

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ЗБИТКІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ ЗА НУЛЬОВОЮ ПОСЛІДОВНІСТЮ В СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

© Плешков П., Полтавець М., Савеленко І., 2002

Розглянуто методику визначення додаткових економічних збитків від несиметрії напруги за нульовою послідовністю. Виведено економічні характеристики характерних груп електроприймачів. Розраховано збитки для трансформаторних підстанцій різної потужності.

The technique of definition of additional economic damage from asymmetrical of a voltage on a zero sequence. The economic characteristics of characteristic groups of electroreceivers are deduced. The account of damage for transformer substations of different capacity is carried out.

При переході до ринкових відносин у сфері виробництва, передачі і розподілу електричної енергії однією з найважливіших для енергокомпаній проблем повинна бути проблема забезпечення якості електричної енергії. Причому це стосується поставок електроенергії не тільки крупним промисловим підприємствам, але і споживачам в агропромисловому секторі. З погляду споживачів якість електричної енергії характеризується такими показниками:

- постійністю напруги;
- відсутністю у спектрі напруги вищих гармонік;
- постійністю частоти;
- відсутністю у напрузі складових нульової та зворотної послідовностей.

Одним з головних факторів, які погіршують якість електричної енергії у електроприймачів у сільських електричних мережах низької напруги, є несиметрія напруги за зворотною і нульовою послідовностями. Це пов'язано з тим, що крім трифазних навантажень, до мережі приєднується велика кількість однофазних навантажень. Розбіжність навантажень окремих фаз пояснюється двома чинниками: ймовірнісною (випадковою) несиметрією і невідповідною несиметрією.

Наявність несиметрії навантажень, крім того, що спричиняє додаткові втрати потужності і енергії, знижує пропускну здатність елементів мережі, призводить ще і до погіршення режиму напруги, що шкідливо впливає як на режими роботи окремих електроспоживачів, так і на техніко-економічні показники системи електропостачання загалом. Як показали дослідження авторів, коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю становить 5–12% при нормованому і гранично допустимому значенні 2% і 4% відповідно. В [1] доведено, що 1% напруги нульової послідовності відповідає 0,9% додаткового відхилення напруги. Для визначення економічної доцільності будь-яких заходів з поліпшення якості електричної енергії необхідно знати, крім типових статей витрат (зарплатні обслуговуючого і ремонтного персоналу, амортизаційних відрахувань, витрат на поточний ремонт тощо) величину збитків, які зумовлені роботою електроприймачів зі зниженою якістю електричної енергії.

Визначимо додаткові річні збитки від додаткового відхилення напруги, при значенні коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю 5%.

Взагалі можливі три способи визначення збитків:

1. За допомогою економічних характеристик електроприймачів чи вузлів навантажень.
2. Безпосереднім обліком збитків на виробництві.
3. Виконанням натурних експериментів.

Останні два способи характеризуються великою трудомісткістю і складністю виконання експериментів.

Під економічною характеристикою розуміють функціональний зв'язок між економічною ефективністю його роботи і рівнем напруги. В економічних характеристиках приймачів є такі складові збитків: вартість перевитрати приймачем електроенергії, вартість скорочення строку служби приймача. Оскільки одне і те саме зниження якості електричної енергії в мережі викликає різний вплив, а відповідно і різні збитки у різних споживачів, то для зручності розрахунку розділимо всіх споживачів на чотири характерні групи:

1. Електричні лампи розжарювання.
2. Люмінесцентні лампи.
3. Телевізори.
4. Холодильники і малопотужні двигуни.

Збитки від неякісної електроенергії в цьому випадку визначаються так:

$$Z = \sum_{i=1}^4 W_i f_i \quad (1)$$

де W_i – електроспоживання i -ї групи споживачів;

f_i – питомі економічні збитки від неякісної електроенергії.

Визначимо питомі економічні збитки для кожної характерної групи електроспоживачів.

Для електричного освітлення:

$$f_i = \left(\frac{24 B_{осв}}{T_{ном}} + 1,5b \right) \Delta U + \frac{160 B_{осв}}{T_{ном}} \Delta U^2 \quad (2)$$

де $B_{осв}$ – питома вартість 1 кВт встановленої потужності навантаження;

$T_{ном}$ – номінальний строк служби ламп;

b – вартість електроенергії;

ΔU – відхилення напруги.

Для ламп розжарювання, грн/кВтгод:

$$f_1 = \left(\frac{24 \cdot 2,52}{1000} + 1,5 \cdot 0,156 \right) \Delta U + \frac{160 \cdot 2,52}{1000} \Delta U^2 = (234,5 \Delta U + 403 \Delta U^2) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Аналогічно була визначена економічна характеристика люмінесцентних ламп, грн/кВтгод:

$$f_2 = 164,2 \Delta U \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Основною складовою економічної характеристики телевізорів є вартість елементів, що вийшли з ладу: мікросхем, напівпровідникових приладів, резисторів, конденсаторів. Вона була визначена на основі відомих залежностей інтенсивності відмов елементів від напруги та інших факторів, які залежать від напруги, грн/кВтгод

$$f_3 = (568 \Delta U + 892 \Delta U^2) \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

Більшість електрифікованих сільськогосподарських машин потребують у приводі асинхронних двигунів потужністю від 0,1 до 5 кВт. Найхарактернішими серед моторного навантаження комунально-побутового сектора є двигуни холодильників. Дані, які характеризують вплив відхилення напруги на строк служби асинхронних двигунів, практично відсутні, тому в першому наближенні можна вважати, що відхилення напруги не спричиняє значного впливу на асинхронні двигуни, але це припущення потребує уточнення. Під час визначення економічної характеристики цього типу навантаження враховувалась лише вартість додатково спожитої електроенергії, грн/кВтгод.:

$$f_4 = 178\Delta U \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

Отже, виходячи зі всього вищевикладеного, для визначення додаткових сумарних поточних витрат необхідно знайти: додаткове відхилення напруги, яке зумовлене зсувом нейтралі; сумарне річне електроспоживання по групах електроспоживачів; питому вагу окремих груп електроспоживачів.

Додаткове відхилення напруги згідно з [2] може бути визначено за такою формулою:

$$\delta U = \frac{k_{u0} \sin \alpha}{\sin \arctg \frac{k_{u0} \sin \alpha}{1 - k_{u0} \cos \alpha}} \quad (7)$$

де k_{u0} – коефіцієнт несиметрії напруги за нульовою послідовністю;

α – кут між напругою прямої послідовності і напругою нульової послідовності;

Враховуючи, що $k_{u0} = 5\%$, з (7) знайдемо додаткові відхилення напруги по фазах: $\delta U_A = -4,2\%$; $\delta U_B = 0,12\%$; $\delta U_C = 4,8\%$. Для визначення споживання електроенергії припустимо, що є трансформатор потужністю 250 кВа при кількості годин використання максимуму навантаження $T_m = 2000$ год. Повне споживання електроенергії в такому разі буде становити:

$$W = S \cdot T_m = 250 \cdot 2000 = 500000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (8)$$

Встановлено, що у сільській електричній мережі математичні сподівання струмів по фазах становлять: $M[I_A] = 0,7$; $M[I_B] = 0,85$; $M[I_C] = 1$. Відносне значення фазних потужностей у відсотках від загального споживання становить відповідно по фазах 29%; 33,5%; 37,5%. Розподіл електроенергії між групами споживачів отримане відповідно до середньостатистичних даних наведено в табл. 1.

З наведених розрахунків видно, що у зв'язку з несиметрією напруги одна з фаз має знижену напругу, друга номінальну, а третя підвищену. Тому додаткові річні збитки груп електроприймачів визначаються тільки по двох фазах.

Підставляючи у формули (3,4,5,6) додаткові відхилення напруги, визначимо річні збитки для кожної групи електроприймачів:

- Електричні лампи розжарювання: $Z = 117,93$ грн./рік.
 - Люмінесцентні лампи: $Z = 60,97$ грн./рік.
 - Телевізори: $Z = 147,78$ грн./рік.
 - Холодильники і малопотужні двигуни: $Z = 145,45$ грн./рік.
- Разом: 472,13 грн./рік.

Розподіл електроенергії між групами споживачів

№ фази	W по фазі, кВт*год	Житловий сектор 40% 200000 кВт*год					Виробничий сектор 60% 300000 кВт*год			
		1; 35%	2; 7%	3; 16,3%	4; 29,7%	Інше 12%	1; 10%	2; 16,6%	4; 27%	Інше 46,4%
1	145000	20300	4060	9454	17226	6960	8700	14442	23490	40368
2	167500	23450	4690	10921	19899	8040	10050	16683	27135	46632
3	187500	26250	5250	12225	22275	9000	11250	18675	30375	52200

Аналогічно можливо розрахувати споживання електроенергії і додаткові річні збитки для інших трансформаторних підстанцій (ТП) (63-630 кВА). Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Аналіз результатів табл. 2 показує, що при середньостатистичному значенні коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю $K_{0u}=5\%$ та зумовленому цим значенням ΔU додаткові збитки становлять 118–1182 грн./рік на кожному ТП залежно від потужності.

Враховуючи все вищевикладене, можливо зробити висновок про доцільність використання коригуючих пристроїв навіть при мінімальних значеннях коефіцієнта несиметрії напруги за нульовою послідовністю, а задачу симетрування вважати досить важливою і актуальною.

Таблиця 2

Додаткові річні збитки при несиметрії напруги за нульовою послідовністю, грн/рік

Групи електроприймачів	Потужність ТП, кВА				
	63	100	160	250	630
1. Лампи розжарювання	29,72	47,17	75,47	117,93	297,18
2. Люмінесцентні лампи	15,36	24,38	39,02	60,97	153,64
3. Телевізори	37,24	59,11	94,58	147,78	372,41
4. Холодильники і малопотужні двигуни	36,63	58,19	93,03	145,45	359,02
Разом	118,95	188,85	302,10	472,13	1182,25

1. Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения. - К.1987. 2. Кузнецов В.Г. Устройства повышения качества электрической энергии в низковольтных сетях с нулевым проводом // Электричество. 1978. №10. 3. Вершинин П.П., Джунов К.А., Лесная О.П. К оценке ущерба от отклонения напряжения в прокатных цехах. - Промышленная энергетика, 1981. №3. 4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. /Под ред. С.С. Рокотьяна, И.М. Шапиро. М.1977.