

УДК 628.93.001

В. В. Момот

ПАТ "Полтаваобленерго",
м. Полтава, вул. Марії
Башкирцевої, 35, кв.87,
тел.: (0532)516-448,
(066)4310035,
E-mail: inre03@pl.energy.gov.ua.

В. Ф. Рой

докт. фіз.-матем. наук,
Харківський національний
університет міського
господарства імені
О. М. Бекетова,
тел. (057) 707-32-48,
0502287794

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СТАТИЧНИМИ (ЕЛЕКТРОННИМИ) ЛІЧИЛЬНИКАМИ

Вступ. Підвищення ефективності використання електроенергії (ЕЕ) на пряму залежить від забезпечення достовірного вимірювання на всіх ділянках і рівнях її виробництва, що можливе лише за рахунок удосконалення методів та засобів вимірювань. Понад поширеними індукційними лічильниками ЕЕ, в теперішній час масово впроваджуються сучасні багатофункціональні статичні (електронні) лічильники електроенергії (ЛЕ), що мають гнучку вимірювальну систему, яка налаштовується під час параметризації для роботи в три- або чотиріпровідній лінії високої напруги (ВН) для прямого чи трансформаторного ввімкнення. Зазначені засоби обліку (ЗО), в порівнянні між собою та з індукційними ЛЕ мають різний алгоритм вимірювання ЕЕ, різні схеми підключення, а також досить часто фігурують в проблемних питаннях між електропередавальною організацією та споживачами у разі реорганізації точок обліку (ТО), чи виникненні недообліку ЕЕ внаслідок порушення розрахункового обліку низької напруги. Ситуація ще більш ускладнюється за наявності нерівномірного та несиметричного навантаження в реальних умовах роботи високовольтних електричних мереж (ЕМ) [1,2]. Дані аспекти в частині тимчасового виходу параметрів похибок вимірювань ЕЕ за встановлені межі, - не враховані в нормативних документах щодо визначення похибки вимірювання ЕЕ та в технічному завданні на проведення державного метрологічного нагляду за забезпеченням єдності вимірювань під час проведення обліку ЕЕ [2]. Вказані особливості та наявність проблемної ситуації між суб'єктами у разі виходу результатів вимірювань за встановлені межі, потребують дослідження стану комерційного обліку ЕЕ статичними (електронними) ЛЕ з метою

вирішення питання щодо підвищення ефективності роботи систем контролю та обліку в трифазних трипровідних ЕМ напругою понад 1000 В, зокрема реактивної ЕЕ, де проходять її великі обсяги.

Основна частина. Визначити точність обліку реактивної ЕЕ можна методом безпосередньої оцінки, або методом порівняння з реактивною ЕЕ, вимірною зразковим ЛЕ (переносним робочим еталоном). Перший метод є більш точним за умови включення досліджуваних ЛЕ в одну розрахункову схему, тому для даного експерименту використовувались покази електронних ЛЕ типу «Элвин» ЕТ та НР-03, що мають однаковий клас точності (2,0), ввімкнених на ПС електропередавальної організації ПАТ «Полтаваобленерго» по ТО на кожному аналізованому приєднанні в одну схему обліку по аналогії з ЛЕ активної та реактивної ЕЕ. При цьому середньоквадратична похибка схеми з двома ЛЕ класу 2,0 становить, %:

$$\Delta = \sqrt{(\delta_{л1}^2 + \delta_{л2}^2)} = \sqrt{(2^2 + 2^2)} = 2,8 \quad (1)$$

Метою даного дослідження було визначення різниці в показах при вимірюванні реактивної ЕЕ на протязі певного періоду часу електронними ЛЕ різного типу. В розрахункових схемах обліку при визначенні різниці в показах ЛЕ по ТО за основу взяті покази ЛЕ 1-го типу (ЕТ-комерційний облік). Результати вимірювань реактивної ЕЕ по ТО наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Результати вимірювань реактивної ЕЕ

№ точки обліку	Споживання реактивної енергії за період часу, квар.г							
	1-ий місяць		2-ий місяць		3-ий місяць		4-ий місяць	
	Тип		Тип		Тип		Тип	
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	21900	21960	10560	10680	2040	2220	2460	2652
2	10380	11160	10920	11340	7920	8700	9660	10380
3	76020	76500	84780	86208	90720	91044	86580	88296
Генерація реактивної енергії за період часу, квар.г								
1	2700	3060	11820	10080	16380	15120	19680	20028
2	26520	28080	39480	40260	18300	19740	13500	15120
3	540	816	1560	1896	1140	1464	1360	1980

Таким чином видно, що при вимірюванні спожитої реактивної ЕЕ, різниця в показах у більшості випадків значно виходить за межі середньоквадратичної похибки, а найбільша і стабільна різниця спостерігається при обліку генерованої в ЕМ реактивної ЕЕ. Для більш детального дослідження були проведені дослідження у двох напрямках: дослідження обліку споживання-генерації реактивної ЕЕ на приєднаннях ПС-110/10 кВ електронними 3-елементними ЛЕ різного типу та аналогічне - для 2- і 3-елементних ЛЕ, що зображено на рис. 1, 2.

Таблиця 2

Різниця при вимірюванні реактивної ЕЕ за досліджуваний період

№ точки обліку	Споживання реактивної енергії				Генерація реактивної енергії			
	Різниця показів Δ , квар.г/%				Різниця показів Δ , квар.г/%			
	Період часу, місяць				Період часу, місяць			
	I	2	3	4	I	2	3	4
1	-780/ -7,5	-420/ -3,85	-780/ -9,85	-720/ -7,54	-1560/ -5,88	-780/ -1,98	-1440/ -7,87	-1620/ -12
2	-60/ -0,27	-120/ -1,14	-180/ -8,82	-192/ -7,8	-360/ -13,33	-1740/ 14,70	1260/ 7,69	-348/ -1,77
3	-480/ -0,63	-1428/ -1,68	-324/ -0,36	-1716/ -1,98	-276/ -51	-336/ 21,5	-324/ -28,4	-620/ -45,6

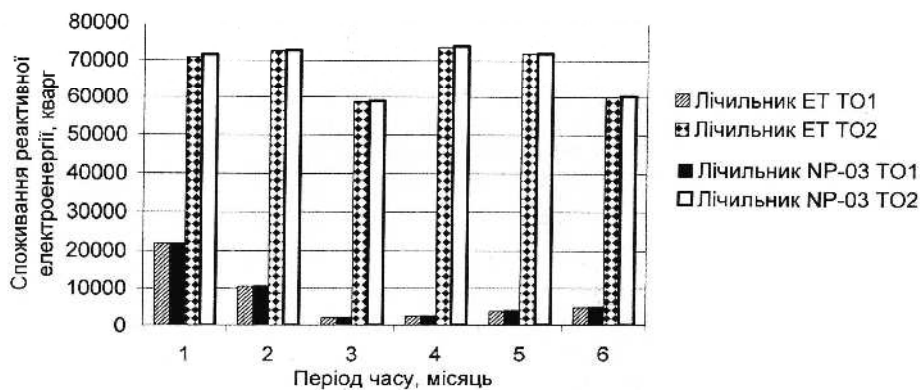


Рис. 1 – Порівняльна характеристика реактивної ЕЕ при індуктивному характері навантаження, виміряна 3-елементними ЛЕ по ТО1 та ТО2

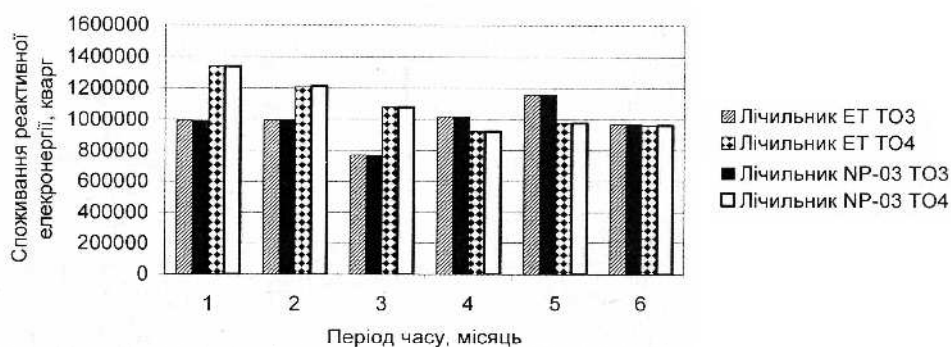


Рис. 2 – Порівняльна характеристика реактивної ЕЕ при індуктивному характері навантаження, виміряна 3-елементними ЛЕ по ТО3 та ТО4

Як видно з наведених діаграм по ТО1 та ТО2, де величини реактивної ЕЕ в декілька разів менші, в порівнянні з ТО3 та ТО4, спостерігається більша різниця

показів. Величина похибки вимірювань реактивної ЕЕ 3-елементними ЛЕ різного типу показана на рис.3.



Рис. 3 – Графік залежності похибки вимірювань реактивної ЕЕ (індуктивний режим) від періоду досліджень

Як видно з рис.3, найбільша похибка спостерігається по ТО1 (близько 9%). Слід зазначити, що на приєднанні по вказаній ТО1, в порівнянні з іншими ТО за період дослідження ЗВТ було зафіксовано найменшу величину споживаної реактивної ЕЕ. При цьому спостерігається зростання похибки з початку періоду дослідження та поступове її зменшення до встановлених меж наприкінці розрахункового періоду. По іншим трьом досліджуваним ТО похибка не виходить за допустимі межі $\pm 2,0\%$, що відповідає класу точності 2,0 триелементних ЛЕ типу ЕТ та NP-03 під час вимірювання реактивної ЕЕ.

По діаграмі на рис.3 побудованій за отриманими даними вимірів видно, що при ємнісному характерові навантаження спостерігається більша різниця показів, ніж при вимірюванні реактивної ЕЕ індуктивного характеру. Слід зазначити, що при індуктивному характерові навантаження значення вимірюваної реактивної ЕЕ значно перевищує аналогічне при ємнісному навантаженні. Причому, в ємнісному режимі, в порівнянні з ТО1, для ТО2 різниця в показах є більш вираженою.

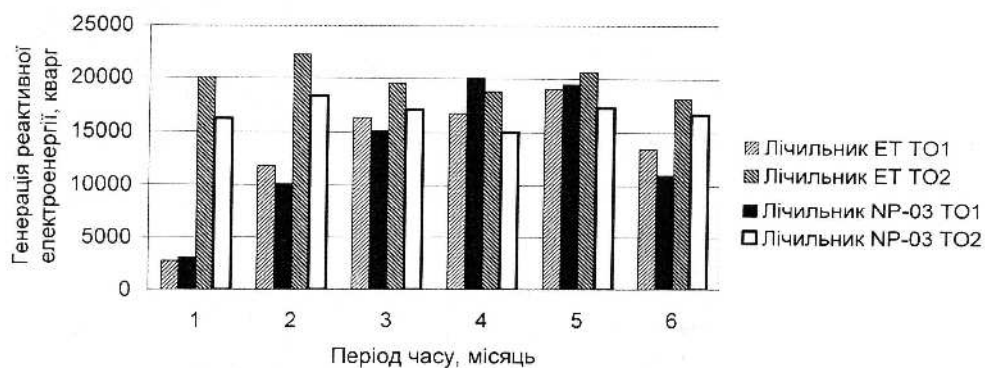


Рис. 4– Порівняльна характеристика реактивної ЕЕ при ємнісному характерові навантаження, вимірюваною 3-елементними ЛЕ по ТО1 та ТО2

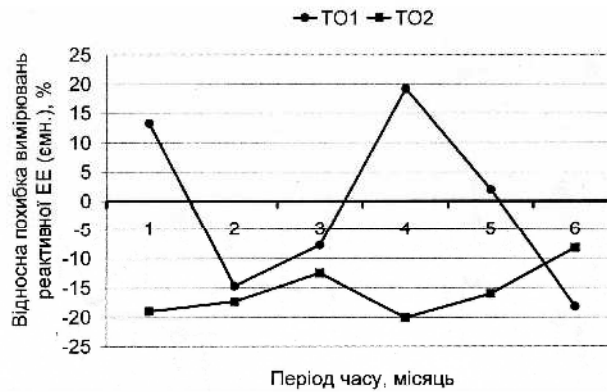


Рис. 5 – Графік залежності похибки вимірювань реактивної ЕЕ (емнісний режим) від періоду дослідження

Аналіз наведених результатів дослідження свідчить, що при використанні для вимірювання реактивної ЕЕ 3-елементних ЛЕ різного типу виникає суттєва різниця показів. При цьому, якщо взяти за основу один з ЛЕ, як зразковий, то похибка вимірювань є нестабільною під час обліку спожитої реактивної ЕЕ та значно виходить за допустимі межі під час її обліку, що генерується в ЕМ. [3]. Аналогічні дослідження проведені також й під час вимірювання реактивної ЕЕ у разі використання на приєднаннях ПС 110/10 кВ 2- та триелементних багатofункціональних електронних ЛЕ різного типу (рис.6), де зображений характер вимірюваної реактивної ЕЕ по трьох ТО за певний проміжок часу при індуктивному характерові навантаження.

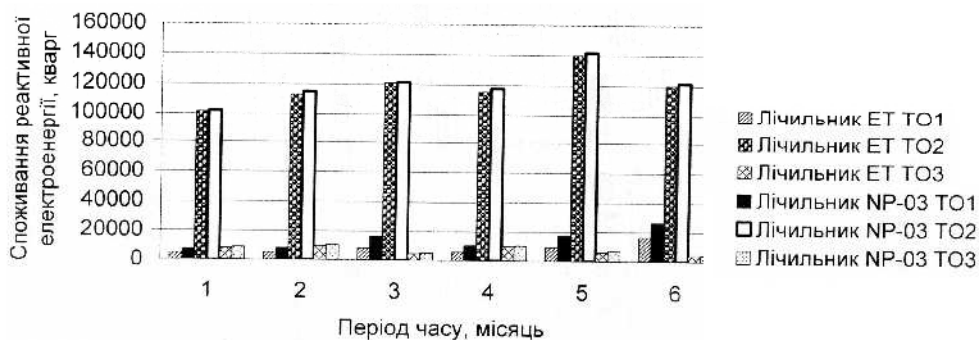


Рис. 6 – Порівняльна характеристика реактивної ЕЕ при індуктивному характерові навантаження, виміряна 2- та 3-елементними ЛЕ по ТО за період дослідження

Характер вимірювання реактивної ЕЕ різними типами 2- та 3-елементних ЛЕ на приєднаннях з емнісним навантаженням можна аналізувати по діаграмі на рис.7, а величина абсолютної похибки вимірювань наведена на рис. 8.

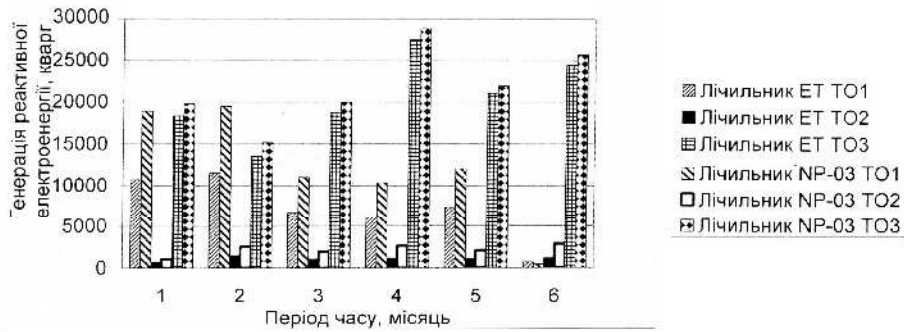


Рис. 7 – Порівняльна характеристика вимірної 2-елементними ЛЕ по ТО за період часу реактивної ЕЕ при ємнісному характерові навантаження

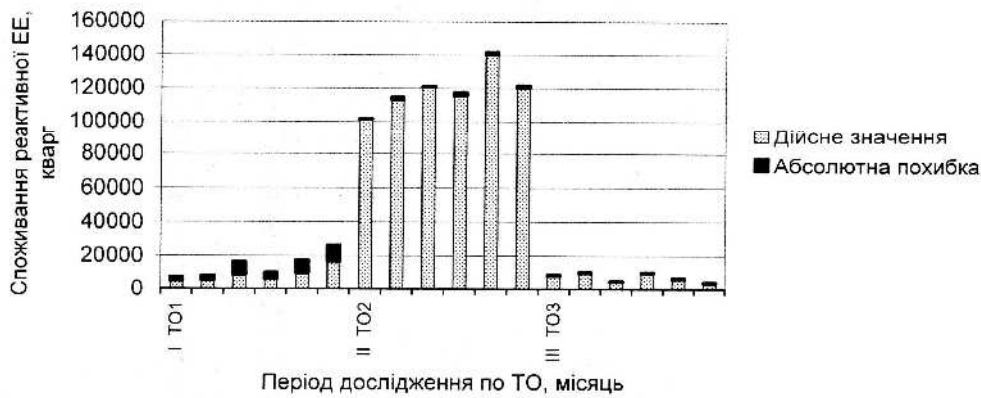


Рис. 8 – Абсолютна похибка вимірювань індуктивної реактивної ЕЕ 2- та 3-елементними ЛЕ по трьох ТО за досліджуваний період

Аналогічна діаграма побудована для випадку вимірювання реактивної ЕЕ ємнісного характеру (рис.9). В цьому випадку похибка має від'ємне значення для ТО1 в шостому періоді дослідження.

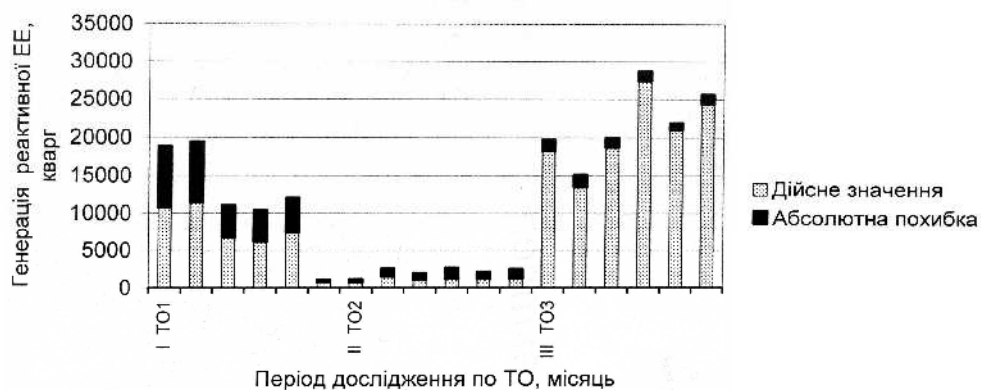


Рис. 9 – Абсолютна похибка вимірювань ємнісної реактивної ЕЕ 2- та 3-елементними ЛЕ по трьох ТО за досліджуваний період

З порівняльного аналізу діаграм, зображених на рис.8 та 9 видно, що для ТО-1 абсолютна похибка значно більша при вимірюванні реактивної ЕЕ, викликаній наявністю ємнісного режиму навантаження. Для фідерів, де організовані ТО, при ємнісному характері навантаження абсолютна похибка є стабільною та значно виходить за допустимі межі [4]. Найменше значення похибки спостерігається на приєднанні ТО-3.

Згідно отриманих даних побудовані графіки залежності похибки вимірювань від обсягу реактивної ЕЕ, зафіксованої на кожному з інтервалів періоду дослідження, окремо для індуктивного (рис.10) та ємнісного (рис.11) режимів. Значення реактивної ЕЕ, виміряної по ТО за фактичними показами двоелементних ЛЕ типу ЕТ, прийнято за основу (як достовірне) при визначенні похибки вимірювання ЕЕ. При цьому слід зазначити, що лічильники типу ЕТ та NP-03 мають клас точності 0.5 і за індуктивного режиму відносна похибка значно виходить за встановлені межі для усіх ТО на досліджуваних приєднаннях.

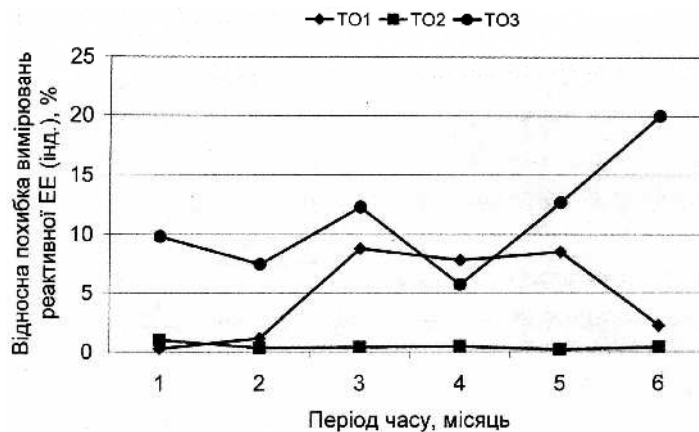


Рис. 10 – Динаміка похибки вимірювань реактивної ЕЕ (індуктивний режим) за період дослідження 2- та 3-елементними ЛЕ різного типу

Як видно з рис.10, в результаті вимірювання реактивної ЕЕ індуктивного характеру (споживання) по двом ТО похибка вимірювань значно виходить за допустимі межі для 3-елементних ЛЕ різного класу точності 2.0. Аналогічна ситуація спостерігається в результаті вимірювання реактивної ЕЕ ємнісного характеру (генерація в ЕМ) по всім ТО (рис.11), причому похибка має ще більше значення в порівнянні з індуктивним режимом.

Як відомо, дисперсія розподілу випадкових похибок дорівнює дисперсії розподілу результатів спостережень і характеризує їх розсіювання відносно математичного очікування [5,6]. Позитивне значення квадратного кореня з дисперсії, тобто середнє квадратичне відхилення результатів спостережень σ_x обчислюється за формулою:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta_i^2)}, \quad (2)$$

де n - кількість вимірювань, δ - значення відносної похибки в i -му вимірюванні. Припустивши, що значення відносної похибки по ТО не залежить від кількості вимірюваної за періодами досліджень ЕЕ, можна визначити дисперсію розподілу результатів спостережень. Результати розрахунку значення дисперсії за результатами вимірювань реактивної ЕЕ 2- та 3-елементними ЛЕ різного типу зведені в табл. 3.



Рис. 11 – Динаміка похибки вимірювань реактивної ЕЕ (емнісний режим) за період дослідження 2- та 3-елементними ЛЕ різного типу

Таблиця 3

Дисперсія розподілу похибок вимірювання реактивної ЕЕ за період вимірів

№ точки обліку	Типи лічильників, що використовувались для досліджень							
	3-елементні ЛЕ				2- та 3-елементні ЛЕ			
	Значення дисперсії				Значення дисперсії			
	Інд. режим		Ємн. режим		Інд. режим		Ємн. режим	
	$\sum(\delta_i^2)$	σ_x	$\sum(\delta_i^2)$	σ_x	$\sum(\delta_i^2)$	σ_x	$\sum(\delta_i^2)$	σ_x
1	216,83	6,59	1156,15	15,21	32656,96	80,81	25043,27	70,77
2	1,68	0,58	1543,79	17,57	10,48	1,45	31095,71	78,86
3	0,07	0,12	-	-	896,72	13,39	311,35	7,89
4	0,15	0,17	-	-	-	-	-	-

Висновок. Таким чином використання електронних багатофункціональних ЛЕ різного типу (в т.ч. 2- та 3-елементних) для вимірювання реактивної ЕЕ в трифазних три провідних ЕМ напругою 6 – 10 кВ та вище – відчутно впливає на точність обліку реактивної ЕЕ (особливо це стосується ємнісного режиму навантаження), що в свою чергу, підтверджує сумніви щодо можливості забезпечення єдності та достовірності вимірювань ЕЕ у високовольтних ЕМ за наявності сильно вираженого індуктивного чи ємнісного режиму навантаження в ТО на приєднанні електроприймачів. Тому необхідно рекомендувати по-можливості застосування ЛЕ виключно одного типу з єдиними уніфікованими принципами вимірювання (обчислення) реактивної потужності на основі чітких визначень поняття «реактивна потужність ЕЕ».

Література

1. Момот В.В. Визначення дійсного значення спожитої активної електроенергії у разі порушення системи обліку в мережах напругою понад 1000 В / В. В. Момот, В. Ф. Рой // Світлотехніка та електроенергетика. – 2008. – №3(15). – С.57–61.
2. Микійчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ/ М. М. Микійчук // ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості. – 2009. - №23. – С.16-20.
3. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Мінпаливенерго України. – К. : Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики, 2003, 628 с.
3. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила. Мінпаливенерго України. – К.: Галузевий Резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики, 2003, 628 с.
4. Віткін Л. М. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки / Л. М. Віткін, В. У. Ігнаткін // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008. - №69. – С. 158-165.
5. Жмерев В. С. Анализ взаимосвязи показателей надежности и метрологической стабильности измерительных каналов/ В. С. Жмерев, К. Н. Маловик, Н. Е. Сапожников, А. В. Юдин // Збірник наукових праць СХУЯЕ та П. 2009. – С.106-111.
6. Фридман А. Э. Теория метрологической надежности средств измерений/ А. Э. Фридман // Измерительная техника. – 1991. - №11. – С.3-10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УЧЁТА РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
СТАТИЧЕСКИМИ (ЭЛЕКТРОННЫМИ) СЧЁТЧИКАМИ

В. В. Момот, В. Ф. Рой

Приведены результаты исследования состояния коммерческого учёта электроэнергии (ЭЭ) статическими (электронными) счётчиками с целью решения вопроса повышения эффективности работы систем контроля и учёта в трёхфазных трёхпроводных электрических сетях напряжением свыше 1000 В. Предлагается использовать для измерения электроэнергии статических (электронных) счётчиков одного типа для определения действительного значения объёма реактивной электроэнергии.

RESEARCH OF EXACTNESS OF CONSIDERATION OF REACTIVE ELECTRIC
POWER BY STATIC (ELECTRONIC) METERS

V. V. Momot, V. F. Roy

The results of research of the state of commercial consideration of electric power (EE) are resulted by static (electronic) meters with the purpose of decision of question of rise of efficiency of work of the checking systems and consideration in three-phase three-wire electric networks by tension over 1000 V. It is suggested to use for measuring of electric power of static (electronic) meters of one type for determination of actual value of volume of reactive electric power.