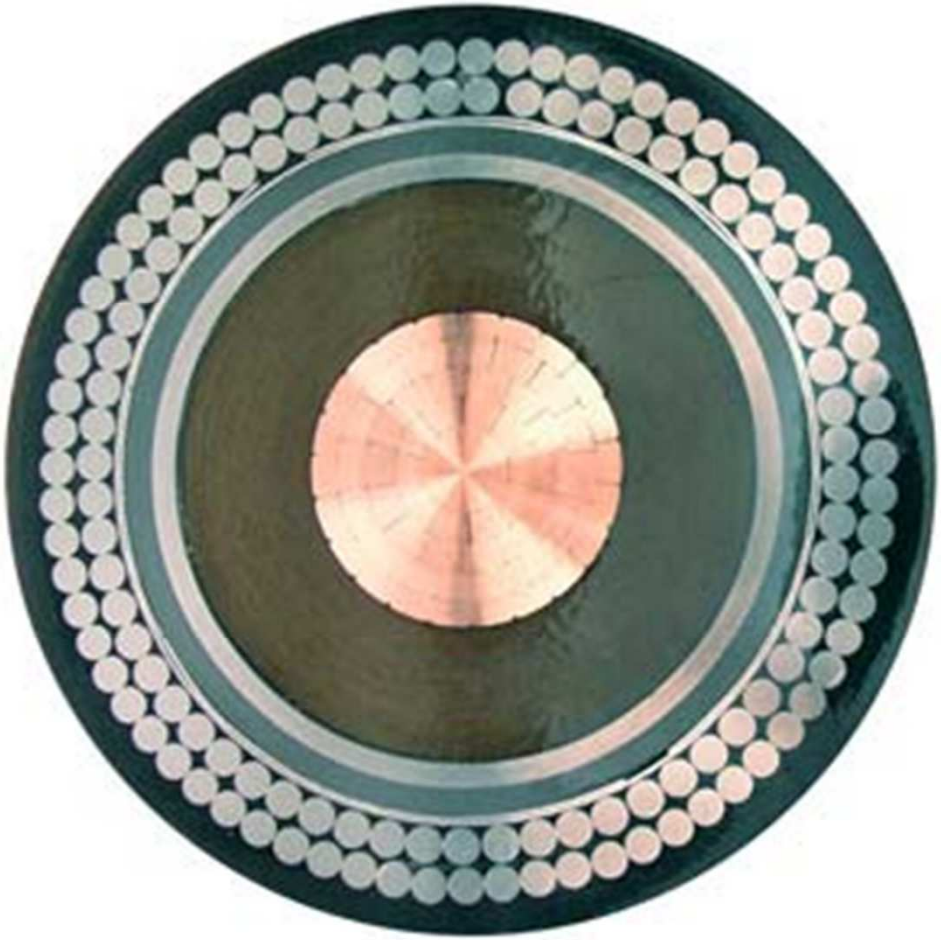
Jelenleg üzemben lévő, bizonyított HVDC technológiák

- Massza impregnált kábel tenger alatti alkalmazásra és extrudált szigetelésű kábel tenger alattra (előtér) és szárazföldre (háttér)

Jelenleg üzemben lévő, bizonyított HVDC technológiák

- 540km - leghosszabb
- 47000 tonna
- massza impregnált
- 75 illetve 154 km-es hosszban gyártották
- Maximális üzemi hőmérséklet 50-55 °C
- 2008. május 5-én helyezték üzembe
- terv. élettartam: 40 év
- éves hozam: 70MEur

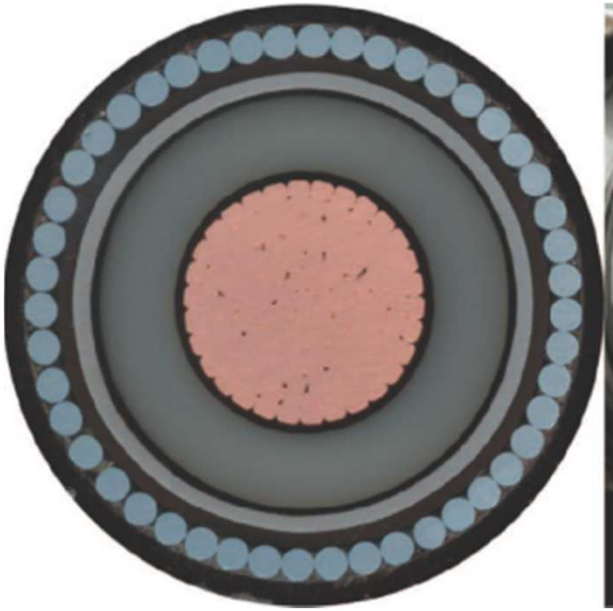




Olaj-papírtól a polimer HVDC kábel felé

HVDC extrudált szigetelésű kábelek

- Igen előnyös az alkalmazásuk
  - tenger alatti olajkábelek szivárgása jelentős környezeti kockázat
  - nincs limitálva a kábel hossza (mint pl. olajnyomásos kábeleknél)
- Legnagyobb probléma: nagy egyenfeszültséggel terhelt, nagy szigetelési ellenállású szigetelésben tértöltés halmozódik fel



Tenger alatti, polimer HVDC kábel felépítése

Source: Nexans

1. Conductor – usually copper
2. Conductor screening – usually extruded
3. Insulation – XLPE or EPR
4. Insulation screening – semi-conductive
5. Screen
6. Laminated sheath – aluminum tape and polyethylene
7. Optical fibres – optionally used for telecommunications
8. Fillers – as needed
9. Binder tapes
10. Armour Bedding – polypropylene strings
11. Armour – galvanized round steel wires
12. Serving – bituminous compound, hessian tape with polypropylene coloured stripe

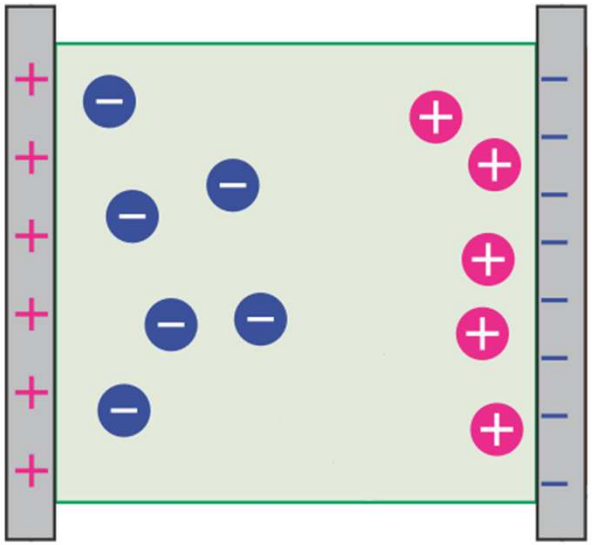
Construction varies with manufacturer and seabed conditions, with more armour added where, for example, waves and currents are strong

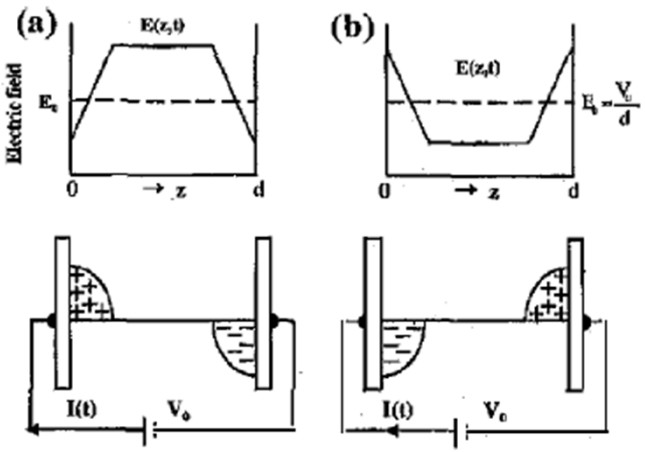
Szigeteléstechnikai problémák

- Jellemző megoldandó szigeteléstechnikai problémák feszültségszintenként
  - Kisfeszültség
    - villamos szilárdság nem probléma
    - mechanikai védelemre méretezett szigetelés
  - Középfeszültség
    - részletörések → simítóréteg a vezető és a szigetelés felületén
    - water-treeing → hosszanti vízzárás
  - Nagyfeszültség
    - részletörések
      - főként HVAC, mert HVDC-nél nincs feszültségfordulás
    - **tértöltés: főként HVDC-nél**

Tértöltések kialakulása

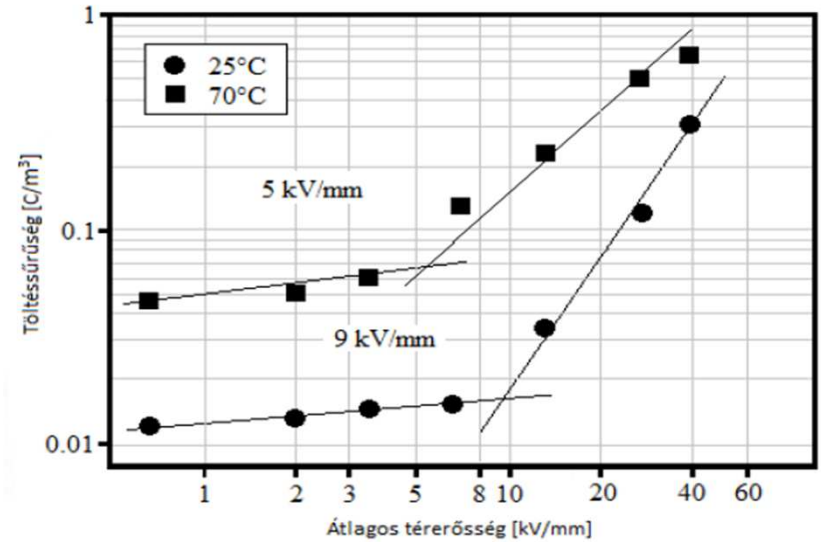
- A korszerű polimer alapú szigetelőkben a töltéshordozók mozgékonysága csekély
- Kialakulásukhoz hosszú idő szükséges:
  - Injektálódás az elektródákról
  - A vezetőképesség inhomogenitásai miatt
  - Inhomogén szerkezetű dielektrikumok esetén
- Heterocharge / homocharge
- Erősen torzul tőlük a villamos erőtér, a tervezési értékek többszöröse is felléphet
  - Az elektródok terén túl a tértöltés tere is szerepet kap

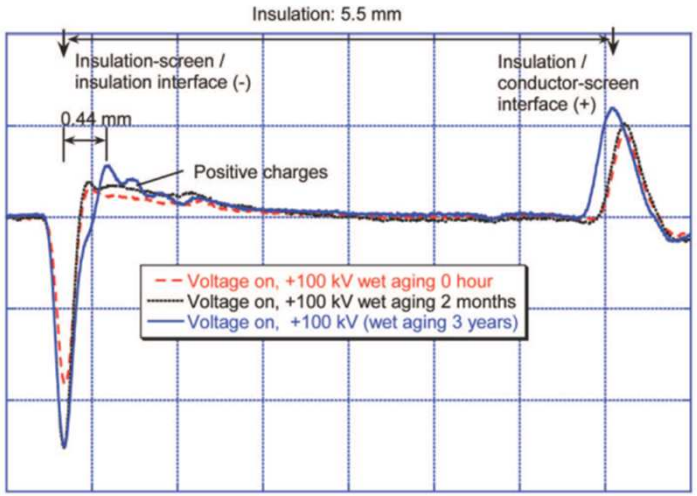




Tértöltések kialakulása

- Tértöltés felhalmozódás
  - villamos térerősség függvényében mérhető
  - a tértöltés injektálás határ térerőssége megállapítható
  - 10kV/mm környékén → HVDC kábelekben nem elkerülhető, ~20kV/mm-re kell tervezni → NaF kábelekben biztosan fellép

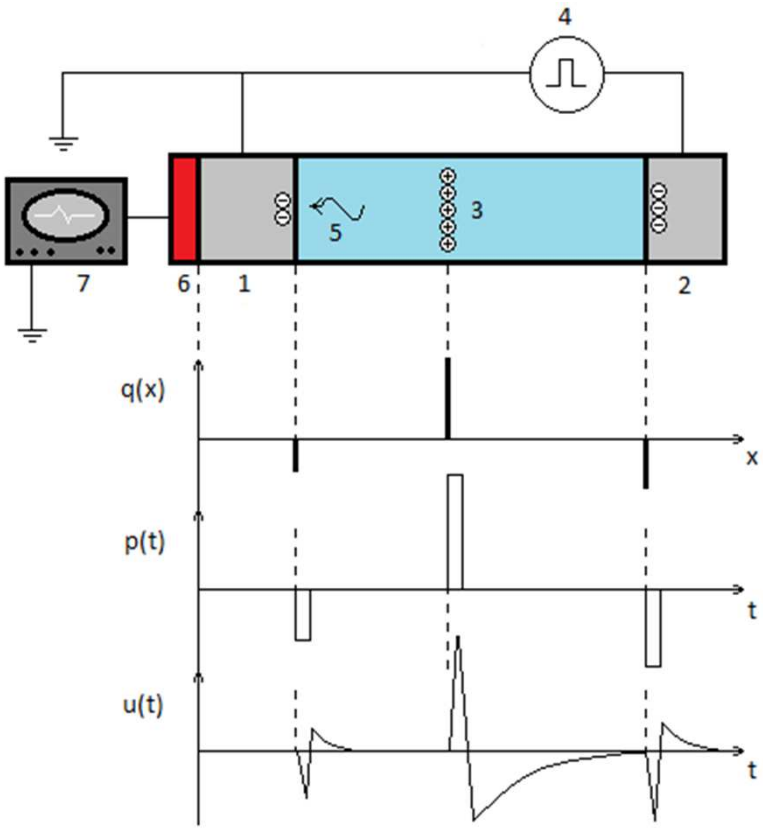




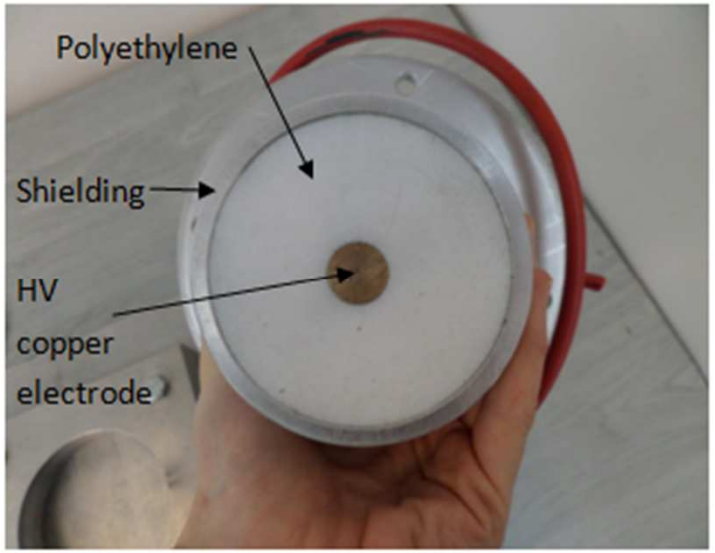
A tértöltések PEA rendszerű mérése

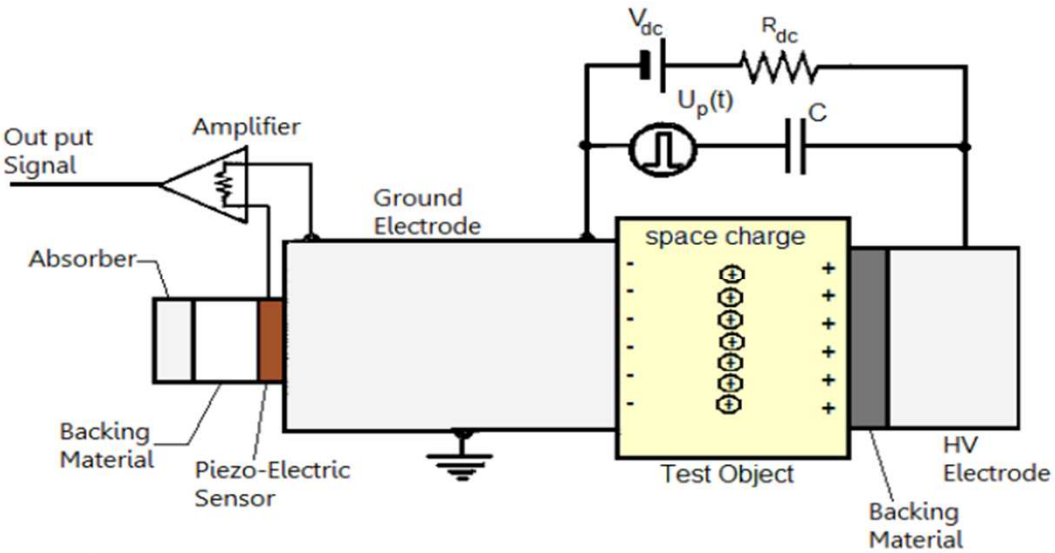
- PEA: Pulsed Electro Acoustic method – impulzus elektromos módszer
- számos további módszer is létezik (PWP, LIPP, TSC)

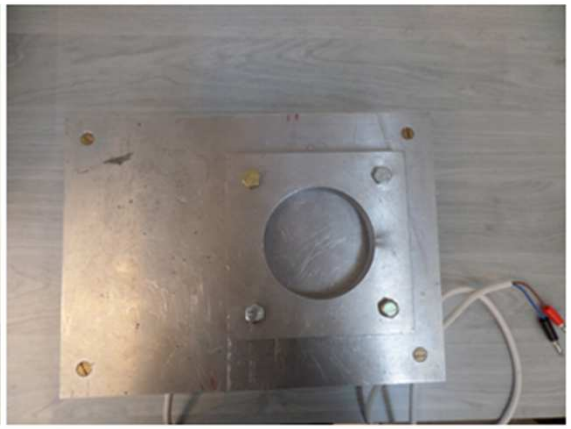
1: földelektróda
2: NF elektróda
3: tértöltés a szigetelőben
4: NF impulzusgenerátor
5: mechanikai hullám
6: piezoelektromos film
7: oszcilloszkóp
q(x): tértöltések eloszlása
p(t): nyomáshullámok
u(t): feszültséghullámok



A tértöltések PEA rendszerű mérése

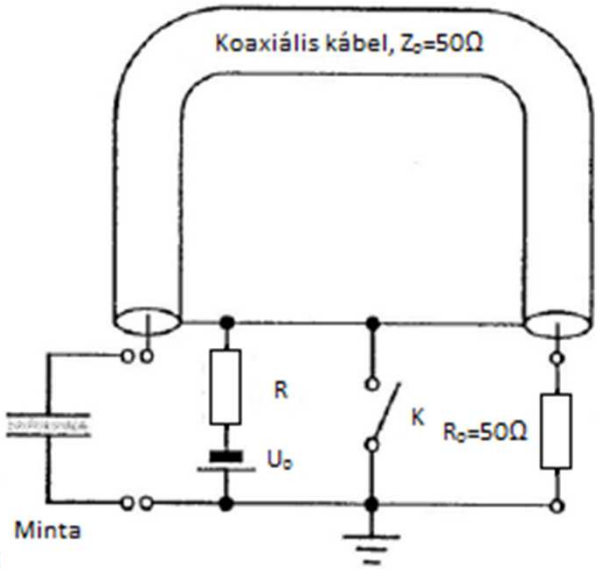


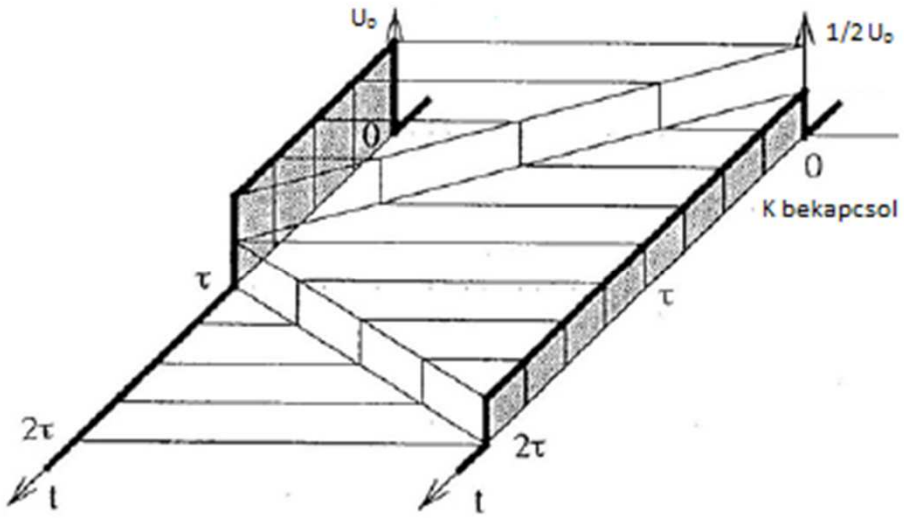




A térföltések PEA rendszerű mérése
A Wagner-féle impulzusgenerátor

- a kapcsolót jelgenerátor vezérli
- nagy feszültségű és sebességű kapcsolóval erősítjük
- a kábel üresen járó végén reflektálódó feszültséghullám alakítja az impulzus lefutó élét
- az egyenfeszültség nagyságával az impulzus csúcsértéke, a kábel hosszával pedig annak szélessége szabályozható





MŰEGYETEM 1782

HIGHVOLTAGE LABORATORY

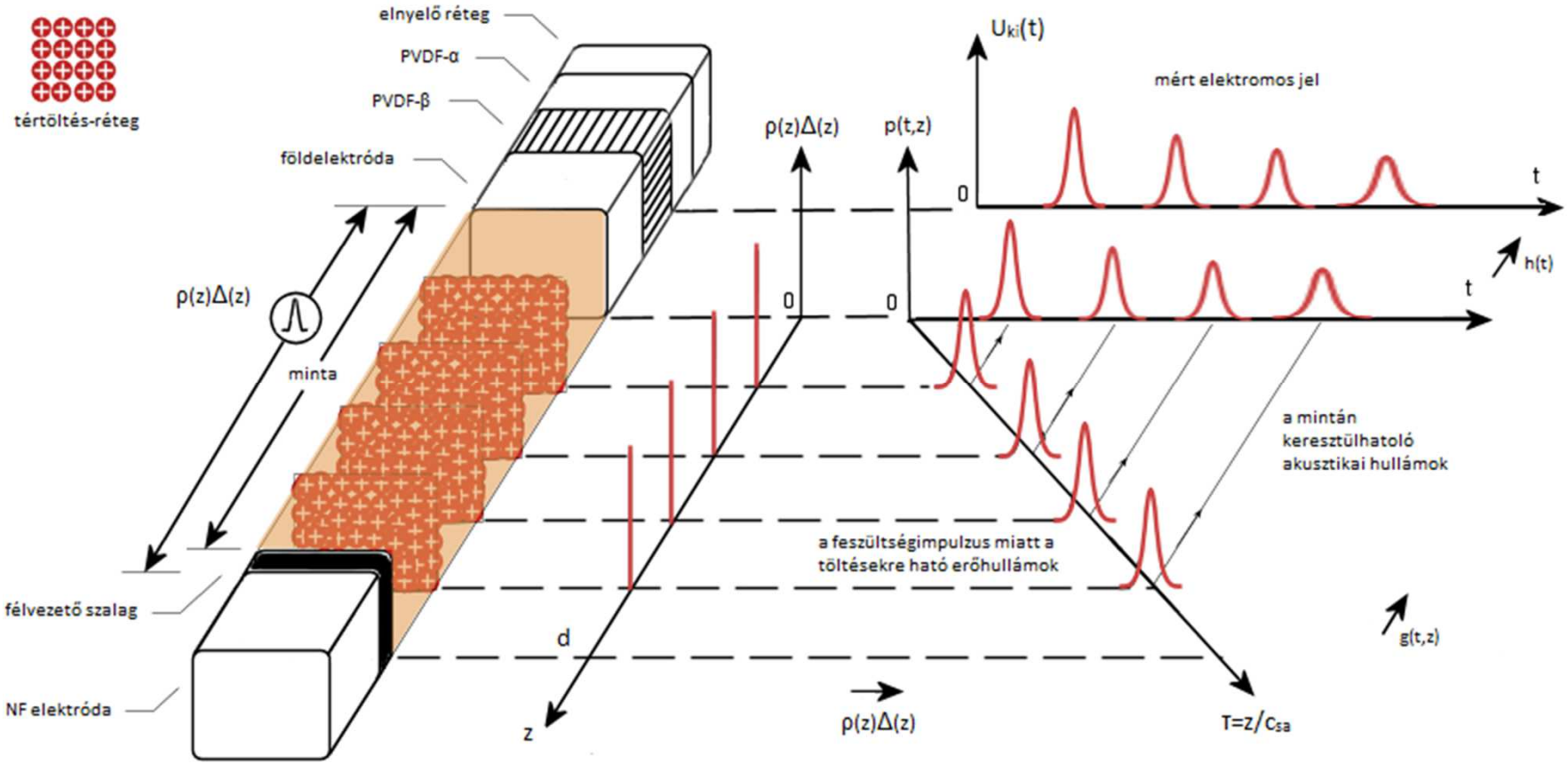
A tértöltések PEA rendszerű mérése
A Wagner-féle impulzusgenerátor

- kimeneti értékek egy 9,5m hosszú kábel két végén:
  - 500V, 100ns
  - 1000V, 50ns

MŰEGYETEM 1782

HIGHVOLTAGE LABORATORY

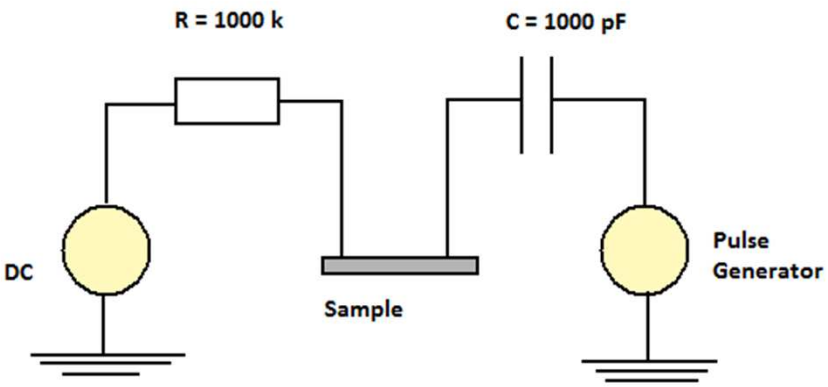
A tértöltések PEA rendszerű mérése Jelfeldolgozás

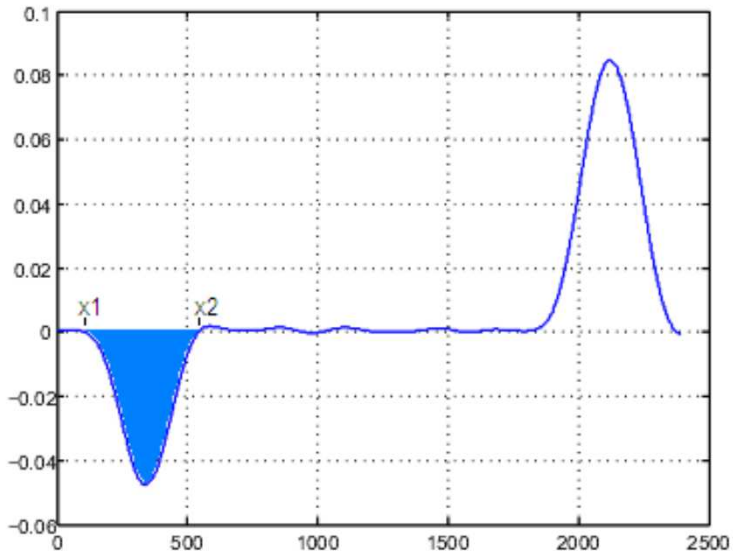


MŰEGYETEM 1782

HIGHVOLTAGE LABORATORY

A tértöltések PEA rendszerű mérése Jelfeldolgozás





- Tértöltés nélküli eset – az elektródok felületi töltéssűrűségének megjelenése → kalibrálásra használható
  - számítható a töltés
  - függőleges vonalként kell látszania a végeredményben

Köszönöm a figyelmet!

BME-NFL
Magyarország, Budapest
1111, Egry József u. 18.
Tel.: +36 1 463 3236
Fax: +36 1 463 3231
E-mail: cselko.richard@vet.bme.hu

MŰEGYETEM 1782

HIGHVOLTAGE LABORATORY