

Практическая работа № 4

Определение расчетных, эксплуатационных показателей трансформаторов при решении задач

1 Цель работы: освоить принцип расчетов эксплуатационных показателей трансформаторов

2 Оснащение рабочего места:

- методические указания для проведения практических работ;
- калькулятор

3 Краткие теоретические сведения:

Трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Принцип действия трансформатора основан на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток I_1 , который создает в магнитопроводе, переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС: в первичной обмотке ЭДС самоиндукции e_1 , во вторичной ЭДС взаимной индукции e_2 . При подключении нагрузки Z_n к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС взаимной индукции в цепи этой обмотки создается ток I_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$ а в понижающих $U_1 > U_2$.

ЭДС e_2 и e_1 , наводимые в обмотках трансформатора отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений.

Трансформаторы обладают свойством обратимости, один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего. Но обычно трансформатор имеет определенное назначение: либо он повышающий, либо — понижающий.

Трансформатор нельзя включать в сеть постоянного тока, т.к. магнитный поток в магнитопроводе также будет постоянным как по величине, так и по направлению, поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС; вследствие этого в первичной обмотке будет протекать большой ток, т.к. при отсутствии ЭДС он будет ограничиваться только небольшим активным сопротивлением обмотки. Это может вызвать нагрев и перегорание обмотки.

4 Основные формулы:

Номинальная полная мощность трансформатора, кВ*А:

$$S_{ном} = U_{1ном} * I_{1ном} \approx U_{2ном} * I_{2ном}$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = 1 - \frac{P_{cm} + P_{\Sigma} \cdot K_{nz}^2}{S \cdot \cos \varphi \cdot K_{nz} + P_{cm} + P_{\Sigma} \cdot K_{nz}^2}$$

где K_{nz} - коэффициент нагрузки;

$P_{cm}=P_M$ - потери в стали (магнитные), Вт;

$P_{\Sigma}=P_{\Sigma}$ - потери в меди (электрические), Вт

Коэффициент мощности трансформатора:

$$\cos \varphi = \frac{P}{U * I}$$

Электрические потери в обмотках трансформатора, Вт:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = m I_1^2 r_1 + m I_2^2 r_2$$

где $P_{\Sigma 1}$ и $P_{\Sigma 2}$ - электрические потери в первичной и вторичной обмотке;

r_1 и r_2 - активное сопротивление первичной и вторичной обмотки, Ом;

m - число фазных обмоток

Коэффициент трансформации:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Первичная электродвижущая сила, В:

$$E_1 = 4,44 * \Phi_{max} * f_1 * \omega_1$$

Вторичная электродвижущая сила, В:

$$E_2 = 4,44 * \Phi_{max} * f_1 * \omega_2$$

где ω_1 и ω_2 - число витков первичной и вторичной обмотке;

f_1 - частота переменного тока

Максимальное значение основного магнитного потока, Вб

$$\dot{O}_{max} = \frac{U_2 i_{\dot{n}}}{\sqrt{3} * 4,44 * f * \omega_2}$$

Площадь поперечного сечения стержня магнитопровода, м²

$$Q_{\dot{n}} = \frac{\dot{O}_{max}}{B_{max} * k_c}$$

где B_{max} - максимальное значение магнитной индукции в стержне магнитопровода;

k_c - коэффициент заполнения магнитопровода сталью (при толщине пластин 0,5 мм обычно принимают $k_c = 0,95$).

Отношение линейных напряжений в трехфазном трансформаторе определяется не только отношением чисел витков фазных обмоток, но и схемой соединения обмоток.

Схема соединения обмоток:	Y/Y	Δ/Y	Δ/Δ	Y/Δ
Отношение линейных напряжений:	$w_1 / (\sqrt{3} w_2)$	w_1 / w_2	w_1 / w_2	$\sqrt{3} w_1 / w_2$

5 Порядок выполнения работы:

5.1 Изучить краткие теоретические сведения, изложенные в п. 3.

5.2 Изучить основные формулы, изложенные в п. 4.

5.3 Рассчитать параметры трансформаторов в соответствии со своим вариантом (см. таблицу 4.1), используя формулы изложенные в п. 4., и примеры решения задач.

Таблица 4.1 - Варианты для решения задач

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
№ задач	1;2;4;6;10.	1;3;5;7;10.	1;4;6;9;10.	1;5;7;6;10.	1;6;8;7;10.	1;7;9;8;10.	1;8;2;9;10.	1;9;3;2;10.	1;2;5;1;3;6;4;10.	1;3;6;1;4;7;5;10.	1;4;7;1;5;8;1;6;9;1;7;2;1;8;3;8;10.	1;5;8;1;6;9;1;7;2;1;8;3;8;10.	1;6;9;1;7;2;1;8;3;8;10.	1;7;2;1;8;3;8;10.	1;8;3;8;10.	9;10.

Задачи:

Задача 1

Используя приведенные в таблице 4.2 значения параметров трехфазных масляных трансформаторов серии ТМ (в обозначении марки в числителе указано номинальная мощность трансформатора в кВ·А, в знаменателе - высшее напряжение в кВ), определить для каждого варианта значения параметров, величины которых не указаны в этой таблице. Обмотки соединены по схемам Y/Y. Частота тока в сети $f=50$ Гц.

Таблица 4.2 - Варианты для задачи 1

Параметры	Тип трансформатора															
	ТМ-1000/35	ТМ-25/10	ТМ-100/6	ТМ-10/6	ТМ-180/6	ТМ-630/10	ТМ-50/6	ТМ-100/6	ТМ-180/6	ТМ-320/6	ТМ-560/5	ТМ-3150/5	ТМ-1000/6	ТМ-10/6	ТМ-25/10	ТМ-630/10
$\Phi_{max}, Вб$	-	-	-	-	0,04	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-
w_1	1600	1200	-	-	-	-	1190	-	-	522	2000	-	-	-	1200	-
w_2	-	-	72	-	-	133	-	72	-	-	-	146	-	-	-	133
$Q_{ст}, М^2, при V_{max}=1,5 Тл$	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,05	-	-
$U_{1ном}, кВ$	35	10	6	-	6	10	6	6	6	6	35	35	6	-	10	10
$U_{2ном}, кВ$	-	-	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	-	3,15	0,4	0,4	-	0,4
k	5,56	5,56	-	6	-	-	-	-	-	-	5,5	-	-	6	5,56	-
№ варианта	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Решение варианта * (трансформатор ТМ-1000/35):

1 Напряжение на выводах обмотки НН

$$U_{2ном} = U_{1ном} / k = 35 / 5,56 = 6,3 \text{ кВ.}$$

2 Число витков в фазной обмотке НН

$$w_2 = w_1 / k = 1600 / 5,56 = 288 \text{ витков}$$

3 Максимальное значение основного магнитного потока

$$\Phi_{\max} = U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} \cdot 4,44 \cdot f \cdot W_2) = 6300 / (1,73 \cdot 4,44 \cdot 50 \cdot 288) = 0,057 \text{ Вб}$$

4 Площадь поперечного сечения стержня магнитопровода.

$$Q_{\text{ст}} = \Phi_{\max} / (B_{\max} \cdot k_c) = 0,057 / (1,5 \cdot 0,95) = 0,04 \text{ м}^2$$

Задача 2

Номинальные значения первичного и вторичного напряжений однофазного трансформатора $U_{1\text{ном}}=110 \text{ В}$ и $U_{2\text{ном}}=6.3 \text{ кВ}$, номинальный первичный ток $I_{1\text{ном}}=100 \text{ А}$. Определить номинальную мощность трансформатора $S_{\text{ном}}$ и номинальный вторичный ток $I_{2\text{ном}}$.

Задача 3

Определить КПД трехфазного трансформатора $S_{\text{н}}=25 \text{ кВА}$, если трансформатор работает с коэффициентом нагрузки $k_{\text{н}}=0,5$, $\cos\varphi=0.8$. При номинальной нагрузке потери в стали $P_{\text{ст}}=0.8 \text{ кВт}$, потери в меди $P_{\text{м}}=1 \text{ кВт}$.

Задача 4

Максимальный магнитный поток в сердечнике однофазного трансформатора равен $\Phi=0,002 \text{ Вб}$. При холостом ходе напряжение на вторичной обмотке равно $U_2=127 \text{ В}$. Число витков первичной обмотки $W_1=495$. Частота сети $f=50 \text{ Гц}$. Найти коэффициент трансформации и напряжение питающей сети.

Задача 5

Однофазный трансформатор подключен к сети с напряжением $U_c=6 \text{ кВ}$. В режиме холостого хода трансформатора $U_2=400 \text{ В}$. При номинальной нагрузке трансформатор потребляет из сети полную мощность $S_1=25 \text{ кВА}$ при $\cos\varphi=0,8$. Потери холостого хода составляют $0,6 \text{ кВт}$. Определить ток I_2 во вторичной цепи трансформатора.

Задача 6

Однофазный трансформатор при активной нагрузке потребляет из сети мощность $P_1=16 \text{ кВт}$; $\eta=0,95$. Ток в первичной обмотке $I_1=1,6 \text{ А}$. Коэффициент трансформации $k=25$. Найти напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора, ток I_2 . Потери напряжения во вторичной обмотке пренебречь.

Задача 7

Трехфазный трансформатор имеет сечение стержня $Q_{\text{ст}}=390 \text{ мм}^2$ и $B_{\text{м}}=1,5 \text{ Тл}$. Коэффициент заполнения сталью $k_c=0,9$; $f=50 \text{ Гц}$. Сколько витков должны иметь первичная и вторичная обмотки, чтобы получить трансформатор Y/Y , с напряжением $U_1/U_2: 380/220 \text{ В}$.

Задача 8

Трехфазный трансформатор, соединенный по схеме $Y/Y_0 - 400/36 \text{ В}$, потребляет из сети $I_1=3 \text{ А}$; $\cos\varphi_1=0,8$; $\cos\varphi_2=0,95$. Найти: S_1 ; P_1 ; Q_1 ; S_2 ; P_2 ; Q_2 . Потери в трансформаторе пренебречь.

Задача 9

Трехфазный трансформатор имеет сечение стержня $Q_{ст}=400 \text{ мм}^2$. Коэффициент заполнения сталью $k_c=0,8$; $f=50 \text{ Гц}$; $V_{ш}=1,4 \text{ Тл}$. Определить величину ЭДС одного витка обмотки высшего напряжения.

Задача 10

Однофазный трансформатор включён в сеть с частотой тока 50 Гц. Номинальное вторичное напряжение $U_{2ном}$, а коэффициент трансформации k . Определить число витков в обмотках w_1 и w_2 , если в стержне магнитопровода трансформатора сечением $Q_{ст}$ максимальное значение магнитной индукции B_{max} . Коэффициент заполнения стержня сталью $k_c=0,95$. Значения параметров приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Варианты для задачи 10

Параметры	Вариант															
	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{2ном}, \text{В}$	230	400	680	230	400	230	400	680	230	230	400	400	680	230	230	400
k	15	10	12	10	12	14	10	12	8	10	6	8	12	14	8	12
$Q_{ст}, \text{м}^2$	0,049	0,08	0,076	0,065	0,07	0,06	0,08	0,12	0,18	0,065	0,08	0,12	0,076	0,06	0,085	0,07
$B_{max}, \text{Тл}$	1,3	1,6	1,3	1,4	1,7	1,5	1,6	1,8	1,3	1,4	1,5	1,2	1,3	1,5	1,2	1,7

Решение варианта *.

1 Максимальное значение основного магнитного потока.

$$\Phi_{max} = B_{max} Q_{ст} k_c = 1,3 * 0,049 * 0,95 = 0,06 \text{ Вб.}$$

2 Число витков во вторичной обмотке трансформатора.

$$W_2 = U_{2ном} / (4,44 f \Phi_{max}) = 230 / (4,44 * 50 * 0,06) = 17 \text{ витков.}$$

3 Количество витков в первичной обмотке.

$$W_1 = W_2 k = 17 * 15 = 255 \text{ витков.}$$

5.4 Оформить отчет.

5.5 Сделать вывод по работе.

6 Содержание отчета:

6.1 Название и цель работы.

6.2 Краткие теоретические сведения.

6.3 Расчеты параметров трансформаторов.

6.4 Ответы на контрольные вопросы.

6.5 Вывод по работе.

7 Контрольные вопросы:

- 7.1 Дайте определение трансформатора.
- 7.2 Поясните, как происходит трансформирование 3-х фазного тока.
- 7.3 Поясните, принцип действия трансформатора.
- 7.4 Приведите схемы соединения обмоток трансформатора.
- 7.5 Перечислите условия, которые необходимо соблюдать при включении трансформаторов на параллельную работу.
- 7.6 Укажите, как определить коэффициент трансформации.

Литература

- 1 Кацман М. М. Электрические машины: Учеб. для студентов средн. проф. учебных заведений. – 3-е изд., испр.- М.: - Вышш. шк., 2001.- 463 с.: ил.
- 2 Шевчик Н. Е., Подгайский Г. Д. Электрические машины.- Мн.: Дизайн ПРО, 2000.- 256с.: ил.
- 3 Кацман М. М. Сборник задач по электрическим машинам: Учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования.-М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 160с.