

# Štúdium čiastkových výbojov v epoxidovej živici

Emil Jahoda  
Jozef Kúdelčík  
Katedra fyziky  
Elektrotechnická fakulta  
Žilinská univerzita v Žiline  
jahoda@fyzika.uniza.sk

## Study of Partial Discharges in Epoxy Resin

**Abstract** – In this paper, we study the characteristics of internal partial discharges in the cavity of the epoxy resin by Galvanic method. This method is one of the most popular electrical methods for the detection of the partial discharges. The detection and continuous monitoring of the PD data can provide useful information regarding the insulation condition. The partial discharge measurements are performed with the help of Phase Resolved Partial Discharge Analyzer (PRPDA). This technique is used to analyze PDs with respect to the phase angle of the applied voltage [1]. The PD pattern recorded with the help of PRPDA can be used to recognize the insulation defects which are the root cause of PDs.

*Keywords* – Insulation; Partial Discharges; Phase Resolved Partial Discharge Analyzing.

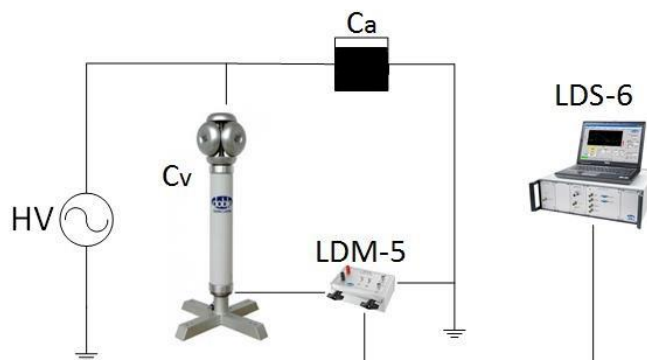
### I. ÚVOD

Epoxidové živice sa používajú ako elektroizolačné materiály, vďaka ich výborným elektroizolačným vlastnostiam, adhézii, chemickej odolnosti a minimálnemu zmršťovaniu počas vytvrdzovania. Osvedčili sa vo viacerých priemyselných odvetviach a rozsah ich využitia neustále narastá. Vlastnosti epoxidových kompozitov závisia na podmienkach prípravy a na vlhkosti prostredia, v ktorom prebieha vytvrdzovanie. K dosiahnutiu čo najlepších mechanických vlastností sú potrebné optimálne vytvrdzovacie podmienky ako je teplota, vlhkosť, vákuum a iné [2]. Zdravá vysokonapäťová izolácia medzi dvoma elektródami zabraňuje tomu, aby náboj opačnej polarita prechádzal materiálom. Počas bežnej prevádzky je napätie elektrického poľa rovnomerne rozložené cez izoláciu medzi elektródami. Ak sa však vyskytnú nejaké chyby (nečistoty, malé medzery, bubliny a iné), dochádza k nerovnomernému rozdeleniu elektrického napätia medzi zdravou a poškodenou časťou izolácie. Je to spôsobené rôznymi dielektrickými vlastnosťami zdravých a poškodených častí izolácie. V závislosti od veľkosti a typu poruchy dochádza k čiastkovému výboju (ČV) pri určitej úrovni napájacieho napätia. Počas tejto činnosti sú náboje schopné preniknúť cez materiál silou, ktorú zabezpečuje vysoká intenzita elektrického poľa. Ako plynie čas, ČV spôsobujú značnú degradáciu izolácie [3, 4, 5, 6].

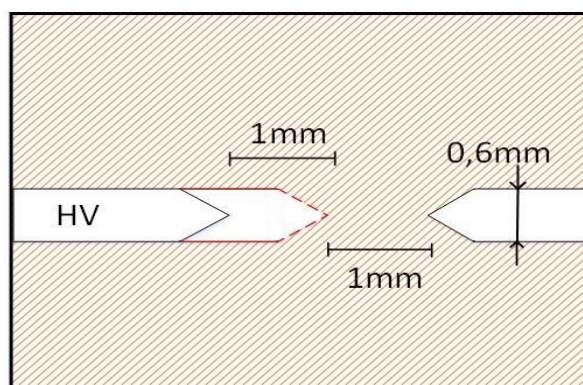
### II. EXPERIMENT

V našom experimente sme použili Galvanickú metódu, ktorá je jednou z najčastejšie používaných elektrických metód na detekciu čiastkových výbojov. Na merania sme použili meracie zariadenie od firmy DOBLE LEMKE - Partial Discharge Measuring System [7]. Meracia impedancia LDM-5 (šírka pásma 20MHz, max. prúd 5

A) bola galvanicky pripojená k meranému objektu. Testovaný objekt (kocka so vzduchovou medzerou v epoxidovej živici) znázornený ako Ca, bol paralelne pripojený k väzobnému kondenzátoru, ktorý je v sérii s meracou impedanciou (Obrázok I.). Pulzy čiastkových výbojov sú zaznamenávané a analyzované pomocou detektora ČV - LDS-6. Kalibrácia bola realizovaná použitím LDC-5 pred každým novým meraním. Pri aplikovaní striedavého napätia 17 kV maximálna hodnota detekovaných ČV bola 7 pC, pričom táto hodnota bola nastavená ako prahová hodnota na odstránenie šumu pozadia.



**Obrázok I. Elektrická schéma zapojenia pre meranie ČV (HV- vysokonapäťový AC zdroj, Ca-meraný objekt, Cv- väzobný kondenzátor)**

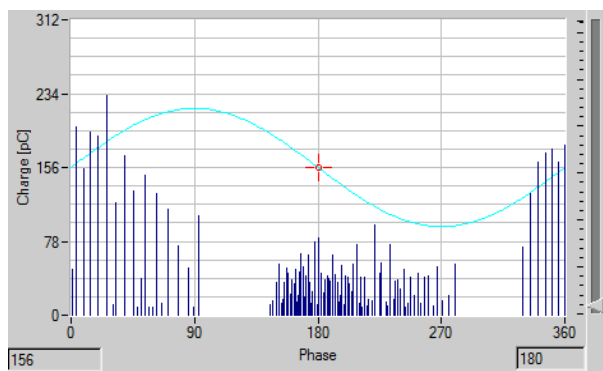


**Obrázok II. Znázornenie dutinky v epoxidovej živici**

Na výrobu vzoriek sa použila epoxidová živica VUKOL 022 a ako tvrdidlo bolo použité VUKIT M [8]. Obe tieto zložky boli zmiešané v pomere 100:37. Vzniknutá zmes bola následne vyliala do nádoby v tvare kocky o rozmeroch 4,2×4,2×4,2 cm. Ako elektródy boli použité ihly, ktoré boli v strede protiľahlých stien (Obrázok II.). Vzdialenosť medzi ihlami bola 1mm. Vzorka následne tvrdla na vzduchu 48 hodín. Po vytvrdnutí bola jedna ihla povytiahnutá o 1 mm, aby bola vytvorená 1 mm vzduchová medzera.

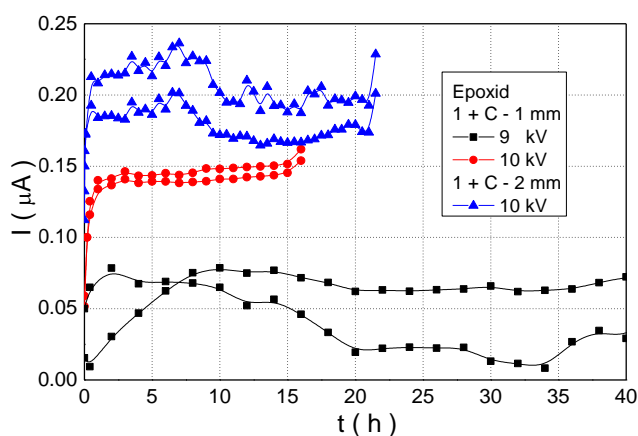
### III. EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dlhodobé testy s neustále priloženým striedavým napätím boli realizované z dôvodu zistenia priemerného času za ktorý pre dané experimentálne usporiadanie nastane preraz. Merania boli uskutočnené pre rovnakú sadu vzoriek no s rôznou hodnotou priloženého AC napätia. Analýzou pulznej sekvencie čiastkových výbojov boli študované viaceré parametre, pomocou ktorých sme mohli charakterizovať proces starnutia v rôznych časových okamihoch.



**Obrázok III. Znáročenie pulznej sekvencie ČV v dutinke počas ustáleného štádia po 5 h pri aplikovanom napätí 10kV.**

Po aplikovaní napätia boli okamžite generované ČV vo vnútri dutinky. Ich fázovo-nábojovo-početnostná charakteristika bola podobná ako na Obrázku III. ČV sa vyskytovali od nulovej hodnoty po maximum aplikovaného napätia v oboch polaritách. ČV sa taktiež objavovali aj v okolí nulových prechodov aplikovaného napätia, čo je charakteristické pre povrchové výboje – po povrchu stien dutinky a vo vetách stromčekov. Stromčeky vznikajú počas dlhodobého procesu starnutia v dôsledku ČV. Z meraní je taktiež vidno, že kladné ČV sa vyskytujú v zápornej polperióde aplikovaného napätia ( $300^{\circ} - 360^{\circ}$ ) a záporné ČV zas v kladnej polperióde ( $120^{\circ} - 180^{\circ}$ ). Toto je pravdepodobne spôsobené veľkým nábojom vzniknutým po neustálych výbojoch rozmiestneným okolo dutiny, ktorý vytvára dostatočne silné elektrické pole na vznik ČV. Rovnaké výsledky boli publikované prácach [5, 9].



**Obrázok IV Priebek intenzity ČV počas procesu starnutia izolácie pre rôzne napätia a veľkosti dutiniek**

Obrázok IV. znázorňuje priebek hodnoty priemerného prúdu počas 30 sekúnd každú polhodinu počas degradácie epoxidovej živice. Jednotlivé krivky sú pre rôzne veľkosti dutiniek použitých v experimentoch a rôzne veľkosti aplikovaného napätia. ČV pri 9 kV boli pozorované, no ich priemerná hodnota náboja bola nízka a degradácia vzorky bola minimálna (Obrázok IV). Pre všetky vzorky s prúdom pod  $0,1 \mu\text{A}$  bolo určovanie času do prierazu zbytočné, lebo ani po 72 h nenastal prieraz. Pri napätí 10 kV bola degradácia čiastkovými výbojmi výraznejšia, pretože k prierazu došlo už po niekoľkých hodinách. Priebek ČV možno za všeobecných podmienok rozdeliť na tieto štádiá: iniciovanie ČV, koncentrácia náboja s narušením izolácie (elektrické stromčeky) a prieraz. Za našich podmienok bola prvá fáza kratšia ako pol hodiny. Počas druhej fázy boli veľkosti a počty kladných a záporných výbojov takmer podobné (Obrázok III.). Priemerné prúdy pre menšiu dutinu (1 mm) sa pomaly zvyšovali a pre väčšiu dutinu

(2 mm) boli nestabilné (Obrázok IV, 10 kV). Tieto rozdiely boli spôsobené rôznymi parametrami ČV, ich vplyvom na degradáciu a narušeniami lokálnej elektrickej rovnováhy. Počas degradácie nastáva ohrev dutiny, zmena plynného zloženia dutiny, zmena povrchovej vodivosti stien dutiny a hlavne iniciácia elektrických stromčekov [5]. Z podobnosti času prerazu izolácie pre dve rôzne dutiny možno usudzovať, že veľkosť dutiny nie je jediným hlavným parametrom určujúcim životnosť izolácie. V tomto type experimentu bola rozhodujúca HV elektróda, lebo sa nachádzala priamo v dutine a teda bola hlavným zdrojom elektrónov pre rozvoj výbojov. Čas prerazu však závisí aj od ďalších podmienok ako je teplota izolácia, druh materiálu, umiestnenie dutiny a iné. Pre presnejšie stanovenie vplyvu degradácie na distribučný profil ČV by bolo vhodné určovať aj štatistické parametre, ako sú skewness a kurtosis.

#### IV. ZÁVER

Táto práca popisuje časovú degradáciu epoxidovej živice vplyvom čiastkových výbojov a určenie času do prerazu. Z nameraných hodnôt náboja a početností pre jednotlivé dutinky a aplikované napätia sa určil výbojový prúd ČV. Zo znázornených priebehov prúdov ČV je zrejmé, že ak jeho hodnota bola menšia ako  $0,1 \mu\text{A}$ , určovanie času do prerazu bolo zbytočné, nakoľko veľkosť degradácie bola veľmi nízka. V prípade väčšieho prúdu, čo sa prejavuje i väčším nábojom ČV je degradácia izolácie výraznejšia. V tomto prípade pozorujeme preraz za výrazne kratší čas.

#### POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom VEGA 1/0510/17.

#### LITERATÚRA

- [1] Jonchen, A.K. " Dielectric relaxation in solids", *Chelsea Dielectric Press*, London, 1996
- [2] Mleziva, J. "Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použítí", Sobotáles, Praha, 1993
- [3] Ahmed, Z. "Analysis and De-noising of Partial Discharge signals in Medium Voltage XLPE Cables", Master's Thesis, Aalto University, Helsinki, 2016
- [4] Zhigiang, X., Alun, V. a Paul, L. " The Effect of Sample Thickness on the Relative Breakdown Strength of Epoxy Systems", Conference on dielectrics, University of Kent, Cantenbury, United Kingdom, April, 2011.
- [5] Kolcunová, I. "Starnutie elektroizolačných systémov v dôsledku pôsobenia čiastkových výbojov", *Starnutie elektroizolačných systémov*, vol.1, pp. 10-13, 2006.
- [6] Casals-Torrens, P., Gonzalez-Parada, A., Bosch, R. " ,Tous Online PD detection on high voltage underground power cables by acoustic emission," *Procedia Engineering*, vol. 35, pp. 22–30, 2012.
- [7] <https://www.doble.com/product/lds-6/>
- [8] <http://www.vuki.sk>
- [9] Jahoda, E., Kúdelčík, J. "Internal partial discharge in cavity of polyuretane", *Procedia Engineering*, vol. 192, pp. 365-369, 2017