

УДК 621.316

Кулик О.В. студ., керівник Коцар О.В., доц., канд.техн.наук,

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ вул. Борщагівська, 115/3, Україна

Застосування електротехнічних комплексів на базі акумулюючих батарей для нормалізації якості електроенергії в електричних мережах

Аннотація - В цій статті розглядаються шляхи та засоби нормалізації якості електроенергії в електричних мережах. Запропоновано використовувати для стабілізації частоти та напруги в електричних мережах сучасні електротехнічні комплекси на базі акумулюючих батарей.

Аннотация - В этой статье рассматриваются пути и средства нормализации качества электроэнергии в электрических сетях. Предложено использовать для стабилизации частоты и напряжения в электрических сетях современные электротехнические комплексы на базе аккумуляторных батарей.

Annotation- In this article the ways and means of normalizing the power quality in electrical grids is examined. Proposed to use for stabilize frequency and voltage in electric grids the modern electrical systems on the basis of new battery storage technology

Вимоги стандарту [1] щодо відхилень та коливань частоти і напруги в електричних мережах обумовлені значним впливом цих показників на режими роботи струмоприймачів, хід технологічних процесів виробництва і, як наслідок, техніко-економічні показники роботи промислових підприємств.

Електромагнітна складова збитків промислових підприємств від споживання неякісної електроенергії зумовлена збільшенням втрат активної потужності в електричних мережах і зростанням споживання активної та реактивної потужності. Відомо, наприклад, що зниження частоти на 1% збільшує втрати в електричних мережах на 2%, знижує ефективність роботи асинхронних електродвигунів на 3% та призводить до багатьох інших негативних наслідків [2].

Технологічна складова збитків промислових підприємств зумовлена переважно недовиробітком продукції і вартістю додаткового часу роботи підприємства задля виконання планових показників щодо обсягів виробництва, а також зниженням якості продукції, що виробляється. Згідно з експертними оцінками рівень технологічних втрат від відхилення показників якості споживаної електроенергії від нормованих значень на порядок вище за електромагнітну складову [3].

Аналіз роботи промислових підприємств з безперервним циклом виробництва показав, що більшість основних технологічних ліній обладнано механізмами з постійним і вентиляторним моментами опорів, а їхніми приводами служать асинхронні двигуни. Частота обертання роторів двигунів пропорційна зміні частоти мережі, а продуктивність технологічних ліній залежить від частоти обертання двигуна [2]. Ступінь впливу частоти мережі на ефективність робіт таких механізмів може бути виражена через споживану ними активну потужність [3]:

$$P = af^n \quad (1)$$

де: a - коефіцієнт пропорційності, що залежить від типу механізму; f - частота мережі; n - показник ступеня, за яким струмоприймачі розподіляються на наступні групи:

1. Механізми з постійним моментом опору - поршневі насоси, компресори, металорізальні верстати та ін: $n = 1$.
2. Механізми з вентиляторним моментом опору - відцентрові насоси, вентилятори, димососи та ін (на ТЕС, КЕС, АЕС за звичай це двигуни насосів живильної води, циркуляційних насосів, димових вентиляторів, маслонасосів і т.д.): $n = 3$.
3. Механізми, для яких $n = 3,5-4$ - відцентрові насоси, що працюють з великим статичним опором (протитиском), наприклад, живильні насоси котелень [2]

Струмоприймачі 2-ї і 3-ї груп, що найбільше залежать від впливу частоти мережі, за звичай мають регульовальні можливості, завдяки яким споживана ними потужність лишається практично незмінною. Найбільш чутливі до зниження частоти мережі двигуни власних потреб електростанцій. Зниження частоти призводить до зменшення їхньої продуктивності, що супроводжується зниженням потужності генераторів, подальшим дефіцитом активної потужності і, як наслідок, зниженням частоти мережі (має місце лавинне падіння частоти) [4].

Відхилення частоти також негативно впливають на роботу електронної, зокрема телевізійної техніки. Крім цього, знижена частота мережі впливає і на термін служби електричного обладнання, що містить елементи зі сталлю (електродвигуни, трансформатори, реактори зі сталевим магнітопроводом), а також за рахунок збільшення струму намагнічування в таких апаратах і додаткового нагрівання сталевих осердь [3]. Втім, такі струмоприймачі, як лампи розжарювання, печі опору, дугові електричні печі на зміну частоти мережі практично не реагують.

Зміни частоти електромережі та виникнення відхилень частоти від нормованого значення пов'язані із порушенням балансу між потужністю, що виробляється генераторами електростанцій, і потужністю, яка споживається струмоприймачами, що підключені до електричної мережі, зокрема струмоприймачами промислових підприємств. Тому стабілізація частоти електромережі забезпечується шляхом впровадження додаткових генеруючих потужностей з метою створення резервів потужності в енергосистемі [6].

Для запобігання загальносистемним аваріям, які можуть бути зумовлені зниженням частоти в енергосистемі, передбачаються спеціальні пристрої автоматичного частотного розвантаження (АЧР), що відключають частину споживачів (починаючи від найменш відповідальних) в разі виникнення небезпеки «розвалу» енергосистеми. Після ліквідації дефіциту потужності, наприклад після включення резервних джерел електричної потужності, спеціальні пристрої частотного автоматичного повторного включення (ЧАПВ) підключають відключених раніше споживачів до електричної мережі і нормальна робота системи відновлюється [7].

Основною причиною виникнення коливань частоти є потужні струмоприймачі з різкозмінним активним навантаженням (наприклад тиристорні перетворювачі головних приводів прокатних станів, каменерізні верстати тощо). Активна потужність цих струмоприймачів змінюється від нуля до максимального значення за час менше 0,1 с, внаслідок чого коливання частоти можуть сягати великих значень.

Також поряд із відхиленнями та коливаннями частоти великі проблеми споживачам створюють провали напруги, які завдають великих збитків промисловим підприємствам. Провали напруги, коли вона раптово знижується на певний проміжок часу, можуть тривати від кількох секунд до кількох годин. Звісно, тривалі перерви електропостачання є проблемою для всіх споживачів, але багато процесів надзвичайно чутливі навіть до дуже коротких

перерв. Ось декілька прикладів: безперервний виробничий процес, де короткі перерви можуть порушити синхронізацію механізмів і спричинити велику кількість бракованої продукції. Типовим прикладом є виробництво паперу, де процес очищення обладнання внаслідок короткочасної зупинки є тривалим і дорогим; багатостадійні групові технологічні процеси, де припинення електропостачання під час виконання однієї операції може звести нанівець результати всього технологічного процесу. Яскравим прикладом є також виробництво напівпровідників, де виготовлення пластини кристалу складається з кількох десятків різних процесів, що тривають декілька днів, а помилка в одному з них спричиняє катастрофічні наслідки; обробка даних, коли ціна транзакції є високою, а вартість її опрацювання незначною, як, наприклад, у випадку з акціями та валютними операціями. Немоżliвість здійснювати торговельні операції може викликати величезні збитки, що значно перевищуватимуть їхню вартість.

Це є приклади найбільш чутливих до перерв електропостачання виробництв. Вражає кількість, здавалося б, звичних процесів, які висувають критичні вимоги щодо надійності електропостачання. Крім іншого, це і великі підприємства роздрібної торгівлі, у яких продаж і ситуацію на складах контролюють за допомогою комп'ютерів.

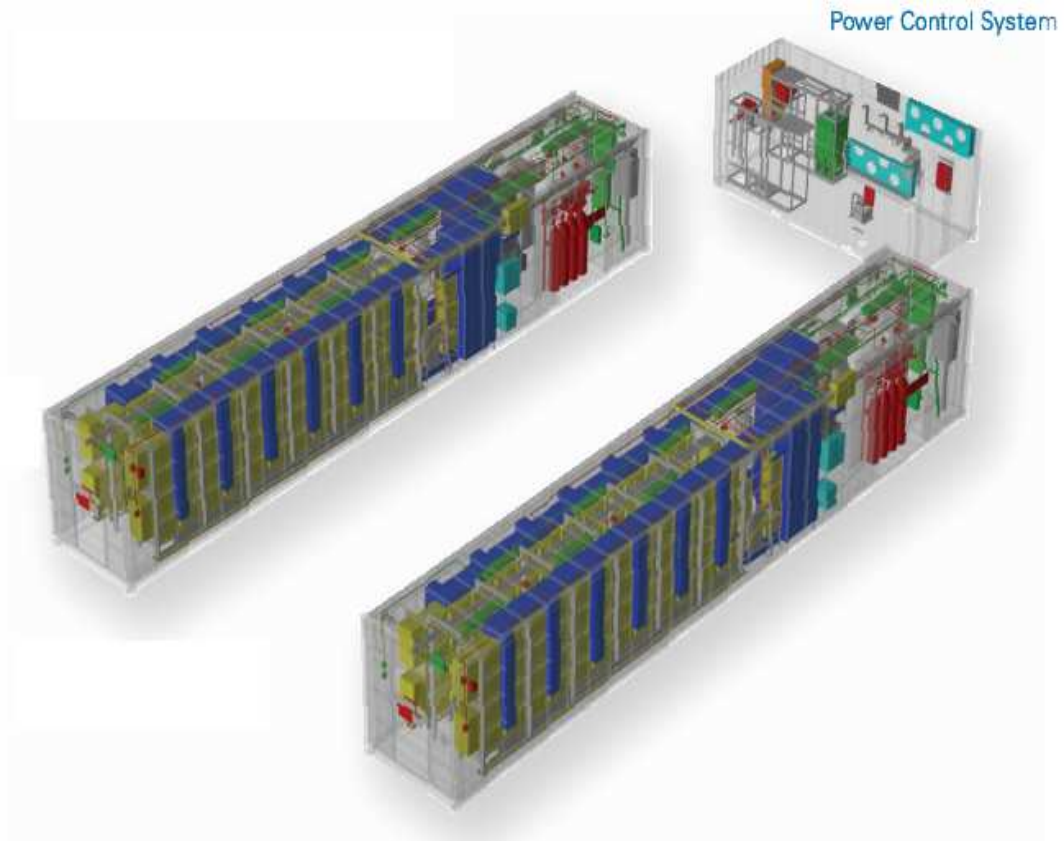
Одним із ефективних засобів стабілізації частоти в електричних мережах сьогодні можуть стати електротехнічні комплекси на базі акумулюючих батарей. Намагання створити накопичувачі електричної енергії в промислових обсягах тривають вже давно і поки що не надто успішно. Але створення таких пристроїв для ефективного вирішення окремих завдань оптимізації роботи електроенергетичних систем вже відомо. Так, зокрема, компанія Altairnano (Altainano) із штаб-квартирою в м.Ріно (штат Невада, США) заявила про розробку електротехнічних комплексів ALTI-ESS на базі літєво-іонно-титанатових акумулюючих батарей ємністю до 20 МВт, які можуть бути застосовані для стабілізації частоти в електричних мережах, акумулювання електроенергії в нічні години доби із наступним використанням накопиченої енергії в пікові години доби, буферизації електрогенерувальних установок нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) тощо. ALTI-ESS також спроможні накопичувати «гарячий резерв» реактивної енергії та енергії, що віддається в мережу іншим устаткуванням. При цьому комплекси ALTI-ESS сприяють зменшенню викидів в атмосферу завдяки багаторазовому використанню енергії через зарядження/розрядження акумулюючих батарей, що дозволяє запобігти неефективному застосуванню електрогенерувального обладнання на електричних станціях [8-10].

Технологія титанату літію, що використовується в комплексах ALTI-ESS, реагує на коливання в мережі, будь то провали напруги чи коливання частоти, «випускаючи» або «поглинаючи» енергію електричної мережі. Це допомагає забезпечити належну якість електричної енергії і зберегти обладнання та виробничі потужності, а також забезпечити зміцнення операційної ефективності та скорочення викидів вуглецю.

Комплекси ALTI-ESS почали вперше комерційно експлуатувати в 2008 році і найбільш централізовано використовуються в електричних мережах Північної Америки. Саме ці мережі стали першим комерційним використанням передових літій-іонно-титанатових батарей для надання послуг зі стабілізації частоти мережі. Сьогодні система 1МВт/250кВт*год працює майже безперервно 24-години на добу, забезпечуючи стабільну роботу електричної мережі [9].

Модуль живлення ALTI-ESS і системи управління модулем складаються зі стійки для базової версії батарей потужністю 1 МВт і системи управління комплексом. Надалі на ці ж стійки можуть бути додані додаткові силові модулі для декількох конфігурацій. Система управління живленням модуля включає функції, що необхідні для перетворення постійної напруги в змінну, і комунікаційне програмне забезпечення, необхідне для отримання та

реагування на ситуацію в мережі, в тому числі PLC, SCADA [9].



Приводяться такі дані, що до базової версії комплексу ALTI-ESS (1MW/250kWh) [9]:

Напруга змінного струму: 480В

Встановлена потужність: 1,2 МВА (1 МВт)

Енергія системи: 250кВт*год

Час відгуку від + 1 МВт до - 1 МВт <20 мс

Робоча температура: від -10°C до 50°C

Розширений діапазон температур: від -40°C до +55°C

Температура зберігання: від -40°C до +55°C

Висота застосування: до 3300 метрів над рівнем моря

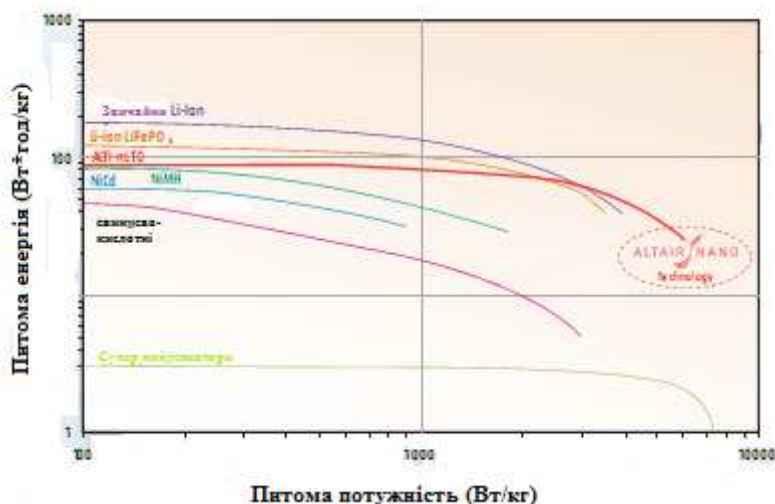
Стандартна конфігурація: номінальна частота 50Hz

Ефективність > 86% при повній потужності

Комплекси ALTI-ESS мають модульну конструкцію, в тому числі такі компоненти:

- силовий модуль (Power Modules) складається з 1 x 1,0 МВт акумулятор і зарядного пристрою, що підзаряджається автоматично від електричної мережі;
- протипожежного обладнання і системи управління охолодженням комплексу, який знаходиться в стандартному 16-метровому контейнері;
- Power Control System (PCS) містить необхідну для комплексу електроніку.

На графіку показано переваги комплексу ALTI-ESS компанії Altairnano в порівнянні з іншими технологіями.



Для перевірки використання нової технології зберігання енергії на базі літій-титанатових акумуляторних батарей з метою їхнього застосування в електроенергетичних системах було залучено KEMA, Inc. У стислому звіті KEMA про ратифікацію [11] зазначено, що прототипи акумуляторних батарей, що досліджувалися, успішно продемонстрували великий потенціал використання нової технології зберігання енергії. Під час випробувань не було виявлено жодних обмежень щодо застосування випробовуваного устаткування в діапазоні 1 МВт. Ефективність застосування устаткування під час випробувань зафіксовано на рівні 90%. Устаткування також має бути придатним для сполучення із типовим обладнанням. Важливо відзначити, що устаткування, яке випробовувалося, продемонструвало спроможність керованого застосування для забезпечення послуг з регулювання, що вимагають певної швидкодії [11].

Засновуючись на виконаних випробуваннях в стислому звіті KEMA визначено, що «устаткуванням була виконана первинна демонстрація та підтверджена відповідність встановленим вимогам». В якості наступних кроків для прототипів зазначеного устаткування KEMA рекомендує провести додаткові промислові випробування, які мають бути направлені на продовження перевірки потенціалу нової технології і виявлення відповідності прикладним вимогам. Оскільки технологія, що застосована під час створення комплексів ALTI-ESS, є новою, немає стандартів, за якими устаткування можна порівняти із іншими типами обладнання. В подальшому KEMA рекомендовано тривалі промислові випробування з метою закріплення цього устаткування на ринку. Проте, отримані результати засвідчують, що «прототипи акумуляторних батарей, що базуються на новій платформі, забезпечують механізм для здобуття справжніх знань, необхідних для розширення їхнього практичного застосування» [11].

Як витікає з [11], випробування нових технологій повинні бути продовжені, а їхня ефективність має бути підтверджена. Втім потенційними можливостями буферних акумуляторних батарей не слід нехтувати і вже зараз варто почати дослідження щодо їхнього керованого застосування, в т.ч. для покриття короткострокового попиту на електричну потужність у вузлах навантаження. Адже застосування такого роду пристроїв (за умови підтвердження їхніх технічних характеристик) безперечно дозволить суттєво зменшити вартість кошовної балансуєчої потужності без залучення додаткових висококошовних маневрених генеруючих станцій. Окрім інших суттєвих переваг це також буде сприяти суттєвому покращанню екології довкілля.

Відомі також альтернативні накопичувачі електричної енергії на базі акумуляторних батарей. Так, наприклад, A123 Systems, Inc (NASDAQ: AonE) розробляє і

виробляє передові літій-іонні батареї та системи зберігання енергії з використанням новітніх нанофосфатних технологій, які забезпечують високу потужність і щільність енергії, довге життя, і відмінні показники безпеки [12].

Використання подібних технологій в промисловості запобігає виникненню під час виробництва значних неприємностей таких як:

- зупинка процесу виробництва;
- перезапуск ресурсів;
- простій робочої сили;
- псування сировини і струмоприймачів.

Поліпшення якості електричної енергії мережі з метою усунення провалів напруги вкрай витратне. У деяких випадках, де мета виправдовує витрати, організовують дублювання енергопостачання від досить віддалених один від одного ділянок мережі, щоб умовно вважати їх електрично не пов'язаними. У більшості ж випадків потрібне спеціальне устаткування, вибір якого великий в залежності від виду навантаження. Одним з найекономічніших способів протистояти провалам напруги є вибір обладнання, стійкого до провалів в силу своєї конструкції, але такий спосіб не дуже підтримується на підприємствах. Якщо розглядати літій-іонно-титанатові батареї, як джерело незалежного короткострокового живлення, то це є оптимальний варіант для будь-якого значного підприємства підтримання надійності роботи мережі в будь-який час без перерив виробництва.

Звісно, важливість таких розробок є суттєвою, але поки що вони мало вивчені і ніхто з впевненістю не знає, яким чином в різних ситуаціях цей і подібні комплекси себе поведуть. Тому на разі потрібно чекати результатів практичного застосування технології. Так як вартість цього комплексу є значною (до \$1500 кВт встановленої потужності), потрібно конкретні цифри, що доведуть його ефективність і довговічність.

Література

1. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення [Чинний від 01.01.1999] ГОСТ 13109-97. Держаспоживстандарт України 1999 – (Національний стандарт України).
2. Прокопчик В. В. Підвищення якості електропостачання та ефективність роботи електроустаткування підприємств з безперервними технологічними процесами. -Гомель: Гомельський державний технічний університет імені П. О. Сухого, 2002.
3. Карташов І. І., Тульський В. Н., Шамоні Р. Г. та ін Управління якістю електроенергії. - М.: Видавничий дім МЕІ, 2006.
4. С.А.Бургучев. Электрические станции и подстанции сельскохозяйственного назначения. Москва, «Государственное издательство сельскохозяйственной литературы», 1958 год
5. Куско Александр Марк Томпсон Качество энергии в электрических сетях : пер. с англ. Рабодзеян А.Н. – М: Додэка-XXI, 2008-336с
6. Материали НЭК "Укрэнерго"(служб: режима НДЦ України /г.Київ/, СРЗА Северной энергосистемы /г.Харьков/) из руководства по эксплуатации устройства УРЧ-3.
7. С.И.Лезнов, А.Л.Фаерман, Л.Н.Махлина. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. Москва, «Энергоатомиздат», 1986г
8. CHARGING THE ENERGY REVOLUTION. Introducing the Power-Intensive ALTI-ESS Suite[Електронний ресурс] / Режим доступу до електронного ресурсу:www.b2i.cc/Document/546/ALTI-ESS_brochure_5-14-09.pdf
9. Introducing the Altairnano. Energy Storage System [Електронний ресурс] / Режим доступу до електронного ресурсу: [ftp://ftp.aidea.org/.../703.../6%20-Supplementals/Alt-Air%20Battery.pdf](http://ftp.aidea.org/.../703.../6%20-Supplementals/Alt-Air%20Battery.pdf)
10. Altairnano's Benefits in Advanced Energy Storage Systems – Режим доступу до ресурсу: <http://ultimexengineering.com/index-3a1.html>
11. Summary of KEMA Validation Report. Two Megawatt Advanced Lithium-ion BESS Successfully Demonstrates Potential for Utility Applications / The AES Corporation Summary of AltairNano Validation Testing, June 27, 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://www.b2i.cc/Document/546/KEMA_Report.pdf
12. A123 Systems. Dynamic Energy Storage for the Grid – Режим доступу до ресурсу: <http://www.a123systems.com>