

Csépes Gusztáv
MAVIR Zrt.

Handzó Péter
Diagnostics Kft.

Transzformátorok mechanikai állapotának ellenőrzése rezgésméréssel

MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli
Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság
MAVIR Hungarian Transmission System Operator
Company Ltd.



Legjobb Munkahely
Világgazdaság - Hewitt Felmérés 2009

Best Employer
Világgazdaság - Hewitt Study 2009

Tartalom

- 1. Röviden a trafó mechanikai állapotellenőrzéséről**
- 2. Trafó rezgés mérésének sajátosságai**
- 3. Olajon keresztüli rezgésmérés**
- 4. Mérési eredmények kiértékelési lehetőségei**
- 5. Összefoglalás**

- A transzformátorok üzembiztos működését több tényező befolyásolja. A szigetelési jellemzőkön kívül nagyon jelentős szerepe van az üzembiztos működésben az aktív rész mechanikai állapotának is.
- A transzformátorokban mágneses erőhatások lépnek fel a tekercsekben, valamint a vasmagban, így az aktív rész pillanatnyi mechanikai állapotának e két komponens viselkedése, ill. állapota határozza meg.
- A tekercsek mechanikai állapot romlásának egyik fő oka a szigetelés „rozkodása”.

- A tekercsek „rövidülését” a tekercselés betétezésének és papírszigetelésének az állandó leszorító erő és az öregedés miatti roskadása váltja ki, amely hosszabb üzemidő után elkerülhetetlen.
- Mértékét egyrészt a gyártástechnológia határozza meg, azaz a gyártáskor milyen mértékben sikerült a tekercsek végleges méretét beállítani.
- A tekercsek roskadása két problémát okoz.
- Egyrészt a gyártáskor beállított tekercsközepek elmozdulnak a középvonalból,
- Másrészt a tekercsek szorítása fellazul.
- Mindkét változás a transzformátor zárlatállóságát rontja.

- Az üzemben fellépő erőhatások és rezgések nemcsak a tekercset, de a vasmagot is lazítják.

A transzformátor tekercs ill. vasmag leszorító erőinek csökkenése az üzemelő transzformátorban hibát okozhat:

- Egyrészt azáltal, hogy csökken a külső/belső zárlatokkal szembeni ellenálló képessége,
- Másrészt a fokozatosan romlik a szigetelés állapota.
- Ezen kívül az üzemeléskor fellépő zárlati igénybevételek okozhatnak számottevő tekercsroskadást.
- A transzformátor üzemelése során fellépő, magnetostrikciós hatás által keltett rezgések is elősegítik a folyamatot.
- Lazulás, deformáció következhet be a szállítás során is.

- Ha figyelembe vesszük, hogy a hazai transzformátor meghibásodások jelentős százaléka zárlati esemény következtében alakul ki, akkor a probléma jelentősége nyilvánvalóvá válik.
- Az üzemben lévő transzformátorban keletkező erőhatások a normálistól eltérő esetben nem kívánt mechanikai deformációt okozhatnak.
- Ha ez a mechanikai deformáció egy bizonyos mértéket meghalad, akkor komoly meghibásodás léphet fel a transzformátorban.
- Nagyon fontos tudni azt, hogy mikor alakul ki olyan tekercsroskadás, mely a transzformátor zárlatállóságát veszélyes mértékben rontja.

- A transzformátorok fenti speciális problémáinak ellenőrzésére jelenleg szabvány nem került kiadásra.
- Több diagnosztikai eljárás kimunkálása van folyamatban, a jövőben várható szabványajánlás megjelenése (pl. FRA).
- A tekercsek mechanikai állapota vizsgálható statikus jelleggel, „off-line módon”, azaz romlás során kialakult, azaz maradandó geometriai változás vizsgálata kikapcsolt állapotban.
- A maradandó geometriai változás vizsgálata szolgál pl. FRA mérés (FRA=Frequency Response Analysis), ami tulajdonképpen az impedancia felvétele a frekvencia függvényében.

A mechanikai állapot egy másik lehetséges vizsgálati lehetősége az on-line jellegű rezgésvizsgálat.

- Bár a trafó rezgések veszélyességének vizsgálatára nincs még szabványosított eljárás, a szakirodalomban megjelent ismeretek alapján az állandósult ill. tranziens állapotban a rezgés számítógépes elemzése lehetővé teszi, hogy korai stádiumban felismerhessük a mechanikai szilárdság gyenge pontjait.
- A transzformátor összetett rezgés ill. zajforrás, a zajok létrejöhetnek:
- Egyrészt a transzformátor vasmagjának magnetostrikciós mozgása és elektromágneses erőhatások következményeként,
- Másrészt aerodinamikai és mechanikai zajforrásokból (keringtető szivattyúk, ventillátorok).
- Az aktív rész vizsgálata szempontjából a vasmagjának magnetostrikciós mozgása és elektromágneses erőhatások következményeként létrejövő rezgések a fontosak, lehetőség szerint a méréseket kikapcsolt hűtőknél ajánlott elvégezni.

- A trafóban mágneses erőhatások lépnek fel a tekercsekben ill. a vasmagban.
- Jelentős zaj, ha valamelyik gerjesztő erő frekvenciája megegyezik a transzformátor valamelyik, hangsugárzásra képes elemének mechanikai sajátfrekvenciájával.
- Az elektromágneses erőhatások okozta „zaj” a szakirodalom szerint 5-15 dB-lel kisebb a transzformátorokban, mint a vasmag magnetostrikciós zaja.
- A vasmag és a tekercs rezgési energiájának nagy része az olajon és a vasmagot rögzítő elemeken keresztül átadódik a transzformátor edénynek.
- A tekercs, ill. a vasmag lazasága miatt megváltozik mind a rezgések amplitúdója, a diagnosztikai azon alapul, hogy a referencia értékekhez képest milyen nagyságú a változás.
- Vizsgálatok egyrészt közvetlenül az olajon keresztül, másrészt a transzformátor falán keresztül történhet.
- Az ismertetendő on-line rezgés monitoring közvetlenül az olajon át terjedő nyomáshullámok mérésén alapszik.

Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése (Helyszíni mérés – Monitoring)

*X. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia
Esztergom, 2010. 10. 20-22.*

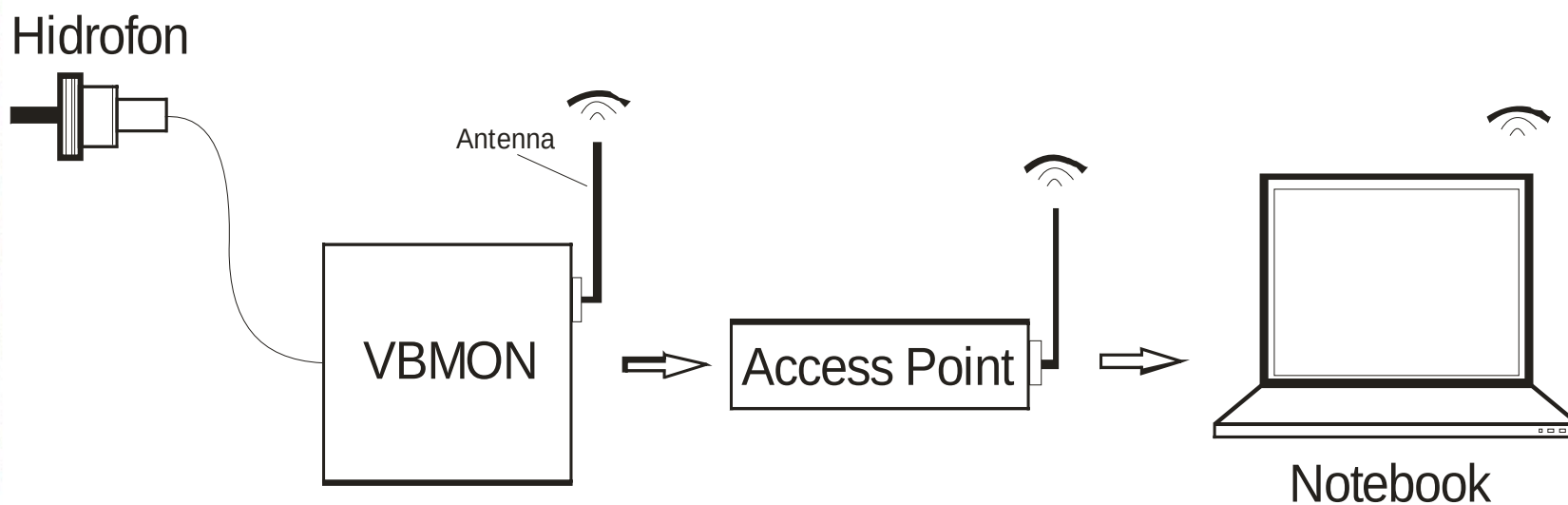
Handzó Péter *Diagnostics Kft.*

www.diagnostics.hu

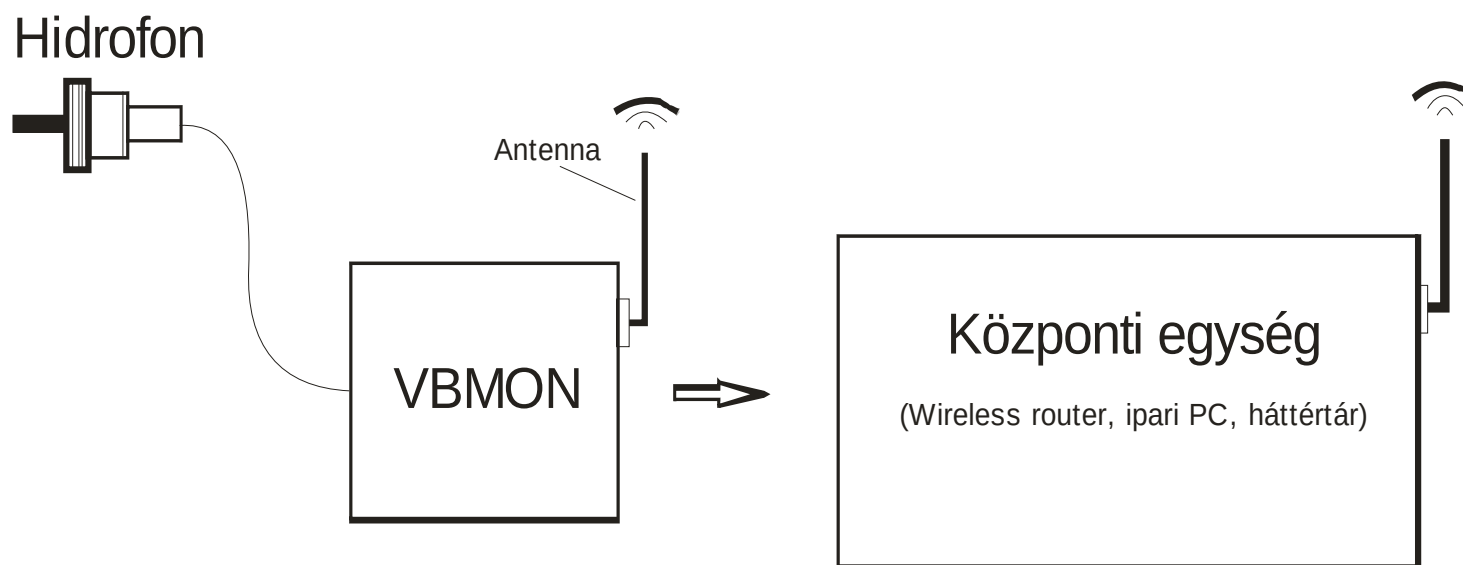


Handzó Péter ☎ +36 (30) 9502163
handzop@diagnostics.hu

Mérési elrendezés (helyszíni mérés):



Mérési elrendezés (monitoring):



Hidrofon



Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése

2010. október 21.

Specifications 8103, 8104, 8105 and 8106

Type	8103	8104	8105	8106
Voltage sensitivity*: (with cable) at 20 °C	30 μ V/Pa $\pm$ 8 μ V (-211 dB re 1 V/ μ Pa $\pm$ 2 dB)	56 μ V/Pa $\pm$ 15 μ V (-205 dB re 1 V/ μ Pa $\pm$ 2 dB)		2000 μ V/Pa $\pm$ 500 μ V (-174 dB re 1 V/ μ Pa $\pm$ 3 dB)
Charge sensitivity*	0.12 pC/Pa	0.44 pC/Pa	0.42 pC/Pa	
Capacitance*: (with integral cable)	3850 pF	7800 pF	7500 pF	
Frequency range* (re 250 Hz):	(+1.5 dB) 0.1 Hz to 100 kHz (-6.0 dB) (+3.5 dB) 0.1 Hz to 180 kHz (-12.5 dB)	($\pm$ 4.0 dB) 0.1 Hz to 80 kHz (+4.0 dB) 0.1 Hz to 120 kHz (-12.0 dB)	(+1.0 dB) 0.1 Hz to 100 kHz (-6.5 dB) (+3.5 dB) 0.1 Hz to 160 kHz (-10.0 dB)	(+0.5 dB) 10 Hz to 10 kHz (-3.0 dB) (+0.5 dB) 7 Hz to 30 kHz (-8.0 dB)
Horizontal directivity:† (radial xy plane)	$\pm$ 2 dB at 100 kHz			$\pm$ 2 dB at 20 kHz
Vertical directivity: (axial xz plane)	$\pm$ 4 dB at 100 kHz	$\pm$ 2 dB at 50 kHz	$\pm$ 2 dB over 270° at 100 kHz	$\pm$ 3 dB at 20 kHz
Leakage resistance*: (at 20 °C)	>2500 M Ω			

VBMON műszer



Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése

2010. október 21.

Mérés (helyszíni)



Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése

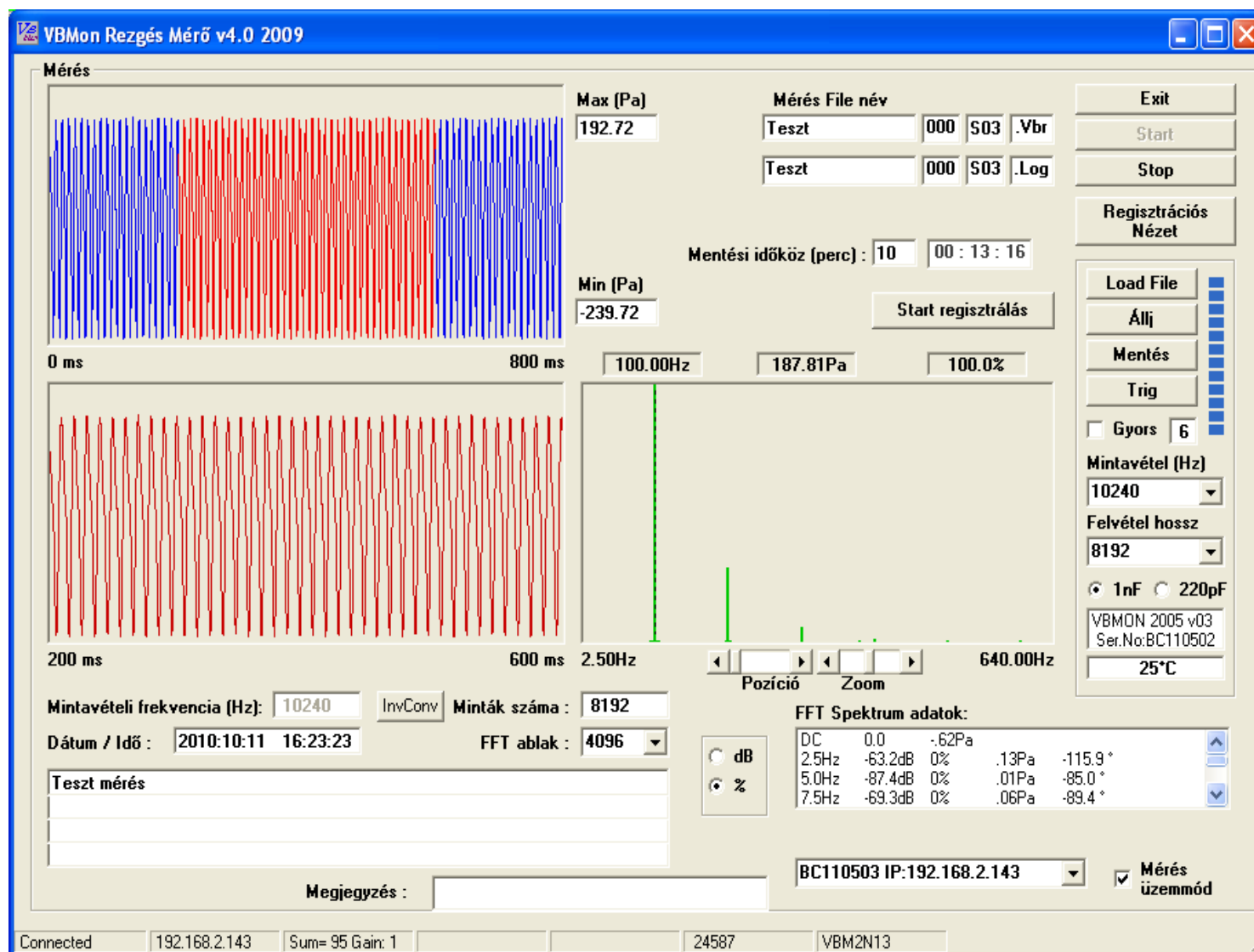
2010. október 21.

Mérés (monitoring)



Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése

2010. október 21.



Transzformátorok vibroakusztikus rezgésmérése

2010. október 21.

Köszönöm a figyelmüket

Olajon keresztüli on-line vibroakusztikus módszer

Az olajban terjedő nyomáshullámok méréséhez a transzformátor olajleeresztő csapjához illesztett érzékelő került felhasználásra. A rezgéseket a transzformátor olajfeltöltő (leeresztő) csapjára, vagy olajminta vevő csapjára csatlakoztatott „hidrofonnal” és a hozzá kapcsolt digitális jelrögzítő egységgel kerül rögzítésre. A rögzített rezgésjelekből ezután gyors Fourier transzformációval (FFT) kerülnek meghatározásra a rezgésjelekben lévő harmonikusok.

- A rezgésvizsgálatot célszerű már az új transzformátoron elvégezni: kiinduló állapot rögzítése
- Az ezt követő vizsgálatok eredményéből nyomon követhető a tekercsroskadások következtében fellépő változás.
- A rezgésvizsgálat nem csak a tekercsek és a szorító rendszer állapotáról ad képet, hanem a vasmag állapotáról is.
- A vasmagnál két féle hiba fordulhat elő üzemelés közben. Az egyik a gyártáskor nem megfelelően biztosított vasmag összefogó orsók fellazulása következtében fellépő vasmag lazulás, a másik a vasmagzárlatok kialakulása.
- A vasmag és a tekercs rezgéseket szétválasztásához „kétszer” kell rezgésmérést végezni, terheletlen és terhelt állapotban.
- Terheletlen állapotban a tekercsben elektrodinamikus erők lényegében nincsenek és a rezgés a vasmagra jellemző.
- Terhelt állapotban mindkét komponens létezik, jelen van.

- A MAVIR nagytranszformátoron kiépítésre kerültek un. vibroakusztikus mérő csatlakozások, így igény esetén szinte azonnal indíthatók az olajon keresztül mért rezgésvizsgálatok.
- Erre a célra 2 db VibMon típusú “transzformátor on-line vibro akusztikus monitoring rendszert használunk.
- A „VibMon on-line akusztikus rezgés monitoring rendszer” alkalmazásának célja a transzformátor tekercs ill. vasmag rezgésének mérése, a még jó állapotban lévő transzformátor referencia adatainak felvétele, majd az összegyűjtött adatok alapján a kritikus mechanikai állapot becslése, on-line kiépítés esetén a veszélyes állapot előjelzése.
- A mérőrendszerhez tartozik egy szoftver, amely – többek között – folyamatosan FFT (Fast Fourier Transformation) spektrumokat számol az alap harmonikusra ill. első 20 felharmonikusra.

- Ha nincs „hibagyanús” trafó, akkor kb. kéthetes időtartamú üzemeltetés alatt több különböző üzemi állapot kerül felvételre.
- Rögzítésre kerülnek trafónként az egyedi állapotok, így különböző referencia spektrumok (ki- bekapcsolás alatti, üresjárási ill. különböző terhelési állapotú rezgések, különböző számú hűtőblokkok ki- bekapcsolásának hatása, stb.).
- Az összes trafó felmérése végén új sorozat kezdődik, vagy oda kerül „off-line on-line” jelleggel a berendezés, ahol a sorozatmérések kiértékelése alapján a legnagyobb szükség a rezgés folyamatos figyelésére.

- Különös értékkel bírnak azok a mérések, amikor egy trafó javításakor újra leszorításra kerülnek a tekercsek és rögzítjük a spektrumokat leszorítás előtt és után.
- Léteznek olyan társaságok, ahol előírják, hogy a nagy zárlati helyű trafóknál legalább 3 évente újra le kell szorítani a tekercseket (általában az eredeti leszorító erő 50%-val).

Mérési eredmények kiértékelése

- A transzformátorok hálózatra történő 50 Hz-es kapcsolásakor a vasmag hálózati feszültség egy-egy periódusa alatt kétszer mágneseződik fel.
- Ez azt jelenti, hogy a vasmag, a tekercs, ill. az elektromágnes térben lévő összes alkatrész a hálózati frekvencia kétszeresével (100 Hz) pulzáló erőhatásnak van kitéve.

■ Rezgések vasmaghiba esetén

■ Ha valamilyen hiba jön létre a vasmagban a transzformátor rezgési karakterisztikája megváltozik, azaz a „normál” és az „abnormál (pl. fellazult állapot)” rezgési kép kisebb-nagyobb mértékben különbözik, mert bizonyos frekvencia sávok energiája (amplitúdója) megnő, bizonyos sávokban pedig lecsökken.

■ Ahhoz, hogy diagnosztizálni tudjuk a transzformátor vasmag hibáját a rezgési jelekből, ismernünk kell a „jó”, ill. a különböző „hibás” állapotokhoz tartozó jeleket.

■ Ha a matematikai modellt vizsgáljuk, akkor egy nagyon összetett problémáról van szó, ezért nehéz lenne korrekt kiértékelést végezni, de a gyakorlatban elegendő a bonyolult válaszfüggvények összehasonlítása, ezáltal az állapotellenőrzés könnyebben elvégezhető.

- A vasmag hibája nem terhelt állapotú (üresen járó) transzformátor esetén vizsgálható, mert ha nem folyik áram a tekercsekben, akkor a rezgéseket lényegében csak a vasmag okozza.
- Az időfüggvény nagyon „bonyolult”, hogy ha csak azt vizsgálnánk, nem tudnánk megkülönböztetni a „jó” és a „rossz” állapotú vasmagot.
- Az időfüggvényből azonban a frekvencia spektrumot számíthatunk, ott jobban vizsgálhatók a normál esetben is meglévő, ill. hiba esetén megjelenő új rezgés komponensek.
- A lényeg, hogy fel kell venni egy „jó” és egy „rossz” (lehetőleg a még megengedhető legrosszabb) állapotra jellemző „fingerprint”-eket, így már létrehozható egy on-line monitoring rendszer.

■ Rezgések tekercshiba esetén

- A mechanikai behatások miatt a gyárban a gyártás során megfelelően leszorított transzformátor tekercs az üzemeltetés során fokozatosan veszít a leszorításból.
- Mechanika behatások érik a transzformátort a szállítás, az üzembe helyezés során, ill. a többször előforduló rövidzárak, dinamikus erőhatások során.
- Ugyancsak mechanikai kihatása van a szigetelőanyag fokozatos öregedésének, és az üzemben fellépő termikus folyamatok miatt is fokozatosan csökken a leszorító erő.
- A fentiek miatt csökken a fellépő zárlatokkal ill. mechanikai igénybevételekkel szembeni szilárdságuk.
- A tekercs geometriában bekövetkező torzulás a szigetelésben elsősorban ionizációs folyamatokat indít be, így a mechanikai problémából dielektromos probléma lesz.

- **Mérési eredmények kiértékelése**
- **Időfüggvényből felvétele, megjelenítése**
- **Időfüggvényből FFT (Fast Fourier Transformation) spektrum készítése**
- **A VibMon nyomás időfüggvény „szétbontása” elemi szinuszos komponensekre FFT-vel, majd időtartomány mellett frekvenciatartományban történő megjelenítés.**
- **Rezgésspektrum alapján diagnosztikai elemzés**

Transzformátor rezgésmérés

- Békéscsaba 2. transzformátor
- DHBSM200000/400
- 135561/1991 Yyn0d11 400/132kV
- Bekapcsolás után 20 perc

LTC Pos. : ?

2009. július 30. 11:47:51

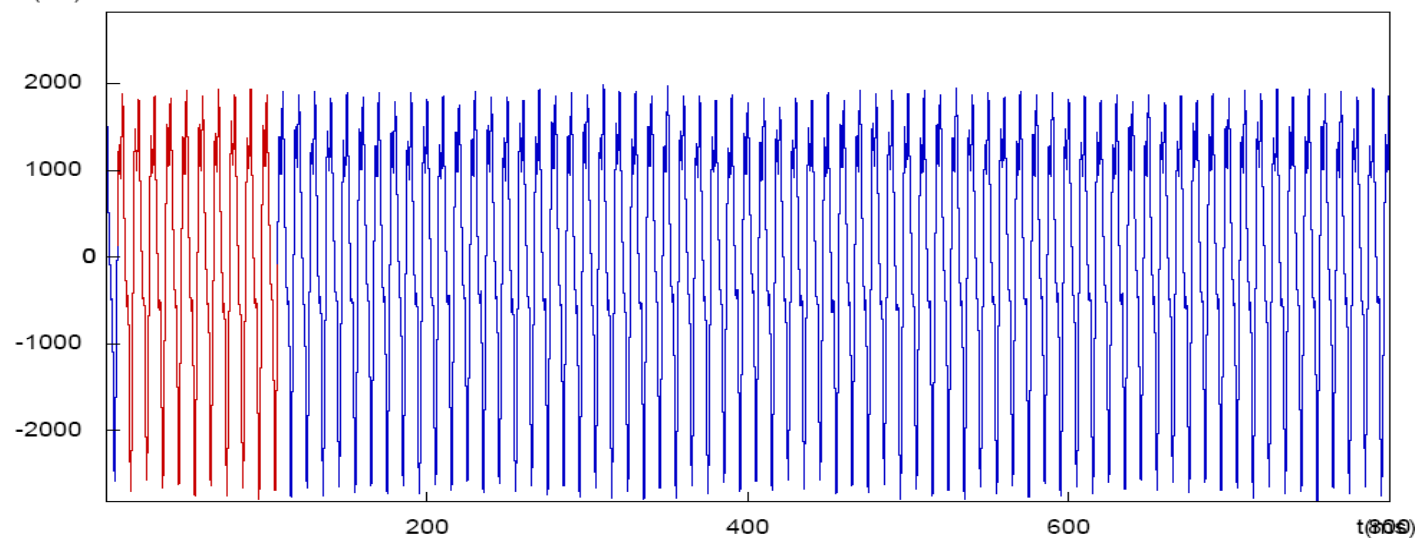
(Pa)

FFT Window Size: 1024

FFT Window Offs: 68

Sample Freq: 10240Hz

Max: 1982.1Pa Min: - 2821.3Pa



A VibMon hydrophon-nal felvett nyomáshullám időfüggvénye

Trafó mechanikai állapotának ellenőrzése rezgésméréssel



- MVM Rt. Lőrinci Erőmű blokktranszformátor
- 136062/1999 DXV215000/123 Y0d11 132/15.75kV
- Hidrofon az olajmintavevő csapra telepítve
- Állandósult üresjárás

LTC Pos. : 4

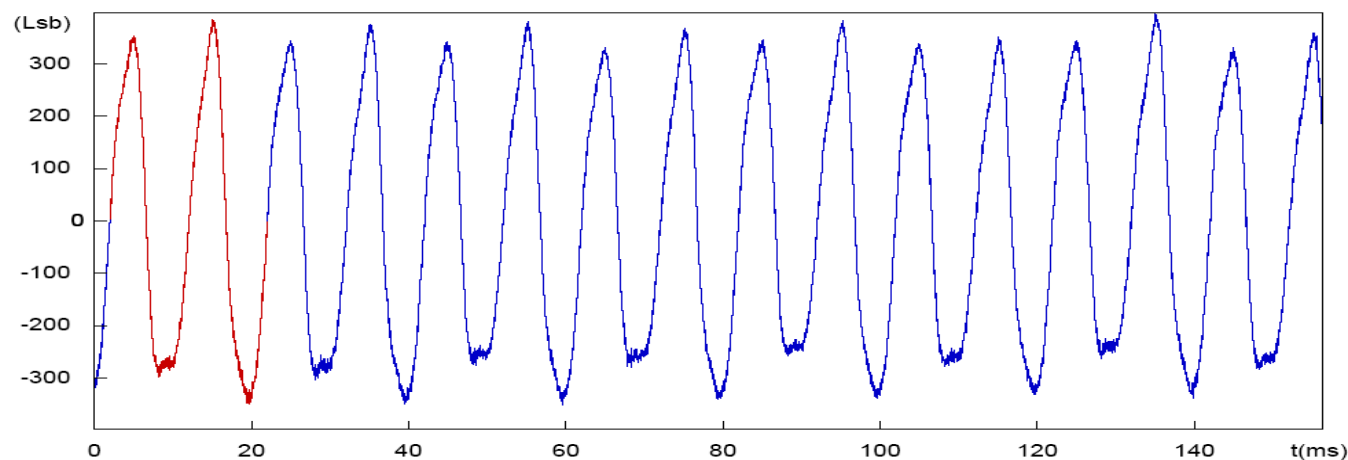
Date/Time: 2003.06.12. 09:59:49

FFT Window Size: 1024

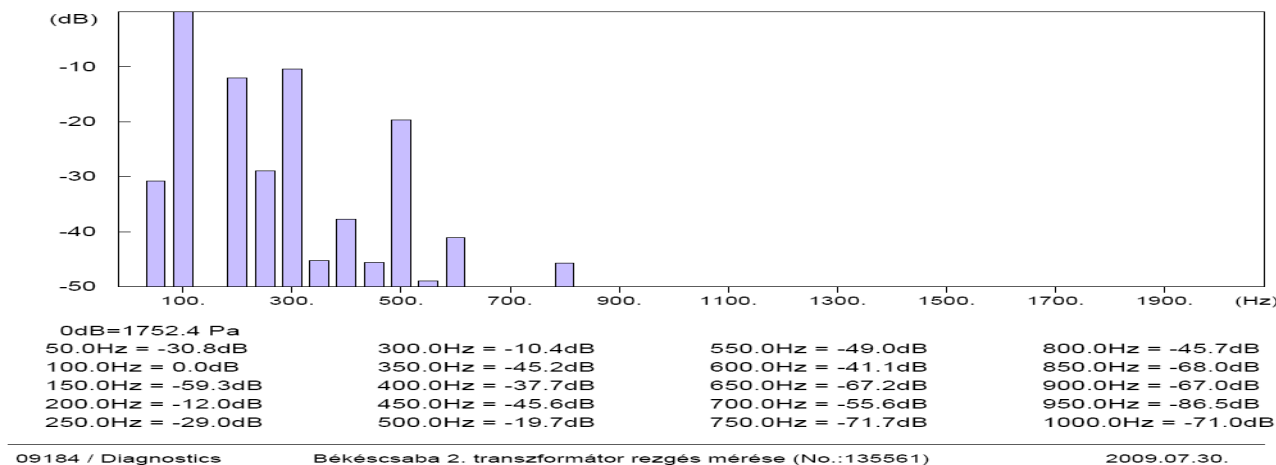
FFT Window Offs: 103

Sample Freq: 51200Hz

Max: 398Lsb Min: -351Lsb



A VibMon hydrophon-nal felvett nyomáshullám időfüggvénye



A VibMon nyomáshullám időfüggvények kijelölt periódusainak Fourier spektrumai.

A spektrum dB léptékű a legnagyobb harmonikushoz képest ábrázolva a kisebb értékű harmonikusokat. Az ábra alatt a 0dB-hez tartozó értékek az egyes rezgésfelvételek amplitúdóinak összehasonlítása végett, és az első 20 felharmonikus számszerű értéke található.

- **Kiértékelési lehetőségek**
- **Felharmonikusok négyzetösszeg négyzetgyökének viszonyítása a 100 Hz-es alapharmonikushoz**
- **Egyszerű, de sokszor jó eredményt adó eljárás a rezgésszint mérés, a rezgéssebesség-effektívérték (négyzetes átlag 50Hz-től 2000 Hz-ig) viszonyítása a 100 Hz-es komponenshez.**
- **Ez a freki tartomány a transzformátor mechanikus hibáinak és problémáinak többségére jellemző.**
- **Az első (lehetőleg hibátlan mechanikai állapotú) felvétel tekinthető referenciának, ehhez viszonyítandó a később felvett érték (trendanalízis).**
- **On-line esetben az egyik folyamatosan figyelt jel, egy küszöbérték felett jelzés mehet a diszpécserek felé, hogy a normális értéknél nagyobb amplitúdó, azaz valami mechanikai romlás, kezdődő hiba előjele, részletesebb vizsgálat szükséges a bekövetkezett változás feltárása céljából.**
- **Átlagolás után itt tehát egy számérték adódik, ezt tároljuk és nézzük az időbeli változását (trendanalízis).**
- **Megadott %-os növekedés esetén előjelzés ill. jelzés küldendő a szakértőnek.**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **A felharmonikusok súlyozott torzítási tényezője (THD) az alapharmonikusra (100 Hz) vonatkoztatva**
- **100 és 2000 Hz között 100 Hz-enként a felharmonikusok súlyozott négyzetösszegének négyzetgyöke viszonyítva a 100 Hz-es alapharmonikus értékére.**
- **Kiértékelése hasonló a az előző pontban leírtakhoz, de itt különböző szempontok szerint lehet súlyozni (pl. páros vagy páratlan, alacsony vagy magas frekvenciájú harmonikus).**
- **A trafó hibátlan állapotú felvétele tekinthető referenciának, ehhez viszonyítandó a később felvett érték (trendanalízis).**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **On-line figyelőrendszer az 50 és 100 Hz-es komponensekre**
- Már a két alapharmonikus (50 és 100 Hz) változása is valamilyen kezdődő hibára hívja fel a figyelmet.
- Figyelni kell külön az 50 és 100 Hz-es komponenseket és a változás meredekségét (trendjét). Ha változás egy magadott küszöbnél nagyobb, jelzés küldése.
- Magnetostrikciós hatás a vasmagból, közvetlenül és közvetve („belső fémhidakon keresztül) hat az olajra, üresjárásban vizsgálva a rendszert (állandósult feszültség mellett) a vasmag jószágára lehet következtetni.
- Vizsgálandó a rezgés „szintje” (amplitúdója), valamint a spektruma (eloszlás). Fel kell venni a „jó” állapothoz tartozó rezgésszinteket, majd ezekhez, mint referenciához kell viszonyítani később felvett szinteket.
- Ha az üresjárási rezgésszintek a „jó” állapotnak megfelelően alacsonyak, ill. nem változnak, akkor a vasmag mechanikailag jó, megfelelő.
- A spektrum vizsgálatánál ugyancsak a „jó” állapotnál felvett „referencia spektrum” az összehasonlítási, ill. viszonyítási alap: lehetőleg minél egyezőbb legyen a „jó” állapothoz a spektrum, annál inkább tekinthető jónak a későbbiekben.
- A fellazult tekercsű transzformátor spektrumának felvételével később, mint „szélső értéket” fel lehet használni a diagnosztikában, mint referenciát.
- Egy lehetséges vizsgálat, hogy milyen a spektrum „lecsengése” a nagyobb frekvenciák felé: általában 300 Hz-nél nagyobb frekvenciákon erősen le szokott csengeni 2000 Hz-ig bezárólag.

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Fázisáramok, feszültség (fluxus) mérése és spektrumanalízise**
- **A legrészletesebb hibaanalízisre a fázisonként felvett tápáram-spektrum ad módot.**
- **A transzformátorok bizonyos hibája a tápáramok spektrumaiban körülírható jellegzetességekkel rendelkezik.**
- **Ha megváltozik a transzformátor fluxusa, változik a telítődés, ezzel változik a felharmonikus tartalom akkor is, ha a mechanikai tulajdonságokban még semmi változás sem következett be.**
- **Ezért a szakértői rendszer figyeli a transzformátor fokozatkapcsoló állását, a bekövetkező változást, az egyes fázisáramokat és azok felharmonikus tartalmát,**
- **A pillanatnyi terhelés nagyon fontos, ezért minden egyes esetben a kiértékelésnél figyelembe kell venni a pillanatnyi terhelést, azaz a kiértékelést lehetőleg azonos terhelési értékeken kell elvégezni.**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Üresjárási és terhelt állapotú referencia spektrumok felvétele**
- Ahhoz, hogy a vasmag és a tekercs rezgéseket szétválaszthassuk kétszer kell rezgésmérést végezni, terheletlen és terhelt állapotban.
- Terheletlen állapotban a tekercsben folyó áram hiányában elektrodinamikusan erők lényegében nincsenek és a rezgés főleg a vasmagra jellemző.
- Terhelt állapotban mindkét komponens létezik, jelen van. Egy lehetséges megoldás a kiértékelésnél, hogy a különböző fokú ill. a teljes terhelési állapotból az üresjárási spektrumot levonjuk, és ekkor főleg a tekercsre jellemző rezgést kapjuk meg.
- Az ilyen megközelítés azért tehető meg, mert a mágneses fluxus majdnem független a terheléstől.
- A transzformátor terhelése befolyásolja a spektrumot, ezért lehetőleg azonos terhelésű állapotokat kell összehasonlítani.
- Fel kell venni azokat az összefüggéseket, hogy mennyit változik a terhelésre a spektrum.
- Ha csak az amplitúdó változik, akkor az amplitúdó a mindenkor teljesítmény ismeretében korrigálható.

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Az olaj szivattyú és ventilátor rezgésből származnak.**
- **A 100 Hz alatti frekvenciák (ha megfigyelhetők) rendszerint az olaj szivattyú és ventilátorrezgésből származnak.**
- **Ha 1000 Hz feletti frekvenciák jelennek meg, amelyek kis méretű elemek rezgéséből ered és teljes egészében nem áll kapcsolásban a vasmaggal vagy a tekercessel.**
- **Mivel a vasmag és tekercs diagnosztikában ezek zavaró komponensek, a célzott diagnosztikában nem vesznek részt, az olaj szivattyú és ventilátorrezgésből származó alacsony és magasabb harmonikusak lényeges információvesztés nélkül eltávolíthatóak ill. kiszűrhetőek, ill. levonhatók a spektrumokból.**
- **A fentiek miatt üresjárásban fel kell venni az olaj szivattyú és ventilátorrezgésből származó spektrumot mindenegyres trafóra (mérés ki- és bekapcsolt olaj szivattyúkkal és ventilátorokkal).**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Magasabb frekvenciájú felharmonikusok vonatkoztatása az alap harmonikusra (100 Hz)**
- **A fellazult tekercs minden egyes menetére két fajta erő hat – a súlyerő és a mágneses erő.**
- **Az első az állandó, a második pulzáló. Mint eredő, páros harmonikusok jelennek meg a különálló menetek rezgésében.**
- **Ha a tekercs leszorító erő csökken, a második harmonikus ugyancsak csökken, de a nagyobb frekvenciájú páros harmonikusok jelennek meg.**
- **Minél nagyobb a lazulás, annál nagyobb frekvenciájú és amplitúdójú harmonikusok figyelhetők meg.**
- **Bizonyos tekercslazulási esetekben a második felharmonikus csökken, a hetedik és a nyolcadik növekedni fog, a többi felharmonikus jelentéktelen mértékben megváltozik.**
- **Ki kell számolni 100 Hz-enként a fenti arányokat és rögzíteni az időbeli változást.**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Páros és páratlan felharmonikusok vonatkoztatása a 100 Hz-es alap harmonikusra**
- **Vizsgálandó felharmonikusok:**
 - **Páratlan felharmonikusok vizsgálata: 100, 300, 500, 700 és 900 Hz**
 - **Páros felharmonikusok vizsgálata: 200, 400, 600 és 800 Hz**
 - **„Tört frekis” felharmonikusok vizsgálata: $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{9}{2}$ (x100 Hz) jelek (50, 150, 250, 350 és 450 Hz)**
- **Az első harmonikus létrejön mind a vasmagban mint magnetostríkción, mind a tekercsben mint elektrodinamikus erő.**
- **A harmadik és ötödik harmonikus a vasmag telítésekor jön létre és az időtengelyhez képest szimmetrikus jeltorzulást okoz.**
- **Ha a vasmag leszorítás gyengül, az első harmonikus növekszik.**

- **Kiértékelési lehetőségek**
- **Ugyancsak lesznek további harmonikusok (főleg páratlan felharmonikusok), magasabb frekvenciákon, mint 7. és 9. felharmonikus.**
- **Ezeket a felharmonikusokat a vasmag elemek vízszintes irányban történő szimmetrikus mozgása okozza.**
- **Tehát vizsgálandó minden egyes fentebb említett felharmonikus változása, ill. egy referencia értéktől való eltérése (Ezt referenciát „jó” állapotban vennénk fel, ha nem lehetséges, akkor az első mérés lesz a „referencia”, ahhoz képest nézzük majd a változást).**
- **Több trendfigyelés, pl. a kiválasztott 7 „fő” frekvencián (100,200,300,400,500,600 és 700Hz), 5 „tört” frekvencián (50, 150, 250, 350 és 450 Hz) történő figyelés: időben történő változás, ill. 100 Hz-es „alapra” történő viszonyítás, trendelemzés.**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **„Referencia spektrum” és „cepstrum” felvétele és összehasonlítás a pillanatnyi spektrummal.**
- **A transzformátor mechanikus rezgés kiértékelés a spektrum változásán alapszik, tehát a spektrumot kell minél pontosabban vizsgálni. Ez elég nehéz, ezért több módszer szolgálhat, ami megkönnyítheti a spektrumanalízist.**
- **Egyik lehetőség bonyolult spektrum esetekben, hogy az FFT után még egy FFT-t végrehajtása, amit „cepstrum” módszernek nevezik (a spectrum of a spectrum). Itt az első FFT spektrum időfüggvénynek tekinthető és ebből készül a második FFT.**
- **Az új FFT spektrumban minden komponens az eredeti spektrum egy-egy harmonikus családjára utal, nagysága arányos az összetartozó komponensek eredő jelszintjével, „frekvenciájuk” pedig az eredeti alapharmonikus frekvenciájával.**
- **Az így kapott spektrum viszonylag könnyebben kezelhető mint az eredeti spektrum. Ezzel a módszerrel könnyebb a referencia és a pillanatnyi spektrumok összehasonlítása és a trendanalízis.**
-

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Bekapcsolási rezgés tranziensek vizsgálata**
- **Bekapcsolási rezgésdiagnosztika a bekapcsolás alatti tranziens, ill. lecsengő rezgési szintek megjelenítésén és vizsgálatán alapszik.**
- **A bekapcsolási áram elektrodinamikus erőhatások által mozgásba hozott tekercsek a szigetelőolajon nyomáshullámokat hoznak létre.**
- **A tranziens után kapott jelalakokból lehet a tekercs rögzítettségére következtetni.**
- **Vizsgálni kell minden egyes bekapcsolásokkor, majd a lecsengés végén, mérendő a lecsengés időtartama, időállandója.**
- **Az egyes bekapcsolásokkor más és más értékek adódhatnak, a pillanatnyi fázisáramoktól függően, így az áramok vizsgálata is szükséges, mert nagyobb áramhoz nagyobb erő, ill. elmozdulás tartozik.**

- **Kiértékelési lehetőségek (folyt.)**
- **Fuzzy logic” és „neuron network” alkalmazása**
- **A „fuzzy logika” gyakorlati alkalmazásai közül a szakértői rendszerek a leglényegesebbek.**
- **Ezek gyakran olyan esetekben használható sikeresen, ahol nem lehet egyértelműen leírni a folyamatokat, amely nem lineárisak és annyira összetettek, hogy az ismert analitikus módszerek túlzottan bonyolult eredményhez vezetnének.**
- **Esetünkben számos referenciamérés alapján a rezgőrendszerből érkező jeleket (spektrumokat) felhasználva egy tudásbázist kerül létrehozásra és a mindenkori bemeneti értékek és a tudásbázisban tárolt függvények alapján lehet nagyvalószínűséggel dönteni az állapotról.**
- **Hasonló szempontok alapján használható előnyösen az un. neuron hálózat eljárás.**
- **E két rendszer esetünkben történő alkalmazásának fő oka, hogy a trafó rezgésdiagnosztikában is sok a változó és paraméter.**

■ Háromdimenziós (3D) rezgésdiagramok

- Az időfüggvényből FFT, azaz gyors Fourier transzformációval kapjuk a frekvenciaspektrumot.
- A rezgéskiértékelésnél a rezonanciafrekvencián és az amplitúdón kívül fontos paraméter még a csillapítás is, vagyis a az egyszeri külső gerjesztő erő hatására milyen gyorsan csillapodik le a rezonanciás rezgés.
- A kemény anyagok (acél, réz, stb.) kiscsillapításúak, gerjesztés után még sokáig rezegnek lásd egy húr rezgését bármely zenei eszközben. Itt a spektrum keskenyebb, az amplitúdók nagyok. A lágyabb anyagok esetén (trafóban a fa, gumi, stb.) az anyag nagy csillapítással rendelkezik, az amplitúdók kisebbek és a spektrum szélesebb, mint a kemény anyagoknál az megfigyelhető.
- Ha a spektrumokat egymás mellé rajzoljuk fel, akkor egy „kvázi” három dimenziójú (3D) ábrát kapunk, amely segíthet a kiértékelésben (pl. egy trafóbekapcsolásnál egymás után felvett jelek egymásmellé rajzolásával követhető a „lecsengés” jellege, amely jellemző a mechanikai állapotra.
- Ha folyamatosan képzet FFT spektrumokat egymás után felrajzoljuk, akkor az alábbi ábrán látható 3D diagramot kapjuk, amely megkönnyítheti a trendanalízist.

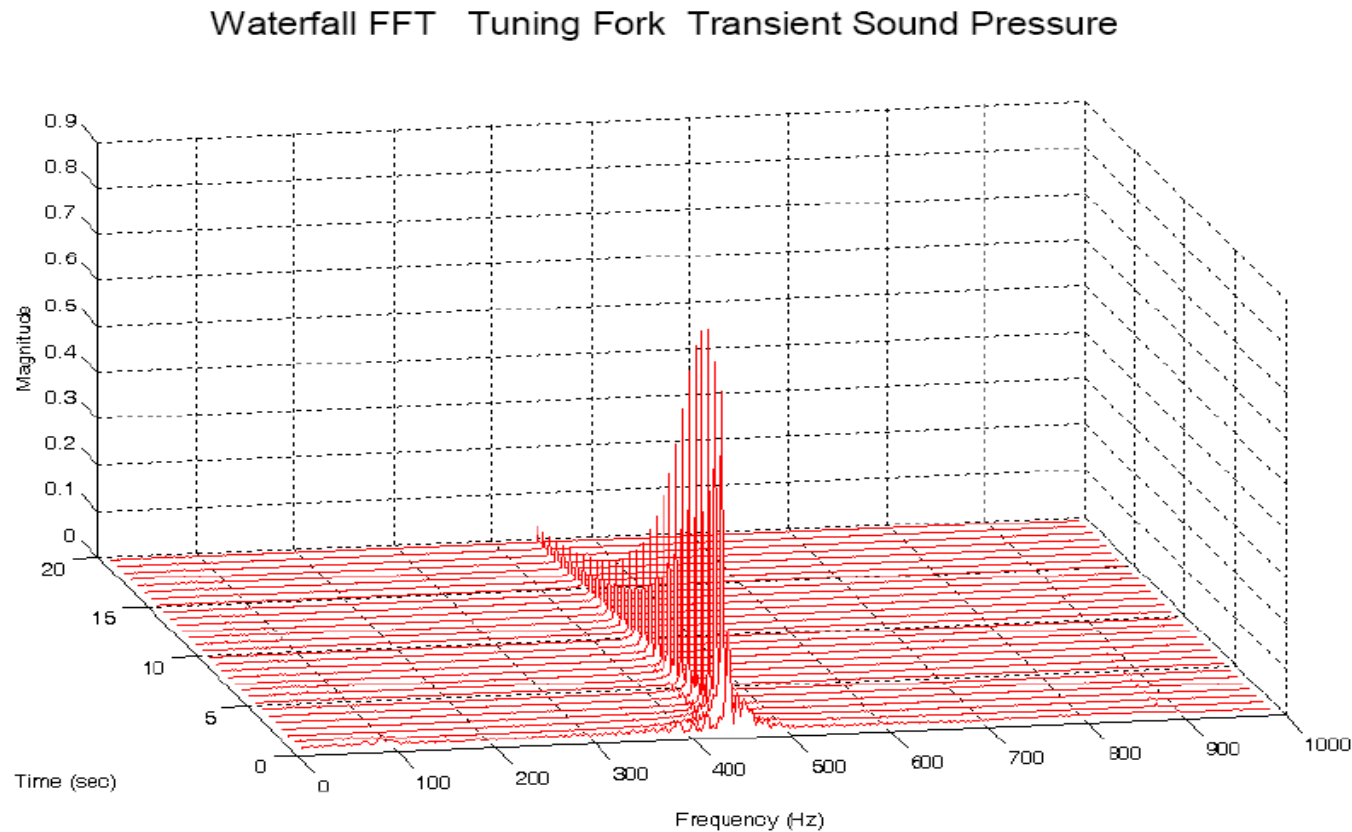


Figure 2.

**Háromdimenziós (3D) rezgésdiagram
„FFT idődiagramja”**

— Összefoglalás

- A trafó meghibásodások jelentős százaléka zárlati esemény következtében alakul ki,
- A szigetelési klasszikus jellemzőkön kívül az aktív rész mechanikai állapotának is jelentős szerepe van az üzembiztos működésben
- A tekercs geometriában bekövetkező torzulás a szigetelésben elsősorban ionizációs folyamatokat indít be, így a mechanikai problémából dielektromos probléma lesz.
- Fontos tudni azt, hogy mikor alakul ki olyan tekercsroskadás, mely a transzformátor zárlatállóságát veszélyes mértékben rontja.
- A transzformátorok fenti speciális problémáinak ellenőrzésére ill. kimutatására jelenleg szabvány nem került kiadásra.

— Összefoglalás (folytatás)

- A mechanikai állapot egyik lehetséges vizsgálati lehetősége az on-line jellegű rezgésvizsgálat.
- A MAVIR „VibMon on-line akusztikus rezgés monitoring rendszer” alkalmazásának célja a transzformátor tekercs ill. vasmag rezgésének mérése, a még jó állapotban lévő transzformátor referencia adatainak felvétele, majd az összegyűjtött adatok alapján a kritikus mechanikai állapot becslése trendanalízissel
- On-line kiépítés esetén trendanalízissel lehetséges a veszélyes állapot előjelzése, katasztrófális üzemzavar kockázatának csökkentése.

— **Köszönöm a figyelmüket**