



Санкт-Петербургский
государственный
университет

Научный парк



*Образовательный ресурсный центр по направлению физика
Первая физическая лаборатория*

М.В. Архипов, Н.И. Матвеева

ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ДИОД И ТРИОД. ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЯ

**Учебно-методическое пособие
(описание лабораторной работы)**

№ 34

Санкт-Петербург

2014

УДК 621.382

Рецензенты: к. ф.-м. наук, доцент И.Р. Крылов, д. ф.-м. наук, профессор А.Е. Кучма

Рекомендовано к печати Учебно-методической комиссией физического факультета СПбГУ (выписка из протокола № 10 от 17.06.2014 г.)

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов СПбГУ младших курсов естественно-научных направлений обучения, а также может быть полезно учащимся и преподавателям средних и средне-специальных учебных заведений.

Лабораторная работа выполняется на оборудовании Образовательного ресурсного центра по направлению физика Научного парка СПбГУ (<http://researchpark.spbu.ru>).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Некоторые вопросы теории	5
1.1. Термоэлектронная эмиссия и электрический ток в вакууме	5
1.2. Вакуумные диод и триод	11
2. Методика эксперимента.....	17
2.1. Описание установки.....	17
2.2. Проведение измерений	22
3. Техника безопасности	28
4. Порядок выполнения лабораторной работы.....	30
5. Обработка результатов, требования к отчету	33
6. Контрольные вопросы.....	34
Список рекомендуемой литературы и справочные данные	36
Приложение. Начало эпохи электронных коммуникаций — основные открытия, изобретения и казусы	37

Введение

За полтора столетия электроника и основанные на ней коммуникационные и информационные технологии преобразили повседневную жизнь человеческого общества. И определяющую роль в этом сыграли ученые-физики. Сначала физики открыли основные законы электрических и магнитных явлений, предсказали и обнаружили электромагнитные волны, доказали электромагнитную природу света. Затем нашли законы, которые действуют в микромире, разобрались со строением атомов вещества, твердых тел и происходящими в них процессами. Эти открытия были внесены в повседневную жизнь каждого человека осознанным, целенаправленным и упорным трудом образованных и талантливых ученых и инженеров, энергией предпринимателей, совместно сумевших применить фундаментальные знания для блага и улучшения жизни людей и прогресса человечества.

Данная лабораторная работа посвящена практическому знакомству с принципами действия и применения первых элементов электронных схем — вакуумному диоду и триоду. Все идеи усиления и преобразования электрических сигналов наиболее наглядно проявляют себя в этих элементах и не требуют привлечения сложных теоретических представлений.

При проведении работы Вы потренируетесь в сборке простых измерительных схем и закрепите практически важные навыки работы с электрическими тестерами.

В Приложении кратко прослежена история электронных коммуникаций. Упомянуты имена ученых и изобретателей, которые не столь часто упоминаются в России.

1. Некоторые вопросы теории

1.1. Термоэлектронная эмиссия и электрический ток в вакууме

В начале 80-х годов XIX века, экспериментируя с лампами накаливания (см. рис. 1), американский изобретатель Эдисон ввел дополнительный электрод в форме металлической пластины А и обнаружил, что между раскаленной нитью К и пластиной А может течь ток, регистрируемый гальванометром G, если пластину А соединить с положительным полюсом электрической батареи. А если пластину соединить с отрицательным полюсом батареи, гальванометр G не обнаруживает протекание тока в цепи. Причем сила тока в первом случае будет зависеть от температуры разогрева нити. Понятно, что в таком опыте раскаленная нить испускала некие заряженные частицы, но их природа была тогда неизвестна.

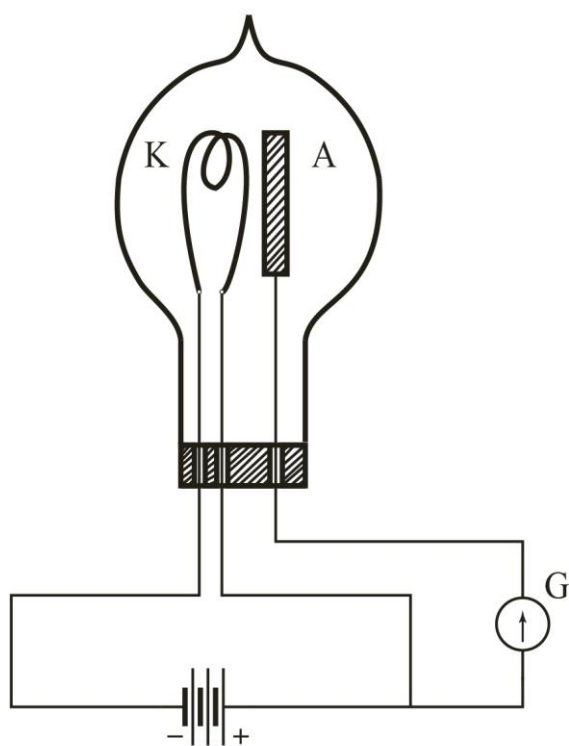


Рис. 1. Схема опытов Эдисона.

Несмотря на отсутствие теоретического объяснения явления, Эдисон предложил использовать это явление для индикации силы тока в цепи накала и запатентовал соответствующее устройство в 1884 г. Обнаруженное явление односторонней проводимости было названо «эффектом Эдисона». Объяснение этому явлению было дано после открытия в 1887 г. английским физиком Дж. Томпсоном электрона. Неизвестные корпускулы в опытах Эдисона — электроны, частицы,

обладающие зарядом, равным по величине заряду иона водорода, но имеющие значительно меньшую массу. Они вылетают из раскаленного до высокой температуры металла. Электроны переносят отрицательный заряд с

раскаленной нити на дополнительный электрод. Согласно классической «электронной теории металлов» Друде, в металлах, кроме электронов, связанных с атомами, имеется большое число так называемых «свободных электронов», поведение которых подобно частицам газа. Они способны передвигаться по всему металлу. При увеличении температуры металла их скорость движения увеличивается. В металле находятся и положительные ионы, от которых оторвались эти электроны. Ионы колеблются около положений равновесия в узлах кристаллической решетки металла. В целом металл не заряжен. Когда электрон подлетает к границе между металлом и вакуумом, сила, действующая со стороны всех положительных ионов металла, направлена внутрь и препятствует его выходу за пределы металла. Однако если скорость движения электрона достаточно велика, он будет в состоянии преодолеть эту задерживающую силу и вылететь из металла в вакуум. При вылете за поверхность металла электрон должен потерять часть своей энергии и совершить работу против сил, стремящихся удержать его в металле. Чем выше температура металла, тем большее число электронов способно покинуть металл и улететь в вакуум. Но если электроны покидают металл, в металле начинают преобладать положительные ионы. Металл становится заряженным положительно и начинает притягивать к себе улетающие электроны. И если вылетевшие из металла электроны не удаляются от области, прилежащей к его поверхности, электрическим полем, то устанавливается равновесие между числом покинувших металл электронов и числом вернувшихся обратно.

Английский физик Ричардсон доказал, что электронная эмиссия из разогретых металлов свойственна всем проводникам и зависит от температуры и величины работы выхода. Известная формула Ричардсона для плотности тока j имеет вид:

$$j = \text{Const } T^2 \exp\left(-\frac{\varphi}{kT}\right), \quad (1)$$

где T — температура металла, k — постоянная Больцмана, φ — работа выхода.

Увеличить ток можно двумя способами — повышать температуру, но это

требует затрат энергии и ведет к разрушению нитей накала. Вторым путем — создавать проводники, имеющие низкую работу выхода. Поэтому были выбраны такие решения «косвенного накала» катода или как их иначе называют «подогреваемые катоды». Вольфрамовая нить разогревает окружающий ее проводник, обладающий низкой работой выхода и играющий роль катода. Работу выхода около 1,0 эВ имеют так называемые оксидные катоды. В оксидном катоде слой около поверхности состоит из смеси оксидов кальция, бария и стронция (около 80% и по 10 % соответственно). Рабочая температура оксидного катода низкая (лежит в диапазоне 900–1100°K) по сравнению с 2400–2600°K у вольфрамового катода. При выполнении работы Вы увидите, как ярко светится вольфрамовая нить накала. Нити накала современных ламп светятся тусклым малиновым светом.

Таким образом, термоэлектронная эмиссия является источником носителей тока в вакуумном промежутке между катодом и анодом. А по какому закону связаны между собой ток и напряжение в таком случае? Рассмотрим подробнее этот вопрос.

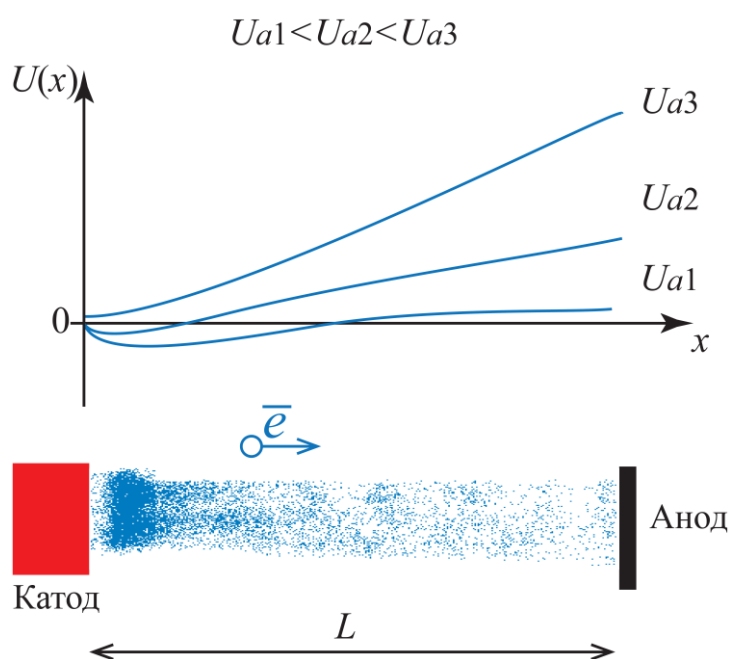


Рис. 2. Ток электронов между раскаленным катодом и анодом в вакууме, зависимость потенциала в пространстве между ними от координаты при разных значениях напряжения на аноде.

Около катода возникает облако из отрицательно заряженных электронов рис. 2. Оно отталкивает вылетающие из катода электроны обратно в катод. Очень быстрые электроны преодолевают это отталкивание и попадают на анод.

При замыкании цепи между катодом и анодом в ней может протекать ток. Если к аноду приложить

небольшой отрицательный потенциал — ток прекратится. А если на анод подать положительный потенциал — электронное облако около катода начнет смещаться в сторону анода. Ток возрастет. Но пока потенциал на аноде не высок, только часть вышедших из катода электронов попадет на анод. А при высоком потенциале, когда будет скомпенсировано тормозящее действие электронного облака, все эмитируемые электроны, попадут на анод. Ток достигнет насыщения. И при увеличении напряжения больше расти не будет. При термоэлектронной эмиссии, когда катод окружен облаком притягивающихся к нему электронов, число носителей тока не постоянно. С увеличением анодного напряжения все больше электронов начинает участвовать в переносе заряда. Таким образом, ток не прямо пропорционален напряжению, и связь между током и напряжением имеет нелинейный характер. Более точная зависимость на участке от нулевого потенциала на аноде до области начала насыщения была установлена Лэнгмюром. Он показал, что ток пропорционален напряжению на аноде в степени $3/2$ («закон $3/2$ »), и обратно пропорционален квадрату расстояния L между катодом и анодом.

$$I_a \sim U_a^{3/2} / L^2. \quad (2)$$

Ток, протекающий в вакууме между нагретым катодом и анодом, будет зависеть от температуры катода и напряжением на аноде. Типичный вид вольтамперной характеристики диода — зависимости тока от напряжения на аноде, при трех разных температурах катода, схематически показан на рис. 3. Прежде всего, надо отметить, что имеет место нелинейная зависимость тока от напряжения. Максимальный ток, так называемый ток насыщения, зависит от температуры катода. Чем выше температура катода, тем больше ток насыщения. На участке от нулевого потенциала на аноде до начала области насыщения действует «закон $3/2$ ».

Англичанин Флеминг был первым, кто в 1904 г. запатентовал и начал практически применять свойства такой системы в радиосвязи. Первоначально устройство называлось «вентилем Флеминга», а впоследствии получило название диода.

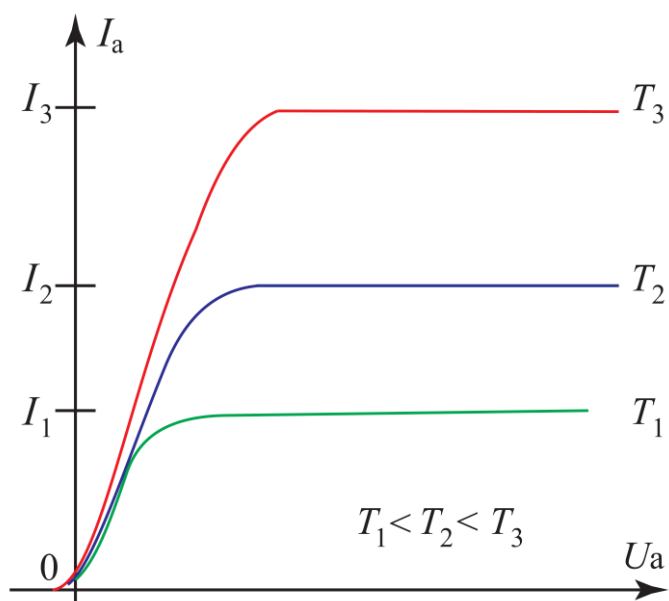
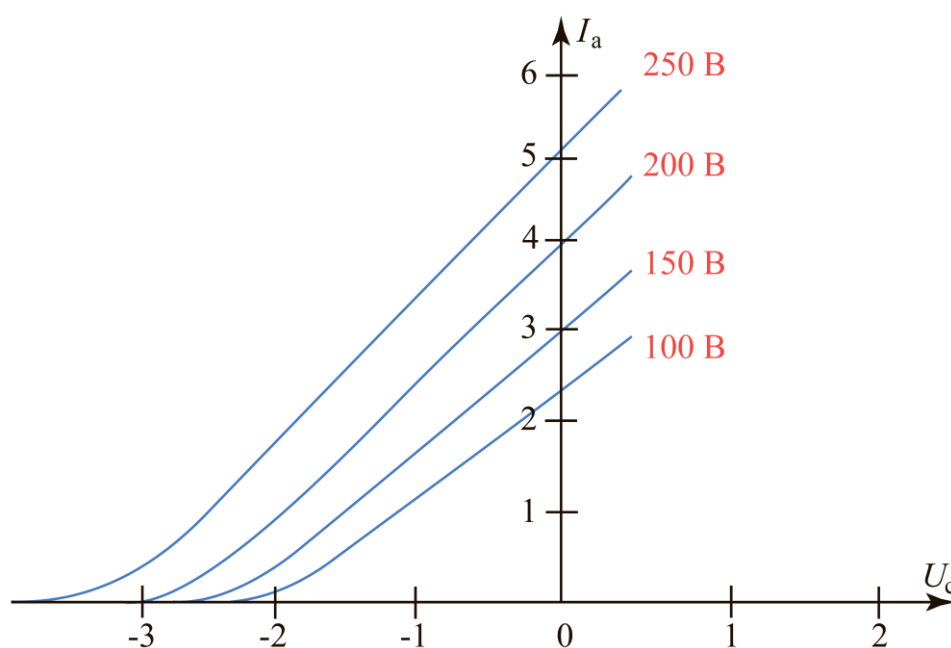


Рис. 3. Зависимость тока между катодом и анодом от напряжения на аноде при различных температурах T катода.

Американец Ли де Форрест спустя два года модифицировал диод Флеминга. Между нитью накала и анодом, ближе к нити накала он расположил сначала платиновую пластинку с перфорированными отверстиями — «сетку», а потом заменил ее на более простую и дешевую конструкцию — кусок проволоки, изогнутый в виде решетки. Де Форрест запатентовал свое изобретение в

1906 г. Принято считать, что с этого изобретения и началась современная электроника. Лампа де Форреста, названная им аудионом, впоследствии получила название триод. Подача на этот третий электрод — сетку напряжения, значительно меньше анодного напряжения, может изменять ток между катодом и анодом. Разберем это явление подробнее. Напряжение на сетке, которая расположена вблизи катода, значительно сильнее влияет на ток между катодом и анодом, чем анодное напряжение. Если напряжение на сетке равно нулю, то ток через лампу определяет потенциал анода. Пусть на сетку, которая расположена близко к катоду, подан положительный потенциал. Тогда поля от анода и сетки складываются, скорость электронов растет, облако вокруг катода рассасывается быстрее и ток становится больше, чем в случае, когда на сетке был нулевой потенциал. В результате ток может достигнуть тока насыщения. Все происходит наоборот, если на сетку подается отрицательный потенциал. Поле от анода ослабевает, поле от сетки тормозит электроны, в результате электронное облако вокруг катода увеличивается, электроны не могут прорваться в область за сетку. Ток уменьшается и может стать равным нулю. В этом Вы сможете убедиться в практической части работы. Менее десяти

вольт на сетке практически сводит к нулю ток через лампу при положительном напряжении на аноде в 200–300 В. Таким образом, меняя потенциал на сетке, мы можем управлять током через лампу. С появлением триода, появилась возможность создания эффективных электронных систем усиления и генерации электрических колебаний. Анодный ток триода I_a (при постоянной температуре катода) определяется двумя параметрами — напряжением на сетке U_c и на аноде U_a — $I_a = I_a(U_c, U_a)$. Эта трехмерная зависимость дает электрические характеристики лампы, которые зависят от ее конструкции. На практике



используют два семейства, связанных между собой кривых. Так называемые сеточные характеристики (рис. 4) — зависимости анодного тока от напряжения на сетке при постоянном напряжении на

Рис. 4. Сеточная характеристика.

аноде. Анодные характеристики — зависимости анодного тока от напряжения на аноде при постоянном напряжении на сетке.

Связь между сеточными и анодными характеристиками показана на рис. 5. Имея сеточные характеристики, мы можем построить анодные. Пример построения анодной характеристики при напряжении на сетке -1 В по семейству сеточных характеристик дан на рис. 5. Из точки на горизонтальной оси « -1 » двигаемся вверх. Первое пересечение происходит с сеточной характеристикой, снятой при постоянном анодном напряжении в 100 В при значении анодного тока 1,1 мА. Переносим на график анодных

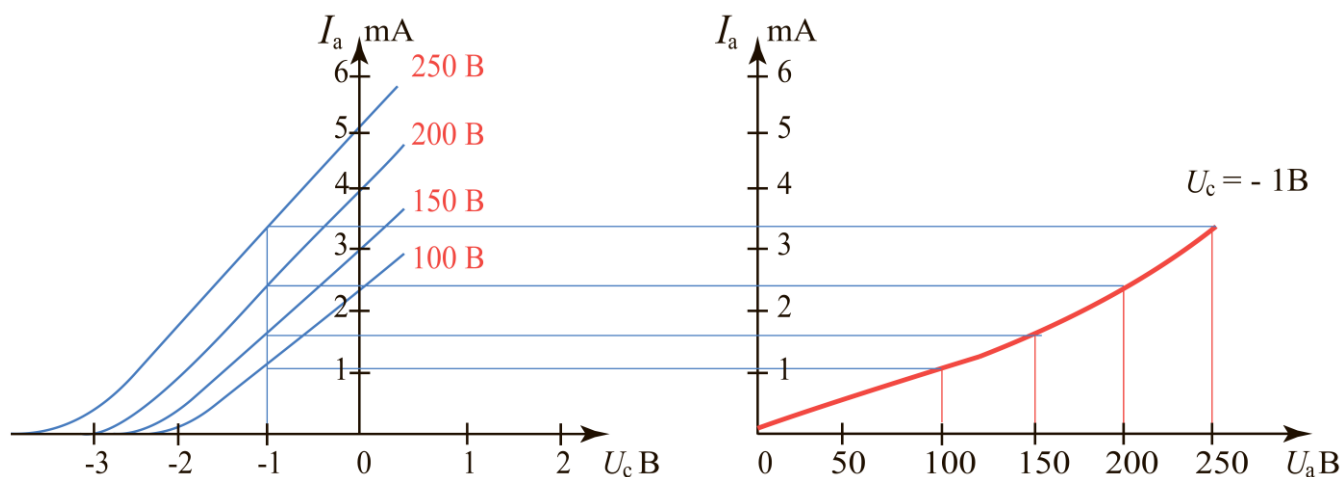


Рис. 5. Связь сеточных характеристик (слева) с анодной характеристикой (справа).

характеристик точку с координатой соответствующей анодному току 1,1 мА и напряжением 100 В. Следующее пересечение будет с характеристикой для 150 В при токе 1,6 мА. Строим на анодной характеристике точку с координатами 1,6 мА и 150 В. Продолжаем такой процесс построения, получаем точки, по которым можно построить анодную характеристику. Понятно, что, имея семейство анодных характеристик, таким образом можно построить и семейство сеточных характеристик.

1.2. Вакуумные диод и триод

Диод — принципы применения

В вакуумном диоде носители тока — частицы с отрицательным зарядом. Электроны возникают вследствие термоэлектронной эмиссии с разогретого катода. Они начинают двигаться к аноду, когда на него подается положительный потенциал. При отрицательном потенциале ток протекать не будет. Это свойство вакуумного диода используют в выпрямителях переменного тока, в устройствах, когда из переменного напряжения нужно получить постоянное. Схема простейшего выпрямителя и эпюры напряжений на его входе и выходе изображены на рис. 6.

Если на вход выпрямителя подается гармоническое напряжение, то в отсутствии конденсатора C ток течет через лампу только тогда, когда потенциал катода меньше анода, следовательно, на верхнем выводе сопротивления будут отрицательные импульсы напряжения, длительностью

в половину периода, как это показано на рис. 6в. Если в схему ввести конденсатор C , то можно сгладить пульсации (если произведение RC сравнимо или больше периода поданного на вход схемы синусоидального напряжения). Когда ток протекает через диод — конденсатор заряжается, затем при закрытом диоде — конденсатор разряжается через сопротивление. Такой выпрямитель называется «однополупериодный».

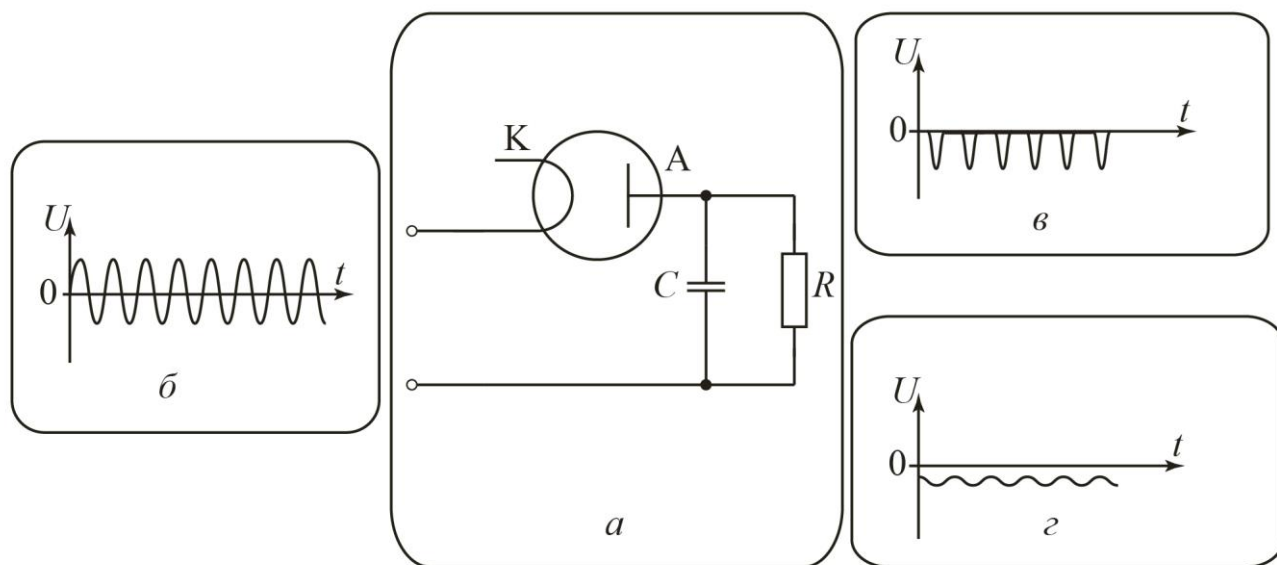


Рис. 6. а — электрическая схема для выпрямления переменного напряжения, б — напряжение на входе схемы, в — напряжение на выходе схемы без конденсатора C , г — напряжение на выходе при наличии в схеме «сглаживающего» конденсатора C . К — катод, А — анод. На рисунке изображен диод с косвенным накалом. Нить накала не показана.

Следующий важный пример применения диода — детектирование — выделение низкочастотной огибающей, несущей информацию (речь, музыка) в электромагнитных волнах, излучаемых передатчиками радиостанций. Схема простейшего радиоприемника и эпюры напряжений, показаны на рис. 7а. Приемник имеет антенну — кусок длинного провода, подключенный к колебательному контуру, состоящему из катушки с индуктивностью L_K и емкости C_K , которые образуют параллельный колебательный контур. К концам контура подключен вакуумный диод, емкость C , сопротивление нагрузки R . В качестве нагрузки могут быть использованы и чувствительные наушники.

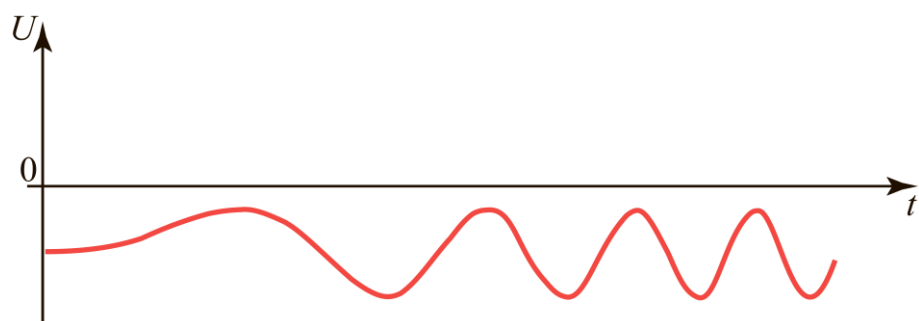
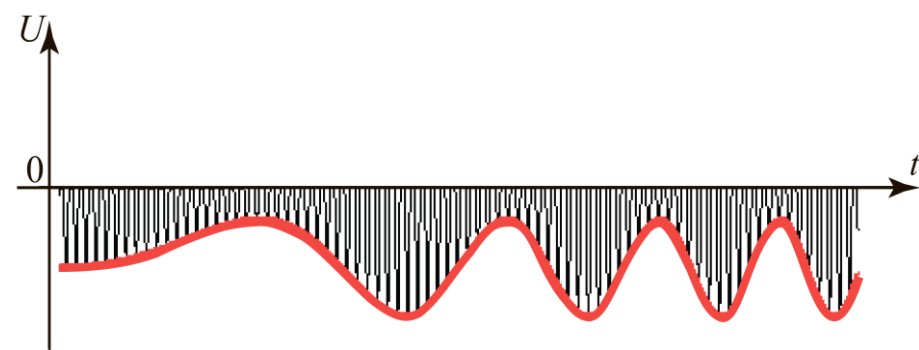
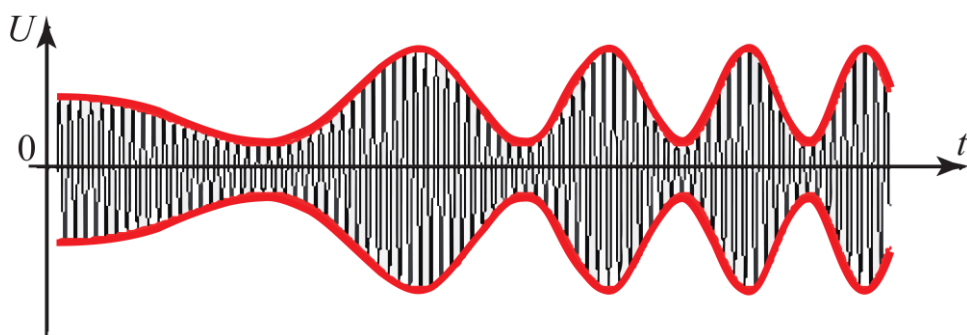
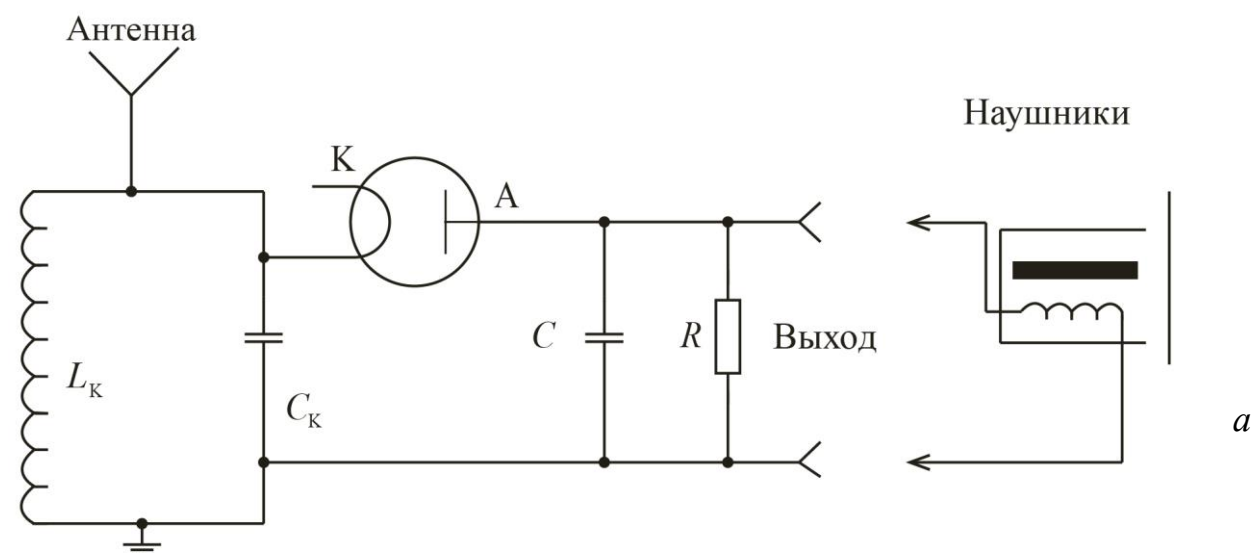


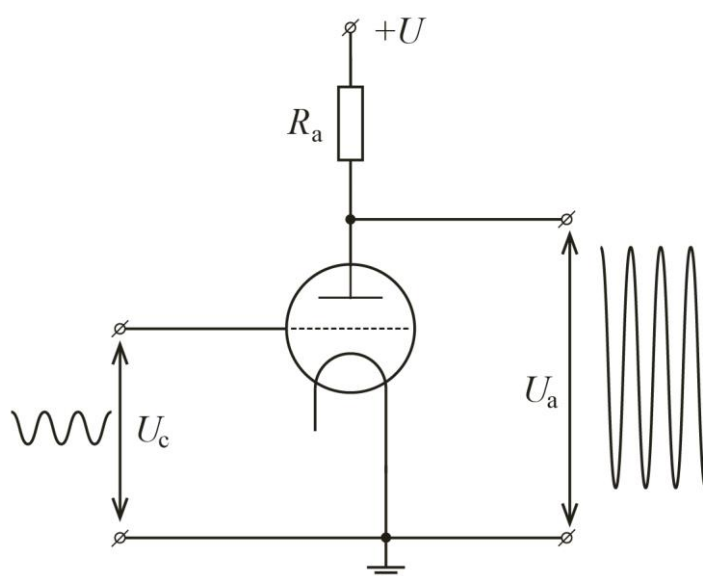
Рис. 7. а — схема радиоприемника с диодным детектором; б — электрическое напряжение сигнала радиостанции на входе диодного детектора; в — напряжение после выпрямления (конденсатор отсутствует); г — выделена низкочастотная составляющая в сигнале радиостанции (речь, музыка).

Электромагнитные волны, излучаемые передатчиком, содержат переменную на несущей частоте передатчика¹ составляющую электрического поля, которая индуцирует токи между антенной и заземлением на концах колебательного контура. Если собственная частота контура совпадает с частотой передатчика, наблюдается явление резонанса — напряжение резко возрастает. Диод начинает работать в уже рассмотренном ранее режиме выпрямления.

При модуляции амплитуды речью или музыкой (рис. 7б) и отсутствии емкости он пропускает только отрицательную часть сигнала.

При наличии емкости на выходе выделяется огибающая. Ее можно направить в усилитель, или просто включить наушники для прослушивания передачи.

Триод — принципы применения



Размещение между анодом и катодом дополнительного электрода позволяет эффективно управлять электронным током, протекающим между анодом и катодом, и усиливать слабые сигналы. В рассмотренном ранее примере можно усилить предварительно высокочастотный

Рис. 8. Схема простейшего усилителя на триоде.

модулированный сигнал от радиопередатчика перед детектором, а так же выделенную диодным детектором модуляцию для прослушивания радиопередачи через громкоговоритель. Простейшая схема усилителя на триоде, которая может быть использована для этих целей, показана на рис. 8.

¹ Частоты радиостанций, использующие амплитудную модуляцию, лежат в диапазоне от сотен килогерц, до десятка мегагерц.

На управляющую сетку триода подается переменное напряжение U_c . Оно управляет током, протекающим между катодом и анодом лампы. Между источником питания U_c и анодом включено сопротивление R_a . Пусть напряжение на сетке растет. Возрастает ток через лампу. При увеличении тока увеличивается падение напряжения на сопротивлении R_a , и U_a уменьшается:

$$U_a = U - R_a \cdot I_a. \quad (3)$$

А если напряжение на сетке уменьшается, уменьшается ток через лампу и падение напряжения на сопротивлении R_a , U_a увеличивается. Таким образом, в напряжении U_a появляется переменная составляющая. Она изменяется в противофазе с напряжением на сетке, а ее величина будет зависеть от сопротивления R_a , размещенного в цепи анода, и сопротивления цепи на участке анод — катод.

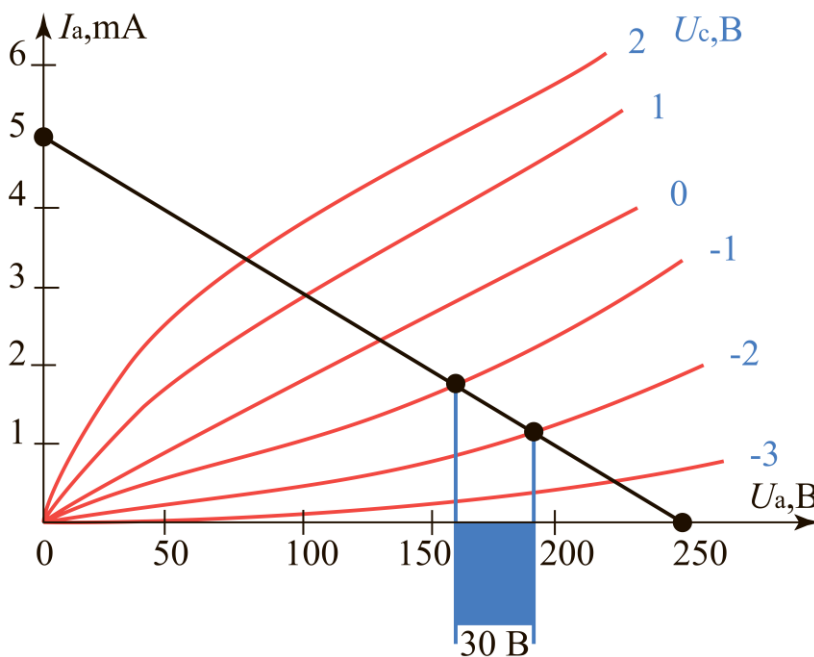


Рис. 9. Определение усиления по анодным характеристикам триода.

Для определения коэффициента усиления такой схемы воспользуемся семейством анодных вольтамперных характеристик лампы. Предположим, что для нашего триода она имеет вид, показанный на рис. 9. Линии красного цвета — зависимости анодного

тока при постоянном напряжении на сетке. Меняя напряжение на сетке, мы переходим с одной анодной характеристики на другую и переходим к другому значению напряжения на аноде. Получим из (3) зависимость тока I_a от напряжения U_a :

$$I_a = (U - U_a) / R_a. \quad (4)$$

Возьмем напряжение питания $U = 250$ В и сопротивление $R_a = 50000$ Ом. Прямая линия черного цвета на рис. 9 — зависимость по формуле (4) анодного тока I_a от напряжения U_a непосредственно на аноде лампы при таких параметрах. Она пересекает вертикальную ось при значении тока 5 мА, а горизонтальную ось — при напряжении 250 В. Допустим, что напряжение на сетке у нас меняется в пределах от -2 В до -1 В. Прямая пересекает анодную характеристику, снятую при -2 В при напряжении 190 В. А анодную характеристику, снятую при -1 В пересекает при напряжении 160 В. Таким образом, изменение напряжения на сетке в 1 В даст изменение напряжения на аноде в 30 В. Отсюда усиление триода при таком сопротивлении в анодной цепи равно 30.

Обратите внимание, чем больше сопротивление в цепи анода, тем больше усиление, но меньше анодный ток. Чем меньше сопротивление — меньше усиление, а анодный ток больше.

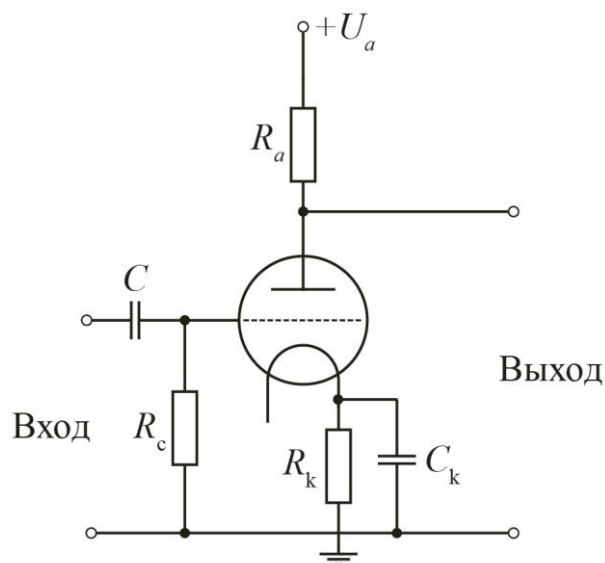


Рис. 10. Схема усилителя на триоде.

В используемых на практике усилителях обычно применяют схему, изображенную на рисунке 10. Назначение элементов следующее. Конденсатор C разделяет по постоянному току вход усилителя от предыдущих цепей схемы. Сопротивление R_c между сеткой и «массой» препятствует накоплению заряда на сетке. Сопротивление в цепи

катода R_k повышает потенциал катода относительно сетки, сетка оказывается в области отрицательного потенциала. Емкость в цепи катода поддерживает потенциал катода при усилении переменного сигнала.

2. Методика эксперимента

2.1. Описание установки

В состав установки (рис. 11) входят блок питания, три электрических тестера со стрелочной индикацией, комплект проводов синего цвета и комплект проводов красного цвета, демонстрационные электровакуумные лампы диод и триод. Рассмотрим подробнее перечисленные приборы.

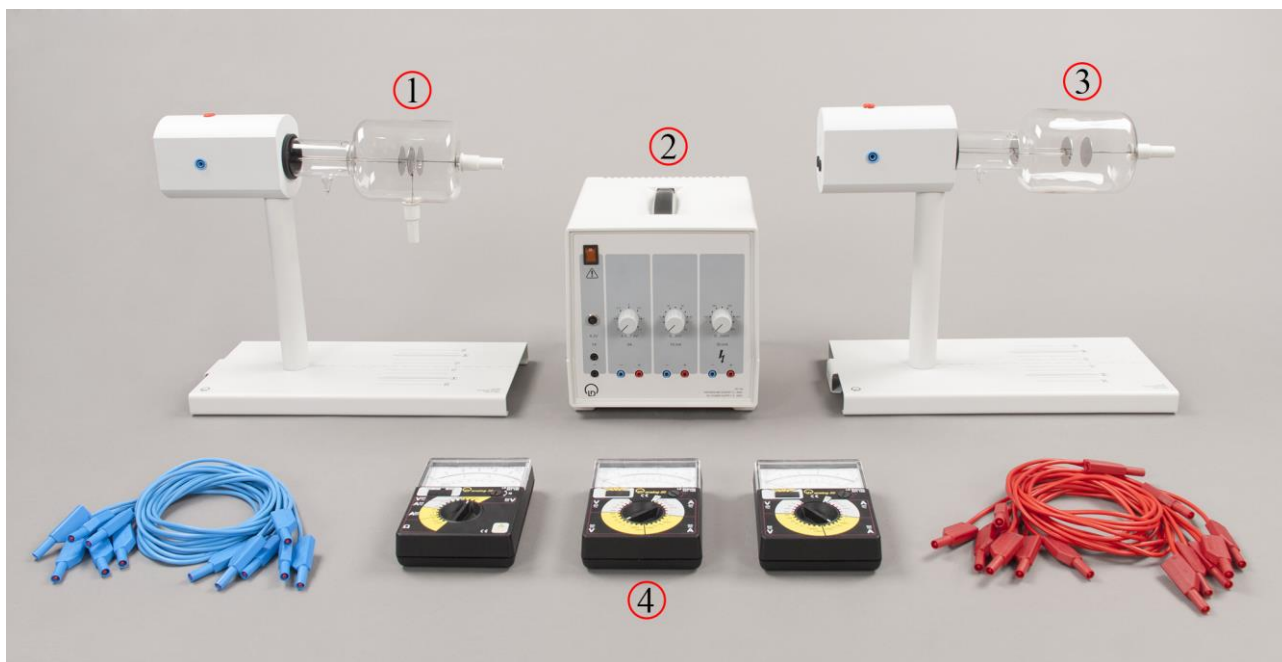


Рис. 11. Фотография экспериментальной установки. 1 — триод; 2 — блок питания; 3 — диод; 4 — тестеры.

Блок питания

Фотография передней панели блока питания представлена на рис. 12. Посмотрим на расположение элементов на панели. Кнопка «включения/выключения» питания расположена в верхнем левом углу. На панели в выделенных цветом прямоугольных областях размещены ручки плавной регулировки напряжений и электрические гнезда, на которые поступает регулируемое ручками напряжение.

Интересующие нас области обозначены на рисунке цифрами 1, 2 и 3. В зоне 1 можно получать низковольтное напряжение от 4,5 до 7,5 В при токе до 5 А для питания нитей накала. В зоне 2 — напряжение в диапазоне

от 0 до 50 В и токе до 10 мА для подачи напряжения на сетку триода. А в зоне 3 — напряжение от 0 до 500 В, ток до 50 мА для питания анодов ламп. Электрические гнезда отличаются цветом. Обратите внимание, что синие гнезда соответствуют «минусу», красные — «плюсу».



Рис. 12. Передняя панель блока питания. 1,2,3 — интересующие области; 4 — ручки плавной регулировки напряжений; 5 — клавиша включения/выключения

Электрические тестеры

Для регистрации токов и напряжений в работе используются три универсальных тестера двух типов с индикацией стрелочного типа. Пользовательский интерфейс таких приборов достаточно прост (рис. 13).

Для использования типового тестера, надо усвоить несколько правил. В каждом тестере есть следующие элементы:

- клавиша «включения/выключения»;
- несколько гнезд для подключения проводов;
- стрелочный прибор или цифровой дисплей. (В нашем случае стрелочный прибор с несколькими шкалами);
- переключатель режимов работы.

На данных тестерах клавиша «включения/выключения» расположена слева под стрелочными индикаторами. В крайнем левом положении клавиши «OFF» тестер выключен. Сдвигая клавишу вправо, Вы включаете тестер. Обратите внимание, в правом тестере есть две шкалы красного и черного цвета. В левом — только одного черного цвета. Интуитивно понятно, что когда

переключатель в правом тестере показывает на пиктограмму красной шкалы — результат измерений надо считывать с красной шкалы. Когда переключатель показывает на пиктограмму с черной шкалой — результат измерений надо будет считывать с черной шкалы.

ВНИМАНИЕ:

в тестере используется режим энергосбережения. Тестер автоматически выключается, если в течение некоторого времени не используется для измерений. Чтобы тестер заработал, его надо выключить и затем снова включить.



Рис. 13. Фотография электрических тестеров, используемых в работе.

Гнезда для подключения

электрических проводов в наших тестерах расположены на боковой панели за шкалами. Посмотрите, какими пиктограммами маркируются гнезда для подключения электрических проводов. Слева расположены значки «земля» (или «корпус», «масса»). Они расположены слева на обоих приборах. К этим разъемам на рисунке присоединены провода синего цвета. На левом тестере соседнее гнездо обозначено пиктограммой с буквой «Ω». Буква омега, используется для обозначения величины сопротивлений в омах. Это гнездо нужно использовать при измерении сопротивления. Обратите внимание, на шкале переключателя есть сектор, также обозначенный пиктограммой с буквой «Ω». А на стрелочном индикаторе есть соответствующая шкала также с буквой «Ω». Двигаемся вправо и видим, что следующее гнездо обозначено пиктограммой, состоящей из значка «плюс» и «волна», а за ними следует буква «A». Это гнездо предназначено для подключения провода при измерении

величины постоянного и переменного тока. Значок «волна» в пиктограмме — режим измерения переменной величины, а значок «плюс» — постоянной величины. Буква «А» указывает на единицу измерения силы тока ампер. На шкале переключателя режимов Вы найдете сектора при расположении указателя переключателя в которых производится измерение постоянного и переменного токов. Последняя правая пиктограмма также состоит из значка «плюс» и «волна», за которыми следует буква V. Подсоединяться к этому гнезду нужно при выполнении измерений переменного (на такую возможность указывает значок «волна» в пиктограмме) и постоянного (указывает значок «плюс») напряжений (указывает буква «V» — вольты). На приборе слева кроме гнезда «земля» имеется только одно гнездо с пиктограммой из значков «плюс» и «минус». Гнездо используется для измерений как постоянных, так и переменных токов и напряжений.

Переключатель режимов работы позволяет, вращая рукоятку с указателем, выбирать тип измеряемой величины (сопротивление, переменный или постоянный ток и напряжение) и диапазон изменения. Ручка переключателя опоясана шкалой. На шкале указан тип и максимальное значение, которое может быть измерено в данном положении переключателя.

Результаты измерений отображаются на стрелочном индикаторе. Положение стрелки указывает на оцифрованную шкалу. Обратите внимание, под шкалами есть зеркальная полоска, которая служит для повышения точности снятия показаний со шкал тестеров. Вы можете смотреть точно над стрелкой, когда стрелка закрывает свое отражение. И точно снять отсчет. В остальных случаях, Вы будете смотреть на стрелку и шкалу с левой или правой стороны, и сопоставлять видимое положение стрелки относительно делений шкалы. Тогда считываемое значение будет несколько завышено или занижено.

Разберемся как считывать показания с тестеров. Посмотрите на рис. 13, на приборе слева провода подключены к гнездам «земля» и «постоянное — переменное» напряжение. Переключатель режимов работы стоит в секторе, помеченном буквами $\overline{DC}V$ — режим измерения постоянного напряжения.

(DC — постоянный ток, AC — переменный ток). Указатель переключателя направлен на цифру 300. Нижняя шкала на стрелочном приборе нам не нужна — она используется при измерениях сопротивлений. Смотрим, где расположена стрелка прибора на верхней шкале. Здесь она стоит напротив цифр 10, 20 и 40. Использовать цифры 10 и 40 нам будет не очень удобно, так как они соответствуют оцифровке с максимальным значением 15 и 60. В нашем же случае, указатель переключателя направлен на цифру 300. Цифра 20 соответствует оцифровке с максимальным значением 30. В уме умножаем 20 на 10 и получаем 200. Наш тестер показывает напряжение 200 В.

На приборе справа внимательно посмотрите на положение всех переключателей. Вы видите, что происходит измерение постоянного тока по шкале черного цвета. Максимальное значение тока при выбранном положении переключателя 10 мА. Мы берем показания с верхней шкалы. Выбираем оцифровку с максимальным значением 10. В таком случае стрелка показывает нам значение тока 8,2 мА.

Как практически работать с тестерами при выполнении лабораторной работы:

- присоединяете провод к гнезду «земля»;
- находите нужный Вам разъем в зависимости от необходимости измерить величину сопротивления или переменного/постоянного напряжения/тока и соединяете с ним второй провод;
- переключателем выбираете нужный диапазон измерений;
- переводите клавишу включения в нужное положение;
- находите соответствующую выбранному режиму шкалу на стрелочном приборе, подключаете прибор в измерительную схему и снимаете показания. При необходимости пересчитывая показания шкалы, как это показано выше;
- завершив работу с тестером, переводите клавишу выключателя в положение «OFF».

Комплекты проводов к данной работе имеют надежную изоляцию и специальную конструкцию наконечников — в наконечнике имеется

защищенный оболочкой штекер и гнездо. На рис. 14 показано как можно соединить два провода, используя защищенный штекер и гнездо на наконечнике провода.

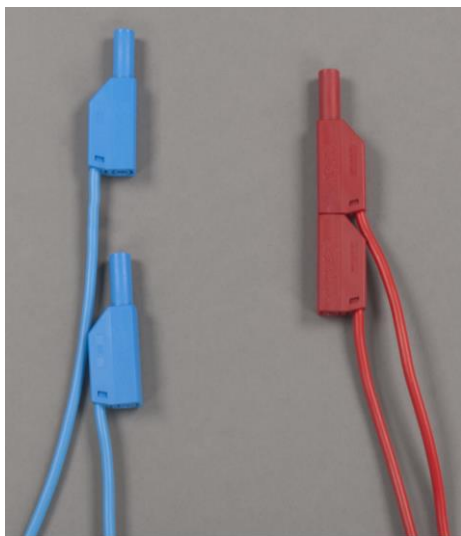


Рис. 14. Провода с наконечниками, имеющие защищенный штекер и гнездо.



Рис. 15. Гнезда для подключения напряжения к нити накала катода.

Демонстрационные вакуумные диод и триод

Лампы закреплены в стандартных держателях. В демонстрационных вариантах предусмотрена наглядность — отчетливо видны нить накала, аноды, сетка. Эти элементы соединены с выводами — аноды и сетка соединены с гнездами на стеклянной колбе лампы. А питание катода — два проводника, подводящие питание к нити накала, соединены с гнездами F₁ и F₂ на торце держателя ламп (см. рис. 15).

2.2. Проведение измерений

Эффект Эдисона

Для наблюдения эффекта Эдисона соберите схему, изображенную на рис. 16. Нить накала питается от низковольтного источника в блоке питания. Электрический тестер в режиме измерения тока соединен с анодом и «+» питания накала. В таком случае, можно наблюдать протекание тока в цепи. Если тестер подключить к «–» накала, ток протекать не будет. Можно заметить: если поднести ладонь к лампе, ток будет изменяться при движении руки вдоль лампы. Слабый заряд тела экспериментатора создает поле, которое влияет

на движение электронов. Можно измерить и потенциал анода. Для этого надо переключить тестер в режим измерения напряжения.

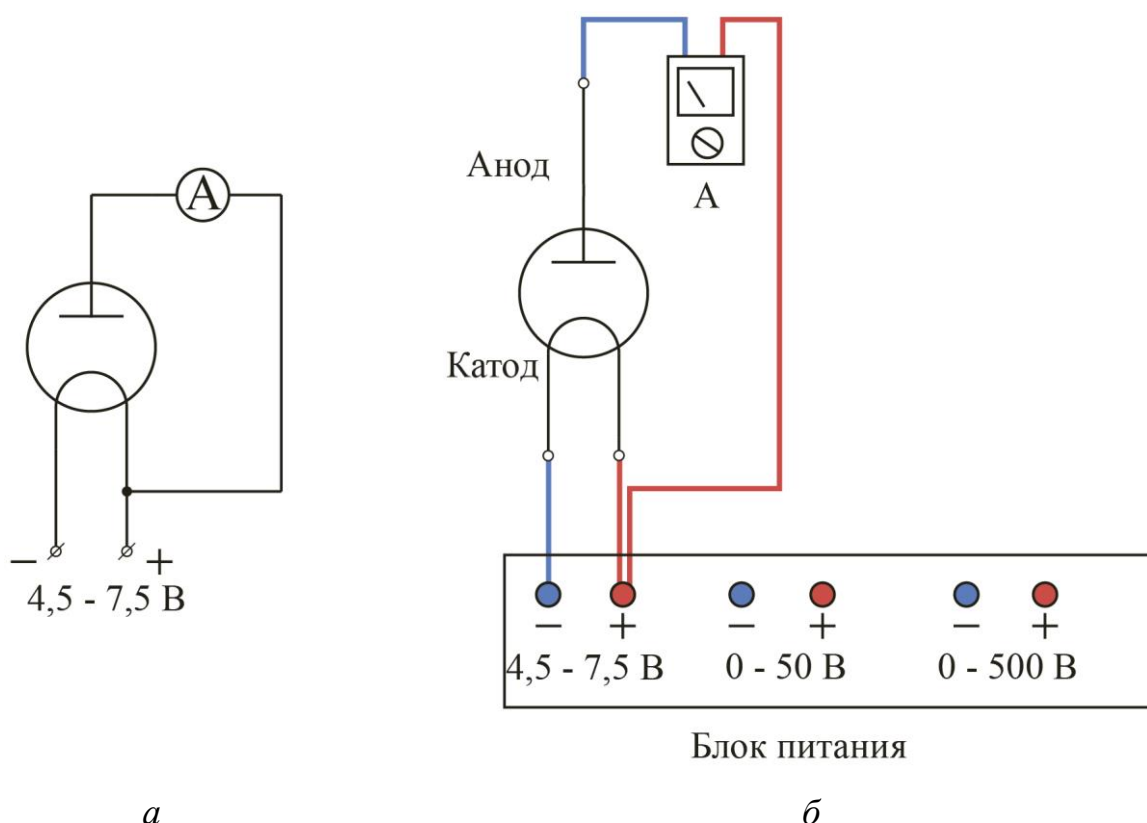


Рис. 16. Принципиальная (а) и более детальная (б) схемы для наблюдения эффекта Эдисона.

Диод

В этой части работы необходимо получить зависимости тока от напряжения между анодом и катодом при нескольких значениях напряжения питания нити накала. Принципиальная электрическая и более детальная схемы соединений электрических приборов приведена на рис. 17.

Нить накала диода питается от низковольтных выходов блока питания. Напряжение между анодом и катодом поступает с высоковольтных выходов.

Для проведения измерений тока и напряжения используют два электрических тестера. Один тестер работает в режиме измерения тока, второй — в режиме измерения напряжения. На более детальной электрической схеме показано, как рекомендуется соединить между собой блок питания, тестеры и диод, применяя для этого провода разного цвета.

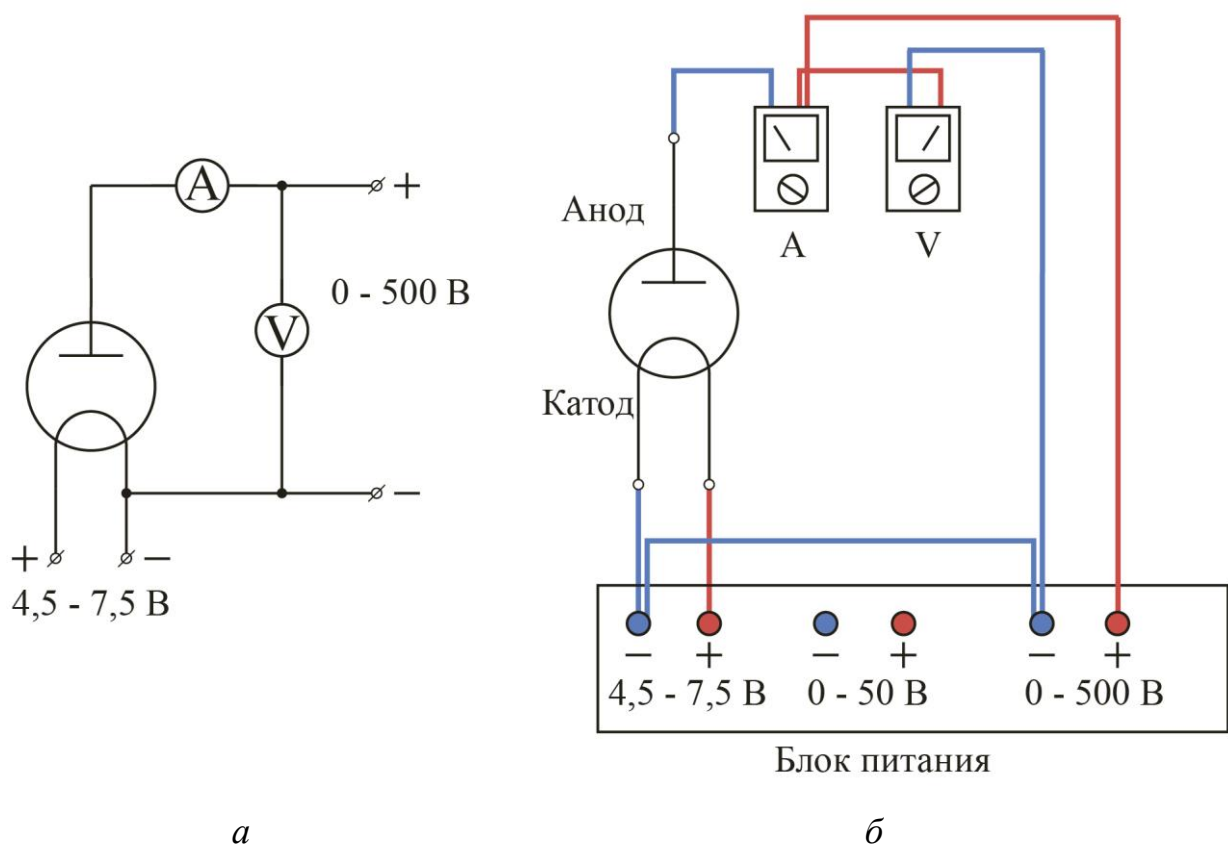


Рис. 17. Принципиальная (а) и более детальная (б) электрическая схема, предназначенная для проведения измерений с диодом.

Триод

Следующая часть работы посвящена изучению свойств вакуумного триода. Принципиальная электрическая схема и детальная схема электрических соединений между источниками питания, тестерами и триодом даны на рис. 18.

Здесь стоят задачи получить семейство зависимостей анодного тока при нескольких значениях постоянного напряжения на сетке от величины анодного напряжения. Также получить семейство зависимостей анодного тока от величины напряжения на сетке при нескольких значениях анодного напряжения.

Как и в случае диода напряжение нити накала подается из низковольтных гнезд блока питания. Высоковольтное напряжение между анодом и катодом поступает из высоковольтных гнезд блока питания 0–500 В, напряжение на сетку — из гнезд 0–50 В. Измерения напряжений и тока проводятся при помощи трех тестеров, работающих в соответствующих режимах. Два тестера использованы как в случае диода в цепи анода. Третий тестер измеряет

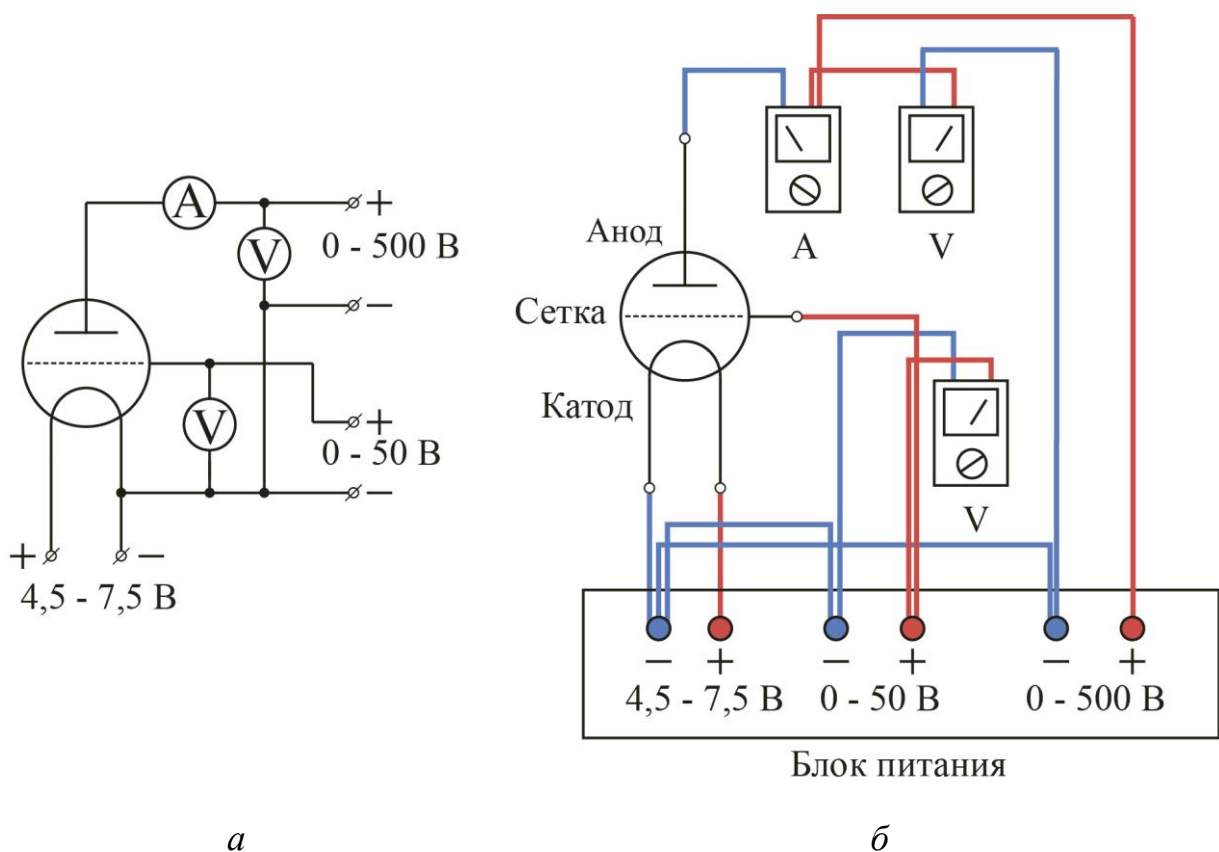


Рис. 18. Принципиальная (а) и более детальная (б) электрические схемы, предназначенные для проведения измерений с триодом.

напряжение на сетке относительно «+» питания катода. Обратите внимание, на рисунке 18 изображены схемы в которых на сетку подается положительное напряжение от 0 и выше. В работе надо исследовать и ситуацию когда на сетку подается отрицательный потенциал. Для этого в детальной схеме и на установке нам потребуются изменения. Провод, соединяющий «-» питания нити накала с «-» гнезда 0–50 В, нужно соединить с «+» гнезда этого выхода блока питания. А провод, соединяющий сетку с «+», подключить к «-» и, снимая показания с тестера, записывать их со знаком минус.

Еще раз отметим, что детальная схема нарисована с рекомендуемыми цветами проводов.

Рекомендации по сборке электрических схем

Приведенные наряду с принципиальными схемами детализированные схемы установок с указанием цветов проводов, должны помочь осознанно воплощать принципиальную электрическую схему в реальную схему

соединения приборов. При этом следует придерживаться следующих общих правил. Нельзя вести сборку электрических схем бессистемно, например, начинать собирать один фрагмент схемы, бросать и переходить к другому. Начинать сборку надо от гнезда источника, последовательно подключая все элементы в том порядке, в котором через них пойдет ток. Таким образом, следует собирать весь замкнутый контур от одного гнезда источника до второго. В цепях постоянного тока необходимо учитывать полярность приборов. Напоминаем, что в электротехнике принято считать, что ток протекает от «+» к «-» («массе»). Поэтому в детальных схемах мы используем маркировку проводов цветом. Красный провод соединяют с «+», синий с «-» («массой»). Потенциал на красном проводе всегда выше потенциала на синем.

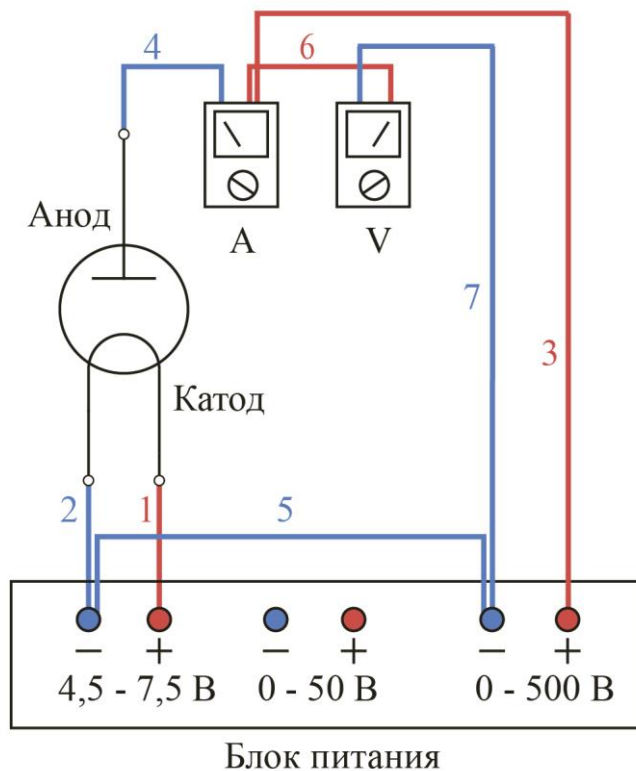


Рис. 19. Порядок сборки схемы.

В качестве примера разберем последовательность сборки схемы для измерений характеристик диода (рис. 19).

Первой собираем цепь питания накала. Красным проводом 1 соединяем «+» питания с гнездом на корпусе лампы F_1 , синим проводом 2 соединяем «-» питания с гнездом F_2 на корпусе лампы. Переходим к цепи анод — катод. Красным проводом 3 соединяем гнездо «+» высоковольтного

питания с гнездом «+» тестера. Проводом 4 синего цвета соединяем гнездо «корпус» тестера с гнездом анода диода. И замыкаем цепь, соединяя синим проводом 5 гнездо «-» питания накала с гнездом «-» высоковольтного питания. В последнюю очередь подключаем тестер, задача которого измерять напряжение на аноде. Красным проводом 6 соединяем «+» тестера—амперметра

с «+» тестера–вольтметра. Затем «массу» тестера–вольтметра проводом 7 соединяем с гнездом «–» высоковольтного выхода источника питания. Схема собрана последовательными и логичными действиями. Представьте, как трудно было бы собирать схему фрагментами и не системно. Например, вначале бы Вы установили провод 1, потом 3 и 6. Затем вернулись в цепь накала к проводу 2, потом 7 и 5. Закончили сборку соединением провода 4. В первом случае сборка шла осмысленно, реализовывалась идея схемы. При сборке можно не смотреть в описание. Во втором случае обойтись без постоянного использования схемы невозможно, при сборке велика вероятность ошибки. Вы можете попробовать сравнить на практике два варианта.

3. Техника безопасности

При выполнении работы Вам придется использовать напряжение от источника питания, которое может достигать 500 В. В связи с этим уместно напомнить следующее. Если участок тела становится проводником электрического тока, то в живых тканях человека начинаются неконтролируемые сознанием интенсивные судорожные сокращения мышц, которые воспринимаются как удары (откуда и пошло понятие «удар электрическим током»). Степень опасности определяется величиной тока и длительностью его воздействия на организм человека. Опасным считается ток свыше 50 мА. При таких токах возникает паралич дыхания, сбои в работе и остановка сердца. Безусловно, в установке приняты все меры безопасности. Максимальный ток, вырабатываемый блоком питания, не превышает 50 мА. Все штекеры имеют закрытую конструкцию, закрыты и контакты гнезд. Электрические провода имеют надежную изоляцию. Угроза может возникнуть только в том случае, если Вы из любопытства или по каким-то другим причинам попытаетесь засунуть в защищенный штекер или гнездо скрепку или провод с оголенными концами. **Подобные действия категорически запрещены.**

Следующие элементы установки — демонстрационные электровакуумные лампы диод и триод, также при неправильном обращении могут причинить Вам вред или быть выведены из строя. Поэтому в первую очередь убедитесь, что лампы надежно закреплены в панелях держателей. Для этого аккуратно и не прилагая усилий, возьмитесь двумя руками как показано на рис. 20 за баллон и держатель. Убедитесь, что лампы надежно закреплены.

Такие действия как подключение и отключение электрических кабелей также потребует внимательности, аккуратности и осторожности. Вначале возьмитесь одной рукой за изолированный вывод электрода лампы, и только потом присоединяйте или отсоединяйте электрический провод (рис. 21).



Рис. 20. Демонстрационная лампа: Проверка крепления.



Рис. 21. Присоединение/отсоединение электрических проводов к лампе.

После отсоединения всех проводов снова убедитесь, что лампа надежно держится в гнездах держателя.

Наконец, последние важные моменты. В процессе работы собирать и вносить изменения в электрические схемы можно только при **выключенном** блоке питания! После того как Вы собрали или изменили схему, Вам необходимо показать ее преподавателю для проверки. Перед включением блока питания убедитесь, что все ручки управления напряжением выставлены на минимальное значение напряжения. На минимальные значения напряжений следует установить ручки и перед выключением блока.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

Перед началом работы убедитесь, что на рабочем столе имеются все необходимые элементы — блок питания, три электрических тестера, комплект проводов, демонстрационный вакуумный диод и демонстрационный вакуумный триод. Внимательно осмотрите и определите: какая из ламп является диодом, какая — триодом. Убедитесь, что лампы надежно закреплены в держателях, выберите диод и поставьте его в рабочую зону. Триод отставьте в сторону (подальше от края стола).

При работе соблюдайте правила техники безопасности! Продумывайте свои действия. Будьте спокойны и внимательны. Избегайте неуклюжих движений, в результате которых Вы можете повредить, уронить элементы установки.

Часть 1. Вакуумный диод

Наблюдение эффекта Эдисона.

1. Соберите схему, изображенную на рис. 16.
2. Покажите схему преподавателю для проверки.
3. Пронаблюдайте появление тока в цепи. Зафиксируйте несколько значений.

Следующая задача — получить зависимости анодного тока I_a диода от напряжения на аноде U_a при разных напряжениях накала $U_{\text{нак}}$.

1. Соберите электрическую схему согласно рис. 17.
2. Переведите тестеры в нужные режимы измерений.
3. Покажите собранную схему преподавателю для проверки.
4. Подготовьте таблицу 1 для записи данных.

Таблица 1.

$U_a, \text{В}$	$U_{\text{нак}} = 5, \text{В}$	$U_{\text{нак}} = x, \text{В}$	$U_{\text{нак}} = x, \text{В}$
	I_a, mA	I_a, mA	I_a, mA
10			
25			
.....			

С учетом того, что Вам нужно провести измерения при не менее трех значениях напряжения накала в диапазоне от 5,0 до 6,0 В, измерения должны продемонстрировать эффект насыщения. Включите источник питания. Посмотрите предварительно, при каких напряжениях наблюдается насыщение для разных напряжений накала. Исходя из этого, выберите шаг изменения анодного напряжения. При выборе шага также учтите удобство считывания показаний со шкалы тестера. Проведите измерения и запишите результаты в таблицу 1.

Часть 2. Вакуумный триод

В этой части работы переходим к исследованию триода.

1. **Выключите источник питания.**
2. Отсоедините провода от диода, уберите его из рабочей зоны. Установите демонстрационный триод. Соберите схему для проведения измерений согласно рис. 18.
3. Покажите собранную схему преподавателю для проверки.
4. Перед проведением измерений зависимостей анодного тока I_a от анодного напряжения U_a при постоянном напряжении на сетке U_g , подготовьте таблицу 2 для записи данных.

Таблица 2.

	$U_g = 0, \text{ В}$	$U_g = +2, \text{ В}$	$U_g = +4, \text{ В}$	$U_g = -2, \text{ В}$	$U_g = -4, \text{ В}$
$U_a, \text{ В}$	$I_a, \text{ mA}$	$I_a, \text{ mA}$	$I_a, \text{ mA}$
0					
30					
60					
....					

5. Проведите измерения, записывая их результаты в таблицу 2.
6. Подготовьте таблицу 3 для записи измерений зависимостей анодного тока I_a от напряжения на сетке U_g при постоянных значениях анодного напряжения U_a .

Таблица 3.

U_g (В)	$U_a=50$ (В)	$U_a=100$ (В)	$U_a=150$ (В)	$U_a=200$ (В)
	I_a (мА)	I_a (мА)	I_a (мА)	I_a (мА)
15				
12				
9				
...				
-6				

7. Проведите измерения.

Вам предстоит записать достаточно большое количество данных «вручную», работая с двумя тестерами, снабженными стрелочными шкалами. Оцифровка и масштабы шкал в режиме измерения тока и напряжения не совпадают, работа монотонная, внимание может потеряться, и возникнут ошибки при считывании результатов. Они будут видны при построении графиков. Некоторые точки будут нарушать плавный характер графиков. Не стоит «корректировать» уже полученные данные.

5. Обработка результатов, требования к отчету

Полученные данные должны быть представлены в виде графиков. Постройте семейства вольтамперных характеристик для диода и триода. Постройте график для проверки закона « $3/2$ » для тока в диоде. Опишите результаты опыта по наблюдению эффекта Эдисона. Оцените усиление, которое можно получить в схеме с демонстрационным триодом.

Требования к оформлению отчета

В заголовке отчета следует написать название работы, ФИО автора работы, номер группы.

Отчет должен содержать следующие материалы:

- Краткую формулировку целей работы.
- Описание порядка выполнения работы.
- Электрические принципиальные схемы.
- Графики с вольтамперными характеристиками. Графики необходимо сопровождать пояснениями: какие закономерности демонстрируют представленные зависимости.
- Оценку усиления триода.
- Сформулированные выводы по результатам работы.

К отчету необходимо приложить таблицы с результатами проведенных Вами измерений.

6. Контрольные вопросы

Вопросы по практической части

1. Какие источники опасности есть в лабораторной установке? Какие меры безопасности Вам следует соблюдать при выполнении работы?
2. Расскажите, как пользоваться электрическими тестерами, которые будут использованы в работе? Что обычно обозначают пиктограммы, включающие значки «земля», «волна», «плюс», буквы « Ω », «A», «V», «DC», «AC»? Как правильно снимать показания со стрелочного прибора?
3. Посмотрите на фотографию внизу и определите, какие величины измерены тестерами:



Вопросы по теоретической части работы

1. Расскажите, как Вы представляете себе процесс термоэлектронной эмиссии.
2. Понятие о работе выхода электрона из металла, закон Ричардсона.
3. Закон изменения плотности тока Лэнгмюра.
4. Как работает диод при выпрямлении электрического тока?

5. Как работает диод в радиоприемнике при детектировании радиосигналов с амплитудной модуляцией?
6. Как работает усилитель на триоде?
7. Как определить коэффициент усиления триода?

Вопросы общего характера

1. Попробуйте сформулировать для себя разницу между научным открытием, изобретением, патентом.
2. Какие Вы знаете научные открытия, которые лежат в основе современной коммуникационной техники?

Список рекомендуемой литературы и справочные данные

1. Сивухин Д. В., *Общий курс физики. Т III Электричество*. М., ФИЗМАТЛИТ, 2002.

Гл. 7. Электрический ток в металлах, полупроводниках и вакууме. §101 Термоэлектронная эмиссия. § 102 Электронные лампы и их применение.

Гл. 10. § 142 Демонстрационные опыты с электромагнитными волнами.

§146 Принципы радиосвязи. (В данном издании на рис. 245, 247, 248 опечатки).

2. Соловьев В. А., Яхонтова В. Е. *Руководство к лабораторным работам по физике*. Учебное пособие. СПб., Издательство СПбГУ, 1997.

Гл. 4. Электроизмерительные приборы, стр 117, подраздел «Сборка схемы».

Приложение. Начало эпохи электронных коммуникаций — основные открытия, изобретения и казусы

История создания аудиона де Фореста

Понимания и знаний законов электричества и магнетизма, достигнутых в середине XIX, вполне хватало для создания телеграфа, телефонной связи, производства электрических батарей, генераторов и электрических моторов.

Однако только начиная с работ Максвелла и сделанного в них предсказания существования электромагнитных полей, распространяющихся в пустом пространстве с чрезвычайно высокой скоростью (скоростью распространения света), и с опытов Герца, в которых было экспериментально доказано существование таких волн, начались работы, приведшие к эпохе электронных коммуникаций. Теория Максвелла и опыты Герца показали, что движение зарядов в проводниках служит источником связанных электрических и магнитных полей, которые в свою очередь способны порождать движение зарядов в проводниках, достаточно удаленных от проводников, которые являются источниками таких полей. Вспомним, как выглядели опыты Герца (см. рис. П1).

Батарея постоянного тока DC питает левую обмотку с малым числом витков, намотанную на металлическом сердечнике. Под действием тока сердечник намагничивается и притягивает подвижный контакт, изображенный над сердечником. Цепь размыкается. Когда намагниченность сердечника пропадает — контакт замыкает цепь, по ней вновь течет ток.

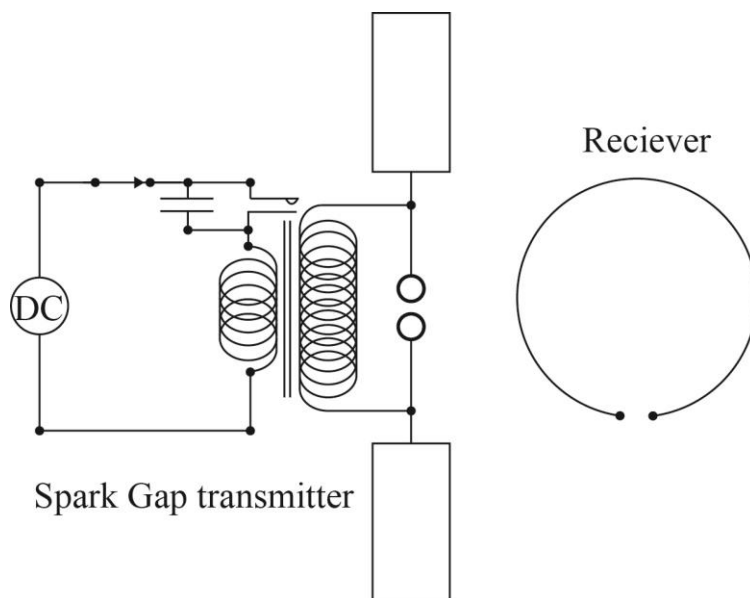


Рис. П1. Опыты Герца. Искровой генератор электромагнитных волн на основе катушки Румкорфа и приемник электромагнитных волн.

Правая обмотка содержит много витков. Фактически, система является повышающим

трансформатором (повышающий трансформатор Румкорфа). Импульсы тока в первичной цепи порождают высокое напряжение на выводах правой обмотки. Источником электромагнитных волн служили два куска провода, на прилегающих концах которых располагались сферические шары, а на других — плоские металлические пластины (конструкция вошла в историю под названием диполь Герца, вибратор Герца). К ним и подводится высокое импульсное напряжение с выходной обмотки трансформатора. Между шарами проскакивает искра. Ранее немецкий физик Вильгельм Феддерсен доказал, что электрический разряд имеет колебательный характер. Он исследовал разрядную искру с помощью вращающихся зеркал и установил, что каждый разряд состоит из целой серии разрядов, а время между разрядами пропорционально корню квадратному из произведения емкости и самоиндукции цепи, в которой это происходит. Так возникают затухающие колебания в диполе Герца, которые и порождают электромагнитные волны. Принимает эти волны «приемник» в виде разомкнутого витка с шарами на концах. Между шарами проскакивает искра. По пути Герца пошли другие физики, которым удалось воспроизвести с «волнами Герца» все явления, которые свойственны оптическому излучению. В 1897 году итальянский профессор Риги (у него вольнослушателем был один из пионеров радиосвязи Г. Маркони) опубликовал монографию с итогом таких исследований: «Оптика электрических колебаний».

Исследования Герца привлекли внимание не только ученых, но и многочисленных инженеров и предпринимателей. Забрезжили перспективы создания беспроводной телеграфии, телефонии, передачи электрической энергии без проводов. Здесь надо заметить, что появление проводной связи уже изменило жизнь. Активно разрабатывались системы передачи информации. Уже тогда по телеграфным линиям связи передавались изображения, а в 1885 берлинский студент-физик Пауль Нипков запатентовал систему передачи движущихся изображений, явившуюся прообразом современного телевидения. Спустя сорок лет его идеи были практически воплощены в электромеханическом телевидении.

Английский ученый Крукс в феврале 1892 г. писал в «Fortnightly Review»: «Лучи света не проходят через стены или, как мы отлично знаем, через лондонский туман, но электромагнитные волны длиной в ярд или более легко проходят через такую среду, которая для них прозрачна. Здесь открывается изумительная

возможность телеграфирования без проводов, почты, кабеля или других наших теперешних дорогих приборов. При реализации некоторых разумных предпосылок все это оказывается в пределах реального осуществления. В настоящее время экспериментаторы могут возбуждать электромагнитные волны любой длины и поддерживать их излучение в пространстве во всех направлениях. Можно также применять некоторые из этих волн, если не все, пропуская их через соответствующие тела, действующие как линзы, и направлять пучок волн в любую сторону. Экспериментатор, находящийся на некотором расстоянии, может принять эти волны на подходящий прибор, и таким образом путем применения посылки сигналов по коду Морзе можно осуществить связь одного оператора с другим». И далее: «Что остается открыть? Это, во-первых, более простые и надежные способы генерирования электрических лучей заданной длины волны, от кратчайших, скажем, в несколько футов, которые свободно пройдут через строения и туман, до тех длинных волн, которые измеряются десятками, сотнями и тысячами миль; во-вторых, более чувствительные приемники, которые будут отзываться на длины волн, лежащие в известных пределах, и не будут принимать другие, и, в-третьих, способы концентрации пучка лучей в любом заданном направлении при помощи линз или рефлекторов, благодаря чему чувствительность приемников (по-видимому, наиболее трудная из проблем, подлежащих разрешению) может быть меньше, чем в том случае, если принимаются волны, просто излучаемые в пространство и в нем затухающие». Далее: «Это не простой сон мечтательного философа. Все необходимое для осуществления этой задачи для повседневного применения находится в пределах возможности открытий и столь явно лежит на пути исследований, которые энергично производятся во всех столицах Европы, что мы можем ожидать услышать ежедневно, что это вышло за пределы предположений в область трезвых фактов. Уже сейчас телеграфирование без проводов возможно в пределах немногих сотен ярдов, и несколько лет назад я присутствовал на опытах, при которых сигналы передавались из одной части здания в другую без всяких проводов, примерно таким же способом, который здесь описан».

Но по какому пути можно было бы перейти от лабораторных исследований и демонстраций беспроводной телеграфной связи к массовой доступной беспроводной связи на десятки и тысячи километров? Первые успешные

практические шаги связаны с работами А. С. Попова в России и Г. Маркони в Италии, Англии и Америке. Однако у них было два серьезных недостатка. Неэффективные варианты передающего устройства, в качестве которых использовались модифицированные искровые передатчики, по типу использованных Герцем в своих опытах, или электромеханические генераторы. Также несовершенны были и приемники. Не было совершенных элементов для детектирования, т.е. элементов обнаружения, выделения в электрической цепи приемника сигналов, создаваемых электромагнитным излучением передатчика. «Когерер» детекторы Лоджа и Бранли, которые использовали Попов и Маркони были несовершенны и малочувствительны. Для усиления в приемнике использовались цепи с электромеханическим реле. (Подробнее о том, кого же считать отцом-изобретателем радио см. следующую заметку, где дано описание приемников тех лет.) Системы передатчик — приемник могли эффективно работать только с телеграфными сигналами. Передача же речи, радиотелефония на основе искровых передатчиков труднореализуема. Развитие систем коммуникации останавливало отсутствие элементов, способных эффективно усиливать слабые и генерировать сильные сигналы в электрических цепях.

Радикальное изменение ситуации произошло спустя десять лет после первых опытов Попова и Маркони. Первым шагом было изобретение в 1904 г. электровакуумного диода англичанином Флемингом. Устройство получило название вентили Флеминга. И было основано на эффекте Эдисона.

Флеминг заменил когерер в приемниках на свой «вентиль колебаний» и показал, как происходит выделение низкочастотного модулирующего сигнала из модулированного колебания высокой частоты. Но диод Флеминга не был усилительным элементом.

Приоритет изобретения усилительной электровакуумной лампы — триода, или как тогда ее называли «аудиона²», принадлежит американскому физiku Ли де Форесту, выпускнику физического факультета Йельского университета. Де Форест вел активную исследовательскую деятельность, сочетал изобретательскую работу с бизнесом в области электротехники беспроводной связи.

К своему изобретению он пришел таким путем. Де Форест пытался найти

² Лат. audio — слышу, audion — лампа, чтобы слышать слабые сигналы

явления, которые можно было бы приспособить к детектированию электромагнитных волн. В 1903 году он обнаружил, что детектором волн могут служить нагретые электроды, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. В своих экспериментах в пламя бунзеновской горелки он помещал два металлических стержня–электрода. К одному электроду была подключена антенна, а к другому земля и параллельно электродам батарея с наушниками. При приеме антенной радиоволн с телеграфным сигналом в наушниках появлялся отчетливо выраженный сигнал. В такой необычной схеме нагретые металлические стержни и батарея выполняли функции детектора и усилителя. Действительно, пространство между электродами было заполнено электронами и ионами, возникавшими в пламени, нагретые электроды сами служили источником термоэлектронов.

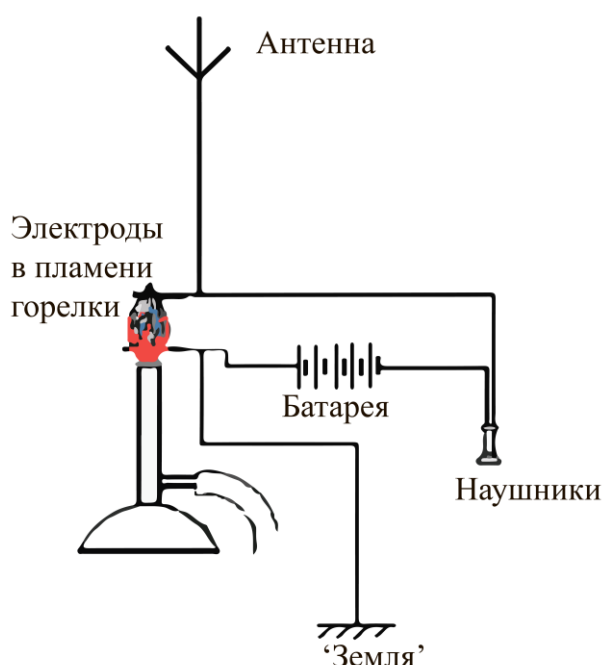


Рис. П2. Приемник беспроволочных телеграфных сигналов Ли де Фореста с бунзеновской горелкой.

Прикладывая напряжение к стержням, получали ток, который зависел и от напряжения, которое возникало между проводом антенны и землей. Конструкция устройства была еще весьма далека от совершенства, это понимал и сам изобретатель, который писал: «Было очевидно, что для судовой радиостанции приспособление с газовым пламенем неприемлемо, поэтому я стал искать способ нагревать газ непосредственно электрическим током». Скоро Ли де Форест установил, что нет нужды нагревать два электрода, достаточно делать это с одним,

а другой сохранять холодным. После этого он видоизменил устройство, поместив всю конструкцию в герметичный стеклянный баллон, из которого был откачан воздух. В качестве нагретого электрода была использована угольная нить, вблизи которой располагалась платиновая пластинка. Нагрев нити осуществлялся от специальной электрической батареи. Для увеличения воздействия радиоволн на газ экспериментатор обернул баллон лампы куском фольги. А фольгу соединил с антенной. Именно на нее подавался радиосигнал. Фольга и была тем третьим

элементом, который привел Ли де Фореста к великому изобретению. Вот как об этом говорил сам ученый: «В этот момент я сообразил, что эффективность лампы может быть еще увеличена, если этот третий электрод поместить внутри ее и при этом третий электрод не должен быть сплошной пластиной». Вот так, экспериментируя с двухэлектродным детектором по типу диода Флеминга, ему пришла мысль разместить между нитью накала и анодом третий электрод из полоски платины, перфорированной множеством отверстий. Оказалось, что небольшие изменения напряжения на этом электроде (сетке) приводят к весьма значительным изменениям тока между катодом и анодом.

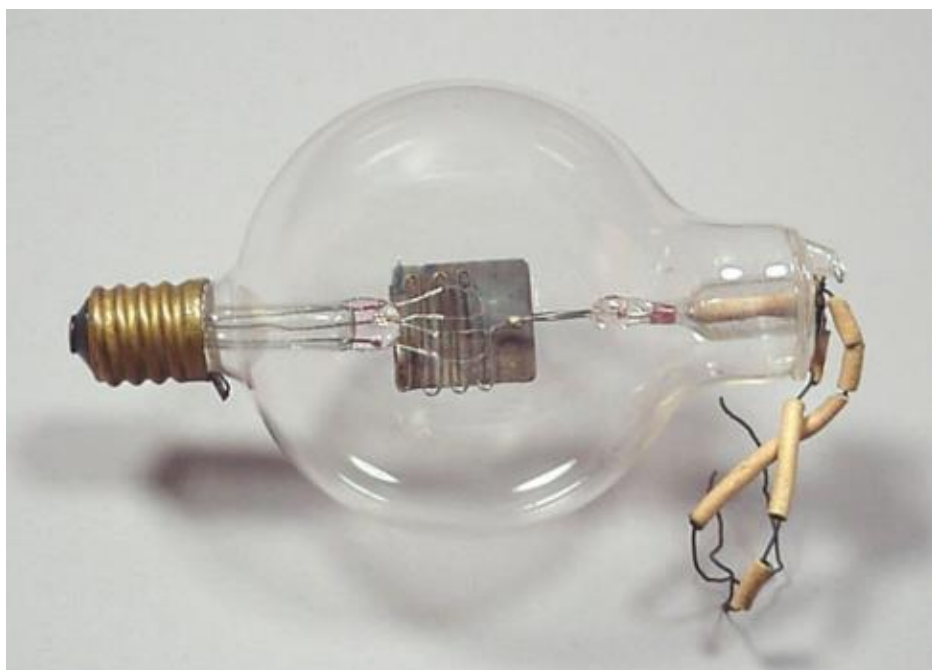


Рис.ПЗ. Так выглядели первые аудионы де Фореста.



Рис.П4. Внутри первого аудиона — нить накала, сетка в форме изогнутой проволоки, пластина анода.

В дальнейших конструкциях вместо платиновой сетки использовался кусок

простой проволоки, изогнутый в виде решетки. Как все это выглядело в первых вариантах ламп показано на рис. ПЗ и П4. Обратите внимание, как неказисто выглядели в первых электронных лампах нить накала, сетка в виде изогнутой проволоки, пластина анода, но все это уже работало.

Одна из первых запатентованных схем применения «аудиона» показана на рис. П5. Теперь такой приемник называли бы приемником на триоде, работающим в режиме «сеточного детектирования». Обратите внимание, что сетка, которая обозначена буквой «а», включена в цепь со стороны «—» питания накала. Значит, ток может течь тогда, когда потенциал нити накала меньше потенциала сетки. В этой схеме как бы совместились две функции. Сетка здесь играет роль анода в диоде. На сетке выделяется низкочастотная составляющая радиосигнала. Одновременно она регулирует и ток между катодом и анодом. Поэтому схема давала усиление.

В передатчиках появилась возможность генерировать радиоволны не искровыми или электромеханическими способами, а электронными устройствами. Первый передатчик на электронной лампе с сеткой конструкции немецкого физика фон Либена в 1913 году создал немецкий инженер Майснер.

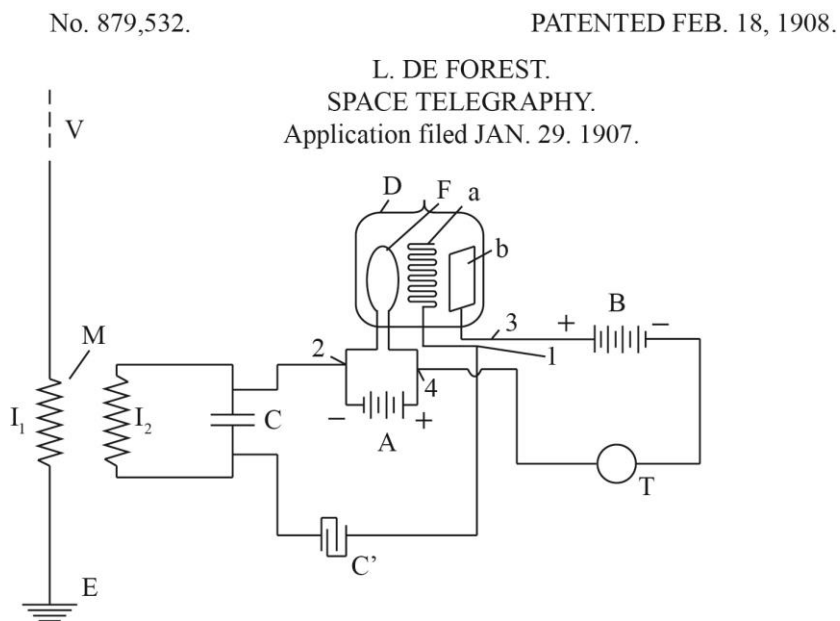


Рис. П5. Схема приемника телеграфных сигналов на «аудионе» из патента де Форреста.

Одновременно электронные лампы стали применять и для усиления сигналов в проводной телефонии. Дальнейшее совершенствование ламп сделало возможным прослушивание сигналов через громкоговорители. Электронные лампы тех лет были далеки от совершенства. Основная причина — низкий вакуум. Ток электронов вызывал ионизацию остаточных газов, при высоких напряжениях на аноде возникал газовый разряд. Лампы работали нестабильно и, фактически, были не чисто электронными, а смешанными электрон-ионными. И только с изобретением

Лэнгмюром вакуумных насосов, обеспечивающих высокий вакуум, стабильность параметров ламп и их долговечность резко возросли. В лампах стали применять уже косвенный накал, ток протекал через нить накала, которая находилась в керамической трубочке и нагревала ее. А на трубочку был надет металлический цилиндр, на поверхности которого был слой с низкой работы выхода электронов. Катод окружает по спирали тонкая проволока — сетка лампы. Все это расположено в цилиндре, который является анодом лампы.

В середине двадцатых годов появились лампы с двумя сетками — тетроды, с тремя — пентоды. В одном баллоне размещалось несколько ламп.

Все направления современной электроники родились на основе электронных ламп. Радиосвязь и телевидение, радиолокация, системы электронной автоматики и даже первые компьютеры были построены на электронных лампах.

В настоящее время электронные вакуумные лампы успешно заменили твердотельные полупроводниковые элементы. Но в ряде областей вакуумные электронные лампы остаются пока незаменимыми элементами. Это выходные каскады мощных радиопередатчиков; схемы, работающие на сверхвысоких частотах; аппаратура, работающая при повышенном уровне радиации и высоких температурах. В быту — это высококачественные звуковые усилители, дающие ценный меломанами «ламповый» звук.

На вручении де Форесту ордена Почетного легиона, один из основателей квантовой механики Луи де Бройль дал такую оценку его изобретению: «...Это великое открытие сослужило службу не только технике. И не только, подчеркнём это, анализу работы устройств такого рода, не только всё более глубокому изучению динамики электронов. Оно оказало неоценимую услугу электронике как науке и значительно способствовало её развитию; кроме того, оно предоставило всем работникам лабораторий во всех отраслях науки приборы, ставшие сегодня необходимыми вспомогательными средствами в их исследованиях. Таким образом, это великое изобретение, независимо от его бесчисленных технических применений, стало одним из крупнейших факторов прогресса чистой науки в течение последнего полувека. Сказанного, на мой взгляд, достаточно, для того чтобы понять, почему не только инженеры и техники, но также физики и специалисты всех отраслей науки должны сегодня все вместе выразить Ли де Форесту своё почтение, а также свою

признательность и своё восхищение».

Приоритет в изобретении радиосвязи — Попов или Маркони?

В отечественной литературе можно встретить обсуждение вопроса, кто же является изобретателем радиосвязи (радио — от слова radiation — излучение, связь через излучение). В России изобретателем радио принято считать профессора А.С. Попова. За границей, особенно в Италии, Англии и Америке, первенство отдают молодому в те годы итальянцу Г. Маркони. В Германии немцы, безусловно, изобретателем радио считают Генриха Герца (исключительно в Германии немецкое слова funke, funken — искра, искрить, стало использоваться для обозначения радио der Funk). Во Франции изобретателем радио считают Бранли. Для жителей балканских стран изобретателем радио является Никола Тесла.

Но вернемся к Маркони и Попову. В предыдущем материале были процитированы высказывания английского физика и химика Крукса, который, непосредственно не занимаясь исследованием волн Герца, правильно сформулировал все перспективы их применения для осуществления беспроводной связи. Собственно подобное изобретение было очевидной идеей. И говорить об «изобретении» радио просто нет смысла. Многие физики в разных странах экспериментировали с волнами Герца, использовали практически одинаковую аппаратуру. Поэтому, прежде всего, следует обратить внимание, откуда возникла такая острая постановка вопроса. Вопрос об «изобретении» радио был поставлен в СССР сразу после окончания второй мировой войны, когда сильно проявилось отставание СССР в области науки, техники и уровня жизни от Западной Европы и США. Поэтому в пропагандистских целях, чтобы компенсировать отставание пропагандой, лишний раз не упоминали имена многих зарубежных ученых и инженеров. А авторство научных открытий и изобретений, для стимуляции патриотизма, приписывали российским и советским ученым. Поэтому «отцом» ракетной техники, а затем космонавтики стал Циолковский, лампочку изобрел Яблочков, паровоз изобрели братья Черепановы, первый самолет был построен Можайским. В виду такой ситуации изобретателем радио, безусловно, стал Попов. Закон «трех вторых» Лэнгмюра стал законом Богуславского–Лэнгмюра с Богуславским на первом месте. Если же нельзя было упомянуть имя российского ученого в связи с важным открытием или изобретением, то имя зарубежного автора не упоминалось. Поэтому в учебниках, которые были

написаны еще в те годы, например, не найти упоминаний имен Флеминга и де Фореста.

Должно быть понятно, что вопрос об «изобретении радио» не совсем корректен. Радиосвязь в том оформившемся виде, в каком была в середине прошлого века, была создана коллективным и целенаправленным трудом огромного числа физиков, химиков, инженеров-электротехников. И с этой точки зрения, нельзя не отметить, что работы, которые велись в России на самом раннем этапе становления радиосвязи, не уступали зарубежным исследованиям.

Так, Попов и Маркони, оба предложили и использовали практически одинаковую схему приемников. Как далеки были схемы тех лет от привычных для нас электронных схем. Основным элементом их устройств был «когерер» — стеклянная трубка с мелкими металлическими опилками между двумя электродами. Этот индикатор электромагнитных волн, разрабатывали англичанин Лодж и француз Бранли. Устройство резко уменьшало свое сопротивление за счет слипания частичек металлического порошка при пропускании высокочастотного напряжения. «Когерер», образно говоря, позволял обнаруживать (или как теперь сказали бы детектировать) высокочастотные колебания напряжения в электрических цепях. Схема приемника Попова показана на рис. Пб.

При слипании частичек в когерере под действием высокочастотных токов в антенне его сопротивление падает, ток возрастает, срабатывает реле в цепи когерера, контакты реле замыкают цепь, и напряжение батареи подается в цепь реле звонка. Реле звонка подтягивает пластину вверх, молоточек также движется вверх и бьет по колокольчику звонка, но цепь размыкается. Тогда молоточек движется вниз и ударяет по корпусу когерера, встряхивая опилки. Слипание опилок пропадает, сопротивление когерера снова увеличивается. Таким образом, приемник вновь готов регистрировать волны Герца. И так далее. Поэтому постоянная работа передатчика будет сопровождаться постоянным звонком в приемнике. Так можно передавать короткие сигналы «точки» и более продолжительные сигналы «тире» телеграфных кодов Морзе и регистрировать их на слух. Или подключить телеграфное реле параллельно контактам реле цепи когерера для записи «точек» и «тире» на бумагу. На протяжении следующих 15 лет «когерер» был неотъемлемой частью всех телеграфных радиоприемников, пока его не заменили электронные лампы

и полупроводниковые диоды. Отличия в устройствах Маркони и Попова состояли в применении разных модификаций этого элемента.

Каждый желающий, изучая оригинальные публикации, может провести самостоятельное увлекательное и поучительное исследование и составить собственное мнение по рассматриваемым здесь вопросам.

Бесспорны заслуги Маркони в пропаганде и коммерческом продвижении идей беспроводной связи. Его энергия бизнесмена и инженера, позволили ему организовать успешные демонстрации беспроволочной связи.

В 1896 году дальность связи — 3 километра, 1897 год — 23 км, а в 1901 году уже трансатлантическая связь между Европой и Америкой. Маркони удалось привлечь инвестиции, нанять на работу лучших специалистов. Его предприятия сумели быстро наладить выпуск передатчиков и приемников для беспроволочной телеграфии. Результаты деятельности Маркони были уже в 1911 году оценены Нобелевской премией по физике «в знак признания заслуг в развитии беспроволочной телеграфии». Вместе с Маркони Нобелевскую премию по физике получил немецкий профессор Карл Браун.

Но в биографии Маркони, впоследствии, появился серьезный изъян. В 20-х годах он стал открыто симпатизировать итальянским фашистам, стал членом

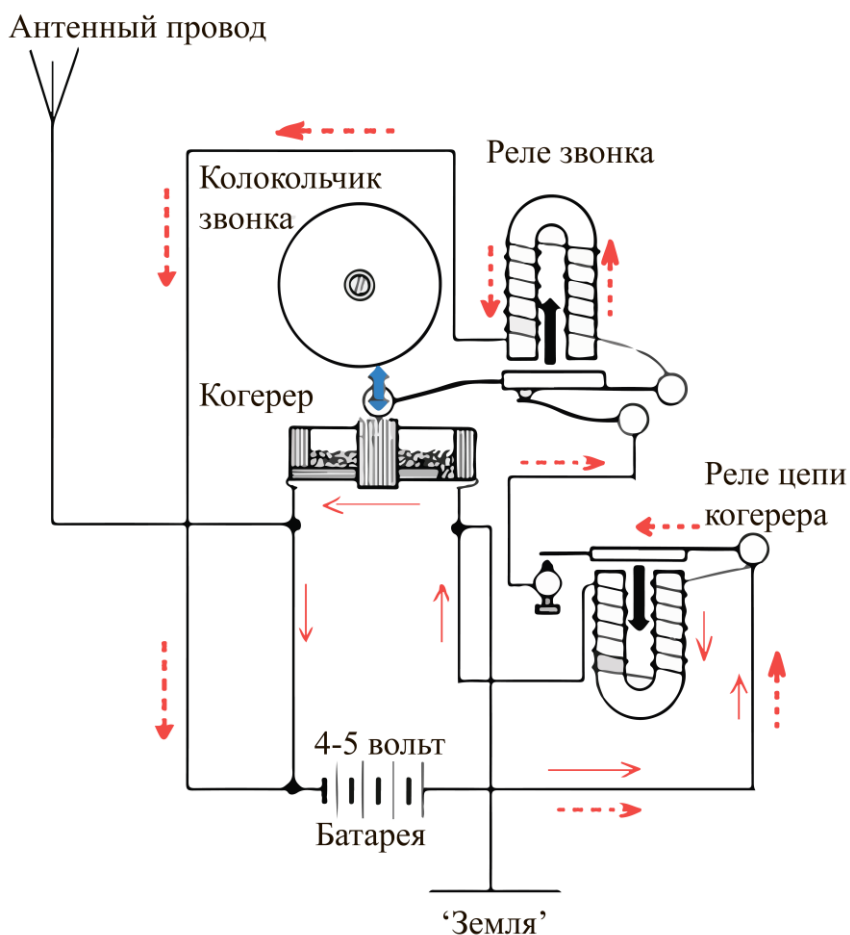


Рис. П6. Схема приемника волн Герца с когерером в качестве детектора. Стрелками красного цвета показаны токи в цепях устройства. Сплошные стрелки — цепь когерера, прерывистые — цепь звонка. Стрелки черного цвета показывают направление движения подвижных контактов к электромагниту реле. Движение молоточка звонка показано стрелкой синего цвета.

фашистской партии Италии, Высшего фашистского совета, был другом Муссолини и пропагандировал его идеи. В СССР человек с плохой политической биографией, конечно, не мог быть «изобретателем радио». Он мог только воспользоваться идеями Попова и не сослаться на него.

Что же не позволило Попову и его последователям в России, где потребность в связи на большие расстояния была не меньшей чем в Европе, пойти тем же путем? Можно только сказать, что этому помешали вечные проблемы России — общая технологическая отсталость, неблагоприятная инвестиционная и политическая обстановка. Российский пионер радиосвязи Попов ушел из жизни раньше времени. В конце 1905 года, он слег из-за нервного расстройства, связанного с политическими и административными неурядицами, произошло кровоизлияние в мозг, после которого он скончался через две недели. Россия уже тогда приобретала за рубежом радиоаппаратуру и электронные технологии, долгие годы догоняла, становилась вровень, но потом вновь отставала в области электроники от Западной Европы и Америки.

Но бесспорно одно, в России, сын священника из Сибири, выпускник пермской духовной семинарии Александр Степанович Попов в свое время сделал правильный выбор. Он не пошел по пути отца (уместно отметить, что де Форест тоже был из семьи священника и тоже не пошел по пути отца), а поступил на физико-математическое отделение Санкт-Петербургского университета, успешно закончил его и проводил научные исследования на мировом уровне. Его имя вошло в историю России. И работами Попова его соотечественники могут гордиться. Вот только не совсем уместное присвоение Попову роли единственного «изобретателя радио» играет плохую службу оценке его заслуг. Возникает конфликт. Сравнение завышенной оценки заслуг Попова с очевидными заслугами других ученых и инженеров только принижает оценку его работ по развитию радиосвязи в России в период ее возникновения.

Неожиданные применения приемников волн Герца

Сегодня в XXI веке может показаться курьезным, но сто лет назад, первые системы регистрации электромагнитных волн использовались не только для коммуникации между людьми, но и для связи с персонами из «потустороннего мира» — душами или духами умерших! Ведь согласно религиозным представлениям

душа, дух человека бессмертен и способен отделяться от тела. Отсюда еще с древних времен шли суеверия о привидениях. В те годы был популярен спиритизм³. На спиритических сеансах медиумы⁴ «вызывали» для бесед «духов» умерших родственников, «духов» великих людей. Медиумы — шарлатаны и мошенники морочили головы людям, но в этом им невольно помогало то, как в сознании людей трансформировались научные знания тех лет. Уже была известна роль электрических явлений в организме человека. Установлено, что слабые электрические импульсы управляют работой мышц, органов в организме, обнаружена электрическая активность головного мозга. После смерти электрическая активность организма прекращается. Куда она девается — неужели уходит, согласно религиозным представлениям, вслед за душой? И вот были открыты волны Герца, которые по представлениям физиков тех лет существуют в некой всепроникающей среде — эфире. Казалось, что наука подтверждает — найден материальный носитель «души человека». Почему бы и не проверить присутствие «душ» техникой, регистрирующей электромагнитное излучение? И соответствующие эксперименты проводились с участием серьезных ученых. Английский физик Лодж (один из изобретателей «когерера») настолько серьезно увлекся спиритизмом, что даже пообещал после своей смерти связаться с живыми и передать им послание, текст которого оставил в запечатанном конверте для того, чтобы можно было сравнить его с полученной радиограммой. Зафиксировать радиограмму с «того света» от Лоджа никому еще не удалось. Видимо, дух Лоджа ждет подходящего момента.

Спиритизмом занимался и упомянутый ранее английский физик Крукс. Он прекрасно осознавал перспективы беспроводной связи, но он безоговорочно поверил мошенникам. Ему казалось, что связь с потусторонними мирами реальна. Что еще можно добавить, если англичанин Конан Дойль, автор рассказов о сыщике Шерлоке Холмсе, был большим другом Лоджа и очень активным спиритуалистом.

Это увлечение не обошло стороной и других ученых. А. С. Попов и Маркони также интересовались этими вопросами. По устным преданиям, бытовавшим еще

³ от лат. *Spiritus*-«душа, дух»

⁴ От лат. *Medius* — находящийся посередине. В данном случае человек, находящийся «посередине» между нашим и «потусторонним миром», и в отличие от обычных людей, способный взаимодействовать с потусторонним миром.

в Ленинграде, одним из мотивов, который двигал Поповым в экспериментах с приемниками волн Герца, была надежда зарегистрировать электромагнитные проявления «духов» в спиритических сеансах. Однако регистраторы волн Герца в те и последующие годы не регистрировали «материальность» носителей духов. В очередной раз религиозные и мистические идеи были опровергнуты наукой. Но как в наши дни, так и в те времена, мошенники, прикрываясь наукой, неплохо наживались на религиозных предрассудках доверчивых людей, среди которых оказалось даже несколько известных ученых.

Открытие связи при помощи волн Герца не помогло установить связь с «тем миром», но сразу начались попытки установить связь с другими мирами подобных нам существ — с инопланетянами. Так как передающих станций было очень мало, то, как мы теперь говорим, радиоэфир был пуст. Энтузиасты радиосвязи, сидя в наушниках у своих простейших приемников «вслушивались в эфир» и иногда слышали некие регулярные сигналы (это были сигналы неизвестных им удаленных станций). Их связывали в зависимости от воображения энтузиастов радиосвязи с инопланетными существами, например, с посланками радиосообщений с Марса. Но и эти гипотезы не подтвердились. Действительно, почему марсиане должны были посылать нам на Землю обязательно телеграфные сигналы? Окончательный ответ на вопрос «есть ли жизнь на Марсе?» должна поставить планируемая нашими современниками экспедиция на Марс. Они прилетят на Марс, посмотрят и, связавшись с Землей при помощи волн Герца, расскажут встретились ли им на Марсе живые разумные существа.