

Polymerní nanokompozitní dielektrika a jejich vliv na elektrické vlastnosti

Jiří Boček

Katedra technologií a měření, Západočeská univerzita v Plzni

Polymeric nanocomposite dielectrics and their influence on electrical properties

Abstract

This paper deals with polymeric composite dielectrics, which are filled with nano- or nano/micro- particles. It is focused on electric properties of several nanocomposite insulating systems. It is described breakdown strength, voltage endurance, permittivity, loss factor, space charge, partial discharge resistance and other. Particle functionalization is proving very important character of nanoparticles.

Keywords

nano composites, polymeric dielectric, power engineering

Úvod

Polymerní kompozitní dielektrika plněné mikročásticemi jsou osvědčenými materiály v oboru silnoproudé elektrotechniky. Dalším logickým krokem postupu v této oblasti je zhodnocení vlastností nanoplňiv, případně jejich aplikace v nových izolačních systémech. Jsme na začátku, a proto vycházíme z materiálů publikovaných na významných konferencích. Naším zájmem je nalezení změn v elektrických vlastnostech v důsledku užití nanoplňiv v oboru silnoproudé elektrotechniky. Budeme proto sledovat elektrickou pevnost, napěťovou odolnost, permitivitu, $\tan \delta$, změny prostorového náboje, odolnost proti částečným výbojům a některé další.

Práce se dále zaměřuje na tyto materiály základu - matrice: modifikace polyetylénu, polyamid, polypropylén, kopolymer EVA, epoxidové pryskyřice a silikonovou pryž. Mezi použitá nanoplňiva patří SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , ZnO , vrstevnatý sililát, montmotilonit, jejichž plnění se pohybovalo od 0 do 10 procent hmotnostních (hm.).

Jedním z nejdůležitějších aspektů je úprava povrchu nanočástice a její začlenění do polymerového základu. Tato oblast je zatím popsána velmi málo.

Elektrická pevnost

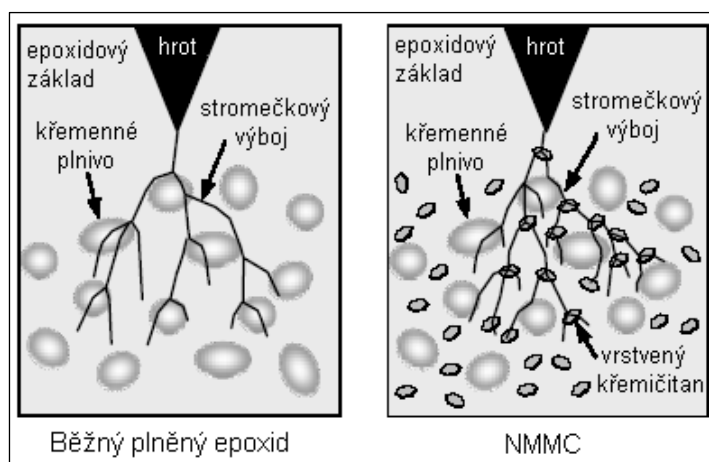
V testovaných vzorcích polyetylénových (PE) nanokompozitů docházelo ke vzrůstu elektrické pevnosti a to zejména ve srovnání s hodnotami, jež byly získány u vzorků mikroplněných. Nezanedbatelný vliv hrála funkční úprava nanoplňiv. To bylo ukázáno na kabelovém PE (Borealis SuperTRTM LE4212) s 5% nanoplňiva (hm.) SiO_2 o velikosti 15 nm. Vzorky měly tloušťku 0,005 – 0,015 mm a vzrůst střídavého napětí probíhal rychlostí 500 Vs^{-1} [9].

U polyamidového nanokompozitu nebyla zjištěna výrazná změna při různém plnění (2 - 6% hm.). Na elektrickou pevnost byl testován pouze jeden vzorek polyamidového nanokompozitu, který ukázal její vzrůst.

Stejně tak u nanokompozitu kopolymeru EVA byla zkoušena jedna skupina vzorků, která až na výjimky prokázala vzrůst elektrické pevnosti.

Výsledky u epoxidového nanokompozitu jsou sporné, vzhledem k malému počtu různých vzorků. U směsného (nano- mikro-) plniva byl zaznamenán vzrůst, zatímco u běžného nanoplňiva byl zaznamenán pokles proti běžnému (mikro-) plnivu.

Domnívám se, že tyto výsledky lze považovat za přínosné. Podle [9] mají na elektrickou pevnost vliv poruchy a volný objem polymeru.



Obr. 1: Pravděpodobný model vlivu směsi nano- a mikro- plniva (NMMC) [8]

Permitivita

Tuto skupinu měření lze, na základě zjištěných hodnot, shrnout do konstatování, že změny permitivity nejsou jednoznačné a jsou silně závislé na konkrétní funkční úpravě nanoplňiva.

Ztrátový úhel

Výsledky měření nejsou, stejně tak jako u permitivity, jednoznačné. Nelze říci, že by bylo zjištěno jednoznačné zlepšení či zhoršení sledované veličiny. Spíše se dá konstatovat, že dochází ke změnám v rozložení hodnot v závislosti na frekvenci, teplotě a funkční úpravě nanoplňiva – viz obr. 2.

Prostorový náboj

Závěry toho typu měření jsou shodné s předchozími. Byly pozorovány jak vzrůst, tak pokles v závislosti na plnění a funkční úpravě nanočástic - viz např. [13].

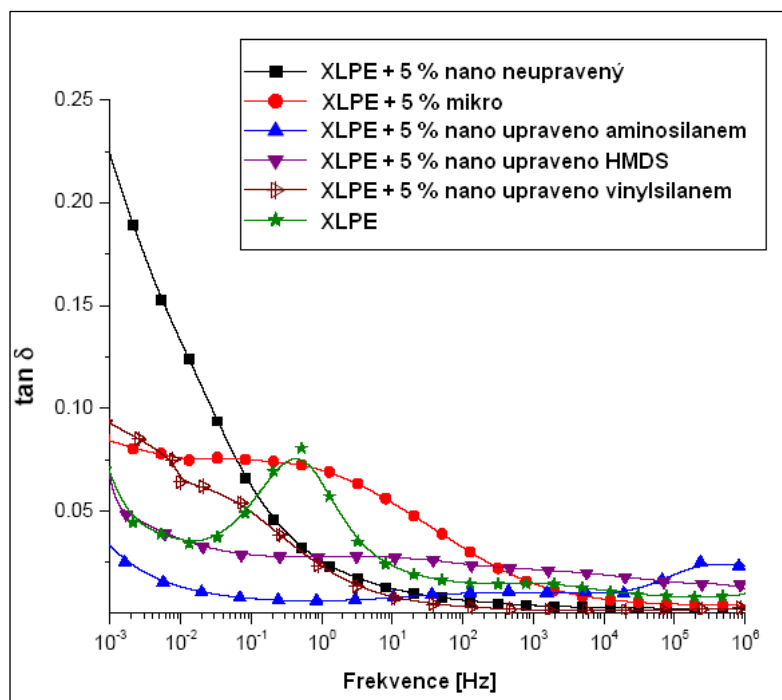
Odolnost proti částečným výbojům

U jedné skupiny vzorků nanokompozitu kopolymeru EVA bylo zjištěno zvýšení odolnosti i vzrůst zápalného napětí [16].

Skupinou, která byla nejintenzivněji prověřována, jsou epoxidové nanokompozity. Ve všech testovaných vzorcích bylo zjištěno zvýšení odolnosti proti částečným výbojům či

působení koróny. Za zmínku stojí chování směšného (nano-, mikro-) plniva, kde byl zjištěn vzrůst odolnosti proti nanoplňivu a srovnatelná odolnost ve srovnání s mikroplnivem [8].

U silikonové pryže došlo ke snížení erodovaného objemu [17].



Obr. 2: Dielektrická spektroskopie při 23 °C [9]

Další vlastnosti

Mezi další zajímavé vlastnosti zjištěné u některých polyetylenových nanokompozitů patří snížení velikosti vodivostního proudu na čase, vzrůst vnitřní rezistivity a vzrůst teploty dekompozice. Také u polyamidového nanokompozitu bylo zjištěno snížení velikosti vodivostního proudu na čase i teplotě. U polypropylénových nanokompozitů bylo popsáno zlepšení vlastností za zvýšené teploty. Nanokompozit kopolymeru EVA plněný směšným (mikro-, nano-) plnivem, byl shledán odolnějším proti působení plazivých proudů. Dále bylo prokázáno, že některé epoxidové nanokompozitní systémy mají snížen koeficient tepelné roztažnosti.

Závěr

Zjištění u výše uvedených nanokompozitních systémů naznačují, že tyto nové materiály mají potenciál přinést mnohá zlepšení v oblasti silnoproudých dielektrik. Zásadní problém spatřují v nalezení vhodných, vzájemně kompatibilních, kompozitních systémů skládajících se z matrice, plniva a jeho funkční úpravy. Další výzvou může být precizní objasnění a popsání působení konkrétních nanoplňiv na elektrické vlastnosti z pohledu fyziky a chemie.

Literatura

- [1] The slow polarization phenomena of interfaces between particles of mikro-SiO₂ or nano-SiO_x and low-density polyethylene, CEIDP05

- [2] Effects of nano-sized MgO-filler on electrical phenomena under DC voltage application in LDPE, CEIDP05
- [3] Electrical characterization of polymer-layered silicate nanocomposites, CEIDP05
- [4] Surface erosion due to partial discharges on several kinds of epoxy nanocomposites, CEIDP05
- [5] Study of polarisation and conduction phenomena in nano-structured polypropylene, CEIDP05
- [6] The promise of dielectric nanocomposites, ISEI06
- [7] Dielectric nanocomposites with insulating properties, IEEE05
- [8] Insulation properties of nano- and micro- filler mixture composite, CEIDP05
- [9] The influence of physical and chemical linkage on the properties of nanocomposites, CEIDP05
- [10] Effects of mica fillers on dielectric properties of polyamide nanocomposites, CEIDP05
- [11] An experimental study about the surface behaviour, under electrical stress in contaminated wet condition, of different nanostructured polymers, CEIDP05
- [12] Improving thermal endurance properties of polypropylene by nanostructuring, CEIDP05
- [13] Dielectric properties of polypropylene containing nano-particles, CEIDP05
- [14] Dielectric properties of alumina-polymer nanocomposites, CEIDP05
- [15] Improved performance of oligomeric silsesquioxane epoxides, CEIDP05
- [16] A study about electrical treeing in different EVA - layered silicate nanostructured compounds, ISEI06
- [17] Use of nano-silica in silicone rubber for ceramic insulators coatings in coastal areas, ISEI06
- [18] The effect of electrical field on the slow polarization of nano-SiO_x and low-density polyethylene composite, ISEI06
- [19] Nanocomposites for high voltage applications: Effect of sample preparation on AC breakdown statistics, CEIDP05

ISEI: Conference record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation [CD-ROM]. Toronto: Delta Chelsea Hotel. [cit. 10-3-2008]. ISBN 1-4244-0334-0

CEIDP: Annual Report conference on Electrical Insulation Society. [CD-ROM] IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society. Tennessee: Nashville. 2005. [cit. 10-3-2008]. ISBN 0-7803-9258-2