

Iraida Kolcunová, Marek Šipoš, Marián Hrinko

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

## Meranie korónových výbojov v UV spektre

**Abstrakt.** Vhodnou nedeštruktívnou diagnostickou metódou vysokonapäťových zariadení v súčasnej dobe je meranie čiastkových výbojov prostredníctvom DayCor kamery, ktorá umožňuje snímať výbojovú činnosť aj za denného svetla. Zachytávanie vizuálnych prejavov čiastkových výbojov DayCor kamerou je založené na detekcii rôznych iónizačných procesov, excitačných a rekombinačných javov v spektre ultrafialového žiarenia. Tento článok pojednáva o meraní a zostavení vlastného vyhodnocovania korónových výbojov s použitím DayCor kamery.

**Abstract.** A suitable non-destructive diagnostic method of high-voltage equipment in present time is the measurement of partial discharges through DayCor camera that allows record the discharge activity in daylight. Recording the visual exposures of partial discharges by the DayCor camera is based on the detection of different ionization processes of excitation and recombination phenomena in the spectrum of ultraviolet radiation. This article discusses about the measurement and the establishment of a self-evaluation program for corona discharges using DayCor camera.

**Kľúčové slová:** čiastkové výboje, koróna, uv-spektrum, DayCor kamera.

**Keywords:** partial discharges, corona, uv-spectrum, DayCor camera.

### Úvod

V súčasnej dobe sme svedkami zvyšujúcej sa spotreby elektrickej energie, ale aj narastajúcej ceny elektriny. To spôsobuje, že prevádzkovatelia výrobných a distribučných spoločností sú pod čoraz väčším tlakom, musia zabezpečiť spoľahlivú, hospodárnu a bezpečnú prevádzku elektroenergetických zariadení. Spôľahlivosť zariadení môže byť nepriaznivo ovplyvnená čiastkovými výbojmi. Čiastkový výboj charakterizujeme ako neúplný samostatný výboj, ktorý vzniká v silne nehomogénnom elektrickom poli.

Čiastkové výboje sú často sprevádzané vyžarovaním zvuku, svetla, tepla a chemickými reakciami. Na základe týchto neelektrických prejavov, čiastkových výbojov, je možné vhodným spôsobom diagnostikovať, lokalizovať a kvantifikovať výbojovú činnosť. Pre meranie neelektrických prejavov čiastkových výbojov sa používajú špeciálne diagnostické prístroje. Medzi tieto prístroje patrí aj kamera, ktorá sníma čiastkové výboje v ultrafialovom spektre elektromagnetického žiarenia.

### Koróna

Čiastkové výboje, ktoré vznikajú v plynnom izolačnom prostredí sú označované ako koróna. Koróna je neúplný samostatný elektrický výboj, ktorý vzniká okolo elektródy vtedy, keď intenzita elektrického poľa dosiahne dostatočnú hodnotu pre vznik koróny. Koróna sa prejavuje vznikom svetielkujúcej vrstvy okolo elektródy, v ktorej dochádza k ionizácii plynu. Jav je sprevádzaný charakteristickým šumom a praskotom. Oblasť, v ktorej dochádza k ionizácii plynu, nazývame obal koróny. Podľa polarít priloženého napätia dopadajú na elektródu elektróny, alebo kladné ióny. Nosiče náboja rovnakej polarít sú odpudzované do zóny drejfu. Zóna drejfu má pre výboj veľký význam, nakoľko priestorový náboj v zóne drejfu vytvára vlastné elektrické pole, ktoré umožňuje odvedenie vznikajúceho náboja a uzatvorenie prúdu koróny. [1]

Korónové výboje spôsobujú na prenosových vedeniach veľmi vysokého napätia a zvlášť vysokého napätia výkonové straty. V prenosových sieťach zvlášť vysokého napätia sú straty spôsobené korónou porovnateľné so stratami od zaťaženia [3]. Okrem priečnych strát spôsobuje koróna aj elektromagnetické rušenie v telekomunikačných systémoch. Ďalej vplyvom koróny vzniká trojmocný kyslík a s ním oxidy dusíka, ktoré v spojení s vlhkosťou vytvárajú

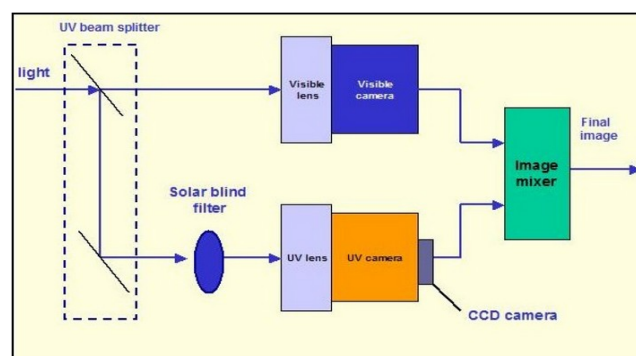
kyseliny a tie zvyšujú koróziu kovových častí vedenia a narušujú izoláciu elektroenergetických zariadení.

Straty korónou sú závislé od počasia, prevádzkového napätia a hlavne od polomeru vodiča. Pre obmedzenie strát korónou sa používajú vodiče s väčším polomerom. Pre vedenia veľmi vysokého napätia a zvlášť vysokého napätia by bol polomer príliš veľký, preto sa používajú, pri tejto napäťovej hladine, zväzkové vodiče. Zväzkové vodiče sú dva alebo viac vodičov, ktoré sú mechanicky a elektricky spojené v určitých vzdialenostiach distačnými rozpárkami. Zväzkové vodiče vytvárajú vlastné elektrické pole, ako jeden vodič, s náhradným polomerom. Zväzkové vodiče v porovnaní s jednoduchými vodičmi majú väčšiu kapacitu, menšiu indukčnosť a menšie straty korónou. Najčastejšie sa používa systém trojvodičových zväzkov. [4]

Ak je vedenie zasiahnuté bleskom, šíria sa od miesta úderu prepäťové vlny, ktorých amplitúda napätia je omnoho väčšia ako počiatočná hodnota napätia vzniku koróny. Vznik koróny spôsobí stratu energie týchto vln. Vrcholová hodnota a strmosť prepäťových vln sa rýchlo znižuje a tým sa znižuje nebezpečenstvo poškodenia izolácie elektroenergetických zariadení. [2]

### Diagnostika koróny v UV spektre

DayCor kamery sú špeciálne prístroje, ktoré sú určené na lokalizáciu a vizualizáciu koróny v ultrafialovom spektre elektromagnetického žiarenia. Na vizualizáciu využívajú systém dvoch spektra kombinujúcich kamier; klasická kamera a CCD kamera so selektívnym filtrom. [5][6]



Obr. 1 Bloková usporiadanie korónovej kamery [7]

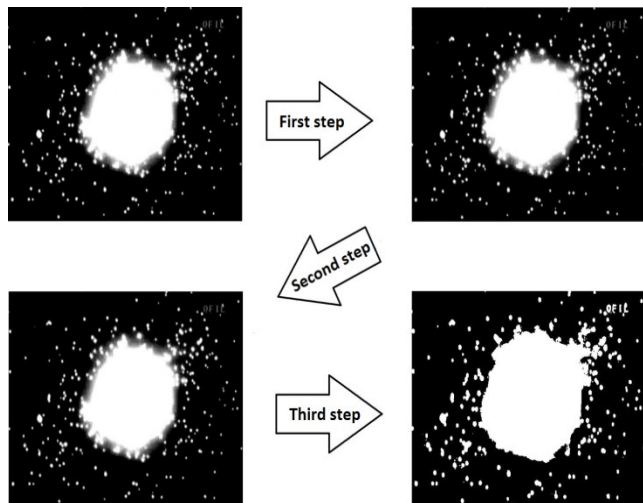
Ultrafialové žiarenie vznikajúce pri koróne a svetlo odrazené od meraného objektu prechádza objektivom a cez sústavu skiel dopadá na delič zväzku, ktorý rozdelí svetlo a UV žiarenie do dvoch samostatných zväzkov. Svetlo z prvého zväzku je odrazené na svetlocitlivý čip klasickej kamery. Tam sa svetlo premení na elektrický prúd, ktorý elektronika kamery spracuje na video záznam. Svetlo z druhého zväzku je odrazené na širokopásmový selektívny filter prepúšťajúci iba ultrafialové žiarenie od vlnovej dĺžky 240 do 280 nm. Odfiltrované ultrafialové žiarenie dopadá na CCD čip kamery. Tam sa ultrafialové žiarenie premení na elektrický prúd, ktorý elektronika kamery spracuje na video. Výsledkom sú dva video záznamy, ktoré sa softvérovou spoja do výsledného video záznamu. [7]

Vďaka tomuto systému je možné vizualizovať ultrafialové žiarenie, ktoré vzniká pri koróne, na prehľadnom viditeľnom pozadí.

### Metodika vyhodnocovania

Korónová kamera nie je elektrické meracie zariadenie, ktoré by dokázalo priamo zmerať úroveň koróny v pC. Kamera dokáže iba vytvoriť video záznam, v ktorom zobrazí ultrafialové žiarenie, ktoré je reprezentované bielymi bodmi. Vhodne zvolenou metódou je možné získať plochu týchto bodov a tým vytvoriť pomôcku pre porovnávacie účely. Pre získanie UV plochy bola vytvorená metodika, ktorá spočíva v postupnom spracovaní 24-bitového obrazu na 2 bitový, z ktorého je možné matematicky vyčísliť UV plochu. Nami vytvorená metodika vychádza z metódy používanej v počítačovej tomografii na určenie veľkosti orgánov alebo nádorov. [8] [9]

Na samotné spracovanie a vyhodnocovanie záznamu bol vytvorený program v Matlabe. Vytvorený program najprv vyextrahuje snímky zo záznamu, ktoré následne spracuje v jednotlivých krokoch.



Obr. 2 Spracovanie obrazu v jednotlivých krokoch

V prvom kroku sa spracuje vyextrahovaný 24-bitový obrázok, ktorý sa prevedie na 8-bitový grayscale. V ďalšom kroku sa aplikuje median filter eliminujúci šum, ktorý vznikol pri predošlom spracovaní a extrahovaní snímku. Ďalej sa aplikuje metóda segmentácie obrazu, konkrétne farba v oblasti záujmu. Pri tomto kroku sa 8-bitový grayscale prevedie na 2-bitový obrázok, pričom farbe v rozmedzí, ktorú sme si zvolili, bude pridelená jednotka a ostatným nula. Spočítaním jednotiek sa získa celková plocha UV vyžarovania, ktorá vzniká pri koróne, pre jeden vyextrahovaný snímok. Tento proces bol aplikovaný pre každý jeden vyextrahovaný snímok. V poslednom kroku sa získa stredná hodnota pre

jeden záznam sčítaním UV plochy jednotlivých vyextrahovaných snímok a vydelením ich počtom – aritmetický priemer. Počet snímok závisí od frekvencie snímok a od dĺžky záznamu.

$$(1) \quad O_c = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{FPS*t} O_i}{FPS*t}$$

kde:  $O_c$  – stredná hodnota UV plochy,  $O_i$  – UV plocha pre jeden snímok,  $n$  – počet vyextrahovaných snímok,  $FPS$  – frekvencia snímok,  $t$  – dĺžka záznamu

### Zostavenie experimentálneho pracoviska a cieľ merania

Cieľom experimentov bolo vytvoriť záznam koróny na meranom objekte a pomocou navrhnutej metodiky vyhodnotiť jednotlivé merania.

Meraným objektom bol elektródový systém, ktorý pozostával z usporiadania hrôt-doska. Usporiadanie bolo navrhnuté tak, aby umožňovalo meniť vzdialenosť medzi elektródami a tým pádom meniť aj hodnoty preskokových napätí. Elektródový systém bol pripojený na vysokonapäťový transformátor, ktorý bol napájaný striedavým napätím z regulačného zdroja.

Na vizualizáciu koróny bola použitá DayCor kamera Daycor Classis od firmy OFIL. Kamera bola nastavená tak, aby záznam vytvárala v reálnom čase. Hodnota UV zisku bola ponechaná na prednastavenej hodnote. Zaostrovanie bolo nastavené automatické.



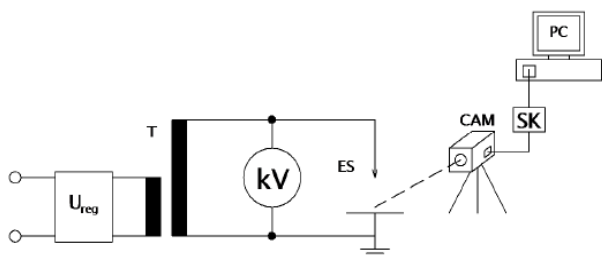
Obr. 3 Kamera Daycor Classic

Na prepojenie kamery s počítačom bola použitá externá strihová karta, ktorá previedla analógové video z kamery do digitálnej podoby. Zhotovené záznamy sa ukladali vo formáte MPEG2 s rozlíšením 704 x 576 s frekvenciou snímok 25.

### Bloková schéma

Na Obr. 4 je zobrazená blokovaná schéma merania čiasťkových výbojov – koróny – pomocou DayCor kamery. Za pomoci regulačného zdroja a vysokonapäťového transformátora bolo privádzané vysoké napätie na elektródový systém, na ktorom bola prednastavená vopred definovaná vzdialenosť medzi elektródami. Prostredníctvom externej strihovej karty bola kamera prepojená s osobným počítačom, na ktorom bola spustená aplikácia umožňujúca záznam z kamery. Vytvorené päť sekundové záznamy z

jednotlivých napäťových hladín boli ukladané do súborov, z ktorých sa pomocou vytvorenej aplikácie extrahovali počty zachytených čiastkových výbojov.



Obr. 4 Bloková schéma zapojenia

T – vysokonapäťový transformátor,  
 $U_{reg}$  – regulovateľný zdroj napätia,  
 kV – elektrostatický kilovoltmeter,  
 SK – externá strihová karta,  
 CAM – DayCor kamera,  
 PC – počítač.

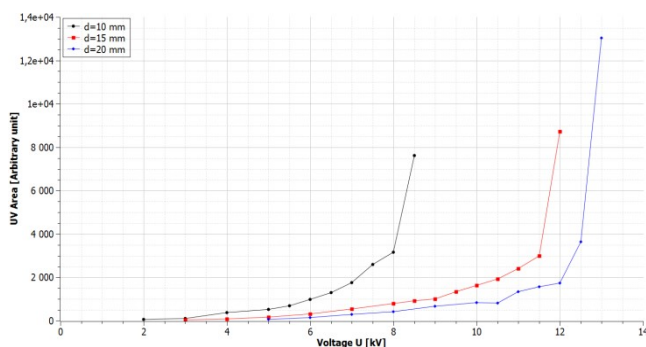
### Meranie koróny

Na meranie čiastkových výbojov – koróny - bol použitý vyššie spomínaný elektródový systém v usporiadaní hrot-doska. Ako hrot bola použitá ihlová elektróda s veľmi malým polomerom zakrivenia a ako doska bola použitá Rogowshého elektróda s polomerom zakrivenia 25 mm. Meranie bolo uskutočnené pri troch rôznych doskových vzdialenostiach  $d=10$  mm,  $d=15$  mm a  $d=20$  mm. Kamera bola umiestnená vo vzdialenosti  $l=3,75$  m.

Napätie privádzané na elektródový systém bolo plynule zvyšované do hodnoty, pri ktorej sa objavili prvé kamerou viditeľné korónové výboje. Pri tomto napätí sa vytvoril prvý päť sekundový záznam. Ďalšie merania sa uskutočnili pri zvyšovaní napätia s krokom 1 kV po napätie, pri ktorom sa zintenzívnila výbojová činnosť. Od hodnoty napätia, pri ktorej intenzita výbojovej činnosti bola vysoká, bolo napätie zvyšované s krokom 0,5 kV, po hodnotu napätia pri ktorej nastal elektrický preskok. Po skončení prvej série meraní sa zmenila dosková vzdialenosť a celé meranie sa opakovalo. Veľkosť plochy výbojov extrahovaných z obrázkov pri rôznych vzdialenostiach boli vzájomne porovnané.

### Vyhodnotenie merania

Na Obr. 5 je znázornená grafická závislosť UV plochy od napätia pre tri doskové vzdialenosti. Z obrázku vidíme, že všetky tri krivky majú podobný charakter, líšia sa iba počiatočnou hodnotou napätia, pri ktorom bola začiatková koróna kamerou, a posledným nameraným bodom, pri ktorom nastal preskok. Ďalej z obrázku vidíme, že s narastajúcim napätím sa zvyšuje aj UV plocha. Najvýraznejšie zvýšenie UV plochy je zaznamenané pred preskokom.



Obr. 5 Grafická závislosť UV plochy od napätia

### Záver

Cieľom predkladaného článku bolo vyhodnotiť merania, ktoré boli realizované DayCor kamerou. Na vyhodnotenie bola navrhnutá metodika, pomocou ktorej je možné matematicky vyčísliť UV plochu zo záznamu. Navrhovaná metodika má poslúžiť hlavne pre porovnávacie účely. Na kvantifikovanie intenzity výbojovej činnosti sa táto metodika neodporúča. Nakoľko vzťah medzi množstvom výbojov a UV plochou je fyzikálne nespoľahlivý, pretože závisí od mnohých faktorov.

### Literatúra

- [1] Kracik, J. – Slavik, J. – Tobiáš, J.: Elektrické výboje. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964.
- [2] Šandrik, P.: Technika vysokých napätí. 1.vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2004. ISBN: 8022721379
- [3] Kolcún, M. et al.: Prevádzka elektrizačnej sústavy, Košice TU, 2007, 306 strán, ISBN 978-80-8073-837-2.
- [4] Varga, L. – Ilenin, S.: Prenos a rozvod elektrickej energie. Košice, 2011.
- [5] Koronová denní kamera DayCorII z produkce OFIL Ltd. [Online]. [citované 2013-12-06]. Dostupný na internete: <<http://www.daycor.com/language/czechs.html>>
- [6] Lindner, M. et al.: Daylight Corona Discharge Imager. In High Voltage Engineering, 1999. roč. 1999, č. 2. s. 349-352, ISSN 0537-9989
- [7] Lindner, P.: Inspection for Corona and Arcing With the Daycor Camera. In INMR 2005 World Congress & Exhibition on Insulators, Arresters & Bushings, roč 2005, s. 1-9.
- [8] Region of interest. [Online]. [citované 2013-03-0]. Dostupný na internete: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Region\\_of\\_Interest](http://en.wikipedia.org/wiki/Region_of_Interest)>
- [9] Sourbelle, K. et al.: Performance Evaluation of Local ROI Algorithms for Exact ROI Reconstruction in Spiral Cone-Beam Computed Tomography. In Nuclear Science Symposium Conference Record, 2000 IEEE, roč 2000, č.2, s.15/8 – 15/12, ISSN 1082-3654.
- [10] Šipoš, M.: Meranie výbojovej aktivity v nehomogénnych poliach. Bakalárska práca, Košice, 2013.
- [11] Image Processing Toolbox. For Use With Matlab®. [Online]. [citované 2013-03-07]. Dostupný na internete: <<http://home.eps.hw.ac.uk/~ceeyrp/WWW/Teaching/B39SD2/ImageProcessingToolBox.pdf>>

### Podakovanie



„Táto práca bola podporovaná Agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky pre štrukturálne fondy EÚ na základe projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy (číslo projektu: 26220220029, prioritná os 2 Podpora výskumu a vývoja)“.

**Autori:** Irida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [irida.kolcunova@tuke.sk](mailto:irida.kolcunova@tuke.sk)

Marek Šipoš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [marek.sipos@student.tuke.sk](mailto:marek.sipos@student.tuke.sk)

Marián Hrinko, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: [marian.hrinko@tuke.sk](mailto:marian.hrinko@tuke.sk)