

Elektromagnetinio skysčio srauto keitiklio savikontrolės sistema

D. Baltušninkas, J.A. Virbalis

*Kauno technologijos universitetas, Teorinės elektrotechnikos katedra,
Studentų g. 48, LT-51367 Kaunas, Lietuva, tel. 8-699-84937, el. p. arvydas.virbalis@ktu.lt*

R. Vaikasas

*Mokslinė gamybinė firma „Katra“,
Kulautuvos g. 45, LT-47190 Kaunas, tel. +370 37 267196, el. p. r.vaikasas@katra.lt*

Įvadas

Elektromagnetiniai srauto keitikliai (EMSK) dažniausia naudojami komercinei skysčių arba šiluminės energijos apskaitai. Apskaita vyksta nepertraukiamai, o keitiklio stabdymas susijęs su vartotojo arba tiekėjo ekonominiais nuostoliais. Dar daugiau nuostolių gali sukelti tokio matuoklio perdavimo koeficiento K_p pokytis EMSK veikiant. Pagrindinės galimo pokyčio priežastys – nuosėdos, susidarantios ant elektrodų arba kanalo sienelių, ypač jeigu jos turi magnetinių savybių arba yra laidžios. Be to, gali pablogėti izoliacija tarp elektrodų ir korpuso. Todėl labai pageidautina patikima perdavimo koeficiento kontrolė nenutraukiant keitimo proceso.

Čia nagrinėsime apvalaus kanalo profilio visiškai užpildytus elektroninius EMSK, skirtus joninio laidumo skysčių srautui ir kiekiui keisti į skaičių. Matuojamas tūrinis srautas Q_V arba, jeigu žinomas skysčio tankis, masės srautas Q_M , taip pat jų suminis kiekis, t. y. skysčio tūris $V = \int_{t_1}^{t_2} Q_V dt$ arba masė $M = \int_{t_1}^{t_2} Q_M dt$, pratekėję per laiko intervalą $T = t_2 - t_1$. Visais atvejais elementarus keitimo aktas yra vidutinio skysčio greičio \bar{v} matavimas. Šis vidurkis gaunamas statmename kanalo ašiai skerspjūvyje, kertančiame elektrodus:

$$\bar{v} = \frac{1}{\pi r^2} \int_S \mathbf{v} dS. \quad (1)$$

Čia r – kanalo spindulys; S – skerspjūvio plotas. Reikalingi matavimo rezultatai Q_V ir Q_M gaunami šį rezultatą dauginant iš atitinkamų koeficientų, o V ir M – dar ir skaitmeniškai integruojant. Todėl EMSK perdavimo koeficientą K_p apibrėšime kaip skaitmeninės N_v vidutinio skerspjūvyje skysčio greičio vertės ir greičio \bar{v} santykį:

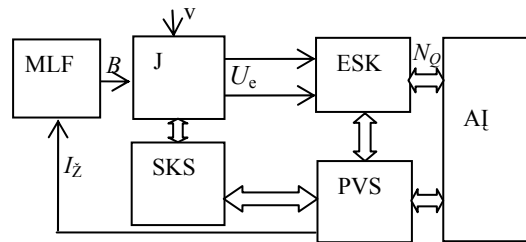
$$K_p = \frac{N_v}{\bar{v}}. \quad (2)$$

[1–3] straipsniuose nagrinėjami įvairūs teoriniai EMSK atskirų blokų nenutrūkstamos kontrolės aspektai. Čia aptarsime, kaip turėtų būti organizuota savikontrolės

sistema, kad matuokliui veikiant perdavimo koeficientas K_p būtų kuo stabilėsnis.

EMSK ir jo savikontrolės struktūrinės schemos

Savikontrolės sistema buvo sukurta elektromagnetiniam srauto keitikliui su impulsiniu magnetiniu lauku, aprašytam [4]. Jo struktūrinė schema parodyta 1 pav.



1 pav. Nagrinėjamo EMSK struktūrinė schema

Čia MLF – magnetinio lauko formuotuvas; J – srauto signalo jutiklis; ESK – elektrodų signalo keitiklis; AI – atminties įrenginys; PVS – procesorinė valdymo sistema; SKS – savikontrolės sistema.

Įjungus žadinimo srovę I_z į magnetinio lauko formuotuvą MLF, jutiklio J kanale suformuojamas magnetinis laukas, kurio srauto tankis bet kuriame jutiklio kanalo taške yra B . Jeigu kanale teka skystis, kurio greitis kanalo ašies z kryptimi tame pačiame kanalo taške yra $v=v_z$, jutiklio elektroduose suformuojamas naudingasis signalas U_e . Jis formuojamas bet kuriame srauto taške, kuriame veikia magnetinis laukas ir cilindrinėje koordinatinių sistemoje išreiškiamas taip [1]:

$$U_e = \int_{\tau} v_z W_z(\rho, \theta, z) \rho d\rho d\theta dz; \quad (3)$$

čia $W_z(\rho, \theta, z)$ – kanalo taško ρ, θ, z svorinio vektoriaus $\mathbf{W}(\rho, \theta, z)$ z dedamoji:

$$\begin{aligned} \mathbf{W}(\rho, \theta, z) &= \mathbf{e}_\rho W_\rho + \mathbf{e}_\theta W_\theta + \mathbf{e}_z W_z = \\ &= \mathbf{B}(\rho, \theta, z) \times \mathbf{j}(\rho, \theta, z), \end{aligned}$$

$$U_{R1} = M di_z / dt = \begin{cases} U_m (M / L_T) e^{-t/\tau_r}, & t \leq t_p, \\ 0, & t > t_p. \end{cases} \quad (12)$$

Šis abipusis induktyvumas M , kaip rodo [3] atlikti tyrimai, reaguoja į bet kurią priežastį, keičiančią magnetinio srauto tankį kanale: magnetolaidžio magnetinės skvarbos pokytį, magnetines nuosėdas kanalo sienelėse ir magnetines priemaišas skystyje. Toliau įtampa U_{R1} prijungiama prie 1 pav. parodyto bloko ESK. Čia ji dvigubuoju integravimo metodu keičiama į skaičių N_M . Nors integruojant stabilų laiko intervalą τ_0 ($\tau_0 > t_p$) pradžioje integruojama įtampa eksponentiškai kinta, metodo esmės tai nekeičia. Įvertinus (11), gaunama tokia integratoriaus išėjimo įtampa U_I po integravimo:

$$U_I = \frac{U_m M^t}{\tau_{in} L_T} \int_0^t e^{-t/\tau_z} dt = \frac{U_m M \tau_z}{\tau_{in} L_T} (1 - e^{-t_p/\tau_z}) = \frac{I_0 M}{\tau_{in}}. \quad (13)$$

Čia τ_{in} – integratoriaus laiko pastovioji. Antrajame integravimo takte integruojama etaloninė įtampa U_0 laiko intervale τ_x , trunkančiame, kol integratoriaus išėjimo įtampa pakinta dydžiu U_I . Gauname lygybes $\frac{I_0 M}{\tau_{in}} = \frac{U_0 \tau_x}{\tau_{in}}$ ir $\tau_x = \frac{I_0}{U_0} M$. Užpildę šį laiko intervalą stabilaus dažnio f_0 impulsais, gausime tikslią skaitinę abipusio induktyvumo M išraišką N_M :

$$N_M = \tau_x f_0 = \frac{I_0 f_0}{U_0} M. \quad (14)$$

N_M verčių nuokrypiai nuo vertės N_{M0} , gautos kalibruojant matuoklį, saugomi atminties įrenginyje ir leidžia aptarnaujančiajam personalui spręsti apie procesus, vykstančius EMSK magnetinėje grandinėje.

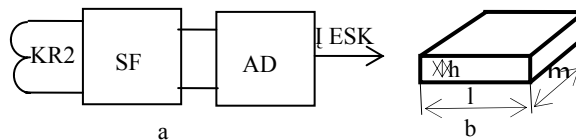
Laidžių nuosėdų kontrolė

Svorinis vektorius W , taigi ir perdavimo koeficientas K_J , gali pasikeisti persiskirsčius virtualiajai srovei. [1] atliktas tyrimas rodo, kad nedideli virtualiosios srovės pokyčiai dėl galimo srauto netolygumo didesnės įtakos perdavimo koeficientui neturi. Reikšmingą poveikį gali turėti tik laidžios nuosėdos kanalo sienelėse. Virtualiosios srovės pokyčius geriausia kontroliuoti, sukuriant realią srovę tarp elektrodų ir matuojant tos srovės sukuriamą magnetinį lauką. Realį srovę skystyje pasiskirstys lygiai taip pat, kaip pasiskirstytų ir virtualioji srovė. Šiuo atveju srovė persiskirsto ir dalis jos pradeda tekėti šalia sienelės. Magnetinis laukas ties kanalo išorine sienele sustiprėja. Tą pokytį galima užfiksuoti čia įrengta matavimo ritele. Tam skirta ritalė KR2. Jos ašis yra lygiagreti su kanalo ašimi. Pagrindinės problemos yra palyginti nedidelis magnetinio lauko stipris, kai srovė pasiskirsto visame skysčio tūryje, ir trikdžiai, veikiantys matavimo ritę. Eksperimentinis tyrimas parodė, kad į elektrodus reikia tiekti pakankamai didelio, siekiančio dešimtis kilohercų, dažnio srovę ir naudoti selektyvųjį filtrą.

Laidžios nuosėdos testuojamos taip pat vieną kartą per parą perjungiant keturpolius jungiklius KJ1 ir KJ2 į II padėtį. Šioje padėtyje elektrodai atjungiami nuo

matuojamojo signalo keitiklio ESK ir prijungiami prie testavimo srovės šaltinio I_T .

Laidžių nuosėdų testavimo bloko struktūrinė schema parodyta 4 pav., a, o ritės konstrukcija – 4 pav., b. Joje SF – selektyvusis siaurajuostis filtras, AD – amplitudinis detektorius. Ritalė KR2 yra stačiakampio gretasienio formos, kad būtų kuo arčiau kanalo sienelės ir ją vertų didesnis magnetinis srautas. Jos matmenys tokie: $h=1,5$ mm, $l=15$ mm, $m=18$ mm, vijų skaičius $N=600$ vijų.

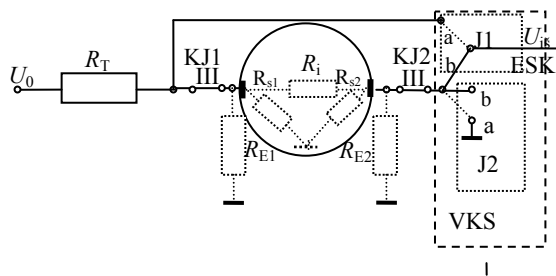


4 pav. Laidžių nuosėdų testavimo bloko struktūra (a) ir ritės konstrukciniai parametrai (b)

Didinant prie elektrodų prijungto generatoriaus dažnį galima padidinti įtampos U_{R2} amplitudę. Tačiau pernelyg padidinus dažnį pasireiškia lauko išstūmimo efektai. Todėl buvo parinktas dažnis $f=25,8$ kHz. Selektivityvio filtro kokybė buvo gauta $Q=f/\Delta f=27$ (čia Δf – filtro pralaidumo zona). Per elektrodus tekant 0,3A amplitudės sinusinei srovei, kai EMSK kanalas pripildytas švaraus vandens, ritalėje KR2 gaunama $U_v=34,2$ mV amplitudės ev. Jeigu srovė teka tik per nuosėdas, tai signalas gaunamas $U_n=380$ mV. Matome, kad jeigu tik 1 % srovės tekėtų per nuosėdas, tai sukeltų signalo prieaugį $\Delta U_n=3,8$ mV, kas sudaro 11 % signalo, gaunamo esant švariam vandeniui. Toks pokytis bus patikimai fiksuojamas. Todėl pasiūlyta sistema leidžia patikimai užfiksuoti laidžių nuosėdų susidarymą pačioje jų užuomazgoje.

Elektrodų varžos kontrolė

Elektrodų varžos kontrolė būtina norint nustatyti, ar elektrodai neapsitraukė nelaidžiu sluoksniu, taip pat ar nepablogėjo elektrodų izoliacijos varža korpuso atžvilgiu. Ji atliekama taip pat vieną kartą per parą, perjungus KJ1 ir KJ2 į III padėtį.



5 pav. Varžų kontrolės struktūrinė schema

Varžos kontrolei netinka naudoti aukštesnio dažnio srovę, nes nelaidi plėvelė gali būti plona. Joje susidariusi talpinė varžos dedamoji neleis aptikti neleistino varžos padidėjimo. Todėl jai matuoti naudojami amplitudės U_0 impulsai, skirti magnetinio lauko žadinimo srovei valdyti, naudojant struktūrinę schemą, parodytą 5 pav.

Varžų kontrolės schemą VKS sudaro testavimo varža R_T ir du jungikliai J1 ir J2. Jos išėjimo signalas jungiamas į

keitikli ESK. Grandinės perdavimo koeficientas, kai jungikliai J1 ir J2 yra a padėtyje,

$$K_a = \frac{U_{iša}}{U_0} = \frac{R_{e12}}{R_T + R_{e12}}; \quad (15)$$

čia

$$R_{e12} = \frac{R_{es1}(R_{es2} + R_i)}{R_{es1} + R_{es2} + R_i}, R_{es1(2)} = \frac{R_{e1(2)}R_{s1(2)}}{R_{e1(2)} + R_{s1(2)}}, \quad (16)$$

$R_{e1(2)}$ – atitinkamai pirmojo ar antrojo elektrodų izoliacijos varža, $R_{s1(2)}$ – skystyje susidaranti varža tarp neizoliuotos vamzdžio dalies ir atitinkamai tarp pirmojo ar antrojo elektrodų, R_i – varža per skystį tarp pirmojo ir antrojo elektrodų, $U_{iša}$ – nagrinėjamos grandinės išėjimo įtampa, kai jungikliai J1 ir J2 yra a padėtyse.

Jungikliams J1 ir J2 esant b padėtyje, perdavimo koeficientas tampa toks:

$$K_b = \frac{U_{išb}}{U_0} = K_a \frac{R_{es2}}{R_i + R_{es2}}. \quad (17)$$

Čia $U_{išb}$ nagrinėjamos grandinės išėjimo įtampa šiuo atveju. Kai švarūs elektrodai ir nepažeistos izoliacijos varžos, tenkinamos sąlygos $R_{e1(2)} \gg R_{s1(2)}$, $R_{es1(2)} \approx R_{s1(2)}$. Varžų R_{s1} ir R_{s2} vertės priklauso nuo daugelio veiksnių: jutiklio ir elektrodų konstrukcijos, skysčio fizinių ir cheminių savybių ir pan., tačiau dažniausiai jos, taigi ir varža R_{e12} , yra dešimčių kiloomų eilės. Šioje sistemoje naudojamos varžos R_T vertė yra $R_T = 10$ kΩ. Paprastai normaliai veikiančiame EMSM K_a vertė yra 0,25–0,75 ribose, o K_b – dvigubai mažesnė.

Jeigu bent vieno iš elektrodų paviršius užsiteršia nelaidžiomis nuosėdomis, smarkiai išauga varža R_i . Šis padidėjimas gali sukelti neleistiną keitiklio paklaidą, varžos R_i vertei tapus palyginamai su $1M\Omega$. Šiuo atveju K_b vertė būtų $K_b < 0,01$. Toks K_b sumažėjimas, aišku, neatsiras iš karto, o prasidėjęs mažėjimas pastebimas kur kas anksčiau, todėl tokia kontrolė yra gana patikima.

Jeigu neleistinai mažėja vieno iš elektrodų izoliacijos varža, mažėja abiejų koeficientų K_a ir K_b vertės. Jeigu mažėja varža R_{e1} , abu koeficientai mažėja proporcingai, jeigu mažėja varža R_{e2} , tai koeficientas K_b mažėja labiau negu koeficientas K_a . Taigi pamatavus nagrinėjamos grandinės išėjimo įtampą abiejose jungiklių J1 ir J2 padėtyse, galima nustatyti, kurio iš elektrodų varža mažėja. Be to, galima išsiaiškinti, ar neleistini K_a ir K_b pokyčiai yra sukelti elektrodų izoliacijos varžų mažėjimo, ar nelaidžių nuosėdų. Jeigu ant elektrodų atsiranda nelaidžių nuosėdų, koeficientas K_a , skirtingai nuo koeficiento K_b , didėja.

Elektrodinių procesų įtakos tyrimas

EMSK jutiklyje ties elektrodais susidaro dvigubieji elektriniai sluoksniai, kuriuose susiformuoja galvaninės elektrovaros. Tam tikrą elektrodų signalo foną sudaro fliuktuaciniai elektrodų triukšmai. Kol EMSK veikia matavimo režimu, elektroniniai procesai yra dinamiškai pusiausviri. Skysčio fizinės ir cheminės savybės paprastai keičiasi lėtai, todėl nuo jų priklausančios galvaninės ev taip pat keičiasi lėtai ir vieno matavimo ciklo metu to pokyčio įtakos galima nepaisyti. Fliuktuaciniai triukšmai yra

stacionarus procesas ir paprastai didesnės įtakos matavimo tikslumui neturi. Tačiau kai testuojant jutiklio elektrodai prijungiami prie srovės šaltinio, dinaminė pusiausvira pažeidžiama. Vėl atjungus išorinį šaltinį elektros grandinėje, į kurią įeina ir elektrodai, prasideda pereinamieji procesai, kurie gali turėti įtakos matavimo signalui. Teoriškai ištirti šią įtaką gana sudėtinga. Todėl buvo atliktas eksperimentinis tyrimas su trimis EMSK su jutikliais, kurių sąlyginis skersmuo buvo $D_s = 25$ mm. Per vieno iš jų elektrodus buvo praleidžiama srovė, o paskui tam tikrą laiką buvo sekami visų trijų prietaisų rodmenys. Šis tyrimas buvo atliekamas kelias dienas, esant įvairiems skysčio srautams, leidžiant iki 0,3A srovę nuo 2 minučių iki 2 valandų. Visais atvejais nebuvo didesnio skirtumo tarp kontrolinių EMSK ir to EMSK, per kurio elektrodus buvo leidžiama srovė. Taigi galima drąsiai teigti, kad testavimo metu metrologinės EMSK savybės nepakinta.

Išvados

1. Sukurta elektromagnetinio srauto keitiklio savikontrolės sistema leidžia kontroliuoti, nenutraukiant keitiklio darbo magnetinio srauto stabilumą jutiklio kanale, laidžių nuosėdų susidarymą ant kanalo sienelių, nelaidžių nuosėdų susidarymą ant elektrodų ir elektrodų izoliacinės varžos neleistiną pokytį.

2. Magnetinio srauto tankio pokytis kanale kontroliuojamas periodiškai matuojant įtampą kontrolinėje ritėje, sumontuotoje kanalo paviršiuje taip, kad jos ašis sutaptų su magnetinio lauko žadinimo ričių ašimi.

3. Laidžių nuosėdų susidarymas ant kanalo sienelių kontroliuojamas leidžiant srovę tarp elektrodų ir matuojant šios srovės kanalo paviršiuje sukurtą magnetinį lauką. Šiam tikslui patogiu naudoti ultragarsinio dažnio srovę. Jeigu per nuosėdas atsišakoja 1% srovės, ritės signalas pakinta 11%.

4. Nelaidžių nuosėdų susidarymo ant elektrodų ir elektrodų izoliacinės varžos kontrolė atliekama leidžiant srovę tarp elektrodų ir nuosekliai prijungtos stabilios varžos ir matuojant elektrodų įtampas.

5. Po srovės šaltinio prijungimo prie elektrodų keitiklio metrologinės savybės nepablogėja.

Literatūra

1. **Baltušninkas D., Virbalis J.A.** Magnetinių dalelių poveikis elektromagnetinio srauto matuoklio magnetinei grandinei // Matavimai. – Kaunas: Technologija, 2002. – Nr.1. – P. 24–28.
2. **Baltušninkas D., Pukys P., Virbalis J.A.** Elektromagnetinio skysčio srauto matuoklio elektrinių kanalo savybių kontrolė matavimo procese // Matavimai. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 1(25). – P. 21–4.
3. **Балтушнинкас Д., Вирбалис Ю.А., Падегимас Р., Шимелюнас Р.** Обеспечение стабильности метрологических свойств электромагнитных расходомеров в процессе работы // Совершенствование измерений расхода, регулирование и коммерческий учет энергоносителей: Материалы 3-го научного форума. – Санкт-Петербург: Борей-Арт. – 2003. – С. 79–84.
4. **Virbalis J.A.** Elektromagnetiniai impulsiniai žemojo dažnio skysčio debito ir kiekio matuokliai // Elektrotechnika: Mokslo darbai. – Kaunas: Technologija. – 1996. – Nr.20(29). – P.121–128.

5. Вельт И.Д., Звенигородский Э.Г., Михайлова Ю.В., Соколова Л.Е. К вопросу о беспроливном способе экспериментального исследования электромагнитных расходомеров // Магнитная гидродинамика.- 1976. - № 3. – С. 131- 136.
6. Baltušninkas D., Virbalis J.A. Elektromagnetinis srauto matuoklis. Patentas Nr.2003070, įregistruotas Lietuvos patentų fonde 2003 07 21.

Pateikta spaudai 2004 04 06

D. Baltušninkas, R. Vaikasas, J.A. Virbalis. Elektromagnetinio skysčio srauto keitiklio savikontrolės sistema // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 6 (55). – P. 53 – 57.

Sukurta elektromagnetinio srauto keitiklio savikontrolės sistema leidžia kontroliuoti, nenutraukiant matavimo, magnetinio srauto tankio stabilumą jutiklio kanale, laidžių nuosėdų susidarymą ant kanalo sienelių, nelaidžių nuosėdų susidarymą ant elektrodų ir elektrodų izoliacinės varžos neleistiną pokytį. Magnetinio srauto tankio pokytis kanale kontroliuojamas periodiškai matuojant įtampą kontrolinėje ritėje, sumontuotoje kanalo paviršiuje taip, kad jos ašis sutaptų su magnetinio lauko žadinimo ričių ašimi. Laidžių nuosėdų susidarymas ant kanalo sienelių kontroliuojamas leidžiant srovę tarp elektrodų ir matuojant šios srovės kanalo paviršiuje sukurtą magnetinį lauką. Šiam tikslui patogiu naudoti ultragarsinio dažnio srovę. Jeigu per nuosėdas atsišakoja 1 % srovės, magnetinis srautas matavimo vietoje pakinta 11 %. Nelaidžių nuosėdų susidarymo ant elektrodų ir elektrodų izoliacinės varžos kontrolė atliekama leidžiant srovę tarp elektrodų ir nuosekliai prijungtos stabilios varžos ir matuojant elektrodų įtampas. Po srovės šaltinio prijungimo prie elektrodų keitiklio metrologinės savybės nepablogėja. Il. 5, bibl. 6 (lietuvių kalba, santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

D. Baltušninkas, R. Vaikasas, J.A. Virbalis. The System of Self-Control of Electromagnetic Flow Meter // Electronics and Electrical Engineering.- Kaunas: Technologija, 2004.- No. 6 (55). – P. 53 – 57.

The system of self-control of electromagnetic flow converter was created. It permits to control the stability of magnetic flux density in the duct of flow meter, the conductive sediments on the duct walls, the nonconductive sediments on electrodes and diminution of resistance between electrodes and ground potential. The stability of magnetic flux density is watched using the coil mounted on the surface of duct coaxial with magnetic field excitation coils. The conductive sediments on internal walls of duct are watched creating electric current between the electrodes and measuring the magnetic field on the surface of duct. The current of ultrasonic frequency is used. If the 1 % of current is flowed across the sediments the magnetic flux is varied of 11 %. The nonconductive sediments on electrodes and variation of resistance between electrodes and ground potential are watched creating the current between the electrodes and serial connected testing resistance and measuring the voltages of electrodes. Ill. 5, bibl. 6 (in Lithuanian, summaries in Lithuanian; English, Russian).

Д. Балтушнинкас, Р. Вайкасаc, Ю.А. Вирбалис. Система самоконтроля электромагнитного преобразователя расхода // Электроника и электротехника. - Каунас: Технология, 2004. – №. 6 (55). – С. 53 – 57.

Разработана система самоконтроля электромагнитного преобразователя расхода, позволяющая не прекращая измерения контролировать стабильность плотности магнитного потока в канале датчика преобразователя, образование проводящих осадков на стенках канала, образование непроводящих осадков на поверхности электродов и недопустимое уменьшение сопротивления изоляции электродов. Стабильность плотности магнитного потока в канале контролируется, периодически измеряя напряжение контрольной катушки, расположенной на поверхности канала так, чтобы ее ось совпала с осью катушек возбуждения магнитного поля. Образование проводящих осадков на стенках канала контролируется, пропуская ток между электродами и измеряя магнитное поле, созданное этим током на поверхности канала. Для этой цели применяется ток ультразвуковой частоты. Если через осадки ответвляется 1 % тока, магнитный поток в месте измерения изменяется на 11 %. Контроль образования непроводящих осадков на поверхности электродов и сопротивления изоляции электродов производится путем пропускания электрического тока через электроды и последовательно подключенное контрольное сопротивление и измеряя напряжение электродов. После пропускания тока через электроды метрологические свойства расходомера не ухудшаются. Ил. 5, библи. 6 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).