



Г. И. БАБАТ

РАССКАЗЫ **О** **ТОКАХ ВЫСОКОЙ** **ЧАСТОТЫ**



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Г. И. БАБАТ

РАССКАЗЫ О ТОКАХ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА

1948

ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ

Есть поговорка о кулике, который свое болото хвалит.

Эта книга—похвала той области техники, в какой я работаю с первых сознательных лет своей жизни, и которой я отдал всю страсть своей души. Область мною избранная—техника токов высокой частоты, и чем больше я в ней работаю, тем увлекательнее она мне кажется.

В прошлые века один человек мог заключить в себе целый университет.

Но такая универсальность была возможна до начала девятнадцатого века. Сумма знаний в каждой отдельной отрасли науки была не так велика. Техника исследований была относительно проста.

Современное производство и научные исследования настолько сложны, что всякая мало-мальски значительная работа может выполняться только большим, хорошо слаженным коллективом.

Техника токов высокой частоты, казалось бы, очень ограниченная область, но и то, пожалуй, нет теперь человека, который бы ее знал всю целиком в совершенстве. Один искушен в области генерирования токов, другой в части их применения для связи. Есть специалисты, компетентные исключительно в передаче и трансформировании энергии.

Из обширной области высокочастотной электротехники в этой книге приведено лишь несколько примеров. Я попытался рассказать о ТВЧ, не прибегая к строгим

Редактор *Б. И. Шенкман*

Техредактор *А. Д. Чаров*

Сдано в пр-во 5/1 1948 г. Подписано к печати 22/VI 1948 г.
9¹/₂ п. л. + 1 вкл. 8.75 уч.-авт. л. 36 000 тип. знаков в 1 п. л.
А-04188 Тираж 10 000 Бумага 84×108¹/₃₂ Заказ № 1003

Типография Госэнергоиздата. Москва. Шлюзовая наб., 10

теоретическим формулировкам, пользуясь аналогиями, моделями из других областей.

Научная истина может являться в различной форме. Но одинаково научны: и тонкая и бесцветная форма символического выражения, и грубая форма и яркая окраска физической иллюстрации.

Каждый, кто увлечен своим делом, ищет себе новых соратников. Задача этой книги ознакомить молодежь с близкой мне областью работы. И если у некоторых пробудится желание всерьез заняться ТВЧ, я буду считать свою задачу выполненной.

Автор

2. Электроны в пустоте

В современную техническую и научную терминологию прочно вошло слово «электроника».

Электроника — это наука и промышленность. К ней относятся электрические явления, связанные с действием заряженных атомных частиц вне твердых и жидких тел.

Множество самых разнообразнейших задач решают электроны, работающие в «пустоте».

25 Предистория электроники

Виднейшие ученые античного мира отрицали существование ничем не заполненного пространства — пустоты.

— В природе нет пустоты, природа боится пустоты, — поучал греческий философ Аристотель.

Это доказывалось простым опытом. Трубка с плотно пригнанным поршнем погружалась в жидкость. Поднимешь поршень, и жидкость неотступно следует за ним, не оставляя пустого пространства.

Утверждение Аристотеля считалось бесспорным в течение шестнадцати веков, пока итальянский ученый Торичелли не повторил опыта с трубкой и поршнем. Но вместо воды, вина и масла, которыми пользовались все предшествующие ученые, Торичелли взял самую тяжелую из всех жидкостей — ртуть. Ртуть поднялась в трубке примерно на 760 миллиметров. Дальше «страх» природы перед пустотой не действовал. Позднее французский ученый Паскаль нашел, что и для легких жидкостей существует ограниченная высота подъема. Вода поднимается на десять метров, оливковое масло на тринадцать.

Так было доказано существование безвоздушного пространства в природе. Мало того, в этом пространстве,

в этой пустоте, как говорят для краткости речи, обнаружались удивительные свойства.

Некий служивший на голландском корабле русский шкипер, встряхивая ртутный барометр, заметил, что иногда безвоздушное пространство над ртутью начинает светиться. При встряхивании в пустоте вспыхивают зеленоватые искры. Эти крохотные электрические разряды, вызванные трением, были первым знакомством человечества с прохождением электричества через разреженные газы.

Шкипер, наблюдавший в Индийском океане зеленоватое свечение в пустоте над ртутью барометра, послал известие о своих наблюдениях ученым из Академии в Болонье и Королевского общества в Лондоне. Зеленое свечение паров ртути в трубке, из которой выкачан воздух, но в которой находятся несколько капель жидкой ртути, наблюдал также и Ломоносов. Но в ту пору никто не мог предвидеть того блеска, которым озарили грядущую жизнь человечества электрические разряды, проходящие в пустоте. Этот огонь, созданный человеком в «пустоте», впервые ярко засиял в России.

26 Открытие академика Петрова

В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской медико-хирургической академии Василий Петров построил столб. Он составил его из 4 200 медных, цинковых и суконых кружков, смоченных разведенной серной кислотой. По тем временам это была «огромная наипаче батарея», как писал Петров в своей книге «Известия о гальвани-вольтовых опытах». К полюсам своей батареи Петров присоединил два угля и обнаружил, что при соприкосновении углей возникает необычно яркое «светящееся явление».

Впоследствии оно было названо вольтовой дугой.

Затем Петров поместил угольки, соединенные с полюсами батареи, под колпак воздушного насоса. Петров открыл, что с понижением давления «светящееся явление» возникает между углями без того, чтобы их надо было предварительно приводить в соприкосновение. Он увидел, что форма и цвет свечения меняются в зависимости от степени пустоты под колпаком. Этот законченный стеклянный колпак над березовыми угольками был далеким предком разнообразнейших приборов, которые

столетие спустя нашли широкое применение и в быту, и во всех отраслях промышленности.

После Петрова ученые всех стран исследуют прохождение электрических разрядов в безвоздушном пространстве. В конце XIX и начале XX веков это был такой же актуальный вопрос, как в наши дни изучение атомного ядра.

27 Ток в пустоте

В 1873 г. А. Н. Лодыгин демонстрировал в СПб Технологическом институте созданную им электрическую лампу накаливания. Эта была первая в мире лампа накаливания, вполне пригодная для практического применения.

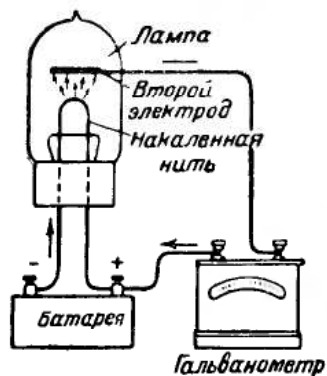


Рис. 17. Прохождение электронов через пустоту.

После работ Лодыгина лампы накаливания стали изучаться во многих странах. Работая над усовершенствованием лампы Лодыгина, Эдисон поместил внутри лампы металлическую пластинку и вывел от нее наружу платиновую проволоку. При этом он заметил, что если присоединить платиновую проволочку от пластинки к положительному концу нити, то от пластинки к нити через пустоту потечет ток. Эдисон, на всякий случай, заявил в 1883 г. довольно туманный патент на «электрический индикатор», который использует прохождение электротока через пустоту. Никакого практического применения этому непонятному явлению Эдисон не находил ни в одной области техники. Позднее Дж. Дж. Томсон объяснил эдисоновский эффект: раскаленная нить испускает отрицательные заряды — электроны. Это явление было названо электронной эмиссией — электронным излучением. Задолго до установления законов электронной эмиссии раскаленными телами выдающийся русский физик Александр Григорьевич Столетов сформулировал общий закон, управляющий процессом отщепления электронов от вещества.

28 Электронный разряд и радиосигналы

Амброзиус Флеминг, научный консультант лондонского отделения Эдисоновской электрической компании также построил несколько ламп с добавочной пластинкой, измерил слабые токи между пластинкой и нитью и напечатал об этом несколько статей в технических журналах.

В 1899 г. Флеминг стал консультантом в только что образовавшейся «Компании беспроволочного телеграфа».

Вместе с Маркони он начал строить большую радиостанцию, чтобы передавать сигналы беспроволочного телеграфа через океан. Передающую станцию они поместили в Полярку, в Англии, приемную — в Ньюфаундленде в Америке.

Флеминг решил приспособить к беспроволочному телеграфу самопишущий прибор. Для этого слабые электрические колебания, полученные приемными антеннами, надо было выпрямить — превратить в постоянные токи.

В 1904 г. Флеминг вспомнил об эдисоновском эффекте и построил несколько ламп с угольной нитью, окруженной металлическим цилиндром. От цилиндра был сделан отдельный вывод через стекло баллона. Флеминг назвал свою лампу электрическим вентилем или клапаном, так как между цилиндром, окружающим нить (потом его стали называть анодом), и накаленной угольной нитью (ее назвали катодом) ток может проходить только в одном направлении — от анода к катоду. Этот вентиль прекрасно выпрямлял электрические колебания, работал много устойчивее всех применявшихся до того приборов.

Следующий шаг сделал в 1906 г. Ли де-Форест, поместивший между нитью и анодом третий электрод — сетку. При помощи сетки ток, проходящий в пустоте, может гибко и точно регулироваться. Сетка — управляющий электрод, требует мощность в десятки, а то и в сотни

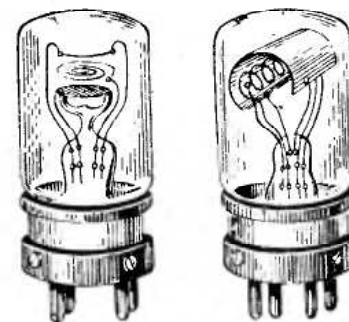


Рис. 18. Первые трехэлектродные лампы.

ни раз меньшую, нежели мощность, отдаваемая в анодной цепи. Де-Форестовский прибор хорошо служит в качестве усилителя в радиотехнике. Эту трехэлектродную лампу стали называть триодом или аудионом (от латинского слова «аудио» — слушаю).

После изобретения Де-Фореста стали возможны радио-телефония, появились мощные громкоговорители. Аудион мог усиливать без искажения самые тончайшие звуковые модуляции.

29 Откуда идут электроны в пустоту?

Душа электронной лампы — катод. Это — волосок, нагретый током и испускающий электроны. Вначале конструкторы электронных ламп пользовались для своих катодов теми же материалами, что применяются для волосков осветительных ламп. Они брали угольную нить, когда осветительные лампы были угольными. А впоследствии, когда осуществилась идея русского изобретателя Лодыгина и в осветительных лампах стали применять тонкие нити из вольфрама, то конструкторы электронных ламп стали делать вольфрамовые катоды. Но ведь раскаленный волосок выполняет в осветительной и в электронной лампе совершенно разные функции. В электронной лампе совсем не нужно, чтобы нить испускала свет и тепло. Здесь требуются электроны и только электроны. Световое излучение нити электронной лампы только вредно. Но вольфрам, даже нагретый до 2400°C , испускает небольшой электронный ток. Вольфрам, как говорят, туг на электронную эмиссию. Для создания высокого накала вольфрамовой нити приходится затрачивать много энергии. Чтобы получить один ампер электронной эмиссии, на накал вольфрамового катода надо затратить до полкиловатта мощности. Если еще повысить температуру вольфрама, то испарение электронов с него возрастет сильнее, нежели потери энергии. Катод станет экономичнее. Но чем сильнее раскален волосок, тем больше он распыляется, тем короче срок его службы. Можно так раскалить вольфрам, что на каждый ампер электронной эмиссии будет затрачиваться меньше одной десятой киловатта. Но такой катод будет жить меньше сотни часов.

Экономичные и долговечные катоды были открыты Артуром Венельтом.

Венельт не думал заниматься техническими вопросами конструирования электронных ламп. Его интересовала формула Ричардсона, по которой тот предлагал вычислять величину электронного тока, испускаемого раскаленными металлами, в зависимости от их температуры. Венельт, сомневаясь в правильности формулы Ричардсона, решил проверить ее на опыте.

30 Загадочное изобилие

Венельт начал работать с платиновыми волосками и с самого начала у него пошли неудачи. Он никак не мог добиться, чтобы электроны испускались равномерно всей поверхностью нити. Из отдельных точек платинового волоска исходили сияющие лучи. Эмиссия из этих точек была в несколько раз больше, чем с остальной нити. Венельт брал для своих нитей самую чистую платину и с большими предосторожностями запаивал нити в стеклянные колбы. Он всегда тщательно мыл руки, когда работал с нитью. Ничто не помогало. Электроны излучались из отдельных точек катода с загадочной интенсивностью. Венельт близоруко прищурил глаза и поднес пальцы к самому носу. А что, если достаточно самых ничтожных, микроскопических доз какого-нибудь постороннего вещества, чтобы загрязнить нить? На пальцах могли остаться лишь следы борного мыла или зубного порошка. Венельт задумался. Зубной порошок? Это ведь мел... углекислый кальций. А что, если попробовать...

Через несколько минут физик торопливо запаивал в стеклянную колбу платиновый волосок, облитый меловой водой. Так и есть! Загрязненная мелом нить испускала мощные электронные потоки. Венельт подал на анод положительное напряжение, и через лампу потек большой ток.

Осенью 1903 г. Венельт сделал доклад об удивительных свойствах солей щелочных и щелочноземельных металлов. Они во много раз увеличивали испускание электронов нагретыми проволочками. Выяснилось, что волосок можно делать не только из платины, которая так

дорога, но также из многих других металлов и их сплавов, например: из железных, никелевых и других.

В 1903 г. трудно было предсказать судьбу этого открытия; тогда это воспринималось скорее всего как интересный научный курьез. В наше время все приемные и многие передающие радиолампы снабжаются катодом из никеля, покрытого солями щелочноземельных металлов — кальция, бария, стронция. Тридцать лет спустя открытие Венельта позволило построить простые экономичные приемники, питаемые прямо от осветительной сети. Это стало основой массовой радиофикации.

Катоды, покрытые соединениями щелочноземельных металлов — оксидные катоды, как их называют, работают при температуре темнокрасного каления 800—900°С. На каждый ватт, затрачиваемый на их накал, они дают иногда до четверти ампера электронной эмиссии. Срок их службы достигает нескольких тысяч часов.

31 Нужна не любая пустота, а пустота отличная

Первые аудионы работали крайне неустойчиво. Из десятка ламп, изготовленных на одном и том же откачном станке (так называются станки, на которых удаляется из ламп воздух), не было двух одинаковых. Некоторые аудионы почему-то давали огромное усиление, другие не только не усиливали, но даже заглушали принимаемые сигналы.

Физики должны были подробно изучить все капризы поведения электронов в пустоте, объяснить все аномалии, дать формулы для точного расчета, разработать методы производственного контроля выпускаемой продукции.

Альберт Хэлл и Ирвинг Лэнгмюр работали неторопливо и методично. Они начали с флеминговского вентиля. В 1912 г. было еще много физиков, которые не верили, что электроны испускаются раскаленными телами. Ток проходит в пустотных приборах только потому, полагали эти ученые, что раскаленная нить, нагревая остатки газа, делает его электропроводным. Создайте в лампе действительно полную пустоту, и ток через нее совсем не пойдет. Чтобы проверить это, Хэлл и Лэнгмюр построили громадный вентиль с вольфрамовым катодом толщиной с добрый гвоздь. Они долго грели этот вен-

тиль, тщательно откачивали из него воздух и, наконец, добились такой пустоты, которую даже не смогли измерить. Они присоединили катод к мощной динамомашине, и вольфрам засветился ослепительно ярким светом.

По формуле Ричардсона, которую Венельт так и не опроверг, следовало, что такой катод должен испускать электронный ток во много ампер. Хэлл и Лэнгмюр включили в анодную цепь самый грубый амперметр, какой только нашлся в лаборатории.

— Ну что ж, начнем осторожно.

Они включили между анодом и катодом батарею в 10 вольт — стрелка амперметра даже не дрогнула. Они повысили напряжение до 100 вольт — стрелка амперметра оставалась неподвижной. Они приключили к своей лампе батарею в 1 000 вольт. Странно — стрелка амперметра все еще не шевелилась. Физики растерянно переглянулись.

— А может быть, правы те, кто утверждает, что в полной пустоте никакого испускания электронов накаливаемыми телами не может быть.

Они притащили из соседней лаборатории большой трансформатор на 100 тысяч вольт и включили его в анодную цепь своей лампы. Пошел слабый, еле заметный ток. Лэнгмюр облегченно вздохнул: как-никак, хоть какой-нибудь ток.

32 Электронам тесно в пустоте

Десятки опытов были поставлены, прежде чем выяснили, почему через лампу проходит такой малый ток. Из этих опытов установили, что вылетающие из нити электроны образуют вблизи нее облачко, которое жмется к нити, как туман к земле в холодную погоду. Это облачко электронов, рассеянных в пространстве, так и называют пространственным зарядом. Электроны расталкивают друг друга в облачке пространственного заряда. И это их расталкивание мешает прохождению тока через лампу. Вылетевшие вперед электроны сталкиваются тех, кто идет за ними.

Если анод расположен далеко, он должен иметь очень высокое напряжение, чтобы вытянуть электроны

из облака, окружающего нить. Так Лэнгмюр нашел формулу пространственного заряда — знаменитый закон «трех вторых»: ток электронов через пустоту пропорционален не просто напряжению, а напряжению, возведенному в степень трех вторых, т. е. если увеличить напряжение на аноде в 4 раза, то ток возрастет в 8 раз, а если увеличить в 100 раз, то ток увеличится в 1 000 раз.

Дальнейшими опытами Лэнгмюр установил, что ток в электронной лампе следует закону трех вторых, лишь когда в лампе действительно хорошая пустота. Если же внутри баллона имеются остатки газа, то летящие от катода к аноду электроны могут сталкиваться с атомами этого газа. Атомы возбуждаются под ударами электронов. При этом возникает свечение. Некоторые из атомов под ударами переходят в следующую за возбуждением стадию. Из них выбиваются электроны, а сами они получают положительный заряд — ионизируются. Ток между электродами лампы резко, лавиной возрастает. Сетка теряет контроль над этим током.

Так было установлено, что чем совершеннее пустота, тем более четко, тем устойчивее работает электронная лампа.

33 Электроника становится наукой

Первые ламповые заводы были оборудованы теми же насосами, что и домовые пылесосные установки. В период первой мировой войны был построен паро-ртутный конденсационный насос, который позволяет получить разрежение до миллионных и даже миллиардных долей от атмосферного давления.

Пустота именуется теперь латинским словом вакуум. Вместо того, чтобы сказать просто «хорошая пустота», теперь применяется термин «высокий вакуум».

Вскоре было открыто еще одно замечательное свойство электронных ламп. Оказалось, что электронные лампы могут не только принимать и усиливать сигналы, но и вырабатывать переменный ток. Если подвести к аноду постоянный ток, то при помощи сетки электронная лампа может разбить его на отдельные порции, превратить в высокочастотные колебания. Очень скоро

электронная лампа, как генератор токов высокой и сверх-высокой частоты, вытесняет все другие типы генераторов.

Строятся специальные заводы для производства электронных ламп и других пустотных приборов. Возникает новая отрасль промышленности, так и названная — электровакуумная.

34 Завод «Светлана»

В 1913 г. в Петербурге был построен электровакуумный завод, названный «Светлана».

До Великой Октябрьской революции на этом заводе изготовляли одни лишь только лампы накаливания.

Лампы эти собирались из импортных материалов. Даже стеклянные колбы ввозились из-за границы.

35 Рождение советской радиотехники

В 1917 г. русский военный инженер-электрик поручик М. А. Бонч-Бруевич (впоследствии член-корреспондент Академии наук СССР) организовал на Тверской радиостанции производство приемных электронных ламп. Тверская приемная радиостанция международных сношений размещалась за городом в двух временных деревянных бараках. В одной из комнатшек обосновалось «предприятие» Бонч-Бруевича. Вот как описывает его один из участников П. Остряков:

«...Сафонов и Соколов — рядовые, откомандированные из пехотного полка, работают руками, губами и ногами. Ноги качают нечто похожее на кузнечный мех, руки вертят в пламени керосиновой горелки стеклянную трубку с раскаленным баллончиком на конце, а щеки, раздуваясь до предела, нагнетают в этот баллончик воздух.

Тут же на стене замысловатое сооружение из стеклянных трубок, проволоки и резины — откачной пост. На полу воздушный насос. Его притащили из местной гимназии, где учитель физики с помощью этого насоса убеждал, что в безвоздушном пространстве все тела падают

с одинаковой скоростью. Сейчас насос выполняет производственные функции. Его колесо вертит ефрейтор Бобков. На лбу у Бобкова капли пота. У него масса обязанностей. Он—начальник, он же—мастер и он же—весь штат рабочих «вакуумного цеха». За отсутствием на радиостанции электрического тока, он, заменяя собой мотор, крутит колесо насоса форвакуума, следит за керосиновой горелкой насоса Лэнгмюра и в то же время манометром Мак-Леода измеряет вакуум в лампе...»

По декрету СНК СССР от 2/XII 1918 г. в Нижнем Новгороде была организована центральная радиолaborатория. В первое время она выпускала 3 000 радиолamp в месяц. «Создавайте газету без бумаги и расстояний, организуйте митинг с миллионной аудиторией»,—писал Бонч-Бруевичу Владимир Ильич Ленин. Ленин лично следил за развитием радиотехники и особенно радиовещания. По его указаниям была создана «Особая комиссия по сооружению радиосети республики».

В тяжелые годы голода и разрухи профессор Бонч-Бруевич строит в нижегородской лаборатории стокиловаттную генераторную лампу, самую мощную тогда во всем мире и долгое время служившую образцом для конструкторов.

36 Гиперболоид инженера Шухова

В Москве на Шаболовке по проекту инженера Шухова (впоследствии почетного академика) начала строиться легкая ажурная башня из металлических стоек и колец, широких у основания и постепенно суживающихся в вышине. Башня воздвигалась как одна из основных опор антенной сети Шаболовской радиопередающей станции. Шухов избрал совершенно оригинальную конструкцию свободно стоящей башни, невиданную еще нигде в мире. Опыта постройки подобных сооружений не было. Успех определяли смелость и фантазия конструктора.

Башня собиралась по секциям, высотой 25 метров каждая. Нижняя секция стояла на бетонном фундаменте. Вторая секция монтировалась внутри первой и стальные тросы поднимали ее вверх. Следующие секции собира-

лись при помощи предыдущих без всяких лесов или каких-нибудь подсобных деревянных опор.

Каждая секция башни состояла из двух колец и из прямолинейных стоек, но эти стойки располагались наклонно так, что образовывали изогнутую поверхность, известную под названием однополюго гиперболоида.

Сезонные рабочие, пришедшие на строительство башни, долгое время не могли понять назначения этого странного сооружения. Для них, привыкших строить из камня и дерева, легкие перекрытия башни, сквозь которые просвечивало небо, казались пустой причудой.

— Что строите?—спрашивал новичок, только что приехавший из деревни.

— Воздух,—отвечали седобородые мастера.

Строительство башни было хорошо видно из окон Кремля. Владимир Ильич нередко останавливался у окна и любовался ажурной мачтой. Он воодушевлял строителей личной заботой о судьбе сооружения. Когда на стройке нехватило железа, Владимир Ильич помог получить его из запасов Военного ведомства. Ленин придавал огромное значение развитию советской радиотехники.

Башня была закончена ранее задуманного срока. Ее высота составила 160 метров.

Башня Шухова знаменовала первые успехи советского радиостроения. Ее изображение стало эмблемой советского радио.

37 Грелка Чернышева

В эти же годы академик А. А. Чернышев в Петрограде изобретает подогревный катод для радиолamp. В чернышевском каюде ток накала подводится к «грелке»—пружинке из вольфрамовой проволоки, а от нее уже тепло передается никелевому цилиндрику, покрытому оксидной пастой. Этот цилиндр и является собственно катодом, испускающим электроны. При такой конструкции колебания тока в грелке не отзываются на испускании электронов. Становится возможным питать радиолamp от сети переменного тока без того, чтобы это вызывало гул или жужжанье. Миллионы современных радиолamp работают с подогревными катодами. У подогревных катодов оказались еще и другие качества—высокий срок службы, способность давать большие токи, выдерживать,

не разрушаясь, сильные перегрузки. Подогревные катоды стали применяться и в генераторных, и в выпрямительных лампах.

38 Число электродов увеличивается

В течение четверти века универсальным прибором считалась трехэлектродная лампа с одной управляющей сеткой. Она усиливала токи и высокой, и низкой частоты, применялась и для выпрямления высокой частоты — для детектирования сигналов и для создания высокочастотных колебаний.

В тридцатых годах нашего века в радиотехнике происходит великий перелом — на смену трехэлектродной лампе приходят другие узко специализированные: для высокой частоты — двухсеточные (экранированные) лампы, для низкой — трехсеточные лампы — пентоды. Появляются лампы с четырьмя, пятью и еще большим числом сеток — гексоды, гептоды, октоды. Эти кажущиеся

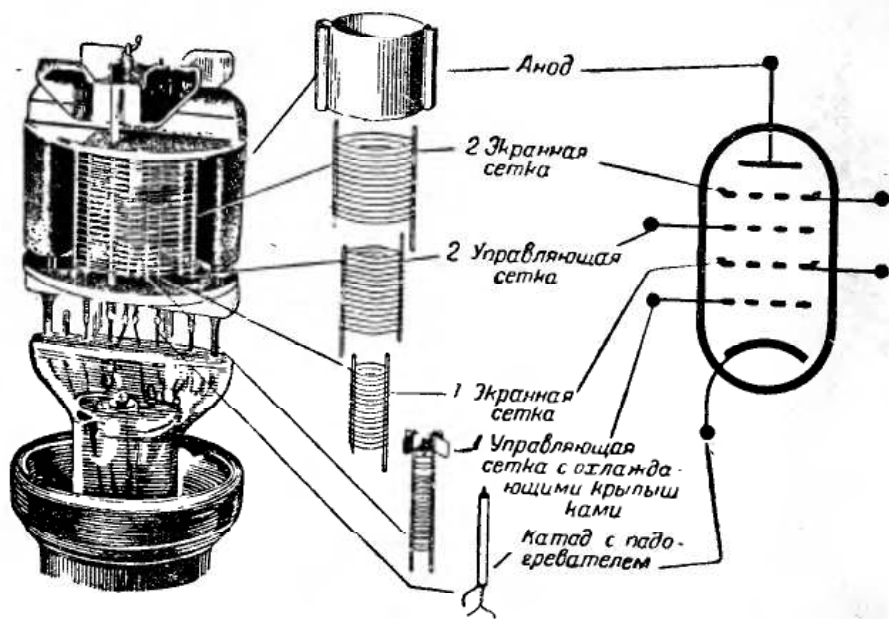


Рис. 19. Современная сложная приемная радиолампа с подогревным катодом.

В этой лампе шесть электродов. Часто в радиоприемниках применяются лампы с еще большим числом электродов, например пятисеточные лампы — пентагриды.

такие мудреные названия — не что иное, как греческие числительные, показывающие число электродов.

Некоторые такие сложные лампы выполняют сразу несколько функций. Они заменяют собой две-три простых трехэлектродных лампы.

Начинает выпускаться «магический глаз» — лампа для бесшумной настройки приемника, появляются сложные комбинированные лампы для автоматической регулировки силы приема.

В 1932 г. завод «Светлана», уже выпускал несколько сотен разнообразнейших типов электровакуумных приборов. Одних только приемных радиоламп изготовлялось несколько десятков тысяч штук в месяц.

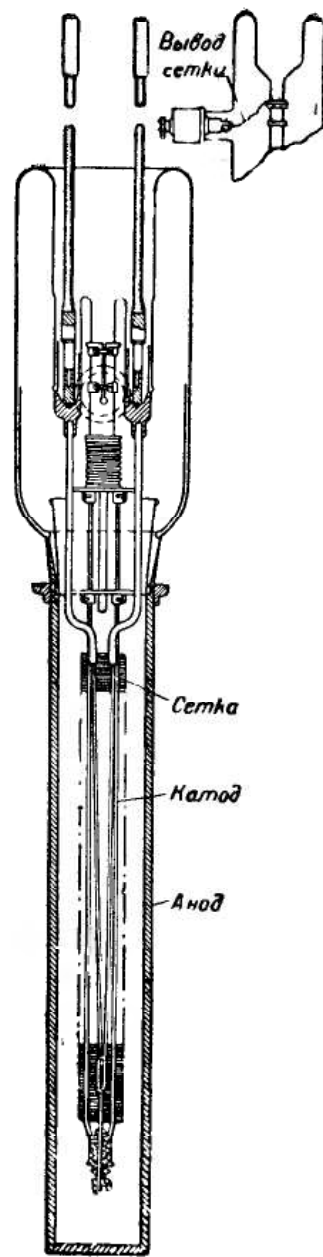


Рис. 20. Продольный разрез генераторной трехэлектродной лампы с охлаждением анода проточной водой.

Верхняя часть лампы — это стеклянный баллон, нижняя — анод из медной трубы. Заостренный край анода сплавляется со стеклом на пламени газовой горелки или посредством нагрева токами высокой частоты.

Производство электровакуумных приборов очень тонко и своеобразно. Материалы для производства электронных ламп должны отличаться особой чистотой. Для электродов ламп применяются специальные сорта никеля, молибдена, вольфрама, тантала, ниобия. На оболочки ламп идут специальные сорта стекла.

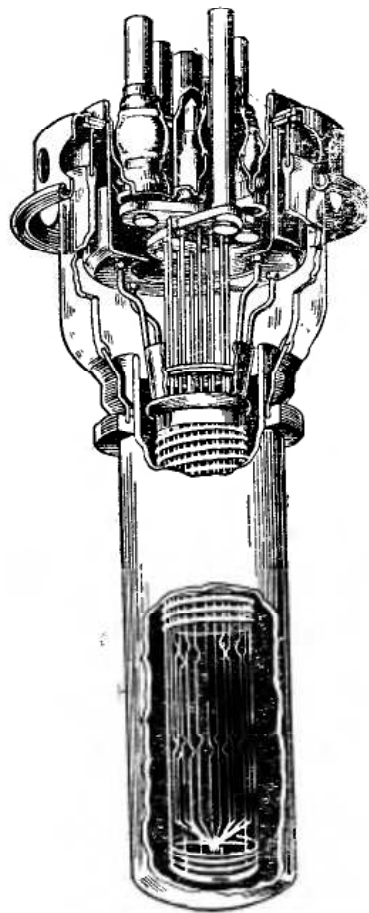


Рис. 21. Ультракотковолновая мощная трехэлектродная генераторная лампа.

Как и на предыдущем рисунке, нижняя часть лампы — это медный анод, который при работе погружается в бачок с проточной водой. Коротковолиновая лампа отличается особо мощным выводом сетки, по которому можно пропускать большие токи.

Однажды в цехе, который выпускал оксидные лампы — приемные лампы с оксидным катодом, случилось непонятное происшествие. Как раз накануне брак в производстве этих ламп был сведен к минимуму — он составлял менее 10% и цех получил красное знамя за отличную работу. И вдруг через два дня после этого торжества брак возрастает до 50%, проходит еще два дня и цех вовсе перестает выпускать годные лампы. Приходят в цех лучшие специалисты из вакуумной лаборатории, сидят они в цехе одну смену, другую, третью, пробуют менять и режимы откачки ламп, и режимы их тренировки. Но ни у одной лампы, изготовленной в цехе, катод не испускает требуемого по нормам электронного тока. Смена за сменой, день за днем цех дает 100% брака.

Секрет разгадали химики.

В цехе была эпидемия гриппа и в соответствии с

господствовавшими тогда в медицине веяниями, чтобы ликвидировать гриппозную инфекцию, решено было хлорировать помещение.

Концентрация хлора была невелика: чувствовалось, когда зайдешь со свежего воздуха, что чем-то аптечным пахнет — вот и все. Но этого незначительного количества хлора, которое слабо ощущалось людьми, оказалось достаточно, чтобы отравить оксидные пасты (смеси углекислых солей бария, стронция и кальция), которыми покрывались катоды радиоламп.

Так чувствителен к посторонним примесям и загрязнению активный оксидный катод. И хотя со времени открытия этого катода прошло уже почти полвека и об оксидном катоде написаны сотни научных трудов, все же многие процессы в нем совершенно еще не ясны и непонятны.

А вот еще случай, на той же «Светлане», но только на этот раз в другом цехе — в цехе осветительных ламп.

40

«Пожиратели газов»

Особую роль играют в производстве электровакуумных приборов так называемые «гетеры».

Дело в том, что при массовом производстве ламп было бы слишком долго и невыгодно доводить вакуум в них до требуемой степени совершенства при помощи насосов.

Поэтому поступают иначе. При помощи насосов производят лишь предварительное, так сказать, черновое разрежение в лампе. Пустоту доводят до одной тысячной, а то только и до одной сотой миллиметра ртутного столба. А для устойчивой работы лампы необходимо, чтобы давление в ней было меньше одной стотысячной миллиметра ртутного столба. И чтобы получить это высокое разрежение, в лампе распыляют вещество, которое обладает способностью жадно поглощать газы. Таким свойством обладают, например, металлы магний, барий и их сплавы. Их и называют гетерами — пожирателями.

Чтобы распылить гетер в лампе со стеклянной оболочкой, к ней подносят катушку, питаемую током высокой частоты. Укрепленная на никелевой пластинке внутри лампы таблетка гетера раскаливается и испаряется. Пары ее оседают на стекле и образуют тот серебристый

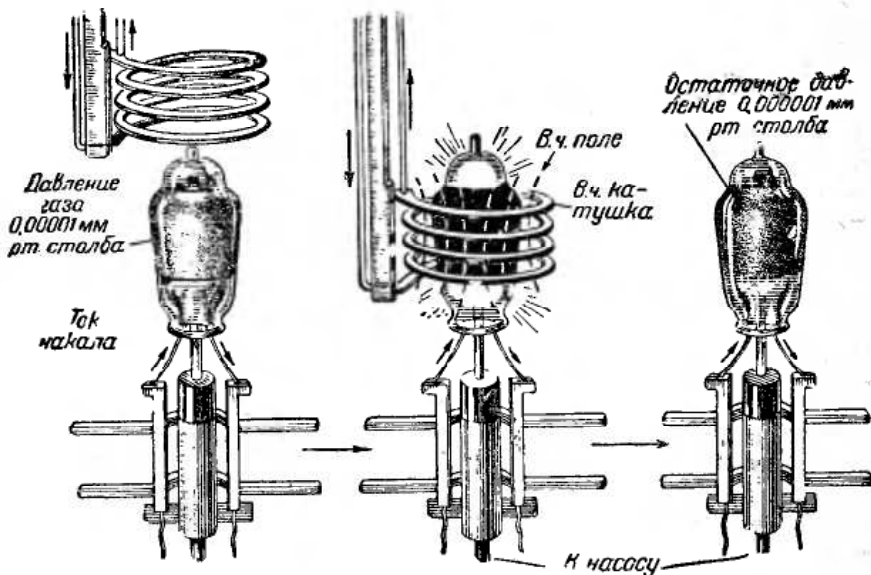


Рис. 22. Нагрев электродов радиолампы посредством быстрого переменного электромагнитного поля во время ее откачки.

(при магнневом гетере) или темнометаллический налет (при гетере из бария), который мы видим на всех стеклянных радиолампах. Этот металлический налет жадно поглощает все остатки газов, и давление в лампе падает до стотысячной доли миллиметра ртутного столба, что уже вполне достаточно для устойчивой и надежной работы лампы.

Иногда гетер применяют в осветительных лампах. Но здесь он должен быть прозрачным, чтобы не поглощать света. Таким прозрачным гетером может служить фосфор. Его соединения с кислородом имеют вид стекла. Фосфор бывает в разных видах. Так называемый желтый фосфор светится в темноте, долго его хранить нельзя, так как он окисляется, к тому же он еще и ядовит. Если желтый фосфор долго растирать под водой, то он переходит в красный фосфор, который уже не ядовит, может свободно храниться на воздухе, а при нагреве поглотит газы так же хорошо, как и желтый.

В производстве осветительных ламп на «Светлане» применялся именно красный фосфор. И вот в один, как говорится, прекрасный день все лампы с фосфорным ге-

тером выходят в брак. Только включают такую лампу, как баллон ее темнеет и волосок перегорает. Явно в лампе остался газ.

Снова сидят вакуумщики день за днем у откачных постов...

Оказалось, что если растирать фосфор очень долго, то он из красного переходит в фиолетовый. Эта редчайшая модификация фосфора, о которой далеко не каждый химик знает, уже, оказывается, не может хорошо работать как гетер. И все несчастье в цехе осветительных ламп произошло из-за того, что фосфор слишком долго и тщательно растирали. Вот уже поистине случай, где принцип «масло каши не испортит» оказался ложным.

Это исключительно тонкое и сложное производство было впервые освоено у нас только после Октябрьской революции. Но уже к началу Великой Отечественной войны электровакуумное производство Советской России занимало одно из ведущих мест в мире. Оно с успехом выдержало суровое испытание.

41

Электромагнитные колебания возникают в пустоте

Важнейшая функция электронных ламп—это создание высокочастотных колебаний. Генераторные электронные лампы строятся на самые разнообразные мощности: от долей ватта для различных измерительных целей (например, в генераторах стандартных сигналов, в электрических часах) до ламп мощностью в сто и даже пятьсот киловатт для мощных радиопередатчиков.

Чаще всего для генерирования высокочастотных токов применяются лампы с одной сеткой—трехэлектродные лампы, но в некоторых случаях строятся генераторные лампы с двумя сетками—экранированные лампы и даже трехсеточные генераторные лампы—пентоды.

Сетка действует в электронной генераторной лампе, как золотник в паровой машине. Золотник рубит поток пара, выходящий из котла, на отдельные порции; то же делает сетка с постоянным током, который подводится к аноду лампы. Существует предельная скорость, с которой может работать паровая машина. Так и для электронной лампы существуют предельно высокие частоты, которые она может генерировать.

В современных генераторных лампах электроны обычно движутся со скоростями, не большими одной десятой скорости света. Расстояние между электродами лампы — между ее катодом и сеткой и между сеткой и анодом — удастся сделать не меньше нескольких десятых долей миллиметра. За то время, когда существует положительное напряжение, электроны должны успеть дойти от катода к аноду. В настоящее время существуют лампы, у которых это время меньше одной миллиардной секунды. Следовательно, такие лампы могут генерировать волны короче 30 сантиметров.

42 Электронные свистки

Для получения еще более высоких частот, или, что тоже самое, еще более коротких волн, применяются не электронные лампы с управляющей сеткой, а другие приборы. Существуют электронные приборы, которые способны вырабатывать ток с частотой нескольких десятков миллиардов периодов в секунду (волны короче одного сантиметра).

Если попытаться подобрать механическую аналогию таким электронным генераторным приборам, то их надо было бы сравнить уже не с паровой машиной, в которой имеется клапан, рубящий струю пара на порции, а с органами трубами, свистками, гудками.

Если вдвухать струю воздуха в полость, то при определенных условиях заключенный в этой полости воздух начинает вибрировать. Непрерывно вдвухаемая струя распадается на отдельные порции. Получаются звуковые колебания, частота которых зависит от объема полости. Чем этот объем меньше, тем частота колебаний выше.

Так работают и свисток, и паровозный гудок, и флейта, и свирель, словом, множество духовых инструментов.

На таком же принципе можно построить и электронный генератор. В безвоздушном пространстве вблизи раскаленного катода помещается медная полость. В эту полость вдвухается поток электронов. Если надлежащим образом подобрать форму полости, напряжение электрического поля в ней и направление потока электронов, то этот поток раздробится, распадется на отдельные порции. В полости возникнут электрические колебания, появится электромагнитная волна. Длина этой волны

обычно равна удвоенной длине полости. Иногда эта волна может быть несколько длиннее или несколько короче.

От греческого слова «клио», что значит — дробить, такие приборы называют клистроны. Сами же полости, в которых совершаются электромагнитные колебания, называют часто румбатронами.

При помощи клистронов получают обычно маленькие мощности, чаще всего доли ватта.

43 Большие мощности и высокие частоты

Для получения больших мощностей применяются приборы, которые называются магнетронами. В этих приборах имеется сильный магнит или катушка, по которой пропускается постоянный ток. В пространстве между катодом и анодом существует сильное постоянное магнитное поле — отсюда и название прибора. Это магнитное поле заставляет электроны свернуть со своего прямого пути и двигаться по спиральным орбитам.

Магнетроны строились давно, но своего совершенства они достигли в годы Великой Отечественной войны. Магнетроны применяются, главным образом, в радиолокации, где требуются возможно более мощные, возможно более коротковолновые генераторы.

Радиолокационный передатчик ошупывает находящиеся перед ним объекты при помощи электромагнитного

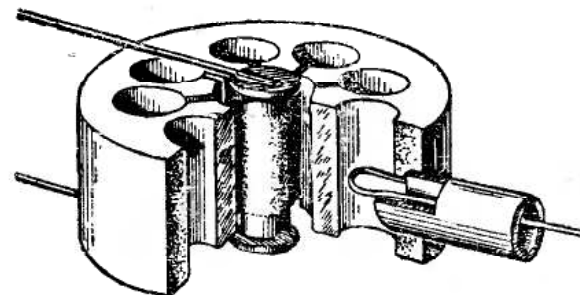


Рис. 23. Многосекторный магнетрон для получения электромагнитных колебаний с длиной волны 10 сантиметров.

В центре катод — никелевая трубка, покрытая оксидной пастой. Внутри этой трубки находится вольфрамовая спираль — подогреватель. Анод выполнен из медной болванки, в центральном отверстии анода помещается катод. Вокруг этого центрального отверстия имеется еще восемь полостей, которые являются колебательными контурами.

луча. И чем выше мощность этого луча, тем на более дальние расстояния может действовать радиолокатор, тем надежнее его работа, тем труднее создать локатору помехи, заглушить работу его луча.

44 Короче волны — четче изображение

А чем короче длина волны электромагнитного луча, тем больше деталей можно различить в облучаемом объекте. Электромагнитный луч с длиной волны в метр обнаружит самолет в виде неопределенной формы металлической массы. А луч с длиной волны в 3 сантиметра уже мог бы нарисовать вполне определенный силуэт. Но надо сказать, что в отношении укорочения длины волны для радиолокационных установок в настоящее время пожалуй уже достигнут предел. Электромагнитные волны короче 1 сантиметра сильно поглощаются водяными парами, находящимися в атмосфере. Дальнейшее понижение длины волны ведет к уменьшению радиуса действия локатора.

В самом распространенном типе магнетрона катод выполнен в виде никелевой трубки, покрытой оксидной пастой. Анод изготавливается из медной болванки. В этой болванке делается одно центральное отверстие, внутри которого помещается катод. Вокруг центрального отверстия делаются полости, в которых и возбуждаются колебания. Чем более высокие частоты требуется получить, тем меньший размер должны иметь полости в аноде, тем меньшие в них будут токи и напряжения. Чтобы повысить мощность магнетронного генератора, увеличивают число колебательных полостей в аноде.

Но такого увеличения мощности можно добиться лишь в том случае, если все полости колеблются согласованно. Тогда их токи и напряжения будут складываться.

45 Кольца связи и восходящее солнце

Это хитрая задача—заставить все полости колебаться согласованно в такт. Их связывают иногда специальными медными кольцами, «связками». Часто более согласованную совместную работу многих полостей можно получить, если сделать их двух разных размеров. Такой магнетрон

часто называют поэтическим названием «восходящее солнце».

Но, пожалуй, анод этого магнетрона более напоминает собой не солнце с лучами, а какую-то причудливую морскую раковину.

46 Электронный маховик

Работу магнетронов часто сравнивают с динамомашиной.

Электронное облако, которое окружает катод магнетрона, под действием электрических и магнитных сил вращается, как якорь динамомашины, и возбуждает переменные токи в медном аноде, который можно рассматривать, как статор динамомашины—как ее неподвижную часть. Разница та, что в магнетроне «электронный ротор», электронный маховик, вращается в миллионы раз быстрее, нежели железный ротор в динамомашине.

47 Потери неизбежны

Никакие электронные генераторные приборы (ни трехэлектродные лампы, ни магнетроны) не могут нацело превратить весь подводимый к ним постоянный ток в высокую частоту. Не меньше одной четверти от подводимой к генераторному прибору энергии теряется, выделяется в виде тепла на аноде прибора. Это тепло отводят разными способами.

В лампах мощностью до двух—трех киловатт анод делают из никеля, а иногда из более тугоплавких материалов: из молибдена, тантала, графита. Такие аноды при работе лампы раскаляются до красного или даже до желтого свечения и отдают тепло за счет лучеиспускания. В более мощных лампах аноды делают из меди, их обдувают воздухом или, чаще, охлаждают проточной водой.

Каждая современная мощная радиостанция имеет большое водяное хозяйство: насосы, которые прогоняют воду через аноды генераторных ламп, и бассейны с фонтанами, в которых нагретая вода охлаждается.

В радиолокационных установках генераторы работают отдельными толчками, импульсами. При импульсной работе магнетрон генерирует высокую частоту в течение

одной миллионной секунды—одной микросекунды. Затем в тысячу раз более длинный промежуток времени, целую тысячную долю секунды, магнетрон отдыхает. Ток через него не проходит.

При импульсной работе можно получать от магнетрона огромные мгновенные мощности. Между анодом и катодом магнетрона прикладывается напряжение в несколько десятков тысяч вольт. Благодаря тому, что оно прикладывается всего лишь на одну миллионную долю секунды, магнетрон не успевает пробиться.

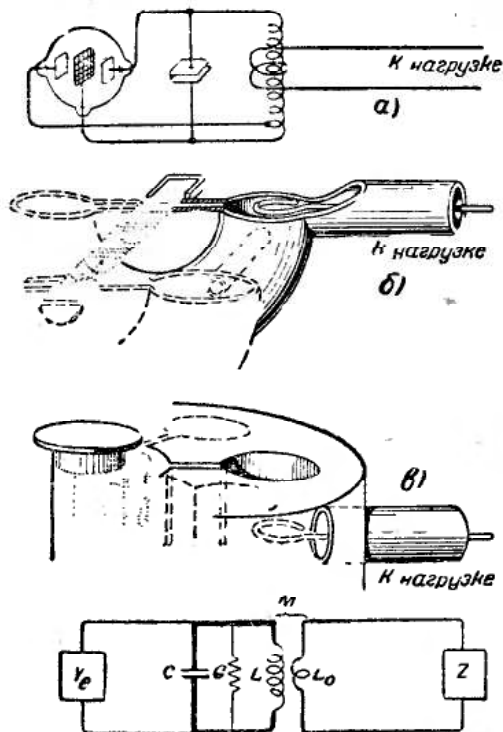


Рис. 24. Сравнение различных способов генерирования электрических колебаний.

Вверху (а) — получение колебаний в контуре, состоящем из емкости и самоиндукции при помощи тухлэлектродной лампы. На втором рисунке (б) — возникновение колебаний в клистроне. Поток электронов, летящих из катода, разбивается на отдельные порции — сгустки, и эти сгустки, проходя сквозь полый колебательный контур, создают в нем высокочастотный ток.

Еще ниже (в) — магнетронный генератор. Вокруг катода вращается облачко электронов подобно ротору динамомашины. Этот «электронный ротор» возбуждает колебания в дростелях, которые сделаны в аноде магнетрона.

От магнетрона размером с кулак и весом не более одного килограмма можно получить в импульсе больше тысячи киловатт. Средняя мощность, правда, все же будет не очень велика, не более нескольких сотен ватт.

48 Испорченная пустота

Начиная с первых лет появления электронных ламп, было установлено, что чем совершеннее в лампе разрежен газ—чем выше в лампе вакуум, тем более четко может сетка управлять током лампы, тем более устойчива работа лампы.

Но через лампу с высоким вакуумом трудно пропустить большие токи. При высоком вакууме велико падение напряжения в лампе, велико ее внутреннее сопротивление, велики потери в ней.

Иное дело, если в пространстве между катодом и анодом имеется газ. Такая лампа способна пропускать большие токи. В газе между катодом и анодом может возникнуть дуговой разряд. И потери энергии при прохождении тока через такую лампу значительно меньше, чем в лампе с высоким вакуумом.

Но процессы, происходящие в газовой лампе, значительно сложнее процессов в высоковакуумных лампах. Один электрон, вылетев из катода, может по пути к аноду несколько раз сталкиваться с атомами газа и при каждом ударе выбивать из них новые электроны, которые в свою очередь устремляются к аноду и на пути создают еще электроны. Первоначальный слабый ток умножается, как снежный ком, катящийся с горы, в лампе возникает лавинный разряд, как его иногда называют. Сетка теряет контроль над прохождением тока. Если к ней подвести даже очень большое отрицательное напряжение, то она неспособна прервать ток в газонаполненной лампе. Вокруг сетки образуется оболочка, чехол, как его еще иногда называют, из заряженных частиц. И этот чехол мешает управляющему действию сетки.

Еще в 1902 г. выдвигались предложения строить для управления током лампы, наполненные парами ртути, но практического применения они не нашли (или точнее будет сказать, что они нашли применение, но не для управления током, а для других целей—для освещения и для выпрямления тока).

После этого газонаполненные лампы неоднократно предлагались различными изобретателями: их строил проф. Прис в Англии, во Франции академик Леблан, инженер Тулон, у нас в Советском Союзе акад. Чернышев, инж. Ситников, проф. Вологдин. Газонаполненные лампы получили название «тиратроны» от греческого слова «тира» — дверь, так как эти лампы могли открывать и запирали путь большим токам до нескольких десятков или даже сотен ампер.

Но надо иметь в виду, что газовые приборы или, как их теперь называют, ионные — это не просто приборы с плохим вакуумом. Ионные приборы нужно откачивать не менее тщательно, чем приборы электронные. Лишь после того, как удалены все остатки посторонних газов, ионный прибор наполняется надлежащим паром, газом или смесью.

В 1932 г. стали строить тиратроны на «Светлане». Мы наполняли их ртутными парами и тогда при работе они светились зелеными и голубыми тонами. Строились и тиратроны, наполненные инертными газами. Неоновые при прохождении тока горели багровым пламенем. Гелиевые тиратроны испускали желтый свет, аргоновые — фиолетовый. Все это было очень красиво, но, к сожалению, мы не знали, для каких практических целей эти тиратроны применить. Для целей техники связи, для усиления, например, сигналов тиратроны были мало пригодны. Надо было найти для них какие-нибудь новые области применения.

В 1932 г. вместе с инж. Ю. Д. Болдырем мы попытались применить электровакуумные приборы для управления огнем боевых кораблей.

— Как попасть в самолет, который летит на высоте нескольких километров со скоростью несколько сотен километров в час?

Стрельба ведется с корабля, который идет полным ходом, часто все время меняя свой курс. Волна бьет ко-

рабль, качает его с борта на борт, с носа на корму. Как поразить снарядом самолет?

Надо точно знать курс самолета, его скорость, учесть курс, скорость и качку корабля, точно знать скорость своих снарядов, тогда можно вычислить, в какую точку неба направить орудие, чтобы обеспечить встречу снаряда с самолетом. И самое важное, что эту задачу о встрече надо решать в немногие секунды. Сюда же надо успеть внести поправку на ветер, на плотность воздуха.

Еще со времени первой мировой войны существовали различные системы счетно-решающих машин для управления артиллерийским огнем, но расчеты показывали, что применение электровакуумных приборов может значительно повысить точность и четкость стрельбы.

— Маленькие тиратроны, думали мы с Болдырем, — могли бы приводить в действие счетно-решающие механизмы, а большие тиратроны могли бы управлять электродвигателями для наводки пушек.

Но старые вооруженцы и кораблестроители встретили это предложение скептически: — электровакуумные приборы хороши в радиосвязи, — говорили они, — там действительно дело эфирное, пустотное. Но разве можно доверить хрупким стеклянным пузырькам управление пушками на корабле.

Чтобы разрешить эти сомнения, были построены машины, прозванные трясулками. У этих трясушек была платформа, на которой укреплялся электровакуумный прибор. Включался мотор, и платформа начинала грохотать, как телега на булыжной мостовой. Трясушка подражала то ходу танка по неровной дороге, то качке корабля.

В 1934 г. начали широко разрабатываться электровакуумные приборы с металлической оболочкой вместо стеклянной. Металлическая оболочка как-то психологически успокаивающе действовала на заказчиков не радистов, не слаботочников. Металлическая оболочка внушала представление о чем-то солидном, прочном. Хотя надо честно признаться, что прочность электровакуумного прибора определяется не его оболочкой. В нашей трясушке они выходили из строя из-за того, что у них обрывались внутренности. Отваливались аноды, сетки наезжали на катоды и т. д.

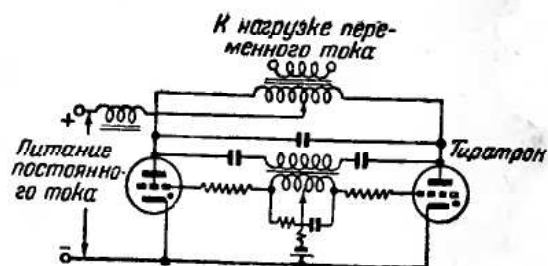
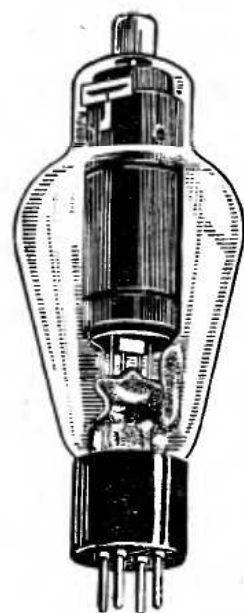


Рис. 25. Самовозбуждающийся преобразователь постоянного тока в переменный.

В таких преобразователях (инвертерах, как их еще называют) применяется тиатрон с очень малым временем деионизации, т. е. такой, у которого сетка очень быстро после прерывания анодного тока восстанавливает свое управляющее действие.

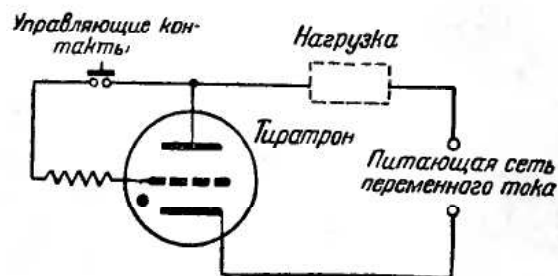
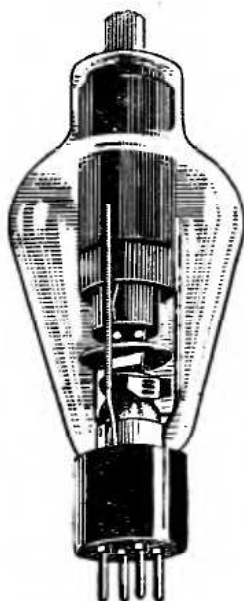


Рис. 26. Тиатронное реле, управляемое маломощными контактами.

Здесь целесообразно применять тиатрон с положительной характеристикой сетки. Это упрощает схему и делает ее более надежной.

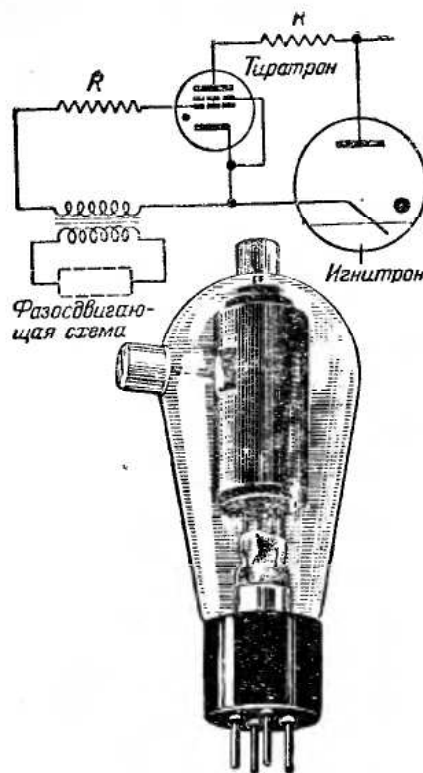


Рис. 27. Схема зажигания мощного игнитрона посредством тиатрона с отрицательной сеткой. Такие тиатроны весьма чувствительны.

51 Электроника для военного флота

Но в конце концов были построены лампы, которые выдерживали на трясушке самые сильные толчки и удары. Военно-морские инженеры решили поставить эти лампы на один из черноморских боевых кораблей.

Надо было изготовить большую партию тиатронов. Основная наша забота была, чтобы сетка возможно четче управляла анодным током, чтобы в цепи сетки потреблялась возможно меньшая мощность.

В то время как раз стала развиваться новая наука — электронная оптика. Мы изготовляли модели различных тиатронов и методами электронной оптики строили пути

электронов в пространстве между катодом, сеткой и анодом. Мы заполняли толстые альбомы рисунками электронных путей. Опытная партия тиратронов с наилучшей конструкцией сеток была, наконец, изготовлена и отправлена на корабль.

А через несколько дней мы получили телеграмму, что наши тиратроны вызвали аварию и необходим наш срочный выезд на корабль.

Оказалось, что в момент испытаний, когда четыре пушки одного борта все согласно шли вправо, следя за общей целью, вдруг одна из пушек перестала слушаться команды следящего механизма, резко повернула в обратную сторону и с размаху ударилась о свою соседку. Дело в том, что каждую пушку вел свой двигатель и каждым двигателем управлял свой комплект тиратронов. И вот один из этих комплектов вдруг перестал слушаться счетно-решающего механизма.

Причина всего этого происшествия оказалась до обиды простой: во время изготовления тиратронов были небрежно припаяны выводные проводнички от их катода. В своем увлечении тонкими научными соображениями о путях электронов мы не проследили за этой мелочью. И, увы, подтвердилась старая истина, что в производстве надо пристально следить именно за всеми, быть может, и не научными мелочами. В результате сотрясений от стрельбы выводные проводнички на одном из тиратронов отпаялись и этот тиратрон перестал управлять током.

В течение нескольких минут причины аварии, вызвавшей путешествие из Ленинграда к Черному морю, были ликвидированы. Тиратронное управление работало отлично.

В настоящее время эти тиратронные схемы управления артиллерийским огнем заменены новыми более совершенными. Но во всех системах управления артиллерийским огнем во всех странах мира участвуют электровакуумные приборы.

Начиная с 1932—1935 гг. электровакуумные приборы распространяются во всех отраслях промышленности. Они применяются в электросварке, для получения швов высокого качества, для управления прокатными станами, печами, станками механической обработки (см. рис. 28 в конце книги).

Самые разнообразные заказчики стали предъявлять спрос на электровакуумные приборы. Представители оперы и балета интересуются тиратронными регуляторами, чтобы наиболее натурально изображать игру зари перед восходом солнца. В лесную промышленность требуют неоновые лампы для приборов, измеряющих влажность древесины, и т. д. и т. д.

Все новые и новые задачи решают электроны, работающие в «пустоте» в наши дни. Все больший размах получает промышленная электроника. Многие интересные дела еще впереди.