

Артем Фесенко, Олександр Гусев, Андрій Чуб, Дмитро Вінніков, Олександр Матюшкін

ОГЛЯД МАСОГАБАРИТНИХ ТА ВАРТІСНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМЕРЦІЙНИХ СОНЯЧНИХ ІНВЕРТОРІВ

Актуальність теми дослідження. Одним з-поміж основних факторів, що стримують широке впровадження систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів як у побуті, так і в складі рухомої техніки, є габаритні розміри та висока вартість таких систем. Суттєву частину вартості становить саме перетворювач, що займає помітний об'єм та містить у своєму складі високовартісні матеріали. На ринку присутній широкий вибір інверторів із різними характеристиками та ціною. Статистичний аналіз та оптимальний вибір таких пристроїв є актуальним питанням сьогодення.

Постановка проблеми. Для ефективного подальшого покращення масогабаритних та вартісних параметрів перетворювача треба спочатку оцінити наявні на світовому ринку пристрої. Проаналізувати їх параметри, особливості та характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Детальний огляд сучасних досліджень та публікацій дозволив визначити такі особливості сучасних комерційних моделей перетворювачів. По-перше, виробники не розкривають особливостей внутрішньої побудови своїх виробів. По-друге, ефективність, функціональність та масогабаритні параметри сильно відрізняються залежно від потужності та вартості перетворювача.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Для ґрунтовного порівняння перетворювачів за їхньою вартістю та масогабаритами необхідно запропонувати кількісні параметри. Потрібно встановити кількісний зв'язок між вартістю, об'ємом, потужністю та ефективністю перетворювача, що раніше зводився до питомої потужності.

Постановка завдання. Встановити критерії оцінки масогабаритних та вартісних характеристик інверторів, що можуть бути розраховані на основі вільно поширюваних даних.

Виклад основного матеріалу. Було виконано аналіз сучасного рівня розвитку комерційних моделей перетворювачів у складі сонячних систем у широкому діапазоні потужностей. Розглянуто пристрої провідних світових виробників, потужність яких коливається в діапазоні від 200 до 5000 Вт.

Одержані з відкритих джерел параметри пристроїв зведено в порівняльні таблиці. Розподіл на групи виконано за потужністю інверторів. Виділено три групи порівнюваних пристроїв: до першої належать інвертори потужністю до 1 кВт, до другої – від 1 до 3 кВт, до третьої – від 3 до 5 кВт відповідно.

Було запропоновано два чисельні показники для порівняння перетворювачів. Перший показує вартість одиниці потужності, другий – питому об'ємну вартість. За результатами розрахунків побудовано стовпчикові діаграми для кожного з показників у межах своєї групи.

Висновки. Запропоновані показники дозволяють оцінювати масогабаритні показники перетворювачів, зважаючи на вільно поширені дані.

Ключові слова: масогабаритні параметри; питома потужність; коефіцієнт корисної дії; силовий перетворювач.
Рис.: 10. Табл.: 2. Бібл.: 11.

Постановка проблеми. Внесок систем відновлюваної енергетики в загальну світову генерацію електроенергії неспинно зростає (рис. 1) [1]. Це явище викликано, з одного боку, виснаженням традиційних видів палива, з іншого – усвідомлення людством своєї відповідальності за стан довкілля. Одним із типів таких систем є системи сонячної енергетики.

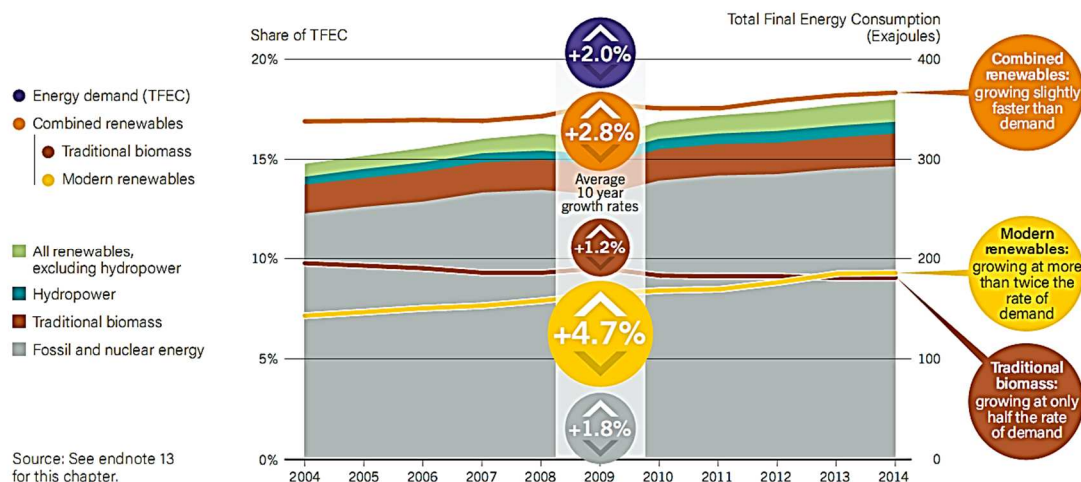


Рис. 1. Зміна частки відновлюваних джерел енергії у світовій генерації за 2004–2014 роки

Широке впровадження подібних джерел енергії стримується як значною вартістю, так і суттєвими габаритними параметрами та масою. Оскільки принципове зменшення площі фотоелектричних перетворювачів без пропорційної втрати потужності неможливе при такому рівні розвитку науки і техніки, перспективним видається оптимізація масогабаритних параметрів інвертора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у масогабаритні показники інвертора вносять саме пасивні компоненти. Так, електролітичний конденсатор на стороні постійного струму має значні габаритні розміри, пропорційні струмам та напругам. Заміна цього конденсатора плівковим може суттєво зменшити габарити та збільшити надійність цього невід'ємного елемента перетворювача [2]. Зазвичай інвертор у складі систем сонячної енергетики містить у своєму складі перетворювач, що підвищує та понижує напругу. Оптимізація елементів цього перетворювача є одним зі шляхів до зменшення масогабаритних параметрів пристрою загалом [3; 4]. Для зменшення габаритних розмірів, які вносять активні компоненти, можливим є підвищення частоти комутації. Це призведе до зменшення розмірів та номіналів пасивних компонентів, але, у свою чергу, комутаційні втрати зростуть [5; 6].

Значна увага приділяється комерційній ефективності вибору конкретного інвертора для кожної конкретної системи. Такий вибір є досить складною проблемою, оскільки варто враховувати особливості кожного конкретного застосування [7]. Так, виявлено деякі особливості систем із фокусуванням сонячної енергії [8]. Динамічний розвиток як перетворювачів, так і інших елементів системи вимагає внесення коректив або навіть перегляду висновків, що були актуальними в недалекому минулому [9].

Деякі компанії, що займаються встановленням побутових сонячних електростанцій, пропонують не тільки свої рекомендації, а й навіть онлайн-калькулятори для розрахунку подібної системи, враховуючи бажану потужність, освітленість, площу та інші параметри та побажання покупців [10].

Було проведено конкурс корпорацією Google з метою розробки якомога більш компактного інвертора з максимальною питомою потужністю [11], що яскраво свідчить про високий інтерес виробників до цієї проблеми.

Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми. Здебільшого головним параметром для оцінки масогабаритних параметрів є питома потужність. Проте для ефективної оцінки існуючих перетворювачів варто також враховувати вартість, ККД та додаткові функції, що запропоновані виробником.

Постановка завдання. Головною метою цієї статті є порівняльний аналіз сучасних інверторів, який враховуватиме вартість, потужність, ККД, об'єм, наявність додаткових функцій.

Виклад основного матеріалу. Об'єктами для порівняння було обрано комерційні зразки інверторів для використання у складі систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів. Діапазон зміни потужності обрано в межах від 200 до 5000 Вт, що в середньому відповідає більшості побутових застосувань. Одержані з відкритих джерел дані про перетворювачі наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри перетворювачів

№	Пристрій	Р, Вт	ККД, %	Вартість, USD	Об'єм, см ³	V _{in} /V _{in_max} , В
1	2	3	4	5	6	7
1	Rene Sola 250B	225	96,3	155	1110,9	55/22-45
2	IQ7plus-72-2-us	235	97,3	240,5	1120,42	60/-
3	SE350-112	350	87	184	1907,4	10-15,5/-
4	YC500A	310	95,5	213,33	1020,8	55/22-45
5	Solis MINI 4G 700W	700	97,2	309,4	18500,8	60-600/50-500

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
6	Growatt 1000-S	1000	97,4	399,31	9189,34	450/70-450
7	SUN-1000GTIL	1000	92	366,18	5553,86	22-60/50-90
8	SMA SB1200	1200	90,9	908,25	31637,76	100-400/100-320
9	Fronius 1,5-1	1500	95,9	1467,46	56710,99	120-420/120-335
10	Sun-2000L-2KTL	2000	98,4	923	16453,1	485/90-500
11	ABB UNO 2,0-TL	2000	97,3	809,17	40451,95	100-300/180-500
12	ABB PVI-3,0-TL	3000	96,8	952,76	44588,7	140-580/160-530
13	Fronius IG TL 3,0	3000	97,7	1259,39	48079,39	350-850/350-700
14	SMA SB3000	3000	95	1816,5	31920,24	268-600/268-480
15	SolarEdge SE3500	3500	97,5	1082,9	29257,2	350-500/-
16	Growatt 5000 MTL	5000	97,9	986,24	20526,81	550/80-500 (360)
17	SolarEdge SE5000	5000	97,4	2013,81	324891	350-500/-
18	SMA SB5000	5000	97	2349,34	37647	125-750/175-440

Для порівняння та оцінки розглянутих виробів було запропоновано такі чисельні критерії оцінювання:

- Питома потужність (SP, Вт/см³);
- Питома вартість потужності (CpW, USD/Вт);
- Питома об'ємна вартість (CpV, USD/см³);
- Питома об'ємна ефективність (EV, %/см³).

Результати розрахунків даних критеріїв наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Запропоновані критерії порівняння перетворювачів

№	Пристрій	SP, Вт/см ³	CpW, USD/Вт	CpV, USD/см ³	EpV, %/см ³
1	Rene Sola 250B	0,2025	0,6889	0,1395	0,0867
2	IQ7plus-72-2-us	0,2097	1,0234	0,2147	0,0868
3	SE350-112	0,1835	0,5257	0,0965	0,0456
4	YC500A	0,3036	0,6881	0,2089	0,0935
5	Solis MINI 4G 700W	0,0378	0,4420	0,0167	0,0052
6	Growatt 1000-S	0,1088	0,3993	0,1088	0,0105
7	SUN-1000GTIL	0,1800	0,3661	0,0659	0,0165
8	SMA SB1200	0,0379	0,7568	0,0287	0,0028
9	Fronius 1,5-1	0,0264	0,9783	0,0258	0,0016
10	Sun-2000L-2KTL	0,1215	0,4615	0,0560	0,0059
11	ABB UNO 2,0-TL	0,0494	0,4045	0,0200	0,0024
12	ABB PVI-3,0-TL	0,0672	0,3175	0,0214	0,0021
13	Fronius IG TL 3,0	0,0623	0,4197	0,0262	0,0020
14	SMA SB3000	0,0939	0,6055	0,0569	0,0029
15	SolarEdge SE3500	0,1196	0,3094	0,0370	0,0033
16	Growatt 5000 MTL	0,2435	0,1972	0,0480	0,0048
17	SolarEdge SE5000	0,0153	0,4027	0,0061	0,0003
18	SMA SB5000	0,1328	0,4698	0,0624	0,0026

За отриманими результатами побудовано стовпчикові діаграми для кращої візуалізації даних. Рисунки 2 та 3 ілюструють співвідношення питомої потужності для перетворювачів потужністю до 1 кВт та більше відповідно. Треба зазначити, що розглядалися тільки однофазні рішення, які можуть віддавати енергію в мережу.

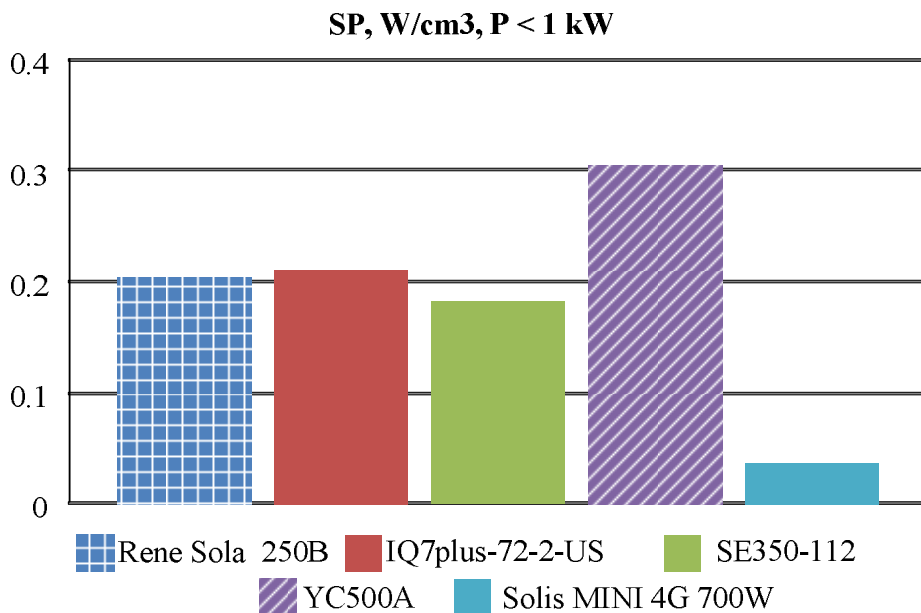


Рис. 2. Питома потужність перетворювачів P < 1 кВт

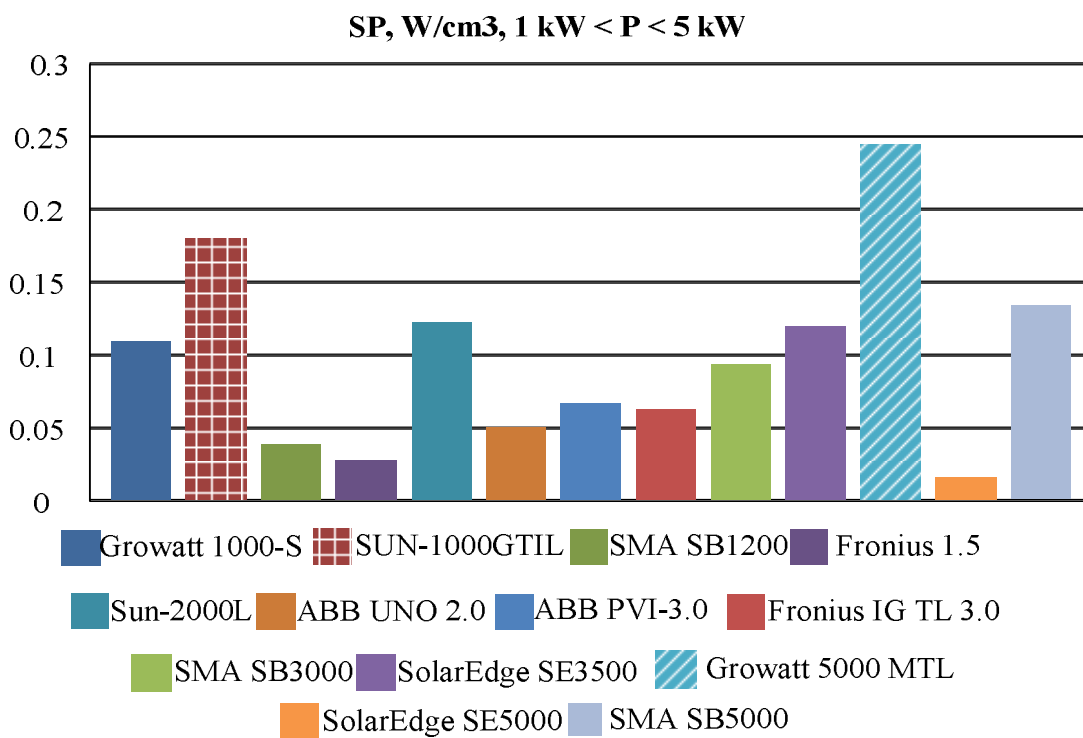


Рис. 3. Питома потужність перетворювачів P > 1 кВт

Питома вартість потужності показує вартість у доларах США за один Ват потужності перетворювача. Відповідно найбільш оптимальним за цим показником буде пристрій, для якого значення є найменшим. Рисунок 4 та 5 ілюструють значення цього показника для розглянутих пристроїв потужністю до 1 кВт та більше відповідно.

CpW, USD/W, P < 1 kW

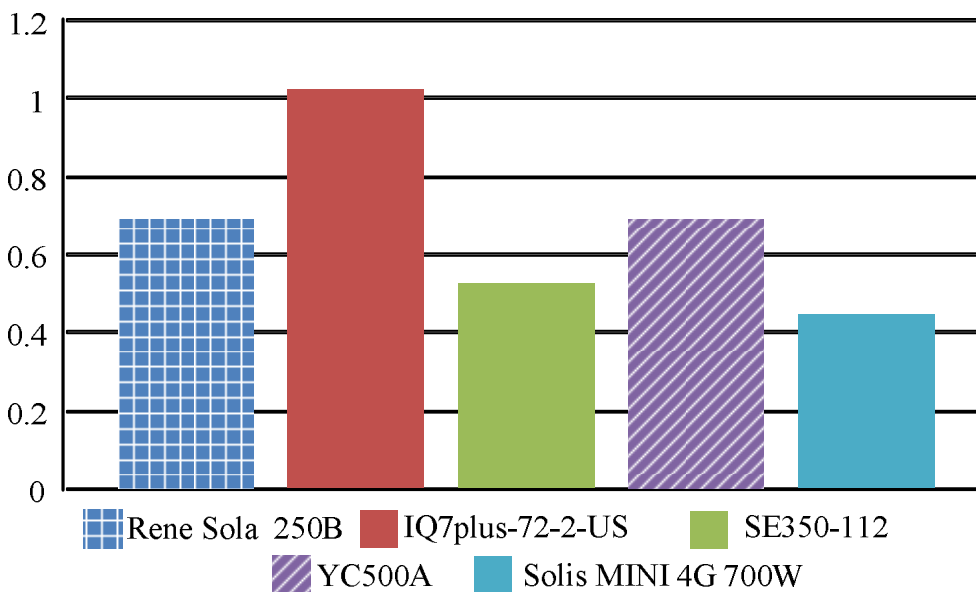


Рис. 4. Питома вартість потужності P < 1 кВт

CpW, USD/W, 1kW < P < 5kW

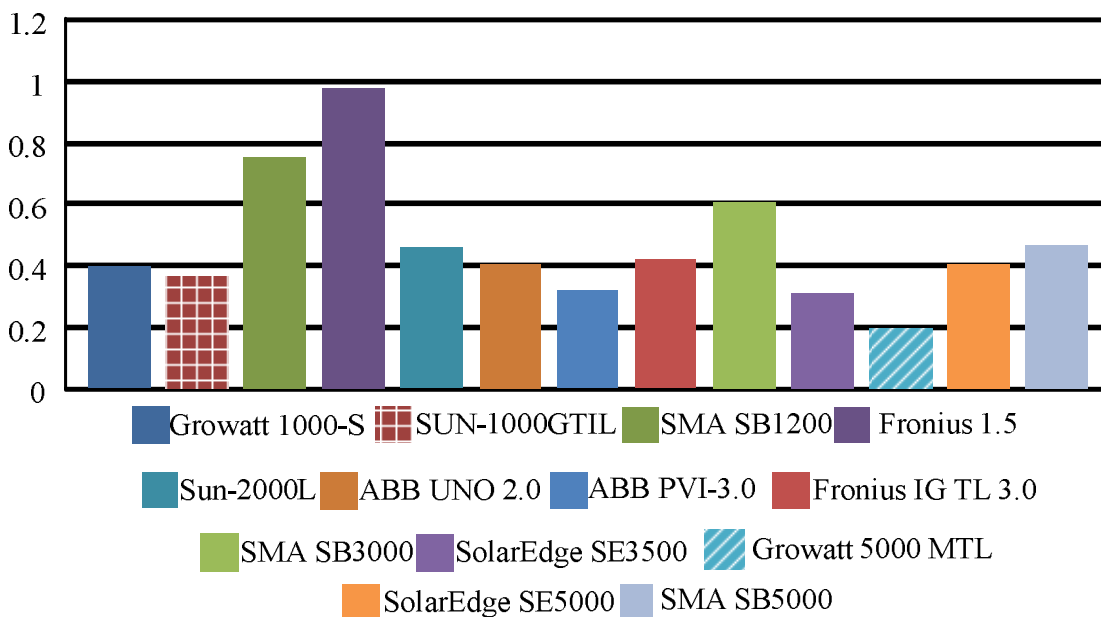


Рис. 5. Питома вартість потужності P > 1 кВт

Питома об’ємна вартість перетворювача показує вартість одиниці об’єму перетворювача в доларах США. Відповідно, пристрої з мінімальним значенням цього параметра є найбільш оптимальними. Рисунки 6 та 7 ілюструють розраховані значення питомої об’ємної вартості для розглянутих інверторів потужністю до 1 кВт та більше відповідно.

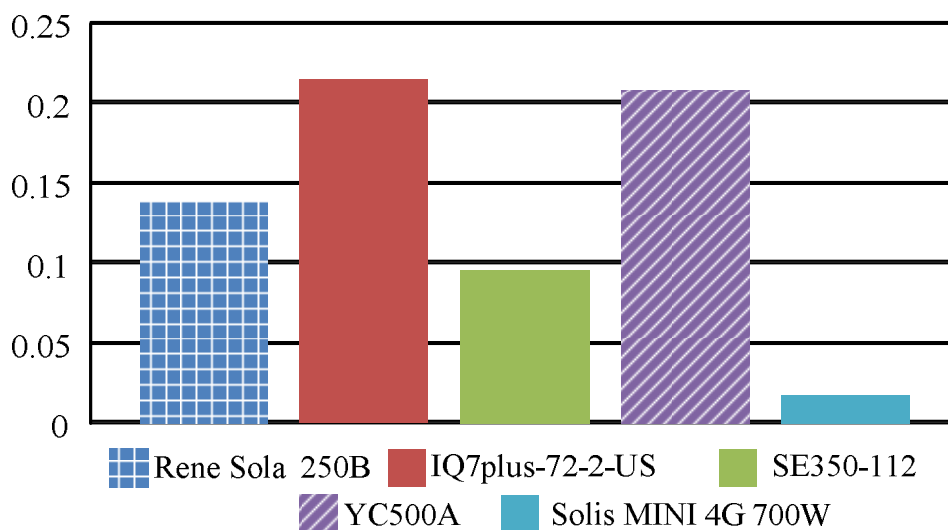
CpV, USD/cm³, P < 1kW

Рис. 6. Питома об'ємна вартість P < 1 кВт

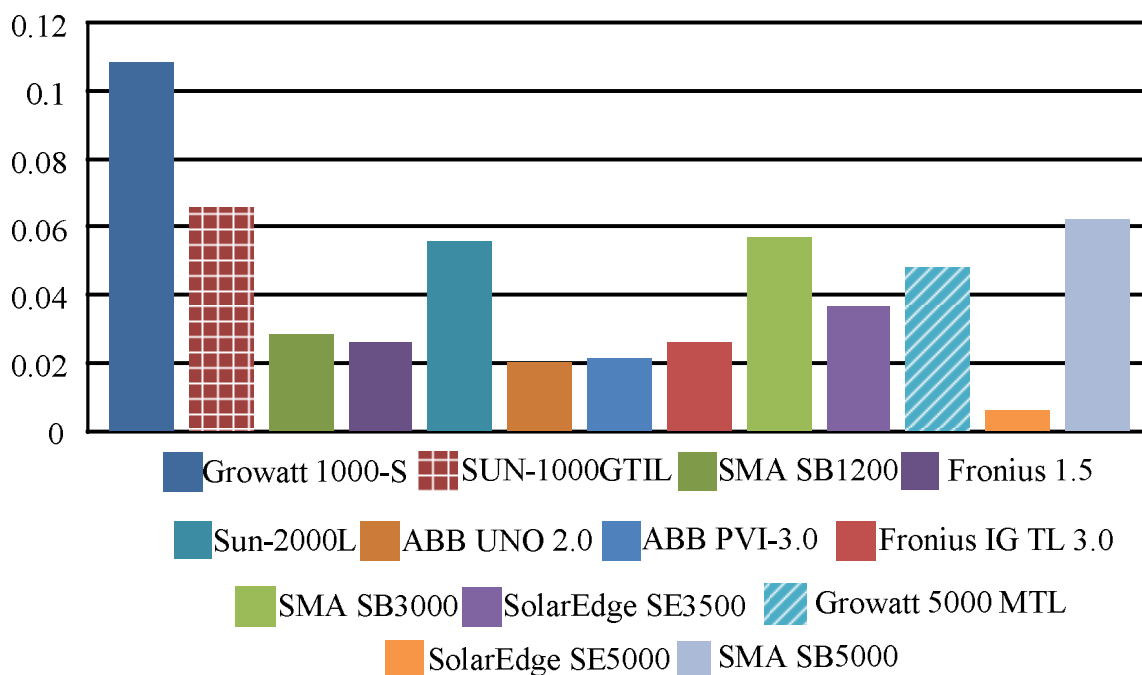
CpV, USD/cm³, 1kW < P < 5kW

Рис. 7. Питома об'ємна вартість P > 1 кВт

Найвищі серед розглянутих пристроїв значення питомої об'ємної вартості показали найменш потужніші перетворювачі. Це пояснюється їх невеликим об'ємом. Тоді як для перетворювачів, потужність яких перевищує 1 кВт, цей показник майже ідентичний.

Перетворювачі, потужність яких перевищує 1 кВт мають близькі показники вартості одного Вата потужності. Це пояснюється тим, що зі зростанням потужності пропорційно зростає й вартість компонентів перетворювача. Хоча наявні декілька зразків з помітно відмінним значенням цього показника. Ці пристрої мають дещо вищий ККД та багато додаткових функцій, що призводять до підвищення ціни пристрою на ринку.

Питома об'ємна ефективність показує відношення ККД перетворювача до його об'єму, найвище значення цього параметра є більш оптимальним (рис. 8 та 9).

PpE, W/%, P < 1kW

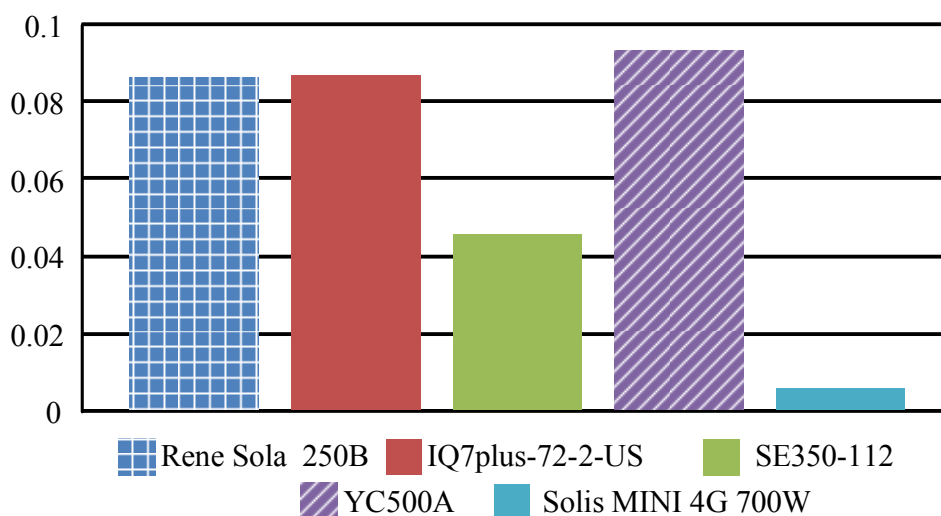


Рис. 8. Питома об'ємна ефективність P < 1 кВт

PpE, W/%, 1 kW < P < 5 kW

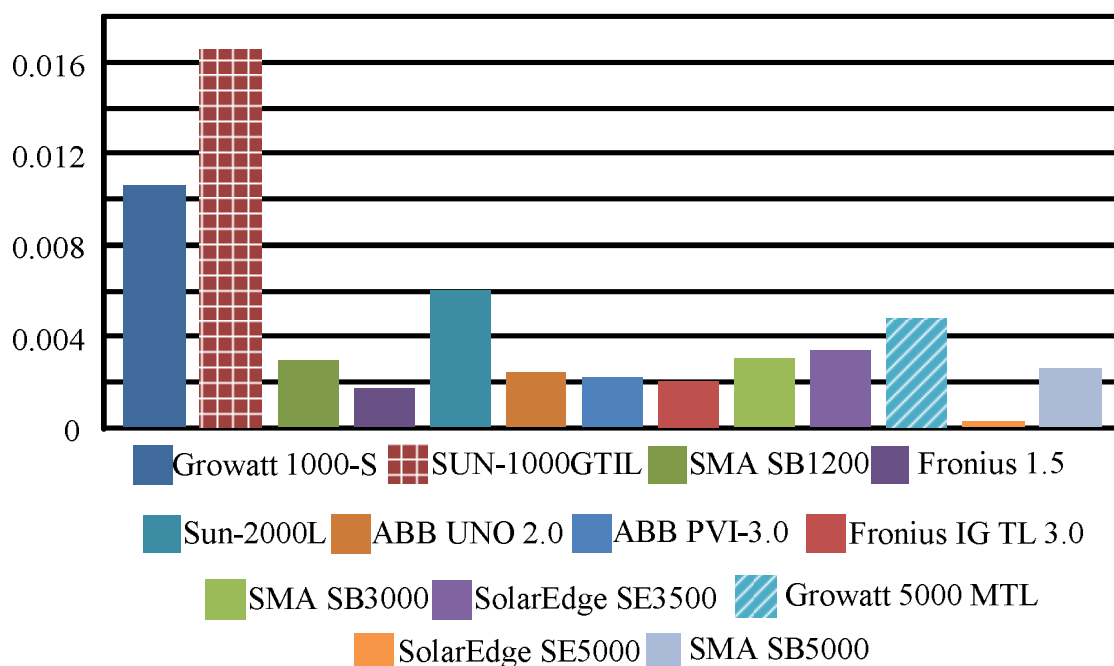


Рис. 9. Питома об'ємна ефективність P > 1 кВт

Як видно з розрахунків запропонованих параметрів, задача оцінки масогабаритних параметрів, ефективності та вартості перетворювача не має простого універсального рішення. На об'єм та вартість можуть впливати: топологія, елементна база, наявність додаткових функцій.

Так, трохи вищу питому потужність мають перетворювачі потужністю до 1 кВт. Це пояснюється меншими струмами та напругами, а отже, і меншими елементами охолодження. До того ж такі перетворювачі, переважно які містять у своєму складі лише один модуль MPPT (maximum power point tracking), не містять дисплеїв, інтерфейсів даних та інших додаткових функцій, що не займає додатковий об'єм. До того ж оптимізація масогабаритних параметрів для інверторів більше ніж 1 кВт, крім логістичних витрат, не дає яскравого економічного ефекту.

Питома вартість потужності не має яскраво вираженої залежності від самої потужності, але має суттєву розбіжність поміж конкурентами.

Питома об'ємна ефективність, як і об'ємна ефективність, не є занадто критичним параметром перетворювачів. Крім того, зі зростанням об'єму й потужності не спостерігається пропорційного зростання ККД. Тому цей параметр є більш виправданим для порівняння всередині групи перетворювачів з близькими значеннями потужності. Результати даного порівняння для обох груп перетворювачів наведено на рис. 10. Ця діаграма зв'язує питому потужність, питому вартість потужності та ККД найкращих рішень, які обрано як найбільш вагомими параметрами.

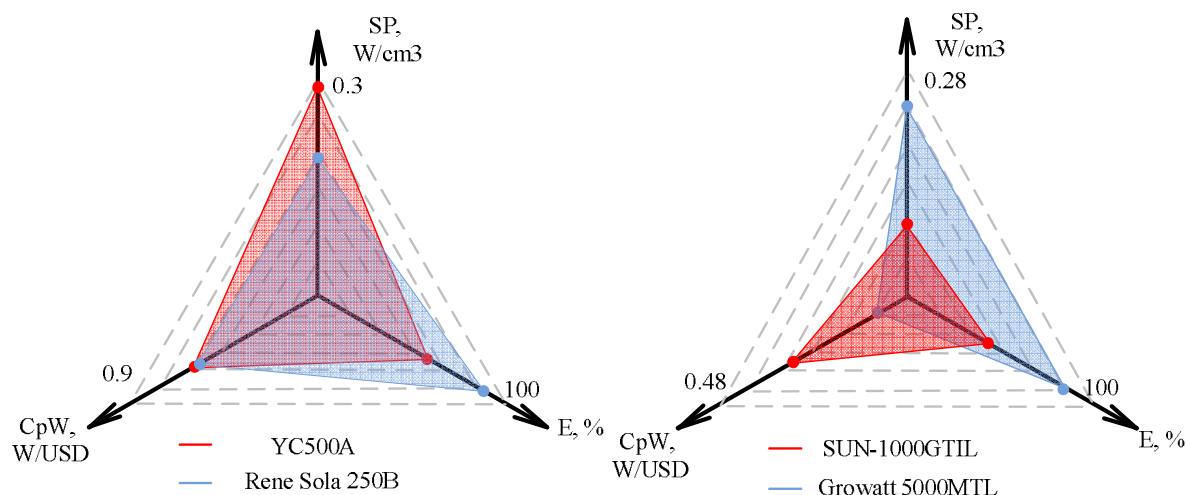


Рис. 10. Порівняння перетворювачів за основними параметрами

Серед пристроїв потужність до 1 кВт найбільш оптимальними є YC500A та Rene Sola 250B. Їхніми перевагами є висока питома потужність та об'ємна ефективність.

У групі пристроїв потужністю понад 1 кВт найоптимальнішими пристроями можна вважати Growatt 5000 MTL-S та SUN-1000GTIL2. До переваг цих перетворювачів можна віднести найвищі серед розглянутих значення питомої потужності, питомої вартості потужності нижче середнього значення для даної групи та високу об'ємну ефективність. Недоліком є висока питома об'ємна вартість, що викликано значною потужністю, об'ємом і вартістю перетворювача, а також наявністю додаткових функцій. Отже, Growatt 5000 MTL-S є більш оптимальним за потужністю, об'ємом та вартістю, SUN-1000GTIL2 – ефективністю.

Висновки відповідно до статті. Запропоновані критерії оцінки масогабаритних параметрів, вартості та ефективності дозволяють встановити чисельний зв'язок між вказаними характеристиками перетворювачів для їх порівняння. Серед загальних висновків можна виділити ряд чисельних показників. Зокрема питома вартість потужності не перевищує значення 1 USD/W і наближається до показника в 0.2 USD/W зі збільшенням потужності перетворювача. Питома потужність сонячного інвертора не перевищує 0.3 W/cm³, при цьому малопотужні рішення (мікроінвертори) мають кращі показники.

Необхідно також відзначити, що на ринку не виявлено однозначного лідера, який би переважав за всіма показниками. Це яскраво ілюструє рис. 10, з якого видно, що рішення з найкращим ККД та масогабаритними параметрами поступаються ціною.

Список використаних джерел

1. Renewables 2017 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Paris, France, June 2017.
2. Mohammad J. Mn., Jameel K. A., Bozalakov D. V. Analytical and calculation DC-link capacitor of a three-phase grid-tied photovoltaic inverter. In proc of IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018). Doha, 2018. Qatar.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Sharifi S., Jabbari M. Family of single-switch quasi-resonant converters with reduced inductor size. In proc. IET Power Electronics 7 (10). Pp. 2544 – 2554.
4. Abdulslam A, Ismail Y. 5-Level buck converter with reduced inductor size suitable for on-chip integration. In proc. 5th International Conference on Energy Aware Computing Systems & Applications. Cairo, 2015. Egypt.
5. Hoffmann St., Hoene E., Zeiter O. Inductor Size in High Frequency Grid Feeding Inverters. In proc. Proceedings of PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management. Nuremberg, 2015. Germany.
6. Neumayr D., Bortis D., Kolar J.W. Ultra Compact Power Pulsation Buffer for Single-Phase DC/AC Converter Systems. In proc. Proceedings of the 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC 2016-ECCE Asia). Hefei city, 2016. China.
7. Song C., Peng L., Brady D., Lehman D. Optimum inverter sizing in consideration of irradiance pattern and PV incentives. In proc. Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). Fort Worth, 2011. TX, USA.
8. Moving object detection in unmanned aircraft images [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/254027035_Inverter_size_optimization_for_grid-connected_concentrator_photovoltaic_CPV_plants.
9. International Energy Agency, "Cost and performance trends in grid-connected photovoltaic systems and case studies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Iea_Pvps2/publication/324728019_Task_2_Cost_and_Performance_Trends_in_Grid-connected_Photovoltaic_systems_and_Case_Studies/links/5adf3abeaca272fdaf8986ca/Task-2-Cost-and-Performance-Trends-in-Grid-connected-Photovoltaic-systems-and-Case-Studies.pdf.
10. How Much Does it Cost to Install Solar on an Average US House? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.solarpowerauthority.com/how-much-does-it-cost-to-install-solar-on-an-average-us-house>.
11. Bortis D., Neumayr D., Kolar J. W.. η -Pareto optimization and comparative evaluation of inverter concepts considered for the GOOGLE Little Box Challenge. In proc of IEEE 17th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL). Trondheim 2016. Norway.

References

1. *Renewables 2017 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*. (2017). Paris [in English].
2. Mohannad, J. M., Jameel, K. A., Bozalakov, D. V. (2018). Analytical and calculation DC-link capacitor of a three-phase grid-tied photovoltaic inverter. *CPE-POWERENG 2018: Proceedings of IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering*. Doha, Qatar [in English]
3. Sharifi, S., Jabbari, M. (2014). Family of single-switch quasi-resonant converters with reduced inductor size. *IET Power Electronics*, 7 (10), 2544-2554 [in English].
4. Abdulslam, A., Ismail, Y. (2015). 5-Level buck converter with reduced inductor size suitable for on-chip integration. *5th International Conference on Energy Aware Computing Systems & Applications*. Cairo, Egypt [in English].
5. Hoffmann, St., Hoene, E., Zeiter, O. (2015). Inductor Size in High Frequency Grid Feeding Inverters. *Proceedings of PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*. Nuremberg, Germany [in English].
6. Neumayr, D., Bortis, D., Kolar, J. W. (2016). Ultra Compact Power Pulsation Buffer for Single-Phase DC/AC Converter Systems. *IPEMC 2016-ECCE Asia: Proceedings of the 8th International Power Electronics and Motion Control Conference*. Hefei city, China [in English].
7. Song, C., Peng, L., Brady, D., Lehman, D. (2011). Optimum inverter sizing in consideration of irradiance pattern and PV incentives. *APEC: Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*. Fort Worth, TX, USA [in English].
8. Chen, X., Melia, J. (2011). Inverter size optimization for grid-connected concentrator photovoltaic (CPV) plants. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference. www.researchgate.net. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/254027035_Inverter_size_optimization_for_grid-connected_concentrator_photovoltaic_CPV_plants.

9. Iea Pvps. (2007). Cost and performance trends in grid-connected photovoltaic systems and case studies. *www.researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Iea_Pvps2/publication/324728019_Task_2_Cost_and_Performance_Trends_in_Grid-connected_Photovoltaic_systems_and_Case_Studies/links/5adf3abeaca272fdaf8986ca/Task-2-Cost-and-Performance-Trends-in-Grid-connected-Photovoltaic-systems-and-Case-Studies.pdf.

10. How Much Does it Cost to Install Solar on an Average US House? (n.d.). *www.solarpowerauthority.com*. Retrieved from <https://www.solarpowerauthority.com/how-much-does-it-cost-to-install-solar-on-an-average-us-house>.

11. Bortis, D., Neumayr, D., Kolar, J. W. (2016). η -Pareto optimization and comparative evaluation of inverter concepts considered for the GOOGLE Little Box Challenge. *COMPEL: proceedings of IEEE 17th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics*. Trondheim, Norway [in English].

UDC 621.3.08

Artem Fesenko, Olexandr Husev, Andrew Chub, Dmitri Vinnikov, Olexandr Matiushkin

OVERVIEW OF MASS-SIZE AND COST PARAMETERS FOR COMMERCIAL PV-INVERTERS

Urgency of the research. *The one of the main factors impedes the widespread introduction of power systems based on photoelectric converters, both in household needs and in the composition of mobile technology, is the overall dimensions and high cost of such systems. A noticeable part of the cost is the converter, which contains in its composition scarce and expensive materials, takes a noticeable volume. That is why improving the mass-size parameters of the converter and reducing its cost is relevant and promising.*

Target setting. *To effectively improve the mass-size and cost parameters of the converter, the devices available on the world market should be considered. Their parameters, features and characteristics should be investigated.*

Actual scientific researches and issues analysis. *A detailed examination of modern research and publications allowed to identify the following features of modern commercial converters. Firstly, manufacturers do not disclose the peculiarities of the internal construction of their products. Secondly, efficiency, functionality and weight and size parameters differ depending on the power and cost of the converter*

Uninvestigated parts of general matters defining. *Quantitative parameters must be proposed for a thorough comparison of converters at their cost and mass-size. It is necessary to establish a quantitative relationship between the cost, volume, power and efficiency of the converter, which was previously reduced to specific power.*

The research objective. *Establish criteria for estimating the weight and size characteristics of inverters that can be calculated on the basis of freely distributed data.*

The statement of basic materials. *The analysis of the current level of development of commercial converters in the composition of solar systems in a wide range of power was performed. Consider devices whose power ranges from 200 to 5000 W of the world's leading manufacturers.*

Parameters obtained from open source device are summarized in the comparative tables. The grouping is based on the power of the inverters. Three groups of comparable devices are distinguished: the first one includes inverters with power up to 1 kW, to the second one from 1 to 3 kW and to the third from 3 to 5 kW, respectively.

Two numerical benchmarks were proposed to compare converters. The first shows the cost per unit of power, the second - the specific volume value. Based on the results of calculations built column charts for each of the indicators within its group.

Conclusions. *The proposed indicators allow us to estimate the weight and dimensions of the converters based on freely distributed data.*

Keywords: *mass-size parameters; specific power; efficiency; power converter.*

Fig.: 10. Table: 2. References: 11.

Фесенко Артем Петрович – аспірант, асистент кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Fesenko Artem – PhD student, assistant of Department of BRAS, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gudrunas.ch@gmail.com

Гусев Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Husev Oleksandr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: oleksandr.husev@gmail.com

ORCID: orcid.org/0000-0001-7810-457X

ResearcherID: F-5792-2014

Scopus Author ID: 45861130600

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Чуб Андрій Іванович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник групи силової електроніки, Таллінський технологічний університет (вул. Будівників, 5, Таллінн, 19086, Естонія).

Chub Andrii – PhD in Technical Sciences, Senior researcher of power electronics group, Tallinn University of Technology (5 Ehitajate tee Str., 19086 Tallinn, Estonia).

E-mail: andrusha.chub@gmail.com

Вінніков Дмитро Валерійович – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник групи силової електроніки, Таллінський технологічний університет (вул. Будівників, 5, Таллінн, 19086, Естонія).

Vinnikov Dmitri – PhD in Technical Sciences, leading researcher of power electronics group, Tallinn University of Technology (5 Ehitajate tee Str., 19086 Tallinn, Estonia).

E-mail: dmitri.vinnikov@ttu.ee

Матюшкін Олександр Олександрович – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Matyushkin Olexandr – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: matyushkin1994@gmail.com