

В статье приведена оценка регулировочной способности двухобмоточных трансформаторов в рамках метода встречного регулирования напряжения.

УДК 621.311

Д.Н. Калюжный,
канд. техн. наук
Харьковская национальная академия
городского хозяйства

ОЦЕНКА РЕГУЛИРОВОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВУХОБОМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПОД НАГРУЗКОЙ

На сегодняшний день особенностью электрической энергии является снижение её качества с понижением уровня напряжения электрической сети [1]. В соответствии с проведенными измерениями такой показатель качества как установившееся отклонение напряжения δU_y , характеризующий отклонение напряжения в сетях с номинальным напряжением $U_{ном} < 110$ кВ, не соответствует требованиям [2].

Учитывая, что основным способом регулирования напряжения, в частности отклонения напряжения, в электрических сетях является использование силовых трансформаторов с устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), актуальной является задача оценки их регулировочной способности при различных уровнях напряжения со стороны высокого напряжения (ВН) и нагрузки – со стороны низкого напряжения (НН) подстанций (ПС).

За основу математической модели, описывающей процесс регулирования напряжения согласно методу встречного регулирования [3], примем модель, приведенную в [4], в которой учтем изменение реактивного сопротивления трансформатора при изменении положения РПН [5]:

$$n_{отв} = \left[\left(U_1 - \frac{P_{нагр} \cdot r_t + P_{нагр} \cdot tg\varphi \cdot x_t(n_{отв})}{U_1 \cdot n_{тр}} \right) \cdot \frac{U_{ном}^{нн}}{U_{2жел} \cdot U_{ном}^{вн}} - 1 \right] \cdot \frac{100}{\Delta U_{рег}}, \quad (1)$$

где $n_{отв}$ – номер ответвления РПН; U_1 – уровень напряжение со стороны ВН; $P_{нагр}$ – активная нагрузка трансформатора со стороны НН; $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности нагрузки; r_t – активное сопротивление трансформатора; $x_t(n_{отв})$ – реактивное сопротивление трансформатора, зависящее от положения РПН; $n_{тр}$ – количество параллельно работающих трансформаторов; $U_{2жел}$ – желаемое напряжение со стороны НН; $U_{ном}^{вн}$ – номинальное напряжение обмотки ВН; $U_{ном}^{нн}$ – номинальное напряжение обмотки НН; $\Delta U_{рег}$ – шаг регулирования напряжения одного ответвления РПН.

Реактивные сопротивления двухобмоточных трансформаторов можно определить по каталожным значениям напряжений коротких замыканий для крайнего и нулевого ответвлений РПН [5], используя интерполяционный полином Лагранжа (табл. 1).

Таблица 1. Аналитические и графические зависимости реактивных сопротивлений двухобмоточных трансформаторов

Тип трансформатора	Аналитическая зависимость $x_T = f(n_{OTB})$	Графическая зависимость $x_T = f(n_{OTB})$
ТДН 6300\115	$x_T = \frac{24,3 \cdot n_{OTB}^2 + 215,3 \cdot n_{OTB} + 3587,17}{162}$	
ТДН 10000\115	$x_T = \frac{16,1 \cdot n_{OTB}^2 + 147,6 \cdot n_{OTB} + 22495,7}{162}$	
ТДН 16000\115	$x_T = \frac{1,2 \cdot n_{OTB}^2 + 71,4 \cdot n_{OTB} + 14058,4}{162}$	

Преобразуя выражение (1) представим его в следующем виде:

$$A \cdot U_1^2 - B \cdot U_1 - C = 0, \tag{2}$$

где $A = \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{2\text{ жел}} \cdot U_{НОМ}^{ВН}} \cdot \frac{100}{\Delta U_{рег}} \cdot n_{тр}$; $B = -(n_{тр} \cdot \frac{100}{\Delta U_{рег}} + n_{тр} \cdot n_{отв})$;

$$C = -[(P_{нагр} \cdot r_T + P_{нагр} \cdot tg\varphi \cdot x_T(n_{отв})) \cdot \frac{U_{НОМ}^{HH}}{U_{2\text{ жел}} \cdot U_{НОМ}^{ВН}} \cdot \frac{100}{\Delta U_{рег}}].$$

Решение уравнения (2) относительно U_1 при известных технических данных РПН и заданном диапазоне изменения нагрузки трансформатора позволяет определить область параметров режима работы сети, в частности U_1 , $P_{нагр}$ и $tg\varphi$, в которой от-

клонение напряжения со стороны НН ПС будет соответствовать нормированным значениям.

Нормированные значения отклонения напряжения в рамках метода встречного регулирования со стороны НН ПС в режиме наибольших нагрузок определяются следующим образом $U_{2\text{жел}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}$, т.е. $\delta U_y = 5\%$ (что соответствует верхней границе нормально допустимых значений δU_y). Для режима наименьших нагрузок $U_{2\text{жел}} = 1,0 \cdot U_{\text{ном}}$, т.е. $\delta U_y = 0\%$.

Технические данные РПН трансформатора определяются количеством ответвлений и шагом регулирования $\Delta U_{\text{рег}}$.

Диапазон изменения нагрузки трансформатора ограничен с одной стороны – его перегрузочной способностью, с другой – его целесообразно-минимальной загрузкой, т.е. условиями выбора номинальной мощности трансформатора.

Исходя из следующих условий выбора номинальной мощности трансформатора:

для однотрансформаторной ПС – $S_{\text{ном}} \geq \frac{\sqrt{P_{\text{нагр}}^2 + (P_{\text{нагр}} \cdot \text{tg} \varphi)^2}}{1,2}$; для двухтрансформатор-

ной ПС в нормальном режиме (НР) – $S_{\text{ном}} \geq \frac{\sqrt{P_{\text{нагр}}^2 + (P_{\text{нагр}} \cdot \text{tg} \varphi)^2}}{2}$, в послеаварийном

режиме (ПА) – $S_{\text{ном}} \geq \frac{\sqrt{P_{\text{нагр}}^2 + (P_{\text{нагр}} \cdot \text{tg} \varphi)^2}}{1,4}$ в табл. 2, 3 приведены граничные значения нагрузки двухобмоточных трансформаторов.

Таблица 2. Граничные значения нагрузки однотрансформаторных ПС

Тип трансформатора	$P_{\text{нагр min}}$, кВт		$P_{\text{нагр max}}$, кВт		$\text{tg} \varphi$
	НР		НР		
ТМН 6300/115	2561,8		6455,7		0,43
ТДН 10000/115	6355,7		10247,2		
ТДН 16000/115	10247,2		16395,5		

Таблица 3. Граничные значения нагрузки двухтрансформаторных ПС

Тип трансформатора	$P_{\text{нагр min}}$, кВт		$P_{\text{нагр max}}$, кВт		$\text{tg} \varphi$
	НР	ПА	НР	ПА	
ТМН 6300/115	2300,1	2988,8	10759,5	7531,7	0,43
ТДН 10000/115	5796,2	7531,7	17078,6	11955,1	
ТДН 16000/115	9200,3	11955,1	27325,8	19128,1	

На рис. 1 приведены области параметров режима работы сети, в которых на одно- и двухтрансформаторных ПС со стороны НН отклонение напряжения будет соответствовать нормируемым значениям в рамках метода встречного регулирования напряжения для режима наибольших нагрузок.

Следует отметить, что отклонение напряжения вдоль сети, которое в соответствии с [2] по нормально и предельно допустимым значения должно находиться в пределах $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$, будет определяться ее конфигурацией, протяженностью, сечением и нагрузкой.

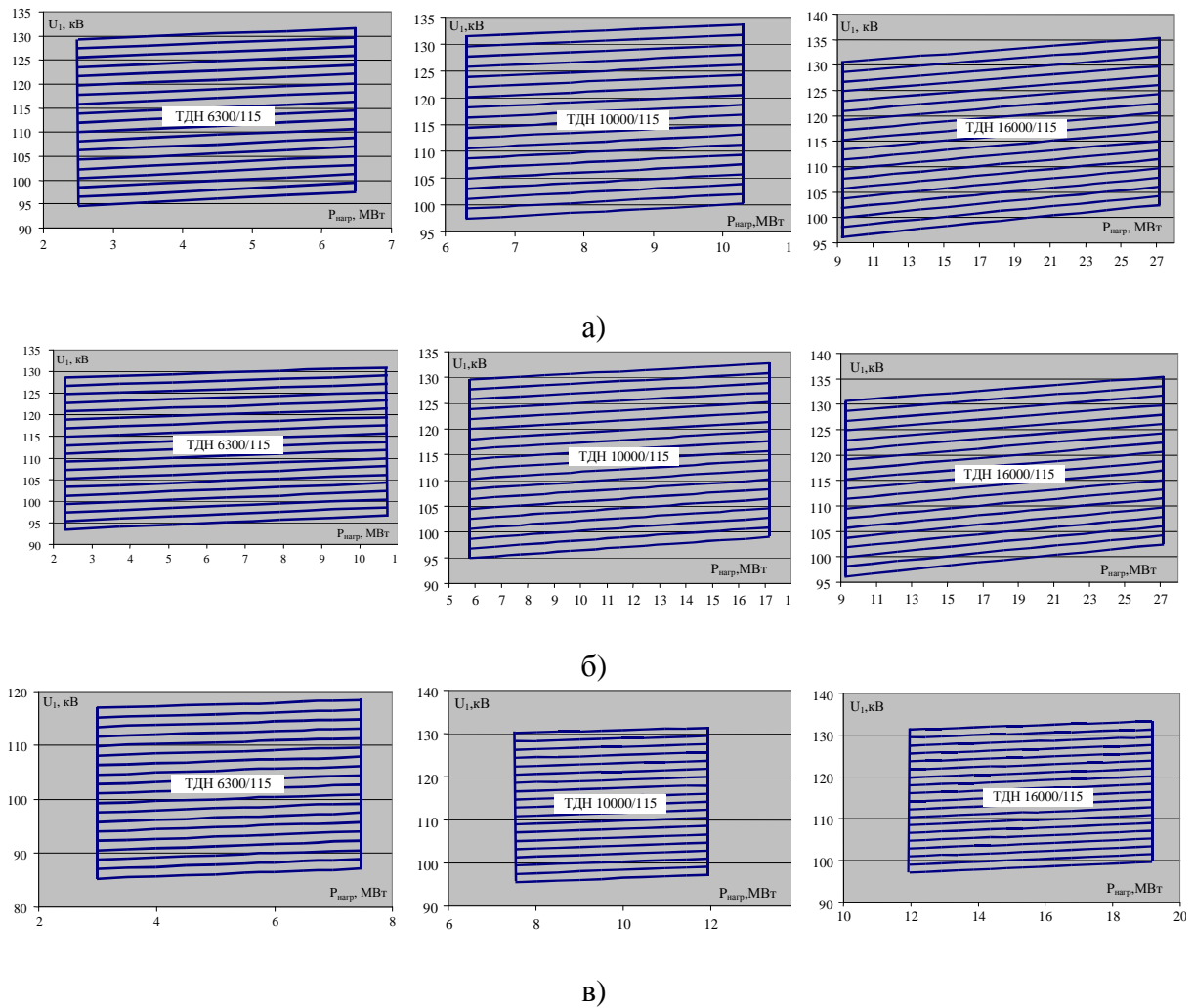


Рис. 1 – Области параметров режима работы сети, в которых отклонение напряжения со стороны НН ПС находятся в нормируемых пределах:

- а) – однотрансформаторная ПС; б) – двухтрансформаторная ПС нормальный режим;
- в) – двухтрансформаторная ПС послеаварийный режим

Выводы. 1. Усовершенствована математическая модель оценки регулировочной способности двухобмоточных трансформаторов с РПН, в которой учтена зависимость реактивного сопротивления трансформатора от положения РПН.

2. Определены области параметров режима работы сети, в которых отклонения напряжения со стороны НН одно- и двухтрансформаторных ПС находятся в пределах нормируемых значений.

Литература.

1. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Довгалоук О.Н., Калюжный Д.Н. Оценка качества электроэнергии в электрических сетях Харьковского региона / Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств: V міжнародна науково-технічна конф.: 75-річчю Приазов. держ. техн. ун-ту присвячується: зб. праць. – Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2005, с. 124-126.
2. ГОСТ 13.109 – 97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Минск.: ИПК Изд-во стандартов. - 1998. –30 с.
3. Старков К.А., Калюжный Д.Н. Требования к напряжению на шинах 10 кВ понижающих подстанций 110/10 кВ / Коммунальное хозяйство городов. - Киев: Техника. - 1999. Выпуск 20. Часть I. - С. 165-169.

4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
5. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Л.: - «Энергия». - 1927. - 176 с.

EVALUATION OF DOUBLE-WINDING TRANSFORMER CONTROLLING CAPACITY
WITH CONTROL UNDER LOAD

D.N. Kalyuzhnyi

The article is focused on the evaluation of double-winding transformer controlling capacity in the framework of counter voltage control.

ОЦІНКА РЕГУЛЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ДВООБМОТОЧНИЙХ
ТРАНСФОРМАТОРІВ З РЕГУЛЮВАННЯМ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ

Д.Н. Калюжний

У статті приведена оцінка регулювальної здатності двообмоточних трансформаторів у рамках методу зустрічного регулювання напруги.