3.09 Műszaki diagnosztika teljesítménytranszformátorokhoz

Tárgyszavak: műszaki diagnosztika; élettartam; transzformátor; mérés; üzemképesség; szigetelésdiagnosztika.

A teljesítménytranszformátorok a villamosenergia-ellátó rendszer fontos elemei, amelyeknek monitoringja és hibadiagnózisa a liberalizált európai energiapiacon kiemelt jelentőségű mind a villamos energia termelésében, mind átvitelében és elosztásában.

A mai helyzetre jellemző, hogy a hálózati transzformátorok nagy része több európai országban nemsokára eléri tervezett élettartamának végét. A 110–380 kV feszültségtartományú transzformátorok működési idejének maximuma Németországban is túl van már a 30 éven *(1. ábra).*

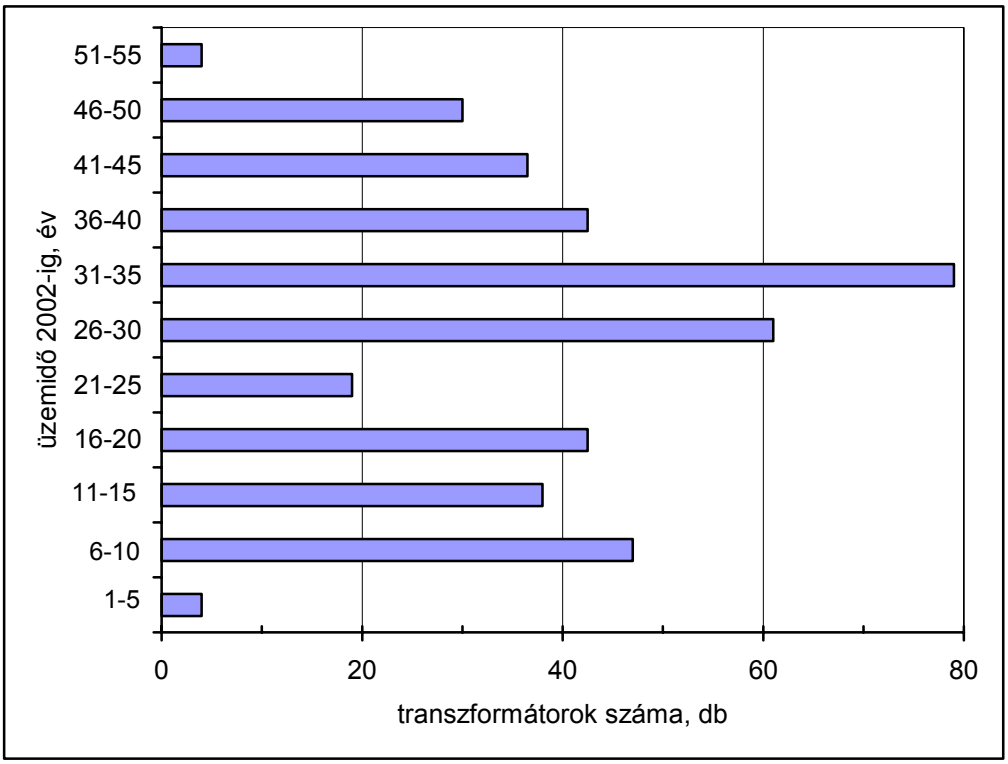
Részkisülés mérése

A transzformátorok üzemképességéről, megbízhatóságáról és pótalkatrészeik beszerzésének tervezéséről a szigetelés állapota ad megfelelő tájékoztatást, ennek pedig fontos mutatója a részkisülés lefolyása. A részkisülések hatásait

- integrált formában (összesítve) Buchholz-féle relé (jelfogó),
- differenciált formában elektronikus Buchholz-relé vagy gáz az olajban elemzés

segítségével lehet meghatározni.

E két esetben a részkisülés hatása egyenesen arányos annak valóságos töltés- vagy energiatartalmával. A számos gyakorlati célra bevált szabványos (IEC 60270) módszer helyett, amely csak ún. látszólagos (kapocs-) értéket ad, olyan költséges berendezéseknél mint a transzformátorok, nem kerülhető meg a kisülés helyének meghatározását is lehetővé tevő, pontos mérés.



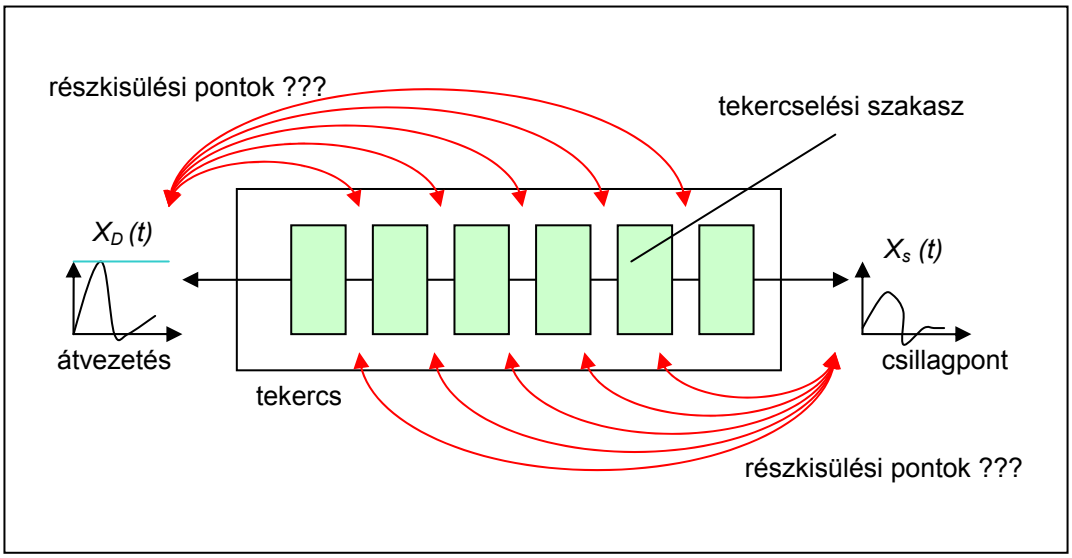
1. ábra A 110 kV–380 kV-os transzformátorok üzemidő szerinti eloszlása Németországban

Átviteli függvény, átviteli részfüggvények

A váltakozó üzemi feszültség 50 vagy 60 Hz-es frekvenciájával szemben a részkisülés nagyfrekvenciás jeleket ad, így a jelkibocsátás leírható a híradástechnikából ismert átviteli (transzfer) függvénnyel, amely időben változatlan lineáris rendszerben egyenlő a kimenő- és a bemenőjel viszonyával (és esetenként dimenziója is van). Használatos – mindenkor dimenzió nélküli – a kimeneti és a bemeneti feszültség viszonya is.

Elméleti ismeretek alapján az átviteli függvények összeállíthatók az alrendszerek átviteli függvényeiből. Így a transzformátortekercs minden szakaszához is tartozik egy-egy résztranszferfüggvény (RTF), amelyből kiszámítható a transzformátortekercs teljes átviteli függvénye. Ennek segítségével a bemeneti jel ismeretében meg lehet határozni a kimeneti jel időbeli lefolyását és megfordítva. Az RTF segítségével ezenkívül következtetni lehet a transzformátor valamely helyén kibocsátott jelre is, amennyiben a kimeneti jel ugyancsak ismert.

Az elmondottakra épül a transzformátorok részkisülési jeleinek eredetére való következtetés elve, amely egyben pontos helyük és töltésük meghatározását is lehetővé teszi. A gyakorlati alkalmazáshoz mérni kell a kisülési jeleket a transzformátornak a mérések számára hozzáférhető helyein, vagyis az átvezetési és a csillagpontban *(2. ábra).*



2. ábra A részkisülés helymeghatározó vázlata

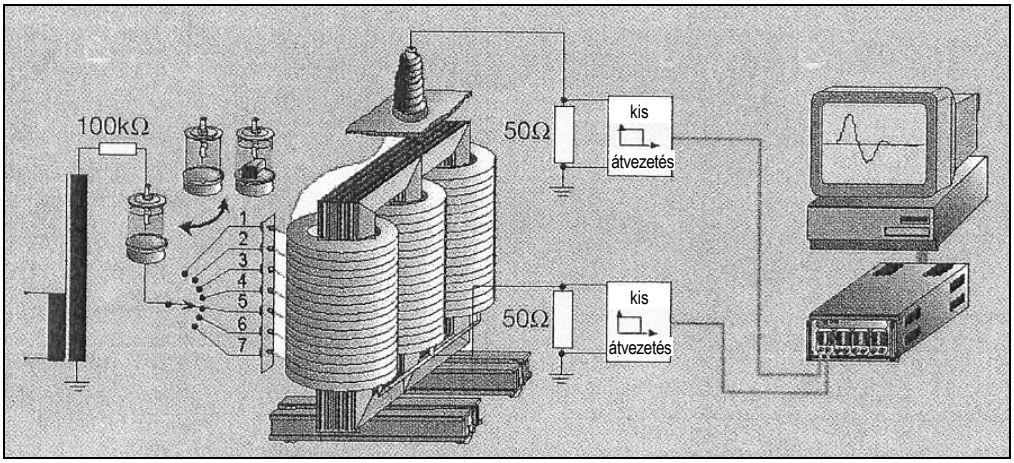
Amennyiben a mért, a megfelelő RTF által megváltoztatott jel egy részkisülés nyomán a transzformátor meghatározott helyén keletkezett, akkor kétirányú terjedés után már ebben a formában lehet mérni az átvezetésnél és a csillagpontban. A jel kiindulási pontjára való következtetéshez – e két mérés eredményének és a mindenkori RTF-nek az ismeretén kívül – szükség van egy további adatra.

Ezzel kapcsolatban rögzíteni kell, hogy a jel kiindulási pontját az átvezetés helyétől a csillagpont felé és az ellenkező irányban, vagyis a csillagpontban észlelt helytől az átvezetési hely felé számítva az eredményeknek – lineáris rendszer esetén – meg kell egyezniük. Teljes egyezés azonban csak a tekercselés elég kis szakaszokra való felosztásával érhető el, de a részkisülési jel helymeghatározásának kívánt pontosságától függően, ésszerű kompromisszumot lehet kötni az elérendő feloldás és az ehhez szükséges számítási idő között.

A módszer kipróbálásához kifejlesztettek egy négypólusú transzformátormodellt, amelynek differenciálegyenletéből bizonyos együtthatók és kezdő értékek ismeretében meghatározható a feszültségeloszlás a tekercselés mentén, valamint annak időbeli alakulása.

Laboratóriumi mérési eredmények

Mivel azonban ezek az állandó paraméterek nem ismertek, hagyományos (Sequential Quadrate Programming) és új algoritmusok kombinálásával meg lehet határozni egy átviteli függvényt, amely elég jó egyezésben van az átvezetés és a csillagpont között mért függvénnyel, ugyanis az RTF kísérletileg nem határozható meg (csak a teljes tekercselés függvénye). Egyenletes tekercselés mellett az így számított és a mért RTF-ek között 100 kHz frekvenciáig jó, 250 kHz-ig kielégítő az egyezés *(3. ábra).*



3. ábra Laboratóriumi berendezés

Ezekből a további vizsgálatokat megalapozó eredményekből kiindulva a tekercselés meghatározott pontjain részkisülési jeleket tápláltak be, majd ellenőrizték a jelek helymeghatározásának lehetőségét, azaz a meghatározásnak a jel fajtájától függő hibáját *(1. táblázat).* A laboratóriumban a kisülések valós jeleit háromféle elektródelrendezésben (levegő, olaj, szigetelőanyag) vizsgálták.

1. táblázat

Részkisülési jelek helymeghatározásának hibái
A részkisülési jel helye a tekercsen
(csillagpont = 0%; átvezetés = 100%)

%	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5
Mérés	0	0	2	4	2	0	0
Számítás	0	2	2	6	4	2	0

A meghatározás hibája (a tekercsben a jel betáplálásának ismert pontja és a számított hely közti különbség) középen a legnagyobb, ahol a jelek kétoldali csillapodásból eredő pontatlanságai egymásra rakódnak. A középtől távolodva csökken az eltérés.

A módszert minősítve megállapítható, hogy a helymeghatározás maximális hibája kisebb a vizsgált szakasznál, amely a tekercs 8 részre való felosztásakor 12,5%-nak felel meg, ami a kisülés eredetének megállapításához többnyire elegendő. Így nincs szükség a tekercselés finomabb felosztására, amivel nagyobb pontosságot lehet ugyan elérni, viszont sokkal hosszadalmasabb a számítás.

A laboratóriumi transzformátorba (amelynek két feszültségszintje 10 kV, és 380 V, teljesítménye 200 kVA) levegőn történő részkisülés jelének (*4. ábra*, 3. kivezetés) betáplálásakor az átvezetésnél és a csillagpontnál mért feszültségmenetek a számítottakkal igen jó egyezésben vannak. Ugyanez érvényes – és a módszer megbízhatóságáról tanúskodik – olajban végbemenő kisülés jelének betáplálására a transzformátortekercs egy másik helyén.

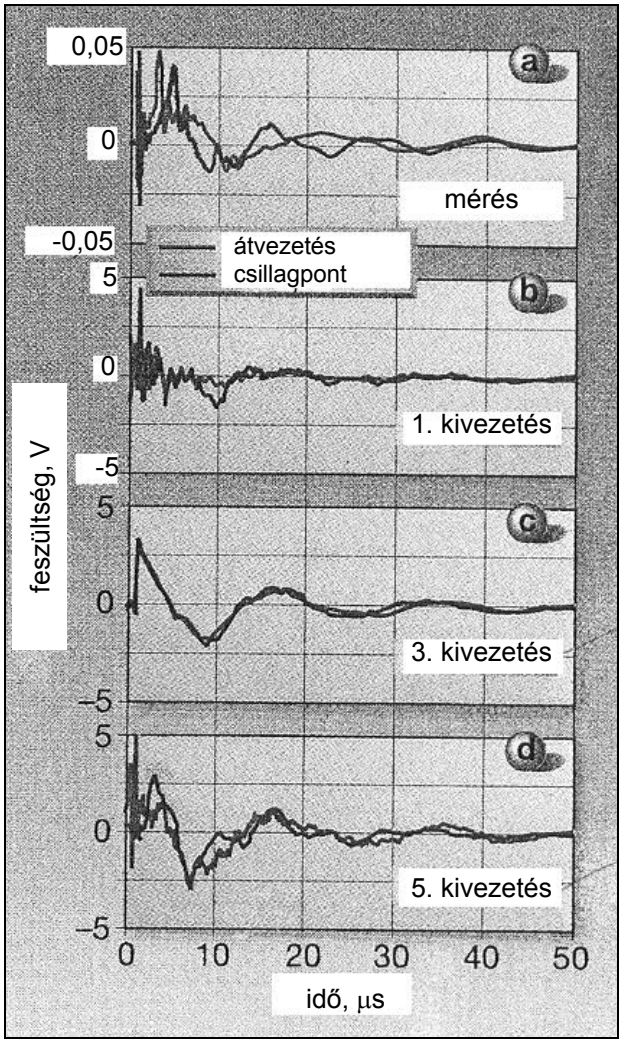
Helyszíni mérések

A laboratóriumi méréseket nagy ipari teljesítménytranszformátorokra alkalmazva először ezúttal is meghatározták a teljes tekercselés átviteli függvényét (a feszültség–idő görbét), majd ennek és a számított függvénynek a méretéből a kapcsolási vázlat segítségével a részkisüléses jelek függvényeit.

Helyszíni mérések alkalmával egyfelől minél kisebb beavatkozással gondoskodni kell az üzem zavartalanságáról, másfelől figyelembe kell venni a mérést zavaró, a laboratóriumban mindig elkerülhető hatásokat. A kutatók mindkét probléma megoldására kifejlesztettek egy kapacitív érzékelőt, amely a nagyfeszültségű átvezetésnél és a csillagpontnál könnyen felszerelhető, valamint egy fényvezetéssel működő, akkumulátorral hajtott mérőjelátvivő rendszert. A részkisüléseket három fázisban szemlélteti a csatlakozó digitális tárolóoszcilloszkóp képernyője. Egy impulzus feloldása 10 μs időtartamra terjed. Ez megengedi a jelek visszaszámlálását keletkezési helyük meghatározásához.

A magas zavarszint miatt az üzemben mért jeleket szűrni kell, amihez szintén felhasználható az átviteli függvény. E módszer szerint kell az átvezetésnél a transzformátoron kívül létrehozott zavarójelet mérni, majd a tekercsen való áthaladása után a csillagpontnál is. Amennyiben e két mérésből levezethető átviteli függvény a teljes tekercs ismert átviteli

függvényét adja ki, akkor a jel zavarójelként jellemezhető, mivel az egész tekercsen áthaladva nem keletkezhetett azon belül.



4. ábra Részkisülések mért és számított feszültséggörbéi az egyes kivezető kapcsoknál

Ha viszont a meghatározott átviteli függvény nem azonos a teljes tekercsével, akkor azon belül jött létre, így részkisülésnek kezelendő. Az ezután meghatározott átviteli függvény pedig egyenlő a keletkezési pontból az átvezetési vagy a csillagpontig terjedő átviteli függvény hányadosával.

A részkisülési jelek keletkezési helyének elemzését elvégezték a javasolt módszer szerint, amihez a 20 szakaszra beosztott tekercs 18.

szakaszában jelölték ki a kisülési pontot. Az eredményeket megerősítette egy akusztikai mérésprogram ugyanazon transzformátoron.

Összeállította: Dr. Boros Tiborné

Gockenbach, E.: Diagnoseverfahren für Leistungstransformatoren. = Bulletin SEV/VSE, 2004. 9. sz. p. 19–23.

González, D. G. Diagnosis of a turn-to-turn short circuit in power transformers by means of zero sequence current analysis. = Electric Power Systems Research, 69. k. 2–3. sz. 2004. máj. p. 321–329.

Hamedani Golshan, M. E.: A new method for recognizing internal faults from inrush current conditions in digital differential protection of power transformers. = Electric Power Systems Research, 71. k. 1. sz. 2004. szept. p. 61–71.

Röviden…

A termográfia a megelőző karbantartásban és a hibakeresésben

Infravörös termográfia segítségével kis költséggel lehet megelőző karbantartást végezni. Egy könnyen kezelhető kamerával és egy hordozható PC-vel korán felismerhetők a termelésben a hiba- és a veszélyforrások, csökkentve a költséges állásidők számát és hosszát.

Az infravörös kamerával egy villamos kapcsolótábláról készült, a különböző erősségű hősugárzásokat színük szerint megkülönböztető termogramon a szakember számára jól felismerhető egy-egy laza szorítókapocs, sérült szigetelésű kábelszakasz vagy túlterhelt kapcsoló. Mivel ez utóbbiak okozzák a legtöbb tüzet, a termográfiának az üzemi tűzvédelemben is fontos szerepe lehet.

A nehezebben értelmezhető hibákat a PC-re telepített speciális szoftver értékeli ki. Így egy laptop segítségével helyben elkészíthető a kívánt állapotjelentés – grafikus vagy táblázatos formában – és dokumentálhatók a mérési eredmények. Ilyen módon 40-től 500 °C-ig terjedő hőmérsékleteket lehet megjeleníteni.

Alkalmazások

A termográfia alkalmazási spektruma igen széles, amint erről az erre szakosodott hibafeltáró szolgáltatás kínálata tanúskodik (Freudenberg Service KG, Weinheim). A spektrum kiterjed az elektrotechnika szinte

teljes, valamint az energetika (klíma-, szabályozás- és méréstechnika), továbbá a mechanika számos területére, de bizonyítja hasznosságát a gyógyászatban is.

Termográfiával biztosan felderíthetők vagy konkrétan megtalálhatók

- hibás csapágyak, rosszul záró szelepek, eldugult vezetékek,
- hőcserélők, szellőzőcsatornák elszennyeződése,
- kondenzátumleválasztók hibái,
- fűtőtesttömítés cseréjének szükségessége,
- silók feltöltésének szintje, végül
- a különösen nagy jelentőségű hőszigetelési hiányok, de nem utolsó sorban,
- mind a humán, mind az állatgyógyászatban a test rejtett gyulladásos gócai.

A termográfia, a megelőző karbantartáson túl a gyártásközi ellenőrzésnek is értékes eszköze, mivel érintésmentes módszer lévén, lehetővé teszi mozgó tárgyak hőmérsékletének mérését.

Új gépek üzemszerű használat előtti termográfiás vizsgálatának költsége is megtérülhet akkor, ha kiderül, hogy egyes részei működés közben túlmelegszenek, ami a későbbiekben drágán megfizetendő problémákat okozhat.

A termográfia korlátja, hogy nem használható gázok esetében, de alkalmazása minden más területen, mind technikáját, mind a termogram sokszínű mintájának értelmezését tekintve megalapozott szakértelmet kíván.

(VDI-Zeitschrift. Integrierte Produktion, 140. k. 7/8. sz. 2004. p. 73–74.)