

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТКОВОГО ВНЕСКУ СУБ'ЄКТІВ У ПОГІРШЕННІ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Гриб О.Г., Щербакова П.Г.

Харківська національна академія міського господарства

pgiav@gala.net

Techniques of definition of the share contribution of consumers and suppliers in distortion of the established deviation of a voltage, symmetry and sinusoidally are proved and developed. The complex technique of an estimation of the partial contribution of subjects in infringement of quality of the electric power is developed.

Перед Україною стоїть найважливіша задача в області енергетики - енергозбереження. Кожна сфера енергетики вирішує це питання в рамках своїх прерогатив. В електроенергетиці одним з найважливіших аспектів електрозбереження є поліпшення якості електроенергії (ЯЕ). Крім додаткових утрат електроенергії (ЕЕ), порушення припустимих значень показників якості електроенергії (ПЯЕ) [1] приводить до зниження терміну служби електротехнічного устаткування, зниженню ефективності, а в деяких випадках до порушення, технологічного процесу споживачів. Визначення відповідальності за порушення вимог до ПЯЕ є задачею актуальною, як засіб підвищення ЯЕ.

Одним з головних ПЯЕ є *стале відхилення напруги*. Необхідний рівень напруги може бути забезпечений тільки в тому випадку, якщо навантаження споживача відповідає пропускній здатності мережі й встановлених засобів регулювання напруги. Тому в договір між енергопостачальним підприємством і споживачем в обов'язковому порядку вводяться обмеження за потужністю навантаження. Залежно від параметрів навантаження споживача, схеми й умов експлуатації електричної мережі, обмеження можуть стосуватися тільки максимальної величини споживання активної потужності P_{\max} або поширюватися й на її мінімальне значення P_{\min} , а також на максимальну Q_{\max} і мінімальну Q_{\min} реактивні навантаження.

Частковий внесок суб'єктів визначається у відповідності з наступними принципами, в основу яких покладені умови договору [2]. Якщо умови договору виконуються, то у випадку перевищення припустимих значень відхилення напруги, суб'єктом погіршуючим ЯЕ визнається мережне підприємство, яке не забезпечує необхідне регулювання напруги. Якщо споживання активної або реактивної потужності виходить за межі договірних зобов'язань, то суб'єктом погіршуючим ЯЕ визнається споживач. Випадок, коли спостерігається зниження напруги нижче припустимого рівня, позначимо елементарним висловленням

$$A1 := (\Delta U < -|\Delta U_{\text{доп}}|), \quad (1)$$

де ΔU – втрата напруги, $\Delta U_{\text{доп}}$ – припустима втрата напруги. Перевищення договірних значень потужності споживача ($P_{(i)} > P_{\max}$ або $Q_{(i)} > Q_{\max}$) позначимо

$$\left. \begin{aligned} B1 &:= P > P_{\max}; \\ C1 &:= Q > Q_{\max}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Тоді, участь повинна визначатися відповідно до логічного рівняння

$$Y1 = A1 \wedge (B1 \vee C1). \quad (3)$$

У разі виконання рівняння ($Y1 = 1$) суб'єктом погіршуючим ЯЕ визнається споживач, якщо $Y1 = 0$ – мережне підприємство.

Для випадку підвищення напруги вище припустимого рівня формули мають аналогічну структуру.

Задачі визначення часткового внеску в *порушення симетрії* розглянуті для точки загального приєднання (ТЗП), розташованої на збірних шинах підстанції. Метою досліджень є розвиток відомого методу визначення участі суб'єктів у порушенні симетрії шляхом одержання математичних виражень для моделювання коефіцієнтів участі і розробка методики визначення часткового внеску в погіршення симетрії [3].

$$K_{2\text{уч}\Sigma} = \frac{K_{2U}''}{K_{2U}' + K_{2U}''}; \quad K_{2\text{уч}\text{сист}} = \frac{K_{2U}'}{K_{2U}' + K_{2U}''} \quad (4)$$

$$\text{де } K_{2U}' = U_2' / U_1, \quad K_{2U}'' = U_2'' / U_1.$$

Значення симетричних складових напруги, які використані для розрахунку коефіцієнтів участі по формулі (4), відрізняються за способом та складністю їхнього визначення. Це пояснюється розходженням

фізичного змісту, що закладений у поняття U_1 , U_2' й U_2'' . Напряга прямої послідовності U_1 є результат перетворень фазних напруг, обмірюваних на ГРБП. Таки ж перетворення дають напругу зворотної послідовності U_2 . Ці параметри необхідні для визначення коефіцієнта несиметрії по зворотній послідовності на границі розділу балансової приналежності (ГРБП) $K_{2U} = U_2 / U_1$. Можна вважати, що значення U_1 , U_2 , K_{2U} одержують шляхом прямого виміру. Значення U_2' й U_2'' у загальному випадку носять абстрактний характер і не підлягають прямому виміру, хоча за часом оцінки збігаються з моментом виміру U_1 , U_2 , K_{2U} . U_2'' є напряга зворотної послідовності, яка була б зафіксована на ГРБП через порушення симетрії тільки системою при симетричному навантаженні. U_2' є напряга зворотної послідовності, яка була б зафіксована на ГРБП через порушення симетрії тільки споживачем при симетричній системі. Розрахунок значень U_2' і U_2'' вимагає розробки математичного опису і моделювання цих величин.

Розглянемо можливість одержання виражень для моделювання коефіцієнта K_{2U}'' [4]. Припустимо, що джерелом несиметрії є навантаження, тоді матрицю симетричних складових напруги на ГРБП можна надати у виді рівняння

$$\bar{U}_s = \frac{1}{3} \cdot \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{Z_c + Z_{HA}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{Z_c + Z_{HB}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{Z_c + Z_{HC}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_{HA} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{HB} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{HC} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{pmatrix} \cdot \underline{E}_A, \quad (5)$$

де $a = e^{j120^\circ}$ – оператор повороту фази вектора; $a = e^{j120^\circ}$ Z_{HA}, Z_{HB}, Z_{HC} – фазні опори навантаження; Z_c – опір зв'язку із системою.

З рівняння (5) можна одержати вираження для розрахунку напруги зворотної послідовності

$$U_2'' = \frac{E_A}{3} \left(\frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} \cdot a + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}} \cdot a^2 \right). \quad (6)$$

Напругу зворотної послідовності, отриману по формулі (6), не можна використовувати для розрахунку K_{2U}'' . Це пояснюється наявністю електрорушійної сили системи \underline{E}_A , значення якої не відомо в розглянутому режимі. Більш того, при зробленому допущенні про розташування джерела несиметрії, \underline{E}_A є величиною фіктивної, такою, що не відповідає дійсному режиму.

Особливістю формули (6) є те, що багаточлен у дужках не залежить від параметрів режиму системи, а визначається параметрами схеми заміщення. У рівнянні для розрахунку напруги прямої послідовності ця особливість присутня також:

$$U_1 = \frac{E_A}{3} \left(\frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}} \right). \quad (7)$$

З'являється можливість виключити з математичного опису абсолютну величину U_2'' , знайти значення якої не вдається, і замінити її відносною величиною, що подається визначенню. Для розрахунку K_{2U}'' слід відмовитися від виміру напруги прямої послідовності U_1 і визначати її по формулі (7). Це дозволить виключити з розрахункових виражень невідомі параметри режиму і робити розрахунок по співвідношенню параметрів схеми заміщення. Значення K_{2U}'' можна представити в наступному виді:

$$K_{2U}'' = \frac{U_2''}{U_1} = \frac{\left| \frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} \cdot a + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}} \cdot a^2 \right|}{\left| \frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}} \right|} \quad (8)$$

Для розрахунку K_{2U}' можна скористатися ознакою порушення симетрії по зворотній послідовності при симетричному навантаженні, відповідно до якого коефіцієнти несиметрії напруги на ГРБП і електрорушійної сили системи є рівні ($K_{2U}' = K_{2E}$). Оскільки симетричні складові напруги на ГРБП відомі за результатами вимірів, то є можливість визначення симетричних складових електрорушійної сили за формулами

$$\left. \begin{aligned} \underline{E}_1 &= \underline{U}_1 + z_{c1} \cdot I_1; \\ \underline{E}_2 &= \underline{U}_2 + z_{c2} \cdot I_2 \end{aligned} \right\} ,$$

а потім:

$$K_{2U}' = K_{2E} = E_2 / E_1. \quad (9)$$

Визначити K_{2U}' можна і другим шляхом. Для цього треба знайти комплексну величину

$$K_{2U}'' = \frac{\frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} \cdot a + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}} \cdot a^2}{\frac{Z_{HA}}{Z_c + Z_{HA}} + \frac{Z_{HB}}{Z_c + Z_{HB}} + \frac{Z_{HC}}{Z_c + Z_{HC}}}. \quad (10)$$

і розрахувати комплекс напруги зворотної послідовності U_2'' , що був би зафіксований на ГРБП через порушення симетрії тільки споживачем:

$$\underline{U}_2'' = K_{2U}'' \cdot \underline{U}_1 \quad (11)$$

Потім визначається комплекс напруги зворотної послідовності U_2' , який було б зафіксоване на ГРБП через порушення симетрії тільки в системі

$$\underline{U}_2' = \underline{U}_2 - \underline{U}_2'' \quad (12)$$

і коефіцієнт, який визначається згідно з (4).

Напруги прямої послідовності \underline{U}_1 у формулі (11) та зворотної послідовності \underline{U}_2 у формулі (12) є величини, які отримані прямим виміром на ГРБП.

У випадку з визначенням часткового внеску в порушенні *синусоїдальності кривої напруги* вдалося, на відміну від несиметрії, виявити ознаку та сформулювати критерій розташування джерел скривлення із однієї сторони ГРБП [5]. Визначення такого режиму засноване на тім, що розкладання в ряд Фур'є несинусоїдальної кривої приводить до появи пакета кривих вищих гармонік. Якщо джерела струмів вищих гармонік перебувають по одну сторону від ГРБП, то активні потужності вищих гармонійних складових мають однаковий напрямок:

$$\text{sign } P(n) = \text{const}. \quad (13)$$

Отриманий критерій дозволив розробити методику визначення часткового внеску в порушення синусоїдальності напруги. Як показало багато опитів, проведених на кафедрі за аналізом ПЯЕ, у більшій частині випадків критерій (13) виконується. Це дозволяє однозначно визначати коефіцієнти відповідальності й виконувати детермінований розрахунок часткового внеску суб'єктів розподілу ЕЕ в скривлення синусоїди в окремо узятому інтервалі усереднення.

Якщо критерій (13) не виконується, то коефіцієнти відповідальності в окремо узятому інтервалі усереднення визначаються як середня величина з усіх наявних гармонійних складових. При цьому розрахунок

часткового внеску в період моніторингу здобуває статистичний характер.

Методи визначення участі суб'єктів у порушенні сталої напруги, симетрії та синусоїдальності є реалізовані у методиках визначення часткового внеску в порушення ПЯЕ, в яких частковий внесок суб'єктів визначається за ту частину ЕЕ, при розподілі якої зафіксоване порушення вимог до ЯЕ. Кожний із суб'єктів одержує компенсацію за ЕЕ, отриману з порушенням ПЯЕ, і оплачує зіпсовану їм ЕЕ.

Розроблена комплексна методика оцінки часткового внеску суб'єктів у порушення ЯЕ [6]. Методика зорієнтована на чинне законодавство і забезпечує об'єднання методик по всім ПЯЕ, що враховуються. Для кожного k-го інтервалу усереднення розраховується зважений коефіцієнт відповідальності суб'єкта розподілу ЕЕ, який є побудований на принципі рівнозначності у порушенні врахованих ПЯЕ:

$$K_{\text{відп}}(k) = \frac{2 \cdot W_{\Delta U} + W_{2U} + W_{0U} + W_{U(n)} + W_U}{(2 \cdot K_{\Delta U}^{\text{відп}} + K_{2U}^{\text{відп}} + K_{0U}^{\text{відп}} + K_{U(n)}^{\text{відп}} + K_U^{\text{відп}}) \cdot W(k)}, \quad (14)$$

де $K_{\Delta U}^{\text{відп}} + K_{2U}^{\text{відп}} + K_{0U}^{\text{відп}} + K_{U(n)}^{\text{відп}} + K_U^{\text{відп}}$ – коефіцієнти відповідальності за порушення ЯЕ з показників;

$K_{\Delta U} + K_{2U} + K_{0U} + K_{U(n)} + K_U$; $W_{\Delta U} + W_{2U} + W_{0U} + W_{U(n)} + W_U$ – значення ЕЕ, яка спожита за умови порушення ЯЕ з цих показників; $W(k)$ – ЕЕ, яка спожита на k-му інтервалі усереднення.

Висновки. У статті розглянуто актуальне питання для теорії й практики експлуатації систем електропостачання - задача визначення часткової участі суб'єктів розподілу й споживання ЕЕ в порушенні ЯЕ. Обґрунтовано й розроблена методика визначення часткового внеску суб'єктів розподілу й споживання ЕЕ в погіршенні сталою відхилення напруги, симетрії, синусоїдальності. Розроблено методику комплексної оцінки часткового внеску суб'єктів у порушенні вимог до ЯЕ, що поєднує методики по визначенню відповідальності за порушення вимог до окремих ПЯЕ.

ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 18.06.99. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1999. – 30с.
2. Сендерович П.Г. Методика и алгоритм определения ответственности за превышение допустимого отклонения напряжения // Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства: “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Харків - 2006. – Вип.43, том 1. - С. 59-65.
3. Определение ответственности за нарушение качества электрической энергии / О.Г. Гриб, П.Г. Щербакова, А.Г. Баталов и др. // Электропанорама. – 2007. – № 9 – С. 86-88, №10 - С. 92-93 .
4. Щербакова П.Г. Моделирование коэффициентов участия субъектов в нарушении симметрии по обратной последовательности // Світлотехніка та електроенергетика – 2007. – №3-4. – С.53-57.
5. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Щербакова П.Г. Особенности использования параметров режима сети для определения участия субъектов в искажении синусоидальности кривой напряжений// Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/4 (29). – С. 73-76.
6. Сендерович П.Г. Определение ответственности за нарушение качества в приборах учета электроэнергии // Світлотехніка та електроенергетика – 2006. – 7/8. – С. 48-53.

Рекомендовано д.т.н. Курінним Е.Г.