

# Diagnostická jednotka PEA pro měření prostorového náboje v dielektrických materiálech

Jaroslav Hornak  
Katedra technologií a měření  
Fakulta elektrotechnická  
Západočeská univerzita v Plzni  
jhornak@ket.zcu.cz

## Diagnostic Unit Based on PEA for Space Charge Measurement in Dielectric Materials

**Abstract** – The main aim of this paper is describe development of diagnostic device for space charge measurement which is based on pulsed electro acoustic (PEA) method. The first part of this paper deals with principles of measurement of space charge distribution. Main emphasis is placed on development of individual parts of diagnostic unit, such as voltage electrode, ground electrode and detector.

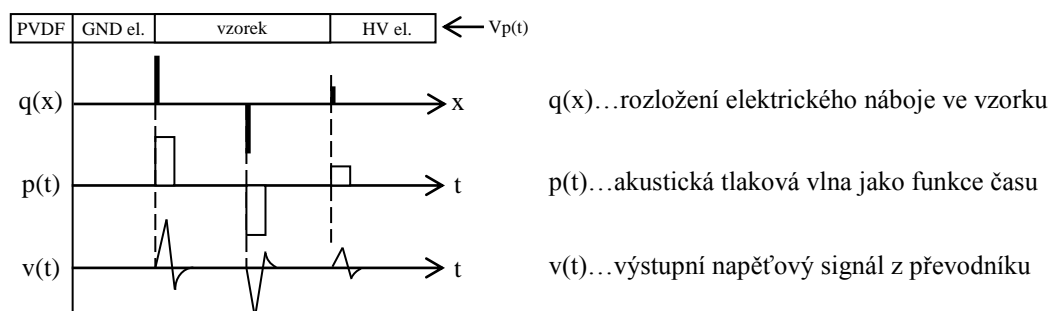
**Keywords** –Diagnostic Unit; Dielectric; Insulation; Pulse; Space Charge.

### I. ÚVOD

Prostorový náboj je z hlediska diagnosticky dielektrických materiálů a systémů jedním ze základní diagnostických parametrů. Hlavním negativním vlivem prostorového náboje zachyceného ve vnitřní struktuře dielektrického materiálu je výrazné zkreslení průběhu intenzity el. pole v tloušťce materiálu. To má za následek značné ovlivnění vodivostních jevů, čímž je ovlivněna elektrická pevnost  $E_p$  [V/m] samotného materiálu. V současné době je popsáno několik teorií, zabývajících se vlivy prostorového náboje na jeho životnost [1,2,3]. Pro měření rozložení prostorového náboje je využíváno několika principů, které jsou detailně popsány ve studiích [4,5,6].

### II. PRINCIP METODY PEA

Tato metoda je jedna z nejrozšířenějších technik pro sledování rozložení prostorového náboje. V případě přivedení vysokonapěťového pulzu vznikne síla působící na nahromaděný náboj. Vlivem posuvů náboje uvnitř daného materiálu dojde ke generování akustické vlny. Tato akustická vlna je úměrná rozložení prostorového náboje a je detekována piezoelektrickým senzorem PVDF a převedena na elektrický signál [7,8] (Obrázek I).



**Obrázek I.** Znázornění jednotlivých signálů PEA jednotky [9]

### III. ZÁKLADNÍ PRVKY PEA JEDNOTKY

Mezi základní prvky měřicí jednotky patří vysokonapěťová elektroda, zemnicí elektroda a detektor. Tyto jednotlivé části jsou podrobně popsány v následujícím textu.

#### A. Vysokonapěťová elektroda

Vysokonapěťová elektroda slouží k přivedení vysokonapěťového pulzu a stejnosměrného napětí na vzorek. Vazební kondenzátor zajišťuje galvanické oddělení mezi zdrojem stejnosměrného napětí a pulzním generátorem a rezistor v sérii s vysokonapěťovým obvodem způsobuje omezení proudu. Dle výpočtů ze studie [10] je jednotka osazena vysokonapěťovým rezistorem 15 M $\Omega$ , 5W, 10 kV umístěným v PTFE válci s otvory pro chlazení a vazebním keramickým kondenzátorem 2200 pF, 10 kV, spojeným s SHV konektorem a mosaznou elektrodou. Jednotlivé části vysokonapěťové elektrody jsou znázorněny na obrázku II.

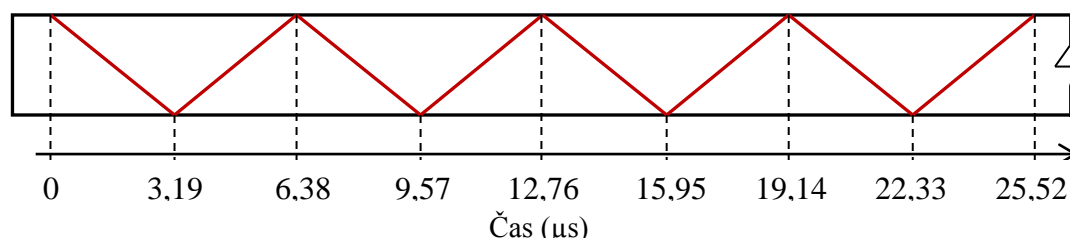


Obrázek II. Jednotlivé části vysokonapěťové elektrody

#### B. Zemnicí elektroda

Aluminiová zemnicí elektroda umožňuje průchod akustické vlny, která je způsobena interakcí zachyceného elektrického náboje s vysokonapěťovým pulzem. Odražená akustická vlna by mohla způsobit ovlivnění měřeného signálu, proto je tloušťka elektrody stanovena na 20 mm. Čas průchodu akustické vlny elektrodou je dán výpočtem (1), kde  $v_{Al}=6260$  m/s  $d_{Al}=0,02$  m a znázorněn na obrázku III.

$$t_{Al} = \frac{d_{Al}}{v_{Al}} = \frac{0,02}{6260} = 3,19\mu s \quad (1)$$



Obrázek III. Šíření akustické vlny zemnicí elektrodou

#### C. Detektor

Pro převod akustické vlny na elektrický signál je použit PVDF piezoelektrický převodník tloušťky 9  $\mu$ m s Cr/Al povrchovou úpravou. Pro tlumení odrazu je pod piezoelektrický převodník umístěn tlumicí člen - váleček PVDF tloušťky 20 mm, s povrchovou úpravou Cu zaručující vodivé spojení mezi piezoelektrickým

převodníkem a výstupem na zesilovač. Vnější část detektoru tvoří izolační válec z PTFE a Al stínění, které je spojeno se zemnicí elektrodou. Pro připojení k zesilovači je použit SMA konektor. Pro zesílení získaného signálu je nainstalován širokopásmový nízkošumový zesilovač Pasternack 9 kHz – 30 MHz se ziskem 32 dB.

#### D. Šasi jednotky

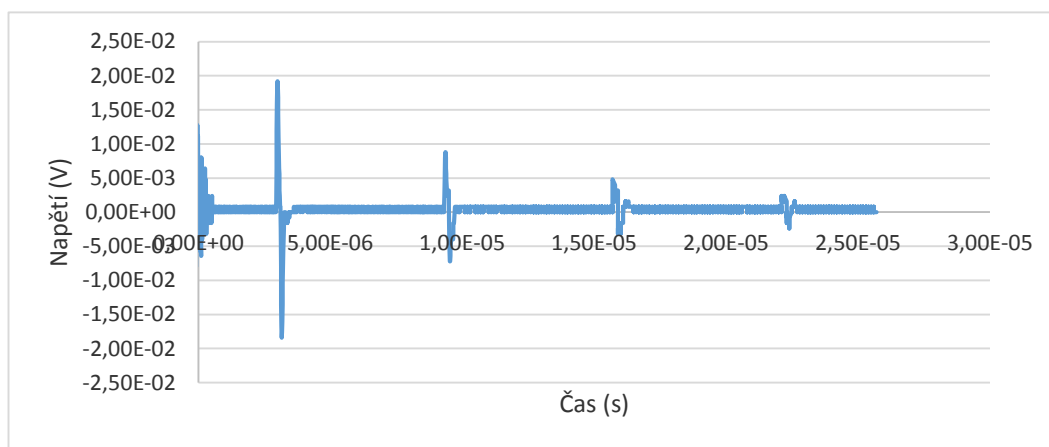
Pro omezení vnějších vlivů a rušení je spodní část jednotky obsahující zemnicí elektrodu a detektor umístěna do aluminiového šasi, které je vybaveno napájecím konektorem pro nízkošumový vysokofrekvenční zesilovač, BNC konektorem pro možnost zobrazení elektrického signálu na obrazovku osciloskopu a zemnicím konektorem. Kompletní realizace diagnostické jednotky je zobrazena na obrázku IV.



**Obrázek IV.** Diagnostická jednotka pro sledování rozložení prostorového náboje

#### IV. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Funkčnost jednotky byla ověřena měřením, při kterém byl použit vysokonapěťový pulz (125 ns, 100 Hz, 600 V) a vzorek kompozitního materiálu byl nabíjen stejnosměrným napětím o velikosti 4 kV. Obrázek V. graficky znázorňuje napěťový výstup a jeho tlumení v závislosti na čase.



**Obrázek V.** Napěťový výstup z PEA jednotky

## V. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo popsat základní části navržené diagnostické jednotky pro měření prostorového náboje pracující na principu pulzní elektroakustické metody. Provedená měření dokazují, že jednotka je správně akusticky impedančně přizpůsobena. Další práce bude zaměřena na tvorbu matematického modelu pro dekonvoluci signálu a na tvorbu vhodně impedančně přizpůsobeného pulzního zdroje.

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Jaroslavu Bartoňovi za jeho pomoc při obrábění jednotlivých částí konstrukce diagnostické jednotky.

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a za podpory grantu Studentské grantové soutěže ZČU č. SGS-2015-020 „Technologické a materiálové systémy v elektrotechnice“.

## LITERATURA

- [1] Menlík, V. *Dielektrické prvky a systémy*. 1. ed. Praha: BEN - Technická Literatura, 2006.
- [2] Damamme, G., C. Le Gressus a A. S. De Reggi. "Space charge characterization for the 21th century," *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* , vol.4, no.5, pp.558,584, 1997.
- [3] Dissado, L. A., G. Mazzanti, a G. C. Montanari. "The role of trapped space charges in the electrical aging of insulating materials," *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* , vol.4, no.5, pp.496,506, 1997.
- [4] Chen, G., M. A. Brown, A. E. Davies, C. Rochester a I. Doble. "Investigation of space charge formation at polymer interface using laser induced pressure pulse technique," *Electrets, 1996. (ISE 9), 9th International Symposium on* , vol., no., pp.285,290, 1996.
- [5] Zheng F., Y. Zhang, Z. An, Ch. Liu, J. Dong a Ch. Lin, "Thermal pulse method with an applied field," *Solid Dielectrics (ICSD), 2013 IEEE International Conference on* , vol., no., pp.427,430, 2013.
- [6] Lewiner, J., "Direct determination of space charge distributions in dielectrics: the pressure wave propagation method," *Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 1989., Proceedings of the 3rd International Conference on* , vol., no., pp.548,554, 1989.
- [7] Bodega, R., P. H. F. Morshuis a J. J. Smit. "Space charge measurements on multi-dielectrics by means of the pulsed electroacoustic method," *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* , vol.13, no.2, pp.272,281, 2006.
- [8] Fukunaga, K. "Innovative PEA space charge measurement systems for industrial applications," *Electrical Insulation Magazine, IEEE* , vol.20, no.2, pp.18,26, 2004.
- [9] Takada T., et.al. 2006. *Space Charge Measurement in Dielectrics and Insulating Materials*. CIGRE Task Force D1.12.01-288.2006.
- [10] Hornak, J. "Parametry klíčových prvků diagnostické jednotky pro sledování rozložení prostorového náboje", *Elektrotechnika a informatika 2015. Elektrotechnika, elektronika, elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015.