МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет
Кафедра общей физики

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Измерительный практикум
Часть 1

Новосибирск, 1999

Лабораторная работа 2.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ СОГЛАСОВАНИЯ В ИЗМЕРИТЕЛНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Цель работы: ознакомление с принципами построения электрической цепи, проблемами, возникающими при согласовании электрического сигнала датчика с регистратором.

Оборудование: амперметры, вольтметры, низкочастотный генератор, магазин сопротивлений, источник постяного напряжения (тока), фотоэлемент, цифровой вольтметр, полупроводниковый стабилитрон, двух координатный самописец, реостат.

Краткая теория

Каждый измерительный прибор стараются конструировать так, чтобы из множества действующих на него внешних величин он реагировал только на одну, для измерения которой он предназначен. Однако измеренное значение в большей или меньшей мере определяется и мешающими факторами - влияние температуры, внешних электрических и магнитных полей, наводки на соединительные провода, положение прибора и.т.д. Поэтому перед измерением необходимо разместить приборы таким образом, чтобы свести к минимуму мешающие факторы, при необходимости экранируя приборы от внешних электромагнитных и тепловых полей .

Каким бы точными не были используемые Вами приборы, невозможно точно измерить интересующую Вас величину, если подключение прибора изменяет ее. При измерении вольтметром напряжения, его сопротивление должно быть достаточно большим, а при измерении тока амперметром сопротивление последнего должно быть достаточно малым. Что значит достаточно ? Очевидно, что если изменение измеряемой величины, при подключении прибора меньше его систематической погрешности, то этого достаточно. Таким образом, для правильного измерения и вольтметром и амперметром необходимо знать эквивалентное сопротивления источника измеряемой величины. Если к точке разрыва цепи для измерения тока были подключены небольшие сопротивления, остальная часть цепи может иметь сопротивление значительно большее сопротивления амперметра. Сопротивление вольтметра не обязательно должно быть больше сопротивления, к которому вольтметр непосредственно подключен. Поясним это на примере. На Рис.1 вольтметр подключен к сопротивлению 100 Ком., на первый взгляд, для точных измерений его сопротивление должно быть существенно больше этой величины. Не трудно подсчитать показания вольтметра при его различных сопротивлениях (см. таблицу).

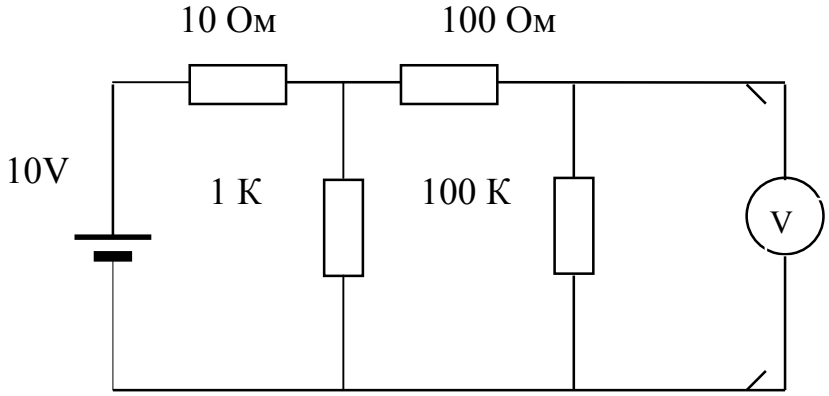
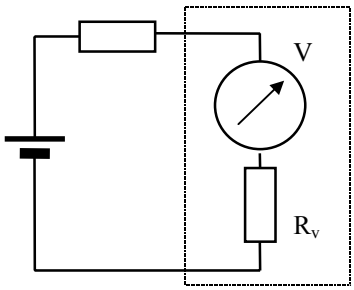


Рис 1. К оценке влияния входного сопротивления вольтметра на результат измерения.

R вольтметра	1 Мом	100 Ком	10 Ком
Показания	9.89 вольт	9.87 вольт	9.78 вольт

Получается, что во всех трех случаях отклонение показаний, от истинного значения меньше 1.5% . Результат легко понять, если преобразовать схему к эквивалентному виду показанному на Рис. 1а



E=9.89v, R=109.77 ом

Рис.1а

Из эквивалентной схемы следует, что вольтметр подключается к источнику с E=9.89V с сопротивлением 109.77 Ом. Такое преобразование легко рассчитать, пользуясь теоремой об эквивалентном генераторе.

Сопротивление эквивалентного генератора, равно сопротивлению цепи между зажимами вольтметра, при условно замкнутом источнике ЭДС (замкнутых, если их несколько). ЭДС эквивалентного генератора находится как напряжение на тех же зажимах. В обоих случаях нагрузка, (в нашем случае вольтметр) должна быть отключена. Этот прием очень удобен, когда необходимо рассчитать ток или напряжение на нагрузке при ее изменениях. Определив раз, параметры эквивалентного генератора, вы существенно облегчите последующие расчеты. Такой анализ сложной цепи достаточно трудоемок, да и не всегда мы знаем точно устройство всей цепи. В этом случае параметры эквивалентного генератора, можно определить экспериментально. Собрав схему, приведенную на Рис.4 и измеряя зависимость J и U от сопротивления нагрузки, можно построить зависимость J(U) Если ЭДС и сопротивление источника не зависят от отдаваемого тока, эта зависимость будет линейной. Действительно из:

$I = \dfrac{E}{r+R}$ следует, что $I \cdot R + I \cdot r = E$ и $I = \dfrac{E-U}{r}$ (т.к. $I \cdot R = U$) Эта зависимость представлена на Рис 2.

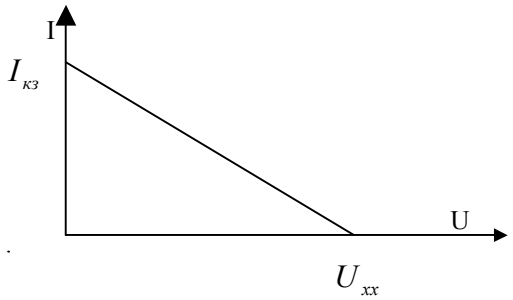


Рис. 2. Связь между током и напряжением на нагрузке пр неизменной ЭДС генератора.

Для построения прямой достаточно любых двух точек, этими точками могут быть ток короткого замыкания $I_{кз}$ (не всегда допустимый режим) и напряжение холостого хода U_{xx}. При отключенной нагрузке ($R_н = \infty$), U_{xx} очевидно равно E т.к. $I = 0$. Заметим, что линейная зависимость получится только в том случае, если E и r не зависят от тока нагрузки. Поэтому построение зависимости J(U) по достаточному количеству точек позволит убедиться в этом более точно и найти параметры эквивалентного генератора E=U_{xx}, $r = \dfrac{\Delta U}{\Delta I}$.

Для дальнейшего рассмотрения эффектов согласования в измерительных цепях, включая переменные и высокочастотные сигналы, рассмотрим типичную схему измерительной цепи. Принципиальная схема измерительной цепи показана на рис. 3 и включает следующие основные элементы: источник электрического сигнала 1, передающую линию 2, согласующий элемент 3 и регистратор 4.

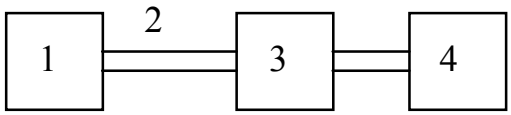


Рис. 3. Принципиальная схема измерительной цепи

Источник электрического сигнала, в качестве которого могут использоваться как стандартные приборы (генераторы, источники Э.Д.С.), так и специальные датчики и детекторы, преобразующие неэлектрический сигнал (например, механический, оптический, тепловой, поток частиц и т.д.) в электрический. Источник характеризуется уровнем рабочего сигнала (или электродвижущей силы), выходным сопротивлением, частотной характеристикой генерируемого сигнала.

Передающая линия предназначена для передачи сигнала от источника к регистратору с минимальными потерями, защищая сигнал от посторонних электрических помех. Можно выделить два принципиально различных режима работы линии: передача постоянного напряжения или низкочастотных сигналов и импульсный, когда исследуются процессы, имеющие характерное время Δt, меньшее или сравнимое со временем τ распространения электромагнитного сигнала по линии ($\tau = \frac{nL}{C}$ где L – длина линии, $n = \sqrt{\mu\xi}$ – показатель преломления среды, определяемый ее диэлектрической ξ и магнитной μ проницаемостями, C – скорость света).

Соединение может быть выполнено в виде произвольной двухпроводной линии (чаще всего используется при измерении постоянных или медленно меняющихся сигналов большой величины), или специально сконструированных линий: -" витая пара" (два скрученных, как правило экранированных провода) -коаксиальный кабель (см рис 4). Такие линии используются для передачи высокочастотных сигналов и сигналов малой величины, для зашиты их от наводок. Использование линий требует выполнения ряда правил, несоблюдение которых будет приводить к большим ошибкам. Если сопротивление генератора и приемника не будут равны волновому сопротивлению линии показания измерителя будут сильно отличаться от амплитуды и формы сигнала генератора. В современных электроизмерительных цепях в качестве линии используются специальные кабели с волновым сопротивлением ρ = 50; 75; 150 Ом, в зависимости от типа. Конструкция кабеля показана на рис.4.

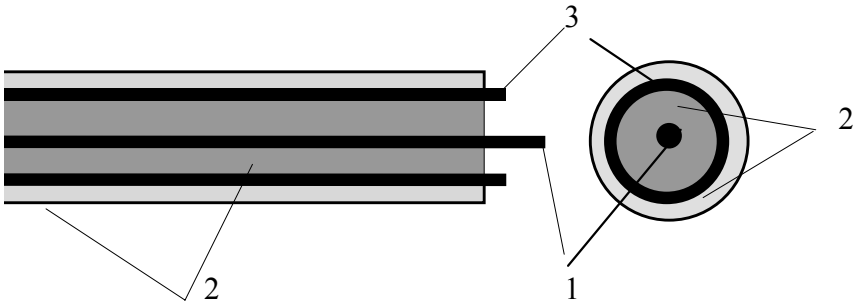


Рис. 4. Устройство коаксиального кабеля.

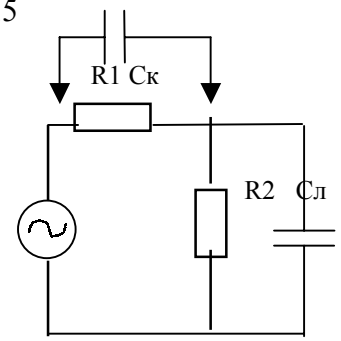
1 – центральная (медная) жила; 2 – диэлектрик (полиэтилен, тефлон); 3 – металлическая (медная) оплетка.

При больших временах, $\Delta t > 2\frac{nL}{C}$, которые будут встречаться в данной работе, поток электромагнитной энергии по линии от источника, определяется свойствами нагрузки и слабо зависит от свойств передающей линии, в качестве которой может быть использована и обычная двухпроводная линия. Важно лишь, чтобы омическое сопротивление линии было много меньше сопротивления нагрузки.

согласующий элемент, в качестве которого используются усилители напряжения или тока (повторители), а также делители напряжения различного типа, предназначен для преобразования амплитуды (уровня) сигнала без искажения его формы, чтобы регистратор мог надежно зафиксировать этот сигнал (т.е. чтобы сигнал не был слишком мал), но и не перегружался (т.е. чтобы сигнал не был слишком большим). Кроме того, при помощи этого элемента входное сопротивление регистратора согласуется с сопротивлением электрической цепи.

На переменных сигналах используют так называемый компенсированный делитель (часто используется при осцилографировании сигналов). Схема простейшего делителя такого типа представлена на Рис 5 .За счет суммарной входной емкости регистратора и емкости соединительной линии Сл, коэффициент деления, при отсутствии компенсирующей емкости Ск, будет зависеть от частоты. Но если компенсирующую емкость подобрать так, что образованный емкостной делитель имел коэффициент деления такой же как у делителя на сопротивлениях, тогда коэффициент деления не будет зависеть от частоты, не будет также изменяться форма сигнала, (здесь мы не учитываем индуктивной компоненты полных сопротивлений). Такой делитель называют компенсированным.

Рис.5



Регистратор предназначен для измерения параметров сигнала и представления информации об исследуемом сигнале. Как согласующий элемент, так и регистратор характеризуются входным сопротивлением, входной емкостью, минимальной чувствительностью, динамическим диапазоном измеряемых параметров, классом точности прибора, частотной характеристикой, т.е. диапазоном частот, в котором регистратор имеет чувствительность, не менее указанной в паспорте. (Многие регистраторы имеют встроенный согласующий элемент в виде отдельного блока.)

В зависимости от соотношения величин выходного сопротивления источника электрического сигнала и сопротивления нагрузки (в качестве сопротивления нагрузки может выступать, в частности, входное сопротивление регистратора рис. 6), один и тот же источник может работать, как генератор тока или как генератор напряжения. Возможен также режим согласованной нагрузки, когда источник отдает максимальную мощность в цепь.

Режим генератора тока реализуется в том случае, если сопротивление нагрузки при всех его изменениях остается малым по сравнению с выходным сопротивлением источника. В обозначениях рис. 6 $r >> R$. При этом ток в цепи равен

$$I = \frac{E}{r+R} \approx \frac{E}{r} \approx \text{const}, \text{ и соответсвенно } U = I \cdot R \approx E\frac{R}{r}$$

падение напряжения на нагрузке меняется пропорционально сопротивлению нагрузки.

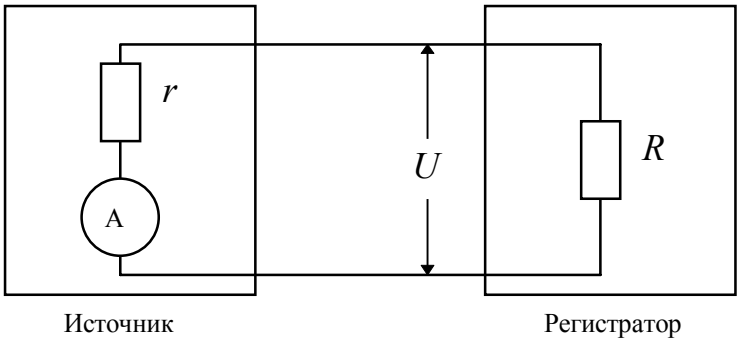


Рис.6. Принципиальная схема цепи.

Как генератор напряжения источник работает в том случае, если $r << R$. При этом ток в цепи обратно пропорционален сопротивлению нагрузки:

$I = \dfrac{E}{r+R} \approx \dfrac{E}{R}$, а напряжение на нагрузке $U = I \cdot R \approx E = \text{const}$,

т.е. не зависит от сопротивления нагрузки.

В режиме согласованной нагрузки источник и приемник на постоянном токе работают в том случае, когда $r = R$. При этом источник передает максимум мощности приемнику:

.В общем случае требуется, чтобы активные сопротивления генератора и нагрузки были равны, а реактивные сопротивления были равны по абсолютной величине но имели противоположный характер. Если у генератора реактивная компонента полного сопротивления имеет индуктивный характер, то регистратор должен иметь емкостной характер реактивного сопротивления и наоборот.

Задания

1. **Исследовать, как зависит мощность, выделяемая на нагрузке, от соотношения выходного сопротивления источника $R_{вых}$ и сопротивления нагрузки R, и определить выходное сопротивления источника $R_{вых}$.**

Соберите схему рис. 7, включающую низкочастотный генератор G, амперметр A и вольтметр V переменного тока, магазин сопротивлений R.

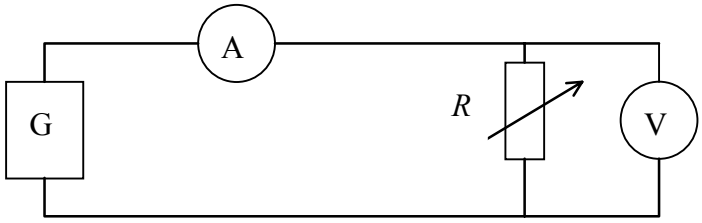


Рис. 7. Схема включения приборов для определения выходного сопротивления и мощности, выделяемой на нагрузке в цепи переменного тока (упражнение 1).

Изменяя сопротивление R, измерьте ток и падение напряжения на R, постройте график J(U) и определите по нему выходное сопротивление генератора.

Определите для каждого случая мощность P, выделяемую на нагрузке и постройте график $P(R)$, определите по нему выходное сопротивление генератора.

Сравните результаты со значением выходного сопротивления генератора

Обратите внимание, что выходное сопротивление генератора меняется при переключении диапазона выходных напряжений. В соответствие с этим при выполнении измерений правильно выберите диапазон и дискретность изменений *R*.

2. **Исследовать выходные параметры источника постоянного напряжения в режимах стабилизации тока и стабилизации напряжения.**

3. Соберите схему рис. 7, включающую, в качестве источник постоянного напряжения (Б5-47) , амперметр А, вольтметр V и магазин сопротивлений.

Изменяя сопротивление нагрузки *R*, исследуйте выходные параметры источника (*U*, *I*) в режимах стабилизации напряжения и тока.

Постройте зависимость *U*(*R*) и *I*(*R*). Определите *R**, соответствующее смене режима стабилизации. Сравните *R** с отношением *U / I* значений, установленных на шкалах источника. Объясните полученные результаты.

3. **Исследовать выходные параметры фотоэлемента. Определить режим работы фотоэлемента в качестве источника тока или источника напряжения.**

С помощью цифрового прибора определить зависимость тока *I* и ЭДС фотоэлемента от его освещенности. Принципиальная схема вакуумного фотоэлемента показана на рис8.

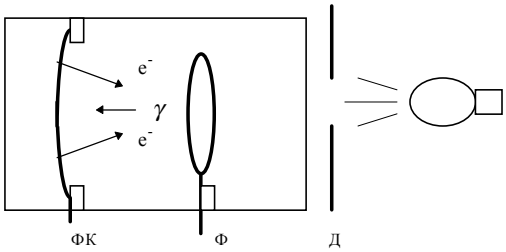


Рис. 8. Принципиальная схема вакуумного фотоэлемента.

В стеклянной откачанной колбе расположены: фотокатод ФК, анод А, перед входным окном помещена ирисовая диафрагма Д. Освещенность фотокатода можно варьировать, меняя яркость лампы, либо диаметр диафрагмы.

При двух значениях яркости (минимальной и максимальной) определите зависимость тока и ЭДС фотоэлемента от сечения диафрагмы *S*.

Постройте графики *I*(*S*) и *U*(*S*). Объясните наблюдаемые эффекты.

Оцените внутреннее сопротивление фотоэлемента.

Является фотоэлемент источником тока или источником напряжения в приведенных измерениях?

Примечание. При облучении фотокатода светом за счет внешнего фотоэффекта из него выбиваются электроны, которые могут попадать на анод, т.е. свет является энергетическим источником электродвижущей силы. Электроны вылетают с энергией $E = h\nu - A$, где A – работа выхода ~ 0,1 - 0,2 эВ. Поток электронов может зарядить емкость «катод-анод» до разности потенциалов, сравнимой с E / e (e – заряд электрона).

4. Исследовать вольтамперную характеристику стабилитрона при переходе в режим стабилизации напряжения.

Соберите схему согласно рис. 7, включающую генератор сигналов специальной формы Г6-27, V_D – стабилитрон, R – постоянный резистор, самописец.

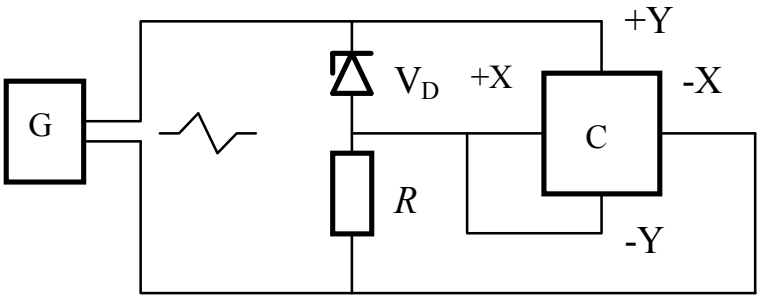


Рис.9. Схема включения приборов для исследования вольтамперной характеристики стабилитрона (упражнение 4).

Используя сигнал треугольной формы, подобрав удобную длительность (~ 1 мин), амплитуду (несколько вольт) и чувствительность U_X и U_Y самописца, снимите вольтамперную характеристику $U(I)$ стабилитрона. Для удобства проведите осевые линии тока (при $U = 0$) и напряжения (при $I = 0$).

По полученной кривой в нескольких точках определите дифференциальное сопротивление $R_d = dU / dI$. Постройте график $R_d(I)$. Определите критерий перехода в режим стабилизации напряжения.

Дифференциальное сопротивление R_d используется при анализе схем, содержащих нелинейные элементы: диоды, триоды, стабилитроны и т.д.

Результаты всех упражнений должны быть представлены с учетом класса точности приборов.

Контрольные вопросы

1. В каком режиме осуществляется питание электроприборов от сети в лаборатории: в режиме источника тока, источника напряжения или согласования на передачу максимума мощности? Почему выбран данный режим?

2. По данным упражнения 3 оцените внутреннее сопротивление фотоэлемента при разных освещенностях. Объяснить полученный результат.

Список литературы

Методы физических измерений /. Под ред. Р.И.Солоухина. Новосибирск,1975.

Лабораторные занятия по физике /. Под ред. Л.Л.Гольдина. М.: Наука, 1983.

Описание лабораторных работ. Новосибирск, 1987. Ч. 1: Измерительный практикум.

Интернет версия подготовлена на основе издания: Описание лабораторных работ по физике. Измерительный практикум. Часть1. Новосибирск: Изд-во, НГУ, 1999

© Физический факультет НГУ, 2000

© Лаборатория методов измерений НГУ, 2000, http://www.phys.nsu.ru/measuring/