

3. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

При загрузке силового трансформатора на 30% нагрузочные потери мощности примерно равны потерям холостого хода. В среднем на каждом трансформаторе теряется до 7% передаваемой мощности. Работа трансформатора в режиме холостого хода или близком к нему вызывает излишние потери электроэнергии не только в самом трансформаторе, но и по всей системе электроснабжения (от самого трансформатора до источника питания) из-за низкого коэффициента мощности.

3.1 Определение потерь электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе

Для расчета потерь электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе необходимы данные по техническим характеристикам трансформаторов, например, из справочника, а также данные по расходу активной W_a (кВт·ч) и реактивной W_p (квар·ч) электроэнергии за расчетный период.

Технические характеристики трансформатора:

- номинальная мощность трансформатора S_n - кВ·А;
- потери холостого хода (потери в стали) трансформатора - ΔP_{xx} , кВт;
- потери короткого замыкания (потери активной мощности в меди обмоток) трансформатора при номинальной нагрузке - $\Delta P_{кз}$, кВт;
- ток холостого хода трансформатора I_{xx} , %;
- напряжение короткого замыкания трансформатора – $U_{кз}$, %;
- потери реактивной мощности при холостом ходе трансформатора рассчитываются по выражению:

$$\Delta Q_{xx} = S_n \cdot \frac{I_{xx}, \%}{100}, \text{квар}; \quad (12)$$

- потери реактивной мощности при коротком замыкании трансформатора рассчитываются по выражению:

$$\Delta Q_{\kappa\kappa} = S_n \cdot \frac{U_{\kappa\kappa}, \%}{100}, \text{квар}; \quad (13)$$

Расчет потерь электроэнергии в трансформаторе производится в следующей последовательности:

а) определяются фактические или расчетные данные по расходу электроэнергии за расчетный период по показаниям счетчиков активной энергии - W_a (кВт·ч) и по показаниям счетчиков реактивной энергии - W_p (квар·ч);

б) рассчитывается $\text{tg}\varphi_{cp}$ из соотношения:

$$\text{tg}\varphi_{cp} = W_p / W_a \quad (14)$$

а затем средневзвешенный коэффициент мощности – $\cos\varphi_{cp}$.

Для предприятий, у которых электросчетчики установлены на стороне первичного напряжения (до абонентского трансформатора с высшим напряжением от 35 кВ и выше), $\text{tg}\varphi_{cp}$ рассчитывается по выражению:

$$\text{tg}\varphi_{cp} = (W_p - \Delta W_p) / (W_a - \Delta W_a) \quad (15)$$

в) определяется коэффициент загрузки (нагрузки) трансформатора K_3 по выражению:

$$K_3 = \frac{W_a}{S_n \cdot T_n \cdot \cos\varphi_{cp}}, \quad (16)$$

где T_n – полное число часов работы трансформатора, час. в месяц, которое принимается равным: в январе, марте, мае, июле, августе, октябре, декабре- 744 час; в апреле, июне, сентябре, ноябре-720 час; в феврале-672 час. (для високосного года- 696 час).

Если трансформатор отключается на праздничные дни или выходные дни, то указанное время T_n должно быть уменьшено на это время отключения трансформатора.

Потери активной электроэнергии в трансформаторе рассчитываются по выражению:

$$\Delta W_a = \Delta P_{xx} \cdot T_n + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 \cdot T_{раб}, кВт \cdot ч, \quad (17)$$

а потери реактивной электроэнергии в трансформаторе рассчитываются по выражению:

$$\Delta W_p = \Delta Q_{xx} \cdot T_n + \Delta Q_{кз} \cdot K_3^2 \cdot T_{раб}, квар \cdot ч, \quad (18)$$

где $T_{раб}$ - число часов работы трансформатора с номинальной нагрузкой, час. в месяц, которое принимается равным для предприятий, работающих в одну смену-200час; в две смены- 450 час; в три смены-700час.

3.2 Методика оценки экономии электроэнергии при замене недогруженных трансформаторов промышленных, городских и сельских потребителей

Методика предназначена для приближенной оценки расчетным способом экономии электроэнергии при замене недогруженного трансформатора трансформатором меньшей мощности [4].

Величина условной экономии электроэнергии ΔW_a определяется разностью потерь ΔW_{ap} активной энергии в недогруженном (фактически работающем) трансформаторе и аналогических потерь активной энергии $\Delta W_{ам}$ в заменяющем трансформаторе меньшей мощности, при этом потери активной энергии в обоих указанных

трансформаторах (двухобмоточных) определяются по известному выражению:

$$\Delta W_a = \Delta W_{ap} - \Delta W_{am} \quad (19)$$

Более подробное выражение для определения экономии электроэнергии за счет изменения потерь энергии в трансформаторах при их замене имеет следующий вид:

$$\Delta W_a = (\Delta P_{xcp} - \Delta P_{xcm}) \cdot T_n + \left(\frac{\Delta P_{кзр}}{S_{np}^2} - \frac{\Delta P_{кзм}}{S_{nm}^2} \right) \cdot \left(\frac{W_\Gamma^2}{T_p \cdot \cos^2 \varphi} \right), \quad (20)$$

где ΔP_{xcp} , $\Delta P_{кзр}$, S_{np} - соответственно, потери активной мощности холостого хода, потери активной мощности короткого замыкания, а также номинальная мощность работающего трансформатора, кВт, кВт, МВА, которые, в частности, для напряжений обмоток 10/0,4 кВ выбираются по справочникам; T_n , T_p - соответственно, годовое время включения и годовое время работы трансформаторов с нагрузкой, час; $K_3 = S_c / S_n$ - коэффициент загрузки трансформаторов; $S_c = \frac{W_\Gamma}{T_p \cdot \cos \varphi}$ - среднесменная нагрузка трансформаторов, МВА; $\cos \varphi$ - средневзвешенное значение коэффициента мощности питаемых потребителей W_Γ - годовой расход активной энергии, определяемый по счетчику, установленному на подстанции, тыс.кВт·ч.

Полное число работ (включения) трансформаторов T_n в году при отсутствии данных об их отключениях можно принять равным: $T_n = 8760$ ч. (365 дней/год).

Годовое время работы трансформаторов с нагрузкой T_p для промышленных и приравненных к ним потребителей можно принимать $T_p=2400; 5000; 8400$ ч в год, соответственно, для односменной, двухсменной и трехсменной работы предприятий.

Для сельскохозяйственных, коммунально-бытовых потребителей значение T_p выбирается из табл.3. в зависимости от характера нагрузки и значения среднесменной нагрузки трансформатора S_c .

Таблица 3

S_c , кВА	T_p , ч, при характере нагрузки (при односменной работе)		
	коммунально-бытовой ($\cos\varphi=1$)	производственной ($\cos\varphi=0,8$)	смешанной $\cos\varphi=1$)
До 10	900	1100	1300
10-20	1200	1500	1700
20-50	1600	2000	2200
50-100	2000	2500	2800
100-250	2350	2700	3200
Более 250	2600	2800	3400

Мощность заменяющего трансформатора целесообразно выбирать с учетом коэффициента загрузки в зависимости от категории потребителей по выражению:

$$S_{\text{м}} = \frac{S_c}{K_3} \quad (21)$$

где K_3 - коэффициент загрузки трансформатора, значение которого зависит от категории по надежности питающихся от него потребителей:

$K_3=0,65-0,7$ (при преобладании нагрузок I-й категории для двухтрансформаторных ТП);

$K_3=0,7-0,8$ (при преобладании нагрузок II-й категории для двухтрансформаторных ТП в случае взаимного резервирования трансформаторов на низшем уровне);

$K_3=0,9-0,95$ (при преобладании нагрузок II-й категории и наличии централизованного (складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузках III-й категории).

Экономия электроэнергии при снижении активных потерь электроэнергии определяется по выражению:

$$C = \Delta W_a \cdot C_{CG}, \text{ руб} \quad (22)$$

где ΔW_a – снижение потерь электроэнергии за счет замены, например, на трансформатор меньшей мощности, кВт·ч, C_{CG} – среднегодовая стоимость (тариф) электроэнергии, руб/кВт·ч, которая определяется из договоров потребителя электроэнергии с электроснабжающей организацией.

Пример

Требуется определить величину потерь электроэнергии, связанных с недогрузкой трансформатора ТМ-1000-10/0,4 кВ, питающего сельский район. Годовой расход активной электроэнергии по данным счетчика составил $W_a=651$ тыс. кВт·ч. Характер нагрузки смешанный $\cos\varphi=0,95$.

Решение

1. Определяем приближенное значение среднесменной нагрузки трансформатора:

$$S_c = 651000 / (3400 \cdot 0.95) = 202 \text{ кВА},$$

где T_p - годовое время работы трансформатора с нагрузкой, полученное по колонке 3 из табл.3, составит: $T_p = 3400$ ч. в год.

2. Для полученного значения $S_c = 202$ кВА из табл. 3 (колонка 3) находим скорректированное значение T_p , которое составит 3200 ч. в год.

3. Откорректированное значение трансформатора определяется по выражению:

$$S_c = 651000 / (3200 \cdot 0.95) = 214 \text{ кВА}.$$

4. Определяем расчетную мощность заменяющего трансформатора в соответствии с выражением (21):

$$S_M = \frac{S_c}{K_{з.макс}} = \frac{214}{0.75} = 285 \text{ кВА}.$$

Следовательно, выбираем трансформатор ТМ-400-10/04 кВ с номинальной мощностью $S_{нм} = 400$ кВА

5. Определяем экономию электроэнергии за счет изменения потерь энергии при замене на трансформатор с меньшей номинальной мощностью (20):

$$\Delta W_a = (2.45 - 0.95) \cdot 8760 + (12.2/1^2 - 5.9/0.4^2) \cdot 651^2 / (3200 \cdot 0.95^2) = 9519 \text{ кВт} \cdot \text{ч в год}.$$

6. Экономия электроэнергии при снижении активных потерь электроэнергии при замене на трансформатор с меньшей номинальной мощностью при C_{CT} (руб./кВт·ч) составит:

$$\Delta C_{эл.эн.} = \Delta W_a \cdot C_{CT} = 9519 \cdot 3 = 28557 \text{ руб.}$$

Исходные данные

Таблица 4

№ варианта	Тип трансформатора	W_{Γ} , тыс. кВт·ч	$\cos\varphi$
1,16	ТМ-50/10/0,4	20	1,0
2,17	ТМ-60/10/0,4	40	0,8
3,18	ТМ-63/10/0,4	45	0,85
4,19	ТМ-100/10/0,4	66	0,87
5,20	ТМ-160/10/0,4	92	0,9
6,21	ТМ-180/10/0,4	103	0,91
7,22	ТМ-250/10/0,4	136	0,93
8,23	ТМ-320/10/0,4	116	1,0
9,24	ТМ-400/10/0,4	261	0,8
10,25	ТМ-560/10/0,4	424	0,84
11,26	ТМ-630/10/0,4	492	0,89
12,27	ТМ-750/10/0,4	563	0,92
13,28	ТМ-1000/10/0,4	637	0,86
14,29	ТМ-1600/10/0,4	762	0,83
15,30	ТМ-1800/10/0,4	820	0,8