

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

## Индукционные измерительные механизмы.

Индукционный механизм состоит из одного или нескольких неподвижных электромагнитов и подвижной части в виде алюминиевого диска, насаженного на ось. Взаимодействие магнитных потоков с током, наведенным в диске, вызывает перемещение подвижной части. Индукционные механизмы по числу потоков, пересекающих подвижную часть, могут быть одноточечными (в настоящее время не используются) и многоточечными. Многоточечные делятся на два типа: с бегущим магнитным полем и с вращающимся полем.

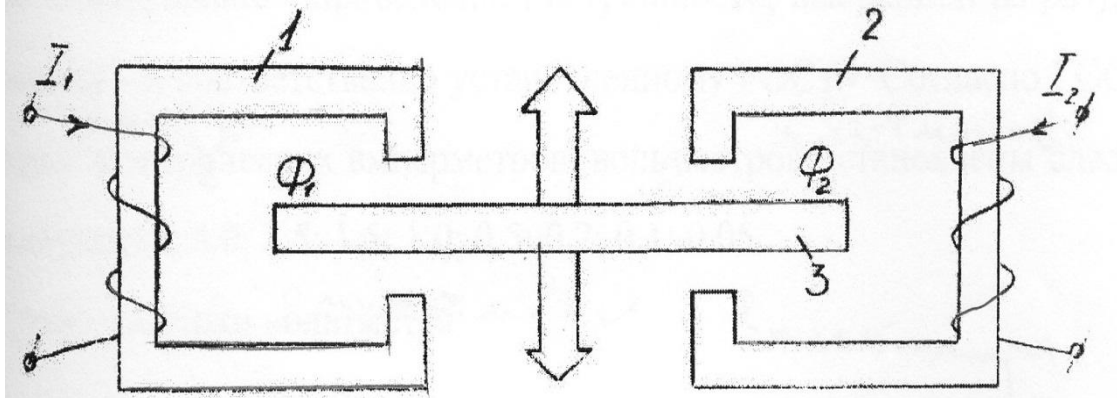


Рисунок 29 Структурная схема индукционного механизма.

1,2- Сердечники

3- Диск.

$$M = c * f * \Phi_1 * \Phi_2 * \sin \psi$$

Уравнение момента вращения диска:

где  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  - потоки, пронизывающие диск;

$c$  - коэффициент пропорциональности,  $c=c_3+c_4$ ;

$f$  - частота тока.



ис. 30 Устройство однофазового индукционного счетчика и схема включения.

На рисунке 30 показано устройство однофазового индукционного счетчика, где 9 – каркас и винт устройства крепления пластины регулирующий компенсационный момент, который служит для компенсации (выравнивания) момента трения, возникающего в опоре керна-подпятник. Компенсационный момент, направленный противоположно моменту трения возникает в устройстве, которое прикреплено к магнитопроводу обмотки напряжения. Трехфазный индукционный счетчик по устройству представляет собой два однофазных в одном корпусе.

Индукционный счетчик работает лишь на переменном токе.

Достоинства: значительная перегрузочная способность, нечувствительность к влиянию внешних магнитных полей из-за наличия сильного собственного магнитного поля.

Недостатки: пригодность работы только для переменного тока, чувствительность к колебаниям частоты переменного тока.

**Счётчик электрической энергии** (электрический счётчик) — прибор для измерения расхода электроэнергии переменного или постоянного тока (обычно в кВт·ч или А·ч).

**Принцип работы**

Для учёта активной и реактивной электроэнергии переменного тока служат индукционные одно- и трёхфазные приборы, для учёта расхода электроэнергии постоянного тока (электрический транспорт, электрифицированная железная дорога) — электродинамические

счётчики. Количество электроэнергии, пропорциональное числу оборотов подвижной части прибора, регистрируется счётным механизмом.

В электрическом счётчике индукционной системы подвижная часть (алюминиевый диск) вращается во время потребления электроэнергии, расход которой определяется по показаниям счётного механизма. Диск вращается за счёт вихревых токов, наводимых в нём магнитным полем катушки счётчика, — магнитное поле вихревых токов взаимодействует с магнитным полем катушки счётчика.

В электрическом счетчике электронного типа, переменный ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой активной энергии.

Виды типы

Счетчики электроэнергии можно классифицировать по типу измеряемых величин, типу подключения и по типу конструкции.

По типу подключения все счетчики разделяют на приборы прямого включения в силовую цепь и приборы трансформаторного включения, подключаемые к силовой цепи через специальные измерительные трансформаторы.

По измеряемым величинам электросчетчики разделяют на однофазные (измерение переменного тока 220В, 50Гц) и трехфазные (380В, 50Гц). Все современные электронные трехфазные счетчики поддерживают однофазный учет. Также существуют трехфазные счетчики для измерения тока напряжением в 100В, которые применяются только с трансформаторами тока в высоковольтных (напряжением выше 660В) цепях.

По конструкции: индукционным (электрохимическим электросчетчиком) называется электросчетчик, в котором магнитное поле неподвижных токопроводящих катушек влияет на подвижный элемент из проводящего материала. Подвижный элемент представляет собой диск, по которому протекают токи, индуцированные магнитным полем катушек. Количество потребленной электроэнергии, в этом случае, прямо пропорционально числу оборотов диска. Индукционные (механические) счётчики электроэнергии постоянно вытесняются с рынка электронными счетчиками из-за отдельных недостатков: отсутствие дистанционного автоматического снятия показаний, однотарифность, погрешности учёта, плохая защита от краж электроэнергии, а также низкой функциональности.

Электронным (статическим электросчетчиком) называется электросчетчик, в котором переменный ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой активной энергии. То есть измерения активной энергии такими электросчетчиками основаны на преобразовании аналоговых входных сигналов тока и напряжения в счетный импульс. Измерительный элемент электронного электросчетчика служит для создания на выходе импульсов, число которых пропорционально измеряемой активной энергии. Счетный механизм представляет собой электрохимическое (имеет преимущество в областях с холодным климатом, при условии установки прибора на улице) или электронное устройство, содержащее как запоминающее устройство, так и дисплей.

Основными достоинствами электронных электросчетчиков является возможность учета электроэнергии по дифференцированным тарифам (одно-, двух- и более тарифный), то есть возможность запоминать и показывать количество использованной электроэнергии в зависимости от запрограммированных периодов времени, многотарифный учет достигается за счет набора счетных механизмов, каждый из которых работает в установленные интервалы времени, соответствующие различным тарифам. Электронные электросчетчики значительно долговечнее.

Гибридные счётчики электроэнергии — редко используемый промежуточный вариант с цифровым интерфейсом, измерительной частью индукционного или электронного типа, механическим вычислительным устройством.

### Измерение мощности и электрической энергии

Измерение мощности. В цепях постоянного тока мощность измеряют электро- или ферродинамическим ваттметром. Мощность может быть также подсчитана перемножением значений тока и напряжения, измеренных амперметром и вольтметром.

В цепях однофазного тока измерение мощности может быть осуществлено электродинамическим, ферродинамическим или индукционным ваттметром. Ваттметр 4 (рис. 336) имеет две катушки: токовую 2, которая включается в цепь последовательно, и напряжения 3, которая включается в цепь параллельно.

Ваттметр является прибором, требующим при включении соблюдения правильной полярности, поэтому его генераторные зажимы (зажимы, к которым присоединяют проводники, идущие со стороны источника 1) обозначают звездочками.

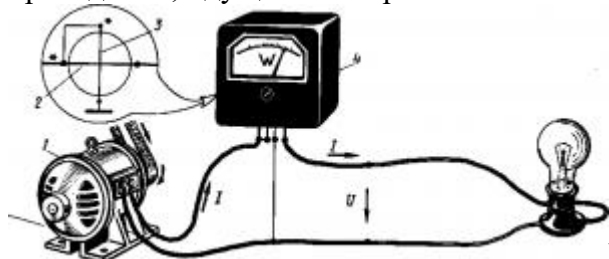


Рис. 336. Схема для измерения мощности

Для расширения пределов измерения ваттметров их токовые катушки включают в цепь при помощи шунтов или измерительных трансформаторов тока, а катушки напряжения — через добавочные резисторы или измерительные трансформаторы напряжения.

Измерение электрической энергии. Способ измерения. Для учета электрической энергии, получаемой потребителями или отдаваемой источниками тока, применяют счетчики электрической энергии. Счетчик электрической энергии по принципу своего действия аналогичен ваттметру. Однако в отличие от ваттметров вместо спиральной пружины, создающей противодействующий момент, в счетчиках предусматривают устройство, подобное электромагнитному демпферу, создающее тормозящее усилие, пропорциональное частоте вращения подвижной системы. Поэтому при включении прибора в электрическую цепь возникающий вращающий момент будет вызывать не отклонение подвижной системы на некоторый угол, а вращение ее с определенной частотой.

Число оборотов подвижной части прибора будет пропорционально произведению мощности электрического тока на время, в течение которого он действует, т. е. количеству электрической энергии, проходящей через прибор. Число оборотов счетчика фиксируется счетным механизмом. Передаточное число этого механизма выбирают так, чтобы по показаниям счетчика можно было отсчитывать не обороты, а непосредственно электрическую энергию в киловатт-часах.

Наибольшее распространение получили ферродинамические и индукционные счетчики; первые применяют в цепях постоянного тока, вторые — в цепях переменного тока. Счетчики электрической энергии включают в электрические цепи постоянного и переменного тока так же, как и ваттметры.

Ферродинамический счетчик (рис. 337) устанавливают на э. п. с. постоянного тока. Он имеет две катушки: неподвижную 4 и подвижную 6. Неподвижная токовая катушка 4 разделена на две части, которые охватывают ферромагнитный сердечник 5 (обычно из пермаллоя). Последний позволяет создать в приборе сильное магнитное поле и значительный вращающий момент, обеспечивающий нормальную работу счетчика в условиях тряски и вибраций. Применение пермаллоя способствует уменьшению погрешности счетного механизма 2 от гистерезиса магнитной системы (он имеет весьма узкую петлю гистерезиса).

Чтобы уменьшить влияние внешних магнитных полей на показания счетчика, магнитные потоки отдельных частей токовой катушки имеют взаимно противоположное направление (астатическая система). При этом внешнее поле, ослабляя поток одной части, соответственно усиливает поток другой части и оказывает в целом небольшое влияние на результирующий вращающий момент, создаваемый прибором. Подвижная катушка 6 счетчика (катушка напряжения) расположена на якоре, выполненном в виде диска из изоляционного материала или в виде алюминиевой чаши. Катушка состоит из отдельных секций, соединенных с пластинами коллектора 7 (эти соединения на рис. 337 не показаны), по которому скользят щетки из тонких серебряных пластин.

Ферродинамический счетчик работает принципиально как двигатель постоянного тока, обмотка якоря которого подключена параллельно, а обмотка возбуждения — последовательно с потребителем электроэнергии. Якорь вращается в воздушном зазоре между полюсами сердечника. Тормозной момент создается в результате взаимодействия потока постоянного магнита 1 с вихревыми токами, возникающими в алюминиевом диске 3 при его вращении.

Для компенсации влияния момента трения и уменьшения благодаря этому погрешности прибора в ферродинамических счетчиках устанавливают компенсационную катушку или в магнитном поле неподвижной (токовой) катушки помещают лепесток из пермаллоя, который имеет высокую магнитную проницаемость при малой напряженности поля. При небольших нагрузках этот лепесток усиливает магнитный поток токовой катушки, что приводит к увеличению вращающего момента и компенсации трения. При увеличении нагрузки индукция магнитного поля катушки увеличивается, лепесток насыщается и его компенсирующее действие перестает возрастать.

При работе счетчика на э. п. с. возможны сильные толчки и удары, при которых щетки могут отскакивать от коллекторных пластин. При этом под щетками будет возникать искрение. Для его предотвращения между щетками включают конденсатор С и резистор R1. Компенсация температурной погрешности осуществляется с помощью термистора Rт (полупроводникового прибора, сопротивление которого зависит от температуры). Он включается совместно с добавочным резистором R2 параллельно подвижной катушке. Чтобы уменьшить влияние тряски и вибраций на работу счетчиков, их устанавливают на э. п. с. на резинометаллических амортизаторах.

Индукционный счетчик имеет два электромагнита (рис. 338,а), между которыми расположен алюминиевый диск 7. Вращающий момент в приборе создается в результате взаимодействия переменных магнитных потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , созданных катушками электромагнитов, с вихревыми токами  $I_{v1}$  и  $I_{v2}$ , индуцируемыми ими в алюминиевом диске (так же, как и в обычном индукционном измерительном механизме, см. § 99).

В индукционном счетчике вращающий момент  $M$  должен быть пропорционален мощности  $P = UI \cos \varphi$ . Для этого катушку 6 одного из электромагнитов (токовую) включают последовательно с нагрузкой 5, а катушку 2 другого (катушку напряжения) — параллельно нагрузке. В этом случае магнитный поток  $\Phi_1$  будет пропорционален току  $I$  в цепи нагрузки, а поток  $\Phi_2$  — напряжению  $U$ , приложенному к нагрузке. Для обеспечения требуемого угла сдвига фаз  $\varphi$  между потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  (чтобы  $\sin \varphi = \cos \varphi$ ) в электромагните катушки напряжения предусмотрен магнитный шунт 3, через который часть потока  $\Phi_2$  замыкается

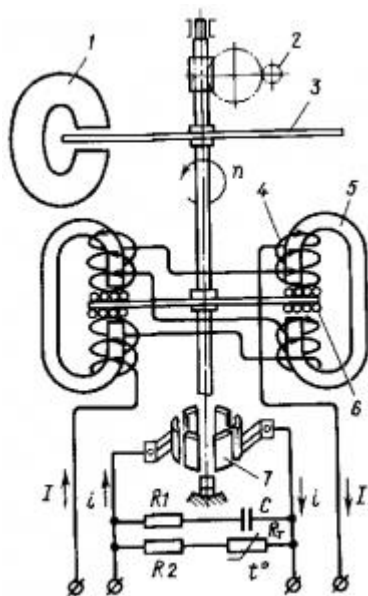


Рис. 337. Ферродинамический счетчик электрической энергии

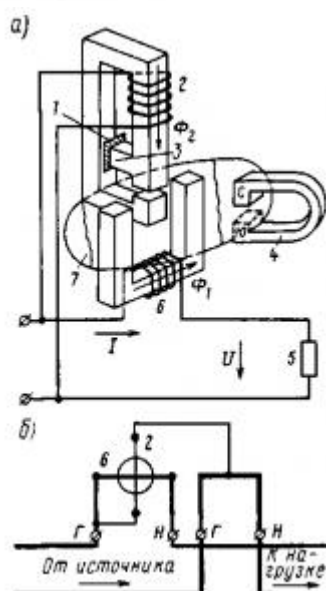


Рис. 338. Индукционный счетчик электрической энергии

помимо диска 7. Угол сдвига фаз между потоками  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  точно регулируется изменением положения металлического экрана 1, расположенного на пути потока, ответвляющегося через магнитный шунт 3.

Тормозной момент создается так же, как в ферродинамическом счетчике. Компенсация момента трения осуществляется путем создания небольшой несимметрии в магнитной цепи одного из электромагнитов с помощью стального винта.

Для предотвращения вращения якоря при отсутствии нагрузки под действием усилия, созданного устройством, компенсирующим трение, на оси счетчика укрепляется стальной тормозной крючок. Этот крючок притягивается к тормозному магниту 4, благодаря чему предотвращается возможность вращения подвижной системы без нагрузки.

При работе же счетчика под нагрузкой тормозной крючок практически не влияет на его показания.

Чтобы диск счетчика вращался в требуемом направлении, необходимо соблюдать определенный порядок подключения проводов к его зажимам. Нагрузочные зажимы прибора, к которым подключают провода, идущие от потребителя, обозначают буквами Я (рис. 338,б), генераторные зажимы, к которым подключают провода от источника тока или от сети переменного тока, — буквами Г.

## Измерение электрического сопротивления

Измерение методом амперметра и вольтметра. Сопротивление какой-либо электрической установки или участка электрической цепи можно определить с помощью амперметра и вольтметра, пользуясь законом Ома. При включении приборов по схеме рис. 339, а через амперметр проходит не только измеряемый ток  $I_x$ , но и ток  $I_v$ , протекающий через вольтметр. Поэтому сопротивление

$$R_x = U / (I - U/R_v) \quad (110)$$

где  $R_v$  — сопротивление вольтметра.

При включении приборов по схеме рис. 339, б вольтметр будет измерять не только падение напряжения  $U_x$  на определенном сопротивлении, но и падение напряжения в обмотке амперметра  $U_A = I R_A$ . Поэтому

$$R_x = U/I - R_A \quad (111)$$

где  $R_A$  — сопротивление амперметра.

В тех случаях, когда сопротивления приборов неизвестны и, следовательно, не могут быть учтены, нужно при измерении малых сопротивлений пользоваться схемой рис. 339,а, а при измерении больших сопротивлений — схемой рис. 339, б. При этом погрешность измерений, определяемая в первой схеме током  $I_v$ , а во второй — падением напряжения  $U_A$ , будет невелика по сравнению с током  $I_x$  и напряжением  $U_x$ .

Измерение сопротивлений электрическими мостами. Мостовая схема (рис. 340,а) состоит из источника питания, чувствительного прибора (гальванометра Г) и четырех резисторов, включаемых в плечи моста: с неизвестным сопротивлением  $R_x$  ( $R_4$ ) и известными сопротивлениями  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , которые могут при измерениях изменяться. Прибор включают в одну из диагоналей моста (измерительную), а источник питания — в другую (питающую). Сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  можно подобрать такими, что при замыкании контакта В показания прибора будут равны нулю (в та-

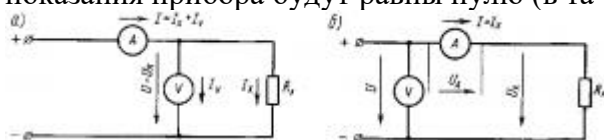


Рис. 339. Схемы для измерения сопротивления

методом амперметра и вольтметра

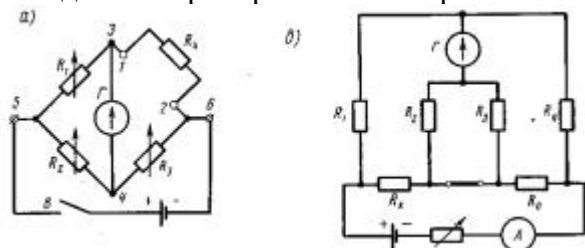


Рис. 340. Мостовые схемы постоянного тока,

применяемые для измерения сопротивлений

ком случае принято говорить, что мост уравновешен). При этом неизвестное сопротивление  $R_x = (R_1/R_2)R_3$  (112)

В некоторых мостах отношение плеч  $R_1/R_2$  установлено постоянным, а равновесие моста достигается только подбором сопротивления  $R_3$ . В других, наоборот, сопротивление  $R_3$  постоянно, а равновесие достигается подбором сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ .

Измерение сопротивления мостом постоянного тока осуществляется следующим образом. К зажимам 1 и 2 присоединяют неизвестное сопротивление  $R_x$  (например, обмотку электрической машины или аппарата), к зажимам 3 и 4 — гальванометр, а к зажимам 5 и 6 — источник питания (сухой гальванический элемент или аккумулятор). Затем, изменяя

сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  (в качестве которых используют магазины сопротивлений, переключаемые соответствующими контактами), добиваются равновесия моста, которое определяется по нулевому показанию гальванометра (при замкнутом контакте В).

Существуют различные конструкции мостов постоянного тока, при использовании которых не требуется выполнять вычисления, так как неизвестное сопротивление  $R_x$  отсчитывают по шкале прибора. Смонтированные в них магазины сопротивлений позволяют измерять сопротивления от 10 до 100 000 Ом.

При измерении малых сопротивлений обычными мостами сопротивления соединительных проводов и контактных соединений вносят большие погрешности в результаты измерения. Для их устранения применяют двойные мосты постоянного тока (рис. 340,б). В этих мостах провода, соединяющие резистор с измеряемым сопротивлением  $R_x$  и некоторый образцовый резистор с сопротивлением  $R_0$  с другими резисторами моста, и их контактные соединения оказываются включенными последовательно с резисторами соответствующих плеч, сопротивление которых устанавливается не менее 10 Ом. Поэтому они практически не влияют на результаты измерений. Провода же, соединяющие резисторы с сопротивлениями  $R_x$  и  $R_0$ , входят в цепь питания и не влияют на условия равновесия моста. Поэтому точность измерения малых сопротивлений довольно высокая. Мост выполняют так, чтобы при регулировках его соблюдались следующие условия:  $R_1 = R_2$  и  $R_3 = R_4$ . В этом случае  $R_x = R_0 R_1 / R_4$  (113)

Двойные мосты позволяют измерить сопротивления от 10 до 0,000001 Ом.

Если мост не уравновешен, то стрелка в гальванометре будет отклоняться от нулевого положения, так как ток измерительной диагонали при неизменных значениях сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и э. д. с. источника тока будет зависеть только от изменения сопротивления  $R_x$ . Это позволяет проградуировать шкалу гальванометра в единицах сопротивления  $R_x$  или каких-либо других единицах (температура, давление и пр.), от которых зависит это сопротивление. Поэтому неуравновешенный мост постоянного тока широко используют в различных устройствах для измерения неэлектрических величин электрическими методами. Применяют также различные мосты переменного тока, которые дают возможность измерить с большой точностью индуктивности и емкости.

Измерение омметром. Омметр представляет собой миллиамперметр 1 с магнитоэлектрическим измерительным механизмом и включается последовательно с измеряемым сопротивлением  $R_x$  (рис. 341) и добавочным резистором  $R_D$  в цепь постоянного тока. При неизменных э. д. с. источника и сопротивления резистора  $R_D$  ток в цепи зависит только от сопротивления  $R_x$ . Это позволяет отградуировать шкалу прибора непосредственно в омах. Если выходные зажимы прибора 2 и 3 замкнуты накоротко (см. штриховую линию), то ток  $I$  в цепи максимален и стрелка прибора отклоняется вправо на наибольший угол; на шкале этому соответствует сопротивление, равное нулю. Если цепь прибора разомкнута, то  $I = 0$  и стрелка находится в начале шкалы; этому положению соответствует сопротивление, равное бесконечности.

Питание прибора осуществляется от сухого гальванического элемента 4, который устанавливается в корпусе прибора. Прибор будет давать правильные показания только в том случае, если источник тока имеет неизменную э. д. с. (такую же, как и при градуировке шкалы прибора). В некоторых омметрах имеются два или несколько пределов измерения, например от 0 до 100 Ом и от 0 до 10 000 Ом. В зависимости от этого резистор с измеряемым сопротивлением  $R_x$  подключают к различным зажимам.

Измерение больших сопротивлений мегаомметрами. Для измерения сопротивления изоляции чаще всего применяют мегаомметры магнитоэлектрической системы. В качестве измерительного механизма в них использован логометр 2 (рис. 342), показания кото-

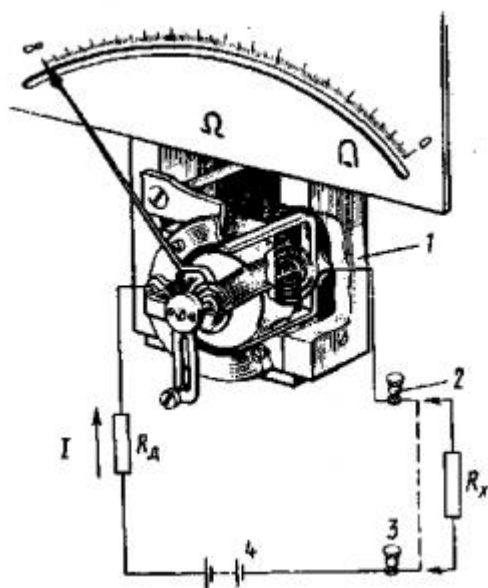


Рис. 341. Схема включения омметра

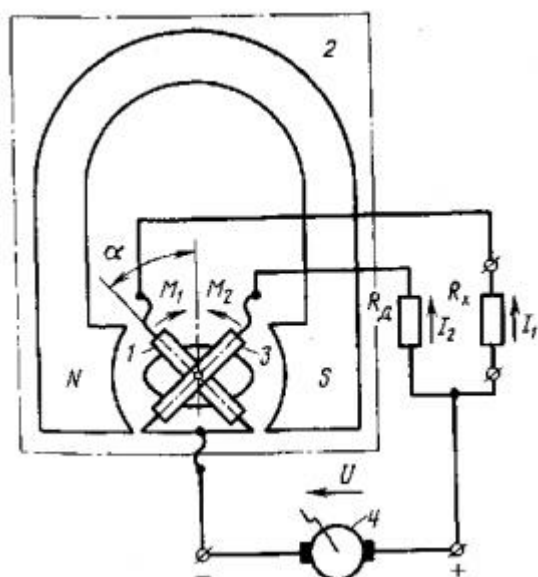


Рис. 342. Устройство мегаомметра

рого не зависят от напряжения источника тока, питающего измерительные цепи. Катушки 1 и 3 прибора находятся в магнитном поле постоянного магнита и подключены к общему источнику питания 4.

Последовательно с одной катушкой включают добавочный резистор  $R_d$ , в цепь другой катушки — резистор сопротивлением  $R_x$ .

В качестве источника тока обычно используют небольшой генератор 4 постоянного тока, называемый индуктором; якорь генератора приводят во вращение рукояткой, соединенной с ним через редуктор. Индукторы имеют значительные напряжения от 250 до 2500 В, благодаря чему мегаомметром можно измерять большие сопротивления.

При взаимодействии протекающих по катушкам токов  $I_1$  и  $I_2$  с магнитным полем постоянного магнита создаются два противоположно направленных момента  $M_1$  и  $M_2$ , под влиянием которых подвижная часть прибора и стрелка будут занимать определенное положение. Как было показано в § 100, положение подвижной



Рис. 343. Общий вид мегаомметра (а) и его

упрощенная схема (б)

части логометра зависит от отношения  $I_1/I_2$ . Следовательно, при изменении  $R_x$  будет изменяться угол отклонения стрелки. Шкала мегаомметра градуируется непосредственно в килоомах или мегаомах (рис. 343, а).

Чтобы измерить сопротивление изоляции между проводами, необходимо отключить их от источника тока (от сети) и присоединить один провод к зажиму Л (линия) (рис. 343,б), а другой — к зажиму З (земля). Затем, вращая рукоятку индуктора 1 мегаомметра, определяют по шкале логометра 2 сопротивление изоляции. Имеющийся в приборе переключатель 3 позволяет изменять пределы измерения. Напряжение индуктора, а следовательно, частота вращения его рукоятки теоретически не оказывают влияние на результаты измерений, но практически рекомендуется вращать ее более или менее равномерно.

При измерении сопротивления изоляции между обмотками электрической машины отсоединяют их друг от друга и соединяют одну из них с зажимом Л, а другую с зажимом З, после чего, вращая рукоятку индуктора, определяют сопротивление изоляции. При измерении сопротивления изоляции обмотки относительно корпуса его соединяют с зажимом З, а обмотку — с зажимом Л.