

конується для джерела світла, а не для приймача випромінювання, що може бути використано для порівняння будь-яких ламп.

1. Berson D.M., Dunn F.A., Motoharu Takao. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science. February 8, 2002. – 369 p.

2. Иоффе К.И. Биологическое влияние видимого света на организм человека // Светотехника и электроэнергетика. – 2008. – №3. – С.21-23.

3. Вайтцель Р., Ваккер Р., Мюллер Ш., Хальтбритер В. О влиянии света на человека с учетом новых воззрений (взгляд изготовителей ламп) // Светотехника. – 2005. – №5. – С.12-15.

*Отримано 30.05.2012*

УДК 621.3.016.45

В.М. КОВАЛЬОВ, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства*

## **ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ВІДПОВІДАЛЬНОГО ЗА НЕСИНУСОЇДАЛЬНИЙ СТРУМ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ**

Пропонується методика визначення відповідального, тобто "винуватця" погіршення якості електроенергії за коефіцієнтом несинусоїдальності.

Предлагается методика определения ответственного, т.е. "виновника" ухудшения качества электроэнергии по коэффициенту несинусоидальности.

The method of determination of "culprit" of worsening of quality of electric power is offered after the coefficient of unsinemet.

*Ключові слова:* якість електроенергії, нелінійні навантаження, коефіцієнт несинусоїдальності, тиристорні перетворювачі, облік електроенергії.

Погіршення показників якості електроенергії, взагалі, і коефіцієнта несинусоїдальності, зокрема, може відбуватись як з боку енергопостачальника, так і з боку споживача. В умовах постійного зростання навантажень з тиристорними перетворювачами великого значення набувають питання точного і достовірного визначення причину погіршення показників якості електроенергії, взагалі, і коефіцієнта несинусоїдальності, зокрема. При цьому можливі випадки недостовірного обліку електроенергії.

Існують роботи, присвячені питанню визначення відповідального за зниження якості електроенергії [1-3], в яких пропонується оцінювати ступінь внеску споживача в погіршення якості електроенергії "коефіцієнтом дольового внеску в погіршення якості електроенергії". Розрахунок цього коефіцієнта базується на понятті вторинної потужності, що перетворюється в потужність вищих гармонік і спотворює напругу мережі. Судити про споживання чи генерацію вторинної потужності електроприймачем дозволяє її знак (або кут між відповідними векторами струму

та напруги). Розрахований коефіцієнт внеску споживача в погіршення якості електроенергії має використовуватися для встановлення знижок чи надбавок до тарифу за електроенергію.

Слід зазначити, що вищенаведені методики не дають змоги визначити відповідального за відхилення форми кривої напруги від синусоїдальної. Тобто, і у випадку коли несинусоїдальність напруги обумовлена нелінійністю електроприймача, і у випадку коли несинусоїдальність присутня з вини енергосистеми, за додаткові складові потужності, поява яких викликана несинусоїдальністю напруги, платитимуть усі споживачі, а не лише відповідальний. Тому задача визначення відповідального за погіршення якості електроенергії є актуальною.

Метою статті є обґрунтування нової методики визначення ступеню внеску споживача та енергосистеми в погіршення синусоїдальності напруги в точці реалізації електроенергії.

Методика визначення відповідального ґрунтується на понятті вторинних потужностей, тобто, потужностей вищих гармонік навантаження. З цією метою над струмом і напругою споживача проводиться перетворення Фур'є, в результаті якого для струму та напруги отримуємо матриці векторів максимальних значень складових гармонік  $U_V$  та  $I_V$  вигляду:

$$X = \begin{bmatrix} X_{1S} + jX_{1C} \\ X_{2S} + jX_{2C} \\ X_{3S} + jX_{3C} \\ \dots \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $X_{1C}$  та  $X_{1S}$  – амплітуди косинусної і синусної складових першої гармоніки відповідно.

Якщо вектори струму та напруги гармонік однієї частоти представлені у вигляді  $\dot{U}_m = U_S + jU_C$ ;  $\dot{I}_m = I_S + jI_C$ , то повна потужність даної гармоніки виражаються формулою

$$P + jQ = \dot{U}\dot{I} = \left( \frac{U_S}{\sqrt{2}} + j \frac{U_C}{\sqrt{2}} \right) \left( \frac{I_S}{\sqrt{2}} - j \frac{I_C}{\sqrt{2}} \right) = \frac{U_C I_C + U_S I_S}{2} + j \frac{U_C I_S - U_S I_C}{2}. \quad (2)$$

З формули (2) випливає, що активна  $P_i$  і реактивна  $Q_i$  потужність даної гармоніки дорівнюють:

$$P_i = \frac{U_{iC} I_{iC} + U_{iS} I_{iS}}{2}; \quad Q_i = \frac{U_{iC} I_{iS} - U_{iS} I_{iC}}{2}. \quad (3)$$

Формули (3) є основою для визначення вторинних потужностей, які з урахуванням (2) в матричній формі запису набувають вигляду:

$$P_V = \frac{1}{2} (\operatorname{Re} U_V \cdot \times * \operatorname{Re} I_V + \operatorname{Im} U_V \cdot * \operatorname{Im} I_V), \quad (4)$$

$$Q_V = \frac{1}{2} (\operatorname{Im} U_V \cdot * \operatorname{Re} I_V - \operatorname{Re} U_V \cdot * \operatorname{Im} I_V), \quad (5)$$

де  $P_V$  і  $Q_V$  – шукані вектори значень вторинних активних та реактивних потужностей навантаження;  $U_V$  та  $I_V$  – отримані в результаті перетворення Фур'є вектори напруги і струму;  $\operatorname{Re}$  та  $\operatorname{Im}$  – оператори, що служать для виділення дійсної і уявної частини комплексного числа; “\*” – оператор поелементного множення матриць, тобто результатом дії цього оператора є матриця, кожен елемент якої дорівнює добутку відповідних елементів матриць, що стоять ліворуч і праворуч від оператора.

Після проведення описаних вище дій перетворення Фур'є над миттєвими значеннями струму та напруги отримуємо вектор значень активної потужності навантаження та вектор значень реактивної потужності навантаження, що мають вигляд:

$$P_V = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \dots \end{bmatrix}; \quad Q_V = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \dots \end{bmatrix}. \quad (6)$$

За знаком кожного елемента вектора активної потужності  $P_V$ , можна визначити генерує (якщо його знак “мінус”) чи споживає (якщо його знак “плюс”) активну потужність цієї частоти електроприймач. Тобто модулі і знаки елементів векторів потужності навантаження (6) дозволяють визначити на даний момент величину внеску вищих гармонік споживача або енергосистеми в погіршення якості електроенергії в точці її реалізації для кожної гармоніки окремо. Величина цього внеску за розрахунковий період може бути отримана шляхом інтегрування значень векторів (6), причому додатні значення слід інтегрувати окремо від від'ємних.

Здійснивши інтегрування активних потужностей отримаємо два вектори активної електроенергії вторинних потужностей, назвемо їх  $W_+$ ,  $W_-$ . Вектор  $W_+$  складається з проінтегрованих додатних значень вектора  $P_V$  і має вигляд:

$$W_+ = \begin{bmatrix} W_{+1} \\ W_{+2} \\ W_{+3} \\ \dots \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Кожний його елемент дорівнює активній енергії, що була спожита електроприймачем з мережі за розрахунковий період. За активну енергію, споживану на основній частоті ( $W_{+1}$ ) підприємство має платити енергопостачальнику, а за всі інші складові вектора  $W_+$  енергопостачаюча організація має платити споживачеві компенсацію. Тобто, розмір плати підприємства за спожиту електроенергію (вектор  $W_+$ ) можна визначити за формулою

$$\Pi_{W_+} = k_1 W_{+1} - k_2 W_{+2} - k_3 W_{+3} - \dots, \quad (8)$$

де  $k_1$  – вартість однієї кіловат-години спожитої електроенергії для підприємства, грн./кВт·год.;  $k_2$  та  $k_3$  – вартість компенсації, яку має сплатити енергосистема підприємству за збитки, обумовлені споживанням ним 1 кВт·год. електроенергії на частоті другої та третьої гармонік відповідно, грн./кВт·год.

Аналогічно обчислюється частина оплати, обумовлена вектором генерованої активної потужності  $W_-$ , з тією різницею, що за генеровану на основній частоті активну енергію енергосистема має платити підприємству компенсацію (звичайно, якщо це передбачено угодою), а за всі інші складові  $W_-$  підприємство має компенсувати системі збитки від погіршення якості електроенергії, що обумовлене його діяльністю.

Аналогічно, здійснивши інтегрування реактивних потужностей отримаємо два вектори реактивної електроенергії вторинних потужностей, назвемо їх  $V_+$ ,  $V_-$ . Розрахунок плати за реактивну енергію (вектори  $V_+$ ,  $V_-$ ) проводиться за тією ж методикою, що і за активну енергію.

Практичне використання запропонованої методики проілюструємо на прикладі оцінки вторинних потужностей підключеного до системи енергопостачання тиристорного регулятора індуктивно-активним навантаженням. Проведемо розрахунок миттєвих значень струму та напруги при куті відкривання тиристорів 2,2 радіан для двох випадків:

1) напруга на шинах підстанції системи є синусоїдальною ( $E_{m5}=0$ ), тобто винуватцем погіршення якості електроенергії є споживач;

2) напруга на шинах підстанції системи є несинусоїдальною, присутня п'ята гармоніка ( $E_{m5}=0,1E_{m1}$ ), тобто винними в погіршенні якості електроенергії є і система, і споживач.

З отриманими миттєвими значеннями струму та напруги були проведені розрахунки, за описаною вище методикою, обчислені значення елементів векторів вторинних потужностей активної  $P_V$  та реактивної  $Q_V$  потужностей для обох випадків. Результати розрахунків вторинних потужностей наведено в таблиці, де всі значення вказані відносно активної потужності першої гармоніки при синусоїдальній напрузі системи.

Результати розрахунків вторинних потужностей у відносних одиницях

Номери гармонік	Напруга системи синусоїдальна		Напруга системи несинусоїдальна	
	$P_{vi}$ , в.о.	$Q_{vi}$ , в.о.	$P_{vi}$ , в.о.	$Q_{vi}$ , в.о.
1	1	31,32	0,99181	30,933
2	0	0	0	0
3	-0,08015	-0,86538	-0,08914	-0,95604
4	0	0	0	0
5	0	0	0,01827	0,13532
6	0	0	0	0
7	0	-0,0505	0	-0,02745

З цієї таблиці видно, що при синусоїдальній напрузі мережі винуватцем погіршення якості електроенергії є споживач, тобто активна і реактивна вторинна потужність генерується ним на третій гармоніці, також має місце генерація реактивної потужності на сьомій гармоніці. При несинусоїдальній напрузі мережі споживач одночасно сприяє погіршенню якості електроенергії по третій і сьомій гармоніках та сам потерпає від наявності в напрузі мережі п'ятої гармоніки.

Таким чином, розроблена методика дозволяє провести аналіз елементів векторів за їх величиною і знаком, за результатами якого визначити споживається чи генерується на кожній частоті електроенергія, знайти відповідального за погіршення якості електроенергії і, отже, вирішити конфліктну ситуацію між споживачем та енергопостачальником при несинусоїдальному режимі. Величини коефіцієнтів для споживаної і генерованої активної та реактивної енергій кожної гармоніки ( $k_2$ ,  $k_3$  і т.д.) мають визначатися виходячи з величини її негативного впливу на енергосистему і споживача. Визначення цих коефіцієнтів є окремою науковою задачею.

1.Зыкин Ф.А. Оценка степени участия искажающих нагрузок в снижении качества энергии // Известия вузов. Энергетика. – 1987. – №10. – С.32-36.

2.Майер В.Я., Борисенко А.М., Пономаренко В.П. Методика определения источников высших гармоник и величин, вносимых ими в ухудшение синусоидальности напряжений на границе раздела балансовой принадлежности электрических сетей // Известия вузов. Энергетика. – 1989. – №7. – С.28-33.

3.Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. – 1992. – №11. – С.49-52.

*Отримано 29.05.2012*