

# Experimentálna analýza výkonových transformátorov metódou SFRA

Gutten, M., Brandt, M., Michalík, J.

## Anotácia

*Medzi súčasné a najefektívnejšie metódy analýzy vinutia transformátorov je možné pokladať metódu SFRA. Vďaka tejto metóde môžeme detekovať účinky skratových prúdov, nadprúdov a iných javov poškodzujúcich vinutie a magnetický obvod transformátora bez jeho rozobratia a následného zisťovania porúch na vinutí, čo je časovo náročné.*

## Úvod

Transformátor je to netočivý elektrický stroj, ktorý sa používa na zmenu napätia striedavého prúdu pri nezmenenej frekvencii. Jeho konštrukčné vyhotovenie je závislé od toho či je transformátor jednofázový alebo trojfázový, či je jadro (magnetický obvod transformátora) jadrového typu, plášťového typu alebo špeciálneho vyhotovenia.

Konštrukcie vinutí transformátorov sú veľmi rôzne, musia však vyhovovať rade dôležitých požiadaviek, napr.:

- mechanickej pevnosti,
- elektrickej pevnosti,
- technológii výroby,
- odolnosti proti tepelnému namáhaniu,
- odolnosti proti účinkom skratových prúdov a nadprúdov. [1]

Na to aby boli splnené dané požiadavky na celkovú funkčnosť transformátora, vykonávajú sa jednotlivé merania na transformátore, či už po vyhotovení nového stroja pred transportom na konkrétne miesto, alebo po transporte pred uvedením do prevádzky, po vzniku poruchy a po oprave resp. revízii transformátora.

V tomto článku je prezentovaný opis metodiky experimentálnej analýzy týkajúcej sa stavu vinutia a magnetického obvodu transformátora, ktoré sú v súčasnej dobe veľmi potrebné pre prenosové, rozvodné a distribučné podniky nielen u nás, ale aj v ostatných krajinách sveta.

## Metóda vysokofrekvenčnej analýzy vinutia transformátorov (SFRA)

Túto metódu vysokofrekvenčnej analýzy (Sweep Frequency Response Analyzer – SFRA [2]) radíme k metódam bezdemontážnej diagnostiky transformátorov. Pri meraní sa nerobí žiaden zásah do konštrukcie meraného stroja a je prevedené pri odpojenom stroji, čiže nie je pod napätím.

Táto metóda je aplikovateľná pri určovaní a meraní transformátorov ihneď po výrobe, teda slúži na meranie referenčných hodnôt, podľa ktorých sa bude následne vykonávať porovnávanie údajov s inými meraniami uskutočnenými na danom transformátore, počas odstávky prevádzky transformátora, po poruche a po následnej oprave, príp. revízii.

Metóda SFRA ako jedna z najviac výpovede schopných metód je založená na princípe funkčného vysokofrekvenčného generátora a spektrálneho analyzátora, ktoré sú vhodne upravené a riadené počítačom. Túto metódu používa aj merací systém DOBLE M5100.

Metódou SFRA je možné detekovať:

- deformáciu vnútorného vinutia a jeho posun,
- závit nakrátko a otvorené vinutie,

- uvoľnenú prepojovaciu štruktúru,
- zničenú prepojovaciu štruktúru,
- problém v spojení jadra,
- čiastočný kolaps vinutia,
- pohyb jadra, príp. jeho zlé uzemnenie.

Priebehy namerané meracím systémom môžu slúžiť u nového transformátora ako referenčné a potrebné k porovnávaniu po jeho dlhšom prevádzkovom čase. Taktiež k porovnaniu testov uskutočnených po havárii transformátora (alebo po n-skratoch), po oprave a ako diagnostický test, pokiaľ vibračné snímače indikujú potenciálny problém v transformátore.

### Experimentálne výsledky sledovaním časovej zmeny napätia nakrátko

Pre konkrétnejší pohľad na problematiku metódy SFRA sme vykonali množstvo meraní, či už na distribučných alebo prenosových transformátoroch. Merania boli uskutočnené na nových, používaných, ako aj poškodených transformátoroch.

V tejto časti článku uvádzame výsledky z merania distribučného trojfázového transformátora 1000 kVA, 22/0,4 kV prostredníctvom meracieho systému DOBLE M5100 (obr.1).



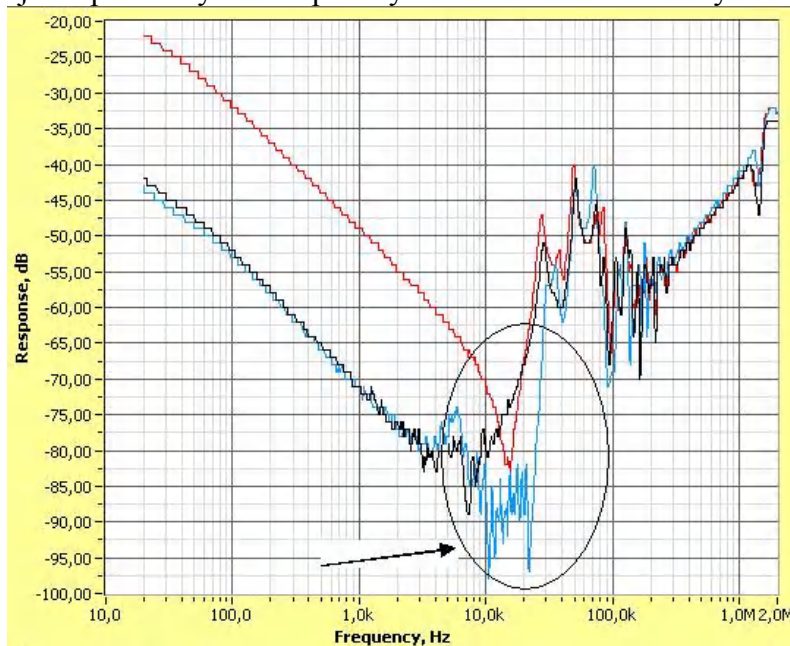
Obr.1 Merací systém DOBLE M5100

Pri meraní je nutné dodržiavať správny postup, aby sa predchádzalo nepresnostiam a chybám. Postup pri meraní spomínaného transformátora je podľa tab.1.

Tab.1

Meranie naprázdno (Open Circuit Tests)						Meranie nakrátko (Short Circuit Tests)		
Primárne vinutie			Sekundárne vinutie			a-b-c skratované		
Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Test6	Test7	Test8	Test9
A-C	B-A	C-B	a-n	b-n	c-n	A-C	B-A	C-B

Pri meraniach naprázdno detekujeme mechanický stav meraného vinutia a feromagnetického jadra. Nasledujúce priebehy charakterizujúce toto meranie nás významne informujú o zmenách v jadre, ktoré sú viditeľné v nízkych frekvenciách, zatiaľ čo vysoké frekvencie ukazujú na problémy ako sú posuny vinutia či medzizávitový skrat (obr.2).



Obr.2 Zistenie medzizávitového skratu na primárnom vinutí distribučného transformátora (poškodená fáza A)

Problémy s uzemnením jadra alebo krátke spojenia v jeho vrstvách sa typicky prejavujú v nižších častiach priebehov. Stredné frekvencie často indikujú axiálny alebo radiálny pohyb vo vinutí a vysoké frekvencie indikujú problémy zahŕňajúce napr. klepanie vinutia alebo problémy v spojení.

Pri meraniach nakrátko detekujeme jedine stav vinutí na primárnej alebo sekundárnej strane transformátora. Z tohto merania môžeme spoľahlivo zistiť najmä deformáciu vnútorného vinutia a jeho posun na meranom vinutí.

## Záver

Problematika frekvenčnej analýzy transformátorov metódou SFRA je veľmi obsiahla. Jej uplatnenie a používanie v praxi nachádza čoraz väčší záujem u výrobcov transformátorov, ako aj ich prevádzkovateľov. Z dlhodobého hľadiska je metóda SFRA veľmi užitočná a poskytuje dostatok informácií o daných transformátoroch, ktoré majú svoje dáta namerané už od výrobcu a sú pokladané za referenčné a je možné ich použiť pri porovnávaní s ďalšími údajmi konkrétneho transformátora.

Testovacia metóda SFRA predstavuje v súčasnosti diagnosticky najefektívnejšiu alternatívnu metódu voči vizuálnej kontrole. Vďaka tejto metóde môžeme detekovať účinky skratových prúdov bez toho, že by sme museli uskutočniť časovo náročné rozobratie transformátora.

Príspevok v tomto článku je súčasťou riešenia projektu VEGA 1/3079/06 – Diagnostika elektroenergetických zariadení vzhľadom na nepriaznivé vplyvy elektrických sietí.

## Literatúra

1. Petrov, G. N.: Elektrické stroje 1. Transformátory, Academia Praha, 1980
2. [http://www.doble.com/products/sweep\\_frequency\\_response\\_analysis.html](http://www.doble.com/products/sweep_frequency_response_analysis.html), 15. 1. 2007.
3. Jezierski, E: Transformátory. Teoretické základy, Academia Praha, 1973
4. Gutten, M., Brandt, M., Michalík, J.: Analýza transformátorov vzhľadom na účinky skratových prúdov, Konferencie: Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení, Diago 07, Ostrava, 2007, ISSN 1210 – 311X
5. Brandt, M.: Frekvenčná analýza stavu vinutia transformátorov, seminár Workshop doktorandů, XXXV. sešit katedry teoretické elektrotechniky, Ostrava, 2007, 27-29, ISBN 978-80-248-1323-3

## Autori

Ing. Miroslav Gutten, Ph.D.; Katedra merania a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, gutten@fel.uniza.sk

Ing. Martin Brandt; Katedra merania a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, brandt@fel.uniza.sk

Doc. Ing. Ján Michalík, Ph.D.; Katedra merania a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, sekrdek@fel.uniza.sk