

ТИЩЕНКО ВАСИЛЬ ЯКОВИЧ ✉ – аспірант, Інститут загальної енергетики НАН України; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6325-6831>; e-mail: aisav84@gmail.com.

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ПОТУЖНОСТІ ПОБУТОВИХ ПРИЛАДІВ

Упродовж останніх років у електроенергетичних мережах фіксуються зміни у перетоках реактивної потужності. Частково такі зміни пов'язані з особливостями роботи сучасних побутових електроприладів, насамперед у контексті зростаючого використання світлодіодних (LED) джерел освітлення, пристроїв відображення таких як LED-телевізори, LED-монітори та акумуляторних приладів, обладнаних імпульсними джерелами живлення. У рамках цього дослідження здійснено аналіз електричних характеристик 29 зразків сучасних побутових приладів, які зустрічаються у більшості приватних осель. Отримані результати свідчать про суттєві відмінності в електричних характеристиках побутових приладів, зокрема вказуючи на те, що застосування LED-технологій та імпульсних джерел живлення спричиняє збільшення обсягів споживання реактивної потужності у електромережах побутових споживачів. Розширення застосування зазначених вище технологій в побутових приладах, призведе до подальшого зростання споживання реактивної потужності. Проблема компенсації реактивної потужності займає важливе місце в загальному комплексі питань підвищення ефективності передачі, розподілу та споживання електричної енергії. Таким чином, дослідження перетоків реактивної потужності має важливе значення для підвищення надійності електропостачання в міських електричних мережах. Для мінімізації негативних наслідків запропоновано запровадження нормативної вимоги до виробників щодо зазначення коефіцієнта потужності на маркуванні продукції та розробка пристроїв із вбудованими системами корекції коефіцієнта потужності. Загалом результати дослідження показують, що державні програми, спрямовані на підвищення енергоефективності та сталого енергоспоживання, можуть супроводжуватися побічними ефектами для інших елементів електроенергетичної системи, які необхідно враховувати задля забезпечення надійності електрозабезпечення.

Ключові слова: реактивна потужність; коефіцієнт потужності; LED-освітлення; побутова техніка; імпульсні джерела живлення; пристрої на акумуляторах.

Вступ. У сучасних електроенергетичних системах дедалі більшої ваги набуває вплив побутового енергоспоживання на якість електропостачання, зокрема на параметри реактивної потужності. Широке впровадження світлодіодних джерел (LED) світла та пристроїв з імпульсними джерелами живлення, попри їхню енергоефективність і зменшення використання активної енергії, формує нові виклики для електричних мереж. Зокрема, зростає споживання реактивної потужності у електромережах побутових споживачів, що підтверджується графіком навантажень багатоквартирного будинку в одному з районів Харкова [1]. Виявлені тенденції свідчать про стійке збільшення цього ефекту, яке посилюється в умовах реалізації державних програм зі стимулювання впровадження енергоощадних технологій [2]. Це обґрунтовує необхідність розробки та впровадження технічних і регуляторних заходів, які б мали на меті регулювати вплив споживання реактивної потужності на розподільчі електромережі. Таким чином, ініціативи у сфері енергоефективності повинні супроводжуватися системним аналізом їхнього впливу на електроенергетичні мережі, щоб запобігти можливим дисбалансам та забезпечити стійкість енергопостачання.

Раніше побутові навантаження мали переважно резистивний та індуктивний характер (електродвигуни, трансформатори, нагрівальні прилади, холодильне обладнання) [3]. Проте розвиток силової електроніки зумовив масове використання нелінійних пристроїв в будові побутових приладів — інверторів, випрямлячів та імпульсних джерел живлення (ІДЖ) [4]. Такі пристрої керують процесом споживання струму, створюючи несинусоїдальні форми сигналу. До приладів з вбудованими нелінійними пристроями

належать LED-освітлення, телевізори, комп'ютери, зарядні пристрої для мобільних телефонів та інші пристрої з ІДЖ [5].

Традиційні прилади (нагрівальні прилади, холодильники, пральні машини, кондиціонери тощо) досліджувалися раніше і здебільшого мають коефіцієнт потужності 0,85–1 [3]. Натомість сучасна силова побутова електроніка з LED та імпульсними джерелами живлення (LED-лампи, LED-телевізори, LED-монітори, комп'ютери, ноутбуки та всі прилади з імпульсними джерелами живлення) потребують додаткових досліджень.

В сучасній силовій побутовій електроніці головну роль відіграють LED-лампи, які у кілька разів енергоефективніші за лампи розжарювання. Державні програми, зокрема в Україні, стимулювали їх впровадження [2], і ринок LED-освітлення виріс у декілька разів за останні 10 років [6]. Проте LED-лампи мають низький коефіцієнт потужності (0,44 випереджальний), що зумовлює значні реактивні навантаження [7,8]. Схожі тенденції простежуються у пристроях відображення. Перехід від електронно-променевих трубок (CRT) до рідкокристалічних дисплеїв (LCD) і далі до LED-телевізорів змінив характер навантажень [9]. Хоча LED-телевізори споживають удвічі менше активної потужності, ніж LCD, вони споживають майже удвічі більше реактивної [7], що може суттєво також впливати на роботу розподільних мереж. Сучасна силова електроніка також охоплює прилади з імпульсними джерелами живлення — ноутбуки, зарядні пристрої телефонів, домашні персональні комп'ютери (ПК), Wi-Fi роутери. Їх поширення різко зросло з розвитком комп'ютерної техніки та особливо під час пандемії COVID-19, коли у 2021 р. світові продажі ноутбуків зросли на 8,8 %, а

© В. Я. Тищенко, 2025



Ця робота ліцензується відповідно до *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)*
Конфлікт інтересів: Автор заявив про відсутність конфлікту

портативних пристроїв — на 11,7 % [10]. Для багатьох із цих навантажень характерний ємнісний режим роботи, що спричиняє споживання реактивної потужності саме ємнісного характеру. Це підтверджено випробуваннями, проведеними у Латвії близько 2014 року [7].

Таким чином, зважаючи на вищесказане, всі побутові прилади можна умовно поділити на дві категорії:

1) Традиційні – до якої, можна віднести кухонну та велику побутову техніку;

2) Сучасна силова та побутова електроніка – це електроніка, яка в складі має імпульсні перетворювачі енергії.

Мета статті. Метою даної роботи є визначення характеру споживання електричної енергії типового набору побутових електричних приладів приватного помешкання для кожної з категорій.

Методика та результати вимірювання. При проведенні вимірювань характеристик електричних приладів досліджувались повна потужність (ВА), активна потужність (Вт), реактивна потужність (ВАр) та коефіцієнт потужності (PF). В якості вимірювального приладу було використано РМАС770 Multifunction Power Meter. Точність вимірювання активної, реактивної та повної потужності складала 0,5 %, коефіцієнта потужності – 0,5 %. Методика вимірювання полягала в тому, що побутовий прилад підключався через вимірювальний прилад до електромережі на термін 1 хвилину для встановлення сталого режиму споживання електричної енергії (рис. 1). Надалі з інтервалом у 5 секунд знімалися значення досліджуваних показників та розраховувалось середнє значення кожного із них.



Рисунок 1 – Лабораторний стіл з обладнанням

Результати вимірів характеристик побутових електричних приладів представлені в вигляді таблиць: в табл. 1 – для традиційних побутових приладів, а у табл. 2 – для сучасної силової та побутової електроніки.

Аналіз результатів вимірювання. Загалом у ході випробувань було протестовано 29 різних побутових приладів, серед яких 7 мали навантаження активно-індуктивного характеру, 7 були чисто резистивними, а 15 – активно-ємнісного характеру. Як видно в табл. 1, навантаження з нагрівальними елементами у чайнику, тостері, кавоварці, мультиварці, духовці, фені та прасці виявилися резистивними з коефіцієнтами потужності 0,99. Ці прилади споживали лише невелику кількість реактивної потужності, оскільки основною складовою частиною приладу є нагрівальний елемент, а електроніка або відсутня взагалі, або має незначну частину в сукупному навантаженні приладу. Решта приладів споживала більші обсяги реактивної потужності індуктивного характеру через наявність електродвигунів у їхній конструкції. Пилосос, кондиціонер, кавомолка продемонстрували коефіцієнт потужності на рівні 0,78–0,85. Мікрохвильова піч показала відносно високий коефіцієнт потужності 0,94, що обумовлено наявністю вбудованої системи корекції традиційної побутової техніки виявився у холодильника – 0,56 індуктивного характеру. Це свідчить про те, що основним навантаженням в приладі є електродвигун і в ньому відсутня вбудована система корекції коефіцієнта потужності.

З табл. 2 випливає що усі світлодіодні лампи мають випереджальні характеристики, коефіцієнти потужності становили близько 0,5–0,6 ємнісного характеру відповідно. Для ламп із таким низьким ємнісним коефіцієнтом потужності споживання реактивної потужності перевищувала споживання активної потужності. Повна потужність, споживана вимірюваними лампами, становила від 150 % до 200 % їхньої номінальної потужності.

Досліджені телевізори також мали випереджальні характеристики коефіцієнту потужності. Монітори використовують подібну технологію до телевізорів, відрізняючись переважно розміром та якістю зображення, тому очікувалося, що їхні коефіцієнти потужності будуть подібними. Результати, наведені в табл. 2, показують, що LED-монітори мають характеристики, схожі на LED-телевізори: усі вони працювали з коефіцієнтом потужності від 0,51 до 0,57 (випереджальний). За таких значень коефіцієнта потужності споживання ємнісної реактивної потужності перевищувало споживання активної потужності, що є подібним до ефекту, LED-лампах.

ІДЖ продемонстрували подібні коефіцієнти потужності в діапазоні 0,39–0,78 (ємнісного характеру). Робота приладів на нижній межі цього діапазону коефіцієнта потужності призводить до значного споживання реактивної потужності ємнісного характеру.

Таблиця 1 – Результати вимірів традиційних побутових приладів

№	Прилад	Номинальна потужність, Вт	Повна потужність, ВА	Активна потужність, Вт	Реактивна потужність, ВАр	PF	Характер навантаження
1	Праска Philips GS2920	2200	1768	1750	249	0,99	RL
2	Фен Orion OR-HD03	1400	1270	1257	179	0,99	RL
3	Чайник Xiaomi YM1501	1600	1530	1515	216	0,99	RL
4	Гостер No Name	800	687	680	97	0,99	RL
5	Кавоварка No Name	800	722	715	102	0,99	RL
6	Мультиварка Elbee 25002	1200	843	835	119	0,99	RL
7	Духовка Samsung NV 68R2340	3000	2342	2319	330	0,99	RL
8	Мікрохвильовка Samsung MG22	1800	1516	1425	517	0,94	RL
9	Випрямляч волосся Remington S9520	800	506	450	231	0,89	RL
10	Кондиціонер Tosot GS 09DW	600	329	280	174	0,85	RL
11	Пилосос Thomas Vestfalia XT	1400	1500	1230	859	0,82	RL
12	Кавомолка No Name	150	147	115	92	0,78	RL
13	Акустична система Microlab SOLO 6C	132	27	20	19	0,73	RL
14	Холодильник Samsung RB30J	150	50	28	41	0,56	RL

Таблиця 2 – Результати вимірів сучасної силової та побутової електроніки

№	Прилад	Номинальна потужність, Вт	Повна потужність, ВА	Активна потужність, Вт	Реактивна потужність, ВАр	PF	Характер навантаження
1	Зарядний пристрій ноутбука Dell DA130PE	120	57	44,8	36	0,78	RC
2	LED-освітлення спальня No Name	45	58	38	44	0,65	RC
3	LED-освітлення коридор No Name	200	297	178	237	0,6	RC
4	LED-освітлення кухня No Name	100	169	98	138	0,58	RC
5	Зарядний пристрій телефона One+	65	30	17	25	0,57	RC
6	Настільна LED-лампа No Name	15	13	7,6	11	0,57	RC
7	Телевізор Samsung 28" 28F400	60	51	29	42	0,57	RC
8	Монітор Philips 19" 193V5L	33	17	9	14	0,54	RC
9	Монітор LG 25" 25UM58	110	39	20,8	33	0,53	RC
10	Домашній ПК No Name	400	217	115	184	0,53	RC
11	Монітор Samsung 23" LS 23B300	150	46	23,8	39	0,52	RC
12	LED-освітлення дитяча No Name	150	285	148	243	0,52	RC
13	Телевізор Samsung 32" 32EH5000	70	69	35	59	0,51	RC
14	Зарядний пристрій ноутбука Lenovo ADLX65	80	50	21,5	45	0,43	RC
15	Роутер TP-link Archer AX72	40	16	6,2	15	0,39	RC

Висновки. Традиційні побутові прилади, що містять електродвигуни та нагрівальні елементи, зазвичай працюють при відносно ефективних навантаженнях із мінімальним споживанням реактивної потужності. У зв'язку із широким впровадженням ІДЖ та LED-освітлення збільшується споживання ємнісної реактивної потужності. Тому слід очікувати, що це зростання не буде компенсуватися споживанням від традиційних приладів, що призведе до зворотного потоку реактивної потужності через електромережу побутових споживачів.

Використання LED-освітлення може суттєво впливати на мережу та споживати значні обсяги ємнісної реактивної потужності, що призводитиме до перенапруги та пов'язаних із нею наслідків. Споживання ємнісної реактивної потужності продовжуватиме зростати з подальшим поширенням таких приладів, особливо в разі реалізації урядових програм, що стимулюють їхнє впровадження. Крім того, за умови широкого використання пристроїв із заряджанням від ІДЖ у нічний час реактивна потужність може повертатися в мережу в обсягах, майже вдвічі більших, ніж удень.

Більшість сучасних приладів продемонстрували роботу з низьким коефіцієнтом потужності близько 0,6 (випереджальний), що дає підстави для підготовки пропозицій до уряду щодо запровадження регулювання та вимог до приладів, які мають низький коефіцієнт потужності. Зокрема, обов'язкового зазначення коефіцієнта потужності приладу на етикетці, що особливо актуально для бізнесу, який сплачує за активну та реактивну потужність, та несе відповідні експлуатаційні витрати при використанні таких приладів.

Подяка. Автор статті висловлює щирі подяки ТОВ НВО «Вертикаль» за надане вимірювальне обладнання, та кандидату технічних наук, старшому досліднику Грінченку Володимирі Сергійовичу за плідне обговорення результатів дослідження та допомогу у підготовці рукопису.

Список літератури

1. Лазуренко А. П., Прохоренко Ю. В. Современные методы и устройства компенсации реактивной мощности в бытовых системах электропотребления. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2011. № 41. С. 83–87.
2. Про внесення змін до Порядку реалізації експериментального проекту щодо створення сприятливих умов для забезпечення ефективного споживання електричної енергії в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 24.11.2023 № 1248. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1248-2023-п#Text>.
3. Pihkala A., Takala S., Heine P. Analysis of changing consumer reactive power patterns in distribution grids. *2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ) & 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM)*, Kärda, Estonia, 12–15 June 2019. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/pq.2019.8818251>.
4. Elphick S., Ciufu P., Perera S. Supply current characteristics of modern domestic loads. *2009 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2009)*, Adelaide, SA, Australia, 27–30 September 2009. 2009. P. 208–213.

5. Elphick S. T. The modern domestic load and its impact on the electricity distribution network: Master's thesis. Wollongong, Australia, 2011.
6. APAC LED Lighting Market Size, Share, 2033. *Market Data Forecast*. URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/apac-led-lighting-market>.
7. Jakuseno A., Laizans A. Impact of household electric energy usage trends on electrical power supply net power factor. *Research for Rural Development 2015: Annual 21st International Scientific Conference Proceedings* (vol. 1), Jelgava, Latvia, 13–15 May 2015. Jelgava, 2015. P. 253–257.
8. Jakuseno A., Laizans A. Reactive electrical power compensation in household sector. *Engineering for Rural Development: Proceedings of 16th International Scientific Conference*, Jelgava, Latvia, 24–26 May 2017. Jelgava, 2017. P. 1151–1156.
9. Felix K. O., Marvis I. A., Emmanuel C. A. Comparative analysis and performance features of plasma, LCD and CRT screens: operating features, merit and recommendations. *Academic Research International*. 2012. Vol. 2, no. 2. P. 140–150.
10. Goasduff L. Gartner forecasts global devices installed base to reach 6.2 billion units in 2021. *Gartner*. URL: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-04-01-gartner-forecasts-global-devices-installed-base-to-reach-6-2-billion-units-in-2021>.
11. Assessing the future trends of reactive power demand of distribution networks / C. G. Kaloudas et al. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2017. Vol. 32, no. 6. P. 4278–4288. DOI: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2665562>.
12. Effect of home appliances on power quality of conventional grid / C. K. Neha et al. *2016 International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, Bangalore, India, 4–6 October 2016. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/cimca.2016.8053260>.
13. Харевич В. І., Оробчук Б. Я. Задачі компенсації реактивної потужності в міських розподільних електромережах. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів, м. Тернопіль, Україна, 24–25 листоп. 2021 р.* Тернопіль, 2021. С. 46–47.
14. U.S. Department of Energy. Application of Automated Controls for Voltage and Reactive Power Management – Initial Results. 2012. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/Voltage&ReactivePower_D ec2012Final.pdf.

References

1. A. P. Lazurenko and Yu. V. Prokhorenko, "Sovremennyye metody i ustrojstva kompensacii reaktivnoj moshhnosti v bytovykh sistemah jelektropotreblenija [Modern methods and devices for reactive power compensation in domestic electricity consumption systems]," *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 41, pp. 83–87, 2011. (in Russian)
2. Ukraine, Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, Nov. 24). *Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 1248, Pro vnesennia zmin do Poriadku realizatsii eksperymentalnoho proektu shchodo stvorennia spryiatlyvykh umov dla zabezpechennia efektyvnoho spozhyvannia elektrychnoi enerhii v Ukraini [On amendments to the Procedure for implementing a pilot project to create favourable conditions for ensuring efficient electricity consumption in Ukraine]*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1248-2023-п#Text> (in Ukrainian)
3. A. Pihkala, S. Takala, and P. Heine, "Analysis of changing consumer reactive power patterns in distribution grids," in *2019 Electric Power Quality and Supply Reliability Conference (PQ) & 2019 Symposium on Electrical Engineering and Mechatronics (SEEM)*, Kärda, Estonia, Jun. 12–15, 2019. IEEE, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/pq.2019.8818251>
4. S. Elphick, P. Ciufu, and S. Perera, "Supply current characteristics of modern domestic loads," in *2009 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2009)*, Adelaide, SA, Australia, Sep. 27–30, 2009. IEEE, 2009, pp. 208–213.
5. S. T. Elphick, "The modern domestic load and its impact on the electricity distribution network," Master's thesis, School Elect.,

- Comput. Telecommun. Eng., Univ. Wollongong, Wollongong, Australia, 2011.
6. "APAC LED Lighting Market Size, Share, 2033." Market Data Forecast. [Online]. Available: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/apac-led-lighting-market>
 7. A. Jakusenoks and A. S. Laizans, "Impact of household electric energy usage trends on electrical power supply net power factor," in *Research for Rural Development 2015*, Jelgava, Latvia, May 13–15, 2015. Jelgava: Latvia Univ. Agriculture, 2015, pp. 253–257.
 8. A. Jakusenoks and A. Laizans, "Reactive electrical power compensation in household sector," in *Engineering for Rural Development*, Jelgava, Latvia, May 24–26, 2017. Jelgava: Latvia Univ. Agriculture, 2017, pp. 1151–1156.
 9. K. O. Felix, I. A. Marvis, and C. A. Emmanuel, "Comparative analysis and performance features of plasma, LCD and CRT screens: Operating features, merit and recommendations," *Academic Research International*, vol. 2, no. 2, pp. 140–150, 2012.
 10. L. Goasduff. "Gartner forecasts global devices installed base to reach 6.2 billion units in 2021." Gartner. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-04-01-gartner-forecasts-global-devices-installed-base-to-reach-6-2-billion-units-in-2021>
 11. C. G. Kaloudas, L. F. Ochoa, B. Marshall, S. Majithia, and I. Fletcher, "Assessing the future trends of reactive power demand of distribution networks," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 4278–4288, Nov. 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2017.2665562>
 12. C. K. Neha, M. Hegde, V. Aher, and V. Hegde, "Effect of home appliances on power quality of conventional grid," in *2016 International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)*, Bangalore, India, Oct. 4–6, 2016. IEEE, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/cimca.2016.8053260>
 13. V. Harevych and B. Orobchuk, "Projects of reactive power compensation in urban distribution electrical networks," in *Actual Problems of Modern Technologies*, Ternopil, Ukraine, Nov. 24–25, 2021. Ternopil: PE Palianytsia V. A., 2021, pp. 46–47. (in Ukrainian)
 14. U.S. Department of Energy, "Application of automated controls for voltage and reactive power management – initial results," Dec. 2012. [Online]. Available: https://www.energy.gov/sites/prod/files/Voltage&ReactivePower_Dec2012Final.pdf

Надійшла (received) 27.11.2025

UDC 621.31

VASYL TYSHCHENKO ✉ – PhD Student, General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine; Kyiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6325-6831>; e-mail: aisav84@gmail.com.

RESEARCH OF POWER FACTOR AT HOUSEHOLD APPLIANCIES

In recent years, noticeable changes have been observed in the reactive power flows within electrical power networks. These variations are partly attributed to the operating characteristics of modern household electrical appliances, particularly the growing use of light-emitting diode (LED) lighting sources, display devices such as LED televisions and monitors, and battery-powered appliances equipped with switch-mode power supplies. This study presents an analysis of the electrical characteristics of 29 representative household appliances commonly found in residential environments. The results reveal significant variations in the electrical behavior of these devices, indicating that the increasing adoption of LED technologies and switch-mode power supplies is likely to contribute to higher reactive power consumption in household electrical networks. As these technologies continue to proliferate in domestic applications, a further rise in reactive power consumption is expected. The issue of reactive power compensation plays a crucial role in enhancing the overall efficiency of power transmission, distribution, and utilization. Therefore, the study of reactive power flows is essential for improving the reliability and stability of urban electricity supply systems. To mitigate potential adverse impacts, several measures are proposed, including the introduction of mandatory labeling of power factor values on household appliances and the development of devices with integrated power factor correction systems. Overall, the findings suggest that governmental programs promoting energy efficiency and sustainable energy consumption may have unintended side effects on other components of the power system, which should be carefully considered to ensure long-term reliability of electricity supply.

Keywords: reactive power; power factor; LED lighting; household appliances; switch-mode power supplies; battery-powered devices.