

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего
и профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник учебного отдела
ИК ТПУ

_____ О. М. Гергет
« ____ » _____ 2017 г.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ:
способы измерения и коррекции временных
и электрических характеристик**

методические указания к выполнению лабораторной работы № 501
по курсу «Элементы и устройства систем управления»
для бакалавров направления 15.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств»

Издательство
Томского политехнического университета
Томск 2017

УДК 681.3

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ: способы измерения и коррекции временных и электрических характеристик

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 501 по курсу «Элементы и устройства систем управления» для бакалавров направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»/ Составитель В. В. Курганов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. - 32 с.

Рецензент доцент, к.т.н. В. И. Коновалов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изучению методическим семинаром кафедры Автоматики и компьютерных систем

Протокол № «___» от «_____» 2017 г.

Зав. кафедрой, доцент, к.т.н.

Содержание

	Стр.
1 Цель работы	4
2 Краткие теоретические сведения	4
2.1 Электромагниты	4
2.2 Конструкция электромагнитного реле	6
2.3 Тяговые и механические характеристики электромагнитного реле	7
2.4. Согласование тяговых и механических характеристик	10
2.5. Особенности реле переменного тока	11
2.6. Поляризованные реле	15
3 Генераторы импульсов на базе электромагнитных реле	19
4 Описание лабораторной установки	24
5 Общие положения	26
6 Задание и методические указания по выполнению работы	29
7 Содержание отчета	30
8 Контрольные задания и вопросы	31
9 Литература.	31

1 Цель работы

Целью настоящей лабораторной работы является:

- изучение электромагнитных элементов;
- изучение схемных способов коррекции временных и электрических характеристик электромагнитных реле;
- измерение временных характеристик электромагнитных реле;
- изучение различных схем релейных генераторов импульсов;
- анализ работы релейных генераторов с помощью временных диаграмм.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Электромагниты

В устройствах автоматики и систем управления очень часто используются различные

электромагнитные элементы, выполняющие функции коммутации сигналов различной мощности. Электромагнитные элементы относятся к наиболее старым элементам автоматики, тем не менее, видоизменяясь и совершенствуясь, они успешно конкурируют с новыми магнитными и полупроводниковыми элементами [1].

Основой таких элементов является электромагнит – наиболее простой преобразователь электрического сигнала в механическое усилие и перемещение. Электрический сигнал подаётся в обмотку электромагнита, который притягивает подвижную часть, называемую якорем.

По роду тока, подаваемого в обмотку, различаются электромагниты постоянного и переменного тока. Электромагниты постоянного тока подразделяют на нейтральные и поляризованные. Нейтральные электромагниты притягивают якорь при любой полярности тока в обмотке (нечувствительные к направлению тока), а в поляризованных направление усилия, действующего на якорь, изменяется при изменении полярности тока в обмотке электромагнита.

Электромагниты часто служат в качестве привода для исполнительных устройств, таких как, клапаны, задвижки, цифро-буквопечатающие устройства и т.д.

Наибольшее распространение в технике, в том числе и в автоматике, получили электромагниты, снабженные контактной системой – электромагнитные реле. В зависимости от назначения конструкция реле может значительно отличаться друг от друга, однако принцип остаётся неизменным.

2.2 Конструкция электромагнитного реле

На рисунке 2.1 показана конструкция электромагнитного реле.

Магнитопровод, состоящий из корпуса (ярма 2), сердечника 12 и якоря 10, выполнен из электротехнической стали. В нормальном состоянии (при отсутствии тока в обмотке) якорь максимально удалён от сердечника 12 за счет действия возвратной пружины 9 и контактных пружин 7 подвижных контактов. При этом одна пара контактов 7 - 8 замкнута (размыкающие контакты КР), а вторая пара 7 – 6 разомкнута (замыкающие контакты КЗ).

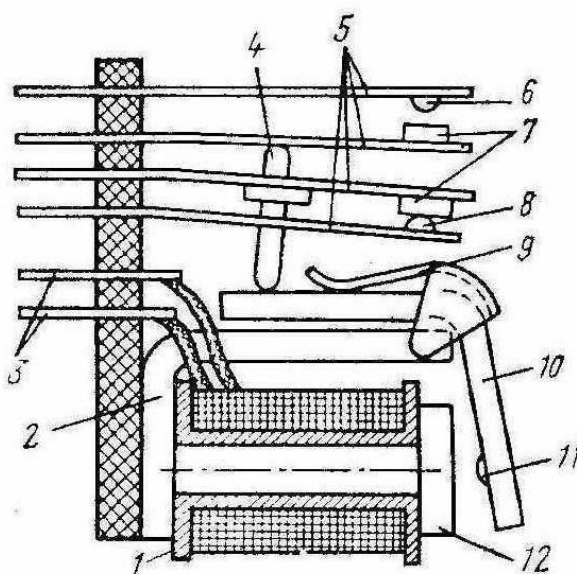


Рисунок 2.1 - Конструкция электромагнитного реле:

- 1 – каркас с обмоткой; 2 – ярмо; 3 – выводы обмотки; 4 – эбонитовый штифт;
5 – контактные пружины; 6 – замыкающий контакт; 7 – подвижные контакты;
8 – размыкающий контакт; 9 – возвратная пружина; 10 – якорь;
11- штифт отлипания; 12 - сердечник

При подаче тока в обмотку реле якорь притягивается к сердечнику электромагнитным усилием, преодолевая действие механических сил пружин 5, 9. При этом контакты КЗ (6-7) замыкаются, а КР (7-8) – размыкаются.

Зависимость электромагнитного усилия от величины воздушного зазора между якорем и сердечником называют **тяговой характеристикой электромагнитного реле**.

Зависимость механических сил, приведённых к зазору между якорем и сердечником, от величины этого зазора называют **механической характеристикой электромагнитного реле**.

2.3 Тяговые и механические характеристики электромагнитного реле

Тяговые характеристики

Рассмотрим вывод формулы для тягового (электромагнитного) усилия, основанный на методе энергетического баланса.

Предположим, что обмотка реле, с фиксированным воздушным зазором δ , подключена к источнику постоянного тока с напряжением U (см. рисунок 2.2).

Тогда процесс изменения тока в обмотке определяется выражением

$$U = r \cdot i + w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.1)$$

где r и w – сопротивление и число витков обмотки реле; Φ – магнитный поток реле.

Умножим обе части выражения (2.1) на idt и проинтегрируем его на временном отрезке от 0 до t , в течение которого поток возрастает от 0 до Φ , получим

$$\int_0^t U i dt = \int_0^t i^2 r dt + \int_0^{\Phi} w i d\Phi. \quad (2.2)$$

Левая часть выражения (2.2) представляет собой энергию, полученную от источника, первое слагаемое правой части – ту её часть, которая перешла в тепловую энергию (нагрев элементов реле), а второе – энергию, запасённую в магнитном поле реле.

Энергия магнитного поля состоит из энергии, сосредоточенной в воздушном зазоре (крупно заштрихованная площадь на рисунке 2.2, б), и энергии, распределённой в стальной части магнитопровода (мелко заштрихованная площадь на рисунке 2.2, б).

Если пренебречь энергией, распределённой в стальной части магнитопровода, что допустимо при больших зазорах и ненасыщенной стали, то всю магнитную энергию можно считать сосредоточенной в зазоре, т.е. $W = W_{\delta}$, и в соответствии с рис. 2.2, б записать:

$$W_{\delta} = w \frac{I_{\delta} \Phi}{2} \approx w \frac{I \Phi}{2}. \quad (2.3)$$

Рассмотрим энергетический баланс в электромагните при неизменном токе I в обмотке и перемещении якоря (рис. 2.2, а) на величину Δx , определяя координату x как

$$x = \delta_0 - \delta. \quad (2.4)$$

При уменьшении зазора сопротивление магнитной цепи уменьшается, а магнитный поток возрастает от значения Φ_1 до значения Φ_2 . Причём из электри-

ческой сети при неизменном токе будет получена дополнительная энергия, равная площади прямоугольника $\Phi_1 ab \Phi_2$:

$$\Delta W = Iw(\Phi_2 - \Phi_1). \quad (2.5)$$

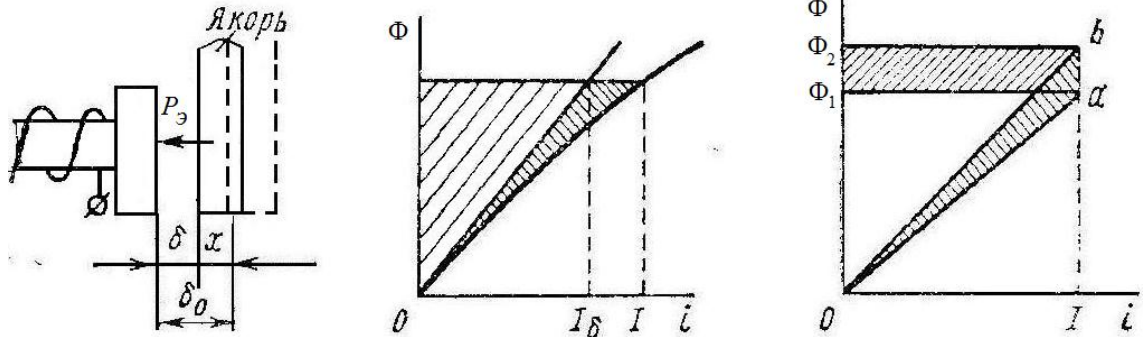


Рис. 2.2. К выводу формулы тягового усилия:
 I_δ – ток, создающий намагничивающую силу воздушного зазора;
 I – полный ток обмотки

Магнитная энергия в зазоре до перемещения якоря равнялась площади треугольника $Oa\Phi_1$, а после перемещения – $Ob\Phi_2$. Таким образом, магнитная энергия в зазоре, при сохранении условия (2.3), выросла на величину, равную половине полученной из сети энергии:

$$\Delta W = W_{\delta 2} - W_{\delta 1} = w \frac{I\Phi_2}{2} - w \frac{I\Phi_1}{2} = w \frac{I(\Phi_2 - \Phi_1)}{2}. \quad (2.6)$$

Вторая половина энергии, численно равная первой и соответствующая треугольнику Oab , была израсходована на совершение работы при движении якоря под действием силы P_δ :

$$\Delta A = P_\delta \Delta x \approx \Delta W_\delta. \quad (2.7)$$

Переходя к пределу, для электромагнитного усилия, согласно выражению (2.7), получим

$$P_\delta = \frac{dW_\delta}{dx} = -\frac{dW_\delta}{d\delta}, \quad (2.8)$$

где $dx = d(\delta_0 - \delta) = -d\delta$.

Знак «–» свидетельствует о том, что положительному усилию соответствует уменьшение воздушного зазора.

Представим магнитную энергию в следующем виде:

$$W_\delta = \frac{I_\delta w \Phi}{2} = \frac{I_\delta w}{2} I_\delta w G_\delta = \frac{(I_\delta w)^2}{2} G_\delta \approx \frac{(Iw)^2}{2} G_\delta, \quad (2.9)$$

где G_δ – магнитная проводимость воздушного зазора.

С учётом (2.9) выражение (2.8) для электромагнитного усилия можно представить в следующем виде:

$$P_{\text{э}} = -\frac{(Iw)_{\delta}^2}{2} \frac{dG_{\delta}}{d\delta}, \quad (2.10)$$

где $(Iw)_{\delta}$ – намагничивающая сила воздушного зазора.

Для плоскопараллельных воздушных зазоров

$$G_{\delta} = -\frac{s_{\delta}}{\delta} \mu_0 = \frac{s_{\delta}}{\delta} 4\pi \cdot 10^{-7}, \quad (2.11)$$

где S_{δ} и δ – соответственно сечение и длина воздушного зазора; μ_0 – магнитная проницаемость.

В результате, с учетом выражения (2.11), получим электромагнитное усилие

$$P_{\text{э}} = \frac{(Iw)_{\delta}^2 4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \frac{s_{\delta}}{\delta^2} \approx \frac{(Iw)_{\delta}^2 4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \frac{s_{\delta}}{\delta^2}. \quad (2.12)$$

Для практических расчетов часто применяют формулу, полученную из выражения (2.12) в результате несложных преобразований:

$$P_{\text{э}} = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 s_{\delta}} \approx \frac{B_{\delta}^2}{2\mu_0} s_{\delta} \approx 4 \cdot 10^5 \frac{\Phi_{\delta}^2}{s_{\delta}} = 4 \cdot 10^5 B_{\delta}^2 s_{\delta}, \quad (2.13)$$

где B_{δ} – индукция в воздушном зазоре; Φ_{δ} – магнитный поток в воздушном зазоре; s_{δ} – сечение зазора.

Подставляя в выражение (2.12) различные значения δ , можно построить тяговую характеристику реле при неизменном токе в обмотке. Теоретически эта характеристика уходит в бесконечность при $\delta \rightarrow 0$ (пунктирная кривая на рис. 2.3, а). Реальное усилие достигает лишь значения $P_{\text{э max}}$. Различие объясняется тем, что с уменьшением зазора условие $I_{\delta} \approx I$ становится неверным. Минимальный зазор в реле всегда ограничивается установкой на якоре немагнитного штифта отлипания. В противном случае якорь может залипнуть за счет остаточного магнетизма.

Механические характеристики

Механические характеристики реле имеют вид ломаных линий (рис. 2.3, б) и получаются в результате суммирования характеристик возвратной пружины ВП и контактных пружин КР и КЗ.

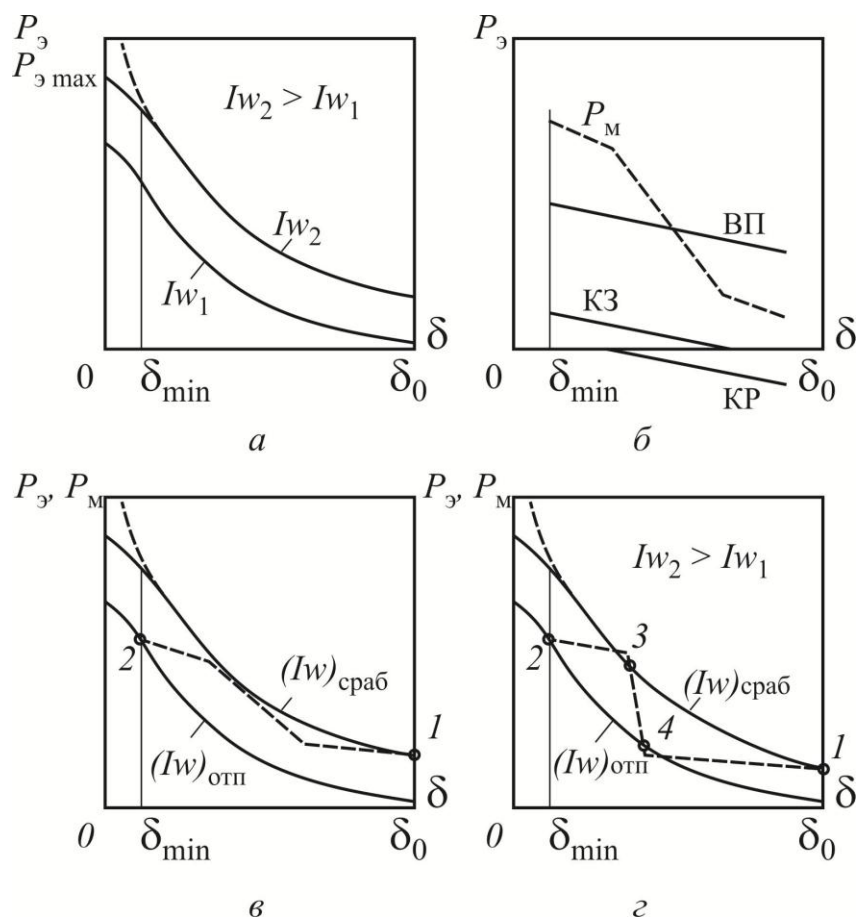


Рис. 2.3. Тяговые и механические характеристики реле:

a – тяговые характеристики; *б* – механические характеристики;
в – удачно согласованные характеристики; *г* – неудачно согласованные характеристики

2.4. Согласование тяговых и механических характеристик

Тяговые и механические характеристики реле должны быть правильно согласованы. Для этого тяговые характеристики, соответствующие токам $I_{\text{сраб}}$ и $I_{\text{отп}}$, проходя через точки механической характеристики 1 и 2 (рисунок 2.3, *в*), не должны пересекаться с механической характеристикой области изменения зазора от δ_0 до δ_{min} и наоборот. В противном случае якорь может «застрять» в промежуточных точках характеристики (точки 3 и 4 на рисунке 2.3, *г*).

Током срабатывания $I_{\text{сраб}}$ (намагничивающей силой срабатывания $F_{\text{сраб}}$) называют ток в обмотке, под действием которого при зазоре δ_0 электромагнитное усилие начинает превышать механическое и якорь реле притягивается к сердечнику.

Током отпущения $I_{\text{отп}}$ (намагничивающей силой отпущения $F_{\text{отп}}$) называют ток, действие которого при зазоре δ_{min} не в состоянии создать электромагнитное усилие, удерживающее якорь в притянутом состоянии, вследствие чего якорь возвращается в нормальное положение.

Коэффициентом возврата реле называют отношение

$$k_{\text{возвр}} = I_{\text{отп}} / I_{\text{сраб}} \cdot \quad (2.14)$$

Обычно $k_{\text{возвр}} = 0,4 \div 0,8$.

2.5. Особенности реле переменного тока

В системах автоматики, где основным источником энергии является сеть переменного тока, целесообразно использовать электромагнитные реле, обмотки которых рассчитаны на питание переменным током.

Из выражения (2.12) следует, что тяговое усилие не зависит от направления тока (зависит от квадрата тока) и, следовательно, в оба полупериода переменного напряжения направлено в сторону уменьшения воздушного зазора между якорем и сердечником. Однако это не означает, что изменение природы тока не влияет на конструкцию реле.

Реле переменного тока

Рассмотрим ряд конструктивных особенностей реле, связанных с работой на переменном токе.

Первая особенность заключается в том, что в стали магнитопровода проходит переменный магнитный поток, благодаря которому создаются вихревые токи (токи Фуко).

Токи Фуко возникают в толщине сердечника под воздействием переменного электромагнитного поля и по физической природе ничем не отличаются от индукционных токов, возникающих в линейных проводниках. Они вихревые, т.е. замкнуты в кольца. Электрическое сопротивление массивного проводника мало, поэтому токи Фуко достигают очень большой силы. Возникновение токов Фуко приводит к значительному нагреву магнитопровода.

Для борьбы с ними принимаются специальные меры: с целью предотвращения потерь энергии на нагревание сердечников электромагнитных реле, как и в трансформаторах, эти сердечники набирают из тонких пластин электротехнической стали, разделённых изолирующими прослойками.

Величину потерь в стали определяют по известной формуле [1]

$$P_{\text{ст}} = \rho f^{1,3} B_m^2 G_{\text{ст}}, \quad (2.15)$$

где B_m – амплитудное значение индукции, Тл;

$G_{\text{ст}}$ – масса магнитопровода, кг;

ρ – удельные потери в стали выбранной марки и толщины при $B_m = 1$ Тл и при соответствующей частоте f , Вт/кг.

Появление ферритов с высоким удельным сопротивлением сделало возможным изготовление магнитопроводов реле сплошными.

Вторая особенность реле переменного тока заключается в зависимости тяговых характеристик от способа включения обмотки.

Если обмотка реле включена последовательно с балластным активным сопротивлением $R_б$ (рис. 2.4, а), определяющим ток в обмотке ($R_б \gg R_p$), то можно считать, что при любой величине воздушного зазора ток в обмотке остаётся неизменным.

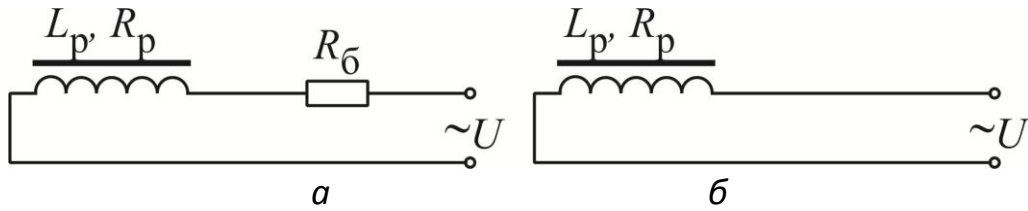


Рис. 2.4. Способы включения реле переменного тока

Подставляя действующее значение тока в обмотке реле в выражение (2.12) при плоском зазоре, получаем для тяговой характеристики такое же выражение, как для реле постоянного тока.

Однако способ включения, представленный на рисунке 2.4, а, больше теоретический. На практике обмотку реле подключают непосредственно к сети переменного тока (рисунок 2.4, б). Тогда ток в обмотке определяется выражением

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \approx \frac{U}{\omega L}, \quad (2.16)$$

где L – индуктивность обмотки реле;
 R – активное сопротивление обмотки.

Если сталь магнитопровода далека от насыщения, то магнитное сопротивление магнитопровода можно считать равным сопротивлению воздушного зазора. В этом случае индуктивность пропорциональна величине зазора:

$$L = \frac{w^2}{R_M} \approx \frac{w^2 s_\delta \mu_0}{\delta},$$

а ток в обмотке – пропорционален зазору:

$$I \approx \frac{U}{\omega w^2 s_\delta \mu_0} \delta. \quad (2.17)$$

Подставив в выражение для электромагнитного усилия (2.12) значение тока из (2.17), получаем, что электромагнитное усилие реле переменного тока остаётся постоянным, не зависящим от зазора:

$$P_э = \left(\frac{U}{\omega w^2 s_\delta \mu_0} \delta \right)^2 \frac{w^2 \mu_0 s_\delta}{2 \delta^2} = \frac{U^2}{2 \omega^2 w^2 s_\delta \mu_0} = \text{const}. \quad (2.18)$$

На самом же деле электромагнитное усилие при уменьшении зазора несколько возрастает, но не в такой степени, как у реле, работающих в режиме $I = \text{const}$. Это объясняется тем, что с уменьшением зазора уменьшается магнитное сопротивление, а следовательно, возрастает магнитный поток и в соответствии с выражением (2.13) возрастает электромагнитное усилие.

Третья особенность реле переменного тока состоит в вибрации якоря при работе.

Предположим, что реле питается переменным током

$$i = I_m \sin \omega t.$$

Тогда квадрат тока будет равен

$$i^2 = I_m^2 \sin^2 \omega t = \frac{I_m^2}{\sqrt{2}} (1 - \cos 2\omega t) = I^2 (1 - \cos 2\omega t), \quad (2.19)$$

где I – действующее значение тока в обмотке.

Если выражение для тока (2.19) подставить в выражение для электромагнитного усилия (2.12), получим

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma, \text{cp}} (1 - \cos 2\omega t). \quad (2.20)$$

То есть, электромагнитное усилие будет состоять из постоянной составляющей и переменной, меняющейся с двойной частотой. При переходе значения тока через нуль усилие также обращается в нуль. Это вызывает дрожание якоря, которое быстро истирает ось якоря.

Для устранения вибрации в магнитной системе необходимо создать два магнитных потока, сдвинутых во времени таким образом, чтобы при любом значении тока в обмотке тяговое усилие не обращалось в нуль.

Этого можно достигнуть в двухобмоточных реле, если с помощью внешних индуктивности и ёмкости создать сдвиг фаз между токами I_1 и I_2 , равный $\pi/2$ (рисунок 2.5, а). Тогда суммарное усилие будет равно

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = P_{\Sigma m 1} \sin^2 \omega t + P_{\Sigma m 2} \sin^2 \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right);$$

$$\sin^2 \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = \cos^2 \omega t.$$

Если при этом $P_{\Sigma m 1} = P_{\Sigma m 2} = P_{\Sigma m}$, то суммарное электромагнитное усилие, притягивающее якорь к сердечнику, не изменяется во времени:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma m} \left(\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t \right) = P_{\Sigma m} = \text{const}.$$

Другим способом уменьшения вибраций якоря является расщепление потока с помощью короткозамкнутого витка, охватывающего одну из половинок пропиленного сердечника (рисунок 2.5, б).

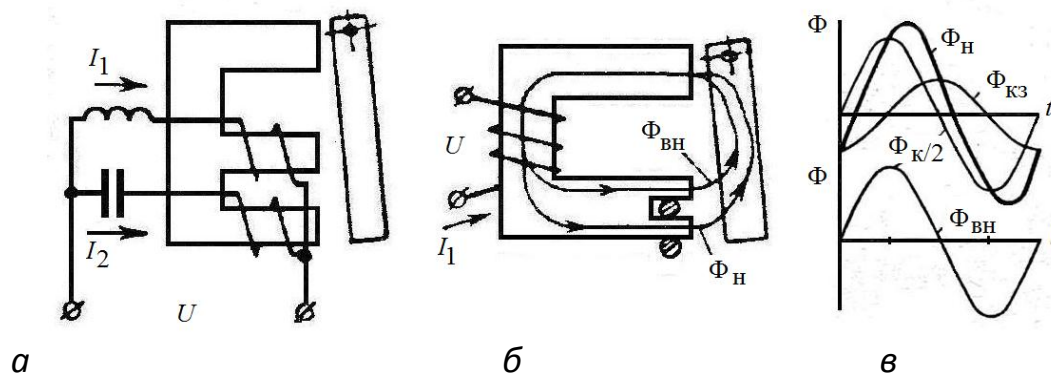


Рис. 2.5. Методы уменьшения вибраций якоря в реле переменного тока

Этим витком магнитопровод реле разделяется на две части – наружную и внутреннюю. По каждой из этих частей проходит половина магнитного потока катушки $\Phi_K/2$ (если короткозамкнутый виток обхватывает половину сечения сердечника). В наружной части магнитопровода переменный магнитный поток $\Phi_K/2$ наводит электродвижущую силу в короткозамкнутом витке. Под действием этой ЭДС по витку проходит ток и в наружной части сердечника создает свой магнитный поток $\Phi_{КЗ}$.

Направление ЭДС, тока и магнитного потока $\Phi_{КЗ}$ определяется по правилу Ленца: направление наведенной ЭДС всегда таково, что вызванный ею ток препятствует причине наведения. Причиной наведения ЭДС является изменение магнитного потока $\Phi_K/2$, поэтому наведенная ЭДС имеет такое направление, при котором ток в короткозамкнутом витке создает магнитный поток, препятствующий возрастанию или убыванию магнитного потока $\Phi_K/2$.

В первую четверть периода $\Phi_K/2$ (рис. 2.5, в) возрастает и имеет положительное направление. Магнитный поток короткозамкнутого витка препятствует увеличению потока $\Phi_K/2$ и направлен в противоположную сторону (имеет отрицательное значение).

Во вторую четверть периода магнитный поток $\Phi_K/2$ убывает и магнитный поток короткозамкнутого кольца $\Phi_{КЗ}$ препятствует его убыванию (направлен в ту же сторону). Поток витка $\Phi_{КЗ}$ отстает от потока катушки на четверть периода.

Вычертив синусоиду и сложив её с синусоидой $\Phi_K/2$, получим суммарную синусоиду магнитного потока в наружной части магнитопровода $\Phi_{Н}$.

Во внутренней части магнитопровода создается магнитный поток только катушкой $\Phi_K/2 = \Phi_{ВН}$.

Сравнивая синусоиды $\Phi_{Н}$ и $\Phi_{ВН}$, можно сделать вывод, что нулевые значения они имеют в разное время.

Когда $\Phi_{вн} = 0$ и сила притяжения якоря потоком внутренней части сердечника отсутствует, то $\Phi_{н} \neq 0$ (якорь удерживается магнитным потоком наружной части сердечника). И наоборот, когда $\Phi_{н} = 0$, то $\Phi_{вн} \neq 0$. Таким образом, оба потока одновременно никогда не обращаются в нуль, а, следовательно, в любой момент времени существует усилие, удерживающее якорь от вибрации.

2.6. Поляризованные реле

Рассмотренные ранее реле нечувствительны к направлению тока в обмотке и в этом смысле являются нейтральными. Но очень часто требуется, чтобы элементы автоматики реагировали не только на величину, но и на знак тока на входе. Такую возможность предоставляют поляризованные реле. Поляризация осуществляется постоянными магнитами (рис. 2.6, а).

По магнитопроводу поляризованного реле могут протекать следующие потоки:

- поток Φ_3 , создаваемый током, протекающим по обмоткам;
- поток Φ_0 , создаваемый постоянным магнитом.

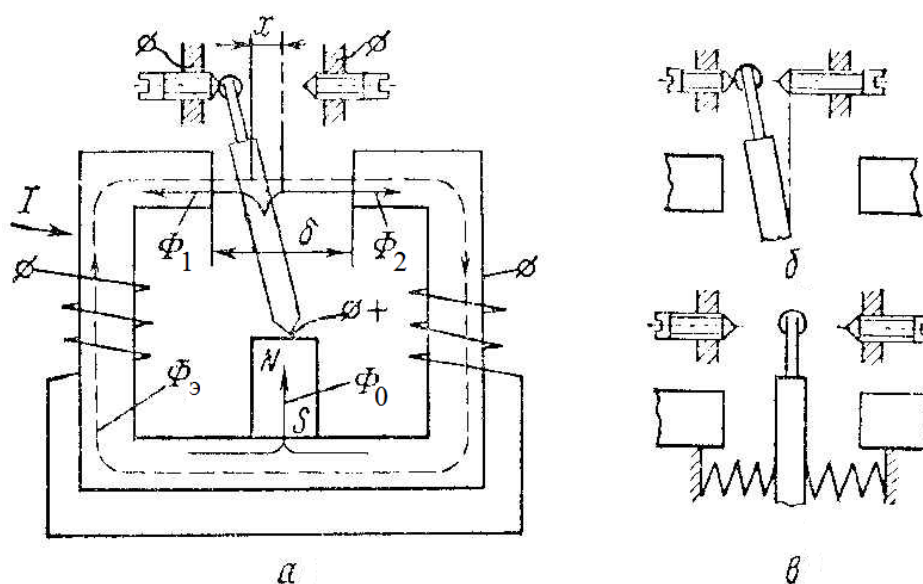


Рис. 2.6. Поляризованное реле:

а – двухпозиционное; б – двухпозиционное с преобладанием к левому контакту;
в – трёхпозиционное

Якорь перемещается в зазоре в зависимости от суммарного действия этих потоков.

Рассмотрим случай, когда ток в обмотках отсутствует и якорь находится в строго вертикальном положении. В этом случае поток Φ_0 , создаваемый постоянным магнитом, делится пополам:

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_0 / 2$$

и соответственно усилия, согласно выражению (2.13), тянущие якорь вправо и влево, одинаковые:

$$P_{\text{лев}} = P_{\text{прав}} = 4 \cdot 10^5 \left(\frac{\Phi_0}{2} \right)^2 \frac{1}{s_{\delta}} = 10^5 \frac{\Phi_0}{s_{\delta}}. \quad (2.21)$$

Однако такое равновесие неустойчивое. При незначительном отклонении якоря от нейтрального положения в любую сторону, например, влево, изменятся воздушные зазоры, определяющие магнитное сопротивление левого и правого контуров магнитопровода, что приведёт к перераспределению магнитных потоков в этих контурах:

$$\Phi_1 = \Phi_0 / 2 + \Delta\Phi \text{ и } \Phi_2 = \Phi_0 / 2 - \Delta\Phi. \quad (2.22)$$

Изменение магнитных потоков изменит тяговые усилия. В результате появится результирующее тяговое усилие P_0 , направленное в сторону уменьшения левого зазора.

Это усилие определяет контактное давление и допустимый ток, который могут, не перегреваясь, пропустить контакты реле при обесточенной обмотке.

Если в обмотку подать ток, который создаст усилие, большее, чем P_0 , но противоположное по знаку, то якорь начнёт движение. При движении якоря до нейтрали усилие P_0 будет выполнять роль противодействующей пружины, после нейтрали – дополнительного усилия. Этим объясняется короткое время срабатывания поляризованных реле. Кроме того, дополнительное усилие, сжимая контакты, позволяет довести коэффициент управления – отношение мощности, пропускаемой контактами, к мощности срабатывания в обмотке управления до 5000, чего не допускает ни одно нейтральное реле.

Поляризованные реле выпускают трёх видов настройки:

- двухпозиционные;
- двухпозиционные с преобладанием;
- трёхпозиционные.

Двухпозиционное поляризованное реле представлено на рисунке 2.6, а. Якорь такого реле, в зависимости от полярности тока, переходит в одно из крайних положений и остаётся там после прекращения тока в обмотке.

Если один из контактных винтов выдвинуть за нейтраль (рисунок 2.6, б), то после прекращения тока в обмотке якорь всегда будет возвращаться к противоположному контакту, независимо от того, где он находился до этого. Такое реле будет двухпозиционным с преобладанием.

Если якорь подпружинить в обе стороны с механическим усилием, большим, чем P_0 (рисунок 2.6, в), то якорь займет среднее положение, а при подаче тока в обмотку замкнётся с правым или левым контактом (в зависимости от

направления тока). После прекращения тока в обмотке якорь вновь займёт нейтральное положение. Такое реле называется трёхпозиционным.

2.7. Временные параметры реле и методы их изменения

Время срабатывания реле

$$t_{\text{сраб}} = t_{\text{тр}} + t_{\text{дв}}, \quad (2.23)$$

где $t_{\text{тр}}$ – время трогания – это промежуток времени, в течение которого ток нарастает от нуля до тока срабатывания (рис. 2.7, б); в конце этого временного интервала электромагнитное усилие превысит противодействующее механическое усилие и якорь придёт в движение;

$t_{\text{дв}}$ – время движения якоря из нормального состояния в притянутое.

Время отпускания реле $t_{\text{отп}}$ состоит из двух аналогичных составляющих.

Время движения якоря при отсутствии специальных тормозящих устройств, как правило, значительно меньше времени трогания, причем как при срабатывании, так и при отпускании. Поэтому временные характеристики реле практически определяются временем трогания.

Время срабатывания и отпускания реле можно изменять как схемными, так и конструктивными методами.

Схемные методы

Схемные методы основаны на изменении длительности переходных процессов обмотки реле.

Включение добавочного сопротивления $R_{\text{доб}}$ (рисунок 2.7, а) с одновременным повышением напряжения сети на величину ΔU так, чтобы установившееся значение тока оставалось неизменным (кривая 2 на рис. 2.7, б), приводит к ускорению срабатывания. В этой схеме нарастание тока происходит по экспоненте с постоянной времени меньшей, чем постоянная времени обмотки реле (кривая 1 на рисунке 2.7, б):

$$T = \frac{L_{\text{об}}}{R_{\text{об}} + R_{\text{доб}}} < T_{\text{об}} = \frac{L_{\text{об}}}{R_{\text{об}}}, \quad (2.24)$$

где $L_{\text{об}}$ и $R_{\text{об}}$ – индуктивность и активное сопротивление обмотки реле.

Ещё большее ускорение даёт схема с ёмкостью, шунтирующей добавочное сопротивление (рисунок 2.7, а, подключение ёмкости показано пунктиром). За счет зарядного тока ёмкости ток в обмотке быстрее достигает $I_{\text{сраб}}$ (форма тока показана на рисунке 2.7, б, кривая 3).

Время отпускания будет минимальным в случае безыскрового разрыва цепи обмотки. Однако ввиду того, что обмотка реле представляет собой индуктив-

ную нагрузку, для сохранения контактов, замыкающих цепь обмотки, могут быть применены схемы искрогашения. При этом следует отметить, что шунтирование обмотки реле сопротивлением, диодом или ёмкостью (рисунок 2.7, в, г, д) приводит к замедлению процесса отпущения реле.

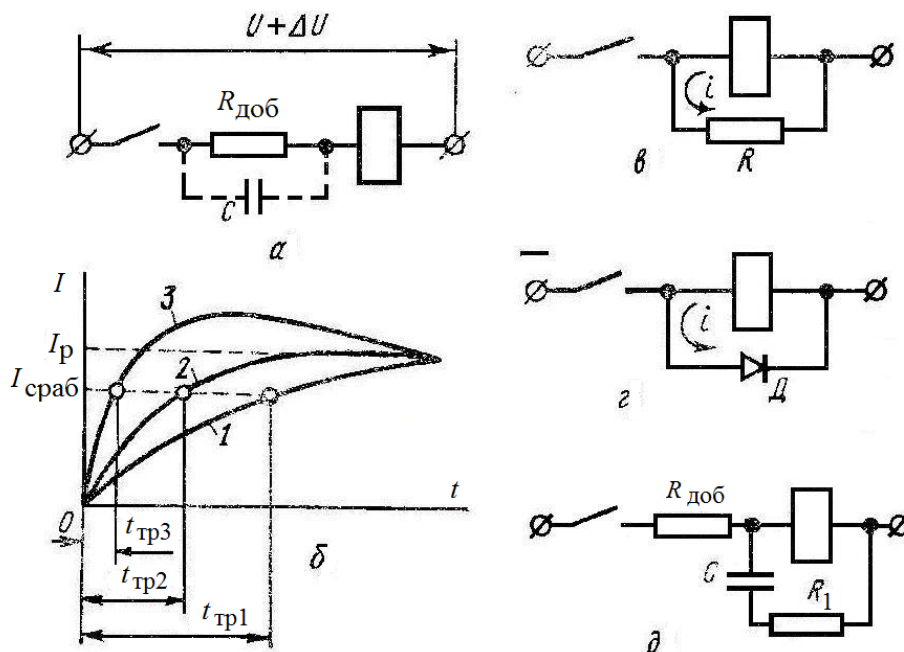


Рисунок 2.7.- Схемные методы изменения времени срабатывания и отпущения реле

Конструктивные методы

Конструктивные методы, уменьшающие временные параметры реле, сводятся к снижению массы подвижных частей реле и предотвращению прохождения вихревых токов в толщине магнитопровода. Для решения последней проблемы магнитопровод реле подобно трансформатору набирают из пластин. Ускорению отлипания способствует увеличение штифта отлипания, так как это снижает индуктивность обмотки в притянутом положении якоря, а следовательно и $T_{отл}$.

К конструктивным способам уменьшения времени срабатывания можно отнести применение ускоряющей обмотки $w_{уск}$ (рисунок 2.8), которая создает мощную намагничивающую силу с небольшой постоянной времени.

Ускоряющая обмотка $w_{уск}$ рассчитывается по нагреву на кратковременное включение (незначительное активное сопротивление), поэтому при срабатывании реле размыкает контакты КР и включает последовательно с $w_{уск}$ удерживающую обмотку $w_{уд}$, рассчитанную на длительное включение и создающую намагничивающую силу, которой достаточно для удержания якоря в притянутом состоянии.

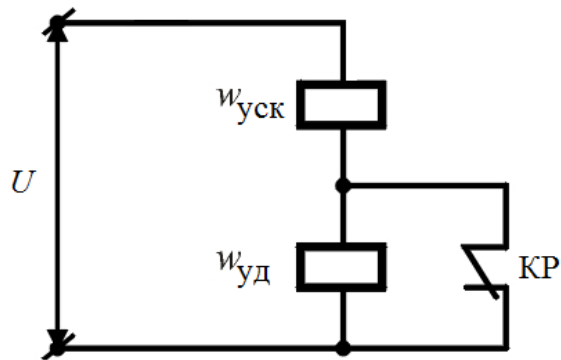


Рис. 2.8. Применение ускоряющей обмотки

3 Генераторы импульсов на базе электромагнитных реле

Генераторы импульсов - устройства, преобразующие постоянное или медленно меняющееся напряжение в последовательность импульсов. Для этих целей среди прочих устройств могут быть использованы генераторы с различным количеством релейных элементов. В настоящей лабораторной работе предлагается реализовать и исследовать одно-, двух- и трёхрелейные генераторы.

Принцип действия релейных генераторов основан на попеременном возбуждении и обесточивании реле, входящих в схему генератора. При этом с помощью второй контактной группы реле периодически разрывается цепь от независимого источника питания и во внешнюю цепь посылаются серия импульсов.

Однорелейный генератор

Однорелейный генератор представляет собой зашунтированное конденсатором C электромагнитное реле, включенное через собственный размыкающий контакт КЗ.1 (см. рисунок 3.1). Другие контакты данного реле, например, контакт КЗ.2, включается в цепь независимого источника питания и включают/отключают нагрузку (в нашем случае включают сигнальную лампу HL3).

При подаче напряжения в схему, реле срабатывает и его размыкающий контакт разрывает цепь питания обмотки возбуждения этого же реле. Обмотка возбуждения обесточивается, реле отпускает, якорь и размыкающий контакт замыкается. Реле вновь получает питание и процесс повторяется с определённой периодичностью. Таким образом, питание нагрузки осуществляется импульсами тока определённой частоты, что можно наблюдать по загоранию лампочки.

Для задания определённых временных параметров импульса (паузы) в однорелейном генераторе, как правило, используется включенный параллельно реле конденсатор, который за время срабатывания реле накапливает электрическую энергию. Эта энергия используется во время отпускания реле (при разряде

конденсатора через обмотку реле), обеспечивая определённое увеличение времени отпускания реле.

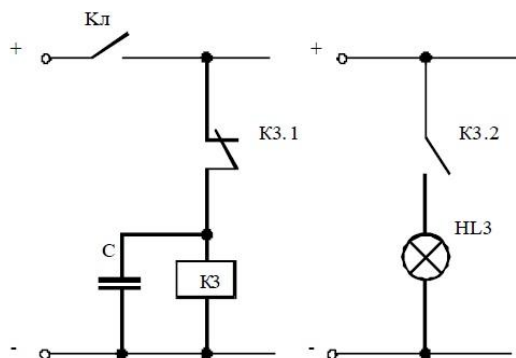


Рисунок 3.1 – Однорелейный генератор

Двухрелейный генератор

Двухрелейный генератор (пульс-пара), схема которого приведена на рисунке 3.2, состоит из двух реле, каждое из которых включено через соответствующий контакт другого реле. После срабатывания реле К1 к шинам питания подключается реле К3, после срабатывания которого отключается цепь питания реле К1. Контакты К1 возвращаются в исходное положение и если общее питание схемы не отключается, процесс срабатывания реле повторяется с определённой периодичностью. В зависимости от конкретных требований нагрузка может быть включена через контакт любого реле или через последовательно включенные контакты обоих реле.

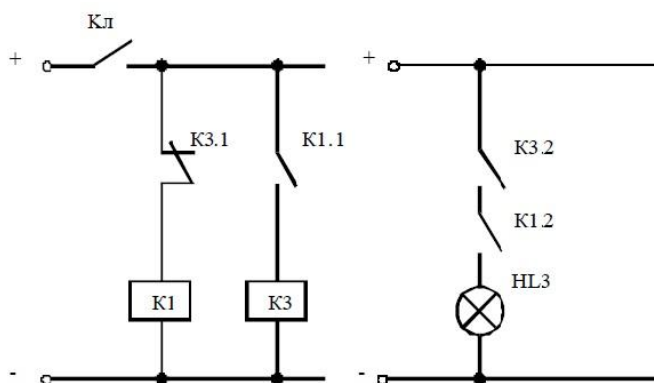


Рисунок 3.2 – Двухрелейный генератор

Трёхрелейный генератор

Трёхрелейный генератор (см. рисунок 3.3) состоит из трёх реле, а нагрузка генератора может включаться (отключаться) через один, два или три контакта различных реле.

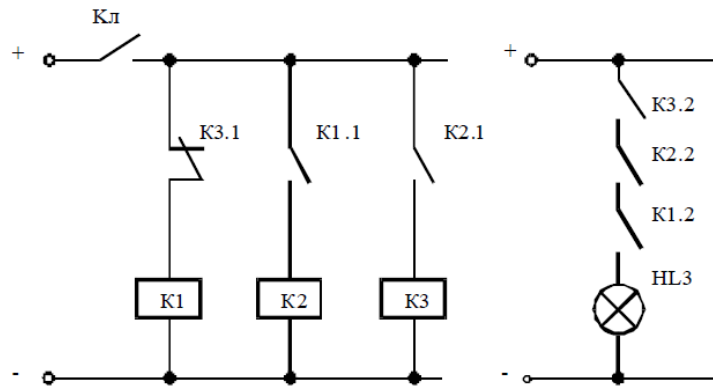


Рисунок 3.3 – Трёхрелейный генератор

Анализ работы любых релейных генераторов удобно проводить с помощью временных диаграмм, отображающих состояние каждого реле и его контактов во времени и пространстве их выходных параметров.

Для примера на рисунке 3.4 приведена временная диаграмма работы электромагнитного реле.

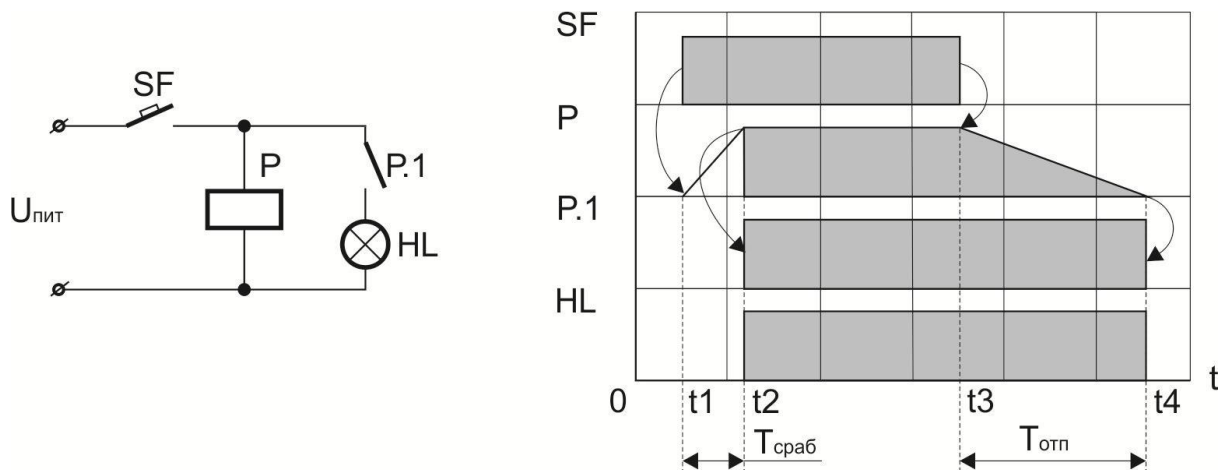


Рисунок 3.4 - Временные диаграммы работы реле

В момент t_1 замыкается автоматический выключатель SF и в обмотку реле P подаётся ток, который за время $T_{сраб}$ в момент t_2 достигает величины, достаточной для перемещения якоря. Якорь притягивается, контакт P.1 замыкается, лампа HL загорается. Согласно п. 2.7 время срабатывания $T_{сраб}$ полностью определяется временем трогания $T_{тр}$ при срабатывании, а время движения контактов равно нулю.

В момент t_3 выключается. Ток в обмотке в течение $T_{отп}$ уменьшается до величины тока отпущения, который не в состоянии удерживать якорь в притянутом состоянии. В момент t_4 якорь возвращается в исходное состояние, контакт P.1 размыкается, лампа HL гаснет. Как и в предыдущем случае $T_{отп}$ определяется временем трогания $T_{тр}$ при отпущении, а время движения контактов равно нулю.

Характеристики выходных импульсов генератора.

Генератор импульсов представляет собой динамическую схему, в которой отсутствует состояние покоя, т. е. в любой момент времени в какой либо части схемы происходит смена состояния элементов - переключения. В связи с этим параметры выходных импульсов генератора будут однозначно определяться временными параметрами электромагнитных реле, а именно временами срабатывания и отпускания используемых в схеме генератора реле. Последовательность импульсов генератора характеризуется следующими показателями:

- длительность импульса $t_{и}$;
- длительность паузы $t_{п}$;
- время цикла $T_{ц} = t_{и} + t_{п}$;
- частота следования импульсов $f = 1/T_{ц}$;
- коэффициент импульса $k_{и} = t_{и} / t_{п}$.

Временные характеристики электромагнитных реле определяются коэффициентом запаса на срабатывание $k_{з.ср}$ и коэффициентом возврата $k_{в}$:

$$k_{з.ср} = \frac{(Iw)_{раб}}{(Iw)_{ср}} = \frac{U_{раб}}{U_{ср}} = \frac{I_{раб}}{I_{ср}};$$

$$k_{в} = \frac{(Iw)_{отп}}{(Iw)_{ср}} = \frac{U_{отп}}{U_{ср}} = \frac{I_{отп}}{I_{ср}},$$

а также постоянной времени при срабатывании τ_1 и при отпуске τ_2

$$\tau_1 = \frac{L_p}{R_p}; \tau_2 = \frac{L_{p.з}}{R_p}; \tau_2 > \tau_1,$$

где L_p ($L_{p.з}$) - индуктивность обмотки реле в исходном состоянии якоря (якорь притянут);

R_p - активное сопротивление обмотки реле.

Временные характеристики реле могут быть определены через коэффициенты запаса и возврата, при условии, что время трогания много больше времени движения

$$t_{ср} = t_{тр.ср} = \tau_1 \ln \frac{k_{з.ср}}{k_{з.ср} - 1};$$

$$t_{отп} = t_{тр.отп} = \tau_2 \ln \frac{k_{з.ср}}{k_{в}}.$$

Следует обратить внимание, что две последние формулы справедливы лишь для реле с ненасыщенной магнитной системой (т. е. магнитное сопротивление «стали» всех участников магнитной цепи реле не учитывается).

Кроме методов изменения временных параметров реле, основанных на изменении коэффициентов запаса и возврата, широко используются схемные методы изменения временных параметров.

В дополнение к методам, представленным на рисунке 2.4 перечислим следующие:

- шунтирование обмотки реле ёмкостью C ;
- включение в цепь обмотки реле параллельно включенных $r_{доб}$ и собственного размыкающего контакта (схема форсировки).

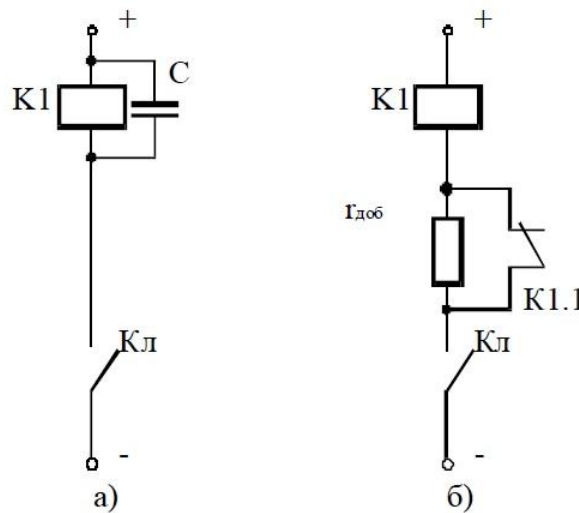


Рисунок 3.5 – Схемные методы изменения временных параметров реле

4 Описание лабораторной установки

Внешний вид лабораторной установки приведён на рисунке 4.1

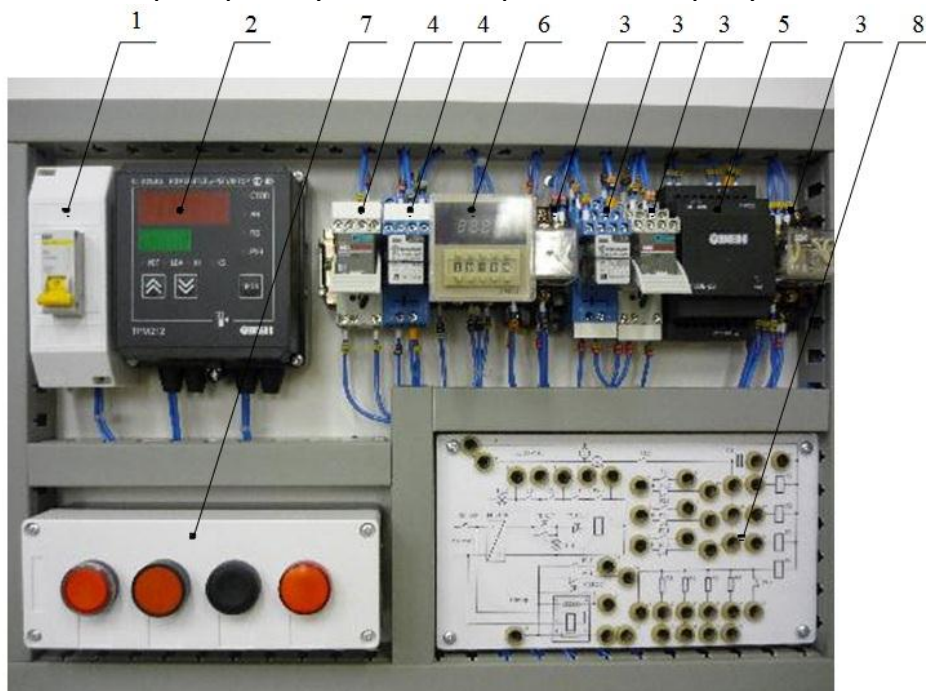


Рисунок 4.1 - Внешний вид лабораторной установки

- 1 - автоматический выключатель SF1; 2 - двухканальный измеритель TPM 212;
3 - испытываемые реле P1, P2, P3 и P4; 4 - вспомогательные реле P5 и P6; 5 – источник постоянного стабилизированного напряжения 24 В БП24/30; 6 - электронный секундомер;
7 – кнопки управления и сигнальные лампы; 8 – коммутационное поле

Схема лабораторной установки, представленная на рисунке 4.2, включает:

- внешний источник стабилизированного напряжения БП30, регулируемый в пределах от 0 до 30В, имеющий грубую и плавную регулировку;
- источник постоянного стабилизированного напряжения 24 В БП24/30;
- двухканальный измеритель TPM 212, работающий в режиме измерения напряжения;
- испытываемые реле P1, P2, P3 и P4;
- вспомогательные реле P5 и P6;
- автоматический выключатель SF1;
- конденсатор C1;
- сигнальные лампы HL1 и HL2;
- электронный секундомер ARCOM-DH48S;
- кнопки управления Кн1 («Вкл»), Кн2 («Откл») и Кн3 («Сброс таймера»);
- набор резисторов R1÷R5.

Кнопка управления Кн1 («ВКЛ») физически совмещена с сигнальной лампой HL1.

Внимание! Все применяемые в лабораторной установке реле рассчитаны на работу с постоянным напряжением 24 В

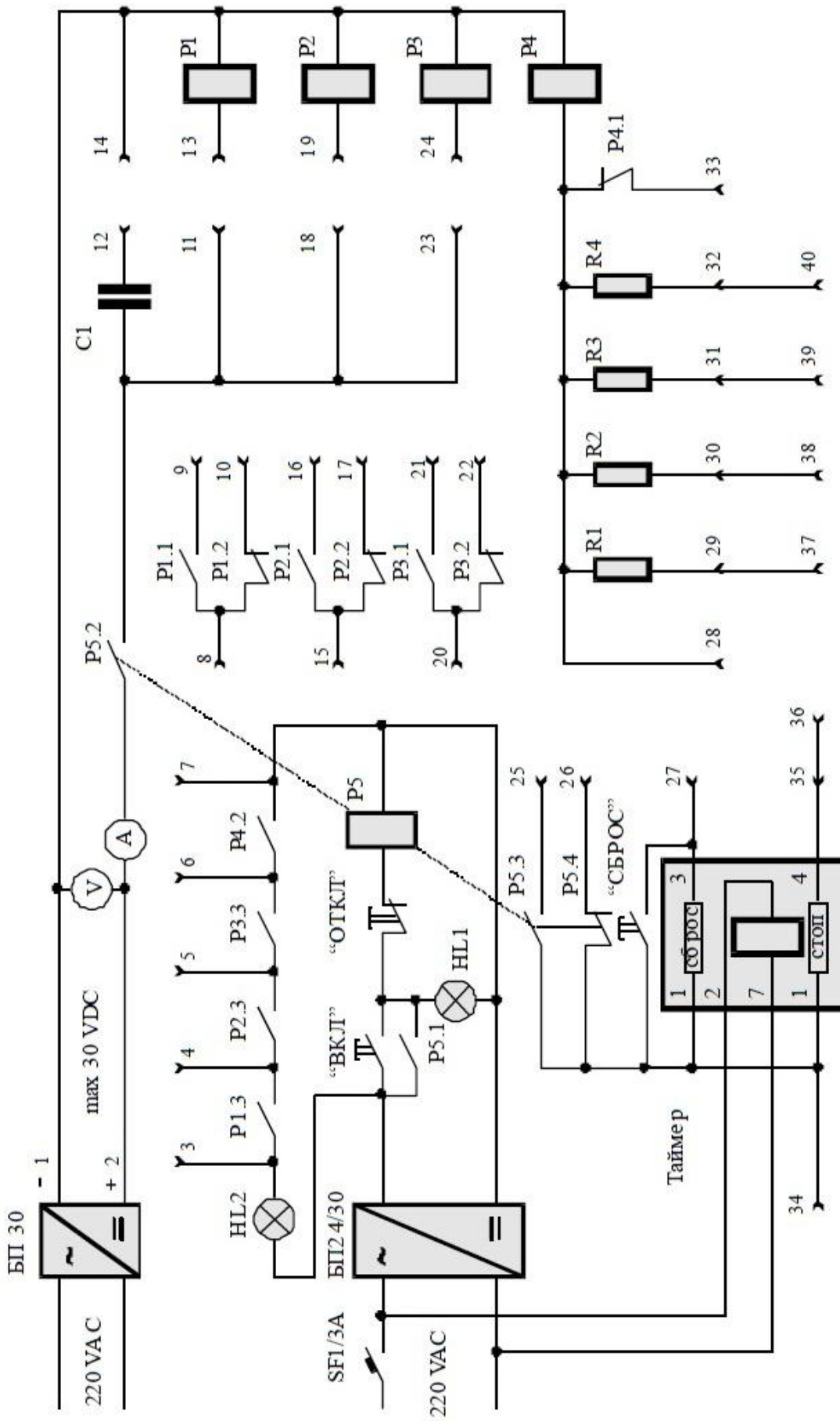


Рисунок 4.2 - Схема лабораторной установки

5 Общие положения

5.1 Схема подготовки включения/отключения исследуемых реле

Для того чтобы исключить человеческий фактор из процессов измерения временных характеристик исследуемых реле применяется схема подготовки включения/отключения, выполненная на реле P5, кнопках Кн1 («ВКЛ»), Кн2 («ОТКЛ») и сигнальной лампы HL1.

Электрическая схема подготовки включения/отключения реле приведена на рисунке 5.1.

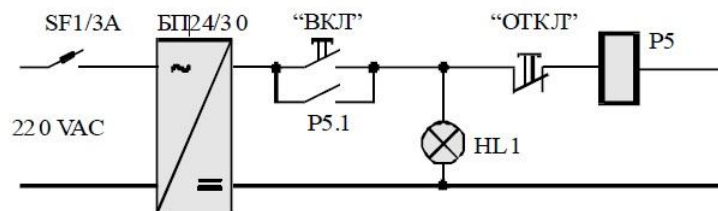


Рисунок 5.1 – Электрическая схема подготовки включения/отключения

При нажатии кнопки «ВКЛ» срабатывает (взводится) реле P5, обеспечивая своим контактом P5.2 (см рисунок 4.2) подачу напряжения на исследуемые реле от внешнего источника регулируемого напряжения БП30. Одновременно это же реле своим контактом P5.1 ставит схему на «самоподхват», тем самым блокируя дальнейшие действия кнопки «ВКЛ». Загорается сигнальная лампа HL1, свидетельствующая о взведенном состоянии схемы.

Для отключения исследуемых реле от источника напряжения БП30 необходимо нажать кнопку «ОТКЛ». Реле P5 отпустит. Контакт P5.1 разомкнётся и отключит исследуемые реле от источника.

5.2 Схема измерения времени срабатывания и отпускания реле

Для измерения времени срабатывания и отпускания реле используется электронный секундомер (таймер) ARCOM-DH48S. Схема подключения секундомера приведена на рисунке 5.2.

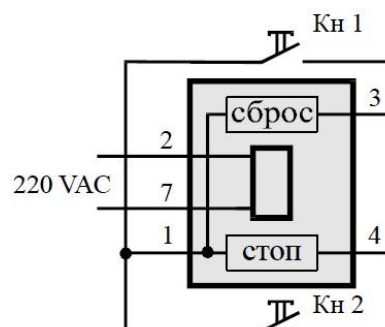


Рисунок 5.2 – Схема подключения таймера

Точность измерения времени составляет 0,01 сек.

При разомкнутых цепях «Стоп» и «Сброс» секундомер считает реальное время. При наличии сигнала «Стоп» (контакт Кн1 замкнут) счет останавливается. При наличии сигнала «Сброс» (контакт Кн2 замкнут) показания секундомера сбрасываются в нуль. Кнопка «Сброс» имеет приоритет перед кнопкой «Стоп».

Измерение времени срабатывания реле

Для измерения времени срабатывания собирается схема, представленная на рисунке 5.3 (пример для измерения времени срабатывания реле P1).

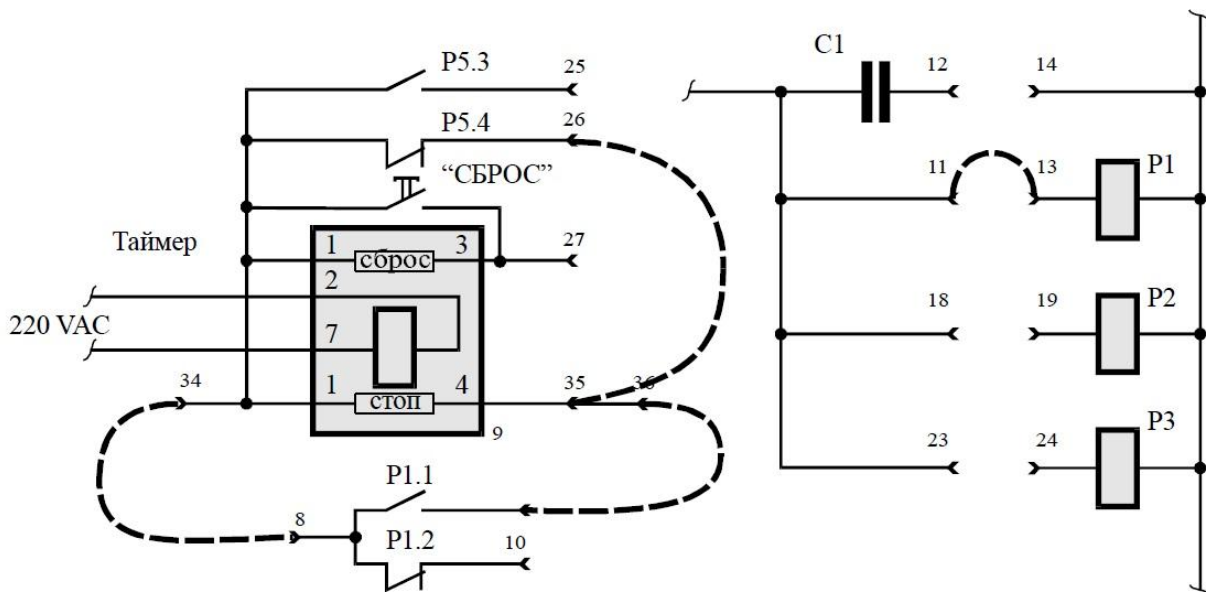


Рисунок 5.3 - Схема коммутации для измерения времени срабатывания реле P1

Временем срабатывания реле согласно пункту 2.6 будем считать время от момента подачи напряжения (тока) на обмотку реле до момента замыкания нормально разомкнутого контакта этого реле.

В исходном состоянии секундомер находится в состоянии «Стоп» под действием нормально замкнутого контакта P5.4 реле P5.

При нажатии кнопки «ВКЛ» реле P5 срабатывает схемы включения/отключения, контакт P5.4 размыкается, секундомер включается.

Одновременно замыкается контакт P5.2 и в обмотку реле P1 поступает ток, который, достигая тока срабатывания, создаёт электромагнитное усилие, достаточное для перемещения якоря в замкнутое состояние. Якорь перемещается, нормально замкнутые контакты реле P1 размыкаются, а нормально разомкнутые – замыкаются.

Замыкание контакта P1.1 останавливает работу секундомера.

Схемы измерения времени срабатывания реле P2 и P3 аналогичные.

Измерение времени отпущения реле

Временем отпущения реле согласно пункту 2.6 будем считать время от момента снятия напряжения (тока) с обмотки реле до момента замыкания нормально замкнутого контакта этого реле.

Незначительное отличие рисунка 5.3. от рисунка 5.4 заключается в том, что реле P5 и P1 находятся в сработавшем состоянии.

Начало измерения инициируется кнопкой «ОТКЛ». Дальнейшие действия аналогичны предыдущим измерениям.

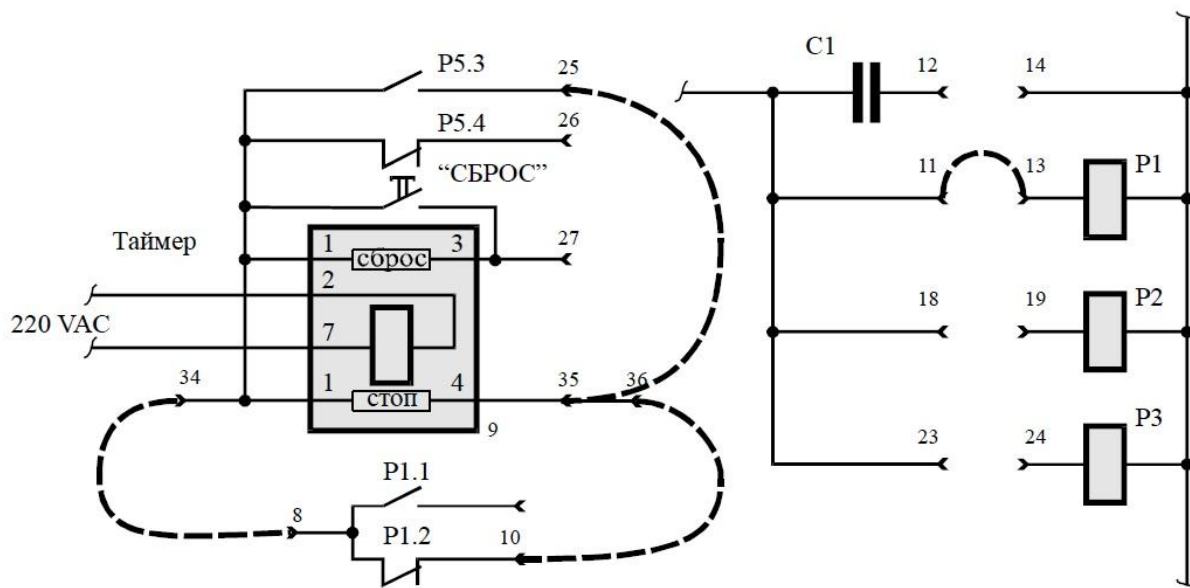


Рисунок 5.4 - Схема коммутации для измерения времени отпущения реле P1

5.3 Схемный способ коррекции коэффициента возврата

Коэффициентом возврата реле называют отношение

$$k_{\text{возвр}} = I_{\text{отп}} / I_{\text{сраб}} = U_{\text{отп}} / U_{\text{сраб}}$$

Рассмотрим один из схемных способов коррекции коэффициента возврата.

Схема подключения реле представлена на рисунке 5.5. Эквивалентная схема включения в цепь обмотки реле параллельно включенных $R_{\text{доб}}$ и собственного размыкающего контакта (схема форсировки) представлена на рисунке 5.5.

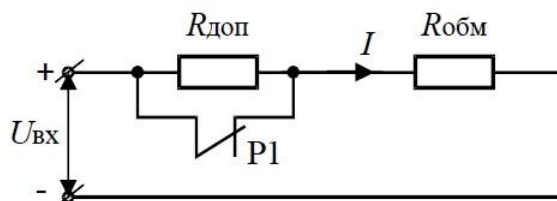


Рисунок 5.5 - Эквивалентная схема

Очевидно, что токи срабатывания и отпускания для конкретного реле являются постоянными и определяются его конструктивными и электрическими характеристиками.

При срабатывании электромагнитного реле его контакт P1 замкнут, а следовательно $R_{доп}$ не влияет на ток срабатывания.

$$U_{вх} = U_{сраб} = R_{обм} I_{сраб}.$$

После срабатывания реле его контакт P1 размыкается и в цепь обмотки последовательно подключается дополнительное сопротивление $R_{доб}$. При этом входное напряжение соответствующее току отпускания будет равно:

$$U_{вх} = U_{отп} = I_{отп} (R_{доб} + R_{обм}),$$

откуда следует, что

$$k'_{возвр} = U_{отп} / U_{сраб} = I_{отп} (R_{доб} + R_{обм}) / I_{сраб} R_{обм} = k_{возвр} \frac{(R_{доб} + R_{обм})}{R_{обм}}$$

Таким образом, коэффициент возврата повысился на величину $R_{доб}/R_{обм}$.

6 Задание и методические указания по выполнению работы

1 Ознакомьтесь с конструкцией реле, основными определениями и терминами.

2 Изучите лабораторную установку, представленную на рисунке 4.2.

3 Измерьте напряжение и токи срабатывания ($U_{ср}$, $I_{ср}$) и отпускания ($U_{отп}$, $I_{отп}$) реле P1, P2, P3, подключив соответствующее испытуемое реле. Медленно увеличивая (или уменьшая) напряжение питания реле, необходимо по загоранию (или потуханию) сигнальной лампы HL2 уловить момент срабатывания (или отпускания) реле и зафиксировать значения токов и напряжений по измерителю ТРМ 212.

Внимание!

Схема подготовки включения/выключения должна быть всегда взведена.

4 Измерьте временные параметры $t_{ср}$ (рисунок 5.3) и $t_{отп}$ (рисунок 5.4) реле K1 при коэффициенте запаса $K_{з.ср}=1,1$.

5 Выполните аналогичные измерения для коэффициентов запаса $K_{з.ср}=1,3; 1,5$.

6 Измерьте временные параметры реле P2 при коэффициенте запаса $K_{з.ср}=1,1; 1,3; 1,5$.

7 Измерьте временные параметры реле P3 при коэффициенте запаса $K_{з.ср}=1,1; 1,3; 1,5$.

8 Измерьте временные параметры реле P1, P2, P3 для коэффициента

запаса 1,3 при шунтировании обмотки реле конденсатором С.

9 Измерьте коэффициент возврата для реле Р4.

10 В соответствии с заданным вариантом (см. таблицу 6.1) произведите расчет $R_{доб}$ для достижения заданного $K_{возвр}$.

11 Подобрать ближайший вариант схемной реализации, учитывая, что

$R_1=25 \text{ Ом};$

$R_2=50 \text{ Ом};$

$R_3=100 \text{ Ом};$

$R_4=150 \text{ Ом};$

$R_{обм} = 414 \text{ Ом}.$

12 Выполните обратный расчёт. Проверьте совпадение результатов.

13 В соответствии с заданным вариантом соберите схему генератора. В качестве нагрузки используйте сигнальную лампу HL2, включенную через замыкающие контакты используемых реле. Проверьте работу генератора на напряжении, соответствующем $K_{з.ср}=1,5$. Постройте временную диаграмму, используя данные полученные в п. 5÷7. По временным диаграммам определите временные параметры, характеризующие работу генератора ($T_{ц}, f, t_{и}, t_{п}, K_{и}$).

Таблица 6.1 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4
Процент увеличения $K_{возвр}$	25	15	30	40
Схема релейного генератора	2	3	3	1

7 Содержание отчета

Отчёт, оформленный в соответствии с установленными правилами, должен содержать:

- титульный лист с указанием номера и названия работы, фамилии студентов, выполнивших работу, дату выполнения;
- цель работы и принципиальные схемы релейных генераторов со схемами включения нагрузки (приводятся только те схемы, которые были исследованы авторами отчета);
- результаты экспериментов в виде таблиц и графиков; расчеты;
- временные диаграммы для заданного в соответствии в варианте генератора и значения временных параметров, характеризующих работу релейного генератора;
- выводы (особое внимание следует уделить возможности коррекции временных характеристик электромагнитных реле схемными способами);
- ответы на контрольные вопросы.

8 Контрольные задания и вопросы

- 1 Каким образом постоянное или медленноменяющееся напряжение можно преобразовать в пульсирующее?
- 2 Почему коэффициент запаса $K_{з.ср}$ должен быть больше 1?
- 3 Что называется временем срабатывания и временем отпускания реле?
- 4 Как влияет полярность напряжения, приложенного к обмотке, на направление тягового усилия? Обоснуйте свой ответ.
- 5 Каким образом включение конденсатора параллельно обмотке возбуждения реле влияет на величину $t_{ср}$ и $t_{отп}$ реле и почему?
- 6 Каким образом величина рабочего напряжения влияет на величину $t_{ср}$ и $t_{отп}$ и почему?
- 7 Какие данные необходимо иметь о реле, чтобы определить параметры
- 8 импульсов тока ($T_{ц}, f, K_{и}$) в нагрузке в схеме конкретного генератора?

9 Литература

1. Миловзоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики. – М.: Высшая школа, 1983.
2. Подпиленский В. С., Петренко В. М. Электромагнитные и электромашиные устройства автоматики. – Киев: Вища школа, 1987.
3. Витенберг М. И. Расчет электромагнитных реле. – М. –Л.:ГЭИ, 1961.
4. Брускин Д. Э. и др. Электрические машины и микромашины. Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов. М.:Высшая школа, 1971. 432 с. с илл.

Для заметок

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ:
способы измерения и коррекции временных и
электрических характеристик**

Методические указания




Составитель Курганов Василий Васильевич

Подписано к печати 27.01.2010.

Формат 60x84-16. Бумага «Классика»

Печать RISO. Усл. печ. л. 1.16. Уч. – изд. л. 1.05.

Заказ № . Тираж экз.

	<p>Томский политехнический университет Система менеджмента качества Томского политехнического университета сертифицирована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000</p>	
<p>ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.</p>		