

Iraida Kolcunová, Juraj Kurimský, Milan Kvakovský

Meranie povrchových výbojov na vn cievke točivého stroja

Abstrakt

Jednou z diagnostických metód, poukazujúcich na kvalitu izolačného systému statorových vinutí elektrických strojov točivých je metóda merania čiastkových výbojov. Pri meraní elektrických strojov v prevádzke získavame tak zvané fázové rozloženia čiastkových výbojov a hodnoty zdanlivého náboja, podľa ktorých je potrebné ohodnotiť kvalitu skúšaného zariadenia. V laboratórnych podmienkach sa vykonávajú merania čiastkových výbojov na modeloch statorových vinutí s rôznymi poruchami izolačného systému za účelom správneho ohodnotenia kvality izolačného systému. V článku je poukázané na vplyv bodu pripojenia zemného potenciálu na časti cievky s vodivou ochranou na vznik výbojov po povrchu izolácie cievky rozvíjajúcich sa od konca vodivej ochrany.

ÚVOD

Najdôležitejšou súčasťou elektrizačnej sústavy sú generátory, ktoré vyrábajú elektrickú energiu v rozmedzí napätových hladín od 3,15 kV do 15,75 kV. Vyrobená elektrická energia o napätí VN sa transformuje na napätí VVN do siete, ktorou sa zabezpečuje prenos na veľké vzdialenosti [1].

Aby dodávka elektrickej energie bola spoľahlivá je potrebné okrem iného obmedziť poruchy, ktoré vznikajú na samotnom generátore. S narastajúcimi výkonmi v elektrizačných sústavách sú aj väčšie nároky na elektrické stroje v nej pracujúcich. To zvyšuje požiadavky na kvalitu a životnosť izolácie, ktorá závisí od prevádzkových podmienok a od technológie výroby [2,3]. K najviac namáhaným častiam generátora patrí statorová izolácia. Počas prevádzky je vystavená nielen elektrickému namáhaniu, ale taktiež mechanickému, tepelnému a chemickému namáhaniu. Tieto degradačné vplyvy spôsobujú zhoršenie elektrických aj mechanických vlastností izolácie až poruchu zariadenia a výpadok stroja z prevádzky. Aby sa predchádzalo týmto havarijným stavom, je potrebné obmedziť degradačné vplyvy na izoláciu a sledovať zmeny izolačného stavu v pravidelných intervaloch.

Pravidelná údržba generátorov a diagnostické merania môžu napomôcť predchádzať poruchám a predĺžiť životnosť strojov.

I. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Meranie čiastkových výbojov v izolácii statorových vinutí elektrických strojov je jednou z diagnostických metód, poukazujúcich na kvalitu izolačného systému. Modelovaním porúch izolačného systému a meraniami v laboratórnych podmienkach je možné získať fázové rozloženia výbojovej činnosti, ktoré napomôžu odhaleniu porúch v prevádzke.

Aby výsledky meraní boli dôveryhodne je potrebné dokonale poznať skúmaný objekt, miesta vzniku výbojovej činnosti a správne namodelovať poruchový dej. V prípade statorovej izolácie môžu sa objaviť ako vnútorné, tak aj vonkajšie čiastkové výboje. K vonkajším výbojom patria výboje pri výstupe cievky z drážky a výboje v drážke statora. V prevádzke často tieto výboje sa objavujú súčasne.

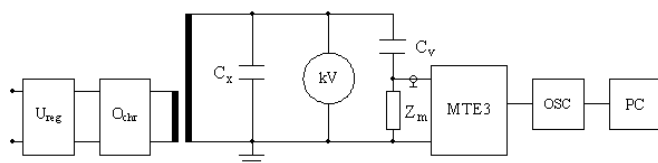
Na skúmanie rozvoja čiastkových výbojov rozvíjajúcich sa pri výstupe cievky z drážky bola použitá novonavinutá 6 kV statorová cievka s nanesenou vodivou ochranou na tu časť cievky, ktorá sa vkladá do drážky statora. Na zabránenie vzniku výbojov v drážke cievka sa neumiestnila do drážky statora a bola zavesená na izolačnom lane (pozri obr.1). Konce vinutia sa prepojili a sa uviedli na vysokonapäťový potenciál. Zemný potenciál sa privádzal do bodu prepojenia dvoch strán cievky s vodivou ochranou. Bolo odskúšané päť rôznych zapojení uzemnenia. Miesto uzemnenia sa menilo nasledovne:

- na konci vodivej ochrany (najďalej od vysokonapäťovej elektródy),
- 3,5 cm od konca vodivej ochrany (najďalej od vysokonapäťovej elektródy),
- v strednej časti vodivej ochrany (pozri obr.1),
- 3,5 cm od konca vodivej ochrany (bližšie k vysokonapäťovej elektróde),
- na konci vodivej ochrany (bližšie k vysokonapäťovej elektróde).



Obr.1. Umiestnenie skúšanej cievky pri meraní čiastkových výbojov

Pri meraní sa použila priama galvanická metóda merania čiastkových výbojov. Blokova schéma použitého zapojenia je na obr. 2. Osciloskop sleduje tvar a polohu impulzov čiastkových výbojov. Výhodou tohto zapojenia je, že v prípade prierazu na meranom objekte nedôjde k poškodeniu meracích prístrojov.



Obr. 2. Schéma zapojenia pri priamej metóde.

U_{reg} – je regulovateľný zdroj napätia
 C_x – náhrada meranej vzorky
 C_v – väzobná kapacita
 Z_m – meracia impedancia

II. POSTUP MERANIA

Meranie sa uskutočnilo v laboratórnych podmienkach. Skúšaná cievka bola zavesená na izolačnom lane vo Faradayovej klietke. Vysoké napätie sa privádzalo na vývody cievky pomocou homogenizačnej elektródy guľovitého tvaru, ktorá zabraňuje vznik korónových výbojov.

Testovacie napätie sa postupne zvyšovalo do vzniku počiatkových výbojov, kedy bol spustený program na zaznamenávanie výsledkov merania a uskutočnené prvé meranie čiastkových výbojov. Ďalšie merania sa uskutočnili pri zvyšovaní napätia krokom 200 V po nominálnu hodnotu združeného napätia skúšanej cievky 6 kV. Každé meranie trvalo 3 minúty, za ktoré bolo zaznamenané viac než 900 periód aplikovaného napätia.

Zvyšovaním napätia krokom 200 V od počiatkovej hodnoty vzniku čiastkových výbojov až po nominálnu hodnotu 6 kV boli získané napät'ové závislosti charakteristických parametrov čiastkových výbojov pre každý druh miesta uzemnenia vodivej ochrany.

III. VÝSLEDKY MERANIA

Za účelom porovnania vzniku a rozvoja povrchových výbojov v závislosti od miesta uzemnenia cievky boli sledované nasledujúce charakteristické parametre čiastkových výbojov:

- maximálna hodnota zdanlivého náboja čiastkových výbojov,
- stredná hodnota zdanlivého náboja čiastkových výbojov,
- počet čiastkových výbojov,
- sumačný náboj,
- fázové rozloženia charakteristických parametrov.

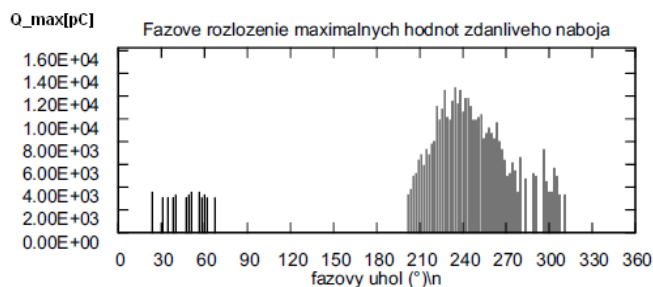
V nasledujúcej tabuľke sú uvedené maximálne hodnoty zdanlivého náboja v závislosti od priloženého napätia pre rôzne miesta uzemnenia časti cievky s vodivou ochranou, kde:

- a - miesto uzemnenia cievky na konci vodivej ochrany (najďalej od vysokonapät'ovej elektródy),
- b - miesto uzemnenia cievky 3,5 cm od konca vodivej ochrany (najďalej od vysokonapät'ovej elektródy),
- c - miesto uzemnenia cievky v strednej časti vodivej ochrany (pozri obr.1),
- d - miesto uzemnenia cievky 3,5 cm od konca vodivej ochrany (bližšie k vysokonapät'ovej elektróde),
- e - miesto uzemnenia cievky na konci vodivej ochrany (bližšie k vysokonapät'ovej elektróde).

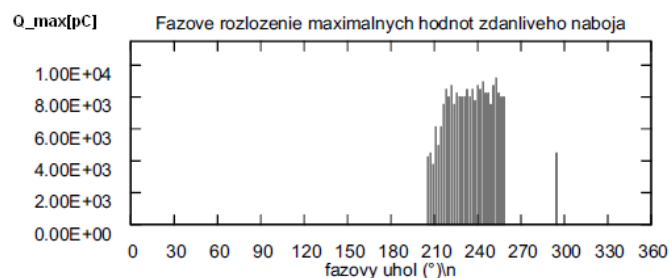
TABUĽKA I

| U (kV) | q _{max} (pC) a | q _{max} (pC) b | q _{max} (pC) c | q _{max} (pC) d | q _{max} (pC) e |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 3,4 | - | - | 120 | 350 | - |
| 3,6 | 280 | 250 | 400 | 1000 | 1100 |
| 3,8 | 350 | 300 | 400 | 2500 | 3500 |
| 4,0 | 400 | 600 | 800 | 2700 | 3500 |
| 4,2 | 5500 | 4000 | 1200 | 4000 | 7000 |
| 4,4 | 6000 | 5000 | 2700 | 4000 | 10000 |
| 4,6 | 7000 | 6000 | 4000 | 2500 | 15000 |
| 4,8 | 7000 | 7000 | 4000 | 14000 | 17000 |
| 5,0 | 7000 | 8000 | 4000 | 15000 | 20000 |
| 5,2 | 9000 | 9000 | 4000 | 13000 | 20000 |
| 5,4 | 10000 | 8000 | 4000 | 15000 | 17000 |
| 5,6 | 12000 | 9000 | 5000 | 17000 | 18000 |
| 5,8 | 12000 | 9000 | 11000 | 15000 | 20000 |
| 6,0 | 12000 | 9000 | 8000 | 15000 | 20000 |

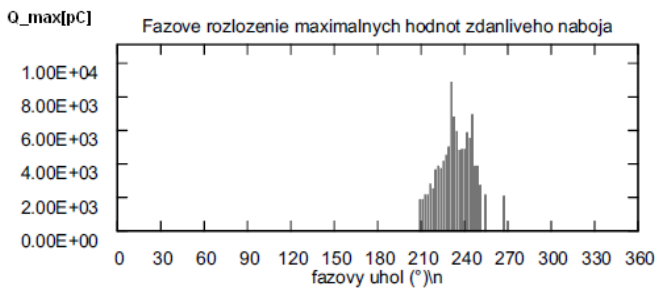
Ďalej sú uvedené fázové rozloženia maximálnych hodnôt zdanlivého náboja pre napät'ovú hladinu 6,0 kV, čo je nominálna hodnota združeného napätia izolačného systému skúšanej cievky. Na obr.3-7 sú výsledky merania pri napät'ovej hladine 6 kV pre rôzne miesta uzemnenia cievky.



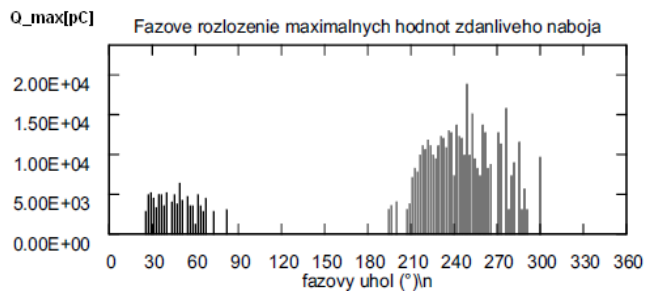
Obr. 3 Cievka uzemnená hore pri 6 kV



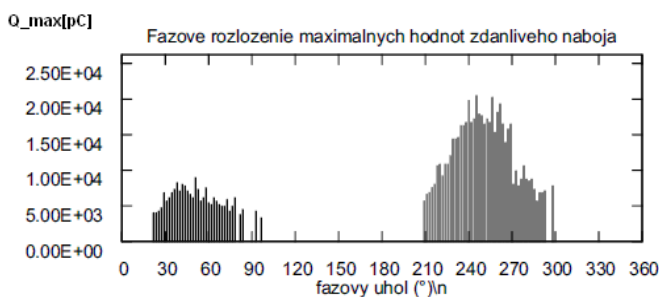
Obr. 4 Cievka uzemnená 3,5 cm od horného okraja pri 6 kV.



Obr. 5 Cievka uzemnená v strede pri 6 kV.



Obr. 6 Cievka uzemnená 3,5 cm od dolného okraja pri 6 kV.



Obr. 7 Cievka uzemnená dole pri 6 kV

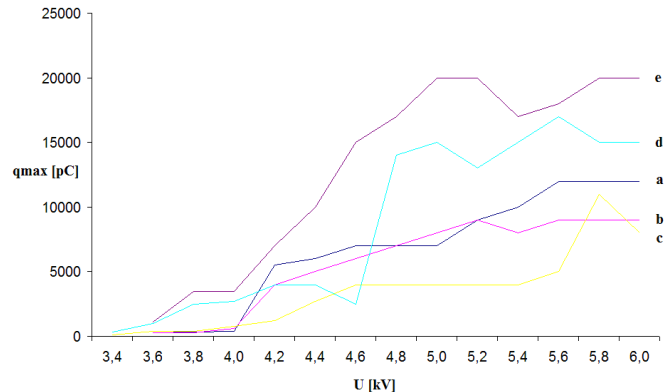
IV. VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Z výsledkov merania vyplýva, že počiatočné výboje vznikli pri napätových hladinách 3,4 a 3,6 kV v závislosti od miesta uzemnenia cievky. Pri napätí 3,4 kV bola zaznamenaná nestabilná výbojová činnosť. Jedna sa pravdepodobne o vnútorné výboje, ktoré sa aktivizujú v dutinkách izolácie. Pri hodnote napätia 3,6 kV vznikajú už stabilné povrchové výboje, ktoré sa ďalším zvyšovaním rozrastajú po celom povrchu cievky a od hodnoty 5 kV je možné zachytiť ich akustický prejav [4,5,6].

Pri porovnaní fázových rozložení, získaných pri napätovej hladine 3,6 kV je možné konštatovať, že maximálna hodnota zdanlivého náboja a početnosť výbojov je väčšia v zápornej polvine aplikovaného napätia. Pri vysokonapätových cievkach uložených do drážky statora, kde drážková časť je uzemnená a na vývody je privedené vysoké napätie, výboje vznikajú na výstupe cievky z drážky resp. na nízkonapätovej strane. Z tohto dôvodu sú výboje v zápornej napätovej polvine väčšie ako v kladnej. Najnižšie maximálne hodnoty zdanlivého náboja 250 pC boli zaznamenané v prípade uzemnenia cievky najďalej od vysokonapätovej elektródy. Priblížením uzemňovacieho bodu k vysokonapätovej elektróde narastá amplitúda

zdanlivého náboja na hodnotu 1100 pC, čo je v porovnaní s cievkou uzemnenou hore viac než 3-násobok.

Pri napätí 6 kV situácia, čo sa týka fázových rozložení ostala podobná ako v prípade napätovej hladiny 3,6 kV, t.j. väčšia výbojová činnosť v zápornej polvine ako v kladnej. Pri uzemnení cievky v hornej časti amplitúda výbojov dosiahla hodnotu 12000 pC. Pri uzemnení o 3,5 cm nižšie to bolo 9000 pC. Ďalšie zníženie výbojovej aktivity nastalo pri cievke uzemnenej v strede - 8000 pC. Amplitúda Výbojov stúpla skoro dvojnásobne pri uzemnení 3,5 cm od dolného okraja na hodnotu 15000 pC a nasledoval ďalší nárast na 20000 pC pri uzemnení v dolnej časti cievky.



Obr. 13 Napätové závislosti maximálnych hodnôt zdanlivého náboja

Na obr.13 sú vynesené napätové závislosti maximálnych hodnôt zdanlivého náboja pre rôzne miesta uzemnenia vodivej ochrany cievky.

V. ZÁVER

Z nameraných výsledkov vyplýva, že miesto uzemnenia má vplyv na vznik a rozvoj výbojovej činnosti po povrchu izolácie cievky. Najnižšie výsledky dosiahneme pri uzemnení vysokonapätovej cievky v strednej časti vodivej ochrany. Pri približovaní miesta uzemnenia k vysokonapätovej elektróde dochádza k nárastu výbojovej aktivity a hodnôt zdanlivého náboja. Toto zistenie je veľmi dôležité pri správnom modelovaní porúch v izoláčnom systéme statorových vinutí.

Tato práca vznikla v rámci riešenia projektu APVV 20-006005 a VEGA 1/0368/09.

LITERATÚRA

- [1] M. Kolcun – V. Chladný – M. Mešter – R. Cimbala – J. Tkáč – M. Hvizdoš – J. Rusnák, "Elektrárne," Technická Univerzita v Košiciach. 2006. ISBN 80-8073-704-5
- [2] K. Záliš, "Evaluation of Partial Discharge Activity by Expert Systems," In: 11th International Symposium of High Voltage Engineering, ref. 5.344.P5, London, Sept.1999.
- [3] P. Toman, "Simulation of Instrument Transformer Properties in Power Systems," In: Electric Power Engineering, Brno, Czech Republic, 2006.
- [4] KOLCUNOVÁ, Iraida - KURIMSKÝ, Juraj - BALOGH, Jozef: Meranie čiastkových výbojov na vn cievkach. In: Diagnostika '07 : Mezinárodní konference, Nečtiny 11.-13. září 2007. Plzeň : Západočeská univerzita, 2007. p. 34-37. ISBN 978-80-7043-557-1.K. Záliš, "Evaluation of Partial Discharge Activity by Expert Systems," In: 11th International Symposium of High Voltage Engineering, ref. 5.344.P5, London, Sept.1999.
- [5] KOLCUNOVÁ, Iraida - KURIMSKÝ, Juraj: Čiastkové výboje v statorovej izolácii elektrických strojov točivých. In: Starnutie elektroizolačných systémov. č. 5 (2008), s. 11-13. Internet: <http://web.tuke.sk/fei-kee/jses/uploads/File/jses-05-2008.pdf> ISSN 1337-0103.P. Toman, "Simulation of Instrument Transformer Properties in Power Systems," In: Electric Power Engineering, Brno, Czech Republic, 2006.
- [6] PETRÁŠ, Jaroslav - DŽMURA, Jaroslav - BALOGH, Jozef: Analýza signálov získaných z merania akustickej emisie čiastkových výbojov. In:

Starnutie elektroizolačných systémov. č. 4 (2008), s. 21-23. Internet: <<http://web.tuke.sk/fei-kee/jses/uploads/File/jses-04-2008.pdf>> ISSN 1337-0103. K. Záliš, "Evaluation of Partial Discharge Activity by Expert Systems," In: 11th International Symposium of High Voltage Engineering, ref. 5.344.P5, London, Sept.1999.

20 Košice; e-mail: iraida.kolcunova@tuke.sk

Ing. Juraj Kurimský, PhD.; Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Mäsiarská 74, 041 20 Košice; e-mail: juraj.kurimsky@tuke.sk

ADRESY AUTOROV

doc. Ing. Iraidá Kolcunová, PhD.; Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Mäsiarská 74, 041

Ing. Milan Kvakovský; Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita Košice, Mäsiarská 74, 041 20 Košice; e-mail: milan.kvakovsky@tuke.sk