

Elektrické stárnutí a dielektrické spektrum termikanitu

Ing. Martin Frk

Ústav elektrotechnologie, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Údolní 53, 602 00 Brno, Česká republika

E-mail: frkmar@feec.vutbr.cz

Doc. Ing. Karel Liedermann, CSc.

Ústav fyziky, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně, Technická 8, 616 00 Brno, Česká republika

E-mail: liederm@feec.vutbr.cz

I. Úvod

V poslední době je stále větší důraz kladen na ekonomické souvislosti posuzování stavu a provozuschopnosti elektronických a elektrotechnických zařízení. Uplatňuje se diferencovaný přístup – v případech, kdy je diagnostika daného systému příliš nákladná v porovnání s náklady na výměnu, je nefunkční nebo i pouze nedostatečně spolehlivé zařízení vyměněno, zatímco naopak v případech, kdy jsou náklady spojené s výměnou či opravou stávajícího zařízení v porovnání s náklady na jeho diagnostiku příliš velké, preferují se diagnostika před výměnou. Tyto ekonomické zřetele se promítají do praktických aplikací mimo jiné v zařízeních pro jadernou energetiku, kdy je výměna určitého zařízení problematická či za normálního provozu téměř nemožná.

V této práci jsou studovány dopady napěťového stárnutí na vlastnosti izolačního materiálu typu termikanit, který je určen pro vysokoteplotní aplikace, mimo jiné v izolacích elektrických strojů používaných v posuvu regulačních tyčí v jaderných reaktorech.

Pro sledování změn v izolaci se nabízí dielektrická relaxační spektroskopie (DRS), tj. zjednodušeně měření závislosti obou složek komplexní permitivity zvoleného izolačního materiálu na frekvenci a teplotě. Vzhledem k tomu, že DRS je integrální metodou, která zaznamenává odezvu celého sledovaného materiálu jako celku, je otázkou, do jaké míry mohou být výsledky dielektrických měření schopné výpovědi o lokálních vlastnostech, které jsou pro elektrický průraz rozhodující. I při absenci bezprostřední korelace mezi dielektrickým spektrem a elektrickým průrazem však DRS poskytuje představu a informace o změnách probíhajících ve sledovaném materiálu v průběhu stárnutí.

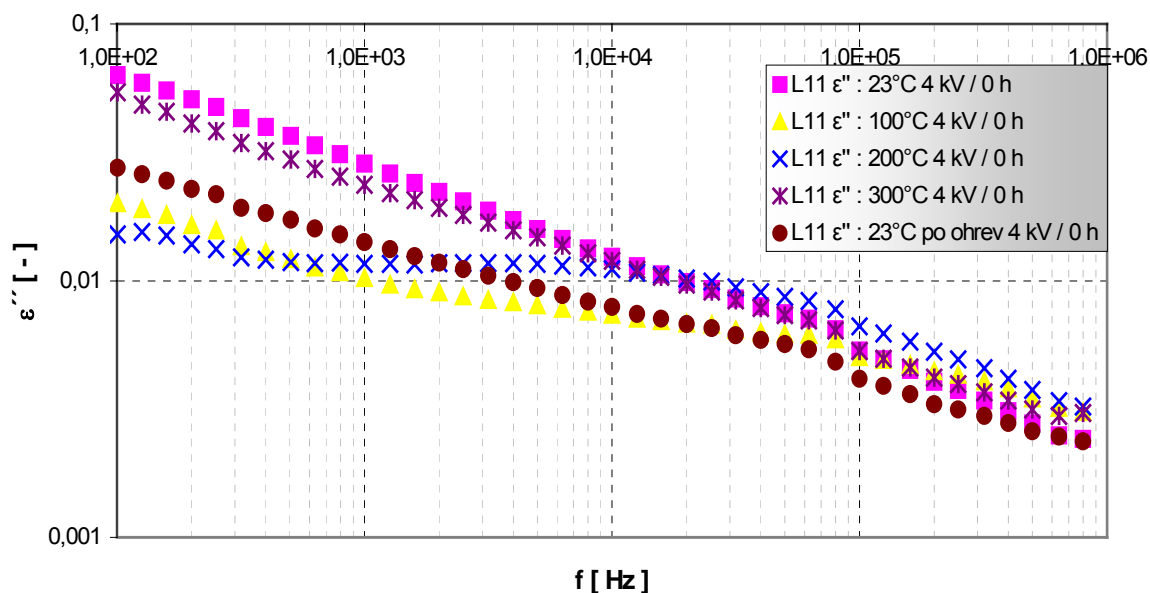
II. Experimentální část

Předmětem měření byly modelové vzorky termikanitu, tj. kompozitního materiálu skládajícího se z nekalcinovaného slídového papíru (91 %) a silikonového pojiva (9 %). Materiál pro vzorky byl dodán výrobcem, tj. nejednalo se o vzorky pocházející z reálného provozu. Z materiálů byly připraveny zkušební vzorky o rozměrech 65 x 65 mm a tloušťce 0,31 mm. Vzorky byly kondicionovány při teplotě okolí v prostředí 0% relativní vlhkosti. V této práci jsou prezentovány a vyhodnoceny pouze výsledky měření na vzorcích, které byly vystaveny elektrickému namáhání při napětích 4 kV po časové intervaly 80 a 200 hodin stárnutí, ačkoli stárnutí bylo prováděno i při jiných hodnotách napětí.

Měření na všech vzorcích se prováděla standardně při teplotách 23 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C a poté po ochlazení opět při teplotě 23 °C, ve frekvenčním intervalu 20 Hz – 1 MHz na analyzátoru HP4284A firmy Agilent (původně HP). Pro měření byl zkonstruován vlastní elektrodový systém vycházející koncepčně z měřicího přípravku HP16451B od téže firmy, avšak nyní navrženého s použitím takových materiálů, aby jej bylo možno použít do teplot 300 °C. Vzhledem k tomu, že pozorované změny dielektrického spektra byly poměrně malé, byla pro srovnání proměřována navíc i dielektrická spektra vzorků thermikanitu vystavených teplotnímu stárnutí.

III. Výsledky měření

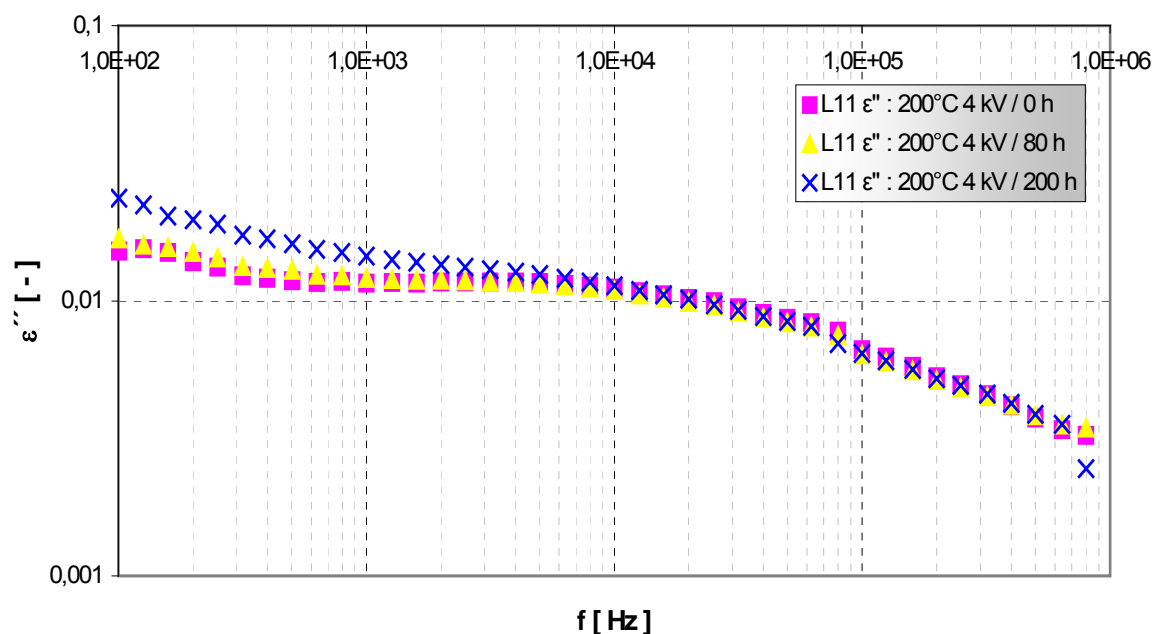
Průběh ztrátového čísla před stárnutím s teplotou měření jako parametrem je uveden na obr. 1. Tento obrázek tedy představuje materiál v elektricky nestárnutém stavu (podroben pouze teplotnímu stárnutí 320 °C/500hod).



Obr. 1 – Vzorek L11, nestárnutý napěťově, teplota 20, 100, 200 a 300 °C (nenapařený)

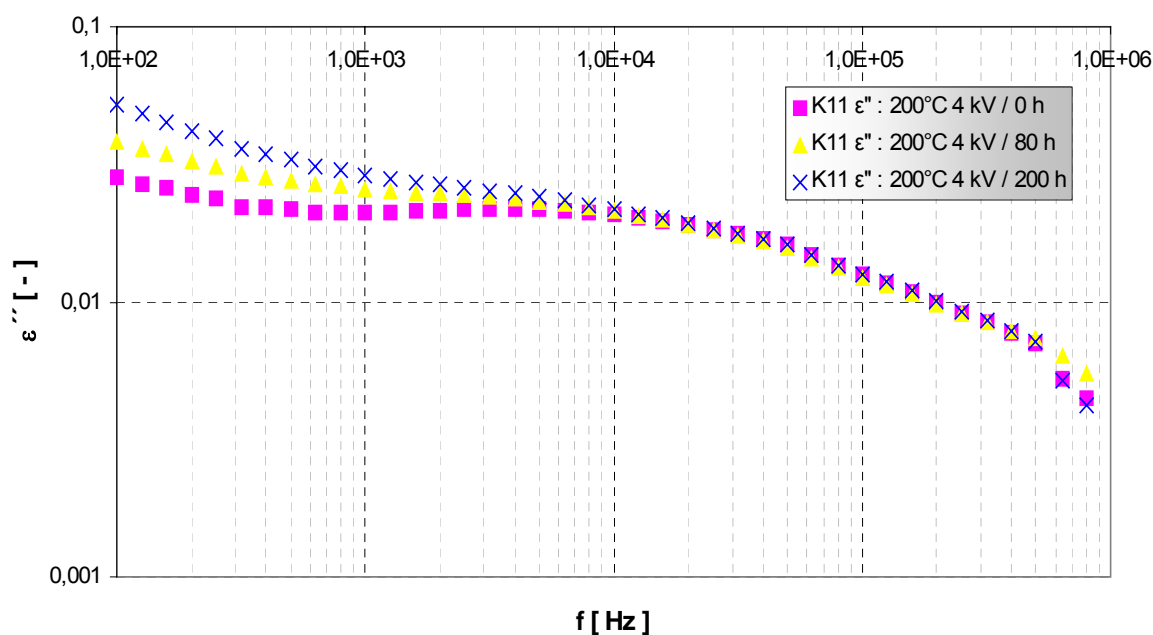
Je patrné, že až do teploty 200 °C ztrátové číslo postupně s rostoucí teplotou klesá, při teplotě 300 °C narůstá a při návratu na pokojovou teplotu opět poklesne, a to na hodnotu nižší, než byla původně při pokojové teplotě před ohřevem. Možné vysvětlení bude teprve předmětem dalších analýz.

Dielektrické spektrum se stupněm zestárnutí jako parametrem je uvedeno v obr. 2 pro teplotu 200 °C.



Obr. 2 – Vzorek L11, 200°C, parametr 0, 80, 200 hod. stárnutí při 4 kV (nenapařený)

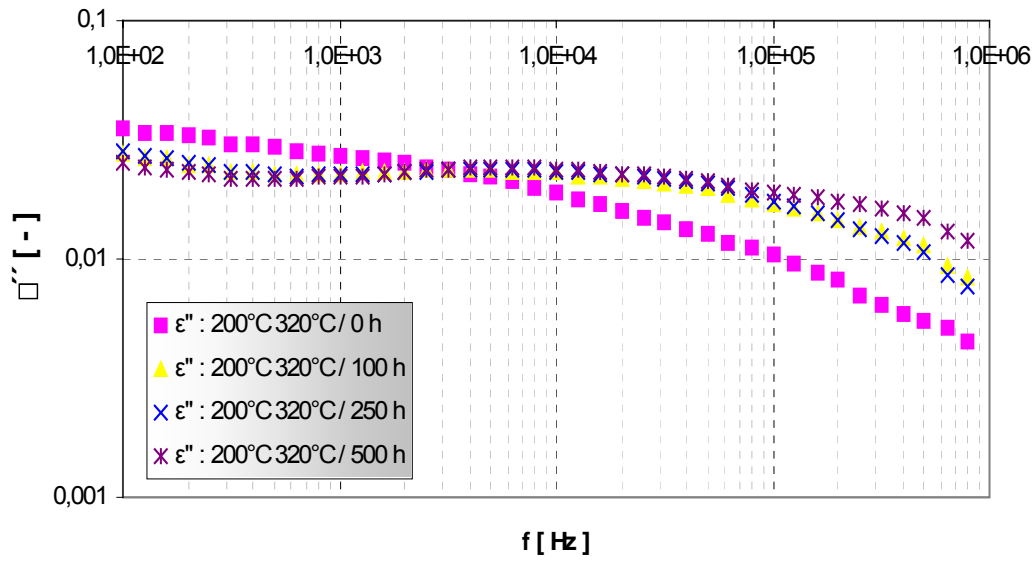
Pro srovnání je dále uveden vzorek měřený s napařenými elektrodami.



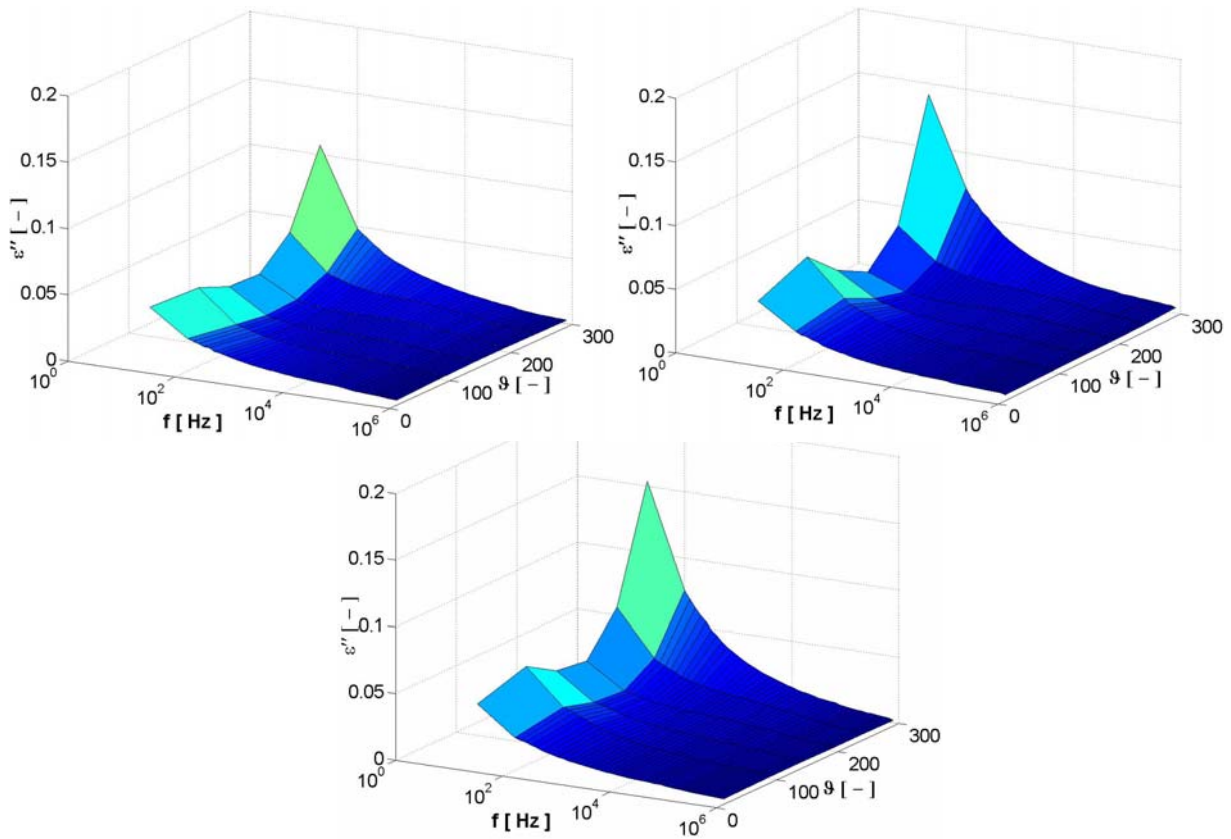
Obr. 3 – Vzorek K11, 200 °C, parametr 0, 80, 200 hod. stárnutí při 4 kV (napařený)

Výsledky měření vzorku vystaveného teplotnímu (nikoli napěťovému) stárnutí při teplotě 320 °C jsou uvedeny na obr. 4. Jedná se opět o frekvenční závislost ztrátového čísla s dobou stárnutí jako parametrem. Teplota při měření vzorku je konstantní, a to 200 °C.

Na obrázku 5. jsou poté uvedeny trojrozměrné diagramy zobrazující závislost ztrátového čísla na frekvenci a teplotě měření u vzorku vystaveného napěťovému stárnutí.



Obr. 4 – Vzorek X1, 200 °C, doby stárnutí 0, 100, 250, 500 hod při teplotě 320 °C (napařený)



Obr. 5 – Vzorek L12 (nenapařený); a) 0 hod/ 4kV, b) 80 hod/ 4kV, c) 200 hod/ 4kV

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení grantového projektu Ireverzibilní procesy v izolačních materiálech pro elektrotechniku pro vysoké teploty (GAČR 102/03/621), a dále výzkumného záměru MIKROSYN (MŠMT ČR MSM 0021630503).