



## ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОТУЖНИХ ПІДПРИЄМСТВ АПК З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОМЕРЕЖ ТА РОЗПОДІЛЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

*Матвійчук Віктор Андрійович д.т.н., професор  
Вінницький національний аграрний університет  
Рубаненко Олександр Євгенійович к.т.н., доцент  
Вінницький національний технічний університет  
Рубаненко Олена Олександрівна к.т.н. доцент  
Вінницький національний аграрний університет*

**Matviychuk V.**

*Vinnytsia National Agrarian University*

**Rubanenko O.**

*Vinnytsia National Technical University*

**Rubanenko O.**

*Vinnytsia National Agrarian University*

**Анотація:** в статті досліджено можливість використання мікромереж та розподілених джерел електроенергії в задачах покращення якості електропостачання потужних підприємств агропромислового комплексу. Проаналізовано особливості використання мікромереж. Досліджено вплив опору мережі на результати поточного керування розосередженими джерелами електроенергії мікромереж. В статті розглянуто мережі, з переважаючим індуктивним опором ліній електропередач, мережі з переважаючим активним опором ліній електропередач, мережі з активно-індуктивними опорами ліній електропередач, а також наведені графіки залежностей напруги і частоти для розглянутих мереж. Представлено формули для визначення перетоків реактивної та активної потужності для мікромереж з переважаючим індуктивним опором ліній електропередач, мікромереж з переважаючим активним опором ліній електропередач та мереж з активно-індуктивними опорами ліній електропередач.

**Ключові слова:** мікромережа, лінія електропередач, SmartGrid, поновлювальні джерела електроенергії.

### **Вступ**

**Актуальність і мета.** Потужні агропереробні підприємства («Наша Ряба», «АПК-ІНВЕСТ», «Букофрут», ВАТ «Миронівський хлібопродукт») все частіше будують ближче до розташування баз сировини. Сучасні тенденції автоматизації технологічних процесів зумовлюють використання вартісного іноземного обладнання (Shneider Electric (Німеччина), АВВ (Швеція, Швейцарія), яке в свою чергу накладає жорсткі вимоги на якість електроенергії. Потужні сільськогосподарські підприємства (СПП), враховуючи особливості технологічних процесів, часто потребують безперервного забезпечення якісною електроенергією.

Стан сучасних розподільчих електричних мереж (РЕМ) характеризується виникненням аварійних ситуацій, що зумовлено зношеністю та застарілістю обладнання РЕМ [1], тому під'єднання потужного споживача з особливим графіком споживання електроенергії може тільки погіршити існуючу ситуацію. Одним з шляхів покращення електропостачання підприємств агропромислового комплексу в умовах зростання вартості традиційних джерел енергії (газу, вугілля, нафти, мазуту) є застосування мікромереж та розподілених джерел електроенергії (РДЕ). Це дасть змогу не лише покращити якість електропостачання, а й зменшити втрати електроенергії за рахунок власної генерації [1]. Для таких РДЕ, як сонячні електричні станції (СЕС), малі ГЕС, вітрові електричні станції (ВЕС) та для інших РДЕ характерна можливість легко керувати генерованою електричною потужністю за допомогою сучасних мікропроцесорів та силової електроніки. Це особливо зручно, коли СПП майже самостійно забезпечує себе електроенергією, але має змогу резервувати частину в електричних мережах загального користування. При виборі джерела електропостачання агропереробного підприємства потрібно враховувати багато впливних факторів, таких як віддаленість РДЕ від підприємства, переріз ЛЕП, по яких буде здійснюватись передача електроенергії, можливість резервування, потужність РДЕ, керованість та ін.

А сучасні мікропроцесорні автоматичні та автоматизовані системи дозволяють використовувати ММ та РДЕ в задачах забезпечення оптимального електропостачання потужних агропереробних підприємств найефективніше, за рахунок оптимізації використання електричної

енергії, створення систем зберігання даних та автоматичне поповнення даних в них, використання сучасних комунікаційних технологій; оптимального забезпечення електричною енергією споживачів та навантажень.

### *Аналіз попередніх досліджень*

Централізоване виробництво електроенергії, однонаправлене передавання потужності, пасивний розподіл і споживання електричної енергії використовуються багато років (с часів існування перших енергетичних систем).

В останні десятиліття, сучасні рішення, такі як: розподілена генерація (РДЕ), в основному на основі поновлюваних джерел енергії; сучасні накопичувачі електроенергії (НЕЕ); гнучкі системи передачі змінного струму; активне управління навантаженням (ADM), локальні електричні системи (ЛЕС); SMART контроль і управління на основі інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) **дають можливість** розробляти нові заходи з реконструкції та покращення експлуатації існуючих енергетичних систем. Проте, ефективність цих заходів залежить від результатів науково-дослідних робіт, направлених на те, щоб найсміливіші плани з реконструкції розподільних мереж, впровадження основних засад концепції SMART Grids стали реальністю вже сьогодні.

РДЕ є ключовим питанням розвитку сучасних ММ. Нажаль, в наш час існують і технічні обмеження, пов'язані в основному зі стабільністю напруги і з забезпеченням економічних перетоків потужності, питання надійності роботи обладнання РДЕ і ММ та електропостачання споживачів. Однак кількість РДЕ зростає.

РДЕ можна класично розглядати як додаткові енергоблоки з низькою залежністю від диспетчерів підприємств районних електричних мереж. Можливості диспетчера, або системної автоматики з точки зору керування РДЕ (під час вирішення завдань передачі/розподілу електроенергії (TSO/DSO)) – дуже обмежені. Як результат – пасивні та негнучкі розподільні мережі, в яких виникають проблеми обміну даними між ММ і **основною** ЕЕС.

Крім того, відсутність узгодженого керування РДЕ не дозволяє їх ефективно експлуатувати і вимагає постійного додаткового живлення споживачів ММ від традиційних потужних електричних станцій. Часто РДЕ експлуатуються на технологічному мінімумі, або використовуються в якості допоміжного резерву ЕЕС. Це зумовлено завищеним збільшенням загальної встановленої потужності РДЕ (по мірі не контрольованого введення в експлуатацію все нових РДЕ) і обмежувального ефекту обладнання ММ. Тим не менше, високий рівень впровадження РДЕ в ММ може бути використаний для більш ефективної і гнучкої роботи ММ.

Зазвичай, РДЕ, що працюють в ММ, підключаються ближче до кінцевих споживачів розподільних електричних мереж (на відміну від великих електростанцій), що дозволяє зменшити загальносистемні втрати електричної енергії на її транспортування. Крім того, широке впровадження на підприємствах, що експлуатують РДЕ, сучасних SMART технологій у поєднанні з інтеграцією РДЕ в ММ, дозволить:

- надавати замовникам широкий спектр додаткових послуг, а також підвищити якість та надійність електропостачання;
- створити активні острови в ЕЕС, а саме ММ, які забезпечують електричною енергією місцевих споживачів.

Тому, очікується, що ММ відіграють важливу роль в ЕЕС у майбутньому, в основному в країнах з низькою напругою розподільних мереж (10 кВ) де переважна більшість РДЕ зв'язані між собою лініями електропередач (ЛЕП).

ЛЕС концептуально розглядається як невелика електрична система, в якій працюють РДЕ, НЕЕ, а також є споживачі, які не зв'язані між собою ієрархічною системою керування, з можливістю підключення до розподільної мережі ЕЕС, або є споживачі і РДЕ, які працюють у навмисно ізолюваній електричній системі [1], [2].

РДЕ, які використовують поновлювані джерела енергії (вітер, сонячне випромінювання, енергію річок і т.п.), а це сонячні, вітрові, гідро та інші електростанції використовуються в ММ тому, що вони менші за займану територією, їх більше за кількістю, ніж традиційних потужних електричних станцій, і вони, потенційно, можуть бути підключені до будь-якої точки ММ [3]-[5].

Так само, інші не відновлювані РДЕ, наприклад, малі електричні станції, які використовують дизельне паливо (дизель-генератори) або природний газ, і якими легко керувати, також можуть бути інтегровані в ММ.

Додатково до генераторів гідроелектростанцій, сонячних електростанцій, дизельних генераторів і т.п. в ММ використовуються і НЕЕ, особливо якщо поновлювані джерела енергії, які

характеризуються наявністю випадкової і нестійкої поведінки [6], є головними енергетичними джерела в ММ (річки з малим водотоком, мала кількість сонячних годин за рік та мала середня кількість сонячних годин за добу, мала середня за добу швидкість вітру і т.д.).

В наш час сучасні РДЕ, які є одними з головних джерел живлення в ММ, повинні стати більш керованими і надійними, ніж звичайні генератори. Ця функція дозволить РДЕ відігравати важливу і вирішальну роль в підтриманні стійкості електричних мереж у майбутньому. Ця роль вже призвела до змін в керівних документах (в вимогах), які регулюють підключення РДЕ до розподільних мереж (РЕМ) ММ. Це, наприклад, Положення про аварії в ММ з РДЕ.

По-перше це керівні документи (стандарти), які передбачають відключення РДЕ в разі виникнення в них несправностей, або розвитку перед аварійних чи аварійних ситуацій в ММ [7]. Проте, останній режим (відключення РДЕ при загрозі аварійної або перед аварійної ситуації в ММ) роботи не передбачений в алгоритмах функціонування засобів автоматики сучасних РДЕ.

Наприклад, від вітроелектричних станцій (ВЕС), які працюють на низькій напрузі (0,4 кВ) при зменшенні напруги внаслідок зменшення швидкості вітру (LVRT) або в разі виникнення дефіциту потужності в ЕЕС вимагається, щоб вони залишалися підключеними до РЕМ і забезпечували живлення споживачів, наприклад, під час відключень ЛЕП РЕМ від потужних традиційних джерел електричної енергії (від центра живлення) [6]. У деяких країнах ці вимоги були також розширені і на більш високі класи напруг [7].

Так в більшості країн світу, в наш час, не дозволяється відключати ММ від ЕЕС, коли немає аварії в РЕМ та в ЕЕС, а лише з метою, щоб уникнути будь-якого ризику під час технічного обслуговування обладнання ММ або під час оперативних перемикачів, а також для захисту електричної системи від потенційних збитків. Як наслідок ця вимога, незважаючи на очевидні переваги, які дає можливість забезпечити безперебійне живлення споживачів ММ, може призвести до переривання електропостачання споживачів, коли ММ будуть примусово відключені під час відключень внаслідок аварій в ЕЕС, навіть за наявності живлення від РДЕ.

Проте, прогрес у SMART контролі ММ і РЕМ, інтеграція РДЕ і споживачів, дозволяє очікувати, що примусове створення острівкового режиму не буде мати багато обмежень, але за обов'язкової вимоги, щоб в найближчому майбутньому, умови примусового створення «острівкового» режиму знайшли своє відображення в керівних документах з експлуатації РЕМ та ММ з РДЕ [5].

В цьому разі реалізація ієрархічної схеми управління для ММ дозволяє нам виконувати узгоджену взаємодію з управлінням та контролю дій оперативно-диспетчерського персоналу в РЕМ, в якій покращена взаємодія ММ з РЕМ, а також має місце ефективна інтеграція ММ в РЕМ.

На наш погляд, актуальною є мета проведення огляду ММ, структур і методів управління ними в задачах покращення якості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням розподілених джерел електроенергії.

### 1. Дослідження впливу опору мережі на результати поточного керування РДЕ ММ.

Відомо, що необхідно враховувати вплив опору мережі  $Z$  на результати поточного контролю параметрів генерованої РДЕ потужності, враховувати потужність силового інвертора, який використовується в якості ідеального контрольованого джерела напруги, яке підключається до електричної мережі через заданий вхідний опір лінії  $Z$  так, як це показано на наступній схемі мережі (рис. 1 а).

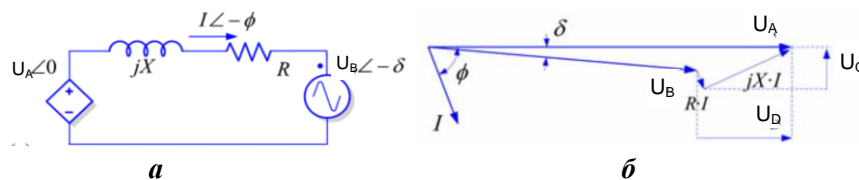


Рис. 1. Спрощена модель силового інвертора, підключеного до розподільної мережі: а – еквівалентна схема; б – векторна діаграма

Активна та реактивна потужності, генеровані РДЕ і передані в ММ за допомогою керованих контролерів силових інверторів, визначаються за виразами (1) і (2)

$$P_A = \frac{U_A}{R^2 + X^2} [R(U_A - U_B \cos \delta) + XU_B \sin \delta] \quad (1)$$

$$Q_A = \frac{U_A}{R^2 + X^2} [RU_B \sin \delta + X(U_A - U_B \cos \delta)] \quad (2)$$

У виразах (1) і (2) позначені:  $P_A$  і  $Q_A$  – відповідно активні і реактивні потужності, які передаються від РДЕ (силового інвертора) А у мережу В;  $U_A$  і  $U_B$  – значення напруги РДЕ;  $\delta$  – кут, який відповідає фазі і є кутом між двома напругами  $U_A$  і  $U_B$  (різницею кутів векторів напруг  $U_A$  і  $U_B$ );  $Z$  – повний опір ЛЕП:  $Z=R+jX$ ;  $\theta$  – кут між активним і реактивним опором ЛЕП;  $R$  – активний опір ЛЕП:  $R=Z \cdot \cos(\theta)$ ;  $X$  – реактивний опір ЛЕП:  $X=Z \cdot \sin(\theta)$ .

Векторна діаграма, яка показана на рис. 1б відповідає заступній схемі рис. 1а [1].

**2. Мережі, з переважним індуктивним опором ЛЕП.**

Розглянемо мережу з індуктивним опором ЛЕП  $X$ . Індуктивна складова опору ЛЕП в мережах високої і середньої напруг (ВН і СН), як правило, набагато більша ніж активна (резистивна) складова, як показано в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

**Типові значення опорів ЛЕП**

Тип ЛЕП	R, Ом/км	X, Ом/км	R/X, в.о.
ЛЕП низької напруги	0,642	0,083	7,7
ЛЕП середньої напруги	0,161	0,190	0,85
ЛЕП високої напруги	0,06	0,191	0,31

Таким чином, активним опором можна знехтувати без внесення значної помилки. Крім того, кут потужності  $\delta$  малий, тому можна вважати, що  $\sin(\delta) \approx \delta$  та  $\cos(\delta) \approx 1$  [3].

Отже, вирази (1) і (2) можна переписати у вигляді:

$$P_A \approx \frac{U_A}{X} (U_B \sin \delta) \Rightarrow \delta \approx \frac{X P_A}{U_A U_B}, \quad (3)$$

$$Q_A \approx \frac{U_A}{X} (U_A - U_B \cos \delta) \Rightarrow U_A - U_B \approx \frac{X Q_A}{U_A}. \quad (4)$$

Вирази (3) і (4) показують пряму залежність між кутом  $\delta$  та активною потужністю  $P_A$  в точці А приєднання РДЕ до ММ, а також між різницею напруг  $U_A - U_B$  і реактивною потужністю  $Q_A$  в точці А приєднання РДЕ до ММ.

Ці вирази (2) і (3) можуть бути використанні в процесі регулювання частоти і напруги мережі в точці А підключення силового інвертора, за результатами контролю значення активної та реактивної потужностей, яка надходить від РДЕ в ММ.

Тому, за результатами поточного контролю параметрів напруги мережі у точці А (частоти і амплітудного значення напруг для індуктивних ліній) можуть бути визначені відхилення частот і амплітудних значень напруг від їх нормованих значень за виразами (5) та (6) для індуктивних ліній:

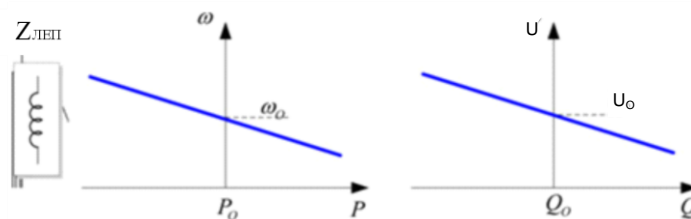
$$f - f_0 = -k_p (P - P_0) \quad (5)$$

$$U - U_0 = -k_q (Q - Q_0) \quad (6)$$

де:  $(f - f_0)$  та  $(U - U_0)$  – відхилення поточних значень частоти  $f$  і напруги  $U$  від їх нормованих значень  $f_0$  та  $U_0$  відповідно;  $(P - P_0)$  і  $(Q - Q_0)$  – зміни активної та реактивної генерованих потужностей, які потрібно компенсувати щоб усунути вплив таких відхилень.

Ці вирази можуть бути представлені графічно у вигляді спадаючих характеристик (залежностей), показаних на рис. 2, де, як видно з виразів (5) і (6), коефіцієнт підсилення керуючого впливу в кожному конкретному випадку (тобто нахил лінії залежності частоти і напруги спадаючої характеристики) залежить від коефіцієнтів підсилення активної і реактивної потужностей  $k_p$  і  $k_q$ , відповідно.

Тому, як показано на рис. 2, кожен з силових інверторів РДЕ ММ буде регулювати активну і реактивну потужність генеровану РДЕ у відповідності до швидкості спадання характеристики  $P/f$  і  $Q/V$  у ММ.



**Рис. 2. Ідеалізовані спадаючі залежності частоти від споживаної активної потужності і напруга від споживаної реактивної потужності для мережі з переважно індуктивним опором**

Ці характеристики підкреслюють участь силового інвертора РДЕ в регулюванні частоти і напруги ММ, відповідно.

### 3. Мережі з переважним активним опором ЛЕП.

На відміну від мереж середньої і високої напруг, опір ЛЕП низьковольтних мереж, в основному, активний, як показано в таблиці 1 [4], а тому індуктивним опором можна знехтувати. Отже, якщо кут потужності  $\delta$  має малі значення у виразах (1) і (2), то отримуємо вирази (7) та (8):

$$P_A \approx \frac{U_A}{R} (U_A - U_B \cos \delta) \Rightarrow U_A - U_B \approx \frac{R P_A}{U_A}, \quad (7)$$

$$Q_A = -\frac{U_A \cdot U_B}{R} \sin \delta \Rightarrow \delta \approx \frac{R Q_A}{U_A U_B}. \quad (8)$$

Отже, амплітуда напруги в мережах низької напруги залежить, в основному, від перетікань активної потужності, при цьому їх частота, в основному, залежить від надходження в ММ реактивної потужності. З (7) і (8) визначаються відхилення поточних значень напруг від їх нормованих значень за виразами (9) і (10) для мереж з переважним активним опором:

$$U - U_0 = -k_p (P - P_0) \quad (9)$$

$$f - f_0 = -k_q (Q - Q_0) \quad (10)$$

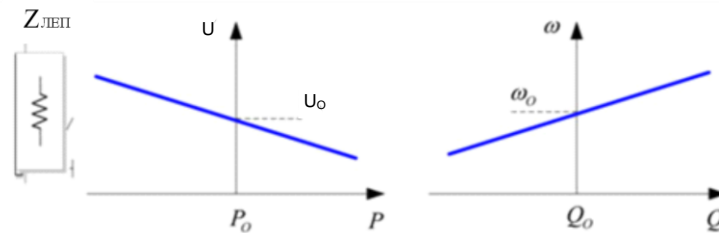


Рис. 3. Ідеалізовані графіки залежностей напруги і частоти для ЛЕП ММ низької напруги з переважно активним опором

Залежності напруги і частоти в мережах низької напруги з переважним активним опором ЛЕП є статичними характеристиками, і показані на рис.3 [5], [6]. На рис.3 видно кут нахилу графіків залежностей  $P/U$  і  $Q/f$ , характерних для мереж з переважним активним опором ЛЕП. Залежності, показані на рис.3 можуть бути використані під час регулювання напруги і частоти ММ.

### 4. Мережі з активно-індуктивними опорами ЛЕП.

У загальному випадку комбінованої дії активного та індуктивного опорів ЛЕП їх складові повинні бути враховані у відповідності до наступних рівнянь [5]:

$$\begin{bmatrix} P' \\ Q' \end{bmatrix} = [T] \cdot \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} P' \\ Q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X}{Z} & -\frac{R}{Z} \\ \frac{R}{Z} & \frac{X}{Z} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix}.$$

де:  $\varphi$  – кут, який знаходиться за виразом

$$\varphi = \pi/2 - \theta = \arctg(R/X);$$

$\varphi$  – кут обертання матриці T;

$\theta$  – кут повного опору ЛЕП  $Z = Z \angle \theta$ .

За умови, що  $\delta$  приймає мале значення, застосування обертової матриці T у виразах (1) і (2) призводить до наступних спрощених рівнянь:

$$P_A \approx \frac{U_A}{Z} (U_B \sin \delta) \Rightarrow \delta \approx \frac{Z P_A}{U_A U_B}, \quad (12)$$

$$Q_A \approx \frac{U_A}{X} (U_A - U_B \sin \delta) \Rightarrow U_A - U_B \approx \frac{Z Q_A}{U_A}. \quad (13)$$

де  $P_A'$  і  $Q_A'$  є обертові складовими  $P_A$  і  $Q_A$  згідно до виразу (7). З виразів (12) і (13), можна зробити висновок, що кут потужності  $\delta$  можна регулювати обертаючи активну потужність  $P_A$  при цьому різниця напруг  $U_A - U_B$  може бути змінена шляхом регулювання реактивної потужності обертової  $Q_B$ . Тому, в загальному випадку, рівняння поточного стану можуть бути записані у вигляді (14) і (15):

$$f - f_0 = k_p (P' - P'_0) = -k_p \frac{X}{Z} (P - P_0) + k_q \frac{R}{Z} (Q - Q_0), \quad (14)$$

$$U - U_0 = k_p (Q' - Q'_0) = -k_p \frac{R}{Z} (P - P_0) - k_q \frac{X}{Z} (Q - Q_0). \quad (15)$$

Згідно з (14) і (15), внесок в компенсацію відхилень частоти і амплітуди напруги (в різних варіантах силових інверторів мереже-підтримуючих джерел (РДЕ) ММ) може бути скорегований шляхом зміни значень коефіцієнтів  $k_p$  і  $k_q$ .

### Висновки

Існує багато різних аспектів, пов'язаних з керуванням ММ змінного струму. Вибір методу керування силовими інверторами залежить від ролі, яку відіграє інвертор в мікро-мережі. Схеми керування інверторами для ЛЕП з переважним активним опором, для ЛЕП з переважним індуктивним опором та для ЛЕП з комбінованим опором дозволяють якісно підтримувати частоту та амплітудне значення напруги мережі змінного струму в нормованих межах.

### Список літератури

1. Лежнюк П.Д. Оптимізація режиму розподільних електричних мереж з розосередженими джерелами електроенергії / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, В.В. Кулик // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», випуск 11 (186). – 2011. – С. 250 - 251.
2. K. De Brabandere. A voltage and frequency droop control method for parallel inverters / B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen, and R. Belmans // IEEE Trans. Power Electron. - Jul. 2007. - vol. 22, no. 4. - P. 1107– 1115.
3. K.D. Brabandere. Voltage and frequency droop control in low voltage grids by distributed generatros with inverter front-end: Ph.D. dissertation, Dept. Elektrotechnik, Katholieke Univ. Lueven, Leuven Belgi / K.D. Brabandere. - 2006.
4. A. Engler. Applicability of droops in low voltage grids / A. Engler // Int. J. Distrib. Energy Resources, Technology and Science Publisher, Germany, Kassel. - 2005. - vol. 1, no. 1.
5. H. Laaksonen. Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid / P. Saari, and R. Komulainen // Int. Conf. Future Power Syst., - 2005, - P. 1–6.
6. S. Tabatabae. Investigation of droop characteristics and X/R ratio on small-signal stability of autonomous microgrid / H.R. Karshenas, A. Bakhshai, and P. Jain // Proc. 2nd Power Electron., Drive Syst. Technol. Conf. – 2011. – P. 223–228.
7. J.M. Guerrero. Output impedance design of parallel-connected UPS inverters with wireless load-sharing control / L. GarcıadeVicuna, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret // IEEE Trans. Ind. Electron. - Aug. 2005. - vol. 52, no. 4 - P. 1126–1135.

### References

1. Lezhnyuk P.D. Optymizatsiya rezhymu rozpodil'nykh elektrychnykh merezh z rozoseredzhenymy dzherelamy elektroenerhiyi / P.D. Lezhnyuk, O.A. Koval'chuk, V.V. Kulyk // Naukovi pratsi Donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Seriya: «Elektrotekhnika i enerhetyka», vypusk 11 (186). – 2011. – S. 250 - 251.
2. K. De Brabandere. A voltage and frequency droop control method for parallel inverters / B. Bolsens, J. Van den Keybus, A. Woyte, J. Driesen, and R. Belmans // IEEE Trans. Power Electron. - Jul. 2007. - vol. 22, no. 4. - P. 1107– 1115.
3. K.D. Brabandere. Voltage and frequency droop control in low voltage grids by distributed generatros with inverter front-end: Ph.D. dissertation, Dept. Elektrotechnik, Katholieke Univ. Lueven, Leuven Belgi / K.D. Brabandere. - 2006.
4. A. Engler. Applicability of droops in low voltage grids / A. Engler // Int. J. Distrib. Energy Resources, Technology and Science Publisher, Germany, Kassel. - 2005. - vol. 1, no. 1.
5. H. Laaksonen. Voltage and frequency control of inverter based weak LV network microgrid / P. Saari, and R. Komulainen // Int. Conf. Future Power Syst., - 2005, - P. 1–6.
6. S. Tabatabae. Investigation of droop characteristics and X/R ratio on small-signal stability of autonomous microgrid / H.R. Karshenas, A. Bakhshai, and P. Jain // Proc. 2nd Power Electron., Drive Syst. Technol. Conf. – 2011. – P. 223–228.
7. J.M. Guerrero. Output impedance design of parallel-connected UPS inverters with wireless load-sharing control / L. GarcıadeVicuna, J. Matas, M. Castilla, and J. Miret // IEEE Trans. Ind. Electron. - Aug. 2005. - vol. 52, no. 4 - P. 1126–1135.

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МОЩНЫХ КОМПАНИЙ АПК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСЕТИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Аннотація:** в статтє исследована возможность использования микросетей и распределенных



источников электроэнергии в задачах улучшения качества электроснабжения крупных предприятий агропромышленного комплекса. Проанализированы особенности использования микросети. Исследовано влияние сопротивления сети на результаты текущего управления рассредоточенными источниками электроэнергии микросети. В статье рассмотрены сети, с преобладающим индуктивным сопротивлением линий электропередач, сети с преобладающим активным сопротивлением линий электропередач, сети с активно-индуктивными сопротивлениями линий электропередач, а также приведены графики зависимостей напряжения и частоты для рассматриваемых сетей. Представлены формулы для определения потоков реактивной и активной мощности для микросети с преобладающим индуктивным сопротивлением линий электропередач, микросети, с преобладающим активным сопротивлением линий электропередач, и сетей с активно-индуктивными сопротивлениями линий электропередач.

**Ключевые слова:** микросети, линия электропередач, SmartGrid, возобновляемые источники электроэнергии.

#### **FEATURES OF POWER SUPPLY POWER ENTERPRISES WITH AIC MICROGRIDS AND DISTRIBUTED SOURCES OF ELECTRICITY**

**Summary:** the article investigated the possibility of using microgrids and distributed sources of electricity in the task of improving the quality of power supply of large agricultural enterprises. The features of using microgrids. The effect of the resistance network at the results of the current control diffuse sources of electricity microgrids. The article deals with the network, with a predominantly inductive impedance transmission lines, network with predominantly active resistance of power lines, a network of active-inductive resistance of power lines, and is a plot of voltage and frequency for the considered networks. The formulas to determine the flows of reactive and active power for microgrids with a predominantly inductive impedance transmission lines, microgrids, the prevailing active resistance of power lines and networks with the active-inductive resistance of power lines.

**Keywords:** micro-network, power line, SmartGrid, renewable electricity.