

# Monitorování a lokalizace částečných výbojů v olejových transformátorech

Výskyt částečných výbojů v izolaci olejových transformátorů zásadním způsobem ovlivňuje jejich životnost. Příspěvek se zabývá metodikou detekce a lokalizace částečných výbojů vznikajících v izolaci olejového transformátoru. Pro on-line detekci částečných výbojů je využito jejich širokospektrálního elektromagnetického vyzařování, šíření uvnitř nádoby a jejich zachycení senzory v pásmu UHF. Metodika byla úspěšně odzkoušena v provozu blokových transformátorů 400 MVA, 400kV/15,75kV.

## Úvod

Základním diagnostickým indikátorem, který má podstatný vliv na bezporuchový chod transformátoru je stav izolačního systému. Izolační systém výkonových transformátorů je tvořen kombinací minerálního oleje a celulóзовého papíru, tedy materiálů, které jsou velmi citlivé na působení provozních degračních činitelů a jejichž stárnutí může značně ohrozit bezporuchový chod stroje. Při provozu transformátoru je tedy nutné zabývat se sledováním parametrů vypovídajících o stavu izolačního systému, ale i činitelů přispívajících k jeho degradaci. Jedním z nejdůležitějších parametrů indikujících stav hlavní izolace vinutí je výskyt částečných výbojů. Životnost transformátoru je limitována především životností papírové izolace, která je podstatně kratší než životnost ostatních konstrukčních dílů.

Částečné výboje vznikají v důsledku přítomnosti mikroskopických vzduchových dutinek nebo cizorodých nehomogenit v izolaci. V těchto dutinkách dochází působením elektrického pole k výbojům a tím i k ionizaci výplně. Elektrony a ionty narážejí vysokou energií na stěny dutinky a vyvolávají erozi povrchu. V důsledku toho se dutinka postupně zvětšuje až do okamžiku, kdy intenzita elektrického pole dosáhne průraznou pevnost izolačního materiálu. V tom okamžiku dojde k částečnému průrazu materiálu a vzniku úzkého kanálku, který dále může růst a rozvětlovat se – elektrický stromeček. Tímto mechanismem se jednak zhoršují izolační vlastnosti materiálu a zároveň dochází ke zvyšování výbojové aktivity. Pokud elektrický stromeček proroste až na vzdálenost mezi vodivými částmi s rozdílným potenciálem, dojde k tepelnému průrazu a destrukci izolace zařízení v daném místě.

Na elektrických zařízeních vn a vvn včetně výkonových transformátorů se jako jedna z metod diagnostiky používá měření částečných výbojů podle ČSN EN 60270 „Technika zkoušek vysokým napětím - Měření částečných výbojů“. Měření touto metodou se provádí na zařízení mimo provoz, odpojeném od sítě. Tato metoda je považována za velice věrohodnou. Nevýhodou je, že ji nelze uplatnit pro on-line diagnostiku za provozu stroje a její výsledky bývají, zvláště mimo zkušební laboratoře, více či méně ovlivněny rušením z provozovaných zařízení v blízkosti měřeného transformátoru a čistotou přiváděného zkušební napětí.

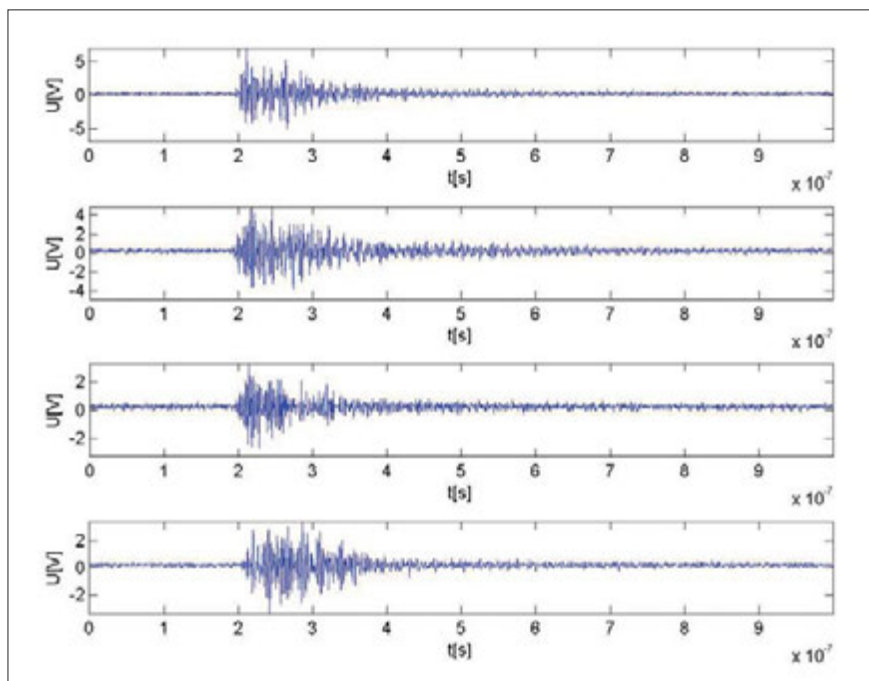
Pro kontinuální monitoring úrovně částečných výbojů za provozu stroje se používají snímací prvky připojené k diagnostickým konektorům vysokonapěťových průchodek. Tyto prvky, tvořící součást on-line monitorovacích systémů transformátorů, pracují v oblasti 0,5 až 5 MHz. Nevýhodou je silné ovlivnění užitečného signálu vnějším rušením



Obr. 1 – Snímací senzor a teflonové pouzdro v nádobě transformátoru



Obr. 2 – Snímací senzor zasunutý ve vypouštěcím ventilu nádoby transformátoru



Obr. 3 – Záznam signálu částečného výboje

především koronálními výboji na přivodním vedení a tím i snižena citlivost pro zachycení výbojové aktivity uvnitř transformátoru.

K detekci výbojů v transformátorech se též používají ultrazvukové detektory přikládané na nádobu, které detekují rázové tlakové vlny šířící se od

zdroje výbojů olejem na povrch nádoby. Jejich výhodou je použití on-line a možnost přibližné lokalizace zdroje částečných výbojů při použití dostatečného počtu senzorů. Nevýhodou je nízká citlivost u velkých transformátorů a nemožnost kalibrace, navíc je užitečný signál ovlivněn vysokou hladinou pozadí (vibrace, magnetostrické, rotující části čerpadel a ventilátorů).

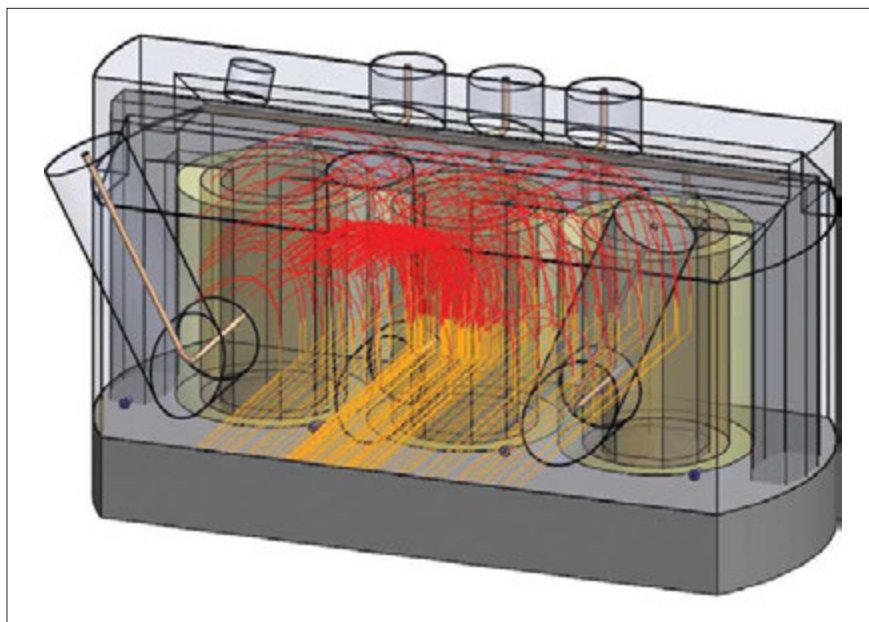
### DETEKCE A LOKALIZACE ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ UVNITŘ NÁDOBY TRANSFORMÁTORU

Detekce částečných výbojů v UHF pásmu (300 MHz až 3 GHz) má výhodu, že v tomto frekvenčním pásmu je příznivě nízká hladina rušení, protože vysokonapěťová zařízení v tomto pásmu rušení prakticky nevyzařují. UHF detekce částečných výbojů je používána v zapouzdřených rozvodnách s izolací SF<sub>6</sub>, kde se osvědčila její schopnost lokalizace místa výboje. Použití této metody pro detekci výbojů v transformátorech je komplikovanější než v zapouzdřených rozvodnách, ale s pokrokem technologie senzorů a zejména digitálního zpracování signálů bylo možné vyvinout metodiku a ověřit ji na zařízení, které je schopno nejenom indikovat úroveň signálů od výbojů, ale i provádět jejich lokalizaci v nádobě transformátoru.

Pro uplatnění uvedené metodiky je nutné umístit antény senzorů do „elektromagnetických oken“ vytvořených v nádobě transformátoru. Pro transformátor 400 MVA byla vyrobena čtyři teflonová pouzdra zasahující dovnitř nádoby. Pouzdra, do nichž se z vnějšku vkládají senzory (obr. 1), byla bezpečně utěsněna, aby nemohlo dojít k úniku transformátorového oleje. Popsanou nenáročnou úpravu nádoby transformátoru lze provést pouze v případě výroby nového transformátoru nebo opravy již provozované.

Pro případ, kdy nádoba transformátoru není vybavena příslušnými pouzdry, byl vyvinut senzor, který se do nádoby transformátoru zasunuje za provozu prostřednictvím vypouštěcího ventilu, viz obr. 2. Použití jednoho senzoru umožní detekci částečných výbojů uvnitř nádoby, nelze však lokalizovat jejich zdroj.

K ověření metodiky detekce a lokalizace částečných výbojů uvnitř nádoby transformátoru byla



Obr. 4 – Lokalizace zdroje signálu v nádobě transformátoru

vytvořena měřicí a vyhodnocovací aparatura sestávající ze senzorů, rychlého digitálního osciloskopu, příslušenství a SW k řízení měření, vyhodnocování dat a zobrazení výsledků. Celá aparatura je konstruována přísně podle zásad EMC a ověřena příslušnými zkouškami.

Senzor se skládá z kónické antény, zesilovače, atenuátoru s řízeným útlumem a stínícím krytem. Senzor je s měřicí aparaturou propojen dvojicí triaxiálních kabelů. Jeden kabel slouží k přenosu výstupního signálu a napájení senzoru, druhý k řízení útlumu atenuátoru.

Na obr. 3 je uveden příklad záznamu impulsu částečného výboje zaznamenaný všemi čtyřmi senzory. Na obrázku je patrné časové zpoždění příchodu signálu k jednotlivým senzorům.

Obr. 4 znázorňuje vypočtené geometrické místo vzniku signálu zdroje částečného výboje ve zjednodušeném axonometrickém zobrazení transformátoru.

### ZÁVĚR

Testy provedené na provozovaných blokových transformátorech 400 MVA, 400kV/15,75kV

jednoznačně prokázaly vhodnost využití vyvinuté metodiky pro on-line diagnostiku důležitých transformátorů za provozu. Diagnostické zařízení může být trvale připojeno k jednomu transformátoru, nebo může sloužit pro několik transformátorových jednotek a měření lze provádět periodicky.

### Poděkování

Příspěvek vychází z výsledků projektu výzkumu a vývoje FR-TI1/001, který byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

### Literatura

- [1] Kaška, Miloš – Fiala, Pavel: Detection of partial discharge inside of high voltage power transformer based on UHF sensors, sb. konference DESAM 2012, Papradno (SK), únor 2012.

Ing. Miloš Martin Kaška,  
TES s.r.o.

### Partial discharge detection and location inside oil transformers

Partial discharge occurrence inside oil transformer insulation has an essential influence on lifespan of transformers. The paper deals with methods of detection and locating of partial discharges arising in an oil transformer insulation. The on-line partial discharge detection is based on their broadscale electromagnetic radiation and propagation inside the transformer tank and their capturing via UHF sensors. The methods have been successfully tested during operation of 400 MVA, 400kV/15,75kV transformers.

### Мониторинг и локализация частичных разрядов в масляных трансформаторах

Появление частичных разрядов в изоляции масляных трансформаторов серьёзным образом влияет на их срок эксплуатации. В статье описана методика определения и локализации частичных разрядов, возникающих в изоляции масляных трансформаторов. Для постоянного наблюдения за частичными разрядами используется их широкополосное электромагнитическое излучение, расширение внутри ёмкости и его определение сенсорами в диапазоне UHF. Методика была с успехом опробована при эксплуатации трансформаторных блоков 400 MVA, 400kV/15,75kV.