

Stanovenie vody v kašovitých výrobkoch snímačom vlhkosti

JÁN DANKO

Súhrn: Článok uvádza výsledky overovania činnosti kapacitného snímača relatívnej vlhkosti kašovitých látok na príklade merania obsahu vody v smotanovom kréme, ktoré dokázali využiteľnosť snímača v mliekárenskom priemysle. Porovnávajú sa vlastnosti doskového a polovalcového (semicylindrického) kapacitného snímača a uvádza sa návrh schémy kapacitno-napäťového prevodníka na prevod signálu zo snímača na napäťový signál (s možnosťou spracovania do číslicového tvaru).

Rozmanitosť fyzikálnych vlastností kašovitých látok a požiadaviek na meranie relatívnej vlhkosti ovplyvňuje voľbu vhodného typu snímača v potravinárskom priemysle, kde sa majú brať do úvahy aj hygienické predpisy pre styk výrobku so snímačom. Preto sme na meranie relatívnej vlhkosti potravinárskych výrobkov zvolili kapacitný snímač, umožňujúci snímať obsah vody vo výrobku bezkontaktným spôsobom, ktorý je prevádzkovo účelný, spoľahlivý, výrobne nenáročný, vyžadujúci minimálnu údržbu. Meranie vlhkosti v konkrétnom prípade má ekonomický význam pre výrobcu.

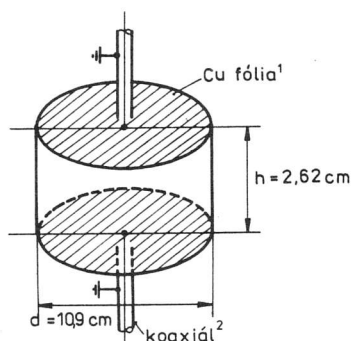
Opis snímačov a výsledky meraní

Pri výbere vhodného typu kapacitného snímača sme overili činnosť dvoch typov kapacitných snímačov:

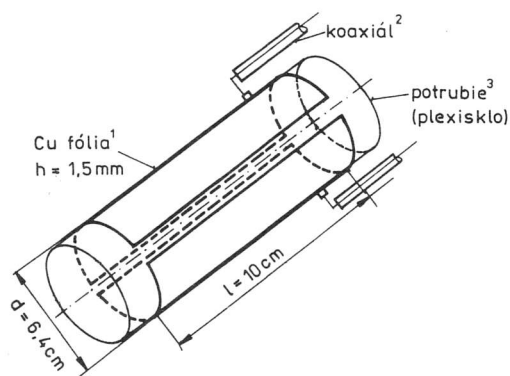
- a) doskový kruhový (obr. 1),
- b) polovalcový (semicylindrický (obr. 2.).

Doc. Ing. Ján Danko, CSc., Katedra automatizácie, Chemickotechnologická fakulta STU, Radlinského 9, 812 37 Bratislava.

Doskový (kruhový) snímač bol zhotovený z plexiskla (obr. 1). Je to krabica valcového tvaru, ktorá má na dolnej a hornej stene prilepené epoxidovým lepidlom medené fólie, ktoré sú koaxiálnymi vodičmi spojené s kapacitno-napäťovým prevodníkom.



Obr. 1. Doskový kapacitný snímač vlhkosti.
Fig. 1. Plate capacitive transducer of relative humidity.
¹Cu foil, ²Coaxial cable.



Obr. 2. Semicylindrický kapacitný snímač vlhkosti.
Fig. 2. Semicylindrical capacitive transducer of relative humidity.
¹Cu foil, ²Coaxial cable, ³Tube (plexiglass).

Na výpočet kapacity takéhoto snímača — doskového kondenzátora je známy vzťah

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{h} \quad [\text{pF}] \quad (1)$$

kde $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-2} [\text{pF} \cdot \text{cm}^{-1}]$ je permitivita vákua, $\varepsilon_r [—]$ — relatívna permiti-

vita látky, nachádzajúcej sa medzi doskami, S [cm²] — plocha elektród, h [cm] — vzdialenosť elektród.

V našom prípade kapacitu snímača pre dané S , h a premennú ε_r určuje vzťah

$$C = 3,156 \varepsilon_r \quad [\text{pF}]. \quad (2)$$

Správnosť činnosti snímača sme overili meraním kapacity pomocou RLC mostíka typ BM 509 (Tesla Brno) pri naplnení snímača látkou so známou permitivitou a porovnaním s vypočítanou hodnotou vo vzťahu (2).

Tabuľka 1.

Table 1.

Médium ¹	$C_{\text{merané}}^2$ [pF]	ε_r^3 [—]	$C_{\text{vypoč.}}^4$ [pF]
Voda ⁵	252,7	81	255,6
Vzduch ⁶	3,16	1	3,156

¹Medium; ²Capacity (measured); ³Relative permittivity; ⁴Capacity (calculated); ⁵Water; ⁶Atmosphere.

Tabuľka 2.

Table 2.

Zmes ¹	Obsah H ₂ O ² [%]	C_p [pF]	ε_r [—]
Sušina ³ 100 %	0	3,58	1,13
Krém zahustený ⁴	50	121,4	38,5
	55	134,1	42,5
Krém čerstvý ⁵	60	149,2	47,3
Krém riedený ⁶	61	152,6	48,36
	62	154,5	49,0
	63	156,8	49,7
	64	165,1	52,3
	65	168,2	53,3
	66	171,1	54,2
	67	173,2	54,9
	68	177,1	56,1
	69	183,3	58,1
	70	186,1	58,9
	80	207,8	65,8
	90	213,5	67,6
Destilovaná voda ⁷	100	252,7	80,1

¹Substance; ²Water content; ³Dry matter; ⁴Dried cream; ⁵Fresh cream; ⁶Diluted cream; ⁷Distilled water.

C_p — priemerná hodnota kapacity; Average value of capacity.

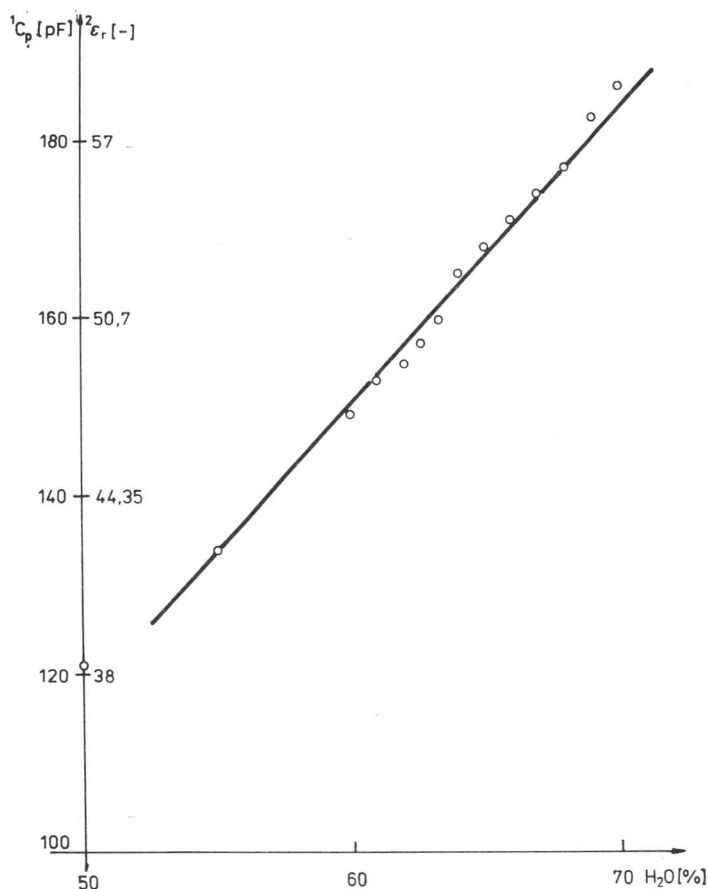
ε_r — relatívna permitivita; Relative permittivity.

Rozdiel medzi nameranými a vypočítanými hodnotami kapacity je zrejme spôsobený neuvažovaním permitivity plexiskla a lepidla medzi elektródami.

Overovanie možnosti využitia kapacitného snímača doskového typu na meranie relatívnej vlhkosti (obsah vody) potravinárskeho výrobku sme robili na smotanovom kréme „Miláčik“, ktorý podľa ČSN 57 0107 má obsahovať 60 % vody a 40 % sušiny (čerstvý) s toleranciou $\pm 2\%$.

Na meranie sme použili zmesi v zložení uvedenom v tab. 2.

Priemerné hodnoty z desiatich meraní kapacity C_p uvedených zmesí, resp. hodnoty relatívnej permitivity ϵ_r , vypočítanej zo vzťahu (2) sú uvedené v tab. 2.



Obr. 3. Závislosť zmeny kapacity doskového snímača vlhkosti od obsahu vody v meranom médiu.
Fig. 3. Dependence of capacity change of humidity plate transducer on water content in measured medium. ¹Capacity, ²Relative permittivity.

Z uvedených priemerných hodnôt je na obr. 3 uvedená závislosť veľkosti kapacity C_p a relatívnej permitivity ε_r od obsahu vody v zmesi pre rozsah 50 — 70 % (väčší rozsah obsahu vody vo výrobku nie je pravdepodobný).

Uvedený typ doskového kapacitného snímača nevyhovuje prevádzkovému meraniu, pretože nie je schopný kontinuálne merať obsah vody vo výrobku, musí sa periodicky a pomerne obťažne plniť (aby nevznikali vzduchové bubliny), vyprázdňovať a aj čistiť. Je vhodný len na laboratórne merania, má pomerne vysokú citlivosť $c = dC_p/d\varepsilon_r = 3,156 \text{ [pF} \cdot \text{l}^{-1}\text{]}$.

Preto pre potreby prevádzkového kontinuálneho merania obsahu vody vo výrobku (v zmesi) bol zostrojený polovalcový (semicylindrický) kapacitný snímač, ktorého schéma je uvedená na obr. 2. Je to valec — časť plexisklovej rúry, ktorý má z vonkajšej strany nalepené elektródy (z uvedenej fólie), ktoré sú koaxiálnymi vodičmi spojené s kapacitno-napäťovým prevodníkom.

Takýto snímač môžeme pomerne jednoducho (pomocou spojovacích prírub) zabudovať do potrubia výrobného procesu, bez toho, aby sa zhoršila hygienická údržba potrubia (aj snímača) a zväčšil hydraulický odpor potrubia.

Tabuľka 3.

Table 3.

Zmes ¹	Obsah H ₂ O ² [%]	C_p [pF]	ε_r [—]	k [pF]
Sušina ³ 100 %	0	2,4	1,13	2,12
Krém zahustený ⁴	50	41,9	38,46	1,09
	55	45,1	42,48	1,06
Krém čerstvý ⁵	60	49,0	47,28	1,04
Krém riedený ⁶	61	50,5	48,35	1,04
	62	51,5	48,96	1,05
	63	52,2	49,69	1,05
	64	53,0	52,32	1,01
	65	53,9	53,25	1,01
	66	54,7	54,18	1,011
	67	55,6	54,88	1,013
	68	56,4	56,12	1,005
	69	57,2	58,07	0,985
	70	58,0	58,96	0,985
	80	66,1	65,86	1,004
	90	74,7	67,65	1,105
Destilovaná voda ⁷	100	81	81	1,0

For explanations see Table 2.

k — priemerná hodnota konštanty k kapacitného snímača;

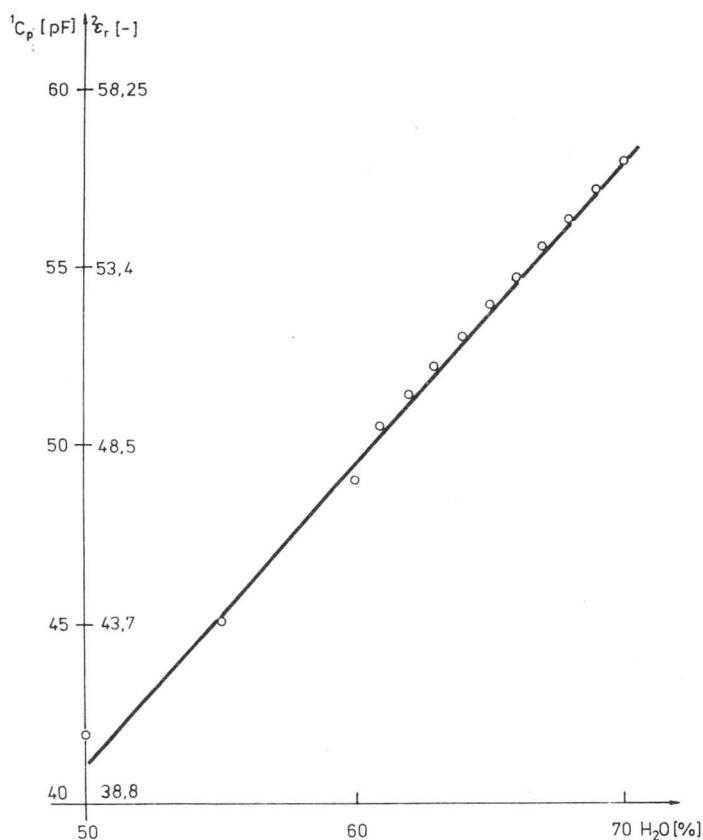
Average value of constant k of capacitive transducer.

Tento typ snímača umožňuje kontinuálne (spojité) a prakticky bezzotrvačné meranie obsahu vody vo výrobku a včasný zásah do výrobného procesu v prípade nedovolenej odchýlky obsahu vody (od normy) vo výrobku.

Semicylindrický kapacitný snímač sme testovali tými istými zmesami (s tými istými relatívnymi dielektrickými konštantami ϵ_r) ako doskový kapacitný snímač.

Priemerné hodnoty kapacity C_p z desiatich meraní jednotlivých zmesí s relatívnymi dielektrickými konštantami ϵ_r (získanými pri meraní doskovým kapacitným snímačom vo vzťahu (2)) sú uvedené v tab. 3.

Grafická závislosť priemernej hodnoty kapacity od obsahu vody v zmesi pre rozsah 50—70 % je uvedená na obr. 4.



Obr. 4. Závislosť zmeny kapacity semicylindrického snímača vlhkosti od obsahu vody v meranom médiu.

Fig. 4. Dependence of capacity change of humidity semicylindrical transducer on the water content in measured medium.

¹Capacity, ²Relative permittivity.

Z nameraných hodnôt je výpočtom získaný empirický vzťah pre výpočet kapacity semicylindrického kapacitného snímača (pri zadaných geometrických parametroch) a závislosť od relatívnej permeability ε_r zmesi

$$C_p = k \varepsilon_r = 1,03 \varepsilon_r, \quad (3)$$

kde k [pF] je priemerná hodnota konštanty kapacitného snímača.

Citlivosť c semicylindrického kapacitného snímača v porovnaní s citlivosťou doskového kapacitného snímača je asi 3-krát nižšia.

Kapacitno-napäťový prevodník

Na meranie kapacity — výstupného signálu realizovaných kapacitných snímačov vlhkosti kašovitých látok sme použili upravenú a zjednodušenú schému kapacitno-napäťového prevodníka [2] (obr. 5).

Princíp činnosti kapacitno-napäťového prevodníka si môžeme ozrejmiť pomocou zjednodušenej schémy, uvedenej na obr. 6.

Ak predpokladáme, že:

1. generátor striedavého napätia (obdĺžnikového alebo sinusového priebehu so striedou 1 : 1) má malý výstupný odpor (výstupné napätie zmenou zaťaženia sa nemení);

2. vstupná kapacita operačného zosilňovača je zanedbateľná v porovnaní s kapacitou kondenzátorov C_X a C_N ;

3. spätnoväzbový odpor rezistora R a tiež vstupný odpor R_{vst} operačného zosilňovača sú omnoho väčšie ako reakcie X_{C_X} , X_{C_N} kondenzátorov C_X a C_N : R , $R_{vst} \gg X_{C_X}$, X_{C_N} ; potom podľa Kirchhoffovho zákona pre prúdy, vtekajúce do uzla A môžeme napísať nasledujúcu rovnicu

$$i_1 + i_2 = i_m, \quad (4)$$

kde

$$i_1 = C_X \frac{dU_1}{dt}; i_2 = C_N \frac{dU_2}{dt} + \frac{U_2}{R}. \quad (5)$$

Keďže $R_{vst} \gg 1$, potom $i_m \doteq 0$,

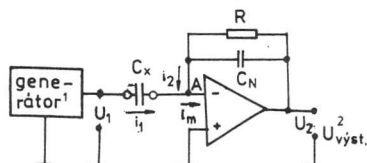
$$U_{2 \max} = 1 \div 2V; R \gg 1 \text{ potom } \frac{U_2}{R} = 0.$$

Dosadením výrazov (5) do rovnice (4) a riešením dostaneme vzťah

$$U_2 = \frac{U_1}{C_N} C_X = k C_X \quad (6)$$

určujúci závislosť výstupného napätia meracieho zosilňovača U_2 (pri konštantnom výstupnom napätí generátora U_1 a konštantnej hodnote kapacity spätnoväzbového kondenzátora C_N) od kapacity kapacitného snímača relatívnej vhlkosti C_X .

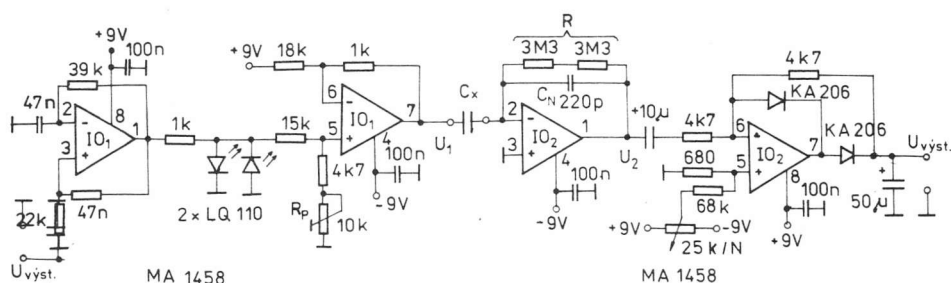
Celková elektrická schéma zapojenia kapacitného napäťového prevodníka je na obr. 5.



Obr. 5. Zjednodušená schéma kapacitno-napäťového prevodníka.

Fig. 5. Simplified diagram of capacity-voltage converter.

¹Genertor, ²Output voltage.



Obr. 6. Elektrická schéma zapojenia kapacitno-napäťového prevodníka.

Fig. 6. Electric circuit diagram of capacity-voltage converter.

Prvý operačný zosilňovač integrovaného obvodu IO_1 (MA 1458) pracuje vo funkcii multivibrátora, ktorý kmitá na frekvencii okolo 400 Hz. Amplitúda výstupného napätia multivibrátora je stabilizovaná pomocou dvoch LED diód D_1 , D_2 (napr. LQ 110). Toto napätie je v impedančnom prevodníku, ktorý je vytvorený z druhého operačného zosilňovača integrovaného obvodu IO_1 a zo spätnoväzbových a vstupných rezistorov, upravené: amplitúda výstupného signálu U_1 impedančného prevodníka je posunutá v smere kladnej osi s konštantnou jednosmernou zložkou $+0,5V$. Pomocou premenného rezistora R_p na vstupe impedančného prevodníka upravíme amplitúdu výstupného signálu U_1 tak, aby v závislosti od maximálnej hodnoty meranej kapacity C_X a hodnoty kapacity C_N spätnoväzbového (rozsahového) kondenzátora meracieho zosilňovača, bolo maximálne výstupné napätie meracieho zosilňovača $U_{3 \max}$ také, že využijeme celý pracovný rozsah vyhodnocovacieho zariadenia (napr. pre napä-

ťový analógovo-číslicový prevodník C 520 D je $U_{2\max} = 999\text{ mV}$, pre MHB 7106 $U_{2\max} = 1999\text{ mV}$).

Merací zosilňovač je tvorený prvým operačným posilňovačom druhého integrovaného obvodu IO_2 (MA 1458). Jeho výstupné napätie U_2 je usmernené v druhom operačnom zosilňovači integrovaného obvodu IO_2 , ktorý je zapojený ako prevodník na absolútnu hodnotu. Potenciometrom P nastavujeme nulové výstupné napätie na výstupe kapacitno-napäťového prevodníka (keď $C_x = 0$).

Výstupné napätie $U_{\text{výst}}$ kapacitno-napäťového prevodníka je privádzané na vstup vyhodnocovacieho zariadenia [3].

V našom prípade vyhodnocovacie zariadenie bolo realizované z analógovo-číslicového prevodníka C 520 D, prevodníka z kódu BCD na kód sedemsegmentových zobrazovacích jednotiek D 146 a troch sedemsegmentových zobrazovacích jednotiek LQ 410. Podrobný opis činnosti a elektrická schéma zapojenia vyhodnocovacieho zariadenia je uvedená v [4].

Vyhodnocovacie zariadenie okrem číslicového zobrazenia údajov o meracej kapacite C_x umožňuje aj programový zber dát osembitovým mikropočítačom PMD-85-2, pre ďalšie spracovanie dát, resp. pre počítačové riadenie výroby smotanového krému.

Záver

Z uvedených nameraných (a reprodukovateľných) výsledkov vyplýva, že overované kapacitné snímače možno využiť na meranie obsahu vody v kašovitých látkach najmä pri kontinuálnych výrobách, napr. v mliekárenskom priemysle pri výrobe masla, tvarohu, zahusteného mlieka a pod.

Pri porovnaní vlastností doskového (kruhového) a polovalcového (semicylindrického) kapacitného snímača vyplýva, že aj keď doskový snímač má takmer trikrát vyššiu citlivosť ako polovalcový (teda aj rýchlejší zásah regulačného orgánu pri odchýlkach obsahu vody vo výrobku od požadovanej hodnoty), hygienická údržba (čistenie) polovalcového snímača je podstatne jednoduchšia ako doskového snímača.

Literatúra

1. KAPUSTNÍKOVÁ, D., Návrh snímača vlhkosti nameranie relatívnej vlhkosti kašovitých látok. Diplomová práca. Bratislava, Katedra automatizácie, Chemickotechnologická fakulta STU, 1989.
2. BĚM, J. a kol., Integrované obvody a co s nimi. Praha, SNTL 1990.
3. DANKO, J., Číslicový snímač teploty. Výskumná správa. Bratislava, Katedra automatizácie, Chemickotechnologická fakulta 1991.
4. DANKO, J., Bull. Potravn. Výsk., 30 (10), 1991, č. 4, s. 361.

Do redakcie došlo 13. 11. 1991.

Determination of water in pappy products by the humidity sensor

Summary

The paper presents the results of the verification of performance of a capacitive sensor of relative humidity of pappy substances demonstrated on the measurement of water content in cream dessert product. The experiments showed the usability of the sensor in dairy industry. The characteristics of a plate and a semi-cylindric capacitive sensor are compared and a scheme of the capacity-voltage convertor for the transformation of the sensor signal to a voltage signal (with the possibility to convert the output to digital read-out) is suggested.

Определение воды в кашообразных продуктах датчиком влажности

Резюме

В статье приведены результаты проверки деятельности емкостного датчика относительной влажности кашообразных продуктов на примере определения доли воды в сливочном креме, которые доказали возможность применения датчика в молочной промышленности. Сравниваются свойства пластинчатого и полуцилиндрического (семицилиндрического) емкостного датчика как и проект схемы емкостно-напряженностного преобразователя на передачу сигнала из датчика на напряженностный сигнал (с возможностью его обработки в числовую форму).