

Juraj Kurimský

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Mikropásikový senzor pre dielektrometriu

Abstrakt. V článku je prezentovaná možnosť použitia mikropásikových senzorov (MPS) za účelom dielektrickej charakterizácie okolitého média. Je podaná stručná charakteristika MPS a možnosti analytického a numerického výpočtu jeho kapacity. Na praktickom príklade je poukázané na zmenu charakteristickej kapacity pri zmene dielektrických vlastností okolitého média.

Kľúčové slová: mikropásikový senzor, meracia metóda, dielektrometria

Abstract. Abstract. The paper presents the possibility of using microstrip sensor (MPS) for dielectric characterization of the surrounding medium. A brief characteristic of MPS is presented and the possibilities of analytical and numerical calculation of its capacity. As a practical example, the change of the characteristic capacitance of MPS when changing the dielectric properties of the surrounding medium is shown. (**Microstrip sensor for dielectrometrics**)

Keywords: microstrip sensor, measurement method, dielectrometry

Úvod

Pravidelne striedajúce sa vedľa seba ležiace elektródy patria medzi často používané elektródové usporiadanie. Uplatnenie nachádzajú v oblasti nedeštruktívnych skúšok (NDT), akustiky, biotechnológií, elektrochémie, telekomunikáciách, atď. Aj keď sa využíva rovnaký fyzikálny princíp, časom sa pre túto štruktúru zaužívali rôzne pomenovania, napr: vnorené alebo prelínajúce sa (interdigital), periodické (periodic), hrebeňové (comb), alebo mikro-pásikové (microstrip). Pri návrhu ich konkrétnej aplikácie sa rieši geometria, postup výroby mikropásikov, výber materiálov, analytické alebo numerické modelovanie, systémová integrácia a spracovanie a analýza údajov [1]

Spoločné vlastnosti:

Mikropásikový senzor (MPS) sa môže jednoducho umiestniť do meranej vzorky a penetrovať ju elektrickými, magnetickými alebo akustickými poľami z jednej strany vzorky. Druhá strana môže byť otvorená, umožňujúc tak vstrebávanie plynu, vlhkosti, alebo chemikálií, ktoré môžu meniť elektrické vlastnosti meranej vzorky.

Senzoricky citlivá vrstva chemickej alebo biologickej povahy umiestnená nad nad elektródami môže interagovať s plynným alebo kvapalným prostredím. Takto je umožnené monitorovanie koncentrácie chemických látok v takých materiáloch, ako je vzduch, transformátorový olej alebo dokonca aj ľudské telo.

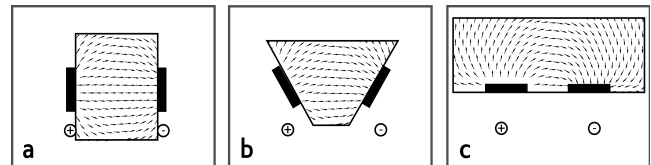
Úroveň meraného signálu v MPS je možné riadiť zmenou veľkosti plochy senzora, úpravou počtu elektród a vzdialenosti medzi nimi. Odstup úrovni signál-šum a minimálna plocha MPS je navrhovaná na základe požiadaviek konkrétnej aplikácie.

MPS sa používajú aj vo frekvenčnej dielektrometrii. Táto technológia využíva páry elektród v hrebeňovom usporiadaní, pričom priestorová periodicitu rozmiestnenia je premenlivá.

Hĺbka prieniku siločiar kvázi-statického elektrického poľa do materiálu je nezávislá od frekvencie a priamo úmerná priestorovej vlnovej dĺžke. Tá je definovaná ako vzdialenosť medzi stredovými osami susedných elektród s rovnakou polaritou. Dielektrické vlastnosti môžu súvisieť s mnohými inými fyzikálnymi vlastnosťami, ako napríklad pórovitosť, hustota, štruktúrna integrita, ale aj chemické zloženie testovaných materiálov.

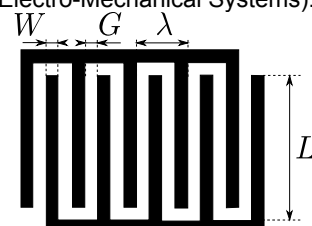
Princíp mikropásikového senzora

Na účel monitorovania povrchovej vodivosti sa môžu použiť rôzne meracie usporiadania plošných senzorov. V tomto príspevku je popísané využitie princípu rozptyľového elektrického poľa pre meranie vlastností okolitého prostredia, ktoré môže byť modifikované nielen vlhkosťou, ale aj nánosmi spadov z externých zdrojov znečistenia. Na obr. 1 Je poukázané na odlišnosť medzi kondenzátorom s paralelným usporiadaním elektród, a postupnou depozíciou elektród do finálneho stavu koplánárneho usporiadania. Sensory zhotovené na princípe rozptyľovej kapacity sa s výhodou dajú použiť napr. na detekciu hustoty média, detekciu pohybu, detekciu povrchov alebo detekciu vlhkosti [2].



Obr. 1: Siločiar, usporiadanie elektrického poľa v kondenzátore s paralelným usporiadaním elektród (a), natočenými elektródami 60° (b) a v ko-plánárnom usporiadaní (c)

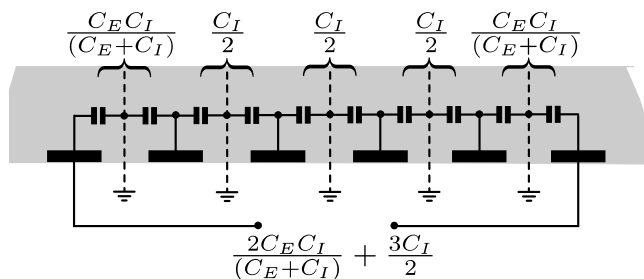
Príklad usporiadania vzájomne prelínajúcich sa aktívnych častí elektród je na obr.2. Geometrická charakteristika pozostáva z počtu elektród, dĺžky elektródy L , šírky W a medzielektródovej štrbiny G . V anglickej literatúre sa tieto typy usporiadaní nazývajú „inter-digitated capacitors“. Majú široké uplatnenie ako chemické a biologické senzory, kde kapacitancia alebo impedancia sa mení ako dôsledok interakcie medzi analytickou a senzorovou vrstvou [3]. V súčasnosti sa takého usporiadania realizujú v rôznych mierkach, bežne sa používajú aj mikro-zariadeniach, známych ako MEMS (z angl. Micro-Electro-Mechanical Systems).



Obr. 2: Príklad usporiadania elektród [3]

Analytický výpočet kapacity MPS

Pre určenie/výpočet kapacity senzora poslúži náhradná schéma, ktorá obsahuje dva typy kapacít: C_I je polovičná hodnota kapacity vnútornej elektródy voči uzemnenej elektróde, C_E je kapacita vonkajšej elektródy susednej uzemnenej elektróde, obr. 3.



Obr. 3: Ekvivalentný obvod pre výpočet statickej kapacity MPS senzora [4]

Výsledná kapacita MPS je [4]:

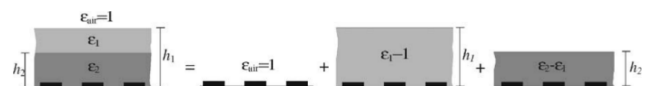
$$C = (N - 3) \frac{C_I}{2} + 2 \frac{C_I C_E}{C_I + C_E} \quad (1)$$

kde $N > 3$ je počet elektród.

Pre aplikáciu senzora na externé znečistenie je užitočná predstava, keď sú aplikované dve látky s rozdielnou permitivitou. Kapacity C_E a C_I pre viac dielektrických vrstiev, ktoré majú rozdielne hrúbky a permitivity, sa počítajú tzv. metódou parciálnych kapacít, obr. 4. ε_1 a ε_2 sú permitivity vrstiev a ich hrúbky sú h_1 a h_2 . Výsledná kapacita senzora je potom:

$$C_u = C_{h=\infty} + (\varepsilon_1 - 1)C_{h=h_1} + (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)C_{h=h_2} \quad (2)$$

C_h je geometrická kapacita jednej vrstvy, ktorá je závislá na jej hrúbke h a na konkrétnej geometrii elektródy.



Obr. 4: Výpočet kapacity senzora pre dve dielektrické vrstvy

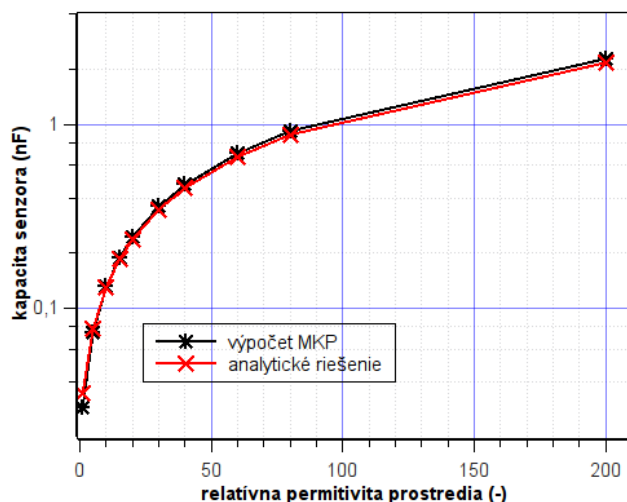
Overenie vlastností reálneho MPS

Za účelom overenia vlastností bol na TUKE vyrobený MPS s nasledujúcimi charakteristickými parametrami: $G = 0,5\text{mm}$, $W = 0,5\text{mm}$, $L = 49\text{mm}$, $\lambda = 2\text{mm}$. Substrát PE má relatívnu permitivitu $\varepsilon_{rPE} = 2,3$ a hrúbku $0,03\text{mm}$. Nameraná hodnota jeho kapacity vo vzduchu pri 22°C , relatívnej vlhkosti 44% pri 1kHz bola nameraná $32,6 \pm 0,3\text{pF}$

Pre výpočet bol vytvorený model pre numerické riešenie metódou konečných prvkov (MKP). Pri výpočte bola určená celková energia elektrického poľa W_e zhromaždená v senzore. Na elektródy sme aplikovali napätie $U = 1\text{V}$. Výpočet kapacity senzora je daný vzťahom

$$C = \frac{2W_e}{\Delta U^2} = \frac{2 \cdot 1,56e^{-11}}{1^2} = 31,2\text{pF} \quad (3)$$

Kapacita plošného senzora je závislá na vlastnostiach okolitých látok a teda aj na látky prítomné v spade znečistenia, ktorý pokrýva jeho aktívnu plochu. Na obr. 5 je znázornená závislosť kapacity senzora na permitivite prostredia.



Obr. 5: Závislosť kapacity senzora na permitivite prostredia

Záver

V článku je podaná charakteristika plošného kapacitného senzora a možnosti analytického a numerického výpočtu jeho kapacity. Na praktickom príklade je poukázané na zmenu charakteristickej kapacity pri zmene dielektrických vlastností spadu okolitého prostredia. Tento druh senzora je možno výhodne použiť pri monitorovaní a dielektrickej charakterizácii materiálov.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0438.

Literatúra

- [1] Mamishev, A.V., Sundara-Rajan, K., Yang, F., Du, Y., Zahn, M., 2004. Interdigital sensors and transducers. Proceedings of the IEEE 92, 808–845.
- [2] González, G., Kolosovas-Machuca, E.S., López-Luna, E., Hernández-Arriaga, H., González, F.J., 2015. Design and Fabrication of Interdigital Nanocapacitors Coated with HfO₂. Sensors 15, 1998–2005. doi:10.3390/s150101998.
- [3] Abdul Rahman, M.S., Mukhopadhyay, S.C., Yu, P.-L., 2014. Novel Planar Interdigital Sensors, in: Novel Sensors for Food Inspection: Modelling, Fabrication and Experimentation. Springer International Publishing, Cham, pp. 11–35.
- [4] Igreja, R., Dias, C.J., 2004. Analytical evaluation of the interdigital electrodes capacitance for a multi-layered structure. Sensors and Actuators A: Physical 112, 291–301.

Autori: Juraj Kurimský, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: juraj.kurimsky@tuke.sk