

Старые добрые

Условие

Задача 3. Амперметр, вольтметр, омметр и пр.

В настоящее время большинство электроизмерительных приборов – электронные. Принципы их работы таинственны и не всегда понятны (тем более, что их производители часто держат эти принципы в тайне).

«Старые добрые» электромеханические измерительные приборы могут использоваться до настоящего времени, их работа основана на простых физических принципах. Кроме того, некоторые из них до настоящего времени имеют существенные преимущества перед электронными. С одним из таких приборов вам предстоит познакомиться в данной задаче.

Часть 1. Приборы магнитоэлектрической системы.

Принцип действия такого прибора основан на вращении рамки с током в постоянном магнитном поле. Ось рамки соединена с пружиной и стрелкой по отклонению стрелки можно судить о силе протекающего через рамку тока¹.

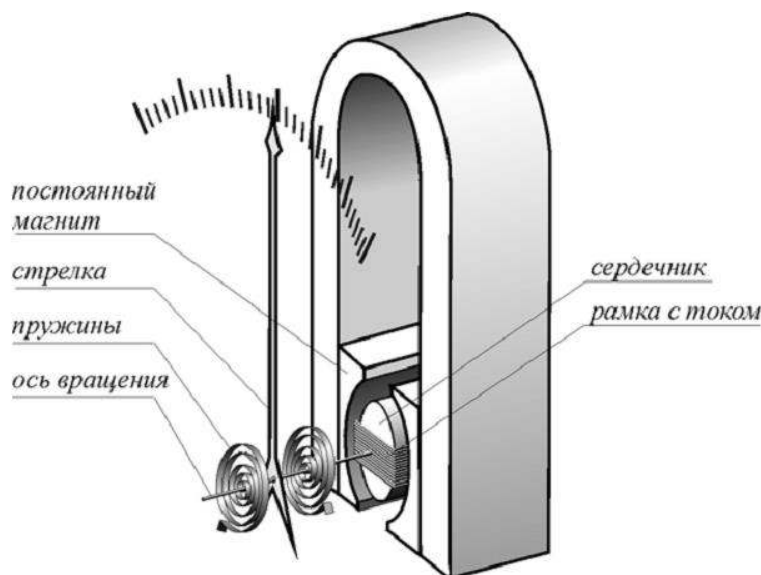
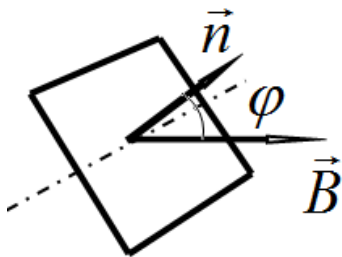


Рис. 2. Устройство прибора магнитоэлектрической системы.



На рамку с током в однородном магнитном поле действует момент силы равный

$$M = IBS \sin \varphi,$$

где I - сила тока в рамке. S - ее площадь, B - индукция магнитного поля, φ - угол между вектором индукции поля и нормалью к рамке.

1.1 При какой ориентации рамки, задаваемой углом φ_0 , в положении равновесия при отсутствии тока, прибор будет работать в режиме близком к линейному, т.е. угол отклонения

стрелки от положения равновесия будет пропорционален силе протекающего тока?

Основными характеристиками этого прибора (далее будем называть его гальванометр) являются: электрическое сопротивление рамки r , максимальная допустимая сила тока через рамку $I_{\max}$, соответствующая отклонению стрелки на всю шкалу, минимальное регистрируемое значение силы тока $I_{\min}$. Считайте эти величины известными.

Далее вам предстоит сконструировать ряд приборов на основе описанного гальванометра. В вашем распоряжении имеются резисторы, конденсаторы, источники тока любых номиналов.

Также следует стремиться к тому, чтобы сконструированный вами прибор работал в режиме,

¹ Рисунки скачаны из Интернета, поэтому на их нумерацию обращать внимание не следует.
близком к линейному, т.е. чтобы сила тока через гальванометр была пропорциональная измеряемой величине.

1.2 Предложите схему вольтметра на основе гальванометра и схему его подключения к измеряемой цепи. Укажите характеристики использованных вами дополнительных элементов. Приведите формулы, по которым можно рассчитать измеряемое напряжение по измеренной силе тока через гальванометр. Укажите диапазон измерения напряжений.

1.3 Предложите схему омметра на основе гальванометра. Укажите характеристики использованных вами дополнительных элементов. Приведите формулы, по которым можно рассчитать измеряемое сопротивление по измеренной силе тока через гальванометр. Укажите диапазон измерения сопротивлений.

Часть 2. Электростатический вольтметр.

Принцип действия электростатического вольтметра основан втягивании подвижного электрода в зазор между пластинами неподвижного электрода, когда электроды подключаются к источнику измеряемого напряжения.

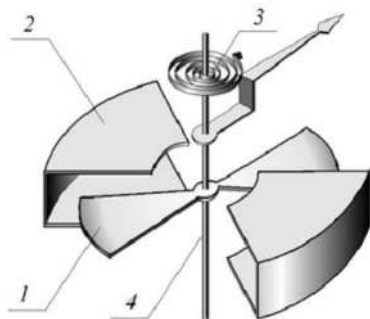
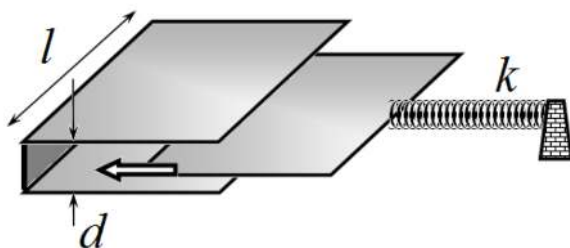


Рис. 5. Конструкция электростатического вольтметра: 1 – подвижный электрод, 2 – неподвижный электрод, 3 – пружина, 4 – ось вращения.

могут
исания
ой две
ельные
л со
малом



Конструкции таких приборов могут существенно различаться. Поэтому для описания их работы рассмотрим упрощенную модель. Неподвижный электрод представляет собой две соединенные между собой параллельные прямоугольные проводящие пластины со стороной длины l , находящиеся на малом расстоянии d друг от друга. Подвижный электрод представляет такую же пластину, способную вдвигаться в зазор между пластинами неподвижного электрода,

оставаясь параллельным им. Эта пластина соединена с неподвижным упором с помощью пружины жесткости k . Измеряемое напряжение U_0 подается на электроды. При этом измеряется смещение подвижной пластины.

2.1 На электроды подано постоянное напряжение U_0 . Найдите силу, которая действует на подвижную пластину со стороны электрического поля в зазоре между электродами.

При расчете пренебрегайте краевыми эффектами, т.е. считайте электрическое поле однородным и существующим только в области перекрытия электродов.

Напоминаем, что для расчета силы можно применить формулу «из механики»:

$$F = -\frac{\Delta W}{\Delta x},$$

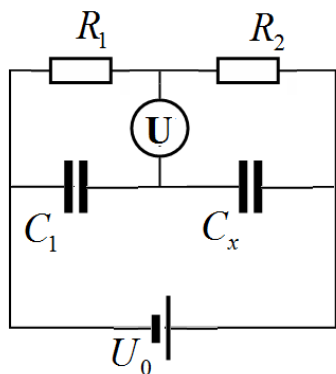
где ΔW - изменение энергии системы при смещении пластины на расстояние Δx . Обращаем ваше внимание: для того, чтобы пластина втягивалась внутрь зазора, необходимо чтобы при этом энергия системы уменьшалась!

2.2 Найдите зависимость смещения подвижной пластины относительно положения равновесия в зависимости от приложенного напряжения.

2.3 Если полученная зависимость нелинейная, предложите способ ее линеаризовать, т.е. добиться того, чтобы смещение пластины было приблизительно пропорционально предложенному напряжению.

Часть 3. «Фарадометр»

Электростатический конденсатор можно использовать для измерения емкости конденсатора. Рассмотрите мостовую схему, приведенную на рисунке. Считайте, что значения сопротивлений и емкостей, напряжение источника известны.



3.1 Что покажет вольтметр магнитоэлектрической системы, если его включить в эту цепь?

3.2 Рассчитайте показания электростатического вольтметра, включенного в эту цепь.

Эта схема позволяет реализовать «нулевой» метод балансировки: изменяя сопротивления резисторов R_1 , R_2 , можно добиться того, что напряжение на вольтметре станет равным нулю.

3.3 При каком соотношении между сопротивлениями резисторов и емкостями конденсаторов напряжение на электростатическом вольтметре будет равно нулю?



Республиканская физическая олимпиада
2021 год

(Заключительный этап)

Теоретический тур

¹ Рисунки скачаны из Интернета, поэтому на их нумерацию обращать внимание не следует.