



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék

RÉSZLETÖRÉS VIZSGÁLAT NAGYFREKVENCIÁS ÁRAMVÁLTÓ HASZNÁLATÁVAL

Készítette: Ducsi Gergő

Neptun: Z91H43

Konzulens: Cselkó Richárd, tanársegéd

Németh Bálint, adjunktus

Tartalomjegyzék

TARTALOMJEGYZÉK	2
ÖSSZEFOGLALÓ	4
ABSTRACT	5
1 BEVEZETÉS	6
2 SZIGETELÉSDIAGNOSZTIKA	8
2.1 KÁBELEK SZERKEZETE	9
2.2 VILLAMOS IGÉNYBEVÉTELEK	10
2.2.1 Vezetés	10
2.2.2 Polarizáció	11
2.2.3 Vezetési és polarizációs folyamatok vizsgálati módszerei.....	13
2.2.3.1 Szivárgási áram vagy szigetelési ellenállás mérése	13
2.2.3.2 Veszteségi tényező mérése	14
2.2.3.3 Teljes feszültségválasz mérése	15
2.2.4 Átütés.....	17
2.3 TERMIKUS IGÉNYBEVÉTELEK	18
3 RÉSZKISÜLÉS VIZSGÁLATOK	20
3.1 RÉSZKISÜLÉS MEGHATÁROZÁSI TECHNIKÁK	22
3.1.1 Konvencionális mérőáramkörök használata.....	22
3.1.2 Oszcilláló hullámú vizsgálat (Oscillating Wave Test System OWTS).....	23
3.1.3 Időtartománybeli reflektrometria (Time-Domain Reflectometry TDR).....	24
3.1.4 Nem villamos módszerek.....	24
3.2 ADATGYŰJTÉS FORMÁI	25
4 ONLINE MÉRÉS	27
4.1 ONLINE MONITORING RENDSZER HASZNÁLATÁNAK ELŐNYEI	27
4.2 FELHASZNÁLT ESZKÖZÖK	32
4.2.1 Nagyfrekvenciás áramváltó.....	32
4.2.2 Oszilloszkóp.....	34
4.3 LABVIEW	34
4.3.1 Online részkisülés mérő szoftver.....	35

4.3.1.1	Optimális beállítás	38
5	ÖSSZEGZÉS	41
	ÁBRAJEGYZÉK.....	42
	IRODALOMJEGYZÉK	44

Összefoglaló

A villamosenergia-hálózat elosztói engedélyesei az utóbbi években egyre jobban rá lettek kényszerítve, hogy a működési költségeiket csökkentsék. Ez többek között azt eredményezi, hogy az elosztóhálózat elemeit egyre inkább azok tervezett élettartama közelében, sőt néhány esetben azt is meghaladva üzemeltetik. Az általuk biztosított szolgáltatás minőségének megőrzése vagy akár javítása érdekében elengedhetetlen ismerni a hálózat elemeinek aktuális állapotát, amely információk segítséget nyújtanak azok karbantartását, felújítását vagy cseréjét érintő döntéshozatalokban.

Emiatt egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik az olyan fejlett diagnosztikai módszerek iránt, amelyek fogyasztói zavartatás elkerülésével, statisztikai elemzésekre alkalmas adatokat szolgáltatnak. A szigetelésdiagnosztika célja, hogy a meglévő meghibásodásokat feltárja, a degradáció mértékét megbecsülje, tehát megfelelő adatokat biztosítson annak eldöntésére, hogy a szigetelés beavatkozás nélkül mennyi ideig maradhat üzemben.

A dielektromos folyamatok mérési eredményei jól tükrözik a kábelszigetelések általános öregedési állapotát, a részkisülések mérése pedig a helyi meghibásodásokat képesek kimutatni. A dolgozatom első részében ezeknek a folyamatok az értékelését és együttes alkalmazását mutatom be.

Ezután bemutatok egy olyan diagnosztikai eljárást, amely azon a fizikai folyamaton alapul, hogy a részkisülések a szilárd kábelszigetelésbe nagyfrekvenciás áramot indukálnak. Ezeket az árnyékoláson keresztül záródó áramokat megfelelő eszközökkel mérni lehet. Továbbá bemutatok egy olyan algoritmust, amely nagyfrekvenciás áramváltó használatával képes a statisztikailag használható folyamatos adatszolgáltatásra.

Abstract

In the past few years, the distribution license holders are increasingly forced to reduce their operational costs. This means, that the elements of the distribution system may have to operate closer to, or even exceeding their maximum lifestyle. In order to make this possible to maintain or even improve the quality of the service they provide, it is essential to determine the current status of the network elements. This information can help them to make decisions about maintenance, repair or even replace the elements.

In recent years the growing interest in advanced diagnostic systems resulted in several diagnostic methods which can provide data, suitable for statistical analysis. The insulation diagnostics aim to uncover the existing defects and estimate the degree of the degradation, thus provide adequate information to determine whether how long the insulator may remain in operation.

The results of dielectric measurements reflect the general aging condition of the cable insulation and the PD (partial discharge) processes are able to detect the local faults. In the first part of my thesis I focus on the evaluation and the combined use of this methods.

Then I present a diagnostic procedure which is based on the physical phenomenon that partial discharges induce high frequency current to the solid cable insulation. After that I describe an algorithm which provides statistically useful data supplied by a high frequency current transformer.

1 Bevezetés

A villamosenergia-átviteli és elosztó hálózatban manapság nagy szerepet játszanak az erősáramú kábelek, melyeket főként a nagyvárosokban, sűrűn lakott területeken alkalmaznak a villamosenergia továbbítására a fogyasztók felé. Ezeknek a kábelhálózatoknak az üzemeltetése jelentős pénzügyi beruházást igényel, hiszen rendkívül megbízhatónak kell lennie a várható élettartam előtti meghibásodások okozta bevétel kiesések csökkentése miatt.

Gyakran előfordul, hogy költségcsökkentés miatt ezeket a kábeleket az előre tervezett élettartam közelében, vagy éppen azt meghaladva üzemeltetik. Ennek eredménye képen az üzemeltetőknek meg kell hozniuk azokat a döntéseket, melyek a kábelhálózat karbantartását, javítását vagy éppen cseréjét érintik. Ezen döntések meghozatalához szükséges ismernünk a szóban forgó kábel, kábelek aktuális állapotát.

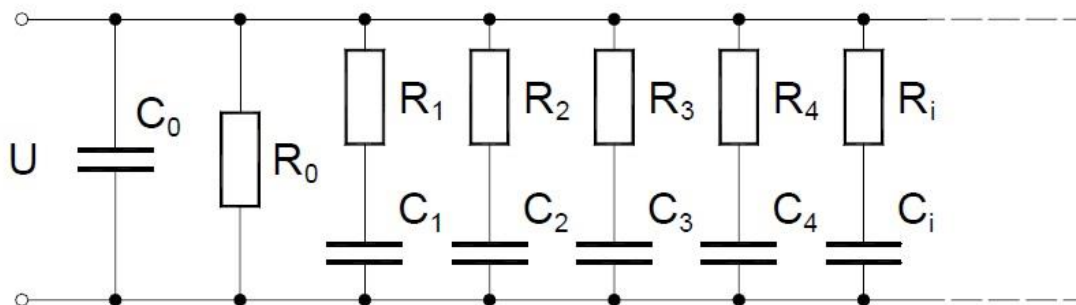
Egy villamos berendezés, így egy erősáramú kábel legkritikusabb része is annak a villamos szigetelése. A diagnosztikai eljárások célja, hogy lokalizáljuk azokat a degradációs folyamatokat, melyek meghibásodáshoz vezetnek. Léteznek roncsolásos, és roncsolásmentes eljárások, melyeket el lehet végezni a helyszínen, vagy laboratóriumi körülmények között. A tesztek során a szigetelések azon tulajdonságait lehet vizsgálni, melyek az öregedéshez kapcsolódnak. Leginkább olyan módszereket célszerű alkalmazni, melyek azokat a tulajdonságokat vizsgálják, amik többé-kevésbé lineárisan változnak az idő függvényében, így megfelelően lehet előre jelezni a meghibásodást.

Először röviden bemutatom a legelterjedtebb roncsolásmentes diagnosztikai eljárásokat, melyeket kábelszigetelések állapotának meghatározására használnak, majd külön kitérek az úgynevezett online részkisülés vizsgálatra, melynek lényege, hogy egy nagyfrekvenciás áramváltó használatával a kábelek árnyékolásában keletkező kis áramokat detektáljuk, és ezek segítségével vizsgáljuk a részkisülési folyamatokat. Ennek a módszernek a nagy előnye, hogy a kábelek üzemszerű működése mellett, azok kikapcsolása nélkül lehet vizsgálni a szigetelések állapotát.

Ezt követően röviden bemutatom, az online diagnosztikai rendszer használatának előnyeit valamint egy olyan eljárást, amely során egy moduláris oszcilloszkóp memóriájának tartalmából statisztikailag is – nem csak egyedi kiértékelésre – használható adatokat lehet kapni.

2 Szigetelésdiagnosztika

A szigetelések legfontosabb feladata az üzemszerűen vagy időszakosan különböző potenciálon lévő vezető részek egymástól való elszigetelése, egymáshoz való térbeli helyzetük rögzítése. A szigetelőanyagok legfontosabb tulajdonsága a villamos szilárdságuk. Az üzem közben fellépő igénybevételek miatt a szigetelőanyagok szerkezete megváltozhat. A két legfontosabb romlási folyamat az öregedés, és a nedvesedés. A kémiai, mechanikai és villamos tulajdonságok visszafordíthatatlan megváltozását nevezzük öregedésnek.



1. ábra: Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása

Üzem közben a szigetelések különböző igénybevételeknek vannak kitéve:

- környezeti igénybevételek,
- hőigénybevétel,
- villamos igénybevétel.

Ezek során fizikai és kémiai folyamatok zajlanak le. Kémiai folyamatok például az oxidáció, depolimerizáció vagy a főként PVC szigeteléseknél megfigyelhető sósavlehasadás. A fizikai folyamatok lehetnek mechanikaiak (nedvesedés, töredezés), vagy villamosak (treeing, részkiülések). A diagnosztikai eljárásokat két nagy csoportba lehet sorolni: roncsolásos, és roncsolásmentes vizsgálatok.

A roncsolásos vizsgálatok mintavétellel járó eljárások, melyek során a mintával különböző mechanikai (rugalmasság, sűrűség, keménység) és kémiai vizsgálatokat (polimerizációs fok, Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia,

OIT) végeznek. Ide soroljuk az átütési vizsgálatokat is, hiszen a szigetelőanyag villamos tulajdonságai az átütés következtében leromlanak.

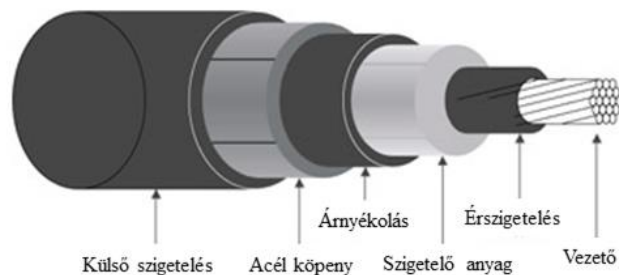
Roncsolásmentes eljárás például a dielektromos jellemzők vizsgálata ($\tan \delta$, visszatérő feszültség mérése, dielektromos spektroszkópia), a feszültségpróba vagy a részleges kisülések vizsgálata. A feszültségpróba célja, hogy megvizsgáljuk egy adott szigetelés villamos szilárdságát, hogy az egy adott érték felett van-e. [1]

2.1 Kábelek szerkezete

Az erősáramú kábeleknek alapvetően három fő része van: a vezető, a szigetelés és a védőburkolat. Különböző kábeltípusok léteznek attól függően, hogy hány erű a kábel, milyen a szigetelése, stb..

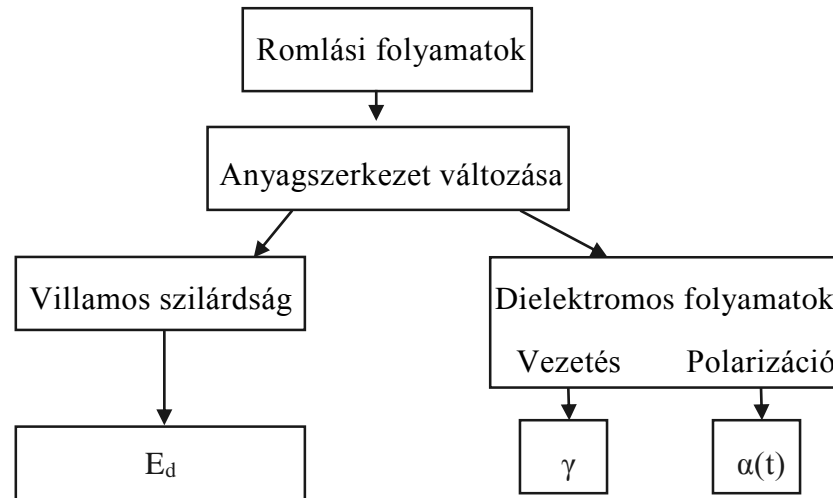
A magyarországi kábelhálózaton az egyik legelterjedtebb szigetelőanyag típus az olaj-papír szigetelés. A kábel eret olajjal átitatott papírral tekerik be több rétegben. Egyre elterjedtebbek az extrudált szigetelésű (térhálósított polietilén (XLPE)) kábelek, melyek olcsóbbak, és egyszerűbben összeszerelhetők, mint az olaj-papír szigetelésű kábelek.

Egy általános kábelszerkezet látható a 2. ábra. A vezető sodronyt az alkalmazott feszültséginttől függő különböző vastagságú szigeteléssel burkolják be. Az érszigetelésen lévő szigetelőanyagnak a kellő hajlékonyság biztosítása is a feladata. Az acél köpeny feladata a kábel védelme a külső mechanikai behatások ellen. A külső szigetelés anyaga általában PVC. A három erű kábeleknél alkalmaznak még kitöltő anyagot is, amely a szimmetrikusan elhelyezkedő kábel erék körüli részt kerekre egészíti ki.



2. ábra: Egy erű kábel általános szerkezeti felépítése

2.2 Villamos igénybevételek



3. ábra: Villamos vizsgálati módszerek alapja

Villamos térerősség hatására egy szigetelőanyagban, annak öregedése miatt, különféle villamos folyamatok indulhatnak meg. Ha ez a villamos térerősség az anyag villamos szilárdságánál alacsonyabb, akkor a 3. ábra is látható alapvető dielektromos folyamatok jöhetnek létre, a vezetés és a polarizáció. Ha a térerősség meghaladja az anyag villamos szilárdságát, akkor az elektródok között létrejön a villamos ív, - plazma állagú levegő – és átütés következik be. Meg kell jegyezni, hogy ezek a folyamatok csak a szigetelő anyagszerkezeti romlását tárják fel, a részkiismeretekhez további vizsgálatok szükségesek, hiszen azok akkor is létrejöhetnek, ha az anyagszerkezet maga hibátlan.

2.2.1 Vezetés

A szigetelő anyagokban kevés számú szabad töltéshordozó található, ezért ezeknek az anyagoknak a vezetőképessége nagyon kicsi, de nem nulla. Nem tökéletes szigetelők, szigetelési ellenállásuk nem végtelen, bennük nagyon kis értékű áram folyhat, amit a térerősség hatására elmozduló szabad töltéshordozók okoznak. Ezek a töltéshordozók a térerősség megszűnését követően nem vándorolnak tovább. A vezetési folyamat erőssége két mennyiséggel jellemezhető:

- egységnyi térfogatra vonatkoztatott γ fajlagos térfogati vezetőképességgel [A/Vcm],

- ennek reciprokjával, a ρ fajlagos térfogati ellenállással [$\Omega \cdot \text{cm}$].

A vezetés nagymértékben függ a hőmérséklettől, hiszen nagyobb hőmérsékleten a vezetést okozó töltéshordozók gyorsabban mozognak. A legtöbb szigetelőanyag esetében igaz az alábbi hőmérséklet összefüggés:

$$\gamma = A \cdot e^{-B/T} \quad (1)$$

Az (1) egyenletben szereplő jelölések:

- γ a fajlagos vezetőképesség [A/Vcm],
- A és B a szigetelőanyagra jellemző állandók,
- T hőmérséklet [K]. [3]

A szigetelőanyagok vezetőképessége függ a kialakuló villamos térerősségtől is, a következő összefüggés szerint:

$$\gamma = a \cdot e^{b \cdot E} \quad (1)$$

A (2) egyenletben szereplő jelölések:

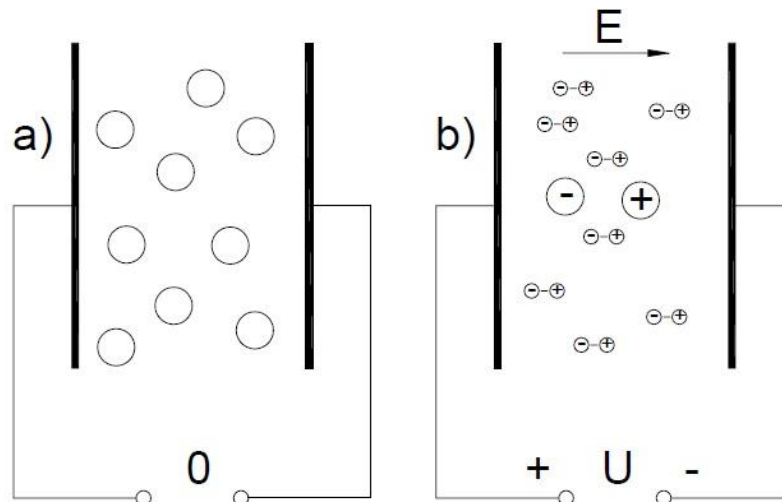
- γ a fajlagos vezetőképesség [A/Vcm],
- a és b szigetelő anyagra jellemző állandók,
- E villamos térerősség vektor abszolút értéke. [3]

Szilárd szigetelések vezetőképessége a környezet páratartalmától is erősen függ, mivel a szigetelőanyagok nedvességtartalma a páratartalom változását késéssel követi.

2.2.2 Polarizáció

A vezetési folyamattól eltérően polarizáció esetében a töltéshordozók nem haladnak keresztül a szigetelőanyag teljes hosszában egyik elektródtól a másikig, hanem villamos erőtér hatására nyugalmi helyzetükből tolódnak el, majd az erőtér megszűnése után ebbe a nyugalmi helyzetbe állnak vissza.

A szigetelőanyagok kifelé semleges töltésűek, viszont belsejükben vannak pozitív és negatív töltéssel rendelkező részecskék is, amik erőtér hiányában kiegyenlítik egymást. Erőtér hatására viszont az anyag dipólussá változik (4. ábra).



4. ábra: Semleges (a) és polarizálódott (b) szigetelőanyag [3]

Attól függően, hogy mekkora a polarizációt létrehozó töltések nagysága és sűrűsége, különböző elmozdulási időállandók adódnak. Ezek az időállandók a 10^{-14} - 10^4 s tartományban mozognak. Egy szigetelőanyagban egyszerre több fajta polarizáció alakulhat ki (1. táblázat)

Polarizáció fajtája	Időállandó τ [s]
Elektroneltolódási	$10^{-16} - 10^{-14}$
Ioneltolódási	$10^{-13} - 10^{-12}$
Hőmérsékleti ioneltolódási	$10^{-4} - 10^{-2}$
Rugalmas orientációs	$10^{-13} - 10^{-12}$
Hőmérsékleti orientációs	$10^{-10} - 10^{-6}$
Határréteg	$10^{-3} - 10^3$
Tértöltéses	$10^{-3} - 10^3$

1. táblázat: Polarizáció fajtái és időállandói

Ezekből az időállandókból felrajzolható a polarizációs spektrum.

A különböző időállandójú polarizáció fajtákat különböző módszerekkel lehet vizsgálni. A leggyorsabb folyamat infravörös abszorpciós szinkép-elemzéssel vizsgálható. Ebben a tartományban keletkeznek a szerves szigetelőanyagokban a

gyökök lehasadása. A következő tartomány $10^{-10} - 10^{-1}$ s-ig terjed, melyet veszteségi tényező mérésével lehet vizsgálni. Az ennél nagyobb időállandóval rendelkező folyamatokat egyenfeszültség ugrásra adott feszültségválaszból állapítják meg.

2.2.3 Vezetési és polarizációs folyamatok vizsgálati módszerei

A szigetelésben létrejövő vezetési és polarizációs folyamatokat roncsolásmentesen a dielektromos jellemzők mérésével lehet vizsgálni. Az alábbi jellemzők méréséből következtetni lehet a szigetelőanyag állapotára:

2.2.3.1 Szivárgási áram vagy szigetelési ellenállás mérése

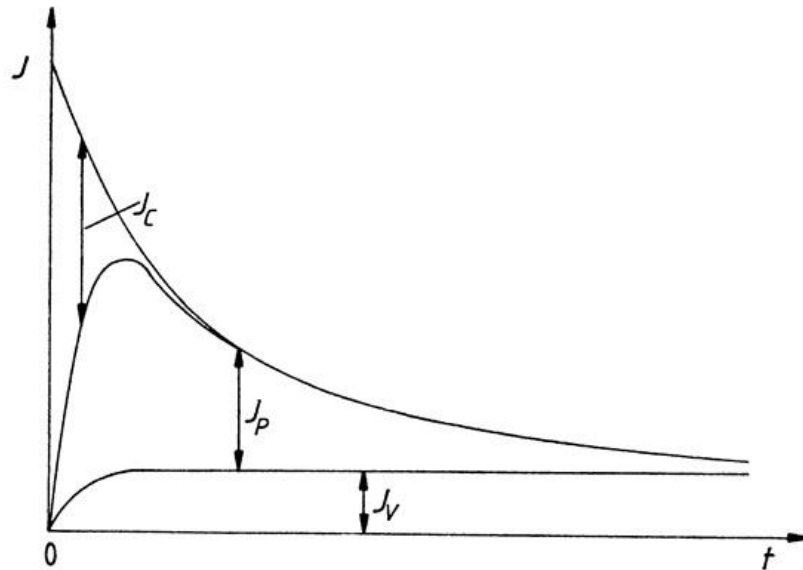
A vizsgálandó szigetelést egyenárammal töltik, és különböző időpontokban regisztrálják a mért áramot vagy ellenállást. A szivárgási áram három komponensből tevődik össze: kapacitív töltőáram (J_c), polarizációs áram (J_p) és a vezetési áram (J_v). A mért áramsűrűségekből számolni lehet a fajlagos vezetőképességet, a polarizációs vezetőképességet, az abszorpciós tényezőt és a polarizációs indexet (2. táblázat).

Fajlagos vezetőképesség	Polarizációs vezetőképesség	Abszorpciós tényező	Polarizációs index
$\gamma = \frac{J(\infty)}{E}$	$\beta = \frac{J(0) - J(\infty)}{E}$	$K_A = \frac{J(15'')}{J(60'')}$	$PI = \frac{J(1')}{J(10')}$

2. táblázat: A fajlagos vezetőképesség és a polarizációs vezetőképesség számítása a szivárgási áramból

A táblázatban szereplő jelölések:

- γ : fajlagos vezetőképesség [A/Vcm],
- $J(\infty)$: állandósult áramsűrűség,
- E : villamos térerősség,
- $J(0)$: kezdeti áramsűrűség,
- K_A : abszorpciós tényező,
- $J(15'')$: 15 másodperces áramsűrűség értéke,
- $J(60'')$: 1 perces áramsűrűség,
- $J(1')$: 1 perces áramsűrűség,
- $J(10')$: 10 perces áramsűrűség.

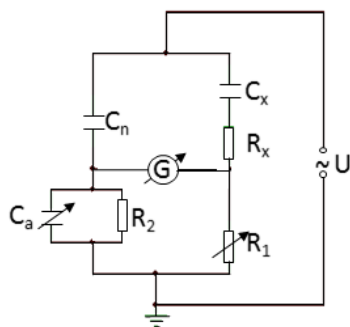


5. ábra: A szivárgási áram összetétele [4]

2.2.3.2 Veszteségi tényező mérése

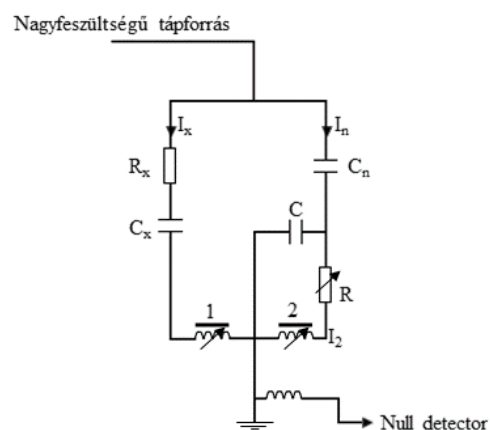
Egy valós dielektrikumban folyó kis értékű áramnak két része van: egy kapacitív áram, és egy ohmos összetevő. Az áram hatására dielektromos veszteség keletkezik, ami a veszteségi tényezővel, vagy más néven $\tan \delta$ -val jellemezhető. A veszteségi tényező értéke függ a hőmérséklettől, a szigetelés anyagától, öregedésétől, stb.. A gyakorlatban elterjedt mérési módszerek a különböző mérőhidak használata. Ilyen mérőhíd például a Schering-híd vagy a Glynne-híd.

Schering-híd



$$\tan \delta = \omega * R_2 * C_a$$

Glynne-híd

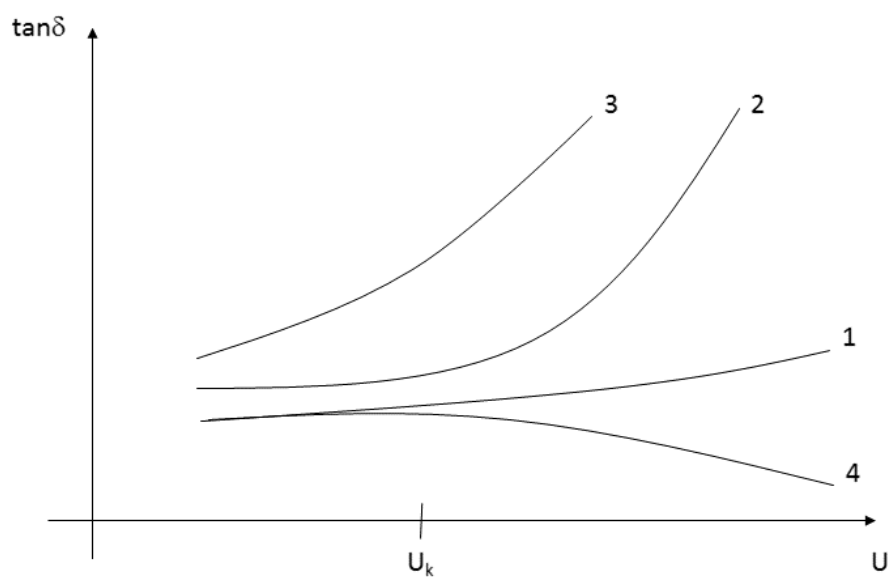


$$\tan \delta = \omega * R(C_n + C)$$

6. ábra: Schering-híd és a Glynne-híd [4]

Mind a két mérési elrendezés azonos elven alapul. Középen található egy galvanométer, ami segít a kiegyenlítettség ellenőrzésében. A C_x és az R_x elemek reprezentálják a vizsgálandó szigetelést, a változtatható értékű ellenállások és kondenzátorok pedig segítenek a híd elrendezések kiegyenlítésében.

Megfelelő állapotú szigetelés esetében a feszültség növelésével a veszteségi tényező közel változatlan marad (7. ábra 1. görbe). A 2. függvény részkiülések jelenlétére utal, a 3. egy elnedvesedett szigetelőt mutat. A 4. függvény egy előregedett szigetelő veszteségi tényező változása a feszültség függvényében.



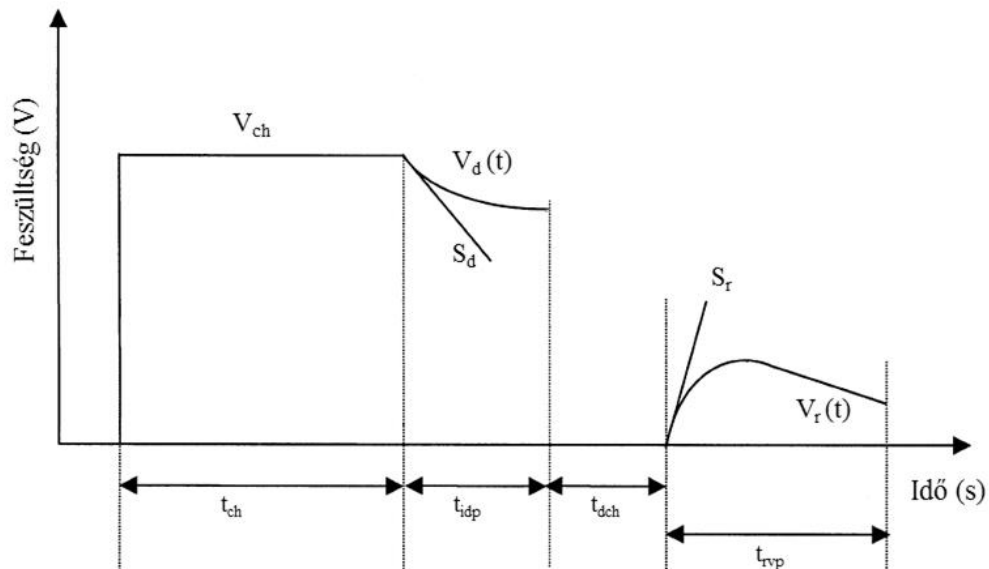
7. ábra: Veszteségi tényező a feszültség függvényében

2.2.3.3 Teljes feszültségválasz mérése

A módszer a kisülési és a visszatérő feszültség mérésén alapul. A szigetelést először feltöltik egyenfeszültséggel, majd a forrást leválasztják. Ekkor a töltések a szigetelés ellenállásán egyenlítődnek ki, a feszültség csökkenni fog. Így mérhető a kisülési feszültség görbéje. A folyamat magyarázható a szigetelések helyettesítő képével: a geometriai kapacitás a szigetelési ellenálláson keresztül kisül.

Ezután a feltöltött szigetelést rövidre zárják egy rövid ideig. Miután a rövidzár megszűnt, a szigetelésben létrejövő polarizációs folyamatok következtében mérhető lesz a visszatérő feszültség görbéje. A szigetelőanyagok helyettesítő képével az alábbi módon magyarázható: a rövidre zárás alatt a geometriai kapacitás, valamint a kis időállandókhöz tartozó kapacitások kisülnek, majd a rövidzár megszűnése után a

nagyobb időállandókhoz tartozó kapacitások tölteni kezdik a kisült kondenzátorokat. Később a szigetelési ellenálláson keresztül az összes kondenzátor kisül, a feszültség lecseng. A teljes feszültségválasz módszer feszültségviszonyai a 8. ábrán látható. Előnye, hogy a két dielektromos folyamat egymástól függetlenül vizsgálható.



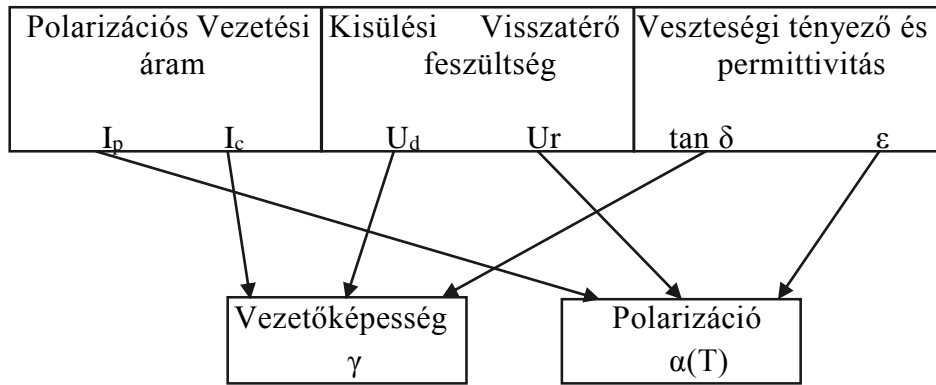
8. ábra: Teljes feszültségválasz feszültségviszonyai [4]

A kisülési feszültség kezdeti meredekségéből (S_d) a vezetőképességet, a visszatérő feszültség kezdeti meredekségéből (S_r) pedig a polarizációs vezetőképességet lehet számolni.

Fajlagos vezetőképesség	Polarizációs vezetőképesség
$\gamma = S_d * \epsilon_0 / V_{ch}$	$\beta = S_r * \epsilon_0 / V_{ch}$

3. táblázat: A fajlagos vezetőképesség és a polarizációs vezetőképesség számítása a kezdeti meredekségekből

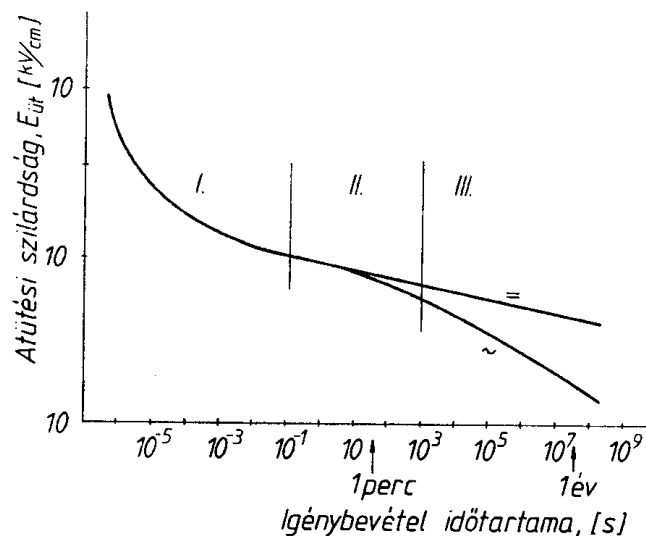
A polarizációs és vezetési folyamatok jellemzésére használt vizsgálati módszereket, valamint a mért mennyiségek és a dielektromos folyamatok közötti kapcsolatot mutatja be a 9. ábra.



9. ábra: Vizsgálati módszerek a dielektromos folyamatok jellemzésére [5]

2.2.4 Átütés

Ha egy szigetelésre, annak villamos szilárdságánál nagyobb térerősséget kapcsolunk, akkor az anyag szigetelőképessége letörik és létrejön az elektródák között a villamos ív, vagyis átütés keletkezik a szigetelőanyag belsejében. Ha ez a közeg gáz vagy folyadék, akkor a villamos ív kialvása után a szigetelőanyag villamos szilárdsága visszaáll az eredeti értékre. Szilárd anyagok esetében viszont az átütés minden esetben maradandóan ronsolja a szigetelést.



10. ábra: Szilárd szigetelőanyagok villamos szilárdságának változása az igénybevétel időtartamának függvényében [3]

A 10. ábra megfigyelhető görbe 3 részre osztható. Az első tartományra a villamos átütés jellemző, a másodikra pedig a hővillamos átütés. A második tartományban megfigyelhető, hogy különválik a váltakozó-, és az egyenfeszültségű eset. Ez azzal magyarázható, hogy váltakozófeszültségen nagyobb a dielektromos

veszteség, és ez által kisebb az átütési szilárdság. A 3. szakasz a villamos öregedés tartománya. Ebben a szakaszban a tartós üzemi igénybevételek hatására végbemenő folyamatok okozzák az átütési szilárdság csökkenését.

Az átütés egyik fajtája a részleges kisülés, amely során az anyag csak helyileg veszíti el villamos szilárdságát. A részkisülés folyamatával a következő fejezetben foglalkozom.

2.3 Termikus igénybevételek

A szigetelést érő hőigénybevétel az egyik legfontosabb öregedést befolyásoló tényező. Magas hőmérsékleten megnő a kémiai reakciók sebessége, ami a szerves szigetelőanyagok fő öregedési mechanizmusa. Az olaj-papír szigetelésű kábelek degradációjának sebessége a jól ismert Arrhenius összefüggéssel számolható:

$$k = k_{max} * e^{-\frac{E_a}{k_B * T}} \quad (2)$$

A (2) egyenlet jelölései:

- k reakciósebességi állandó [1/s],
- k_{max} anyagtól függő állandó,
- E_a aktivációs energia,
- k_B Boltzmann-állandó,
- T abszolút hőmérséklet.

A szigetelőanyagokat hőállósági osztályokba lehet sorolni attól függően, hogy 20000 órányi igénybevételt mekkora hőmérsékleten képes elviselni az anyag. A hőállósági osztályokat, azok maximális hőmérsékletét valamint a jellemző anyag típusait a következő táblázat foglalja össze: [1]

Hőállósági osztály	Legnagyobb üzemi hőmérséklet [°C]	Anyagok
Y	90	Papír, selyem, PVC, polietilén
A	105	Papír és selyem olajban, műgumik
E	120	Bakelit, poliamid gyanták

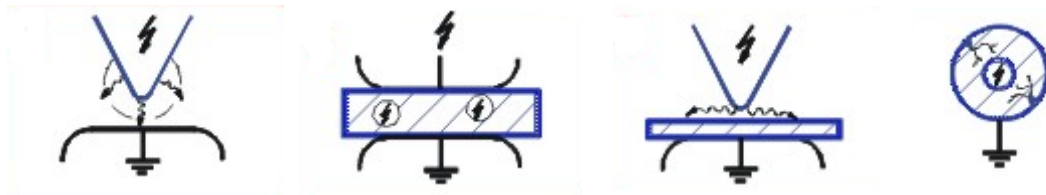
<i>B</i>	<i>130</i>	Szervetlen anyagokból készült anyagok
<i>F</i>	<i>155</i>	Lakkokkal telített üvegszövet
<i>H</i>	<i>180</i>	Szilikonok, gyanták
<i>C</i>	<i>>180</i>	Csillám, üveg, porcelán

4. táblázat: Szigetelők hőállósági osztályai, és azok jellemző anyagai

3 Részkisülés vizsgálatok

Részletörésről akkor beszélünk, ha a szigetelőanyag csak helyileg veszíti el átütési szilárdságát, a letörés nem ér elektródától elektródáig. Használatos megnevezés még a részkisülés, vagy a részleges kisülés fogalmak is. A folyamat lejátszódhat szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú anyagokban is. Négy különböző alaptípust különböztetünk meg:

- koronakisülés,
- üregkisülés,
- felületi kisülés,
- treeing.



11. ábra: Részkisülések alaptípusai: koronakisülés, üregkisülés, felületi kisülés, treeing [7]

A részkisülések ugyan nem hidalják át a teljes elektródaközt, viszont magas hőmérsékletük miatt folyamatosan roncsolják a szigetelőanyagot. Olyan eset is előfordulhat, hogy a folyamatnak az anyag degradálásában nincs nagy szerepe, viszont más hibák kimutatására tökéletesen alkalmas. Például jelzi, ha egy több rétegű szigetelés rétegei egymástól elváltnak.

Ott, ahol a részletörés megjelenik, az ionozási folyamatok révén, az elektródákon áramimpulzus jelenik meg. Ennek az impulzusnak a részkisülés helyén rövid a felfutási ideje, és ahogy terjed a kábelben, a diszperzió következtében növekszik ez a felfutási idő, így számolni lehet a hiba helyét. A terjedés során az impulzus energiát veszít. Ez az energiaveszteség kifejezhető a távolság és a frekvencia függvényében:

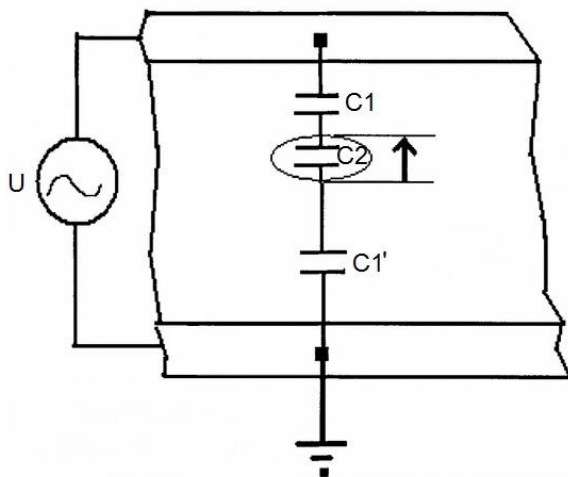
$$\kappa(z, f) = e^{-\alpha(f)z}, \quad (3)$$

ahol:

- κ : energiaveszteség,
- z : távolság,
- f : frekvencia,
- α : frekvenciafüggő csillapítási együttható [$\text{Np} \cdot \text{m}^{-1}$]. [12]

A részkisülések két, egymással ellenkező irányba haladó impulzust keltenek. Az impedanciák függvényében ezek az impulzusok reflektálódhatnak, ami ronthatja az érzékelést. Ezért szükséges, hogy a részkisülés forrásának megállapításakor ezeket a reflexiókat figyelembe vegyünk.

Az üregkisülés folyamata a 12. ábra segítségével magyarázható el. Középen található a zárvány, melyet $C2$ kapacitással lehet leképezni. Ennek az üregnek a permittivitása ε_2 . Körülötte az ε_1 permittivitású szigetelőanyag helyezkedik el. Az ε_2 kisebb ε_1 -nél. Az U feszültségforrás bekapcsolásával az üregben megjelenik egy E nagyságú térerősség. Ha növeljük a feszültséget, akkor a térerősség is nőni fog az üregben addig, amíg el nem éri a kitöltő anyag átütési szilárdságát. Mivel $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$, csak az üregben fog létrejönni átütés, az elektródák között nem. Miután a töltésáramlás következtében az átütés megszűnik, a folyamat kezdődik előlről. [1]



12. ábra: Üregkisülés helyettesítő képe

Nemrégiben készült egy olyan európai szintű projekt, melyben egyetemek, rendszerirányítók, kábelgyártók valamint kis- és középvállalkozások is részt vettek. A tanulmány lényege, hogy vettek egy 15 éve működő térhálósított polietilén kábelt,

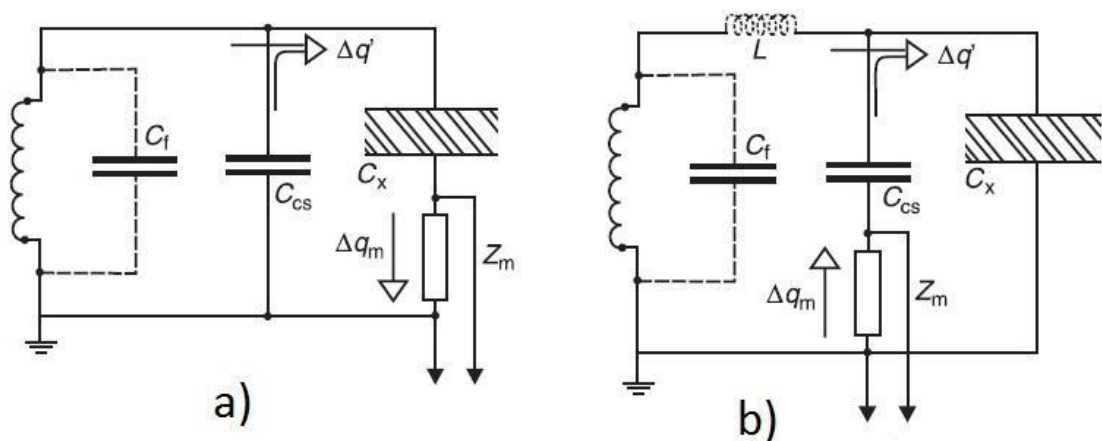
amelyből mintadarabokat vágta ki. A mintákon különböző villamos, mechanikai, kémiai és fizikai vizsgálatokat is elvégeztek, és az eredményeket összehasonlították ugyanennek a kábelnek az elmúlt 15 évben raktárban, szobahőmérsékleten tartott darabjával. Mindegyik vizsgálat eredménye az volt, hogy nincs észrevehető különbség a két kábel vizsgálati eredményei között. Ezért azt a következtetést lehet levonni, hogy a kábelszigetelés degradációjában, a legnagyobb mértékben a helyi villamos jelenségek, mint például a részkisülések jelenléte vesznek részt, amely folyamat jelentősen megnöveli a villamos mező értékét, ezáltal öregíti a kábelszigetelést.

3.1 Részkisülés meghatározási technikák

A kábelhálózatokon keletkező részletörések észlelésére több különböző elven alapuló technikát használnak. A következőkben ismertetem a legelterjedtebb módszereket.

3.1.1 Konvencionális mérőáramkörök használata

A legelterjedtebb elrendezések a soros és a párhuzamos vizsgálóáramkörök. Mind a két típusnál található csatolókapacitátor, mérőimpedancia, próbatest és egy transzformátor. A próbatestben keletkező részletörések hatására egy $\Delta q'$ töltésű áramimpulzus keletkezik, a töltéskülönbség kiegyenlítésére. Ez az áram keresztülfolyik a mérőimpedancián, és ennek nagyságából következtetni lehet a részkisülés mértékére.



13. ábra: Hagyományos részkisülés vizsgáló áramkörök: soros (a) és párhuzamos (b) [4]

A soros elrendezést csak olyan szigetelések vizsgálatára használható, melyek a földtől elszigeteltek. A párhuzamos kapcsolásban a mérőimpedancia van párhuzamosan kapcsolva a vizsgált szigeteléssel. Ebben az áramkörben található még egy fojtótekerecs is, ami azt biztosítja, hogy az áramimpulzus teljes egészében a mérőimpedancián haladjon keresztül.

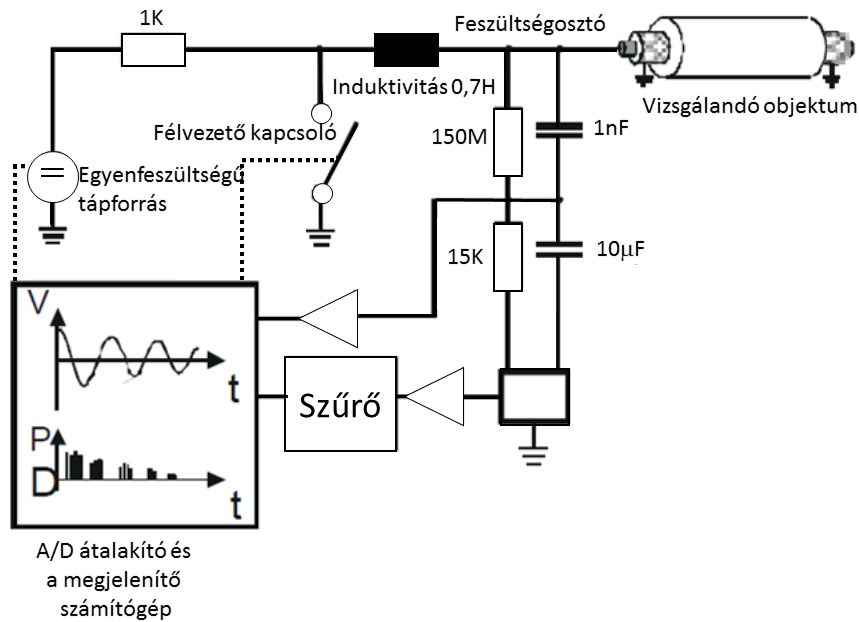
3.1.2 Oszcilláló hullámú vizsgálat (*Oscillating Wave Test System OWTS*)

A rendszer előnye, hogy lehetővé teszi a helyszíni vizsgálatokat, melyek viszonylag rövid ideig tartanak (~ 1 óra), valamint kompakt, a vizsgálati helyek között könnyen mozgatható. Felépítését tekintve egy egyenáramú nagyfeszültségű tápforrásból, félvezető kapcsolóból, feszültségosztóból és egy induktív tekercsből áll. Továbbá tartozik még hozzá egy ipari számítógép is, mely a mérő és elemző funkciókat látja el.

Első lépésben a próbatárgyat egyenfeszültséggel töltik fel néhány másodpercig, amíg el nem éri az üzemi feszültség szintet. Ekkor zárják a félvezető kapcsolót, ami a tápforrást leválasztja. Így létrejön egy tekercsből és egy kondenzátorból álló soros rezgőkör. Az áramkör az elemek által meghatározott rezonanciafrekvencián kezd el oszcillálni:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L*C}}, \quad (4)$$

A tekercs értékét úgy kell megválasztani, hogy a kialakuló frekvencia közel azonos legyen az üzemi frekvenciával (50Hz). Egy mérőáramkör érzékeli az oszcilláló hullám hatására keletkezett részkisüléseket. A rendszer használatával a részletörések helye is meghatározható vándorhullám módszerrel. A feszültség- és áramértékek méréséhez és kijelzéséhez A/D átalakítókat használnak. [1]



14. ábra: Az oszcilláló hullámú vizsgálat áramköri felépítése [4]

3.1.3 Időtartománybeli reflektometria (*Time-Domain Reflectometry TDR*)

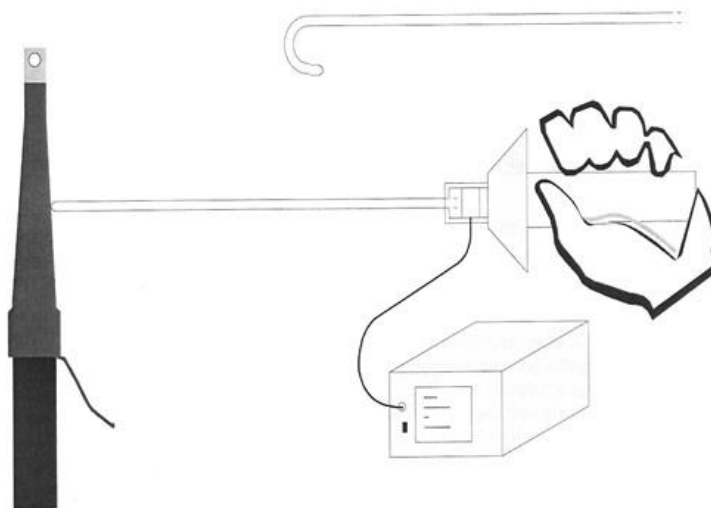
A vizsgálat során egy rövid felfutási idejű impulzust indítanak el a vezetőkben. Ez az impulzus végighalad a kábelben, majd a lezáró impedancia függvényében visszaverődik. Ha a terjedése során egy megváltozott hullámimpedanciájú ponthoz érkezik a hullám, akkor ezen a diszkontinuitási ponton reflexió keletkezik. A visszavert hullám alakjából, nagyságából, a visszaverődés idejéből és a jelterjedés idejéből számítható a diszkontinuitási pont távolsága a jelforrástól, így pontosan meghatározható a szigetelésben lévő hiba pontos helye.

3.1.4 Nem villamos módszerek

A részletörések mérését nem villamos módszerek használatával is el lehet végezni.

- Optikai vizsgálat: a részkiülés során az elektronok gerjesztett állapotba kerülnek. Amikor ez az állapot megszűnik, az elektronok az energiájukat elsugározzák, ami nagyrészt az UV fény tartományába esik. A kibocsátott fény spektruma információt ad arról, hogy a részkiülés milyen közegben keletkezett.

- Akusztikus vizsgálat: a részkisülések hőmérsékletemelkedést okoznak, melyek mechanikai hullámokat keltenek. Ezeket a hullámokat akusztikus érzékelővel detektálni lehet. A hullámok amplitúdója arányos a kisülés energiájával. Nagy előnye, hogy érzéketlen az elektromágneses zavarokra. Segítségével a leggyakoribb szerelési hibák detektálhatók. [1]



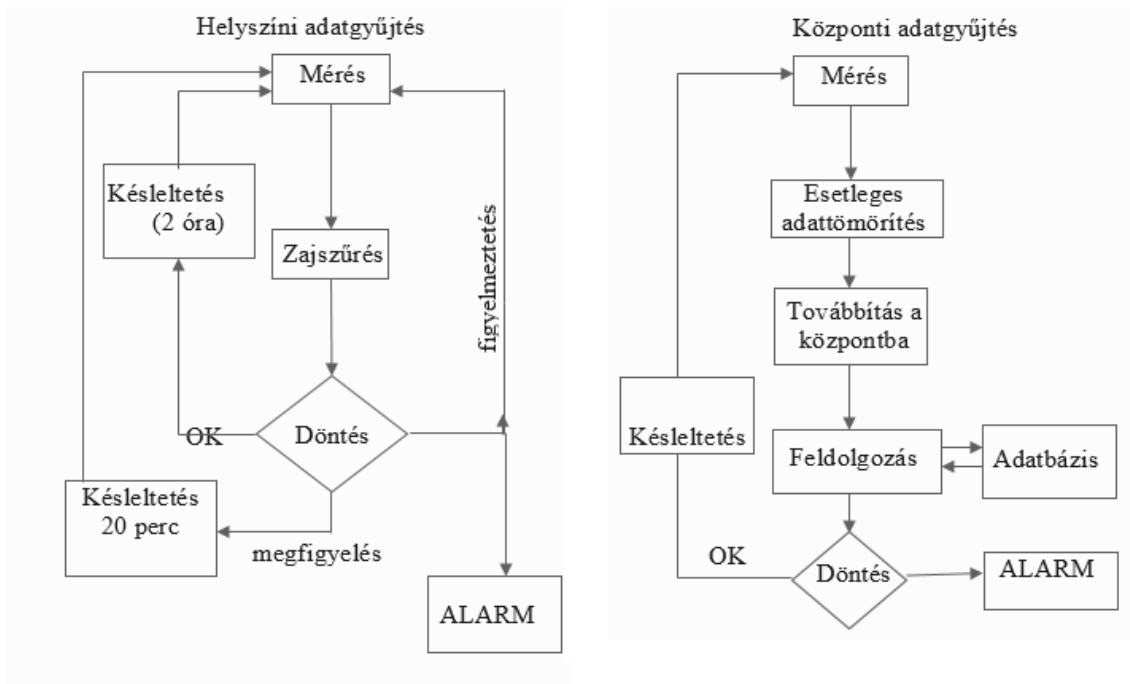
15. ábra: Akusztikus vizsgálat mérési elrendezése [4]

3.2 Adatgyűjtés formái

A részkisülési mérések során begyűjtött adatok feldolgozásának két fajtáját különböztetjük meg: a helyszíni és a központi adatfeldolgozást.

Helyszíni mérés során először zajszűrést kell végezni, majd el kell dönteni, hogy a mért értékek helyesek-e. Három választás van. Ha minden rendben van, akkor ~2 óra után meg kell ismételni a mérést. Ha vannak hibára utaló jelek, de azok nem mértékadóak, akkor kicsit hamarabb kell elvégezni az újabb mérést. A harmadik út az, amikor egyértelműen detektálható a hiba. Ekkor hibaüzenetet kell küldeni.

Központi mérés esetén a mért és tömörített adatokat továbbküldve a központba, azok feldolgozásra kerülnek. Ekkor egy adatbázissal össze kell vetni a kapott eredményeket, majd ezeket ki kell értékelni, hogy van-e hiba. Ha nincs, akkor bizonyos idő múlva meg kell ismételni a mérést. Ha detektálható a hiba, akkor itt is egy hibaüzenetet kell küldeni. Az 5. táblázat összehasonlítja a két fajta mérés előnyeit és hátrányait. [1]



16. ábra: A helyszíni és a központi adatfeldolgozás

	Helyszíni adatgyűjtés	Központi adatgyűjtés
Előnyök	kevés adat	van egy központi adatbázis, ami a korábbi értékeket tárolja, így azokkal összehasonlítható a beérkezett adat; könnyen frissíthető, nem kell kimenni minden egyes helyszínre
Hátrányok	nem lehet hihetőségi vizsgálatot készíteni; a rendszer frissítése esetén nem lehet azt központilag elvégezni, ki kell menni a helyszínre;	a nagy adatmennyiséget kell továbbítani

5. táblázat: A helyszíni és a központi adatgyűjtés előnyei és hátrányai

4 Online mérés

Az online mérések lényege, hogy a vizsgálatokat a kábelek kikapcsolása nélkül, üzem közben lehet elvégezni. A részkisülés érzékelőket, melyek általában nagyfrekvenciás áramváltók, a vizsgálandó kábelek árnyékolásának alállomási kivezetésére kell csatlakoztatni. Lehetőség van még TEV (*Transient Earth Voltage*) és AA (*Airborne Acoustic*) szenzorok elhelyezésére is. A TEV szenzorok a kapcsolókészülékekben, transzformátorokban, kábelvégelezésekben keletkező belső részkisülések ($4\text{MHz}-100\text{MHz}$) detektálására alkalmasak. Ezeket a vizsgálandó berendezések külső felszínére kell felhelyezni. Az AA szenzorok, például légszigetelésű kapcsolókészülékekben keletkező külső részkisülések (40kHz) érzékelését végzik. A részkisülés mérő szenzorokat koaxiális kábellel lehet a csatlakoztatni a monitoring rendszerhez.

A nagyfrekvenciás áramváltók használatával körülbelül 30MHz -ig lehet kiterjeszteni a mérés felső frekvenciahatárát, amivel kedvező jel-zaj viszonyt lehet elérni.

4.1 Online monitoring rendszer használatának előnyei

Az online monitoring célja, hogy a mérnököknek, karbantartóknak, üzemeltetőknek és a vezetés tagjainak információt biztosítson egy rendszer teljesítményéről, a berendezések állapotáról, valamint iránymutatást adjon az esetlegesen szükséges és alkalmazandó fejlesztésekről. Egy tipikus online monitoring rendszer a következő elemekből épül fel:

- offline számítógépes hardver,
- kommunikációs hardver és szoftver az adatok kinyerésére,
- az online monitoring szoftver, amely analizálja és megjeleníti az adatokat.

Alkalmazható egy berendezés (pl.: erősáramú kábel) állapotfigyelésére, egy esetleges hiba felderítésének vagy a kiesési idő kezelésének céljából. Számos kezdeti költséggel kell számolni a rendszer kiépítése során. Ezeknek a költségeknek egy részét a fix, a másik részét a változó költségek kategóriájába lehet sorolni.

Az online állapotfigyelés egy olyan kezdeti beruházást igényel, amely a technológia telepítéséhez és végrehajtásához szükséges. Ezek a kezdeti költségek a fix költségek kategóriájába tartoznak. Szintén fontos a megfelelő képzés is a személyzet számára. Néhány kezdeti költség:

- szoftver licenc;
- számítógépek, eszközök;
- a személyzet kiképzése;
- a helyszíni mérőeszközök konfigurálása;
- további helyszíni intézkedése.

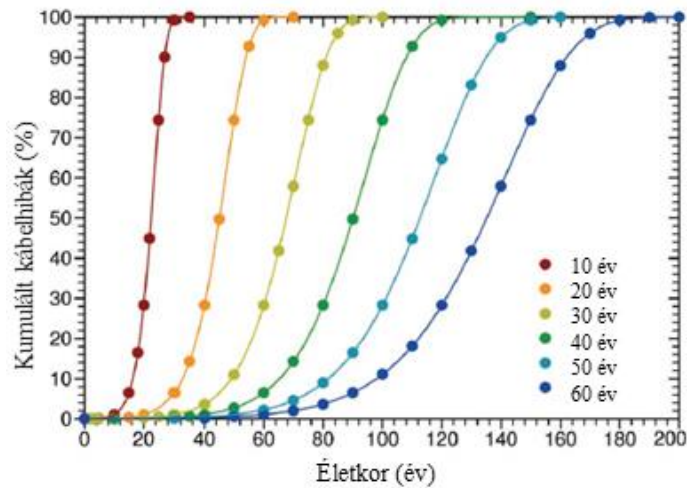
A telepítés előnyei sok tényezőtől függenek, de a két legfontosabb a beruházás mérete és a különbség a költségek és a megtakarítás között.

Általában, a rendszer használói elvárják a kábelszakasz teljes életciklusára vetített gazdasági megtérülést. A 6. táblázat található egy becslés, hogy az online monitoring rendszer használata hogyan befolyásolja a kábelszakasz teljes életciklusának költségét (LCC). Ezek közül a tervezett és nem tervezett karbantartás, valamint a kiesés költségén lehet csökkenteni. A monitoring rendszer többletköltségei miatt a beruházási költségek kis mértékben nőhetnek. Ugyanakkor a gyűjtött információk és megszerzett tudás birtokában, a fennmaradó élettartam meghosszabbítható, így összességében alacsonyabb költség keletkezik a teljes életciklusnak.

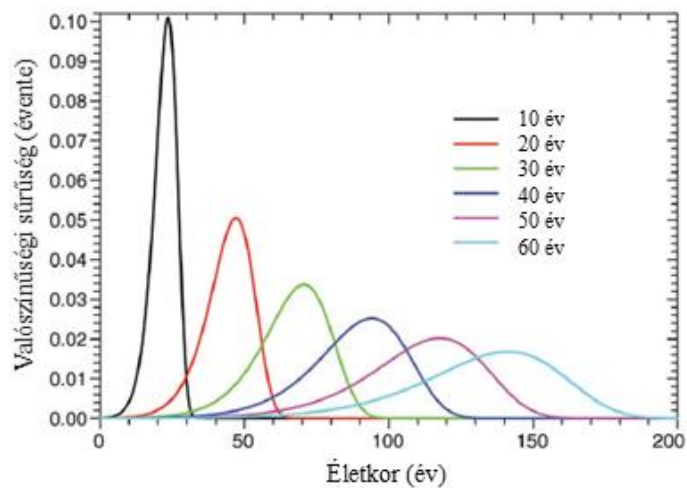
CI	+	Beruházási és telepítési költség
CP	-	Tervezett karbantartás költsége
CR	-	Nem tervezett karbantartás és javítás költségei
CO	0	Üzemszerű működési költség
CO	-	Kiesés költsége
CD	0	Áramtalanítás költsége
RSL	+	Meghosszabbított élettartam
LCC	-	Teljes életciklus költsége

6. táblázat: A rendszer alkalmazásának hatása a kábelszakasz teljes életciklusának költségére [9]

A kábelszakasz nettó jelenértéke (NPV) a 17. ábra és a 18. ábra adatai alapján meghatározható, figyelembe véve a csere költségét és a kamatlábat. A nettó jelenérték a „meghibásodás költsége”, vagyis a csere költsége.

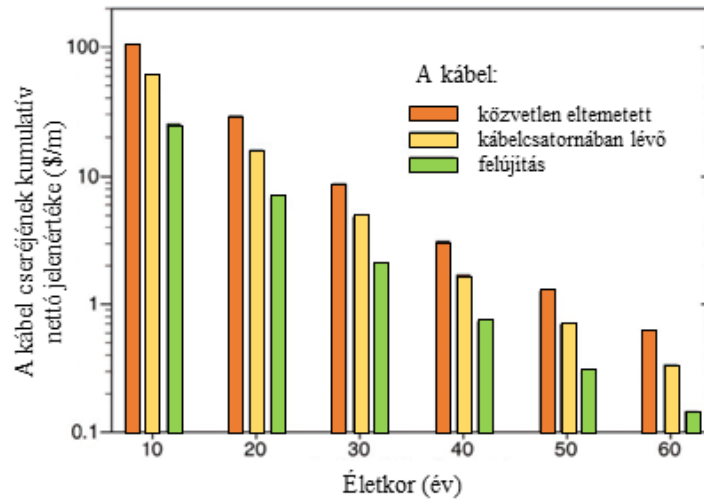


17. ábra: Kumulált meghibásodások becslése különböző életkorú kábelekre [8]



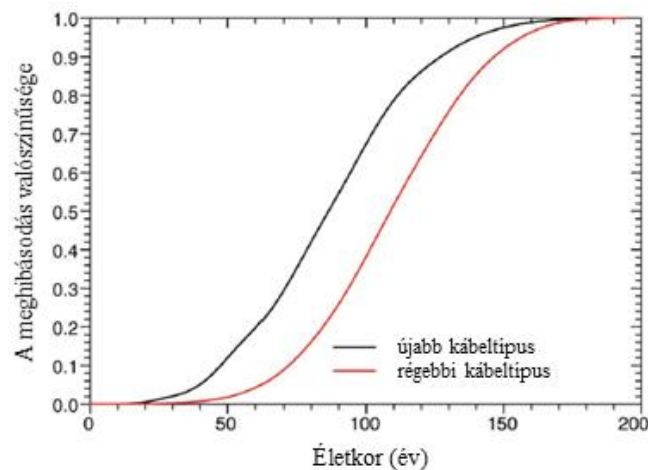
18. ábra: A meghibásodás valószínűségi sűrűsége (évente) különböző életkorú kábelekre [8]

A 19. ábra összefoglalja a különböző típusú kábelek cseréjének nettó jelenértékét, tehát a csere költségét.



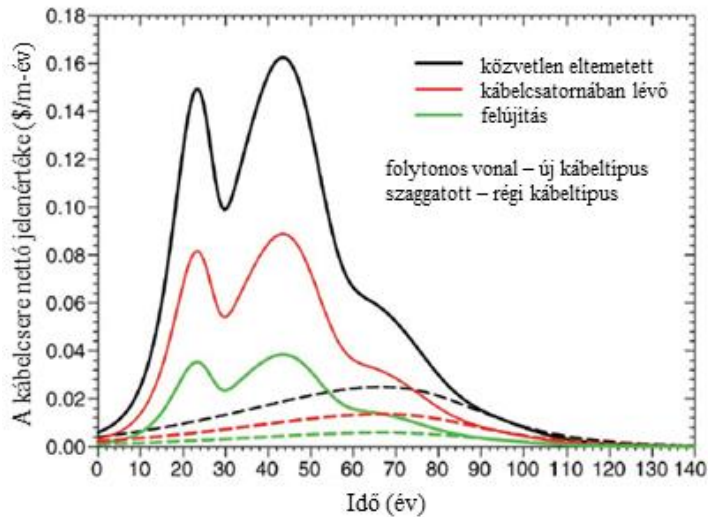
19. ábra: A teljes csere vagy felújítás nettó jelenértéke (NPV) [8]

A 18. ábra valószínűséggel súlyozott eloszlásainak összegeként számolható a várható kumulált hibaráta függvény az idő függvényében (20. ábra).



20. ábra: A meghibásodás kumulatív valószínűsége [8]

A 20. ábra adatait át lehet számítani nettó jelenértékké, a csere költségeinek és a kamatlábnak ismeretében. A 21. ábra látható a kábelcserék korrigált költsége a működési idő függvényében, a kábel várható élettartamát, a 17. ábra valószínűségi eloszlásait és a kamatlábat alapul véve.



21. ábra: Kábelhibák korrigált költsége az idő függvényében [8]

Az online monitoring rendszer használatának pénzügyi előnyei számos módon jelentkezhetnek:

- kezdeti meghibásodások kimutatása, kábelszakasz kiesésének megelőzése,
- élettartam kiterjesztése,
- időzített karbantartás helyett állapottól függő karbantartást lehet bevezetni,
- kábelszakaszok nagyon terhelhetősége,
- járulékos veszteségek elkerülése.

A pénzügyi előnyöknek a kiszámítása számos nehezen felmérhető egyedi paraméter becslését igényli. A monitoring rendszer költséghatékonyága gyakorlati példákkal igazolható. Ezért a rendszer telepítése stratégiaileg fontos vagy drága berendezést tartalmazó vonalakra ajánlott.

Mindent összevetve, a döntéshozatal előtt meg kell becsülni a kábelszakaszok nettó jelenértékét és a teljes életciklusuk költségét, és ezt össze kell hasonlítani az online monitoring rendszer telepítésének és működtetésének költségeivel, és ennek tükrében kell meghozni a szükséges döntéseket.

4.2 Felhasznált eszközök

Munkám során a tavalyi dolgozatomhoz hasonlóan a vizsgálatokhoz egy HVPD 100/50 típusú áramváltót és egy Agilent U2702A típusú moduláris oszcilloszkópot használtam fel, a szoftvert pedig a LabVIEW programmal készítettem el.

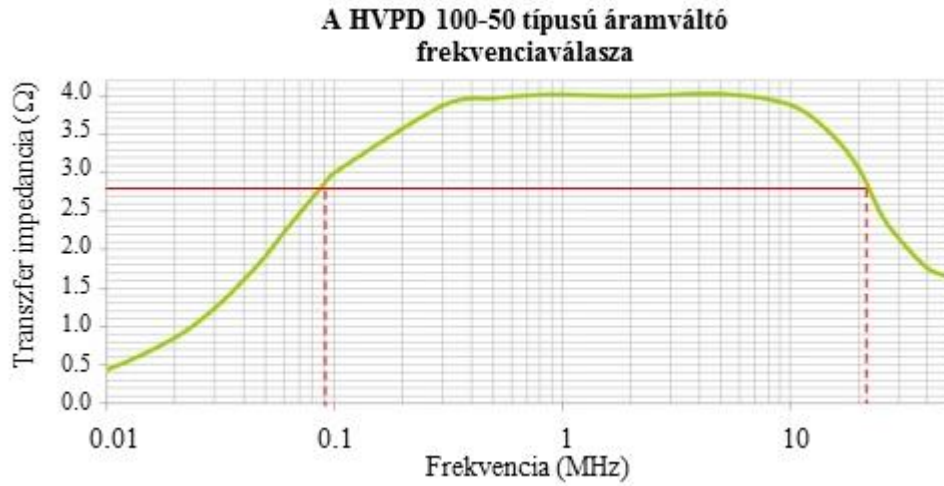
4.2.1 Nagyfrekvenciás áramváltó

A HVPD 100/50-es érzékelő egy közepes méretű, osztott magos nagyfrekvenciás áramváltó, amely közép-, és nagyfeszültségű kábelek online részkisülés vizsgálatára alkalmas. Belső átmérője 46 mm , osztott vasmagjának köszönhetően könnyen csatlakoztatható a kábelek árnyékolásának kivezetésére. Teljesítményét tekintve a legfontosabb tulajdonsága a transzfer impedancia ($[mV/mA]$) értéke. Egy megfelelően beállított áramváltóval akár pC nagyságrendű részkisülések keltette áramok is érzékelhetők. Az átviteli impedancia az áramváltó adott körülmények közötti érzékenységét adja meg.



22. ábra: HVPD 100/50-es áramváltó [15]

A HVPD 100/50-es áramváltót úgy tervezték meg, hogy a frekvenciatartomány $90kHz$ -től $21MHz$ -ig terjedő szakaszán a transzfer impedancia lapos karakterisztikát ($3,8-4,3\text{ mV/mA}$) mutasson (23. ábra).

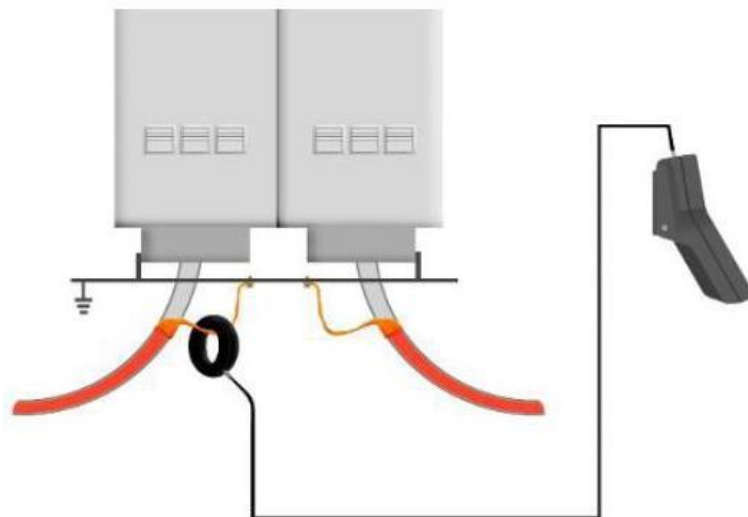


23. ábra: A HVPD 100/50-es áramváltó jellemző frekvenciaválasza [19]

Felfutási idő	Lefutási idő	Alacsony frekvenciás -3dB-es pont	Nagyfrekvenciás -3dB-es pont	Transzfer impedancia
<i>17,4 ns</i>	<i>2,51 ns</i>	<i>90kHz</i>	<i>21MHz</i>	<i>4 mV/mA</i>

7. táblázat: Injektált impulzusra adott válasz

Ezeket az eszközök csak földelt berendezések külső felszínére, vagy kábelek föld/nulla csatlakozására lehet elhelyezni, semmilyen körülmények között nem csatlakoztathatók a nagyfeszültségű kivezetésekre!



8. táblázat: HFCT helyes elhelyezése [20]

4.2.2 Oszilloszkóp

A mérési adatgyűjtésre egy Agilent U2702A típusú, 200MHz sávszélességű, 20ppm órajelstabilitású oszcilloszkóp modult használtam fel. Ez az eszköz egy USB csatlakozón keresztül a számítógéphez kapcsolható.



24. ábra: Agilent U2702A moduláris oszcilloszkóp [17]

Kis méretének köszönhetően könnyen hordozható, helyszíni mérésekhez is. Nagy, akár 32 megapontos jelgyűjtő memóriája nagy időablakban teszi lehetővé az adatok gyűjtését. Mindkét csatornája 500MSa/s mintavételi sebességgel rendelkezik, melyet 1GSa/s -á lehet összefésülni a két csatornán.

Az oszcilloszkóp különböző elemző funkciókat kínál (összeadás, kivonás, szorzás, osztás), valamint lehetőség van FFT elvégzésére is. Az FFT előtt a jelalakot öt különböző ablak használatával lehet leszűkíteni. Ezek az ablakok: Hanning, Hamming, Blackman-Harris, téglalap és háromszög.

4.3 LabVIEW

A tavalyi dolgozatomban bemutatott munkámat a National Instruments által fejlesztett LabVIEW programban folytattam tovább. Ennek oka, hogy a mérési adatgyűjtésre és eszközök vezérlésére ez a megoldás legelterjedtebb (35%). A program segítségével automatizálni tudtam az online mérést, így összehasonlító elemzést tudtam készíteni a különböző részkisülés fajtákról.

Felépítését tekintve egy grafikus programozói felületet kapunk, ahol az elhelyezett blokkok közötti logikai kapcsolatot vonalak segítségével lehet megteremteni. A program indításával két képernyőt kapunk:

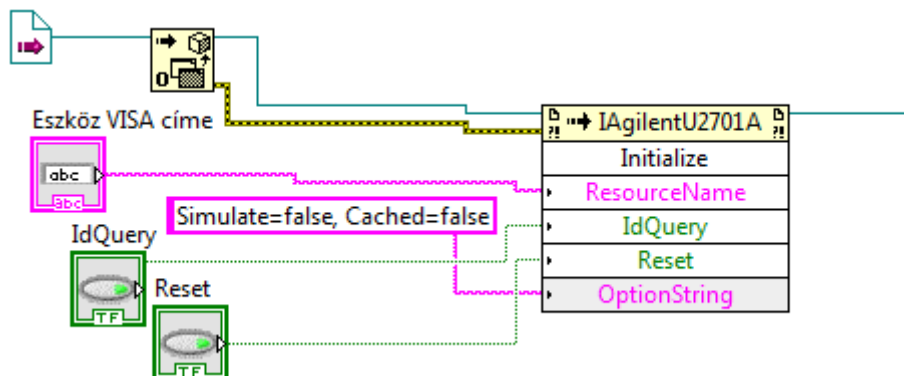
- Block Diagram: ezen a felületen lehet magát a programkódot elkészíteni;
- Front Panel: Az eredmények megjelenítésére, futás közbeni vezérlésre, paraméterek megadására alkalmas felület.

4.3.1 Online részkisülés mérő szoftver

Az általam készített algoritmus begyűjti a mért adatokat az oszcilloszkóp memóriájából, majd a megfelelő transzformációkat elvégezve valóságos adatokat szolgáltat a felhasználó számára. Az első lépés az inicializálás, vagyis az I/O munkamenet megnyitása, ahol lehetőség van megadni az alábbi paramétereket:

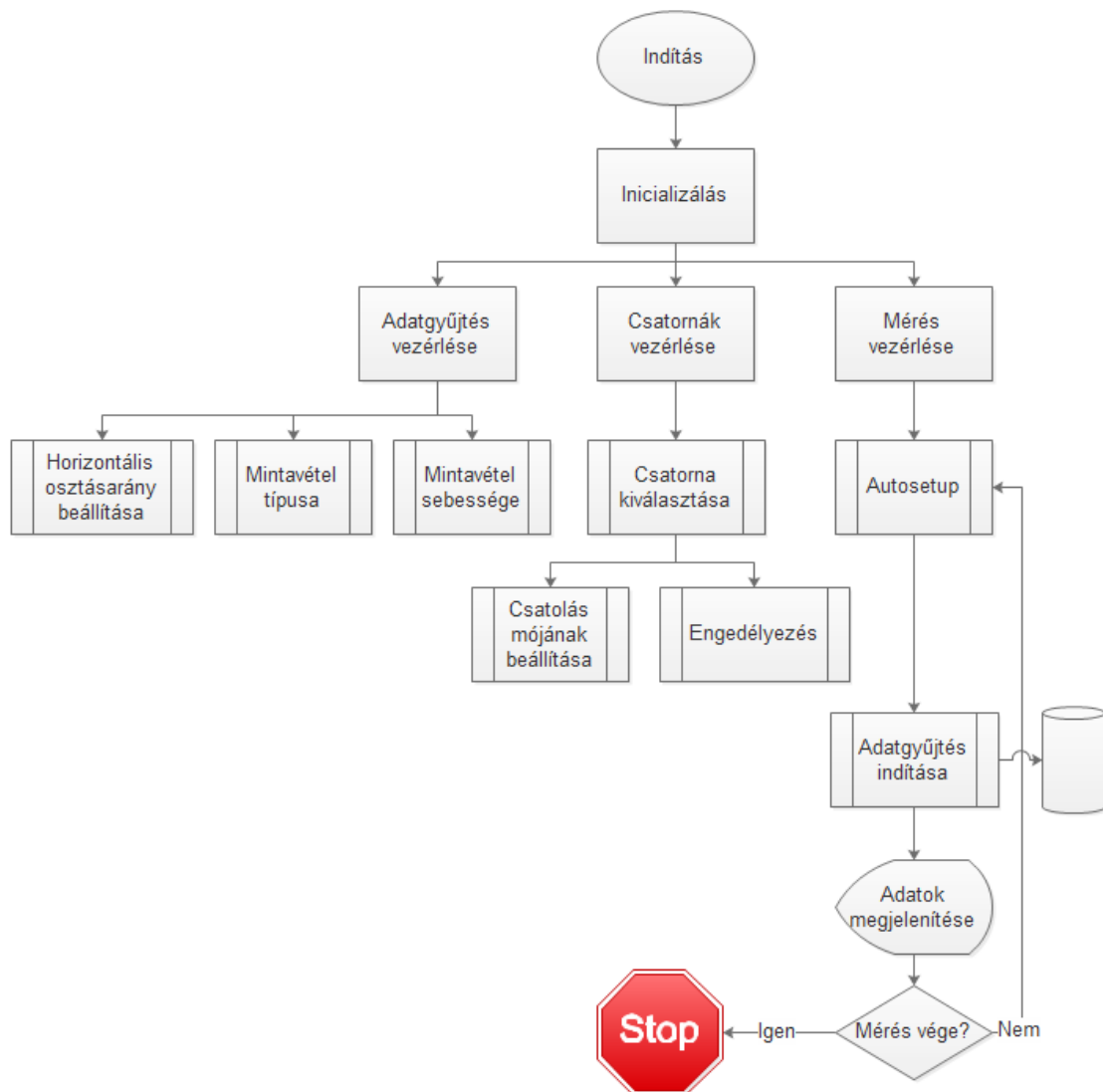
- *Resource Name*: az eszköz VISA címét tartalmazó karakterláncot lehet megadni a programnak.
- *IdQuery*: itt meg lehet adni, hogy szimulációt szeretnénk futtatni, vagy mérni szeretnénk.
- *Reset*: a készüléket alaphelyzetbe állítja.

A különböző funkciókat, beépített függvényeket a *property node* és az *invoke node* blokkok segítségével alkalmaztam. Az inicializáló blokkba be kell tölteni az eszköz driver fájlját, így az összekötések után automatikusan megjelennek a blokkokban a választható függvények.



25. ábra: Inicializáló blokk

Az inicializáló blokkot a mérést, az adatgyűjtést és a csatornák vezérlését végző egységek követik, a 26. ábra szerint.



26. ábra: A program folyamatábrája

Az adatgyűjtés vezérlésén belül lehetőség van beállítani az oszcilloszkóp horizontális felbontását. Itt a tényleges felbontás 10-szeresét kell megadni a kezelőfelületen, tehát ha 100 ns-os osztást szeretnénk, akkor 1 μ s-ot kell beállítani. Adott felbontáshoz adott mintavételi sebesség tartozik, amely a másodpercenként gyűjtött adatok számának megjelenítését jelenti a *Front Panel*-on.

Ki lehet választani, hogy melyik csatornán szeretnénk a mérést végezni, majd ennek a csatornának a beállításait lehet megadni (csatolás típusa, engedélyezés/tiltás, ofszet, függőleges osztásarány). Én ezek közül az ofszetet, a függőleges osztásarányt

és a mérőfej kompenzációjának (*Probe*) mértékét kiveztem a blokkból, mert ezeknek van szerepe az adatok valóságos feszültségértékekké alakításában, mégpedig a következő módon:

$$adat = \left[data * \frac{range}{256} - \frac{range}{2} + offset \right] * probeAttenuation \quad (5)$$

Az 5. képletben szereplő jelölések:

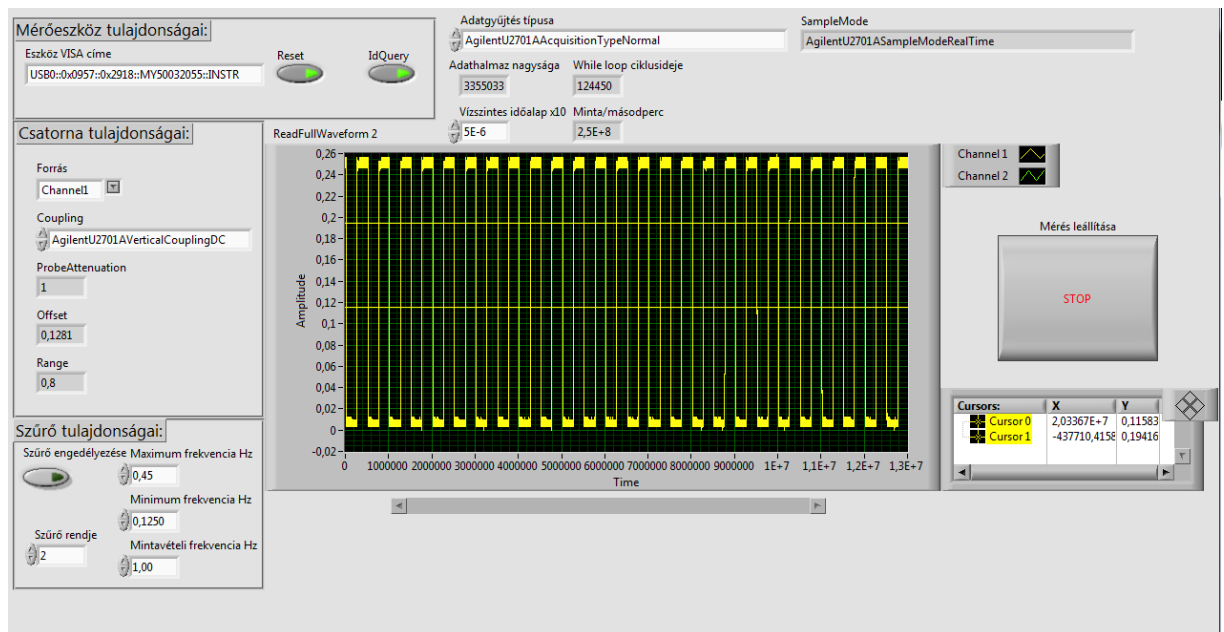
- *adat*: transzformáció utáni, tényleges feszültségértékek;
- *data*: transzformáció előtti, „nyers” adatok;
- *range*: függőleges osztásarány;
- *offset*: ofszet;
- *pobeAttenuation*: mérőfej kompenzációjának mértéke.

Ez az általam használt oszcilloszkópra jellemező transzformáció, amely a memóriából származó „nyers” adatokat alakítja át. Ahelyett, hogy nekünk manuálisan kellene megadni a fenti értékeket, én az *Autosetup* funkciót használtam, mert így bármilyen bemenő jelre automatikusan konfigurálja magát az oszcilloszkóp, így bármilyen tartományú jel észlelésére alkalmas a rendszer, ami egy online mérés során előnyös.

A legutolsó függvény, amit használtam, a *ReadFullWaveform* nevű függvény, amely közvetlenül az eszköz memóriájából gyűjti ki az adatokat, minden adatmanipulációtól mentesen. Automatikusan érzékeli a *16M/32M* adatmennyiséget a csatornákon.

Ezt követően már csak a megfelelő adatok megjelenítése van. Az adatgyűjtő részt egy ciklusba raktam bele, így automatikusan újraindul a mérés addig, amíg a *STOP* gombbal le nem állítjuk a mérést.

A program kezelőfelülete a 27. ábra látható. Középen található a mért jelalakot megjelenítő rész, amely az oszcilloszkópra kapcsolt, a beállított mintavételi időnek megfelelő referencia négyszögjelet tartalmazza.



27. ábra: Az online mérés kezelőfelülete

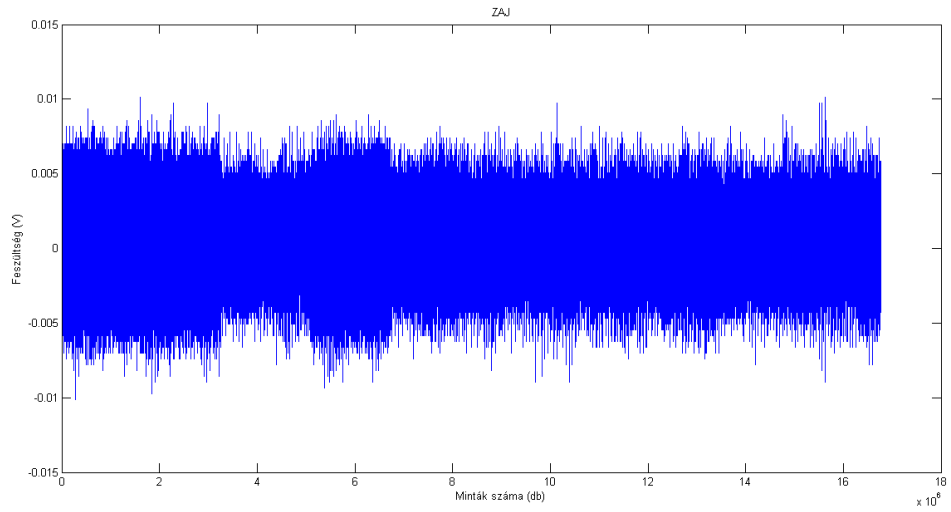
4.3.1.1 Optimális beállítás

Az adatsor kimenetére egy sávszűrőt is elhelyeztem annak érdekében, hogy a kigyűjtött jelen elemzéseket lehessen végezni. Az elemzés célja, hogy meghatározzuk azt a frekvenciatartományt az áramváltó 10kHz – 20MHz tartományán belül, amelyben a legnagyobb valószínűséggel detektálhatók a kialakuló részkisülések. Ezen optimális beállítás alkalmazásával hatékonyabbá lehet tenni a mérési folyamatot.

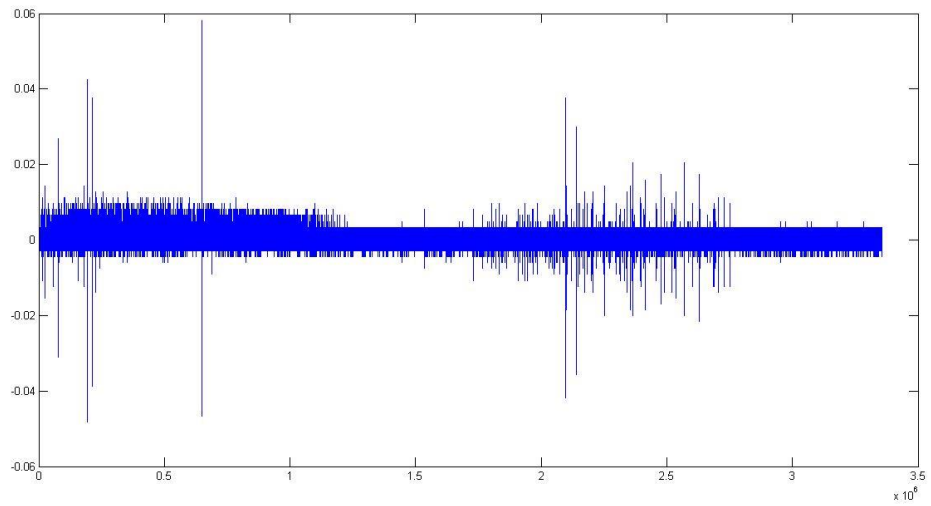
A Nagyfeszültségű Laboratóriumban méréseket végeztünk, amely során négy különböző jelalakot gyűjtöttünk. Az áramváltót a földelésre helyeztük el, majd felvettünk egy-egy jelalakot, amelyek rendre az alábbi folyamatokat tartalmazták:

- zaj;
- koronakisülés;
- felületi kisülés;
- belső kisülés.

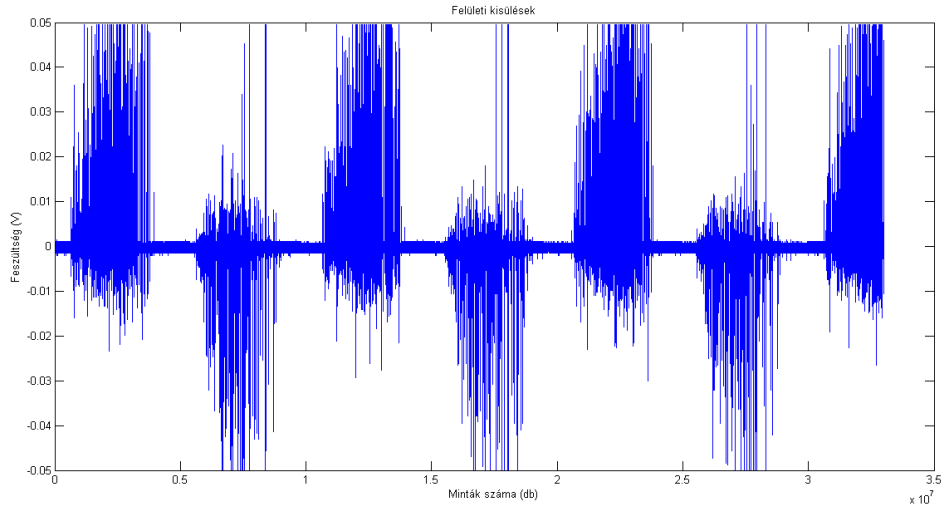
A vizsgált minták nem teljesen feleltek meg a valóságos kábelszigetelésben kialakuló eredményeknek, mivel a laboratóriumban koncentrált eszközökön végeztük a mérést, míg a valóságban számolni kell a kábelekben kialakuló áram jelalakok, terjedés következtében fellépő torzulására. A felvett jelalakokat a 28. – 31. ábrák foglalják össze. Minden jelalakot 10 kV RMS értékű feszültségen rögzítettük.



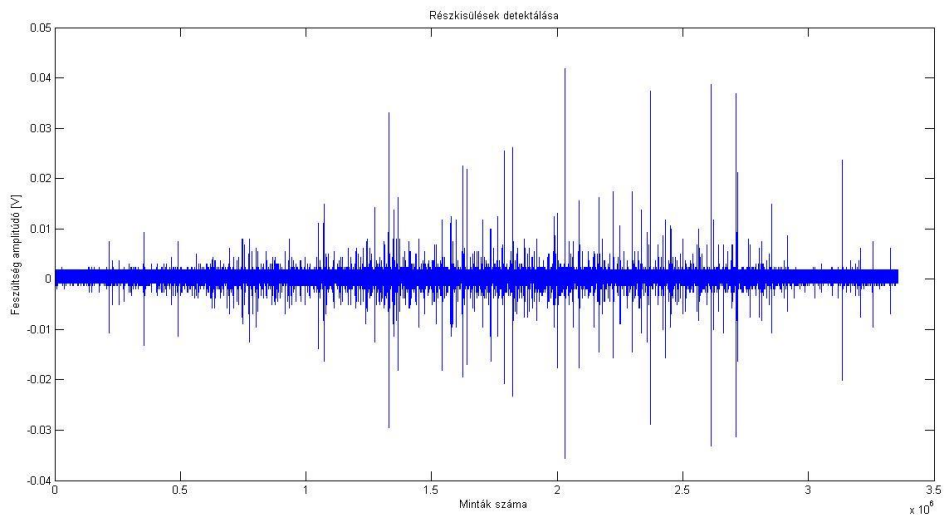
28. ábra: A zaj rögzített jelalakja



29. ábra: Koronakisülés rögzített jelalakja



30. ábra: Felületi kisülés rögzített jelalakja



31. ábra: Belső kisülés rögzített jelalakja

A regisztrált jelalakokat egy sávszűrő segítségével kell végigpásztázni a 10kHz – 20MHz frekvenciatartományban. A frekvenciatartománykénti maximális értékeket kell viszonyítani a belső kisülés azonos tartományának maximális értékéhez. Ha az így kapott legoptimálisabb jel/zaj viszonytal rendelkező frekvenciatartományt állítjuk be az online részkiisülés méréshez, akkor nagy valószínűséggel ki lehet szűrni a mérést befolyásoló zajokat, így pontosabban lehet detektálni a belső kisülések által okozott áramimpulzusokat.

5 Összegzés

Munkám során sikerült a részkisülés vizsgálatokban jobban elmélyednem, főként a belső kisülések által okozott folyamatokra koncentrálva. Behatóbban tanulmányoztam az erősáramú kábelszigetelésben kialakuló romlási folyamatokat, ezen belül is a részkisülések által keltett hatásokat.

A tavaly bemutatott munkámat az elmúlt egy évben sikeresen tovább tudtam fejleszteni, ennek eredményeképpen egy automatizált rendszert hoztam létre, amely bizonyos frissítési sebességgel képes az oszcilloszkóp teljes tartalmát kigyűjteni, és valóságos feszültségértékekké alakítani.

A helyszíni mérések kalibrálását pontosabbá lehet tenni, ha ismerjük, hogy a felhasznált áramváltó eszközre jellemző frekvenciatartományon belül is mi az a tartomány, ahová a mérést koncentrálva, a legpontosabban lehet a belső kisülések által okozott áramimpulzusokat detektálni.

A folyamatos helyszíni mérést megkönnyítve munkámat még további lépésekkel lehet bővíteni. Ilyen lehetőség például az, hogy a mérést végző eszköz közelében, az alállomáson elhelyezkedő hálózati eszközhöz (pl.: routerhez) csatlakoztatva a mért adatokat ne csak a helyszínen lehessen nyomon követni, hanem egy távoli számítógépről is el lehessen azokat érni, így ezáltal jobban nyomon lehet követni a kábelszakaszok állapotát, amely a karbantartások megtervezésében jelentős segítséget nyújthat.

Ábrajegyzék

1. ábra: Szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása.....	8
2. ábra: Egy erű kábel általános szerkezeti felépítése	9
3. ábra: Villamos vizsgálati módszerek alapja.....	10
4. ábra: Semleges (a) és polarizálódott (b) szigetelőanyag [3]	12
5. ábra: A szivárgási áram összetétele [4]	14
6. ábra: Schering-híd és a Glynne-híd [4].....	14
7. ábra: Veszteségi tényező a feszültség függvényében	15
8. ábra: Teljes feszültségválasz feszültségviszonyai [4]	16
9. ábra: Vizsgálati módszerek a dielektromos folyamatok jellemzésére [5]	17
10. ábra: Szilárd szigetelőanyagok villamos szilárdságának változása az igénybevétel időtartamának függvényében [3].....	17
11. ábra: Részkisülések alaptípusai: koronakisülés, üregkisülés, felületi kisülés, treeing [7].....	20
12. ábra: Üregkisülés helyettesítő képe	21
13. ábra: Hagyományos részkisülés vizsgáló áramkörök: soros (a) és párhuzamos (b) [4]	22
14. ábra: Az oszcilláló hullámú vizsgálat áramköri felépítése [4]	24
15. ábra: Akusztikus vizsgálat mérési elrendezése [4]	25
16. ábra: A helyszíni és a központi adatfeldolgozás	26
17. ábra: Kumulált meghibásodások becslése különböző életkorú kábelekre [8]	29
18. ábra: A meghibásodás valószínűségi sűrűsége (évente) különböző életkorú kábelekre [8]	29
19. ábra: A teljes csere vagy felújítás nettó jelenértéke (NPV) [8]	30
20. ábra: A meghibásodás kumulatív valószínűsége [8]	30
21. ábra: Kábelhibák korrigált költsége az idő függvényében [8]	31
22. ábra: HVPD 100/50-es áramváltó [15]	32
23. ábra: A HVPD 100/50-es áramváltó jellemző frekvenciaválasza [19].....	33
24. ábra: Agilent U2702A moduláris oszcilloszkóp [17]	34

25. ábra: Inicializáló blokk	35
26. ábra: A program folyamatábrája.....	36
27. ábra: Az online mérés kezelőfelülete.....	38
28. ábra: A zaj rögzített jelalakja	39
29. ábra: Koronakisülés rögzített jelalakja	39
30. ábra: Felületi kisülés rögzített jelalakja	40
31. ábra: Belső kisülés rögzített jelalakja	40

Irodalomjegyzék

- [1] Ducsi Gergő: „*Részkisülési folyamatok vizsgálata nagyfrekvenciás áramváltó használatával*”, TDK konferencia, BME 2013.
- [2] John Densley: *Ageing Mechanism and Diagnostics for Power Cables*, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 17, No. 1, 2001.
- [3] Villamos szigeteléstechika:
www.muszeroldal.hu/measurenotes/villamosszigetelestechika.pdf
(2013.október 11. 18:15)
- [4] Tamus Zoltán Ádám: *Villamos szigetelések vizsgálata*, VER villamos készülékei és berendezései tananyag, www.vet.bme.hu
- [5] Tamus Zoltán Ádám, Cselkó Richárd, Németh Bálint, Berta István: „*Termikus és feszültség alatti öregítés hatása a diagnosztikai paraméterekre*”
- [6] G.C.Montanari: „*Notes on theoretical and practical aspects of polymeric insulation aging*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 29, No. 4, 2013.
- [7] „*A részleges kisülések méréséről általában*”
http://www.insulationdiagnostics.com/index.php?page=item&item_id=90&lang=HU
- [8] R. Liu, S. Boggs: “*Cable life and the cost of risk*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 25, pp. 13-19, 2009.
- [9] C. Neumann, R. Huber, D. Meurer, R. Plath, U. Schichler, S. Tenbohlen, K.-H. Weck: “*The Impact of Insulation Monitoring and Diagnostics on Reliability and Exploitation of Service Life*”, Cigré C4-201, 2006.
- [10] On-line Monitoring Cost-Benefit Guide, EPRI, Palo, Alto, CA: 2003. 1006777.
- [11] Steven Boggs, John Densley: “*Fundamentals of Partial Discharge in the Context of Field Cable Testing*”, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 16, No.5, 2001.
- [12] A. Cavallini, G. C. Montanari, F. Puletti: “*A Novel Method to Locate PD in Polymeric Cable System Based on Amplitude-frequency (AF) Map*”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 14, No. 3, 2007.
- [13] BME Villamos Energetika Tanszék: „*Szigetelések roncsolásmentes vizsgálata*”

- [14] HVPD HFCT 100/50 adatlap:
<http://www.hvpd.co.uk/media/pdf/brochures/HVPD-HFCT-100-50-Portable-Product-Card.pdf> (2013.október 15. 20:32)
- [15] <http://www.hvpd.co.uk/products/sensors/hfct-100-50-portable.html>
(2013.október 19. 14:15)
- [16] Csépes Gusztáv: „*Villamos főberendezések üzembiztonságának egyszerű és gazdaságos növelése a szigetelések állapotellenőrzésével, a diagnosztika sajátosságai és legújabb eredményei*”, előadásvázlat, Balatonfüred, 2001. április 26-27.
- [17] Agilent U2702A USB Modular Oscilloscope Data Sheet:
www.home.agilent.com/agilent/redirector.jsp?action=ref&cname=AGILENT_EDITORIAL&ckey=2150237&lc=eng&cc=HU&nfr=-34492.774929.00
(2013.október 19.14:23)
- [18] The Memory Depth of a USB Modular Oscilloscope, Application Note
- [19] <http://www.hvpd.co.uk/products/sensors/hfct-100-50-portable.html>
- [20] <http://www.hvpd.ru/pdsurveyor.htm>