

ELEKTROS TINKLO PARAMETRŲ ĮTAKA ELEKTROS ENERGIJOS APSKAITOS PRIETAISŲ TIKSLUMUI

Šarūnas AKELIS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: sarunas.akelis@vdu.lt

Santrauka

Šiuo metu Lietuvos elektros skirstymo operatorius „ESO“ aptarnauja virš 1,8 mln. elektros energijos vartotojų. Šiuolaikinėje visuomenėje elektros skaitiklių matavimo tikslumas yra aktuali tema. Viešojoje erdvėje daug diskutuojama apie tai, kad gaunamos didesnės sąskaitos pakeitus senąjį elektros skaitiklį į išmanųjį. Šio tyrimo tikslas yra ištirti Lietuvos elektros tinkle eksploatuojamų elektros skaitiklių matavimo paklaidas, esant įvairiems tinklo parametrams. Tyrimas atliktas skaitiklių metrologiniu stendu STM4000. Tyrimo metu buvo keičiama elektros tinklo įtampa nuo 170 V iki 260 V, galios koeficientas keičiamas nuo 0,5 iki 1, taip pat srovės stipris keičiamas nuo 1 A iki 21 A ir tinklo dažnis – nuo 48 Hz iki 51 Hz. Nustatyta, kad tinklo parametru kitimas elektroninio tipo skaitikliams didelės įtakos nedaro, skaičiavimo paklaidos neviršija leistinosios ribos (1 %). Indukcinio elektros skaitiklio paklaidoms didžiausią įtaką daro elektros tinklo įtampos ir dažnio pokyčiai.

Reikšminiai žodžiai: elektros skaitiklis, metrologinis stendas, elektros tinklo parametrai.

Įvadas

Remiantis elektros tinklo eksploatuotojo „ESO“ duomenimis, Lietuvoje nuo masinio išmaniųjų elektros skaitiklių diegimo pradžios jau įdiegta daugiau nei 800 tūkst. išmaniųjų elektros skaitiklių (ESO, 2024). Naujieji elektros skaitikliai turi dvikryptiškumo funkciją ir nuotolinį nuskaitymą, t. y. fiksuoja tiek sunaudojamą, tiek sugeneruotą elektros energiją ir ją nuotoliniu būdu perduoda vartotojui į išmaniąją programėlę, todėl leidžia efektyviau paskirstyti elektros energiją naudojimą tiek buitėje, tiek komercijoje (IBM, 2024). Nors vartotojai yra gerai informuojami apie skaitiklių metrologines patikras, tačiau masinis išmaniųjų elektros skaitiklių diegimas visoje Lietuvoje padidino skundų skaičių, kurie yra susiję su elektros skaitikliais (LRT, 2023). Yra daug veiksnių, dėl kurių gali atsirasti skaitiklių matavimo nuokrypiai: skaitiklių gedimai dėl broko ar gamtinių veiksnių, tiekiamos elektros energijos kokybės. Elektros tinklo parametru kitimas, įvairūs svyravimai yra neatsiejama tinklo problema, su kuria susiduriama kasdien. Didėjantis gaminančių vartotojų kiekis ir jų naudojama įranga turi įtakos skirstomojo elektros tinklo kokybei (Pocius ir kt., 2010). Šiame darbe siekta nustatyti, kaip elektros tinklo kokybė ir skirtingos vartotojų apkrovos veikia elektros skaitiklių tikslumo rodiklius.

Tyrimo tikslas – nustatyti, kaip kinta elektros skaitiklių matavimo paklaidos, kintant elektros tinklo ir vartotojų apkrovų parametrams.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami **šie uždaviniai:**

1. Įvertinti, kokią įtaką elektros skaitiklių tikslumui daro elektros tinklo dažnio ir įtampos, vartotojų apkrovos ir galios koeficiento reikšmės.
2. Palyginti kelių tipų skaitiklių matavimo paklaidas.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektu pasirinkti trijų skirtingų gamintojų vienfaziai elektros skaitikliai, kurie yra dažnai eksploatuojami Lietuvos elektros tinkle. Šiame darbe ištirti šie skaitikliai: elektroninis elektros skaitiklis G1A (tikslumo klasė – 1), elektroninis elektros skaitiklis XS211 (tikslumo klasė – 1) ir indukcinis elektros skaitiklis CO-U449M2 (tikslumo klasė – 2). Tyrimai atlikti „Energinės skirstymo operatorius“ skaitiklių metrologinėje laboratorijoje naudojant elektros energijos skaitiklių bandymo stendą STM4000 (Zera.de, 2024). Tai stacionari skaitmeninė testavimo sistema, skirta elektros skaitikliams tikrinti (žr. 1 pav.).

Naudota testavimo sistema yra itin pažangi ir naujoviška, atitinkanti tarptautinius standartus, pilnai kompiuterizuota ir suteikia galimybę visą informaciją surinkti, apdoroti ir importuoti į išorinę laikmeną, kurioje vėliau duomenys yra analizuojami. Šiuo testavimo įrenginiu taip pat galima atlikti išmaniųjų skaitiklių kombinuotą metrologijos ir duomenų perdavimo testavimą. Naudojantis šiuo įrenginiu vienu metu galima tirti iki 10 elektros skaitiklių. Visus duomenis valdo pagrindinis kompiuteris, kuris komandas siunčia į atitinkamus stendo prietaisus, kurie imituoja realius tinklo parametrus.

Tyrimas atliktas keturiais etapais, keičiant skirtingus elektros tinklo parametrus. Pirmajame etape elektros skaitikliai buvo jungiami į elektros grandinę, kurioje elektros tinklo įtampos vertės yra didinamos nuo 170 V iki 260 V, 10 V intervalu palaikant srovės stiprio vertę 20 A.

Antrojo tyrimo metu nustatytos matavimo paklaidos, palaikant standartinę 230 V įtampą ir didinant srovės stiprį nuo 1 A iki 21 A, 4 A intervalu.



1 pav. Elektros skaitiklių pajungimas metrologiniame stende: A – XS211, B – G1A, C – CO-U449M2

Fig. 1 Electricity meters connection in metrological stand: A – XS211, B – G1A, C – CO-U449M2

Gauti rezultatai palyginti su valstybinės metrologijos nustatytais leistinųjų paklaidų ribomis (LST bendrosios patikros metodikos, 2000). Kiekvienos patikros metu buvo kalibruojamos etaloninės matavimo priemonės ir patikrinama, ar aplinkos sąlygos atitinka leidžiamas normas išorinių poveikių atžvilgiu. Prieš pradėdant tyrimą atliekama skaitiklių vizualinė apžiūra, ar nėra pažeistos skaitiklių mechaninės dalys, ar yra visos būtinosios plombos, ar sujungimai tinkamai priveržti. Tada skaitikliai įjungiami į tinklą ir paliekami bent 15 min., kad pašiltų. Į matavimo sistemos kompiuterį suvedami skaitiklių techniniai duomenys ir pradėdama tyrimas. Matavimas atliekamas imituojant pasirinktus tinklo parametrus tiek laiko, kol elektros skaitiklio indikacijos lemputė sumirksi 100 kartų.

Lentelė 1. Tiriamų elektros skaitiklių techniniai duomenys

Table 1. Technical data of the studied electricity meters

Skaitiklio tipas	Indukcinis	Elektroninis	Elektroninis išmanusis
Skaitiklio markė	CO-U449M2	GAMA G1A	XS211
Nominali įtampa, V	230	230	230
Nominalus dažnis, Hz	50	50	50
Minimali srovė, Amin	0,5	0,25	0,25
Nominali srovė, Anom	10	5	5
Maksimali srovė, Amax	40	60	60
Tikslumo klasė	2	1	1

Trečiojo tyrimo etapo metu nustatytos skaitiklių matavimo paklaidos, esant pastoviai 5 A srovės stiprio vertei ir standartinėi 230 V tinklo įtampai, keičiant galios koeficiento reikšmę 0,1 intervalu nuo 0,5 iki 1.

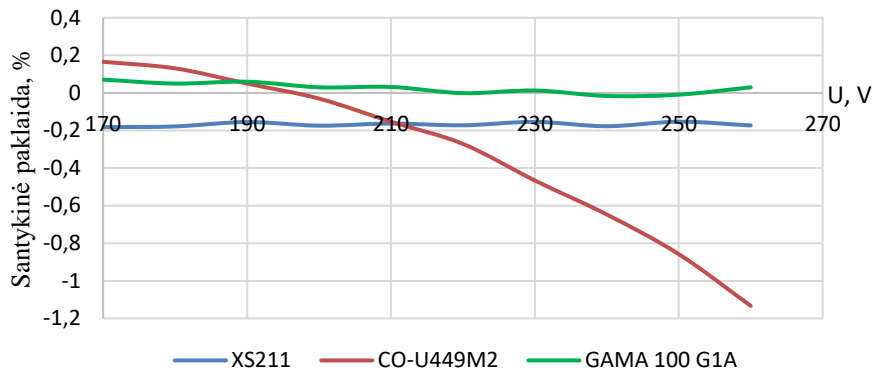
Ketvirtojo tyrimo metu tikrinamos skaitiklių skaičiavimo paklaidos, esant pastoviam 40 A srovės stipriui, standartinėi 230 V įtampai, tačiau keičiant tinklo dažnį nuo 48 Hz iki 51 Hz vertės (0,5 Hz intervalu).

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Pirmasis tyrimas parodė, kad elektros tinklo įtampos pokyčiai didžiausią įtaką turėjo indukcinio skaitiklio tikslumui (žr. 2 pav.). Indukcinio skaitiklio santykinės paklaidos keičiant elektros tinklo įtampą nuo 170 V iki 260 V ir palaikant 20 A srovės stiprį kito 0,2 %–1,2 % intervale. Elektroniniams skaitikliams įtampos pokyčiai didelės įtakos jų tikslumui neturėjo – jų santykinės paklaidos kito 0,1 % ribose.

Pimanov 2013 m. savo tyrime išanalizavo elektroninio ir indukcinio elektros energijos skaitiklių paklaidų priklausomybę nuo tinklo įtampos ir nustatė, kad padidėjus tinklo įtampai 10 V elektroninio elektros energijos skaitiklio paklaida padidėja apie 0,1 %, o indukcinio sumažėja apie 0,065 %. Tiek atliktotyrimo metu, tiek Pimanov atlikto tyrimo metu gauti rezultatai beveik sutampa, tačiau matyti, kad naujesni elektroniniai skaitikliai yra atsparesni įtampos svyravimams, nes dabartiniai rezultatai rodo, kad pasirinktų elektroninių skaitiklių paklaidų vertės didinant ar mažinant tinklo įtampą nekinta.

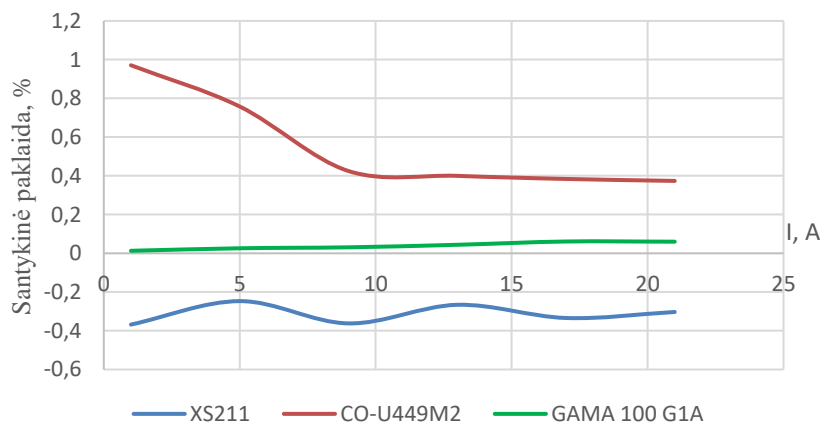
Išanalizavus kitus tyrimus pastebėta, kad skirtingų gamintojų elektros energijos skaitiklių paklaidos, esant realioms tinklo sąlygoms, ženkliai skiriasi. Atlikus informacijos šaltinių analizę buvo suformuota hipotezė: elektros energijos skaitiklių tikslumas priklauso nuo elektros tinklo kokybės parametrų.



2 pav. Elektros skaitiklių santykinų paklaidų priklausomybė nuo tinklo įtampos
Fig. 2 Electricity meters relative errors reliance from network voltage

Atliekant antrąjį tyrimą nustatyta, kad didėjantis apkrovos stipris labiau veikia indukcinio skaitiklio matavimo tikslumą prie mažesnių reikšmių (diapazone nuo 0 A iki 10 A). Esant didesnėms tinklo apkrovoms, paklaidų vertės tapo nereikšmingos. Elektroninio tipo skaitikliams tinklo apkrova didelės įtakos nedaro. Šių skaitiklių matavimo paklaidos išliko beveik nepakitusios (žr. 3 pav.).

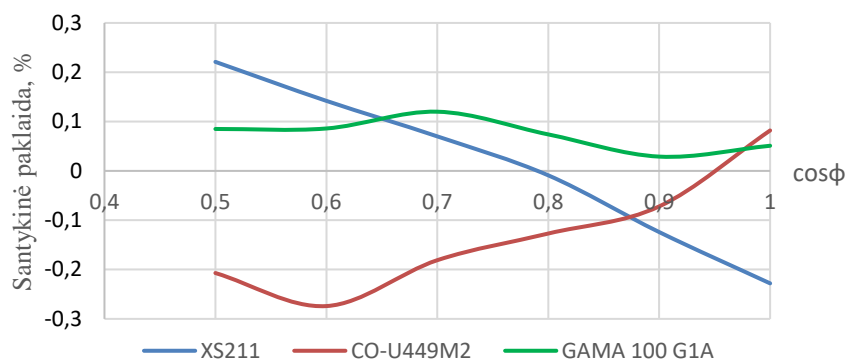
2007 m. Jėgizarian, Karachanian ir Asatrian savo tyrime padarė išvadą, kad kai apkrovos srovė mažesnė už nominalią, indukcinio skaitiklių santykinės paklaidos padidėja ir skaitiklių tikslumo klasė viršija leistiną ribą 2,5 %. Atlikto tyrimo metu pasirinkto indukcinio skaitiklio santykinė paklaida neviršijo leistinosios ribos, tačiau išvada ta pati, indukcinis skaitiklis yra labai priklausomas nuo apkrovos.



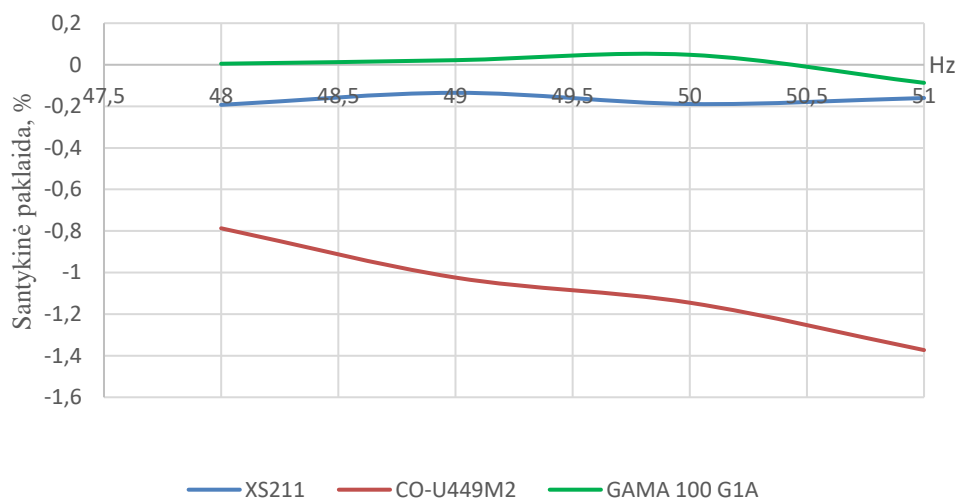
3 pav. Elektros skaitiklių santykinų paklaidų priklausomybė nuo tinklo apkrovos
Fig. 3 Electricity meters relative errors reliance from network load

Atlikus eksperimentą palaikant standartinę 230 V elektros tinklo įtampą ir pastovią 5 A apkrovą, tačiau keičiant galios koeficiento reikšmes nuo 0,5 iki 1, nustatyta, kad galios koeficiento pokyčiai didžiausią įtaką turėjo indukcinio ir išmaniojo skaitiklių santykinėms matavimo paklaidoms (žr. 4 pav.). G1A tipo skaitikliui galios koeficiento pokyčiai reikšmingos įtakos neturėjo. Didinant galios koeficiento reikšmę išmaniojo skaitiklio matavimo paklaida pradėjo mažėti, kol pasiekė neigiamą reikšmę -0,2 %. Indukcinio elektros skaitiklio matavimo paklaida atvirkščiai – ėmė didėti, ties galios koeficiento reikšme 0,95 skaitiklis matuoja tiksliausiai (0 % riba).

Ketvirtajame tyrimo etape buvo iširta, kaip skaitiklių matavimo tikslumą veikia tinklo dažnio svyravimai. Kaip žinoma (VEI, 2011), standartinis tinklo dažnio intervalas yra 50 Hz \pm 0,5 Hz ir toks dažnis turi būti 99,5 % per metus. Tyrimas atliktas palaikant standartinę 230 V elektros tinkle įtampą ir 40 A srovės stiprį. Palyginus gautus rezultatus matyti, kad tinklo dažnio didinimas elektroniniams skaitikliams nėra reikšmingas. Šių skaitiklių santykinė paklaida neperžengia 0,3 % ribos. Indukcinio tipo skaitiklio matavimui tinklo dažnis didina santykinę paklaidą į minusinę pusę. Padidinus dažnį iki 51 Hz, esant standartinei 230 V įtampai, skaitiklio santykinė paklaida sumažėjo iki -1,4 %. Tai reiškia, kad skaitiklis apskaito mažiau elektros energijos, negu yra realiai suvartojama.



4 pav. Elektros skaitiklių santykinų paklaidų priklausomybė nuo galios koeficiento
Fig. 4 Electricity meters relative errors reliance from power factor



5 pav. Elektros skaitiklių santykinų paklaidų priklausomybė nuo tinklo dažnio
Fig. 5 Electricity meters relative errors reliance from frequency

Ortiz, Lehtonen ir kt. (2004) atliktas elektroninių elektros energijos skaitiklių tikslumo tyrimas parodė, kad tinklo dažnio didinimas keičia skaitiklių santykinės paklaidos reikšmes į neigiamą pusę, tai atitinka atliktus tyrimus tik indukcinio skaitiklio atžvilgiu.

Išvados

1. Elektros tinklo įtampos pokyčiai didžiausią įtaką turėjo indukcinio skaitiklio tikslumui. Indukcinio skaitiklio santykinės paklaidos keičiant elektros tinklo įtampą nuo 170 V iki 260 V ir palaikant 20 A srovės stiprį, kito 0,2 % – -1,2 % intervale. Elektroniniams skaitikliams įtampos pokyčiai didelės įtakos jų tikslumui neturėjo – santykinės paklaidos kito 0,1 % ribose.

2. Apkrovos stipris indukciniam skaitikliui turi įtaką tik prie mažesnių reikšmių, nustačius srovės stiprio vertę 1 A, skaitiklio matavimo paklaida siekė 1 %, o didinant srovės stiprio vertę skaitiklio paklaida sumažėjo iki 0,4 %. Esant didesnėms tinklo apkrovoms, paklaidų vertės tapo nereikšmingos. Elektroninio tipo skaitikliams vartotojų apkrova didelės įtakos nedaro, XS211 skaitiklio santykinė paklaida kito $\pm 0,3$ %, o G1A skaitiklis matuoja arti idealios ribos, santykinė paklaida kito $\pm 0,1$ %.

3. Pastebėta, kad keičiant galios koeficientą, indukcinio skaitiklio santykinė matavimo paklaida padidėjo į neigiamą pusę tik pasiekus galios koeficiento reikšmę, lygią 0,6. Išmaniojo skaitiklio santykinė paklaida didinant galios koeficiento reikšmes mažėja.

4. Elektros tinklo dažnio pokyčiai elektroniniams skaitikliams nėra reikšmingi, XS211 skaitiklio santykinė paklaida kito -0,2 % ribose, G1A skaitiklio santykinė paklaida kito $\pm 0,1$ %, o indukcinio elektros skaitiklio paklaidos reikšmė tolygiai didėjo į neigiamą pusę, kol pasiekė -1,4 % reikšmę.

5. Palyginus visus trijų gamintojų elektros skaitiklius galima teigti, kad elektroninis G1A elektros skaitiklis matuoja tiksliausiai, visų keturių tyrimų metu šio skaitiklio santykinė paklaida neperžengė didesnės nei 0,2 % ribos, išmanusis elektros skaitiklis XS211 yra mažiau tikslus, tačiau visų tyrimų metu atitiko numatytus standartus, maksimali pasiekta santykinės paklaidos reikšmė buvo 0,4 %. Indukcinis elektros skaitiklis yra mažiausiai tikslus, ypač prie

nestandartinių tinklo parametrų (didesnės arba mažesnės tinklo įtampos, kai santykinės paklaidos reikšmė pasiekė -1,2 %, ir didesnio tinklo dažnio, kai santykinės paklaidos reikšmė pasiekė -1,4 %), tačiau visais atvejais neperžengė leistinosios 2 % ribos.

Literatūra

1. Išmanieji skaitikliai. Elektros skirstymo operatorius. 2024. Prieiga per internetą: https://ismaniejiskaitikliai.lt/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA5-uuBhDzARIsAAa2lT8SiegBADIruLT_FUMt96ItA4ece7dXJPpqx89qJnhEaB9bxZtB3aUaAsPKEALw_wcB (žiūrėta 2024 02 25).
2. What are smart meters? IBM. 2024. Prieiga per internetą: <https://www.ibm.com/topics/smart-meter> (žiūrėta 2024 02 25).
3. Indukciniai elektros energijos skaitikliai. Bendrosios patikros metodikos. BPM 8871101-14:2000.
4. Irwin, L. A., 2010. A high accuracy standard for electricity meters. In *IEEE PES T&D*, p. 1–3. IEEE.
5. Kintamosios srovės aktyviosios energijos 0,5, 1 ir 2 klasės skaitikliai. Bendrosios patikros metodikos. LST EN 60521+AC:2000. 2010.
6. LRT naujienos. Gyventojai netveria pykčiu dėl išmaniųjų skaitiklių. 2023. Prieiga per internetą: <https://www.lrt.lt/naujienos/verslas/4/2045207/gyventojai-netveria-pykciu-del-ismaniuju-skaitikliu-stebina-kartais-isaugusios-saskaitos-uz-elektra> (žiūrėta 2024 02 25).
7. Pimanov, V. 2013. Elektros energijos apskaitos priemonių tikslumo tyrimas, p. 29–31.
8. Pocius, P. 2010. Elektros tinklų kokybės parametrų tyrimas. (Doctoral dissertation, Aleksandras Stulginskis University).
9. Valstybinė energetikos inspekcija. 2003. Norminiais teisės aktais nustatytų energijos kokybės reikalavimų laikymosi kontrolės metodiniai nurodymai. Prieiga per internetą: <https://www.vei.lt/> (žiūrėta 2024 03 05).
10. Vienfaziai elektros energijos skaitikliai. Patikros metodika. PM 1039597-13:2006. 2006.
11. Zera stationary meter test system AC. 2024. Prieiga per internetą: https://www.zera.de/wp-content/uploads/STM4000_INF_EXT_GB_V100.pdf (žiūrėta 2024 02 25).
12. Ortiz, A., Lehtonen, M., Mañana, M., Renedo, C. Eguíluz, L. I. 2004. Energy meter behaviour under non-sinusoidal conditions. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, Vol. 2(1), p. 402-407. <https://doi.org/10.24084/repqj02.296>

INFLUENCE OF ELECTRICAL NETWORK PARAMETERS ON THE ACCURACY OF ELECTRICAL ENERGY ACCOUNTING DEVICES

Summary

Currently, the Lithuanian electricity distribution operator "ESO" serves more than 1.8 million electricity consumers. The measurement accuracy of electricity meters is a relevant topic in modern society. There is a lot of discussion in the public space about the fact that you get higher bills after replacing the old electricity meter with a smart one. The purpose of this study is to investigate the measurement errors of electricity meters operated in the Lithuanian electricity network, in the presence of various network parameters. The study was carried out with the STM4000 meter metrological stand. During the study, the mains voltage was changed from 170 V to 260 V, the power factor was changed from 0.5 to 1, as well as the current strength was changed from 1 A to 21 A and the mains frequency from 48 Hz to 51 Hz. It was established that the change in network parameters does not have a significant impact on electronic meters, the calculation errors do not exceed the permissible limit (1%). Changes in the voltage and frequency of the power grid have the greatest influence on the errors of the inductive electricity meter.

Keywords: electricity meter, metrological stand, electrical network parameters.