

РАБОТА 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы. Научиться экспериментально определять параметры воздушного трансформатора и строить векторные диаграммы для различных режимов его работы.

Пояснения к работе

Трансформатор предназначен для преобразования величин переменных токов и напряжений при неизменной частоте. В простейшем случае он представляет собою две неподвижные индуктивно связанные катушки. Одна из катушек трансформатора, к которой подводится питание, называется первичной, другая, к которой присоединяется нагрузка – вторичной. Передача энергии из одной цепи в другую происходит благодаря явлению взаимной индукции. Обычно катушки помещаются на сердечник из ферромагнитного материала; если же такого сердечника нет, то трансформатор называют воздушным. Схема воздушного трансформатора представлена на рис. 5.1.

При выбранных положительных направлениях токов уравнения воздушного трансформатора имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_{R1} + \dot{U}_{L1} + \dot{U}_{M1} = \dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_1 j\omega L_1 - \dot{I}_2 j\omega M, \\ \dot{U}_2 + \dot{U}_{R2} + \dot{U}_{L2} + \dot{U}_{M2} = \dot{I}_2 R_2 + \dot{I}_2 j\omega L_2 - \dot{I}_1 j\omega M = 0. \end{cases}$$

Здесь L_1 и L_2 – индуктивности катушек; R_1 и R_2 – их активные сопротивления; M – взаимная индуктивность.

Этим уравнениям соответствует качественная векторная диаграмма трансформатора при произвольной нагрузке ($\varphi_H > 0$), представленная на рис. 5.2.

Если начать построения со контура $cfdc$ и принять в нем

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 = I_2, \quad \text{то} \quad \dot{U}_2 = U_2 e^{j\varphi_H} = \dot{U}_{fc}, \quad \dot{U}_{df} = R_2 \dot{I}_2, \quad \dot{U}_{hd} = j\omega M \dot{I}_2, \quad \text{затем} \\ \dot{U}_{ch} = -\dot{U}_{fc} - \dot{U}_{df} - \dot{U}_{hd}, \quad \text{тогда} \quad \dot{I}_1 = \dot{U}_{ch} / (-j\omega M), \quad \text{далее} \\ \dot{U}_{ec} = -j\omega M \dot{I}_2, \quad \dot{U}_{be} = j\omega L_1 \dot{I}_1, \quad \dot{U}_{ab} = R_1 \dot{I}_1 \quad \text{и, наконец,} \\ \dot{U}_1 = \dot{U}_{ac} = \dot{U}_{ec} + \dot{U}_{be} + \dot{U}_{ab}. \end{aligned}$$

В режиме холостого хода трансформатора ($z_H = \infty$, $I_2 = 0$) его уравнения упрощаются и приводятся к следующим формулам для определения параметров первичной обмотки трансформатора:

$$z_{1X} = \frac{U_{1X}}{I_{1X}} = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2}, \quad R_1 = \frac{P_{1X}}{I_{1X}^2},$$

$$X_L = \omega L = \sqrt{Z_{1X}^2 - R^2}, \quad L = \frac{X_L}{\omega}.$$

Взаимная индуктивность: $M = \frac{U_{2X}}{\omega I_{1X}}$.

Если катушки, образующие воздушный трансформатор, одинаковы, то $R_2 = R_1, L_2 = L_1$.

Коэффициент трансформации: $n_T \approx \frac{U_1}{U_{2X}} \approx \frac{L_1}{M}$.

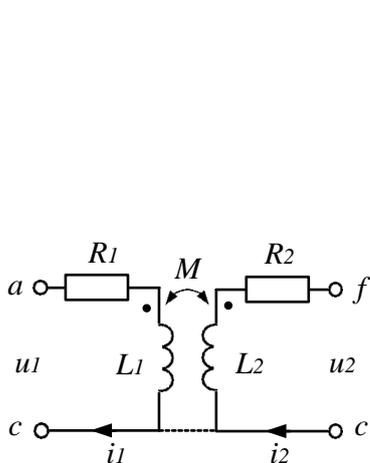


Рис. 5.1

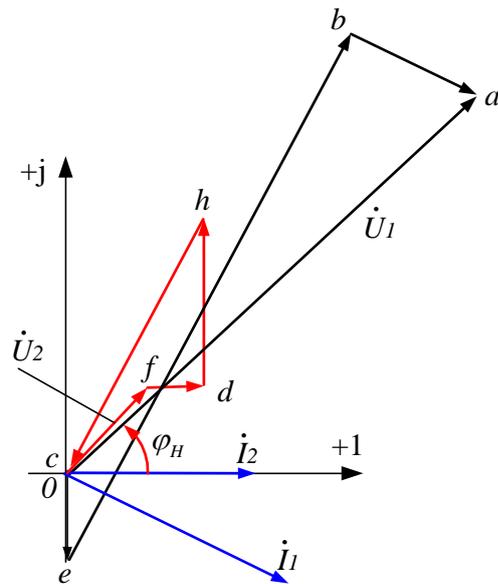


Рис. 5.2

Схема электрической цепи

Активные сопротивления обмоток можно измерить с помощью мультиметров, рис.5.3. Для этого нужно два раза щелкнуть на изображении мультиметра, появится рабочее окно, в котором нужно включить измерения в Омах. Предварительно нужно включить работу схемы.

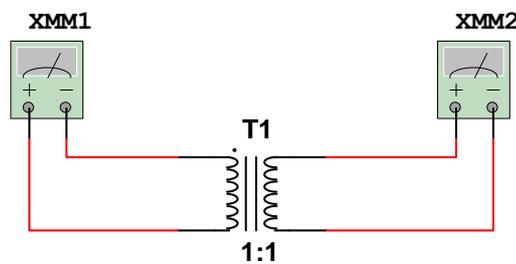


Рис. 5.3

Питание цепи, схема которой показана на рис. 5.4, осуществляется от источника синусоидального напряжения с ЭДС 100 В и частотой 50 Гц, $\omega = 2\pi f = 314 \text{ рад/с}$. С помощью ключей K_1, K_2, K_3 , управляющие клавиши которых 1, 2, 3 указаны на схеме, можно осуществить режимы холостого

хода и короткого замыкания трансформатора, а также подключить к нему активную или емкостную нагрузку. Вариант трансформатора, параметры активной и емкостной нагрузки приведены в табл.5.1.

Таблица 5.1

вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
трансформатор		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T0
R_H	Ом	100	100	200	80	100	120	150	50	80	120
C_H	мкФ	100	70	50	40	50	60	120	80	60	40

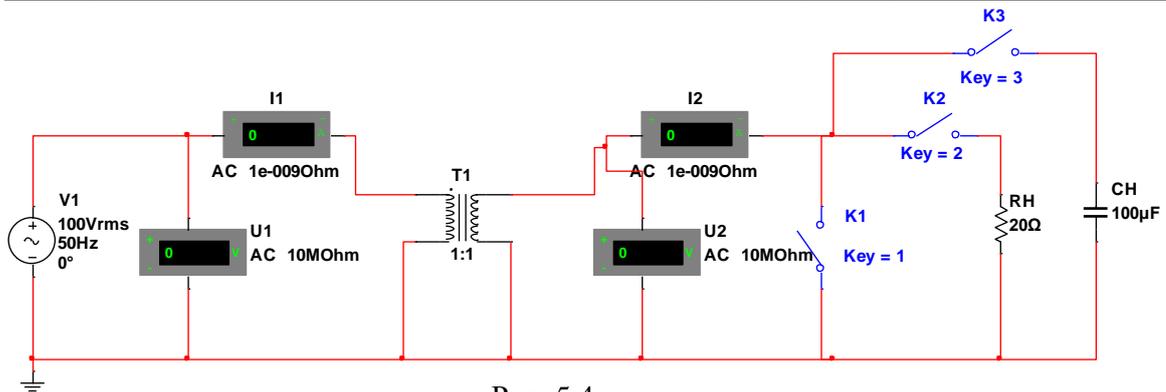


Рис. 5.4

Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, ответить на вопросы.

1. Почему трансформатор не может работать на постоянном токе?
2. Записать основные уравнения воздушного трансформатора.
3. Как опытным путем определить взаимную индуктивность воздушного трансформатора, активное сопротивление, индуктивность?
4. Как найти коэффициент трансформации воздушного трансформатора?
5. Построить качественную векторную диаграмму для воздушного трансформатора при емкостной нагрузке.

Программа работы

1. Открыть файл lw 5.
2. Для своего варианта трансформатора с помощью мультиметров измерить активные сопротивления обмоток (рис.5.3). Результаты измерений внести в табл. 5.2, причем $R_1 = R_2 = R$.

Таблица 5.2

Опыт	Результаты вычислений					
	z_{IX}	X_L	L	X_M	M	n_T
Ом	Ом	Ом	Гн	Ом	Гн	—

3. Включить свой трансформатор в схему, при помощи ключей K_1, K_2, K_3 осуществить четыре режима работы трансформатора: холостой ход, короткое замыкание, активную и емкостную нагрузки при неизменном действующем значении входного напряжения (рис.5.4). Показания приборов внести в табл. 5.3

Таблица 5.3

Характер нагрузки	U_1	I_1	U_2	I_2
	В	мА	В	мА
Холостой ход				0
Короткое замыкание			0	
Емкостная нагрузка $C =$ мкФ				
Активная нагрузка $R_H =$ Ом				

4. По результатам измерений в режиме холостого хода определить параметры схемы замещения трансформатора $z_{1X}, X_{L1} = X_{L2} = X_L, L_1 = L_2 = L, M$ и коэффициент трансформации η_T . Результаты расчета внести в табл. 5.2.

5. Вычислить падения напряжения на элементах схемы замещения трансформатора во всех исследуемых режимах работы. Результаты вычислений внести в табл. 5.4. Значения токов и напряжения U_2 брать из табл. 5.3, а сопротивлений – из табл. 5.2.

Таблица 5.4

Нагрузка			Результаты вычислений					Из диагр.	
Режим	U_2	φ_H	I_2R	I_2X_L	I_2X_M	I_1R	I_1X_L	U_{2M}	U_1
	В	град	В	В	В	В	В	В	В
ХХ		–	0	0	0				
КЗ	0	–							
C		–90							
R_H		0							

6. Построить топографические диаграммы напряжений и совмещенные с ними лучевые диаграммы токов для всех проведенных опытов, используя данные табл. 5.4.

7. Указания:

а) во всех режимах, кроме холостого хода, построение векторной диаграммы следует начинать с вектора тока \dot{I}_2 ;

б) значения входного напряжения и напряжения взаимной индукции $U_{2M} = X_M I_1$, внесенные в табл. 5.4, следует определить из диаграмм с учетом масштаба;

в) сравнить значения входного напряжения U_1 , полученные из опыта и из векторных диаграмм для каждого случая.

8. Из векторной диаграммы для активной нагрузки R_H определить угол

сдвига фаз φ_1 между входными напряжением \dot{U}_1 и током \dot{I}_1 . Вычислить к.п.д. трансформатора в этом режиме по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1 \cos \varphi_1}.$$

9. Подсчитать отношение U_1/U_2 при емкостной нагрузке C_H и сравнить с коэффициентом трансформации.

10. Сделать выводы по работе.