

ненні математичної моделі АД зі скосом пазів, перегляді деяких припущень, що приймаються в класичній теорії електричних машин, у розширенні положень теорії машин у частині повнішого врахування ряду фізичних явищ. Слід розробити уточнену методіку розрахунку короткозамкнених АД, що враховувала б поперечні й поздовжні струми в магнітопроводі ротора.

1. Демс М., Рутковский З., Герасимчук В.П. Электромагнитный расчет АД при использовании различных методов расчета намагничивающего тока, учета насыщения и вытеснения тока в обмотке ротора // Техническая электродинамика. – 1992. – №5. – С.54-57.

2. Математическая модель асинхронного короткозамкнутого двигателя, учитывающая поперечные токи в роторе. Model matematyczny indukcyjnego silnika klatkowego uwzględniający prądy poprzeczne w wirniku / Kluszczynski Krzysztof, Malicki Piotr // Zesz. nauk Elek./ PSI. – 1992. – №126. – С.7-23.

3. Загирняк М.В. Электромагнитные расчеты. – К.: Ин-т системных исследований образования, 1995. – 236 с.

4. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592 с.

5. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниун Халид. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных двигателей // Электротехника. – 1996. – №1. – С.38-42.

6. Капустин Г.В., Финкельштейн В.Б., Чебанюк В.К. Продольный ток в магнитопроводе ротора асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка. – 1999. – №4. – С.60-66.

7. Цветков В.А., Пикульский В.А. Исследование распределения магнитного поля в зоне замыкания листов активной стали электрических машин // Электричество. – 1995. – №12. – С.25-30.

*Отримано 09.02.2009*

УДК 621.316.1.024

С.А.ПРИВЕДЕННИЙ, В.Ф.РОЙ, д-р фіз.-матем. наук  
*Харківська національна академія міського господарства*

## **ВПЛИВ ПОХИБОК ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Розглядаються причини виникнення похибок та методи усунення недообліку електроспоживання в системах АСКОЕ.

Зменшення споживання електричної енергії у зв'язку зі спадом виробництва в останні роки призвело до зменшення навантажень у вузлах енергосистеми, внаслідок чого в автоматизованих системах контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ) виникає від'ємна похибка, що призводить до суттєвих фінансових втрат енергопостачальних компаній. Причиною появи від'ємної похибки є похибки, що виникають на первинних датчиках струму та напруги. В якості первинних датчиків у

таких системах використовуються трансформатори струму та напруги. Струмова похибка трансформаторів струму, яку вносить трансформатор при вимірюванні струму навантаження, виникає в результаті того, що діючий на даний час коефіцієнт трансформації не відповідає номінальному.

Кутова похибка трансформатора струму виникає завдяки фазовому зсуву між векторами первинного струму навантаження та вторинного струму при такому виборі їх напрямку, щоб в ідеальному трансформаторі даний струм дорівнював нулю, тобто – це кут між вектором первинного струму та вектором вторинного струму, повернутим на  $180^\circ$ . Кутова похибка вимірюється в мінутах (мін), та вважається додатковою, коли вектор вторинного струму, повернутий на  $180^\circ$ , випереджає вектор первинного струму.

Дана проблема висвітлювалась у роботах [1, 2], але конкретних даних щодо параметрів похибок трансформаторів струму та можливостей їх врахування при обліку електроенергії не наведено. Тому нашою метою було проведення дослідження впливу навантаження мережі на величину похибок у найбільш розповсюджених трансформаторах струму та складання математичних моделей, які дають змогу врахувати цю похибку в автоматизованих системах контролю та обліку електроенергії. Величину цих похибок розраховували за формулами, наведеними в [3, 4]:

$$\begin{aligned} & \text{струмова похибка} \\ f_{IH} &= \frac{33,8 \cdot l_M \cdot Z_2^{0,6} \cdot I_{2H}^{1,2}}{(I_1 / I_{IH})^{0,4} \cdot f^{0,6} \cdot F_{IH}^{1,6} \cdot S_M^{0,6}} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100 \% ; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{кутова похибка} \\ f_{IH} &= \frac{119332 \cdot l_M \cdot Z_2^{0,6} \cdot I_{2H}^{1,2}}{(I_1 / I_{IH})^{0,4} \cdot f^{0,6} \cdot F_{IH}^{1,6} \cdot S_M^{0,6}} \sin(\psi + \alpha) , \end{aligned} \quad (2)$$

де  $l_M$  – середня довжина магнітної силової лінії в магнітопроводі, м;  $Z_2$  – опір вторинних струмових кіл (повний опір вторинного кола та вторинної обмотки), Ом;  $I_2$  – вторинний струм трансформатора струму;  $I_1$  – первинний струм трансформатора струму (береться в процентах від номінального);  $F$  – частота змінного струму, Гц;  $S_M$  – дійсне значення перерізу магнітопроводу, м<sup>2</sup>;  $\psi$  – кут втрат;  $\alpha$  – кут зсуву фаз між вторинною е.р.с.  $E_2$  та вторинним струмом  $I_2$ , град.

Як свідчать результати дослідження, основний вплив на величини

похибок трансформаторів струму мають їх завантаження по струму та величина опору вторинних кіл. В умовах зниження споживання електроенергії промисловими підприємствами завантаження трансформаторів часто не перевищує 5-15%, що призводить до значного збільшення похибок [3]. Значення струмової та кутової похибок трансформаторів струму (по ГОСТ 7746-89) наведені в таблиці.

Результати розрахунку похибок трансформаторів струму

Клас точності	Первинний струм, у процентах від номінального	Похибка			Вторинне навантаження, в процентах від номінального, при $\cos \varphi = 0,8$
		струмова, %	кутова		
			мінути	градуси	
0,2	5				-
	10	$\pm 0,75 \pm 0,50$	$\pm 30 \pm 20$	$\pm 0,9 \pm 0,6$	
	20	$\pm 0,35 \pm 0,20$	$\pm 15 \pm 10$	$\pm 0,4 \pm 0,3$	
	100-200				
0,5	5				25-100
	10	$\pm 1,5 \pm 1,0$	$\pm 90 \pm 60$	$\pm 2,5 \pm 1,7$	
	20	$\pm 0,75 \pm 0,5$	$\pm 45 \pm 30$	$1,35 \pm 0,9$	
	100-200				

Результати розрахунків кутової та струмової похибок трансформаторів ТПОЛ 600/5, виконані за формулами (1) і (2), показано на рис.1, 2 (де 1 – розрахункова крива; 2 – апроксимована крива). Вид апроксимуючого виразу та критерій узгодження розрахункової та апроксимуючої кривих показано на графіках.

З наведених результатів витікає, що кутова похибка проявляється при дуже малому навантаженні трансформатора, який межує з режимом холостого ходу, тому її внесок для реальних режимів роботи трансформатора можна вважати незначним.

Виконані розрахунки свідчать, що для діапазонів вимірювання (1-10% і 10-100%) первинного струму від його номінального значення математичні моделі струмової похибки найбільш розповсюджених трансформаторів струму мають вигляд:

Трансформатор ТПОЛ10-600/5:

$$\Delta f [\%] = 0,8428 \cdot \ln I_1 - 1,9617 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%;$$

$$\Delta f [\%] = 0,0841 \cdot \ln I_1 - 0,3919 \text{ для діапазону } 10 < I_1 < 100\%.$$

Трансформатор ТЛШ10-2000/5:

$$\Delta f [\%] = 0,7227 \cdot \ln I_1 - 1,6815 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%;$$

$$\Delta f [\%] = 0,0722 \cdot \ln I_1 - 0,3353 \text{ для діапазону } 10 < I_1 < 100\%.$$

Трансформатор ТПШФД10-3000/5:

$$\Delta f [\%] = 0,5986 \cdot \ln I_1 - 1,2261 \text{ для діапазону } 1 < I_1 < 10\%;$$

$\Delta f [\%] = 0,0597 \cdot \ln I_1 - 0,1111$  для діапазону  $10 < I_1 < 100\%$ .

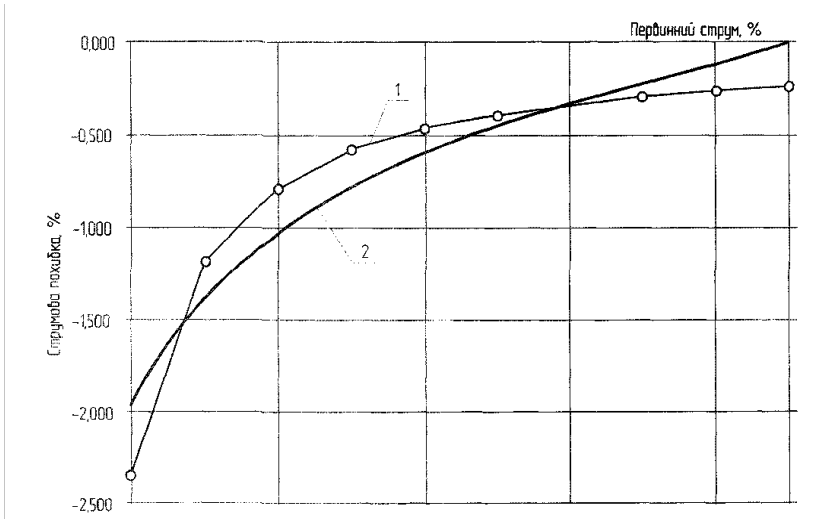


Рис.1 – Результати розрахунку струмової похибки

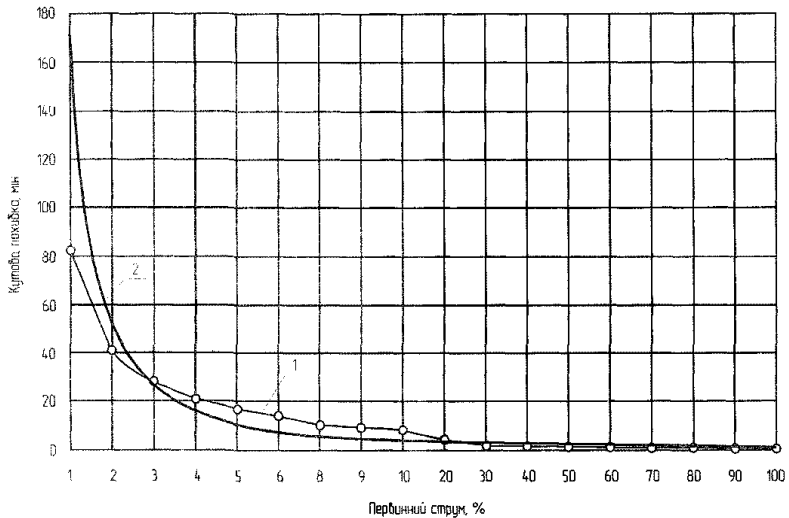


Рис.2 – Результат розрахунку куткової похибки

Величину первинного струму  $I_1$  трансформатора струму в формулі (1), (2) слід підставити в процентах від номінального значення [5].

Результати досліджень струмових похибок різних типів трансформаторів струму з первинним номінальним струмом у діапазоні 75-600А дозволили зробити такі висновки:

- в колах виміру первинного струму в діапазоні  $1 \pm 25\%$  номінального значення струмова похибка має від'ємний знак;
- зі збільшенням величини первинного струму абсолютне значення струмової похибки зменшується;
- врахування струмової похибки трансформатора струму в АСКОЕ дозволить зменшити величину небалансу електроенергії по підстанціям;
- кількість врахованої електроенергії, що передається споживачам, завдяки наявності від'ємної струмової похибки, занижена по відношенню до реально відпущеної. Тому врахування струмової похибки трансформаторів струму в АСКОЕ дозволить точніше оцінювати об'єм електроенергії, яка відпускається, що дасть відчутний економічний ефект.

1.Владимиров Ю.В., Крамская Т.А. Учет влияния нестационарности нагрузки на потери в электрических сетях // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2006. – №4/3 (22). – С.46-49

2.Кизилев В.У. Концепция компенсации некачественности электроэнергии потребителю // Энергетика и электрификация. – 2007. – №1. – С.50-52.

3.Хныков А.В. Теория и расчет трансформаторов. – М.: СОЛОН-Прес, 2004. – 125 с.

4.Афанасьев В.В., Алоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С. Трансформаторы тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 409 с.

5.РД 34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. – М., 1995. – 25с.

*Отримано 20.01.2009*

УДК 628.93.001

В.В.МОМОТ

*ВАТ «Полтаваобленерго»*

### **УДОСКОНАЛЕННЯ ПОРЯДКУ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄГУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РАЗІ ПОРУШЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО ОБЛІКУ НЕ З ВИНИ СПОЖИВАЧА**

Розглядається питання щодо порядку визначення дійсного об'єгу електроенергії, використаної у разі тимчасового порушення розрахункового обліку не з вини споживача. Наводиться аналіз існуючого порядку та пропонується методика проведення розрахунків об'єгу недоврахованої електроенергії.

Відповідно до [1] державна метрологічна система створює необхідні засади для забезпечення вимірювань, якщо характеристики похи-