

С.П. ДЕНИСЮК (ІЕЕ КП), Д.С. ГОРЕНКО (ІЕЕ КП), П.В. СОКОЛОВСЬКИЙ (ІЕЕ КП),
О.В. СТЕПОВИЙ (ІЕЕ КП)

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», вул. Борщагівська 115, Київ, Україна, 03056, тел.: 0938315500, ел. пошта: spdens@ukr.net, gorenko.darya@yandex.ua, sokolovskyi.pavlo@ukr.net, stepovoyas@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-6299-3680, orcid.org/0000-0002-7879-780, orcid.org/0000-0002-0113-4479, orcid.org/0000-0002-7151-0900.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА НОМІНАЛЬНІЙ НАПРУЗІ 20 КВ У РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Вступ

Провідні країни ще в другій половині ХХ ст. здійснили перехід на клас напруги 20 кВ, в той час як міста України основна увага приділяється розподільним мережам середнього і низького рівня напруги, для яких основні технологічні та технічні рішення були спроектовані в середині ХХ ст. Сьогодні стало неефективним та неконкурентоспроможним розвивати інфраструктуру мереж (6-10 кВ), у зв'язку з низькою ефективністю та збільшенням попиту на електроенергію у великих містах. Це обумовлено складною архітектурною топологією будівель і споруд, що зумовлює необхідність пошуку нових рішень в розвитку енергозабезпечення [1].

Для функціонування віртуальних електричних станцій (Virtual Power Plant – VPP) до складу яких можуть входити Microgrid необхідна «розумна» інфраструктура на етапах генерації, передачі, трансформації та кінцевого споживання електричної енергії, яка б гарантувала збереження надійності та поділу на категорії електрозабезпечення споживачів. При цьому необхідно розглянути різну варіативність організації роботи мереж на класі напруги 20 кВ з точки зору підключення до них VPP [2].

Концепція локальних електричних систем Microgrid набирає все більшої популярності на ринку електроенергетики, однак доцільно дослідити особливості адаптування роботи вітчизняних систем електропостачання як з точки зору таких систем і варіативність організації роботи мереж на класі напруги 20 кВ, так і з точки зору підключення до них віртуальних електричних систем. Існуюче обладнання в розподільних мережах не дозволяє використовувати моделі згідно концепції Smart Grid (Microgrid), локальних мереж та VPP, за рахунок морально і фізично застарі-

лого обладнання, яке не дозволяє використовувати «хмарні» віддалені системи контролю за станом обладнання та управління автоматикою, які вже використовують розвинені країни (США, Німеччина, Франція, Австрія, Італія, Фінляндія)[3, 4].

Концепція локальних електричних систем VPP та Microgrid набирає все більшої популярності на ринку електроенергетики, проте доцільно дослідити особливості адаптування роботи вітчизняного електропостачання щодо переходу до таких систем.

Мета

Аналіз можливості впровадження технологій Smart Grid для підвищення рівня надійності, гнучкості та контрольованості електричних мереж, за рахунок змін структури розподільних мереж 110 – 35 – 10(6) – 0,4 кВ на системи 110 – 20 – 0,4 кВ.

Результати

Система електрозабезпечення відповідальних споживачів, зокрема об'єктів Укрзалізниці характеризується проблемами, які виникають з живленням на постійному та змінному струмі та тісно пов'язана з розосередженістю джерел живлення на різних територіях протяжності ліній. Режими роботи мережі обумовлені нерівномірністю створених навантажень і роботи рухомого складу залізниць [5].

На українських залізницях застосовуються дві системи тягового електропостачання (СТЕ) постійного та змінного струму. На вітчизняних магістралях склалась тенденція просування STE змінного струму через її переваги, проте вона має низку суттєвих недоліків. До основних та найбільш проблематичних можна віднести такі як: несиметричне навантаження фаз трансформаторів та небез-

печний електромагнітний вплив на суміжні пристрої і прилеглі ділянки [6].

Важливим є дослідження для рекупераційних режимів, несиметрії, проблем електромагнітної сумісності пов'язаних з вищими гармоніками струмів та напруг проводяться з точки зору обмінних процесів [8 – 9].

Виникає необхідність розроблення оптимізаційних задач для електроенергетичних систем різного ієрархічного рівня [5].

Так, для систем з несинусоїдальними сигналами, поряд з реактивною потужністю Фризе Q_F (міра квадратичної нев'язки між повною та активною потужностями), використовують реактивну потужність Кваде (реактивна потужність визначається як квадратична нев'язка між реактивною потужністю Фризе та основною гармонічною складовою реактивної потужності), що є нев'язкою між неактивною потужністю Фризе та першою гармонічною складовою реактивної потужності [5,7]: $Q_{KB} = \sqrt{Q_F^2 - Q_1^2}$, де Q_1 – реактивна потужність першої гармоніки.

Прикладом реактивної потужності, визначеної за допомогою обмінних процесів, є реактивна потужність на основі визначення обмінної потужності Q_{OB} за умови постійної інтенсивності перетворення електроенергії в інші види протягом періоду T [7].

З виразу обмінної потужності можна отримати.

$$Q_{OB} = U_{m(1)} I_{m(1)} \cdot \left(\int_{\frac{T}{2}}^{\frac{T}{3}} \sin \omega t \sin \left(\frac{3\omega t}{2} \right) dt + \int_{\frac{T}{2}}^{\frac{2T}{3}} \sin \omega t \sin \left(\frac{3\omega t}{2} \right) dt \right) \approx 0,221 U_{m(1)} I_{m(1)}.$$

Реактивна потужність Q дорівнює $Q = \pi Q_{OB} \approx 0,692 U_{m(1)} I_{m(1)}$.

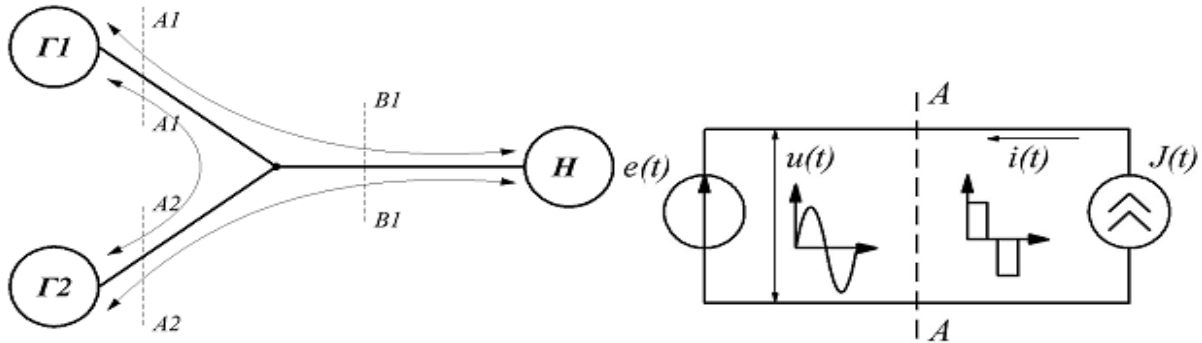


Рис. 1. Взаємний вплив різнотипних генераторів та вплив зовнішніх завад на них

Для визначення реактивної обмінної потужності можна використати розкладання струму $i(t)$ на дві складові: активну $i_a(t)$ та реактивну $i_p(t)$. Тоді з врахуванням виразів $i_a(t) = u(t)P/U_D^2$, $i_p(t) = i(t) - i_a(t)$ обмінна реактивна потужність визначається таким чином:

$$Q_{OB,p} = \frac{1}{2T} \int_0^{t^+} |u(t) i_p(t)| dt. \quad (1)$$

При роботі автономних систем електроживлення як в острівному режимі, так і паралельно з мережею виникає низка проблем, а саме:

- взаємний вплив різнотипних генераторів та їх вплив на навантаження як на лінійне та нелінійне представлено на рис. 1,а;
- вплив зовнішніх завад різного характеру, форми та тривалості на генератор електроенергії, варіант якого показано на рис. 1,б;
- вплив різних гармонічних складових частоти сигналів та різних завад на обмінні процеси наведено на рис. 2,а;
- можливість виявлення рекуперації електроенергії в мережу залежно від періоду показано на рис. 2,б.

З рис. 2,б видно, що на певних інтервалах потужність, яка проходить через контур, додатна, а в інші інтервали – від'ємна. Саме знак обмінної потужності визначає режим споживання чи генерації (рекуперації) з боку навантаження сигналів. У випадку несинусоїдальних сигналів існує можливість виявляти та компенсувати завади, що здійснюють шкідливий вплив на генератор як з боку навантаження, так і з боку інших генераторів системи. Такі процеси проаналізовані в однофазних мережах і не викликають питань. Проте при аналізі трифазних мереж такої однозначності немає, і це потребує більш поглибленого аналізу.

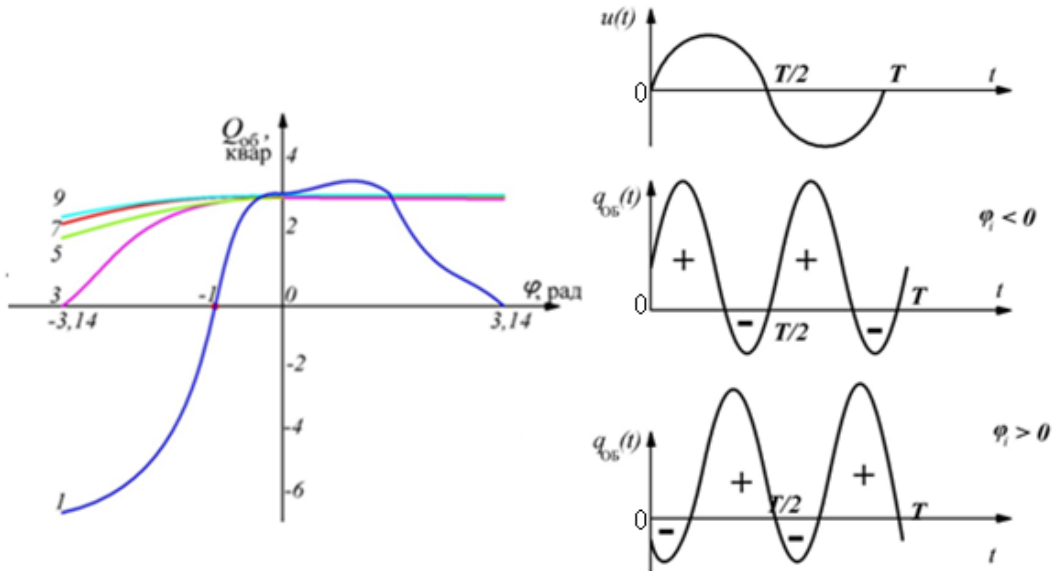


Рис. 2. Обмінні потужності залежно від рівня гармонічних складових та рекуперації

Обмінні процеси в однофазних системах розглянуто з різних боків, визначено фактори, які впливають на обмінну потужність, зумовлюючи її наявність або рівність нулю. Проаналізовано вплив різнотипних сигналів та вищих гармонічних складових на однофазні системи з урахуванням обмінних процесів.

Для більш наочного представлення особливостей оцінки обмінних процесів проведемо аналітичний розрахунок та побудуємо графік зміни відхилення ΔQ_{OB} від параметрів навантаження у відносних одиницях згідно співвідношення:

$$\Delta Q_{OB} = (\sum Q_{OB} - Q_{OB\Sigma}) / \sum Q_{OB}$$

Відповідно до розрахункових даних побудуємо графічну залежність відхилення обмінної потужності ΔQ_{OB} від навантаження (рис. 3). Крива 1 відображає залежність величини ΔQ_{OB} при зміні активної складової активно-індуктивного навантаження, а крива 2 – залежність величини ΔQ_{OB} при зміні індуктивної складової активно-індуктивного навантаження.

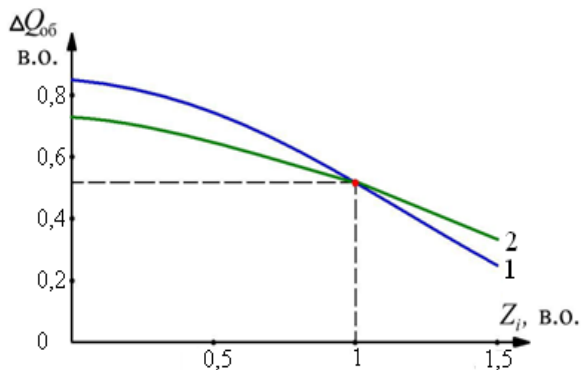


Рис. 3. Відхилення обмінної потужності при аналізі трифазних мереж

Важливо проаналізувати особливості переходу на номінал напруги промислових об'єктів рекомендовано використовувати рівень напруг, на яких енергосистема має вільну потужність, якщо це дозволяє уникнути додаткових етапів трансформації. Напруга 110 кВ є ефективним рішенням, як з економічних, так і з монтажних, експлуатаційних, архітектурно-планувальних і природо-захисних

міркувань, але напругу 20 кВ, як і напругу 35 і 10 кВ недоцільно застосовувати в якості основної напруги для перших ступенів електропостачання потужніших підприємств. Тут виникає потреба в більш високих напругах [7] – як прикладу на рис. 5 зображено частину мережі 20 кВ з трансформаторною підстанцією 110/20 кВ у місті Гельсінкі.

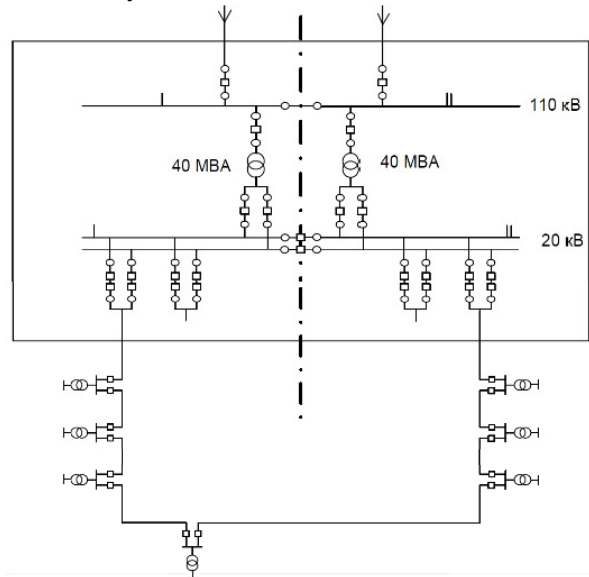


Рис. 4. Схема трансформаторної підстанції 110/20 кВ

Зниження нижньої межі потужності трансформаторів, що випускаються напругою 110 кВ до 2,5 МВА, а також розширення використання трансформаторів 110 кВ для електротермічних установок обмежує подальше використання напруги 35 кВ. При незначній різниці згідно приведених затрат, в межах 10 – 20%, перевагу при виборі слід надавати більш високій напрузі.

На основі проведених розрахунків проведено порівняльний аналіз втрат в мережах на різних значеннях напруг (6, 10, 20 кВ) [8]. Визначено, що розподільне обладнання 20 кВ і 6-10 кВ відносяться до одного класу мереж, але за рахунок зниження рівня струмів короткого замикання можливе послаблення вимог до апаратів релейного захисту та автоматики.

Проаналізовано переваги використання напруги 20 кВ на II та III рівнях:

- у порівнянні з класом напруг 35 кВ, мережі 20 кВ мають простіший з технічної точки зору склад мережі та дешевих апаратів релейного захисту і автоматики;
- у порівнянні з напругою 10 кВ, мережа 20 кВ характеризується значно нижчим рівнем втрат електричної енергії в елементах системи електропостачання і струмів КЗ в мережах;
- усунення проміжних етапів перетворення напруги (35, 10, 6 кВ), дозволить зменшити загальну протяжність ЛЕП та зменшити втрати в мережі 0,4 кВ (які станом на 2016 рік складають 70% втрат в національній енергосистемі), шляхом використання щоглових КТП 20/0,4 кВ [1];
- виходячи з умови того, якщо площа поперечного перерізу проводів однакова $F_6 = F_{10} = F_{20}$, то збільшення пропускної здатності ЛЕП напругою 20 кВ в порівнянні з мережею 10 кВ збільшується в 2 рази, а в порівнянні з мережею 6 кВ в 3 рази;
- покращення якості напруги, за рахунок зменшення падіння напруги та втрат потужності в лініях на 75%, за умови, якщо навантаження в мережах 10 кВ і 20 кВ однакові; покращення показників SAIDI та SAIFI[9];
- перспективність для підключення джерел розподіленої генерації та можливість побудови розумної мережі Smart Grid;
- цілодобовий моніторинг стану мережі та зниження затрат на обслуговування електромереж за рахунок модернізації обладнання.

Напруга 10 кВ є більш економічною в порівнянні з напругою 6 кВ. Напругу 6 кВ можна застосовувати тільки в тих випадках, коли на підприємстві переважають приймачі з номінальною напругою 6 кВ чи коли значна частина

навантаження підприємства живиться від заводської ТЕЦ, де встановлені генератори напругою 6 кВ. Тому необхідно в першу чергу виконати план, щодо переведення розподільних мереж зі значення 6 кВ, на напругу 20 кВ [12].

Визначено проблеми переведення розподільних мереж з номінальної напруги 6 – 10 кВ на напругу 20 кВ:

- відсутність широкої лінійки електрообладнання на номінал напруги 20 кВ;
- відсутність досконалої нормативно-правової бази використання в ОЕС України напруги 20 кВ, як одного з ключових аспектів переходу до моделей ВЕС;
- відсутність партнерської програми з країнами, які вже використовують технологію використання напруги 20 кВ;
- відсутність проекту сценарного типу, який враховував би особливості переведення частин мереж з напруги 6 (10) кВ на напругу 20 кВ з паралельною роботою основної кількості цих мереж.

Несиметричність та несинусоїдальність безпосередньо викликають збільшення втрат активної потужності, скорочення терміну служби обладнання, порушення технологічних роботи, додатковий нагрів устаткування від впливу вищих гармонічних складових. Виникнення вищих гармонічних складових на залізничному транспорті зумовлені роботою трансформаторів, випрямлячів, інверторів та несиметричністю напруги живлення.

Наявний стан обладнання, виробіток ресурсу вимагає застосування нової схемотехніки тягових мереж, перетворювальної техніки, обладнання для підсилення тягових мереж, що подолають проблеми недостатнього рівня напруги і питомої потужності в тяговій мережі.

Важливим завданням є дотримання напруги в заданих межах, так як рівень напруги загалом визначає енергетичні показники функціонування енергосистеми. Під час передачі потужності додаються несинусоїдальність, несиметрія та нерівномірність навантаження.

Регулювання напруги в тягових мережах здійснюється за допомогою технічних засобів [5]:

- повздожня компенсація, яка компенсує опір в тяговій мережі внаслідок чого зменшуються втрати напруги;
- поперечна компенсація виконує компенсацію реактивної потужності від навантаження таким чином зменшуючи втрати потужності в мережі
- симетрування навантажень і напруг.

Такі недоліки стали причиною для постійних модернізацій системи постачання на змінному струмі та пристроїв для їх усунення і захисту від них. В умовах необхідності дотримання якості електропостачання є актуальним питанням перехід системи тягового електропостачання виключно на постійний струм, що дозволить позбутися основних недоліків від використання змінного струму, а також дасть можливість використовувати рекуперативне гальмування. Рекуперация електроенергії – дозволяє повернути частку спожитої електроенергії на-

зад у мережу або на суміжні Microgrid від електрорухомого складу (ЕРС).

На рис. 5 зображено структурну схему обмінних процесів, що представляє напрями потужностей і негативних впливів внаслідок погіршення якості електроенергії. Складові схеми показують основні ланки, що беруть участь у обміні енергією та їх можливий вплив на суміжні елементи як в середині системи електропостачання залізничного транспорту так і до системи зовнішнього електропостачання.

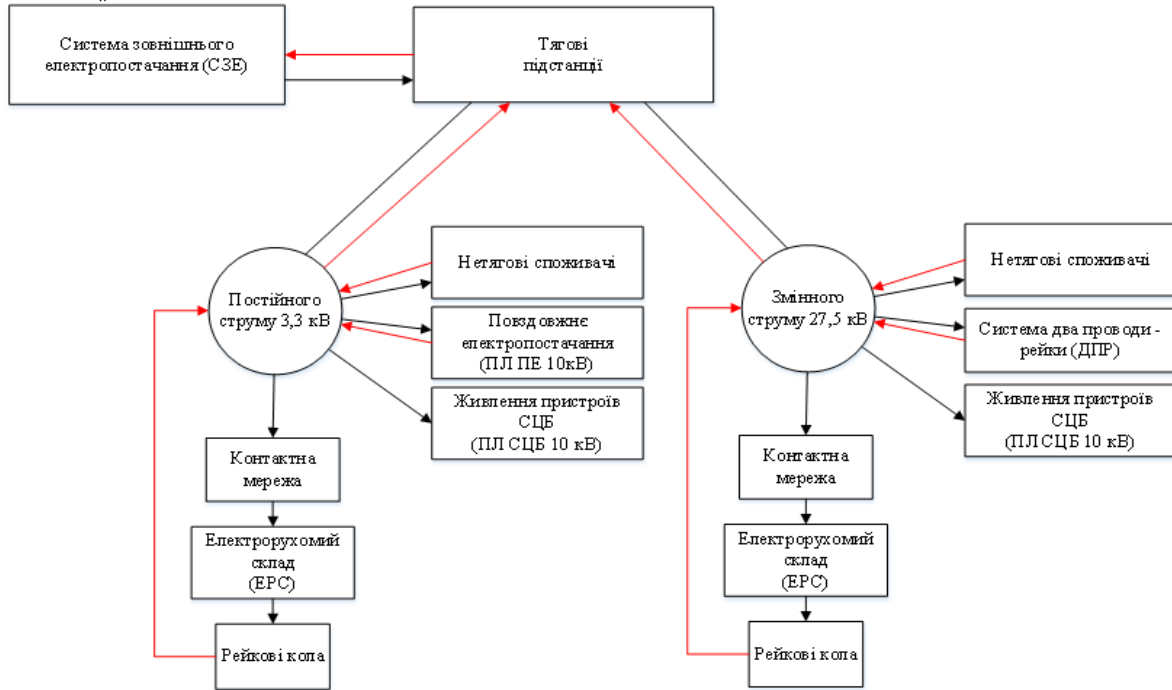


Рис. 5. Структурна схема обмінних процесів

Система зовнішнього електропостачання впливає на якість електропостачання шляхом передачі потужності до тягових підстанцій по лініям електропередачі, від яких також отримують живлення інші різноманітні навантаження (СЗЕ виступає генеруючим елементом по відношенню до системи електропостачання залізниці). Потужність, що надходить від системи до вводів тягової підстанції, впливає на обладнання і на енергетичні показники.

Наслідком чого є негативний вплив на устаткування і його режими роботи.

Зі сторони системи зовнішнього електропостачання безпосередньо на рівень напруги на шинах високої сторони тягових підстанцій впливають такі чинники як:

- габарити та параметри ліній електропередачі;
- характер навантажень, які приєднанні до однієї лінії електропередач разом з тяговими підстанціями;

– потужність енергосистеми, яка живить тягові підстанції.

Елементи системи тягового електропостачання генерують реактивну потужність та власні завади, внаслідок чого спотворюють енергетичні показники, які впливають на роботу всіх суміжних пристроїв.

Важливо усунути цей негативний вплив, так як від однієї лінії чи до однієї шини підстанції можуть бути підключені інші споживачі, які є особливо чутливими до якості електроенергії. Частина негативного впливу позбуваються шляхом використання технічних засобів для дотримання необхідного рівня напруги, зменшення активних втрат потужності та організаційні заходи.

Внаслідок чого залишається певна частка енергії, яка шляхом обмінних процесів впливає на споживачі, що отримують живлення від тягових підстанцій залізниць або від ліній ПЕ/ДПР.

Висновки

Переведення мереж на напругу 20 кВ особливо актуально проводити в містах з високою густиною електричних навантажень [13, 14], а також потребують наявності у центрах живлення 110 кВ резервів потужності на рівні 20 кВ. Мультиагентне або оптимальне керування необхідно з одного боку для модернізування електричних мереж, шляхом перегляду можливості переведення мереж на напругу 20 кВ, а з іншого боку для оптимального керування додатковою генерацією електричної енергії.

Використання цієї технології необхідно ретельніше дослідити, у вигляді пілотних проєктів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Циганенко Б.В. Перспективи переведення розподільних мереж України на номінальну напругу 20 кВ / Наукові праці ВНТУ. – 2016 – № 1. – С. 1 – 4.
2. Кириленко О.В. Сучасні тенденції побудови та керування режимами електроенергетичних мереж / О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 9. – Спец. вып. Т.2: Силовая электроника и энергоэффективность. – С. 82-94.
3. Borscevskis O. 20kV Voltage Adaptation Problems in Urban Electrical Networks [Електронний ресурс]. URL: <http://egdk.ttu.ee> (дата звернення 05.12.2016).
4. Асташев Д.С. Применение напряжения 20 кВ для распределительных электрических сетей России / Д.С. Асташев, Р.Ш. Бедретдинов, Д.А. Кисель, Е.Н. Соснина // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 4. – С. 6 – 9.
5. Саблін О.І. Оптимізація режимів тягового електроспоживання та рекуперації енергії в системах електричного транспорту / О.І. Саблін / Науковий журнал «Електрифікація транспорту» 2016. – № 11. – С. 53 – 60.
6. Ягуп В.Г. Компенсация реактивной мощности в тяговой системе переменного тока / В.Г. Ягуп, Е.В. Ягуп / Науковий журнал «Електрифікація транспорту» 2014. – № 6 – С. 60 – 66.
7. Денисюк С.П. Аналіз проблем впровадження віртуальних електростанцій / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 2. – С. 25 – 33.
8. Денисюк С. П. Аналіз обмінних процесів при паралельній роботі вітроелектричних установок / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – № 4/8 (82). – С. 26-32.
9. Денисюк С.П. Обмінні процеси в трифазних автономних системах електроживлення / С. П. Денисюк, Д. С. Горенко // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2016. – № 45. – С. 9-15.
10. Вибір раціональної напруги розподільчої мережі підприємства [Електронний ресурс]. URL

тів для конкретних міст з подальшим виконанням техніко-економічним обґрунтування. Таке переведення дозволить розширити можливості проєктування нових та реконструкції вже існуючих підстанцій, за рахунок збільшення пропускнуої спроможності електричних мереж зменшення «транзитних» пунктів передачі та розподілу електричної енергії, а також дозволить розглядати їх в якості складових VPP. Відкривається перспектива для побудови інтелектуальних локальних електричних мереж Microgrid, з їх подальшою роботою у складі VPP.

REFERENCES

1. Tsyganenko B.V. Perspektivy perevedennya rozpodilnih merezsh Ukrainu na nominalnu napругu 20 kV [Outlook conversion of distribution grids for nominal voltage 20 kV]. Science works VNTU. – 2016 – № 1 – pp. 1 – 4.
2. Kyrylenko O.V. Suchasni tendentsii pobudovu ta keruvannya rezshimamu elektroenergetichnih merezsh / O.V. Kyrylenko, S.P. Denysuik // Energy saving. Power engineering. Energy audit. – 2014. – № 9. – Spec. issue P. 2 : Power electronics and energy efficiency. – pp. 82 – 94.
3. Borscevskis O. 20kV Voltage Adaptation Problems in Urban Electrical Networks [Web resource]. URL: <http://egdk.ttu.ee> (appeal date 05.12.2016).
4. Astashev D.S., Bedretdinov R. Sh., Kisel D.A. Primenenie napryazhenia 20 kV dlya raspredelitelnih setei Rossii [Application of voltage 20 kV for distribution grids of Russia]. Messenger NGIEI. – 2015. – № 4. – pp. 6 – 9.
5. Sablin O.I. Optimizaciya rezshimiv tyagovogo electrospozshivannya ta recuperacii energii v sistemah electrichnogo transportu [Optitmisation of operating modes traction power and recuperation energy in systems of electrical transport]. Science magazine «Electrification of transport». 2016. – № 11. – pp. 53 – 60.
6. Yagup V.G., Yagup E.V. Kompensaciya reaktivnoy moschnosti v tyagovoi sisteme peremenogo toka [Reactive power compensation in traction system of alternative current]. Science magazine «Electrification of transport». 2014. – № 6 – pp. 60 – 66.
7. Denysiuk S.P., Horenko D.S. Analis problem vprovadzshennya virtualnih electrostanciy [Problem analysis of realization virtual power plants]. Energy: economy, technology, ecology. – 2016. – № 2. – pp. 25 – 33.
8. Denysiuk S.P., Horenko D.S. Analis obminnih procesiv pru paralelniy roboti vitroelectichnih ustanovok [Power exchange processes analysis in parallel work of wind power installations]. East Europe magazine of modern technologies. – 2016. – № 4/8 (82). – pp. 26 – 32.
9. Denysiuk S.P., Horenko D.S. Obminni procesu v trifaznih autonomnih sistemah electrozshivlennya

<http://elib.lutsk-ntu.com.ua> (дата звернення 05.12.2016).

11. Кірик В.В. Міжнародний досвід використання мереж 20 кВ / В.В. Кирик А.Е. Наливайська / Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетичної та автоматики. – 2015 – С. 95 – 97.

12. Гончар М.І. Деякі аспекти вибору напруги 20 кВ для сільських розподільних мереж. // М.І. Гончар, С.А. Попадченко / Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Випуск 130 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" - Харків: ХНТУСГ, 2012. - с.6-8.

13. Соснина Е.Н., Лоскутов А.Б., Лоскутов А.А. Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ // Промышленная энергетика. 2012. № 5. С. 11–17.

14. Маслов А.Н. Проблемы и особенности построения распределительных сетей крупных городов и мегаполисов // Тр. XII Всемирного электротехнического конгресса. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://wetc.ru> (дата звернення 05.12.2016).

Надійшла до друку 21.11.2016.

[Power exchange processes in triphase self-dependent power supply systems]. Works of Institute of electro-dynamics Ukrainian NAS. – 2016. – № 45. – pp. 9–15

10. Vubyr racionalnoi napругu rozpodilchoi me-rezshi pidpriemstva [The choice of a rational voltage of company's distribution grids]. [Web resource]. URL: <http://elib.lutsk-ntu.com.ua> (appeal date 05.12.2016).

11. Kiryk V.V., Naluvayska A.E. Mizsharodnyi dosvid vukorystannya merezsh 20 kV [International experience of using 20 kV grids] International science and technology magazine «Modern problems of power engineering and automatics». – 2015 – pp. 95 – 97.

12. Gonchar M.I., Popadchenko S.A. Deyaki aspektu viboru napругu 20 kV dlya silskih rozpodilchih merezsh [Some aspects of choice voltage 20 kV for village grids]. Messenger HNTUVA n.a. Petro Vasylenko. Issue 130 «Energy supply and energy saving in Ukrainian AFC». Kharkiv, HNTUVA – 2012. – pp.6 – 8.

13. Sosnina E.N., Loskutov A.B., Loskutov A.A. Topologiya gorodskih raspredelitelnih intelektualnih elektricheskikh setei 20 kv [Urban topology of 20 kv distribution smart grids]. Industrial power engineering. – 2012. № 5. pp. 11–17.

14. Maslov A.N. Problemi I osobennosti postroeniya raspredelitelnih setei krupnih gorodov i megapolisov. [Problems and specialties construction of big cities and metropolis distribution grids]. [Web source]. URL: <http://wetc.ru> (appeal date 05.12.2016).

Внутрішній рецензент *Сиченко В.Г.*

Зовнішній рецензент *Лежнюк П.Д.*

Виконано аналіз та оцінено потенціал переведення систем розподілу електричної енергії з триступеневої на двоступеневу для подальшої адаптації їх роботи в структурі VPP.

Розглянуто та виділено ряд техніко-організаційних завдань і рішень на початковому етапі, щодо провадження таких систем в умовах електрозабезпечення міста України.

Описано вплив обмінних процесів з різнотипними сигналами. Систематизовано взаємний зв'язок між елементами електропостачання залізничного транспорту та їх можливість функціонування з локальними електроенергетичними системами.

Наведено структурну схему обмінних процесів в системі електрифікованого транспорту, яка включає можливість приєднання та паралельної роботи з VPP.

Ключові слова: електричні мережі; розподільні мережі; Virtual Power Plant; Smart Grid; Microgrid; обмінні процеси.

УДК 621.31

С.П. ДЕНИСЮК (ІЕЭ КПИ), Д.С. ГОРЕНКО (ІЕЭ КПИ), П.В. СОКОЛОВСКИЙ (ІЕЭ КПИ), А.В. СТЕПОВОЙ (ІЕЭ КПИ)

Институт энергосбережения и энергоменеджмента, Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», ул. Борщаговская 115, Киев, Украина, 03056, тел.: 0938315500, эл. почта: spdens@ukr.net, gorenko.darya@yandex.ua, sokolovskyi.pavlo@ukr.net, stepovoyas@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-6299-3680, orcid.org/0000-0002-7879-780, orcid.org/0000-0002-0113-4479, orcid.org/0000-0002-7151-0900.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА НОМИНАЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ 20 КВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ УКРАИНЫ

Выполнен анализ и оценен потенциал перевода систем распределения электрической энергии с трехступенчатой на двухступенчатую для дальнейшей адаптации их работы в структуре VPP.

© Денисюк С. П., Горенко Д. С. та ін., 2016

Рассмотрены и выделен ряд технико-организационных задач и решений на начальном этапе, по осуществлению таких систем в условиях электроснабжения города Украины.

Описано влияние обменных процессов с разнотипными сигналами. Систематизированы взаимное влияние между элементами электроснабжения железнодорожного транспорта и их возможность функционирования с локальными электроэнергетическими системами.

Приведена структурная схема обменных процессов в системе электрифицированного транспорта, которая включает возможность присоединения и параллельной работы с VPP.

Ключевые слова: электрические сети; распределительные сети; Virtual Power Plant; Smart Grid; Microgrid; обменные процессы.

Внутренний рецензент *Сыченко В.Г.*

Внешний рецензент *Лежнюк П.Д.*

UDC 621.31

S.P. DENYSIUK (IEE KPI), D.S. HORENKO (IEE KPI), P.V. SOKOLOVSKYI (IEE KPI), O.V. STEPovyI (IEE KPI)

Institute of Energy Saving and Energy Management National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», 03056, Kyiv, Borschagivska st., 115, tel.: 0938315500, e-mail: spdens@ukr.net, gorenko.darya@yandex.ua, sokolovskyi_pavlo@ukr.net, stepovoyas@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-6299-3680, orcid.org/0000-0002-7879-780, orcid.org/0000-0002-0113-4479, orcid.org/0000-0002-7151-0900.

ELECTRIC ENERGY TRANSMISSION AT NOMINAL VOLTAGE 20 KV IN UKRAINIAN DISTRIBUTION NETWORKS TECHNOLOGY PERSPECTIVE

Analysed and evaluated potential changing system of distribution electrical power from three step to two step for next work adaptation in structure VPP.

Reviewed and separated a number technical & economical tasks and solutions on initial phase about realization this systems in power supply town conditions of Ukraine.

Described effect exchange processes with different types signals. Systematized a interconnection between power supply elements of railway transport and their ability of functioning with local power engineering systems.

Shows a block diagram of metabolic processes in the system of electrified transport, which involves joining and parallel operation of VPP.

Keywords: electrical grids; distribution grids; Virtual Power Plant; Smart Grid; Microgrid; exchange processes.

Internal reviewer *Sychenko V.G.*

External reviewer *Lezhniuk P.D.*