

## Контрольное задание №6 «Трансформаторы»

### Методические рекомендации к расчету контрольного задания

Основным параметром, характеризующим однофазный трансформатор, является коэффициент трансформации

$$n = U_{1H} / U_{2H} = w_1 / w_2.$$

При работе однофазного трансформатора под нагрузкой в номинальном режиме из сети потребляется полная мощность

$$S_H = U_{1H} I_{1H} = U_{2H} I_{2H}.$$

Коэффициент полезного действия трансформатора определяется отношением активной мощности, отдаваемой в нагрузку,  $P_2$  к активной мощности, потребляемой трансформатором из сети,  $P_1$ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \Delta P_c + \Delta P_{эл}},$$

где:  $\Delta P_{ст}$  – потери в магнитопроводе (постоянные);

$\Delta P_{эл}$  – потери в обмотках, зависящие от тока нагрузки.

Величина  $\Delta P_{ст}$  определяется по данным режима (опыта) холостого хода трансформатора. Трансформатор в режиме холостого хода потребляет из сети, главным образом, реактивную мощность на создание магнитного потока в магнитопроводе. Активная мощность  $P_0$  относительно невелика и обусловлена потерями от вихревых токов и на гистерезис в стали магнитопровода

$$\Delta P_{ст} = P_0 = U_{1H} I_0 \cos \varphi_{10}.$$

Величина  $\Delta P_{эл}$  определяется в опыте короткого замыкания. В этом опыте вторичная обмотка замыкается накоротко, на первичную обмотку подается пониженное напряжение  $U_{1к}$  такой величины, чтобы токи в обмотках трансформатора были равны номинальным  $I_{1H}$  и  $I_{2H}$ . В этом случае регистрируемая ваттметром активная мощность  $P_k$  равна (без учета потерь  $\Delta P_{ст} \approx 0$ ) электрическим потерям в обмотках  $\Delta P_{элH}$ , соответствующим номинальному режиму.

$$P_k = \Delta P_{элH} = U_{1H} I_{1H} \cos \varphi_{1к}.$$

В номинальном режиме КПД трансформатора определяется формулой

$$\eta_k = \frac{S_H \cos \varphi_2}{S_H \cos \varphi_2 + P_0 + P_k}.$$

Если нагрузка отличается от номинальной, мощность потерь в обмотках

$$\Delta P_{эл} = (I_1 / I_{1H})^2 P_k = \beta^2 P_k,$$

при этом

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_2}{\beta S_H \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k},$$

где:  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора.

По данным опытов холостого хода и короткого замыкания рассчитываются параметры схемы замещения трансформатора.

Сопротивления намагничивающей цепи:

$$Z_0 = U_{1H} / I_0; \quad R_0 = P_0 / I_0^2; \quad X_0 = (Z_0^2 - R_0^2)^{1/2}.$$

Сопротивления короткого замыкания:

$$Z_K = U_{1K} / I_{1H}; R_K = P_K / I_{1H}^2; X_K = (Z_K^2 - R_K^2)^{1/2}.$$

Сопротивления первичной обмотки:

$$R_1 = R'_2 = R_K / 2; X_1 = X'_2 = X_K / 2.$$

Работа трансформатора под нагрузкой определяется его внешней характеристикой

$$U_2 = F(I_2) \text{ или } U_2 = F(\beta).$$

Из уравнения электрического состояния для вторичной обмотки трансформатора

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 Z_2$$

запишем уравнение для внешней характеристики трансформатора

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2 = \dot{U}_{2H} - \dot{I}_2 Z_2,$$

где:  $\dot{E}_2 = \dot{U}_{2H}$ .

Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяем по формуле

$$U_2 = (100 - \Delta U_2 \%) U_{2H} / 100.$$

Относительное изменение напряжения во вторичной обмотке  $\Delta U_2$  определяется соотношением

$$\Delta U_2 = \beta (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2),$$

где:  $U_a = (P_K / S_H) 100\%$  – активная составляющая напряжения короткого замыкания;

$U_p = (U_K^2 - U_a^2)^{1/2}$  – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания.

При активно-индуктивной нагрузке трансформатора  $Z_H$  и известном  $\cos \varphi_H$  для вторичной цепи трансформатора можно записать уравнение по второму закону Кирхгофа

$$\dot{E}_2 = \dot{I}_2 Z_2 + \dot{I}_2 Z_{2H}.$$

Ток во вторичной обмотке трансформатора  $I_2 = I_{2H}$  и может быть рассчитан по формуле

$$I_2 = I_H = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2 + R_H)^2 + (X_2 + X_H)^2}}.$$

Трехфазным трансформаторы характеризуются **фазный**  $n_\phi$  и **линейный**  $n_L$  коэффициенты трансформации:

$$n_\phi = U_{1\phi} / U_{2\phi} = w_1 / w_2; n_L = U_{1L} / U_{2L}.$$

Соотношение между линейным и фазным коэффициентами трансформации зависит от схем соединения обмоток трансформатора. При схемах соединения «звезда-звезда» ( $Y=Y$ ) или «треугольник-треугольник» ( $\Delta=\Delta$ ) линейные и фазные коэффициенты одинаковы ( $K_L = K_\phi$ ). При схеме соединения  $Y/\Delta - K_L = \sqrt{3}K_\phi$ . При схеме соединения  $\Delta/Y - K_L = K_\phi / \sqrt{3}$ .

Полная мощность трехфазного трансформатора определяется соотношением

$$S_H = \sqrt{3} U_{1H} I_{1H} = \sqrt{3} U_{2H} I_{2H}.$$

Коэффициент полезного действия рассчитывается также как для однофазного трансформатора

Построение внешней характеристики  $U_2 = F(I_2)$  и рабочей характеристики  $\eta_2 = f(I_2)$  производится по вышеприведенным соотношениям при изменении тока нагрузки  $I_H = I_2$  от  $I_2 = 0$  (режим холостого хода) до  $I_2 = 1,2 I_{2H}$  или при изменении коэффициента нагрузки  $\beta$  от  $\beta = 0$  до  $\beta = 1,25 \beta_H$ .

7.1.2. Расчет параметров однофазного трансформатора

Задача 1 (для нечетных вариантов)

Однофазный трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами: мощность  $S_H$ ; высшее (первичное) напряжение  $U_{1H}$ ; низшее (вторичное) напряжение  $U_{2H}$ . Мощность потерь холостого хода  $P_0$  (при  $U_1=U_{1H}$ ); коэффициенты мощности: при холостом ходе  $\cos \varphi_{10}$ , при коротком замыкании  $\cos \varphi_{1K}$ ; процентное значение напряжения короткого замыкания  $U_K = 5,5 \%$ .

Таблица 7.1

Вариант	$S_H$ , кВ×А	$U_{1H}$ , кВ	$U_{2H}$ , В	$\cos \varphi_{10}$	$\cos \varphi_{1K}$	$P_0$ , Вт	$Z_H$ , Ом	$\cos \varphi_H$
1	20	10	400	0,12	0,55	220	10	0,8
2	30	10	400	0,11	0,52	250	10	0,9
3	50	6	525	0,1	0,48	350	15	0,8
4	100	6	525	0,092	0,435	600	4	0,8
5	180	10	525	0,092	0,415	1200	2	0,6
6	320	6	525	0,083	0,345	1600	2	0,6
7	360	6	525	0,075	0,291	2500	1	0,8
8	750	10	400	0,091	0,29	4100	1	0,7
9	1000	10	400	0,098	0,272	4900	0,5	0,7
10	1800	10	400	0,099	0,241	8000	0,5	0,7

Определить: а) ток холостого хода трансформатора; б) коэффициент трансформации; в) параметры полной схемы замещения трансформатора; г) напряжение  $U_2$ , если к трансформатору присоединен приемник энергии с параметрами  $Z_H$ ,  $\cos \varphi_H$ . Начертить схему замещения трансформатора и нанести на ней параметры всех элементов схемы.

Указания: 1. Принять, что в опыте холостого хода реактивное сопротивление первичной обмотки мало по сравнению с реактивным сопротивлением намагничивающей ветви. 2. Принять, что в опыте короткого замыкания мощность потерь делится поровну между первичной и вторичной обмотками.

7.1.3. Расчет параметров трехфазного трансформатор

Задача 2 (для четных вариантов)

Трехфазный трансформатор характеризуют следующие номинальные величины: мощность  $S_H$ ; высшее (первичное) линейное напряжение  $U_{1H}$ ; низшее (вторичное) линейное напряжение  $U_{2H}$ ; КПД  $\rho_H$ . Процентное значение напряжения короткого замыкания  $u_K \%$ ; мощность потерь короткого замыкания  $P_{к.н}$  (при токах в обмотках, равных номинальным). Схема соединения обмоток Y/Δ.

Таблица 7.2

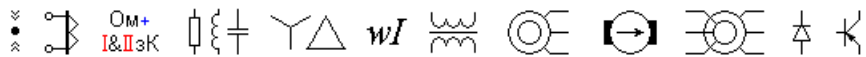
Вариант	$S_H$ , кВ×А	$U_{1H}$ , кВ	$U_{2H}$ , В	$\rho_H$ , %	$P_{к.н}$ , Вт	$u_K$ , %
1	20	6	400	96,2	600	5,5
2	20	10	400	96	600	5,5
3	30	6	400	96,5	850	5,5
4	30	10	400	93,3	850	5,5
5	50	6	525	96,7	1325	5,5
6	50	10	400	96	1325	5,5
7	100	6	525	98	2400	5,5
8	100	10	400	97	2400	5,5
9	180	6	525	97,3	4000	5,5
10	180	10	525	97	4100	5,5

Определить: а) номинальные токи в обмотках трансформатора; б) фазные напряжения обмоток при холостом ходе; в) коэффициент трансформации фазных напряжений; г) мощность потерь холостого хода при  $\cos \varphi_2=1$ ; д) активную и реактивную составляющие напряжения короткого замыкания; е) процентное изменение вторичного напряжения при номинальной нагрузке и значениях угла  $\varphi_2$  в пределах от  $-90^0$  до  $+90^0$ ; ж) КПД трансформатора при коэффициенте загрузки

$\beta=0,25; 0,5$  и  $\cos\varphi_2=0,8$ . Построить в общей систем координатных осей кривые  $U_2(I_2)$  при  $\cos\varphi_2=0,8$  ( $\varphi_2>0$ ) и  $\rho(I_2)$  при  $\cos\varphi_2=0,8$ . Нарисовать схему соединения обмоток.

7.1.4. Дополнительные вопросы к задачам 1 и 2

- 1. Что называется коэффициентом трансформации трансформатора?
- 2. Объяснить принцип действия трансформатора в режиме холостого хода.
- 3. Привести уравнения электрического равновесия трансформатора для первичной и вторичной обмоток.
- 4. От чего зависит магнитный поток трансформатора?
- 5. От чего зависит ток, потребляемый трансформатором из сети?
- 6. Начертить схему замещения трансформатора.
- 7. Перечислить режимы работы трансформатора.
- 8. Привести условия проведения опыта холостого хода. Какие параметры схемы замещения определяются в этом опыте?
- 9. Привести условия проведения опыта короткого замыкания. Какие параметры схемы замещения определяются в этом опыте?
- 10. Что понимается под номинальным первичным и номинальным вторичным напряжением?



Лицензия	Model.Exponenta.Ru	Jigrein
----------	--------------------	---------

© Н.В. Клиначёв, 1999-2008. Все права защищены. 800х600.