

Из текущей литературы.

Термоэлектронная лампа, как физический прибор.

Присущие термоэлектронной лампе (иначе—усилительная лампа, «катодное реле», триод) свойства, а именно—ее усилительная и детектирующая способность, ее выпрямительное действие и, наконец, ее способность генерации незатухающих колебаний, делают эту лампу чрезвычайно ценным физическим прибором. В настоящем мы даем краткий (и не вполне исчерпывающий) обзор основанных на применении такой лампы физических измерительных методов и произведенных с ее помощью физических исследований. Подробности относительно самой лампы, а также относительно усилителей и генераторов может найти в ^{1), 2) и 3)}. В дальнейшем изложении имеется в виду почти исключительно малая лампа, применяющаяся для приема радиосигналов.

Наиболее употребительное расположение трех существенных частей лампы (анода, горячего катода и «сетки», т. е. сетчатого или решетчатого электрода, изменение потенциала которого относительно катода регулирует термоэлектронный поток с катода на анод) таково, что накаленная прямолинейная «нить» (катод) окружена цилиндрической «сеткой», а последняя—цилиндрическим же анодом («цилиндр»). Зависимость между потенциалом нить-сетка и током на анод при неизменных напряжениях на аноде и на концах накаливаемой нити вполне определенная и однозначная («характеристика лампы»), поэтому, при наличии характеристики, возможно непосредственно по показаниям миллиамперметра в цепи анода отсчитывать (медленно изменяющуюся) разность потенциалов нить-сетка: это так наз. «термоэлектронный электрометр» *Nonhague* ⁴⁾; в частности измеряемая разность потенциалов может создаваться на концах омического сопротивления, в этом случае получается усиление действия в 5—10 раз. Включая в цепь анода подходящее сопротивление и отводя его концы к нити и сетке второй лампы и т. д., получаем многократное «каскадное» усиление. Подобным приемом *Pike* ⁴⁾ измерял фотоэлектрический эффект, достигнув усиления в 5000 раз. У нас этим приемом пользовались *Термен* ⁵⁾, а также *Ржевский* и *Введенский* ⁶⁾ и *Минц* ⁷⁾.

Заменяя в таком устройстве миллиамперметр телефоном, присоединяя сетки 2-й, 3-й и т. д. ламп не непосредственно, а сквозь небольшой конденсатор (*Agnew* ⁸⁾) и возвращая постоянно потенциал сетки к потенциалу нити (это достигается соединением сетки с нитью большим сопротивлением, что не препятствует мгновенным повышением потенциала сетки), получаем усилитель высокой частоты, при чем одна из ламп исполняет роль детектора [детекторное включение ^{8), 1), 2) и 3)}]; в последнее время часто сопротивления в цепи анода делают чисто индуктивными. При усилении низкой частоты выгоднее увеличивать передаваемые на сетки ламп колебания потенциала трансформаторами ^{1), 2), 3)}. Достижимые усиления амплитуд порядка 1000. Таким усилителем *Barkhausen* и *Tusek* ⁹⁾, присоединив к сетке и нити катушку с медленно перематываемым железом, обнаружили прерывистость процесса намагничивания, выразившуюся в появлении в телефоне характерного шур-

пания или хрустения. Явление легко обнаружить обычным усилителем „3ter.“ Schottky ⁴⁰⁾ показал, что при достаточном усилении можно обнаружить собственные колебания некоторого Томсоновского контура, присоединенного параллельно аноду и катоду (горячему) некоторой пустотной трубки, и истолковал явление действием „дробного эффекта“ (Schroeffekt), т.е. „дрожания“ (Schwankung) числа вылетающих из нити в секунду электронов. Теория Schottky показывает, что по величине амплитуды колебания контура возможно определить заряд электрона; однако опыты Hartmann'a ⁴¹⁾ не подтвердили этого.

Простейшая схема генератора следующая: в цепь анода, кроме батарей включается самоиндукция L и параллельно ей емкость C (колебательный контур); в цепь сетки—вторая самоиндукция, связанная с L так, чтобы возрастающий ток в L наводил на сетке + потенциал и тем увеличивал ток в аноде и L ; тогда у бы в а ю щ и й ток в L будет заирать ток анода. Вообще, число генераторных схем очень велико ⁴²⁾. Обычно период колебания при малом затухании определяется колебательным контуром, т.е. формулой $T = 2\pi \sqrt{L(C+z)}$, где z — некоторая добавочная емкость ⁴³⁾; об определении $C+z$ см., напр., ²⁴⁾. В зависимости от L и C период T может меняться от 0,2 sec [White ⁴²⁾] и ниже до, примерно, $5 \cdot 10^{-8}$ sec ($\lambda \approx 15$ m); при исключительных условиях достигается длина волны до 6 m [White ⁴²⁾] и даже до 1,1 m ⁴³⁾.

При больших L и C получаем звуковой генератор—чрезвычайно удобный источник постоянного по силе и высоте тона звука; при чем и силу, и тон легко изменять по произволу в любой степени.

Как источник колебаний высокой частоты, ламповый генератор незаменим, так как, благодаря постоянству действия и простоте обращения, позволяет переносить на высокую частоту приемы и навыки, выработанные при обращении с обычным переменным током. Напр., Lertes ⁴⁴⁾ получал высоко частотное вращающееся электрическое поле, помощью которого он пытался измерять момент Debye'евских диполей. Связывая слабо с генератором резонансный контур A , Введенский и Теодорчик ⁴⁵⁾ измеряли проницаемость железа μ в высоких частотах непосредственно по изменению резонансной емкости при внесении в самоиндукцию контура A пучка железных проволок; тем же авторам удалось определить μ по нагреванию проволоки методом Klemencic'a для затухающих колебаний) и по ponderomotorному действию переменного поля на подвешенный на кварцевой нитке пучок железных проволок. Теодорчик ⁴⁶⁾ по изменению резонансной емкости при приключении конденсатора с жидким диэлектриком, измерял диэл. пост. спиртов и даже дистиллированной воды без какой либо компенсации проводимости; последнее обстоятельство делает этот метод более удобным, чем известный метод мостика Nernst'a.

В радиотехнике широко применяется прием незатухающих (и, след., слышимых в телефон) колебаний по «методу биений», при чем сигнал делается слышимым путем образования быстро следующих и образующих звук биений между колебаниями сигнала и местными незатухающими колебаниями. Ничтожная расстройка одного из дающих тон биений контуров (напр. приближение руки) вызывает весьма заметное изменение тона. Последнее можно измерить, устраивая «вторичную интерференцию» тона биений с некоторым тоном постоянной высоты (камертон или звуковой генератор) и определяя изменение ΔN числа „вторичных“ биений (т.е. между двумя акустическими колебаниями) при изменении L и C одного из контуров выс. частоты ν . Тогда $|\Delta N| = \nu \Delta L / 2L = \nu \Delta C / 2C$; напр., при $\nu = \frac{1}{T} = 2 \cdot 10^6 \text{ sec}^{-1}$ получаем $\Delta N = 1$ уже при ΔL или $\Delta C = 10^{-8} L$ или C . Этим методом Whiddington ⁴⁷⁾ измерял изменение расстояния между обкладками конденсатора порядка 10^{-8} см., Herweg ⁴⁸⁾—зависимость диэлектрич. пост. от напряжения поля (диполя Debye'я). Этот же метод разрабатывали Rungs и Freunper ⁴⁹⁾ и Hammer ⁵⁰⁾, а Введенский и Теодорчик ²⁴⁾, ⁴⁵⁾ определяли μ железных, никелевых и стальных проволок в длинах волн от 54 m до 705 m, при чем измерялось ΔL от введения в катушку самоиндукции 4—6 тонких проволок.

Громадная чувствительность метода ко всякому изменению емкости (приближение или просто движение тела наблюдателя и проч.) заставляет устраивать электростатические защиты или управлять установкой на расстоянии при помощи стеклянных стержней; на этой чувствительности основано качественное применение метода для музыкально-инструментальных целей, сделанное Терменом.

При сравнительно значительных изменениях L или C возможно упрощение метода: именно, настраивают сперва оба интерферирующие генератора в униссон (тогда звук биений исчезает). Затем присоединяют, напр., измеряемую емкость параллельно емкости C одного из контуров и снова восстанавливают консонанс, изменяя C на ΔC . Это позволяет, напр., точно градуировать малые конденсаторы или измерять диэл. пост. (25). Jackson 24) измерял этим способом диэл. пост. сложных эфиров в частности при изменении их агрегатного состояния.

На ином принципе основан метод Falkenberg'a 22): с генератором связаны два почти тождественных контура I и II, в одном из которых помещена емкость C , изменение которой измеряется; I и II действуют на новый контур B, конденсатор которого соединен с сеткой и нитью усилителя. При резонансе всех контуров, в силу выбранной связи, I и II компенсируют друг друга; в цепи последней лампы помещено сопротивление R и параллельно ему гальванометр, в котором при резонансе I, II и B тока нет (вследствие особого компенсирующего потенциометра). При расстройке резонанса (от изменения C), ток в R меняется, и гальванометр отклоняется, что дает возможность определить ΔC . Чувствит. метода ок. $2 \cdot 10^{-8}$, но он очень капризен, мало пригоден для высоких (т.-е. $\lambda < 1000 m$) частот и, повидимому, применения не получил.

При генерации, на сетку лампы идет слабый постоянный (собственно пульсирующий) ток. При постройке связанного с генератором резонансного контура в резонансе с генератором этот ток уменьшается. Термен 25) использовал это явление также для измерения малых ΔC ; в частности на этом принципе им построен прибор для определения силы слабых звуков (конденсаторный микрофон).

Если в обычной схеме генератора непосредственно перед сеткой поместить конденсатор C , шунтированный большим сопротивлением R , то непрерывный ряд колебаний разбивается на отдельные последовательности, разделенные более или менее продолжительными паузами (Armstrong 8) Ржевкин 23). Beatty & Gilmore 24), применив паузы настолько малые, что перерывы давали в телефоне, соединенном с генератором, слышимый тон, получили определенную, но довольно сложную зависимость высоты тона от R и C . Ржевкин и Введенский 23) объяснили явление накоплением на сетке отрицательного заряда, „запирающего“ колебания, которые возникают лишь по стечению заряда через большое сопротивление R по обычному закону

$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}}$; это было, между прочим, проверено непосредственным измерением Q методом „термоэлектронного электрометра“. Продолжительность пауз в этих опытах оказалась почти строго пропорциональной R и C ($7 \cdot 10^3 \leq R \leq 10^{11} \omega$). Минц 7) разработал метод „термоэлектронного электрометра“ для определения R и C .

Ламповый генератор дает ряд обертонов 26); последние обычно настолько слабы 1), что их можно обнаружить только усилителем. Методом биений их можно обнаружить в количестве нескольких десятков. Введенский и Теодорчик 24) применили факт их существования для определения длин волн $< 100 m$ (не имеющих на обычных волномерах).

Whiddington 27) обнаружил на газовых лампах их „собственные“, т.-е. не обусловленные внешними L и C , колебания и дал этому следующее объяснение: некоторая малая часть поверхности нити внезапно нагревается (напр., ударом + ионов) и выбрасывает облачко электронов, которое, устремляясь к аноду, образует облачко + ионов. Последние, „падая“ на анод равномерно ускоренно, вновь резко нагревают часть его поверхности. В результате возникают пульсации тока в аноде и раз в се-

кунду, при чем n пропорционально $\sqrt{\frac{e}{m}}$ ионов данного газа и обратно пропорц. расстоянию нить-сетка. Barkhausen и Kurz²⁸⁾ получили собственные колебания и в пустотных лампах с частой и тонкой сеткой при большом (до 500 V) полож. потен. циае на ней и при меньшем отрицательном потенциале на аноде. Причиной колебаний они считают „механические“ колебания облачка электронов от нити к отрицательному аноду и обратно около положительной сетки; наименьшие полученные волны имели длину в 43 см. Явление не вполне ясно и для авторов. Данилевский получил со своей лампой с двумя анодами и двумя сетками волны порядка 20 см. наложенные на более длинные (обертонь?); принцип действия здесь, повидимому, иной, чем в²⁸⁾ и²⁷⁾.

При отрицательном потенциале на сетке (—2 до —3 V) на нее может идти ток только в присутствии + ионов газа в лампе; поэтому сила этого тока, пропорциональная числу ионов, а след., и числу атомов газа, может измерять давление в лампе [(Schottky³⁰⁾, Möller³¹⁾]. Kaufmann и Serov³²⁾ разработали количественный метод (гл. образом на основании исследования Meyer'a³²⁾ над образованием вторичн. электронов в H_2 и N_2). Для полной определенности необходимо знать химич. природу газа в лампе, что, повидимому, м. б. установлено, напр., методом электронного удара Frank'a и Hertz'a. Способом Kaufmann'a можно измерять малые давления 10^{-7} — 10^{-8} мм Hg в любом, соединенном с лампой сосуде.

Июнь 1922.

В. Введенский.

¹⁾ H. Möller, Elektronenröhren, Vieweg 1920.

²⁾ Fleming, Thermionic valve. 1919.

³⁾ Статьи проф. В. К. Лебединского и др. в „Тел. и телеф. б. пров.“ и „Радиотехнике“.

⁴⁾ C. E. Pike, Phys. Rev, 13, p. 102, 1919.

⁵⁾ Л. Термен, „Радиотехника“ № 13, стр. 314, 1920.

⁶⁾ С. Ржевкин и В. Введенский, „Тел. и телеф. б. пров.“ № 11, 1921.

⁷⁾ А. Минц. Докл. в РОПИ 1922.

⁸⁾ E. Armstrong. Proc. of. Inst. Radioeng. 3, № 3, 1915.

⁹⁾ H. Barkhausen, Phys. ZS, Sept. 1919.

¹⁰⁾ W. Schottky. Ann. d. Phys. 57, p. 541, 1918.

¹¹⁾ C. Hartmann. Ann. d. Phys. 65, p. 51, 1921.

¹²⁾ W. C. White. Gen. El. Review, Sept. 1916.

¹³⁾ См. заметку в „Радиотехнике“ № 14, стр. 512.

¹⁴⁾ P. Lertes, ZS. f. Phys. 4, p. 315, 1921.

¹⁵⁾ В. Введенский и К. Теодортшик. Ann. d. Phys. 68, p. 463, 1922.

¹⁶⁾ К. Теодортшик, Phys. ZS. 23, p. 344, 1922.

¹⁷⁾ R. Whiddington. Phil. Mag. 30, p. 634, 1920.

¹⁸⁾ J. Herweg. Phys. ZS. 21, p. 572, 1920; Zs. f. Phys. 3, p. 36, 1920.

¹⁹⁾ L. Pungs и G. Preuner. Phys. ZS. 20, p. 543, 1919.

²⁰⁾ W. Hammer. Ber. d. Nat.forsch. Ges. Freiburg, Bd. 22, 1920.

²¹⁾ В. Введенский и К. Теодорчик. „Тел. и телеф. б. пров.“ № 13, 1922.

²²⁾ G. Falkenberg. Ann. d. Phys. 61, p. 167, 1920.

²³⁾ С. Ржевкин. „Радиотехника“, № 8, 1919.

²⁴⁾ R. Beatty а. A. Gilmore, Phil. Mag. okt., 1920.

²⁵⁾ С. Ржевкин и В. Введенский. „Тел. и телеф. б. пров.“ № 11, 1921. Phys. ZS. 23, p. 150, 1922.

²⁶⁾ См., напр., H. Salinger, Ph. ZS. 20, p. 448, 1919.

²⁷⁾ R. Whiddington, Cambridge Univ. Rep. May, 1919; Radio Review, nov. 1919.

²⁸⁾ H. Barkhausen и K. Kurz. Phys. Z. 21, p. 1, 1920.

- ²⁹⁾ А. Давидовский. Доклад на VIII Электрот. съезде 1921.
- ³⁰⁾ W. Schottky, Arch. f. Elektrot. **8**, p. 1, 1919.
- ³¹⁾ H. Möller, Arch. f. Elektrot. **8**, p. 48, 1919.
- ³²⁾ Meyer. Ann. d. Phys. **45**, p. 1, 1914.
- ³³⁾ F. Kaufmann u. Fr. Serov. ZS. f. Phys. **5**, p. 319, 1921.
- ³⁴⁾ L. C. Jackson. Phil. Mag. **43**, p. 481, 1922.