

УДК 621.314.26

О.О. ШАВЬОЛКІН (д-р техн. наук, проф.), **Є. Ю. СТАНОВСЬКИЙ, М.І. КРАВЧЕНКО**
Державний вищий навчальний заклад
 «Київський національний університет технологій та дизайну»
shavolkin@gmail.com

ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ З ФУНКЦІЄЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ПОНОВЛЮВАЛЬНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Розглянуто перетворювальний агрегат з функцією стабілізації напруги навантаження для комбінованих систем електроживлення з поновлювальними джерелами електроенергії. Запропоновано структуру з інтегрованими вольт-додатними трансформатором і інвертором, для зменшення їхньої потужності стабілізація здійснюється лише у разі виходу напруги мережі за допустимі межі, за підвищенням напруги генерація енергії в мережу виключається або здійснюється перемикання у автономний режим роботи. Для зменшення втрат енергії в ключах напруга на вході мережевого інвертора регулюється згідно напрузі мережі. Розроблено: структуру системи керування перетворювачем із забезпеченням близького до одиниці коефіцієнту потужності за роботи з мережею та забезпеченням роботи у автономному режимі; обґрунтовано визначення параметрів схеми з урахуванням функції активного фільтра та змінювання напруги мережі; комп'ютерну модель системи «перетворювач з сонячною батареєю, мережа і навантаження». Отримані рішення є основою для проектування однофазних перетворювачів комбінованих систем електроживлення з суміщенням функцій активного фільтра і стабілізації напруги навантаження за цілодобового використанням.

Ключові слова: *комбінована система електроживлення, поновлювальні джерела електроенергії, перетворювальний агрегат, стабілізація, вольт-додатний пристрій, автономний інвертор напруги в режимі джерела струму, силовий активний фільтр, імпульсний перетворювач напруги, моделювання.*

Постановка проблеми. Зараз широкого розповсюдження набувають комбіновані системи електроживлення (КСЕ) локальних об'єктів (котедж, міні-готель, мале підприємство і тощо) з поновлювальними джерелами електроенергії (ПДЕ), що працюють паралельно з централізованою мережею (ЦМ) змінного струму. Найбільш розповсюдженим є рішення з використанням фотоелектричної сонячної батареї (СБ). Перетворювальний агрегат (ПА) містить мережевий автономний інвертор напруги (АІН) і імпульсний перетворювач напруги (ІПН) для узгодження напруги АІН з СБ. За цього достатньо потужний і дорогий пристрій використовується лише у денні часи. Специфікою локальних об'єктів, що використовують КСЕ, зазвичай, є значна віддаленість від трансформаторних підстанцій, що в умовах використання існуючих перевантажених, зношених розподільчих мереж обумовлює значні відхилення напруги, що негативно впливає на споживачів. До того ж навантаження споживає реактивну потужність і генерує вищі гармоніки струму. Підтримання в точці підключення до мережі близького до 1 коефіцієнту потужності сприятиме розвантаженню мережі, зменшенню втрат енергії у ній і відхилення напруги у бік зниження. За цього виникає питання доцільності генерації енергії у мережу у разі підвищення напруги мережі вище допустимого значення, що сприятиме її зростанню. Отже актуальним є питання створення багатофункціональних ПА з цілодобовим використанням та функцією стабілізації напруги споживача.

Аналіз попередніх досліджень. Підвищення ефективності ПА за цілодобовим його використанням в роботах [1, 2] пов'язують з суміщенням мережевим АІН функції силового активного фільтра (САФ) і забезпеченням автономного режиму роботи за відключенням ЦМ. Що стосується стабілізації напруги навантаження, зазвичай, це питання вирішується застосуванням додаткових пристроїв – стабілізаторів або «нормалізаторів» напруги з використанням вольт-додатного пристрою з вихідним трансформатором [3, 4, 5], вторинна обмотка якого підключається послідовно з навантаженням (не враховуємо рішення стабілізаторів для спеціалізованого обладнання). Стандартне рішення використовує дискретне регулювання напруги вольт-додатного трансформатора (шляхом змінювання коефіцієнта трансформації n), наприклад, з використанням симісторів. За змінюванням n і зростанням напруги вторинної обмотки допустиме значення потужності навантаження зменшується. Цей варіант, незважаючи на «уявну» простоту, при використанні багатообмоткового трансформатора і великої кількості ключів для зміни значення і полярності вихідної напруги досить громіздкий в реалізації і габаритах. Мережеві АІН, наприклад, типу PVI -5000 (фірма АВВ) припускають можливість використання за напруги 180÷264 В [6] за відповідного змінювання їхньої вихідної потужності, що не є достатнім, і ефективність їх застосування у цих умовах потребує додаткового вивчення. ПА КСЕ не в змозі забезпечити підтримання напруги мережі стабільною, але

може суміщати функцію стабілізації напруги навантаження у разі інтегрування додаткового обладнання і використання існуючих датчиків, джерел живлення, периферійних пристроїв. Можливі варіанти реалізації вольто-додатного пристрою з використанням ШІМ - регулятора змінної напруги (на транзисторах) на вході вольто-додатного трансформатора або з використанням АІН в якості регульованого джерела напруги первинної обмотки трансформатора. Ці рішення використовують меншу кількість ключів і двообмотковий трансформатор, що дає можливість забезпечення стабілізації без зменшення потужності навантаження і добре інтегруються в ПА. За наявності в ПА ланки постійного струму перспективною виглядає схема стабілізації з АІН. Отже, питання створення багатофункціонального ПА з інтегрованою функцією стабілізації напруги навантаження підлягає додатковому вивченню стосовно забезпечення сумісності роботи з базовою схемою ПА з функцією САФ і покращення ефективності використання ПА в умовах змінювання напруги ЦМ, чому і присвячена дана робота.

Мета. Створення багатофункціонального ПА з інтегрованою функцією стабілізації напруги навантаження і покращення ефективності використання ПА в умовах змінювання напруги ЦМ.

Задачі, що підлягають вирішенню:

- дослідження можливостей зменшення втрат енергії в ключах ПА в умовах змінювання напруги ЦМ;
- розробка структури силових кіл і системи керування ПА;
- розробка моделі на ПК і віртуальний експеримент.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розглянемо можливості для вирішення питання стабілізації напруги споживачів локального об'єкта для однофазної КСЕ. Виходимо з наступного:

- потужність СБ і, відповідно, ПА в $2\div 2.5$ рази перевищує потужність навантаження, що дає можливість продавати надлишок енергії за «зеленим» тарифом. Тому для зменшення потужності схеми стабілізації вольто-додатний трансформатор вмикається у коло навантаження;
- мережевий інвертор ПА у разі роботи паралельно з мережею є веденим і зберігає працездатність в широкому діапазоні напруги;
- стабілізація не потрібна в автономному режимі роботи при відключенні мережі, в даному випадку стабілізацію напруги споживачів за наявності генерації енергії ПДЕ забезпечує ПА;
- нормально допустимі і гранично допустимі значення усталеного відхилення напруги δU_y на виводах приймачів електричної енергії дорівнюють відповідно $\pm 5\%$ і $\pm 10\%$ від номінальної напруги електричної мережі за ДСТУ 721 і ДСТУ 21128;
- рішення з використанням додаткових пристроїв повинно бути максимально інтегровано в систему управління ПА і в роботі сумісно з мережевим інвертором.

- у разі підвищення напруги мережі вище допустимого значення генерація енергії ПА у мережу недоцільна, оскільки це буде сприяти підвищенню напруги у точці підключення до ЦМ. Окрім того, матиме місце безглузда циркуляція енергії, яка відбирається пристроєм стабілізації, і через мережевий АІН знов повертається на вхід ЦМ. Отже є сенс у припиненні ПА відбору потужності СБ або, якщо енергії СБ є достатньо для навантаження, доцільним може бути перемикання ПА у автономний режим роботи.

Запропонована схема ПА з функцією стабілізації наведена на рис.1 і містить: ЦМ (джерело G з опорами мережі); навантаження (H), у тому числі, нелінійне; автоматичні вимикачі на вході ПА і навантаження $QF1$ і $QF2$; $R_{\phi}C_{\phi}$ - фільтр для придушення високочастотних складових струму, що генеруються мережевим АІН з вихідним реактором LI ; імпульсний перетворювач ПІН для узгодження напруги СБ і АІН; датчики струму ДС і напруги ДН. При переході в автономний режим роботи ПА контактором $K1$ відключається от ЦМ. Блок стабілізації містить: трансформатор TV ; додатковий мостовий АІН, що підключений до ланки постійного струму мережевого АІН; вихідний реактор $L2$; R_2C_2 - фільтр, що вмикається паралельно первинній обмотці TV .

Слід враховувати особливість ПА, який поєднує функцію САФ. Мережевий АІН працює в режимі джерела струму з постійною частотою модуляції f_M [2] і напруга постійного струму на його вході $U_d \geq aU_{1m}$ (U_{1m} - амплітуда напруги мережі). Оскільки АІН використовується в режимі джерела струму для забезпечення можливості відпрацьовування заданого струму i_{3AD} швидкість змінювання струму АІН i повинна перевищувати максимальне значення di_{3AD}/dt . Для локальних об'єктів типовим нелінійним навантаженням є некерований однофазний випрямляч з вихідним ємнісним фільтром у складі побутових пристроїв та оргтехніки. Розглянемо узагальнений випрямляч, що живиться безпосередньо від мережі і потужність якого дорівнює потужності всіх випрямлячів. Нехтуємо індуктивностями вхідних кіл (опір діода за прямого падіння напруги 1 В при струмі 1 А становить 1 Ом, а опір мережі $X=0.01\div 0.03$ Ом, до того ж в мостовій схемі випрямляча струм проводять два діоди). За цього струм

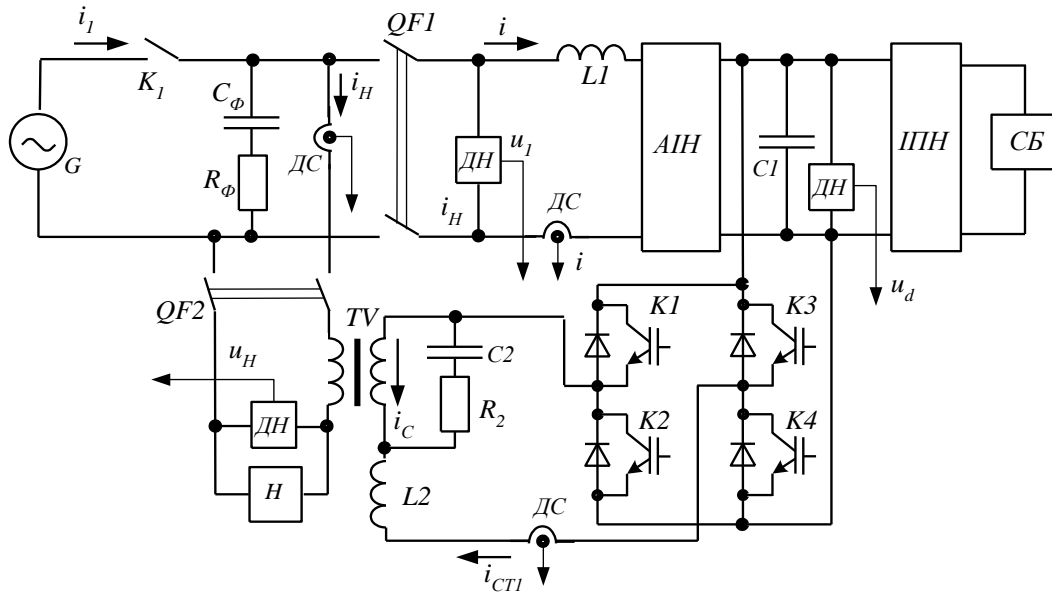


Рисунок 1 – Структура силових кіл ПА

з мережі споживається на інтервалах заряджання конденсатора, коли $u_1 > U_C$ (відкриті діоди випрямляча) і за припущенням, що випрямлена напруга ідеально згладжена, визначається виразом [7]

$$i_B = (u_1 - U_C) / R = U_{1m} (\cos \omega t - \cos \theta) / R, \quad (1)$$

де R – опір вхідного кола випрямляча, $u_1 = U_{1m} \cos \omega t$ – напруга мережі у разі суміщення вісі ординат із максимальним значенням, $U_C = U_{1m} \cos \theta$ – випрямлена напруга, кут відсічення θ – половина інтервалу часу, протягом якого через діоди протікає струм, ω – кутова частота напруги мережі.

Згідно (1) швидкість змінювання струму $\frac{di_B}{dt} = -\omega \frac{U_{1m}}{R} \sin \omega t$, максимальне значення $(\frac{di_B}{dt})_{max} = -\omega \frac{U_{1m}}{R} \sin \theta$

. За потужності випрямляча близько 1 кВт згідно методики розрахунку [7] отримуємо $(\frac{di_B}{dt})_{max} = 20000 \div 25000$

A/c. Із зменшенням потужності зменшується і швидкість змінювання струму. Для максимального значення струму АІН $I_{MAX} = 25$ А у разі синусоїдальної форми його (що відповідає потужності 5.5 кВт) та амплітуди

$I_{MAXm} = 35.35$ А значення $(\frac{di}{dt})_{max} = 11100$ A/c і має місце у разі переходу струму через нуль. У той же час, макси-

мальна швидкість струму випрямляча має місце, коли значення основної гармоніки наближається до максимуму і, відповідно, швидкість змінювання струму зменшується. Отже, для даного випадку можна прийняти $(\frac{di}{dt})_{max}$

$= 2\omega I_{MAXm}$ тоді

$$a = 1 + 2 \frac{L}{U_{1m}} \omega \cdot I_{MAXm}, \quad (2)$$

Індуктивність реактора АІН виходячи з відносного значення падіння напруги (за 1-ю гармонікою) для максимального струму I_{MAX} $b = \frac{U_L}{U_{1\phi}} = \frac{\omega L \cdot I_{MAX}}{U_{1\phi}}$ визначимо як

$$L = \frac{b U_{1m}}{\omega \sqrt{2} I_{MAX}}. \quad (3)$$

У разі формування АІН синусоїдального вихідного струму і використання однополярної ШІМ з постійною частотою модуляції f_M її значення [2]

$$f_M \geq \frac{a\omega}{8bc}, \quad (4)$$

де $c = \frac{\Delta I_m}{I_{mMAX}}$ - відносне значення амплітуди пульсацій струму до амплітуди I_{MAX} .

Значення c визначено відносно до амплітуди I_{MAX} , для забезпечення якості відпрацьовування струму АІН із зменшення його значення c потрібно теж зменшувати. Згідно (4) це можливо за рахунок підвищення f_M , але обмежено можливостями сучасних напівпровідникових ключів. Тому потрібно збільшувати індуктивність реактору, що теж не бажано. Придатним може бути співвідношення $c=0.02$, $b=0.15$, $a=1.3$ за частоти $f_M=17$ кГц. Певні можливості щодо покращення якості струму АІН дає корегування модулюючої напруги [2].

Напругу на вході АІН U_d слід обирати згідно максимальній напрузі мережі $U_{I\text{НОМ}}$ з визначенням f_M згідно (4). У разі відсутності навантаження за постійної потужності СБ і одиничного коефіцієнту потужності струм АІН відносно номінального значення становить $I^*=U_{I\text{НОМ}}/U_I$. Якщо мінімальне значення напруги становить, наприклад, $U_{I\text{МІН}}=150$ В за номінальної напруги 220 В маємо $I^*=1.467$. У разі перевищення напруги картина зворотна – струм зменшується. Отже, вибір ключів для мережевого АІН слід здійснювати згідно значенню струму для $U_{I\text{МІН}}$. У разі використання IGBT класу 1200 В значення напруги, за якої наведені втрати енергії перемикання становить $U_{CT}=600$ В. За цього припустиме значення напруги мережі для $a=1.3$ становить 326 В.

Можливості зменшення втрат енергії в ключах мережевого АІН. Втрати провідності в ключах [7] P_{COND} є пропорційними значенням вихідного струму I^* , втрати перемикання P_{SW} пропорційні струму і напрузі U_d у $I^*(U_d/U_{CT})^{1.4}$ разів. Зазвичай, значення P_{SW} перевищують P_{COND} . Певні можливості щодо зменшення втрат енергії перемикання в ключах дає регулювання напруги U_d згідно напрузі U_I за постійним значенням a . Так, за $U_{I\text{МІН}}=150$ В ($U_{d\text{МІН}}=275.7$ В), $a=1.3$, $I^*=1.467$ втрати перемикання відносно значення P_{SW} за номінальної напруги $U_{I\text{НОМ}}=220$ В ($U_{d\text{НОМ}}=405.6$ В) становлять лише 70%. У разі $U_{I\text{МАХ}}=280$ В ($U_{d\text{МАХ}}=514.7$ В), $a=1.3$, $I^*=0.786$ втрати перемикання відносно значення P_{SW} за номінальної напруги становлять 90.6%. Отже, для діапазону змінювання $U_I=150\div 280$ В потрібно регулювати значення $U_d=276\div 515$ В, що може забезпечити ІПН.

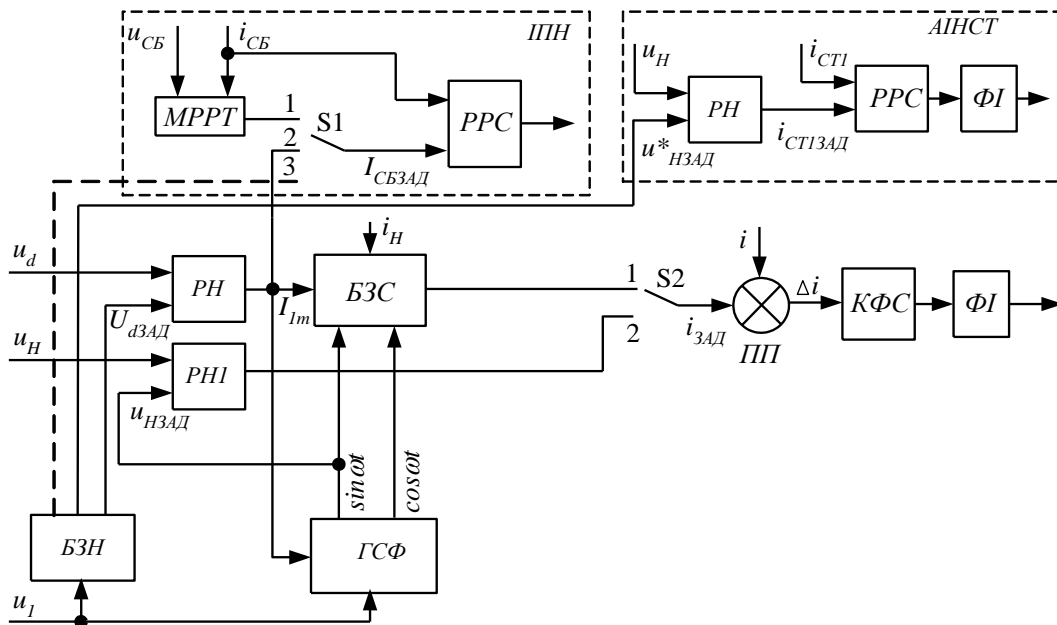


Рисунок 2 – Структура системи керування ПА

Потужність трансформатора визначається граничними значеннями відхилення напруги мережі і буде максимальною при стабілізації напруги навантаження U_H на фіксованому рівні $U_{H\text{НОМ}}=220$ В. Так, для випадку $U_I=150\div 280$ В $= (0.682\div 1.272)U_{H\text{НОМ}}$ максимальне відхилення – 31.8%, потужність трансформатора теж складе 31.8% від максимальної потужності навантаження. Зниження потужності трансформатора до 22% можна досягти, якщо стабілізація здійснюється тільки у разі виходу напруги u_I за граничні значення 220-10% і 220 + 10% (значення δU_y можна прийняти на проміжному рівні, наприклад, 7%). За цього напруга навантаження приймає граничні значення, або $u_H=u_I$, якщо значення u_I входить у визначені межі. Щодо визначення коефіцієнту трансформації n виходимо зі значення $U_{d\text{МІН}}=275.7$ В – приймаємо з запасом $U_{d\text{МІН}}=315$ В. За цього значення 1-ї гармоніки вихідної напруги АІН блока стабілізації $U_{CT(1)}=\mu U_{d\text{МІН}}/\sqrt{2}$ (μ – коефіцієнт модуляції за амплітудою). У разі $\mu=1$ $U_{CT(1)}=223$ В і для отримання на вторинній обмотці напруги $U_2=(0.93U_{H\text{НОМ}} - U_{I\text{МІН}})$ значення $n\leq 4.08$.

Структура системи керування ПА наведена на рис.2 і містить три блоки: блок керування мережевим АІН; блок керування ІПН; блок керування інвертором стабілізатора. Блок керування мережевим АІН містить: пропорційно-інтегральні (ІІ) регулятори напруги РН (за роботи паралельно з ЦМ), РН1 (за роботи у автономному

режимі); блок завдання струму (БЗС) мережевого АІН; синхронізований з напругою мережі генератор синусоїдальних функцій (ГФС); підсумковий пристрій (ПП), що визначає відхилення струму АІН відносно заданого значення $\Delta i = i_{ЗЗД} - i$; контур формування струму (КФС) АІН; формувач імпульсів керування ключами АІН (ФІ).

Блок керування ІПН містить контролер максимальної потужності СБ (МРРТ), що визначає завдання струму $I_{СБЗЗД}$ та релейний регулятор вхідного струму ІПН (РРС), який забезпечує відпрацьовування цього значення струму. Блок керування інвертором стабілізатора містить ІІ регулятор напруги РН, що визначає завдання вихідного струму інвертору $i_{СТІЗЗД}$; релейний регулятор вихідного струму; формувач імпульсів керування ключами інвертора (ФІ). Можливий варіант з використанням для керування АІН стабілізатора у режимі джерела напруги з ШІМ модуляцією, коли напруга завдання ШІМ генератора задається як різниця заданого і фактичного значення напруги навантаження.

Зовнішнім у цій структурі є блок завдання напруги (БЗН), що визначає завдання напруги у ланці постійного струму $U_{ЗЗД}$ і напруги навантаження $u^*_{НЗЗД}$ згідно напрузі мережі u_1 . За цього діюче значення $u^*_{НЗЗД}$

$$U^*_{НЗЗД} = \begin{cases} (U_{НОМ} - \delta U), & \text{якщо } U_1 \leq (U_{НОМ} - \delta U), \\ (U_{НОМ} + \delta U), & \text{якщо } U_1 > (U_{НОМ} + \delta U), \\ U_1, & \text{якщо } (U_{НОМ} - \delta U) < U_1 < (U_{НОМ} + \delta U). \end{cases}$$

Також БЗН здійснює керування режимами роботи схеми. Передбачені наступні режими роботи:

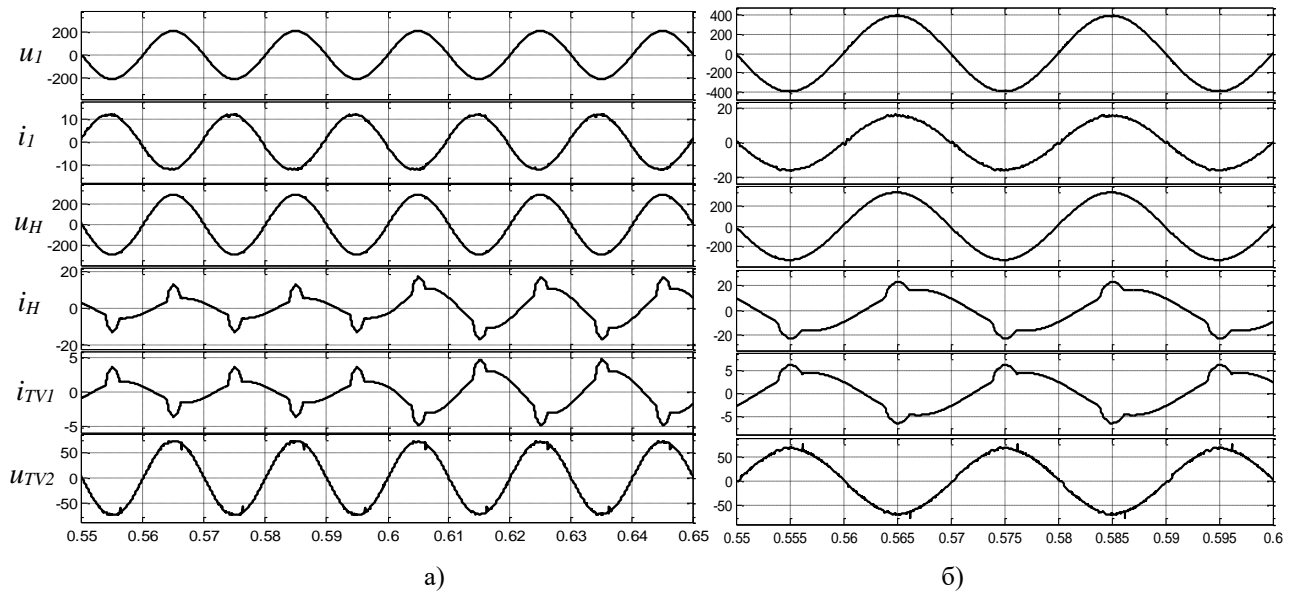
- Робота паралельно з мережею за наявності та відсутності генерації енергії СБ. За цього перемикачі S1 і S2 встановлені в положення 1. Блок керування ІПН забезпечує відбір максимальної за даних умов потужності СБ. Регулятор РН відповідно потужності СБ і навантаження формує завдання амплітуди струму мережі I_{Im} , за якого напруга у ланці постійного струму ПА дорівнює $U_{ЗЗД}$. Завдання струму мережевого АІН формується БЗС з урахуванням завдання струму мережі i_1 , струму навантаження i_H та ємнісного струму фільтру.
- Автономний режим роботи у разі відключення ЦМ. За цього перемикачі S1 і S2 встановлені в положення 2 і завдання струму СБ визначає РН підтримуючи напругу у ланці постійного струму $U_{ЗЗД}$ на рівні, що відповідає номінальній напрузі навантаження. Завдання струму мережевого АІН формує РН1, на вхід якого подається задане значення синусоїдальної напруги з ГСФ (від автономного генератору).
- Робота паралельно з мережею за наявності генерації енергії СБ у разі $\delta U > 10\%$ з припиненням відбору енергії СБ. За цього перемикач S1 встановлено в положення 3 (показано пунктиром), S2 встановлено в положення 1. БЗН задає мінімальне значення струму СБ за умови забезпечення споживання енергії від ЦМ. Інший варіант за умови $P_{СБ} > P_{НМАХ}$ передбачає перемикачання у автономний режим з відключенням від ЦМ.

Результати моделювання. Для імітаційного моделювання використовувався програмний пакет Matlab. Моделювання системи «ЦМ - ПА з СБ - навантаження» здійснено для структури за рис.1 і рис.2 та нелінійного навантаження, що містить випрямляч з вихідним ємнісним фільтром і RL навантаження з $\cos\phi=0.8$. Модель ЦМ (220 В) містить опір мережі $R=0.02$ Ом, $X_L=0.02$ Ом, параметри фільтра на вході $R_\phi=0.3$ Ом, $C=60$ мкФ. Індуктивність реактору на виході АІН стабілізатора $L_2=2$ мГн, параметри фільтра на виході $R_2=1$ Ом, $C_2=10$ мкФ.

Осцилограми напруги u_1 та струму мережі i_1 , напруги u_H та струму навантаження i_H , струму первинної обмотки трансформатору i_{TV1} , напруги вторинної обмотки трансформатору u_{TV2} за паралельної роботи з ЦМ наведені: для мінімального значення напруги мережі ($U_1=150$ В), $U_d=315$ В, $n=3.5$, $U_H=204$ В (ТНДu=0.6%) у разі генерації енергії СБ із збільшенням RL навантаження вдвічі у момент часу 0.6 с (рис.3,а); за максимальної напруги мережі ($U_1=280$ В), $U_d=515$ В, $U_H=235$ В (ТНДu=0.54%) та відсутності генерації енергії СБ (рис.3,б).

Аналогічні результати (ТНДu=1.9%) отримані у разі використання АІН стабілізатора у режимі джерела напруги з ШІМ за частоти модуляції 10 кГц, $L_2=2$ мГн, параметри фільтра на виході прийшлося дещо збільшити $R_2=3$ Ом, $C_2=30$ мкФ.

Висновки. Запропоновано варіант побудови структури ПА для КСЕ з вольто-додатним трансформатором і інвертором, який працює в режимі джерела струму з зовнішнім ІІ-регулятором напруги, забезпечуючи підтримку значення напруги на навантаженні у межах припустимих значень за законом, що задається напругою мережі. За роботи паралельно з ЦМ запропоновано регулювати напругу на вході мережевого АІН згідно значенню напруги мережі. Результати моделювання системи з використанням програмного пакету Matlab підтверджують працездатність запропонованих рішень. Подальшим напрямком роботи є вдосконалення системи управління та дослідження роботи схеми в різних режимах стабілізації.



а)
Рисунок 3 – Осцилограми напруги та струмів за:
а) за мінімальної напруги мережі; б) за максимальної напруги мережі

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tsao-Tsung Ma. Power Quality Enhancement in Micro-grids Using Multifunctional DG Inverters //Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 2012 Vol II, IMECS 2012, March 14 - 16, 2012, Hong Kong. - pp.996-1001.
2. Шавелкин А. А. Однофазный преобразовательный агрегат для комбинированной системы электроснабжения с фотоэлектрической солнечной батареей // Вісник НТУ "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ", 2017. - №27 (1249). - С. 216-220.
3. Стабилизатор напряжения. [Electronic resource]. – <http://220volt.com.ua/news/useful/stabilizatori/stabilizator-napryazheniya-vidi.html>
4. Автоматический регулятор напряжения [Electronic resource]. –<http://luxeon.ua/automatic-voltage-regulator/>
5. Стабилизаторы. [Electronic resource]. – <https://eleks.su/stabilizatory-gibrid/>
6. Brochure | ABB solar inverters. www.abb.com/solarinverters
7. Шавьолкін О. О. Енергетична електроніка: навч. посібник .- К.: КНУТД, 2017. – 396 с.

REFERENCES

1. Tsao-Tsung Ma (2012), "Power Quality Enhancement in Micro-grids Using Multifunctional DG Inverters" Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, 2012 Vol II, IMECS 2012, March 14 - 16, Hong Kong. - pp.996-1001.
2. Shavelkin AA (2017), "Single-phase converter unit for a combined power supply system with a photovoltaic solar battery", *Vіsник NTU "KHPІ"*. - Kharkiv: NTU "KHPІ", no. 27 (1249). - pp. 216-220.
3. Voltage stabilizers. [Electronic resource]. – <http://220volt.com.ua/news/useful/stabilizatori/stabilizator-napryazheniya-vidi.html>
4. Automatic voltage regulator [Electronic resource]. –<http://luxeon.ua/automatic-voltage-regulator/>
5. Stabilizers. [Electronic resource]. – <https://eleks.su/stabilizatory-gibrid/>
6. Brochure | ABB solar inverters. www.abb.com/solarinverters
7. Shavolkin O. O. (2017) "*Enerhetychna elektronika*": navch. posibnyk [Power Electronics], K.: KNUTD, 396 s.

Надійшла до редколегії

Рецензент:

A. A. SHAVELKIN, E.YU. STANOVSKY, M.I. KRAVCHENKO

State Institution of Higher Education «Kiev National University of Technologies and Design»

The converter unit with function of voltage stabilization for a combined power supply system with renewable power sources. Combined power supply systems with renewable energy sources are used for local facilities in order to

ensure stable power supply by using existing overloaded networks remote from transformer substations that are characterized by voltage deviations exceeding permissible values. In these conditions, stabilization of the consumers' voltage is required. Modern grid inverters work only with the generation of energy by a renewable source, they can be used for a voltage in the grid of $180 \div 264$ V, which is not enough, and the efficiency of their use will vary. The solution to the stabilization problem is achieved by using additional rather expensive voltage regulators. An important problem is the feasibility of generating energy into the grid, when the voltage in it exceeds the permissible value. This determined the purpose of the work: the creation of a multifunctional converter with an integrated function of stabilizing the load voltage and increasing the efficiency of using the device in conditions of changing the mains voltage. There is proposed a structure with integrated booster transformer and inverter, to reduce their power, voltage stabilization is carried out only if its value falls outside the permissible limits, if the permissible voltage value is exceeded, the generation of energy into the grid is excluded or the unit switches to autonomous operation. To reduce the energy losses in the switches, the voltage in the DC link of the grid inverter is adjusted in accordance with the mains voltage. There are developed: the structure of the converter control system with providing a power factor close to unity when working with the network and providing work in an autonomous mode; it is justified to determine the parameters of the circuit, taking into account the function of the active filter and the change in the mains voltage; computer model of the system "converter with a solar battery, grid and load". The solutions obtained are the basis for the design of single-phase converters of combined power supply systems with the combination of active filter functions and load voltage stabilization at round-the-clock use.

Keywords: *combined power supply system, renewable energy sources, converter unit, stabilization, booster device, autonomous voltage inverter in the mode of current source, power active filter, pulse voltage DC-DC converter, simulation.*