Dielektromos spektrum módszerek alkalmazhatósága az olaj-papír szigetelésű transzformátorok diagnosztikájában, különös tekintettel az RVM mérésre

Dr. Cselkó Richárd, ***BME Villamos Energetika Tanszék***
cselko.richard@vik.bme.hu
Dr. Bálint Németh, ***BME Villamos Energetika Tanszék***
nemeth.balint@vet.bme.hu
Csépes Gusztáv, ***Diagnostics Kft*****.**
gcsepes@diagnostics.hu

MEE VGKBSZ szakmai nap, Óbudai Egyetem, 2021. október 05.

Tartalomjegyzék

1. A téma aktualitása, az előadás célja

2.Olaj-papír szigetelések tulajdonságai, romlása, élettartama

3. Olaj-papír szigetelések általános állapotának ellenőrzése: „hagyományos” és „spektrum jellegű” diagnosztika

4. RVM diagnosztika alkalmazása olaj-papír szigeteléseknél

5. Az RVM diagnosztika alapján lehetséges beavatkozások

6. Konklúziók

A téma aktualitása

1. Ismert, hogy az olaj-papír szigetelésű trafók **élettartamát** végső soron a **papírszigetelés állapota határozza meg.**
2. **Az olaj regenerálható**, átvezető cserélhető, de papírszigetelés romlása esetén akár **újratekercselés** válhat szükségessé.
3. Fontos a megfelelő szigetelés állapotellenőrzés, de a **klasszikus diagnosztika** használata **sok anomáliával járt és jár még ma is.**
4. A 70-es években világszerte intenzív munka folyt új módszerek keresésében. **Célkitűzés:** az alapvető dielektromos folyamatok **mélyebb megismerése**, új vizsgálati **eljárások kifejlesztése** volt.
5. Ez a célkitűzés **még ma is aktuális: az** új nagy trafók **még mindig olaj-papír szigetelésűek**, az olaj-papír állapotellenőrzésre még legalább **40-60** évig szükség lesz.

- A **BME** is a 70-es években indított egy többéves kutatást **Dr. Csernátony-Hoffer András** irányításával NIM-OMFB-MVMT (OTUSZ) megbízással.
- A **széleskörű** kutatómunka keretében szinte minden szóba jöhető vizsgálat elvégzésre került, többek között:
- **tgδ/C frekvencia**, hőmérséklet és a papír víztartalom függvényében:
- visszatérő feszültség **(RVM) a töltési/kisütési idő** függvényében a szóba jöhető hőmérsékletek (25-90°C) és papír víztartalom (0,5-4%) függvényében.

A **hatalmas kutatás** legfontosabb eredménye a **három polarizációs spektrummódszer kidolgozása és bevezetése** volt:

- RVM (Recovery (or Return) Voltage Measurement, visszatérő feszültség mérés),

- PDC (Polarisation and Depolarisation Current, töltés/kisütési áram mérése),

- FDS (Frequency Domain Spectroscopy, tgδ frekvencia függése)

- Amíg a klasszikus, de anomáliákkal terhelt eljárásokra **rengeteg szabvány áll rendelkezésre**, addig az újabb, spektrumos módszerekre csak a rövid MSZ 19323-as szabvány áll rendelkezésre, így nem **léteznek szabványos kiértékelési módszerek sem**.

- A BME kutatás eredményeként a polarizációs spektrummérésekhez egy **igen nagy adatbázis áll rendelkezésre**, ezek mint referencia adtok, számunkra lehetővé teszik a **korrekt kiértékelést**.

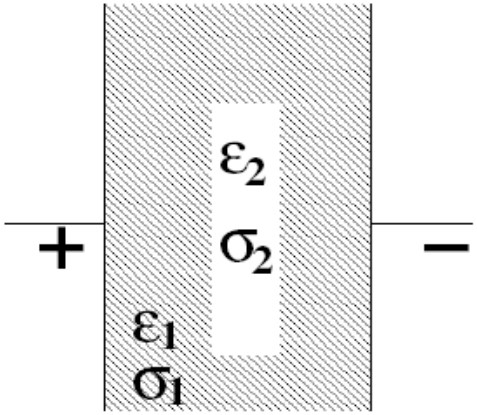
Olaj-papír szigetelések tulajdonságai, romlása, élettartama

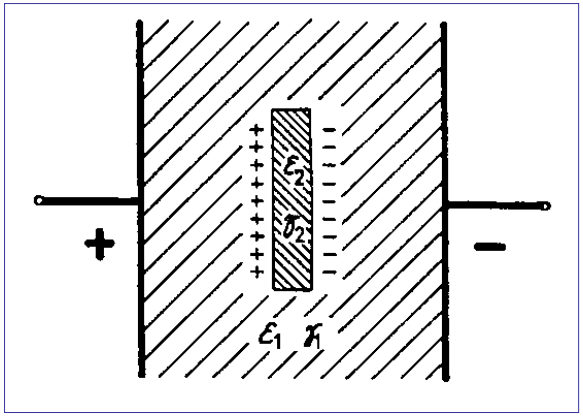
1. A **hatékony diagnosztika** egyik feltétele a **rendkívül összetett** olajjal itatott papíros **szigetelés minél pontosabb ismerete**.
2. Legfontosabb romlás a hőfokfüggő **öregedés és elnedvesedés**. Romláskor a cellulóz molekula láncok hossza csökken (DP), a **mechanikai tulajdonság** romlik, zárlatállóság csökken.
3. Rendkívül fontossággal **bír a papír víztartalma is**: a víz gyorsítja az öregedést, növeli a szigetelés veszteségeit, részleges kisülést indíthat be, növeli a buborékképződést, stb.
4. **Meglepő: nincs olyan szabvány**, amelyben szerepelnének a vízre ill. öregedésre vonatkozó határértékek, **de érthető is,** hiszen **nincs is olyan hagyományos módszer**, amellyel a trafó kapcsokon való méréssel ezek az értékek megállapíthatók lennének.

- **Fontos:** minden diagnosztikai jellemző **erősen hőmérsékletfüggő**.
- **Ismerni kellene a hőfokot,** de a nagy méretek miatt a **legnagyobb és a legkisebb hőmérséklet között akár 20°C különbség** is lehet a trafón belül, ezért nehéz **„szigetelés hőmérsékletről**” beszélni.
- Erősen **hőmérsékletfüggő az öregedés is**: az olaj-papír szigetelés öregedése kb. 6°C-onként megduplázódik, így az **egyre öregedő szigetelési állapota egyre inhomogénebb.**
- **Érthetővé válik, milyen anomáliák jelentkeznek** a hagyományos módszerek alkalmazásával: **több tonna szigetelés**, erősen **inhomogén** eloszlású hőmérséklet, víztartalom, öregedési állapot, és ezt **egyetlen mérőszámmal kellene jellemezni** (pl. 50Hz-es tgδ).
- **Spektrum módszerek** egy polarizációs spektrumot használnak diagnosztikára, amely a **teljes szigetelésre tartalmaz információt**.

Határréteg polarizáció

Határréteg polarizáció akkor alakul ki, amikor a szigetelőanyagok **különböző arányú permittivitással (*ε*) és fajlagos ellenállással (*σ*) rendelkeznek**, más szóval, ha nem teljesül az: $\boldsymbol{\varepsilon_1\sigma_2=\varepsilon_2\sigma_1}$.

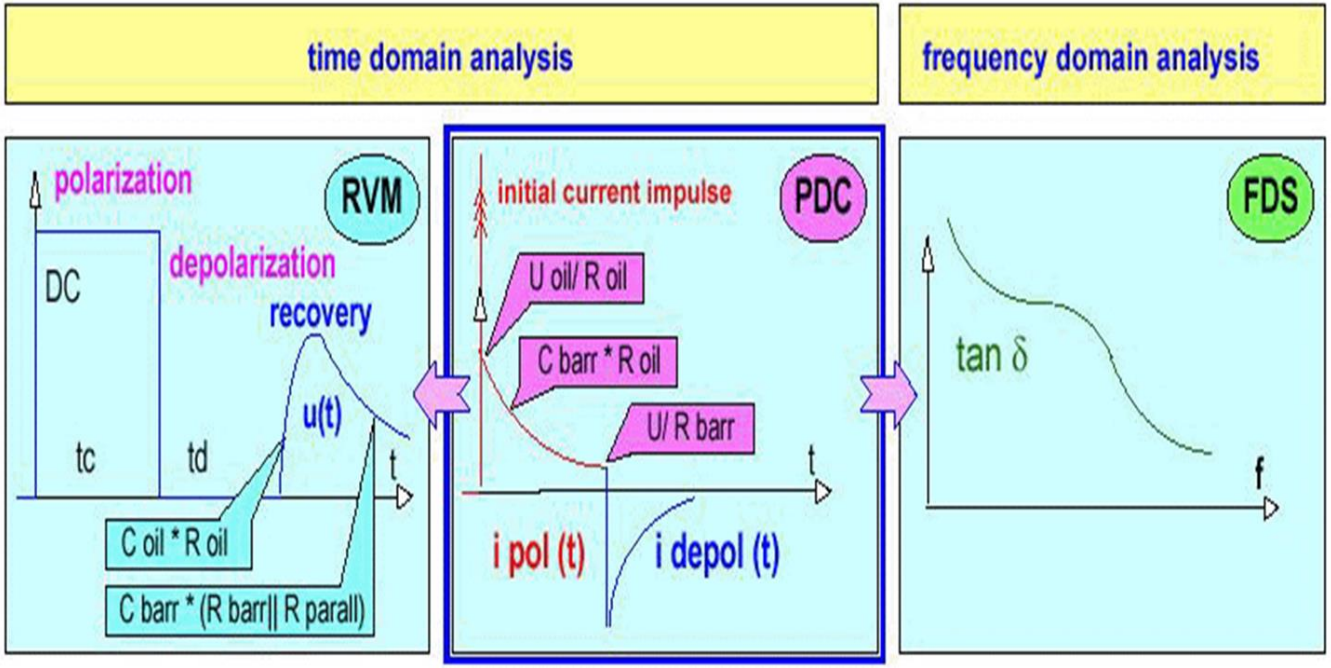


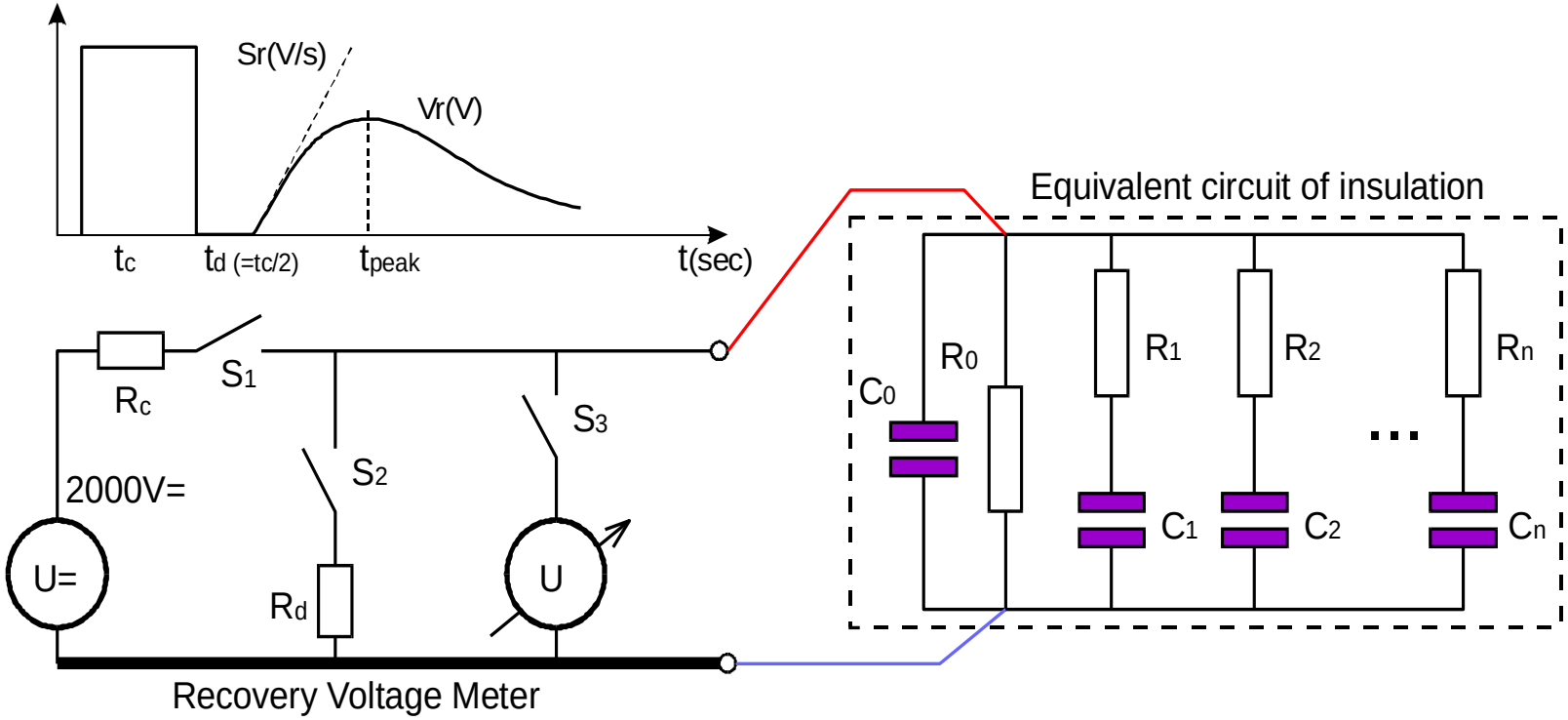


- Ez a gyakorlatban ritkán teljesül, így a vezetési folyamatban a határfelületre odaszállított töltések **felhalmozódnak, dipólusokat képeznek, vagyis polarizációt hoznak létre.**
- A határréteg polarizáció **időállandója** elég nagy: $\mathbf{10^{-2} – 10^{+4}}$ **s.**

Határréteg polarizáció vizsgálati lehetőségei

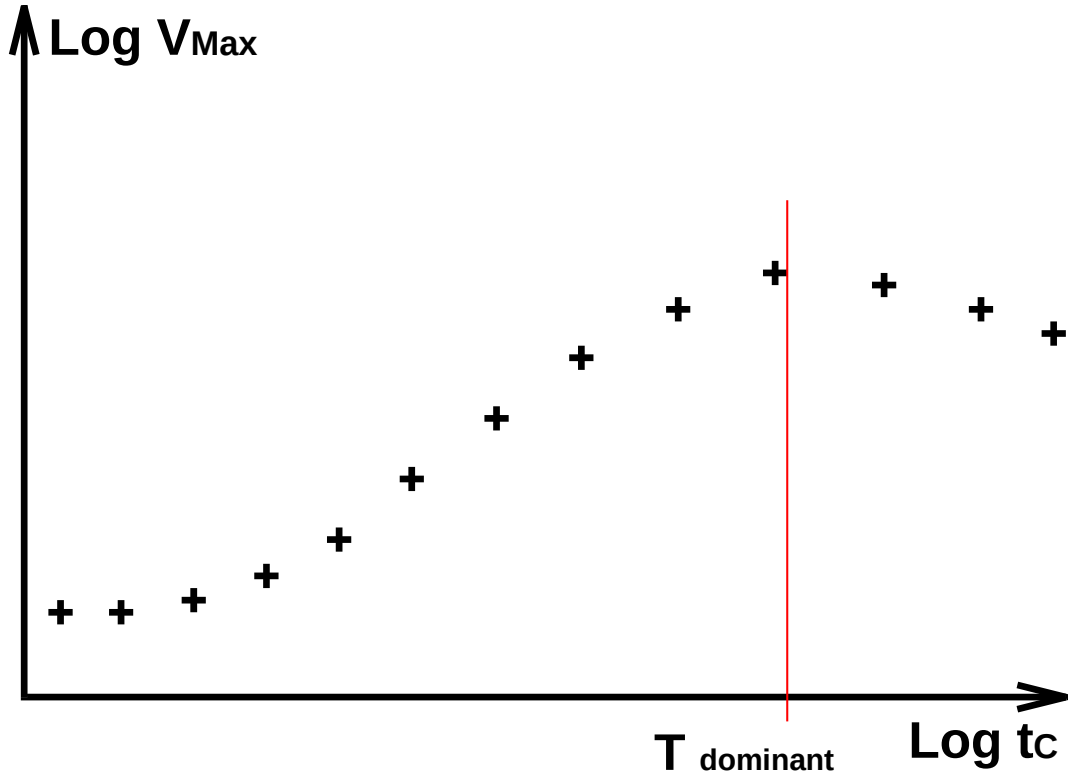
- A BME kutatás **három mérést** (RVM, PDC, FDS) fejlesztett ki a határréteg polarizáció (10^{-2}-10^{+4}s) felvételére.
- **Bizonyítható**, hogy az RVM, a PDC és az FDS egyenértékű, bármelyik módszerrel mért adatok **átkonvertálhatóak** a másik kettőbe.
- Az **RVM technika azért előnyös** a másik kettőhöz képest, mert a **spektrumból közvetlenül leolvashatók** az időállandók, amelyek a diagnosztika alapjai.





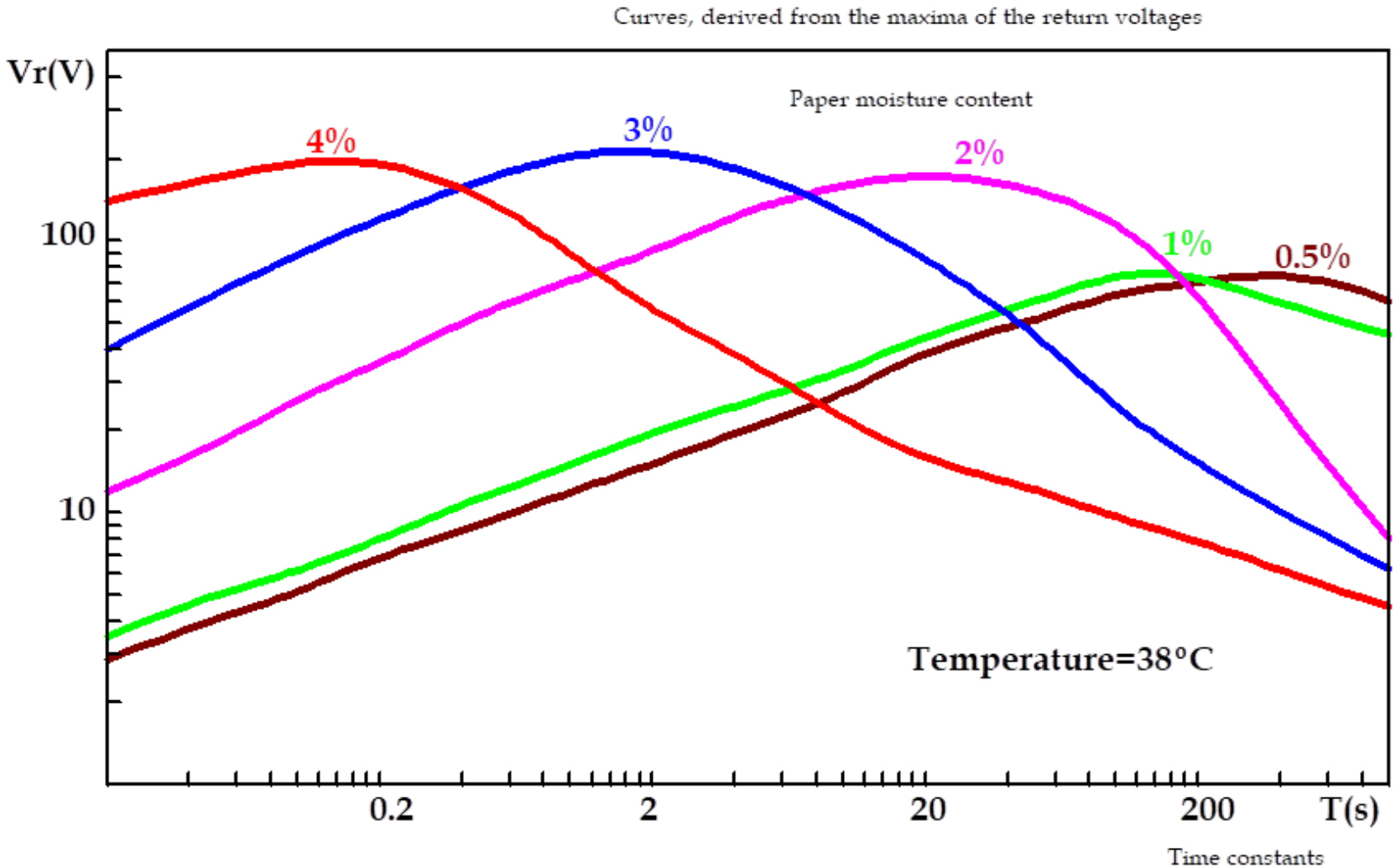
Az **RVM módszer lényege**, hogy a különböző, de egyre növekvő $t_c/t_d=2$ időpárokkal töltünk, majd rövidre zárunk a $t_c=0{,}2$ s-tól $t_c=10000$ s időállandó tartományban. Felvesszük a visszatérő feszültség időfüggvényét, mérjük a kezdeti meredekséget (S_r), a csúcsértéket (V_r), valamint a csúcsértékhez tartozó időt (t_{peak}). A töltési idő, mint időállandó függvényében felrajzoljuk a”Vr” és Sr” érétkeit, így egy spektrumot kapunk.

- A **mérési nehézséget** az igen alacsony frekvencia okozza. A BME erre egy maga nemében teljesen új módszert fejlesztett ki, amely során az **AC technikában értelmezett spektrumot vesz fel DC módszerrel.**
- **DC jelleg miatt az RVM kevésbé zavarérzékeny**, megbízhatóbban végezhető el alállomásokon zavart, akár 400 kV-os környezetben is.

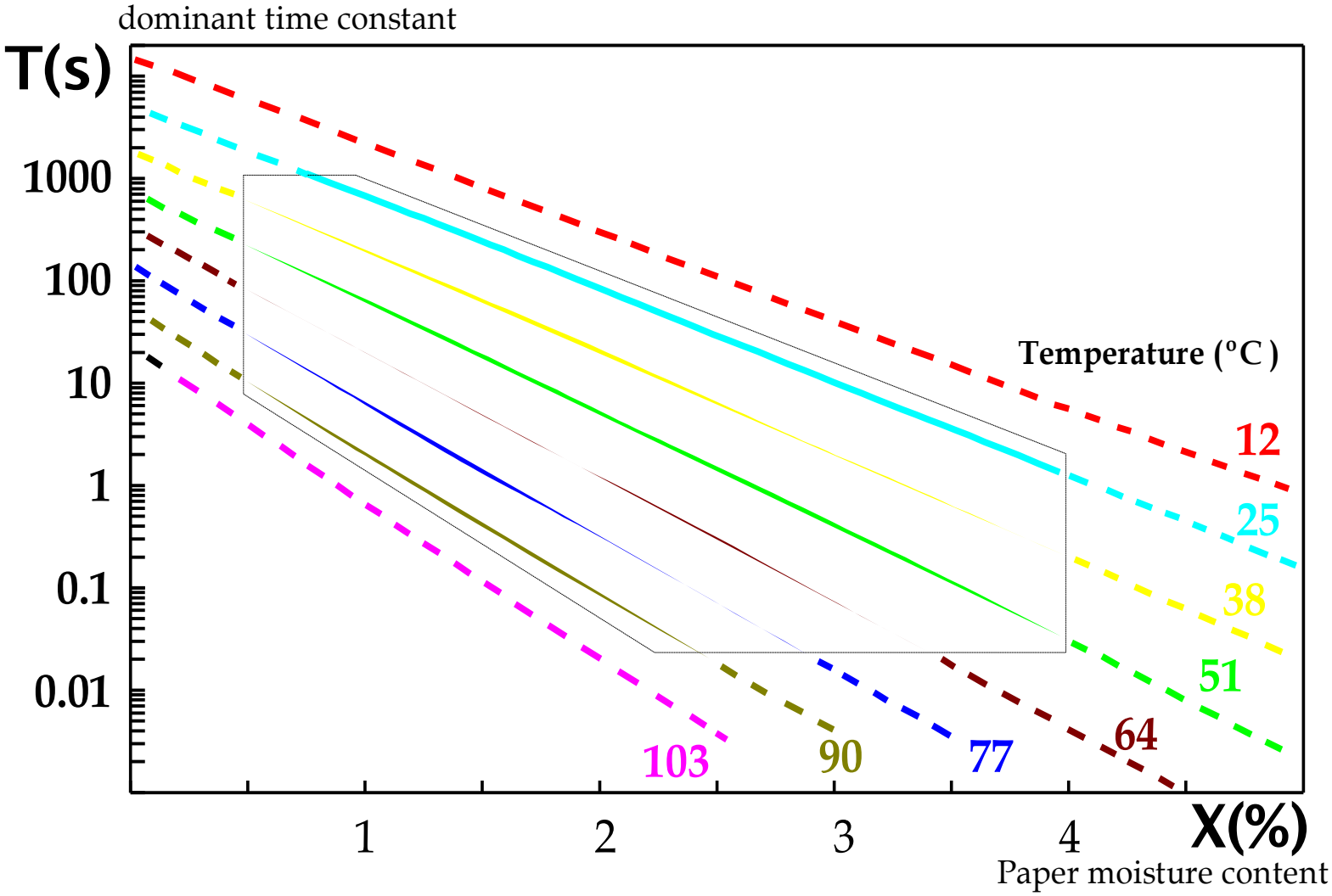


RVM spektrum: visszatérő feszültség csúcsértékének és kezdeti meredekségének a töltési tc idő, mint időállandó függvényében történő felrajzolása 0,02 – 10.000s tartományban.

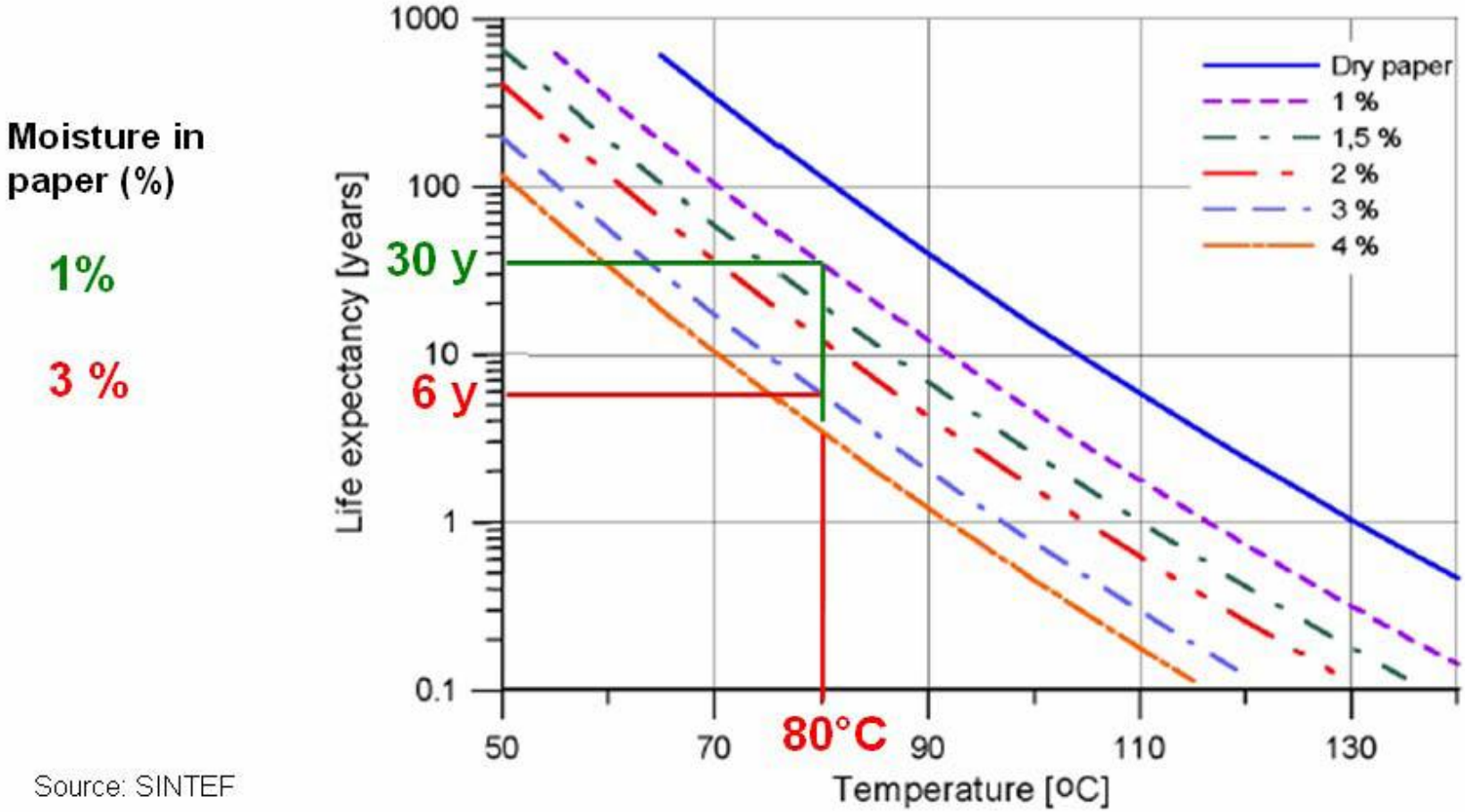
38°C mérési hőmérsékleten mért RVM görbék



Nomogram: RVM mérések 25-90°C közötti hőmérsékleten



Trafó élettartam hőmérséklet- és víztartalomfüggése (és öregedés)



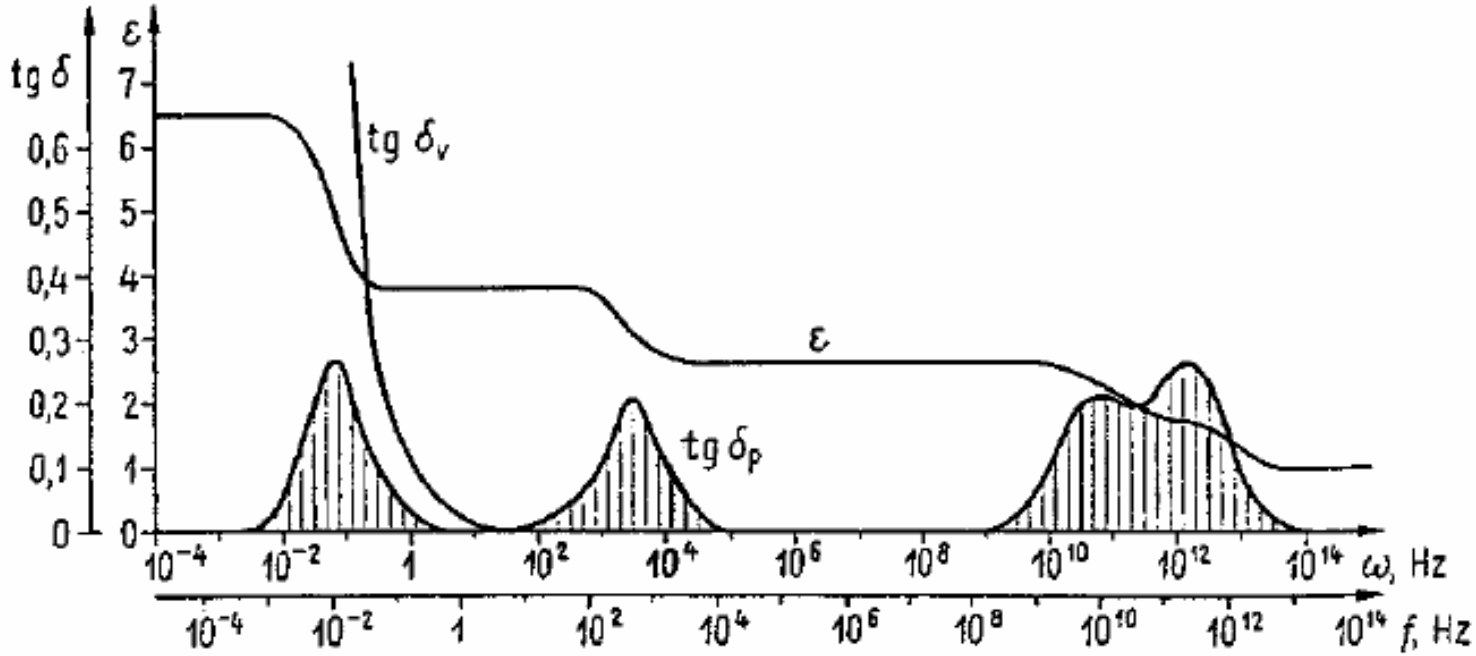
80°C-on üzemeltetve a trafót 1% papír víztartalomnál a várható élettartam kb. 30 év.
Ha a víztartalom 3%-ra nőne, akkor a várható élettartam kb. 6 évre csökkenne.

Spektrummódszerek kiértékelési sajátosságai

- Megfelelő részletességű **szabványok hiányában** a felhasználók nem tudják **megfelelő hatékonysággal** használni a spektrummódszereket.
- **Tapasztalat: úgy értékelik ki,** mintha **hagyományos,** egyetlen szigetelési paramétert adó vizsgálat lenne.
- **De ez egy spektrum**, részletes infóval a szigetelés inhomogén állapotáról, a felbontási határnak megfelelően annyi időállandóval jellemezve a szigetelést, amilyen inhomogén az állapot.
- Az **egyik kiértékelési lehetőség**, hogy referenciaként használjuk a BME kutatás során kapott adatbázist.
- A **másik kiértékelési lehetőség**, amely az alábbiakban látható, a dielektromos veszteség elméletén alapul.

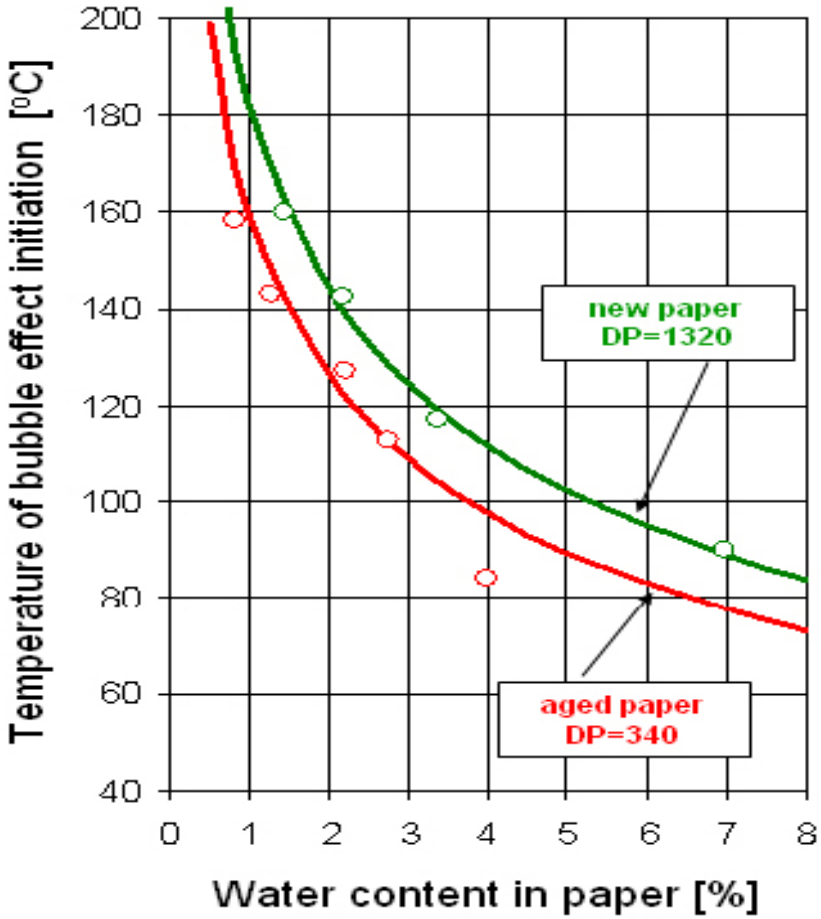
Példa:Három különböző időállandójú polarizációval rendelkező spektrum

Egyes polarizáció fajták intenzitásának, valamint a vezetési veszteség (**$tg\delta = tg\delta_v + tg\delta_p$) eredőjeként** áll elő **az eredő tg delta. Csak az 50Hz-es veszteségi tényező mérése** önmagában nem elegendő, ismerni kell a spektrum további részeit. Ismerni kell a hőmérséklet változáskori veszteség változást. **Alapmérések szükségesek!** Kritikus frekvenciánál **„jellegzetesen" változik a tg és ε: $tg\delta=tg\delta_v+tg\delta_p(=\varepsilon'')$ és C=ε, ill. ε′). $tg\,\delta = 1 / (\rho\, \varepsilon_0\, \varepsilon\, \omega) = 1 / (\rho\, \varepsilon_0\, \varepsilon\, 2\, \pi\, f)$ (fordítva arányos a frekvenciával)**



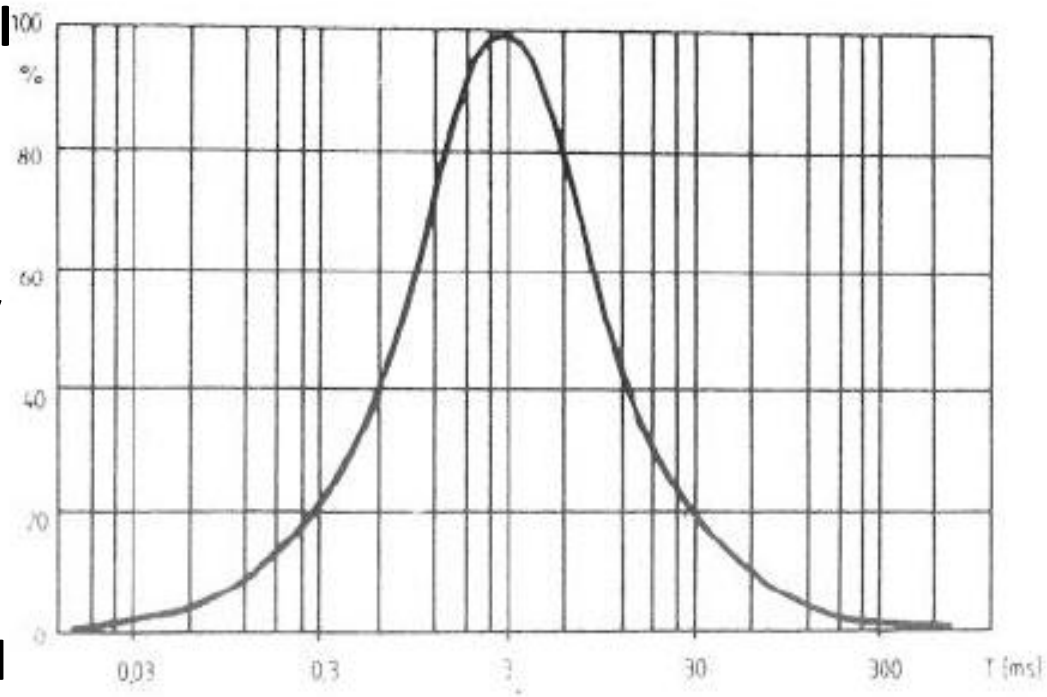
- Jellemzésre a polarizáció **időállandója és az intenzitása** használható. Adott időállandójú **(kritikus frekvenciájú**) polarizáció csak **saját időállandójával történő gerjesztés esetén termel veszteséget.**
- A **polarizációs veszteségek hatására helyi túlmelegedés, mint egy „50Hz-es mikrohullámú sütő”!!, majd** az elégtelen hővezetés miatt **buborék képződik**, PD, akár közvetlen **hő-villamos átütés jön létre** Az inhomogén romlás inhomogénné teszi az **anyag szerkezetét**, új állapotban még homogén eloszlású **polarizáció** is inhomogén lesz, de a polarizációs spektrum által **jól diagnosztizálható a szigetelés.**
- Esetünkben az **50Hz-es sávhoz tartozó tgδ érték a fontos,** hogy **üzemben mekkora hő** termelődik a szigetelésben.
- Ha beindul a **buborék** képződés, akkor **átütés** lehet a folyamat vége.
- ***<u>Cél: megakadályozni, hogy buborékok képződjenek.</u>***

Buborékképződés küszöbhőmérséklete a papír víztartalma függvényében új (DP=1320) és öregedett papír (D=340) esetén

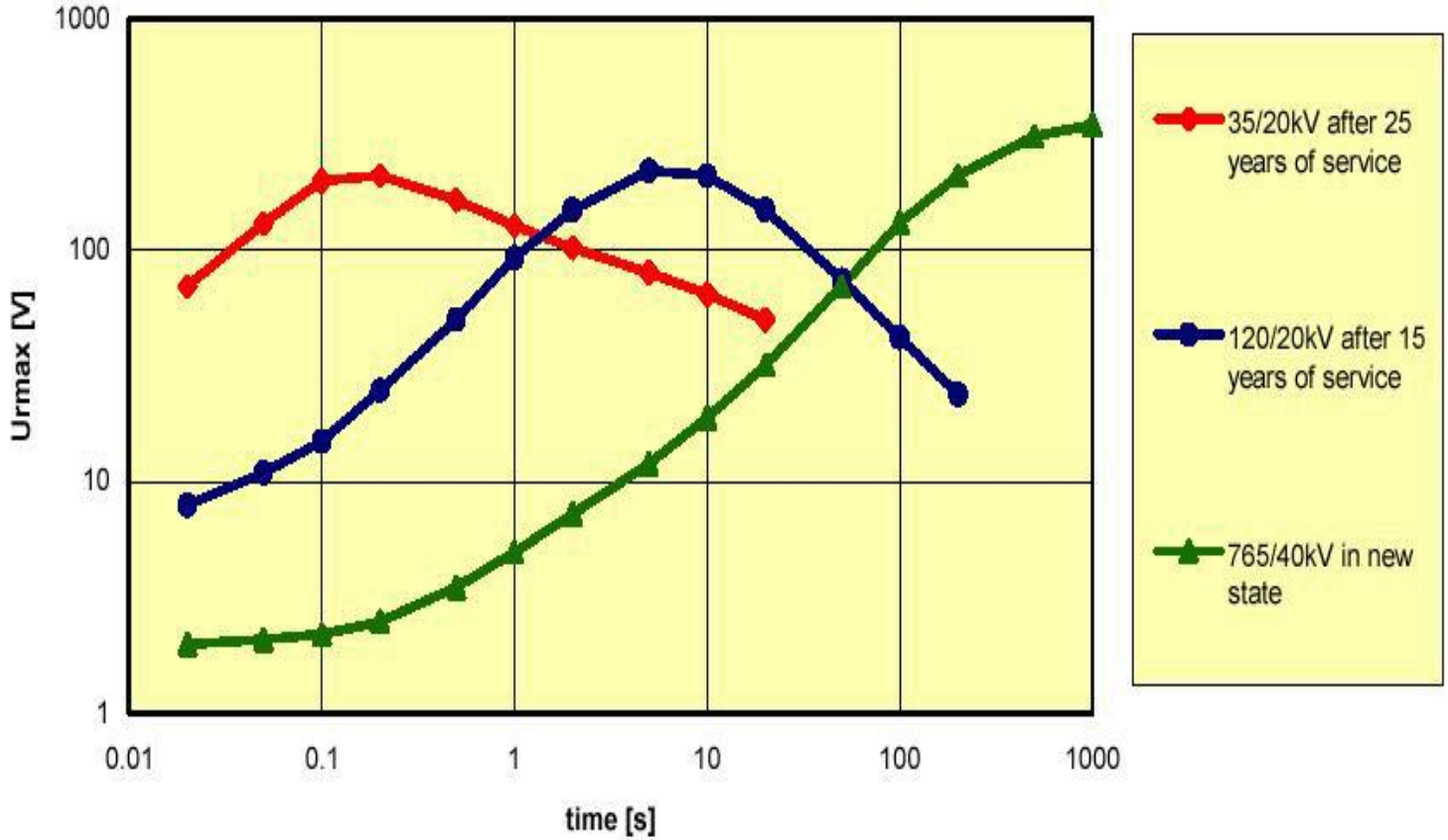


Az elemi folyamatokra vonatkoztatott viszonylagos veszteség (tgδ) 50Hz-es mérőfrekvencián: r (%). 50 Hz-nek megfelelő időállandó „ms” mértékegységben (T=1/2πf)

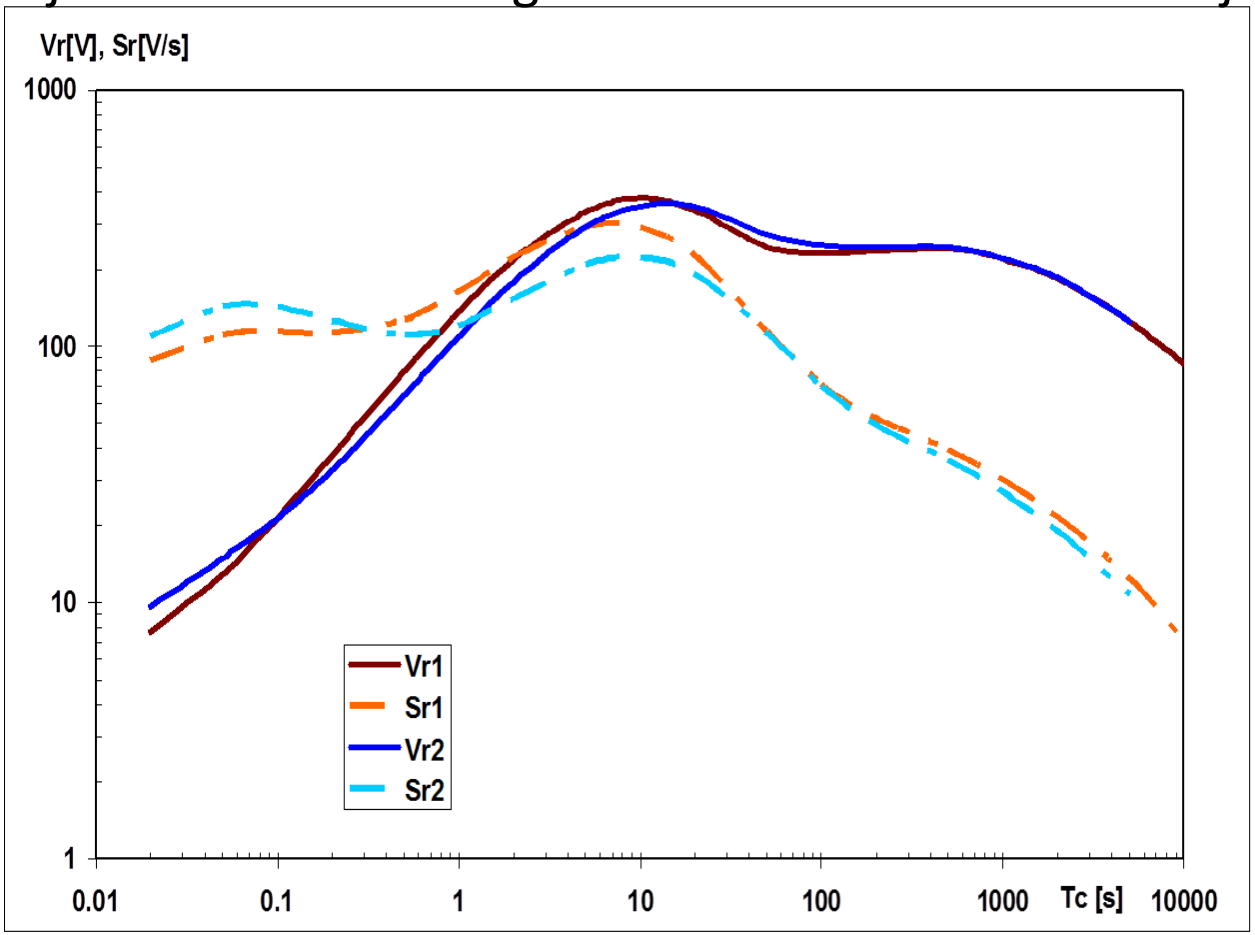
Látható, **hogy maximális veszteség a T=1/ω időállandónál (kb. 3ms)** lép fel, ettől kisebb vagy nagyobb frekvenciánál a veszteség erősen csökken. **Egy nagyságrenddel** kisebb vagy nagyobb frekvenciák esetén a polarizáció által okozott veszteség a maximális veszteségnek már csak **kb. 20%-a, két nagyságrenddel** eltérésnél pedig a maximális veszteség csak **3%-a (300ms).**



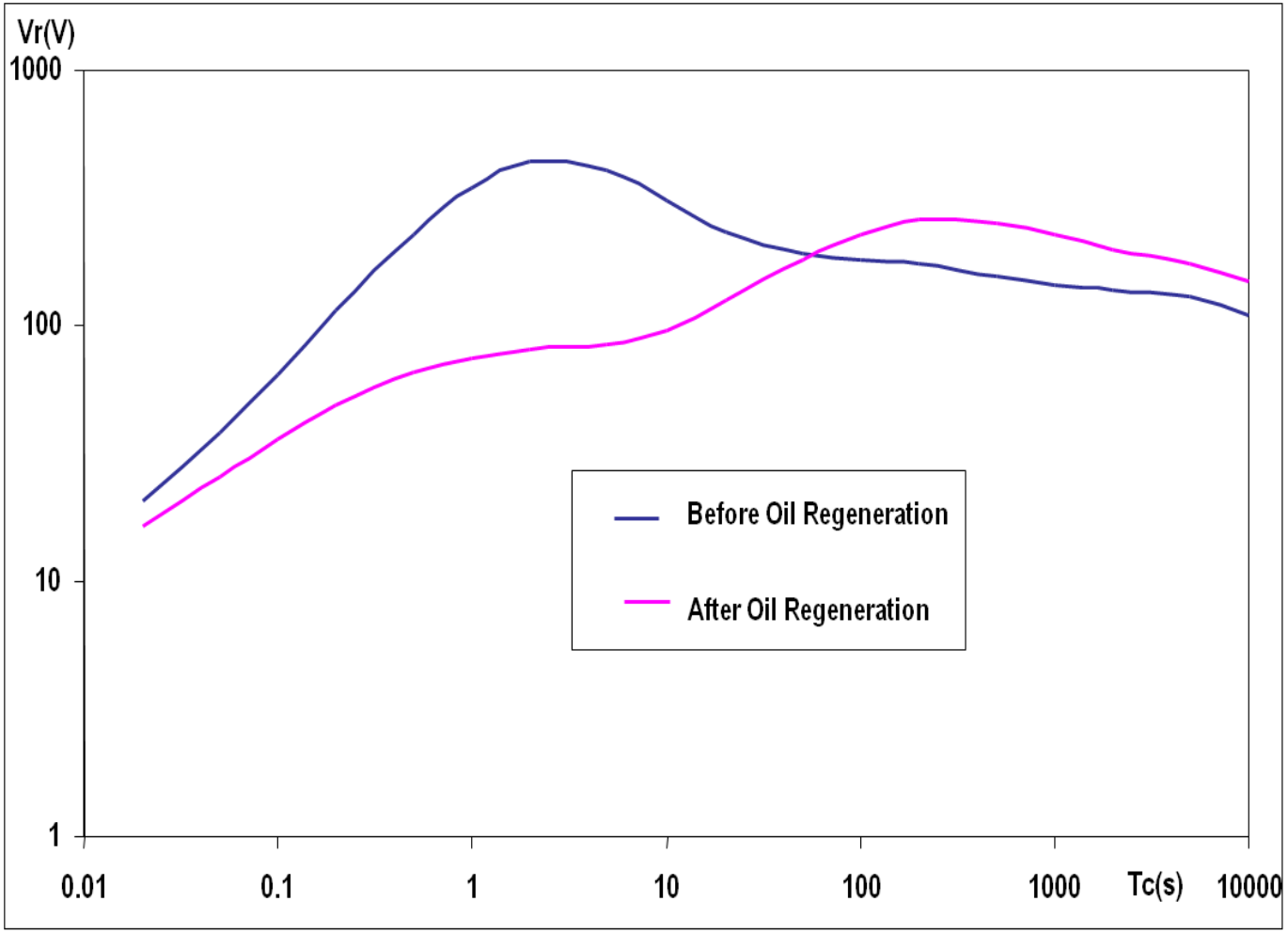
Célkitűzés: a domináns centrális időállandók még a **legnagyobb üzemi hőmérsékleten is 0,3 s-nál biztosan nagyobbak legyenek. Tipikus RVM görbék új, közép idős és nagyon öreg trafó esetén 20°C-on.**



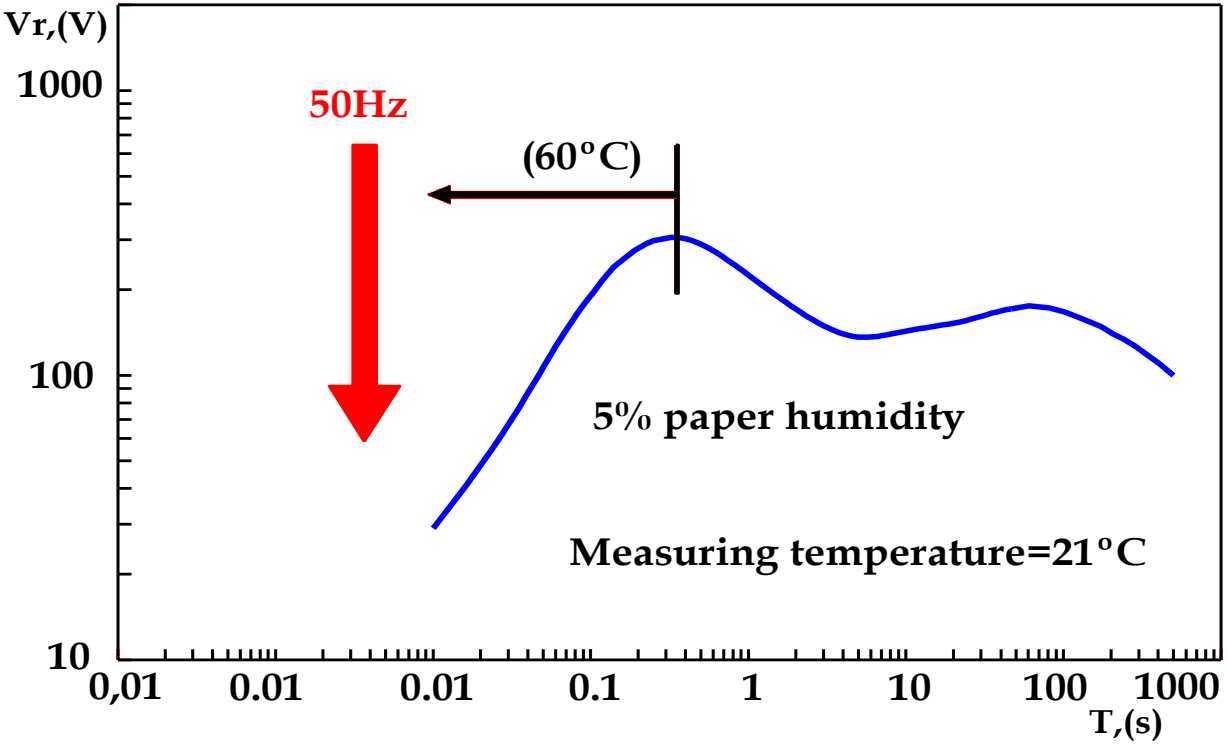
„Egyszerű trafófelújítás” (*olajkezelés*), sem olajcsere, sem regenerálás. Előtt és után mért RVM görbék majdnem azonosak, nem volt állapotváltozás, így nem változtak az RVM görbék sem. Enyhén nedves, sok öregedési termék felhalmozódás, tehát jót tett volna az öregedési termék kivonása az olaj regenerálása által.



Olaj regenerálás hatása az RVM polarizációs spektrum görbékre



Cél, hogy a **3 ms környezetében** még a **legnagyobb üzemi hőfokon sem legyen jelentős polarizáció.** Ez a trafó üzemben ütött át **kb. 60°C-on**. RVM mérés és a BME adatbázis alapján az „egyenértékű” nedvességtartalom kb. 5%, de ami fontos, hogy üzemi hőfokon a legkisebb domináns időállandó kb. **3ms volt, tehát megindulhatott a buborékképződés.**



Ez a trafó az adott üzemi hőfokon már nem volt biztonságosan üzemeltethető, sőt szükségszerű volt az átütés, mert 60°C-on beindult a **buborékok képződése, de kb. 30°C-on még nem. Lett volna buborékkiválás.**

Konklúziók

Hagyományos állapotellenőrzési módszereknél adódó ellentmondások miatt a BME az 1970-es években többéves kutatást végzett az olaj-papír szigetelések mélyebb ismerete és új állapotellenőrzési mérések kifejlesztése céljából.

A kutatómunka **legnagyobb eredménye** három polarizációs mérés (RVM, FDS, PDC) kidolgozása volt.

Ismert, hogy az olaj-papír szigetelésű nagytrafók **élettartama egyenlő a papíros szigetelések élettartamával,** így a papír szigetelés diagnosztikája a legfontosabb.

Az **RVM módszer kiválóan alkalmas** a romlási folyamat követésére, a pillanatnyi állapotot rögzítésére, trafók élettartamának becslésére, az optimális üzemeltetési paraméterek beállítására, karbantartási típusok felmérésére, élettartam költséghatékony kiterjesztésre, stb.

MŰEGYETEM 1782

HIGH VOLTAGE LABORATORY BUDAPEST

diagnostics
www.diagnostics.hu

Köszönöm a figyelmet!