**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 Ф1 и Ф2, созданных катушками электромагнитов, с вихревыми токами Iв1 и Iв2, индуцируемыми ими в алюминиевом диске (так же, как и в обычном индукционном измерительном механизме, см. § 99).

В индукционном счетчике вращающий момент М должен быть пропорционален мощности P=UIcos?. 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 Ф1 будет пропорционален току I в цепи нагрузки, а поток Ф2 — напряжению U, приложенному к нагрузке. Для обеспечения требуемого угла сдвига фаз ? между потоками Ф1 и Ф2 (чтобы sin? = cos?) в электромагните катушки напряжения предусмотрен магнитный шунт 3, через который часть потока Ф2 замыкается

*Рис. 337. Ферродинамический счетчик электрической энергии*

*Рис. 338. Индукционный счетчик электрической энергии*

помимо диска 7. Угол сдвига фаз между потоками Ф1 и Ф2 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 частоты переменного тока

Частоту переменного тока измеряют частотомерами. Обычно применяют резонансные электромагнитные или ферродинамические приборы.

**Электромагнитный резонансный частотомер** имеет электромагнит 2 (рис. 344, а), в поле которого расположены стальной якорь 1 и соединенный с ним стальной брусок 5. Этот брусок укреплен на упругих пружинах 4 и на нем размещен ряд гибких стальных пластинок 3, площадь поперечного сечения которых подобрана таким образом, что каждая следующая пластинка имеет частоту собственных колебаний на 0,5 Гц больше, чем предыдущая.

Рис. 344. Устройство электромагнитного резонансного частотомера

Рис. 345. Принципиальная схема ферродинамического частотомера

Свободные концы пластинок введены в прорезь, имеющуюся на шкале прибора. Катушка электромагнита присоединена к сети переменного тока так же, как и катушка вольтметра.

При прохождении по катушке переменного тока электромагнит создает магнитное поле, пульсирующее с частотой изменения тока. Находящийся в этом поле якорь 1 также начнет совершать колебательные движения и вызывать колебания связанных с ним пластинок 3.

Колебания пластинок обычно бывают настолько незначительными, что они не могут быть замечены глазом. Однако если
частота собственных колебаний какой-либо пластинки совпадает с частотой изменения переменного тока, т. е. с частотой колебаний якоря, то наступит явление механического резонанса, при котором эта пластинка начнет колебаться с большой амплитудой. Белый квадратик на ее конце превращается при этом в белую полоску (рис. 344,б), против которой по шкале можно отсчитывать измеряемую частоту. Значительно слабее колеблются две пластинки, колебания же всех остальных пластинок обычно совершенно незаметны для глаза.

**Ферродинамический частотомер** (рис. 345) представляет собой логометр ферродинамической системы. Катушки логометра соединяются в две параллельные цепи, которые подключаются к двум точкам а и б, между которыми действует напряжение переменного тока U (так же, как и вольтметры). Последовательно с неподвижной 3 и одной из подвижных 1 катушек включены катушка индуктивности L и конденсатор С, а последовательно с другой подвижной катушкой 2 — резистор с сопротивлением R (могут быть и другие комбинации R, L и С). Поэтому ток I1 в первой параллельной ветви зависит от частоты f, а ток I2 во второй цепи не зависит отf.

В результате при изменении частоты f будут изменяться ток I1 и положение подвижной части логометра до тех пор, пока не наступит равновесие моментов М1 и М2, создаваемых его катушками. Показания такого прибора будут зависеть от частоты f.

# Измерение фазового сдвига сигналов

|  |
| --- |
| Выбор метода измерения угла сдвига фаз сигналов зависит от диапазона частот, уровня и формы сигнала, от требуемой точности измерений. Различают косвенные и прямые методы.*Косвенный метод* измерения угла сдвига фаз меду током и напряжением основан на *использовании трех приборов*: вольтметра, амперметра и ваттметра. Данный метод используется обычно для промышленных установок и характеризуется не высокой точностью.Среди осциллографических методов измерения фазы наибольшее распространение получили методы *линейной развертки и эллипса* (фигуры Лиссажу). Метод линейной развертки предполагает использование двухлучевого осциллографа.Для точных измерений угла сдвига фаз используют компенсатор переменного тока с фазовращателем. Компенсационный метод измерения фазового сдвига основан на сравнении его с фазовым сдвигом, создаваемом с помощью фазовращателя. При этом в качестве нуль-индикатора может быть использован, например, осциллограф. Измеряемый фазовый сдвиг отсчитывают по показанию эталонного фазовращателя.*Прямое измерение* угла сдвига фаз осуществляют с помощью электродинамических, ферродинамических, электромагнитных, электронных и цифровых *фазометров*.Электродинамические фазометры используют в диапазоне частот до 10 кГц, цифровые фазометры используются в маломощных цепях в диапазоне частот от единиц Гц до сотен МГц.В электронно-счетных цифровых фазометрах, реализующих *метод дискретного счета*, сдвиг по фазе между сигналами преобразуется во *временной интервал*, заполняемый импульсами стабильной частоты с определенным периодом, которые затем подсчитываются.Явлениезависимости фазового сдвига от частоты негативно проявляется при прохождении многочастотного широкополосного сигнала через четырехполюсник. При этом форма сигнала на выходе четырехполюсника не совпадает с формой сигнала на входе, так как разные частотные составляющие запаздывают на разное время. Для характеристики этого явления используют понятие *группового времени запаздывания* http://studopedia.ru/Konspekt-lekcij-MiSI-1.files/image500.gif, которое определяется как производная от сдвига фазы по частоте:http://studopedia.ru/Konspekt-lekcij-MiSI-1.files/image502.gif. (9.8)Наибольшее распространение для измерения группового времени запаздывания получил *метод Найквиста*, согласно которому оно принимается равным времени распространения огибающей сигнала, полученного при амплитудной модуляции несущего колебания низкочастотным сигналом. В соответствии с эти методом проводится сравнение фазового сдвига огибающей модулированного по амплитуде сигнала на входе и выходе исследуемого четырехполюсника.Упрощенная схема, реализующая данный метод, показана на рисунке. http://studopedia.ru/Konspekt-lekcij-MiSI-1.files/image504.jpg Рис. 9.13 Схема измерения группового времени запаздывания сигнала. Групповое время запаздывания можно определить по формуле:http://studopedia.ru/Konspekt-lekcij-MiSI-1.files/image506.gif, (9.9)где Ω - частота огибающей колебаний (частота биения колебаний). |