

# DIAGNOSTICKÉ A MERACIE SYSTÉMY VÝKONOVÝCH TRANSFORMÁTOROV

## DIAGNOSTIC AND MEASURING SYSTEMS OF THE POWER TRANSFORMERS

Ján Michalík, Miroslav Gutten, Mariana Beňová, Daniel Koreňčiak  
*Katedra teoretickej a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta,  
 Žilinská univerzita v Žiline, Veľký diel, 010 26 Žilina*

**Abstrak** V tomto článku sú popísané diagnostické a meracie systémy určené pre komplexné výstupné skúšky výkonových transformátorov ako aj ich diagnostiku. Cieľom v tejto oblasti bolo rozpracovanie problematiky u tzv. otvoreného meracieho systému riadeného počítačom. Prívlastok "otvorený" tu znamená možnosť prispôsobiť systém pre rôzne elektrické zariadenia, rôzne merané veličiny a prispôbenie spôsobu sledovania, vyhodnotenia a distribúcie výstupnej informácie podľa konkrétnym požiadavkám kontrolovaného transformátora.

**Summary** In the article the diagnostic and measuring systems dedicated for complex output tests of power transformers as well as their diagnostic is described. The aim of research in this area was to elaborate the problem of so-called open loop measuring system controlled by PC. The attribute "open" means the possibility to adapt the system for different electric equipment, different measurands and an adaptation of the way of monitoring, evaluation and distribution of output information according to specific requirements the controlled transformer.

### 1. ÚVOD

Problematike diagnostických a meracích systémov sa venujeme asi 20 rokov, počas ktorých sme sa zamerali na činnosti zameranú na diagnostiku, meranie elektrických strojov a transformátorov.

Bol vyvinutý diagnostický prístroj na kontrolu medzizávitového skratu vo vinuti kotvy **jednosmerných strojov**, ktorý bol aplikovaný v ŽOS Vrútky. Neskôr bol vyhotovený prístroj na diagnostiku prítlaku kief na komutátor jednosmerných strojov.

Tieto skúsenosti sa zúročili pri vyvíjaní systémov zameraných na diagnostiku a meranie elektrických strojov, ktoré začali byť výhradne určené pre výrobcov **výkonových transformátorov** a pre firmy zaoberajúce sa ich opravami.

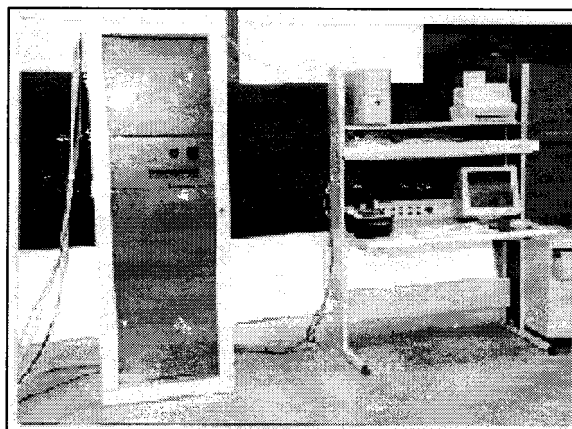
Takýto komplexný diagnostický systém je v iných krajinách bežne používaný, preto vznikla požiadavka vytvoriť podobný systém aj v Českej a Slovenskej republike. Diagnostika transformátorov sa tu doposiaľ vykonáva formou jednotlivých meraní, ktorých presnosť je ovplyvnená ľudským faktorom a v niektorých prípadoch aj nepresnosťou meracích prístrojov.

Boli vyvinuté diagnostické a meracie systémy transformátorov pre firmy a organizácie:

- ŽOS Vrútky, v r. 1992-93,
- STMEM Přeřov, v r. 1997-98,
- ZSE Bratislava, OTC Hlohovec, v r. 1999-2000,
- JČE České Budějovice, v r. 2001-02,
- SSE Žilina, OT Rimavská Sobota, v r. 2002.

V súčasnej dobe sa vyvíja návrh diagnostického systému aj pre Východoslovenskú energetiku a. s. Košice a monitorovací systém, ktorý by mohli vyu-

žívať organizácie zaoberajúce sa prevádzkou blokových transformátorov vvn/vn.



Obr.1. Pohľad na diagnostický a merací systém pre STMEM Přeřov

Fig.1. A view for diagnostic and measuring system for STMEM Přeřov

### 2. POPIS JEDNOTLIVÝCH SYSTÉMOV

Diagnostický a merací systém pre **ŽOS Vrútky** bol zameraný predovšetkým na meranie a diagnostiku vozidlových trakčných transformátorov ako aj na transformátory využívané železnicou.

Systém sa skladal z reléových a stýkačových ovládaní, ktoré ovládali chod zdrojových zariadení a prepínanie meracích prístrojov. Kvôli zložitosti odbočiek bol vyhotovený automatický odbočkový prepínač merania prevodu a odporov, ktorý urýchlil dobu uvedených meraní.

Prednosťou tohoto systému bolo využitie výpočtovej techniky pri meraní a spracovaní dát cez meraciu ústredňu. Výsledky meraní boli automaticky kontrolované pomocou databázy požadovaných paramet-

rov vytvorenej z predpisových údajov ČSD ŽPO 60/88.

Zásadnou zmenou v diagnostickom a meracom systéme transformátorov určenom pre **STEMEM Prerov** bolo podstatné využitie výpočtovej techniky. Všetky merania sa spracovávali cez meracie karty v PC a tie boli vyhodnocované v pascalovskom jazyku v systéme DOS. Všetky zdroje, meracie transformátory a ovládacie prvky sa nachádzali v jednom rozvádzači, čím sa výrazne ušetril priestor skúšobne (obr. 1). Navyše, programový systém ovládal pripojenie jednotlivých zariadení k meranému objektu, čím sa úplne zautomatizovalo ovládanie napájacích zariadení na požadované vstupné napätia príp. prúd.

Výraznou zmenou vo vývine systému bolo v r. 1999 začatie výskumu spolupráce PC s jednotlivými meracími skúšobnými prístrojmi a meracími analyzátormi cez RS232, príp. RS485. Tým sa výrazne merací systém dostal s presnosťou pod triedu presnosti 0,5, pretože sa využila zaručená vysoká presnosť od výrobcov meracích analyzátorov a jednosmerných zdrojov (trieda presnosti prúdu a napätia sa pohybuje okolo 0,1 %).

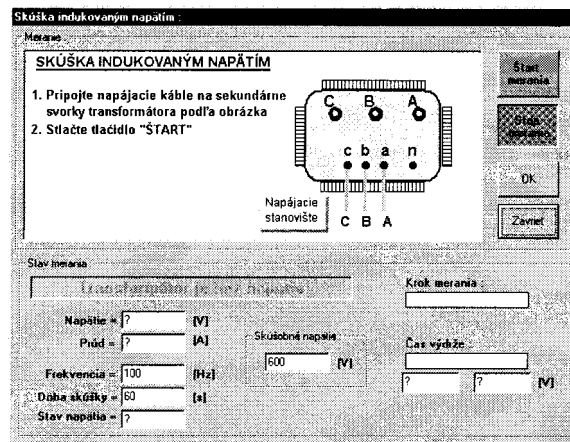
Ďalšou zásadnou zmenou tohto výskumu bolo rozpracovanie problematiky u tzv. **otvoreného meracieho systému** riadeného počítačom. Prívlastok otvorený tu znamená možnosť prispôbiť systém pre rôzne elektrické zariadenia, rôzne merané veličiny a prispôbenie spôsobu sledovania, vyhodnotenia a distribúcie výstupnej informácie podľa konkrétnym požiadavkám kontrolovaného transformátora.



Obr. 2. Pohľad na systém DST - 1 pre ZSE Hlohovec  
Fig. 2. A view for system DST - 1 for ZSE Hlohovec

Diagnostický systém transformátorov DST-1 pre **ZSE Bratislava - OTC Hlohovec** bol vyhotovený na pôvodnom systéme, ktorého základ tvoril ručné ovládanie zdrojov pomocou diaľkového ovládania stýkačovej automatiky. Elektrické veličiny boli odčítavané pomocou mechanických meracích prístrojov.

Nový systém DST (obr. 2) zmenil celkovú filozofiu starého systému tým, že je určený na automatickú diagnostiku a meranie transformátorov formou jednotlivých meraní. Systémový program dokáže ovládať cez A/D prevodník všetky elektroenergetické zariadenia na žiadané hodnoty prúdu alebo napätia podľa štítkových údajov transformátora v požadovanom časovom intervale (obr. 3).

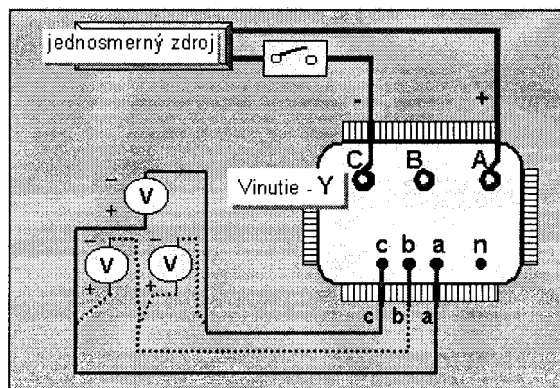


Obr. 3. Obrazovka dialógového okna "Skúška indukovaným napätím"

Fig. 3. Screen of dialog box "Induced voltage test"

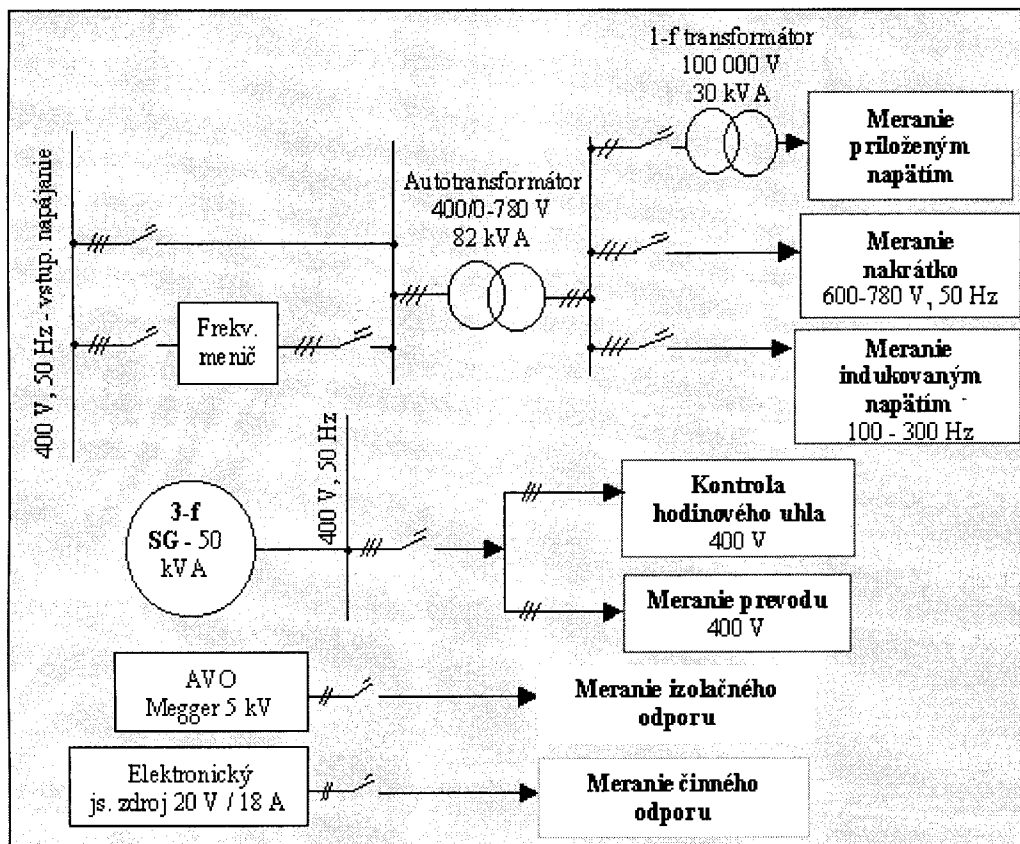
Program pre meranie a diagnostiku transformátorov v OTC Hlohovec pracuje v prostredí operačného systému **MS Windows 95/98**.

Ne všednou zaujímavosťou tohto systému je **kontrola hodinového uhla jednosmerným prúdom**, ktorá je netradičnou metódou v oblasti skúšania a merania na výkonových transformátoroch [3]. Kontrolu je možné realizovať súčasne pri meraní činného odporu vinutí výkonového transformátora (obr. 4).



Obr. 4. Zapojenie kombinácie voltmetra a vstupného zdroja na skúšaný transformátor

Fig. 4. Combination connection of voltmeter and input source for measured transformer



Obr. 5. Situačná schéma pripojenia zdrojovej časti k jednotlivým meraniam  
 Fig. 5. Location connecting diagram of source unit to individual measurements

Diagnostický systém transformátorov DST-CZ1 pre **JČE České Budějovice** je podobný ako v OTC Hlohovec. Navyše jeho prednosťou je v zálohovaní prevádzky skúšobne prepnutím otočného prepínača na meranie pôvodným systémom a skúška indukovaným napätím pri troch rôznych frekvenciách. Zvýšením frekvencie nad 100 Hz je možné danú skúšku časovo skrátiť zo 60 na 20 s.

Tento systém využíva pôvodné zdroje striedavého prúdu s frekvenciou 50 Hz, pričom softwarový program DST-CZ1 presne ovláda tieto zdroje na žiadané hodnoty prúdu alebo napätia.

Zdrojové pripojenia k jednotlivým meraniam popisuje obr. 5.

Diagnostický systém transformátorov DST-Komplet pre **SSE Žilina** je kompletne navrhovaný a dodávaný už od zdrojovej časti. V nej sa nachádzajú tieto zdrojové zariadenia:

- skúšobný 1-fáz. transformátor 30 kVA, 0,38/100 kV,
- 3-fáz. autotransfórátor 72 kVA, 50-800 V,
- prevodový transformátor 100 kVA, 500/1000 V,  $\pm 100$  V,
- frekvenčný menič 100 Hz.
- jednosmerný zdroj 20 V / 18 A.

Parametre elektrických zariadení boli volené vzhľadom na veľkosť maximálne možných mera-

ných transformátorov, t. j. s výkonom do 1600 kVA.

Súčasný programy pre meranie a diagnostiku transformátorov pracujú v najnovšom prostredí operačného systému **MS Windows XP**. Vytvorený program je členený do dvoch skupín meraní :

a) **odpory a izolačné skúšky**

- izolačný odpor,
- činné odpory vinutí,
- skúška priloženým napätím,
- skúška indukovaným napätím,

b) **merania striedavé**

- prevod napätia,
- kontrola zapojenia,
- meranie naprázdno,
- meranie nakrátko.

### 3. SÚČASNÉ ZAMERANIE VÝSKUMU

V súčasnej dobe je zameraná vedecká činnosť na vypracovanie metodiky pre zavedenie **monitorovacích systémov** do praxe. V zásade ide o skúšky aplikované na skúšanom zariadení s cieľom odhaliť slabé miesta v izolačnej sústave a stanoviť stupeň postupného znehodnocovania tejto sústavy ako celku.

V tejto oblasti sa výskum zameriava predovšetkým na netradičné formy monitorovania:

- sledovanie účinkov skratových prúdov na vinutiach výkonového transformátora [5],
- meranie harmonických zložiek napätia a prúdu v sústave a ich dopad na stav izolácie transformátora,
- zavedenie termovízie [9],
- využitie neurónových sietí do meracieho procesu [10].

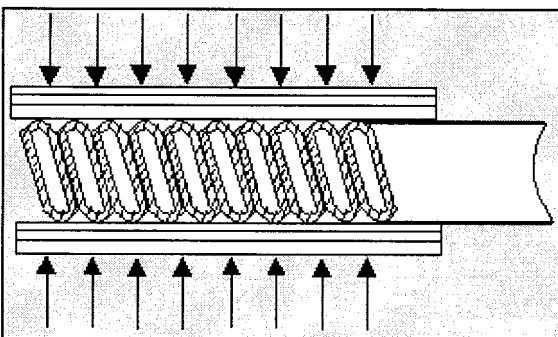
Podľa [6] je prezentovaný opis metodiky experimentálneho **diagnostikovania účinkov skratových prúdov**. Metóda je založená na spojení viacerých meraní, aby bolo možné určiť najdôveryhodnejší obraz o účinkoch skratových prúdov na vinutiach transformátora počas prevádzkového stavu:

- sledovanie kvality izolácie na jednotlivých fázach vinutí a ich porovnávanie,
- sledovanie časovej zmeny napätia nakrátko,
- meranie odporov vinutí.

Rozdielnosť stavu izolácie vinutí medzi fázami je dôležitým znakom, že na zhoršovaní izolačnej kvality sa podieľajú predovšetkým účinky skratových prúdov počas prevádzky. Meraniami sa ukázalo, že namáhania strednej fázy prevyšujú priemerne o 13 až 15 % namáhania krajných fáz.

Je potrebné poznamenať, že pôsobenie axiálnych síl má podľa [5] značný vplyv na kvalitu izolácie jednotlivých fáz (obr. 6).

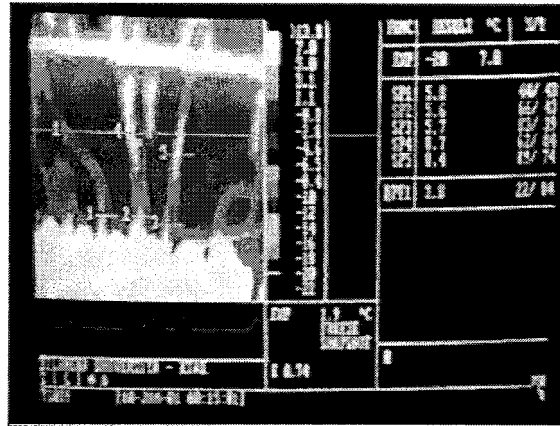
Obr. 6. Klopenie vodičov cievky pôsobením nadmerných



osových síl (vplyv na stlačenie izolácie).

Fig. 6. Pitching of coil conductors by action of the excessive axial strengths (effect to insulation compression)

**Termovizuálna metóda diagnostiky** transformátorov je vhodná pre prvotné zistenie teplotných anomálií pri ich prevádzke. Pri zistení závažných teplotných rozdielov (obr. 7) je potrebné použiť klasické diagnostické metódy, ale ktoré je možné aplikovať na transformátore v odstavenom režime.



Obr. 7. Termograf pripojenia priechodiek transformátora

Fig. 7. Thermograph of connecting of transformer bushing

V monitorovacích systémoch sa kladie dôraz na čo najdôveryhodnejšie merania a vyhodnotenie týchto veličín. Pri meraní **je potrebné zamedziť všetkým rušivým vplyvom**, ktoré v rozvodniach vvn vznikajú. Taktiež je vhodné zabezpečiť, aby každá zmena sieťovej premennej sa distribuovala k tým vyhodnocovacím uzlom, ktoré o zmene potrebujú byť informované.

K tomuto účelu je možné použiť **neurónovú sieť s technológiou LONWORKS**. Jediný druh informácie, ktorá sa prenáša v tejto sieti sú iba hodnoty sieťových premenných.

Technológiu LONWORKS podporuje široké spektrum prenosových médií, čo umožňuje priestor pre výskum optimalizácie prenosu z hľadiska:

- zamedzenia rušivých vplyvov pri meraní,
- priepustnosti kanálu pri minimálnej cene,
- čo najjednoduchšej inštalácii v blízkosti meraného transformátora.

Technológia LONWORKS poskytuje prakticky neobmedzený počet stupňov voľnosti a totálnu otvorenosť systému pre budúce rozširovanie. Napr. v budúcnosti ľubovoľný pridaný ďalší merací prvok môže využiť súčasne už realizované merania s existujúcimi zariadeniami

#### 4. ZÁVER

Vývoj diagnostického a meracieho systému transformátorov naznačuje trend vývoja s dobou, ktorá jednoznačne sa nezaobíde bez výpočtovej techniky.

Vďaka výpočtovej technike sa kladie vo výskume väčší dôraz na bezpečnosť obsluhy a elektrických zariadení, aby bolo možné minimalizovať nebezpečné následky pri meraní. Merania transformátorov sú jednoduchšie, komplexnejšie a vďaka vysokej presnosti systémov sú namerané hodnoty v súlade s požiadavkami noriem STN.

## LITERATÚRA

- [1] Michalík, J., Gutten, M., Beňová, M., Zahoranský, R.: Diagnostický systém transformátorov, Časopis EE, 6, 2000, č. 5, str. 11 - 13
- [2] Michalík, J., Gutten, M., Beňová, M.: Diagnostický systém transformátorov, Zborník prednášok III. Medzinárodnej konferencie: Nové smery v diagnostike a opravách elektrických strojov a zariadení, str. 65 - 68, ŽU Žilina, 2000
- [3] Michalík, J., Gutten, M., Beňová, M., Šimko, M., Šebök, M.: Kontrola hodinového uhla jednosmerným prúdom, Časopis EE, 7, 2001, č. 2, str. 26 - 27
- [4] Michalík, J., Gutten, M.: Prehľad diagnostických a meracích systémov transformátorov, Zborník prednášok IV. Medzinárodnej konferencie: Nové smery v diagnostike a opravách elektrických strojov a zariadení, str. 215 - 218, ŽU Žilina, 2002
- [5] Gutten, M.: Dimenzovanie elektrických zariadení v trakčnej transformovni vzhľadom na účinky skratových prúdov, Dizertačná práca, ŽU v Žiline 2002
- [6] Gutten, M., Michalík, J.: Metodika overovania účinkov skratových prúdov na vinutiach výkonových transformátorov, Časopis ADVANCES in Electrical and Electronic Engineering 1/2002, str. 28 - 32
- [7] Gutten, M., Beňová, M.: Ekonomický prínos technickej diagnostiky v údržbe distribučných transformátorov, XX. sešit katedry teoretické elektrotechniky, str. 39 - 41, odborný seminár, Ostrava 2002
- [8] Gutten, M., Beňová, M., Michalík, J. : Dva spôsoby kontroly hodinového uhla u výkonových transformátorov, ELEKTRO, odborný časopis pro elektrotechniku 13, 2003, č. 3, str. 4 - 6
- [9] Šimko, M., Gutten, M. : Diagnostika výkonových transformátorov pomocou termovízie, Mezinárodná konferencie: Technická diagnostika strojů a výrobních zařízení "DIAGO 2003", Ostrava 2/2003
- [10] Gutten, M., Korenčiak, D.: Utilization of neuron networks in monitoring system of power transformers, Transcom 2003, 5-th European Conference of Young Research and Science Workers in Transport and Telecommunications, Section 2, Žilina 2003