



Transzformátor és a hálózat közötti villamos tranziens kölcsonhatások

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XIV. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia

Felsőtárkány, 2014. október 29-31.

Tartalomjegyzék

- Előzmények
- A CIGRE JWG A2/C4.39 célkitűzése
- A JWG munkájának áttekintése
- MVMT hozzájárulás a JWG munkájához
- Munkabizottsági javaslatok
- Konklúziók

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Előzmények – téma indításának oka

- A trafók az üzemük során állandóan ki vannak téve **különböző tranzienseknek**, amelyek **jelentős igénybevételt jelent a szigetelésre**.
- A tapasztalatok szerint annak ellenére, hogy **megfelelő a szigetelés koordináció, ill. elfogadott szigetelési konstrukciókat** alkalmaznak, mégis az **szakirodalom számos tranziens** jellegű meghibásodásokról számol be.
- Egyetértés **(IEEE, Cigre)** volt, hogy **tranziens túlfeszültségek okozhattak számos** tekercshibát.
- A hibaelemzés, ill. a megelőzés **mélyebb tranziens elemzést igényel**.
- **Fontos aspektus**, hogy az energia rendszer **deregulációjának következtében integrálni kellett a különböző szervezeteket**: átviteli rendszeroperátor, termelők, elosztók, és ez **új működtetési rendszert** igényel a korábbihoz képest.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Előzmények – téma indításának oka (folytatás)

- Ez az új **működtetési rendszer** új körülményeket teremt: a **trafók szigetelési rendszerén növekvő igénybevétel**.
- Bár a **korábbi IEEE és CIGRE munkabizottságok** fontos megállapításokat tettek, a **tranzienseket illetően**, de a **megbízhatóság növelése** céljából további kutatómunka szükséges trafó **szigetelés tervezése és vizsgálata, nagyfrekvenciás viselkedése és modellezése** vonatkozásában.
- Ezért **jött létre a CIGRE JWG A2/C4-39** “Electrical Transient Interaction between Transformers and the Power System” munkabizottság **2008-ban**.
- A WG-ben minden **fontosabb területről** jöttek **szakértők**: energiatermelők, átviteli és elosztó hálózat, trafógyártók, egyetemek, kutatóintézetek, mintegy **20 országból**.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG A2/C4.39 célkitűzése

- A **CIGRE JWG A2/C4.39 Munkabizottság** figyelme főleg a trafó biztonság koncentrálódott az alábbi **főbb célkitűzésekkel**:
- **Áramszolgáltató tapasztalatok áttekintése**, vizsgálódást a **korábbi témákban**, különös tekintettel a **tranziens okozta trafók hibákra**, a **rendelkezésre álló** eredmények összehasonlítása és megvitatása.
- **Gyártói tapasztalatok** a tranziens feszültség követelményekre vonatkozó **műszaki specifikációkkal** kapcsolatosan.
- Trafók és a hálózat közötti tranziens **kölcsönhatás vizsgálata**, trafók nagyfrekvenciás **modellezése és vizsgálata**.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG A2/C4.39 célkitűzése (folytatás)

- Szigetelést érő és a **rendszerből érkező, nagyfrekvenciás impulzusok ill. igénybevételek áttekintése, elemzése.**
- **Módszerek kifejlesztése** tranziens tanulmányok céljára, hogy alállomási kapcsolások, zárlatok, vagy hálózatról bejövő **tranziensek frekvencia tartományát megbecsülje.**
- Javító **beavatkozások ajánlása** a nagyfrekvenciás tranziensekkel kapcsolatos **tervezési és üzemeltetési munkákban (védelmi ügyek, kritikus kapcsolási konfigurációk, stb.).**
- A **kockázati tényezők** megvitatása, amelyekből tranziens okozta hibák származhatnak (**esettanulmányok, előírások, üzemeltetési és karbantartási gyakorlatok**).

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

2.4 Korábbi WG munkák

- A legutóbbi **harminc évben számos nemzetközi WG** foglalkozott a trafók gyors tranzienseivel, amelyről a **2.4 fejezetben** egy rövid áttekintés olvasható.
- **1979-ben a CIGRE 12.07 [2.18] WG az állította**, hogy a **trafó rezonancia nagyon nehezen jön létre** és az alábbi egyidejű állapotoknak kell fennállni: **alacsony trafó csillapítás**, a tekercs természetes frekvenciája és a gerjesztő feszültség **frekvenciája egybeesése**, a **gerjesztő feszültség** elegendően nagy és megfelelő hosszú idejű legyen.
- Az 1979-es WG még azt is ajánlotta, hogy **kerülni kell a rezonanciát!!?**. Ez trafók esetén ez **konstrukció változtatást jelent**, vagy járulékos eszközök, pl. **elhangoló kapacitások** vagy nem lineáris ellenállások beépítését.
- **1988-ban a Cigre JWG 33/13.9 [2.19]** vizsgálta a gázszigetelésű (**GIS**) alállomásokon tapasztalható nagyon **gyors tranzienseket**. A WG azt jelezte, hogy **extra nagy csúcs értékek adódhatnak rezonancia esetén a GIS állomásokon**. A **közvetlenül** csatlakozó trafók esetén néhány MHz-es, **indirekten csatolt trafók** estén 1MHz rezgések kerültek a kapcsokra (nem voltak ajánlások).

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

2.4 Korábbi WG munkák (folytatás)

- **A trafó és a hálózat közötti kapcsolatot** először a **2005-ben** Cigre JWG A2-A3-B3.21 WG tekintette át [2.20].
- A 2005-ös JWG azt jelezte, hogy a vizsgálatokra vonatkozó szabványok ugyan definiálják a hullámformát, de **hiányzik az extra meredek hullámú homlok** (gyors tranziens, Very Fast Transient), valamint az **oszcilláló feszültség hullám összemérhető a trafó tekercs természetes frekvenciájával**.
- Kinyilvánították: **trafó és a környezet közötti összejátszás** szorosságát nehéz becsülni az egyes **esetek részletes vizsgálata nélkül, nincs általános irányelv**.
- A WG egy **kockázat elemzési módszert** ajánlott, amely mint egy tényező használható lenne a döntéshozásnál.
- Brazíliában **bekövetkezett számos dielektromos meghibásodás** után létrejött a Brazil-Cigre JWG A2/C4.03 [2.21] munkabizottság.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

2.4 Korábbi WG munkák (folytatás)

- A brazil WG fő feladata a **rezgési jelenségek megértése volt**, amelyek a trafó és a hálózat közötti kapcsolatból erednek kapcsolási eseményeknél.
- Ebből a célból a **brazil hálózaton különböző** feszültség szinteken számos kapcsolási **tranziens szimulációt** végeztek.
- Bevezették a „**Frequency Domain Severity Factor, FDSF**) súlyossági tényezőt a **rendszer eseményekből** származó villamos igénybevételekre.
- A brazil WG ajánlotta még, hogy a szigetelés koordinációs tanulmányokban a tranziens feszültségeknél a **maximális értékekkel együtt a frekvencia spektrumot is vegyék figyelembe.**

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

A 2008-ban alakult JWG munkájának áttekintése

- **2014-ben Technical Brochure (TB)** jelent meg, amely **két részből áll:**
- “Part 1: **Expertise**” and “Part 2: **Case Studies**”.
- **Első rész: 9 fejezetből áll:** 1. fejezet: Bevezetés
- 2. fejezet: előző WG áttekintése, néhány tranziens miatti trafó meghibásodás, a vonatkozó szabványok helyzete
- 3. fejezet: hálózati modellek tárgyalása
- 4. fejezet: trafó modellek tárgyalása
- 5. fejezet: trafó és a hálózat kapcsolata, rezonanciás túlfeszültségek tárgyalása
- 6. fejezet: nem szabványos impulzusokból eredő igénybevételek tárgyalása
- 7. fejezet: trafó tekercs tervezést érintő kérdések tárgyalása
- 8. fejezet: különböző szimulációs számítási módszerek áttekintése
- 9. Fejezet: általános ajánlások (trafó specifikáció, tranziens és szigetelés mérések)

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

1. rész. 2.3 fejezet: Üzemi tapasztalatok

- Számos esetben **tranziensekkel kapcsolatos** meghibásodásoknak nincs **közvetlen ok-okozati bizonyítéka**. A trafót **úgy méretezik**, hogy kibírja az állandó üzemi feszültséget, hőigénybevételt (hot-spot hőmérsékletet), rezgéseket.
- Ezért **folyamatosan mérünk**, diagnosztizálunk, pl. olaj tulajdonságait, a PD-t, stb. A **hiba** általában **különböző okok kombinációjából** ered, amelyek fokozatosan halmozódnak (sokszoros **ki-be kapcsolások**, szigetelés **öregedése**, **magas üzemi feszültség**, új hálózati konfigurációk, rezgések, stb.).
- Ezeket figyelembe véve a **tanulmány bemutat néhány esttanulmányt** a trafó meghibásodásokra vonatkozó szakirodalomból, ahol a **hálózat és a trafó közötti kölcsönhatásból eredő túlfeszültség volt alapvetően okolható** a hibaért.
- Ezek a meghibásodások a világ minden tájáról származnak: a **trafó és a hálózat közötti tranziens esemény miatt** jöttek létre különböző hálózati rendszereken.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Üzemi tapasztalatok

- 2.3.1 Generator Step-Up Transformer 990MVA 21.45/500kV – Canada
- 2.3.2 Auto-Transformer 200MVA, 500/345/13.2kV – United States
- 2.3.3 Generator Step-Up Transformer 75MVA, 230/16kV – Mexico
- 2.3.4 Autotransformer 240MVA 400/132kV – United Kingdom
- 2.3.5 Autotransformer 150MVA 230/161/13.8kV – Brazil
- 2.3.6 Autotransformer 400MVA 500/345/13.8kV –
- 2.3.7 Regulator Transformer 33MVA, 230/66.9-44/13.2kV – Brazil
- 2.3.8 Regulator Transformer 300MVA, 500/460/13.8kV – Brazil
- 2.3.9 Distribution Transformer 10MVA, 77kV –
- 2.3.10 Rectifier Transformer 26.4kV – United States
- 2.3.11 Autotransformers 315MVA, 400/220/22kV and 330/220/22kV – South Africa
- 2.3.12 Generator Step-Up Transformer 185MVA, 500kV – Brazil
- **2.3.13 Auto Transformer bank 1100MVA, 750/410/18kV – Hungary**
- 2.3.14 Autotransformer, 500/275kV – Japan
- 2.3.15 Generator Step-Up Transformer 500MVA, 765/25kV – Auxiliary Transformer
- 80MVA, 765/138/34.5kV – United
- 2.3.16 HVDC Convertor Transformer 234 MVA 400/93 kV Yy-Yd – India

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

2.3.13 Auto Transformer bank 1100MVA, 750/410/18kV – Hungary [2.15]

- **Fázisegységes** autótrafó, **külön** tankban a csillagponti feszszabályzó.
- Jelentős **túlfeszültség jött létre** a szabályozó trafó megcsapolásain.
- Ezek a túlfeszültségek akkor jelentek meg, amikor a **400kV-on már bekapcsolt trafóra a nyitott végű 750kV-os távvezeték**et rákapcsolták.
- A szabályozó trafót a főtrafó **18kV-os tekercséről gerjesztik**.
- A **mérések szerint** a fokozatkapcsoló megcsapolásain bizonyos esetekben **nagyobb túlfeszültség jöhet létre**, mint a gyári tervezéskor számított értékek.
- A mérések szerint a meglehetősen **hosszú földelő kábeltől nagyfrekvenciás rezgések és túlfeszültségek** keletkezhetnek.
- A fokozatkapcsoló védő **szikraköz gyakori átívelése** feltételezhetően **részben** rezonancia szerű jelenséggel és **részben** pedig a hosszú földelő kábel okozta rezgések feszültség növelő hatásával magyarázható.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Hámos, I., Kerényi, D., “Experience with the 750kV Transformer of the Hungarian Electric System, Acquired during on site Testing”, Cigré 1986, Paper No 12-02.

1986

12-02

0

Pref. Subj. 2

EXPERIENCE WITH THE 750 kV TRANSFORMER
OF THE HUNGARIAN ELECTRIC SYSTEM, ACQUIRED DURING ON SITE TESTING

by

I. HÁMOS
Hungarian Electricity Board

(Hungary)

D. KERÉNYI *
Ganz Electric Works

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

750/V3/410/V3/18kV-os autótrafó csatlakozása a 750kV-os hálózathoz. Albertirsa-Zapad között kb. 270+210km-es távvezeték, 2-szer 3x110MVar söntfojtó, két csillagponti fojtóval állomásonként.

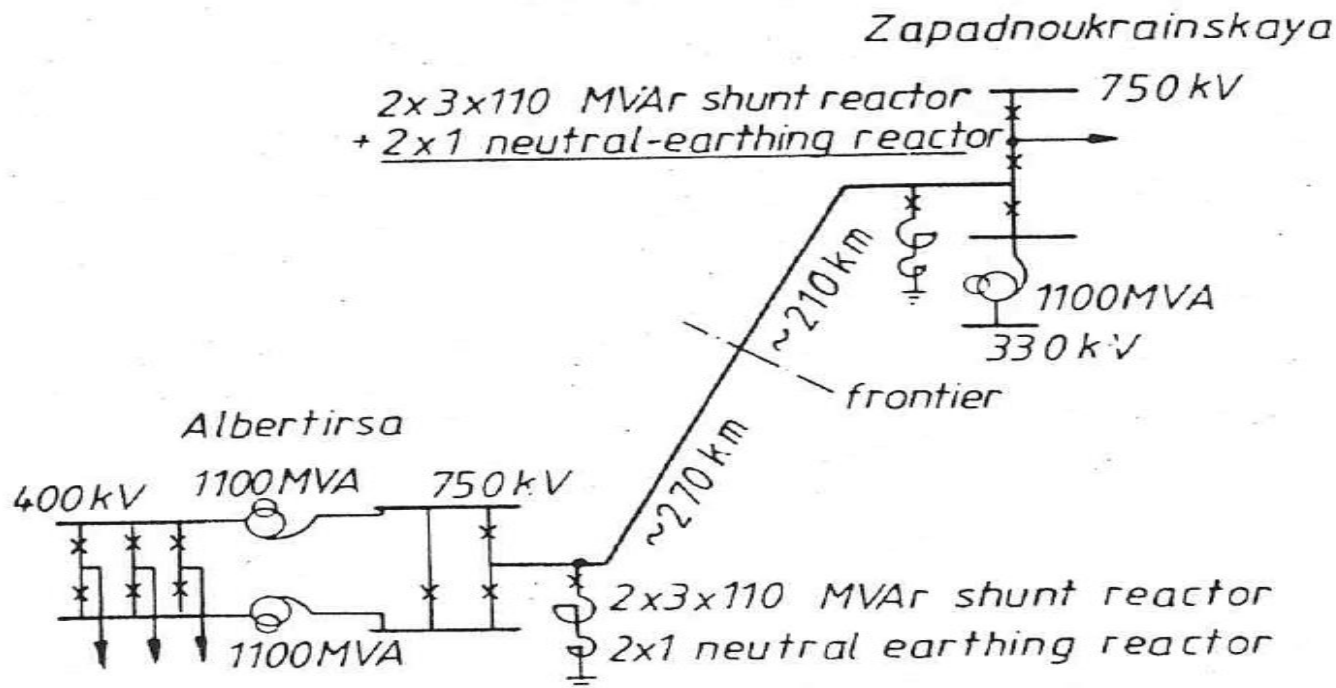


Figure 1 : The 750 kV Hungarian-Soviet inter-connection

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

A szabályozó trafó a fázisegységes 750/ $\sqrt{3}$ /410/ $\sqrt{3}$ /18kV-os autótrafó csillagpontjához van csatlakoztatva és a főtrafó 18kV-os tekercséről gerjesztik.

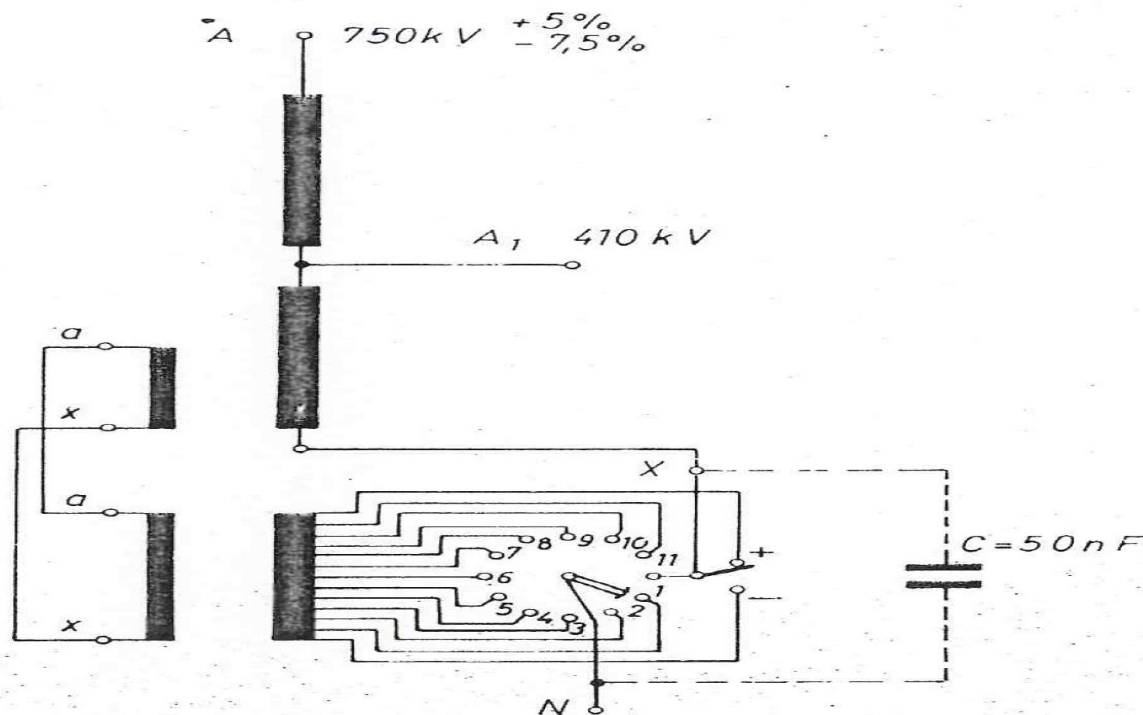


Figure 2 : Single-phase circuit diagram of the 1100 MVA capacity, 750/410 kV ratio transformer bank at the Albertirsa substation

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

- A 750 kV-os szovjet-magyar távvezeték **1978-ban épült**, üzembe helyezési mérések 1978/79-ben történtek.
- Albertirsán két trafócsoport, 1100MVA, a korábbi 750kV-os légmegszakítók 300m, ill. 600m-re voltak a trafó kapcsoktól.
- A mérések szerint a fokozatkapcsoló **megcsapolásain túlfeszültség** jelentek meg.
- A fokozatkapcsoló védő szikraköz gyakori átívelése feltételezhetően részben **rezonancia szerű jelenséggel** és **részben pedig a hosszú földelő kábel okozta rezgések feszültség növelő** hatásával magyarázható
- A túlfeszültséget a **szabályozó trafó kapcsaival párhuzamosan kötött külső kondenzátorokkal** lehetett csökkenteni.
- Az újabb tervezésű fokozatkapcsoló tekercsek **soros kapacitása jelentősen megnövelték** és ekkor már nem kellett külső kondenzátor.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

A JWG munkájának áttekintése

Második rész: „Case Studies”.

- **13 esettanulmány** trafó meghibásodásokról, modellek elemzéséről, stb.
- Fő cél, hogy **naprakész dokumentumot adjon** a téma bonyolultságáról, beleértve a rezonanciás túlfeszültségeket is.
- Az esettanulmányok **kapcsolatosak az első rész fő témáival**.
- A **2, 3 és 7** eset a **vákuum megszakító és kábel rendszerrel** kapcsolásakor kapott nagyfrekvenciás tranziensekkel foglalkozik (szélerőműves esetek is).
- Az **1-es** esetnél **NF oldali kapcsolás** okozta **LF oldali tranziens** került bemutatásra.
- Az **5-ös és 6-os** esetek: **SF6 és vákuum kapcsolós** száraz trafós kapcsolások
- A **8-as** esetben **különböző modelleket használtak** a trafó tekercsben kialakuló tranziensek vizsgálatára.

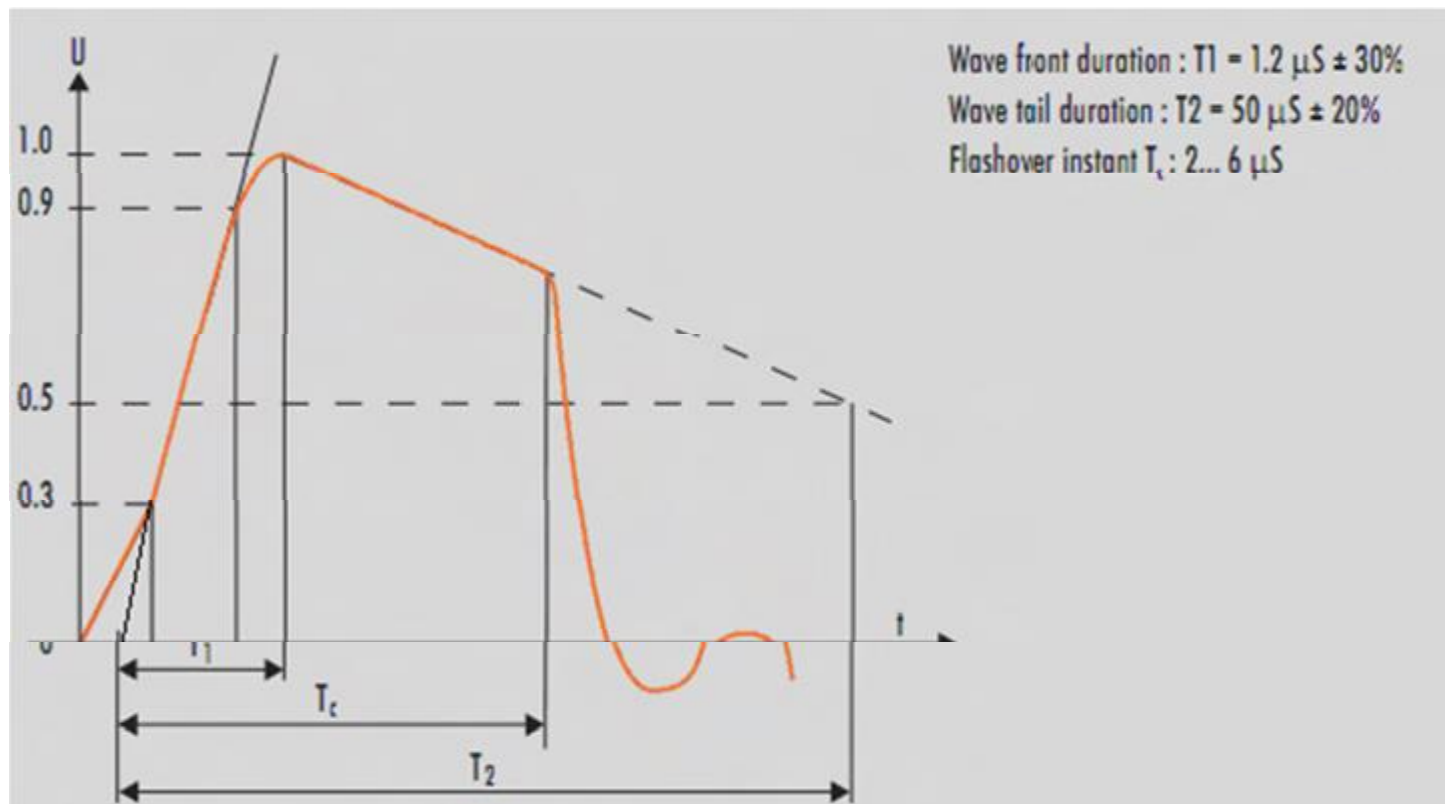
Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

A JWG munkájának áttekintése

- A **12-es és 13-as esetek: villám és kapcsolási szimulációknál** frekvenciafüggő modelleket: **12-esben frekvenciafüggő modellt** impedancia mérésekkel **érvényesítették**, villám modellezésre használták: **13-as eset modellje FRA és tranziens méréseken** alapult, **az eredményeket az alállomási mérésekkel hasonlították össze.**
- A **4-es esetben a kapcsolási fezsültség okozta szigetelés átütés szerepel**, amikor az átütés előtt tranziens volt feltételezve, bemutatva a **résztekercs rezonanciát.**
- A **9-es és 10-es esetek: villámcsapás és rezonancia kombinációs vizsgálat volt:** rezonanciánál **létrejövő túlfeszültség meghaladta a szigetelési szintet** (javaslat, hogyan lehet ezt elkerülni).
- A **11-es esetben terheletlen trafó kapcsolásakor** keletkező rezonanciás túlfeszültség okozott szigetelés meghibásodást.

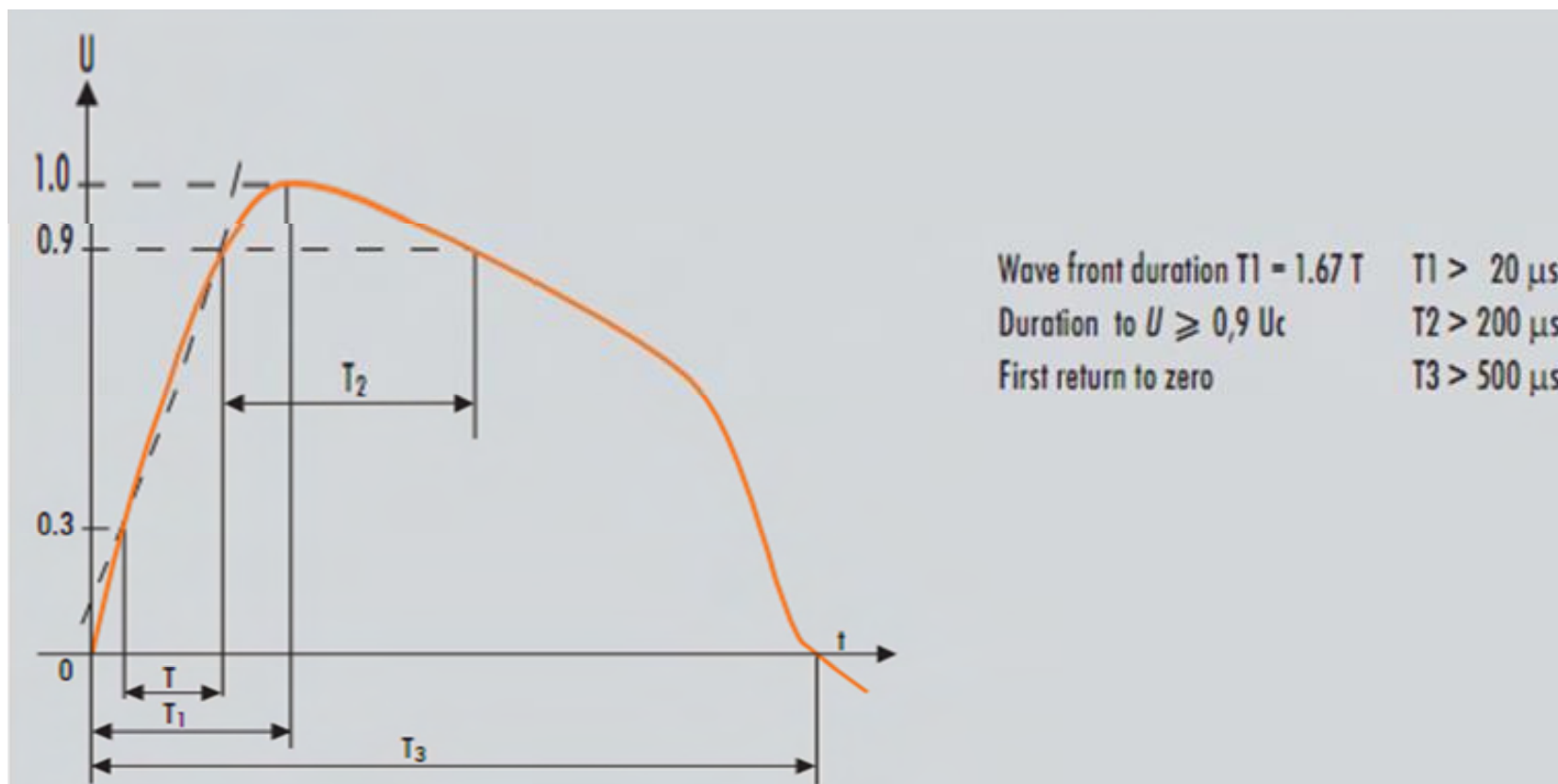
Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

„Háton” vágott lökőfeszültség hullámforma követelmények



Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Kapcsolási hullám tipikus hullámforma követelmények



Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

Rezgésekre vonatkozó egyenértékű kapcsolási áramkör

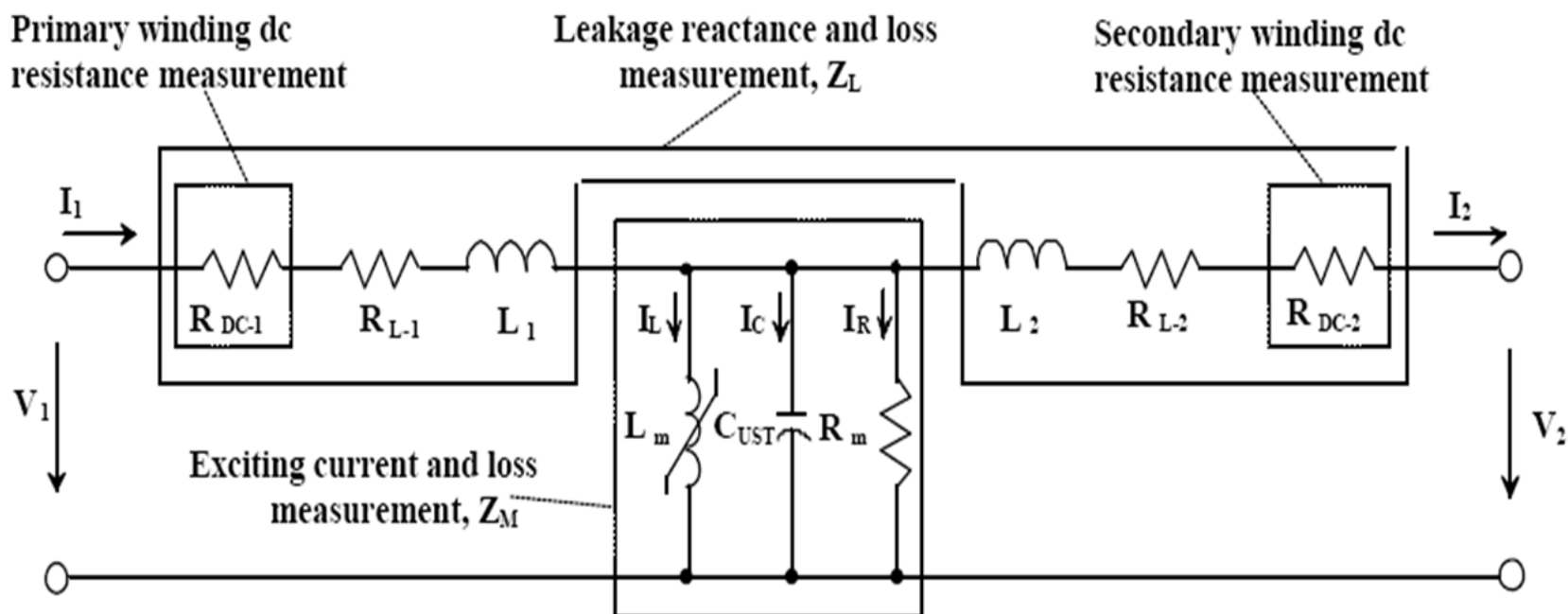
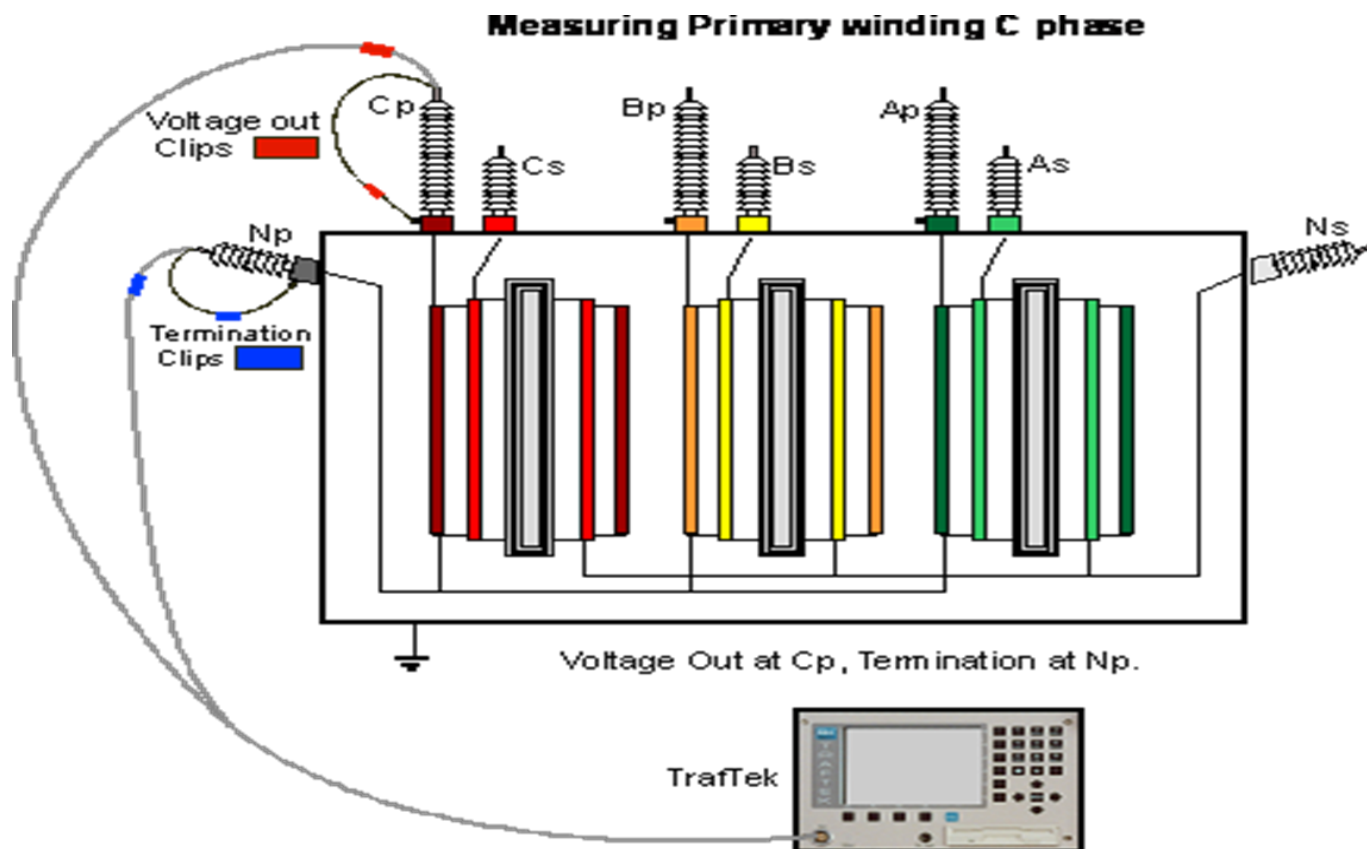


Figure 6 Parameters of transformer equivalent circuit and associated off-line diagnostic measurements

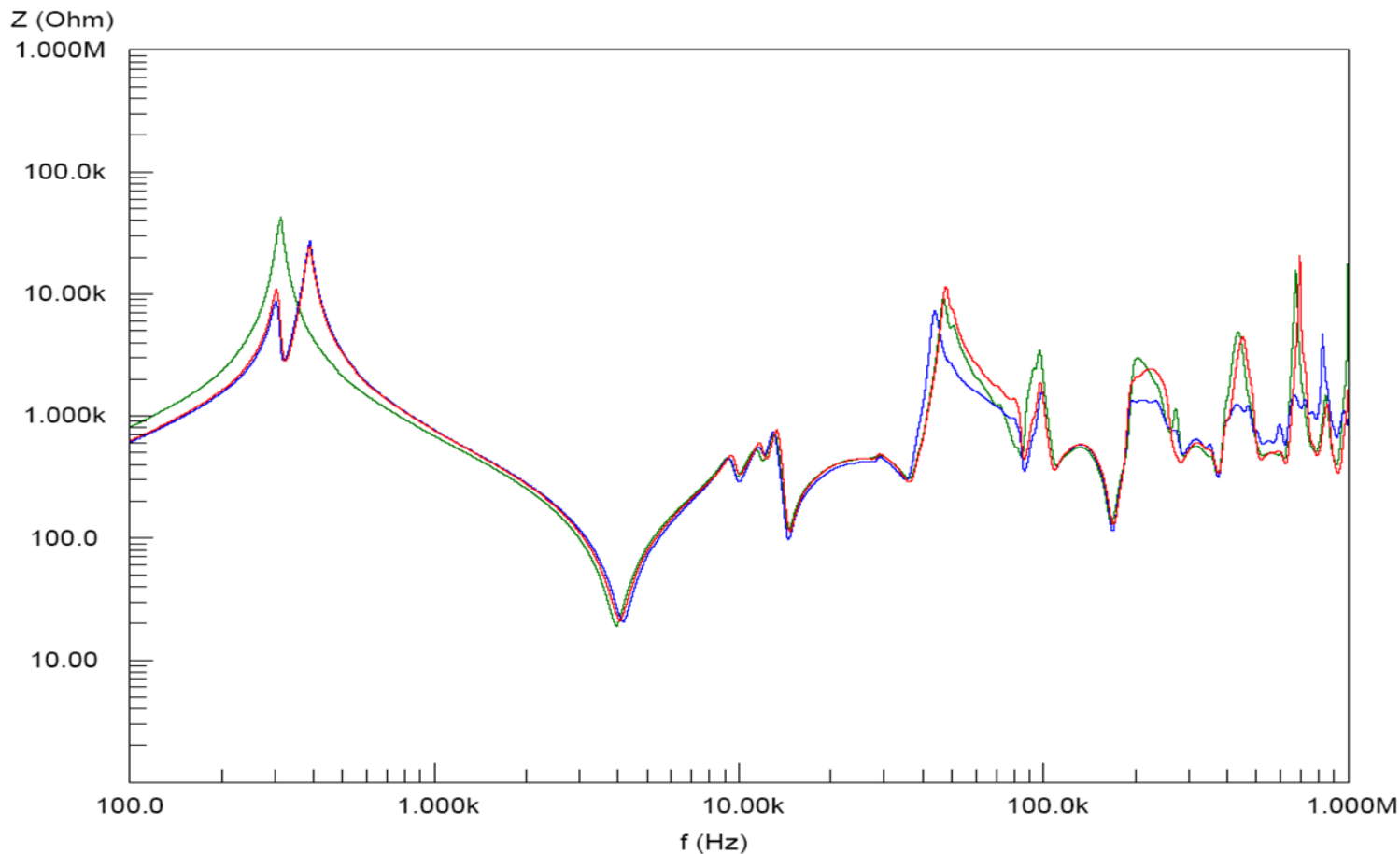
Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

- FRA technika: helyettesítő kapcsolásokhoz segédinformáció, trafó frekvenciafüggő impedanciát mérhetjük



Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

- FRA módszerrel felvett spektrum (segítség a helyettesítő impedanciához)



Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások



**Trafó tekercselés átütése:
nagyobb helyi feszültség, nem
egyenletes feszültségeloszlás**

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG munka főbb ajánlásai:

- A szabványok szerint végzett jelenlegi átadási próbák **nem teljesen fedik le** az összes, a gyakorlatban jelentkező **tranziens típust**, a szabványos **lökőfeszültség hullámok alak nem megfelelő meredek homlokúak**, az **oszcilláló hullámforma esetén sem elegendő a NF tranziensek leképzéséhez** (pl. fojtók és kondenzátor blokkok kapcsolásánál, gázszigetelésű (pl. SF6) kapcsoló és trafó tápkábelén történő bekapcsolásakor. Továbbá, **ezek a gyári vizsgálatok a nem gerjesztett kapcsok földelése mellett kerülnek végrehajtásra**, amely **nem veszi figyelembe a kapcsok közötti feszültség átvitelt**.
- A **trafó gyártók és vásárlók feltételezték**, hogy a feszültség tranziens problémát **lefedik a jelenlegi szabványok**. Vannak nem régi meghibásodásokról kapott tranziens beszámolók, és számos ismeretlen meghibásodás oka **a szigetelési rendszerből ered**, és ezek közül számos **kapcsolatban van a tranziens jelenségekkel**.
- **Más WG-ék is kezdtek** munkálkodni ezen a témán, ezekre is oda kell figyelni.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG munka főbb konklúziói (folytatás)

- Bizonyos **hálózati konfigurációk** esetén nagy a valószínűsége annak, hogy a hálózathoz tartozó **tranziens tartalmazhat olyan oszcilláló feszültség hullámot** a trafó kapcsainál, amely **egybeesik a trafó természetes frekvenciáival (FRA)**. **Meghibásodás** jelentkezik még akkor is, ha ennek a behatoló **túlfeszültségnek az amplitúdója jóval kisebb, mint a levezető védelmi szintje**. Ami a trafó konstrukcióját érinti: ez a sebezhetőség nem elkerülhető.
- A **trafók hatással vannak a kapcsokon jelentkező tranziens túlfeszültség hullám alakjára**, miután az impedanciájuk **frekvenciafüggő**. A tranziens **szimulációra** ezért egy **megfelelő trafó modellt** kell használni. **Számos** különböző felfogású és bonyolultságú **modell létezik**. A **gyártók tipikusan** olyan modellel dolgoznak, amely a geometriai és anyag tulajdonságokon alapszik, és amellyel részletesen lehet tanulmányozni a **tekercsek belső feszültség-igénybevételét**. **Más modellek – ezen részletes tekercsinformációk hiánya miatt – egy kapcsokra vonatkozó helyettesítés hoznak létre**, amelyek a kapcsokon végzett méréseken alapszik. A legtöbb modell kompatibilis a közös áramköri szimulátorokkal.

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG munka főbb konklúziói (folytatás)

- A trafók túlfeszültség tanulmányozásában a **kapcsolódó hálózat megjelenítésére a szabványos szimulációs eszközök elegendő pontosságot** nyújtanak a legtöbb esetben.
- A szabványos megközelítések, hogy **megbecsüljék a trafó belső feszültség igénybevételét** normál esetben a gyártóknál férhető hozzá. A felhasználók a **részükről egy előzetes becslést végezhet** a kapcsolokra ekvivalens trafó modell idő tartományú szimulációból kapott adatokkal. Amikor **az online monitoring** rendszer is létezik, akkor az használható, mint a **trafóra vonatkozó megnövekedett tranziens kockázat mutatója**.
- Az **ismétlődő tranziens túlfeszültségek és az öregedés csökkenti a szigetelés ellenálló képességét** és figyelembe kell venni a szigetelési rendszer tervezésekor. A **szilárd szigetelőanyag nagyfrekvenciás tranziensekre vonatkozó átütési karakterisztikája** még nem egész jól ismert és ezt a jövőben át kell tekinteni.

•

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

JWG munka főbb konklúziói (folytatás)

- **Tizenhárom esttanulmány** került bemutatásra a második részben, amelyek bemutatják azokat az eseteket, ahol **a rendszer tranziensek a trafóban túlzott túlfeszültségeket**. Ezek a tanulmányok világosan megmutatják, hogy **nemcsak a túlfeszültségek csúcsértéke a fontos, de a frekvenciájuk is**.
- „**Fiktív trafó**” definiáltak, amikor számolták a **belső feszültségeloszlást**, amelyek a **kapcsokra adott különböző típusú tranziensekből származott**. A szimulációs eredmények, amelyek 11 független helyről érkezett (gyártók, egyetemek, konzultációs cégek), jó egyezés volt a belső feszültség maximumok esetén, de eltérések voltak a hullám alakban.
- A **rezonancia frekvencia erősen függ az induktivitásoktól** (ön- és kölcsönös induktivitástól) és a **kapacitásoktól**, amelyekkel a trafó jellemezték. **Néhány WG tag számításokat végzett ugyanazon induktivitás és kapacitás értékkel és a másik szoftverrel kapott belső feszültségre azonos eredmény adódott**.

•

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

- **JWG munka főbb konklúziói (folytatás)**

- A gyártóknak javítani kell a modellezési gyakorlataikon, hogy még pontosabb értékeket kapjanak a **belső feszültségekre a tekercs mentén és jobb választ az időtartományban. A javított modellekhez jobb módszerek szükségesek a trafó tekercs induktivitásának és kapacitásának számításában.**
- A megfelelő rendszer működtetés és jó konstrukció segíthet megelőzni a tranziensekből származó trafó hibát, de nagyon fontos, hogy a **trafó szigetelési rendszer vegye figyelembe ezeket a tranzienseket.** Ezt azáltal lehet elérni, hogy **pontos leírásokat készítsünk, amely megfelelően tükrözi az szolgáltató egyedi követelményeit (pl. speciális vizsgáló feszültség).** Ez a követelmény **egy szoros együttműködést feltételez a gyártó és a vevő között.** Ilyen együttműködésben kívánatos, hogy a **gyártó a trafó kapcsolókra vonatkozó egyenértékű helyettesítést szolgáltasson,** hogy tranziens tanulmányokat csinálhassanak. Egy ilyen tanulmány eredménye lehet, hogy a **trafó belső rezonancia gerjesztést el lehetne hangolni a hálózat kisebb módosításával.**

Trafók és hálózat közötti villamos tranziens kölcsönhatások

**Köszönöm a
figyelmet!**

