

### 050101. Однофазный трансформатор.

**Цель работы:** Ознакомиться с устройством, принципом работы однофазного трансформатора. Снять его основные характеристики.

**Требуемое оборудование:** Модульный учебный комплекс МУК-ЭП2

#### *Краткое теоретическое введение*

**Трансформатор** - статический электромагнитный аппарат, в котором посредством магнитного поля, переменный ток одного напряжения преобразуется в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Простейший силовой трансформатор состоит из двух катушек (**обмоток**), расположенных на одном замкнутом магнитопроводе (**сердечнике**). Обмотки изолированы от магнитопровода и не имеют электрической связи друг с другом. Магнитопровод выполняет роль каркаса и служит для усиления индуктивной связи между обмотками. Его изготавливают из отдельных пластин электротехнической стали, изолированных друг от друга слоем окисла или лака. Делается это для уменьшения вихревых токов.

Обмотка, которая подключается к источнику энергии, называется **первичной**, обмотка, к которой подключается приемник энергии, называется **вторичной**. Мощность первичной обмотки передается во вторичную электромагнитным путем.

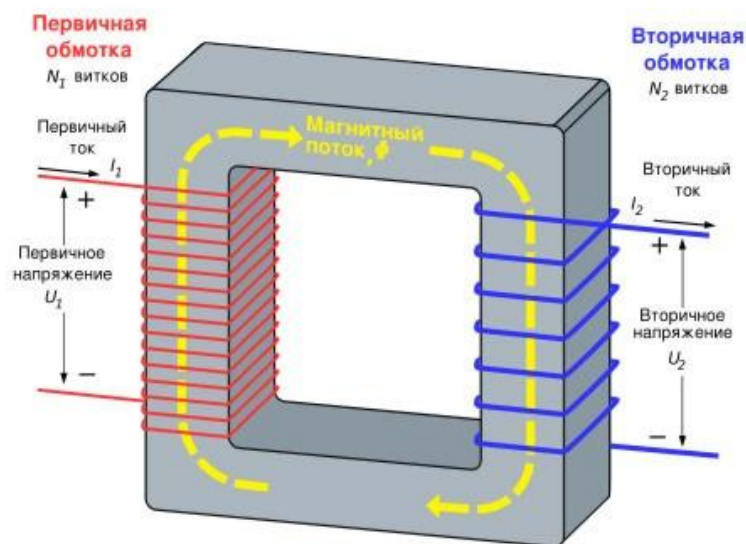


Рис.1. Схема трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки  $N_1$  к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток  $I_1$ . При отсутствии нагрузки на вторичной обмотке  $N_2$  этот ток будет

являться током *холостого хода*, а его действующее значение будет зависеть от сопротивления трансформатора  $Z_T$ :

$$I_{\text{ХХ}} = \frac{U_1}{Z_T}$$

Этот ток создает основной магнитный поток  $\Phi_{OCH}$  и магнитный поток рассеяния  $\Phi_{PC}$ , при этом  $\Phi_{OCH} \gg \Phi_{PC} \approx 0$ . Замыкаясь в магнитопроводе, основной магнитный поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и, согласно принципу электромагнитной индукции, индуцирует в них электродвижущие силы ЭДС:

– в первичной обмотке возникает ЭДС *самоиндукции*, действующее значение которого:

$$E_1 = 4.44 \Phi_m f N_1$$

– во вторичной обмотке возникает ЭДС *взаимоиндукции*, действующее значение которого:

$$E_2 = 4.44 \Phi_m f N_2$$

Значения ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ , наводимых в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга числом витков  $N_1$  и  $N_2$ . По этому, для трансформаторов вводится понятие *коэффициента трансформации*:

$$K = \frac{E_B}{E_H} = \frac{N_B}{N_H}$$

где  $E_B, N_B$  – ЭДС и число витков обмотки, подключенной к сети с более высоким напряжением,  $E_H, N_H$  – ЭДС и число витков обмотки, подключенной к сети с менее высоким напряжением.

Таким образом, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор на любое отношение напряжений. В повышающих трансформаторах  $U_2 > U_1$ , а в понижающих  $U_1 > U_2$ . 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.

При подключении нагрузки  $Z_{НАГР}$  ( $R, X_L, X_C$ ) к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС  $E_2$  в цепи этой обмотки создается вторичный ток  $I_2$  — ток нагрузки, а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение  $U_2$ . Действующее значение тока во вторичной обмотке определяется законом Ома:

$$I_H = I_2 = \frac{U_2}{Z_{НАГР}}$$

Ток  $I_2$  создает свой магнитный поток  $\Phi_2$ , направленный встречно  $\Phi_1$ . В результате основной магнитный поток будет складываться из двух магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , направленных встречно, и будет равен магнитному потоку трансформатора в режиме холостого хода:

$$\Phi_{OCH} = \Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_{\text{ХХ}} = \text{const.}$$

*Коэффициент мощности трансформатора  $\cos \varphi$*  определяется как отношение полезной мощности  $P_1$  к подводимой  $S_1$ :

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{U_1 I_1}$$

**Коэффициент полезного действия (КПД)** трансформатора определяется как отношение активной мощности на выходе вторичной обмотки  $P_2$  (полезная мощность) к активной мощности на входе первичной обмотки  $P_1$  (подводимая мощность):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

На практике вводится понятие **коэффициент загрузки трансформатора  $\beta$** . Это отношение тока, который действительно потребляет нагрузка трансформатора, к его номинальному току вторичной обмотки:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2\text{ном}}}$$

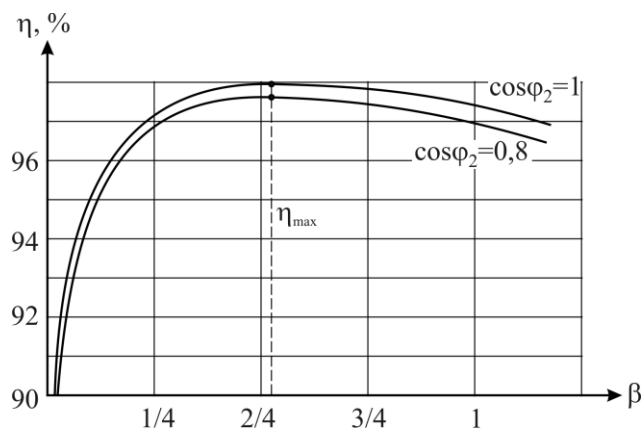


Рис. 2. График зависимости КПД трансформатора от коэффициента загрузки

Благодаря отсутствию в трансформаторе вращающихся частей его КПД выше, чем у электрических машин. В трансформаторах большой мощности КПД достигает 98...99%.

Для исследования однофазного трансформатора выполняются три опыта:

- опыт холостого хода: снимаются характеристики холостого хода;
- опыт короткого замыкания: снимаются характеристики короткого замыкания;
- опыт под нагрузкой: снимается внешняя характеристика.

**Опыт холостого хода** это такой режим работы трансформатора, при котором к первичной обмотке подведено напряжение, а вторичная обмотка разомкнута (рис. 3), при этом  $Z_{\text{НАГР}} = \infty$ ,  $I_2 = 0$ .

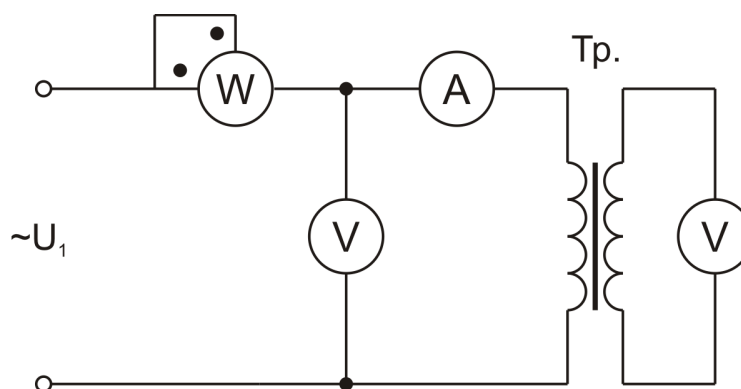


Рис. 3. . Схема проведения опыта холостого хода

При изменении напряжения  $U_1$  ток  $I_1$  до зоны перегиба изменяется пропорционально  $U_1$ , а затем резко возрастает (рис. 4). По зоне перегиба характеристики определяется номинальное напряжение на первичной обмотке трансформатора  $U_{1НОМ}$ , значение которого регламентирует ГОСТ (6, 12, 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380, 660 В).

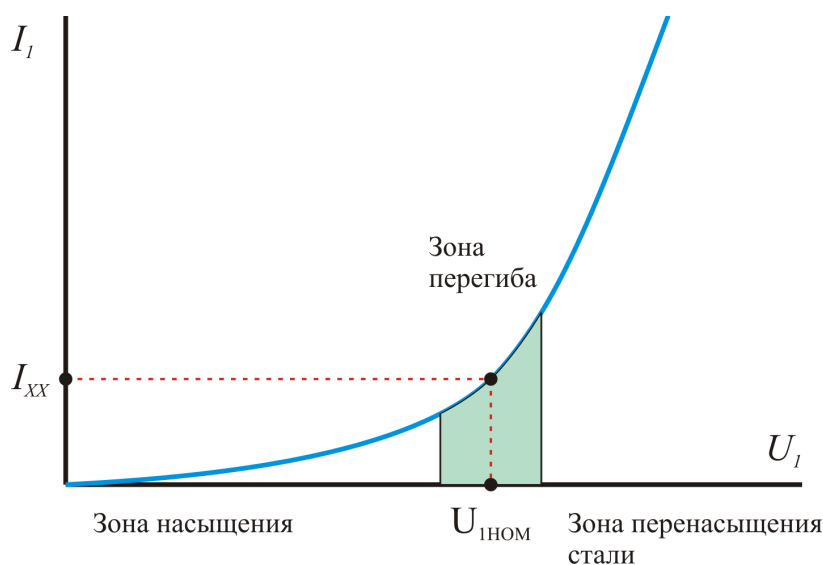


Рис. 4

Опыт позволяет определить коэффициент трансформации трансформатора как:

$$K = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}}$$

Важно отметить, что при режиме холостого хода значительно снижается  $\cos\varphi$  электрических цепей, а, следовательно, этот режим является нежелательным при эксплуатации трансформаторов.

**Опыт короткого замыкания** — это такой режим работы трансформатора, когда вторичная обмотка замкнута накоротко (рис. 5), а к первичной подводят такое напряжение, чтобы по обмоткам текли номинальные токи, при этом  $Z_{НАГР} = 0$ ,  $U_2 = 0$ .

В условиях эксплуатации, когда к трансформатору подведено номинальное напряжение  $U_{1НОМ}$ , короткое замыкание является аварийным режимом и представляет большую опасность для трансформатора.

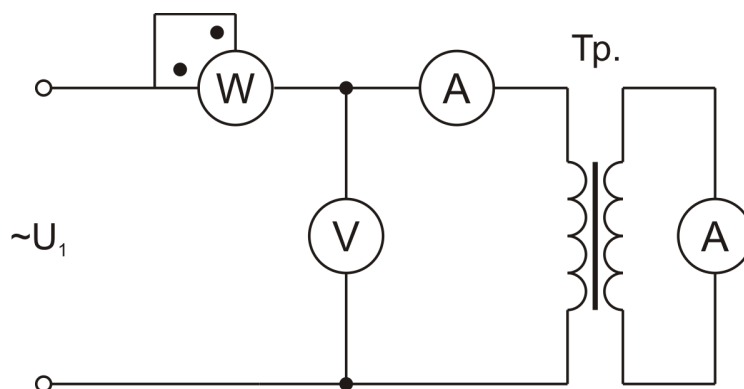


Рис. 5. Схема проведения опыта короткого замыкания

Пониженное напряжение, приложенное к первичной обмотке называют напряжением короткого замыкания, обычно выражают его в % от номинального напряжения:

$$U_{кз\%} = \frac{U_{кз}}{U_{ном}} 100\% = 1...10\%$$

Зная  $U_{кз}$ , определяют реальные токи короткого замыкания, необходимые для выбора аппаратов защиты:

$$I_{1кз} = \frac{100}{U_{кз\%}} I_{1ном} \quad I_{2кз} = \frac{100}{U_{кз\%}} I_{2ном}$$

**Опыт нагрузки трансформатора** это такой режим работы трансформатора, когда к выводам вторичной обмотки подключена нагрузка  $Z_{нагр}$  ( $R, X_L, X_C$ ) (рис. 6).

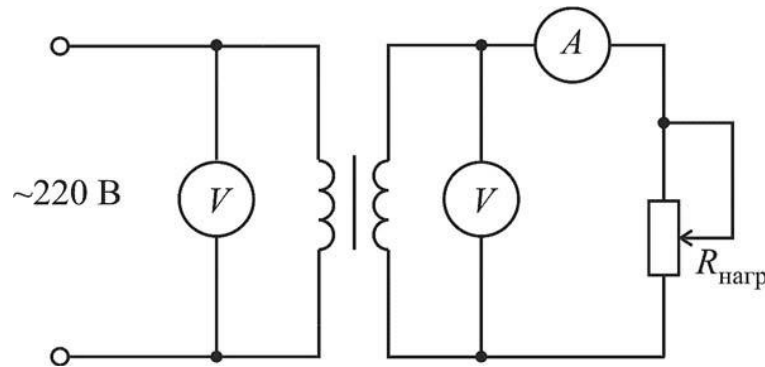


Рис. 6

В режиме нагрузки определяется внешняя характеристика трансформатора (рис.7):  $U_2 = f(I_2)$ , при  $U_1 = const, \cos\varphi = const$ .

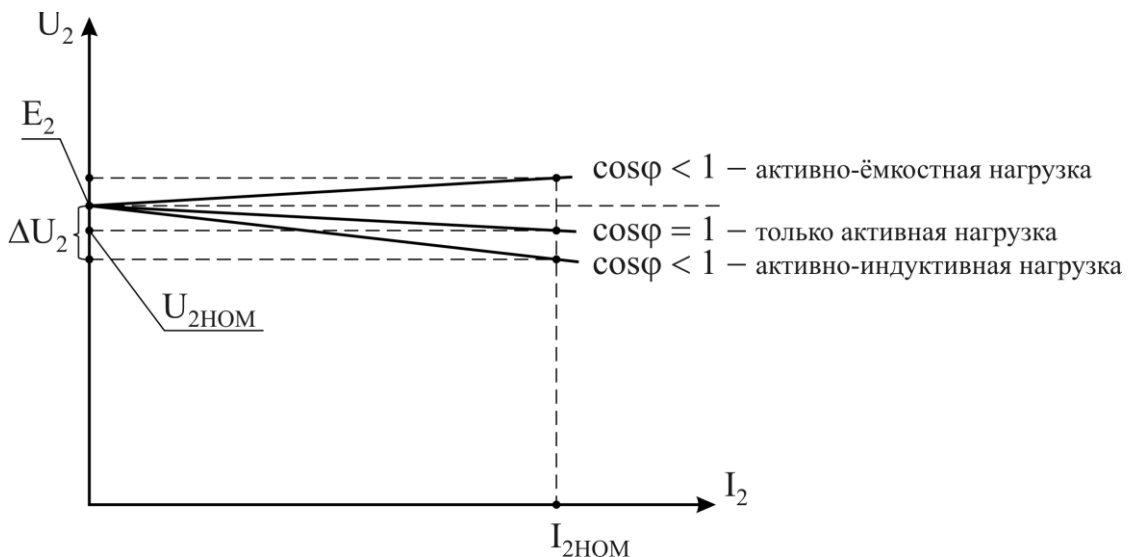


Рис. 7. Внешняя характеристика трансформатора

Процентное падение напряжения на вторичной обмотке вычисляется как:

$$\Delta U_{\%} = \frac{U_{2xx} - U_2}{U_2} 100\%$$

При номинальной нагрузке оно обычно лежит в пределах 4-6%.

## Методика эксперимента

Исследование режимов работы однофазного трансформатора осуществляется с помощью генератора испытательных сигналов БПТ1 (рис.8).



Рис. 8

Прибор позволяет проводить измерения :

- в режиме холостого хода трансформатора;
- в режиме короткого замыкания трансформатора;
- в режиме активной нагрузки.

Прибор обеспечивает следующие режимы измерения:

- действующее значение напряжения;
- действующее значение тока;
- активная мощность;
- полная мощность.

Коммутация обеспечивает подключение к измерителю первичной или вторичной обмотки трансформатора.

Амперметры и вольтметры в цепи связаны в единую систему и позволяют измерять полную и активную мощности.

Коммутация измерительных цепей производится внутри прибора, что обеспечивает безопасность при работе с высоким напряжением.

Схема коммутаций блоков представлена на рис. 9

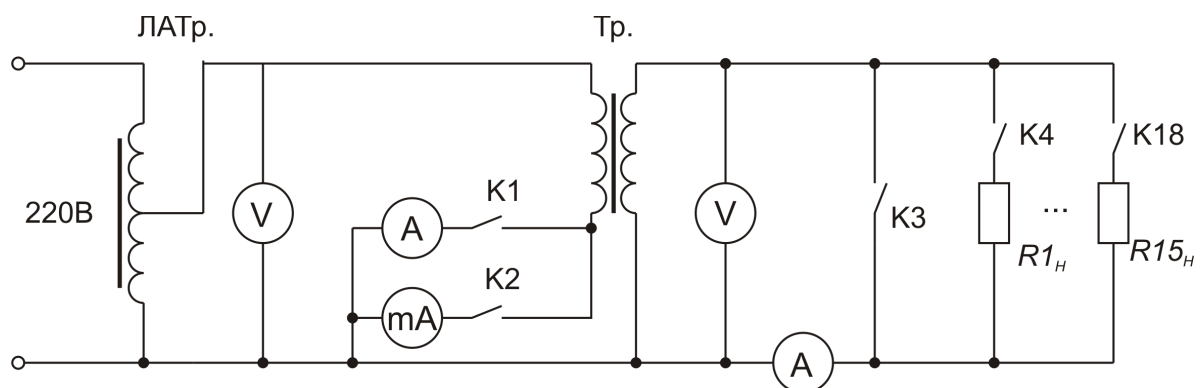


Рис. 9

При работе в режиме XX подключается миллиамперметр (контакт K2)

В режиме K3 подключается амперметр (контакт K1), короткое замыкание вторичной обмотки. При превышении напряжения выше напряжения короткого замыкания срабатывает защита.

В режиме Нагрузка подключается амперметр (контакт K1) и нагрузочное сопротивление (контакты K4-K18)

## Рекомендуемое задание

**1. Опыт холостого хода.** Выберите на панели прибора режим работы «Режим XX».

Установите ручку регулировки напряжения ЛАТера в положение «0». Нажмите кнопку «ПУСК».

Плавное увеличение напряжения  $U_1$  от 0 до максимального значения, произведите измерения:

- тока в первичной обмотки  $I_1$ ;
- напряжения на первичной обмотки  $U_1$ ;
- полной мощности  $S_1$ ;

- активной мощности  $P_1$ ;
- напряжения на вторичной обмотке  $U_2$ .

Вычислите для каждого значения  $U_1$  коэффициент мощности трансформатора  $\cos(\varphi)$

Постройте характеристики холостого хода трансформатора  $I_1 = I_{XX} = f(U_1)$ ,  $\cos(\varphi) = f(U_1)$ ;

По характеристикам определить:

- номинальное напряжение трансформатора исходя из стандартного номинального ряда напряжений
- коэффициент трансформации.

**2. Опыт короткого замыкания.** Выберите на панели прибора режим работы «Режим КЗ». Установите ручку регулировки напряжения ЛАТера в положение «0». Нажмите кнопку «ПУСК».

Плавное увеличивая напряжение  $U_1$  установите номинальный ток во вторичной обмотке  $I_{2ном}$ .

Произведите измерения:

- тока в первичной обмотки  $I_1$ ;
- напряжения на первичной обмотки  $U_1$ ;

Вычислите:

- напряжение короткого замыкания в процентах от номинального.
- реальные токи короткого замыкания трансформатора.

Постройте график  $U_1 = f(I_1)$ ,

**Опыт нагрузки трансформатора** . Выберите на панели прибора режим работы «Режим НАГРУЗКА». Установите ручку регулировки напряжения ЛАТера в положение «0». Нажмите кнопку «ПУСК». Установите напряжение  $U_1$  номинальное напряжение 220В.

Кнопкой «-» изменяйте внешнее сопротивление, при этом произведите измерения:

- ток во вторичной обмотке  $I_2$ ;
- напряжение на вторичной обмотке  $U_2$ ;
- мощность  $P_1$ ;
- мощность  $P_2$

Вычислите для каждого значения нагрузки:

- коэффициент загрузки трансформатора  $\beta$ ;
- КПД трансформатора  $\eta$ .

Постройте графики  $U_2 = f(I_2)$ ,  $\eta = f(\beta)$