

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ МІКРОЕЛЕКТРОМЕРЕЖ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ НИМИ

Матвійчук Віктор Андрійович д.т.н., професор*Рубаненко Олена Олександрівна* к.т.н., доцент*Явдик Віта Вікторівна* аспірант

Вінницький національний аграрний університет

*Matviychuk V.**Rubanenko O.**Yavduk V.*

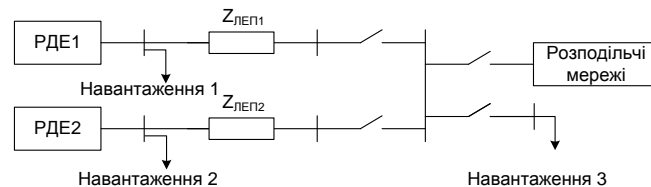
Vinnytsia National Agrarian University

Анотація: в статті досліджено методи керування параметрами нормальних режимів мікроелектромереж. Досліджено два основних режими роботи: «острівний» режим – коли мікромережа працює автономно, режим підключення – коли мікромережа підключена до розподільчих електричних мереж, а також режим переходу від підключеного стану в автономний і навпаки.

Ключові слова: мікроелектромережа, лінія електропередач, «острівний» режим, розподілена генерація.

Актуальність і мета

На сучасному етапі розвитку електрифікації сільського господарства, особливо під час створення тваринницьких комплексів промислового типу, птахофабрик, тепличних комбінатів тощо, вимикання лінії електропередачі, як планове (для ревізії та ремонту), так і непередбачене, аварійне, завдає значних збитків споживачам і самій енергосистемі [1]. Тому актуальною є задача створення мікроелектромереж (ММ) з розосередженими джерелами енергії (РДЕ), що не тільки дасть змогу забезпечити підприємство АПК надійним електропостачанням якісною електроенергією, а й буде додатковим джерелом прибутку [2]. Схема мікроелектромережі показана на рис. 1 [3].

**Рис. 1. Схема мікроелектромереж**

ММ можуть працювати в «острівному» режимі, тобто автономно від розподільчих електричних мереж (РЕМ) району, або в режимі «підключення», тобто частину електроенергії вони беруть із РЕМ, і окремо можна виділити перехідний режим підключення або відключення від РЕМ. Тому **метою** даної статті є дослідження методів оптимального керування параметрами нормальних режимів ММ.

Методи керування параметрами режимів мікроелектромереж

Здійснювати керування по активній і реактивній потужності можна за допомогою зміни миттєвого значення струму, а саме поперечної його складової, використовуючи при цьому трансформатор. Якщо напрям вісі d (тобто поздовжньої складової струму) співпадає з напрямом напруги, то спрощений вираз для визначення активної і реактивної потужності можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} P = u_d i_d \\ Q = -u_d i_q \end{cases} \quad (1)$$

де P – активна потужність; Q – реактивна потужність; u_d – повздовжня складова напруги; i_q – поперечна складова струму; i_d – повздовжня складова струму.

Вихідна потужність на шинах РДЕ визначається за формулами:

$$\begin{cases} Q = \frac{f - f_n}{m} + Q_n \\ P = \frac{U - U_n}{-n} + P_n \end{cases} \quad (2)$$



Підставивши вираз (1) в вираз (2) після перетворень отримаємо:

$$\begin{cases} i_{qn} + \frac{f_n - f}{mu_d} - i_q = 0 \\ i_{qn} + \frac{U_n - U}{mu_d} - i_d = 0 \end{cases} \quad (3)$$

де f_n і U_n – це поточні значення частоти і амплітуди напруги; P_n і Q_n – це поточні значення активної і реактивної потужності (на шинях) РДЕ; m і n – коефіцієнти відповідності; f і U – номінальні значення частоти і амплітуди напруги; i_{qn} і i_{dn} – поточні значення поперечної та повздовжньої складових струму відповідно, які можуть бути розраховані через поточні значення активної та реактивної потужності; i_q і i_d – значення поперечної та повздовжньої складових струму на виході; u_d – значення повздовжньої складової напруги на виході. Після введення позначень $K_m = \frac{1}{(mu_d)}$; $K_n = \frac{1}{(nu_d)}$; $\Delta f = f_n - f$; $\Delta U = U_n - U$ система рівнянь (3) запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} (i_{qn} + K_m \Delta f) - i_q = 0 \\ (i_{dn} + K_n \Delta U) - i_d = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Коли керування параметрами нормального режиму роботи ММ здійснюється за відхиленнями частоти і напруги, то в алгоритмах керування потрібно застосувати рівняння (4). Якщо використовується метод керування за активною і реактивною потужностями, то застосовується рівняння (5):

$$\begin{cases} i_{qn} - i_q = 0 \\ i_{dn} - i_d = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Метод керування параметрами нормального режиму ММ за відхиленнями частоти і амплітуди напруги, еквівалентний методу «постійного контролю потужності», при якому виникає відхилення частоти і амплітуди напруги від номінальних значень при проходженні поточного струму еквівалентний поточний струм»). Блок-схема, яка реалізує розглянутий метод керування показана на рис. 2.

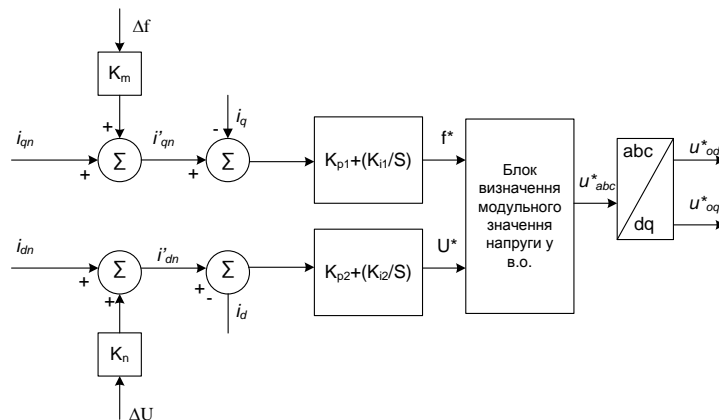


Рис. 2. Схема блоку керування

Схема блоку керування базується на використанні в алгоритмах керування системи рівнянь (6):

$$\begin{cases} f^* = (K_{p1} + \frac{K_{i1}}{S})[(i_{qn} + K_m \Delta f) - i_q] \\ U^* = (K_{p2} + \frac{K_{i2}}{S})[(i_{dn} + K_n \Delta U) - i_d] \end{cases} \quad (6)$$

Відповідно до позначень на рис.2: i_{dn} і i_{qn} – значення повздовжньої і поперечної складових струму, що визначаються по базовому значенню потужності, i'_{dn} і i'_{qn} – уточнені значення повздовжньої і поперечної складових струму з врахуванням відхилення амплітудного значення напруги і частоти відповідно.

Отриманий сигнал порівнюється з вихідним струмом, як в методі керування за активною і реактивною потужностями. У результаті порівняння визначається відхилення значень складових струму, і сигнал, який містить в собі цю інформацію потрапляє в ПІ-регулятор, на виході якого



з'являються розрахункові значення частоти і напруги в умовних одиницях f^* і U^* , які відповідають ustalеному режиму роботи ММ.

Графіки керування в «острівному» режимі показані на рис. 3(а). Якщо не враховувати активний опір ЛЕП, то зміна ΔU залежить лише від коефіцієнта K_n . Базуючись на різних значеннях K_n та потужності РДЕ потрібно реалізувати розподіл навантаження в відповідності з потужністю навантаження. Через наявність ПІ-регулятора в блок-схемі, коли закон керування не може реалізуватись за формулою (2), то керування здійснюється за напругою і частотою.

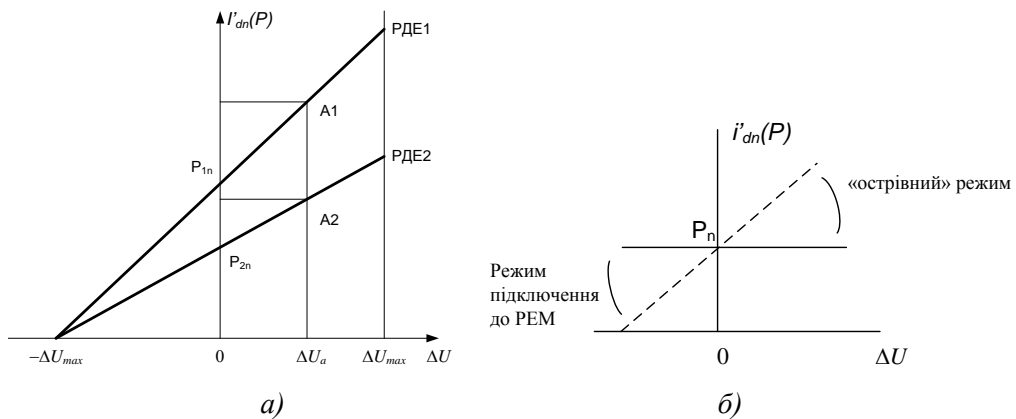


Рис. 3. Залежності поточного значення струмів від відхилення амплітудного значення напруги в «острівному» режимі а) і режимі підключення до РЕМ б)

В режимі підключення до РЕМ відбувається зменшення K_n до 0, ΔU більше не впливає на вихідну активну потужність, і керування здійснюється, так як показано на рис. 3 (б). В процесі приєднання мікромережі до РЕМ, вихідна потужність повинна плавно досягти ustalеного значення, тобто вплив викликаний швидкістю зміни режимних параметрів мікромережі зменшується, тим часом K_n змінюється від 0 до $\frac{I}{nu_d}$.

При відключенні ММ від РЕМ може не вистачати потужності, тому система керування повинна забезпечити потрібну частоту і напругу, в цей час значення K_n повинно швидко збільшуватись від 0 до $\frac{I}{nu_d}$. Визначення коефіцієнта K_n , для кожного режиму відбувається за формулою (7):

$$K_n(t) = \begin{cases} \frac{1}{nu_d} & (t < t_0) \\ \frac{1}{nu_d} \cdot e^{-\frac{(t-t_0)}{T}} & (t_0 \leq t < t_1) \\ \frac{1}{nu_d} & t \geq t_1 \end{cases} \quad (7)$$

В цій формулі: t_0 , t_1 – це момент підключення ММ до РЕМ і відключення ММ від РЕМ відповідно; T – стала часу (період часу, який потрібний для підключення або відключення ММ – час переходу). Чим більше T , тим повільніше буде відбуватись процес переходу. На практиці перехідний процес закінчується приблизно через $4T$. Крива зміни K_n показана на рис 4.

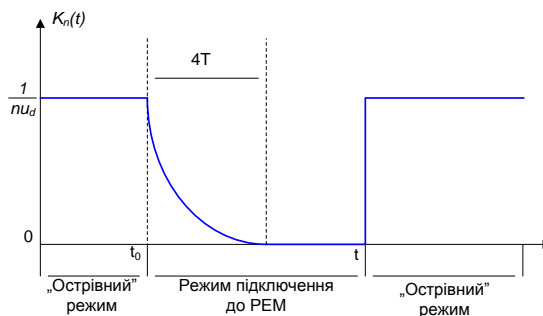


Рис. 4. Діаграма зміни K_n



Висновки

Існує багато різних аспектів, пов'язаних з керуванням ММ змінного струму. Вибір методу керування силовими інверторами залежить від ролі, яку відіграє інвертор в ММ.

Дослідження створення ММ в Україні є актуальною задачею, вирішення якої надасть змогу забезпечити потужні підприємства АПК якісною електроенергією в потрібному обсязі. В статті розглянуто два режими роботи ММ і підбрано оптимальний метод керування для кожного режиму: «підключення» - тобто ММ підключена до централізованої розподільної ЕМ – метод керування за частотою і амплітудою; в ізольованому режимі – ММ відключена від централізованої розподільної ЕМ – метод керування за активною і реактивною потужністю. А також розглянуто метод керування, який полягає в контролі відхилення поточних параметрів режиму від номінальних значень під час переходу з ізольованого режиму роботи в режим підключення до РЕМ, з метою забезпечення плавного переходу для зміни режимів роботи.

Список літератури

1. Козирський В.В. *Електропостачання агропромислового комплексу* / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 448 с.
2. Матвійчук В.А. *Особливості електропостачання потужних підприємств АПК з використанням нейромереж та розподілених джерел електроенергії* / В.А. Матвійчук, О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко // *Збірник наукових праць ВНАУ: Серія технічні науки* – 2015. № 2 (90). – С. 117-123.
3. Dong Y. *Control strategy of low voltage microgrid based on equivalent reference current control* / Yuanxiao Dong, Chen Bing, Li Qun, Liu Jianhua // *Materials of China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2014) Shenzhen*. - 23-26 Sep. 2014. – P.70-76.
4. K.D. Brabandere. *Voltage and frequency droop control in low voltage grids by distributed generators with inverter front-end: Ph.D. dissertation, Dept. Elektrotechnik, Katholieke Univ. Leuven, Leuven België / K. D. Brabandere*. - 2006.
5. 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.
6. 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.

References

1. Kozirskiy V.V. *Elektropostachannya agropromislovogo kompleksu* / Kozirskiy V.V., Kaplun V.V., Voloshin S.M. – K.: Agrarna osvita, 2011. – 448 p.
2. Matviychuk V.A. *Osoblivosti elektropostachannya potuzhnykh pidpriemstv APK z vikoristannyam neyromerezh ta rozpodilennykh dzherel elektroenergiyi* / V.A. Matviychuk, O.E. Rubanenko, O.O. Rubanenko // *Zbirnik naukovih prats VNAU: Seriya tehnicni nauki* – 2015. № 2 (90). – S. 117-123.
3. Dong Y. *Control strategy of low voltage microgrid based on equivalent reference current control* / Yuanxiao Dong, Chen Bing, Li Qun, Liu Jianhua // *Materials of China International Conference on Electricity Distribution (CICED 2014) Shenzhen*. - 23-26 Sep. 2014. – P.70-76.
4. K. D. Brabandere. *Voltage and frequency droop control in low voltage grids by distributed generators with inverter front-end: Ph.D. dissertation, Dept. Elektrotechnik, Katholieke Univ. Leuven, Leuven België / K. D. Brabandere*. - 2006.
5. 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.
6. 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.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИКРОЭЛЕКТРОСТЕЙ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Аннотация: в статье исследованы методы управления параметрами нормальных режимов микросетей. Исследованы два основных режима работы: «островной» режим - когда микросеть работает автономно, режим подключения - когда микросеть подключена к распределительным электрическим сетям, а также режим перехода от подключенного состояния в автономный и наоборот.

Ключевые слова: микросети, линия электропередач, возобновляемые источники электроэнергии, распределенная генерация.

ANALYSIS OF MODES OF MICROGRIDS AND CONTROL METHODS

Summary: the article investigates the methods of control parameters of the normal modes of the microgrids. Studied two basic modes of operation: "island" mode - when microgrid offline, a connection mode, when microgrid connected to power distribution networks, as well as the mode of transition from the connected state to offline.

Keywords: microgrid, line of power; renewable energy sources; distributed generation