

Galios koeficiento matuoklio impulsų formuotuvo paklaidos kompensavimo metodas

V. Zlosnikas, A. Baškys, V. Gobis

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Elektronikos fakultetas, Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, Lietuva; el p. mel@pf.lt

Įvadas

Viena iš svarbių energetikos problemų yra elektros tinklo panaudojimo efektyvumas, išreiškiamas galios koeficientu F_p , rodančiu vidutinės naudojamos galios P_{vid} ir realiai naudojamos galios santykį. Bendroju atveju galios koeficientas aprašomas šia išraiška:

$$F_p = \frac{P_{vid}}{U_{ef} \cdot I_{ef}} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t)dt} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t)dt}}; \quad (1)$$

čia U_{ef} , I_{ef} ir $u(t)$, $i(t)$ – atitinkamai efektinės ir momentinės įtampos ir srovės vertės laiko momentu t ; T – elektros tinklo įtampos periodas.

Kai apkrova yra netiesinė, t.y. dažnio keitikliai, kompiuteriai, kiti įrenginiai, turintys kintamosios srovės lygintuvus, srovė tinkle yra nesinusinė ir papildomos harmonikos turi didelį įtaką srovės formai [1]. Šiais atvejais arba norint įvertinti aukštesniųjų įtampos harmonikų įtaką naudojami galios koeficiento matavimo metodai, paremti įtampos ir srovės signalų spektrine analize [2].

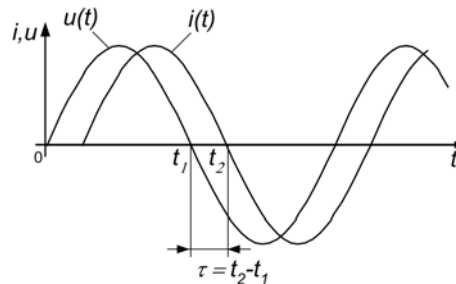
Kita vertus, didelę elektros energijos dalį sunaudoja įrenginiai, sudarantys tiesinę elektros tinklo apkrovą: asinchroniniai ir sinchroniniai elektros varikliai, kaitinimo elementai, kaitinimo lempos ir pan. Šiuo atveju aukštesniųjų harmonikų įtaka yra nedidelė ir galios koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę, įvertinančią tik pirmąsias srovės ir įtampos harmonikas:

$$F_p = \frac{\frac{U_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}} \cos(\delta_1 - \theta_1)}{\frac{U_1}{\sqrt{2}} \frac{I_1}{\sqrt{2}}} = \cos(\delta_1 - \theta_1) = \cos(\varphi); \quad (2)$$

čia U_1 ir I_1 – įtampos ir srovės signalų pirmųjų harmonikų amplitudės; δ_1 ir θ_1 – įtampos ir srovės fazių kampai.

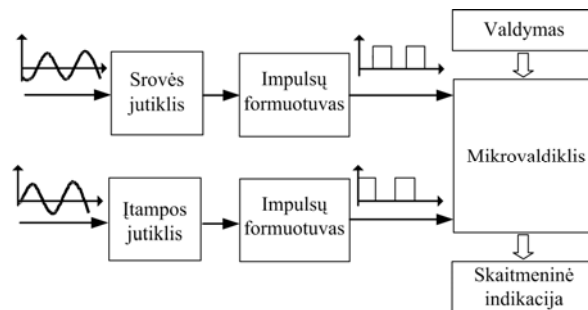
Šiuo atveju galios koeficientas yra sąlygojamas srovės ir įtampos fazių skirtumo, kurį galima nustatyti fiksuojant

šių signalų perėjimo per nulį momentus t_1 ir t_2 (1 pav.). Fazių skirtumas apskaičiuojamas pagal formulę $\varphi = 2\pi\tau/T$, kur $\tau = t_2 - t_1$.



1 pav. Tinklo įtampa ir srovė

Galima tokio matuoklio struktūrinė schema pavaizduota 2 pav. Srovės ir įtampos jutikliai dažniausiai yra srovės ir įtampos transformatoriai. Signalai iš transformatoriaus siunčiami į impulsų formuotuvus, skirtus analoginiams signalams apdoroti ir suderinti su skaitmeniniais mikrovaldiklio įėjimais. Jie nustato jutiklio signalo ženklą ir duoda loginį nulį, esant neigiamam signalui, ir loginį vienetą – esant teigiamam signalui.



2 pav. Galios koeficiento matuoklio struktūrinė schema

Mikrovaldiklis fiksuoja loginių lygių pasikeitimus kaip signalų perėjimo per nulį momentus, apdoroja bei išveda matavimo rezultatus.

Galios koeficiento matavimo paklaidą lemia ne tik naudojamų srovės ir įtampos jutiklių tikslumas, bet ir paklaidos, kurias sukelia impulsų formuotuvai, veikiantys įtampos komparatorių pagrindu. Šias paklaidas sąlygoja komparatorių nulio poslinkio įtampa U_0 ir baigtinis jautrumas U_j .

Tinklo įtampa svyruoja palyginti nedaug, todėl įtampos jutiklio signalas keičiasi mažai ir yra nepalyginamai didesnis už U_0 ir U_j . Be to, įtampos kanalo paklaida gali būti išmatuota ir kompensuota mikrovaldiklio programa kaip sisteminė paklaida.

Tarp srovės transformatoriaus pirminės ir antrinės apvijos srovių susidaro fazių skirtumas, kurį sąlygoja antrinės apvijos sklaidos induktyvumas bei netiesiniai efektai feromagnetinėje šerdyje [3]. Šių efektų įtaką matavimo paklaidai galima mažinti mažinant srovės transformatoriaus antrinės apvijos apkrovos varžą, kadangi tada mažėja transformatoriaus elektrovara, o kartu sumažėja ir jo magnetinė srovė [4]. Tačiau srovės jutiklio signalas taip pat sumažėja ir gali tapti tos pačios eilės kaip U_0 ir U_j . Be to, srovė, esant skirtingoms apkrovoms yra skirtinga, todėl signalas srovės transformatoriaus išėjime svyruoja plačiame diapazone. Dėl paminėtų priežasčių srovės jutiklio signalo amplitudė nagrinėjamu apkrovų atveju keičiasi nuo 10 mV iki 1V.

U_j įtaką matavimo paklaidai galima mažinti naudojant keletą nuosekliai sujungtų komparatorių, t.y. didinant impulsų formuotuvo stiprinimo koeficientą. Paklaidai dėl U_0 mažinti turi būti sukurtas kompensavimo metodas.

Darbe pristatomas srovės fazės matavimo kanalo, skirto tiesinių apkrovų galios koeficiento matavimui, U_0 kompensavimo metodas. Pirmame straipsnio skyrelyje pateikiamas matematinis kompensavimo metodo pagrindimas, antrame aprašomas matavimo algoritmas, o trečiame duota paklaidų, kurias sukelia impulsų formuotuvai, analizė bei pateikti duomenys apie sukurtą metodo pritaikymą.

1. Matematinis kompensavimo metodo pagrindimas

Kai kurių periodinių signalų perėjimo per nulį momentas gali būti nustatytas žinant jų periodą ir perėjimo per iš anksto nežinomą vertę momentus. Toliau įrodomas matematinis teiginys apibrėžia tokių signalų klasę ir sudaro komparatorių U_0 kompensavimo metodo pagrindą.

Teiginys

Tarkim $f(t)$ – periodinė periodo T funkcija, kuri pasižymi šiomis savybėmis:

- 1) $f(0) = 0$;
- 2) $f(t) = -f(-t)$;
- 3) $f(T/4-t) = f(T/4+t)$.

Realiam skaičiui a apibrėžkime funkciją

$$g_a(t) = \begin{cases} -1, & \text{kai } f(t) < a, \\ 1, & \text{kai } f(t) \geq a. \end{cases} \quad (3)$$

Jeigu intervale (t_0, t_0+T) funkcija $g_a(t)$ vienintelį kartą keičia ženklą taške $t=t_a$, tai $f((t_0+t_a)/2+T/4)=0$.

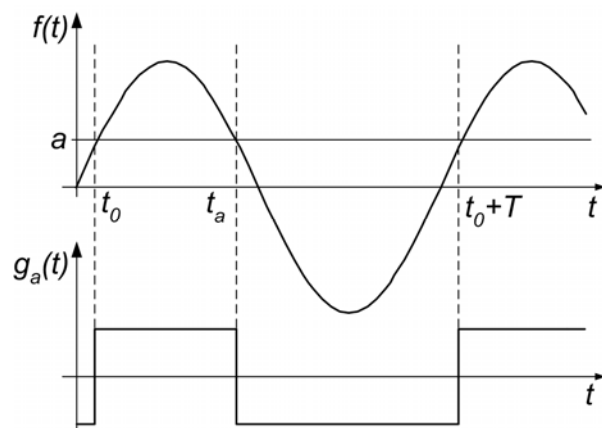
Įrodymas. Iš funkcijos $f(t)$ savybių 2 ir 3 išeina, kad $f(-T/4-t) = f(-T/4+t)$, iš savybių 1 ir 3, – kad $f(T/2) = 0$. Taigi funkcijos $f(t)$ periode yra dvi simetrijos ašys $t = -T/4$ ir $t = T/4$, kurių atžvilgiu ji yra lyginė, ir du nuliai, kai $t=0$, $t=T/2$, kurių atžvilgiu ji yra nelyginė.

Išnagrinėkime atvejį $t_a-t_0 > T/2$, reiškiantį, kad intervale (t_0, t_0+t_a) funkcija $f(t)$ turi nors vieną simetrijos ašį, einantį per tašką t_s . Jei taip, tai iš (3) ir funkcijos $g_a(t)$ apibrėžimo išplaukia, kad $f(t_0+t_s-t) = f((t_0+t_s+t))$, ir $g_a(t_0+t_s-t) = g_a(t_0+t_s+t)$, kas įmanoma tik tada, kai $t_s = (t_0+t_a)/2$. Atitinkamai $f((t_0+t_a)/2+T/4)=0$. Atvejis, kai intervale (t_0, t_0+t_a) yra dvi funkcijos $f(t)$ simetrijos ašys, negalimas, nes prieštarauja sąlygai, kad funkcija $g_a(t)$ keičia ženklą taške $t=t_a$.

Analogiškai nagrinėjamas atvejis, kai $t_0+T-t_a > T/2$.

Atvejis, kai $t_a-t_0=t_0+T-t_a=T/2$ ir simetrijos ašis nepriklauso nė vienam iš intervalų (t_0, t_0+t_a) , (t_a, t_0+T) , prieštarauja sąlygai, kad funkcija $g_a(t)$ keičia ženklą taške $t=t_a$.

Funkcija $f(t)=\sin(t)$, aprašanti įtampas bei sroves tiesinėse grandinėse, tenkina 1–3 reikalavimus. Šią signalo formą atitinkanti $g_a(t)$ funkcija pateikta 3 pav.

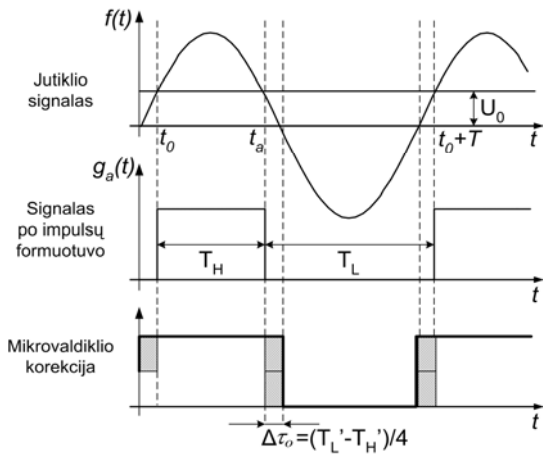


3 pav. Funkcijų $f(t)$ ir $g_a(t)$ grafikai

2. Matavimo algoritmas

Pasiūlytas kompensavimo algoritmas nustato fazių skirtumą tarp srovės ir įtampos stačiakampių signalų impulsų formuotuvų išėjime bei kompensuoja paklaidą, kurią sąlygoja U_0 . Kadangi ši paklaida realiai pasireiškia tada, kai jutiklių signalų amplitudės yra palyginti mažos, kompensavimas reikalingas tik srovės kanale, kuriame signalas keičiasi plačiame diapazone. Algoritmas sudaromas mikrovaldikliu.

Kai srovės jutiklio signalas (4 pav.) yra matematiškai apibrėžta funkcija $f(t)$, signalas po impulsų formuotuvo yra funkcija $g_a(t)$, a atitinka U_0 vieną matavimo ciklą ir T yra elektros tinklo įtampos periodas, paklaidai įvertinti



4 pav. Paklaidos, kurią sąlygoja U_0 , kompensavimas srovės kanale

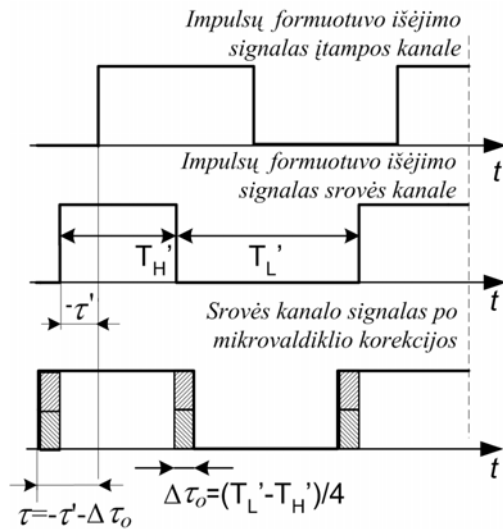
naudojamas įrodytas teiginys. Jeigu intervale (t_0, t_0+T) fiksuojamas vienas t_a laiko momentas, kurio metu signalas $g_a(t)$ keičia ženklą, ir galioja lygybė $(t_0+t_a)=T/2$, tai funkcija $f(t)$ šiame taške lygi nuliui. Kai $(t_0+t_a) \neq T/2$, daroma išvada, kad atsiranda paklaida $\Delta\tau_o$, kuri apskaičiuojama pagal formulę

$$\Delta\tau_o = (T_L - T_H)/4; \quad (4)$$

čia $T_H = t_0 + t_a$, $T_L = T - t_0 - t_a$ ir $T = T_L + T_H$.

Atvejai, kai intervale (t_0, t_0+T) yra du taškai, kur signalas $g_a(t)$ keičia ženklą, arba kai $T_L + T_H > T$, yra ignoruojami, nes neatitinka teiginio sąlygos ir gali atsirasti dėl trikdžių. Taigi algoritmas sumažina trikdžių, esančių elektros tinkle, įtaką matavimo tikslumui.

Nustačius $\Delta\tau_o$, mikrovaldiklio programa atlieka kompensavimo veiksmus priklausomai nuo to, koks yra tiesinės matavimo grandinės pobūdis. Pavyzdžiui, kai tiesinė grandinė pasižymi talpinio elemento savybėmis, o $T_H < T_L$, fazių skirtumas apskaičiuojamas pagal formulę $\varphi = 2\pi\tau/T$, kur $\tau = -\tau' - \Delta\tau_o$, o τ' atitinka fazių skirtumą φ' prieš kompensuojant ($\tau' = \varphi' T / 2\pi$). Tai iliustruoja 5 pav.

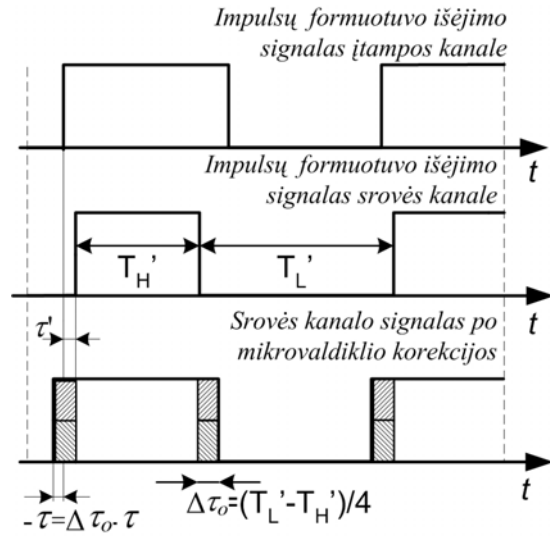


5 pav. Fazių skirtumo korekcija, kai $\varphi < 0$ ir $T_H < T_L$

Iš viso turi būti patikrinti keturi skirtingi variantai, pagal kuriuos atliekamas atitinkamas paklaidos kompensavimas: a) $\varphi < 0$ ir $T_H < T_L$, $\tau = -\tau' - \Delta\tau_o$; b) $\varphi < 0$ ir $T_H > T_L$, $\tau = -\tau' + \Delta\tau_o$; c) $\varphi > 0$ ir $T_H < T_L$, $\tau = \tau' - \Delta\tau_o$; d) $\varphi > 0$ ir $T_H > T_L$, $\tau = \tau' + \Delta\tau_o$.

Anksčiau nurodyti variantai galioja esant sąlygai, kad $\Delta\tau_o < \tau'$. Matavimams, kuriuose $\Delta\tau_o > \tau'$, kompensavimo formulės dviem atvejais pasikeičia: a) $\varphi > 0$ ir $T_H < T_L$, $\tau = \Delta\tau_o - \tau'$; b) $\varphi > 0$ ir $T_H > T_L$, $\tau = \Delta\tau_o + \tau'$. Neįvertinus šio fakto, atsiranda fazių skirtumo ženklo klaida.

Atvejį, kai $\varphi > 0$ ir $T_H < T_L$, iliustruoja 6 pav.



6 pav. Paklaidos kompensavimas, kai $T_H < T_L$, $\varphi > 0$ ir $\tau' < \Delta\tau_o$

3. Paklaidų analizė

Paklaidos, kurias sukelia impulsų formuotuvai, įtampos ir srovės fazių matavimo kanaluose, yra sąlygojamos laiko momentų, kuriais signalai formuotuvų įėjimuose kerta nulinę vertę, fiksavimo paklaidų.

Įtampos jutiklio signalas yra pastovus. Jo amplitudė parenkama artima maksimaliai leistinai diferencinei komparatoriaus įėjimo įtampai, kuri nagrinėjamu atveju sudaro ± 10 V. Naudojamo komparatoriaus $U_f = 2$ mV, $U_0 = \pm 1$ mV. Diskretiškumas, kuriuo matuoja laiką mikrovaldiklis P89C51RD2HBA, panaudotas paklaidos kompensavimo algoritmui sudaryti, yra 1 μ s. Maksimali įtampos jutiklio signalo perėjimo per nulį fiksavimo paklaida, perskaičiuota į laipsnius, šiuo atveju sudaro $0,03^\circ$.

Srovės jutiklio signalas svyruoja plačiame diapazone, o maksimali matavimo paklaida gaunama esant minimaliai signalo vertei. Nagrinėsime atvejį, kai srovės jutiklio signalo minimali amplitudė yra ± 10 mV, formuotuve naudojami du nuosekliai sujungti komparatoriai, kurių suminis $U_f = 10$ μ V, $U_0 = \pm 1$ mV ir diskretiškumas, kuriuo matuoja laiką mikrovaldiklis, yra 1 μ s. Šiuo atveju maksimali matavimo paklaida, kurią sukelia impulsų formuotuvai, jei paklaida nekompensuojama, sudaro 6° ir yra sąlygojama U_0 . Pritaikius siūlomą paklaidos kompensavimo metodą, maksimali matavimo paklaida,

kurią sukelia srovės fazės matavimo kanalo impulsų formuotuvai, sumažėjo iki 0,06°.

Atlikta paklaidų analizė rodo, kad, naudojant tipinius komparatorius ir vidutinio greičio mikrovaldiklį, U_0 įtakos kompensavimas srovės fazės matavimo kanale leidžia sumažinti paklaidą maždaug dviem eilėmis. Taip ji tampa palyginama su paklaida įtampos kanale.

Pasiūlytas paklaidos kompensavimo metodas yra pritaikytas sinchroninių elektros variklių galios koeficiento matuoklyje.

Išvados

Signalų amplitudė srovės jutiklio išėjime nagrinėjama apkrovų atveju kinta diapazone nuo 10 mV iki 1 V, dėl to srovės fazės matavimo paklaida, sąlygojama U_0 svyruoja analogiška diapazone ir yra nepriimtina esant mažiems signalams.

Pasiūlytas galios koeficiento matavimo paklaidos kompensavimo metodas gali būti pritaikytas periodiniams signalams, tenkinantiems matematiniam metodo pagrindime apibrėžtai funkcijai $f(t)$ keliamus reikalavimus.

Atlikta paklaidų analizė rodo, kad, naudojant tipinius komparatorius ir vidutinio greičio mikrovaldiklį, U_0 įtakos

kompensavimas srovės fazės matavimo kanale leidžia sumažinti paklaidą maždaug dviem eilėmis ir daro ją artimą su paklaida įtampos kanale.

Pasiūlytas algoritmas yra realizuotas mikrovaldikliu P89C51RD2HBA ir pritaikytas sinchroninių elektros variklių galios koeficiento matuoklyje

Literatūra

1. **Soliman S. A., Alammari R. A., El-Hawary M. E., Mostafa M. A.** Effects of Harmonic Distortion on The Active and Reactive Power Measurements in The Time Domain: a Single Phase System. // IEEE Porto PowerTech Conference. – 2001. – P.1–6.
2. **Lipsky A.M.** Measurements and Analysis of Electric Power Quality in Power System Networks. // IEEE Budapest PowerTech Conference. – 1999. – P.1–6.
3. **Pascual H. O., Dampé J. L., Rapallini J. A.** Behaviour of Current Transformers (CT's) under Severe Saturation Conditions. // The IPST Conference. – 2001. – P.1–5.
4. **Tališauskas R. J.** Elektriniai matavimai ir prietaisai. – Kaunas: Technologija, 2002. – 243p.

Pateikta spaudai 2005 10 28

V. Zlosnikas, A. Baškys, V. Gobis. Galios koeficiento matuoklio impulsų formuotuvo paklaidos kompensavimo metodas // Elektronika ir elektrotechnika, 2006. – Nr. 1(65). – P. 56-59.

Sukurtas metodas galios koeficiento matuoklio, skirto matavimams, kai tinklo apkrova yra tiesinė, paklaidai kompensuoti. Pateikta ir išanalizuota matuoklio struktūra. Nagrinėjama matuoklio fazių skirtumo matavimo principas yra pagrįstas signalų perėjimo per nulį fiksavimu. Išnagrinėtos paklaidų, kurias sukelia jutikliai ir impulsų formuotuvai, atsiradimo priežastys, įvertinta jų įtaka galios koeficiento matavimo tikslumui. Nustatyta, kad didžiausią įtaką galios koeficiento matavimo tikslumui daro impulsų formuotuvo, esančio srovės fazės matavimo kanale, sukeltos paklaidos. Pasiūlytas metodas kompensuoti paklaidai, kurią sąlygoja nulinio poslinkio įtampa impulsų formuotuvuose. Atliktas jo matematinis pagrindimas, kuriame apibrėžti reikalavimai signalams, kuriems šis metodas gali būti taikomas. Kompensavimo metodo pagrindu sukurtas vienfazio tinklo galios koeficiento matavimo algoritmas, kuris yra įgyvendintas mikrovaldikliu P89C51RD2HBA. Il. 6, bibl. 4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, rusų ir anglų k.).

V. Zlosnikas, A. Baskys, V. Gobis. Error Compensation Method for Pulse Forming Circuit of Power Factor Meter // Electronics and Electrical Engineering, 2006. – No. 1(65). – P. 56-59.

The error compensation method for power factor meter, which is suited for case of the linear load has been developed. The block structure of the power factor meter is presented and analyzed. The measurement method in analyzed power factor meter is based on fixing of moments at which signals of current and voltage sensors are crossing zero values. The influence of sensors and pulse forming circuit errors on power factor measurement accuracy was investigated. It has been estimated that the largest influence to accuracy of power factor measurement make errors of pulse forming circuit in current phase measurement channel. The compensation method of error caused by pulse forming circuits offset voltage is proposed. Mathematical basis for this method was developed and class of signals suitable for it was characterized. The power factor measurement algorithm for case of single-phase linear load on basis of proposed method was created. The algorithm is realized on basis of P89C51RD2HBA microcontroller. Ill. 6, bibl. 4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, Russian and English).

V. Злосник, А. Башкис, В. Гобис. Метод компенсации погрешности формирователя импульсов для измерителя коэффициента мощности // Электроника и электротехника, 2006. – №. 1(65). – С. 56-59.

Создан метод компенсации для измерителя коэффициента мощности, предназначенный для измерений в цепях переменного тока с линейной нагрузкой. Рассмотрена структура измерителя. Метод измерения разности фаз реализован по принципу фиксации момента перехода сигналов через ноль. Рассмотрены причины возникновения погрешностей в датчиках сигналов и формирователях импульсов. Учтено их влияние на общую погрешность измерения. Предложен метод компенсации погрешности связанной с напряжением смещения нуля в формирователях импульсов. Проведено математическое доказательство метода, где описаны требования сигналам, для измерения которых данный метод может быть использован. Исходя из предложенного метода создан алгоритм измерения коэффициента мощности в однофазной сети. Разработанный алгоритм реализован с помощью микроконтроллера P89C51RD2HBA. Ил. 6, библи. 4 (на литовском языке; рефераты на литовском, русском и английском яз.).