

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОНОМНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Сопіга М.В., магістрант, Толочко О.І., д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу.

Вступ. На даний момент активне використання нафтових ресурсів, зокрема у якості палива для транспортних засобів, призвело до значного погіршення стану екології в світі. В результаті цього виникла необхідність у створенні електромобілів. Однією з головних проблем, що стримують масове виробництво, є недоліки існуючих засобів автономного живлення електричних транспортних засобів. Від правильного вибору автономного джерела живлення (АДЖ) у великій мірі залежать якісні показники електромобіля у цілому.

Мета роботи. Метою даної роботи є аналітичний огляд властивостей АДЖ, як елементів, що значно впливають на можливості тягового електроприводу.

Матеріали і результати досліджень. АДЖ, що використовуються в електромобілях, повинні задовольняти цілому ряду вимог. Вони повинні мати низькі значення саморозряду і внутрішнього опору, високу надійність, тривалий термін служби, низьку вартість, відсутність шкідливої дії на розташовану поряд апаратуру та безпечне обслуговування.

У якості тягових АЖД принципово можуть застосовуватися акумуляторні батареї (АБ), суперконденсатори (СК) та рідинні паливні елементи (РПЕ).

Акумуляторами називаються хімічні джерела струму, призначені для багатократного використання їх активних речовин, що регенеруються шляхом заряду. Період заряду-розряду акумулятора називають циклом. З кожним циклом акумулятори зношуються. Довговічність акумулятора оцінюють кількістю циклів.

Батареею акумуляторів називають джерело струму, що складається з декількох паралельно або послідовно з'єднаних акумуляторних комірок. Акумулятори з послідовно з'єднаними елементами в одному корпусі називають моноблочними.

Сучасна техніка має у своєму розпорядженні цілий ряд порівняно дешевих акумуляторів: свинцево-кислотні (СКА), залізно-нікелеві, нікель-кадмієві, срібно-цинкові, сірчано-натрієві та багато інших. Більшу вартість але і значно вищу якість мають різноманітні літієві акумулятори.

Одразу відзначимо, що ні один із існуючих типів акумуляторів повністю не відповідає усім вимогам. Недостатня ємність, великий час заряду, мала питома енергія акумуляторів уже багато років обмежують зусилля конструкторів електромобілей.

Серед тягових АБ для порівняно дешевих транспортних засобів найбільше розповсюдження отримали тягові **свинцево-кислотні акумулятори**,

а серед них – тягові СКА типу PzS, що виготовляється за німецькими стандартами DIN [1, 2].

До їх основних переваг відносяться

- невисока ціна, яка варіюються в районі 120-180 доларів за 1 кВт;
- низький саморозряд батареї (в 5-8 разів менше, ніж у нікель-кадмієвих батареї);
- стабільність напруги при зміні струму навантаження та температури, що складає від 1,2 до 2 В на один елемент;
- висока надійність;
- відносна безпека для навколишнього середовища, оскільки технологія вторинної переробки СКА добре відпрацьована [1];
- великий термін служби (до 20 років).

До недоліків даного типу акумуляторів можна віднести:

- низьку щільність енергії в акумуляторі, у зв'язку з чим вага батареї вище, ніж у більшості інших батарей;
- проблему толерантності до глибокого розряду – при розряді понад 80% різко знижується тривалість життя батареї; рекомендовані 60% розряду (при яких досягається термін життя батареї до 1500 циклів розряду-заряду) ще більше посилюють проблему низької щільності енергії;
- проблему обслуговування – для PzS батарей потрібен постійний контроль рівня електроліту раз в тиждень, зарядка в спеціальному добре провітрюваному приміщенні;
- високу тривалість перезарядки та високі втрати електроенергії при заряді (до 30%);
- високі вимоги до зовнішнього середовища – не можна залишати батарею з низьким рівнем заряду на морозі.

Для боротьби з недоліками СКА використовують системи автоматичного доливання води і повітряного перемішування електроліту. Системи автоматичного доливання води дозволяють спростити процес догляду за акумулятором, ліквідують ризик переливу і розбризкування електроліту в процесі обслуговування. Системи повітряного перемішування електроліту знижують втрати електроенергії при заряді до 10%, зменшують нагрівання акумулятора, знижують газовиділення. При використанні систем перемішування електроліту знижується кратність обслуговування акумулятора за заявами деяких виробників до 2-4 разів на рік [2].

І все ж таки треба усвідомлювати, що навіть сучасні СКА вагою 5,5 кГ можуть накопичувати у собі стільки енергії, скільки її отримується з чарки бензину, а енергетичним еквівалентом 40 л бензину (середня ємність бака легкової машини) є СКА вагою 4,5 Т.

Багато експертів вважають, що найкращим варіантом для живлення електромобілей на сьогодні є *літій-іонний акумулятор*. Даний тип акумуляторів використовується в електромобілях, що випускає *компанія «Tesla Motors»*. Однією із складових успіху цього продукту компанії є літій-іонні батареї, що мають 16 блоків паралельного з'єднання, огорожених пластинами

із металу і пластиковим захистом від води. Схему розташування елементів і принцип їх роботи держать в секреті.

Найпотужніший із подібних акумуляторів має вагу 540 кг при габаритах 210см×150см×15 см. Гарантія, яку дає виробник, досить значна – до 8 років.

Взагалі сімейство літєвих АБ з їхніми високими питомими характеристиками є одними з найбільш перспективних видів джерел енергії. Проте теперішнього часу їх собівартість залишається достатньо високою [3].

Перші АБ, в конструкції яких використовувався літєвий анод, з'явилися ще в 70-х роках 20 століття. Завдяки великій питомій енергії на одиницю маси, вони швидко знайшли застосування, здійснивши давнє прагнення до створення потужного хімічного джерела струму. Саме використання літію дозволило різко збільшити робочу напругу елемента живлення і збільшити в кілька разів ємність акумуляторів. Однак у літію є істотний недолік – дуже велика хімічна активність, що в деяких режимах заряду і розряду призводило до перегріву і навіть вибухів елементів живлення.

Через подібну нестабільність, будову акумуляторів вдосконалили: вирішили використовувати не сам літій, а його іони, що, хоч і знижувало енергетичну щільність, але разом з тим робило акумулятори безпечними за умови правильної експлуатації. Крім того, дослідники постійно експериментували з різними матеріалами для аноду, які дозволили б продовжити термін експлуатації пристрою.

Найпоширенішими з групи літєвих акумуляторів, в наш час є літій-іонні (Li-ion) акумулятори. Сучасні *Li-ion*-акумулятори мають високі питомі характеристики: 250-400 Вт·год/л і 100-200 Вт·год/кг, внутрішній опір від 150 до 250 мОм і робочу напругу (3.3-3.7)В. Ємність літій-іонних акумуляторів може становити сотні ампер-годин, а діапазон робочих температур від -20 до +60 градусів Цельсія, причому існують моделі, здатні працювати навіть при -40 градусах [1].

Недоліком цього типу акумуляторів є низька стійкість до перезаряду. При значному перезаряді виникає загроза теплового саморозігріву, підвищення тиску, розгерметизації і як наслідок – виходу з ладу. Для запобігання руйнуванню акумуляторів від неправильної експлуатації в більшості батарей є пристрої захисту, що перешкоджають перевищенню заряду вище порогового значення. Саме даний тип акумуляторів використовується в електромобілях *Tesla Model S, Nissan Leaf та Chevy Bolt*. В даних транспортних засобах акумулятори мають механічний вимикач, що спрацьовує при збільшенні внутрішньокорпусного тиску.

Слід приділити увагу і *літій-залізо-фосфатному акумулятору*, який в якості катода використовує сплав LiFePO₄. Цей матеріал був створений в 1996 році. Він має меншу токсичність і більшу стійкістю до коливань температури навколишнього середовища, однак дещо меншу ємність. Енергетична щільність такої батареї становить 90-130 Вт·год/кг а напруга від 2 до 3.65В. Самовільний розряд знаходиться в межах від 5 до 10% на місяць, а число циклів заряду/розряду до зменшення ємності на 20% становить від 2000 до 3000. Через свою довговічність даний тип акумуляторів застосовується в

електровелосипедах ТМ «Volta bikes». Масове впровадження даного типу акумуляторів в електротранспорт стримує їх висока ціна (1000-3000 доларів за 1 кВт) та невисока енергетична щільність [4].

Технології хімічних джерел живлення стрімко розвиваються. Вже розроблено сірчано-натрієві та хлорно-літієві акумулятори з питомою ємністю у 10-12 разів більшою ніж у СКА.

Сірчано-натрієвий елемент дешевий, його основні матеріали не є дефіцитними, під час роботи з нього не виділяються гази, але сіра і натрій вогненебезпечні, потребують попереднього розігріву, легко роз'їдають герметичну оболонку. До того ж натрій активно поєднується з водою, а сіра при контакті з повітрям створює отруйний сірчаний газ. Отже, не зважаючи на герметичність, такий акумулятор потребує великої обережності при використанні.

Ще вищу питому енергоємність має та **хлорно-літієвий акумулятор**, але у нього серйозним недоліком є отруйність хлору.

На сьогодні дуже перспективним напрямком в сфері автономних джерел живлення є **суперконденсатори**. Перші роботи по їх дослідженню проводилися в середині 19 століття німецьким фізиком Гемгольцем. Тоді ж ним було теоретично описано будову подвійного електричного шару на поверхні електродів і передбачено використання даного явища в пристроях для запасання енергії.

Перші практичні результати наукових робіт, пов'язаних із застосуванням суперконденсаторів відносяться до середини 20 століття. З іншого боку, розробку нових типів конденсаторів стимулювала потреба промисловості в потужних джерелах струму, що швидко заряджаються та мають великий ресурс.

Роботи по поліпшенню властивостей електрохімічних конденсаторів привели до появи в кінці 20 століття суперконденсаторів з ємністю до 10 Вт·ч/кг, що дозволило використовувати їх для потреб гібридного та електротранспорту.

Наразі суперконденсатори для потреб електротранспорту виготовляються багатьма провідними електротехнічними фірмами, такими як **Epcos, Maxwell Technologies, NessCap, Panasonic** та інші.

Перевагами суперконденсаторів є найбільша щільність потужності з усіх різновидів акумуляторів. Крім того вони є дуже довговічними (понад 10 років і 1000000 циклів заряду / розряду) та не потребують обслуговування, оскільки є герметичними. Крім того вони здатні працювати при низьких температурах без істотного зниження характеристик. Проте суперконденсаторам властивий відносно високий показник саморозряду (до 10% в місяць) [3].

Так як більшість суперконденсаторів побудовані на основі активованого вугілля, гідроксиду нікелю і нікелевих або свинцевих електродів, то вони є відносно безпечними до навколишнього середовища, адже технологія утилізації перелічених матеріалів вже давно відома та відпрацьована в промисловості.

Незважаючи на перелічені переваги, активне впровадження суперконденсаторів в автомобільну промисловість стримує їх висока вартість

(до 10 доларів за кілоджоуль накопиченої енергії) та велике падіння напруги при розряді. Крім того, суперконденсатори досить важкі і, як результат, мають низьке відношення маси до накопиченої енергії (приблизно 5-6Вт·год/кг).

В сучасній промисловості суперконденсатори зазвичай застосовуються для швидкого акумулювання енергії при рекуперативному гальмуванні та генеруванні великої потужності при розгоні автомобіля.

Перспективним напрямком майбутнього електромобілебудування є розробка *воднево-кисневих паливних елементів*, які використовують у якості палива зріджений водень. Єдиним вихлопом такого електрохімічного генератора є вода. Поки характеристики паливних елементів знаходяться на рівні літій-іонних акумуляторів, але теоретично їх можна підвищити у 5 разів. Спеціалісти прогнозують значний прогрес у виробництві таких джерел у найближчі 5 років.

Висновки

1) На сьогодні в електромобілях найбільш широко використовують літій-іонні акумулятори завдяки їх високим питомим характеристикам, ємності та широкому діапазону робочих температур. У міру підвищення попиту на дані тип АБ та розробці способів здешевлення виробництва, ціна їх може дещо знизиться і стати більш доступною для використання в електротранспорті.

2) Конкуренцію літій-іонним акумуляторам можуть скласти суперконденсатори після розробки комплексу мір, що сприятимуть зменшенню їхньої ціни, ваги та показника саморозряду.

3) З огляду на темпи технічного прогресу в електрохімічній області, можна припустити, що майбутнє – за іон-літійовими акумуляторами та суперконденсаторами.

4) Ще більш далекою перспективою є використання водно-кисневих паливних елементів.

Перелік посилань

1. [Развитие электрического транспорта в мире](http://www.electric-machines.ru/component/content/article/38-2010-11-17-15-38-41/115-2011-02-21-10-26-34.html) // Ел. ресурс - Режим доступу: <http://www.electric-machines.ru/component/content/article/38-2010-11-17-15-38-41/115-2011-02-21-10-26-34.html>.

2. Петров В.М. Электрооборудование, электронные системы и бортовая диагностика автомобилей/ В.М. Петров, И.Ф.Дьяков: Уч. пос. – Ульяновск: УлГТУ. – 2005, 115 с.

3. Бут Д.А. Накопители энергии Текст. / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин [и др.]; под ред. Д.А. Бута. – М.: Энероатомиздат. – 1991, 400 с.

4. Лаврус В.С. Батарейки и аккумуляторы. К.: Наука и техника. – 1995, 48 с.

ООО НПП «Энергия». Кислотные аккумуляторные батареи // Ел. ресурс - Режим доступу: [http:// www.energiya.dn.ua/ml.html](http://www.energiya.dn.ua/ml.html).