



В. Лойгом, Х. Карро

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Пособие к лабораторным работам
Для студентов специальностей 0628, 0601 и 1510

Часть 1

Таллин
1970

ARH



1 XI
A-18503

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра электропривода

В. Лойгом, Х. Карро

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Пособие к лабораторным работам
Для студентов специальностей 0628, 0601 и 1510

Часть 1

Таллин
1970

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

238102

ARHIIVKOGU

Отв. ред. Т.Равло

Сдано в печать 25 декабря 1969 г.
Бумага 60x84/16. Печ.л.3,75. Усл.печ.л.3,40
Тираж 500. МВ-11525. Зак. №488
Ротапринт ТПИ, Таллин, Пякк плг, 14
Цена 10 коп.

П р е д и с л о в и е

По учебным планам специальностей электротехнического факультета изучаются вопросы теории и свойств электрических аппаратов. Лекции по курсу "Электрические аппараты" читаются студентам специальностей "Электрические машины и аппараты" и "Электрификация сельского хозяйства", а лекции по курсу "Электрические аппараты автоматического управления" читаются студентам специальности "Электропривод и автоматизация промышленных установок". Для них и предусмотрено настоящее руководство.

В сборник включены лабораторные работы, поясняющие теорию электрических аппаратов, а также работы, рассматривающие свойства конкретных аппаратов.

Работы представляют собой часть цикла лабораторных работ вышеуказанных специальностей. Количество и объем работ определяется руководителем соответствующего цикла.

Кроме руководств к лабораторным работам имеется общеметодический раздел, при помощи которого студент может ознакомиться с некоторыми методами испытания электрических аппаратов и вспомогательной аппаратурой для проведения испытаний.

Раздел I. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

I-1. Введение

Для проведения эксперимента целесообразно сначала вычертить принципиальную схему каждого требуемого включения. На схеме необходимо указать все регистрирующие и вспомогательные величины, предусмотренные задачей. Только после этого составляется рабочая схема.

Если требуется испытание одной и той же установки в разных включениях, рекомендуется соединить эти включения в одну схему, где предусмотрены возможности перехода с одного режима в другой.

В результате такой подготовительной работы получается схема эксперимента, где указаны параметры всех элементов схем.

Нижеследующий материал предусмотрен для оказания помощи студентам при выборе методов измерения и измерительных приборов. Описываются также специальные схемы и средства, применяемые для исследования аппаратуры автоматики.

I-2. Магнитные измерения

Для измерения магнитного потока используются методы, основанные на измерении электродвижущей силы, индуцированной в измерительном контуре вследствие изменения магнитного потока. Ниже рассматриваются наиболее распространенные методы для измерения как постоянного, так и переменного магнитного потока.

1. Измерение магнитного потока при помощи баллистического гальванометра

Для измерения магнитного потока изготавливается измерительная катушка ИК, которая должна охватывать исследуемый контур, и присоединяют ее к гальванометру (фиг. 1). Измерение основывается на явлении индуктирования в катушке э.д.с. при изменении магнитного потока в испытуемом контуре.

Изменение магнитного потока выражается формулой

$$\Delta \Phi = \frac{r \cdot C_{\delta}}{W} \alpha_m ,$$

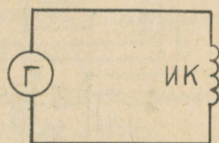
где $\Delta \Phi$ — изменение магнитного потока;

r — сопротивление измерительной цепи;

C_{δ} — баллистическая постоянная гальванометра;

W — количество витков измерительной катушки;

α_m — отклонение гальванометра.



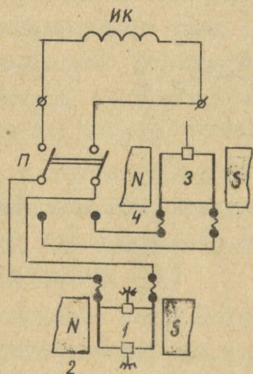
Фиг. 1.

При изменении магнитного потока обычно добиваются его нулевого значения в начале или в конце процесса измерения. Это делается удалением измерительной катушки или же введением ее в исследуемое поле (применяется при исследовании постоянных магнитов), а также изменением величины или направления потока (в электромагнитах путем включения или выключения цепи возбуждения).

Отклонение гальванометра пропорционально магнитному потоку только в том случае, если время прохождения тока значительно меньше частоты собственных колебаний гальванометра.

2. Измерение магнитного потока веберметром

Веберметр (флюксметр) — это специальный магнитоэлектрический гальванометр с поворотной катушкой, в которой противодействующий момент, влияющий на поворотные части прибора, практически равен нулю. Схема веберметра приведена на фиг. 2.



Фиг. 2.

К клеммам веберметра присоединяется измерительная катушка ИК. При изменении сцепляемого с измерительной катушкой магнитного потока отклоняется поворотная катушка I веберметра, расположенная между полюсами постоянного магнита 2, в ту или другую сторону от своего начального положения.

Отклонение поворотной катушки вызвано тем, что потокосцепление замкнутого контура стремится сохранить предыдущую величину (принцип электромагнитной инерции). В веберметре компенсируется изменение потокосцепления измерительной катушки противоположным изменением потокосцепления поворотной катушки, что достигается поворачиванием этой катушки в зазоре постоянного магнита на определенный угол, т.е.

$$W \Delta \Phi = W_g S B \Delta \alpha .$$

- W — количество витков измерительной катушки;
- $\Delta \Phi$ — изменение потока, сцепляемого измерительной катушкой;
- W_g — количество витков поворотной катушки веберметра;
- S — площадь, охваченная поворотной катушкой;
- B — магнитная индукция в воздушном зазоре веберметра.

Изменение угла поворота катушки

$$\Delta \alpha = \frac{W}{W_g \cdot s \cdot B} \Delta \Phi = \frac{1}{C_g} \Delta \Phi W,$$

где C_g - постоянная веберметра.

В результате трения, упругой деформации соединительных проводов и потерь энергии в проводах действительный угол поворота получается несколько меньше. Точность веберметра типа М-19 составляет $\pm 2,5\%$ при условии, что сопротивление внешней цепи не превышает 8 ом.

Начальное положение стрелки на шкале выбирается произвольно (обычно в середине шкалы). Начальное положение изменяется при помощи встроенного магнитоэлектрического механизма, так называемого корректора 3 и 4. Катушка веберметра I соединяется при помощи переключателя П с катушкой корректора 3. При поворачивании катушки корректора отклоняется и стрелка веберметра на соответствующий угол.

Веберметр является менее чувствительным чем баллистический гальванометр, но при медленном изменении потока дает более точные результаты.

Для измерения потока могут быть использованы подвижные или неподвижные измерительные катушки, соединенные с клеммами веберметра. Число витков катушки выбирается в соответствии с предлагаемым максимальным значением измеряемого потока, определяемым при помощи формулы

$$\Phi_{\text{макс}} = B_{\text{нас}} \cdot S_c,$$

где $B_{\text{нас}}$ - индукция насыщения в исследуемой магнитной цепи, тл;

S_c - площадь поперечного сечения исследуемой магнитной цепи, м².

Поскольку максимальное отклонение веберметра М-19 составляет 10 мвб, то необходимое количество витков измерительной катушки

$$W = \frac{10^{-2}}{\Phi_{\text{макс}}}$$

При исследовании разных реле обычно $W = 5 \dots 20$.

При использовании подвижной измерительной катушки поток измеряется быстрым введением катушки в воздушный зазор исследуемой магнитной цепи или же удалением ее из зазора. Размеры катушки выбираются так, чтобы катушка была сцеплена с измеряемым потоком.

При использовании неподвижной катушки она наматывается на исследуемую магнитную цепь, а уменьшение магнитного потока достигается включением или выключением цепи возбуждения. При измерении потока магнитных цепей с подвижным якорем (реле, электромагнит и др.) можно держать ток в обмотке возбуждения магнитной цепи постоянным, а положение якоря изменять постепенно.

Неподвижная катушка применяется в случае, когда применение подвижной катушки затруднительно или даже невозможно или если ошибка, возникающая вследствие остаточного магнетизма измеряемой магнитной цепи, не имеет существенного значения. Возможно также применение разных комбинированных методов измерения (например, измерение остаточного магнетизма подвижной катушки и дальнейшее измерение изменения потока неподвижной катушкой).

Положение стрелки веберметра выбирается в соответствии с ожидаемым направлением и величиной отклонения. Если направление отклонения заранее неизвестно, то стрелка ставится на середине шкалы.

При всех измерениях рекомендуется измерять отклонения в разные стороны (например, при включении и выключении тока возбуждения в случае неподвижной катушки) и найти их арифметическое среднее.

После работы веберметр следует арретировать.

3. Измерение магнитного потока в магнитных цепях переменного тока

В магнитных цепях переменного тока не могут быть применены измерительные приборы магнитоэлектрической системы, так как магнитный поток изменяется во времени, и при периодических процессах его среднее значение может равняться нулю.

Поэтому в магнитных цепях переменного тока для нахождения магнитного потока в определенном сечении цепи используется формула

$$E = 4,44 f W \Phi_M,$$

где Φ_M — амплитудные значения магнитного потока в рассматриваемом сечении, вб;

f — частота, гц;

W — число витков измерительной катушки;

E — эффективные значения электродвижущей силы, индуктированной в катушке, в.

Магнитный поток в рассматриваемой цепи

$$\Phi_M = \frac{E}{4,44 f W}.$$

Приведенная формула действительна только для синусоидально изменяющегося магнитного потока.

Для определения магнитного потока вокруг рассматриваемого сечения наматывается измерительная катушка. Во избежание возможных ошибок размеры катушки выбираются так, чтобы она не сцеплялась нежелательными потоками. Магнитная цепь возбуждается и индуктированная э.д.с. измеряется на клеммах измерительной катушки. Магнитный поток находят из вышеуказанной формулы по известным значениям частоты тока, числа витков катушки и индуктированной э.д.с. Самопотребление вольтметра, применяемого для измерения э.д.с., должно быть минимальным. Подходящими для этого являются ламповые вольтметры, имеющие большое внутреннее сопротивление.

Если магнитный поток несинусоидален, для измерения электродвижущей силы необходимо применять другие методы. Найти коэффициент формы э.д.с.

$$G_K = \frac{E_{эфф}}{E_{ср}}$$

и найти поток по формуле

$$\Phi_M = \frac{E}{G_K f W}.$$

Для измерения несинусоидальности магнитного потока можно использовать также электронный осциллограф. Осциллограф следует заранее калибровать для измерения напряжения. Схема измерения такая же, как и при измерении потока ламповым вольтметром.

Преимуществом такого метода измерения является возможность измерения мгновенных значений периодически изменяющегося магнитного потока.

1-3. Измерение времени

При исследовании свойств электрических аппаратов возникает необходимость определения временных характеристик аппарата. Измеряемые промежутки времени могут быть условно разделены на длинные (измеряемые при помощи часов или секундомера) и короткие. Для измерения коротких промежутков времени используются разные устройства. Из них ниже описаны вибрационный секундомер, емкостный миллисекундомер, а также метод измерения времени осциллографом. Для измерения времени требуются такие приборы, которые могут быть запущены и остановлены в зависимости от течения процесса. Целесообразными оказались электрические методы запуска и остановки.

I. Измерение времени вибрационным секундомером

Основным элементом этого секундомера является поляризованный вибратор, частота колебаний которого равна частоте

тока, проходящего через обмотку вибратора (50 гц). Язычок вибратора связан с часовым механизмом якорного типа. Якорное колесо непосредственно связано со стрелкой секундомера (1 полный оборот = 1 сек) и через зубчатую передачу с малой стрелкой для определения целых секунд (полный оборот = 10 сек).

Стрелка секундомера движется ступеньками по 0,01 сек в каждой, поэтому при измерении промежутков времени меньше 0,1 сек могут возникнуть значительные ошибки.

Секундомер может быть запущен или остановлен по-разному:

1) контактами, включенными последовательно с секундомером,

2) контактами, включенными параллельно с секундомером.

Соответственно для измерения времени могут быть составлены разные схемы, часть которых приведена на фиг.3.

Стрелки секундомера возвращаются в исходное положение при помощи кнопки, расположенной с боку секундомера.

2. Измерение времени емкостным секундомером

Основным элементом секундомера является конденсатор, который заряжается током постоянной заданной величины в течение измеряемого промежутка времени. Напряжение конденсатора увеличивается в соответствии с формулой

$$U = \frac{i t}{C} = kt,$$

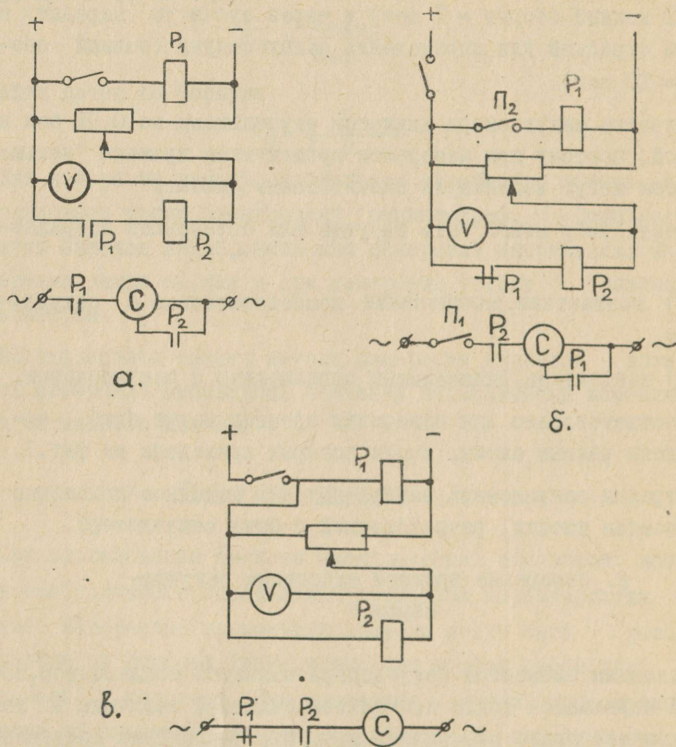
где U — напряжение на конденсаторе в конце зарядки;

i — ток зарядки;

C — емкость конденсатора;

k — коэффициент пропорциональности;

t — измеряемый промежуток времени.



Фиг. 3.

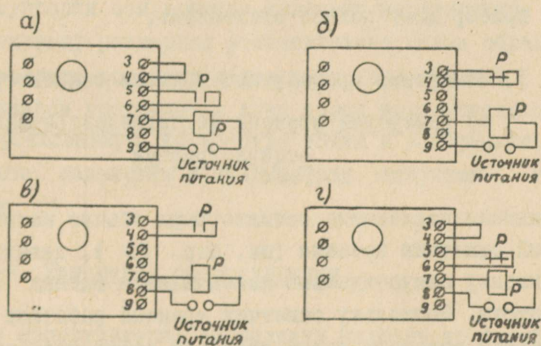
Измерение времени вибрационным секундомером:

- а - измерение времени срабатывания реле;
- б и в - измерение времени отпущения реле;
- P_1 - промежуточное реле;
- P_2 - исследуемое реле;
- С - вибрационный секундомер.

Измерением напряжения на клеммах конденсатора в конце зарядки при помощи лампового вольтметра с большим внутренним сопротивлением можно найти искомый промежуток времени при условии, что коэффициент пропорциональности известен.

Обычно ламповый вольтметр градуируется прямо в единицах времени.

Секундомер состоит из конденсатора, стабилизатора зарядного тока, питающего выпрямителя, лампового вольтметра и устройства запуска, при помощи которого одновременно включаются исследуемое реле и цепь зарядки конденсатора.



Фиг. 4.

Секундомером можно измерить (фиг. 4):

1) время срабатывания реле при помощи размыкающих и замыкающих контактов (схема а и б);

2) время возврата реле при помощи размыкающих и замыкающих контактов (схемы в и г).

В схемах Р обозначает исследуемое устройство (реле или контактор).

Для измерения составляют соответствующую задаче схему, регулируют ток зарядки конденсатора и нулевую точку шкалы и выбирают подходящий предел измерения.

Регулировка и техника измерения подробно описаны в инструкции прибора. Если отклонение стрелки больше размера шкалы или же около нуля, выбирают новый предел измерения и повторяют измерение. Ток зарядки и нулевую точку лампового вольтметра проверяют перед каждым измерением.

Секундомер измеряет сумму всех промежутков времени, начиная с момента замыкания контактов запуска до момента замыкания контактов останова. В случае, если останавливающий секундомер контакт не изменил своего положения (например, реле не сработало), то секундомер не останавливается и прибор дает полное отклонение.

3. Измерение промежутков времени осциллографом

а) Измерение времени магнитоэлектрическими осциллографами

Магнитоэлектрические осциллографы обычно имеют так называемый отметчик времени (см. стр. 20), дающий на экран и фотопленку синусоидально изменяющийся сигнал определенной частоты. Поскольку отметчик времени работает непрерывно, следует начало и конец процесса зафиксировать визуально, по осциллограмме процесса. Если метки времени отсутствуют или ими невозможно пользоваться, то можно применять вибратор, питаемый сетью переменного тока известной частоты.

Вибратор может работать постоянно или же быть запущен и остановлен в зависимости от исследуемого процесса. Схемы запуска и останова могут быть аналогичными схемам, применяемым и при работе с вибрационным секундомером.

б) Измерение времени электронным осциллографом

Зафиксирование переходных процессов и измерение соответствующих промежутков времени возможно при помощи осциллографа с послесвечением (например, ЭНО), при использовании встроенного источника импульсов, модулирующего яркость луча. При включении модулирующего устройства выключателем "калибровка длительности" непрерывная линия будет заменена прерывистой линией. Для лучшего наблюдения ее яркость луча необходимо установить относительно малой (ручкой "яркость").

Частота импульсов, следовательно и продолжительность промежутков времени между ними регулируется ручкой "калибровка длительности".

Для градуировки оси времени включают модулирующее устройство, и частоту развертки устанавливают таким образом, чтобы цикл развертки составил целое число промежутков (т.е. точки при каждом прохождении луча через экран остались на месте). Перечислением количества точек и измерением на экране масштаба развертки в миллиметрах получают масштаб оси времени.

I-4. Измерение сопротивления

Активное сопротивление проводника находят по формуле

$$r = k_n \varrho \frac{\ell}{s} = \frac{k_n \ell}{\gamma s},$$

где ϱ - удельное сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;
 γ - удельная проводимость, $\text{сим}/\text{мм}^2$;
 ℓ - длина проводника, м;
 s - поперечное сечение проводника, мм^2 ;
 k_n - коэффициент, учитывающий поверхностный эффект и эффект близости (при постоянном токе $k_n = 1$, при проводниках из немагнитных материалов при частоте 50 гц $k_n \approx 1$).

Зависимость активного сопротивления от температуры

$$r_{\vartheta} = r_0 [1 + \alpha (\vartheta - \vartheta_0)],$$

где r_0 - сопротивление при температуре;
 ϑ - температура, °C;
 α - температурный коэффициент, 1/град;
 ϑ_0 - базовая температура, °C.

Для медных проводников может быть использована формула

$$r_{\vartheta} = r_0 \frac{235 + \vartheta}{235 + \vartheta_0},$$

а для алюминиевых проводов

$$r_{\vartheta} = r_0 \frac{240 + \vartheta}{240 + \vartheta_0}.$$

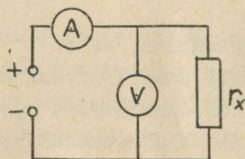
Ниже познакомимся с так называемым методом вольтметра-амперметра, а также с измерением малых сопротивлений при помощи микро-омметра (порядка 5 мком до 1 ом).

1. Измерение сопротивления при помощи вольтметра и амперметра

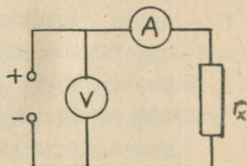
Имеются две основные схемы. Схема на фиг. 5 предусмотрена для измерения малых сопротивлений порядка 1 ом и ниже. Сопротивление находят по формуле

$$r_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_g}},$$

где U - показание вольтметра;
 I - показание амперметра;
 r_g - внутреннее сопротивление вольтметра.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

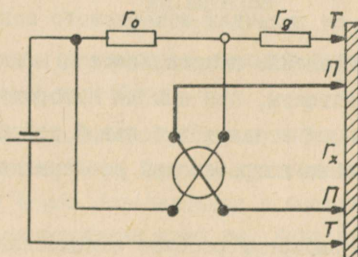
По схеме, приведенной на фиг. 6 измеряются средние и большие сопротивления, определяемые из формулы

$$r_x = \frac{U - I_a r_a}{I},$$

где r_a - внутреннее сопротивление амперметра.

2. Измерение сопротивления микро-омметром

Микро-омметр типа М246 - портативный измерительный прибор с пятью пределами измерения (100 мком, 1000 мком, 10 мом, 100 мом и 1000 мом). Принципиальная схема его показана на фиг. 7.



Фиг. 7.

В приборе применена сверхчувствительная магнитоэлектрическая логометрическая система. Использование логометра позволяет уменьшить зависимость показания прибора от проходящего через сопротивление тока и избежать регулировку тока до и во время измерения.

Измеряемое сопротивление включают последовательно с эталонным сопротивлением Γ_0 и добавочным сопротивлением Γ_9 . Добавочное сопротивление ограничивает ток в цепи.

Большая катушка логометра соединена параллельно с измеряемым сопротивлением. Крутящий момент катушки пропорционален току катушки, поскольку она находится в магнитном поле, индукция которого постоянна в любом положении рамки.

Ток катушки пропорционален падению напряжения на измере-
мом сопротивлении, а это падение напряжения в свою оче-
редь пропорционально измеряемому сопротивлению (при усло-
вии, что ток в цепи не изменяется во время измерения).

Параллельно с эталонным сопротивлением включена малая
катушка логометра. Она находится в магнитном поле, индук-
ция которого увеличивается с увеличением угла поворота ка-
тушки. Малая катушка создает противодействующий момент. На-
правление тока в малой катушке выбрано так, что вследствие
взаимного влияния тока и магнитного поля рамка стремится
повернуться в нулевое положение.

Следовательно, угол поворота системы определяется отно-
шением двух токов (проходящих через большую и малую катуш-
ки) и прямо зависит от величины измеряемого сопротивления.

Измеряемое сопротивление присоединяется к микро-омметру
в четырех точках. Контакты, при помощи которых образуется
цепь тока, отделены от контактов большой катушкой. Это
необходимо во избежание погрешностей от переходного сопро-
тивления контактов.

Перед измерением выбирают рабочее напряжение и соедини-
тельные провода. После составления схемы измерения прибор
включают в сеть питания. Переключатель пределов измерения
устанавливают на наибольший предел. После включения пита-
ния на шкале появится освещенная проекция стрелки.

Измерительные зажимы устанавливают на измеряемое сопро-
тивление таким образом, чтобы контакты с обозначением П
были направлены к середине измеряемого сопротивления и сов-
падали с пунктами, которыми желают измерить сопротивление.
Если поверхность сопротивления загрязнена или оксидирова-
на, необходимо добиться удовлетворительного контакта.

Цепь измерения рекомендуется включить только во время
чтения показания на шкале. Для предела 100 мком продолжи-
тельность включения не должна превышать 15 сек. Повторное
включение производится не раньше чем через 1 мин после вы-
ключения.

Если измеряемое сопротивление превышает выбранный предел измерения больше чем 40 раз, то прибор выключается вследствие срабатывания предохранительного устройства. Если после повторного включения проекция стрелки на шкале не видна, следует выбрать новый предел измерения.

Не разрешается соединять между собой зажимы тока и напряжения в случае, если цепь тока разомкнута. Такое положение соответствует измерению сопротивления бесконечно большой величины, что влечет за собой выход из строя прибора.

После окончания измерений прибор выключается, схему разбирают и прибор кладется в ящик.

I-5. Регистрация процессов, изменяющихся во времени

В зависимости от скорости течения процесса применяются разные приборы и устройства.

Медленно изменяющиеся процессы наблюдаются обычными измерительными приборами, причем течение процесса записывается оператором через определенные промежутки времени. Применяются также самопишущие приборы. Если оператор не в состоянии записать ход процесса вследствие быстрого изменения его, то используются быстродействующие самопишущие измерительные приборы.

Для наблюдения и регистрации наиболее быстрых процессов применяются осциллографы. При помощи осциллографа можно следить за процессами продолжительностью от тысячей доли секунды до нескольких минут.

По сравнению с рассмотренными выше измерительными приборами осциллографы имеют ряд преимуществ:

- 1) при помощи их можно наблюдать более быстрые процессы;
- 2) возможно измерение мгновенных значений процесса;
- 3) большое количество одновременно наблюдаемых процессов (при электронном осциллографе - 2, при магнитоэлектрическом - до 8).

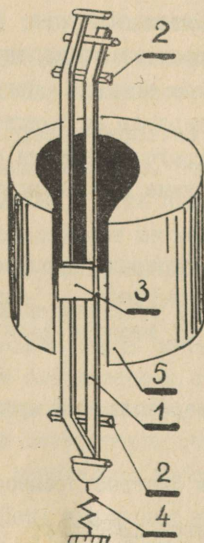
I-6. Магнитоэлектрический осциллограф
(МПО-2 и Н-102)

I. Введение, принцип действия

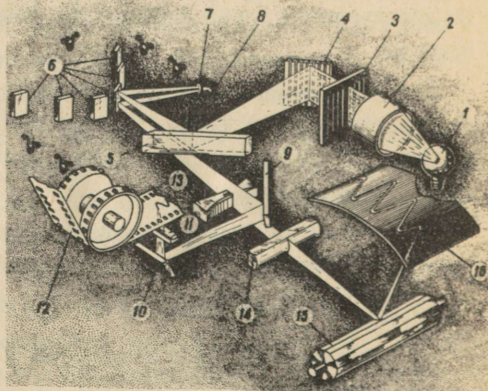
Магнитоэлектрический осциллограф предусмотрен для одновременного наблюдения и регистрации 8 отдельных процессов. Для этого осциллограф имеет комплект вибраторов.

Вибратор (фиг. 8) состоит из постоянного магнита 5, в воздушном зазоре которого установлен шлейф 1 из тонкой металлической ленты. Шлейф опирается на призмы 2. На середине шлейфа установлено зеркало 3. Шлейф натянут при помощи пружины 4. Весь вибратор установлен в защитном кожухе и залит маслом.

Когда через шлейф не проходит ток, плоскость его совпадает с направлением силовых линий магнитного поля. При прохождении тока через шлейф смещаются плечи его в разные стороны и зеркало поворачивается на определенный угол, пропорциональный проходящему через шлейф току.



Фиг. 8.



Фиг. 9.

Принцип действия осциллографа выявляется по оптической схеме, приведенной на фиг. 9.

Лучи света от лампы I проходят конденсатор 2 и диафрагму 3, разделяющую свет на два узких пучка лучей. Каждый из них попадает на одно из поворотных зеркал. Они расположены таким образом, чтобы проходящее зеркало 5 свет отражался от зеркала 6 на линзу 7 вибратора и отсюда на зеркало 8 вибратора. Свет, отражающийся от зеркала вибратора, проходит снова линзу 7 и отражается от зеркала 6 на сферическую линзу I3 и на зеркало 9. Здесь световой луч распадается на две части. Первая часть направляется через зеркало I0 и линзу II в регистрирующее устройство I2. Вторая часть проходит сферическую линзу I3, цилиндрическую линзу I4, отражается от зеркального барабана I5 и попадает на экран I6.

Регистрирующее устройство I2 и зеркальный барабан I5 запускаются соответствующим электроприводом. При вращении с постоянной скоростью на экране и фотопленке возникает изображение процесса.

2. Технические данные осциллографов

а) Вибраторы. Осциллограф имеет комплект вибраторов, данные которых приведены в таблице I.

Т а б л и ц а I

Тип вибратора	Чувствительность мм/ма		Макс. сопротивление, Ом	Макс. доп. амплитуда тока, ма	Макс. доп. отклонение на экране, мм	Собственная частота колебаний в воздухе, гц
	на пленке	на экране				
I	2	3	4	5	6	7
I	0,2	0,8	3,5	100	100	5000
П	0,04	0,16	3,0	150	25	10000
IУ	1,0	4,0	6,0	25	100	3000
У	2,5	10,0	6,0	10	100	3000
УП	0,015	0,06	1,5	250	12	2000
УШ	13,0	52,0	14,0	2	100	1300

1	2	3	4	5	6	7
IX	62,0	250	50	0,4	100	400
X	250	1000	50	0,1	100	200
HI35-0,6	10...18	40...70	4	2	100	-
HI35-0,9	5...18	20...32	9	15	100	-
HI35-1,5	2,5...5	10...20	9	16	100	-
HI35-2	0,5...0,7	2...3	4	50	100	-
HI35-3	0,2...0,4	0,4...1,6	4	70	100	-

Диапазон рабочей частоты вибраторов приведен в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Диапазон рабочей частоты, гц	Типы вибраторов
до 600	HI35-0,6; MOB2-Y
до 900	HI35-0,9; MOB2-IY
до 1500	HI35-1,5; MOB2-I
до 2000	HI35-2; MOB2 (промежуточный между I и II)
до 3000	HI35-3; MOB2-II
до 6000	HI35-6; MOB2-UI

Рабочей частотой магнитоэлектрических вибраторов принимают обычно до 60% частоты их собственных колебаний в воздухе.

В гнездо № I может быть установлен отметчик времени, дающий без внешнего питания кривую частотой 500 гц.

б) Осциллограммы фиксируются на фотопленку шириной 35 мм. Чувствительность пленки 45-90 ед. по ГОСТ. В одну кассетку помещается 5 м пленки. Имеется указатель запаса пленки.

в) Скорость движения регулируется коробкой передач в пределах от I до 3000 мм/сек ступенчато, с 12 ступенями скорости.

г) Осциллограф имеет ограничитель кадров, автоматически выключающий ведущий механизм пленки после выбега заданной длины пленки. Длина кадра может быть выбрана в пределах от 0,1 до 5 метров.

д) Имеется устройство для фотографирования автоматическим или дистанционным управлением.

3. Работа с осциллографом

а) Выбор вибратора

Выбор вибратора производится на основе таблиц I и 2. Поскольку обычно исследуемые напряжения и токи больше допустимых для вибратора значений, необходимо применять добавочные сопротивления и шунты.

Величина добавочного сопротивления определяется из формулы

$$r_A = \frac{U - I_{доп} r_B}{I_{доп}}$$

где U — предполагаемое максимальное амплитудное значение напряжения;

$I_{доп}$ — максимальное амплитудное значение тока, допустимое для вибратора;

r_B — сопротивление вибратора.

Для шунтирования применяется схема, приведенная на фиг. 10. Сопротивление $r_ш$ предусмотрено для уменьшения влияния индуктивности вибратора, его величина не меньше $5 r_B$.

Величина шунтирующего сопротивления

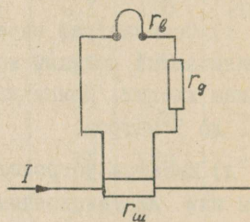
$$r_{ш} = \frac{I_{доп}(r_B - r_д)}{I - I_{доп}}$$

где I - максимальное предполагаемое амплитудное значение тока;

$I_{\text{доп}}$ - допустимое амплитудное значение тока вибратора;

$r_{\text{в}}$ - сопротивление вибратора;

$r_{\text{д}}$ - добавочное сопротивление.



Фиг. 10.

Во избежание выхода из строя вибраторов рекомендуется максимальный ток вибратора выбрать меньше допустимого, указанного в паспорте вибратора.

Пример: Пусть требуется исследование переходного процесса $I = f(t)$, возникающего при включении электромагнита постоянного тока. Данные катушки: $U_n = 220$ в, $r = 1000$ ом.

Максимальный предполагаемый ток во время опыта

$$I = \frac{U_n}{r} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ а.}$$

Выбираем вибратор X (таблица I), сопротивление которого $r_{\text{в}} = 50$ ом и максимально допустимая амплитуда тока $I_{\text{доп}} = 10^{-4}$ а. Выбираем $I_{\text{доп}} = 8 \cdot 10^{-5}$ а.

Добавочное сопротивление

$$r_{\text{д}} \geq 5 r_{\text{в}} = 250 \text{ ом.}$$

Величину шунтирующего сопротивления

$$r_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{доп}}(r_{\text{в}} + r_{\text{д}})}{I - I_{\text{доп}}} = \frac{8 \cdot 10^{-5}(50 + 250)}{0,22 - 8 \cdot 10^{-5}} = 0,109 \text{ ом.}$$

После установления вибраторов в гнезда следует выключить все вибраторы соответствующими выключателями.

б) Выбор скорости движения фото пленки

Скорость пленки зависит как от самого исследуемого процесса, так и от добываемой точности измерения. Для фиксирования малых промежутков времени требуется большая скорость. В общем рекомендуется руководствоваться правилом: наименьший промежуток времени, который подлежит определению осциллографом, должен соответствовать по меньшей мере длине 2 мм на пленке. Переключение скорости производится только при выключенном двигателе.

в) Изменение диафрагмы и напряжения накала лампы

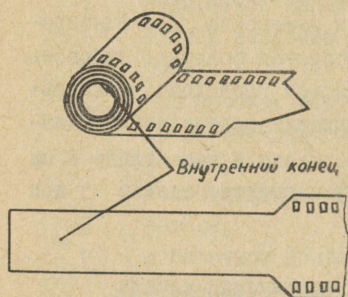
Изменением диафрагмы регулируется ширина линии осциллограммы. Диафрагма регулируется отдельно для вибраторов 1 - 2 - 3 - 4 и 5 - 6 - 7 - 8. Диафрагму выбирают с учетом, чтобы линия была нормально освещена при допустимом для лампы напряжении.

Изменением напряжения лампы регулируется яркость изображения на экране и пленке. Чем больше скорость движения пленки, тем больше должна быть яркость лампы. При максимальной скорости пленки напряжение лампы во время фотографирования рекомендуется выбирать в пределах 7 - 8 в, а при минимальной скорости - 2 - 3 в.

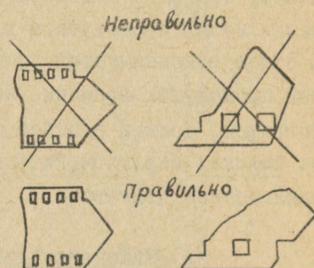
г) Установка пленки в кассетку и в осциллограф

В кассетку помещается 5 м пленки. В конце ленты длиной 10-15 см следует удалить перфорацию, как показано на фиг. II, с целью облегчения извлечения пленки от ведущего механизма после работы.

Пленку наматывают в рулон эмульсионным слоем снаружи и кладут в кассетку. Конец пленки, оставшийся вне кассетки, в соответствии с фиг. I2 отрезается.



Фиг. 11.



Фиг. 12.

Выступающий из кассетки конец пленки устанавливают в канал пленки, а кассетку — в соответствующее гнездо. Указатель запаса ленты устанавливают в положение, соответствующее длине ленты. Открывают приемную кассетку и запускают осциллограф на минимальной скорости при длине кадра около 10 см. Если пленка правильно заправлена, то слышится характерный шорох (от трения пленки).

После контрольного запуска проверяют, пошла ли пленка в приемную кассетку. Это делается осторожным приподнятием кассетки вверх. Если конец пленки находится в приемной кассетке, то удаление кассетки из гнезда не удастся. После проверки устанавливают кассетку в нормальном положении. Осциллограф готов к фотографированию.

д) Подготовка измерительных цепей

Чтобы проанализировать данные опыта, необходимо градуировать вибраторы, т.е. определить зависимость между размерами изображений на экране (на пленке) и характеризующими процесс параметрами (ток, напряжение и т.д.).

Градуировку вибраторов производят в следующем порядке:

- 1) устанавливают положение нулевой линии исследуемого процесса на экране;
- 2) градуируют вибраторы,
- 3) фиксируют положение нулевой линии и изображения градуирующих сигналов на пленку.

Положение нулевой линии выбирают таким, чтобы изображение рассматриваемого процесса полностью поместилось на экране. Для этого необходимо знать направление изменения сигнала и предполагаемое значение максимального отклонения. Максимальное отклонение можно установить опытным путем, если дать значение предполагаемого сигнала к клеммам вибратора. Заранее следует убедиться, что этот сигнал безопасен для вибратора (т.е. шунты и добавочные сопротивления правильно определены). Максимальное отклонение может быть установлено и расчетом по известным значениям максимального сигнала, шунта или добавочного сопротивления и чувствительности вибратора.

Пример: Рассмотрим определение максимального отклонения вибратора, выбранного в предыдущем примере.

Максимальный ток, проходящий через вибратор при максимальном сигнале, $I_{доп} = 0,08$ А. Чувствительность вибратора (табл. I) составляет 1000 мм/ма; максимальное отклонение $h = 1000 \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 80$ мм.

Следует обратить особое внимание на установление нулевой линии при процессах, изменяющих знак в течение опыта. Здесь необходимо следить, чтобы изображение не выходило через край экрана с обеих сторон нулевой линии.

Если одновременно рассматриваются несколько процессов, то расположение нулевых линий выбирают так, чтобы процесс расшифровки потом был менее трудоемким. Обычно стараются соединить между собой нулевые линии процессов, зависящих друг от друга. Максимальные значения сигналов выбирают

с учетом того, чтобы изображения отдельных процессов не совпадали. Если это затруднительно, приходится сместить нулевые линии. Нулевая линия устанавливается ручкой, имеющейся при каждом вибраторе.

Вибратор может быть градуирован одним из следующих двух способов:

1. Измеряют на экране или на проявленной пленке величину отклонения и по известным значениям чувствительности вибратора, сопротивления, шунта или добавочного сопротивления, находят ток или напряжение в цепи.

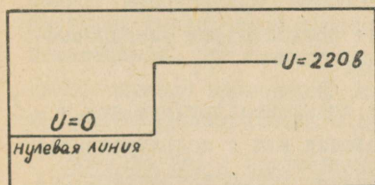
2. По измеренным значениям исследуемой величины и соответствующего отклонения луча на экране или на пленке можем найти чувствительность системы измерения (в/мм, а/мм и т.д.) Этой величиной можно дальше пользоваться при расшифровке данных опыта.

Следует отметить, что точность измерения отклонения на пленке составляет около $\pm 0,2 \dots 0,5$ мм. Чтобы получить градуировку с точностью $\pm 1\%$, требуется отклонение на пленке не менее 20 мм. Следовательно, градуировку вибраторов рекомендуется произвести вблизи максимальных токов или напряжений, возникающих в цепи.

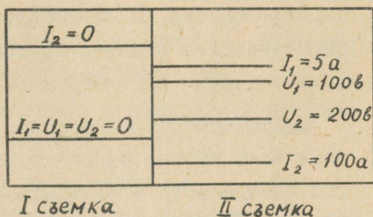
Для градуировки в рассматриваемой цепи устанавливают градуирующую величину, а на пленку фотографируют нулевую линию и сигнал градуирующей величины. Это делается одной съемкой: сначала снимается нулевая линия (с выключенным вибратором), а затем включают вибратор и на пленку проектируется градуирующая величина.

В протоколе опыта показывают возникающие на экране изображения (фиг. 13) с указанием градуирующей величины.

Если имеется несколько одновременно исследуемых процессов, обычно делается 2 съемки. На одной из них снимаются нулевые линии, а на другой - градуирующие величины каждого процесса.



Фиг. 13.



I сьемка

II сьемка

Фиг. 14.

Пример протокола градуировки при нескольких одновременно регистрируемых процессах приведен на фиг. 14. Длиной отрезка пленки выбирается обычно 5...10 см, а скоростью движения пленки - 10 мм/сек.

ж) Осциллографирование

После подготовки можно приступить к осциллографированию.

При исследовании периодических процессов целесообразно включить осциллограф вручную. Для этого имеется кнопочный выключатель. Длина кадра выбирается с учетом того, чтобы на осциллограмме вместились не менее 10 полупериодов. Можно пользоваться и дистанционным управлением, для чего на осциллографе имеются соответствующие клеммы.

При помощи этих клемм можно составлять и схемы автоматического управления, допускающие включение и выключение осциллографа по необходимости. Однако, при исследовании переходных процессов может случиться, что ведущий механизм пленки сработает с задержкой, вследствие чего на осциллограмме получается не все изображение процессов.

При таких быстрых процессах целесообразно сначала включить ведущий механизм пленки, а затем исследуемый процесс. Это возможно с использованием встроенных в осциллограф контактов, включаемых или выключаемых с запаздыванием.

При ручном, а также дистанционном управлении следует запомнить, что пленка движется только во время нажатия на

кнопку запуска. Если требуется работа осциллографа без вмешательства оператора, следует пользоваться блокировочными схемами пусковых контактов.

Выключение осциллографа может произойти вручную, при помощи схем автоматического управления или с использованием так называемого ограничителя кадров, останавливающего осциллограф после прохождения заданной длины пленки.

Осциллографирование происходит в следующем порядке:

- 1) включают ведущий двигатель;
- 2) включают лампу и регулируют яркость;
- 3) включают необходимые вибраторы;
- 4) производят запуск ведущего механизма пленки;
- 5) включают исследуемый процесс.

При работе с осциллографом необходимо запомнить следующее:

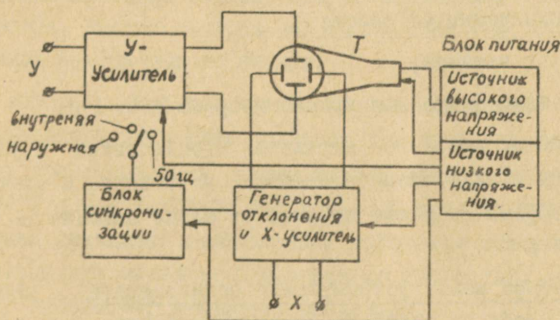
- 1) вибраторы можно включать только после убеждения, что проходящий его ток не больше допустимого;
- 2) переключение скоростей допускается только при неподвижном двигателе;
- 3) напряжение лампы не должно превышать 6 вольт. При максимальной скорости движения пленки допускается временное превышение напряжения лампы до 7-8 в, но только на время фотографирования;
- 4) при быстропотекающих процессах невозможно наблюдать течение процесса на экране.

I-7. Электронные осциллографы

Электронный осциллограф является наиболее быстродействующим устройством для фиксации переходных процессов. Он предусмотрен прежде всего для наблюдения периодических процессов, причем на экране возникает стоящее изображение. Для регистрации однократных мгновенных процессов необходим фотоаппарат, снимающий изображение, сверкнувшее на экране.

обычно невидимое невооруженным глазом. Для наблюдения за быстрыми импульсными процессами такая методика является незаменимой. При относительно медленных процессах более целесообразно применение осциллографа с послесвечением или же магнитоэлектрического осциллографа.

Осциллограф с послесвечением отличается от обычного электронного осциллографа, главным образом, специальным экраном, сохраняющим на некоторое время изображение после выключения электронного луча. В сумерках изображение наблюдается в течение 10–20 сек, в полной темноте еще дольше. Это обстоятельство **облегчает** наблюдение переходных процессов. Изображение сохраняется достаточно долго для того, чтобы успеть копировать вручную с экрана на кальку несложные кривые. Часто требуется знать только некоторые характерные параметры процесса (максимальные значения величин, продолжительность процесса, характер колебаний и т.д.), получаемые прямо с экрана при помощи шкал на нем.



Фиг. 15.

Блок-схема электронного осциллографа приведена на фиг. 15. Она состоит из электронно-лучевой трубки Т, задачей которой является превращение электрического сигнала в видимое изображение. Кроме того, в схеме имеется ряд вспомогательных блоков.

При помощи вертикального усилителя производится усиление исследуемого сигнала до значения, необходимого для электронно-лучевой трубки.

Задачей генератора развертки является формирование пилообразного напряжения, предусмотренного для развертывания изображения периодическим или однократным отклонением электронного луча в горизонтальном направлении. Горизонтальный или X-усилитель используется для усиления напряжения развертки, а также для усиления сигнала в горизонтальном направлении при специальных измерениях.

Задачей блока синхронизации является определение фазы пилообразного напряжения по отношению к исследуемому сигналу при исследовании периодических процессов и запуск генератора развертки под влиянием исследуемого сигнала, если осциллограф работает в режиме однократной или так называемой ждущей развертки.

В наиболее распространенных осциллографах имеется несколько возможностей синхронизации пилообразного напряжения:

- 1) исследуемым сигналом;
- 2) сетью питания;
- 3) внешним синхронизирующим напряжением.

Источником высокого напряжения производится ускорение электронов в луче. Вспомогательные устройства и электронно-лучевая трубка получают питание от блока питания низкого напряжения.

При выборе места установления осциллографа необходимо следить, чтобы на экран не попал прямой свет, так как освещенный экран требует ненормально большой яркости луча, что влечет за собой уменьшение срока службы трубки.

До включения осциллографа регулятор яркости следует установить в положение минимальной яркости во избежание перегрузки катода электронно-лучевой трубки. После включения осциллографа и истечения времени подогрева (это время приво-

дится в инструкции осциллографа и составляет I-I5 мин) яркость луча регулируется в требуемых пределах. Яркость луча выбирается минимальной, но достаточной для наблюдения изображения без переутомления глаз. Слишком яркая точка может испортить экран. Далее следует фокусирование луча соответствующим регулятором, причем устанавливают минимальный размер точки или линии.

После проверки значений, подаваемых на вход осциллографа сигналов и сравнения их с допустимыми значениями, можно включить исследуемый сигнал. В случае необходимости следует использовать делители напряжения или шунты.

Далее устанавливаются размеры изображения на экране. Ширина изображения регулируется изменением потенциала, подаваемого на X или горизонтальные пластины трубки (при помощи ручки "Горизонтальное усиление").

Ширина изображения считается оптимальной, если осциллограмма занимает всю полезную поверхность экрана.

Высота изображения регулируется изменением значения сигнала, подаваемого на Y-вход, или же изменением усиления Y-усилителя. Высота изображения выбирается так, чтобы она составляла 60-70% высоты экрана.

При выборе режима развертки следует запомнить, что режим непрерывной развертки подходит для исследования периодических процессов, а в режиме ждущей развертки луч задерживается в левом исходном положении до момента, когда входной сигнал превышает определенное пороговое значение. В этот момент луч начинает двигаться со скоростью, соответствующей выбранному диапазону развертки.

Режимом ждущей развертки удобно пользоваться в случае относительно быстрых процессов, начальный момент которых заранее точно известен, поскольку в этом режиме осциллограф запускается самим сигналом.

Частота развертки обычно регулируется ступенчато, а в протяжении выбранного диапазона и плавно, для чего у осцил-

лографа имеются ручки "Диапазон развертки" и "Регулировка развертки - плавно".

Движение луча в горизонтальном направлении регулируется соответствующим регулятором ("Амплитуда разверток").

Частота развертки синхронизируется исследуемым сигналом, внешним сигналом или частотой сети. Для этого имеется переключатель, при помощи которого выбирается вид синхронизации. Если желают синхронизировать частоту развертки внешним сигналом, то источник этого сигнала присоединяют к соответствующим клеммам осциллографа ("Вход синхронизации"). Требуемое значение напряжения синхронизации дается в паспорте осциллографа.

Если исследуемое изображение движется на экране, следует произвести подрегулировку регулятором "Амплитуда синхронизации".

Градуировку осциллографа легче всего произвести сравнением сигнала на экране с его значением, измеренным при помощи измерительного прибора. Соотношение этих измерений представляет собой масштаб градуировки.

Не следует забывать, что измерительные приборы обычно показывают среднее или эффективное значение измеряемой величины, а на экране осциллографа получаем амплитудное значение.

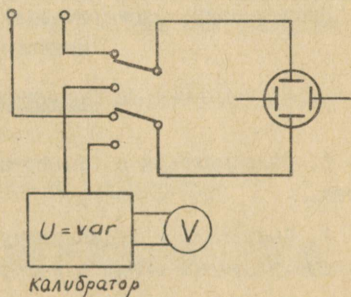
Измерение промежутков времени и градуировка осциллографа изложены выше (стр. 14).

Для измерения напряжения имеется несколько способов. Одним простейшим из них является градуирование У-усилителя осциллографа эталонным напряжением, причем следует запомнить, что после градуировки нельзя больше изменять коэффициент усиления.

Более точным является метод, где исследуемый сигнал сравнивается с калиброванным сигналом (фиг. 16). Здесь сначала устанавливается высота отклонения, соответствующая из-

меряемому сигналу, а потом, при подаче на вход осциллографа калиброванного сигнала, стараются изменить последний для того, чтобы добиться такого же отклонения.

Измерение токов по существу не отличается от измерения напряжений. Следует только заметить, что осциллографы имеют большое внутреннее сопротивление, поэтому непосредственное их включение в последовательной цепи измерения невозможно.

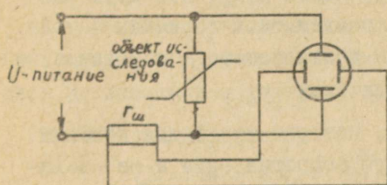


Фиг. 16.

Обычно пользуются шунтами, причем в случае цепей переменного тока необходимо следить, чтобы индуктивность шунта не оказала влияния на точность результатов измерения.

Определение вольт-амперных характеристик

При помощи осциллографа возможно наблюдать вольт-амперные характеристики разных нелинейных сопротивлений. Для этого дается пропорциональный напряжению сопротивления сигнал на Y-пластины осциллографа, а отклонение луча производится сигналом, пропорциональным току и подаваемым на X-пластины (Фиг. 17).



Фиг. 17.

Калибровкой по току и напряжению соответствующих усилителей представляется возможным произвести следующий количественный анализ полученной характеристики.

Раздел П . РУКОВОДСТВА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторная работа № I

Исследование электрической дуги постоянного и переменного тока

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с конструкцией экспериментального устройства.
2. Составить принципиальную электрическую схему, выбирая нужные элементы схемы и измерительные приборы.
3. При помощи формулы Айртона рассчитать вольт-амперные характеристики электрической дуги при двух различных значениях длины дуги.
4. Найти теоретические зависимости $I_{2\partial} = f(r_{ш})$ и $I_{кз} = f(r_{ш})$ при двух различных значениях длины дуги.

Б. Экспериментальная часть

1. Исследование электрической дуги постоянного тока
 1. Снять вольт-амперные характеристики электрической дуги $U_{\partial} = f(I)$ при двух различных значениях длины дуги. Определить ток цепи $I_{кз}$ при короткозамкнутых электродах.
 2. Определить зависимость тока гашения дуги $I_{2\partial}$ от значения сопротивления $r_{ш}$, шунтирующего дугу, при двух различных длинах дуги. Определить зависимость величины тока короткого замыкания от величины шунтирующего сопротивления $I_{кз} = f(r_{ш})$ при семи разных величинах $r_{ш}$.
 3. Определить величину $r_{ш}$, которая нужна для гашения стабильной дуги без шунтирующего сопротивления и ее зависимость от тока дуги при постоянной длине дуги.

II. Исследование электрической дуги переменного тока

4. Снять при помощи осциллографа изображения напряжения и тока дуги переменного тока при трех разных значениях длины дуги.

5. Снять динамическую вольт-амперную характеристику дуги при двух разных значениях длины дуги.

В. Обработка данных и анализ результатов

1. Вычертить характеристики для всех случаев, перечисленных в п. Б.1 ... 5.

2. По данным п. Б.1 сконструировать вольт-амперные характеристики цепи для этих случаев. Найти критическое сопротивление цепи и зависимость мощности дуги от тока дуги $P = f(I)$.

3. Сравнить найденные в п. А.3 теоретические характеристики с характеристиками, полученными экспериментальным путем.

4. Сравнить найденные в п. А.4 теоретические характеристики $r_{2d} = f(r_{12})$ и $I_{кз} = f(r_{12})$ с характеристиками, полученными экспериментальным путем.

5. Дать критическую оценку результатам работы.

Методические указания

1. При измерении напряжения на дуге нужно учитывать, что при погашении дуги все напряжение источника питания подается на зажимы вольтметра.

2. Формула Айртона

$$U_d = \alpha + \beta l_d + \frac{c + d l_d}{I_d},$$

где: U_d - напряжение дуги;

l_d - длина дуги, см;
 I_d - ток дуги, а.

Для угольных электродов коэффициенты следующие:

$$\alpha = 50; \quad \beta = 15,8; \quad C = 9,0; \quad d = 32.$$

3. Для зависимостей $r_{2d} = f(r_w)$ и $I_{кз} = f(r_w)$ дифференциальное уравнение цепи следующее:

$$U_{сеть} = I_c r + L \frac{dI_c}{dt} + U_d$$

Из уравнения следует, что для гашения шунтированной дуги результирующая вольт-амперная характеристика

$$U_d = f(I_c) = f(I_d + I_w),$$

где: I_c - суммарный ток цепи;
 I_d - ток дуги;
 I_w - ток шунта;

должна быть выше внешней характеристики цепи.

Из формулы

$$I_c = I_d + I_w = I_d + \frac{U_d}{r_w}$$

следует, что для конструирования результирующей характеристики необходимо при каждом значении напряжения дуги суммировать соответственные токи I_d и I_w .

Графическое решение (см. фиг. 18):

а) вычертить по формуле Айртона вольт-амперную характеристику ($\alpha - \delta$);

б) любому значению напряжения дуги U_d соответствует ток $I_d + I_w$. Таким образом получим для разных величин r_w ряд точек, по которым сконструируем результирующую вольт-амперную характеристику ($\beta - z$);

в) вычертить зависимость $U_d = f(I_w)$ (прямая $o - g$);

г) из точки, соответствующей напряжению сети, подведем касательную на результирующую вольт-амперную характеристику.

- определяется шунтирующее сопротивление и включается оно на стабильно горящую дугу. После этого плавно уменьшается ток цепи до погашения дуги. Этому минимальному значению соответствует критический ток $I_{кр}$. Потом отключаем шунт, замыкаем электроды накоротко и получим ток короткого замыкания $I_{кз}$.

7. Для выполнения требований, перечисленных в п. В. 3, ход работы следующий:

- замыкают электроды накоротко и регулируют в цепи нужный ток (не более 10 а), размыкаются электроды, ток корректируется и включается параллельно дугой шунт с максимальным сопротивлением. Если дуга не гаснет, выключается шунт, уменьшается его сопротивление и включается снова на дугу. Опыт проводится до тех пор, пока дуга не погаснет.

8. Динамическая вольт-амперная характеристика электрической дуги переменного тока исследуется при помощи катодного осциллографа, который перед измерениями необходимо калибровать.

9. Во время исследований дуга должна гореть стабильно. Для обеспечения этого нужно:

- а) сопротивления цепи регулировать плавно;
- б) предварительно нагреть электроды при малой длине дуги (до 1 мм) током 5 а.

Лабораторная работа № 2

Измерение контактного сопротивления

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с опытным устройством, составить схему включений, используя комплект приборов и аппаратуру для этой работы.

2. Тщательно очистить исследуемые контакты.

Б. Экспериментальная часть

1. Определить зависимость контактного сопротивления от силы, действующей на контактную пару $r_k = f(f)$ при увеличении и при уменьшении силы.

Исследовать следующие контактные пары:

№	Материалы контактной пары	Конструкция контактной пары	
1	сталь	конус	- конус
2	сталь	конус	- плоскость
3	сталь	сфера	- сфера
4	алюминий	конус	- конус
5	алюминий	конус	- плоскость
6	медь	конус	- конус
7	медь	конус	- плоскость

В. Обработка данных и анализ результатов

1. Вычертить характеристики $r_k = f(t)$ для всех случаев, перечисленных в п. В.1.

2. Оценить явление гистерезиса.

3. Найти формулы, по которым изменяется контактное сопротивление. Сравнить их с формулами, приведенными в литературе.

Методические указания

1. Для измерения напряжения на контактах используется чувствительный милливольтметр. Для расширения диапазона измерения используется магазин сопротивлений.

Напряжение на контактной паре

$$U_k = U_t + U_{MV} = I_{MV} \left(r_t + \frac{U_v}{I_{MV}} \right),$$

где I_{MV} - максимальный ток милливольтметра;

U_{MV} - максимальное напряжение милливольтметра;

r_t — добавочное сопротивление.

2. Надо учитывать, что при размыкании контактной пары на вольтметр падает все напряжение питания. Для защиты вольтметра использовать выключатель (кнопки) с размыкающим контактом.

3. Величину тока в цепи выбирать в пределе 0,5...3 а. В течение опыта поддерживать величину тока постоянной.

4. При увеличении усилия на контактную пару категорически запрещено допускать временное уменьшение усилия на контактную пару и наоборот, при уменьшении усилия запрещено временное увеличение усилия.

Лабораторная работа № 3

Определение сил между токопроводящими шинами

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы экспериментального устройства.

2. Определить длину и поперечное сечение рабочих участков шин.

3. Составить подробную электрическую схему для проведения опыта, выбирая необходимые элементы схемы и измерительные приборы.

Б. Экспериментальная часть

Измерить зависимость смещения свободного конца шины от тока при 6 разных расстояниях между шинами.

В. Обработка данных и анализ работы

1. На основе данных работы найти зависимость действующей на шины силы от проходящего через шину тока $f = f(I)$ при разных расстояниях между шинами и вычертить соответствующие характеристики.

2. Найти зависимость силы, действующей на шины, от расстояния между шинами $f = f(a)$ при шести разных значениях расстояний и вычертить соответствующие характеристики.

3. Рассчитать зависимость электродинамических сил от тока, проходящего через шины, $f = f(I)$ при трех разных расстояниях между шинами и начертить соответствующие характеристики для сравнения их с экспериментальными данными на этом же листе, где построены характеристики по данным п. В.1.

4. Дать критический анализ результатам работы, сравнить между собой результаты эксперимента и расчета.

Методические указания

1. Измерения, указанные в пункте В 1, рекомендуется провести в следующем порядке:

а) расстояние между шинами регулируется на минимальное требуемое значение;

б) при изменении тока в цепи ступенчато от 0 до $I_{\text{макс}}$ измеряют деформацию шины (смещение) при каждом значении тока.

Дальше увеличивают расстояние между шинами и повторяют измерения деформации и тока.

При измерении тока рекомендуется весь диапазон разделить не менее чем на десять частей.

2. Измерение следует провести как можно быстрее во избежание чрезмерного перегрева элементов схемы и экспериментального устройства.

3. Для измерения смещения шины рекомендуется пользоваться индикаторными часами.

4. При применении индикаторных часов наблюдается колебание показаний прибора. Для повышения точности измерения следует определить отклонения с обеих сторон и брать их среднее значение.

Не следует забывать, что индикаторные часы обычно имеют некоторое начальное показание, зависящее от расположения шин. Следовательно, смещение шины находят по формуле:

$$\Delta = \frac{\Delta_{\text{мин}} - \Delta_{\text{макс}}}{2} - \Delta_{\text{нач}} ,$$

где Δ - смещение шины;

$\Delta_{\text{мин}}$ - минимальное отклонение индикаторных часов;

$\Delta_{\text{макс}}$ - максимальное отклонение индикаторных часов;

$\Delta_{\text{нач}}$ - начальное отклонение индикаторных часов.

(в случае, если ток в цепи $I = 0$).

5. Ток можно увеличить до возникновения явной вибрации. При дальнейшем увеличении тока трудно получить удовлетворительные показания.

6. Поскольку индикаторные часы измеряют смещение шины, а нас интересует сила между шинами, то необходимо сделать пересчет по методике, известной из курса сопротивления материалов.

7. Для теоретического нахождения сил между шинами следует пользоваться формулами, приведенными в справочниках и учебниках. Однако, не следует забывать, что обычно эти формулы не приведены в единицах системы СИ.

Лабораторная работа № 4

Исследование силы притяжения электромагнита постоянного тока

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с испытуемыми магнитными цепями и конструировать на основе данных этих магнитных цепей их статические характеристики $\Phi = f(F)$ и $\Phi = f(\delta)$, а также тяговые характеристики $f = f(\delta)$ в случаях, приведенных в пунктах Б1 и Б2.

2. Составить подробную электрическую схему, выбирая необходимые схемы и измерительные приборы.

Б. Экспериментальная часть

1. Определить статические характеристики магнитных цепей $\Phi = f(F)$ при шести заданных значениях воздушного зазора и характеристики $\Phi = f(\delta)$ при трех заданных значениях магнитодвижущей силы F .

2. Определить тяговые характеристики магнитных цепей при трех значениях заданной магнитодвижущей силы F .

В. Обработка данных опыта

1. Сконструировать на основе данных опыта статические характеристики магнитной цепи $\Phi = f(F)$ и $\Phi = f(\delta)$ во всех случаях, перечисленных в п. Б1 и тяговые характеристики магнитной цепи в случаях, перечисленных в п. Б2.

2. Используя сконструированные в п. В1 статические характеристики $\Phi = f(\delta)$, найти тяговые характеристики $f = f(\delta)$ по заданным в п. Б1 трем значениям магнитодвижущей силы F .

3. Сравнить между собой тяговые характеристики, найденные тремя разными путями, сравнить результаты опыта и расчета при статических характеристиках. Дать критический анализ расхождений.

Методические указания

1. При расчете статических характеристик магнитных цепей необходимо **выбрать** методику расчета, обеспечивающую максимальную точность. Если цепь не насыщена, можно пренебречь падением магнитного напряжения в стали и предположить, что вся магнитодвижущая сила используется на возбуждение потока воздушного зазора и потока рассеяния.

При довольно малых значениях воздушного зазора потоком рассеяния можно пренебречь.

2. Магнитный поток измеряют милливольтметром, руководство работы которого приведено на стр. 6.

3. Для измерения магнитного потока в воздушном зазоре в непосредственной близости зазора установлены измерительные катушки.

4. Для определения тяговых характеристик используются динамометры.

Лабораторная работа № 5

Влияние конфигурации катушки и рода тока на нагрев катушки

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с экспериментальными устройствами и работой с самопишущим потенциометром.

2. Составить подробную электрическую схему для проведения опыта, выбирая необходимые элементы схемы и измерительные приборы.

Б. Экспериментальная часть

1. Определить сопротивление катушек в холодном состоянии.

2. Пропустить через катушки одинаковый по величине ток и измерить зависимость температуры катушек от времени $\tau = f(t)$.

3. Определить сопротивление катушек при установившейся температуре в нагретом состоянии.

В. Обработка данных

1. Сконструировать графики $\tau = f(t)$ во всех случаях, перечисленных в п. Б2.

2. а) Найти повышение температуры наружной поверхности катушек приближенным методом с использованием графика, построенного в п. В1.

б) Найти среднее повышение температуры катушек методом сопротивления. Сравнить результаты между собой.

3. Определить постоянные времена нагрева катушек постоянного тока по кривым нагрева $\tau = f(t)$ и сравнить результаты между собой.

4. Сравнить между собой кривые нагрева катушек постоянного и переменного тока и объяснить влияние рода тока и конструкции сердечника на нагрев катушки.

Сравнить между собой кривые нагрева катушек постоянного тока и объяснить влияние конфигурации катушки на их нагрев.

5. Найти коэффициент теплопередачи k и построить зависимость $k = f\left(\frac{L}{D}\right)$. Здесь L - длина катушки и D - диаметр катушки.

6. Дать работе критическую оценку.

Методические указания

1. При работе с самопишущим потенциометром необходимо запомнить, что присоединение и пересоединение термопар разрешается только при выключенном питании.

Для ознакомления с потенциометром следует пользоваться паспортом и инструкцией по эксплуатации потенциометра.

Скорость ленты потенциометра выбирается 480 мм в час.

2. Сопротивление катушек определяется как в холодном, так и в нагретом состоянии по методу вольтметра-амперметра.

3. В катушках имеются встроенные термометры, при помощи которых можно произвести измерения. Для градуировки термометра можно пользоваться косвенным методом, основанным на предположении, что в начале опыта температура катушки равна температуре помещения, где катушки находятся (при условии, что местонахождение катушек в помещении в продолжительное время не изменилось и с катушками не проводились опыты в течение последних 6 часов).

4. Внутренние и наружные диаметры всех катушек одинаковы. Катушки отличаются друг от друга только длиной. Длина катушек переменного тока одинаковая, разница имеется в конструкции сердечников. В одной катушке сердечник изготовлен из листовой стали, а в другой - из массивной стали.

Термометры 5, 6 и 7 принадлежат к катушкам постоянного тока, они предусмотрены для измерения температур наружной поверхности катушек. Термометром № 1 измеряется температура внутренней поверхности катушки с сердечником из листовой стали, а термометром № 2 - температура наружной поверхности этой же катушки.

Термометром № 3 измеряется температура внутренней поверхности катушки переменного тока с сердечником из массивной стали, а термометром № 4 - температура наружной поверхности этой же катушки.

5. Схема опыта состоит из двух частей:

- а) схема питания катушек постоянного тока;
- б) схема питания катушек переменного тока.

При составлении схемы необходимо иметь в виду необходимость регулировки тока любой катушки независимо от других.

6. Для нахождения установившегося значения температуры катушки косвенным методом используется следующая методика:

Кривая нагрева катушки $\tau = f(t)$ обычно является экспоненциальной и выражается формулой

$$\tau = \tau_y (1 - e^{-\frac{t}{T}}).$$

Производная экспоненциальной функции по времени $\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_y - \tau}{T}$ представляет собой прямую. В установившемся режиме $\frac{d\tau}{dt} = 0$. Следовательно, графическим дифференцированием кривой нагрева можно найти зависимость $\frac{d\tau}{dt} = f(\tau)$, установившееся значение температуры катушки находится в точке, где $\frac{d\tau}{dt} = 0$ (точка пересечения прямой с осью ординат).

7. Для нахождения коэффициента теплопередачи можно пользоваться формулой:

$$k = \frac{P_{нач}}{S_{бок} \cdot \tau_y} \left[\frac{6m}{m^2 \cdot град} \right],$$

где k - коэффициент теплопередачи;

$P_{нач}$ - мощность катушки в нагретом состоянии, Вт;

- $S_{бок}$ - боковая площадь катушки, м²;

τ_y - установившееся значение температуры, град.

8. Температура катушки измеряется методом вольтметра-амперметра по формуле

$$\tau = \frac{r_{нач} - r_{хол}}{r_{хол}} (235 + \tau),$$

где $r_{нач}$ - сопротивление катушки в нагретом состоянии;

$r_{хол}$ - сопротивление катушки в холодном состоянии;

τ_0 - температура среды.

Лабораторная работа № 6

Испытание реле автоматики

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с конструкцией реле, параметрами и техническими данными.

2. Составить принципиальную электрическую схему для проведения исследований, выбирая также нужную аппаратуру и измерительные приборы.

Б. Экспериментальная часть

1. Определить параметры обмотки (сопротивление, количество витков) и магнитной цепи (длина и сечение отдельных частей).

2. Снять статические характеристики магнитной цепи $\psi = f(i)$ при четырех разных значениях воздушного зазора (или угла поворота якоря).

3. Определить зависимость силы или момента, действующего на якорь, от длины воздушного зазора $f = f(\delta)$, а также $M = f(\delta)$ при разных напряжениях питания обмотки.

4. Определить зависимость времени срабатывания и отпускания от предварительной напряженности возвратной пружины (при номинальном напряжении).

5. Определить зависимость времени срабатывания и отпускания от напряжения питания при постоянной предварительной напряженности возвратной пружины.

6. Определить коэффициент возврата при минимальной и максимальной напряженности возвратной пружины.

В. Обработка данных и анализ результатов

1. Вычертить характеристики для всех случаев, перечисленных в п. Б.2...5.

2. Сравнить полученные результаты с данными в каталогах и критически оценить результаты.

Методические указания

1. Для определения параметров и основных размеров реле желательно использовать каталожные данные.

Сопротивление короткозамкнутого витка найти расчетным путем при температуре 20°C. Сопротивление обмотки реле определить методом вольт-амперметра.

2. Для измерения магнитного потока используется неподвижная катушка, которая наматывается на сердечник около воздушного зазора. При изменении потока якорь крепить неподвижно.

3. Длина воздушного зазора на оси сердечника

$$\delta = \frac{a_1}{a_2} nh + \delta_{\text{мин}},$$

где a_1 - расстояние оси сердечника от оси поворота якоря;

a_2 - расстояние оси регулировочного винта воздушного зазора от оси поворота якоря;

n - количество оборотов регулировочного винта отсчитано от положения, соответствующего минимальной величине воздушного зазора;

h - шаг регулировочного винта;

$\delta_{\text{мин}}$ - минимальная величина воздушного зазора.

4. При измерении силы, действующей на якорь, измеряется динамометром сила, необходимая для возвращения притянутого якоря. Отсчет динамометра определяют в момент, когда якорь

освободится, величина воздушного зазора регулируется при помощи калибров из немагнитного материала.

Момент возврата якоря определяется полоской бумаги, вставленной в воздушный зазор и снабженной небольшой тяжестью.

5. При измерении силы следует ослабить пружину возврата, в противном случае может возникнуть значительная ошибка измерения.

6. Силу, действующую на якорь, рекомендуется определить при тех же значениях воздушного зазора, при которых измеряется магнитный поток. Силу можно измерить только при номинальном токе. Для определения силы можно пользоваться характеристиками $\psi = f(i)$ при условии, что сила пропорциональна квадрату потока.

7. При поворотном якоря следует по измеренной силе рассчитать крутящий момент, действующий на якорь.

8. Для определения противодействующего момента $M_{пр}$ пружины возврата, можно исходить из формулы

$$M_{пр} = a_3 h n c,$$

где a_3 — расстояние от оси пружины до оси поворота якоря, м;
 n — число оборотов регулировочной гайки пружины;
 h — шаг резьбы, м;
 c — упругость пружины н/м (определяется экспериментально по 2-3 измерениям).

9. Коэффициентом возврата реле называется отношение тока (или напряжения) возврата к току (или напряжению) срабатывания реле

$$k_{в03} = \frac{I_{в03}}{I_{ср}} = \frac{U_{в03}}{U_{ср}}.$$

10. Для уменьшения ошибок, обусловленных остаточным магнетизмом, рекомендуется избегать изменения полярности питания реле в течение опыта.

II. Для определения времени срабатывания и отпускания реле в схеме рекомендуется использовать два секундомера.

Лабораторная работа № 7

Испытание реле защиты

A. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с конструкцией реле, параметрами и техническими данными.

2. Составить принципиальную электрическую схему для проведения исследований, выбирая также нужную аппаратуру и измерительные приборы.

B. Экспериментальная часть

1. Испытание электромагнитного реле.

1) Определить параметры обмотки реле.

2) Снять зависимость погрешности тока (напряжения) срабатывания от номинального тока срабатывания $\Delta I = f(I_{ср.н})$ или от номинального напряжения $\Delta U = f(U_{ср.н})$.

3) Определить коэффициент возврата реле в зависимости от номинального тока (или напряжения) срабатывания

$$k_{вз} = f(I_{ср.н}) \quad \text{или} \quad k_{вз} = f(U_{ср.н}).$$

4) Определить потребляемую мощность обмотки реле в зависимости от тока (или напряжения) обмотки реле $S = f(I)$ или $S = f(U)$.

5) Определить зависимость времени срабатывания реле от тока (напряжения) $t_{ср} = f\left(\frac{I}{I_{ср.н}}\right)$ или $t_{ср} = f\left(\frac{U}{U_{ср.н}}\right)$ при двух разных значениях тока (напряжения).

II. Испытание индукционного реле

1. Определить параметры обмотки реле.

2. Определить зависимость времени срабатывания реле от тока при одном значении номинального тока срабатывания при минимальной и максимальной выдержке $t_{ср} = f(I)$.

3. Проверить шкалы отсеки.

4. Определить потребляемую мощность обмотки реле при двух разных значениях тока срабатывания.

В. Обработка данных и анализ результатов

1. Вычертить характеристики для всех перечисленных в п. Б случаев.

2. Сравнить полученные характеристики с номинальными характеристиками реле данного типа.

3. Дать критическую оценку результатам работы.

Методические указания

1. Кривую погрешности тока (напряжения) срабатывания найдем при помощи формулы

$$\Delta = \frac{I_{ср} - I_{ср.н}}{I_{ср.н}} \quad \text{или} \quad \Delta = \frac{U_{ср} - U_{ср.н}}{U_{ср.н}}$$

Для плавного регулирования тока и напряжения использовать автотрансформатор.

2. При определении потребляемой мощности обмотки электромагнитного реле измерить кажущееся сопротивление обмотки (методом вольт-амперметра). Обмотки включены последовательно. Наблюдать, зависит ли кажущееся сопротивление от положения якоря и от тока обмотки.

3. Кажущееся сопротивление обмотки индукционного реле определяют при минимальном номинальном токе срабатывания в сработавшем, а также несработавшем состоянии.

4. Измерение времени срабатывания электромагнитного реле важно при значении токов $I \dots 3 I_{ср.н}$. Для каждого значения тока делают минимум 5 измерений и определяют среднее

значение времени срабатывания с точностью 0,01 сек. При определении времени срабатывания индукционного реле можно ограничиться двумя измерениями для каждой величины тока срабатывания.

5. Перед измерением времени необходимо регулировать ток в цепи реле.

6. Отсечкой индукционного реле называется срабатывание электромагнитного механизма без выдержки.

7. Так как токи срабатывания реле относительно большие, необходимо включить в цепь промежуточный трансформатор, первичное напряжение которого регулируется при помощи автотрансформатором.

8. Время срабатывания электромагнитного реле целесообразно измерять при помощи миллисекундомером.

Лабораторная работа № 8

Испытание контакторов

А. Подготовительная часть

1. Ознакомиться с конструкцией и номинальными данными контакторов.

2. Составить подробную электрическую схему для проведения опыта, выбирая необходимые элементы схемы и измерительные приборы.

Б. Экспериментальная часть

1. Определить параметры катушек (сопротивление, количество витков), размеры магнитной цепи и движущихся частей.

2. Определить характеристику противодействующих сил контактора, создаваемых действием пружин, в зависимости от величины воздушного зазора $f_{np} = f(\delta)$.

3. Определить тяговые характеристики электромагнитных механизмов в зависимости от величины воздушного зазора при двух значениях напряжения питания катушки: $U = U_n$ и $U = 0,8 U_n$.

4. Определить зависимость времени срабатывания и времени возврата контакторов от напряжения питания катушек: $t_{ср} = f(U)$ и $t_{вз} = f(U)$.

5. Определить коэффициенты возврата контактора.

6. Перевести контактор переменного тока на питание от сети постоянного тока 220 в, используя для этого добавочные и экономичные сопротивления.

7. Исследовать изменение времени срабатывания контактора при переходе от питания катушки переменного тока на питание постоянным током. Найти в обоих случаях характеристики $t_{ср} = f(U)$.

В. Обработка данных

1. Рассчитать по найденным в п. Б1 данным теоретическую тяговую характеристику контактора. Сравнить ее с экспериментальной характеристикой. Дать анализ расхождений.

2. Проанализировать на основе данных п. Б2 и Б3 свойства контакторов. Найти силу, действующую на контакторы.

3. Сравнить между собой контакторы постоянного и переменного токов, объяснить эффект экономического включения.

4. Сконструировать характеристики для всех случаев, перечисленных в пунктах Б2, 3, 4, 6.

5. Сравнить результаты эксперимента с каталожными данными и дать анализ расхождений.

6. Дать оценку контакторам.

Методические указания

1. При ознакомлении с конструкцией контакторов особое внимание обратить на контакты и дугогасительные камеры. В отчете дать принципиальный эскиз контактного узла.

2. При расчете добавочного и экономичного сопротивления следует исходить из следующих условий:

а) ток срабатывания при испытании постоянным током не должен превышать соответствующего значения при переменном токе;

б) удерживающий ток должен быть не больше удерживающего тока при питании переменным током;

в) в случае понижения напряжения сети на 20% контактор не должен выпадать (даже при наличии вибрации в местах крепления контактора).

Ток срабатывания и удерживающий ток контактора необходимо определить экспериментально.

Л и т е р а т у р а

1. А.Я. Буйлов. Основы электроаппаратостроения, Госэнергоиздат, 1946.

2. М.А. Бабиков. Электрические аппараты, ч. I, Госэнергоиздат, 1951.

3. В.В. Усов. Металловедение электрических контакторов, Госэнергоиздат, 1963.

4. Г.Б. Холявский. Расчет электродинамических усилий в электрических аппаратах, Госэнергоиздат, 1962.

5. А.В. Гордон и А.Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока, Госэнергоиздат, 1960.

6. Б.К. Буль. Основы теории и расчета магнитных цепей. "Энергия", 1964.

7. О.Б. Брон. Электрическая дуга в аппаратах управления, Госэнергоиздат, 1954.

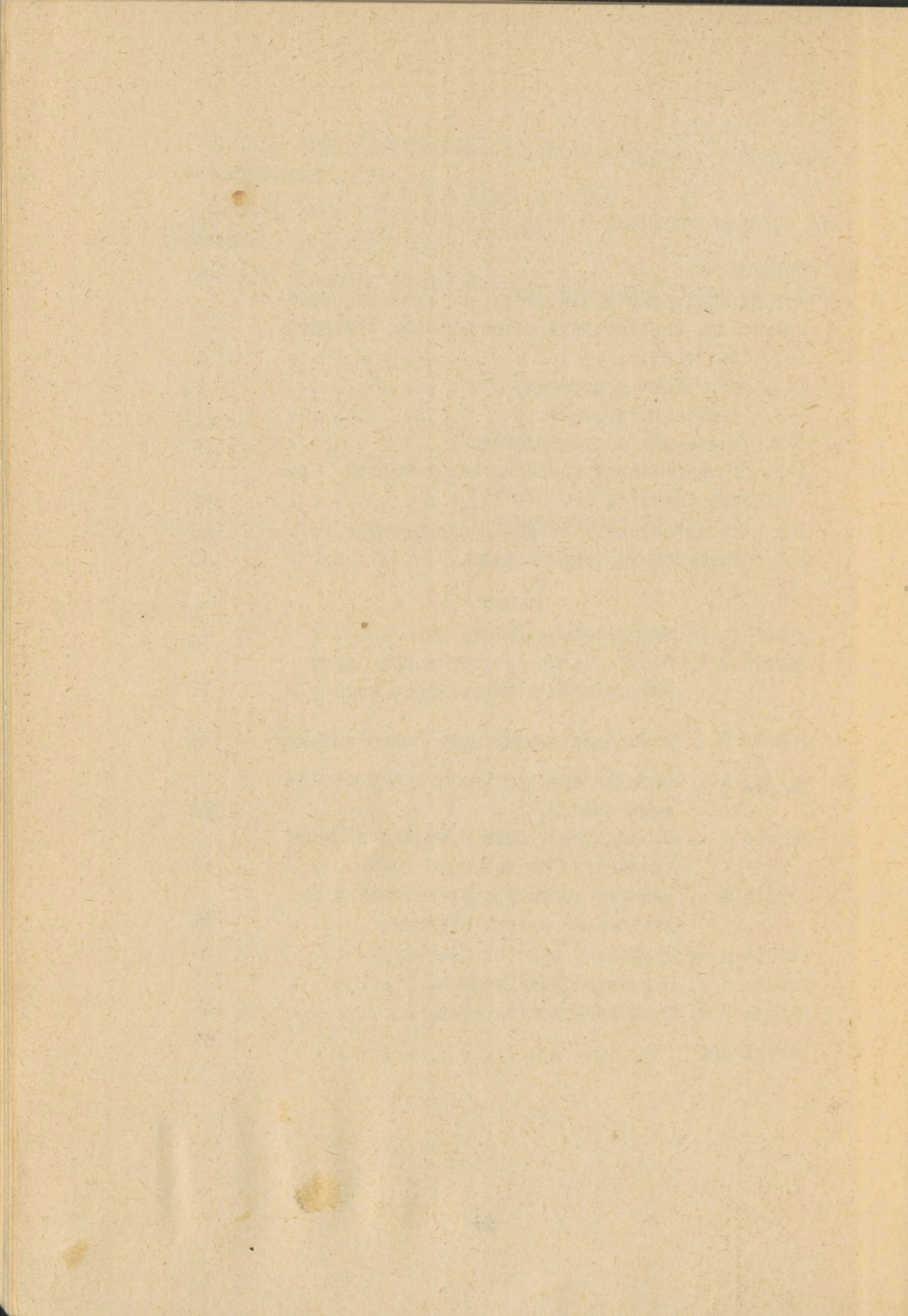
8. И.С. Таев. Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения, "Энергия", 1965.

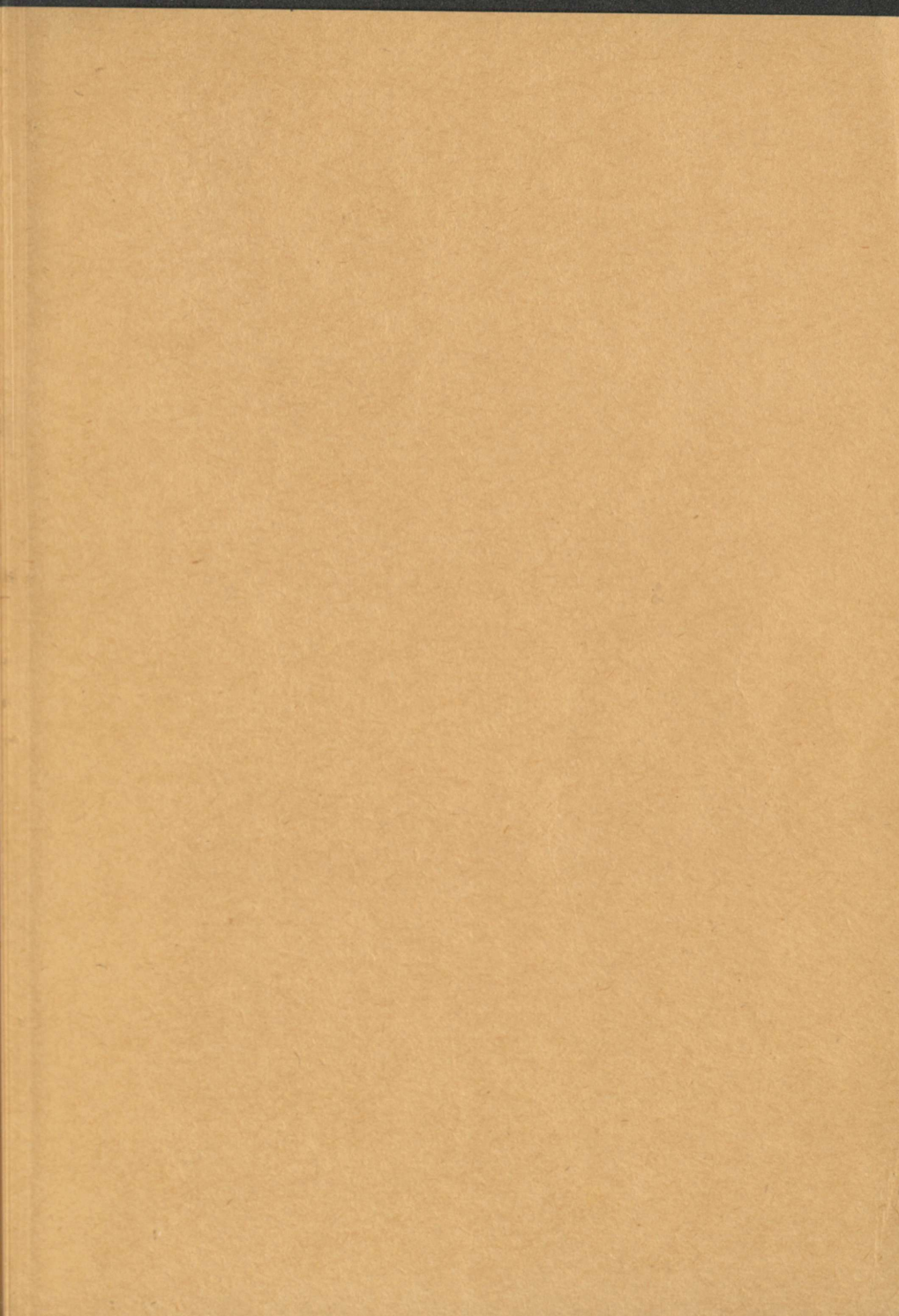
9. А.А. Чунихин. Электрические аппараты. "Энергия", 1967.

Одобрено на собрании кафедры
электропривода 25 мая 1969 г.

О г л а в л е н и е

Раздел I	Стр.
Предисловие.	3
Методы измерения и измерительные приборы, применяемые при исследовании электрических аппаратов	
I-1. Введение.	4
I-2. Магнитные измерения.	4
I-3. Измерение времени.	10
I-4. Измерение сопротивления.	15
I-5. Регистрация процессов, изменяющихся во времени.	19
I-6. Магнитоэлектрический осциллограф.	20
I-7. Электронные осциллографы	30
Раздел II	
Руководства лабораторных работ.	36
Работа № 1. Исследование электрической дуги постоянного и переменного тока	36
Работа № 2. Измерение контактного сопротивления	40
Работа № 3. Определение сил между токопроводящими шинами.	42
Работа № 4. Исследование силы притяжения электромагнита постоянного тока.	45
Работа № 5. Влияние конфигурации катушки и рода тока на нагрев катушки.	46
Работа № 6. Испытание реле автоматики.	50
Работа № 7. Испытание реле защиты.	53
Работа № 8. Испытание контакторов.	55
Литература	57





Цена 10 коп.

XI

A-18503

238102

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00546251 2