

Návrh online diagnostického systému

Martin Mužík, Pavel Trnka

Katedra technologií a měření

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

mmuzik@ket.zcu.cz, pavel@ket.zcu.cz

Proposal of an Online Diagnostic System

Abstract – This paper describes the possibilities which we have for monitoring of transformers. The basic information of diagnostic systems as offline or online are presented. The main point of this work is research of possibilities of the commercial sensors and systems for the online monitoring system and the proposal of a simple diagnostic system is created with respect to selected degradation factors.

Keywords – Ageing; DGA; Degradation factors; Electrical insulation system; Monitoring; Online diagnostic system

I. ÚVOD

Transformátory jsou již po dlouhou dobu hlavním spojením mezi jednotlivými místy rozvodné sítě a pro jejich neustálý provoz, a vzhledem k jejich důležitosti, je potřeba získávat nepřetržité informace o jejich stavu. K prvotnímu určení mezních hodnot parametrů a zatížitelnosti transformátorů na základě laboratorních výzkumů slouží offline diagnostika. Za využití těchto získaných údajů je možné připojit transformátor do provozu a zjišťovat vybrané hodnoty pomocí tzv. online diagnostického systému. Tento systém je schopný nás předem upozornit na závažnosti změn vybraných parametrů.

II. DIAGNOSTICKÉ SYSTÉMY

Diagnostika slouží k určení technického stavu předmětu, jeho provozuschopnosti či objevení poruchy, která by znamenala ukončení funkčnosti. Používá se soubor metod sledování signálů a měření jejich odezev. Tyto stavy objektů zkoumáme tzv. diagnostickými prostředky (senzory, měřící ústrojí, testery atd.) přičemž společně s diagnostickými algoritmy, programovým vybavením, matematickými modely a potřebnými zásahy obsluhy tvoří diagnostické systémy. [1], [2]

A. Offline diagnostika

Offline diagnostika se vyznačuje sledováním a měřením objektu, který je mimo provoz. Tuto diagnostiku provádíme pomocí testovacích signálů, snímáním jejich odezev a následným vyhodnocením. Offline zkoušky se poté zaměřují na jeden z vybraných faktorů transformátoru. Jedná se hlavně o stav izolace, která musí odolávat teplotám, mechanickému namáhání, vlhkosti, působení agresivních látek apod. Jde např. o měření činného odporu vinutí, izolačního odporu, ztrátového činitele $\tan \delta$ a provádí se také zkoušky oteplovací či zkoušky zjišťování stavu izolačního oleje atd. [1], [3]

B. Online diagnostika

Oproti předchozí jsou všechny diagnostiky online prováděny na stroji za provozu. Na zkoumaném objektu používáme poté monitorovací systém, který zkoumá a vyhodnocuje signály trvale či v určitých časových intervalech. Výsledky z těchto monitorovacích systémů jsou pomocí převodníků přeneseny po vybrané lince (klasické vedení, koaxiální kabel, bezdrátově aj.) do počítače, pro další zhodnocení potřebné obsluhy. Změřené hodnoty se dosazují do tzv. modelů, díky kterým lze vypočítat předpokládanou dobu životnosti dílčích elektroizolačních materiálů. Příkladem může být výpočet rychlosti stárnutí izolace, která je hlavním milníkem u zkoumání životnosti a provozuschopnosti transformátoru, se zabývá norma ČSN IEC 600076-7. Např. pro tepelně upravený papír, je možné vypočítat dobu životnosti dosazením do vztahu:

$$t = e^{\left(\frac{15000}{\theta_h + 273} - 28,082\right)} \approx 65000 \times e^{\left(\frac{15000}{\theta_h + 273} - \frac{15000}{110 + 273}\right)}, \quad (1)$$

kde θ_h je teplota hot-spot vinutí v °C. Další možné modely např. pro závislost elektrického pole na termodynamické teplotě je Simoniho model či Ramuův model. Pro zjišťování doby životnosti v závislosti na mechanickém namáhání nám slouží model Odinga, Decht'ara či Usipova. [3], [4]

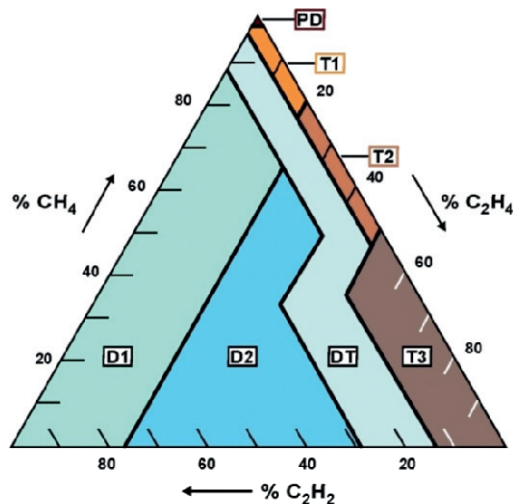
Degradační faktory jsou poté právě těmi sledovanými veličinami při zjišťování stavu elektroizolačního systému transformátoru. Faktory s největší výpovědní hodnotou jsou:

- plyny rozpuštěné v oleji
- obsah vlhkosti v oleji
- teplota. [3]

Z těchto faktorů lze brát jako nejdůležitější sledování teploty, která je primárním ukazatelem použitým pro zjištění životnosti stroje a je hlavním omezujícím parametrem pro zatěžování. Měření teploty provádíme horní a dolní části nádoby transformátoru, na vstupu a výstupu chladicího oběhu a přidáváme i měření teploty vinutí. To nám napomáhá zjistit tzv. hot-spot teplotu, která se nejčastěji objevuje právě v blízkosti vinutí v horní části. Tyto teploty měříme pomocí odporových čidel či v případě teploty vinutí pomocí optovláknových senzorů. [5]

Ke štěpení chemických vazeb a rozkladu oleje a celulózy přispívají všechny uvedené faktory a tyto změny se projevují na obsahu plynů a vlhkosti obsažených v elektroizolačním oleji. Pomocí procentuálního obsahu těchto plynů, jako jsou vodík, metan, etan, etylen, acetylen, propan, propylen atd., lze určit, zda vznikají poruchy v transformátoru, jako jsou elektrické oblouky, jiskření, částečné výboje či lokální přehřátí v určitých tepelných intervalech. Toto měření se provádí tzv. plynovou chromatografií ve zkratce DGA pracující na principu zjišťování elektromechanických senzorů.

Jako vizuální pomůcka určování těchto poruch nám může sloužit např. Duvalův trojúhelník, který lze použít pro minerální oleje při zjišťování obsahu etylenu C_2H_4 , metanu CH_4 a acetylenu C_2H_2 .



Obrázek I. Duválův trojúhelník –převzato z [6]

Nalezneme zde závěry určující chyby jako PD- částečné výboje, T1- teplotní závady pod 300 °C, T2- teplotní závady mezi 300- 700 °C, T3- teplotní závady nad 700 °C, D1- nízkoenergetické výboje (jiskření), D2- vysokoenergetické výboje (oblouk), DT- mix teplotních a elektrických závad. [3]

Vliv vlhkosti na izolační systémy se projeví ve zhoršení elektrických vlastností, jako je snížení povrchového odporu a tím pádem zvýšení rizika vzniku průrazu. Z důvodu kontaktu vlhkosti s olejem vznikají produkty jako kyseliny, které napadají pevnou izolaci za vzniku degradačních kyselin a vody. V důsledku vzniku vody vzniká ohrožení vlivem koroze vinutí, nádoby transformátoru a kovových konstrukčních částí. Analyzátoři vlhkosti pracují na principu tenkého polymerního filmu a kapacitního senzoru. [3]

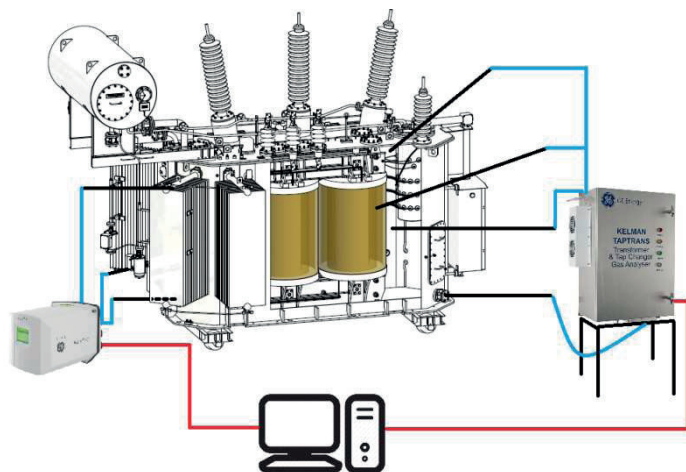
C. Návrh online diagnostického systému

Komplexní monitorovací systémy nabízí nespočet výrobců jako jsou LumaSense Technologies, GE Energy services nabízející systémy Hydran a Transfix, Taptrans atd., Morgan Schaffer se svými systémy Calisto, firma MTE se systémy Hydrocal a nebo Qualitrol Serveron. Jejich monitorovací systémy slouží k určení obsahu plynů pomocí DGA a obsahu vlhkosti v oleji a disponují i řešením měření teplot v částech nádoby i teplot vinutí (podle počtů vstupů).

Následující návrh byl sestaven pro transformátor, u kterého je zapotřebí měřit základní degradační faktory a to:

- teploty všech vrstev oleje, teploty vinutí a v hladícím oběhu
- analýzy plynů a
- analýzy vlhkosti.

Možné propojení systémů a umístění čidel je vidět na následujícím obrázku. Kde je využito systémů od firmy GE Energy services a to Hydranu M2 pro měření teplot na vstupu a výstupu chladicího oběhu a záložního měření obsahu vodíku v oleji a vlhkosti, připojeného nalevo na výpustní ventil nádoby. Pro měření teplot v horní, střední a dolní části nádoby, měření teploty vinutí a měření obsahu plynů a vlhkosti je použit Kelman Taptrans, umístěný napravo. Celý systém je propojen pomocí seriové linky RS 232 do výstupního počítače, kde je umístěn program pro zhodnocení výsledků a jejich zpracování.



Obrázek II. Umístění a připojení senzorů Hydran M2 a Kelman Taptrans [7], [8]

III. ZÁVĚR

Pro predikci doby životnosti transformátorů a popřípadě zjištění náhlých poruch v je potřeba se zaměřit na zjišťování stavu převážně elektroizolačního systému, který je ve velké míře ovlivňován tzv. degradačními faktory. Nejčastějšími degradačními faktory jsou teplota, obsah plynů a vlhkosti v oleji. K měření a k práci s výsledky slouží komplexní monitorovací systémy od světových výrobců. Představen byl i jednoduchý online diagnostický systém pro měření základních degradačních faktorů.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-001: Výzkum a vývoj elektronických a komunikačních systémů ve vědeckých a inženýrských aplikacích.

LITERATURA

- [1] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 8070432470.
- [2] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*, Praha: BEN technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
- [3] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [4] MENTLÍK, V. TRNKA, P.. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-412-5.
- [5] *LumaSense Technologies: LumaSHIELD Controller Installation Guide: Winding Temp. Sensors User Manual – Download* [online]. [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <http://www.manualsdir.com/manuals/363926/lumasense-technologies-lumashield>
- [6] *Stackoverflow: How to create Duval Triangle in canvas* [online]. [cit. 2018-02-1]. Dostupné z: <https://stackoverflow.com/questions/36456577/how-to-create-duval-triangle-in-canvas>
- [7] *Tmvss: Monitoring transformátorů* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.tmvss.cz/aplikace/energetika/monitoring-transformatoru>
- [8] *ZREW Transformatory: Výroba transformátorů: Stavba: Vinutí* [online]. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://zrew-transformatory.pl/cz/produkcja-transformatorow/>