



Transzformátor aktív rész mechanikai állapotának ellenőrzése

Csépes Gusztáv, Diagnostics Kft

XV. Szigetelésdiagnosztikai Konferencia

Sikonda, 2015. október 28-30.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

Tartalomjegyzék

- 1. Röviden a trafó mechanikai állapotellenőrzéséről**
- 2. Trafó rezgésmérés (olajon keresztül)**
- 3. Trafó (S)FRA diagnosztika**
- 4. Konklúziók**

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

- A trafók **üzembiztos működésénél a szigetelési jellemzőkön kívül jelentős szerepe van aktív rész mechanikai állapotának is.**
- A **mágneses erőhatások** lépnek fel a **tekercsekben**, valamint a **vasmagban**, így az **aktív rész pillanatnyi mechanikai állapotának** e két komponens állapota határozza meg.
- A trafóknak meghibásodás nélkül kell elviselniük a **rövidzárlati áram dinamikus hatását**
- Ebből a célból a **gyártás során a tekercseket** és az aktív részt is **préselik**, annyira, hogy ne legyen „rúgózás”.
- Üzem közben a **leszorító erő csökken, okai:** öregedés miatti szigetelés roskadás, szállítás, ismétlődő termikus ciklusok, rövidzárlati és kapcsolási áramlökések, állandó üzemi rezgések, stb.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

A tekercs mechanikai állapot romlása a szigetelés „roskadása” miatt

- 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 főleg a **gyártástechnológia határozza** meg: 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.

- Lazulás, deformáció következhet be a szállítás során is.
- 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 azáltal, hogy **csökken a külső/belső zárlatokkal szembeni ellenálló képessége,**
- A transzformátor üzemelése során fellépő, **magnetostrikciós hatás** által keltett rezgések **is elősegítik a folyamatot.**
- A trafó hibák **jelentős százaléka** zárlati esemény következtében alakul ki, akkor a probléma jelentősége **nyilvánvalóvá válik.**
- Az üzemelő trafóban **normálistól eltérő erőhatások** nem kívánt **mechanikai deformációt** okozhatnak.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

- Ha a mechanikai deformáció egy **bizonyos mértéket meghalad**, akkor komoly meghibásodás léphet fel a transzformátorban.
- Nagyon fontos tudni azt, hogy mikor alakul ki olyan deformáció, mely a transzformátor zárlatállóságát veszélyes mértékben rontja.
- Csökkenő **leszorító erő** következménye: csökkenő **zárlatbiztonság**.
- Ezért szükséges a mechanikai állapot időszakos ill. folyamatos ellenőrzése.

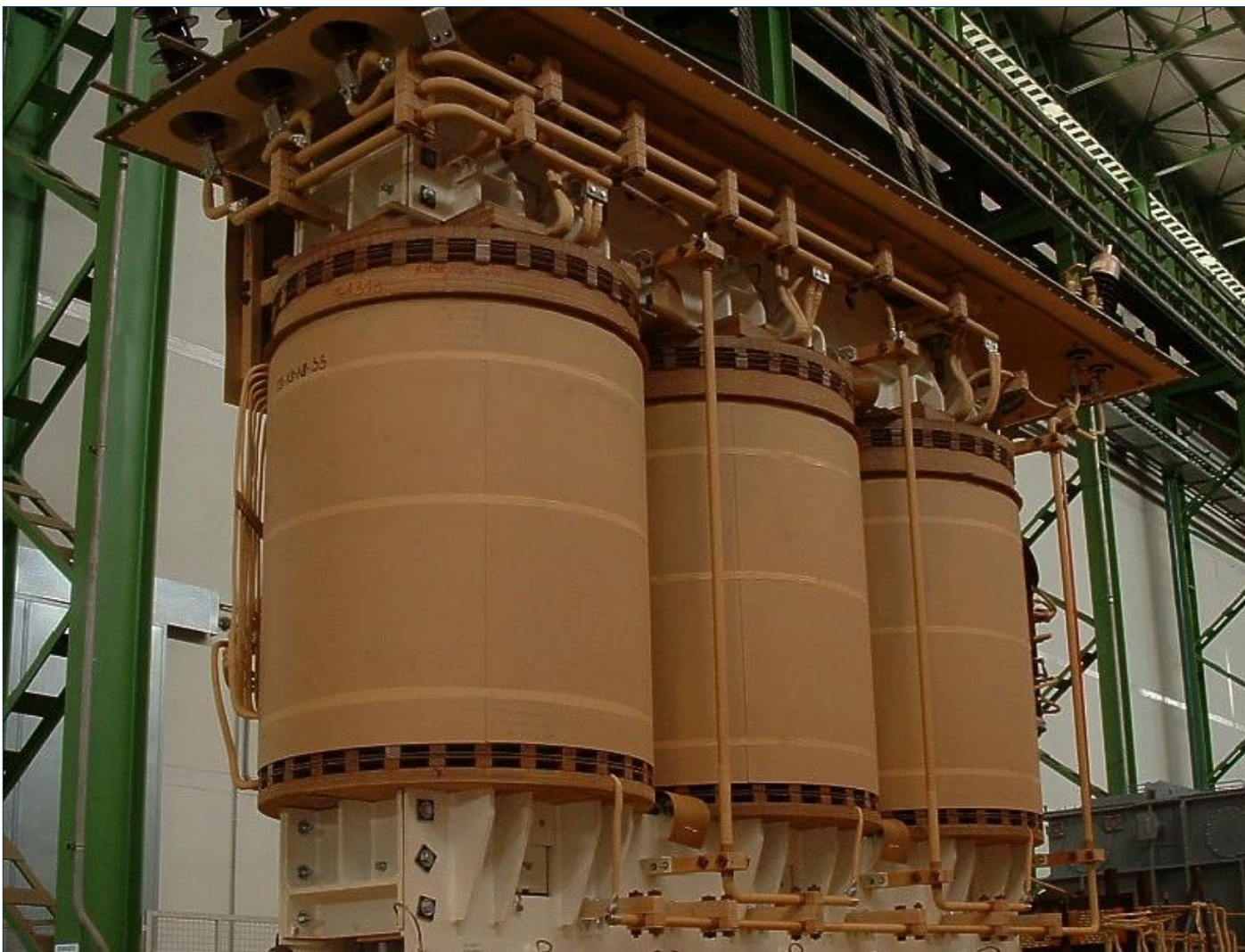
Mechanikai állapotellenőrzésre a két legfontosabb diagnosztika:

- **Rezgésmérés**
- **(S)FRA: Sweep Frequency Response Analysis:**

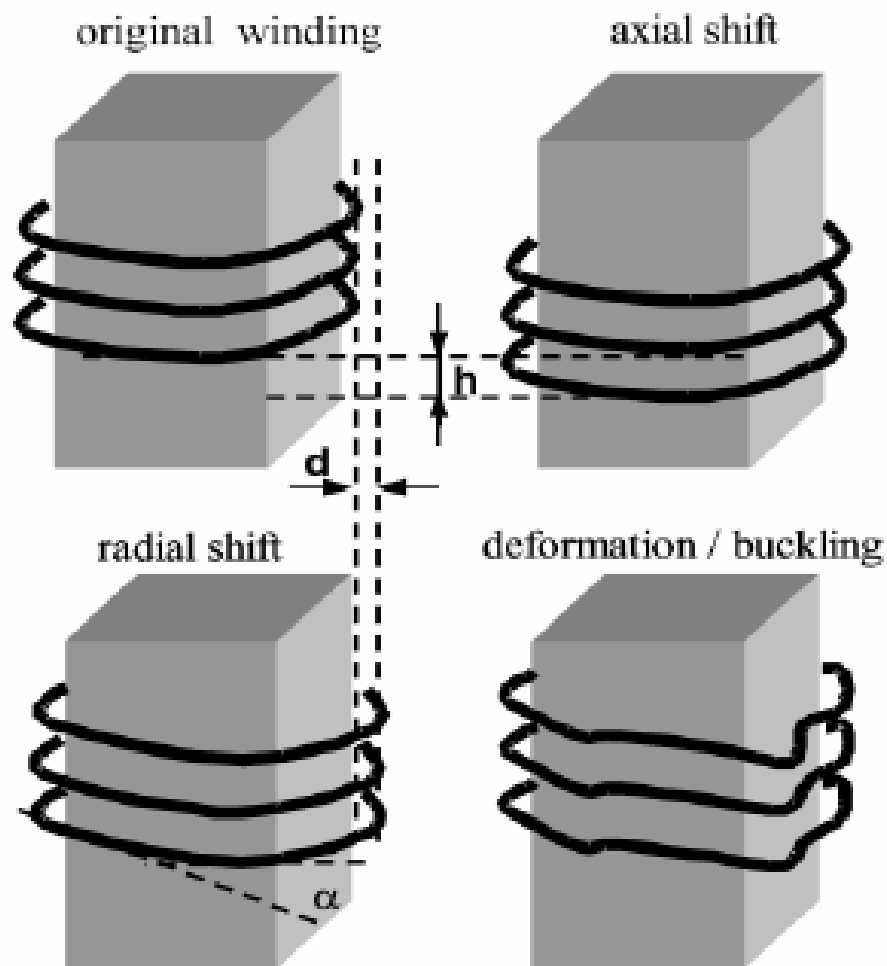


- **Rezgésmérés:** tekercs, leszorító szerkezetek, vasmag rezgése átadódik az olajnak (összenyomhatatlan), így az olaj rezgésének vizsgálatával ellenőrizhetjük a trafó technikai állapotát.
- A trafók mechanikai állapotellenőrzésénél **jelenleg szabvány csak FRA technikára** van, a rezgés diagnosztikája a **szakirodalomból követhető**.
- A tekercsek mechanikai állapota **rezgéssel való vizsgálata történhet offline és online**, a trafó falon vagy közvetlenül olajon keresztül.
- A kiértékelés lényegében **referenciával történő összehasonlítás**, így az **online** módon történő vizsgálat **jobb** eredményt ad.
- A szabvány által javasolt **FRA offline jellegű vizsgálat**, lényegében a maradandó geometriai változás megállapítására szolgál.

Aktív rész kiemelve, tekercsek leszorítva



Tekercshibák grafikus képe: „d” méretű radiális változás, ill. „h” nagyságú axiális elmozdulás



Trafó tekercs radiális elmozdulás



Trafó tekercs radiális elmozdulás



Trafó tekercs radiális elmozdulás



Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése





05/09/2010

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése



Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése



Transzformátor aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

- A trafó rezgések veszélyességének vizsgálatára **még nincs szabványosított eljárás.**
- **A szakirodalomban** megjelent ismeretek alapján az **állandósult ill. tranziens** állapotban szokásos mérni.
- A **számítógépes elemzése** lehetővé teszi, hogy korai állapotban felismerhessük a **mechanikai szilárdság gyenge pontjait.**
- A trafóban **összetett rezgés (zaj)** jön létre, **a források:**
 - Egyrészt a transzformátor **vasmagjának magnetostrikciós** mozgása és **elektromágneses erőhatások** következményeként,
 - Másrészt **aerodinamikai és mechanikai zajforrásokból** (keringtető szivattyúk, ventillátorok).

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

- Az **aktív rész vizsgálata** szempontjából a **vasmag magnetostrikciós** mozgása és **elektromágneses erőhatások** következményeként létrejövő rezgések a fontosak.
- Zavartatás miatt lehetőség szerint a méréseket **kikapcsolt hűtőknél ajánlott elvégezni.**
- A trafóban **mágneses erőhatások lépnek fel** a tekercsekben ill. a vasmagban.
- Jelentősebb lesz a „zaj”, ha valamelyik **gerjesztő erő frekvenciája** megegyezik a transzformátor valamelyik, hangsugárzásra képes elemének mechanikai **sajátfrekvenciájával (rezonancia).**
- **Az elektromágneses erőhatások** okozta „zaj” a szakirodalom szerint 5-15 dB-lel **kisebb** a transzformátorokban, **mint a vasmag magnetostrikciós zaja.**

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

- A **vasmag és a tekercs rezgési energiájának** nagy része az olajon és a vasmagot rögzítő elemeken keresztül **átadódik a transzformátor edénynek**.
- Vizsgálatok egyrészt közvetlenül **az olajon keresztül**, másrészt a transzformátor **falán keresztül** történhet.
- A **tekercs, ill. a vasmag lazasága** miatt megváltozik a **rezgések önfrekvenciája és az amplitúdója**.
- A **diagnosztikai azon alapul**, hogy a referencia értékekhez képest **milyen nagyságú a változás**.
- Az ismertetendő offline és online rezgés monitoring közvetlenül az **olajon át terjedő nyomáshullámok mérésén alapszik**.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

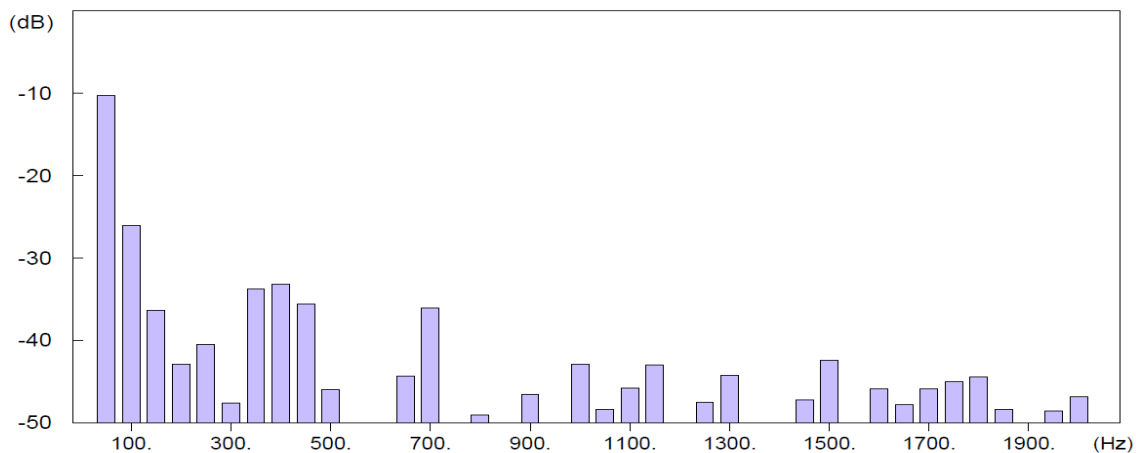
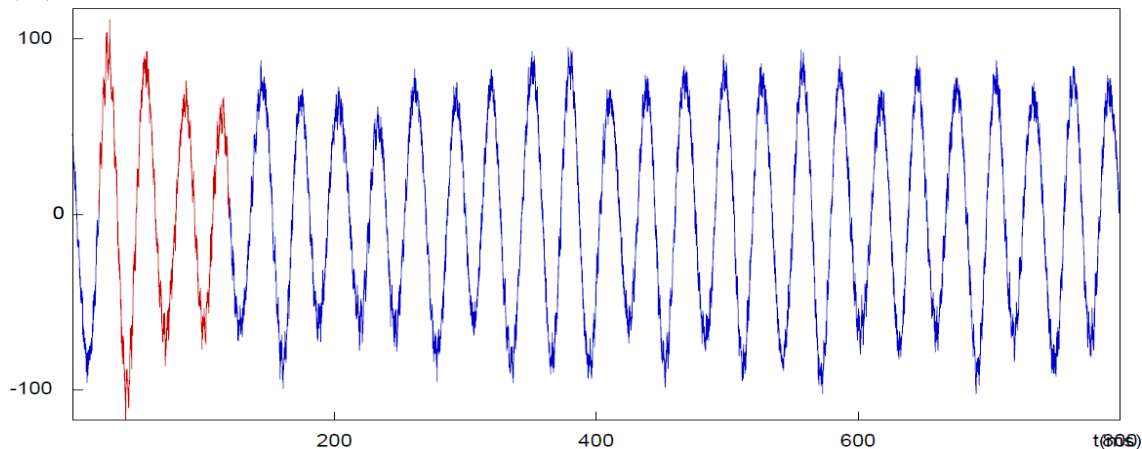
- A **rezgések** a transzformátor olajfeltöltő (leeresztő) csapjára, vagy olajminta vevő csapjára csatlakoztatott „**hidrofonnal**” és a hozzá kapcsolt digitális jelrögzítő egységgel kerülnek rögzítésre.
- A rögzített **rezgésjelekből** (időfüggvényből) FFT-vel (Fast Fourier Transfomer) **gyors Fourier transzformációval** kerülnek kiszámításra a rezgésjelekben lévő **harmonikusak**.

LTC Pos. : ?
2011. május 16. 1:08:09
(Pa)

FFT Window Size: 1024
FFT Window Offs: 206

Sample Freq: 10240 Hz
Max: 110.9 Pa Min: -117.3 Pa

Rezgés idő- és FFT függvénye (FFT=Fast Fourier Transformer)



0dB=59.1 Pa

50.0Hz = -10.3dB
100.0Hz = -26.1dB
150.0Hz = -36.3dB
200.0Hz = -42.9dB
250.0Hz = -40.5dB

300.0Hz = -47.6dB
350.0Hz = -33.8dB
400.0Hz = -33.2dB
450.0Hz = -35.5dB
500.0Hz = -46.0dB

550.0Hz = -53.0dB
600.0Hz = -51.2dB
650.0Hz = -44.4dB
700.0Hz = -36.1dB
750.0Hz = -50.3dB

800.0Hz = -49.1dB
850.0Hz = -56.2dB
900.0Hz = -46.6dB
950.0Hz = -51.5dB
1000.0Hz = -42.9dB

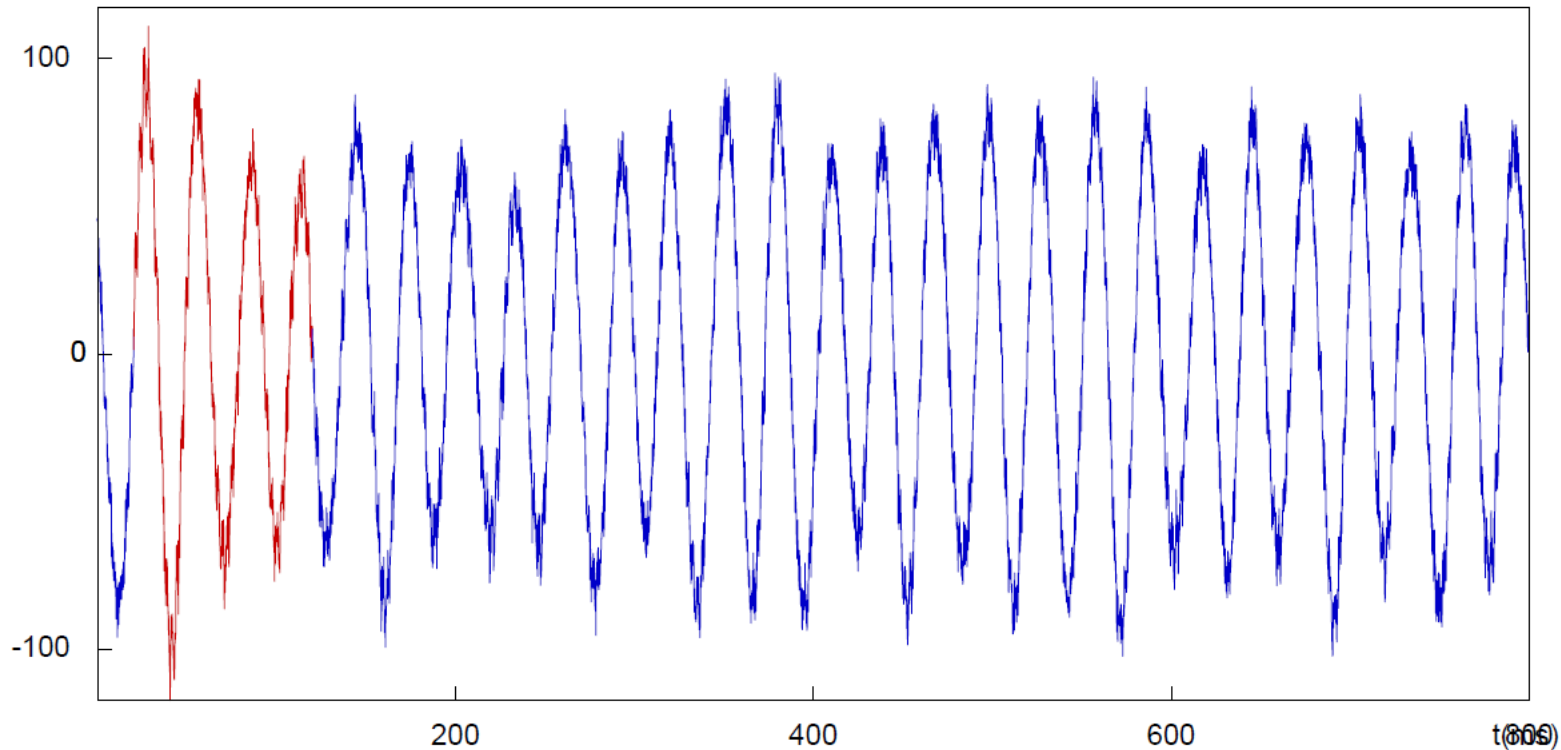
Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Rezgés időfüggvénye

LTC Pos. : ?
2011. május 16. 1:08:09
(Pa)

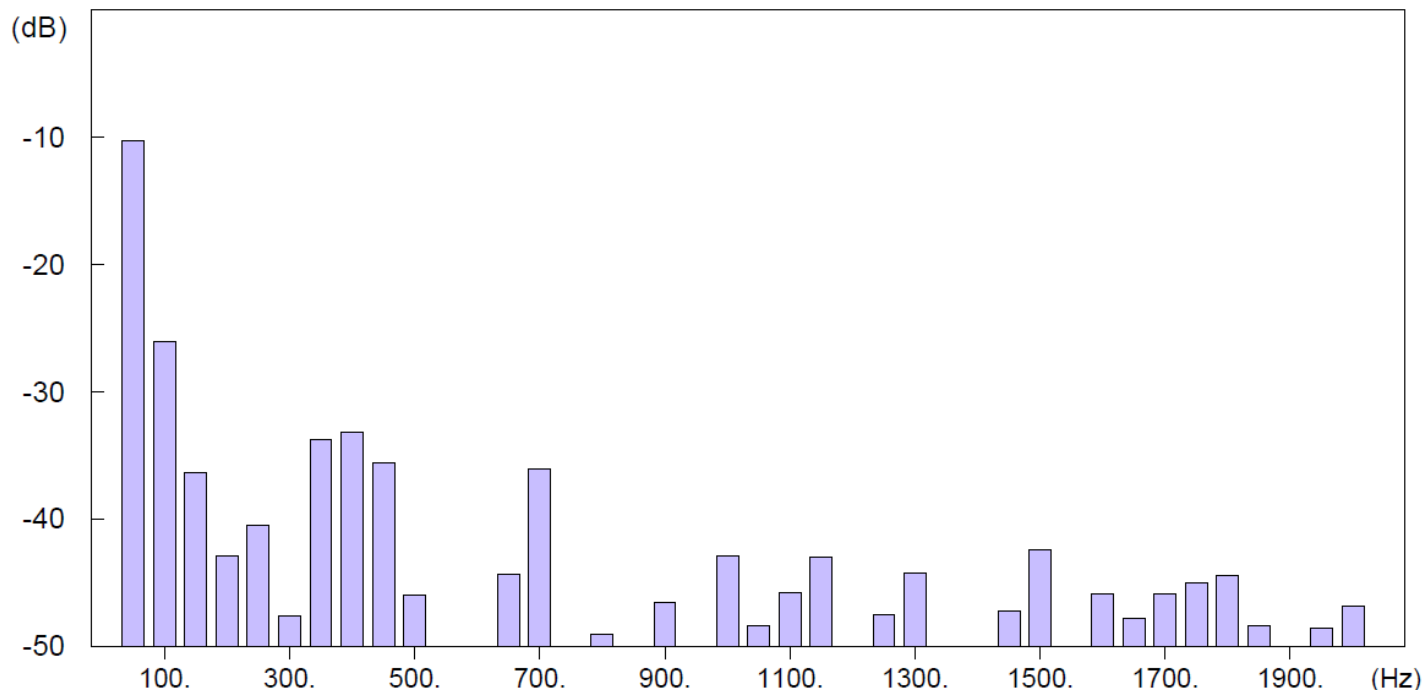
FFT Window Size: 1024
FFT Window Offs: 206

Sample Freq: 10240Hz
Max: 110.9Pa Min: - 117.3Pa



Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Időfüggvényből képzett FFT függvény



0dB=59.1 Pa

50.0Hz = -10.3dB
100.0Hz = -26.1dB
150.0Hz = -36.3dB
200.0Hz = -42.9dB
250.0Hz = -40.5dB

300.0Hz = -47.6dB
350.0Hz = -33.8dB
400.0Hz = -33.2dB
450.0Hz = -35.5dB
500.0Hz = -46.0dB

550.0Hz = -53.0dB
600.0Hz = -51.2dB
650.0Hz = -44.4dB
700.0Hz = -36.1dB
750.0Hz = -50.3dB

800.0Hz = -49.1dB
850.0Hz = -56.2dB
900.0Hz = -46.6dB
950.0Hz = -51.5dB
1000.0Hz = -42.9dB

Olajon keresztüli online jellegű „vibro-akusztikus” rezgésmérés

- A rezgésvizsgálatot célszerű már az **új transzformátoron elvégezni** (kiinduló állapot rögzítése, vagyis a **referencia** adatok felvétele).
- 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 előforduló hibák**: gyártáskor nem megfelelően biztosított vasmag összefogó orsók fellazulása következtében fellépő vasmag lazulás, 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, így **rezgés főleg a vasmagra jellemző**.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

- **Terhelt állapotban mindkét komponens létezik, jelen van.**
- **Különböző referencia spektrumok kerülhetnek rögzítésre:** ki-bekapcsolás alatti, üresjárási ill. különböző terhelési állapotú rezgések, különböző számú hűtőblokkok ki- bekapcsolásának hatása, stb.).
- A mérőrendszerhez **tartozik egy szoftver**, amely – többek között – folyamatosan FFT (Fast Fourier Transformation) spektrumokat számol az alap harmonikusra, ill. első 20 felharmonikusra.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

Mechanikai rezgések forrásai

- A trafók 50 Hz-es hálózatra történő kapcsolásakor a vasmag egy periódus alatt **kétszer mágneseződik** fel.
- A vasmag, a tekercs, ill. az **elektromágnes térben lévő összes alkatrész** a hálózati frekvencia kétszeresével (**100 Hz**) **pulzáló erőhatásnak van kitéve**.
- Nagyon **összetett problémáról** van szó, ezért nehéz lenne korrekt kiértékelést végezni.
- De a gyakorlatban **elegendő** a bonyolult **válaszfüggvények összehasonlítása**.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

Rezgések vasmaghiba esetén

- **Hiba esetén a trafó rezgési karakterisztikája megváltozik, azaz a „normál” és az „ab-normál (pl. fellazult állapot)” rezgési kép kisebb-nagyobb mértékben különbözik.**
- **Bizonyos frekvencia sávok energiája (amplitúdója) megnő, bizonyos sávokban pedig lecsökken, karakterisztikus frekvenciák értéke változik, stb.**
- **A diagnosztikához ismerni kell a „jó”, ill. a különböző „hibás” állapotokhoz tartozó jeleket.**
- **A vasmag hibája nem terhelt állapotú (üresen járó) transzformátor esetén vizsgálható: nem folyik áram a tekercsekben, a rezgéseket lényegében csak a vasmag okozza.**

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

- Az **időfüggvény nagyon „bonyolult”**, nem tudnánk különbséget tenni a „jó” és a „rossz” állapotú vasmag között.
- Ha az **időfüggvényből frekvencia spektrumot** számítunk, 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 kiértékelő rendszer**.
- Legfontosabb a spektrumok időbeli változásának kiértékelése, „trend analízis”, ezért **megnő az online monitoring rendszerek fontossága**.

Rezgések tekercshiba esetén

- A mechanikai behatások miatt **a gyárban megfelelően leszorított** transzformátor tekercs az üzemeltetés **során fokozatosan veszít a leszorításból.**
- Mechanika **behatások érik** a transzformátort a szállítás, az üzembe helyezés során, 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.**
- Tekercs geometriában bekövetkező torzulás a szigetelésben elsősorban ionizációs folyamatokat indít be, **így a mechanikai problémából dielektromos probléma lesz.**

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

Mérési eredmények kiértékelése

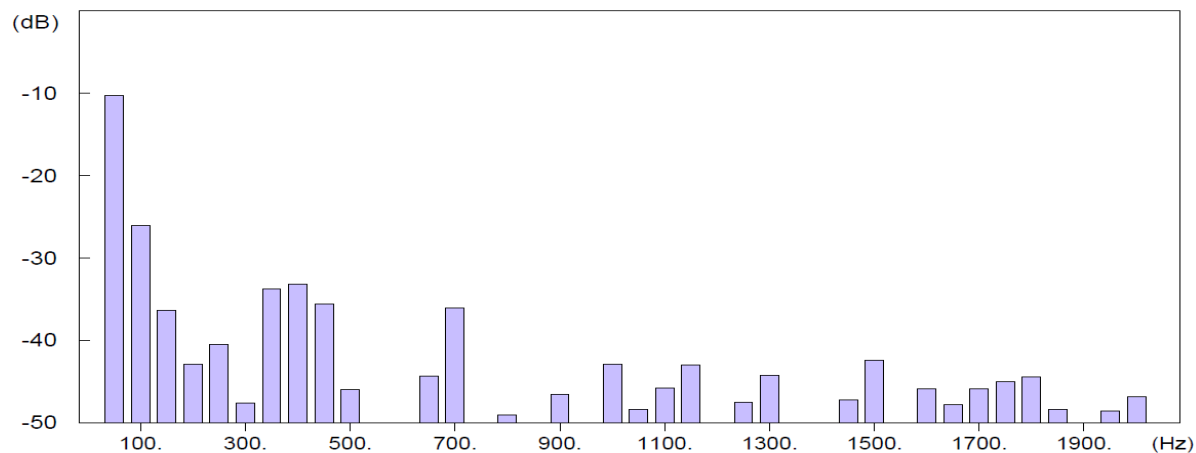
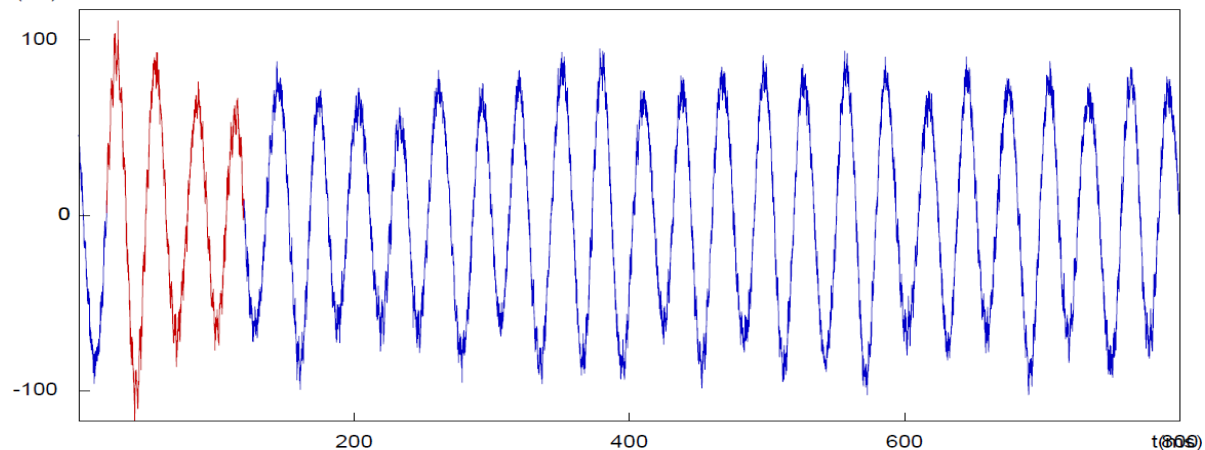
- **Időfüggvényből** felvétele, megjelenítése.
- Időfüggvényből **FFT (Fast Fourier Transformation) spektrum** készítése: időfüggvény „szétbontása” elemi szinuszos komponensekre, frekvenciatartományban történő megjelenítés.
- Rezgésspektrum alapján diagnosztikai elemzés

LTC Pos.: ?
2011. május 16. 1:08:09
(Pa)

FFT Window Size: 1024
FFT Window Offs: 206

Sample Freq: 10240 Hz
Max: 110.9 Pa Min: -117.3 Pa

Rezgés idő- és FFT függvénye (FFT=Fast Fourier Transformer)



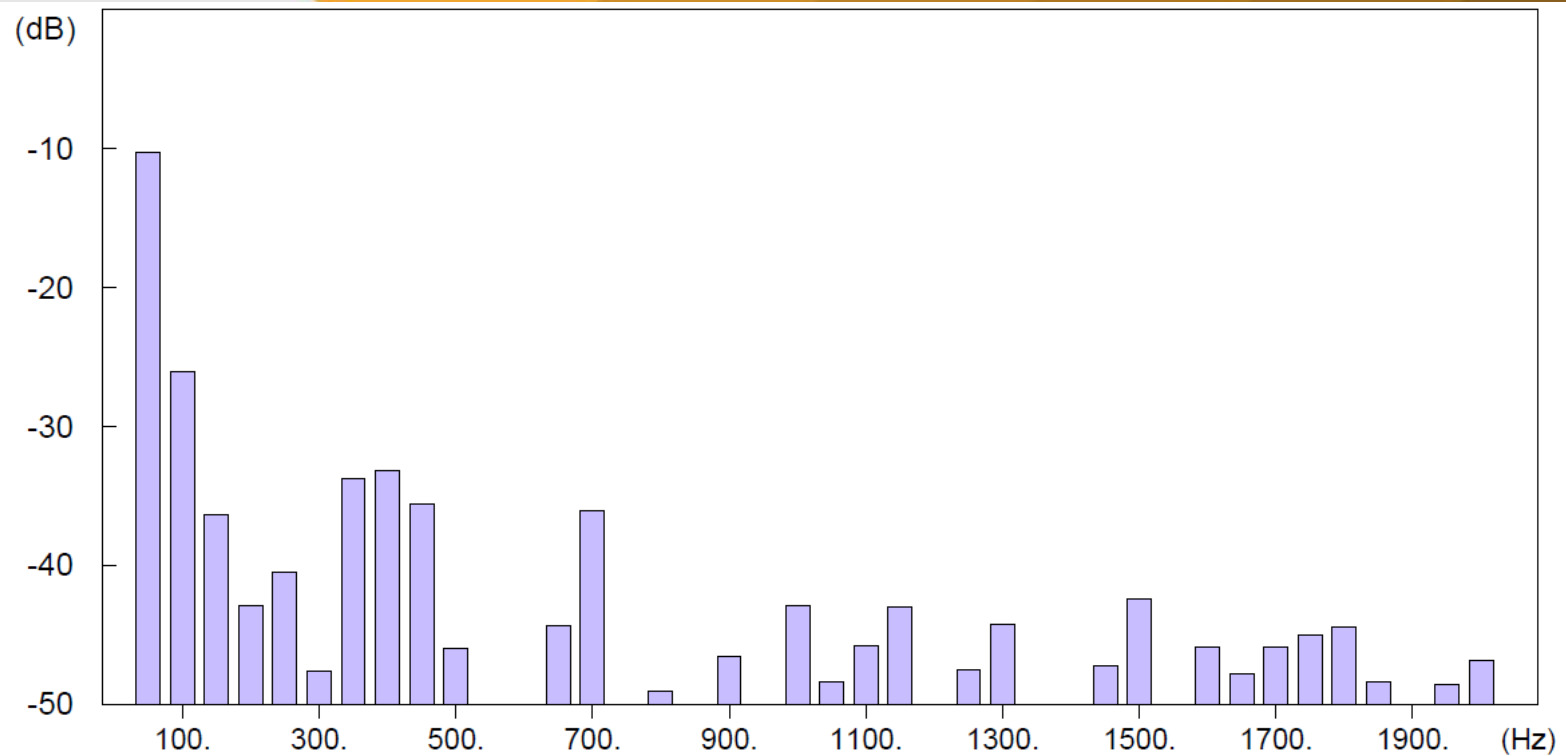
0dB=59.1 Pa

50.0Hz = -10.3dB
100.0Hz = -26.1dB
150.0Hz = -36.3dB
200.0Hz = -42.9dB
250.0Hz = -40.5dB

300.0Hz = -47.6dB
350.0Hz = -33.8dB
400.0Hz = -33.2dB
450.0Hz = -35.5dB
500.0Hz = -46.0dB

550.0Hz = -53.0dB
600.0Hz = -51.2dB
650.0Hz = -44.4dB
700.0Hz = -36.1dB
750.0Hz = -50.3dB

800.0Hz = -49.1dB
850.0Hz = -56.2dB
900.0Hz = -46.6dB
950.0Hz = -51.5dB
1000.0Hz = -42.9dB



0dB=59.1 Pa

50.0Hz = -10.3dB

300.0Hz = -47.6dB

550.0Hz = -53.0dB

800.0Hz = -49.1dB

100.0Hz = -26.1dB

350.0Hz = -33.8dB

600.0Hz = -51.2dB

850.0Hz = -56.2dB

150.0Hz = -36.3dB

400.0Hz = -33.2dB

650.0Hz = -44.4dB

900.0Hz = -46.6dB

200.0Hz = -42.9dB

450.0Hz = -35.5dB

700.0Hz = -36.1dB

950.0Hz = -51.5dB

250.0Hz = -40.5dB

500.0Hz = -46.0dB

750.0Hz = -50.3dB

1000.0Hz = -42.9dB

Az időfüggvények kijelölt periódusainak FFT spektruma: a spektrum dB léptékű a legnagyobb harmonikushoz képesti ábrázolás. Alul a 0dB-hez tartozó értékek az egyes rezgésfelvételek amplitúdóinak összehasonlítása végett, és az első 20 felharmonikus számszerű értéke található.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

Kiértékelési lehetőségek

Felharmonikusak 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 frekvenciatartomány a transzformátor mechanikus hibáinak és problémáinak többségére jellemző.
- Az első (lehetőleg hibátlan mechanikai állapotú) felvétel tekinthető **referenciának, ehhez viszonyítandó a később felvett érték (trendanalízis).**

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

- On-line diagnosztika: ha **a folyamatosan figyelt jelek, egy küszöbértéket meghaladnak** 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.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

A felharmonikusak súlyozott torzítási tényezője (THD) az alapharmonikusra (100 Hz) vonatkoztatva

- 100 és 2000 Hz között 100 Hz-enként a felharmonikusak súlyozott **négyzetösszegének négyzetgyöke** viszonyítva a 100 Hz-es alapharmonikus értékére.
- Kiértékelése hasonló 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).

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

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.
- Vizsgálandó a rezgés „szintje” (amplitúdója), valamint a spektrum (eloszlás).
- Fel kell venni a „jó” állapothoz tartozó rezgésszinteket, majd ezekhez, mint referenciához kell viszonyítani később felvett szinteket.
- A **fellazult tekercsű transzformátor** spektrumának felvételével később, mint „szélső értéket” fel lehet használni a diagnosztikában, mint referenciát.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Fázisáramok, feszültség (fluxus) mérése és spektrumanalízise

- A legrészletesebb hibaanalízishez felhasználhatjuk a fázisonként felvett tápáram-spektrumokat.
- Ha megváltozik a transzformátor **fluxusa, változik a telítődés**, ezzel **változik a felharmonikus tartalom akkor is**, ha a 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 (**ívkemence...**)
- A pillanatnyi terhelés nagyon fontos, ezért mindenegyes esetben a kiértékelésnél figyelembe kell venni a **pillanatnyi terhelést**, azaz a **kiértékelést lehetőleg azonos terhelési értékeken kell elvégezni**.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

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.
- 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.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

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 kapcsolatban** a vasmaggal vagy a tekercessel.
- 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 üres járásban fel kell venni az olaj szivattyú és ventilátorrezgésből** származó spektrumot mindenegyres trafóra (mérés ki- és bekapcsolt olaj szivattyúkkal és ventilátorokkal).

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Magasabb frekvenciájú felharmonikusak 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 harmonikusak** jelennek meg a különálló menetek rezgésében.
- Ha a **tekercs leszorító erő csökken**, a **második harmonikus ugyancsak csökken**, de a **nagyobb frekvenciájú páros harmonikusak jelennek meg**.
- Minél **nagyobb a lazulás**, annál **nagyobb frekvenciájú és amplitúdójú harmonikusak figyelhetők meg**.

Olajon keresztüli online jellegű vibroakusztikus rezgésmérés

- 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.

Páros, páratlan és „tört” felharmonikusak vonatkoztatása a 100 Hz-es alap harmonikusra

- Páratlan felharmonikusak vizsgálata: 100, 300, 500, 700 és 900 Hz
- Páros felharmonikusak 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**.
- **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.
- **„Jó” állapot felvétele, hiányában 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 700 Hz), 5 „tört” frekvencián (50, 150, 250, 350 és 450 Hz) történő figyelés: időben történő változás, ill. 100 Hz-es „alapra” történő viszonyítás, trendelemzés.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

„Referencia spektrum” és „cepstrum” felvétele és összehasonlítás a pillanatnyi spektrummal.

- A rezgés **kiértékelés a spektrum változásán alapszik**, ezért 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 az időfüggvény**, 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.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

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.
- Bekapcsolási áramlökések, **DC komponens hatása**, stb.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

Háromdimenziós (3D) rezgésdiagramok

- A kiértékelésnél a rezonanciafrekvencián és az amplitúdón kívül fontos 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.
- **Spektrumokat egymás mellé rajzolásával „kvázi” (3D)** ábrát kapunk, amely segíthet a kiértékelésben (pl. egy bekapcsolásnál egymás után felvett jelek egymásmellé rajzolásával követhető a „lecsengés” jellege, amely jellemző a mechanikai állapotra.

Waterfall FFT Tuning Fork Transient Sound Pressure

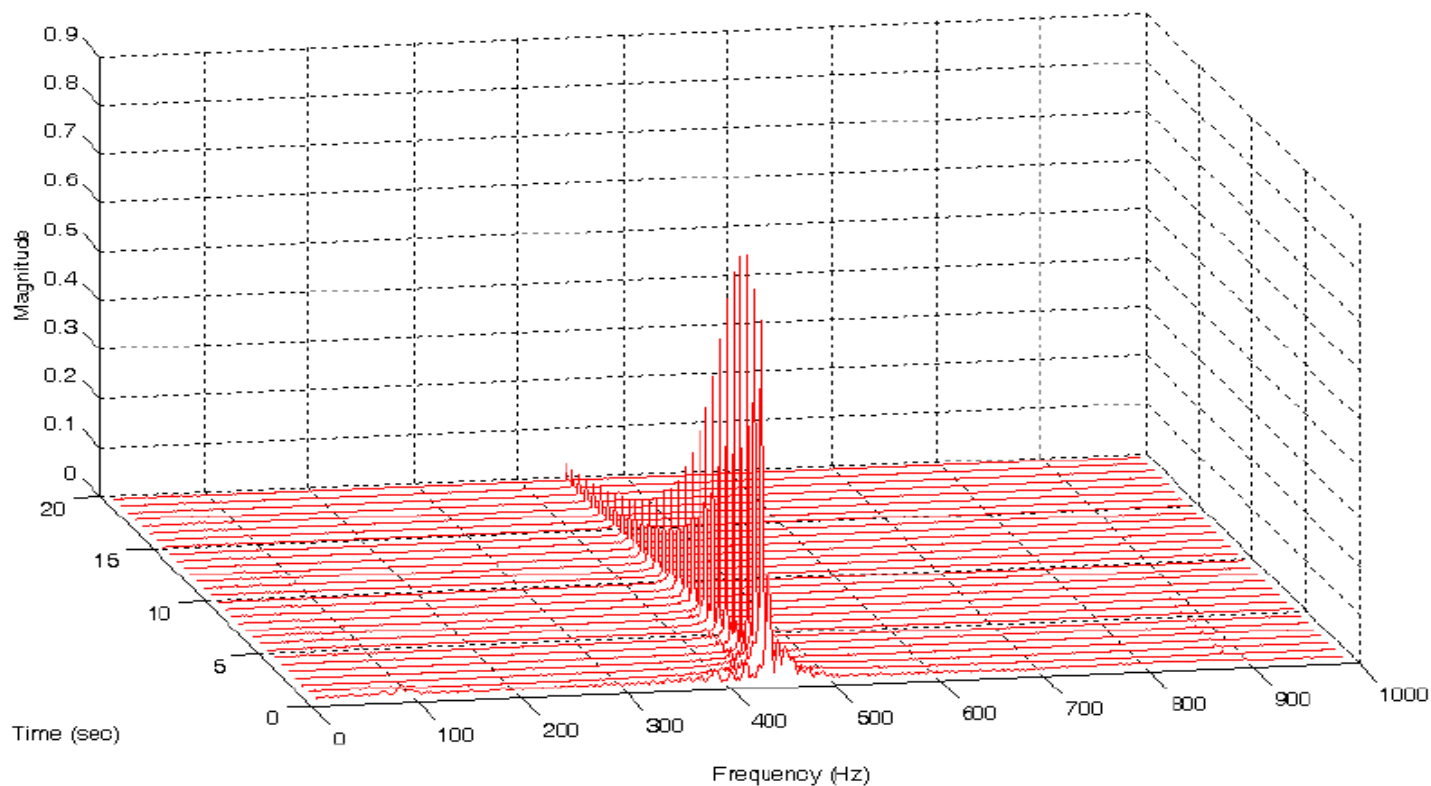


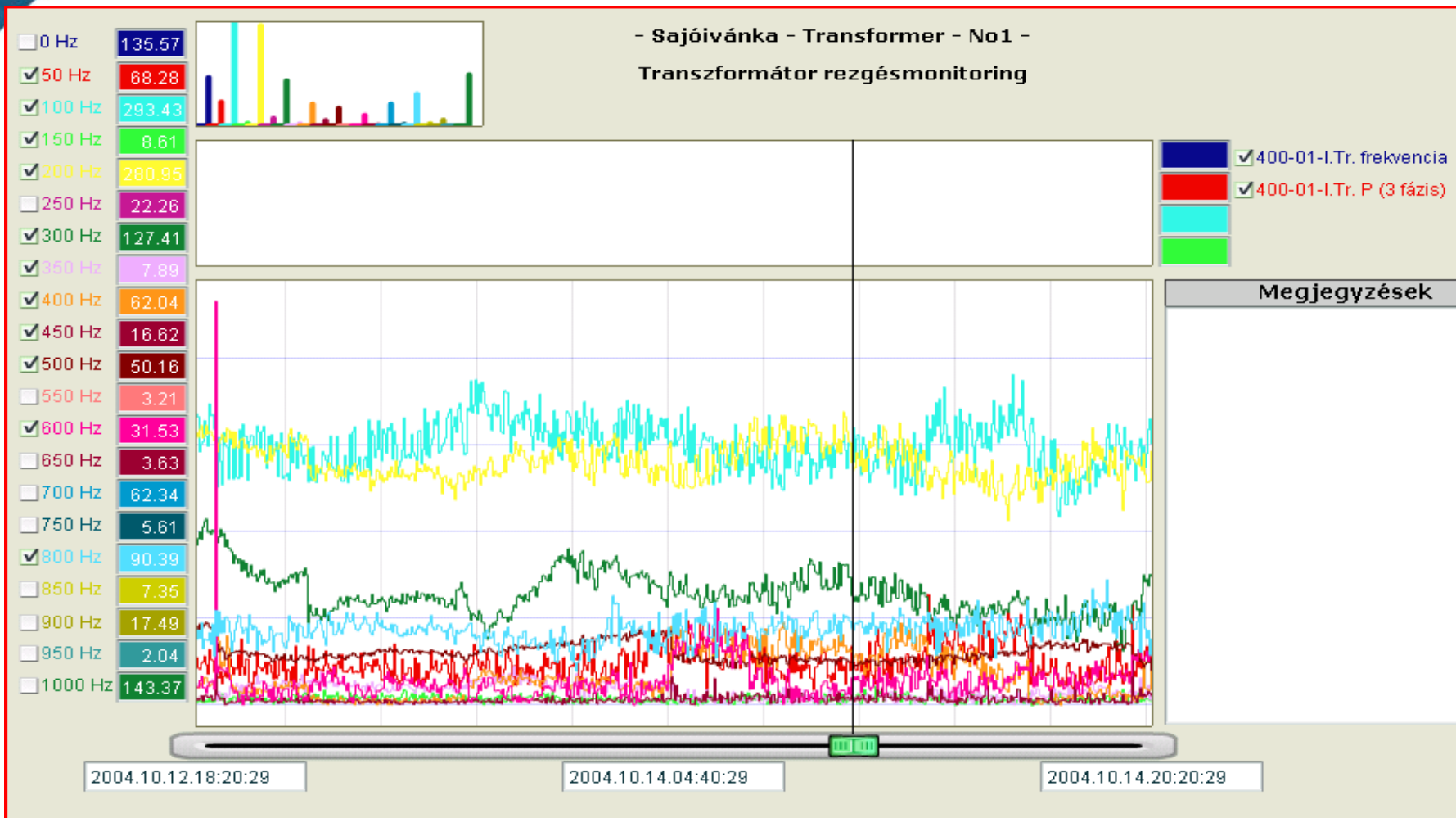
Figure 2.

Háromdimenziós (3D) rezgésdiagram „FFT idődiagramja”
Ha folyamatosan képzet FFT spektrumokat egymás után felrajzoljuk, akkor az alábbi ábrán látható 3D diagramot kapjuk, amely megkönnyítheti a trendanalízist.

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése rezgésméréssel

- A **leszorító erők csökkenésekor** a trafó természetes rezgési frekvenciái a **kisebb frekvenciák** felé tolódnak, nő a rezgések amplitúdója, új harmonikusak jelennek meg, csökken a 100Hz-es komponens, de nő a 200Hz-es összetevő.
- A 300Hz-es és a 400Hz-es összetevők csökkennek a leszorító erő csökkenésével.
- Bekapcsolási nagy áram megmozgatja a tekercseket és a leszorító elemeket.
- Lehet korrelációt keresni az áram csúcsértéke és az olajnyomás csúcsértéke között (időalapú trendanalízis, összehasonlítás az azonos trafókkal).

TRAMONIS vibro-akusztikus funkciója: FFT spektrum, ill. az egyes harmonikusak időbeli változása.



TRAMONIS rezgés monitoring helyi megjelenítése



Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

Konklúziók

- 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 geometriai torzulás elsősorban PD folyamatot 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 mechanikai állapot egyik lehetséges vizsgálati lehetősége az **on-line jellegű rezgésvizsgálat.**

Trafó aktív rész mechanikai állapotellenőrzése

**Köszönöm a
figyelmet**

