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» Hohague [1]; 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 Ржевкин 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 [Armstrong [8]] и возвращая постоянно потенциал сетки к потенциалу нити (это достигается соединением сетки с нитью большим сопротивлением, что не препятствует мгновенным повышениям 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 делаются чисто индуктивными. При усилении низкой частоты выгоднее увеличивать передаваемые на сетки ламп колебания потенциала трансформаторами [1]), [2]), [3]). Достигаемые усиления амплитуд порядка 10000. Таким усилителем Barkhausen и Tucek [9]), присоединив к сетке и нити катушку с медленно перемагничиваемым железом, обнаружили прерывистость процесса намагничения, выразившуюся в появлении в телефоне характерного шур-

шания или хрустения. Явление легко обнаружить обычным усилителем „3ter.“ Schottky [10]) 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“ (Schroteffekt), 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 [11]) 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 убывающий ток в L будет запирать ток анода. Вообще, число генераторных схем очень велико [1]). Обычно период колебания при малом затухании определяется колебательным контуром, т.-е. формулой $T = 2\pi\sqrt{L(C+\zeta)}$, где ζ — некоторая добавочная емкость [1]); об определении $C+\zeta$ см., напр., [24]). В зависимости от L и C период T может меняться от 0,2 sec [White [12])] и ниже до, примерно, 5.10^{-8} sec [$\lambda \backsim 15$ m]; при исключительных условиях достигается длина волны до 6 m. [White [12])] и даже до 1,1 m [13]).

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 [14]) 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 [15]) 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 метод Klemencic'a для затухающих колебаний) и по пондеромоторному действию переменного поля на подвешенный на кварцевой нитке пучок железных проволок. Теодорчик [16]) 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., неслышимых 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 $\nu = \frac{1}{T} = 2.10^6$ sec $^{-1}$ получаем $\Delta N = 1$ уже при ΔL или $\Delta C = 10^{-6}$ L или C. Этим методом Whiddington [17]) измерял изменение расстояния между обкладками конденсатора порядка 10^{-8} см., Herweg [18])—зависимость диэлектрич. пост. от напряжения поля (диполи Debye'я). Этот же метод разрабатывали Pungs и Preuner [19]) и Hammer [20]), а Введенский и Теодорчик [21]), [15]) определяли μ железных, никкелевых и стальных проволок в длинах волн от 54m до 705m, 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. [15]). Jackson [31]) измерял этим способом диэл. пост. сложных эфиров в частности при изменении их аггрегатного состояния.

На ином принципе основан метод Falkenberg'a [22]): с генератором связаны два почти тожественных 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. 2.10^{-8}, но он очень капризен, мало пригоден для высоких (т.-е. $< 1000\,m$) 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 резонанс с генератором этот ток уменьшается. Термен [5]) 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 a. Gilmour [24]), применяя 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 [25]) объяснили явление накоплением на сетке отрицательного заряда, „запирающего“ колебания, которые возникают лишь по стечении 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 ($7.10^5 \leqslant R \leqslant 10^{11}\,\omega$). 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 [21]) применили факт их существования для определения длин волн $< 100\,m$ (не имеющихся 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 Kurz [28]) получили собственные колебания и в пустотных лампах с частой и тонкой сеткой при большом (до 500 V) полож. потенциале 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 (обертоны?); принцип действия здесь, повидимому, иной, чем в [28]) и [27]).

При отрицательном потенциале на сетке (—2 до —3 V) на нее может итти 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 [(Schottky [30]), Möller [31])]. Kaufmann u. Serovy [33]) разработали количественный метод (гл. образом на основании исследования Meyer'a [32]) 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. *Б. 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, „Радиотехник" № 13, стр. 314, 1920.

[6]) С. Ржевкин и Б. Введенский, „Тел. и телеф. б. пров." № 11, 1921.

[7]) А. Минц. Докл. в РОРИ 1922.

[8]) E. Armstrong. Proc. of. Jnst. 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. Rewiew, Sept. 1916.

[13]) См. заметку в „Радиотехнике" № 14, стр. 512.

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

[15]) B. Wwedensky и K. Theodortshik. Ann. d. Phys. **68**, p. 463, 1922.

[16]) K. Theodortshik, 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]) Б. Введенский и К. Теодорчик. „Тел. и телеф. б. пров." № 13, 1922.

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

[23]) С. Ржевкин. „Радиотехник", № 8, 1919.

[24]) R. Beatty a. A. Gilmour, Phil. Mag. okt., 1920.

[25]) С. Ржевкин и Б. 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 u. K. Kurz. Phys.S· Z **21**, p. 1, 1920.

29) А. Данилевский. 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. Serovy. ZS. f. Phys. 5, p. 319, 1921.
34) L. C. Jackson. Phil. Mag. 43, p. 481, 1922.