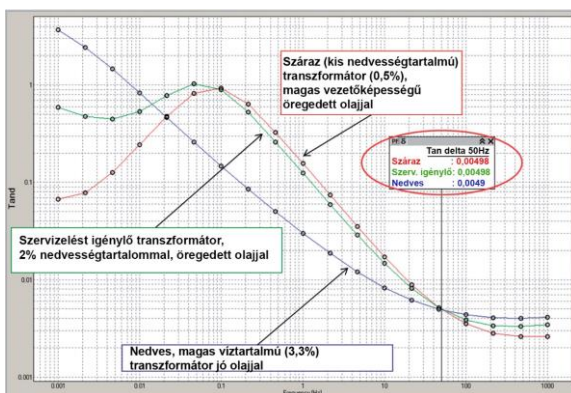


## Út a transzformátorok állapotfüggő karbantartásához

A transzformátorok szigetelési állapotának ismerete elengedhetetlen a hatékony üzemeltetéshez és az állapotfüggő karbantartások tervezéséhez. A transzformátorok nedvességtartalmának az ismerete kiemelten fontos, hiszen a nedvességtartalom kihat a papír állapotára, a transzformátor terhelhetőségére és a várható élettartamra is. A DFR (dielektromos frekvencia válasz)/FDS (frekvencia tartományú spektroszkópia) vizsgálat egy költséghatékony módszer a transzformátor állapotának, azaz az olaj/papír szigetelési rendszer nedvességtartalmának a meghatározásában.

A múlt gyakorlatában az 50Hz-en mért tan delta mérés volt az elterjedt állapotismereti módszer. Ez persze csak korlátozott információt nyújt. Hogy megértsük miért, célszerű az 1. ábrát áttanulmányozni, ahol 3 különböző állapotú transzformátor DFR görbéje látható, melyeknek az 50Hz-en mért tan delta értékük viszont megegyezik. Az egyik transzformátor nedvességtartalma magas, de jó (nem öreg) olajjal rendelkezik, amely szárítást igényel, a másik nedvességtartalma igen alacsony, de az olaját regenerálni kell, a harmadik pedig egy átlagosan öreg, szervizelést igénylő transzformátor. Csupán az 50Hz-es tan delta értékek alapján nem tudnánk különbséget tenni a három transzformátor állapota között. A DFR/FDS vizsgálatok igen pontos képet tárnak elénk a transzformátorok szigetelésének állapotáról. Ezek ismeretében az üzemeltetők/karbantartók joggal elvárhatják, hogy transzformátoraik minél tovább üzembiztosan működjenek.



1.ábra 3 különböző állapotú transzformátor azonos 50 Hz-en felvett tan delta értékei

A transzformátorok szigetelésének magas nedvességtartalma az alábbiakat okozhatja:

- Csökken a terhelhetőség – A buborékképződés küszöbhőmérsékletének csökkenése miatt a terhelhetőség csökken.
- Csökken az olaj/papír rendszer villamos szilárdsága – A villamos szilárdság csökken, a részleges kisülési szint küszöbfezültségével együtt.
- Öregszik a szigetelés – A magas hőmérséklet és a nedvesség drasztikusan gyorsítja a szigetelés öregedési folyamatát, mely által csökken a papíros mechanikai szilárdsága is.



A hatékony üzemeltetés során a transzformátorban a nedvességtartalmat a lehető legkisebb szinten kell tartani. A papír nedvességtartalma, a modern szárítási technológiáknak köszönhetően, egy új transzformátor esetében jellemzően 1% alatt van. Az üzem során ez az érték majd folyamatosan növekedni fog. Nedvesség az alábbi módon kerülhet a transzformátorba:

- A szárítási folyamat elégtelensége miatt a visszamaradó nedvességtartalom magas.
- Nedvesség a szigetelés felületén az összeszerelés, vagy a karbantartás során.
- Üzem közben a környezeti nedvesség bejutása (tömítések elégtelensége, helyszíni javítások során stb.).
- Az olaj és a papír öregedése és bomlástermékei.

Fontos annak megértése, hogy a transzformátorban lévő nedvesség kb. 99%-a a papír szigetelésben van. A transzformátor üzemeltetése során fontos a nedvességtartalom ismerete annak érdekében, hogy üzembe-helyezéskor egy garantáltan kis nedvességtartalmú transzformátort kapjunk, és az üzemeltetés során a mért adatok ismeretében tudjuk tervezni a karbantartásokat.

Az olajmintavétel során történő nedvességmeghatározás téves adatokat szolgáltat, mivel az a terhelés és a hőmérséklet függvényében az olaj és a papír között „vándorol”, és inhomogén eloszlású. Az olajmintavétel általában igen magas hőmérsékleten történik, és akkor, amikor a transzformátor egyensúlyi helyzetben van. Ez csak korlátozott mértékben lehet alkalmas a transzformátor valós nedvességtartalmának megállapításához.

A DFR/FDS módszer az egyik legpontosabb módszer a papír/prespán szigetelésben lévő nedvességtartalom meghatározásában, azok dielektromos jellemzőinek mérésével.

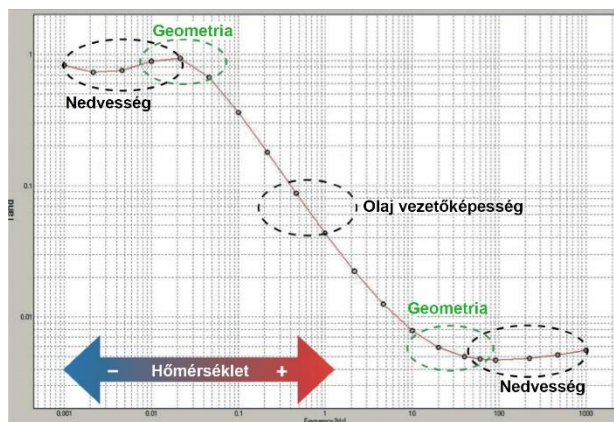
A tan delta értékek a frekvencia függvényében kerülnek ábrázolásra, ahogy a 2. ábrán látható. A hőmérséklet növelésével a görbe a nagyobb frekvenciák felé tolódik el. A nedvességtartalom változás mind az alacsony-, mind a nagyfrekvenciás jellegét változtatja meg a görbének. A görbe középső, lineáris szakasza az olaj vezetőképességéről szolgáltat információkat. A szigetelési rendszer geometriája pedig a görbe két oldalán a könyökpont helyzetét határozza meg.

A Megger cég IDAX készülékcsaládja a DFR/FDS módszer alkalmazásakor a transzformátor mért villamos jellemzőit egy modellezett rendszer villamos jellemzőivel hasonlítja össze. Ez a modell a CIGRE TB 254 és 414 szerint van meghatározva, amely szerint a transzformátor kis- és nagyfeszültségű tekercselése közötti rész egy egyszerű kondenzátorral van modellezve, ahol a dielektrikum papír és olaj. Az algoritmus összehasonlítja a modell értékeit a transzformátoron mért értékekkel és addig változtatja a dielektromos jellemzőket, míg az legjobban nem hasonlít

a transzformátoron mért szigetelési jellemzőkhöz. Így a modellezett görbéből meghatározható a papír nedvességtartalma, az olaj vezetőképessége, valamint a veszteségi tényező hőfokfüggése. Az egész modellezéshez csupán az olaj/tekercs hőmérsékletet kell bemeneti adatként a rendszerben megadni.

Számos nemzetközi szabvány az 50Hz-en mért tan delta méréskor a 20°C-on mért referencia értékeket használja a kiértékeléskor. A DFR/FDS módszer pedig a papír nedvességtartalmának, az olaj vezetőképességének és a veszteségi tényező meghatározásához a 25°C-on mért értéket tekinti referenciának.

A fenti jellemzők meghatározásához az IEEE C57.152-2013, az 50Hz-en mért jellemzők meghatározásához pedig a CIGRE TB 445 és az IEEE C57.152-2013 ad irányutatást. Összefoglalásul elmondhatjuk, hogy a DFR/FDS módszer egy igen gyors, frekvencia-spektrumú módszer a szigetelési jellemzők meghatározásához. Minden esetben pontos értékeket ad, mely az alkalmazott modell segítségével a hőmérsékletfüggést is kizárja. Maga a módszer már több mint 10 éves múltra tekint vissza az összes nemzetközi szabvány figyelembe vételével.



2. ábra A tan delta változása a frekvencia függvényében