

ЛОКАЛЬНІ АВТОНОМНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ УМОВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

О.П. Чорний^{1*}, докт. техн. наук, Ю.В. Зачепа^{1**}, канд. техн. наук, Л.І. Мазуренко^{2***}, докт. техн. наук, С.Г. Буряковський^{3****}, докт. техн. наук, В.В. Ченчевой^{1*****}, канд. техн. наук, Н.В. Зачепа^{1*****}, канд. техн. наук

¹ Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна.

E-mail: alekseii.chornyi@gmail.com

² Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна.

³ Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Молнія» НУ «ХП»,
вул. Шевченка, 47, Харків, 61013, Україна.

Досліджено динамічні режими роботи локального автономного джерела енергопостачання з підключенням основних типових споживачів електроенергії. Визначено перевантажувальну здатність локального автономного джерела енергопостачання, що сформоване з електрообладнання іншого функціонального призначення на базі асинхронної машини з ємнісним самозбудженням. Встановлено умови реалізації «сприятливої» комутації під час пуску електродвигунів співставної потужності та обґрунтовано доцільність використання пускових систем та систем передстартового форсування збудження електрогенератора у складі автономного джерела енергопостачання. Бібл. 6, рис. 3, табл. 2.

Ключові слова: автономне джерело живлення, пускова система, генератор з самозбудженням.

Вступ. На сьогодні однією з ключових проблем енергетичної незалежності як в Україні, так і в світі є проблема забезпечення надійної та безперервної роботи систем енергопостачання [1-3]. Ліквідація наслідків аварій систем енергопостачання призводить до використання значних людських і матеріальних ресурсів. Питання підвищення надійності систем енергопостачання як складного розгалуженого кола генерації, перетворення, передачі енергії до споживачів набули особливої актуальності у зв'язку з усвідомленням того факту, що не тільки підприємства [1], але і соціальна сфера [2] суспільства виявляються уразливими у разі порушень в енергопостачанні навіть невеликої тривалості [4]. Недооцінка цієї обставини вже привела до ряду великих аварійних ситуацій різного характеру. На основі даних [2] на рис. 1 показано розподіл кількості надзвичайних ситуацій за походженням у світі.

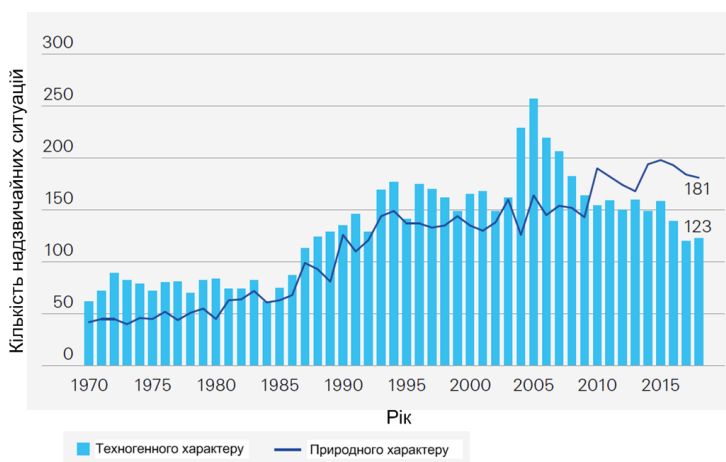


Рис. 1

енергопостачання на основі електроустаткування і енергосилових установок іншого

Гарантоване безаварійне енергопостачання для більшості підприємств може бути практично нездійснене через значні капітальні витрати у разі технічної реалізації тих або інших рішень. Проте достатньо просте вирішення задачі можливе за використанням оперативного-сформованих джерел енергопостачання або, так званих, локальних автономних джерел енергопостачання (АДЕ), що потребує розвитку теоретичних засад їхнього створення та дослідження умов функціонування.

Мета роботи. Аналіз особливостей динамічних режимів роботи локальних автономних джерел енергосилових установок іншого

функціонального призначення.

Принципи формування та дослідження локальних АДЕ. Локальне АДЕ формується персоналом відповідних підприємств в період, який передуює аварії, протягом її розвитку або після закінчення її активної фази. Комплектація локального АДЕ здійснюється з наявних та нормально функціонуючих компонентів технологічного, електротехнічного та транспортного обладнання.

Локальне АДЕ формується тимчасово і не знаходиться на балансі підприємства як стаціонарна або мобільна електростанція. Витрати на створення локального АДЕ полягають лише в коштах на його формування та наступну розкомплектацію. Загальні положення, умови формування та інші аспекти щодо створення та функціонування локальних АДЕ більш детально наведено в [5, 6], а саме: технологічні схеми таких джерел, вимоги та умови вибору електротехнічного обладнання тощо.

Дослідження навантажувальних режимів роботи локального АДЕ з асинхронним генератором (АГ) проводилося із застосуванням математичної моделі, що наведено в [6]. Як АГ використовувалася асинхронна машина з параметрами: $P_G = 1,2$ кВт; $n_n = 2740$ об/мин; $I_s = 2,93$ А; $R_s = 9,37$ Ом; $R_r = 5,13$ Ом; $L_\mu = 66$ мГн; $L_s = L_r' = 22$ мГн (використано загальновідомі позначення величин [6]). Початкова ємність конденсаторів кожної фази складала $C = 30$ мкФ, що забезпечувало збудження АГ з коефіцієнтом насичення магнітопроводу на рівні $k_\mu = 1,4$. Дослідження проводилися за умови сталості частоти обертання $n = const$ приводного двигуна, що підтримувалася регулятором частоти обертання, реалізованим за принципом Ползунова-Уатта [5], з підключенням споживачів зі статичним характером навантаження (освітлювальні прилади потужністю 500 Вт і більше) та динамічним навантаженням (двигуни постійного струму потужністю 0,2 кВт, 0,45 кВт і 0,7 кВт, що підключалися через випрямляч; асинхронні двигуни потужністю 0,25 кВт, 0,37 кВт, 0,56 кВт і 0,7 кВт). Так, на рис. 2 наведено характер зміни напруги U_g АГ (а), електромагнітного моменту M_m (б) і частоти ω_m обертання (в) АД різної потужності під час прямого пуску в момент часу $t = 2$ с. Двигуни вибиралися за умовою співвідношення потужностей споживача і джерела енергії $P_m / P_G = 0,2$ (крива 1); $P_m / P_G = 0,3$ (крива 2) і $P_m / P_G = 0,47$ (крива 3) відповідно.

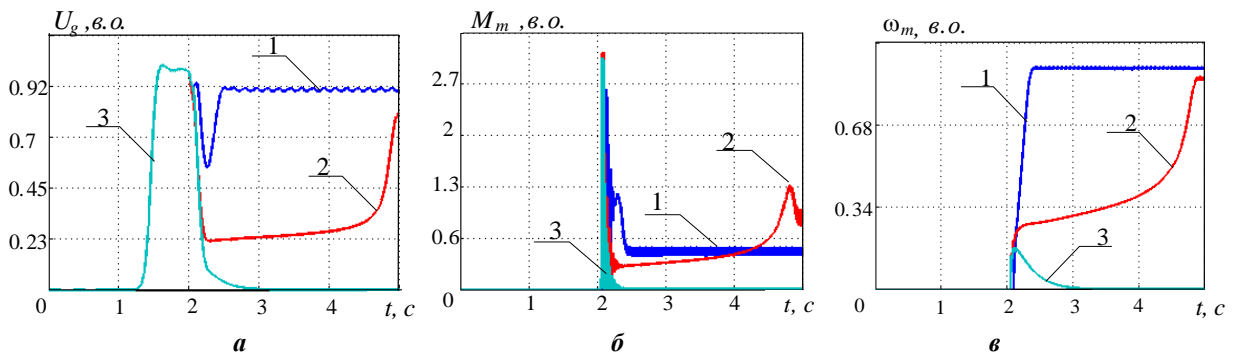


Рис. 2

Аналіз отриманих результатів показав, що за співвідношенням $P_m / P_G = 0,2$ пуск АД здійснено успішно. Разом з тим, пуск АД за $P_m / P_G = 0,47$ необхідно вважати таким, що не відбувся. В цьому випадку номінальні струми АД і АГ є співставними, а пускові струми порушують перевантажувальну здатність генератора, внаслідок чого відбувається швидка втрата збудження. Проміжним варіантом є випадок, коли ударні пускові струми призводять до такого зниження напруги АГ, що двигун «застряє» (рис. 2, криві 2) на деякій частоті обертання, а подальший розгін стає можливим лише після відновлення умов збудження АГ (підключення додаткових конденсаторів). У результаті встановлено, що робота локального АДЕ з АГ не порушується з дотриманням певного співвідношення потужностей P_G генератора і навантаження P_l (табл. 1), де $P_{l.M}$, $P_{l.DCM}$, P_c – потужності АД, ДПС і споживачів зі статичним характером навантаження відповідно.

Таблиця 1

Тип споживача	АД	ДПС	Освітлювальні прилади
Допустиме співвідношення	$P_{l.M} / P_G \leq 0,25$	$P_{l.DCM} / P_G \leq 0,4$	$P_c / P_G \leq 0,6$

Поліпшення енергоефективності роботи локальних АДЕ можливо за рахунок їхньої доукомплектації додатковим обладнанням, а саме, пристроями керованого пуску електричних машин на базі тиристорних регуляторів напруги (ТРН) й перетворювачами частоти (ПЧ) та системами регульованого чи передстартового форсування збудження АГ. Слід зазначити, що застосування додаткового обладнання призведе до удорожчання таких джерел енергоживлення та збільшить час його введення в дію. Результати досліджень пуску АД від локального АДЕ за допомогою ТРН та ПЧ показали, що успішний пуск та подальша робота АД можливі за дотриманням співвідношень згідно табл. 2. Крім того, досліджувалися режими підключення АД до затискачів АГ через тиристорний комутатор (ТК) з реалізацією умов «сприятливої» комутації. Встановлено, що в умовах пуску від локального АДЕ з АГ такий режим можна сформулювати шляхом підключення двох фаз АД в момент нульового значення напруги, коли третя фаза підключається із затримкою $3\pi/4$ ел.градуса.

Таблиця 2

Спосіб пуску АД	Передстартове форсування збудження	Застосування ТРН	Застосування ПЧ	ТК з реалізацією режиму «сприятливої» комутації
Допустиме співвідношення	$P_{l,IM} / P_G \leq 0,47$	$P_{l,IM} / P_G \leq 0,47$	$P_{l,IM} / P_G \leq 0,63$	$P_c / P_G \leq 0,7$

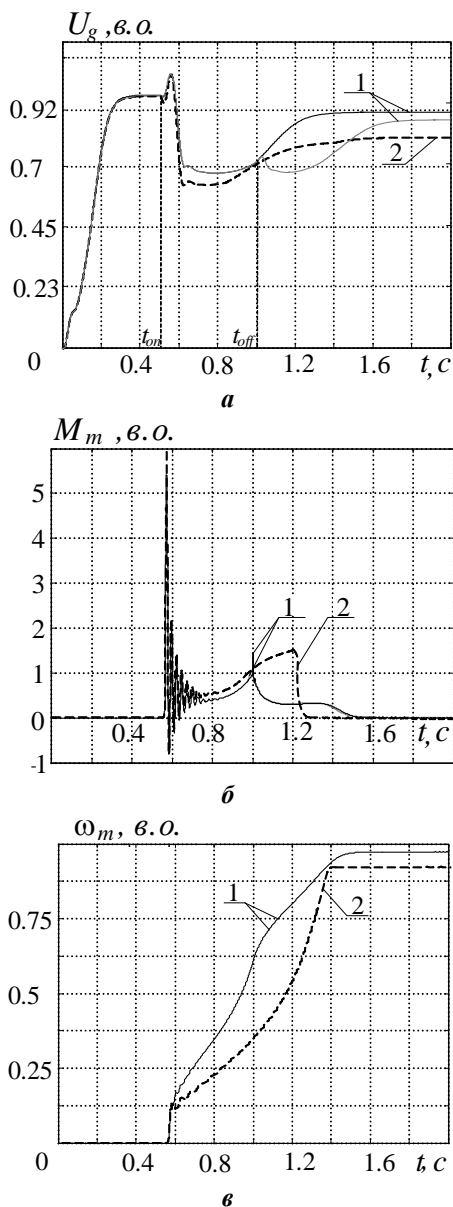


Рис. 3

Системи передстартового збудження здебільшого використовуються в АДЕ з синхронними генераторами. Цей спосіб підвищення переважувальної здатності АГ характеризується «глибоким» насиченням його магнітної системи, що допустиме лише у разі застосування спеціально спроектованих для цих цілей генераторів. В умовах локальних АДЕ, що формуються з електрообладнання іншого функціонального призначення, форсування ємнісного збудження має дуже обмежений діапазон і допускається лише на короткий час. На рис. 3 показано результати пуску АД із співвідношенням потужностей P_{IM} / P_G 0,36 (криві 1) та 0,47 (криві 2) відповідно. У момент часу $t_{on} = 0,45$ с здійснювалося форсування збудження АГ за рахунок додатково підключених ємностей. Як видно з рис. 3, для обох двигунів пуск виконано успішно. Навіть незважаючи на те, що для АД потужністю $0,36P_G$ в одному з дослідів ще на стадії розгону у момент часу $t_{off} = 0,9$ с додаткова ємність збудження була відключена. Отже, за допомогою передстартового форсування збудження можливий запуск АД, потужність яких становить до 47% потужності АГ.

Дослідження із застосуванням замкнутих систем стабілізації параметрів локального АДЕ з АГ показали, що такі системи забезпечують нормальне функціонування джерела енергопостачання, якщо сумарна потужність підключеного навантаження не перевищує 70% потужності генератора. Однак така комплектація локальних АДЕ вимагає наявності додаткових батарей конденсаторів, а також призводить до значного здорожчання джерела живлення та потребує додаткового часу для монтажу й певної кваліфікації персоналу для налаштування.

Висновки. Уточнено характер зміни напруги АГ, електромагнітного моменту й частоти обертання АД різної потужності в їхніх пускових режимах. Визначено максимально допустиму потужність АД та ДПС, за яких забезпечується їхній вдалий запуск і подальша робота в усталених режимах. Встановлено, що використання пускових систем на базі ТРН та систем передстартового форсування збудження АГ дає

змогу підвищити ефективність роботи локальних АДЕ та забезпечити пуск АД потужністю до 47% від номінальної потужності генератора. Застосування перетворювачів частоти чи замкнутих систем стабілізації параметрів АДЕ забезпечує його безаварійну роботу зі споживачами, потужність яких становить не менше 60% від номінальної потужності асинхронного генератора.

1. Roos F. Electricity Supply Reliability: Evaluation of Improvement Solutions for Existing Electricity Networks. Lund: Lund Institute of Technology, 2005. 113 p.

2. Bevere L. Natural catastrophes and man-made disasters in 2018: secondary perils on the frontline. Zurich: Swiss Re Institute. Sigma. 2019. No 2. 36 p. URL: https://www.swissre.com/dam/jcr:bc66752a-da35-4645-ad46-c9d1f96a8fd9/lucia_bevere_webinar_natural_catastrophes.pdf (accessed 31.01.2020)

3. Farah P.D. Sustainable Energy Investments and National Security: Arbitration and Negotiation Issues, *Journal of world energy law and business*. 2015. Vol. 8. No 6. Pp. 34-49.

4. Halkos G., Managi M., Tzeremes N. The Effect of Natural and Man-made Disasters on Countries Production Efficiency. *The Journal of Economic Structures*. 2015. No 4(1). Pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40008-015-0019-2>

5. Zagirnyak M., Zacheпа Іu., Chornyi O., Chenchevoi V. The autonomous sources of energy supply for the liquidation of technogenic accidents. *Przeglad Elektrotechniczny*. 2019. No 95(5). Pp. 47-50.

6. Zagirnyak M., Zacheпа Іu., Chenchevoy V. Estimation of induction generator overload capacity under connected direct current consumers. *Acta Technica*. 2014. Vol. 59. No 2. Pp. 149-169.

УДК 621.313.33:621.311.23

ЛОКАЛЬНЫЕ АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А.П. Черний¹, докт. техн. наук, Ю.В. Зачепа¹, канд. техн. наук, Л.И. Мазуренко², докт. техн. наук,
С.Г. Буряковский³, докт. техн. наук, В.В. Ченчевой¹, канд. техн. наук Н.В. Зачепа¹, канд. техн. наук

¹Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского,

ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина.

E-mail: alekseii.chornyi@gmail.com

²Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина.

³Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» Харьковского национального университета «Харьковский политехнический институт»,
ул. Шевченка, 47, Харьков, 61013, Украина.

Исследованы динамические режимы работы локального автономного источника энергоснабжения с подключением основных типовых потребителей электроэнергии. Определена перегрузочная способность локального автономного источника энергоснабжения, сформированного из электрооборудования другого функционального назначения на базе асинхронной машины с емкостным самовозбуждением. Установлены условия реализации «благоприятной» коммутации при пуске электродвигателей сопоставимой мощности и обоснована целесообразность использования пусковых систем и систем предстартового форсирования возбуждения электрогенератора в составе автономного источника энергоснабжения. Библ. 6, рис. 3, табл. 2.

Ключевые слова: автономный источник питания, пусковая система, генератор с самовозбуждением.

LOCAL AUTONOMOUS SOURCES OF ENERGY SUPPLY FOR EMERGENCIES

O.P. Chornyi¹, Iu.V. Zacheпа¹, L.I. Mazurenko², S.G. Buryakovskiy³, V.V. Chenchevoi¹, N.V. Zacheпа¹

¹Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,

20, Pershotravneva str., Kremenchuk, 39600, Ukraine.

E-mail: alekseii.chornyi@gmail.com

²Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine.

³Research and Design Institute «Molniya» of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

Dynamic modes of operation of a local autonomous energy source with the connection of the main typical consumers of electricity are investigated. The overload capacity of a local autonomous power source, formed from electrical equipment of other functional purpose on the basis of an asynchronous machine with capacitive self-excitation, is determined. The conditions for the implementation of "favorable" switching during startup of motors of comparable power have been established and the expediency of using start-up systems and systems of pre-start boosting excitation of the electric generator in the autonomous power supply source has been substantiated. References. 6, figures 3, tables 2.

Key words: autonomous power supply, starting system, generator with self-excitation.

Надійшла 28.02.2020

Остаточний варіант 10.05.2020