

Oponentní posudek dizertační práce

Autor práce: Ing. Jaroslav Hornak
Název práce: Interakce nehomogenního dielektrika s elektrickým polem
Studijní obor: Elektrotechnika
Školitel: doc. Ing. Pavel Trnka, Ph.D.

Aktuálnost zvoleného tématu

V úvodu práce autor popsal současný světový stav problematiky pevných kompozitních materiálů. Kapitola je rozdělena do tří podkapitol. První a druhá kapitola popisuje makrostrukturní, mikrostrukturní a nanostrukturní pohled na izolační systémy. Poslední část je věnována nastínění problematických aspektů těchto systémů. Tato část práce je zpracována velmi pečlivě, je doplněna velkým množstvím citací ze světové literatury a svědčí o autorově nadhledu a schopnosti popsat současný stav vědního oboru. S přihlédnutím k rešeršní části práce zvolené téma dizertační práce hodnotím jako vysoce aktuální.

Metody zpracování a výsledky dizertační práce

Kapitola 5 formou blokového návrhového diagramu přehledně popisuje obsah dalších kapitol, které jsou již konkrétně věnovány popisu splnění jednotlivých cílů dizertační práce.

Kapitola 6 je zaměřena na popis nástrojů pro analýzu jednotlivých složek kompozitu. Jsou zde uvedeny vedle standardních technik i další, méně používané. Všechny metody jsou popsány velmi podrobně. Tyto metody jsou pak v dalších kapitolách dále aktivně využívány.

Vlastní jádro dizertace je obsaženo v kapitolách 7 a 8 a částečně v kapitole 4 a 5.

Kapitola 7 je věnována syntéze vnitřní struktury mikrokompozitu. Autor zde postupně rozebírá vliv jednotlivých složek, které podrobně analyzuje. U všech uvádí frekvenční a teplotní závislost reálné a imaginární části komplexní permitivity, difraktogram a vizualizaci průrazného kanálu. Vše je zpracováno velmi pečlivě a doplněno obsáhlou a vysoce konkrétní diskuzí výsledků. Závěr kapitoly popisuje postup výroby nanostrukturního mikrokompozitu.

Kapitola 8 srovnává vyvinutý kompozitní materiál s dostupnými materiály. Ve všech zvolených elektrických parametrech (elektrická pevnost, vnitřní rezistivita a ztrátový činitel) vychází lépe než ostatní materiály. Z hlediska dizertační práce je toto srovnání v pořádku, ale v další vědecké práci by bylo vhodné kompozitní materiál srovnat i s dalšími používanými materiály. Autor analyzuje vliv stejnosměrného i střídavého pole a výsledky podrobně diskutuje.

Mohu konstatovat, že práce splňuje všechny předpoklady kladené na vědeckou a výzkumnou činnost. Obsahuje nové a neotřelé metody řešení předložené problematiky. V kapitole 9 autor

jasně shrnuje přínosy práce a není možné než s nimi bez výhrady souhlasit. Metody zpracování hodnotím jako vysoce nadprůměrné.

Formální a jazyková úroveň

Práce je napsána v českém jazyce s minimem překlepů. Úroveň jazyka je na velmi vysoké úrovni psaní technického textu. Je rozdělena na 9 kapitol, které jsou dále logicky členěny do několika podkapitol. Dizertační práce dále obsahuje velmi podrobný seznam použitých symbolů. Obsahuje 30 stran příloh, které věcně doplňují informace obsažené v dizertační práci.

Splnění jednotlivých cílů

Cíle dizertační práce jsou formulovány v kapitole 2. Rozdělení do 9 bodů s podrobným popisem považuji za nestandardní. Spíše bych ocenil jejich zkrácení a sloučení do tří až čtyř obecnějších cílů. Tato formální záležitost nemá ovšem faktický vliv na jejich splnění. Všechny cíle byly autorem dizertační práce splněny.

Otázky k práci

- Str. 52 a další: Jak je definována v práci komplexní permitivita? Dle obecné definice je to součet reálné a imaginární složky ve tvaru

$$\hat{\epsilon} = \epsilon' \left(1 - i \frac{\sigma}{\omega \epsilon'} \right) = \epsilon' - i \frac{\sigma}{\omega}$$

Relativní permitivita má tedy z fyzikálního hlediska smysl pouze u rozepsání reálné části reprezentující dielektrické vlastnosti. U imaginární části je pak toto rozepsání čistě formální. Navíc po dosazení jednotek to není bezrozměrná veličina.

V materiálové teorii dielektrik je zřejmě používaná jiná definice. Autor by měl při diskuzi tuto skutečnost lépe vysvětlit. Popisky obrázku jako např. 37 a 47 jsou z tohoto pohledu nejasné. Jejich fyzikální výklad je ovšem naprosto správný.

- Str. 33: Obrázek 12 a 13 zobrazuje chování homogenního dielektrika s prostorovým nábojem. Jak byl tento náboj zvolen? Na jakém základě bylo zvoleno právě toto rozložení? Byla tato motivace pro popis kvantitativního, nikoliv kvalitativního chování dielektrika?
- Z výsledků na straně 45 vyplývá, že elektrické pole je v okolí jehly silně nehomogenní. Toto tvrzení je bezesporu správné, pouze bych nehovořil o konkrétní hodnotě. Ta bude totiž u modelu závislá na konkrétní implementaci reprezentace zakřivené plochy v bázových funkcích a může se tedy v jednotlivých programech značně lišit. Jedná se o moji soukromou poznámku a při obhajobě není nutné tuto skutečnost dále vysvětlovat.
- Autor v kapitole 8 srovnává vyvinutý materiál na základních dielektrických parametrech s dalšími dostupnými materiály. Bylo by vhodné naznačit doktorandův názor na další vývoj v této oblasti a možné nasazení a komercializaci nanokompozitního materiálu.

Poznámky k práci

- Str. 25: Náboj q má uveden exponent 10^{-17} , správně je 10^{-19} .
- Str. 26: (+ seznam symbolů): Jednotka permitivity je F/m nikoliv F/m^2
- Str. 35: Rovnice 15 a 16 - intenzita elektrického pole v tomto případě 1D rozložení není vektorová veličina
- Str. 45: Rovnice 19 - intenzita elektrického pole v tomto případě není vektorová veličina
- Str 61: V popisku rovnic přímek chybí proměnná x .

Publikace autora

Autor v průběhu svého studia publikoval 6 prací v impaktovaných časopisech (1x Q1, 3x Q2 a 2x Q4), 4 práce v dalších časopisech, 23 příspěvků na mezinárodních konferencích a další příspěvky na tuzemských konferencích. Celkem se jedná o 63 prací. Publikační činnost považují za vysoce nadprůměrnou. Její rozsah silně překračuje obvyklé požadavky na zveřejnění jádra dizertační práce. Velké množství publikací v kvalitních časopisech s otevřeným recenzním řízením jenom podtrhuje kvalitu odvedené vědecké práce doktoranda.

Závěr

Ing. Jaroslav Hornak splnil stanovené cíle doktorské dizertační práce. Dizertace obsahuje původní vědecké poznatky v oblasti interakce elektrického pole s dielektrikem. Předložená práce je v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. a nejen splňuje požadavky na úroveň doktorských disertačních prací, ale v mnoha aspektech je i vysoce překračuje. Doktorand prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Plzni, dne 24. října 2018



prof. Ing. Pavel Karban, Ph.D.



Technická 2, 166 27 Praha 6
Tel.: (02) 2435 2123, Fax: (02) 2435 3949, E-mail: pospisi@feld.cvut.cz, WWW: <http://technology.feld.cvut.cz>

POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: Interakce nehomogenního dielektrika s elektrickým polem
Autor: Ing. Jaroslav Hornak
Vysoká škola: Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta: Fakulta elektrotechnická
Katedra: Technologii a měření
Recenzent: doc. Ing. Pavel Mach, CSc., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektrotechnologie

Zvolené téma práce považuji, s ohledem na prudký rozvoj sledované problematiky v posledním desetiletí, za vysoce aktuální. Problematika nanotechnologií obecně přináší řadu nových materiálových vlastností a technologických možností založených na principech, které se v oblasti větších rozměrů neprojevují. Studium problematiky nanokompozitů užívaných pro dielektrické izolační systémy z hlediska jejich homogenity, deformací vnitřní intenzity elektrického pole a dalších aspektů je významným příspěvkem do této oblasti.

Cíle práce jsou stanoveny správně s ohledem na disertabilitu zadané problematiky, pouze jejich počet je poněkud překvapující. Většinou jejich počet bývá zhruba poloviční a nejsou definovány tak detailně, jako v této práci. Na druhé straně doktorand tyto cíle dokázal splnit, což svědčí o jeho kvalitě.

Práce se skládá z úvodu, devíti kapitol a závěru a je doplněna třemi přílohami. S výjimkou kapitoly 2, která uvádí cíle práce, jsou kapitoly 1 až 4 převážně řešeršního charakteru. V kapitole 4 je provedena zjednodušená simulace elektrického namáhání dielektrika vyvolaného různými defekty v jeho struktuře. Výsledkem je nehomogenní elektrické namáhání systému, což je jeden z faktorů, které významně ovlivňují životnost dielektrika. Tyto kapitoly jsou psány se znalostí věci a mají logickou strukturu, včetně bohaté citace použité literatury.

V kapitole 5 je vývojový diagram návrhu, vývoje a diagnostiky nanostrukturního kompozitu. Struktura diagramu je logická. Fáze III je zaměřena na „Ověření vyšší úrovně homogenity nanostrukturního kompozitu“. Pokud je zde „vyšší“ úroveň, s jakým kompozitem je nanostrukturní kompozit srovnáván?

Kapitola 6 uvádí principy diagnostických metod použitých při zpracování práce. Na tuto kapitolu navazuje kapitola 8, kde jsou uvedeny diagnostické postupy použité pro měření dielektrických vlastností a interakce dielektrického systému se stejnosměrným a střídavým elektrickým polem.

1. *V práci jsou vyjmenovány látky (Tab. 2) které je možné použít pro povrchovou úpravu plniva, aby se zabránilo jeho aglomeraci a bylo dosaženo rovnoměrné disperze plniva v objemu pojiva. Existují vazebná činidla na jiné bázi pro daný typ nanočástic?*
2. *Obr. 45 ukazuje vliv vazebního činidla na snížení relaxačních dob jednotlivých polarizací. Vysvětlete příčinu této změny.*
3. *Základem navrženého nového materiálu je epoxidová pryskyřice Epoxilite 3750 LV s plnivem MgO a nosnou složkou polyetylen naftalátovou fólií. Naměřené hodnoty a závěry nad nimi se týkají právě těchto materiálů. V případě potřeby materiálu s lepšími než těmito vlastnostmi, co byste navrhl změnit?*
4. *Pro dosažení rovnoměrné disperze nanočástic v pryskyřici byl použit epoxysilan GLYMO. Chemismus je prezentován na obr. 35 a 36. Prezentujte hlavní příčinu, proč výstupem uvedeného chemického procesu (procesů) je možné dosáhnout rovnoměrné disperze.*
5. *Jsou porovnány vlastnosti PEN a PET fólie. Jsou i jiné možnosti nosné složky?*

Disertační práce je zpracována pečlivě a reprezentuje značný objem vykonané práce. Autor řešil zcela úkol náročný jak na oblast experimentální, tak diagnostickou i teoretickou. Ve všech oblastech se svého úkolu zhostil výborně. Oceňuji i přínos práce autora v oblasti diagnostické jednotky pro sledování akumulovaného náboje a diagnostického systému pro ověření vnitřní homogenity připraveného kompozitu.

Vysoce hodnotím i publikační aktivitu autora. Z formálního hlediska je práce psána čtivě dobrým jazykem s minimem mluvnických chyb, ke grafické úpravě práce nemám výhrady.

Disertace splnila sledovaný cíl. Přesvědčivě opověděla na jednotlivé body zadání práce a přinesla nové výsledky do dané vědní oblasti. Výsledky práce mají význam pro praxi i pro další rozvoj vědy. Proto předloženu disertační práci, v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb. par. 47

doporučuji k obhajobě.


doc. Ing. Pavl Mach, CSc.
ČVUT FEL v Praze

V Praze dne 10. 10. 2018

Oponentní posudek na disertační práci

Ing. Jaroslava Hornaka

Interakce nehomogenního dielektrika s elektrickým polem

Tato velmi pečlivě zpracovaná a odborně obsažná práce řeší úspěšně návrh nového tříslložkového dielektrika s nanomateriálem z hlediska jeho chování v elektrickém poli. Jde o dosažení lepších dielektrických vlastností nového izolačního systému vn v porovnání se současně používanými dielektrickými bariérami elektrických strojů.

Pro obor elektroizolační techniky vn elektrických strojů má předložená práce **význam** nejen pro pozitivní dosažené výsledky návrhu, ale i pro prezentaci technologie výroby předmětného výsledku vývoje, a to vše **vlastními původními metodami**.

Autor postupoval logicky po sobě navazujících krocích ve zkoumání jednotlivých částí tříslložkového dielektrika a pak výsledného izolačního systému jako celku, a to za pomoci jak konvenčních, tak i vlastních originálních diagnostických metod v první návrhové fázi a pak ve fázi ověření finálních vlastností ve fázi experimentu.

V uvedeném **postupu řešení** jsou prezentovány teoretické úvahy o vhodnosti jednotlivých komponentů systému a též fundovaná teorie nehomogenního dielektrika v různých druzích elektrického pole. Oceňuji v obou diagnostických fázích (vývoj a ověření) použití i méně nasazovaných diagnostických metod v silně nehomogenním el. poli (např. analýza redukovaných resorpčních křivek a metoda napěťové odezvy) k posouzení vhodnosti vybrané komponenty či celku dielektrika spolu s prezentací vlastních přínosných postupů.

Konkrétním přínosem je návrh nového funkčního izolačního systému s nanostrukturním kompozitem a to epoxidová matrice bezrozpustidlové pryskyřice bisphenol-A diglycidyl ether s upraveným nanomateriálem SiO₂ (autorova vlastní povrchová úprava) a nosná komerční polyetylen naftalátová folie. Vyšší úroveň systému byla stvrzena experimentem v porovnání s dnes používanými systémy náročnými i vlastními diagnostickými metodami. Ve stručnosti lze **přínos** shrnout do návrhu a úspěšného výsledku izolačního systému (IS) optimalizačním postupem a přínosem i **vlastních diagnostických metod** při vývoji i srovnávání s běžnými IS. Za pozornost stojí vypracování **původní (vlastní) technologie výroby vzorků** a výsledná možnost náhrady rekonstruované slídy použitím navrženého nanokompozitu.

Práce je značného rozsahu, přehledná a formálně a obsahově na výši, uspořádaná s dobrou jazykovou úrovní. Počet použitých **publikačních zdrojů** (143) svědčí o rozsahu studia a 59 autorských a spoluautorských **publikací** o odborném profilu autora (vč. 4 vlastních z tuzemských odborných konferencí).

Vzhledem ke všem uvedeným pozitivům hodnotím kladně přínosnou disertační práci Ing. Jaroslava Hornaka a v souladu se zák. č. 111/1998 Sb. §47 a s čl. 107 odst.1 a 2. Studijního a zkušebního řádu ZČU ji **d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě**.

Při obhajobě doporučuji vyjádření disertanta k následujícím drobnostem:

- dovysvětlit tvrzení na str. 16 ...nevýhodou oproti VPI...nelze zkrátit délku cívek při zachování výkonu stroje...
- na str. 125 text pod obr. (překlep)
- obr. 27 je řetězci překlep $2x C_{p1}$
- str. 52 obr. 33 blíže popsat techniku vizualizace a komentovat zda jde jen o elektrický nebo i tepelný průraz
- str. 74 a obrázky v Příloze C definovat parametry charakterizující pravděpodobný způsob injektování nosičů náboje do seznamu symbolů (α_{s1} a α_{s2})
- str. 81 překlep Deye, Debbye =Debye

Jde pouze o formální drobnosti.

V Plzni, dne 10.10.2018



Ing. Lumír Šašek, CSc.