

Ročná správa o riešení projektu za rok 2011

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV –0703–10**Analýza a diagnostické merania výkonových transformátorov metódou SFRA (Sweep Frequency Response Analysis)**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ján Michalík, PhD.**Príjemca **KMAE Elektrotechnická fakulta ŽU v Žiline**Začiatok riešenia projektu **05/11**Koniec riešenia projektu **10/14**

ROZBOR RIEŠENIA PROJEKTU (max. 10 strán)

Uvedte podľa nasledujúcej záväznej osnovy:

- 1. Postup prác pri riešení projektu u príjemcu, ako aj spolupríjemcu podpory APVV vzhľadom na harmonogram riešenia projektu**
- 2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele**
- 3. Zoznam výstupov a prínosov projektu za posledný rok – uvedte v prílohe – formulár Výstupy a prínosy projektu za rok/obdobie (priložte kópie deklarovaných výstupov)**
- 4. Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok**

↓↓

1. Harmonogram riešenia projektu – etapa č. 1: Praktické merania a analýza transformátorov.

V období od začatia riešenia projektu boli uskutočnené dve administratívne zmeny v riešiteľskom kolektíve. Tie nemali žiadny vplyv na možné zníženie kvality výskumných výstupov a zámerov predkladaných v žiadosti o pridelenie grantu. Vzhľadom na stanovené ciele pre prvý rok riešenia projektu, kde sme zamýšľali odmerať niekoľko desiatok transformátorov 110/23 kV, prípadne 110/6 kV sme tento cieľ naplnili. V rámci plánu vypínania transformátorov stanoveného spoločnosťou SSE a.s. Žilina pre kalendárny rok 2011 bolo odmeraných 32 výkonových transformátorov. Tieto sme podrobili analýze metódou SFRA a stanovili metodiku merania, podľa ktorej je potrebné tieto transformátory merať. Záznamy z meraní boli vyhotovené a odovzdané spoločnosti SSE a.s. Taktiež sme v rámci riešenia projektu uskutočnili prvé merania metódou SFRA na prototyp trakčného vozidlového transformátora navrhnutého spoločnosťou EVPÚ a.s.

Nová Dubnica a vyrobeného v spoločnosti ŽOS Vrútky a.s. Merania pokladáme za referenčné a vzhľadom k tomu, že tento typ transformátora sme metódou SFRA odmerali na Slovensku po prvý krát, pokladáme ich aj za prelomové v oblasti diagnostiky trakčných transformátorov.

Dňa 25. 11. 2011 sa uskutočnila koordinačná porada projektu, ktorej sa zúčastnil aj zástupca spoločnosti SSE a.s. Ing. František Pončka, vedúci odboru Diagnostika. Na porade bolo dohodnuté, že nám spoločnosť SSE daruje vyradený výkonový transformátor za účelom skúmania možných typov porúch vznikajúcich počas prevádzky transformátorov ako sú medzizávitové skraty, posuv vinutí v axiálnom a radiálnom smere, zhoršovanie izolačných vlastností a starnutie izolačného systému olejového transformátora. Transformátor bude podrobený referenčným diagnostickým meraniam: meranie ohmických odporov, meranie izolačných odporov, stratového činiteľa $\tan \delta$ a kapacity, meraniu SFRA charakteristík. Následne bude transformátor podrobený mechanickým poškodeniam charakterizujúcich jednotlivé typy porúch. Transformátor bude podrobený výpočtom pomocou metódy konečných prvkov, simulácii oteplenia vinutí, výpočtom zmien magnetického poľa a obvodu transformátora. Na porade bolo ďalej dohodnuté, že počas kalendárneho roka 2012 budeme merať výkonové transformátory podľa plánovaného vypínacieho programu. Stanovili sa pracovné úlohy, dohodol sa termín pre začiatok spracovania nameraných údajov z transformátorov tak, aby bolo možné postupne programovať databázu jednotlivých typov transformátorov a predikovať tak zhoršovanie celkového mechanického stavu vinutí a jadier transformátorov formou naprogramovania aplikácie pre rozpoznanie základných typov porúch. Tým by sme začali aj druhú etapu riešenia projektu. Zodpovedný riešiteľ prof. Ing. Ján Michalík, PhD. určil členov riešiteľského kolektívu, ktorý sa zúčastní budúcoročných konferencií na Slovensku a v zahraničí, tak aby bol naplnený plán výstupov merateľných ukazovateľov riešenia projektu. Taktiež sa začali pripravovať podklady pre usporiadanie konferencie DESAM 2012 – Diagnostika elektrických strojov a materiálov, konferencia sa uskutoční v dňoch 8. – 9. Február 2012 za účelom oboznámenia širokej odbornej verejnosti z priebežnými výsledkami dosiahnutými v oblasti diagnostiky elektrických strojov, ale aj s riešením projektu APVV-0703-10. Súčasťou tejto porady je aj príloha prezenčnej listiny.

2. Rozbor výsledkov riešenia vzhľadom na stanovené ciele

Pre podrobnejší rozbor riešenia prvej etapy projektu je v nasledujúcej tabuľke uvedený zoznam transformátorov podrobených meraniam a analýze metódou SFRA.

Tab. 1: Tabuľka odmeraných transformátorov za rok 2011.

Dátum merania	Miesto rozvodne	Označenie	Typ transformátora	Zapojenie	Menovité napätia [kV]	Menovitý výkon [MVA]	Rok výroby
30.05.11	Mokrad'	T-102	8ERH 33M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1991
14.06.11	Tepláreň Žilina	T-101	5BR 33N	YNyn0/d	110/23	40/40	1980
15.06.11	Lúčenec	T-102	8ERH 33M-8	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1985
20.06.11	Vrútky	T-101	8ERZH 33M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1986
21.06.11	Hnúšťa	T-102	TNARD 25000/110PNT	YNyn0/d5	110/23/6,3	25/25/8,3	1997

27.06.11	Teplička nad Váhom	T-103	ER 33M	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1978
28.06.11	Veľký krtíš	T-102	8ERH 33M-0	YNyn0/d1	110/23/6,3	40/40/12,5	1984
19.07.11	Banská Bystrica (Bánoš)	T-103	5ER 31M	Yy0/d	110/6,3/6,3	25/25/8	1970
21.07.11	Rimavská Sobota	T-102	5ER 33M	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1977
02.08.11	Rajec	T-101	5ER 31M	YNyn0/d	110/23/6,3	25/25/8	1977
04.08.11	Tepláreň Žilina	T-103	5ER 33M	YNyn/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1977
08.08.11	Tepláreň Martin	T-102	5ER 33M	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1977
11.08.11	Slovenská Lupča	T-101	5ER 29M	YNd1	110/6	16/16	1981
15.08.11	Závažná Poruba	T-102	8ERH 33M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1987
17.08.11	Vavrečka	T-101	TNARE 40000/110PNT	YNyn0/d5	110/23/6,3	40/40/12,5	2000
22.08.11	Dubnica nad Váhom	T-103	8ERH 31M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	25/25/8	1984
23.08.11	Detva	T-102	8ERH 31M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	25/25/8	1991
24.08.11	Handlová	T-101	ER 31M-0	YNyn0/d5	110/23/6,3	25/25/8	2001
19.09.11	Banská Bystrica (Bánoš)	T-101	ER 34M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	50/50/15,6	1982
04.10.11	Hričov	T-101	8ERH 31M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	25/25/8	1982
05.10.11	Liptovský Mikuláš	T-101	5ER 33M	Yy0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1971
17.10.11	Mokrad'	T-101	5ER 31M	Yy0/d	110/23/6,3	25/25/8	1971
19.10.11	Bytča	T-101	ER 33M	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1978
07.11.11	Žiar nad Hronom	T-102	5ER1M-TNARD	YNyn0/d5	110/23/6,3	25/25/8,3	1998
10.11.11	Kráľová Lehota	T-101	6ERH 31M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	25/25/8	1981
14.11.11	Žarnovica	T-101	8ERH 33M-0	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1985
16.11.11	Kysucké Nové Mesto	INA	RT40000-110	YNyn0/d	110/23/6,3	40/40/12,5	2006
21.11.11	Tepláreň Žilina	T-102	8ERH 33M-0	YNyn/d	110/23/6,3	40/40/12,5	1982
23.11.11	Považská Bystrica	T-101	TNARE 40000/110PNT	YNyn0/d5	110/23/6,3	40/40/12,5	2000
28.11.11	Martin Košúty	T-101	TNARE 40000/110PNT	YNyn0/d5	110/23/6,3	40/40/12,5	2002
30.11.11	Bytča	T-102	TP-8016 25	YNyn0/d1	110/23/6,3	25/25/8	1981
13.12.11	Vavrečka	T-102	8ERH 33M-0	YNyn0/d1	110/23/6,3	40/40/12,5	1984

Každý transformátor bol podrobený meraniam pomocou systému DOBLE M5100, taktiež diagnostickým meraniam: meranie izolačných odporov, meranie stratového činiteľa $\tan \delta$, meranie kapacity, meranie odporu vinutí ako aj meranie prevodu transformátora. Tieto merania boli uskutočnené zamestnancami odboru Diagnostiky spoločnosti SSE a.s. Výsledky z týchto meraní sú riešiteľom projektu k dispozícii za účelom podrobnejších rozborov v prípade odhalenia novej poruchy na transformátore pomocou metódy SFRA. Postup pri prvotných (referenčných) meraniach daných transformátorov pozostával najprv z meraní SFRA a potom z profylaktických diagnostických meraní. Dôvod, prečo sme merania SFRA uskutočňovali ako prvé, vychádza

z princípu činnosti meracieho zariadenia, kde musíme uvažovať pred meraním remanentný magnetizmus jadra transformátora z prevádzkovej činnosti. Tento magnetizmus je však ovplyvniteľný meraním izolačného odporu a za účelom opakovateľných meraní pre diagnostiku transformátora je vhodnejšie porovnávať výsledky takto meraných frekvenčných charakteristík. Toto je súčasťou metodiky merania transformátorov. Taktiež je potrebné daný transformátor merať pri rovnakej pozícii prepínača odbočiek, aby bola zabezpečená približne rovnaká celková impedancia obvodu transformátora. Tá sa môže zmeniť len v prípade zmeny polohy prepínača odbočiek (prípadne jeho poruchou) alebo poruchou v konštrukcii vinutia a jadra transformátora (medzizávitový skrat, posuv vinutia, atď.). Tieto faktory majú vplyv na celkovú impedanciu transformátora a vzhľadom k tomu je možné pomocou frekvenčných charakteristík SFRA odhaliť typ poruchy.

Nadobudnuté namerané výsledky frekvenčných charakteristík transformátorov uvedených v tab. 1, slúžia ako referenčné merania. Vzájomným porovnávaním charakteristík rovnakých typov transformátorov je vidieť, že tvar priebehov pre jednotlivé merania je podobný, avšak nie totožný (príloha č. 1 – protokoly z meraní transformátorov). Na základe tohto poznatku je potrebné pre naplnenie cieľa druhej etapy riešenia projektu uvažovať z približným stanovením typu poruchy pre daný typ transformátora a adekvátne merania (podľa tab. 2).

Tab. 2: Metodika merania transformátora pre zapojenie YNyn/d

1. Meranie naprázdno (Open Circuit Tests)								
kV			kV			kV terc. vinutie		
Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7		
1U – N	1V – N	1W – N	2u – n	2v – n	2w – n	3U1-3W2		
2. Meranie nakrátko (Short Circuit Tests)								
Skratované 2u – 2v – 2w			Skratované 1U – 1V – 1W			skratované		
Test 8	Test 9	Test 10	Test 11	Test12	Test13			
1U – N	1V – N	1W – N	2u – n	2v – n	2w – n			

Za účelom zisťovania typov porúch bude slúžiť vyradený funkčný distribučný transformátor od spoločnosti SSE a.s., pričom popis výskumu je opísaný v prvom bode správy pri zápise z koordinačnej porady.

Výskum zameraný na diagnostické merania trakčného transformátora metódou SFRA sa nám podarilo začať na prototype transformátora o výkone 4,9 MVA. Metodiku merania sme pre tento typ transformátora určili prvý krát. Správu z meraní uvádzame v prílohách pod názvom Protokol z merania prototypu trakčného transformátora TVT R361 metódou SFRA meracím systémom DOBLE M5100. V rámci týchto výskumných meraní boli publikované vedecké príspevky na viacerých konferenciách, o ktorých sa zmienime v nasledujúcom bode správy.

Ďalším výsledkom riešenia projektu je z hľadiska diagnostiky výkonových transformátorov aj odhalenie poruchy transformátora T101 v rozvodni Handlová analýzou frekvenčných charakteristík SFRA pomocou Cross korelačných koeficientov v programovom prostredí DOBLE a vzájomným porovnávaním výsledkov opakovaných profylaktických skúšok ako sú meranie izolačných odporov a kapacity transformátora. Na základe porovnávania nových a predchádzajúcich meraní sme dané výsledky vyhodnotili a dospeli k záveru, že v danom transformátore je vnútorná mechanická porucha indikujúca axiálny posuv vinutia, vzhľadom k porovnávaniu zmeny hodnôt kapacít medzi primárnym a terciálnym vinutím aj v pomere zmeny hodnôt izolačných odporov, ktorých hodnoty sú síce podľa normy v prevádzkových medziach, ale v porovnaní z hodnotami nameranými pri typových skúškach transformátora niekoľko násobne nižšie. Frekvenčné charakteristiky SFRA a ich analýza nám poukázali na odlišnosť priebehov medzi prvou a treťou fázou primárneho vinutia vo frekvenčnom pásme do 200 kHz (zmeny poukazujúce na posuv vinutia – medzizávitový skrat bol vylúčený meraním odporov vinutí), na základe ktorých sme odporučili transformátor vyradiť z prevádzky a podrobiť ho úplnej revízii. Spoločnosť SSE a.s. návrh akceptovala a začiatkom roku 2012 bude transformátor prevezený do opravovne transformátorov spoločnosti SSE a.s. Transformátor budeme za účelom ďalšieho výskumu a diagnostiky, správnej identifikácie poruchy z nameraných charakteristík sledovať priamo v opravovni a skúšobni SSE a.s. Výsledky z našej výskumnej správy sme zhrnuli aj do článku publikovaného na konferencii Transcomp 2011 (lit. [5]).

Počas mesiaca december sme sa zamerali na výskum a vyhodnocovanie SFRA charakteristík nameraných na 3-fázovom suchom transformátore Yyn o výkone 3000VA (jadrový typ), za účelom zisťovania vplyvu remanentného (zvyškového) magnetizmu na tvar priebehov. Tento transformátor bol dlhú dobu mimo prevádzky a jeho remanentný magnetizmus bol veľmi nízky. Zvyškový magnetizmus bol určený odmeraním magnetickej indukcie v priestore medzi vinutiami a jadrom pomocou Gaussmetra F.W. BELL 7010. Hodnota magnetickej indukcie bola 0,04319 mT. Následne bol transformátor pripojený na elektrickú sieť a zaťažovaný odporovou záťažou po dobu 2 hodín. Po tejto dobe bola hodnota magnetickej indukcie medzi vinutiami a jadrom 0,36 mT a zostala zachovaná až do druhého dňa, kedy sme uskutočnili opakované merania SFRA charakteristík. Výsledkom našich meraní je zistenie, že remanentný magnetizmus vplýva na tvar priebehov SFRA zmenou, ktorá v štandardných podmienkach pre analýzu charakteristík poukazuje na axiálny posuv vinutia (obr. 1). Preto je veľmi dôležité vedieť pred referenčným meraním či bol transformátor prevádzkovaný alebo nie. V prípade nového transformátora je potrebné podľa našich zistení odmerať SFRA charakteristiky až po skúškach naprázdno a nakrátko, z dôvodu uvažovania remanentného magnetizmu v jadre transformátora. Tým môžeme neskôr predísť zlej analýze priebehov po odstupe času prevádzky transformátora. To platí aj pre staršie transformátory, ktoré sú podrobené meraniu SFRA prvý raz a namerané priebehy pokladáme za referenčné. Nutnosť vedieť kedy bol transformátor naposledy

v prevádzke, prípadne ako dlho je odstavený je veľmi dôležité. Zabráni sa tým možnej zlej interpretácii nameraných výsledkov SFRA charakteristík. Naše výsledky z týchto meraní, ako aj závery budú náplňou pripravovaného odborného článku s názvom Vplyv magnetizácie jadra transformátora na meranie SFRA charakteristík. Tento článok bude zverejnený na konferencii DESAM 2012.

Zpráva o měření SFRA



Obr. 1. Meranie SFRA charakteristík transformátora Yyn, 3kVA, metodika naprázdno, fáza A – N, červený priebeh - prvotné meranie ($B = 0,04319$ mT), modrý priebeh – meranie po prevádzke transformátora ($B = 0,36$ mT).

3. Zoznam výstupov a prínosov za posledný rok

V rámci riešenia projektu boli počas roku 2011 publikované nasledujúce príspevky týkajúce sa diagnostických meraní výkonových transformátorov metódou SFRA:

- Publikácie z medzinárodnej konferencie Diagnostika 11:
 - [1] Brandt, M., Michalík, J., Kuchta, J.: Measurement of railway traction transformer using by SFRA method – part 1, Published by University of West Bohemia, ISBN 978-80-261-0020-1
 - [2] Brandt, M., Seewald, R., Sedlák, J., Faktorová, D.: Measurement and analysis of railway traction transformer using by SFRA method – part 2, Published by University of West Bohemia, ISBN 978-80-261-0020-1

- Publikácia z medzinárodného semináru CESDS 2011 – Central european school of doctoral study:
[3] Brandt, M., Michalík, J., Sedlák, J.: Analýza prototypu trakčného vozidlového transformátora metódou SFRA, EDIS ŽU, ISBN 978-80-554-0421-9
- Publikácia v online časopise ELECTROSCOPE (vybraný príspevok z konferencie Diagnostika 11):
[4] Brandt, M., Michalík, J., Seewald, R., Sedlák, J.: Measurement of railway traction transformer using by SFRA, ISSN 1802-4564
- Publikácia z konferencie TRANSCOMP 2011:
[5] Brandt, M., Michalík, J., Seewald, R., Sedlák, J.: Diagnostic measurements of 3-phase 25MVA transformer and their analysis. TransComp 2011, Computer Systems Aided Science, Industry and Transport, ISSN 1231-5478, Logistika 6(2011)

Počet priebežných protokolov z meraní transformátorov metódou SFRA odovzdaných spoločnosti SSE a.s. za účelom internej archivácie: 32

4. Upresnenie harmonogramu prác a cieľov na nasledujúci rok

V nasledujúcom kalendárnom roku 2012 budeme pokračovať v riešení projektu v nasledovných krokoch:

- merať transformátory metódou SFRA podľa vypínacieho plánu transformátorov stanoveného spoločnosťou SSE a.s., namerané výsledky budeme analyzovať a vzájomne porovnávať z výsledkami nameranými profylaktickými metódami.
- Transformátor, ktorý nám spoločnosť SSE a.s. daruje na začiatku kalendárneho roku 2012 na výskumné účely podrobíme podrobným diagnostickým meraniam, budeme robiť simulácie mechanických porúch a následne uskutočníme merania a analýzu SFRA charakteristík.
- Výskumné úlohy zameriame aj na oblasť sledovania vývoja plynov v transformátorovom oleji pomocou sondy Hydran M2 na transformátore v prevádzke, z ktorých vieme indikovať zhoršovanie izolačného stavu sústavy.
- Výskumné úlohy budú taktiež zamerané aj na merania prototypu trakčného vozidlového transformátora, ktorý bude možné sledovať po skúšobnej prevádzke rušňa. Tieto merania budú závisieť od plánu skúšok určeného spoločnosťou ŽOS Vrútky a.s.
- Počas celého kalendárneho roku budú členovia riešiteľského kolektívu pracovať na publicite projektu a jeho výsledky riešenia zverejnia na vedeckých konferenciách a v odborných časopisoch podľa naplánovaných výstupov.

Potvrdzujeme, že údaje uvedené v správe a jej prílohách sú pravdivé a úplné.

Zodpovedný riešiteľ

prof. Ing. Ján Michalík, PhD.

V Žiline 24.01.2012

Štatutárny zástupca príjemcu

prof. Ing. Tatiana Čorejová, PhD.

V Žiline 24.01.2012

.....
podpis zodpovedného riešiteľa

.....
podpis štatutárneho zástupcu príjemcu