

Juraj Kurimský

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

## Mapovanie degradácie izolácie vo vn vinutiach

**Abstrakt.** V príspevku je opísané mapovanie čiastkových výbojov vo vinutiach vn motorov. Boli sledované kvantitatívne parametre zdanlivého náboja počas doby života. Namerané výsledky boli štatisticky spracované a boli získané fázové rozloženia pre jednotlivé skúmané prípady. Je poukázané na súvislosť medzi technológiou výroby a zhoršovaním parametrov izolácie statorových tyčí.

**Abstract.** The mapping of partial discharge activity is described in the paper. Apparent charge quantities were studied during lifetime cycle. Acquired data has been statistically analyzed. Phase angle distribution of charge quantities has been recognized. The relation between production technology and stator rods degradation has been explored.

**Kľúčové slová:** čiastkový výboje, degradácia izolácie, diagnostika.  
**Keywords:** partial discharges, insulation degradation, diagnostics.

### Úvod

Asynchrónne stroje rôznych výkonov sú súčasťou mnohých technologických a priemyselných odvetví. Pravidelná údržba môže napomôcť k ich spoľahlivej a dlhodobej prevádzke. Obsah a rozsah údržby je v rôznych podmienkach rôzny. Pri dynamike starnutia majú svoj podiel rôzne činitele, spomeňme však spôsob prevádzky strojov a počet odpracovaných hodín, ktoré sú zvyčajne známe a ktoré vytvárajú pozadie pre analýzu životnosti týchto zariadení. Tam sú zahrnuté aj vplyv teploty, chemické a mechanické a ďalšie vplyvy.

Tepelná degradácia, prípadne navlhnutie izolačného materiálu sa diagnostikuje inou metodikou, ktorá je založená na analýze relaxačných prúdov, tzv. IRC analýza (z anglického názvu Isothermal Relaxation Current Analysis) [1].

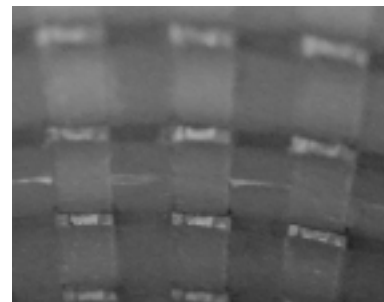
Pre určovanie zostarnutia izolačných systémov vn strojov je ďalším zo zodpovedajúcich faktorov výsledok analýzy čiastkových výbojov. Uvoľnenie statorových tyčí v drážkach zapríčiňujú celý rad vnútorných a poškodení izolačného systému. Čiastkové výboje vznikajú v rozširujúcich sa dutinách v objeme izolácie, na povrchoch s poškodenými polovodivými ochrannami a na čelách vinutí. Zavedenie meraní výbojovej činnosti v pravidelných intervaloch môže odhaliť niektoré dôležité problémy a poruchy, ktoré sa začínú v izolačných systémoch rozvíjať celkom nečakávane. Samozrejme, veľmi ťažko sa dajú vyvodit' aplikovateľné výstupy, ak analýza berie do úvahy údaje z jediného merania. Situácia sa však mení, keď sú k dispozícii iné, najlepšie pravidelne zhromažďované informácie o čiastkových výbojov na danom stroji. Pomôckou môžu byť aj merania na iných strojoch, ktoré sú rovnakého typu a sú prevádzkované za porovnateľných podmienok. Zmeny v stave izolačného systému sa prejavujú zmenami v obrazcoch čiastkových výbojov. Kritické zmeny sú určené z charakteristickej poruchy, ktorá je pozorovateľná na štruktúre obrazcov [2]. Pri určovaní trendu starnutia je spojitosť narušená previnutím motora a taktiež použitou technológiou. Ak je použitá nová resp. iná technológia, treba očakávať nový trend. V tomto prípade je použitie predchádzajúcich analýz obmedzené.

### Experiment

#### Testované objekty

Experiment bol vykonaný na izolačných systémoch šiestich identických vn motoroch. Stroje pracovali pri rovnakých podmienkach zaťažovania, mali rozličný počet odpracovaných hodín. Stroje sú označené ako S0, až S5.

Základom izolačného systému boli materiály sľuda a epoxid, ktorý je zaradený do tepelnej triedy F. Detail statorového vinutia je na obrázku 1.



Obr. 1 Schéma meracieho obvodu čiastkových výbojov

Vinutia boli vzájomne prepojené do trojuholníkovej konfigurácie. Pri analýze boli známe údaje dobe prevádzky a v rámci testovania boli uchovávané informácie o aktivite čiastkových výbojov. V tabuľke 1 je sumár známych poznatkov o dobe prevádzky. Keďže bolo zistené, že stroje boli vyrobené dvomi rôznymi technológiami, táto skutočnosť je zachytená v treťom stĺpci tabuľky.

Tabuľka 1  
Doba prevádzky a produkčné technológie vinutí

Označenie	Odpracovaná doba (mesiace)	Spôsob previnutia
S0	88	?
S1	0	2
S2	24	2
S3	40	2
S4	88	1
S5	32	2

#### Merania a analýza

Merania boli vykonávané off-line, t.j. stroje boli v čase merania odstavené z prevádzky, ich teplota sa zhodovala s teplotou okolia. Konce vinutí boli vzájomne vodivo prepojené, takže navonok sa tento zložitý izolačný systém prejavoval ako jeden objekt. Izolácia bola namáhaná striedavé napätím 0 až 5 kV. Napätie bolo zvyšované a čiastkové výboje boli zaznamenané pri tzv. počiatčom napätí a potom pri nominálnom napätí. Analógový signál

čiasťkových výbojov bol digitalizovaný a ukladaný pre následné analýzy.

Čiasťkové výboje môžu byť reprezentované: veľkosťou zdanlivého náboja, počiatočným napätím a fázovým uhlom v rozsahu jednej periódy testovacieho napätia. Hlavným cieľom analýzy aktivity čiasťkových výbojov je zistiť poruchy v izolácii, ktoré sú zapríčinené vnútornými výbojmi v dutinách alebo výbojmi po povrchu, korónou a tzv. stromčekmi. Pri detekcii čiasťkových výbojov je možné uvažovať nasledujúce zdroje výbojov:

1. korónové výboje, ktoré sa vyskytujú pri ostrých hranách elektród v plynných a kvapalných látkach;
2. povrchové výboje v plynoch alebo v oleji, ktoré sa vyskytujú v prípade vysokých intenzít elektrického poľa s orientáciou paralelne s povrchom;
3. vnútorné výboje v plynom vyplnených dutinách;
4. výboje spôsobené rastom elektrických stromčekov v izolácii;
5. výboje spôsobené prenosom náboja vznášajúcimi sa časticami;
6. výboje spôsobené uvoľnenými spojmi alebo zlými spojmi uzemnenia; Požiadavky na meranie jednosmerných charakteristík.

**Namerané výsledky**

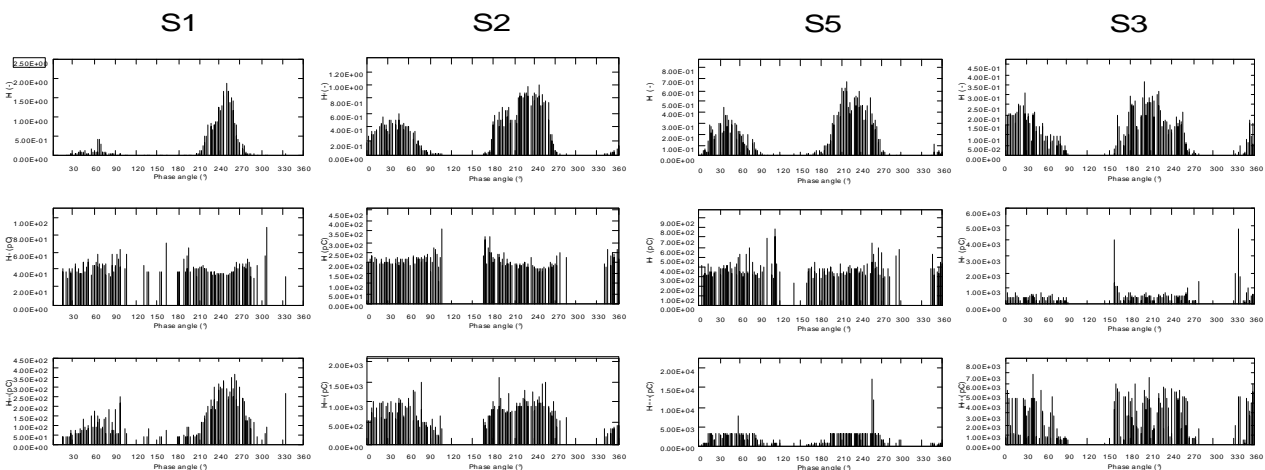
*Mapovanie degradácie*

Technika sledovania degradácie izolácií počas urýchleného starnutia je popísaná a diskutovaná napr. v [3,4]. Čiasťčne bola táto technika aplikovaná aj v tejto prípadovej štúdií. Bol zaznamenaný proces degradácie strojov vyrobených alebo prevínutých technológiou 2, porovnaj s tabuľkou 1.

Detekcia čiasťkových výbojov poukazuje na ich prítomnosť a veľkosť. Signály boli spracovávané vo frekvenčnej oblasti 250 kHz. Digitalizované údaje boli transformované do fázových rozložení. Boli získané digitálne záznamy pre štyri stavy životného cyklu tohto typu. Nový systém, reprezentovaný S0, systém S2 po 24 mesiacoch prevádzky, ďalej S5 po 32 mesiacoch a nakoniec M3 po 48 mesiacoch prevádzky. Fázová analýza týchto stavov je prezentovaná na obrázku 2.

Na proces starnutia má rozvoj čiasťkových výbojov podstatný vplyv. Maximálna (Qmax) a stredná (Qmean) hodnota zdanlivého náboja je v tabuľkovom zápise v tabuľke 2. Výsledky poukazujú na to, že závislosť nie je jednoduché zvyšovanie hodnôt náboja s časom, ako by sa mohlo mylné predpokladať. Je to iba čiasťkový výsledok, ktorý vyplýva z porovnania hodnôt Qmax and Qmean. Vývoj priemerných hodnôt výbojového prúdu I (µA) sú v poslednom stĺpci.

Viac komplexný pohľad na postupujúcu degradáciu je



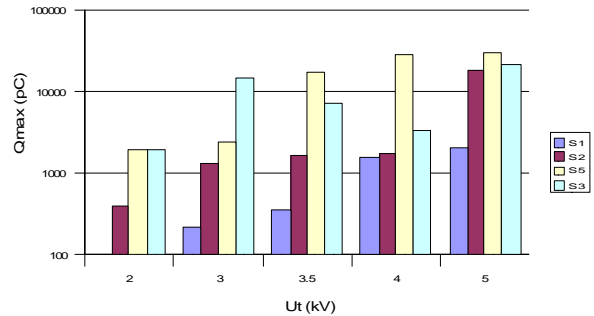
Obr. 2 Štatistické rozloženia čiasťkových výbojov na vybraných objektoch

možný zo sledovania jednotlivých systémov pri viacerých hladinách testovacích napätí. Hodnoty Qmax a Qmean pri rôznych hodnotách testovacieho napätia sú na obr. 3. Testovacie napätie sa mení od 2 kVdo 5 kV.

Tabuľka 2  
Mapovanie degradácie izolačného systému

Označenie	Opracovaná doba (mesiace)	Qmax (nC)	Qmean (pC)	I (µA)
S1	0	0,36	24,94	0,10
S2	24	1,64	138,88	0,74
S5	32	17,24	266,45	0,85
S3	40	6,86	391,11	0,61

Viac komplexný pohľad na postupujúcu degradáciu je možný zo sledovania jednotlivých systémov pri viacerých hladinách testovacích napätí. Hodnoty Qmax pri rôznych hodnotách testovacieho napätia sú na obr. 3. Testovacie napätie sa mení od 2 kVdo 5 kV.



Obr. 3 Rozvoj zdanlivého náboja pri zvyšovaní testovacieho napätia na sledovaných objektoch

*Štatistické momenty*

Pre analýzu dát z meraní čiasťkových výbojov boli použité štatistické momenty. Tretí a štvrtý moment reprezentujú tvar získaných rozložení. Šikmosť je závislá na asymetrii rozloženia okolo strednej hodnoty. Špicatosť je reprezentovaná koncentráciou hodnôt okolo strednej hodnoty. Strmosť rozloženia zdanlivého náboja je údaj efektívny pri diskriminácii druhu čiasťkových výbojov. Špicatosť môže poukázať na prítomnosť dutín v izolačnom systéme alebo na tvorbu stromčekov.

Ako príklad použitia štatistických momentov je uvedené

porovnanie údajov dvoch izolačných systémov, vyrobených rozličnými technológiami, ktoré boli namáhané rovnaký čas a v rovnakých podmienkach, porov. tab. 2.

Tabuľka 2  
Štatistické momenty fázových rozložení pre dva testované objekty

Označenie	S00	S04
K, $H_{qmean+}$	-1.59	-1.63
K, $H_{qmean-}$	0.90	-0.81
S, $H_{qmean+}$	-0.01	-0.50
S, $H_{qmean-}$	0.52	-0.67
K, $H_{qmax+}$	-1.74	-0.38
K, $H_{qmax-}$	-1.72	-0.81
S, $H_{qmax+}$	0.13	0.57
S, $H_{qmax-}$	0.07	0.33

### Diskusia a záver

Fázová analýza čiastkových výbojov nového systému S01 poukazuje na prítomnosť dutín. Amplitúda je nízka. Systém S2 má po 24 mesiacoch prevádzky znateľne poškodenú polovodivú ochranu. Systém po 40 mesiacoch prevádzky, označený ako S3, vykazuje intenzívnu aktivitu čiastkových výbojov v dutinách a nepravidelné výboje v drážkach statora. V tomto prípade je v drážkach značne poškodená polovodivá ochrana. Aktivita čiastkových výbojov v systéme S4 je nízka. Naproti tomu v systéme S5 sú detekované povrchové výboje už po 32 mesiacoch prevádzky a nepravidelné výboje v drážkach statora. To predstavuje rozvinutú degradáciu povrchovej ochrany v drážkach.

Analýza čiastkových výbojov vo fázovej doméne poskytuje široký rozsah parametrov a vzťahov týkajúcich sa degradácie izolačného systému. Manažment životného cyklu zariadení môže využiť pre čiastkové rozhodnutia výstupy z pravidelných diagnostických meraní. Digitalizované údaje sa môžu použiť pre automatické sledovanie stavu degradácie. Podrobnejší pohľad do procesu starnutia môže získaný kombináciou s ďalšími metódami, napríklad s tzv. IRC analýzou. Tieto metódy poskytujú účinný a nedeštruktívny spôsob pri posudzovaní procesu degradácie polymerických izolačných systémov.

### Literatúra

- [1] Cimbala, R. Starnutie vysokonapäťových izolačných systémov, Technická univerzita v Košiciach, (2007), str. 140-160. ISBN 978-80-8073-904-1
- [2] Zališ K., Částečné výboje v izolačných systémoch elektrických strojů, Academia. ISBN 80-200-1358-X
- [3] Gulski E., Digital Analysis of Partial Discharges, In IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5., October 1995, 822-837
- [4] Gulski E., Krivda A., Influence of Aging on Classification of Partial Discharges in High Voltage Components, In IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, 1995, 676-684
- [5] Tanaka T., PD Pulse Distribution Patter Analysis, In Proceedings of International Conference on Partial Discharges, University of Kent in Canterbury, 1993, 31-34

### Podakovanie

Táto práca vznikla za podpory vedeckej grantovej agentúry ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied v rámci projektu APVV 20-006005 a VEGA 1/0368/09.

### Autor:

Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [juraj.kurimsky@tuke.sk](mailto:juraj.kurimsky@tuke.sk)