

Luboš Šárpataky, Bystrík Dolník

Inovatívne diagnostické metódy pre znečistené izolátory: kľúč k sebestačnosti a udržateľnosti elektroenergetiky

ELEKTROENERGETIKA

Abstrakt Izolátory reprezentujú základnú súčasť distribučných a prenosových vedení. Izolátory sú v porovnaní s inými časťami prenosových a distribučných vedení pomerne lacné, ale ich zlyhanie môže viesť k významným finančným stratám. Preto je dôležité udržiavať izolátory v dobrých prevádzkových podmienkach, aby sa predišlo zlyhaniu izolátora. Väčšina závažných problémov na izolátoroch je spojená s povrchovými výbojmi na izolátoroch. Meranie stratového činiteľa izolátora na hodnotenie znečistenia povrchu izolátora prináša sľubné výsledky a je použiteľné pri rôznych napäťových úrovniach alebo meracích frekvenciách. V článku prezentujeme dve rôzne diagnostické metódy aplikované na znečistené izolátory.

Kľúčové slová: izolátor; znečistenie; vlhkosť; činiteľ dielektrických strát

Abstract Insulators represent a fundamental component of distribution and transmission lines. Insulators are relatively inexpensive compared to other parts of transmission and distribution lines, but their failure can lead to significant financial losses. Therefore, it is important to maintain insulators in good operating conditions to prevent insulator failure. Most serious problems with insulators are associated with surface flashovers on insulators. Measuring the insulator power factor to assess insulator surface contamination shows promising results and is applicable at various voltage levels or measurement frequencies. We present two different diagnostic methods applied to contaminated insulators. **(Innovative Diagnostic Methods for Contaminated Insulators: The Key to Self-Sufficiency and Sustainability in the Electric Power Engineering)**

Keywords: keyword1; keyword2

I. ÚVOD

Izolátory, ako základná súčasť prenosových a distribučných vedení, musia spĺňať určité požiadavky. Kľúčovými parametrami sú elektrická pevnosť, mechanická pevnosť a povrchová vodivosť. Zvýšenie povrchovej vodivosti je zvyčajne hlavným dôvodom zlyhania izolátora. Na povrchovú vodivosť najviac vplyva materiál izolátora a vplyv prostredia. Všetky izolačné materiály, z ktorých sú izolátory vyrábané, majú svoje výhody a nevýhody. Voľba materiálu závisí hlavne od prevládajúcich environmentálnych vplyvov. Znečistenie je hlavným faktorom, ktorý ovplyvňuje povrchovú vodivosť izolátorov, pričom existuje niekoľko typov znečistenia typické pre rôzne lokality. Voľba správneho typu a materiálu izolátorov závisí od typu znečistenia [1].

Znečistenie povrchu izolátorov prachom, čistočkami piesku, vlhkosťou, dažďom alebo rosou, vytvára vrstvu s určitou vodivosťou. Vlhkosť, dážď, hmla a rosa navlhčujú vrstvu znečistenia, rozpúšťajú látky v nahromadenom znečistení a tvoria vodivú vrstvu, ktorá znižuje elektrickú pevnosť. Pokles elektrickej pevnosti izolácie môže dosiahnuť 20-25 %, [2]. Dôsledkom znečistenia môže následne dôjsť k povrchovým výbojom a zvýšeniu unikajúceho prúdu, čo negatívne ovplyvňuje životnosť izolátora, alebo k prerazu izolátora a následne k prerušeniu dodávky elektrickej energie.

Synergické efekty môžu nastať medzi elektrickým poľom a vlhkosťou, čo môže viesť k tvorbe vodných stromčekov na povrchu izolátora, hlavne na niektorých povrchoch z polymérov. Dynamika kondenzácie na povrchu závisí od hydrofóbnej povahy použitého

izolačného materiálu a od pôsobenia vlhkosti (prípadne kvapaliny) na izoláciu. Kondenzácia závisí aj od teploty a jej zmien [3]. Prístup k diagnostike izolátorov môže byť rôzny. Základná metóda diagnostiky je vizuálna kontrola (prehliadka). V tomto prípade je potrebný kvalifikovaný personál. Iné sú bezkontaktné metódy, napr. akustická emisia alebo termografia. V posledných rokoch sa v elektroenergetike využívajú drony, čím sa urýchlí inšpekcia rozsiahlych oblastí na diaľku.

Iné metódy využívajú priame meranie fyzikálnych veličín. Najviac používanou metódou je meranie unikajúceho prúdu. Unikajúci prúd sa zvyšuje s narastajúcim znečistením a s narastajúcou vlhkosťou. S dostatočnými dátami možno pomocou softvéru vyhodnotiť kritický unikajúci prúd a navrhnúť plán údržby pre určitú lokalitu [4].

Výskum sa tiež zaoberá harmonickou analýzou unikajúceho prúdu s cieľom odhadnúť znečistenie povrchu izolátora. Celková harmonické skreslenie (THD) sa zvyšuje s narastajúcim znečistením izolátora [8]-[10]. Využíva sa aj vyšetrenie individuálnych harmonických zložiek, hlavne 3. a 5. harmonická. Numerické metódy možno použiť na diagnostiku izolátorov. Výsledky z navrhnutého modelu izolátora sú veľmi podobné experimentálnym meraniam [5].

Činiteľ dielektrických strát sa bežne používa na diagnostiku transformátorov, generátorov a káblov [6]. V praxi sa využíva spektroskopcia, ktorá poukazuje na rôzne typy poškodení. Pre diagnostiku izolátorov bol činiteľ dielektrických strát použitý len v niekoľkých prípadoch. Ide hlavne o hodnotenie starnutia povrchu izolátora, kde výsledky ukázali zmenu činiteľa dielektrických strát v dôsledku starnutia izolačného materiálu [7]. Avšak jeho potenciál na diagnostiku znečistenia izolátora je sľubný na základe študovanej

literatúry a našich meraní.

II. MATERIÁLY AND METÓDY

Použili sme dve rôzne meracie metódy merania činiteľa dielektrických strát na hodnotenie znečistenia izolátorov. Prvá metóda spočívala v meraní činiteľa dielektrických strát pri malom napätí v širokom frekvenčnom pásme pomocou LCR meracieho prístroja. Ďalším krokom bolo meranie činiteľa dielektrických strát priložením vysokého napätia.

MERANIE ČINITEĽA DIELEKTRICKÝCH STRÁT PRI MALOM NAPÄTÍ

Na meranie činiteľa dielektrických strát pri napätí 5 V a frekvenčnom rozsahu od 1 Hz do 200 kHz sme použili meracie elektródy vyrobené z elektricky vodivej medenej pásky. Elektródy boli vzdialené 4 cm a umiestnené na povrch porcelánového izolátora U 160 BL. Impedančný analyzátor HIOKI LCR meter IM3533-1 priamo meria činiteľ dielektrických strát. Pripravili sme štyri suspenzie reprezentujúce štyri úrovne znečistenia (L1, L2, L3, L4). Vyhodnotili sme ekvivalentnú hustotu nánosu soli (ESDD) a hustotu nánosu nerozpustnej zložky (NSDD) podľa normy IEC/TS 60815-1:2008 a následne sme stanovili stupeň znečistenia izolátora.

MERANIE ČINITEĽA DIELEKTRICKÝCH STRÁT PRI VYSOKOM NAPÄTÍ

Na meranie činiteľa dielektrických strát pri priloženom vysokom napätí bol použitý merací systém Omicron MI 600 navrhnutý na meranie kapacity, unikajúceho prúdu a činiteľa dielektrických strát. Merali sme a vyhodnocovali činiteľ dielektrických strát a unikajúci prúd na izolátore pri napätíach 5 kV, 7,5 kV a 10 kV. Izolátor sme znečistili dvoma rôznymi úrovňami znečistenia. Tieto úrovne znečistenia mali rovnaké parametre znečistenia ako druhá a štvrtá úroveň znečistenia z predchádzajúcich meraní.

III. VÝSLEDKY

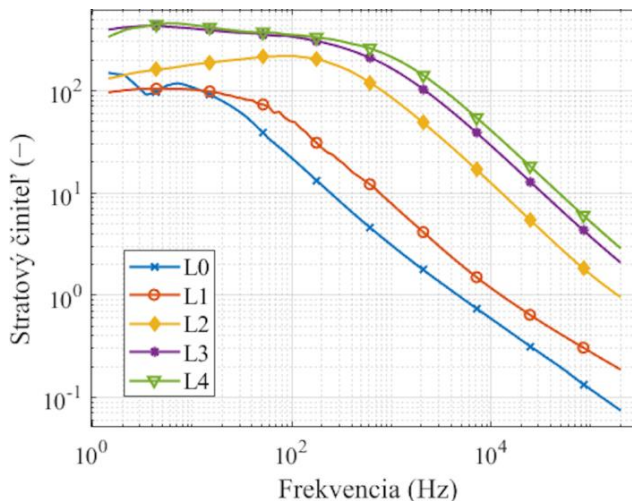
Graf na obr. 1 poukazuje na významný nárast činiteľa dielektrických strát pri narastajúcich úrovniach znečistenia. Významný nárast činiteľa dielektrických strát je dobre viditeľný medzi úrovňami znečistenia L1 a L2. Pri nízkych frekvenciách, až do približne 30 Hz, nie sú rozdiely medzi meraniami dostatočne identifikovateľné a nižšia úroveň znečistenia má v niektorých meraných bodoch vyššiu hodnotu činiteľa dielektrických strát.

Pri vyšších frekvenciách, keď hodnoty činiteľa dielektrických strát už dosiahli lokálne maximum, činiteľ dielektrických strát narastá v závislosti od úrovne znečistenia. Maximá kriviek alebo rýchle poklesy sa posúvajú k vyšším frekvenciám v závislosti od úrovne znečistenia. Z uvedeného usudzujeme, že metóda merania činiteľa dielektrických strát je aplikovateľná na hodnotenie znečistenia izolátorov. Najvýznamnejšie rozdiely sú pri vyšších frekvenciách, čo môže pomôcť pri eliminovaní rušenia (EMI) priemyselnou frekvenciou [8].

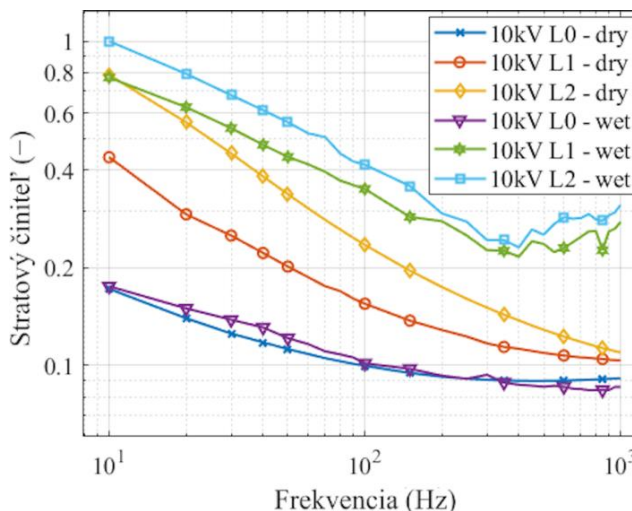
Výsledky meraní poukazujú na tú skutočnosť, že činiteľ dielektrických strát je citlivejší na zmeny na povrchu izolátora, ako unikajúci prúd. Zmeny v úrovni znečistenia pre suché aj vlhké podmienky preukázali významne vyšší nárast činiteľa dielektrických strát.

Ako vidno na obr. 2, činiteľ dielektrických strát v suchých podmienkach bol stabilnejší (s nižšou štandardnou odchýlkou) s jasne identifikovateľným trendom. Taktiež ukazuje sa, že suché podmienky

sú vhodnejšie pre diagnostiku než vlhké okolité podmienky. V porovnaní s meraniami pri nízkom napätí bol činiteľ dielektrických strát pri vysokom napätí výrazný pri nižších frekvenciách. Činiteľ dielektrických strát je menej citlivý na zmeny napätia než unikajúci prúd [9].



Obr. 1. Činiteľ dielektrických strát meraný na čistom a znečistenom izolátore pri relatívnej vlhkosti 80 %.



Obr. 2. Magnetizácia v závislosti od magnetickej intenzity.

IV. ZÁVER

Meranie činiteľa dielektrických strát pri rôznych napätíach (malé a vysoké) ukázalo, že činiteľ dielektrických strát je použiteľný na hodnotenie a diagnostiku znečistenia izolátorov. Činiteľ dielektrických strát sa v elektroenergetike používa pre rôzne zariadenia na monitorovanie starnutia. Znečistenie izolátorov má podobné efekty ako starnutie lebo zvyšujú povrchovú vodivosť. Naše merania ukazujú, že znečistenie zvyšuje činiteľ dielektrických strát. V porovnaní s unikajúcim prúdom činiteľ dielektrických strát narastá rýchlejšie a zmeny sú významnejšie a zreteľnejšie. Dôležitým zistením je stabilita činiteľa dielektrických strát pri zmene napätia [8].

Ďalší výskum budeme orientovať na priemyselnú frekvenciu 50 Hz a vyhodnotíme použiteľnosť činiteľa dielektrických strát v širšom rozsahu napätí (od 5 kV do 22 kV) a na viacerých typoch izolátorov, tanierové a tyčové izolátory. Porovnáme tiež sklenené, porcelánové, silikónové a izolačné materiály na báze etylén-vinyl-acetát (EVA), ktoré sa používajú na výrobu izolátorov. Všetky merania budú vykonané na čistých izolátoroch, ako aj na štyroch úrovniach znečistenia. Ďalšou premennou bude relatívna vlhkosť, ktorá sa bude meniť od miestnych podmienok (približne 40 %) až po 90 % relatívnu vlhkosť.

POĎAKOVANIE

Tento výskum bol financovaný Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied, č. 1/0340/18, Slovenskou agentúrou pre výskum a vývoj č. APVV-15-0438 a Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR (KEGA) č. 008TUKE-4/2019.

LITERATÚRA

- [1] M. Farzaneh a W. A. Chisholm, "Insulators for icing and polluted environments," Piscataway, NJ: Hoboken, NJ: IEEE Press; J. Wiley, 2009.
- [2] N. A. Othman, M. A. M. Piah, and Z. Adzis, "Contamination effects on charge distribution measurement of high voltage glass insulator string," *Measurement*, vol. 105, pp. 34-40, June 2017.
- [3] M. reza Ahmadi-veshki, M. Mirzaie, and R. Sobhani, "Reliability assessment of aged SiR insulators under humidity and pollution

- conditions," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 117, pp. 105679, May 2020.
- [4] Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions — Part 1: Definitions, information and general principles, DD IEC/TS 60815-1:2008, 2008.
- [5] J. Araya, J. Montana, and R. Schurch, "Electric Field Distribution and Leakage Currents in Glass Insulator Under Different Altitudes and Pollutions Conditions using FEM Simulations," *EEE Latin Am. Trans.*, vol. 19, no. 8, pp. 1278–1285, Aug. 2021.
- [6] X. Cheng, G. Ye, H. Sun, T. Li, and C. Sun, "Analysis of low-frequency dielectric loss of XLPE cable insulation based on extended Debye model," *AIP Advances*, vol. 11, no. 8, p. 085103, Aug. 2021.
- [7] F. Gerdinand, M. Budde, a M. Kurrat, "Electrical and mechanical strength of mineral filled epoxy insulators in correlation to power loss factor", in Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Solid Dielectrics, 2004. ICSD 2004., Toulouse, France, 2004, p. 320–323.
- [8] L. Šárpataky, B. Dolník, J. Zbojovský, U. Schichler, O. Pischler, and B. Schober, "Sensing Method Using Dielectric Loss Factor to Evaluate Surface Conditions on Polluted Porcelain Insulator," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9442, Dec. 2022.
- [9] B. Dolník, L. Šárpataky, S. Bucko, M. Pavlík, R. Štefko, "Assessing contamination severity of high voltage insulators using dielectric loss factor: Laboratory measurements and comparative analysis of leakage current and dielectric loss factor at different voltage levels, humidity, and insulating materials," *Electric Power Systems Research*, vol. 225, art. no. 109855, 2023.

ADRESY AUTOROV

Luboš Šárpataky, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 04210, Slovenská Republika, lubos.sarpataky@tuke.sk
 Bystrík Dolník, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, 04210, Slovenská Republika, bystrik.dolnik@tuke.sk