

Meranie elektrických parametrov na transformátore 400/121/10,5 kV

Janiga Peter · Elektrotechnika

02.12.2013



Príspevok ukazuje výsledky synchronizovaného merania na transformátore prenosovej sústavy. Výsledky dávajú predstavu o reálnych hodnotách na svorkách transformátora pri rôznych prevádzkových stavoch. Nakoľko merania na transformátoroch prenosovej sústavy nie sú bežné, zobrazené výsledky sú cenné pre overovanie modelov transformátorov.

1. Úvod

Cieľom opisovaných meraní je poskytnúť informácie o reálnych hodnotách na transformátoroch prenosovej sústavy. Namerané hodnoty môžu byť použité na overenie existujúcich a nových matematických modelov. Merania ukazujú skutočné prevody pri jednotlivých odbočkách. Merania boli uskutočnené bez ale aj s pripojenou kompenzáciou na terciárnom vinutí. Merania sa uskutočnili na transformátore prenosovej sústavy SR. Transformátor bol pred meraním niekoľko dní odstavený. Merania boli realizované pre 3 stavy:

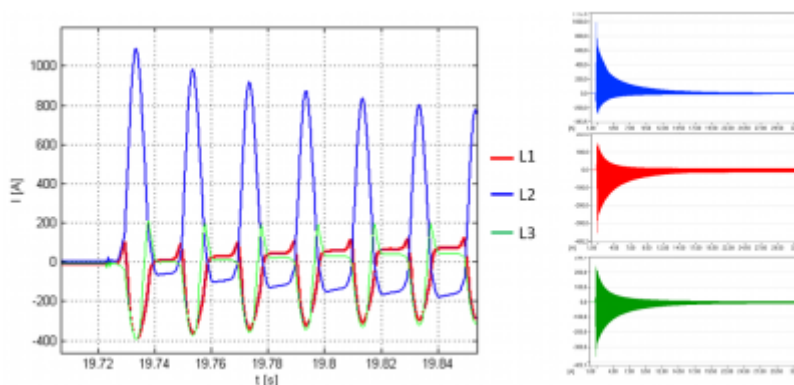
- transformátor v stave naprázdno
- transformátor napájaný zo 400 kV rozvodne, sekundár naprázdno a na terciári zapnutá 1 tlmivka 45 MVar
- transformátor napájaný zo 400 kV rozvodne, sekundár naprázdno a na terciári zapnuté 2 tlmivky 2 x 45 MVar

Parametre meraného výkonového transformátora:

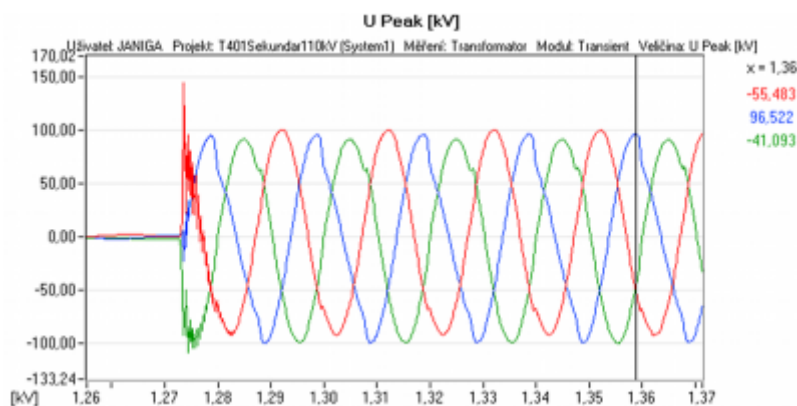
| | | | |
|----------------|------------------|-----------|------------------|
| U_{N1} | 400 kV | S_{N2} | 250 MVA |
| S_{N1} | 250 MVA | u_{k13} | 9,44 % (100 MVA) |
| u_{k12} | 9,9 % (250 MVA) | P_{k13} | 242 kW (100 MVA) |
| P_{k12} | 529 kW (250 MVA) | P_0 | 272 kW |
| i_0 | 0,56 % | U_{N3} | 10,5 kV |
| odbočky | ± 8 | S_{N3} | 100 MVA |
| krok | 1,32% | u_{k23} | 5,16 % (100 MVA) |
| U_{N2} | 121 kV | P_{k13} | 188 kW (100 MVA) |

2. Výsledky merania - pripojenie transformátora k sieti

Transformátor bol napájaný z hladiny 400 kV. Svorky sekundárneho a terciárneho vinutia boli rozpojené. Odbočky boli nastavené na pozíciu 14, t.j. na polohe -3 od nulovej polohy. Pripojenie transformátora spôsobilo prudový náraz v dôsledku nárazového sýtenia jadra transformátora. Hodnota prúdu pri nábehu dosahovala 1090 A, čo je viac ako trojnásobok menovitej hodnoty. Menovitá hodnota prúdu je 361 A.



Obr. 1 Časový priebeh prúdu na primárnej strane pri zapnutí transformátora



Obr. 2 Časový priebeh napätia na sekundárnej strane pri zapnutí transformátora

Na časovom priebehu napätia na sekundárnej strane je vidieť mierne prepätie. Prepätie trvá len veľmi krátko a neohrozuje funkčnosť zariadení.

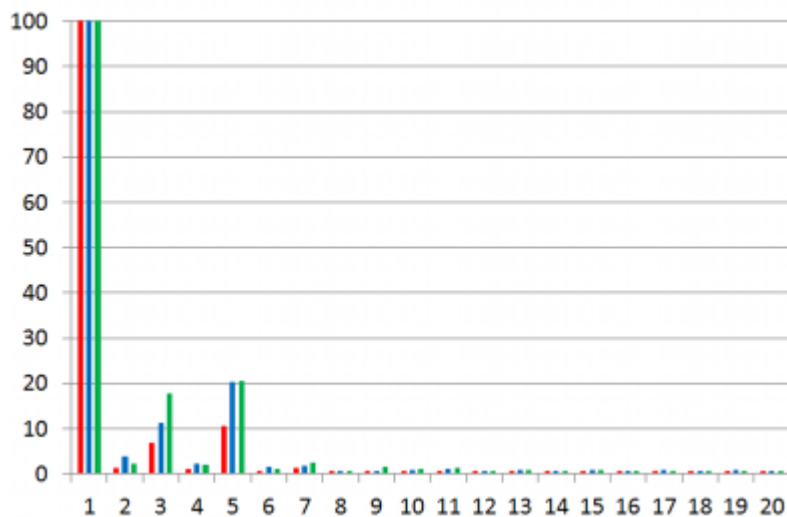
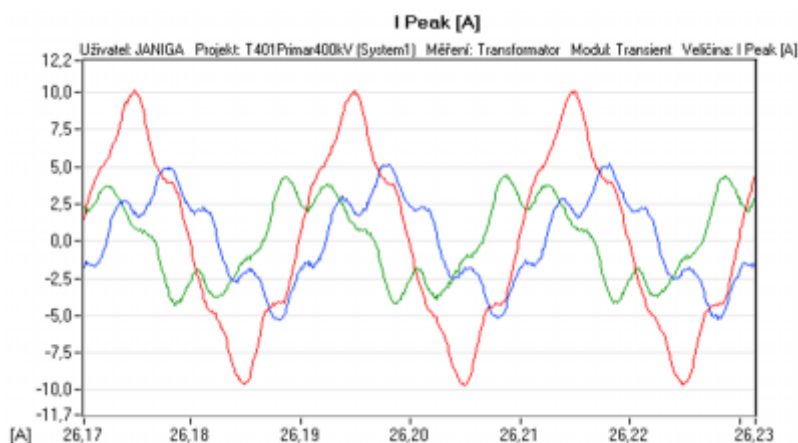
3. Výsledky merania - meranie v stave naprázdno

Meranie v stave naprázdno bolo napájané z hladiny 400 kV. Sekundárne a terciárne vinutia boli nezťažené a rozpojené. Počas merania sa prepínali odbočky v dovolenom rozsahu, tak aby nedochádzalo k výraznému prepätiu a nenarušila sa izolácia. Namerané hodnoty prúdov a napätí zobrazuje nasledujúca tabuľka.

| Odbočka | U ₁ [kV] | U ₂ [kV] | U ₃ [kV] | I ₁ [A] | P ₁ [MW] |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| 19 (-8) | 420,89 | 112,55 | 11,46 | 4,5 | 0,401 |
| 18 (-7) | 420,37 | 114,16 | 11,38 | 4,4 | 0,389 |
| 17 (-6) | 420,72 | 116,05 | 11,32 | 4,3 | 0,381 |
| 16 (-5) | 420,72 | 117,83 | 11,26 | 4,2 | 0,372 |
| 15 (-4) | 421,06 | 119,72 | 11,2 | 4 | 0,367 |

| | | | | | |
|-------------|--------|--------|-------|-----|-------|
| 14 (-3) | 420,37 | 121,26 | 11,12 | 4,2 | 0,357 |
| 13 (-2) | 420,2 | 122,85 | 11,04 | 4,2 | 0,348 |
| 12 (-1) | 419,85 | 124,47 | 10,98 | 4,2 | 0,34 |
| 9,10,11 (0) | 420,02 | 126,16 | 10,92 | 4,1 | 0,334 |
| 8 (+1) | 420,37 | 127,89 | 10,87 | 3,9 | 0,328 |
| 7 (+2) | 420,72 | 129,64 | 10,81 | 3,7 | 0,322 |
| 6 (+3) | 420,2 | 131,1 | 10,74 | 3,8 | 0,313 |

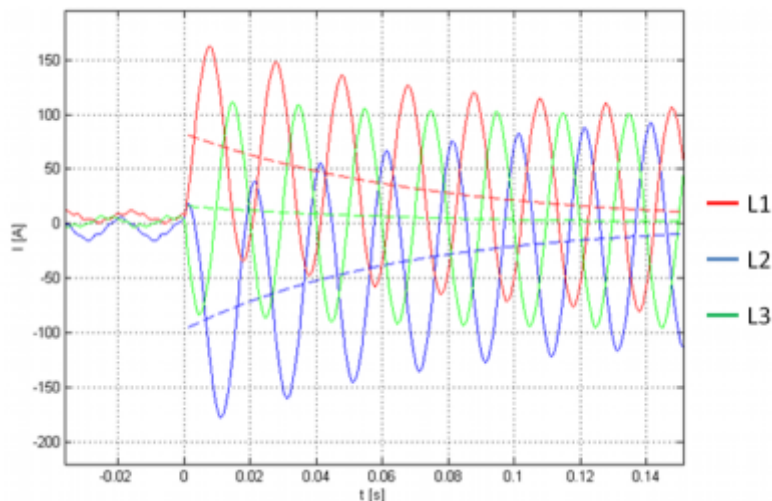
Priebehy prúdu nie sú symetrické, čo je spôsobené konštrukciou jadier transformátora. Magnetické toky jednotlivých fáz v transformátore sa navzájom ovplyvňujú. Ovpływňovanie a nesymetria je vidieť na nasledujúcich priebehoch prúdu.



Obr. 3 Časový priebeh a harmonická analýza prúdu na primárnej strane pri nezataženom transformátore

4. Výsledky merania - meranie s jednou zapojenou tlmivkou

Počas tohto merania bola na terciárne vinutie transformátora pripojená trojfázová tlmivka s menovitým výkonom 45 MVar. Rovnako ako pri predchádzajúcom meraní boli prepínané odbočky regulátora napätia autotransformátora.



Obr. 4 Časový priebeh prúdu na primárnej strane po pripojení tlmivky na terciárne vinutie

Nasledujúca tabuľka ukazuje hodnoty namerané na svorkách transformátora pri vybraných pozíciách odbočiek. Výber odbočiek, pri ktorých prebiehalo meranie bol zvolený na základe napätia na sekundárnom vinutí. Nebolo možné merania uskutočniť pri všetkých odbočkách z dôvodu hroziaceho prepätia.

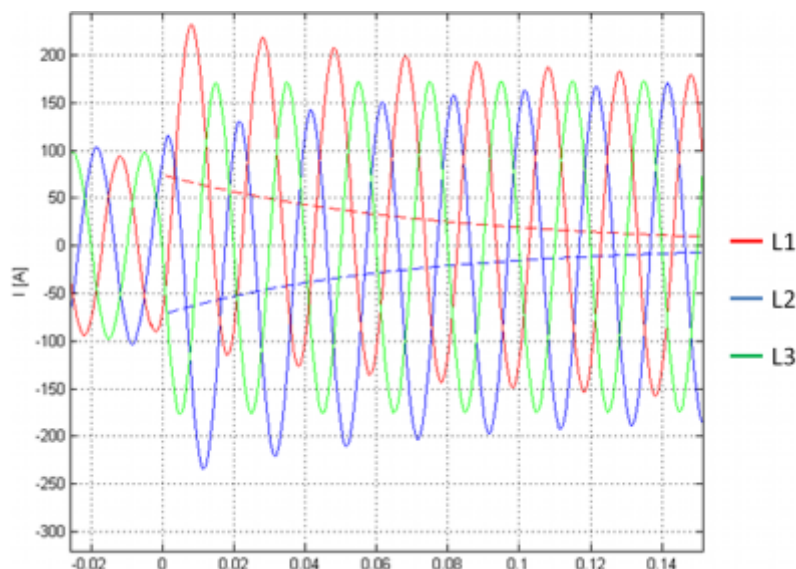
Tab. 2 Výsledky merania pre jednotlivé odbočky pri prevádzke s pripojenou tlmivkou 45 MVar

| Odbočka | U_1 [kV] | U_2 [kV] | U_3 [kV] | P_1 [MW] | Q_1 [MVar] | Q_3 [MVar] |
|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| 19 (-8) | 418,29 | 110,00 | 10,87 | 0,74 | 49,68 | 45,42 |
| 15 (-4) | 419,44 | 117,19 | 10,67 | 0,72 | 47,43 | 43,73 |
| 9,10,11 (0) | 419,39 | 123,83 | 10,44 | 0,69 | 45,10 | 41,86 |
| 4 (+5) | 419,21 | 131,75 | 10,17 | 0,61 | 42,51 | 39,70 |

Z dôvodu veľkosti sekundárneho napätia bolo možné meranie realizovať maximálne po odbočku č. 4, pri ktorej sekundárne napätie dosahovalo hodnotu 132 kV. Počas tohto merania bola výrazná nesymetria činného výkonu v jednotlivých fázach. Táto nesymetria môže byť spôsobená konštrukciou magnetického obvodu a vzájomným ovplyvňovaním fáz. Vplyv nesymetrie je viditeľný najmä pri málo činne zaťaženom transformátore.

5. Výsledky merania - meranie s dvomi zapojenými tlmivkami

Počas tohto merania boli na terciárne vinutie pripojené dve trojfázové tlmivky s celkovým výkonom 2 x 45 MVar. Transformátor bol rovnako ako pri predchádzajúcich meraniach napájaný z hladiny 400 kV na primárnom vinutí. Sekundárne vinutie bolo rozpojené.



Obr. 5 Časový priebeh prúdu na primárnej strane po pripojení dvoch tlmiviek na terciárne vinutie

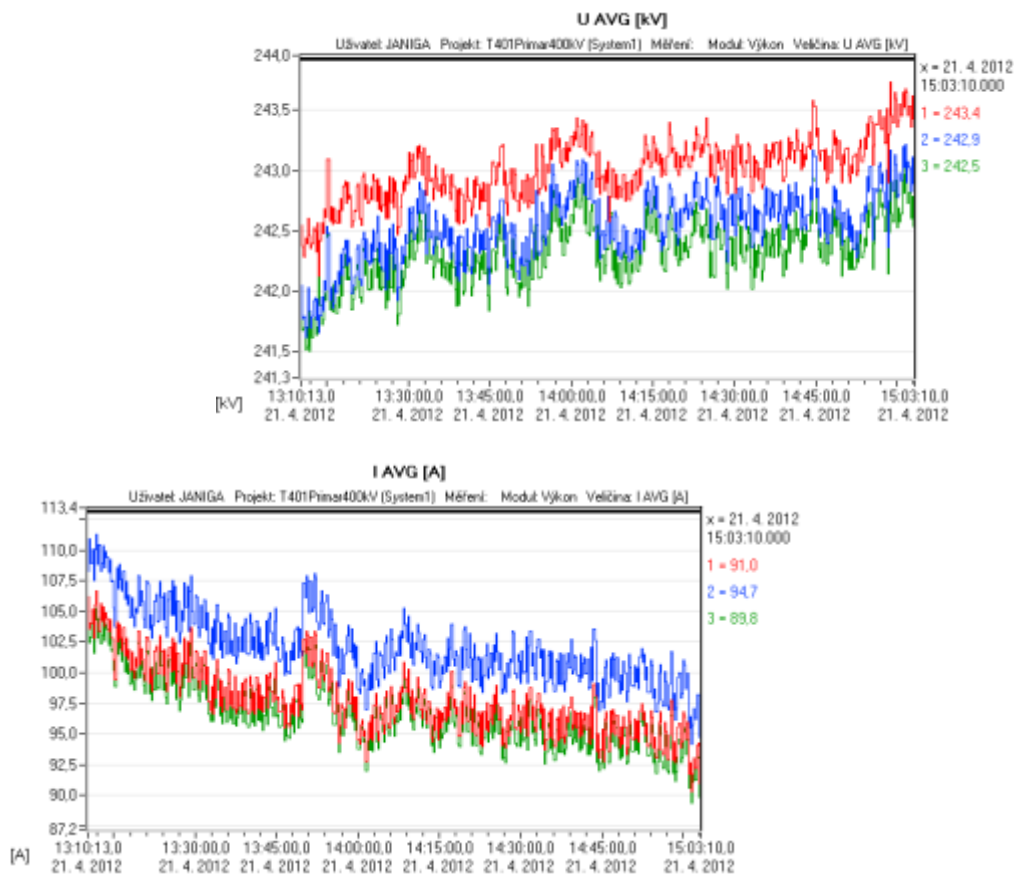
Tab. 3 Výsledky merania pre jednotlivé odbočky pri prevádzke s pripojenými tlmivkami 2 x 45 MVar

| Odbočka | U_1 [kV] | U_2 [kV] | U_3 [kV] | P_1 [MW] | Q_1 [MVar] | Q_3 [MVar] |
|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|
| 19 (-8) | 417,71 | 108,22 | 10,45 | 0,89 | 88,39 | 79,35 |
| 15 (-4) | 418,35 | 115,19 | 10,25 | 0,87 | 84,53 | 76,33 |
| 9,10,11 (0) | 418,69 | 121,82 | 10,05 | 0,86 | 80,80 | 73,15 |
| 6 (+3) | 418,23 | 126,45 | 9,89 | 0,81 | 77,99 | 70,97 |
| 3 (+6) | 418,17 | 131,04 | 9,74 | 0,75 | 75,45 | 68,87 |

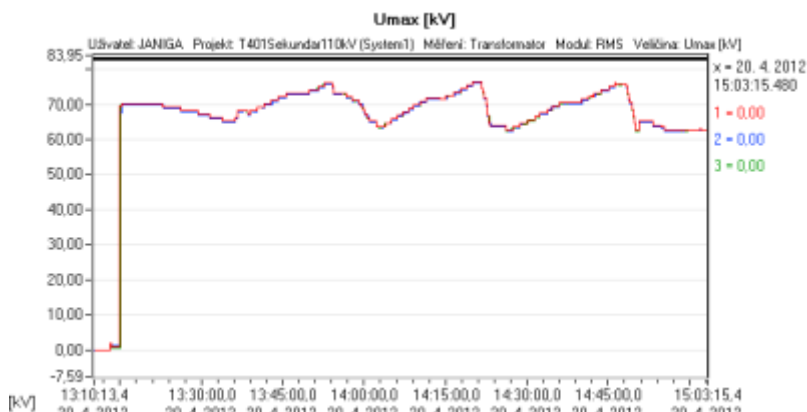
Počas merania s dvomi tlmivkami bol výsledný jalový výkon tlmiviek nižší. Tento jav zrejme spôsobilo vzájomné ovplyvňovanie magnetických polí oboch tlmiviek.

6. Záver

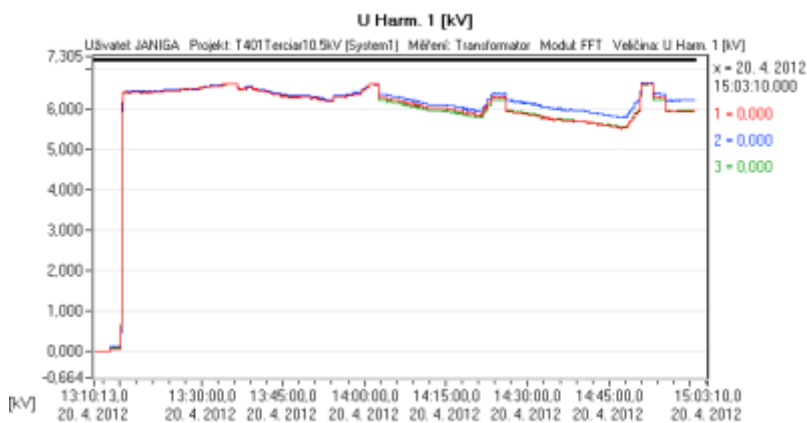
Cieľom merania bolo poskytnúť výsledky reálnych meraní na autotransfornátore prenosovej sústavy (transformátore s odbočkami). Výsledky slúžia pre overenie existujúcich a nových matematických modelov. Prepínanie odbočiek nespôsobovalo výrazné prechodné deje najmä z dôvodu malých krokov a teda malých zmien. Merania ukázali, že pripájanie tlmiviek má menší vplyv na napätie sekundárneho vinutia ako na napätie terciárneho vinutia. Zmena napätia na terciárnom vinutí spôsobovala taktiež zmenu výkonu na tlmivkách. Z toho vyplýva, že dodávaný jalový výkon sa mení v závislosti od nastavenej odbočky. Nastavená odbočka transformátora má taktiež vplyv na samotné straty transformátora a to nielen v prípade transformátora zaťaženého tlmivkou, keď sa mení prúd vplyvom zmeny terciárneho napätia, ale aj v prípade nezaťaženého transformátora.

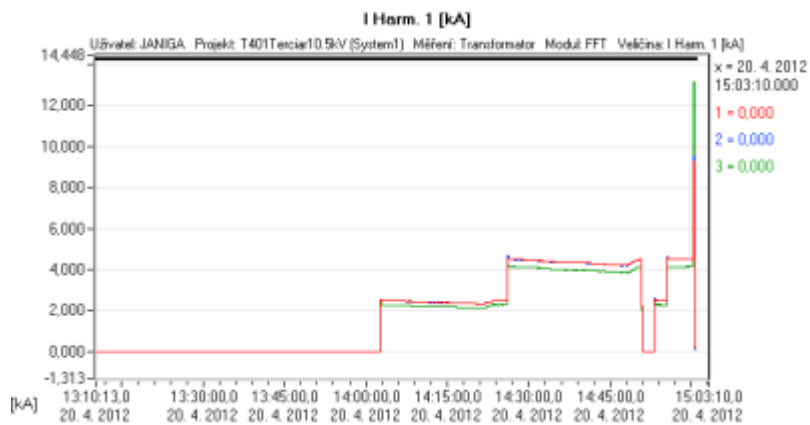


Obr. 6 Priebeh napätia a prúdu na primárnom vinutí počas celého merania



Obr. 7 Priebeh napätia na sekundárnom vinutí počas celého merania





Obr. 8 Priebeh napätia a prúdu na terciárnom vinutí počas celého merania

Podakovanie

Tento článok vznikol vďaka podpore v rámci Operačného programu Výskum a vývoj pre projekt “Zvyšovanie energetickej bezpečnosti SR” (ITMS: 26220220077), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

