

Нечаус Андрій Олександрович, к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, nechaus@ukr.net, 067-777-0224
Попов Ілля Андрійович, студент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, iliap5229@gmail.com, 098-491-3206

ДО ПИТАННЯ РОЗРОБКИ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ЗАРЯДНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В СИСТЕМАХ V2G ТА G2V

Одним з напрямів вирішення сучасних проблем екології у світовому масштабі став свідомий розвиток та впровадження у світову транспортну систему транспортних засобів, які використовують для руху електричну енергію, зокрема легкових електромобілів. Зважаючи на суттєве зростання попиту і, як наслідок, збільшення кількості електромобілів у світі, вдосконалення технологій виробництва, збільшення потужності та ємності, здешевлення акумуляторних батарей, на теперішній час кількість електричної енергії, яку здатні запасати електромобілі, становить значну величину. Оскільки на протязі добового циклу експлуатації електромобіль використовує не всю енергію, спожиту з електричної мережі при заряді акумуляторної батареї, враховуючи обмеженість ходу і, як наслідок, прагнення мати певний запас, у години простою електромобіля існує можливість повернення певної кількості енергії назад в електричну мережу. Якщо повернення відбувається в години пікового навантаження системи електропостачання, вартість електроенергії вища, ніж у години низького навантаження, коли більш вигідно проводити заряд. Такі міркування полягли в основу концепцій V2G (Vehicle to Grid) та G2V (Grid to Vehicle), які впроваджуються останніми роками у США, Великій Британії та Японії [1, 2].

Впровадження згаданих концепцій передбачає модернізацію інфраструктури, яка забезпечує функціонування електромобілів [3], зокрема збільшення кількості точок приєднання електромобілів до муніципальної мережі, а також заміну традиційних зарядних пристроїв, які здійснюють одностороннє перетворення енергії мережі в енергію заряду акумуляторів електромобілів, на зарядні пристрої, які мають змогу здійснювати двостороннє перетворення. Вітчизняними науковцями, зокрема у роботах [4, 5], запропоновано ряд технічних рішень щодо побудови двонаправлених зарядних перетворювачів електромобілів, але, на наш погляд, існують додаткові питання, які також потребують врахування та розв'язання.

Зокрема, важливими питанням, які слід враховувати при розробці систем керування двонаправлених зарядних перетворювачів, можна вважати процеси синхронізації перетворювача з мережею та розподілу навантажень між мережею та перетворювачем.

Процес синхронізації полягає у підлаштуванні параметрів джерел живлення до моменту їх вмикання на паралельну роботу. Враховуючи, що двонаправлений зарядний перетворювач в режимі перетворення енергії акумуляторної батареї в електричну енергію з параметрами промислової

мережі, по-суті, являє собою автономний трифазний інвертор, умови точної синхронізації традиційно формуються наступним чином (рис. 1, а):

- 1) порядок чергування фаз однаковий;
- 2) напруги інвертора та мережі за величиною однакові ($U_i = U_M$);
- 3) кутові частоти напруг інвертора та мережі однакові ($\omega_i = \omega_M$);
- 4) у момент вмикання фазовий зсув між напругами інвертора та мережі рівний нулю ($\theta = 0$).

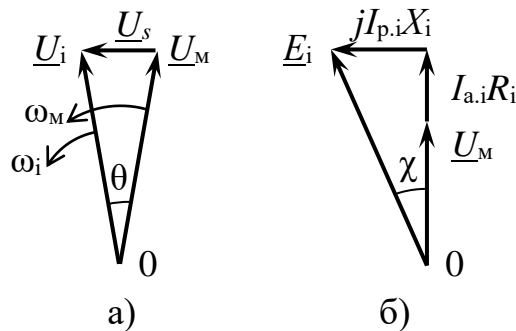


Рисунок 1 – Векторні діаграми процесів вмикання на паралельну роботу та паралельної роботи інвертора та мережі

На рис. 1, а подано векторну діаграму для однієї з одноіменних фаз інвертора та мережі. Порушення хоча б однієї з умов 2 – 4, які наведено вище, призводить до виникнення, так званої, напруги биття \underline{U}_s , яка визначається різницею комплексних напруг інвертора \underline{U}_i та мережі \underline{U}_M . Оскільки амплітудне значення напруги биття дорівнює сумі амплітудних значень напруг інвертора та мережі $U_{ms} = U_{mi} + U_{mM}$, величина цієї напруги може мати небезпечне значення, як для електричного обладнання електромобіля та зарядного пристрою, так і для користувача ними. В такому разі, в алгоритмі роботи системи керування двонаправленого зарядного пристрою слід передбачити відстеження параметрів напруги інвертора та мережі, та видачу відповідних керуючих імпульсів блоку транзисторів для корегування параметрів напруги \underline{U}_i , а також сигналу на вмикання комутуючого пристрою підключення інвертора до мережі з врахування його інерційності (кут θ).

Віддача енергії при паралельній роботі від інвертора в мережу можлива за відмінності електрорушійної сили інвертора від напруги мережі (рис. 1, б). На рис. 1, б показано \underline{E}_i – електрорушійну силу інвертора, яка компенсується спадами напруги на внутрішніх активному (R_i) та реактивному (X_i) опорах інвертора при протіканні струму інвертора \underline{I}_i , який можна подати у вигляді його активної ($I_{a,i}$) та реактивної ($I_{p,i}$) складових. Кут χ – кут випередження електрорушійної сили інвертора \underline{E}_i напруги мережі \underline{U}_i . Виходячи з викладеного, можна сказати про необхідність врахування у алгоритмі роботи системи керування двонаправленого зарядного пристрою можливостей зміни

електрорушійної сили інвертора за величиною, що забезпечить величину потужності інвертора при роботі на загальну мережу. Керування за кутом випередження χ забезпечить можливість зміни співвідношення активної та реактивної енергії, яка віддається в мережу, тобто двонаправлений зарядний пристрій може працювати у режимі компенсатора реактивної потужності.

Питання відносно регулювання та узгодження напруг у пристроях [4, 5] вирішені по різному, зокрема у [4] запропоновано використання імпульсного перетворювача напруги, а у [5] застосовано високочастотний проміжний трансформатор. На нашу думку більш доцільним є використання саме проміжного трансформатора, оскільки він здатен забезпечити більш широкий діапазон зміни напруги в обох напрямках, порівняно з імпульсним перетворювачем. В даному контексті актуальним є питання вибору способу регулювання напруги трансформатора: зміною кількості витків, перерозподілом магнітного потоку, зміною величини додаткової електрорушійної сили, зміною кута зсуву фаз між додатковою та основною електрорушійними силами обмотки трансформатора. Стосовно перетворювачів, які розглядаються, доцільним бачиться застосування трансформатора з транзисторним перемиканням кількості витків. Плавність регулювання напруги в такому випадку досягається за рахунок погіршення форми кривої вихідної напруги трансформатора, що вимагає врахування цього при визначенні режимів роботи ключової схеми інвертора.

Перелік означених питань можна вважати перспективними напрямками розробки та вдосконалення двонаправлених зарядних пристроїв електромобілів в системах V2G та G2V, що підлягають вирішенню як проектними та науково-дослідними підрозділами, так і в ході навчального проектування студентів в процесі навчання.

Література

1. White C. D., Zhang K. M. Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction. *J. Power Sources*. 2011. № 196. P. 3972–3980. DOI:10.1016/j.jpowsour.2010.11.010. 4. Zhou Y., Li X. Vehicle to Grid Technology: A Review. 34th Chinese Control Conference. 2015. P. 9031–9036 DOI:10.1109/chicc.2015.7261068.

2. Weise N. D., Mohapatra K. K., Mohan N. Universal utility interface for plug-in hybrid electric vehicles with vehicle-to grid functionality. 2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting. P. 1 – 8. DOI:10.1109/PES.2010.5589710.

3. Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., & Улянець, О. А. (2016). Екологічний та енергоефективний атомобільний транспорт та його інфраструктура. *Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки"*, 2(77), с. 18 – 27. [https://doi.org/10.26642/tn-2016-2\(77\)-18-27](https://doi.org/10.26642/tn-2016-2(77)-18-27).

4. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Западинчук О.П., Мартинов В.В. Особливості побудови двонапрямлених зарядних перетворювачів для реалізації концепції двостороннього енергетичного обміну «vehicle – to – grid» у разі

підключення електромобільного транспорту до електричної мережі загального призначення. Технічна електродинаміка, № 5: с. 19 – 25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.05.019>.

5. Вербицький Є. В., Гарницький А. В. Модульний зарядний пристрій акумулятора електромобіля з двостороннім передаванням енергії. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 4 (6). С. 22-27. DOI:10.20998/2413-4295.2020.04.03.

Пивоварова Юлія Володимирівна, магістрант, Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба; інститут цивільної авіації
Тарасова Валентина Всеволодівна, кандидат технічних наук, доцент,
Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, інститут цивільної авіації, val.vs.tarasova@gmail.com

АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОПОРНОЇ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ

Тягові підстанції (ТП) є одним з важливих пристроїв системи тягового електропостачання (СТЕ), тобто сукупності пристроїв, які використовуються для підведення електричної енергії до електрорухомого складу. Тягова підстанція виконує ключову задачу перетворення електроенергії з метою її подачі в контактну мережу для живлення електротранспорту наземного і підземного. Це окремий напрям техніки, головна функція якої полягає в зниженні значення напруги, а при необхідності і в випрямленні струму, якщо передбачається експлуатація установки, що працює на постійному струмі. Крім того, від тягової підстанції отримують живлення не тягові споживачі залізниці, а також деякі районні не залізничні споживачі.

Опорні тягові підстанції служать для розподілу електроенергії, що поступає від електричної системи; від їх шин 110-220 кВ відходять лінії електропередачі (не менше трьох).

Матеріально-технічна база тягової підстанції складається з устаткування розподільних пристроїв: ВРП-110; -35 кВ; ЗРУ-10 кВ, а також ЗРУ-3,3 кВ (на тягових підстанціях постійного струму або РУ-27,5 кВ змінного струму).

Електрична тяга відноситься до споживачів першої категорії. Тому основною вимогою до тягових підстанцій є забезпечення надійної роботи устаткування й безперебійного електропостачання електрорухомого складу. Із цієї вимоги виходять при проектуванні тягових підстанцій і ним керуються під час монтажу й експлуатації. Надійність роботи тягових підстанцій і безперебійність електропостачання тягових споживачів забезпечуються правильним вибором схеми живлення від електропостачальної системи, типу й потужності перетворювальних агрегатів, схеми й апаратури розподільчих пристроїв, системи резервування, системи захисту від можливих порушень нормального режиму, системи керування.