

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине «Материалы и компоненты
электроники» для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2006

УДК 621.315.61(075.8)
ББК 32.85я73
ИЗ9

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 27.06.2005 г.)*

Автор-составитель: *С. Н. Кухаренко*

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
В. И. Луковников

ИЗ9 **Изучение** свойств компонентов электроники : лаб. практикум по дисциплине «Материалы и компоненты электроники» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: С. Н. Кухаренко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 28 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загол. с титул. экрана.

Лабораторный практикум содержит описание трех лабораторных работ, составленных в соответствии с программами дисциплины «Материалы и компоненты электроники», в которых исследуются электрические свойства трансформаторов и электромагнитных реле, а также зависимость этих свойств от режима эксплуатации.

Выполнение описанных работ знакомит студентов с методами измерения параметров электромагнитных элементов электронной техники, позволяет приобрести навыки определения косвенных параметров, закрепляя тем самым теоретические сведения, полученные при изучении курса лекций.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника».

УДК 621.315.61(075.8)
ББК 32.85я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2006

ВВЕДЕНИЕ.

Цикл лабораторных работ «Материалы и компоненты электроники» представлен в двух частях: первая – материалы электроники, вторая – компоненты электроники. Вторая часть предназначена ознакомить студентов специальности 36 04 02 «Промышленная электроника» с существующими классами компонентов электронной техники и их основными свойствами, изучить их характеристики в различных рабочих и предельных режимах, научиться определять параметры электромагнитных компонентов.

Целью выполнения лабораторных работ является закрепление теоретических сведений, полученных при изучении курса лекций. В процессе подготовки и выполнения работ студенты знакомятся с названиями, внешним видом и электрическими свойствами трансформаторов и электромагнитных реле, изучают методы измерения и определения характеристик, приобретают навыки работы с измерительным оборудованием.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.

Выполнение лабораторной работы включает в себя несколько этапов: самостоятельная подготовка во внеурочное время, допуск к работе, выполнение измерений и обработка результатов, оформление отчета.

При самостоятельной подготовке студент должен изучить методику измерения, усвоить цель работы и порядок ее выполнения, подготовить отчет.

Для получения допуска к выполнению работы на стенде необходимо представить отчет о предыдущей работе и подготовленный отчет к очередной работе, ответить на вопросы преподавателя.

При выполнении лабораторных работ необходимо учитывать следующее:

1. измерения, выполняемые цифровыми приборами, должны содержать не менее трех значащих цифр (необходимо выбирать предел измерения таким, чтоб на индикаторе было не менее трех цифр), измерения, выполненные аналоговыми приборами и осциллографом, должны содержать не менее двух цифр.

2. при подключении генераторов, осциллографов и вольтметров необходимо соединять общий провод прибора с общим проводом стенда.
3. отключение стенда от электрической сети и разборка схемы производятся после предоставления результатов измерения преподавателю и с разрешения преподавателя.

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:

1. цель работы.
2. схему эксперимента.
3. методику обработки результатов.
4. таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. графики исследованных функциональных зависимостей выполненных на координатной бумаге или в программе MathCAD.
6. выводы о выполненной работе, в которых указано сопоставление между полученными результатами измерения, а также сравнение результатов со справочными данными.

ПРАВИЛА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ.

Лабораторный стенд является действующей электроустановкой и при определенных условиях может стать источником опасности поражения электрическим током. Тело человека обладает свойствами электропроводности и при соприкосновении с токоведущими частями установки, находящейся под напряжением, оно становится звеном электрической цепи. Возникший в теле человека электрический ток может вызвать ожог кожи или нанести тяжелые поражения нервной, сердечной и дыхательной системы организма.

Поэтому следует всегда помнить о возможности поражения электрическим током соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Прежде, чем приступить к соединению устройств, расположенных на стенде, убедитесь, что контакты автоматов сетей разомкнуты, а указатели положения элементов регулирования лабораторных автотрансформаторов и источников питания расположены в позиции «Нуль» или «Выкл.».
2. Включать автоматы сетей и проводить первое опробование цепей с регулируемыми источниками питания можно только с разрешения преподавателя.

3. При сборке цепей избегайте пересечения проводов и обеспечьте высокую плотность контактов всех разъемных соединений. Неиспользованные провода уберите с монтажной панели в отведенное для них место.
4. Убедитесь в исправности изоляции проводов. Не пользуйтесь проводами без наконечников и штырей.
5. Выполнять какие либо пересоединения или разборку цепи под напряжением в работающей установке категорически запрещено.
6. Не прикасайтесь к неизолированным элементам соединительных и коммутационных устройств, находящихся под напряжением.
7. Помните, что отключенный конденсатор может сохранять опасный остаточный заряд.
8. Обнаружив неисправность в электротехническом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите его и сообщите об этом преподавателю.
9. Не приближайтесь к вращающимся частям электрических машин. Помните, что даже гладкие валы способны намотать части одежды (платья, галстуки, шарфы) и волосы.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТРАНСФОРМАТОРОВ.

Цель работы: Познакомится с системой основных электрических параметров трансформаторов, освоить методику измерения этих параметров и определения эксплуатационных характеристик.

2.1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Трансформатор - электромагнитным аппарат, представляющий собой систему индуктивно связанных контуров и преобразующим одну или несколько систем переменного тока в другую систему переменного тока. Из определения следует что, в общем случае, трансформатор является пассивным многополюсником. Следовательно, данный тип устройств исследуется и описывается методами, применяемыми в электротехнике многополюсников. В данной лабораторной работе рассматривается методика определения параметров трансфор-

матора с двумя обмотками (двухобмоточные). Обмотка, к которой подводится электрическая энергия, называется первичной стандартизованное обозначение W_1 , соответственно обмотка, с которой отводится энергия – вторичная W_2 .

Необходимость в определении параметров трансформаторов возникает в процессе их производства, после выполнения ремонта и при разработке новых устройств.

Свойства трансформатора как четырехполюсника могут быть определены только в системе классической матрицы передачи [А].

$$\begin{aligned}U_1 &= AU_2 + BI_2 \\I_1 &= CU_2 + DI_2\end{aligned}\tag{2.1}$$

где U_1 U_2 I_1 I_2 – напряжения и токи первичной и вторичной обмоток соответственно.

Очевидно, что наиболее удобным способом определения параметров $ABCD$ следует рассматривать опыт короткого замыкания и холостого хода на выходе четырехполюсника.

$$\begin{aligned}A &= \frac{U_1}{U_2} \text{ при } I_2 = 0; \quad C = \frac{I_1}{U_2} \text{ при } I_2 = 0 \\B &= \frac{U_1}{I_2} \text{ при } U_2 = 0; \quad D = \frac{I_1}{I_2} \text{ при } U_2 = 0\end{aligned}\tag{2.2}$$

Необходимо помнить, что коэффициенты $ABCD$, в общем случае, комплексные величины. Коэффициенты A и D представляют собой коэффициенты передачи по напряжению при холостом ходе на выходе и коэффициент передачи по току при коротком замыкании на выходе соответственно. Эти коэффициенты, в технической терминологии, принято называть коэффициентами трансформации. Коэффициенты B и C – отношение входного напряжения к выходному току при опыте короткого замыкания и отношение входного тока к выходному напряжению при опыте холостого хода. Практическое значение имеет отношение коэффициентов

$$\frac{A}{C} = \frac{U_1}{I_1} = Z_{1xx}\tag{2.3}$$

где Z_{1xx} – входное сопротивление трансформатора позволяющее оценить потери холостого хода и значение тока намагничивания

$$\frac{B}{D} = \frac{U_1}{I_1} = Z_{1кз}\tag{2.4}$$

где $Z_{1кз}$ – входное сопротивление при коротком замыкании вторичных обмоток. Это значение позволяет оценить потери мощности и падение напряжения в трансформаторе под нагрузкой.

Трансформатор может быть представлен электрической схемой замещения рис.2.1. На схеме параметры r_2' , x_2' , и U_2' - приведенные значения вторичной обмотки:

$$r_2' = r_2 \cdot A^2; x_2' = x_2 \cdot A^2; U_2' = U_2 \cdot A \quad 2.5$$

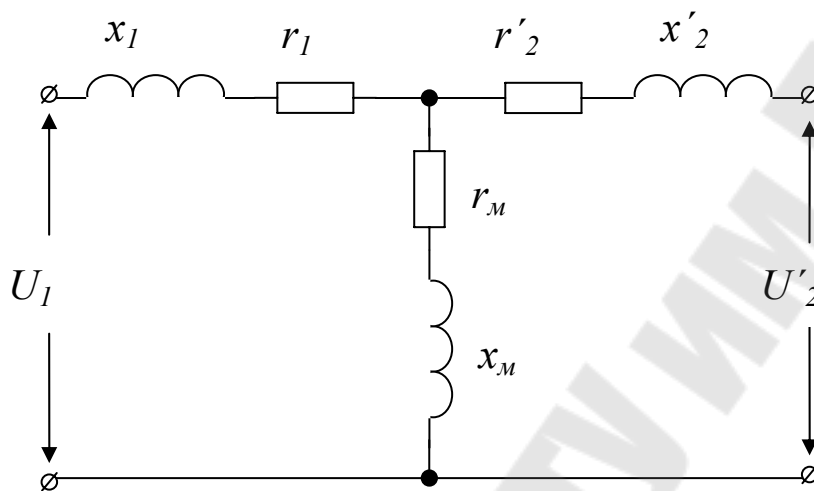


Рис.2.1 Схема замещения двухобмоточного трансформатора.

Согласно ГОСТ 11677 – 75 холостым ходом называют режим работы трансформатора, при котором ток вторичной обмотки равен нулю. При этом магнитный поток незначительно увеличен по отношению к номинальному. Установившийся ток первичной обмотки при номинальном напряжении и номинальной частоте называют током холостого хода, а потери в этом режиме потерями холостого хода P_x .

В режиме холостого хода ток протекает по двум, последовательно включенным, сопротивлениям $Z_1 = r_1 + jx_1$ - полное сопротивление первичной обмотки, состоящее из активного сопротивления и индуктивности обусловленной потоком рассеяния, а также $Z_m = r_m + jx_m$ - полное сопротивление взаимной индуктивности, состоящее из сопротивления r_m – обусловленного потерями в магнитопроводе и сопротивлением обусловленным полем взаимной индукции (полем в сердечнике) - x_m .

Сопоставляя измеренные значения с расчетными или паспортными можно судить о правильности соединения обмоток, качестве и плот-

ности магнитопровода, соответствии числа витков и напряжения, отсутствии короткозамкнутых контуров в магнитопроводе и обмотках.

Согласно ГОСТ 11677 – 75 коротким замыканием называют режим работы трансформатора, при котором напряжение вторичной обмотки равно нулю. Опыт короткого замыкания проводят с целью определения напряжения короткого замыкания. Напряжением короткого замыкания называют напряжение, которое при номинальной частоте нужно подвести к выводам первичной обмотки, при замкнутой накоротко вторичной, чтобы в них установились номинальные токи. Опыт короткого замыкания позволяет определить коэффициенты B и D матрицы передачи.

В опыте короткого замыкания измеряется значение двух последовательно включенных сопротивлений Z_1 и Z_2' - приведенное полное сопротивление вторичной обмотки. Влияние Z_m в этом опыте незначительно может не учитываться.

Напряжение короткого замыкания важный параметр трансформатора и обычно приводится в сопроводительной документации. Отклонение напряжения короткого замыкания от номинального или паспортного значения свидетельствует о нарушении межобмоточных соединений или о наличии коротких замыканий в обмотках.

Типовые трансформаторы не являются взаимными четырехполюсниками, их электрические характеристики различны относительно обмоток W_1 и W_2 . Такое различие объясняется различным расположением обмоток относительно магнитопровода и взаимным расположением.

Схема лабораторного стенда приведена на рис. 2.2 в ней приняты следующие обозначения:

AV – регулируемый источник напряжения

TV – испытуемый трансформатор

φ – измеритель разности фаз

R_n – сопротивление нагрузки

$R_{ш}$ – сопротивление токоизмерительного шунта

A, V – амперметр и вольтметр

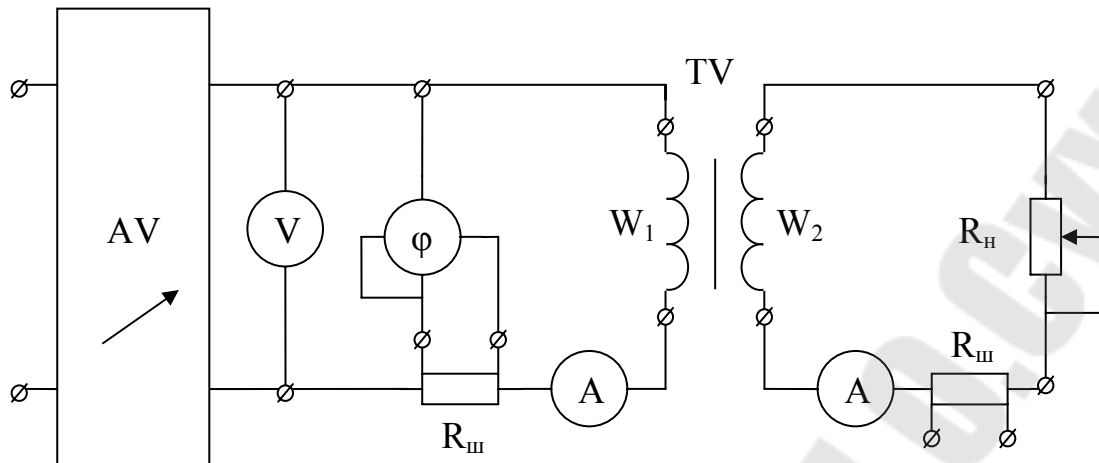


рис. 2.2. Схема лабораторного стенда.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

1. Установите регулятор AV на минимум, включите стенд и проверьте работу стенда, плавно увеличивая напряжение на схеме.
2. Изменяя напряжение на трансформаторе U_1 от U_{min} до 240 В для 5 – 6 значений измерьте характеристику холостого хода трансформатора. Один из режимов должен соответствовать номинальному значению напряжения.
3. Рассчитайте параметры цепи намагничивания Z_m , полную S и активную P мощность для каждого из режимов.
4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№	U_1	I_1	φ	r_m	x_m	S	P
	В	А	градусы	Ом	Ом	ВАр	Вт

5. Построить графики I_1 , r_m , P в зависимости от приложенного напряжения U_1 .
6. Во избежание больших токов, при выполнении опыта короткого замыкания, обязательно перед включением вывести регулятор AV на нуль.
7. Установить перемычку параллельно нагрузочному резистору.
8. Плавно изменяя напряжение вторичной обмотки определить, для 4 – 5 режимов, напряжение короткого замыкания, фазы токов вторичной и первичной обмоток. Один из режимов должен соответствовать номинальному режиму работы трансформатора.

9. Рассчитайте параметры обмоток и потери в них, результаты измерений и вычислений занесите в таблицу:

№	U_1	I_1	I_2	φ_1	φ_2	r	x	P

10. Установить сопротивление нагрузки и напряжение U_1 равное номинальному значению.
11. Измерьте входные и выходные значения электрических величин.
12. Подставьте полученные значения в матрицу А и определите коэффициенты ABCD. Приведите таблицу сопоставления параметров полученных в опытах короткого замыкания и холостого хода с А – параметрами.
13. Поменяйте местами обмотки трансформатора W_1 и W_2 и выполните опыт холостого хода и короткого замыкания для номинального режима.
14. Определить параметры схемы замещения для обратного включения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Дать определение трансформатора. Какие обмотки называют первичными (вторичными).
2. Записать классическую матрицу передачи А. Раскрыть физический смысл коэффициентов ABCD приемлемо к трансформатору.
3. Привести схему замещения трансформатора. Что означает приведенные единицы. Раскрыть физический смысл элементов схемы замещения.
4. Дать определение холостого хода трансформатора. Какие физические параметры измеряют в режиме холостого хода. Какие типы неисправностей могут быть выявлены при испытаниях на холостом ходе.
5. На что расходуется энергия холостого хода, от чего зависит ее значение.
6. Объясните вид характеристик $I_1(U_1)$, и $P_1(U_1)$. Как по характеристикам холостого хода определить номинальное напряжение первичной обмотки.
7. Дать определение короткого замыкания трансформатора, напряжения короткого замыкания. Какие виды неисправностей могут быть выявлены в опыте короткого замыкания.

8. Почему и во сколько раз различаются характеристики трансформатора при смене вторичной и первичной обмоток.

3. ЛАБОРТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИМПУЛЬСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР.

Цель работы: Ознакомление с работой импульсного трансформатора и его основными характеристиками. Освоить методику определения параметров импульсных трансформаторов.

3.1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Если подать на первичную обмотку трансформатора однополярный импульс U_{ex} , то согласно закону электромагнитной индукции в первичной обмотке W_1 наведется э.д.с., препятствующая действию входного импульса. Не учитывая активного сопротивления обмотки, а также пренебрегая влиянием паразитных емкостей и рассеянием магнитного потока, можно записать

$$U_{ex} = W_1 \frac{d\Phi}{dt} = W_1 S \frac{dB}{dt} \quad 3.1$$

где W_1 – число витков первичной обмотки, S – сечение сердечника, B – индукция магнитного потока Φ в сердечнике ($\Phi = B \cdot S$). Решая дифференциальное уравнение, полагая, что $U_{ex} = U_1 = \text{const}$, найдем закон изменения индукции

$$B(t) = \frac{1}{W_1 S} \int_0^t U_{ex}(t) dt + B_0 = \frac{U_1 t}{W_1 S} + B_0, \quad 3.2$$

где B_0 – начальное значение индукции.

Таким образом, индукция в сердечнике, до уровня насыщения, изменяется по линейному закону (рис. 1), причем, приращение индукции будет пропорционально площади импульса.

$$\Delta B = \frac{U_1 t_u}{W_1 S}. \quad 3.3$$

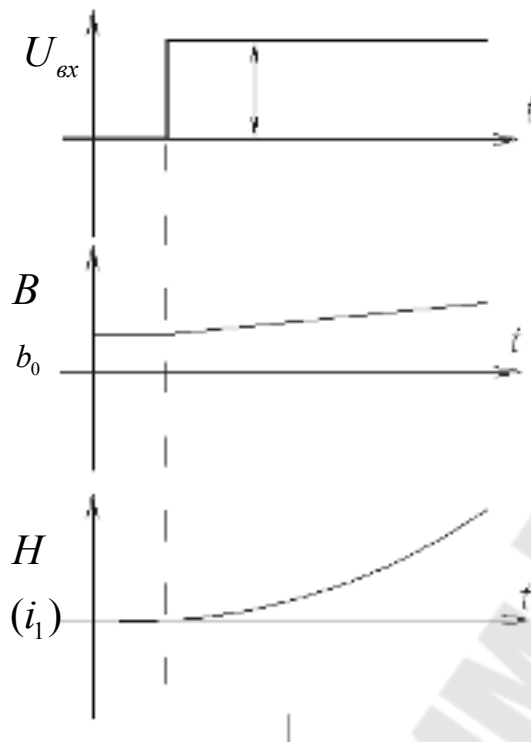


Рис1 Диаграммы отражающие процессы включения импульсного трансформатора

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора определяется индуктируемой э.д.с.

$$U_{\text{вых}} = W_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad 3.4$$

Выражая из (3.1) значение $\frac{d\Phi}{dt}$ получим:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \frac{W_1}{W_2} \quad 3.5$$

Это выражение показывает, что в идеализированном трансформаторе выходное напряжение повторяет форму входного.

Из закона полного тока $I_1 \cdot \omega_1 = Hl_{cp} + I_2 \cdot \omega_2$, следует, что $I_1 = I_L + I_2'$, где I_L – намагничивающий ток, I_2' – приведенное в первичную обмотку значение тока нагрузки I_2 . Для намагничивающего тока справедливы соотношения:

$$I_L = \frac{Hl_{cp}}{W_1} = \frac{\Delta B l_{cp}}{\mu_u \mu_0 \omega_1} = \frac{U_1 t l_{cp}}{\mu_u \mu_0 W_1^2 S} = \frac{U_1 t}{L} \quad 3.6$$

где μ_u – действующая в импульсном режиме магнитная проницаемость, μ_0 – магнитная постоянная (в системе СИ $\mu_0=4\pi*10^{-7}$),

$L = \frac{\mu_u \mu_0 \omega_1^2 S}{l_{cp}}$ - индуктивность намагничивания сердечника (для

идеализированного трансформатора равна индуктивности первичной обмотки).

Из формулы (3.6) видно, что, если бы $\mu_u = \text{const}$, то ток I_L нарастал бы со временем по линейному закону. Однако на самом деле закон изменения I_L нелинеен (рис. 3.1) и связан с законом изменения $H(t)$ при линейном характере $\Delta B(t)$, т. е. определяется в конечном счете петлей гистерезиса сердечника.

После воздействия серии однополярных импульсов перемагничивание сердечника будет происходить по частному циклу (рис. 3.2), причем в этом режиме импульсная магнитная проницаемость $\mu_u = \Delta B / \Delta H_{\mu_0}$ оказывается значительно меньше магнитной проницаемости на предельном цикле, измеренной при воздействии на трансформатор двухполярного напряжения симметричной формы. Поэтому для импульсных трансформаторов не рекомендуется использовать сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса.

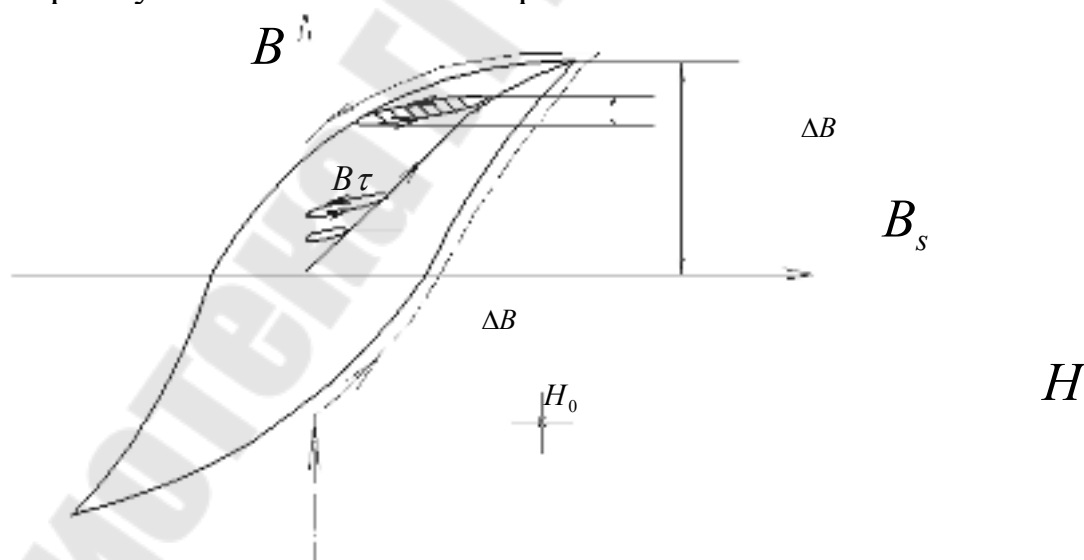
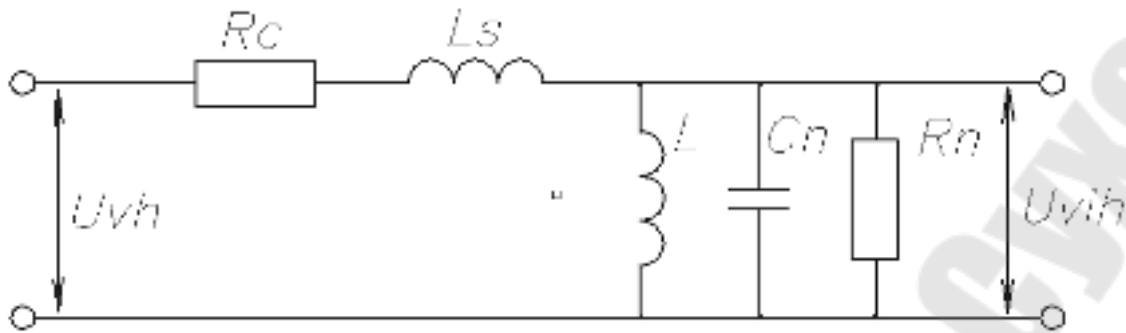
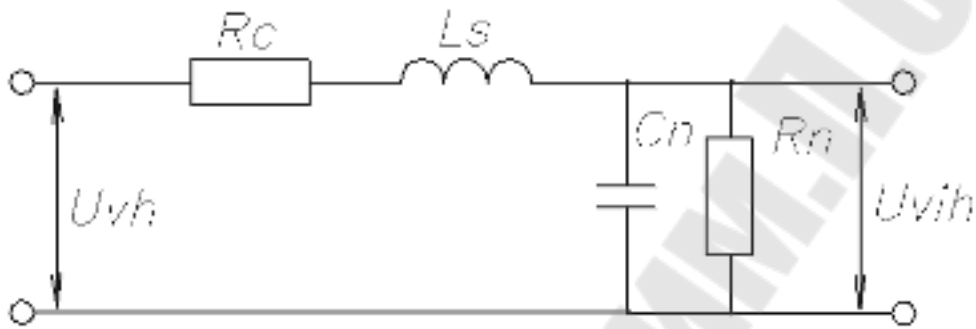


рис. 3.2 Изменение индукции в импульсном трансформаторе.

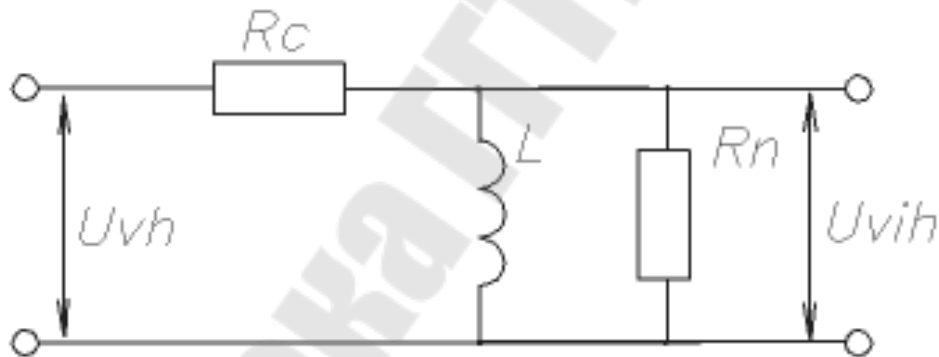
При анализе переходных процессов в импульсном трансформаторе на практике используют упрощенную эквивалентную схему замещения (рис. 3,3), в которой приняты следующие обозначения:



а.



б.



в.

рис 3.3 Упрощенные эквивалентные схемы импульсных трансформаторов.

R_c – суммарное эквивалентное сопротивление источника сигнала и обмоток трансформатора; R_n' – приведенное сопротивление нагрузки, L_s – индуктивность рассеяния, L – индуктивность намагничивания сердечника, C_n – эквивалентная паразитная емкость, учитывающая распределенную емкость цепей трансформатора. Для упрощения ана-

лиза формы выходного импульса трансформатора обычно рассматривают отдельно формирование фронта и вершины импульса [1,2]. При анализе фронта учитывают, что ток I_L в индуктивности намагничивания не успевает, за короткое время, нарасти до уровня насыщения и принимают $L = \infty$ (рис. 3.3б). В случае расчета искажения вершины импульса можно пренебречь влиянием L_s и C_n (рис. 3.3в), поскольку токи и напряжения при этом изменяются сравнительно медленно.

Импульсный трансформатор правильно воспроизводит входной импульс, если обеспечить примерно линейное изменение индукции во времени. Однако при больших значениях t_u сердечник может выйти в область насыщения (рис. 3.2), в которой малым приращением индукции соответствуют большие приращения напряженности магнитного поля. При этом резко увеличивается величина тока I_L , поскольку падает магнитная проницаемость сердечника и соответственно, значение L . Учитывая, что спад вершины трансформируемого импульса определяется величиной $\tau = L / (R_n \parallel R_c)$, можно видеть, что в случае выхода сердечника в область насыщения, выходной импульс будет резко искажаться.

Максимальную длительность передаваемого импульса можно определить, учитывая, что возможное изменение индукции ограничено величиной $\Delta B_{\max} = B_s - B_r$. Тогда, используя формулу (3.3), находим:

$$t_{u\max} = W_1 S (B_s - B_r) / U_1. \quad 3.7$$

3.2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕДА.

Схема лабораторного стенда приведена на рис. 3.4. В схеме приняты следующие обозначения: TV – исследуемый трансформатор, VT – ключевой транзистор, C_d – дополнительная емкость, Г.И. – генератор импульсов, VD – диод обратного тока (предотвращает перенапряжения на транзисторе), $R_{ш}$ – фунтовый резистор (для наблюдения формы тока в обмотке трансформатора), R_c – согласующий резистор, R_n – сопротивление нагрузки.

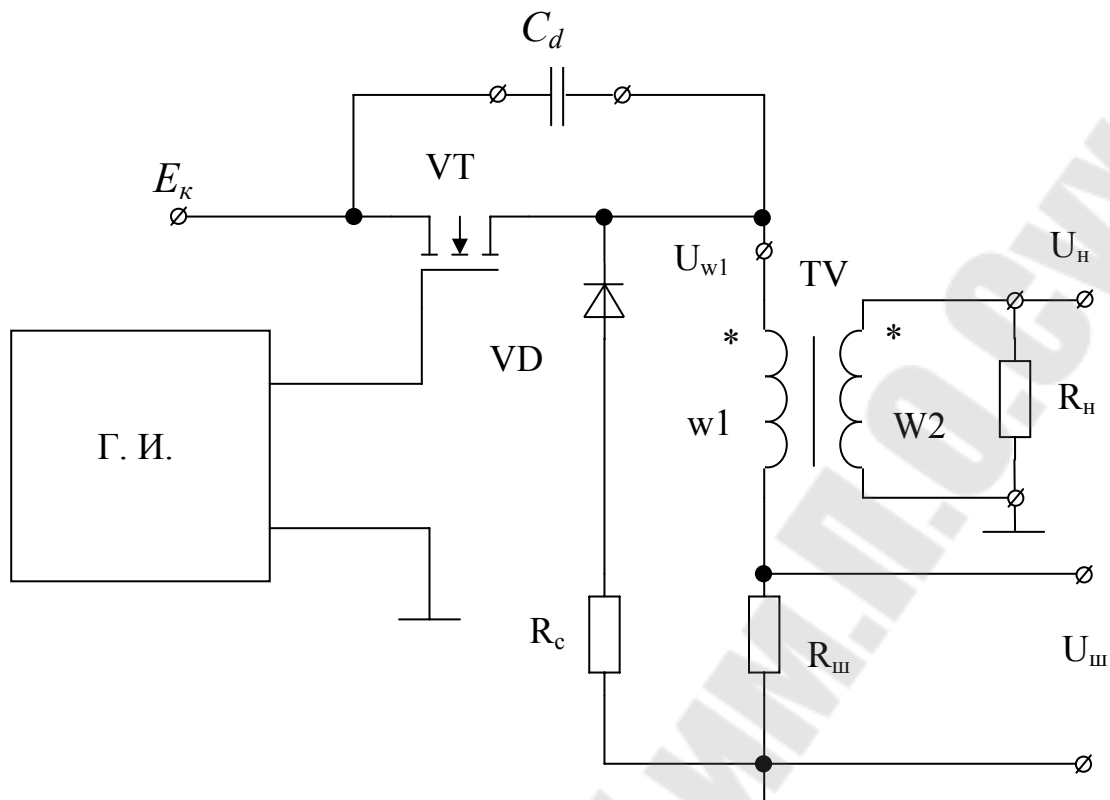


рис.3.4 Схема лабораторного стенда.

При подаче отпирающего импульса с генератора импульсов транзистор VT насыщается и подключает первичную обмотку трансформатора к источнику питания E_k . Индукция в сердечнике начинает практически линейно возрастать от значения B_r . Напряженность H при этом будет также увеличиваться в соответствии с характеристикой сердечника. Поскольку диод VD в этом режиме закрыт, коллекторный ток, равный току в первичной обмотке, определяется суммой токов I_L и I_2' , будет увеличиваться по примерно линейному закону. Максимальное значение тока I_L будет в момент окончания импульса. При запираании транзистора ток I_L спадает до нуля, однако индуктивный ток в обмотке W_1 не может мгновенно исчезнуть, т. к. в сердечнике запасена магнитная энергия. Поэтому на обмотках трансформатора возникает э. д. с. самоиндукции, препятствующая уменьшению тока I_L . Это приводит к тому, что напряжение на коллекторе запертого транзистора имеет выброс, поскольку полярность э. д. с. $U_в$, наводимой в обмотке W_1 , складывается с напряжением питания, таким образом, в процессе выключения $U_{cu} \approx U_в + E_k$.

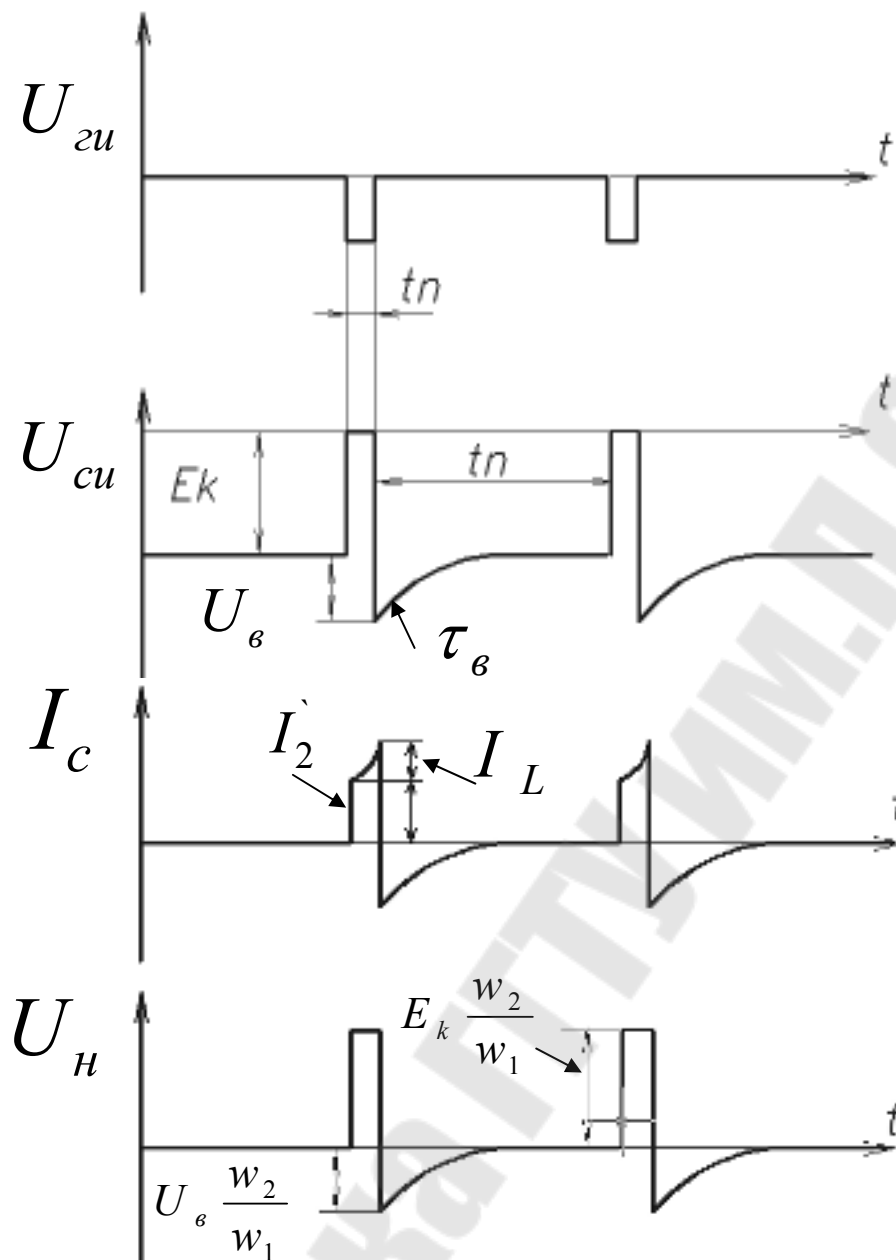


Рис. 3.5 Временные диаграммы работы импульсного трансформатора.

Значение напряжения при этом может превысить максимально допустимое для транзистора VT. Для предотвращения пробоя транзистора параллельно обмотке W_1 подключена цепь VD R_c , в режиме накопления энергии в трансформаторе диод закрыт и открывается при выключении транзистора. Эквивалентная схема замещения трансформатора на стадии восстановления исходного состояния сердечника представляет собой параллельный контур из индуктивности L и паразитной межвитковой емкости C_n первичной обмотки, шунтиро-

ванный сопротивлением $R_n'' = R_n' // R_c$. Из анализа следует, что при $R_n'' = R_{кр} = 0,5 \sqrt{L/C_n}$ переходный процесс находится на границе колебательного и апериодического. В большинстве практических случаев $R_n'' < R_{кр}$ (чему способствует правильный выбор величины R_c) выброс на коллекторе транзистора имеет характер, близкий к экспоненциальному с постоянной времени $\tau_e = L/R_n'' \approx L/R_c$. Амплитуда выброса при этом $U_{вм} = I_L(t_n) R_n'' \approx I_L(t_n) R_c$.

Следует иметь также в виду, что уменьшение R_c приводит к затягиванию выброса. Для полного восстановления исходного состояния сердечника необходимо, чтобы длительность выброса ($\approx 3\tau_e$) была меньше длительности паузы t_n между импульсами. Поэтому величина R_c ограничена и снизу: $R_c > 3L/t_n$.

При выборе числа витков обычно задаются значением тока $I_L(t_n)$ и из выражения (3.6) находят требуемую индуктивность. Во всяком случае, необходимо, чтобы

$$W_1 > \frac{E_K t_u}{S(B_s - B_r)}. \quad 3.8$$

3.4 Экспериментальное определение параметров трансформатора

Одним из простых способов оценки величин L , C_n и L_s , не требующим сложного оборудования и допускающим оценку параметров в работающей схеме, является исследование затухающих колебаний, возникающих в резонансном контуре. Для этого трансформатор переводят в режим ударного возбуждения колебаний и измеряют их частоту (f_1). Затем к зажимам трансформатора подключают дополнительный конденсатор, известной емкости C_d и снова измеряют частоту (f_2). Для определения индуктивности первичной обмотки и ее паразитной межвитковой емкости C_n можно воспользоваться системой уравнений:

$$\begin{aligned} 2\pi f_1 &= 1/\sqrt{LC_n} \\ 2\pi f_2 &= 1/\sqrt{L(C_n + C_d)} \end{aligned} \quad 3.9$$

При определении индуктивности рассеяния обмотки и ее паразитной емкости необходимо предварительно убедиться в отсутствии затухающих колебаний на вторичных обмотках трансформатора. После этого определяют частоты f_1 и f_2 затухающих колебаний на зажи-

мах первичной обмотки, подключая к последней конденсатор C_d . Полученное в результате решения системы уравнений значение L представляет собой индуктивность рассеяния, а величина C_n – межвитковую паразитную емкость вторичной обмотки.

Решая систему относительно L и C_n можно получить выражения для определения паразитных параметров

$$C_n = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad 3.10$$
$$L = \left(\frac{1}{4\pi^2 f_2^2} - \frac{1}{4\pi^2 f_1^2} \right) \frac{1}{C_d}$$

3.5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

3.5.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАЗИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.

1. Не включая стенд, установить минимальную длительность импульсов генератора импульсов.
2. Во избежание накопления электромагнитной энергии в паразитных компонентах вторичной обмотки, при измерении параметров первичной, нагрузку вторичной обмотки необходимо отключить.
3. Определить индуктивность и паразитную межвитковую емкость первичной обмотки (подключив к выводам первичной обмотки конденсатор C_d емкостью 200 – 1000 пикофард и проделав вычисления по формулам 3.8).
4. Найти (при отключенной дополнительной емкости) критическое сопротивление, которое нужно подключить параллельно первичной обмотке, чтобы переходной процесс U_c был на границе колебательного. Для этого к выводам первичной обмотки переменное сопротивление, изменяя которое, установить переходной процесс при выключении транзистора на границе колебательного и апериодического, и затем омметром измерить величину сопротивления.
5. Зарисовать осциллограммы напряжения при наличии указанного сопротивления и без него.
6. Подключить цепь $VD R_c$ и убедиться в отсутствии высокочастотных колебаний на первичной обмотке. Определить индуктивность рассеяния и паразитную межвитковую емкость вто-

ричной обмотки, подключив известную емкость к вторичной обмотке.

7. Подключить к вторичной обмотке нагрузку равную критическому сопротивлению.

3.5.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА.

1. Для согласованной схемы, полученной при выполнении предыдущих пунктов, определить максимальную длительность передаваемого импульса. Для этого, плавно изменяя длительность импульсов Г.И. зафиксировать максимальную длительность по выходу сердечника в область насыщения по резкому искажению импульса U_n – напряжения на нагрузке.
2. Зарисовать осциллограммы напряжения на нагрузке и тока (напряжение шунта - $U_{ш}$) в пережиме предельной длительности импульса и при уменьшении длительности на 80%.
3. Зарисовать осциллограммы токов и напряжений при отключенной нагрузке.

3.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Пояснить назначение цепочки VD R_c.
2. В каком режиме работает сердечник импульсного трансформатора.
3. Как связано максимальное напряжение на обмотках трансформатора с длительностью импульса.
4. В чем причина выброса, возникающего на коллекторе транзистора при запирации.
5. Как определить индуктивность первичной обмотки.
6. Каково максимальное значение тока I_{W1} и I_{W2} .
7. Как рассчитать изменения индукции и напряженности магнитного поля в сердечнике.
8. Как завися параметры обратного выброса от сопротивления нагрузки.
9. Как определить эквивалентную межвитковую емкость первичной обмотки импульсного трансформатора.
10. Как определить импульсную магнитную проницаемость

11. Как рассчитать количество витков импульсного трансформатора.
12. Как экспериментально определить максимально-возможную длительность импульса, передаваемого трансформатором.

4. Лабораторная работа № 3 Исследование электромагнитных реле.

4.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Изучить конструкцию электромагнитных реле, их условные обозначения на схемах. Исследовать свойства реле и измерить их электрические параметры.

4.2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Электрические реле широко применяются в промышленной электронике и автоматике. Электрическим реле называют коммутационное устройство, предназначенное производить скачкообразные изменения тока в управляемых цепях при заданных значениях входных величин. Электрические реле по принципу действия делятся на электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические, индукционные и пр. Самым простым по конструкции и поэтому больше всего применяемым является электромагнитное реле. Схематический чертеж конструкции реле такого типа приведен на рис.4.1

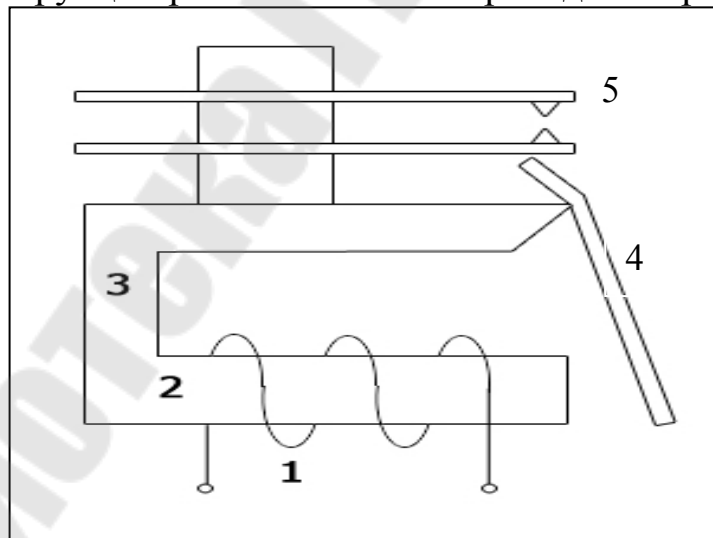


рис.4.1 Чертеж конструкции электромагнитного реле.

Электромагнитное реле состоит из следующих частей (рис.4.1): обмотки реле 1, которая создает магнитный поток; сердечника 2; ярма

3, служащего для проведения магнитного потока; подвижной части 4, называемой якорем, которая приводится в действие электромагнитным потоком и в свою очередь воздействует на исполнительный орган – контакты 5. Притяжение якоря к сердечнику и замыкание контактов называется срабатыванием реле, при прекращении тока в обмотке якорь реле возвращается в исходное состояние, контакты размыкаются - это называется отпуском реле.

В зависимости от рода тока, питающего обмотку, различают реле постоянного и переменного тока. Реле постоянного тока в свою очередь подразделяют на нейтральные и поляризованные. Срабатывание нейтрального реле не зависит от направления тока в его обмотке, а у поляризованного – существует однозначная взаимосвязь между контактами, характером срабатывания и направлением тока в обмотке. Большинство электромагнитных реле являются нейтральными, поэтому слово «нейтральное» в наименовании реле опускается.

Контакты реле по принципу действия могут быть замыкающими, нормально разомкнутыми, нормально замкнутыми и переключающими.

Термин «нормально» относится к обесточенному состоянию катушки реле.

Размыкающий контакт (р) замкнут в исходном (обесточенном) состоянии и размыкается при срабатывании реле. (рис.4.2.б)

Переключающий контакт (п) размыкает одну электрическую цепь и замыкает другую при срабатывании реле (рис. 4.2.в).

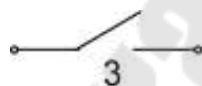


Рис 2.а

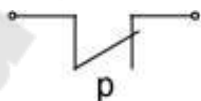


Рис 2.б

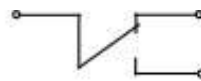


Рис 2.в

Условное графическое изображение обмотки реле и контактов приведено на рис 4.2. Размыкающие контакты могут изображаться двумя способами (рис 4.2, в). Реле может иметь несколько различных контактов, причем на схемах изображения его контактов могут располагаться в различных местах, обычно рядом с коммутирующими цепями. В этом случае принадлежность контактов к тому или иному реле указывают в позиционном обозначении контактов (рис 4.2, д). Например К1.2 – 2-й контакт реле К1.

Различаю три состояния реле: покой, рабочее и переходное, и в соответствии с этим определяются следующие эксплуатационные параметры реле:

1. Электрические: чувствительность, рабочий ток (напряжение), ток (напряжение) срабатывания, ток (напряжение) отпущения, сопротивление обмотки, сопротивления контактов, коммутационная способность, электрическая изоляция.
2. Временные параметры: время срабатывания, время отпущения, время дребезга контактов.

Чувствительность – способность реле срабатывать при определенном значении мощности, подаваемой в обмотку реле. Чувствительность реле как параметр в технической документации не приводится, а определяется по току срабатывания и сопротивлению обмотки:

$$P_{\text{ср}} = I_{\text{ср}}^2 * R_{\text{обм}} = U_{\text{ср}}^2 / R_{\text{обм}},$$

где I – ток (напряжение) срабатывания,

$R_{\text{обм}}$ – сопротивление обмотки.

При сравнении между собой различных типов реле, а также при выборе и применении их в аппаратуре, высокочувствительными считаются реле, срабатывающие при мощности $P_{\text{ср}} < 1$ Вт, реле средней чувствительности $1 < P_{\text{ср}} < 10$ Вт, и малочувствительные реле $P_{\text{ср}} > 10$ Вт.

Ток (напряжение) срабатывания $I_{\text{ср}}$ ($U_{\text{ср}}$) определяет чувствительность реле и характеризует ее при питании обмотки минимальным током (напряжением). При этом токе (напряжении) реле должно срабатывать, т.е. переключить все контакты.

Ток (напряжение) отпущения $I_{\text{отп}}$ ($U_{\text{отп}}$). Определяется значениями, при которых якорь реле возвращается в исходное положение при снятии напряжения в обмотке.

Отношение тока отпущения к току срабатывания называется коэффициентом возврата:

$$K_{\text{воз}} = I_{\text{отп}} / I_{\text{ср}},$$

Значения $K_{\text{воз}}$ у различных типов реле колеблется в широких пределах: от 0,1 до 0,96.

Рабочий ток (напряжение) обеспечивает нормальное функционирование реле в аппаратуре. Рабочий ток установлен техническими условиями для конкретного типа реле и обычно намного больше тока срабатывания. Это обеспечивает надежное удержание якоря в тряске и вибрации реле в аппаратуре. Однако при большом рабочем токе происходит сильный нагрев обмотки, который не должен превышать допустимый нагрев провода.

Отношение рабочего тока к току срабатывания называется коэффициентом запаса по току:

$$K_3 = I_p / I_{cp};$$

Обычно K_3 находится в пределах от 1,5 до 4. Чем он больше, тем быстрее срабатывает реле и надежнее удерживается якорь в притянутом состоянии.

Сопротивление обмотки – активное сопротивление обмотки, измеренное на постоянном токе при температуре окружающей среды 20°C .

Сопротивление контактов состоит из сопротивления контактирующих поверхностей и сопротивления элементов цепи контактов (пружины, токопроводящие выводы). Практически измерить сопротивление контактирующих поверхностей в реле очень трудно, поэтому значение сопротивления контактов оценивают по сопротивлению всей цепи контактов. Сопротивление контактов измеряется при токе (10 ± 1) мА для реле, у которых ток нагрузки не превышает 100 мА, и (100 ± 10) мА для реле, у которых ток нагрузки превышает 1000 мА.

Коммутационная способность контактов реле характеризуется значением коммутируемой им мощности, при которой контакты выполняют определенное число коммутаций. Следует иметь в виду, что значение коммутируемой мощности существенно влияет на электрическую эрозию контактов. В основном она проявляется при токе больше 100 мА. При токах менее этого значения, электрическая эрозия как правило не возникает и основное влияние на работоспособность реле оказывает механический износ контактов и подвижной системы.

В технической документации на реле указывается диапазон коммутируемых токов и напряжений, в пределах которого гарантируется определенное число коммутаций.

Электрическая изоляция реле – способность изоляции выдерживать длительно или кратковременно перенапряжения, возникающие в процессе эксплуатации аппаратуры. Изоляция реле определяется электрической плотностью воздушных промежутков (межконтактных зазоров) и поверхности диэлектрика платы реле. Электроизоляционные свойства реле оцениваются сопротивлением изоляции реле.

Временные параметры реле характеризуют поведение реле в переходном режиме из состояния покоя в рабочее и обратно.

Время срабатывания t_{cp} – это время, прошедшее после подключения обмотки реле к источнику питания до замыкания замыкающих контактов.

Время отпущения $t_{от}$ – промежуток времени от момента снятия питания с обмотки до момента замыкания размыкающих контактов.

По времени срабатывания и отпущения якоря реле подразделяют на быстродействующие ($t_{ср} < 0,001$ с), нормальнодействующие ($0,0001 < t_{ср} < 0,1$ с) и медленнодействующие ($0,1 < t_{ср} < 1$ с).

4.3 ОПИСАНИЕ СТЕНДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ.

Электрическая схема стенда представлена на рис.3.

Стенд содержит:

- Управляемый источник постоянного напряжения [$U_{источн}$] с диапазоном регулирования выходного напряжения (1,5 – 19 В).
- Генератор прямоугольных импульсов с постоянной частотой – 10 Гц выход генератора управляет электронным ключом [Кл].

Внутренняя электрическая схема стенда представлена на рис.3.

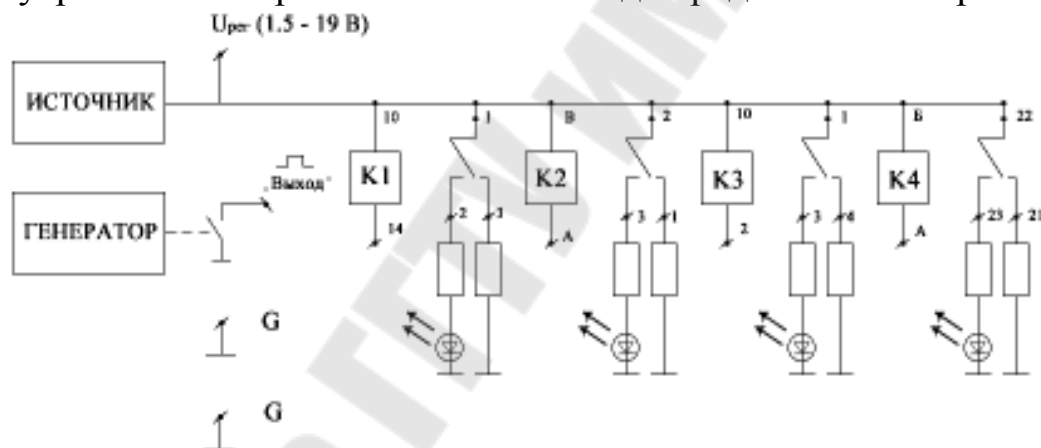


Рис 4.3. Внутренняя электрическая схема стенда.

Подключение исследуемого реле производится при помощи перемычки соединяющей обмотку реле с корпусом (при исследовании статических режимов) или с выходом электронного ключа (при исследовании динамических характеристик «Выход »)

4.4 ХОД РАБОТЫ

1. Исследование статических параметров.

- Подключить обмотку исследуемого реле к источнику.
- К клемме $U_{рег}$ подключить вольтметр.
- Плавно изменяя, в сторону увеличения, напряжение регулируемого источника определить напряжение срабатывания реле.

Момент срабатывания контролировать по зажиганию контрольного светодиода, подключенному к замыкающей группе контактов.

Опыт необходимо повторить не менее пяти раз и определить среднее значение измеряемой величины.

- Аналогично произвести измерение напряжения отпущения.

По результатам измерений определить параметры реле: коэффициент запаса и коэффициент возврата. Данные занести в таблицу.

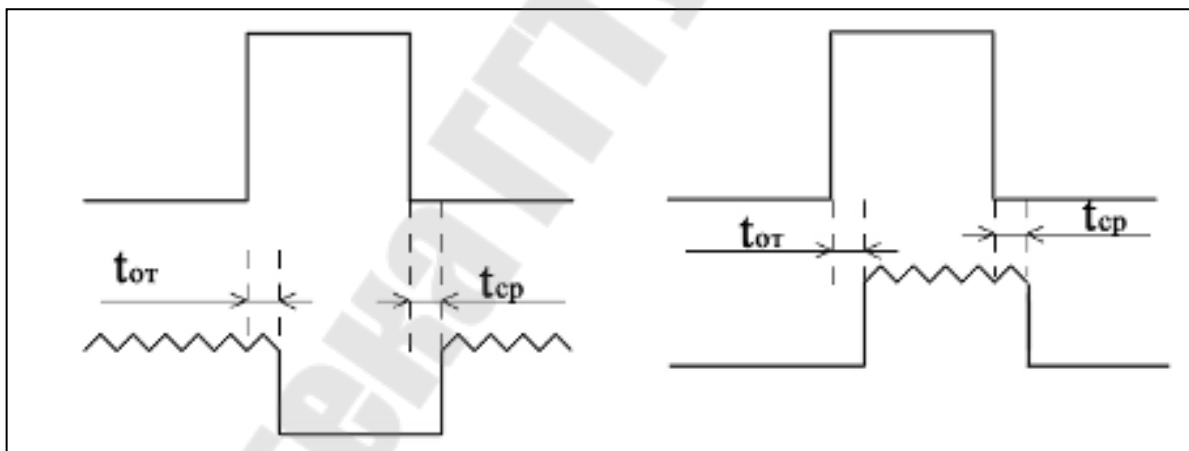
2. Исследование динамических параметров.

- Соединить выход электронного ключа (Клемма «Выход») с обмоткой исследуемого реле.

- Вход первого канала осциллографа подключить к выходу электронного ключа, включить синхронизацию по первому каналу в ждущем режиме.

- Вторым каналом исследовать процесс включения (отключения) контактов. Исследовать зависимость времени переключения от напряжения источника.

В этом случае на осциллографе будет:



(а)

Замыкающая группа
контактов

(б)

Размыкающая группа
контактов

Рис.4.4. Осциллограмма напряжения на электрическом ключе и контактах. (а – замыкающая группа контактов; б – размыкающая группа контактов.)

Надо снять $t_{ср}$ и $t_{отп}$ для разных напряжений, начиная с напряжения срабатывания и до 19 В с шагом 1 – 2 В.

Примечание!

Спад напряжения на электронном ключе соответствует моменту включения. Нарастание напряжения на электронном ключе соответствует моменту выключения реле.

3. Исследование явления «дребезга» контактов.

Подключить первый канал осциллографа к замыкающей группе контактов и зарисовать форму напряжения в момент замыкания. Время развертки, при этом, установить 0,05 – 0,2 мС. Синхронизация ждущая по фронту импульса.

Исследовать зависимость времени дребезга от напряжения на катушке у различных типов реле.

4.5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Наименование и цель работы, рисунок конструкции реле и условное графическое изображение в схемах, схема измерения параметров реле, измеренные и вычисленные параметры реле, осциллограммы напряжения на замыкающих контактах.

4.6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое электротехническое устройство называют электромагнитным реле?
2. Как устроено электромагнитное реле?
3. Как изображаются реле на схемах?
4. Какими электрическими параметрами характеризуется реле?
5. Какими временными параметрами характеризуется реле?

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1.....	5
Лабораторная работа № 2.....	11
Лабораторная работа № 3.....	21

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Лабораторный практикум
по дисциплине «Материалы и компоненты
электроники» для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения**

Автор-составитель: **Кухаренко Сергей Николаевич**

Подписано в печать 18.09.06.

Формат 60x84/16 Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,59.

Изд. № 140.

E-mail: ic@gstu.gomel.by
<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.