

# ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ АПК

УДК 621.316.1

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ДЖЕРЕЛ СПОТВОРЕННЯ

Кузнецов В. Г., Тугай Ю. І, Нікішин Д. А.

*Інститут електродинаміки Національної академії наук України (м. Київ)*

*Розглянуто питання оптимізації нормальних усталених режимів сучасних систем електропостачання АПК з урахуванням наявності в них джерел спотворень.*

**Постановка проблеми.** Об'єктивні тенденції розвитку систем електропостачання (СЕС) АПК спричиняють все більші ускладнення їх елементів та структури, вони стають комплексом не тільки по транспорту та розподілу електроенергії, а і її генерації [1]. При цьому посилюється взаємозв'язок і взаємозумовленість процесів, що відбуваються в СЕС. Таким чином необхідно розглядати ці процеси не тільки ізольовано, але і як частину загальних для всієї системи процесів, тобто застосувати системний підхід. Взагалі рішення оптимізаційних задач в електроенергетиці зводиться до побудови певного алгоритму, який дозволяє відшукувати екстремальні значення обраного критерію при виконанні заданих обмежуючих умов, а також визначити величини керуючих впливів, що необхідні для досягнення екстремуму. В більшості випадків експлуатаційну задачу оптимізації режимів СЕС розглядають з точки зору витрат електричної енергії на її транспорт. В той же час сучасний етап розвитку електрифікації характеризується безперервним зростанням питомої ваги та потужності нетрадиційних як споживачів, так і джерел електроенергії. На практиці це приводить до того, що в сучасних СЕС зростає вплив факторів, що зумовлюють спотворення якості електричної енергії і суттєво знижують ефективність роботи як самих СЕС, так і споживачів, що живляться від них.

Тому врахування впливу джерел спотворень в СЕС при оптимізації її режимів є актуальною теоретичною та практичною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вибір оптимального секціонування розімкнених схем під час експлуатації СЕС з метою зменшення втрат є традиційною задачею. Запропонована та реалізована велика кількість методів та алгоритмів її розв'язку. Останнім часом набули поширення методи основані на генетичних алгоритмах, хоча не можна сказати, що вони повністю витіснили алгоритми дискретних методів нелінійної оптимізації, оскільки є більш повільними і мають реальні переваги тільки при оптимізації режимів в спеціальних СЕС. Проблема забезпечення якості енергії (ЯЕ), яка відповідала б граничним значенням зони безпечного існування усталених режимів в СЕС, отримала за останні десятиліття особливу актуальність у всіх розвинутих країнах світу. Це обумовлено широким упровадженням нових прогресивних технологічних процесів і систем, і як слідство, безупинним ростом числа й потужності нелінійних, несиметричних і швидкозмінних споживачів електроенер-

гії. Визначення зон безпечного існування режиму дає можливість ввести відповідні обмежуючі умови в процес оптимізації. Але при цьому залишається поза увагою вплив на значення критерії оптимальності фактору зниження ЯЕ. Тому режим в СЕС з джерелами спотворень в дійсності загалом не буде оптимальним, навіть якщо він знаходиться в межах зони безпеки.

**Мета статті.** Дослідити аспекти оптимізації усталених режимів СЕС при наявності джерел спотворень. Розглянути принципи формування комплексного критерія оптимальності, що враховує як втрати електроенергії, так і зміну її якості.

**Основні матеріали дослідження.** При традиційній постановці задачі оптимізації мають на увазі нормальний усталений режим, виходячи з показників якого було виконано проект СЕС. Баланс потужностей в такому режимі передбачає симетричні напруги і струми синусоїдальної форми. В реальних умовах параметри режиму завжди відрізняються від ідеальних, тому можна говорити, що будь який режим має відхилення від нормального.

При виконанні аналізу усталеного режиму СЕС з джерелами спотворень, в рівнянні балансу потужностей з'являються додаткові складові, що викликані цими спотвореннями. Використання при оптимізації рівнянь режиму в потужностях має ту перевагу, що на відміну від інших параметрів, потужність при переході через трансформатор не змінюється. Це зручно для дослідження мереж з різними номінальними напругами, а також при підключенні джерел розосередженої генерації різного типу. Взагалі потужність традиційно є однією з найбільш важливих характеристик як електричної мережі, так і підключених до неї споживачів і джерел енергії. Повна потужність режиму при наявності джерел спотворень може бути записана через діючі значення параметрів режиму як

$$S = \sqrt{S_1^2 + D_1^2 + D_U^2 + S_h^2 + D_h^2}. \quad (1)$$

В цьому виразі окремі складові повної потужності:  
- потужність на основній частоті (корисна);

$$S_1 = U_1 I_1;$$

- потужність спотворення струму, обумовлена взаємодією  $i$ -тої гармонійної складової струму з напругою основної частоти

$$D_I = \sqrt{U_1 \sum_{i=2}^k I_i}; \quad (2)$$

- потужність спотворення напруги, обумовлена взаємодією напруги  $i$ -тої гармонійної складової напруги зі струмом основної частоти

$$D_U = \sqrt{I_1 \sum_{i=2}^k U_i};$$

- повна потужність на частотах  $i$ -тих вищих гармонійних складових

$$S_h = \sqrt{\sum_{i=2}^k U_i I_i};$$

- потужність спотворення, обумовлена взаємодією  $i$ -тої гармонійної складової напруги з струмом  $j$ -тою гармонійною складовою струму

$$D_h = \sqrt{\sum_{i=2}^k \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq i}}^k U_i I_j}.$$

Попередній аналіз усталених режимів при наявності джерел спотворень показав, що за величиною потужності спотворення (2) –  $D_I$ , має той же порядок, що й активна та реактивна потужності в СЕС. Для окремих джерел спотворень це значення може складати до 20% від повної потужності. Тому саме ця потужність спотворення була вибрана при формуванні комплексного критерію. Іншими складовими повної потужностями (1) на практиці можна знехтувати.

Таким чином отримуємо адитивний критерій оптимальності, який враховує не тільки втрати від перетікання потужностей споживачів, а й втрати, що зумовлені потужностями джерел спотворень. Процес аналізу режимів СЕС виконується на математичній моделі, що складається з повних заступних схем окремих елементів. Слід відзначити, що в переважній більшості теоретичних і практичних досліджень не-синусоїдальні режими розглядаються як симетричні на частотах всіх гармонійних складових. Це знайшло своє відображення і в нормативних документах на ЯЕ. Але відомо, що існує істотна відмінність частотних властивостей лінійної несиметричної електричної мережі або електричної мережі з несиметричними нелінійними елементами від досить добре вивчених властивостей симетричної трифазної електричної мережі. Зокрема, за несиметрії можлива поява додаткових частот вільних коливань і відповідно поява нетипових резонансних процесів з небезпечними для обладнання перенапругами та надструмами. Тобто моделювання несиметрії важливо для врахування іншого результату погіршення ЯЕ, - небезпеки виникнення аномальних режимів, коли мова йде вже не про економічні характеристики, а про його безпеку. Для оптимальної реконфігурації схеми СЕС розроблена удосконалена модель, з урахуванням резервних переми-

чок, в якій секціонування виконується шляхом поступового еквівалентного перетворення схеми [2]. Це дозволило врахувати як різницю в значеннях робочої напруги на трансформаторних підстанціях, так і можливість живлення ліній електропередачі з двох сторін через наявність джерел розосередженої генерації. В подальшому використання запропонованих методів та алгоритмів моделювання нормальних і аномальних режимів СЕС дозволить визначити доцільність використання спеціального симетруючого обладнання при наявності джерел спотворень.

**Висновки.** Оптимізація нормальних усталених режимів СЕС повинен виконуватись не тільки за критерієм витрат електроенергії на її транспорт до споживачів, але й враховувати зміну значень показників ЯЕ. При оптимізації несинусоїдальних режимів доцільно використовувати критерій, який залежить від потужності спотворення, що дозволяє підтримувати рівень цих спотворень в економічно обґрунтованих межах. Для запобігання виникнення в СЕС нетипових резонансних процесів з небезпечними для обладнання перенапругами та надструмами під час оптимізації слід використовувати обмежуючі умови, отримані в результаті аналізу можливих несиметричних режимів в СЕС.

#### Список використаних джерел

1. Козирський В. В. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / В. В. Козирський, Ю. І. Тугай, В. М. Бодунов, О. В. Гай // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 63–67.
2. Тугай Ю. І. Оптимізація секціонування схем розподільних електричних мереж / Ю. І. Тугай, О. В. Гай // Праці ІЕД НАНУ. – 2011. – № 28. – С. 10–14.

#### Анотація

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИСКАЖЕНИЯ

Кузнецов В. Г., Тугай Ю. И, Никишин Д. А.

*Рассмотрены вопросы оптимизации режимов современных систем электроснабжения при наличии в них источников кондуктивных помех и возможного снижения качества электрической энергии.*

#### Abstract

### THE OPTIMIZATION OF POWER SUPPLY SYSTEM STATE WITH INFLUENCE OF DISTORTION SOURCES

V. Kuznetsov, Y. Tugai, D. Nikishin

*The problems of optimizing the modes of modern power supply systems and the quality of electrical energy are considered in the presence of sources of conductive interference.*