

1814

19

Мед. м. 1814



Номер 6-й. Декабрь 1919. Н.-Новгород.

Печатается при Нижегородской Радиолaborатории.

30 сентября сего года скончался В. М. Лещинский, первый управляющий Радиолaborатории с мастерской в Нижнем-Новгороде.

Сотрудники этого молодого учреждения, сознавая всю его важность для радиотехники в России и оценивая весь труд и талант, которые положил Лещинский на создание лаборатории с мастерской в течение одного года, с октября 1918 г, решили посвятить

имени

Владимира Михайловича ЛЕЩИНСКОГО

сборник своих работ, сделанных ими в Нижегородской Радиолaborатории с мастерской.

Редакция „ТиТбп“ идет всецело навстречу этому пожеланию, памятуя, что техническое обеспечение издания этого журнала является также одним из результатов неутомимой, широкой и разумной деятельности В. М., и отдает весь выпуск шестой журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“ для вышеозначенного сборника.

Катодный выпрямитель с пустотой для 15000 вольт.

М. А. Бони-Бруевича. Ч. РОРИ.

§ 1.

В связи с работами по беспроволочной телефонии в Нижегородской Радиолaborатории возник вопрос о постройке выпрямителей для получения постоянного тока 6000—15000 вольт 0,25—0,4 ампер.

В настоящее время этот вопрос уже разрешен; тип такого рода выпрямителя разработан и построено несколько экземпляров для текущей лабораторной работы.

Принцип этих выпрямителей общеизвестен: накаливаемый электрод, излучающий электроны, помещается в пустоту вместе с другим (холодным) электродом. При совершенной пустоте ток может проходить через прибор только тогда, когда накаливаемый электрод является катодом, и вовсе не проходит при обратной полярности.

Однако, при конструктивном выполнении вопрос осложняется целым рядом побочных явлений; необходимо, например, считаться с нагреванием различных частей прибора, могущим повлечь за собой его разрушение; с электростатическим действием поля на катод, находящийся в пластичном состоянии благодаря накалу; с влиянием конструктивных данных на долговечность и на коэффициент полезного действия и проч. Равным образом, и пользование прибором требует известного умения, без которого долговечность его или полезное действие не могут быть велики. Вот почему понимание некоторых деталей может быть полезно не только для конструктора (каковым сейчас при отсутствии на русском рынке готовых приборов может оказаться любой лабораторный работник), но и для того, кто пользуется этими выпрямителями. И так как в русской (и переводной) литературе теория катодных выпрямителей затрагивалась очень мало, а заграничная литература за последнее время нам неизвестна, то я предпосылаю описанию конструкции выпрямителя Нижегородской Радиолaborатории некоторые данные, относящиеся к этого рода приборам.

§ 2.

Накаливаемый катод чаще всего делается в виде нити накаливаемой током; причем теперь почти исключительно применяются вольфрамовые нити.

При данной температуре количество электронов, выбрасываемых катодом, прямо пропорционально величине поверхности последнего; зависимость количества электронов от температуры дается известной формулой Ричардсона

$$I = a \sqrt{T} e^{-b/T}, \quad (1)$$

где T абсолютная температура катода; I — термоионный ток на единицу поверхности катода; a и b — постоянные, равные для вольфрама соответственно $3,4 \cdot 10^7$ и $5,5510^4$ (по Лангмюру).

Формула (1) даёт величину тока для того случая, когда к электродам приложена разность потенциалов достаточная для переноса всех излучаемых электронов, т. е. она даёт величину тока насыщения. При меньших напряжениях часть электронов возвращается на вольфрам, и ток становится меньше этой величины.

Кривые чертежа 1 (стр. 32) дают обычную картину зависимости термоионного тока от напряжения, приложенного между катодом и анодом; как видно из них ток насыщения быстро возрастает с увеличением степени накала катода.

Кривые черт. 2 (стр. 32) оттеняют другую сторону явления: при неизменном накале, и, следовательно, при неизменной величине тока насыщения, удаление электродов друг от друга приводит к тому, что для получения тока насыщения требуется приложить большую разность потенциалов между анодом и катодом. Кривая растягивается по оси абсцисс.

Электроны, выбрасываемые катодом, имеют различные начальные скорости, но преимущественное количество их имеет скорости близкие к некоторой средней, измеряемой, вообще говоря, долями вольта. Эта средняя скорость возрастает с повышением температуры катода. Одновременно всегда существуют электроны с большими и с меньшими начальными скоростями, но число их тем меньше, чем значительнее отличается данная скорость от средней.

Распределение числа электронов в спектре скоростей подчиняется закону Максвелла, выведенному на основании теории вероятностей.

Самый факт существования начальной скорости казалось бы должен был привести к тому, что даже при самой незначительной ускоряющей разности потенциалов между анодом и катодом все электроны должны были бы достигнуть анода. Однако, как известно, и как это показано на черт. 1 и 2, все электроны не в состоянии покинуть катода без помощи довольно сильного электрического поля. Обычно это обстоятельство объясняют существованием пространственного заряда, созданного самими электронами, который отталкивает электроны вновь вылетающие с катода и возвращает их обратно.

Исходя из этого представления о роли пространственного заряда, В. Бурсиан¹⁾ дал теорию явления, относящуюся к случаю, когда катод и анод представляют собою две бесконечные параллельные плоскости.

Сущность теории сводится к следующему. Положим, на черт. 3 K есть катод, а A —анод. При наличии отрицательного пространственного заряда распределение потенциала в пространстве между A и K будет таково: начиная от катода до некоторой точки M потенциал будет падать; (т. е. эл. сила будет замедлять движение электронов), затем, достигнув здесь минимума, он начнет возрастать (и, следовательно, эл. сила будет ускорять электроны, двигая их к аноду). Электроны, имеющие малые скорости, будут возвращены замедляющим полем, не дойдя до точки M . Те электроны, скорости которых достаточно—достигнут этой точки и попадут под действие ускоряющего поля.

С увеличением напряжения между A и K точка M передвигается к катоду и абсолютная величина минимума становится меньше, т. е. более медленные электроны также оказываются в состоянии достигнуть области ускоряющего поля и, таким образом, термоионный ток возрастает. Теория эта в результате сложных математических выкладок приводит к трансцендентным дифференциальным уравнениям; автором дан ряд таблиц, по которым могут быть вычислены точки кривых, характеризующих зависимость термоионного тока от приложенного напряжения.

Однако, казалось бы, что против этой теории в основе можно сделать следующее возражение. Кривые черт. 1 показывают что, если при некоторой температуре катода ток насыщения далеко не был достигнут, то увеличение температуры не приведет к увеличению тока. Возьмем, например, на этом чертеже точку M , соответствующую напряжению ок. 8 вольт; термоионный ток равен 3,5 м. ампера как для волоска накаливаемого током 0,85 амп, так и для волоска накаливаемого током 0,90 амп.

Между тем несомненно, что средняя скорость электронов во втором случае больше средней скорости их в первом случае и, следовательно, во втором случае большее число электронов должно было бы перейти через минимум потенциала (черт. 3) и достигнуть анода.

Мне кажется, что полное слияние начальных частей кривых зависимости термоионного тока от напряжения, которое видно на черт. 1 и которое всегда наблюдается на опыте, само по себе указывает на то, что начальные скорости электронов не оказывают заметного влияния на явление. Что же касается пространственного заряда, создаваемого электронами, то здесь возможна еще такая точка зрения вероятно более удобная для применения при технических расчетах. Положим, что, когда катод не накален (но разность потенциалов к электродам

1) В. Бурсиан. Ж. Р. Ф.—Х. О. Физ. Отд. L I, p. 289.

приложена), поле между анодом и катодом дано черт. 4. Число силовых линий, соединяющих электроды, будет пропорционально произведению CV , где V —разность потенциалов, а C —емкость между электродами.

Накалим катод; очевидно, что теперь часть силовых линий, оканчиваясь на электродах, находящихся в пространстве между A и K (черт. 5), не достигнет катода. Обще число линий будет пропорционально $C_1 V$, где C_1 емкость анода и относительно катода, и относительно пространства, заполненного электронами. При этих условиях в пространстве $A-K$ одновременно может находиться только определенное число силовых линий.

Новые линии входят по мере того, как исчезают старые, которые мешали этому выходению своим боковым распором. Таким образом, при каждой величине CV наступает некоторое стационарное состояние, которому и соответствует определенная величина тока. Ток не может сделаться более этой величины, хотя бы и был избыток электронов. С другой стороны, при недостатке электронов он не может достичь этой величины, и тогда поле между A и K будет представлять собою совокупность статического и стационарного полей.

Этим представлением удобно пользоваться для технических соображений потому, что термоионный ток ставится здесь в зависимость от величины $C_1 V$, которую можно принять более или менее пропорциональной величине CV ; изменение этой последней при тех или иных вариантах конструкции можно, если не всегда учесть, то во всяком случае предвидеть качественно.

Вот некоторые наиболее характерные случаи.

1) При удалении электродов друг от друга уменьшается их взаимная емкость и поэтому увеличивается напряжение V , необходимое (при данном катоде) для тока насыщения.

2) Увеличение поверхности анода ведет к уменьшению этого напряжения, т. к. емкость увеличивается.

3) Увеличение поверхности катода при неизменной его температуре почти всегда ведет к увеличению напряжения V , т. к. при увеличении поверхности катода число электронов излучаемых им пропорционально увеличивается, а емкость в большинстве случаев увеличивается относительно мало.

4) Если катод состоит из нескольких волосков, то сближение их между собою при неизменном расстоянии до анода ведет к увеличению V , т. к. вследствие этого сближения емкость их относительно анода уменьшается.

5) Помещение вблизи катода какого либо проводника, имеющего равный с ним либо отрицательный относительно него потенциал, увеличивает V , т. к. такой проводник, отвлекая на себя часть силовых линий, этим самым уменьшает взаимную емкость между анодом и катодом.

Задание М. А. Бонн-Борисова: Компоновка выпрямителя.

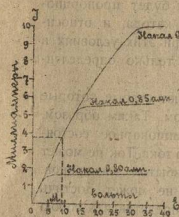


Рис. 1

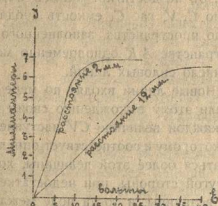


Рис. 2

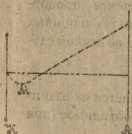


Рис. 3

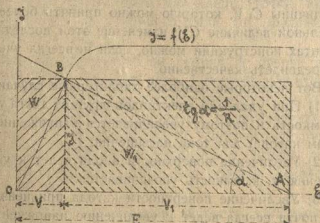


Рис. 4

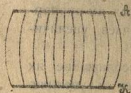


Рис. 5

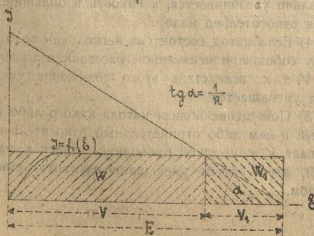


Рис. 6

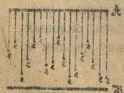
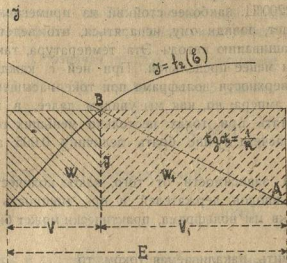
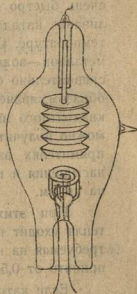


Рис. 7

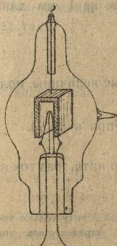
И также М. А. Бонн-Борнштадт: Намогные выпростатели.



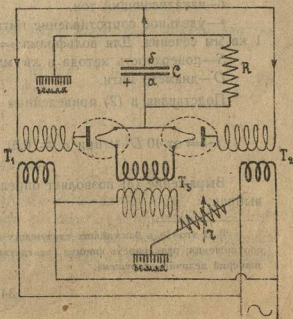
Sept. 8.



Sept. 9.



Sept. 10.



Sept. 11

§ 3.

Мощность, развиваемая в катоде тем источником, которым он подогревается, идет отчасти на нагревание соприкасающихся с катодом частей прибора (держатели, вводы и проч.), отчасти на получение света и отчасти на получение термоионов.

С увеличением температуры термоионное излучение возрастает очень быстро и поэтому, в смысле расхода энергии, идущей на накаливание катода, выгоднее работать при возможно более высокой его температуре. Однако, при 2200°C. наиболее стойкий из применяемых металлов—вольфрам, начинает, повидимому, испаряться, что ведет к сравнительно быстрому изнашиванию катода. Эта температура, таким образом, является более или менее предельной. При ней с каждого квадратного миллиметра поверхности вольфрама при токе насыщения можно получить около 0,01 ампера; но, как мы увидим далее, в выпрямителях выгоднее работать при токах несколько меньших тока насыщения и поэтому для расчета лучше брать величину 0,005 амп на кв мм.

При этих условиях в зависимости от того, какое количество тепла уходит на нагревание вводов, держателей и пр., мощность a , требуемая на нагревание 1 кв мм вольфрама, практически может быть принято от 0,5 до 1 ватта.

Если катодом служит нить, накаливаемая током, то

$$a = \frac{i^2 R}{S} = i^2 \frac{\rho D^2}{4} \cdot \pi D, \quad (2)$$

где a —мощность необходимая для раскаления 1 кв мм поверхности нити от 0,5 до 1 ватта.

i —накаливающий ток.

ρ —удельное сопротивление нити, рассчитанное на 1 мм длины и 1 кв мм сечения. Для вольфрама $\rho=0,008$.

S —поверхность катода в кв мм.

D —диаметр нити.

Подставляя в (2) приведенные здесь числовые величины, получим:

$$i \sim \text{от } 40 D^{3/2} \text{ (при } a = 0,5) \text{ до } 55 D^{3/2} \text{ (при } a = 1). \quad (3)^1$$

Выражение (3) позволяет определить диаметр нити, раз ток накала выбран.

¹⁾ В этой и в ближайших следующих формулах имеются в виду только числовые соотношения; размерность формул вследствие подстановки определенных числовых значений величин—нарушена.

Следующая формула:

$$I = 0,005 S = 0,005 \pi D l \quad (4)$$

(где I термоионный ток) позволяет определить длину нити.

Хотя с конструктивной стороны выгоднее накаливать катод меньшим током при большем напряжении, т.е. делать нить тонкой и длинной, но надо, однако, иметь в виду, что величина термоионного тока должна быть некоторой небольшой долей тока i накаливающего катод, т.к. в том конце волоска, в котором термоионный ток I складывается с током, накаливающим нить при относительно большой величине I , может образоваться значительный перекал.

Обозначая предельное отношение $\frac{i}{I} = m$, получим из выражений (3) и (4), что для $a = 0,5$ должно быть:

$$l < 800 \sqrt[3]{\frac{I}{m^2}}, \quad (5)$$

а для $a = 1$ соответственно:

$$l < 1000 \sqrt[3]{\frac{I}{m^2}}, \quad (5a)$$

чем и определяется предельная длина нити.

Величина m может отчасти зависеть от конструктивных деталей; в среднем ее можно принять около 10, т.ч. выражения (5) и (5a) переписутся:

$$l < 170 \sqrt[3]{I} \quad (5б)$$

и

$$l > 210 \sqrt[3]{I}. \quad (5в)$$

Напряжение, идущее на накал нити, может быть определено из равенства:

$$e i = \frac{a I}{0,005}; \quad (6)$$

подставляя сюда $i = m I$, имеем:

$$e = \frac{a}{0,005 m}; \quad (6a)$$

при $m \geq 10$, $e \leq 10$ для $a = 0,5$ и $e \leq 20$ для $a = 1$.

Приведенные числа позволяют рассчитать размер нити.

Исходной данной для этих расчетов вообще является величина термоионного тока, который желают получить, и которым определяется величина поверхности нити (выр. 4).

Далее, задавшись например, определенной величиной m и a , определим из (5) длину нити, а следовательно и ее диаметр; выражение (3) позволит определить накаливающий ток, а (6)—напряжение у концов нити.

Что касается формы и расположения нити, то здесь в зависимости от величины тех напряжений, которые предполагается выпрямлять, должны быть приняты меры, предотвращающие чисто механическое разрушение нити электрическим полем.

Если напряжения не превосходят 30000 вольт, то оказывается достаточным расположить нить симметрично относительно анода, (напр., по оси цилиндра или между двумя плоскими пластинами, равно отстоящими от нити) или устроить таким образом, чтобы провес нити от собственной тяжести уравнивал электрическое действие анода. При больших напряжениях можно применять третьи электроды, располагаемые над или под нитью и соединенные с нею металлически, или, наконец, сильно увеличить расстояние между электродами.

Невыгодной стороной этих мер является уменьшение емкости нити относительно анода, что, как увидим ниже, влечет за собой уменьшение коэффициента полезного действия прибора.

В целях механической прочности при больших напряжениях не следует делать нить тонкой. Полезно также укреплять ее в нескольких точках, подразделяя по длине на отдельные участки.

§ 4. Анод и катод

Анод во время работы выпрямителя подвергается бомбардированию электронами, вследствие чего он нагревается. Пренебрегая явлением отражения электронов, можно написать, что выделяемая в аноде мощность

$$W = IV = I[E - IR], \quad (7)$$

где V напряжение между электродами прибора, E полное напряжение во всей цепи, а $IR = V_1$ напряжение во внешней цепи.

Чтобы уяснить себе зависимость этой мощности от конструктивных условий и от условий режима прибора, обратимся к черт. 6.

Пусть кривая $I = f(E)$ дает зависимость термоионного тока от напряжения, приложенного к электродам выпрямителя.

Отложим на оси абсцисс величину E напряжения во всей цепи и проведем прямую AB под углом α к оси абсцисс, при чем $\alpha = \frac{I}{R}$,

где R —сопротивление внешней цепи, на которую работает выпрямитель. Тогда, очевидно, что $V_1 = \frac{I}{\operatorname{tg} \alpha} = IR$ дает падение напряжения во внешней цепи, а V падение внутри выпрямителя.

Площадь $W = IV$ определит мощность, теряемую внутри выпрямителя, а площадь $W_1 = IV_1$ — мощность во внешней ц.п.

Непосредственно из этого чертежа видно, что при неизменной температуре катода (которой соответствует данная кривая $I = f(E)$) как мощность W , теряемая в выпрямителе, так и отношение $\frac{W}{W_1}$ увеличивается с увеличением угла α , т.е. с уменьшением внешнего сопротивления R .

Из этого следует, что выпрямитель работает экономически на внешнюю цепь с большим сопротивлением. С другой стороны, так как участок кривой $I = f(E)$ между началом координат и точкой B почти прямолинеен, то отношение $\frac{W_1}{W}$ (характеризующее экономичность работы прибора) в этих пределах не зависит от напряжения E ; наоборот, если E слишком велико, то при том же внешнем сопротивлении точка пересечения прямой AB с кривой $I = f(E)$ передвигается вправо и перейдет на горизонтальный участок кривой $I = f(E)$.

Тогда отношение $\frac{W_1}{W}$ уменьшится и, следовательно, уменьшится и экономичность работы выпрямителя. Такая же картина получится, если уменьшить накал катода, как это показано на черт. 7, где все остальные условия оставлены теми же, что и на черт. 6, но только кривая $I = f_1(E)$ соответствует меньшей температуре катода.

Здесь отношение $\frac{W_1}{W}$ резко меньше, чем на черт. 6.

Удаление анода от катода, как уже говорилось и как показано на черт. 2, делает кривую термоионного тока более пологой. Это приводит к уменьшению экономичности выпрямителя, что иллюстрируется черт. 8, где все остальные условия те же, что и на черт. 6, но кривая $I = f_2(E)$ соответствует большему расстоянию между электродами.

Абсолютная величина мощности W , идущей на нагревание анода, как нетрудно видеть из тех же чертежей, возрастает с увеличением E и уменьшением R .

Так как полезная мощность $W_1 = \frac{E^2}{R}$, то, очевидно, что при одной и той же мощности во внешней цепи анод выпрямителя будет нагрет менее, если напряжение E больше, почему эти выпрямители и выгодно строить главным образом, для высоких напряжений.

Из сравнения черт. 6 и 7 можно видеть, что с уменьшением накала катода полная мощность $W + W_1$ уменьшается, а мощность W , идущая на нагревание анода, сначала возрастает, а затем также уменьшается. Она достигает максимума в тот момент, когда температура катода такова, что напряжение E делится поровну между выпрямителем и внешней цепью.

Действительно, т. к.

$$W = EI - I^2 R,$$

то

$$\frac{dW}{dI} = E - 2IR$$

и

$$W \text{ max. при } IR = V = \frac{E}{2}. \quad (8)$$

Так как полная мощность в этот момент вдвое менее мощности при нормальном накале катода, то, следовательно, на выпрямитель ложится четверть полной нормальной мощности, в то время как при нормальной работе прибор поглощает только доли процента от полной мощности.

Такого рода перегрузка от ослаблений накала катода легко может повести к разрушению выпрямителя, если не принято соответствующих мер в самой конструкции анода. С другой стороны, перекаливание катода сверх нормальной рабочей температуры, несколько не увеличивая ни мощности, ни экономичности, ведет к быстрому перегоранию катода и, следовательно, также не должно допускаться.

Если по условиям работы перегрузка выпрямителя может иметь место, то для предохранения анода он должен быть сделан либо из достаточно тугоплавкого металла (напр. вольфрам), либо его поверхность должна быть достаточно развита для того, чтобы тепло достаточно интенсивно им излучалось.

Вместе с тем поверхность катода, излучающая электроны, должна быть рассчитана с тем большим запасом, чем большие предполагаются колебания в степени его накала.

Следующим важным пунктом в конструкции выпрямителей является получение хорошей пустоты и хорошее обезгаживание стекла и металлических частей.

Для откачки их вполне пригодны конденсационные ртутные насосы, дающие разрежение более, чем 10^{-5} мм рт. столба.

Обезгаживание стекла может быть достигнуто достаточно интенсивным его прогреванием во время откачки; что же касается анода, то он должен быть еще доведен по возможности до высшей возможной для данного материала температуры и это проще всего может быть сделано при помощи бомбардировки его в течение некоторого времени катодным потоком.

Важное значение для получения и консервирования пустоты имеет чистота баллона и металлических частей. Последние должны быть предварительно освобождены от окислов и разного рода загрязнений поверхности.

Если пустота не вполне совершенна, то выпрямляющая способность прибора при напряжениях не свыше 30000 вольт ухудшается мало; но присутствие газа ведет к распылению катода, бомбардируемого положительными центрами, вследствие чего долговечность выпрямителя сильно уменьшается.

Два типа выпрямителей, применяемых мною в настоящее время для опытов по радиотелефонии, показаны на черт. 9 и 10.

Первый из них имеет массивный алюминиевый анод с ребрами, увеличивающими его поверхность. Диаметр этого анода ок. 40 мм и высота ок. 80 мм. Катод имеет вид спирали, образованной двумя параллельными вольфрамовыми нитями диам. 0,115 мм каждая и длиной 250 мм. Расстояние до анода 2 см. Ток накала для обеих нитей 4 ампера. Действующая поверхность нитей около 120 кв мм, так что максимальный термоионный ток при нормальном накале K около 0,60 ампера.

Эти выпрямители выдерживают перегрузку до $\frac{1}{2}$ киловатта внутри прибора в течение 5 минут и 250 ватт длительно.

Они испытаны в работе при напряжениях до 20000 вольт, но эта цифра не является предельной и, повидимому, безопасно может быть доведена до 30000 вольт.

Второй тип (черт. 10) — более легкой конструкции. Анод медный никкелированный в виде буквы П.

Волосок имеет форму опрокинутого V и состоит из трех параллельных вольфрамовых проволок диам. 0,115 мм каждая. Длина нити 120 мм; ток накала 6 ампер. Величина термоионного тока около 0,6 ампер.

Этот тип несколько хуже выдерживает перегрузку, но для цепей, в которых режим уже известен, и в которых причина перегрузки может быть устранена, более удобен вследствие меньшей громоздкости.

§ 5.

Черт. 11 показывает схему включения двух выпрямителей, соединенных с двумя трансформаторами, которые питаются от одного и того же источника переменного тока; трансформаторы соединены таким образом, чтобы фаза во вторичной обмотке одного трансформатора была бы сдвинута на 180° относительно фазы другого. Таким образом, выпрямители по очереди через каждые полпериода дают вместе полное выпрямление переменного тока во внешнем сопротивлении.

Третий трансформатор T_3 служит для накаливания катодов.

Емкость C , включенная параллельно сопротивлению R , необходима для выравнивания получаемого пульсирующего тока и превращения его в постоянный. Величина ее для получения той же степени равномерности тока должна быть тем больше, чем меньше частота и чем меньше сопротивление.

Если исходить из допущения, что напряжение, даваемое трансформатором, синусоидально и не зависит от нагрузки трансформатора, то

величину емкости можно подсчитать для заданных R , ω и для заданной степени неравномерности тока.

Понимая под этой последней величину

$$k = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}},$$

где I —ток в сопротивлении R , можно при грубых подсчетах и для малых величин k исходить из упрощенного соотношения

$$C = \frac{I}{\omega k R} \quad (9)$$

Такого рода расчеты, однако, совершенно неприменимы в тех случаях, когда трансформатор нагружается цепью выпрямителя на полную свою мощность и не имеет другой нагрузки, т. к. и напряжения на зажимах трансформатора, и фаза этого напряжения находятся в сильной зависимости от нагрузки даваемой цепью выпрямителя.

В этом случае опыт показывает, что расчет может дать для емкости величину в десятки раз большую, чем это требуется в действительности¹⁾, т. к. кривая напряжения на зажимах трансформатора перестанет быть синусоидальной и принимает вид коробчатой кривой.

Это происходит отчасти вследствие повышения напряжения на трансформаторе, когда он разгружается, отчасти вследствие постоянного перемещения в пределах 90° фазы напряжения, которое вызывается периодическим характером нагрузки, даваемой цепью с выпрямителем.

На черт. 11 одна из обкладок конденсатора C показана заземленной. Необходимо иметь в виду, что нормально должна быть заземлена именно та обкладка, которая соединена с зажимом трансформатора. Если заземлить другую обкладку, то вторичная обмотка трансформатора окажется под двойным напряжением относительно первичной обмотки, т. к. разность потенциалов конденсатора через каждые $1/2$ периода складывается с электродвижущей силой трансформатора; из схемы черт. 11 легко видеть, что это происходит в тот полупериод, когда анод выпрямителя становится отрицательным.

По этой же причине при каждом отрицательном (не проходящем через выпрямитель) полупериоде между электродами выпрямителя образуется напряжение равное утроенному среднеквадратическому (удвоенному максимальному) напряжению трансформатора.

Октябрь 1910 г

Нижний-Новгород. Радиолaborатория.

¹⁾ Коэффициент неравномерности k легко может быть определен при помощи трансформатора, включенного в цепь сопротивления R и замкнутого своей другой обмоткой на вольтметр.

Зная коэффициент трансформации, можно по показанию прибора определить амплитуду напряжения у зажимов включенных в цепь R и затем соответственно данному трансформатору вычислить амплитуду тока.

Усилительная лампочка Нижегородской Лаборатории (тип. РР1).

М. А. Бонч-Бруевича. Ч. РОР1.

I.

Одной из первых задач, которые были поставлены Нижегородской Радиолaborатории, являлась разработка типа и организация производства катодной усилительной лампочки¹⁾ с полной пустотой.

Эти лампочки вошли в практику русского радиотелеграфа во время войны и до перерыва сношений с Западной Европой доставлялись из Франции. Важность организации в России этого производства была очевидна, т. к. большинство приемных радиостанций теперь работают с усилителями и гетеродинами именно французского типа.

Попытки постройки в России пустотной усилительной лампочки были уже раньше сделаны на некоторых заводах и в лабораториях, но остались безуспешными. Работа в этом направлении была начата мною еще в июле 1918 года в лаборатории Тверской радиостанции, только что организованной тогда по инициативе В. М. Лещинского; но вскоре она была прервана вследствие реорганизации Тверской лаборатории, а затем перешла к ней в Нижний-Новгород, где уже начиная с января 1919 года обстановка и средства Радиолaborатории позволили закончить эту работу.

Задача состояла в следующем. Во-первых, требовалось получить разрежение порядка стотысячных долей миллиметра и хорошо обезгазить электроды лампочки, которые во время работы нагреваются и могут выделять поглщенный газ; во-вторых, надо было найти некоторое правильное соотношение между отдельными элементами лампочки и обследовать влияние рода и качества материала, из которого они приготовлены, на ее свойства; наконец, надо было придать прибору в окончательном виде такую форму, которая позволяла бы применить при изготовлении хотя бы отчасти методы массового производства; равным образом необходимо было разработать такой способ обезгаживания электродов, при котором процесс откачивания воздуха мог бы быть выполнен по возможности быстро.

Первоначально довольно продолжительное время было посвящено изучению ртутных конденсационных насосов, которые, как извест-

¹⁾ Зываемой также „катодным реле“.

но, дают высшие степени разрежения. Целью этого изучения было определение свойств различного типа насосов и изыскание такой конструкции и такого соотношения между отдельными частями насоса, при которых можно было бы получить необходимые разрежения, при выполнении следующих условий: а) относительно небольшое предварительное разрежение, б) продолжительность и надежность службы насоса, в) быстроту действия, г) нечувствительность к изменению режима аппарата, подогревающего ртуть (газовая или спиртовая горелка, электрическая печь и проч), д) простоту конструкции.

В результате было выработано два сорта насосов: один для предварительного разрежения, дающий при вспомогательном разрежении 12 мм рт. ст. разрежение порядка 0,1 мм, а другой, работающий последовательно с первым и дающий разрежение во всяком случае выше 10^{-5} — 10^{-6} мм.

Таким образом была решена первая часть задачи, и дальнейшая работа производилась с комплектом таких насосов, при чем предварительное разрежение получалось при помощи масляного насоса, дававшего нормально 0,5 мм. Что касается обработки стеклянных и металлических частей лампочки, то здесь надо иметь в виду, что как стекло, так и металл содержат большое количество газа, частью прилипшего к поверхности, а частью поглщенного порами вещества. Чтобы дать представление о количестве газа, прилипшего к стенкам стекла, можно указать например, что при опытах вполне эвакуированный в холодном виде стеклянный шар диаметром 5 см. после прогрева до 500 градусов оказывался наполненным газом, давление которого в некоторых случаях доходило до 100 мм. т. е. до $\frac{1}{8}$ атмосферного давления.

Наиболее простой способ отделения газа—это нагревание во время откачки. Для стекла это является вполне надежным способом, т. к., будучи нагрето до некоторой температуры, оно уже не только не отделяет газа при температурах более низких, но даже несколько поглощает его, при чем это поглощение идет сначала быстро, а затем медленно и может быть замечено в течение нескольких суток. Если нормальная работа лампочки не сопряжена с заметным нагреванием баллона, то в сущности при откачке можно ограничиться самым незначительным прогреванием, но все таки желательно прогревать стекло выше критической температуры кипения воды (т. е. градусов до 400) для того, что бы совершенно удалить влагу из поверхностных скважин. С металлическими частями дело обстоит иначе. Здесь даже при значительном понижении температуры при прогреве, газ не всегда перестает отделяться; это особенно относится к температурам, при которых данный металл заметно испаряется в пустоте. Красная медь, например, при температуре около 500 градусов выделяет газ неопределенно долго (сильное отделение продолжается до 10 часов) при чем баллон и внутренние немедные части прибора покрываются медным

зеркалом. Никель, доведенный до оранжевого каления и прогретый таким образом в течении получаса, при понижении температуры до соответствующей темно-красному калению продолжает выделять газ. Платина и вольфрам, наоборот, выделяют газ очень быстро. Также быстро, повидимому, выделяет газ алюминий, который вследствие своей легкоплавкости может быть нагрет только до едва заметного в темноте красного каления. Хотя с этим металлом иногда у меня получались и обратные результаты, но они могли зависеть от плохого сорта материала (пористость). С молибденом я не получил определенных результатов, но повидимому он более близок в этом смысле к никелю, чем к вольфраму.

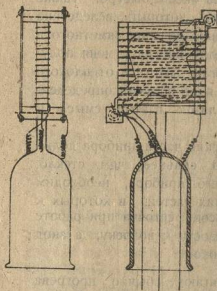
Из изложенного понятно, что металлические части прибора должны быть при откачке прогреты значительно сильнее, чем стекло, вследствие чего кроме общего прогрева всего прибора, необходим особый форсированный прогрев его внутренних частей, в которых к тому же и рабочая температура довольно высока: сеточка при работе нагревается, главным образом, благодаря близости к волоску, а анод — благодаря бомбардированию катодным потоком.

Из различных способов, которыми достигают обычно прогрева внутренних частей можно упомянуть два: а) Прогрев катодным потоком, для чего накаливают волосок и прикладывают между ним и анодом напряжение в сотни вольт; тогда анод благодаря бомбардированию разогревается и в зависимости от приложенного напряжения, от степени накала, волоска может быть доведен до любой температуры. Этим способом обезгаживаются, напр., французские усилительные лампы. Неудобством здесь является необходимость предварительно прокалывать и охлаждать все металлические части в атмосфере водорода, чтобы удалить поглощенный металлом воздух, который окисляет накаленный волосок; б) Прогрев токами Фуко. Этот способ сопряжен с применением токов большой частоты и имеет смысл только при больших размерах электродов.

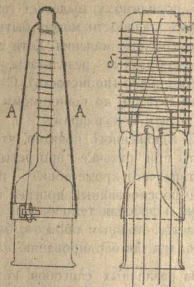
Я пользовался для прогрева электродов либо первым способом (не прибегая в опытных конструкциях и обработке электродов в водороде), либо вставлял в лампу второй временный волосок на большой ампераж, который и развивал внутри высокую температуру. Впоследствии я перешел просто к накаливанию сеточки пропусканием через нее тока, как это и сделано в лампочках ПР1.

Что касается рода и качества материала, то помимо влияния на большую или меньшую трудность обезгаживания здесь можно было ожидать вторичных явлений от фотоэффекта на электродах, практически не обнаруженных, а в отношении сеточки надо было еще иметь в виду контактную разность потенциалов между нею и волоском, вследствие которой действительный потенциал сеточки относительно волоска не совпадает с потенциалом, заданным ей по схеме.

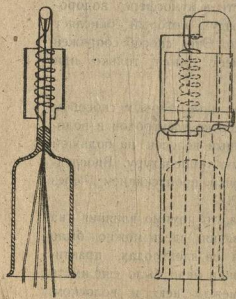
К статье М. А. Зонн-Борзевича:
Угнетительная лампочка Нижегородской Радиолaborатории.



Черт. 1.



Черт. 2.



Черт. 4.

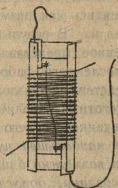


Черт. 3.

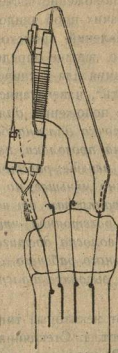


Черт. 5.

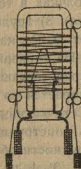
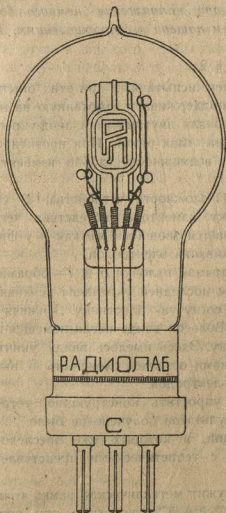
Из статьи М. А. Бонн-Борзевича:
Усилительная лампочка Нижегородской Радиолaborатории.



Черт. 6



Черт. 7.



Черт. 8.

Обследование этих вопросов шло параллельно с изучением влияния формы, размеров и взаимного расположения электродов лампы. Это последнее изучение вначале велось таким образом: пробовались различные конструкции, в которых изменялись как размеры и взаимное расположение частей, так и материал их. В результате большого числа таких проб явилось уже определенное представление о механизме явлений, происходящих в лампе, после чего работа приобрела характер вполне определенный. Это представление изложено в статье „Основания для технического расчета пустотных катодных реле малой мощности“, напечатанной в № 7 Радиотехника; из него вытекает следующее положение: для получения реле наибольшей чувствительности сеточка должна быть расположена возможно ближе к волоску; толщина проволоки, из которой она сделана, должна быть возможно меньше; расстояние между звеньями сеточки желательно возможно меньшее, но такое, при котором анод не был бы слишком экранирован от волоска; анод должен быть расположен на таком расстоянии, чтобы ток насыщения на него, при нормальном накалие волоска достигался бы при напряжении немного большем нормального рабочего, за вычетом потери в сопротивлениях. Тонкий волосок выгоднее толстого.

§ 2.

Вот некоторые типы лампочек, испытанных при этих опытах.

Черт. 1. Стеклоянная рамка поддерживает намотанную на нее сеточку. Волосок укреплен по диагонали внутри рамки, анод укреплен на стеклянных палочках, напаянных на углах рамки. При проектировании этой конструкции имелось в виду возможность удобно изменять расстояния и размеры электродов.

Обнаружились недостатки: 1) сложность устройства, 2) система представляет собою как бы ножку камертона, вследствие чего при легких толчках в телефоне получается звон (так же как и у французских ламп), 3) трудность обезгаживания электродов.

Черт. 2. Рамка состоит из прямой палочки *a* и Г-образной палочки *б*. На горизонтальной части последней укреплена верхняя часть анода, представляющего собою согнутую пластинку. Нижняя часть анода опирается на тело ножки. Волосок в виде петли помещен внутри рамки. Сеточка намотана на рамку. Здесь имелось в виду уничтожить зыбкость конструкции. Недостатками остались сложность в выполнении и трудности обезгаживания электродов.

Черт. 3, 4 и 5. Попытки упростить конструкцию; устройство видно из чертежей. Хороших результатов получено не было.

Черт. 6. Одна из конструкций, в которых уже преследовалась цель построить лампу согласно с теоретическими представлениями, о которых говорилось выше.

Здесь основой для сетки служит металлическая рамка толщиной в 0,2 мм, т. е. расстояние между сеткой и волоском при централь-

ном положении последнего равно всего 0,1 мм. Волосок удерживается на двух пластинках, вдвинутых в закраины рамки и изолированных слюдой. Анод укрепляется также на слюдяной изоляции сверху рамки. Вся система держится на стеклянной ножке.

В одной из моделей этого рода сеточка была намотана из вольфрамовой проволоки 0,012 мм. Шаг намотки был 0,04 мм.

Практически при таких предельных расстояниях не удалось изготовить ни одной лампы, в которой почти тот час же не наступало касание волоска с сеткой. Впоследствии против середины волоска устраивались слюдяные прокладочки, благодаря которым удавалось удержать волосок в требуемом положении. Откачка и обезгаживание были сильно затруднены присутствием слюды; для хорошей откачки требовалось, например до 10 часов. Эти лампы дали очень хорошие результаты в смысле усилительного действия, но для технического производства, вследствие крайней тонкости работы оказались совершенно непригодными.

Первоначально я увеличил толщину рамок, на которые наматывались сетки постепенно до 1 мм, а затем перешел к стеклянным рамкам, которые и остались в окончательном типе; толщину рамки пришлось увеличить до 2 мм отчасти из соображений механической прочности, отчасти для того, чтобы гарантировать волосок от касания с сеткой, в случае небольшого искривления.

В окончательном своем виде тип. ПР1 показан на черт. 8. Вольфрамовый волосок диам. 0,045 мм удерживается двумя никкелевыми держателями, заваренными в нижнюю часть стеклянной рамки, служащей основой для намотки сетки, которая сделана из никкелевой проволоки диам. 0,2 мм. Анод алюминиевый и укреплен на той же стеклянной рамке.

Обезгаживание электродов достигается накаливанием сеточки путем пропускания через нее тока. При этом стекло рамки совершенно размягчается, но удерживает свою форму благодаря аноду. Весь процесс откачки занимает только один час.

В механическом отношении она имеет существенное преимущество против французской лампочки благодаря тому, что все скреплено в тесную систему. Благодаря этому она может без порчи выдерживать значительные толчки. Усилительные ее свойства по видимому слегка выше французской, или во всяком случае эквивалентны ей. Она может применяться во всех приборах, где применялась французская лампа, при напряжениях в цепи анода не свыше 100-120 вольт. Нормальное напряжение для цепи анода 80 вольт; для волоска 4 вольта. Ток накала 0,5-0,55 ампера. Срок службы в нормальных условиях 400 час.

В настоящее время в Радиолaborатории поставлено временное производство этих лампочек (метод производства и специальные инструменты разработаны инженером Ф. И. Ступаком).

Н. Новгород, Радиолaborатория.

Май 1919 года.

Катодный прерыватель Тверской радиостанции.

М. А. Бонч-Бруевича. Ч. РОРИ.

Под этим названием летом 1917 года Тверской Радиостанцией по заказу военного ведомства было выпущено 100 приемных приборов для затухающих и незатухающих колебаний. Принцип, положенный в основание устройства этих приборов, был разработан мною еще в 1915 году, после чего на Тверской Радиостанции была устроена соответствующая приемная схема, испытанная далее практически в течение более года. Благодаря меньшей чувствительности к атмосферным паразитам и мешающему действию станций, работающих на близкой волне, чем это имеет место в обычных приемниках, эта схема позволила значительно улучшить прием, что и дало повод В. М. Лещинскому, бывшему тогда начальником Тверской Радиостанции, предложить военному ведомству разработку и постройку приборов такого рода для полевых радиостанций. Результатом этого сначала явилось испытание на Северном Фронте начерно сконструированной модели, а затем получение Тверской Радиостанцией заказа на 100 приборов. В. М. Лещинским была выполнена значительная доля конструктивной разработки и организовано самое производство.

Постройка приборов была закончена ко времени прекращения войны с Германией и значительная часть их была сдана в главный инженерный склад военного ведомства (в Н.-Новгороде), где, кажется, находится и в настоящее время.

По обстоятельствам военного времени описание этого прибора не появилось в нашей литературе, но самый принцип его был изложен мною в двух статьях в „Вестнике военной Радиотелеграфии и электротехники“¹⁾ за 1917 г. Однако ввиду того, что этот журнал в настоящее время стал почти библиографической редкостью, я считаю не лишним снова изложить основания этого метода тем более, что относящиеся сюда соображения могут представлять и совершенно самостоятельный интерес.

1.

При помощи катодных реле колебания могут быть детектированы двумя путями: 1) в цепи анода, когда вследствие кривизны (непрямо-

¹⁾ Эти статьи были озаглавлены: „О зависимости детекторной чувствительности катодных реле от амплитуды“ (ВВРиЭ, стр. 33 и 73).

линейности) характеристики, увеличение тока от положительного полупериода колебаний не равно уменьшению тока от отрицательного полупериода, и 2) в цепи сетки, когда вследствие поглощения сеткой отрицательных электронов, она получает меньшее изменение потенциала от положительного полупериода колебаний и большее от отрицательного. В этом случае характеристика тока в цепи анода может быть совершенно прямолинейна, т. к. эта цепь действует только в качестве усилителя для детектированного уже колебания.

Если до действия колебаний ток в цепи анода был I_0 , а под влиянием колебаний амплитуды V он увеличивался до значения I_1 и уменьшался до значения I_2 , то величина

$$D = I_1 + I_2 - 2I_0 \quad (1)$$

может характеризовать детекторное действие реле для данной амплитуды. Эту величину мы будем называть „детекторным эффектом“.

Отношение же

$$h = \frac{D}{V} = f(V), \quad (2)$$

где V —амплитуда, будем называть „детекторной чувствительностью“. Можно показать, что детекторная чувствительность в обоих упомянутых случаях уменьшается с уменьшением амплитуды, откуда следует, что реле реагирует непропорционально сильнее на колебания большей амплитуды. Черт. 1 (стр. 52) относится к первому случаю. До действия колебаний ток в цепи анода был I_0 ; колебания амплитуды V , то увеличат его до значения I_1 , то уменьшат до I_2 . Детекторный эффект будет:

$$D = I_1 - I_2 - (I_0 - I_2) = V (tg\beta - tg\Delta), \quad (3)$$

а детекторная чувствительность

$$h = \frac{D}{V} = tg\beta - tg\Delta;$$

т. к. с уменьшением амплитуды V разность между β и Δ уменьшается, то совершенно очевидно, что уменьшается и величина h .

Черт. 2 относится ко второму случаю. Здесь кривая $i = f(e)$ показывает зависимость тока в цепи сетки. Кривая цепи анода на чертеже не показана; она предполагается в пределах рабочего участка—прямолинейной.

Как известно, в этом случае применяется схема с сопротивлением в цепи сетки. Положим, что это сопротивление R_1 .

Пусть амплитуда, развиваемая принимаемыми колебаниями во всей цепи сетки, будет V ; тогда величина изменения потенциала сетки может быть найдена обычным путем графически, как это показано на черт. 2. Именно: отложив от начала координат в обе стороны по оси абсцисс величину V , проводим наклонные линии под углом α (при чем $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{R}$) до пересечения с кривой AB . Величины a и a_1 дадут изменение потенциала сетки, а отрезки $(V-a)$ и $(V-a_1)$ дадут падение напряжения в сопротивлении R , т. к. по построению

$$(V-a) = \frac{i_1}{\operatorname{tg} \alpha} = i_1 R,$$

$$(V-a_1) = \frac{i_2}{\operatorname{tg} \alpha} = i_2 R.$$

Детекторный эффект при прямолинейной характеристике цепи анода будет:

$$D = k(a - a_1),$$

где k — коэффициент, зависящий от крутизны характеристики цепи анода. Из черт. 2 имеем:

$$D = k(a - a_1) = kV \left[\frac{1}{\frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \alpha} + 1} - \frac{1}{\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + 1} \right]; \quad (5)$$

отсюда

$$h = \frac{D}{V} = k \left[\frac{1}{\frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} \alpha} + 1} - \frac{1}{\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha} + 1} \right].$$

Так как с уменьшением V разность между углами α и φ уменьшается, то очевидно уменьшается и величина h .

2.

Можно однако создать такие условия, что с увеличением амплитуды детекторная чувствительность будет уменьшаться. Положим, что кривая AOB является характеристикой цепи анода. Если сетке задать начальный потенциал точки a , то т. к. характеристика в районе этого потенциала параллельна оси X -ов, — реле будет нечувствительно к колебаниям, если амплитуда их меньше отрезка ak на черт. 3. Эти колебания будут существовать в цепи сетки, но они не изменят величины тока в цепи анода.

Наоборот, если начальный потенциал сетки соответствует точке b (черт. 3), то колебания передадутся в цепь анода, т. к. характеристика здесь наклонена к оси X -ов; они будут усилены, но не детектированы.

Если при помощи какогонибудь устройства независимо от принимаемых колебаний поочередно задавать сетке то потенциал точки a , то потенциал точки b , реле поочередно будет то чувствительно к колебаниям (b), то нечувствительно (a). В первом случае колебания пройдут в цепь телефона, а во втором они будут как бы прерванными.

Вследствие этого получится та же картина явлений, что и в известном колесе Гольдшмидта, где прерывания достигаются при помощи зубчатого колеса (черт. 4) с контактной щеточкой K ; с той только разницей, что здесь колебания подвергаются еще усилению.

Если мы допустим, например, что потенциал перебрасывается из точки a в точку b мгновенно с частотой равной частоте принимаемых колебаний и при том так, что одна половина (напр., положительная) пропускается в цепь анода (точка b), а другая (напр., отрицательная) оказывается прерванной (точка a), то картина явления в отношении принимаемых колебаний будет изображаться черт. 5, т. е. колебания будут выпрямлены; полупериоды одного знака будут усилены и переданы в цепь телефона, а полупериоды другого знака вовсе не будут существовать в цепи анода¹⁾.

Практически, конечно, невозможно осуществить такого рода синхронное прерывание, но этого и не требуется. Если между частотой перебрасывания потенциала сетки и частотой принимаемых колебаний будет некоторый асинхронизм, то явление примет вид, показанный на черт. 6. Здесь кривая № 1 изображает колебания, действующие на цепь сетки. Кривая № 2 показывает, что остается от кривой № 1 в результате действия „прерывателя“, и наконец кривая № 3 показывает действие, производимое этим путем на мембрану телефона, включенного в цепь анода.

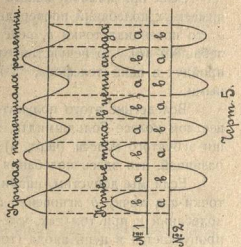
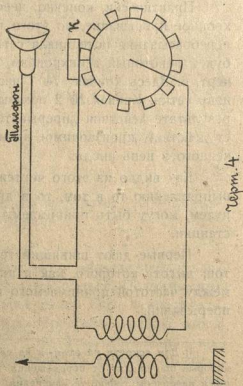
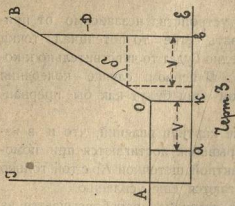
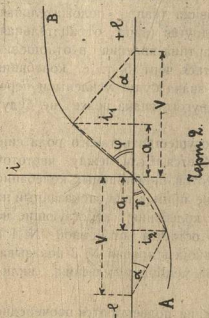
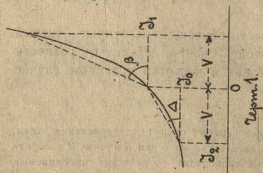
Как видно из этого чертежа, колебания подвергаются поочередно выпрямлению то в том, то в другом направлении; по этому, таким путем, могут быть принимаемы как затухающие, так и незатухающие станции.

Первые дают шипящий тон вместо звучащего, а вторые—чистый тон, высота которого, как и при методе биений, зависит от разности между частотой принимаемого колебания и частотой в данном случае прерываний.

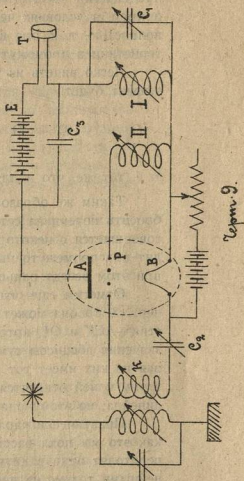
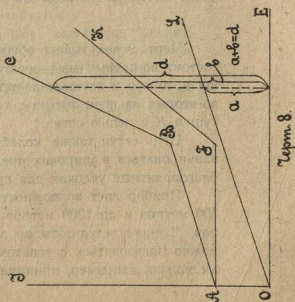
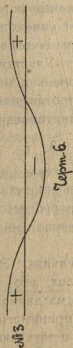
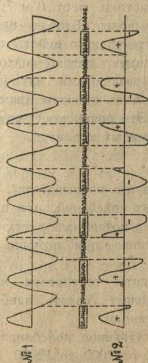
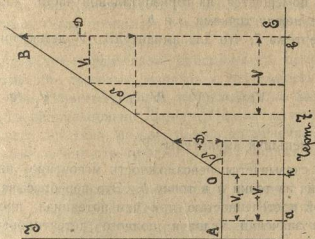
¹⁾ Для ясности на этом и на следующем чертеже опущены те изменения тока, которые происходят от перемещения потенциала сетки из точки a в точку b и обратно, и начерчены только те изменения, которые происходят от действия принимаемых колебаний.

Итак же М. А. Соколов-Соревура:

Катодный прерыватель Шверской радиолампы.



Катодный прерыватель Тиверской радиостанции.



Большая детекторная чувствительность к малым амплитудам при этом методе обуславливается тем, что приведенные выше предпосылки практически осуществляются тем полнее, чем меньше амплитуда. Например, в условиях черт. 7 амплитуда уже не будет детектирована полностью, т. к. она не помещается на горизонтальной части характеристики в промежутке между точками a и b .

Легко видеть из чертежа 7, что для амплитуды V детекторный эффект будет:

$$D_0 = -D + D_1 = -Vtg_2 + (V - V_1)tg_2 = -V_1tg_2,$$

т. е. тот же, что и для меньшей амплитуды V_1 .

Таким же образом сказывается невозможность мгновенно перебросить потенциал сетки из точки a в точку b . Это перебрасывание совершается с некоторой постепенностью, при чем потенциал проходит ряд промежуточных значений. Условия полного детектирования при этом всегда раньше наступают для малых амплитуд.

Отметим еще, что, если характеристика имеет вид линии ABC , черт. 8, то она может быть представлена, как сумма двух характеристик— AFK и OL , которые построены таким образом, что для любого значения абсциссы сумма их ординат дает ординату линии ABC . Первая из них имеет тот же вид, что характеристики черт. 3 и 7; по этому к ней относятся все сделанные ранее выводы. Вторая—прямолинейна; по этому она не создает никакого детекторного действия.

Практически характеристики никогда не имеют острых изломов, как это мы пока рассматривали. Участки с различными наклонами переходят один в другой постепенно и могут быть приняты прямолинейными только на небольших протяжениях. Это опять таки создает более выгодные условия для детектирования малых амплитуд.

3.

Черт. 9 показывает общую схему „катодного прерывателя“. Он состоит во-первых из генератора незатухающих колебаний, при помощи которого и осуществляется перебрасывание потенциала сетки, и во-вторых из цепи антенны, связанной индуктивно при помощи катушки K с цепью сетки.

Цепь сетки также колебательная. Элементы генератора могут варьироваться в широких пределах, что позволяет создать наиболее благоприятные условия для приема данной станции.

Прибор дает возможность принимать затухающие колебания от 300 метров и до 1200 метров и незатухающие от 1000 до 12000 метров. Лучшие результаты он дает при применении газовых реле, но можно пользоваться с успехом и пустотными. При некотором навыке им можно, например, принимать в Нижнем-Новгороде на сеть высо-

тою около 3 метров, устроенную в комнате, работу Берлина и Лиона, не применяя дальнейшего усиления.

При горизонтальном проводе длиной около 10 метров, расположенном на 1 метр над землею, в Твери можно было слушать полевые станции на расстоянии около 150 верст. В Твери же на рамку в 1 кв метр можно было принимать с этим прибором без всяких усилителей работу Ганновера—незатухающего.

Другим преимуществом описываемого прибора является сильное ослабление грозových разрядов и возможность легко изолировать ся от очень сильных станций, работающих на близкой волне. Например, в Твери при приеме Лиона и Науэна удастся изолироваться от мешающего действия Москвы только применением этого прибора.

В заключение отвечу здесь на два вопроса, которые мне неоднократно задавали.

Во-первых, какая разница между методом детектируемых биений и методом прерываний высокой частоты? Конечно никакой разницы по существу нет. Действия кристаллического детектора можно трактовать, как синхронное прерывание, если это только почему либо удобнее. Равным образом детектированные биения можно рассматривать либо как таковые, либо как асинхронное прерывание колебаний. Для целей анализа явлений и более отчетливого понимания их в данном случае представление о прерывателе мне кажется значительно более удобным.

Второй вопрос это—почему нельзя получить тех же результатов, действуя на реле—детектор при помощи генератора затухающих колебаний? Здесь целый ряд причин. Во-первых, при помощи генератора с реле той же конструкции, что и детектирующее реле, для того чтобы создать в цепи последнего достаточную амплитуду, надо взять связь между приборами настолько большей, что значительная часть колебательной энергии принимаемой станции перейдет в генератор незатухающих колебаний, где бесполезно потеряется.

Во-вторых, при схеме черт. 9 принимаемые колебания, усилившись в цепи анода, снова передаются в сеть, и это реактивное действие цепи анода, само по себе усиливает звуковой эффект.

В третьих, нет надобности применять два реле там, где одно дает лучший результат, и наконец, в четвертых, регулировка одного прибора проще, чем двух.

* Ноябрь 1919 года.

Нижний-Новгород. Радиолaborатория.

Вывод линейной формулы из ряда равноотстоящих наблюдений.

Л. Д. Исакова.

В большинстве технических измерений с переменными конденсаторами обычного типа принимается, что емкость конденсатора представляет собою линейную функцию отсчета по его шкале. Отсюда непосредственно следует, что и квадрат длины волны волномера, снабженного конденсатором такого типа, представляет собою также линейную функцию отсчета. Оба эти предположения достаточно соответствуют действительности в пределах обычной технической точности измерений с волномерами (1%), если только исключить из рассмотрения самое начало шкалы (примерно до 10°), где кривая емкости значительно отклоняется от прямой линии, так что так называемая „начальная емкость“ конденсатора, т. е. постоянный член линейной формулы не имеет ничего общего с действительной его емкостью при 0°. Лишь в конденсаторах типа Зейбта искусственными мерами (скашивание краев пластин) кривая емкости и при малых отсчетах более значительно приближается к прямой.

Во всяком случае, предположение о линейной зависимости представляет весьма большое удобство для технических измерений, и поэтому желательно во всех случаях результаты измерений сводить к линейной формуле. Когда мы имеем ряд наблюдений (в нескольких точках шкалы), то для вывода линейной формулы, строго говоря, необходимо обрабатывать наблюдения по методу наименьших квадратов. Однако, громоздкость вычислений по этому методу в данном случае далеко не соответствует достижимой по существу точности. Есть возможность значительно упростить выкладки, именно в том случае, когда наблюдения сделаны через равные промежутки значений аргумента, напр. через равное число градусов поверяемого волномера. Общий метод таких вычислений был дан несколько лет тому назад в журнале *Rhysikalische Zeitschrift* (не имея под руками журнала, не могу восстановить имя автора статьи и время, когда она была напечатана). Дадим здесь приложение этого метода к интересующему нас случаю.

Имеем некоторую величину y , значения которой должны, быть связаны с соответствующими значениями переменной x линейною формулой вида

$$y = Ax + B. \quad (1)$$

Выбираем ряд равноотстоящих значений x :

$$x_1, x_2 = x_1 + a, x_3 = x_1 + 2a, \dots, x_n = x_1 + (n-1)a \quad (2)$$

и наблюдаем соответствующие значения y : $y_1, y_2, \dots, y_n$. Эти значения, при отсутствии погрешностей наблюдений, должны были бы удовлетворять ряду уравнений:

$$y_1 = Ax_1 + B; y_2 = Ax_2 + B; \dots, y_n = Ax_n + B. \quad (3)$$

Требуется определить неизвестные A и B так, чтобы уравнения (3) удовлетворялись с наименьшей погрешностью. Напишем уравнения (3) в несколько более простой форме, имея в виду, что $y_k = Ax_k + B = A/x_1 + (k-1)a + B = Ax_1 + B + (k-1)aA = y_1 + (k-1)d$, если положить $aA = d$; получаем:

$$y_1 = y_1; y_2 = y_1 + d; y_3 = y_1 + 2d; \dots, y_n = y_1 + (n-1)d. \quad (4)$$

Из этих уравнений надо определить y_1 и d . По правилам способа наименьших квадратов поступаем так: умножаем каждое уравнение на коэффициент при y_1 (т. е. на 1) и результаты складываем; затем умножаем каждое уравнение на коэффициент при d и результаты также складываем. В результате получается

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n y_k &= ny_1 + d \sum_{k=1}^{n-1} k = ny_1 + \frac{n(n-1)}{2} d \\ \sum_{k=1}^{n-1} k y_{k+1} &= y_1 \sum_{k=1}^{n-1} k + d \sum_{k=1}^{n-1} k^2 = \frac{n(n-1)}{2} y_1 + \frac{n(n-1)(2n-1)}{6} d \end{aligned} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5) обычным способом, находим:

$$y_1 = \frac{6}{n(n+1)} \left[\frac{2n-1}{3} \sum y_k - \sum k y_{k+1} \right] \quad (6)$$

$$d = \frac{6}{n(n+1)} \left[\frac{2}{n-1} \sum k y_{k+1} - \sum y_k \right] \quad (7)$$

От полученных результатов не представляет уже никакого труда перейти к самим коэффициентам линейной формулы:

$$A = \frac{d}{a}; \quad (8)$$

$$B = y_1 - Ax_1 = y_1 - d \frac{x_1}{a}. \quad (9)$$

Практически вычисления просто и удобно располагать следующим образом:

I	II	III	IV
x_1	y_1	0	0
x_2	y_2	1	y_2
x_3	y_3	2	$2y_3$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
x_n	y_n	$n-1$	$(n-1)y_n$
	$-\sum y$		$-\sum ky$
	$\frac{2}{n-1} \sum ky$		$\frac{2n-1}{3} \sum y$

В первом столбце пишем значения x , во втором соответствующие наблюдаемые значения y . Затем в третьем столбце пишем ряд чисел, 0, 1, 2, ..., $n-1$. Перемножаем соответствующие друг другу числа второго и третьего столбца и результаты пишем в четвертом столбце. Суммируем числа второго столбца и числа четвертого столбца. Итог второго столбца умножаем на $\frac{2n-1}{3}$ и подписываем под итогом четвертого столбца; итог четвертого столбца умножаем на $\frac{2}{n-1}$ и подписываем под итогом второго столбца. В обоих столбцах вычитаем меньшее число из большего и умножим разности на $\frac{6}{n(n+1)}$. Первое частное дает d , второе u .

Следует указать еще, что при сравнении двух волномеров пользование этим способом избавляет от необходимости переводить в длины волн непосредственные данные наблюдения, а позволяет сразу из формулы для нормального волномера получить формулу для проверяемого. В самом деле, если формулы для обоих волномеров будут

$$\lambda^2 = A_n \alpha_n + B_n$$

$$\lambda^2 = A_K \alpha_K + B_K,$$

и если сравнение волномеров дает между α_n и α_K связь

$$\alpha_K = k\alpha_n + l,$$

причем коэффициенты k и l определяются по вышеизложенному способу, то легко видеть, что A_k и B_k выразятся так:

$$A_k = \frac{A_n}{k}; \quad B_k = (B_n - A_n \frac{l}{k}).$$

Пример. Сравнение двух волномеров через каждые 10° в пределах от 10° до 170° . В данном случае $n=17$, $a=10$, $x_1=10$. Под-

x	y	k	ky	y выч.	Δ	$\Delta^0/\%$	$(\Delta^0/\%)^2$
10	[8]	0	0	[9.3]	[-1.3]		
20	18.5	1	18.5	17.9	+0.6	+3.2	10.2
30	26.5	2	53	26.4	+0.1	+0.4	0.2
40	36	3	108	35.0	+1.0	+2.8	7.8
50	44	4	176	43.5	+0.5	+1.1	1.2
60	52.5	5	262.5	51.0	+1.5	+2.9	8.4
70	61	6	366	60.6	+0.4	+0.7	0.5
80	69	7	483	69.2	-0.2	-0.3	0.1
90	77.5	8	620	76.7	+0.8	+1.0	1.0
100	85	9	765	86.2	-1.2	-1.4	2.0
110	94	10	940	94.8	-0.8	-0.9	0.8
120	102.5	11	1127.5	103.3	-0.8	-0.8	0.6
130	111.5	12	1338	111.8	-0.3	-0.3	0.1
140	120	13	1560	120.4	-0.4	-0.3	0.1
150	127	14	1778	129	-2.0	-1.6	2.6
160	137	15	2055	137.5	-0.5	-0.4	0.2
170	149	16	2384	146	+3.0	+2.0	4.0

$$\begin{array}{rcl} \sum y = 1319.0 & 14034.5 = \sum ky & \sum \Delta^2 = 39.8 \\ 1/8 \sum ky = 1754.3 & 14509.0 = 11 \sum y & \frac{\sum \Delta^2}{15} = 2.65 \\ \hline 435.3 \overline{51} & 474.5 \overline{51} & \\ 8.55 & 9.30 & \\ A = 0.855 & B = 0.75 & 0.674 \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{15}} = 1.1\% \end{array}$$

$$y = 0.855x + 0.75 = 0.855(x + 0.9)$$

ставляя эти числа в общие формулы, находим:

$$y_1 = \frac{1}{51} [11 \sum y_k - \sum k y_k + 1],$$

$$d = \frac{1}{51} \left[\frac{1}{8} \sum k y_k + 1 - \sum y_k \right],$$

Далее, $A = \frac{d}{10}$; $B = y_1 - d$. Вычисления располагаются показанным выше образом¹⁾ (стр. 59).

Имея для нормального волномера уравнение $\lambda^2 = 10^4 (133\alpha + 430) =$
 $= 1,33 \cdot 10^6 (\alpha + 3,2)$, получаем для поверяемого $\lambda^2 = 1,55 \cdot 10^6 (\alpha + 2)$.

В таблице вычислены еще остаточные уклонения от линейной формулы (обусловленные частью ошибками наблюдений, частью погрешностями конденсатора) и выведена из них вероятная ошибка окончательного результата (отброшено лишь при вычислении первое число, на которое, повидимому, слишком тяжело легли погрешности конденсатора в начале его шкалы). Значение этой ошибки вполне отвечает тому результату, который был выведен для точности волномеров.

Н.-Новгород.

10/X 1010.

Радиолaborатория.

¹⁾ Измерения выполнены лаборантом радиолaborатории Н. И. Полтевым.

Практические формулы для расчета однослойных катушек самоиндукции.

Л. Д. Исакова.

Несмотря на то, что задача вычисления самоиндукции по размерам может считаться математически разрешенной до последних деталей и при том с точностью, удовлетворяющей самым строгим требованиям измерительной техники (так, напр., результаты этих вычислений положены в основу одного из новейших методов для абсолютного определения ома), однако, приемы этих вычислений до сих пор мало нашли себе применения в обиходе радиотелеграфных лабораторий, в которых, между тем, приходится иметь дело с самоиндукциями больше чем где либо. Несомненно, что одною из главных причин такого отношения является сложность большинства формул для вычисления самоиндукций, соответственно назначению этих формул служить для точнейшего вычисления, а не для технического расчета. Делавшиеся несколько раз в специальной литературе попытки популяризировать вопрос о расчете самоиндукций, повидимому, также не встретили надлежащего отклика.

В виду этого кажется уместным, особенно на страницах *„Тел. и Тел. без пров.“* еще раз вернуться к этому вопросу, на первый случай и приложении к наиболее употребительному в технике виду катушек — к однослойным цилиндрическим катушкам или соленоидам, для которых основные вычисления самоиндукции могут быть представлены в весьма простой форме.

Коэффициент самоиндукции, по самому смыслу его, численно измеряется суммой магнитных потоков, охватываемых всеми отдельными витками катушки, при силе тока равной 1. Наиболее простые условия для вычисления мы имеем в случае бесконечно-длинного соленоида; здесь магнитные потоки, охватываемые всеми отдельными витками, одинаковы, т. к. ни один виток по положению не отличается от другого, и равны (при токе = 1) $4\pi n_1 \cdot S$ (n_1 — число витков на 1 см, S — площадь контура, охваченного витком). Чтобы найти коэффициент самоиндукции части такого соленоида, имеющей длину l , надо помножить величину всего магнитного потока на полное число витков этой части, т. е. на $n_1 l$; получаем $L = 4\pi n_1^2 S l$ (в сантиметрах).

В частности, для цилиндрического соленоида, радиус которого равен a , $L = 4\pi^2 n^2 a^2 l$. Эти формулы строго выражают самоиндукцию части бесконечно длинного соленоида, пока неравномерность магнитного потока по длине его мало сказывается, т. е. пока длина соленоида велика по сравнению с его диаметром. Марсель Депре, который, повидимому, впервые ввел в технику только что указанную формулу для самоиндукции длинного цилиндрического соленоида, указал впоследствии, что эта формула может быть представлена в еще более простом виде. В самом деле $2\pi a \cdot n \cdot l = A$ есть полная длина проволоки в катушке; отсюда

$$L = \frac{4\pi^2 n^2 a^2 l^2}{l} = \frac{A^2}{l};$$

т. е. самоиндукция длинного соленоида численно равна квадрату длины проволоки в соленоиде, деленному на длину соленоида (все величины в сантиметрах). В таком виде формула весьма удобна для запоминания и для расчетов.

Приравнивая самоиндукцию длинного соленоида самоиндукции средней части бесконечно-длинного соленоида, мы делаем некоторую ошибку, т. к. в расчете магнитного потока учитываем и влияние уходящих в бесконечность частей воображаемого соленоида, которые в реальном соленоиде не существуют. В силу этого действительный магнитный поток, а следовательно, и действительный коэффициент самоиндукции должен оказаться меньше вычисленного по упрощенной формуле. Применяя способ выражения, принятый в теории магнетизма, можно представить себе это уменьшение магнитного потока таким образом, что на магнитный поток $2\pi n_1 S l$ налагается размагничивающее влияние концов соленоида. Таким образом истинная формула для коэффициента самоиндукции должна иметь вид $L = 2\pi^2 n^2 a^2 l K$, где $K < 1$ есть множитель, выражающий размагничивающее действие концов. Японский физик Нагаока первый указал на это обстоятельство и вычислил таблицы значений:

$$K = f\left(\frac{l}{2a}\right).$$

Нетрудно показать, что все существующие точные формулы для вычисления самоиндукции, дающие вполне тождественные результаты, могут быть приведены к этому виду. Сокращенная таблица значений K , проверенная по оригинальным формулам, приводится ниже.

Пользуясь постоянно в своей практике этим способом вычисления самоиндукций, я заметил, что формула для самоиндукции соленоида может быть представлена еще в одном виде, который во многих

случаях представляет известные преимущества, именно в виде:

$$4\pi^2 a^2 n_1^2 (l - \alpha \cdot 2a)$$

т. е., для вычисления самоиндукции соленоида, надо в простейшей формуле брать не полную длину его l , а уменьшать эту длину на некоторую долю диаметра катушки. Значения α также приведены ниже. Для катушек, длина которых по крайней мере в два раза больше диаметра, можно принять $\alpha = 0.4$, при чем погрешность в определении самоиндукции будет не выше 2%. При длине же в 20 раз больше диаметра простейшая формула Дебре, без всяких поправок, уже дает погрешность менее 2%.

При расчете катушек по вышеприведенным формулам обычно диаметр проволоки и плотность ее намотки, а след. и n_1 задаются другими соображениями. Далее удобнее всего задаться определенными пропорциями катушки, т. е. $l/2a$, и отсюда найти K ; тогда a , а след. и l , найдется из формулы для самоиндукции, которую можно переписать в виде:

$$L = 8\pi^2 n_1^2 a^3 \cdot \frac{l}{2a} \cdot K,$$

откуда

$$a^3 = \frac{L}{8\pi^2 n_1^2 \cdot (l/2a) \cdot K}.$$

Если найденное число a окажется по тем или иным соображениям не подходящим, то следует, как и во всех технических расчетах, несколько изменить в надлежащем смысле исходные задания и просчитать все снова, пока не получится удовлетворительный результат.

Множитель вычислен, строго говоря, лишь для цилиндрических катушек, однако, по крайней мере в приближительных расчетах, по видимому, можно пользоваться им же, для подсчета катушек, намотанных на квадратные остовы, исходя из формулы $L = 4\pi n_1^2 S \cdot l$ и беря вместо $2a$ в величине K сторону квадрата.

Те же формулы пригодны и для подсчета плоских спиралей, если только принять за a *средний* радиус спирали, а за l —радиальную ширину намотки.

В дальнейшем мы надеемся дать простые формулы или таблицы и для других типов катушек, употребительных в радиотехнике.

Т а б л и ц а.

$l/2a$	K	α	$l/2a$	K	α
50	0.99	0.42	1	0.69	0.31
20	0.98	0.42	0.9	0.66	0.30
10	0.96	0.41	0.8	0.64	0.29
9	0.95	0.41	0.7	0.61	0.28
8	0.95	0.41	0.6	0.57	0.26
7	0.94	0.41	0.5	0.53	0.23
6	0.93	0.40	0.4	0.47	0.21
5	0.92	0.40	0.3	0.41	0.18
4	0.90	0.39	0.2	0.32	0.136
3	0.87	0.38	0.1	0.20	0.080
2	0.82	0.36			

Целесообразно составить на основании этой таблицы график значений K , из которого можно интерполировать величины K для всяких отношений $\frac{l}{2a}$.

Нижний-Новгород. Радиолaborатория.

17/X 1919 г.

Искровой метод получения незатухающих колебаний высокой частоты.

Г. Р. Попова.

В виду того, что опыты получения токов высокой частоты по описываемому здесь методу находятся лишь в начальной стадии своего развития, настоящая статья имеет свою целью лишь указать сущность метода, не вдаваясь в детальную теоретическую оценку происходящих при этом явлений.

Схема устройства, употреблявшаяся при опытах (опыты производились в Радиолaborатории Наркомпочтеля), показана на черт. 1 (стр. 68). В схему входят следующие элементы: a_1, a_2 — борны машины постоянного тока на 350 вольт, D_1, D_2 — дроссельные катушки, R — балластное сопротивление, E_1 — нормальный разрядник Вина на два искровых промежутка, C_1 и L_1 — емкость и самоиндукция разрядного контура, C_2 и L_2 — емкость и самоиндукция первичного колебательного контура, L_3 — катушка связи с антенной, b_1, b_2 — борны генератора на 20.000 периодов (системы инж. Вологодина), k — телеграфный ключ, T — трансформатор высокого напряжения, C_3 — конденсатор, E_2 — нормальный разрядник Вина на четыре искровых промежутка.

Действие схемы представляется в следующем виде. Пока ключ k не нажат, конденсаторы C_1 и C_2 находятся в заряженном состоянии до потенциала, даваемого машиной постоянного тока (350 вольт), т. е. указанного напряжения недостаточно для появления искры в разряднике E_1 . Как только мы нажимаем ключ k , потенциал на полюсах конденсатора C_3 возрастает до тех пор, пока не появится искра в разряднике E_2 (цепь замыкают емкости C_1 и C_2 , которые во много раз больше емкости C_3). В момент появления искры в разряднике E_2 разность потенциалов, бывшая на полюсах разрядника E_2 , перебрасывается почти полностью на полюса разрядника E_1 (т. е. в разрядном контуре конденсатора C_3 имеется лишь самоиндукция L_1 ; емкость же C_1 , в виду ее сравнительно большой величины, является почти равносильной полному замыканию). Указанной разности потенциалов оказывается достаточно, чтобы искра зажглась также и в разряднике E_1 . Дальше с одной стороны происходит колебательный разряд емкости C_3 непосредственно чрез разрядники E_1 и E_2 . С другой стороны имею-

щаяся теперь в разряднике E_1 искра дает начало разряду емкости C_1 чрез тот же разрядник E_1 .

Так как зажигающая искра имеется в разряднике E_1 лишь в начальный момент разряда емкости C_1 , то искра разрядного тока (низкого напряжения) может продолжаться лишь до того момента, когда этот ток достигнет нуля, перезарядив конденсатор C_1 и частью разрядив конденсатор C_2 . Как только этот ток достигает нуля, искра тухнет и разряд в обратном направлении не продолжается, в виду недостаточности собственного напряжения для вторичного пробивания промежутков разрядника. Разряд емкости C_1 происходит каждые полпериода зажигающего тока и каждый раз производит ударное действие на колебательный контур C_1, C_2, L_2 . Будучи настроен на удвоенную частоту переменного тока или на высшую кратную частоту, означенный контур дает незатухающие колебания соответствующей частоты и может питать антенну через катушку связи L_3 .

Н.-Новгород. Радиолaborатория.

4. XI. 1919.

Двигатель для машин большой частоты.

Валентина Вологодина.

Доложено на 14-ой научно-технической беседе Нижегород. Радиолaborатории,
21 ноября 1919.

В работе радиостанции незатухающих колебаний, получаемых от машины большой частоты, играет значительную роль двигатель, вращающий незатухающий генератор, ввиду особенностей работы, представляемых генератором.

Еще на совещании специалистов, созванном Компчтелем в прошлом году, в качестве недостатка станции с машиной большой частоты, одним из сторонников дугового генератора было указано на трудности, связанные с осуществлением достаточно хорошо работающего двигателя, вращающего машину большой частоты. В чем однако заключаются эти трудности, и какие задачи ставятся машиной большой частоты перед двигателем, остается невыясненным. Освещение этого вопроса и составляет содержание настоящей статьи.

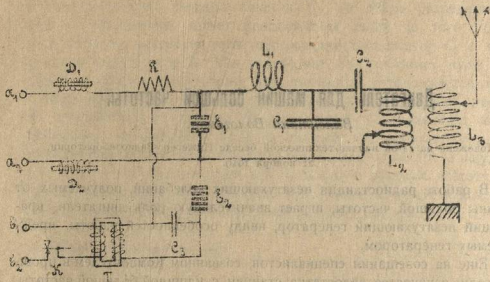
Основным требованием, предъявляемым к двигателю для незатухающего генератора, является постоянство скорости и независимость ее от нагрузки. Необходимость этих требований лежит с одной стороны в способе приема незатухающих колебаний помощью биений, а с другой стороны, и это является еще более важным, в работе генератора в резонанс при весьма большой остроте его. Надо отметить также, что при работе генератор все время переходит от холостого хода к полной нагрузке.

Рассмотрим сперва, как влияет работа двигателя на прием методом биений: здесь воспринимаемый ухом тон является результатом наложения на колебания, полученные от отправительной станции, колебаний гетеродина. Частота воспринимаемого телефоном тона равна разности частот машины отправительной станции и гетеродина

$$f_t = f_m - f_h.$$

Конечно, при этом уже небольшое изменение частоты машины на отправительной станции дает весьма большие относительные изменения в тоне телефона, воспринимаемом ухом. Обозначим изменение частоты машины отправительной станции через Δf_m ; принимая частоту гетеродина постоянной, что практически имеет место, мы полу-

Из статьи В. В. Волкова: Искровой метод получения непрерывных колебаний высокой частоты.



Из статьи В. В. Волкова:

Двигатель для машин большой частоты.

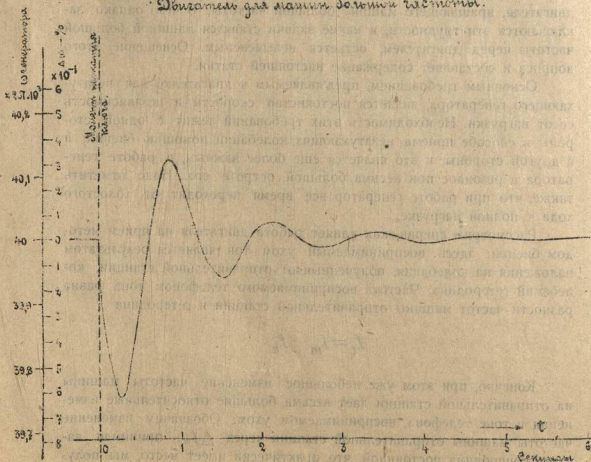
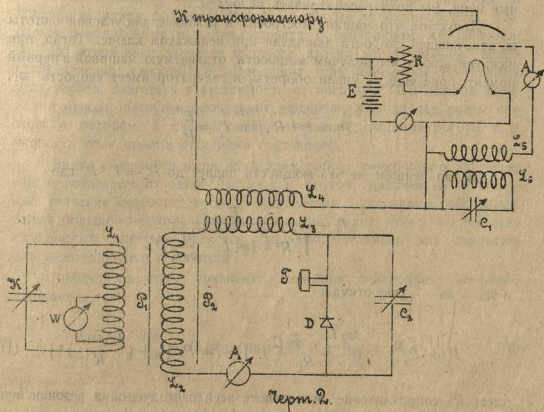
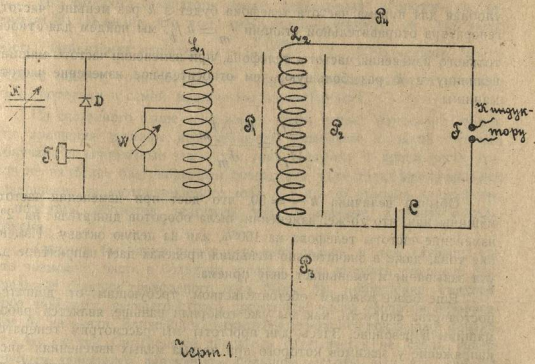


Рис. 1

Кеманье Н.А. Глухункина.



чим изменение частоты телефона $\Delta f_t = \Delta f_m$; полагая, что наиболее удобная для приема частота телефона будет в k раз меньше частоты генератора отправительной станции $f_m = k f_t$, мы найдем для относительного изменения частоты телефона, при изменении частоты машины величину в k раз большую, чем относительное изменение частоты машины

$$\frac{\Delta f_t}{f_t} = \frac{k \cdot \Delta f_m}{f_m}$$

Обычно величина $k \approx 50$, что дает при изменении частоты машины или, что то же, изменении числа оборотов двигателя на 2%, изменение частоты телефона на 100%, или на целую октаву. Изменение тона, даже в значительно меньших пределах дает неприятное для уха завывание и уменьшает силу приема.

Еще более важным обстоятельством, требующим от двигателя постоянства скорости, как мы уже говорили раньше, является работа машины в резонанс. Здесь, для простоты мы рассмотрим генератор, напряжение у зажимов которого при весьма малых изменениях числа оборотов двигателя, с которыми мы имеем дело, можно считать постоянным. Генераторы, имеющие в своей схеме еще другие резонансные цепи, мы пока рассматривать не будем.

Допустим, что машина построена в резонанс для угловой частоты ω , отвечающей скорости двигателя при ненажатом ключе. Тогда, при нажатии ключа мы получим мощность, отдаваемую машиной в первый момент, пока еще не упали обороты, и генератор имеет скорость ω_1 ,

$$P_1 = I_1^2 R, \text{ где } I_1 = \frac{E}{R}.$$

В дальнейшем же эта мощность падает до $P_2 = I_2^2 R$, где

$$I_2 = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C})^2}}$$

и $\omega_2 = \omega_1 - \Delta \omega_1$; откуда:

$$P_1 = P_2 [1 + (\frac{\omega_2 L - \frac{1}{\omega_2 C}}{R})^2] \approx P_2 [1 + (\frac{2 \Delta \omega_1 L}{R})^2]; \quad (1)$$

здесь R — сопротивление, отвечающее всей расходуемой в резонансной

цепи энергии; E —эдс машины; L_1 —общая самоиндукция всей цепи; ω_1 —угл. скорость генератора после уменьшения оборотов от нагрузки. Из (1) видно, что при уменьшении скорости на $\Delta\omega_1$ мощность, развиваемая машиной на $\sim \left(\frac{2\Delta\omega_1 L_1}{R}\right)^2 \cdot 100\%$ меньше, чем в первый момент, пока обороты не упали, и машина работает в резонанс (потерями в самой машине мы пренебрегаем).

Из сказанного выше ясно, какую роль играет изменение скорости вращения машины незатухающих колебаний: с одной стороны получаются неприятные завывания тона телефона и прием части знаков не наиболее благоприятным тоном, или даже получение временами совершенно не воспринимаемого тона, а с другой стороны уменьшение с падением оборотов двигателя тока в антенне, а значит и силы приема.

Казалось бы радикальным решением задачи, в тех случаях, где это возможно, напр. в больших городах, где имеются мощные центральные станции трехфазного тока, было бы применение синхронного двигателя, дающего строго постоянное число оборотов, независимое от нагрузки. Ближайшее рассмотрение вопроса показывает однако, что это не так. Синхронный двигатель оказывается не столь совершенным двигателем для машины большой частоты, как это кажется с первого взгляда. Причина этого заключается в том, что для радиотелеграфной работы машины большой частоты имеют значение не средние величины скорости, хотя бы и взятые за часть оборота двигателя, а мгновенные значения скорости. В синхронном же двигателе как раз мгновенные значения скорости далеко не постоянны, вследствие явления „качаний“, происходящих изза изменений внутреннего угла работы двигателя в зависимости от нагрузки. При каждом изменении режима нагрузки происходит изменение угла между полем статора и ротором, а следовательно изменение скорости ротора, т. к. скорость поля принимается нами постоянной.

Ввиду сказанного выше исследуем работу синхронного двигателя при переходе его от одной нагрузки к другой; полученные мгновенные значения скоростей после сопоставления с условиями работы машины большой частоты, указанными выше, дадут ответ, по сколько синхронный двигатель является удовлетворительным, как двигатель для незатухающего генератора.

Дифференциальное уравнение движения синхронного двигателя напишется так¹⁾:

$$\frac{I}{p} \frac{d\omega}{dt} + D(\omega - \omega_m) + S(\theta - \theta_m) = M, \quad (2)$$

1) См. Arnold. IV Bd. S. 350.

где I — момент инерции роторов двигателя и генератора; p — число пар полюсов двигателя; ω — угловая скорость двигателя; $D(\omega - \omega_m)$ — момент, создаваемый успокоителями; $S(\theta - \theta_m)$ — синхронизирующий момент; M — момент, создаваемый генератором при нажатии ключа, равный

$$k \cdot \frac{P_1}{\omega} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \Delta \omega_1 L}{R} \right)^2}$$

Дифференцируя ур. (2), напомним его так:

$$\frac{I}{p} \frac{d^2(\omega - \omega_m)}{dt^2} + D \frac{d(\omega - \omega_m)}{dt} + S(\omega - \omega_m) = 0, \quad (3)$$

причем правую часть ур. (2) мы принимаем для простоты постоянной ввиду того, что изменение частоты $\Delta \omega_1$ мало. Уравнение (3), как уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами, будет иметь решение:

$$\omega - \omega_m = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t}, \quad (4)$$

где

$$k_1 = \frac{-D + \sqrt{D^2 - 4SI}}{2I}, \quad k_2 = \frac{-D - \sqrt{D^2 - 4SI}}{2I}$$

и $\frac{I}{p}$ обозначено через I^1 .

Постоянные C_1 и C_2 определяются из начальных значений:

$$\text{для } t=0 \quad \omega - \omega_m = 0 = C_1 + C_2$$

$$\text{и} \quad \frac{d(\omega - \omega_m)}{dt} = \frac{M}{I^1} = k_1 C_1 + k_2 C_2,$$

откуда

$$C_1 = \frac{M}{I^1}, \quad C_2 = -\frac{M}{I^1}$$

и выражение (4) примет вид:

$$\omega - \omega_m = \frac{M}{I^1(k_1 - k_2)} (e^{k_1 t} - e^{k_2 t}); \quad (5)$$

или, подставляя значение

$$k_1 - k_2 = \frac{\sqrt{D^2 - 4PS}}{P},$$

$$\omega - \omega_m = \frac{M}{\sqrt{D^2 - 4PS}} (e^{k_1 t} - e^{k_2 t}). \quad (6)$$

Если синхронная скорость вращения ротора двигателя будет ω_m , то $\omega - \omega_m = \Delta\omega$ и будет изменением этой скорости, вызванным изменением угла работы двигателя после нажатия ключа; и таким образом выражение (6) и даст нам возможность представить картину изменения скорости ротора двигателя, а следовательно с одной стороны выяснить, как будет изменяться после нажатия ключа тон, воспринимаемый телефоном, а с другой стороны, как будет изменяться посылаемая в антенну мощность, а следовательно и сила приема, от момента нажатия ключа до наступления установившегося режима.

Рассматривая выражение (6), можно видеть, что при

$$D^2 > 4PS$$

значение $\Delta\omega$ будет вещественно. Наибольшая его величина будет при

$$t = \frac{1}{k_1 - k_2} \cdot \lg \frac{k_2}{k_1}.$$

Однако этот случай не представляет для нас большого интереса, т. к. практически трудно осуществить конструкцию двигателя, для которой постоянная успокоения была бы столь значительна, чтобы было удовлетворено условие $D^2 > 4PS$. Обычно мы имеем значительно меньшую постоянную, при значительных моментах инерции, являющихся следствием применения весьма больших окружных скоростей, неизбежных для машины большой частоты. Следовательно имеется условие $D^2 < 4PS$, и выражение для $\Delta\omega$ из ур. (6) будет иметь мнимые величины; преобразовывая его подстановкой Эйлера, получим значение скорости $\Delta\omega$ в вещественной форме:

$$\Delta\omega = \omega - \omega_m = \frac{-2M}{\sqrt{4PS - D^2}} \cdot e^{-\frac{D}{2P}t} \cdot \sin\left(\frac{\sqrt{4PS - D^2}}{2P} \cdot t\right). \quad (7)$$

Рассматривая выр. (7) видим, что скорость двигателя будет колебаться после нажатия ключа около синхронной, при этом колебания будут постепенно затухать. После некоторого времени скорость

двигателя примет практически постоянную величину, равную синхронной.

Изменения тона телефона мы найдем, подставляя $\Delta \omega$ из (7) в выражение:

$$\Delta f_t = k^{11} \cdot \Delta \omega,$$

где $k^{11} = \frac{\omega_1}{\omega}$ отношение частоты генератора к частоте тока, питающего двигатель. Тон телефона будет изменяться с той же частотой, как изменяется и скорость генератора.

Что касается изменения мощности, развиваемой машиной, то из ур. (1) найдем:

$$P_2 = P_1 \cdot \frac{I}{1 + \left(\frac{2 \Delta \omega_1 L}{R} \right)^2}, \text{ где } \Delta \omega_1 = k^{11} \Delta \omega. \quad (8)$$

Подставляя значение $\Delta \omega$ из ур. (7), получим изменения мощности после нажатия ключа.

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 \cdot \frac{I}{1 + \left(\frac{2 k^{11} L A e}{R^2} \frac{-D}{2f} \cdot t \right)^2 \sin^2 Bt} = \\ &= P_1 \cdot \frac{I}{1 + \frac{(k^{11} L A e)^2 \cdot 2(1 - \cos 2Bt)}{R^2} \cdot \frac{-D}{2f} \cdot t}, \end{aligned} \quad (8')$$

откуда видно, что изменения мощности будут двойной частоты по сравнению с частотой качаний двигателя.

Мощность сперва быстро упадет затем через время

$$t = \frac{\pi \cdot 2f}{\sqrt{4f^2 S - D^2}}$$

достигнет прежнего значения, затем опять упадет, но не столь сильно и т. д., пока не наступит успокоение качаний двигателя. Более точные значения для изменений мощности и тона мы найдем, приняв во внимание

мание, что M также зависит от скорости, для чего найдем его 2-е приближение, подставляя в его выражение вместо ω и $\Delta \omega$ значения, найденные из ур. (7) и (8).

Прежде, чем делать окончательные заключения о характере работы и пригодности синхронного двигателя для вращения машины большой частоты, рассмотрим работу асинхронного двигателя. Под категорию асинхронного двигателя подойдет и шунтовой двигатель постоянного тока по своей характеристике, ничем не отличающейся от асинхронного. Здесь также падение оборотов или скольжение пропорционально $\sim I R$, где R сопротивление ротора.

Асинхронный двигатель для нас является частным случаем синхронного, именно, когда $S = 0$, и мы можем написать аналогично ур. (2):

$$\frac{I}{p} \cdot \frac{d(\omega_m - \omega)}{dt} + D \cdot (\omega_m - \omega) = M. \quad (9)$$

Решение этого уравнения будет частным случаем выражения (6)

$$\Delta \omega = \omega_m - \omega = \frac{M}{D} \cdot \left(1 - e^{-\frac{D}{p} t} \right) \quad (10)$$

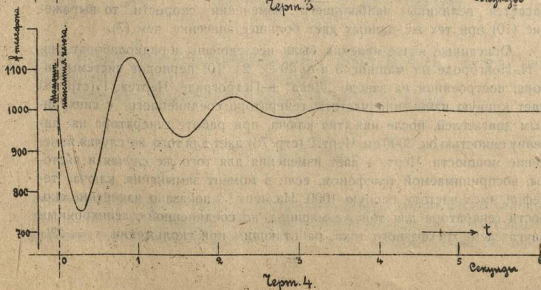
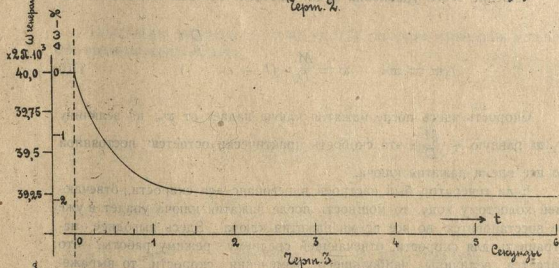
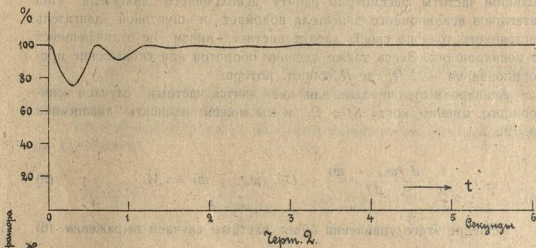
Скорость здесь после нажатия ключа падает от ω_m на величину $\Delta \omega$ равную $\sim \frac{M}{D}$; эта скорость практически остается постоянной во все время нажатия ключа.

Если генератор был настроен в резонанс для скорости, отвечающей холостому ходу, то мощность после нажатия ключа упадет и уже не восстановится во все время нажатия ключа. Здесь выгоднее настраивать для скорости, отвечающей среднему режиму работы. Что касается величины наибольшего изменения скорости, то выражение (10) при тех же данных дает большее значение, чем (7).

Описанные выше явления были исследованы в радиолaborатории в Н.-Новгороде на машине 3 к-в., $20 \times 2 \cdot 10^3$ периодов системы автора, построенной на заводе „Дека“ в Петрограде. Чертеж 1 (стр. 68) дает кривую изменения частоты генератора соединенного с синхронным двигателем, после нажатия ключа, при работе генератора на антенную емкость ок. 3000 см. Черт. 2 (стр. 76) дает для того же случая изменение мощности. Черт. 4 дает изменения для того же случая и частоты, воспринимаемой телефоном, если в момент замыкания ключа телефон имел частоту равную 1000. На черт. 3 показано изменение скорости генератора для той же машины, но соединенной с асинхронным двигателем трехфазного тока, работающим при скольжении $s = 2\%$.

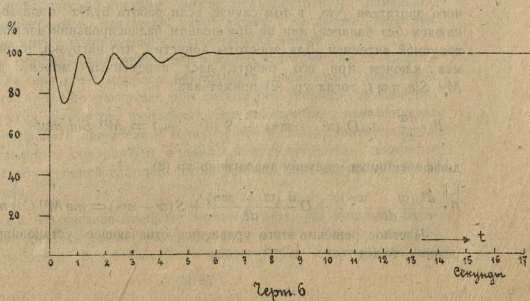
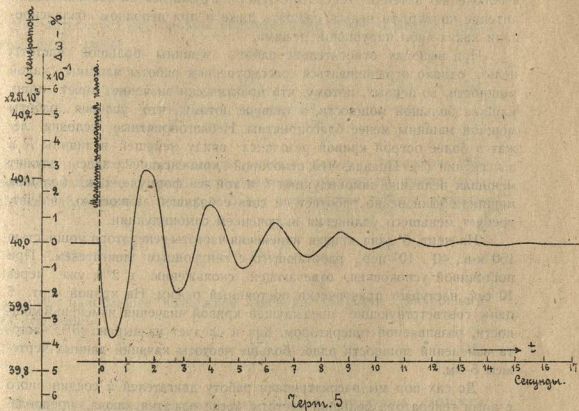
Итак же В. А. Овощина:

Двигатель для машин большой частоты.



В статье В.И. Вологодина:

Двигатели для машин большой габаритности.



Как видно из диаграмм, восстановление постоянного режима наступает уже после $\sim 1,5$ сек., и если в дальнейшем работа будет производиться с применением баланса, т. е. в моменты отвечающие выключению антенны, генератор будет нагружаться на эквивалентный антенне контур, то нельзя ожидать даже и при неполном балансировании каких-либо нарушений режима.

При выводах относительно работы машины большой частоты нельзя однако ограничиваться рассмотрением работы машины малой мощности, во-первых, потому, что практически значение имеет лишь машина большой мощности, и главное потому, что условия работы мощной машины менее благоприятны. Неблагоприятные условия лежат в более острой кривой резонанса ввиду меньшей величины R в выражении (1). Правда, что некоторой компенсацией здесь служит меньшая величина самоиндукции L в той же формуле, т. к. большая машина обыкновенно работает на сеть с большей емкостью, значит, требует меньшего удлинения включением самоиндукции.

На черт. 5 дана кривая изменения частоты генератора мощностью 150 к-в., $40 \cdot 10^3$ пер., работающего с синхронным двигателем. При постоянной успокоения, отвечающей скольжению в 2%, уже через 10 сек. наступает практически постоянный режим. На кривой черт. 6 даны соответствующие предыдущей кривой значения изменений мощности, развиваемой генератором. Как и следует из выраж. (8'), частота изменений мощности вдвое больше частоты качаний данных чертежем 5-ым.

До сих пор мы рассматривали работу двигателей и соединенного с ними генератора большой частоты после нажатия ключа, предполагая, что ключ нажат длительно, или ведется работа ключем на передачу знаков с применением баланса, дающего возможность при работе иметь приблизительно постоянную нагрузку двигателя, или что тоже, приблизительно постоянный момент M в ур. (2). Посмотрим теперь, какой величины может достигнуть изменение скорости синхронного двигателя $\Delta\omega$, в том случае, если работа будет производиться ключем без баланса, или не при полном балансировании энергии, расходуемой антенной. Для простоты допустим, что нагрузка, производимая ключем при его работе, даст переменный момент равный $M^{11} \sin n\omega t$; тогда ур. (2) примет вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} + D(\omega - \omega_m) + S(\theta - \theta_m) = M^{11} \sin n\omega t \quad (11)$$

дифференцируя, получим аналогично ур. (3)

$$J \frac{d^2(\omega - \omega_m)}{dt^2} + D \frac{d(\omega - \omega_m)}{dt} + S(\omega - \omega_m) = n\omega M^{11} \cos n\omega t \quad (12)$$

Частное решение этого уравнения, отвечающее установившемуся режиму, будет:

$$\Delta \omega = \omega - \omega_m = \frac{M^{11}}{\sqrt{D^2 + (\pi \omega \Gamma - \frac{S}{\pi \omega})^2}} \sin(\pi \omega - S) \quad (13)$$

Нас интересует наибольшая величина изменения скорости $\Delta \omega$, каковая будет равна

$$\Delta \omega' = \frac{M^{11}}{\sqrt{D^2 + (\pi \omega \Gamma - \frac{S}{\pi \omega})^2}} \quad (14)$$

здесь $\pi \omega$ есть частота переменной работы ключа. Выражение (14) аналогично выражению для цепи переменного тока; здесь также возможен случай резонанса, который будет при частоте работы ключом

$$\pi \omega = \sqrt{\frac{S}{\Gamma}}, \text{ когда } \pi \omega \Gamma - \frac{S}{\pi \omega} = 0,$$

и мы имеем наибольшее возможное изменение скорости синхронного двигателя, равное

$$\Delta \omega = \frac{M^{11}}{D} \quad (15)$$

Сравнивая полученное нами выр. (15) с изменением скорости асинхронного двигателя, данное выр. (10) $\Delta \omega = \frac{M}{D} (1 - e^{-Dt/\Gamma})$,

мы можем видеть, что и наибольшее изменение скорости синхронного двигателя, при работе его без баланса, даже при условии получения резонанса механической системы, может лишь достигнуть изменения скорости асинхронного двигателя, работающего с таким же скольжением, какое имеют успокоители синхронного двигателя.

Таким образом скольжение, отвечающее успокоителям синхронного двигателя, является мерилем наибольших возможных изменений скорости синхронного двигателя при работе без баланса независимо от всех других элементов двигателя. Это заключение приравнивает работу синхронного двигателя с асинхронным в смысле изменений скорости, оставляя за синхронным однако все преимущества, связанные с постоянством средней скорости, столь важной для настройки машины в резонанс.

Вывод. Из сказанного выше можно видеть, что машина большой частоты без особых затруднений может быть снабжена двигателем. При работе ее без баланса приходится брать синхронный или

асинхронный двигатель с успокоителями (или ротором асинхронного двигателя), имеющим малое скольжение, порядка 0,5%, т. е. сильно увеличивать размеры двигателя, что едва ли выгодно. При работе же с балансом работа машины большой частоты идет без нарушений уже при размерах двигателя близких к нормальным для данной нагрузки. Что касается выбора между синхронным и асинхронным двигателем, то синхронный, при достаточном размере успокоителей все же представляет некоторые преимущества, хотя и асинхронный, или что то же двигатель постоянного тока, может быть с успехом применен для этой цели. Некоторые неудобства, связанные с пуском синхронного двигателя, все же окупаются независимостью его средней скорости от нагрузки.

Н.-Новгород. Радиолaborатория.

О методе балансирования в цепи переменного тока.

В. К. Лебединского.

Доложено на 14-ой научно-техн. беседе в нижег. радиолaborатории, 21 ноября 1919.

Основные понятия о цепи переменного тока. — Полное сопротивление. — Комлексное сопротивление. — Применение его для исследования баланса в цепи переменного тока. — Сравнение коэфф. самоиндукции. — Сравнение емкостей. — Схема Петровского. — Сравнение коэфф. самоиндукции с емкостью конденсатора. — Схемы Максвелла, Римингтона, Далтона, Аидерсона, Пирани.

Среди электроизмерительных схем наибольшее значение имеют те, которые основаны на методе балансирования электродвижущих сил, т. е. мост Витстона и потенциометр. В дальнейшем мы будем говорить о первой из этих двух схем и именно о тех ее видах, которые требуют переменной эдс — при измерении емкости и самоиндукции.

Сначала, в нескольких строках напомним главные положения теории переменного периодического тока.

Цепь переменного тока.

1. В цепи переменного тока (п. т.) точно также, как и в цепи постоянного тока, действует некоторая эдс генератора E , которая в каждый момент как раз уравнивает все эдс приемников, включенных в цепь последовательно.

2. В цепи постоянного тока это уравнивание выражается простым соотношением

$$E - e_1 - e_2 \dots = 0, \quad (1)$$

где e обозначают обратные эдс приемников электрической энергии, как вольтметр, или заряжаемый аккумулятор, или электродвигатель, или вольтова дуга, или, наконец, простое (омическое) сопротивление r ; в последнем случае $e = ir$ (закон Ома), т. е. обратная эдс определяется током в цепи; иными словами, омические сопротивления определяют ток в цепи таким, чтобы при этом токе их обратные эдс как раз уравнивались разностью между E и всеми другими эдс приемников.

3. Каждый приемник поглащает соотв. мощность, определяемую его обратной эдс и током, пробегающим по цепи. Общий баланс мощностей выражается равенством:

$$EI = e_1 i + e_2 i + \dots, \quad (2)$$

полученным из (1) умножением всех членов на i ; это умножение выражает основное положение для цепи постоянного (установившегося) электрического тока: по всей цепи, чрез все приемники и генератор всегда протекает один и тот же ток.

4. Для цепи п. т. все эти понятия в своей общей форме вполне сохраняются, и прежде всего сохраняется только что высказанное положение; цепь предполагается много короче той длины волны, которая соответствует частоте данного п. т., и потому представляется, что в каждый момент ток является как бы установившимся (квазистационарным) по всей цепи.

5. Главною особенностью п. т. является то, что в цепи его могут существовать приемники, непоглащающие электрической мощности, если рассматривать их действие за целый период; в течение промежутка времени равного полупериоду такие приемники берут энергию, запасая ее в себе, тогда как в течение второго полупериода они отдают ее обратно в цепь. К таким приемникам в чистом виде относятся катушки с идеальной самоиндукцией и идеальные конденсаторы, которые то намагничиваются соотв. заряжаются, то отдают без всякого поглощения, ничего не оставив в себе, энергию своего магнитного поля и соотв. своего заряда. Конечно, это возможно лишь при п. токе.

6. При существовании таких приемников ток по цепи идет не только от действительного генератора, но и от приемников, когда они отдают свою энергию и становятся тоже генераторами; а потому весь ток I , который показывает напр. тепловой амперметр, включенный где нибудь в цепь п. т., не может быть зачтен в мощность, отдаваемую генератором. Выражение EI должно быть помножено на некоторую правильную дробь (она слишком велика) для того, чтобы представлять эту последнюю мощность. Такую обязательно-правильную дробь изображают неким $\cos\phi$ и пишут:

$$\text{мощн. генерат. } P = EI \cos\phi.$$

Если все приемники цепи суть типа идеальных самоиндукций и емкостей, то $\cos\phi$ имеет величину, нуль, $\phi = 90^\circ$, генератор не питает цепи, он просто не нужен (цепь эл. незатухающих колебаний).

7. Присутствие сопротивления, неидеальной самоиндукции (катушка с заметным сопротивлением, или с железом, обладающим гистерезисом),

резисом, или с замкнутой вторичной обмоткой) или емкость (конденсатор с утечкой) уменьшают Φ , увеличивают его косинус.

8. Сообразно сказанному мощность, поглощаемая самоиндукцией или емкостью, должна быть выражаема, как

$$eJ \cos \Theta,$$

причем $\Theta = 90^\circ$ в случае приемников, идеально возвращающих запасаемую ими энергию. Омическое сопротивление реактивной катушки, гистерезис ее железа, сопротивление вторичной обмотки, навитой на нее, утечка конденсатора все это ведет к уменьшению Θ .

Отсутствие всякого признака самоиндукции или емкости (чисто омическое сопротивление) делает $\Theta = 0$.

9. Отсюда понятно, что у различных приемников, введенных последовательно в одну и ту же цепь п. т., углы Θ могут быть очень разнообразны; но ток по всем им в каждое мгновение идет один и тот же, а следовательно один и тот же и их максимальный и средний квадратичный ток J . Поэтому в подсчете баланса мощности (2) мы сокращаем все члены на J и получаем:

$$E \cos \Phi = e_1 \cos \Theta_1 + e_2 \cos \Theta_2 + \dots \quad (3)$$

По известной теореме геометрии это выражение обозначает, что E можно рассматривать, как геометрическую сумму всех векторов e , как замыкающую сторону многоугольника, стороны которого суть все e (черт. 1 стр. 88). Все эти векторы E и e в ур. (3) проектируются на какое то общее направление, образуя с ним углы соотв. Φ и Θ , очевидно, совпадающее с направлением вектора тока. Действительно, для чисто омического сопротивления явления происходят, как при постоянном токе, соответственное $\Theta = 0$, и соответственный член суммы правой части ур. (3) представится в виде $e = Jr$, т. е. будет представлять собою некий отрезок на направлении вектора J .

10. Отсюда мы заключаем, что углы, введенные нами чрез их косинусы в § 6 из рассуждения о мощностях, удобнее всего представлять, как углы между направлением вектора тока и соотв. эдс.

В приемнике цепи п. т. эдс и ток выражаются, вообще говоря, векторами, не совпадающими по направлению. Ток производится „проекцией эдс на направление тока“ и определяется омическим сопротивлением приемника, как сказано в § 2.

Углы Φ и Θ называются разностью фаз тока и эдс. Для синусоидального тока по этим отставаниям по фазе можно заключить об отставании по времени (в частях периода или в секундах) максимальной или нулевой величины эдс от таковой же величины тока (или обратно); т. о. слова: отставание или опережение оказываются здесь совершенно уместными.

11. Пусть приемник в цепи п. т. обладает омическим сопротивлением r (ваттное сопротивление) и непоглощающим ватты (безваттное сопротивление) „сопротивлением“ x .

Такой приемник будет давать две обратных эдс

$$rI \text{ и } xI,$$

из которых первая имеет $\Phi = 0^\circ$, а вторая 90° (черт. 2, на котором ab обозначает направление I). Полная обратная эдс, как равнодействующая, равна:

$$e = \sqrt{r^2 + x^2} \cdot I; \quad (4)$$

для нее Φ таково, что его тангенс

$$\operatorname{tang} \Phi = \frac{x}{r}. \quad (5)$$

Название „сопротивление“ для безваттной части сопротивления приемника, конечно, предполагает очень большое расширение этого понятия; но, ведь, по законам физики мы должны понимать, как однородные, величины, которые подвергаем действию сложения, хотя бы и геометрического. Такое сложение r и x изображает черт. 3, представляющий собою следствие второго. Величина

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad (6)$$

называется полным сопротивлением.

12. Эта величина дает по обычной формуле Ома верное значение для тока из той части эдс генератора, которая ложится на данный приемник и которая равна e , а именно (из ур. 4)

$$I = \frac{e}{z}.$$

13. Но полное сопротивление не дает никакого понятия о сдвиге по фазе эдс'ы e от I ; это согласно формуле (5) дается лишь знанием r и x в отдельности. Одно и тоже z может быть получено при бесконечно разнообразных сочетаниях x и r , а значит бесконечно различных углах Φ .

Поэтому очень полезно (по Штейнметцу) изображать сопротивление так, чтобы ваттная и безваттная части его были разделены. Для этого служит символ

$$r + jx, \quad (7)$$

где j обозначает $\sqrt{-1}$. Согласно обычному геометрическому толкованию комплексной величины мнимая часть представляется проведенною под прямым углом к вещественной, что вполне соответствует черт. 3. Вектор этой комплексной величины как раз и равняется полному сопротивлению.

Уравнение

$$I = \frac{e \sin \omega t}{r + jx}$$

вполне выражает ток в приемнике, т. к. с численной стороны оно дает тоже самое, что и ур. (4), но кроме того позволяет узнать и величину ϕ по ур. (5), т. к. ваттное и безваттное сопротивления остаются разделенными.

В дальнейшем мы будем пользоваться этим символическим обозначением, при чем все законы будем применять к комплексному сопротивлению также, как они применяются к омическому.

14. Все наши уравнения приобретут физический смысл тем, что их вещественные и мнимые части будут разделены и получат самостоятельное значение в виде обыкновенных алгебраических соотношений, как это показывается в последующем.

15. Безваттные сопротивления в цепи синусоидально-переменного тока идеальной самоиндукции и емкости соотв. равны

$$jLp \text{ и } \frac{j}{Cp}, \text{ где } p = \frac{2\pi}{T} \quad (8)$$

причем T обозначает период изменения тока. Приведенные выражения показывают, что индуктивное сопротивление увеличивается с увеличением p , тогда как емкостное — убывает и притом тем быстрее, чем больше p . Символ j показывает, что оба эти сопротивления представляются геометрически, как перпендикуляры к отрезку, выражающему r , при чем знак $(+)$ обозначает перпендикуляр вверх (черт. 3), а знак $(-)$ — вниз (черт. 4). Самоиндукция вводит запаздывание тока относительно эдс (ср. § 10), а емкость — опережение.

16. Мы говорили, что в цепи п. т. по всем последовательно включенным приемникам идет в каждый момент один и тот же ток; эдс'ы, геометрические части общей эдс (черт. 1), лежащие на этих приемниках, не совпадают по фазе.

И совершенно также, исходя из общности основных положений постоянного и переменного (квазистационарного) тока, мы должны утверждать, что в случае разветвления в цепи п. т. (черт. 5) оба ответвления ab и cd всегда находятся под одной и той же эдс, имеющейся между точками m и n , но будут обтекаться, вообще говоря, раз-

ными токами не только по максимальной величине, но и по фазе, так как эти токи будут, вообще говоря, различно несовпадать по фазе относительно своей общей эдс.

Чтобы найти фазовый угол для которогонибудь из ответвлений, нам необходимо узнать все омическое и все беззаттное сопротивление этого ответвления и подставить их в выражение (5).

17. Если ответвление состоит из отдельных последовательных частей, напр. a и b (черт 5), имеющих различные фазовые углы, то эти части, пронося в себе одинаковые токи (§ 4), находятся, следовательно, под различными по фазе (а, может быть, конечно и по величине) эдс'ами, геометрическими частями эдс между m и n . Фазовые углы для каждой части находятся по общему правилу.

Связь между этими величинами и общим фазовым углом всего ответвления изображена на черт. 6.

18. В конце § 13 было сказано, что с комплексными сопротивлениями производятся действия по тем же правилам, что и с простыми омическими. Найдем т. наз. приведенное сопротивление для двух параллельных ветвей, изображенных на черт. 7. По общему правилу, оно равно произведению параллельных сопротивлений, разделенному на их сумму, т. е. (ср. § 15)

$$\left(-\frac{j}{Cp} \times r \right) : \left(r - \frac{j}{Cp} \right) = \frac{r}{1 + jCp} \quad (9)$$

Метод балансирования.

19. Сравнение коэффициентов самоиндукции. — На черт. 8 изображена схема моста Витстона.

При постоянном токе, когда G — генератор, а t — гальванометр постоянного тока, равновесие, нулевое отклонение на гальванометре, т. е. одинаковые потенциалы в точках q и s или одинаковые падения потенциала вдоль ветвей a и c достигаются при условии существования такого соотношения между сопротивлениями четырех ветвей:

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{d} \quad (10)$$

При п. т., когда G и t суть генератор п. т. и телефон, условием равновесия можно опять считать равенство падений напряжения вдоль участков a и c . Найдем падение напряжения вдоль a ; если эдс между m и n (генератора) есть E , полное сопротивление a есть z и b — чисто омическое сопротивление, то ток в ветви man

$$I = \frac{E}{z + b}$$

и падение напряжения вдоль a равно

$$Jz = \frac{E \cdot z}{z + b}$$

Подобным же образом находится падение напряжения вдоль c , и условие равновесия напишется (по сокращении на E)

$$\frac{z}{z + b} = \frac{z_1}{z_1 + d} \quad \text{или} \quad \frac{z}{z_1} = \frac{b}{d} \quad (11)$$

20. Имея дело с полными сопротивлениями, мы верно заключаем относительно величин эдс, т. е. об их максимальных и среднеквадратических значениях (§ 13); если бы эти эдс были одной фазы, то равенство их максимальных величин было бы достаточною причиною постоянной их одинаковости и постоянной одинаковости потенциала в точках q и s , а след. и молчания в телефоне. Но эти эдс могут более или менее не совпадать по фазе, поэтому ур. (11), говорящее только о их величинах, не гарантирует равновесия в мосте и молчания в телефоне; выполнение его приводит лишь к притиханию звука в телефоне.

21. Кроме того ур. (11) заключает в себе p ; следовательно, оно устанавливает даже и равенство эдс лишь для известной частоты п. т.; и если переменная эдс, действующая между m и n , представляет собою несколько налагающихся синусоид, то полученное для какой либо точки n (черт. 8) притихание в телефоне говорит нам о выполнении ур. (11) лишь для одной из этих синусоид.

22. Если генератор производит однотонную синусоиду, ее p может быть определено из ур. (11).

Отношение $L : L_1$, для определения которого и служит схема черт. 8, может быть найдено из (11), если известна p .

Если обстановка измерения позволяет изменять омическое сопротивление a и c , возможно получить целый ряд соотношений (11), из которых могут быть определены и p , и отношение коэффициентов самоиндукции.

Однако все эти измерения будут не точны даже при однотонном генераторе, вследствие не совпадения по фазе напряжений в q и s .

23. Каковы же условия совпадения по фазе? Чтобы подойти к этому вопросу, введем комплексные сопротивления. С помощью их выразим условие одинаковости падений напряжения вдоль участков a и d (выбираем эти участки, а не индукционные, хотя и ведущие к тем же токам q и s , имея ввиду упростить формулы); для этого определяем токи I и I_1 по § 16 и умножаем их на чисто омические сопротивления соотв. a и d . Получаем условие равновесия

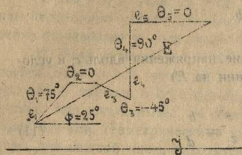


Рис. 1

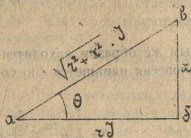


Рис. 2

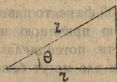


Рис. 3

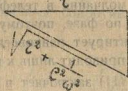


Рис. 4

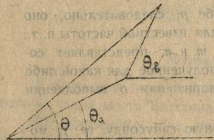


Рис. 5

$$\operatorname{tg} \theta_a = \frac{x_a}{z_a}; \quad \operatorname{tg} \theta_s = \frac{x_s}{z_s};$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{x_a + x_s}{z_a + z_s}$$

Рис. 6

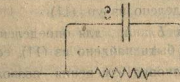


Рис. 7

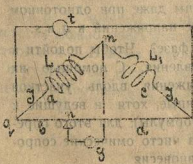


Рис. 8

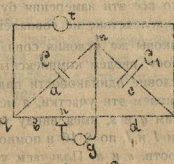
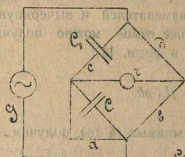
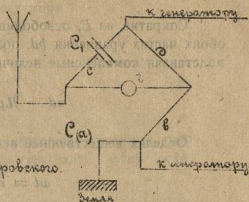


Рис. 9

Статус В. И. Лебединского.



Тепл. 10.



Тепл. 11.

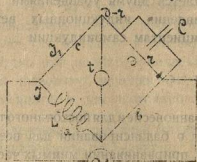


Схема Тензобрида.

Тепл. 12.



Схема Тензобрида

Тепл. 13.

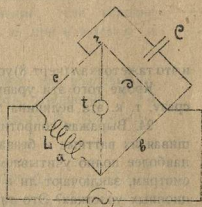


Схема Тензобрида

Тепл. 14

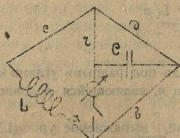


Схема Тензобрида

Тепл. 15

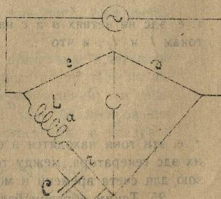


Схема Тензобрида

Тепл. 16

$$\frac{Eb}{a + b + jLp} = \frac{Ed}{c + d + jL_1p} \quad (12)$$

Сократив на E , освободившись от знаменателей и вычеркнув в обеих частях уравнения bd , получаем (тоже самое можно получить, подставляя комплексные величины прямо в форм. 11):

$$ad + jLpd = cb + jL_1pb.$$

Отделяя вещественные величины от мнимых (§ 14), получим

$$ad = cb; Ld = L_1b. \quad (13)$$

Теперь условие равновесия выражается двумя уравнениями, которые говорят, что омические сопротивления индукционных ветвей должны быть пропорциональны коэффициентам самоиндукции

$$L : L_1 = a : c, \quad (14)$$

и что таже точка (черт. 8) устанавливает равновесие и для постоянного тока.

Кроме того эти уравнения говорят о балансировании для всех p сразу, т. к. эта величина выпадает при приравнении мнимых частей.

24. Выражая сопротивления комплексными величинами, не смешивая их ваттные и безваттные части в полные сопротивления, мы наиболее полно учитываем их свойства и фазовые соотношения. Посмотрим, заключают ли в себе ур. (13) равенство фаз эдс на индукционных участках? Это так, потому что из ур. (13) следует, что для всякой частоты

$$\frac{Lp}{a} = \frac{L_1p}{c},$$

т. е. эдс на ветвях a и c находятся под равными углами к соотв. токам I и I_1 , и что

$$\frac{Lp}{a + b} = \frac{L_1p}{c + d},$$

т. е. эти токи находятся в свою очередь под равными углами к общей их эдс генератора, между точками m и n , являющейся основной базой для счета времени и моментов.

25. Таким образом балансирование, выражаемое ур. (13), для всякой частоты дает равенство величин и фаз потенциалов в точках

q и s , а потому приводит к действительному молчанию в телефоне и позволяет наиболее точно, насколько это достижимо схемой черт. 8, определить отношение коэффициентов самоиндукции.

26. Ур. (11) может быть переписано так:

$$\frac{z^2}{z_1^2} = \frac{a^2 + L^2 p^2}{c^2 + L_1^2 p^2} = \frac{b^2}{d^2}; \quad (15)$$

отсюда мы видим, что отношение $b : d$, т. е. положение точки n для переменного тока будет тем же, что и для постоянного, лишь если выполнено ур. (14).

Нетрудно убедиться далее, что если, напр., a меньше, чем следует из ур. (14), то n для постоянного тока будет сдвинуто влево по черт. 8 относительно n для переменного; и обратно — при a большем, чем следует для молчания в телефоне. Этот признак может служить к облегчению при подборе омических сопротивлений, если условия измерения позволяют, изменяя напр. a , находить n при каждом a и для переменного, и для постоянного тока.

27. Следующая табличка иллюстрирует явление; для различных s , все уменьшающихся по величине, приведены соотв. отношения $b : d$ для переменного и постоянного токов (наблюдения Н. И. Полтева):

омы	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
перем. т.	4	4	4,1	4,3	4,6	4,9	5,3
пост. т.	2,27	3,28	3,70	4,27	5,0	6,0	7,5

Таблица показывает, что молчание в телефоне должно наступить при s около 0,4 ома, т. к. около этого места n при пост. токе меньшие, чем при п. т., переходят в большие.

Малую точность установления баланса на притихание в телефоне иллюстрируем рядом чисел для $b : d$, вычисленных по ур. (15) по известным L , L_1 и p (определено из одного из наблюдений), и сравненных с теми же величинами, полученными при балансировании (числа средней строки предыдущей таблицы, возведенные в квадрат):

набл.	16	16	16,8	18,6	21,2	24,0	28,2
вычисл.	8,15	13,8	15,9	18,1	21,0	24,2	27,5

28. *Сравнение емкостей.* — Для схемы балансирования емкостей, изображенной на черт. 9, пишем соотношение, аналогичное (12).

$$\frac{E(a - \frac{j}{Cp})}{a + b - \frac{j}{Cp}} = \frac{E(c - \frac{j}{C_1 p})}{c + d - \frac{j}{C_1 p}} \quad (16)$$

Избавившись от знаменателей и отделив вещественные и мнимые части, получим уравнения:

$$a(c + d) = c(a + b) \text{ или } \frac{d}{b} = \frac{c}{a}; \quad \frac{C}{C_1} = \frac{d}{b} \quad (17)$$

Углы между эдс и токами в отрезках a и c (сравни: форм. 5) соотв. выражаются через такие тангенсы

$$-\frac{j}{Cap} \text{ и } -\frac{j}{C_1 c p};$$

углы же между этими токами и основной эдс E между точками m и n

$$-\frac{j}{C(a+b)p} \text{ и } -\frac{j}{C_1(c+d)p}.$$

По ур. (17) эти пары тангенсов равны между собой и притом при всяком p^1 , и след. балансирование, удовлетворяющее этим уравнениям, приводит к равенству не только величин, но и фаз потенциалов в точках q и s для всякой частоты, т. е. к молчанию в телефоне.

Исходное выражение (16) соответственно изменяется, если сопротивления a и c приравниваются нулю, т. е. пренебрежимо малы.

29. В предыдущем речь шла об идеальных емкостях (a и c представляли собою омические сопротивления при конденсаторах); если же конденсаторы поглощают энергию внутри себя, имеют утечку, то это обстоятельство рассматривается, как существование шунта между обкладками у конденсаторов. Положим, что „сопротивления утечки“ соотв. суть r и r_1 . Тогда сопротивление емкости с ее шунтом узнается по форм. (9), и условие баланса после отделения вещественных и мнимых частей (полагаем $a = c = 0$) дает

$$\frac{r}{r_1} = \frac{b}{d}; \quad \frac{C}{C_1} = \frac{d}{b}.$$

¹⁾ Иначе: если равны при одной частоте, то равны и при всякой другой.

Если C_1 есть эталон (идеальной) емкости, а C — искомая емкость с неизв. утечкой, то эти уравнения позволяют определить искомую емкость через эталон, а ее сопротивление утечки через r_1 , нарочно вводимое параллельно эталону.

30. Схема А. А. Петровского. — Проф. Петровский в „Вестнике Военн. радиот. и электрот.“ за 1917 г. (стр. 139) предложил схему (черт. 10 стр. 89) компенсации утечки измеряемой емкости C сопротивлением c , включаемым *последовательно* с эталоном.

Условие равновесия (ветви d и c):

$$\frac{Ed}{b+d} = \frac{E(c - \frac{j}{C_1 p})}{c - \frac{j}{C_1 p} + \frac{a}{1+jCa p}}$$

После обычных преобразований получаем:

$$\frac{d}{b} = \frac{c}{a} + \frac{1}{C_1^2 a c p^2}; \quad C = \frac{1}{C_1 a c p^2}. \quad (18)$$

Второе из этих выражений дает величину C , после того как из первого определим сопротивление утечки измеряемого конденсатора.

Мы видим, что в этом методе условия равновесия (18) заключают в себе p , которую следовательно необходимо знать (ср. § 21). Для более совершенного балансирования генератор должен давать чистую синусоиду. Но молчание в телефоне все же не может быть достигнуто и при этом условии, т. к. углы между эдс на отрезке d и током в ответвлении $b+d$, а также током в этой ветви и эдс генератора равны нулю, тогда как соотв. углы другой ветви имеют определенные отрицательные величины, тоже зависящие от p . Одинаковость фаз у зажимов телефона невозможна.

31. В указанной статье А. А. Петровского вывод выражений (18) сделан геометрическим методом векторной диаграммы; интересующиеся могут сравнить, который из методов — диаграммный или комплексных величин — быстрее завершает исследование схемы. Там же автор указывает возможные упрощения формул (18) и объясняет применение своего метода к измерению емкости и сопротивления утечки антенны, включаемой, как показано на черт. 11, и дает численный пример из практики.

32. Сравнение коэффициента самоиндукции с емкостью конденсатора. Схема Максвелла — (черт. 13). Условие равновесия

$$\frac{E c}{c + 1 + j C d p} = \frac{E (a + j L p)}{a + b + j L p}$$

даст

$$ad = bc; L = bcC.$$

Первое уравнение показывает, что должно быть выполнено балансирование при постоянном токе; второе позволяет узнать коэфф. самоиндукции по известной емкости. Условие баланса не зависит от частоты.

Ток в ветви верхней (по черт. 13) находится к эдс генератора под углом, тангенс которого равен

$$\frac{C p}{c + d + C^2 d^2 c p^2};$$

(это получается, если определить комплексное сопротивление верхней ветви и, отделив его вещественную и мнимую части, разделить вторую на первую).

С другой стороны, тот же тангенс для нижней ветви равен

$$\frac{L p}{a + b},$$

если эти два выражения приравнять, сокращения p не произойдет, но получится уравнение для p . Равенство фаз при условиях равновесия будет возможно только для одного p . Углы будут равны однако и в том случае, если они будут нулями, т. е. если $p = 0$ (переменный ток не применим).

Что же касается до угла между эдс на отрезках и соотв. токами, то на c он равен нулю (чисто омическое сопротивление), на отрезке же a он равен

$$\arctg \frac{L p}{a},$$

тоже равный нулю только при $p = 0$.

33. Схема Римингтона (черт. 12). Здесь ищут точку баланса на самом отрезке c . Для упрощения формул будем называть чрез c все омическое сопротивление этой ветви, чрез d — омическое сопротивление соседней ветви, r — ее участок, шунтирующий емкость, $d - r$

сопротивление остальной ее части.

Условие баланса:

$$\frac{E_c}{c+d-r+\frac{r}{1+jCrp}} = \frac{E(a+jLp)}{a+b+jLp}$$

приводит к уравнениям:

$$(d-r)CLp^2 + cb = ad; L = \frac{r}{d} (bc - ad + ra) C.$$

Если достигнуто равновесие при постоянном токе, что необходимо, как и при способе Максвелла, т. е. $cb = ad$, то первое из этих уравнений устанавливает необходимым условием $p = 0$, а второе обращается в

$$L = \frac{r^2 a}{d} C.$$

Соотношение между фазовыми углами подобно схеме Максвелла включает в себе p^2 и приводит к тем же выводам. При $d - r = 0$ получаем формулы схемы Максвелла.

34. Схема Далтона¹⁾ изображена на черт. 14. Точку баланса ищут здесь на сопротивлении r , шунтирующем емкость.

Условие равновесия:

$$\frac{E}{c-r+\frac{d+r}{1+j(d+r)Crp}} = \frac{\frac{j}{Crp}}{d+r-\frac{j}{Crp}} \cdot d = \frac{Eb}{a+b+jLp}; \quad (19)$$

для пояснения заметим, что левая часть этого уравнения составляется по правилам цепи постоянного тока, а именно берется эдс генератора, делится на комплексное сопротивление верхней ветви, полученный ток делится на сумму сопротивлений разветвленного участка и умножается на сопротивление того из ответвлений (идеальная емкость), ток в котором не желают определить; тогда получается ток в ответвлении $d+r$, который умножают на сопротивление d , чтобы получить падение потенциала в этом сопротивлении d .

¹⁾ Dalton. Phil. Magazine. 1914. № 163.

Обычные преобразования приводят к двум условиям баланса

$$ad = bc; L = \frac{b}{d} (c - r) (d + r) C. \quad (20)$$

При $r = 0$ получаем формулы схемы Максвелла. При $a = b = c = d = R$ первое уравнение удовлетворяется, второе обращается в

$$L = (R^2 - r^2) C.$$

35. Рассмотрим фазовые соотношения. На отрезке d (черт. 14) эдс совпадает с током по фазе, а фазовый угол между этим током и эдс генератора легче всего определяется из следующего; ток в ответвлении d выведен уже в левой части соотношения (19), если от нее отнять по d и m множитель d ; простые преобразования придают этому выражению вид

$$\frac{E}{c + d + j(c - r)(d + r)Cp}$$

Отсюда мы усматриваем, каким комплексным делителем связываются E и ток в отрезке d ; по взгляду на этот комплексный делитель мы определяем тангенс угла между E и током, выражаемым всею дробью, а именно (см. § 11):

$$\tan \theta = \frac{(c - r)(d + r)Cp}{c + d}.$$

С другой стороны, угол между E и током в нижней ветви (черт. 14) определяется из

$$\tan \theta_1 = \frac{Lp}{a + b},$$

а угол между эдс в отрезке b и током нижней ветви равен нулю.

Из всего этого следует, что потенциалы у концов телефона находятся в одинаковых фазах, т. к.

они $\theta = 0$, и эти углы равны, т. к. их тангенсы равны по условиям (20) и притом при всякой частоте.

36. Схема Андерсона — (она же Строуд'а, черт. 15 стр. 89), рекомендуемая обыкновенно для измерения малых коэффициентов самоиндукции.

Условие равновесия:

$$\frac{E}{c + \frac{d(r - \frac{j}{Cp})}{d + r - \frac{j}{Cp}}} = \frac{Eb}{a + b + jLp} \cdot (-\frac{j}{Cp})$$

Первая часть получена подобно тому, как это объяснено для схемы Далтона: ток в верхней ветви умножается на коэффициент, дающий ток в ответвлении Cr , а этот последний ток умножается на сопротивление емкости для получения вольтажа у одного зажима телефона; напряжение у другого зажима (эдс в участке b) дается второй частью уравнения.

Отделение вещественных и мнимых частей дает

$$ad = bc; L = [r(a + b) + cb] \cdot C.$$

Исследование подобное § 35 показывает, что фазовые углы на отрезках, концы которых соединяет телефон, одинаковы при соблюдении условий резонанса для всякой частоты.

37. Схема Пирани и Васки — (черт. 16). Приравнявая эдс на отрезках d и b , получаем условие баланса (r обозначает часть a , шунтирующую емкость):

$$\frac{Ed}{c + d} = \frac{Eb}{a - r + b + jLp + \frac{r}{1 + jrCp}}$$

Отсюда получаем

$$p^2 = \left(\frac{a}{b} - \frac{c}{d} \right) \cdot \frac{b}{rCL}; L = [r^2 + rb \left(\frac{c}{d} - \frac{a}{b} \right)] \cdot C.$$

Если достигнуто равновесие при постоянном токе, то $p = 0$, как показывает первое из этих уравнений; второе обращается тогда в:

$$L = r^2 C.$$

Эдс на отрезке d совпадает по фазе с током верхней ветви, который в свою очередь совпадает по фазе с эдс генератора. Эдс на отрезке b тоже совпадает с током (нижней ветви), но этот последний образует с эдс генератора некоторый фазовый угол, тангенс которого

равен нулю лишь при условии $p = 0$, даже и при наличии удовлетворенных ур-ний баланса. Это легко доказать, написав комплексное сопротивление нижней ветви; его мнимая часть (x см. § 13) равняется

$$x = \frac{Lp(1 + r^2 C^2 p^2) - r^2 Cp}{1 + r^2 C^2 p^2}.$$

это x равно нулю лишь при вышеуказанных условиях.

38. Таким образом метод комплексных величин для каждой схемы дает условия равновесия и определяет свойства баланса. Мы уже упоминали по поводу схемы Петровского о возможности решать все эти вопросы геометрическими построениями. Кроме того существуют еще два метода: применение закона Кирхгофа и уравнений Максвелла; эти последние были применены Лидом к схеме Пирани и Васки¹⁾.

39. Можно упомянуть еще, что при всех вышеприведенных выводах, требующих иногда большой внимательности, полезно проверять их на том простом признаке, что все члены одной и той же алгебраической суммы должны всегда обладать одною и тою же размерностью; для этого в наших примерах достаточно помнить, что коэфф. самоиндукции имеет размерность длины, сопротивление — скорости, емкость — обратной величины ускорения и p — обратной величины времени (размерности в эл.-магн. системе). Поэтому часто встречавшиеся комбинации: Lp и $\frac{I}{Cr}$ имеют размерность сопротивления, что и является вполне логичным ввиду того смысла, который мы придавали этим величинам, а комбинация Crp имеет нулевую размерность и потому может встречаться, как слагаемое, с численной единицей в форм. 9 и ее многочисленных применениях.

40. В предыдущем эдс между точками m и n называлась „эдс генератора“, что не совсем согласно с принимаемою многими терминологиею. Однако это название было удобно, как выделяющее эту эдс.

Н.-Новгород. Радиолaborатория.

Ноябрь 1919.

¹⁾ Leed, On Vaschy's or Pirani Method. Phil. Mag. T. 18,

О влиянии металлических экранов на период и энергию колебательного контура.

Н. Никитина.

(Предварительное сообщение).

Способ наблюдения явления при затухающих колебаниях.—Влияние расстояния от экрана до катушки и их взаимного расположения на период.—Связь между толщиной железных экранов и изменением периода.—Влияние различных металлов на уменьшение периода колебаний.—Зависимость величины поглощаемой экраном энергии от его материала.—Измерения с незатухающими колебаниями.—Сравнение результатов с незатухающими и затухающими колебаниями.

В октябре текущего года профессором В. К. Лебединским было мне предложено исследовать экспериментально вопрос о том, какое влияние оказывают на период и длину волны электрического вибратора металлические экраны, находящиеся вблизи него.

Некоторые опыты в этом направлении были произведены еще до меня лаборантом Нижегородской Радиолaborатории Н. И. Полтевым, под руководством профессора В. К. Лебединского¹⁾ и о результатах этих опытов будет сказано в дальнейшем. Что же касается выводов из моей работы, то, хотя она не доведена еще до конца, однако представляется возможным сделать уже теперь некоторые заключения.

Электромагнитные колебания, с которыми производились измерения, были как затухающие, так и незатухающие; сообразно с этим немного различались и те схемы, с которыми приходилось работать в обоих случаях.

Расположение приборов при опытах с затухающими колебаниями изображено схематически на чертеже 1 (стр. 69). Колебательная цепь, питаемая от индуктора, состояла из емкости C , катушки самоиндукции L_2 и искрового промежутка F . Конденсатор состоял из 2 лейденских банок с емкостью—одна около 2700, а вторая около 3500 см. Каждую банку можно было включить как независимо одну от другой, так и совместно,—параллельно или последовательно, меняя таким

¹⁾ В. К. Лебединским в 1905 г. было отмечено уменьшение периода колебаний вибратора и энергии, получаемой резонатором, происходящие от присутствия металлического листа вблизи вибратора. Вибратором служил прямоугольный трехсторонний контур, соединяющий обкладки лейденской банки; такую же форму имел и резонатор („банки Лоджа“). Уменьшение периода было объяснено уменьшением самоиндукции контура, для которого токи Фуко, индуцированные в листе, являлись как бы нагрузкою

образом емкость контура. Катушка самоиндукции имела 10 витков толстой проволоки с диаметром меди 1,5 мм и диаметром витка 140 мм. Все 10 витков умещались на поверхности катушки на протяжении 40 мм, коэффициент же самоиндукции ее был около 2300 см. Искровой промежутки состоял из 2 шариков из латуни диаметром 33 мм и мог раздвигаться при помощи винта. Индуктор питался от батареи в 3—4 аккумулятора.

Первоначальный способ наблюдения изменений длин волн был таков: катушка L_1 -волномера ставилась на некоторое расстояние от катушки самоиндукции колебательной цепи L_2 , так, чтобы направления их осей приблизительно совпадали, и настройкой волномера на максимум звука в телефоне T определялась основная длина волны λ_0 вибратора. После того один из металлических экранов, помещенный между двумя стеклянными пластинками ставился у одного из оснований катушки L_2 в положении P_1 или P_2 и прижимался к катушке струбциной. Назначение стеклянных пластинок было двойное: с одной стороны они не позволяли прогибаться тонким металлическим пластинкам, а с другой стороны, определяли своею толщиной расстояние пластинок от основания катушки. В некоторых случаях экран занимал положение, обозначенное буквой P_4 , и тогда его плоскость была параллельна оси катушки, находясь от нее на некотором расстоянии или же он устанавливался в положении P_3 , перпендикулярном к только что упомянутому.

По установке экрана вновь измерялась длина волны λ , вообще говоря, уже измененная, при чем способ наблюдений был тот же самый. Экраны имелись приблизительно одной и той же толщины около 0,1 мм (отличались они на несколько сотых мм один от другого, что, по видимому, совершенно не влияло на однородность результатов). Для исследования же влияния толщины экранирующих слоев металла были железные пластинки разной толщины около 0,05, 0,1 и 0,55 мм. Изготовлены они были на Добрянском заводе из железа, содержащего 3% кремния, прокатанного по способу проф. В. П. Володина. Наблюдения в каждом положении производились несколько раз, а затем из этих результатов бралось среднее.

При опытах было обращено внимание на то, как влияет удаление экрана от катушки на период колебаний цепи, как ведут себя,

вторичной обмотки трансформатора, первичною обмоткою которого являлся сам контур. Соответственно этому приближение листа к резонатору заставляло для восстановления резонанса увеличить емкость резонатора (или увеличить самоиндукцию самого контура). Уменьшение передаваемой энергии объяснялось отставанием индуктированного от основных колебаний вибратора.

См. W. Lebedinsky. „Sur la diminution de la période des oscillations électriques“. Journ. d. Physique. 1905, p. 92. Описываемое явление полезно иметь в виду при экранировании вибратора: резонатор показывает меньшее действие не только от уменьшения энергии, но и от возникающего диссонанса, вследствие изменения периода вибратора. В упомянутой статье В. Лебединского, описаны подобные же явления, происходящие от действия лучами радия на искровой промежутки вибратора.

различные металлы при одних и тех же условиях, и какое значение имеет для данного явления толщина пластины.

Расположение экрана на том или ином расстоянии от основания катушки довольно заметно сказывается на длине волны колебательной цепи, что легко видеть из следующих данных опытов.

Железо толщиной 0,55 мм $\lambda_0 = 710$ мт

Расстояния до катушки в мм 1,5 5 8,5

Длины волн в мт 635 656 667

Алюминий толщиной 0,1 мм $\lambda_0 = 710$ мт

Расстояния до катушки в мм 1,5 4,7 8,5

Длины волн в мт 626 643 655

Из приведенных цифр можно заключить, что длина волны колебательной цепи уменьшается по мере приближения металлической пластины к катушке. Значения λ для железа представляют средние арифметические из серий по 8—9 наблюдений для каждого из расстояний. Для алюминия же значения λ получены, как средние величины двух таких же серий наблюдений, как для железа.

Для того же случая, когда пластинка алюминия помещалась в положении P_4 на расстояния 1,5 мм, 6,8, 55 и 170 мм от катушки L_2 для длин волн при $\lambda_0 = 700$ мт получались соответственно цифры 700, 707, 712, 708 мт, откуда следует, что в этом положении она не оказывает никакого действия на вибратор. То же наблюдается и в том случае, когда она стоит в положении P_5 .

Влияние толщины пластинки. Опыты в этом смысле были проделаны с железными пластинками и дали такого рода результаты при основной длине волны в 710 метров.

Пластинка толщиной в мм 0,05 0,14 0,55

Длина волны в мт 686 670 649

Итак, толщина железной пластинки влияет на изменение периода вибратора в совершенно определенном направлении. Чем пластинка толще, тем сильнее уменьшение длины волны при неизменном расстоянии от катушки до пластинки, помещенной в положение P_1 или P_2 .

По установлении этих фактов возник вопрос о том, какое значение имеет на изменение периода колебаний вибратора вещество пластинки, а также какова та энергия, которая поглощается при этом явлении самим экраном. При опытах, направленных к выяснению этих обстоятельств, металлические экраны помещались в положения P_1 и P_2 и затем волномером при помощи включенного в его цепь ваттметра W измерялась энергия волн, воспринимаемых прибором в отсутствие экрана, и затем, когда он был поставлен около катушки L_2 .

Влияние металла, из которого был сделан экран, на длину волны наблюдалось вышеупомянутым (стр. 100) способом. Результаты опытов при различных длинах волн для пластинок в 0,1 мм приведены в таблице I.

Таблица I.

Длины волн в мт; пластинки толщиной в 0,1 мм
в положении P_2 .

Без пластинок	960	710	504	482
С железн. пласт.	920; 924	680; 683	481	470
С алюмин.	886; 884	645; 640	445	448
С медной	885; 870	630; 635	440	440

Относительно цифр этой таблицы надобно заметить, что условия, в которых они были получены несколько различались, ибо максимум звука при волне в 960 метров был гораздо более расплывчат, чем при волне в 500 метров, когда он был значительно острее. Ошибка, которая могла быть при определении длины волны, когда λ_0 было равно 960 метрам, достигала ± 10 метров. Таким образом, относясь с известной осторожностью к этим цифрам, можно из приведенной таблицы заключить: при одной и той же толщине экрана наиболее влияют на укорочение волны медь и алюминий, при чем как будто влияние меди сильнее; эффект же, производимый железным экраном, оказывается значительно слабее. Меньший эффект железа по сравнению с алюминием был наблюдаем и Н. И. Полтевым.

После того был сделан ряд попыток установить, насколько сильно поглощение энергии в пластинках различных материалов; при этом индикатором служил ваттметр волномера. В виду его сравнительно небольшой чувствительности приходилось приближать катушку волномера к катушке самоиндукции колебательной цепи на расстояние 5—10 см.

Когда пластинки находились в положении P_2 , ваттметр давал следующие показания, при чем каждое деление шкалы соответствует 0,01 ватта.

Показания ваттметра.

Без пластинки	от 25 до 33
С медной пластинкой	17 „ 21
С алюминиевой пластинкой	21 „ 25
С железной пластинкой	13 „ 16

Стрелка ваттметра непрерывно двигалась, делая более или менее сильные скачки в разные стороны, амплитуда же отклонений ее составляла порой 60% показываемой величины.

Так как факт подобных колебаний величины энергии в исследуемой цепи мог объясняться присутствием в ней искрового промежутка с весьма неправильным режимом в искре, то естественно было попытаться произвести измерения, исключив эту мешающую точности наблюдений причину.

С этой целью были предприняты опыты с незатухающими колебаниями, получаемыми от гетеродига, а также были сделаны попытки произвести измерения, пользуясь тем же искровым методом, что и ранее, в который внесено было некоторое изменение.

Изменение это состояло в том, что прежний искровой промежуток был заменен другим, сделанным из 2 массивных цинковых кругов 75 мм диаметром. Регулировкой этого промежутка удалось добиться того, что энергия в цепи волномера стала значительно постояннее. Одновременно с этим была увеличена самоиндукция цепи включением дополнительной катушки. В дальнейшем приводимые показания ваттметра представляют средние величины его отклонений, при чем колебания стрелки составляли лишь около одного деления в ту и другую сторону. Лишь при этом искромере стало возможным измерять изменение энергии, получаемой волномером, производимое присутствием пластины. Установка на резонанс производилась помощью ваттметра.

Полученные результаты приведены в таблице II, где буквы λ и λ_0 имеют прежние значения, W_0 и W обозначают показания ваттметра, в отсутствие экрана и когда он был приставлен к катушке; в столбце же $\frac{W_0 - W}{W_0}$ указана величина энергии, поглощенной экраном в процентах той величины, которая доходила до катушки и в его отсутствие.

Таблица II.

$\lambda_0 = 950$ мт; $W_0 = 13$ дел.

	Экран в положении P_1			Экран в положении P_2		
	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$
Медь	910	5	62%	910	9	31%
Алюминий	910	5	62	910	9	31
Железо	930	1	92	930	3	77

Как при этих, так и при дальнейших измерениях острота настройки была значительно менее, чем при незатухающих колебаниях.

Здесь становится заметной зависимость поглощения энергии от положения экрана, который поглощает значительно больше, когда стоит между катушками. Аналогичные же результаты были получены в этом смысле и Н. И. Полтевым, который для того же железного экрана находил при положениях P_2 и P_1 значения $W = 30$ и 20 при

$W_0 = 55$. Для более толстой пластинки было $W = 28$ и 7 при $W_0 = 45$. Алюминий дал такие значения: $W = 5$ и 15 , а $W_0 = 20$.

В заключение мною была испытана еще станиолевая пластинка, сделанная из листков станиоля, спрессованных вместе. Оказалось, что и этот материал очень близок по свойствам к меди и алюминию и значительно отличен от железа и в результате серии опытов получилось при

$$\lambda = 940 \text{ мт и } W_0 = 13 \text{ дел.}$$

	λ мт	W дел	$\frac{W_0 - W}{W_0}$
для меди	890	6	54%
алюминия	892	7	46
станиоля	902	5,7	56
железа	930	2,1	91

Кроме опытов с затухающими колебаниями, возбуждаемыми по искровому методу, были проделаны измерения того же характера, что и раньше, с колебаниями незатухающими, в надежде получить таким путем более точные результаты. В качестве генератора незатухающих колебаний был применен гетеродин, питаемый током от вторичной обмотки трансформатора, работавшего от городского переменного тока и дававшего 1000 вольт. Расположение опытов для этого случая схематически изображено на чертеже 2 (стр. 69).

Меняя емкость переменного конденсатора C_1 гетеродина, а также подбирая подходящую связь между катушками самоиндукции L_3 и L_6 в цепях сетки и цилиндра катодной лампы оказывалось возможным настраивать генератор на тот или иной период. Возбужденные колебания индуктировали колебания в исследуемой цепи $L_2 L_3 C_2$ при помощи двух катушек самоиндукции L_3 и L_4 , слабо связанных одна с другой, так как расстояние между ними было около 20 см.

Миллиамперметр A в цепи сетки во время опытов показывал около 17-25 миллиампер. Настройка же колебательного контура $L_2 L_3 C_2$ в резонанс с гетеродином производилась при помощи телефона T с детектором D и амперметра A , включенных в колебательный контур. Присутствие этого амперметра позволяло убедиться в том, что явление носило чисто-индуктивный характер, излучение же играло малую роль. В самом деле, всякий раз, когда волномер не был настроен в резонанс с колебательным контуром, энергия последнего бывала значительной (23 деления шкалы), когда же получался резонанс, то энергия контура падала (7—9 делений), что указывало на отсутствие чистого излучения, независящего от внешних факторов.

Порядок измерений был такой. Во первых испытываемая цепь настраивалась на резонанс с гетеродином помощью переменных конденсаторов C_1 и C_2 . Затем помещалась пластинка из данного вещества

в положение P_1 или P_2 , после чего гетеродин опять подстраивался на резонанс с колебательным контуром в котором уже господствовала волна иной длины. Настройка гетеродина на резонанс с колебательной цепью, когда экран бывал приставлен к катушке, производилась лишь изменением емкости конденсатора C_1 , тогда как в контур $L_2 L_3 C_2$ никаких уже изменений не вносилось. В обоих случаях наблюдалась длина волны по волномеру KL_1 , помещавшемуся так же, как и при опытах с затухающими колебаниями, и наблюдались показания ваттметра W , включенного в его цепь. Результаты опытов даны в таблице III.

Таблица III.

	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	λ	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$
Без эк- рана . .	1060	12		1025	16		1020	20		640	6.3	
С железн. экр. . .	1015	3	75	975 _{13.5}	16		975	2	90	625	0.5	92
Без эк- рана . .	1060	18		1015	14					640	7	
С алюм. экр. . .	985	12	33	960	25	— 79?	972 _{8.5}	57		615	4	43
Без эк- рана . .	1052	16		1020	17					640	6.5	
С меди. экр. . .	980	9	44	958	20	— 15?	975	10	50	620	4.8	26

Острота настройки в резонанс при незатухающих колебаниях была несравненно выше, чем при искровом методе возбуждения, и, казалось на первый взгляд, что при таком остром резонансе легко будет установить степень поглощаемости энергии в различных пла-
стинах.

Однако встретилось новое неожиданное препятствие со стороны переменного тока, питавшего трансформатор. Дело в том, что, благодаря неравномерной работе электрической станции, ток, даваемый ею, отличался большим не постоянством. Поэтому, сплошь и рядом, энергия, указываемая ваттметром, начинала резко и неправильно колебаться, делая совершенно невозможным точные измерения. В силу той же причины результаты отдельных наблюдений даже в одной и той же

серии иногда оказывались противоречащими, как, например, во 6-м столбце таблицы III; здесь как будто выходит так, что от присутствия пластинки увеличивается энергия в цепи волномера и энергия экраном не только не поглощается, а откуда-то увеличивается. Однако, если оставить несколько групп наблюдений такого рода, как явно недостоверных, из прочих серий наблюдений выясняется в общем довольно однородная картина того же характера, что и при работе с затухающими волнами.

Именно, наиболее влияют на длину волны медные и алюминиевые экраны, но поглощение энергии в меди и алюминии невелико по сравнению с железом. В таблице IV составлены результаты нескольких серий наблюдений, не стоящих в резком противоречии одно с другим.

Таблица IV.

	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$	W	$\frac{W_0 - W}{W_0}$
С медной пластинкой	7	46%	10	50%	1,	24%	4	18%
С алюмин. "	6	40	11,5	57	3	45	3,5	16
С железной "	9	60	18	90	5,8	88	16	73
" " 0,55 мм.							9,5	43
Основные длины волн	1060 мт.		1020		640		520	
Средние значения W_0	15,3		20		6,6		22	

Явления, наблюдаемые с медным и алюминиевым экранами, довольно близко совпадают и потому установить окончательно, в каком из этих двух металлов поглощение сильнее, невозможно в виду указанных выше причин.

В заключение можно сопоставить, насколько сильно изменение периода колебаний от присутствия экрана в случае затухающих и не затухающих колебаний. Характеризующие эти факты данные, приведены в таблице V, где в нечетных столбцах цифры означают величину

$\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda$ в метрах, в четных же даны отношения $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$ в процентах.

Таблица V.
Незатухающие колебания.

Основная длина волны	490 мт		520		640		1025		1030	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Медь	15	3,1%	23	4,4%	20	3,1%	57	5,6%	72	6,7%
Алюминий	20	4,1	24	4,6	25	4	52	5,1	75	7,1
Железо	10	2	18	3,4	15	2,3	40	3,9	45	4,2
" толстое (0,55)			24,5	4,7	25	4	60	5,8		

Затухающие колебания.

Основная длина волны	504 мт		710		940		960	
	1	2	3	4	5	6	7	8
Медь	64	12,5%	82	11,5%	50	5,3%	88	9,2%
Алюминий	60	11,9	70	9,9	48	5,1	75	7,8
Железо	23	4,5	30	4,2	15	1,6	45	4,7
Станиоль					38	4		

Из всех же полученных результатов таким образом можно считать твердо установленным, что наиболее поглощается энергия в железе, при чем увеличение толщины слоя не оказывает, повидимому, большого влияния.

Немагнитные металлы—медь, алюминий, станиоль в смысле поглощения стоят очень близко один к другому и поглощают слабее, но их влияние на изменение длины волны больше, чем в случае железного экрана.

Нижний Новгород. Радиолaborатория.

Ноябрь. 1919 года.

Работа с вольтовой дугой, как с генератором колебаний для радиотелефонии.

П. Острякова. Ч. РОРИ.

При разработке методов радиотелефонирования в Нижегородской Радиолaborатории имела место работа с генератором незатухающих колебаний, возбуждаемых вольтовой дугой. Началом этой работы было конструирование дугового генератора, к которому были предъявлены нижеперечисленные технические условия:

- 1) наивозможно спокойное горение дуги,
- 2) волна порядка 1000-2000 мет,
- 3) достаточная мощность колебаний при обязательном соблюдении первых двух условий.

Предварительно считаю бесполезным напомнить вкратце сущность возникновения электрических колебаний, возбуждаемых дугой.

Дело в том, что зависимость силы тока от напряжения в дуге не подчиняется закону Ома. Если графически изобразить закон Ома $E = J \cdot R$, то это будет прямая линия (черт. 1 стр. 110). В дуге же напряжение и сила тока связаны выражением

$$E = a + \frac{b}{J},$$

что на чертеже дает кривую линию. Как видно из черт. 2, эта кривая, называемая „характеристикой“ дуги, имеет „падающий“ вид. Падение ее наиболее сильное при слабых токах от 0 до $2\frac{1}{2}$ —3-х ампер, дальнейшее же увеличение тока не вызывает уменьшения напряжения у зажимов дуги.

Падение напряжения при увеличении тока тесно связано со степенью ионизации промежутка между электродами дуги: чем больше ток, тем больше проводимость междуэлектродного пространства, вызванная большим размножением ионов. Токи большие 3-4 ампер ионизируют дугу до степени насыщения и ее сопротивление становится сравнительно постоянным, чему соответствует постоянная разность потенциалов дуги (40-50 вольт).

Дуга способна вызывать колебания только в том месте своей характеристики, где последняя имеет наиболее падающий характер.

На черт. 3 изображена схема дугового генератора, где E — генератор п. тока, R — безиндукционное сопротивление, L_r — реактивная катушка, защищающая генератор от колебательных токов, f — дуга, C и L — емкость и самоиндукция колебательного контура.

Пусть каким-нибудь путем мы поддерживаем в дуге ток oa и напряжение ab (черт. 4). Явление, происходящее в присоединенной к дуге колебательной цепи, начнем рассматривать с момента нулевой фазы тока, после которой начнется зарядка конденсатора по направлению стрелки 1 на черт. 3. Ток в дуге уменьшится (это происходит как бы от того, что через дугу пошел встречный ток, показанный пунктирной стрелкой). На чертежах 4 и 5 (1) ток уменьшился от oa до oa' . Уменьшение тока в дуге вызовет увеличение разности потенциалов у ее зажимов и уменьшение напряжения у R (черт. 3, 4 и 5 (1)) от ab до $a'b'$). Вследствие этого продлится и окончится зарядка конденсатора. По мере приближения заряда к концу ток в колебательной цепи уменьшится, и через дугу пойдет прежний ток—это будет тогда, когда конденсатор окажется заряженным.

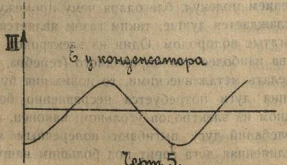
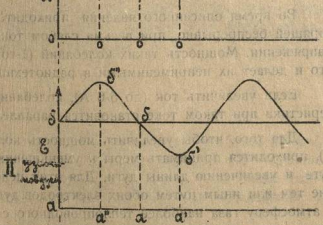
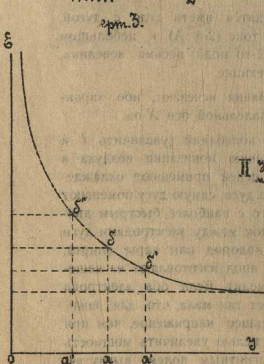
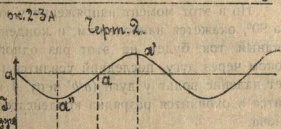
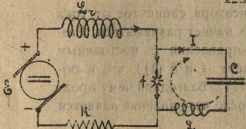
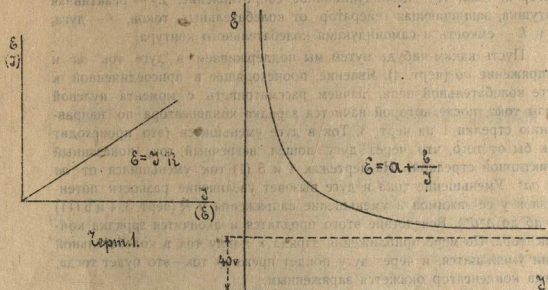
Но в этот момент напряжение у конденсатора, сдвинутое от тока на 90° , окажется наибольшим, и конденсатор начнет разряжаться. Разрядный ток будет на этот раз одного направления с постоянным током через дугу, последний усилится (oa' черт. 4 и 5 (1)), что вызовет падение вольт у дуги ($a'b'$ черт. 4 и 5 (1)), благодаря чему продлится и окончится разрядка конденсатора, после чего явление начнется снова.

Во время описанного явления приходится иметь дело с дугой, горящей непрерывно, при весьма слабом токе (2-3 А) и небольшом напряжении. Мощность таких колебаний (1-го рода) весьма невелика, что и делает их неприменимыми в радиотехнике.

Если увеличить ток (до 5-6 А), колебания исчезают, ибо характеристика при таком токе становится параллельной оси X -ов.

Для того, чтобы увеличить мощность колебаний (увеличить I и E), приходится принимать меры к уменьшению ионизации воздуха в дуге и увеличению длины дуги. Для этих целей применяют охлаждение тем или иным путем обоих электродов дуги, самую дугу помещают в атмосферу газа наиболее теплопроводного с наиболее быстрым движением молекул, благодаря чему промежуток между электродами дуги охлаждается лучше; таким газом является водород или пары спирта, богатые водородом. Один из электродов — анод изготовляют из вещества наиболее теплопроводного (серебра, меди). Если оба электрода сделать металлическими, то ионизация будет так мала, что для зажигания дуги потребуется несравненно большее напряжение, чем при одном из электродов угольном; наконец, с целью увеличить мощность колебаний дугу выгибают поперечным магнитным полем; выгнутая, удлиненная дуга горит под большим напряжением.

Знание Д. А. Острехова



К статье П. А. Острякова.

Пон в колебательном контуре

в колебательном контуре у зажимов конденсатора

у зажимов дуги

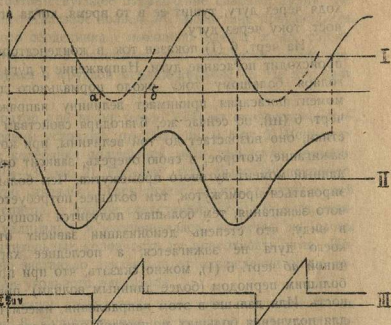
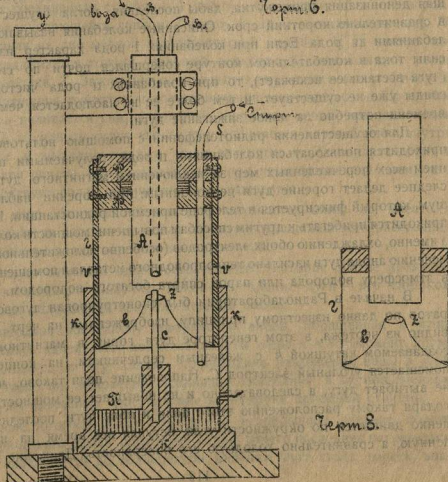


Рис. 6.



Все перечисленные меры приводят к тому, что колебания в конденсаторной цепи достигают такой мощности, что ток этой цепи, проходя через дугу, тушит ее в то время, когда его направление обратно пост. току через дугу.

На черт. 6 (1) показан ток в конденсаторной цепи. В точке *a* происходит погасание дуги. Напряжение у дуги черт. 6 (III) 50 V благодаря большому току около нормального дугового напряжения, в момент погасания принимает величину напряжения у конденсатора черт. 6 (III), но сейчас же, благодаря свойствам падающей характеристики, оно возрастает до той величины, при которой возможно новое зажигание, которое, в свою очередь, зависит от степени ионизации в данный момент дугового промежутка. Чем больше уже успел деионизироваться промежуток, тем большее потребуется напряжение для нового зажигания, тем большая получится мощность колебаний. Имея в виду, что степень деионизации зависит от времени, в течение коего дуга не зажигается, а последнее характеризуется величиной *ab* черт. 6 (1), можно сказать, что при прочих равных условиях большим периодом (более длинным волнам) присуща большая мощность. Идя дальше в этом направлении, имеем право заключить, что для получения больших мощностей при коротких волнах нужна лучшая деионизация промежутка, дабы последняя могла осуществляться в сравнительно короткий срок. Описанные колебания называются колебаниями II рода. Если при колебаниях I рода характер изменения силы тока в колебательном контуре совершался почти по синусоиде (дуга все-таки ее искажает), то при колебаниях II рода чистой синусоиды уже не существует, и тем более ее не наблюдается, чем больше времени требуется на новое зажигание дуги.

Для осуществления радиотелефонии с помощью вольтовой дуги приходится пользоваться колебаниями II рода, получаемыми применением всех перечисленных мер за исключением магнитного дутья. Последнее делает горение дуги беспокойным: при горении наблюдается шум, который фиксируется в телефоне приемной радиостанции. Поэтому приходится прибегать к другим способам повышения мощности колебаний, а именно, охлаждению обоих электродов (особенно положительного), применению анода дуги из сильно теплопроводного металла и помещению дуги в атмосферу водорода или паров спирта богатого водородом.

В начале в Радиолaborатории был сконструирован дуговой генератор по давно известному принципу, изображенный на черт. 7. Как видно из чертежа, в этом генераторе дуга горит в магнитном поле, создаваемом катушкой *k* с железным сердечником, на конце коего помещается угольный электрод *C*. Направление поля таково, что оно не выгибает дугу, а следовательно и не повышает ее мощность. Благодаря такому расположению этого поля и поля дуги, последняя медленно двигается по окружности угля, вступая все время на нераскаленную, а сравнительно холодную его поверхность. Движение дуги по

окружности угля исключает необходимость вращать угольный электрод. Дабы создать соответствующее направление силовых линий катушки, на анод *А* одето железное кольцо *Ж*. Зажигание производится ввинчиванием железного сердечника с помощью рычага *х* до соприкосновения угля с анодом *А*. У основания угля находится электрическая печька *Г*, помещенная в круглой медной коробке *П*. На эту печь капает спирт.

Описанный генератор при волне около 2000 мт оказался неудовлетворяющим техническим условиям, предъявленным ему: 1) Мощность была очень невелика; колебания получались лишь при силе постоянного тока не более $2\frac{1}{2}$ —3 амп. 2) Горение дуги было беспокойное. Первое обстоятельство являлось следствием неудовлетворительной деионизации парами спирта, а второе следствием того, что дуга, двигаясь по краю угля, удлинялась и укорачивалась, встречая на своем пути хотя бы и незначительные неровности на поверхности угля. Последнее обстоятельство заставило отказаться от охлаждения угля путем вращения дуги или угольного электрода.

После нескольких типов генераторов пришлось остановиться на изображенном на черт. 8. Существенную часть этого генератора составляет соединенная с анодом *А* муфта *г* с припаянной к ней воронкой *в*, оканчивающейся соплом *З* (черт. 8 *а*), и электрическая печь *П*, помещенная на дне медной цилиндрической коробки *к*, из центра которой поднимается тонкий угольный электрод *С*, проходящий через сопло воронки *З*. Зажигание производится опусканием анода *А* посредством вращения рукоятки *у* до соприкосновения электродов. По трубке *С* внутрь наливается спирт, который энергично кипит под действием печки *П*, и сильная струя его пара устремляется через сопло *з* внутри муфты *г* и выходит наружу через отверстие *в*. Здесь дуга горит в струе пара спирта, протекающего уже под некоторым давлением, что и способствует более совершенному охлаждению.

По мере обгорания угля анод *А* опускается вниз, но вместе с ним опускается воронка *в*, чем и достигается неизменность расстояния между концом сопла воронки и концом угля.

Следует отметить одно обстоятельство, которое долгое время не давало возможности получить покойное горение дуги — это слишком энергичное охлаждение изнутри медного анода.

Благодаря последнему поверхность анода, обращенная к углю, покрывалась капельками конденсационной воды и в тот момент, когда дуга попадала в эту каплю, происходило разложение воды в этой капле, газы на мгновение усиливали колебания и их повышенные амплитуды оказывали свое влияние в телефоне приемной станции.

После того, как было прекращено непрерывное питание полого цилиндрического анода проточной водой, отчего последняя нагревалась внутри анода почти до температуры кипения, дуга стала гореть зна-

К. Е. Мамеев, И. А. Петрякова

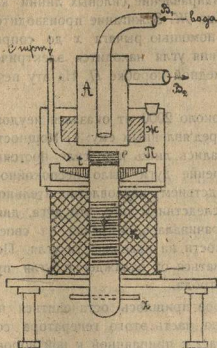


Рис. 7.

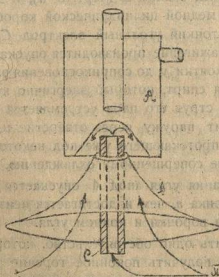


Рис. 10.

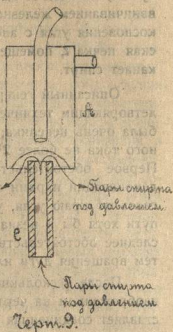


Рис. 9.

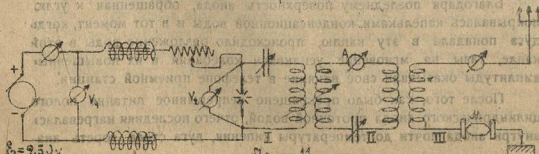


Рис. 11.

чительно спокойнее, что сейчас же констатировалось амперметром А контура II черт. 11.

Мощность колебаний увеличилась, благодаря повысившемуся вследствие улучшившейся деионизации потенциалу зажигания дуги. Амплитуды тока в колебательном контуре возросли и колебания II-го рода имели место при 5-6 амперах постоянного тока через дугу.

Описанный опыт дает право предполагать, что если идти далее в направлении улучшения поступления в дугу деионирующего газа применением конструкций, указанных на черт. 9 и 10, то можно еще более увеличить амплитуду незатухающих колебаний. На черт. 9 уголь предполагается полый внутри, и пары спирта под давлением проходят внутри угля, как по трубе; по выходе из угля и ударившись в вогнутую поверхность анода, пары должны пересечь дугу и тем сильно ее деионизировать.

На черт. 10 указана та же конструкция, но с добавлением воронки в, по которой пары спирта обтекают уголь снаружи его.

Собственно радиотелефонирование производилось по довольно обычной схеме (черт. 11), где промежуточный контур II играет роль фильтра, передавая в антенну III колебания довольно постоянные по своему периоду, в то время, как в контуре I период непостоянен, ибо при возбуждении колебаний дугой, он зависит не только от L и C контура, но и от режима самой дуги.

Вся описанная работа, имевшая довольно длительный характер, дала возможность придти к, может быть, и ошибочному, но во всяком случае довольно твердому заключению о непригодности дуги, как генератора колебаний для радиотелефонии, и заставила обратиться к другим источникам незатухающих электрических волн — к машинам высокой частоты и к катодным реле большой мощности.

Н. Новгород. Радиолaborатория.
Январь-Май 1919 г.

Катодные реле большой мощности.

М. А. Бонч-Бруевича. Ч. РОРИ.

§ 1.

Катодные реле малой мощности уже настолько вошли в практику радиотелеграфа в виде усилителей, гетеродинов и проч., что в настоящее время ни одна благоустроенная радиостанция не может обходиться без них. Этого совершенно нельзя сказать о катодных реле большой мощности, которые в России не применяются вовсе; относительно за-границы на основании тех отрывочных сведений, которыми мы располагаем, можно сказать только, что они уже начинают находить себе применение, хотя пока еще не широкое. В русской литературе об этих реле упоминается только вскользь. Сколько мне известно, в России наиболее мощными были: $\frac{1}{2}$ киловаттные реле типа Раунда, с которыми производились опыты на заводе РОБТИТ во время Европейской войны, $\frac{1}{2}$ киловаттные реле Американского изготовления, имевшиеся на Радиозаводе Морского Ведомства¹⁾. Между тем несомненно, что приборы этого рода будут со временем играть весьма важную роль в радиотехнике вообще и в особенности в радиотелефонии, как усилители большой мощности и как возбудители незатухающих колебаний. В последнем отношении благодаря возможности изменять длину волны в произвольно широких пределах, а также благодаря своей портативности, генераторы незатухающих колебаний с катодным реле явятся серьезными конкурентами как для машин большой частоты, так особенно для колебательных дуг.

Разработка этих приборов является таким образом очередной задачей радиотехники. Эта статья заключает в себе некоторые соображения о катодных реле большой мощности и описание результатов, полученных уже в этом направлении в Нижегородской Радиолaborатории.

§ 2.

Катодные реле большой мощности могут быть подразделены на два типа: газовые (с частой решеткой) и пустотные (с редкой решет-

¹⁾ Кажется, никакого описания этих двух реле или опытов с ними в нашей литературе не было. Цифры привожу по памяти.

кой). Первый характеризуется тем, что катод совершенно экранирован решеткой от поля, создаваемого анодом; ток в цепи анода образуется за счет ионизации газа в пространстве между анодом и решеткой, начало же этой ионизации дается электронами, прошедшими сквозь решетку от накаливаемого катода. Второй тип характеризуется тем, что ток на анод образуется исключительно катодным потоком, излученным накаливаемым катодом, и никакого увеличения этого тока за счет ионизации газа нет. Поле анода непосредственно влияет на катод. Промежуточный тип реле (с несовершенной пустотой), который дает хорошие результаты в цепях малой мощности, здесь вероятно не может быть рационально применен, так как при высоких напряжениях в цепи анода, с которыми здесь приходится иметь дело, катод должен весьма быстро распыляться от бомбардировки положительными ионами.

Пустотное реле может быть рассматриваемо, как система, состоящая из накаливаемого катода и двух анодов, из которых одним является собственно анод, а другим — решетка. Это представление, как было уже показано для реле малой мощности¹⁾, приводит к возможности рассчитать характеристики реле по его конструктивным данным. Совершенно тождественный расчет может быть выполнен и для реле большой мощности, и таким образом характеристике его могут быть более или менее приданы желаемые свойства.

Что касается газового реле, то оно может рассматриваться, как разрядник с разреженным газом, электродами которого являются — с одной стороны решетка, с другой — анод, при чем степень разрежения в нем, форма, размеры и расстояния электродов таковы, что рабочего напряжения, приложенного к электродам, недостаточно ни для наступления разряда, ни для его поддержания. Разряд наступает, если сквозь решетку пройдут ионы, необходимые для его возникновения. Он прекращается, когда прекращается приток этих ионов. Интенсивность его в известных пределах регулируется числом ионов, прошедших сквозь решетку.

Можно указать следующие общие свойства газовых реле:

- 1) Характеристика становится тем круче и максимальный ток тем больше, чем больше давление газа в баллоне реле.
- 2) С увеличением давления газа решетку надо делать гуще. Для каждой густоты решетки (при неизменных расстояниях между электродами) существует некоторый интервал давления, в районе которого реле действует. Если давление меньше известного минимума, то реле становится „жестким“ и перестает действовать; если давление больше некоторого максимума, то сначала работа реле становится неустойчивой и капризной, а затем наступает явление, поясняемое черт. I (стр. 124):

¹⁾ М. А. Бонч-Бруевич. „Основания технического расчета пустотных катодных реле малой мощности“. — „Радиотехник“ стр. 220—241. 1919 г. В дальнейшем предполагаю, что читателю знакомо содержание этой статьи.

при возрастании потенциала решетки ток в цепи анода возрастает сначала постепенно до некоторого значения потенциала решетки V ; затем он внезапно значительно возрастает, и газ в баллоне реле начинает сильно светиться. При уменьшении потенциала решетки величина тока сначала остается все время большой, затем при некотором потенциале V_1 делает скачек вниз, после чего, при дальнейшем уменьшении потенциала решетки, уменьшается постепенно. На черт. 1 кривая *OBFC* показывает изменение тока при увеличении потенциала решетки и кривая *CADO*—при уменьшении его.

3) Катод вообще лучше располагать ближе к решетке. Удаление как катода, так и анода от решетки приводит отчасти к тем же результатам, что и уменьшение отверстий решетки. Поверхность анода должна быть возможно большая. Реле работает не регулярно, если эта поверхность мала.

4) Природа газа оказывает существенное влияние на характеристику. Из некоторых наблюдений я мог заключить, что при той же решетке требуется большее давление в случае газа с меньшим молекулярным весом.

Известно также, что распыление катода сильно происходит в водороде и наоборот, оно очень невелико в азоте и особенно в аргоне.

5) С увеличением напряжения в цепи анода характеристика сначала поднимается всеми своими точками, но затем, за некоторым пределом, увеличение напряжения наоборот понижает ее, т. е. ток в цепи анода уменьшается. Это особенно резко сказывается при малых давлениях и может быть объяснено вероятно тем, что, при увеличении скорости электронов, число столкновений их с молекулами газа уменьшается, так что ионизация делается более слабой.

6) Процесс ионизации вообще требует некоторого промежутка времени; в газовых реле это сказывается, между прочим, увеличением периода колебаний генератора незатухающих колебаний против пустотных реле, которое тем значительнее, чем больше давление газа. Весьма вероятно, что динамическая характеристика газового реле сильно отличается от статической. Можно думать, например, что, когда потенциал решетки изменяется с большой частотой, то ток в каждое мгновение не успевает принимать того своего значения, которое определяется статической характеристикой.

§ 3.

В катодных реле малой мощности интерес сосредоточивается главным образом на величине коэффициента усиления.

$$a = IR \frac{dI}{de} \quad (1)$$

где I и R —ток и внешнее сопротивление в цепи анода; e —потенциал решетки.

Абсолютная величина мощности в приемных цепях вообще очень невелика, вследствие чего и коэффициент полезного действия прибора не играет никакой роли.

В катодных реле большой мощности наоборот:—коэффициент усиления интересен только в специальных случаях; наиболее же общими вопросами являются мощность и полезная отдача реле. Вследствии этого и характеристикам этих реле должны быть предъявлены иные требования, чем это имело место в реле малой мощности.

В отношении конструкции в реле большой мощности прежде всего приходится сталкиваться со значительным количеством тепла, выделяемого в самом приборе; далее применение больших напряжений (почти неизбежное здесь) делает условия работы волоска катода особенно тяжелыми, так как он подвергается и механическому разрушению электрическим полем, и интенсивному распылению вследствие бомбардировки положительными ионами, которое наступает при малейших следах газа в пустотном реле, или при недостаточно частой решетке—в газовом. В газовом реле распылению кроме того подвергается и решетка.

Что касается тепла, то в пустотном реле в случае полного отсутствия газа источниками его является, во-первых—мощность, расходуемая на накал волоска, во-вторых—мощность, развиваемая катодным потоком под влиянием поля анода, и в третьих—мощность, развиваемая катодным потоком под влиянием поля решетки.

Первую из них w_1 можно считать равной примерно 200—300 ватт на 1 ампер термоионного тока (т. е. тока в цепи анода); она рассеивается, нагревая внутренние части прибора и стенки баллона.

Вторая равна

$$w_2 = \frac{I}{T} \int_0^T E \, dt, \quad (2)$$

где E —напряжение между катодом и анодом, I —ток в цепи анода и T —время одного периода. Она почти целиком превращается в тепло у поверхности анода, где электроны при столкновении с анодом теряют свою живую силу. Незначительная часть электронов отражается от анода; их энергия превращается в тепло и в различные радиации на стенках баллона. Наконец третья мощность, идущая на нагревание решетки, равна

$$w_3 = \frac{I}{T} \int_0^T e \, i \, dt, \quad (3)$$

где e —потенциал решетки относительно катода; i —термоионный ток,

поглощаемый решеткой; T —время одного периода. Если решетка остается все время отрицательной, то $i=0$, и следовательно и $w_3=0$.

Эти три мощности, являясь источником необратимых потерь, уменьшают коэффициент полезного действия прибора и заставляют усложнять его конструкцию приспособлениями для отвода тепла. Мощность w_2 вообще зависит, как увидим ниже, от режима реле, но прибор должен быть рассчитан также и на тот случай, когда вся мощность цепи превращается в тепло в самом реле. Отсюда понятна необходимость интенсивного охлаждения анода, в котором это тепло выделяется. Мощностью w_3 тратится только в те моменты, когда решетка положительна; желательно поэтому, чтобы характеристика по возможности вся лежала в области отрицательных потенциалов решетки.

В газовом реле источниками тепла являются: мощность, идущая на накал катода, которая вообще невелика, так как термоионный ток получается за счет ионизации газа; далее, мощность, идущая на ионизацию газа и нагревание электродов, которая также может быть выражена формулой (2).

Она рассеивается, нагревая электроды и стенки баллона, так что охлаждение здесь осуществить весьма трудно; поэтому нормальный режим этого реле должен быть таким, чтобы тепловые потери в нем не были велики; против же перегрузки должны быть приняты какие-либо предохранительные меры, хотя бы ценою некоторых постоянных потерь, как это сделано, например, в генераторе (малой мощности) Раунда, где в цепь анода введено сопротивление, шентированное емкостью.

§ 4.

Выясним теперь, отчего зависит мощность и полезное действие в цепях катодных реле.

Прежде всего заметим, что реле представляет собою прибор, регулирующий силу тока, и так как при этом оно превращает электрическую энергию целиком в тепло, то его действие можно рассматривать, как действие омического сопротивления, включенного последовательно с источником тока; при положительной решетке сопротивление уменьшается, при отрицательной увеличивается.

В дальнейшем мы будем согласно с этим представлением понимать под „сопротивлением“ реле величину

$$\frac{E}{I} = R = r(e, E).$$

где E —напряжение, приложенное к аноду, I —ток в его цепи, а e — потенциал решетки.

Далее для удобства рассмотрения вопроса будем считать, что решетка получает изменение своего потенциала от какого либо внеш-

него источника переменного напряжения, и согласно с предыдущим самое реле будем считать переменным омическим сопротивлением. Цепь регулируемого реле можно представить в следующем виде (черт. 2): батарея с электродвижущей силой E питает цепь, состоящую 1) из сопротивления, изменяющегося в пределах от R_1 до R_2 . (это сопротивление и заменяет в схеме катодное реле), 2) из сопротивления r , в котором выделяется полезная мощность; это сопротивление шентировано катушкой L с очень большим коэффициентом самоиндукции и с омическим сопротивлением равным нулю.

Периодическое изменение сопротивления в пределах $R_1 - R_2$ вызывает периодическое изменение силы тока в пределах $I_1 - I_2$. Этот ток будет иметь характер пульсирующего (черт. 3) и всегда может быть представлен, как сумма двух токов: постоянного I_0 и переменного i , для которого линия AB будет осью абсцисс. Постоянный ток будет совершать работу в сопротивлениях R_1 и R_2 , переменный — кроме того еще и в сопротивлении r , и эта последняя работа и является, по определению, полезной работой. Благодаря описанному устройству схемы, постоянный ток направляется весь через катушку L , омическое сопротивление которой равно нулю, переменный же весь идет через r . Задача, которую мы себе сейчас ставим, заключается в том, чтобы найти зависимость как полной, так и полезной мощности от величины R_1 , R_2 , r , E , а также и от вида тех кривых, по которым изменяется сила тока.

Совершенно очевидно, что раз по сопротивлению r проходит только переменный ток (а это в условиях схемы черт. 2 неизбежно), то средне-арифметическая величина этого тока равна нулю, независимо от его формы; но мы сделаем в отношении последней еще следующее ограничение: будем рассматривать только такие формы периодических кривых, у которых 1) весь цикл изменения совершается в течение одного периода, то есть двух полупериодов переменного тока, 2) время положительного полупериода, его амплитуда и средне-квадратическая величина тока соответственно равны времени, амплитуде и среднему квадратическому току отрицательного полупериода.

При этих условиях полная мощность во всей цепи будет

$$w = E \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right) \quad (4)$$

амплитуда переменного тока

$$i_{\max} = \frac{I_1 - I_2}{2}, \quad (5)$$

а полезная мощность:

$$W = k^2 r \left(\frac{I_1 - I_2}{2} \right)^2, \quad (6)$$

где k — коэффициент, зависящий от формы кривой тока.

По закону Кирхгофа можем написать для момента, когда переменное сопротивление примет свою минимальную величину (т. е. R_1) и ток станет максимальным (т. е. I_1)

$$E = R_1 I_1 + \left(\frac{I_1 - I_2}{2} \right) r. \quad (7)$$

Для момента же, когда сопротивление достигает максимальной величины (т. е. R_2)

$$E = R_2 I_2 - \left(\frac{I_1 - I_2}{2} \right) r. \quad (8)$$

Знак минус пишем потому, что в сопротивлении r ток в этот момент имеет обратное направление.

Из этих уравнений имеем

$$I_1 = E \frac{R_2 + r}{R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2}}, \quad (9)$$

$$I_2 = E \frac{R_1 + r}{R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2}}. \quad (10)$$

Величины R_1 и R_2 могут иметь вообще любые значения при условии, что $R_1 < R_2$; предельные их значения это $R_1 = 0$ и $R_2 = \infty$. Для первого случая

$$I_1 = E \frac{2(R_2 + r)}{R_2 r} \quad \text{и} \quad I_2 = E \frac{2}{R_2};$$

для второго случая

$$I_1 = E \frac{1}{R_1 + \frac{r}{2}} \quad \text{и} \quad I_2 = 0.$$

Подставляя в (7) и (8) найденные значения токов, имеем: мощность во всей цепи

$$w = \frac{E^2}{2} \left(\frac{R_1 + R_2 + 2r}{R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2}} \right); \quad (11)$$

полезная мощность

$$W = \frac{k^2 E^2}{2} \frac{(R_2 - R_1) \frac{r}{2}}{(R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2})^2}; \quad (12)$$

отсюда коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{W}{w} = k^2 \frac{(R_2 - R_1) \frac{r}{2}}{(R_2 + R_1 + 2r) (R_1 R_2 + R_2 \frac{r}{2} + R_1 \frac{r}{2})}; \quad (13)$$

при $R_1 = 0$

$$w = \frac{E^2 (R_2 + 2r)}{R_2 r}; \quad W = \frac{k^2 E^2}{r}; \quad \eta = \frac{k^2 R_2}{R_2 + 2r}$$

при $R_2 = \infty$

$$w = \frac{E^2}{2 (R_1 + \frac{r}{2})}; \quad W = \frac{k^2 E^2 r}{4 (R_2 + \frac{r}{2})^2}; \quad \eta = \frac{k^2 \frac{r}{2}}{R_1 + \frac{r}{2}}. \quad (14)$$

Таким образом выражаются три главнейшие величины: полная мощность, полезная мощность и коэффициент полезного действия в зависимости от сопротивлений R_1 , R_2 и r и коэффициента формы k . Дифференцируя уравнение (11) имеем

$$\frac{dw}{dr} = - \frac{E^2 (R_1 + R_2)^2}{2 (R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2})^2}; \quad (15)$$

Из статьи М. А. Союз-Борзевина:
 Катодные реле большой мощности.

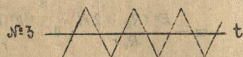
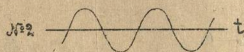
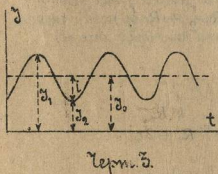
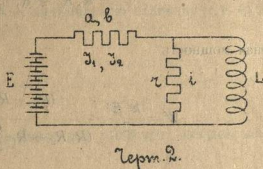
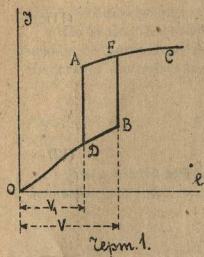
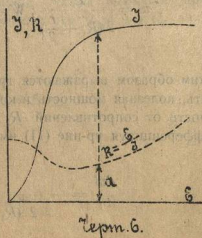
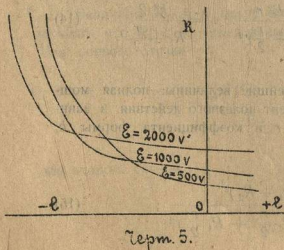
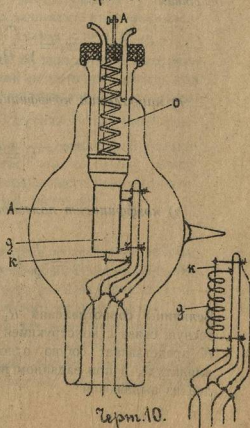
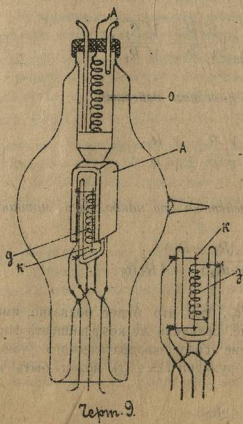
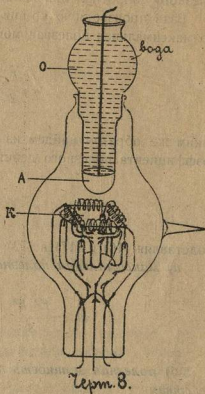
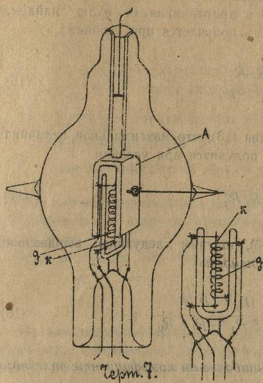


Рис. 4.



Из статьи И. А. Бонч-Бруевича:

Вакуумные реле большой мощности.



так как $\frac{dw}{dr}$ всегда отрицательно, то, следовательно, с увеличением полезного сопротивления полная мощность уменьшается.

Взяв производную ур-ния (12) и приравнявая ее нулю, найдем, что максимальная полезная мощность получается при условии

$$\frac{r}{2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (16)$$

Таким же образом найдем из ур-ния (13), что максимальная величина коэффициента полезного действия получится при условии

$$r = \sqrt{R_1 R_2} \quad (17)$$

Подставляя (16) и (17) в (12) и (13), получим следующие выражения:

а) максимальная полезная мощность

$$w_1 = \frac{E^2 k^2}{8} \cdot \frac{(R_2 - R_1)^2}{R_2^2 R_1 + R_1^2 R_2} ; \quad (18)$$

б) полезная мощность при наибольшем коэффициенте полезного действия

$$w_2 = \frac{E^2 k^2}{\sqrt{R_1 R_2}} \left[\frac{\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2} + \sqrt{R_1}} \right] ; \quad (19)$$

в) наибольший коэффициент полезного действия

$$\eta_1 = k^2 \left[\frac{\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2} + \sqrt{R_1}} \right] ; \quad (20)$$

г) коэффициент полезного действия при наибольшей мощности

$$\eta_2 = \frac{I}{2} k^2 \frac{(R_2 - R_1)^2}{(R_1 + R_2)^2 + 4 R_1 R_2} \quad (21)$$

Величины сопротивлений R_1 и R_2 , как это будет показано, имеют тесную связь с конструкцией реле. Величина же коэффициента формы K представляет собою отношение средне-квадратического тока к амплитуде, и при заданном виде функции $i = \varphi(t)$, может быть найден из выражения

$$k^2 = \frac{1}{T I_0^2} \int_0^T i^2 dt, \quad (22)$$

где I_0 — амплитуда.

Для трех наиболее характерных кривых изменений тока, приведенных на черт. 4, k^2 имеет следующие значения:

для коробчатой ломанной (№ 1) $k^2 = 1$,

для синусоиды (№ 2) $k^2 = \frac{1}{2}$,

для зигзагообразной ломанной $k^2 = \frac{1}{3}$.

Выясненные соотношения указывают прежде всего на то значение, которое имеют величины минимального и максимального сопротивления реле.

Нетрудно видеть, что наимыгоднейшим случаем является такой:

$$R_1 = 0; R_2 = \infty.$$

При максимальной мощности, которая может быть получена от данного реле, коэффициент его полезного действия меньше максимального. В частности, при $R_1 = 0$, как это можно видеть из ур-ния (20) и (21), он уменьшается вдвое. Поэтому целесообразнее рассчитывать реле, принимая во внимание полезную мощность при максимальном коэффициенте полезного действия, т. е. считая $r = \sqrt{R_1 R_2}$.

Заметим также, что, даже не принимая во внимание целого ряда других потерь кроме потери в сопротивлении реле (в цепи анода), при непосредственном получении синусоидального тока отдача реле не может быть больше 50%, так как $k^2 = \frac{1}{2}$. Практически же, имея в виду потери на накал волоска и проч., она вряд ли может быть больше 40%. Наиболее выгодный случай работы реле — это, когда оно действует на подобие ключа, замыкающего и размыкающего цепь мгновенно, и давая не синусоиду, а ломанную линию (черт. 4).

§ 5.

Сопротивление реле может быть определено из опыта различным путем. Например, по характеристикам, показывающим зависимость тока в цепи анода от потенциала решетки, могут быть вычерчены кривые „сопротивления“ в зависимости от того же потенциала решетки. Характер таких кривых, начерченных для различных напряжений в цепи анода, показан, например, на черт. 5. Однако изложенный выше метод позволяет ограничиться знанием только максимальной (R_2) и минимальной (R_1) величины сопротивления, что может быть

достигнуто и другим путем. Первая из них относится к наиболее отрицательному, а вторая к наиболее положительному потенциалу решетки.

Относительно пустотных реле можно сказать следующее: если предполагать, что амплитуда в цепи решетки не задана заранее, и, что при работе реле отрицательный потенциал решетки может быть произвольно велик, то R_2 может быть сделано также произвольно большим независимо от конструкции. Наоборот, задавать решетке большой положительный потенциал всегда нежелательно, так как ток в цепи решетки ведет к напрасным потерям. Лучше всего поэтому относить R_1 к нулевому потенциалу решетки.

Определение величины R_1 может быть сделано таким образом: задав решетке нулевой потенциал и накалив катод до нормального накала, увеличиваем напряжение в цепи анода и наблюдаем ток в этой цепи. Как известно, кривая тока получит при этом вид сплошной линии черт. 6; из нее нетрудно получить кривую сопротивления R , показанную на чертеже 5 пунктиром.

Сопротивление R_1 будет представлять собою частное значение переменного $R = \Theta(E)$. Рациональнее всего принимать за R_1 ту величину R , которую оно имеет при напряжении, соответствующем току насыщения (см. черт. 6); при меньших напряжениях ток в цепи анода меньше и, следовательно, при работе реле на правильно рассчитанную цепь потребуются накал волоска менее нормального, но за то и мощность будет соответственно меньше.

Наоборот, при большем напряжении реле сможет развить большую мощность, но потребуются перекаливать волосок; при нормальном же накале потери в самом реле возрастут вследствие того, что напряжение у его зажимов в момент максимума тока будет больше необходимого для тока насыщения.

На основании сказанного ранее о пустотных реле малой мощности, кривая тока на анод при потенциале решетки равном нулю в простейшем случае может быть выражена так:

$$I = \frac{1}{2} f \left(\frac{CE}{s} \right), \quad (23)$$

где $\frac{1}{2}$ — коэффициент, зависящий от формы и размеров волоска, C — емкость анода относительно волоска и s — поверхность волоска.

Поэтому, если E_1 есть то значение напряжения, которое соответствует току насыщения, то минимальное сопротивление реле

$$R_1 = \frac{E_1}{\frac{1}{2} f \left(\frac{CE_1}{s} \right)}, \quad (24)$$

Это уравнение связывает R_1 с конструктивными данными реле: R_1 уменьшается от приближения анода к волоску, от увеличения отверстий решетки, от увеличения длины волоска, и, при неизменной поверхности волоска, от уменьшения его диаметра.

Так как

$$I_1 = E \frac{R_2 + r}{R_1 R_2 + R_1 \frac{r}{2} + R_2 \frac{r}{2}} \quad (9)$$

то при

$$r = \sqrt{R_1 R_2} \quad (17)$$

Только одна из трех величин: R_1 , E или r может быть выбрана независимо; две же другие уже определяются уравнениями (9) и (17); и то только в том случае, если полезная мощность также не задана заранее; иначе сюда присоединяется еще уравнение

$$W = \frac{E^2 k^2}{\sqrt{R_1 R_2}} \left[\frac{\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2} + \sqrt{R_1}} \right] \quad (19)$$

и следовательно, все величины становятся определенными. Таким образом в большинстве случаев R_2 можно считать заданным; определив из уравнения (10) ток I_2 , и помножив его на R_2 , получим напряжение E_2 у зажимов реле в тот момент, когда ток принимает значение I_2 . Приложив к реле это напряжение, можно найти из опыта тот отрицательный потенциал V решетки, при котором ток в цепи анода равен I_2 ; это и определяет амплитуду $\frac{V}{2}$, необходимую для изменения сопротивления реле в границах от R_1 до R_2 .

Если наоборот амплитуда заранее задана, то можно соответственно подобрать конструкцию реле, имея ввиду, что

$$R_2 = \frac{E_2}{I_2} = \frac{E_2}{CV \left(\frac{1}{s} + \frac{C_1 E_2}{s} \right)} \quad (25)$$

где C — емкость решетки, C_1 — емкость анода относительно волоска, E_2 — напряжение у зажимов реле, а V — абсолютная величина потенциала решетки.

В этом уравнении все величины кроме емкости решетки должны рассматриваться, как постоянные, так как они связаны предыдущими уравнениями, в том числе и уравнением (24). Увеличивая емкость решетки, мы будем увеличивать сопротивление реле при данном отрицательном потенциале решетки; таким путем величина Y_0 может быть подобрана любой. Необходимо заметить, что для сохранения той же величины емкости анода, последний придется приближать к катоду по мере уменьшения отверстий решетки, чтобы парализовать ее экранирующее действие.

В газовых реле обычно $Y_1 = \infty$, так как минимальный ток равен нулю. Величина же Y_1 может быть определена способом аналогичным описанному; она уменьшается с увеличением давления газа в баллоне реле, и с увеличением размеров электродов реле.

Таким образом изложенные соображения дают руководящую нить для конструкции реле большой мощности. К ним могут быть присоединены еще некоторые общие положения из цитированной выше статьи о реле малой мощности, а также данные для расчета катода, указанные в статье о катодных выпрямителях, напечатанной в настоящем сборнике.

§ 6.

Разработка реле большой мощности в Нижегородской Радиолaborатории ведется около трех месяцев; она касалась пока исключительно пустотных реле, и результаты, которые до сих пор достигнуты, должны считаться предварительными; в этом смысле я их и опубликовываю.

Черт. 7 изображает реле, предназначенное главным образом для измерительных целей.

Колебательная мощность, которая может быть получена при помощи него в омическом сопротивлении, связанном при помощи катушки связи с гетеродином — около 20 ватт¹⁾. Напряжение в цепи анода — 800 вольт; отдача около 20%.

На черт. 8 показано реле, назначенное для опытов по радиотелефону; оно возбуждает колебания в первичной цепи радиотелеграфного передатчика. Полезная мощность его около 40 ватт. Напряжение в цепи анода 800 вольт; отдача 20—25%. Как видно из чертежа, анод охлаждается водой; он представляет собою платиновый колпачек припаянный к стеклянной трубке; контакт с ним устанавливается при помощи проволоки, опущенной в наполненную водой воронку, для которой анод является дном.

При нормальном режиме, когда в генераторе, питаемом реле, имеются колебания, и он нагружен при помощи катушки связи какой-либо цепью, потребляющей энергию, вода в воронке становится теплой. При прекращении колебаний или при отсутствии нагрузки — она начинает кипеть.

¹⁾ Для сравнения можно указать, что мощность, которую дает катодное реле малой мощности в гетеродине, служащем для приемных целей, не превосходит 0,1 ватта.

Следующий тип, показанный на черт. 9 имеет охлаждение проточной водой. Анод — медный никелированный, припаян к платиновому колпачку, охлаждаемому водой; решетка — молибденовая. Полезная мощность здесь при работе в гетеродине около 100 ватт при откладе около 30%. Напряжение в цепи анода 1200 вольт. Он предназначен для применения в качестве усилителя в цепи радиотелефонного передатчика.

Черт. 10 изображает наиболее мощное реле, которое мне удалось до сих пор построить. Анод его имеет вид цилиндра, он сделан из красной меди и никелирован. Этот цилиндр верхней своей частью припаян к платиновому колпачку, который очень интенсивно охлаждается проточной водой.

Гетеродин, в котором испытывалось это реле, имел более или менее обычную схему и отличался только своими размерами и изоляцией различных частей схемы. Напряжение в цепи анода доводилось до 10.000 вольт; оно получалось трансформированием и выпрямлением, при помощи катодных выпрямителей, 1000 периодного переменного тока.

Решетке необходимо было задать начальный отрицательный потенциал порядка 500 вольт. Это достигалось при помощи батареи миниатюрных аккумуляторов, состоявших из стеклянных стаканчиков с опущенными в них свинцовыми пластинками; при колебаниях эти аккумуляторы заряжаются сами собой вследствие того, что ток в цепи решетки имеет направление от волоска к решетке. Нагрузка связывалась с гетеродином индуктивно и состояла из 20 угольных 25 свечных 220 вольтных ламп. С этим реле я получал в нагрузочной цепи до 950 ватт (190 вольт—5 ампер) почти независимо от длины волны, которую я изменял в пределах от 1500 до 8000 метров. Откладе всей цепи (включая трансформаторы и выпрямители) была около 33%.

Эта мощность уже представляет интерес для радиотелеграфной передачи особенно потому, что реле могут включаться в любом количестве параллельно. Вероятно для стеклянных конструкций она является почти предельной.

В последнее время я перешел к испытанию металлических реле, делая анод в виде металлической закрытой трубы, которая вместе с тем служит и баллоном реле. Главная трудность такой конструкции заключается в устройстве соединения металлической трубы со стеклянной ножкой, несущей волосок и решетку.

Предварительные опыты показали, что принципиально такая конструкция вполне возможна, и после ряда неудач удалось построить пробные экземпляры такого реле и такого же катодного выпрямителя, однако пока еще этот вопрос далеко не является решенным.

Нижегородская Радиолaborатория.

Сентябрь—Декабрь 1919 г.

ИСПРАВЛЕНИЯ:

„Титбн“ № 5 стр. 8 на строке 3 св. должно быть:

$$a = 2 E_1 - E_2 = 2. 30000 - 50000 = 10000.$$



Корректуру держал В. Н. Листов.

Чертежи исполнены К. Т. Гурьевым и отпечатаны в литографии б. Федотова.

Печатание „Титбн“ № 6 закончено 28 января 1920 г.

Редактор: В. ЛЕБЕДИНСКИЙ.