

УДК 621.37-621.39(091)

Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты

Пестриков В. М.

*Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения
ул. Правды, д. 13, Санкт-Петербург, 191119, Российская Федерация
pvm205@yandex.ru*

Получено: 11 января 2021 г.

Отрецензировано: 21 января 2021 г.

Принято к публикации: 22 января 2021 г.

Аннотация: *Аудион как усилитель радиосигналов, будь то телеграфного или телефонного, оказался далеко впереди любого другого усилителя, который когда-либо разрабатывался. В течение нескольких лет, с 1907 г. по 1911 гг. аудион использовался только в качестве чувствительного детектора при приеме радиосигналов. Общие принципы его работы не были поняты. Де Форест провел определенную экспериментальную работу по использованию аудионного усилителя в качестве телефонного ретранслятора, однако его ранние разработки не увенчались успехом. Это было связано с тем, что он не придавал особого значения величине смещения на сетке аудиона. Он пытался осуществлять усиление низкочастотного сигнала (AF) при величине смещения на сетке, предназначенной для усиления высокочастотного сигнала (RF). В 1912 г. первый звуковой усилитель удалось построить Фрицу Левенштейну, бывшему сотруднику компании Фореста.*

Ключевые слова: *аудион, усилитель радиочастоты, Джон С. Стоун, Отто фон Брок, Фриц Левенштейн, усилитель звуковой частоты, Ли де Форест, каскад, каскадные усилители звуковой частоты.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 4. С. 433—455.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Изобретение электронного лампового усилителя звуковой частоты / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 433—455.

Invention of an electronic tube audio frequency amplifier

V. M. Pestrikov

*St. Petersburg State University of Film and Television
13, Pravda Str., St. Petersburg, 191119, Russian Federation
pvm205@yandex.ru*

Received: January 11, 2021

Peer-reviewed: January 21, 2021

Accepted: January 22, 2021

Abstract: *Audion as an amplifier of radio signals, whether telegraphic or telephone, was far ahead of any other amplifier that has ever been developed. For several years, from 1907 to 1911, audion was used only as a sensitive detector for receiving radio signals. The general principles of his work were not understood. De Forest conducted some experimental work on the use of an audion amplifier as a telephone repeater, however, his early development was unsuccessful. This was due to the fact that he did not attach much importance to the amount of displacement on the grid of the audion. He tried to amplify a low-frequency signal (AF) with an offset value on a grid designed to amplify a high-frequency signal (RF). In 1912, the first sound amplifier was built by Fritz Lowenstein, a former employee of the Forest company.*

Keywords: *audion, RF amplifier, John S. Stone, Otto von Bronk, Fritz Lowenstein, audio amplifier, Lee de Forest, cascade, cascade audio amplifiers.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov “Invention of an electronic tube audio frequency amplifier,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 433–455, 2020. (In Russ.).

1. Введение

Аудион в течение почти пяти лет после его изобретения использовался только в качестве детектора радиосигналов, так как механизм усиления и общие принципы его работы не были поняты. Де Форест провел определенную экспериментальную работу по разработке усилителей низкой частоты для телефонных ретрансляторов, но его ранние попытки в этом направлении не увенчались успехом. Это вероятно потому, что он использовал режимы детектирования вместо режима усиления и неправильно устанавливал смещение на сетке лампы.

Изначально радиоприемники Ли де Фореста собирались на одном ламповом триоде типа аудион. В этих радиоприемниках аудион работал в

режиме сеточного детектирования. В результате детектирования создавалось низкочастотное напряжение на его сетке, которое затем усиливалось самой лампой. Таким образом, аудион одновременно выполнял функции детектора и усилителя. Благодаря этому среди известных детекторов того времени аудион считался наиболее стабильным и чувствительным приемником радиоволн.

Сам Ли де Форест, а также разработчики приемников на аудионе, в течение 1907—1910 гг., были в неведении относительно его возможностей усиления электрических сигналов.

Конструкция аудиона была известна радиотехникам многих стран, одни из них копировали его для использования в своих радиоустройствах, другие занимались его усовершенствованием, стараясь создать на его основе свою оригинальную трехэлектродную лампу.

2. Усилитель радиочастоты Бронка

В 1911 г. менеджером патентного отдела A.E.G.-Telefunken Отто фон Бронком (*Otto Romanus von Bronk*, 29.02.1872—05.08.1951) была разработана трехэлектродная лампа на основе электрической лампы для елочной гирлянды с низким напряжением нити накала. В качестве электродов он использовал два стержня из толстого медного провода. Стержни были вплавлены внутрь стеклянного баллона над нитью накала. Один из стержней играл роль сетки и находился между вторым стержнем-анодом и нитью накала. Лампа имела стандартный резьбовой цоколь E14. Для изготовления нити накала использовался прессованный вольфрам. Снаружи стеклянного баллона к концам стержней были приварены подводящие провода. Фон Бронк разработал эту лампу для усилителя высокой частоты, который включался перед детекторным каскадом. В основе разработки Бронка лежал патент DE249142¹, который получили его коллеги по компании Роберт фон Либен, Евгений Рейс и Зигмунд Штраус. В этом патенте были приведены возможные варианты подачи смещения на сетку трехэлектродной лампы их конструкции.

3 сентября 1911 г. Отто фон Бронк запатентовал схему радиоприемника на кристаллическом детекторе с каскадом усиления радиочастоты на вакуумном триоде [1]. На схеме (рис. 1) кристаллический детектор обозначен буквой *l*.

¹ Немецкий патент DE249142 на трехэлектродную лампу LRS конструкции Р. фон Либена, Е. Рейса и З. Штрауса был выдан 20.12.1910 г. с приоритетом от 04.09.1910 г.

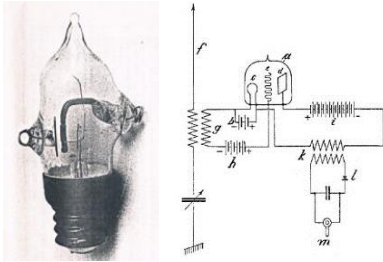


Рис. 1. Вакуумный триод Бронка и схема детекторного приемника с усилителем радиочастоты. Патент Бронка DRP271059 (1911 г.).

Fig. 1. Bronk's vacuum triode and a detector receiver circuit with a radio frequency amplifier. Patent of Bronk DRP271059 (1911)

Это по существу был первый патент, в котором вакуумная трехэлектродная лампа использовалась в каскаде для усиления электрических сигналов, в частности, сигналов радиочастоты. Нужно заметить, что в этом патенте фон Бронка нет упоминаний о выборе величины смещения на сетке вакуумного триода, от которого зависит режим его работы (только детектирование или только усиление электрических сигналов). На схеме патента каскад на трехэлектродной лампе представлен как усилитель радиочастоты, в то время как сетка подключена к плюсу гальванической батареи. При таком потенциале на сетке режим лампы ближе к детектированию.

Следует заметить, что схема усилителя радиочастоты на вакуумном триоде фон Бронка напоминает схему аудионного приемника, приведенную в патенте известного американского радиоинженера Джона С. Стоуна (*John Stone Stone*, 24.09.1863—20.05.1943) и сотрудника его компании С. Кэбота (*Sewall Cabot*), рис. 2 [2].

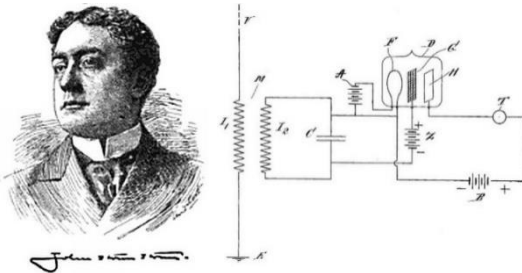


Рис. 2. Джон С. Стоун (1910) и принципиальная схема радиоприемника на аудионе с подачей смещения на сетку от гальванического элемента. Патент Дж. Стоуна и С. Кэбота US884110A (1907).

Fig. 2. John S. Stone (1910) and circuit diagram of an audion receiver with bias to the grid from a galvanic cell. J. Stone's and S. Cabot patent US884110A (1907)

В патенте Джона С. Стоуна и С. Кэбота, вероятно, впервые приведено функциональное питание аудиона от трех отдельных гальванических батарей. В дальнейшем в англоязычной технической литературе тех лет за этими батареями было закреплено название: «А» батарея (англ. “A” battery) — питание нити накала, «В» батарея (англ. “B” battery) — анодная батарея, «С» батарея (англ. “C” battery) — батарея смещения потенциала сетки вакуумного триода.

Дж. Стоун и С. Кэбот в дальнейшем не занимались разработкой трехэлектродных ламп и ограничились только полученным патентом.

3. Усилитель звуковой частоты Левенштейна

Исследованиями возможностей использования аудиона в качестве усилителя электрических сигналов занимались инженеры в различных лабораториях мира. Важный шаг в этом направлении сделал австрийский инженер Фриц Левенштейн (англ. *Fritz Lowenstein*, нем. *Fritz Löwenstein* (*Loewenstin*), 07.09.1874—27.05.1922), работавший в США. Он обнаружил, что подача небольшой величины отрицательного смещения на сетку аудиона улучшает его работу.

Фриц Левенштейн выходец из города Остров (*Ostrov Schlackenwerth*, область Богемия, Австро-Венгрия) иммигрировал в США в 1899 г. Сначала работал ассистентом Николы Тесла в его Нью-Йоркской лаборатории (Колорадо-Спрингс, *Colorado Springs*), где занимался проблемами беспроводной передачи энергии на расстоянии. Здесь он приобрел некоторый опыт работы с ртутной лампой Хьюитта (*Hewett*), которая была в дальнейшем использована им при разработке телефонного усилителя. Он также занимался разработкой мощных преобразователей переменного тока в постоянный ток. Осенью 1899 г. Левенштейн ушел от Теслы в компанию Ли де Фореста, где и познакомился с конструкцией аудиона.

В 1910 г. *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co.* (*New York*) обанкротилась. К этому времени Ли де Форесту удалось создать небольшую группу талантливых инженеров, которые хорошо разбирались в устройстве аудиона и в схемах его включения. Приостановка выдачи зарплаты привела к уходу из компании этой группы специалистов, которые унесли с собой технологии аудиона и предположения о том, что аудион можно использовать не только для детектирования, но и для других целей.

Среди ушедших специалистов от Ли де Фореста был, и инженер Фриц Левенштейн. В 1910 г. он организовал свою собственную компанию в Бруклине (район Нью-Йорка), которая получила название: *Lowenstein Radio Company* (*Nassau Street, Brooklyn, N.Y.*). Компания предоставляла консультационные услуги в области радиотехники.

К компании Левенштейна присоединился выходец из Швейцарии способный инженер Фредерик Колстер² (*Frederick Augustus Kolster*, 13.01.1883—23.07.1950), который также работал с 1909 по 1911 гг. у де Фореста. Нужно заметить, что Фриц Левенштейн был известным инженером радиотехником; так в 1911—1912 гг. он был первым вице-президентом (*1st Vice-President*) *SWTE* (*Society of Wireless Telegraph Engineers*), а затем в *IRE*.

² Фредерик Колстер в 1912 г. стал начальником отдела радио в американском бюро стандартов (Radio Section of the U. S. Bureau of Standards). Имел большое количество патентов. Среди них пеленгатор, радиокомпас Kolster и четырехсекционный переменный конденсатор. Организовал корпорацию Kolster Radio Corporation (1928) по выпуску радиоприемников, которая через 2 года прекратила существование.

В мае 1911 г. Фриц Левенштейн был приглашен в качестве консультанта в исследовательскую лабораторию Джона Хаммонда младшего (*John Hays Hammond, Jr.*, 1888—1965) в Глостере (*Gloucester*, штат Массачусетс), в которой занимались изучением возможностей радиоуправления торпедами и кораблями в интересах ВМС США, рис. 3. Он стал известен как «отец радиоуправления». Новаторские разработки Хаммонда-младшего в области электронного дистанционного управления явились основой для всех современных устройств радиоуправления, включая современные системы наведения ракет, беспилотные летательные аппараты (БЛА) и беспилотные боевые летательные аппараты (ББЛА).



Рис. 3. Джон Хаммонд младший (1922 г.) и его беспроводная торпедная лодка «Natalie» (23 ноября 1914 г.).

Fig. 3. John Hammond Jr. (1922) and his wireless torpedo boat “Natalie” (November 23, 1914)

До прихода Фрица Левенштейна особых успехов в этой области у Дж. Хаммонда не было. Для дистанционного управления использовалась система, состоящая из искрового передатчика и приемника с когерером Маркони. Средства для финансирования исследований Дж. Хаммонда были предоставлены его отцом, который был горным инженером и работал с Сесилем Родсом³ в Южной Африке, где сделал очень большое состояние на алмазах. Дж. Хаммонд не был выдающимся ученым, но обладал замечательной способностью собирать вокруг себя талантливых творческих людей, которым он указывал направление научных исследований и предоставлял для этого организационную и необходимую денежную поддержку. Благодаря этому в течение короткого периода времени лаборатория Хаммонда стала одним из двух научно-технических центров в Соединенных Штатах, где проводились важные работы по совершенствованию аудиона.

³ Сесиль Джон Родс (англ. *Cecil John Rhodes*, 05.07.1853—26.03.1902) — английский и южноафриканский политический деятель, бизнесмен, строитель собственной всемирной империи, инициатор английской колониальной экспансии в Южной Африке. В честь Родса получили свои названия Северная Родезия (ныне Замбия) и Южная Родезия (позже — Родезия, ныне — Зимбабве).

Программа исследований Левенштейна включала разработку системы радиоуправления, а также анализ существующих конструкций детекторов и усилителей электрических сигналов. В качестве передатчика радиоволн он планировал использовать генераторы незатухающих колебаний: машинный генератор Александерсена (*Ernst Frederick Werner Alexanderson*) и дуговой генератор Паульсена (*Valdemar Poulsen*).

Из экспериментов с ртутной лампой он знал, что эта лампа, как и дуги Дудделя (*William Du Bois Duddel*) и Паульсена, обладает отрицательным сопротивлением. Исходя из этого Левенштейн обратил свое внимание на аудион де Фореста, который по его соображениям напоминал ртутную лампу. Это и стало отправной точкой в начале экспериментов с аудионом, чтобы проверить, обладает ли он также отрицательным сопротивлением. Если это так, то тогда открывался путь по применению аудиона для усиления электрических сигналов.

Следует заметить, что Левенштейн еще до сотрудничества с Хаммондом проводил исследования по использованию аудиона в качестве усилителя. Об этом Левенштейн пишет в письме к Хаммонду от 19 сентября 1911 г., в котором отмечает свои «усилия по проведению телефонных тестов прошлой зимой» [3], то есть зимой 1909—1910 гг. Из другого документа, письменного заявления, поданного Фрицем патентному эксперту в ходе судебного рассмотрения его патентной заявки, стало известно об использовании им отрицательного смещения на сетке или батарее «С», патент US1231764 от 1912—1917 гг.

Левенштейн, проанализировав результаты своих предыдущих исследований по данной проблеме, продолжил в Нью-Йорке в 1911 г. разработку трехэлементного «ионного контроллера» (англ. *ion controller*) для выпрямителей, управляющих реле, а также для усиления электрических сигналов. Для того чтобы скрыть от конкурентов конструкцию аудиона де Фореста, которая применялась в его разработках, он дал ему другое название — ионный контроллер. Это название использовалось и в технической документации разрабатываемых устройств в лаборатории Хаммонда.

Для финансирования этих исследований он заключил контракт с Хаммондом на условии, что он получит 50 % прибыли от внедрения результатов работы, если они окажутся успешными. Левенштейн уже предпринимал попытки использовать аудион в качестве усилителя электрических сигналов, когда работал в *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co.* и достиг определенных успехов. Первоначальные трудности в получении достаточно высокого вакуума (порядка 10^{-6} мм рт. ст.) им были преодолены, и 13 ноября 1911 г. он сообщил об успехе. Это позволило изготовить

усилитель на аудионе. Устройство прошло проверку сначала на телефонной линии и показало хорошие результаты. Переданный человеческий голос был очень громкий и четкий.

К возобновлению исследований Левенштейном в 1911 г., вероятно, подтолкнула информация из Германии о работе фон Либена. Известно, что Фриц следил за литературой на немецком языке, а поездка Хаммонда в Германию летом 1911 г. позволила ему ознакомиться с европейскими исследованиями. Поэтому до конца 1911 г. Левенштейн еще не занимался изучением цепи сетки аудиона (рис. 4а). В сентябре 1911 г. в Патентном ведомстве США появились представители фон Либена. Их основной целью было решение вопроса о получении американского патента⁴ на трехэлектродную лампу LR (Lieben-Reisz) в схеме телефонного усилителя со смещением на сетку, рис. 4б.

Сложившаяся ситуация заставила Левенштейна пересмотреть роль конденсатора в цепи сетки триода. Поэтому нельзя утверждать, что Левенштейн первым пришел к подаче отрицательного смещения на сетку вакуумного триода. Несмотря на это, главным в звуковом усилителе Левенштейна было то, что из схемы Фореста он исключил конденсатор C'' (рис. 4а), через который шел сигнал на сетку. В зависимости от того, какая приходила полуволна входящего радиосигнала (отрицательная или положительная), каждый раз появлялся новый знак смещения на сетке. Это и было одной из причин нестабильной работы аудиона. Для ее устранения Левенштейн подал на сетку постоянное отрицательное смещение от C батареи (на рис. 4с).

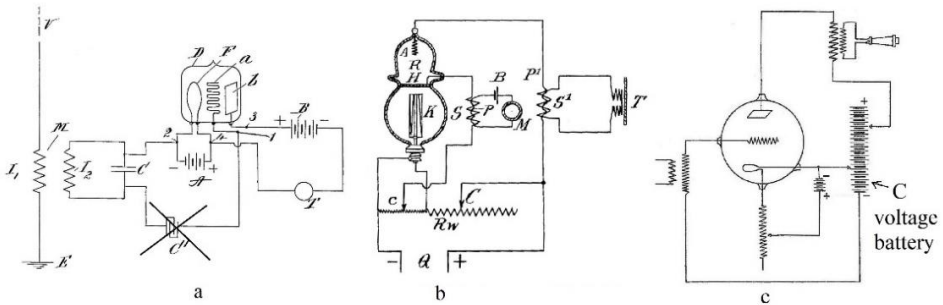


Рис. 4. Схема радиоприемника Ли де Фореста без конденсатора C'' (а), телефонный усилитель (рисунок b из патента US1038910) и схема усилителя звуковой частоты Левенштейн с батареей смещения C (с).

Fig. 4. Radio circuit without capacitor C'' (a), telephone amplifier (Figure b from US1038910) and audio amplifier circuit Lowenstein with bias battery C (c)

⁴ Американский патент US1038910 на лампу LR был получен Р. фон Либеном и Е. Рейсом 17.09.1911 с приоритетом от 30.01.1911 г.

Другими словами, Левенштейн понял, для того чтобы аудион работал в режиме усиления, необходимо подобрать соответствующий режим его работы. Главным при этом является подача на его сетку постоянного отрицательного напряжения, называемого отрицательным смещением. Такой режим позволяет работать аудиону на линейном участке его характеристики при отсутствии тока в цепи сетки, рис. 5.

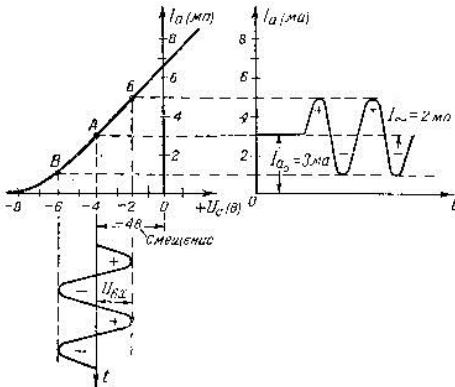


Рис. 5. Процесс усиления вакуумной трехэлектродной лампы типа «аудион» при подаче отрицательного смещения на сетку.

Fig. 5. The process of amplification of a vacuum three-electrode tube of the “audion” type when applying a negative bias to the grid

В этом случае аудион-детектор преобразовывается в усилитель класса А, который работает без отсечки сигнала на наиболее линейном участке вольтамперной характеристики усилительных элементов. Это гарантирует минимум нелинейных искажений, причем как при номинальной мощности, так и при малых мощностях. В среднем КПД усилителя класса А составляет 15—30 %, а потребляемая мощность не зависит от величины выходной мощности. Мощность рассеяния максимальна при малых сигналах на выходе.

Первым применением звукового усилителя стала его установка в 1911 г. в приемной компании Левенштейна.

4. Попытка продажи Левенштейном своего изобретения

После успешных испытаний Фриц Левенштейн решил продать свое изобретение. 27 января 1912 г. он продемонстрировал инженерам *Bell Telephone System, F. B. Jewett* и *O. B. Blackwell*, звуковой усилитель, который был помещен в запечатанную коробку. Это было связано, по всей видимости, с тем, что его изобретение еще не было защищено патентом. Коробка, в которой находился усилитель, содержала свинцовые прокладки, чтобы воспрепятствовать в получении рентгеновских снимков демонстрируемого устройства. Рабочие характеристики усилителя были нестабильными и поэтому Левенштейн не раскрыл особенности своего устройства. Сотруд-

никам Bell Co. не была предоставлена даже малейшая возможность, по которой можно было бы судить о пригодности усилителя для телефонных линий. В результате Фрицу Левенштейну не удалось заинтересовать своим изобретением *Bell Co.*

Прошло около года, после чего Левенштейн раскрыл тайну запечатанной коробки. В ней оказался один из аудионов де Фореста, который производил и продавал Генри МакКэндлесс (*Henry Wallace McCandless*, 1866—24.12.1957). Аудион имел в цепи сетки гальванический элемент для создания отрицательно смещения относительно катода лампы.

24 апреля 1912 г. Фриц Левенштейн подал заявку на получение патента на усовершенствованную конструкцию аудиона в качестве усилителя для телефонных линий, рис. 6 [4].

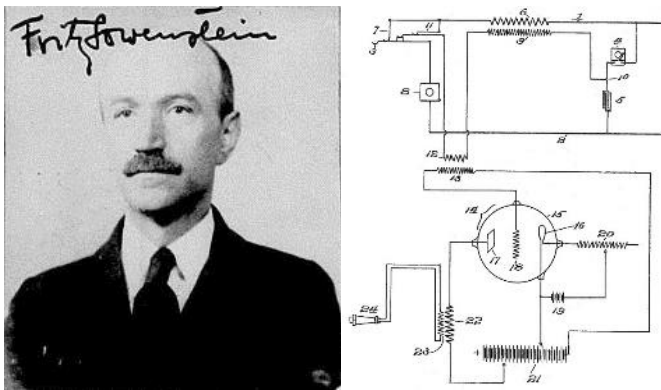


Рис. 6. Фриц Левенштейн и его патент US1231764 на усилитель звуковой частоты на аудионе с отрицательным смещением на сетку (1912 г.).

Fig. 6. Fritz Lowenstein and his patent US1231764 for an audion frequency amplifier with a negative offset to the grid (1912)

В патенте Фрица Левенштейна подача отрицательного напряжения смещения в цепь управляющей сетки была решена подключением соответствующей гальванической батареи ("*C*" battery). В последующие годы патент с отрицательным смещением приобрел большое значение и являлся предметом многочисленных судебных разбирательств.

Фриц Левенштейн получил патент на *Telephone-relay* (телефонное реле) только через пять после подачи заявки, 3 июля 1917 г. Задержка была связана с тем, что уже был выдан американский патент US1038910 на схему телефонного усилителя на немецкой лампе *Lieben-Reisz* (*Relay For Undulatory Currents* — реле для переменного тока). Левенштейн получил права только на батарею смещения "*C*". *AT&T* была вынуждена купить

патент у Левенштейна за \$150000, так как использовала усилители на аудионах с батареей смещения “С”.

Изобретение усилителя звуковой частоты Левенштейном не осталось незамеченным. Инженер GE Эрнст Александерсон, который посетил Хаммонда, случайно увидел ламповый усилитель и сообщил об этом Ирвину Ленгмюру. Это подтолкнуло Ленгмюра в 1913 г. к разработке трехэлектродных вакуумных ламп с высоким вакуумом для усиления и генерирования электрических сигналов.

Другим человеком, который обратил внимание на потенциальную важность аудионного усилителя Левенштейна, был Бич Томпсон (*Beach Thompson*), президент Федеральной телеграфной компании (*Federal Telegraph Company*) в Сан-Франциско, Калифорнии, которая производила радиотелеграфные системы дальнего радиуса действия с использованием мощных дуговых передатчиков Паульсена.

В 1918 г. Левенштейн, будучи в немецком ресторане под зданием Вулворт-билдинг⁵ (*Woolworth Building*, рис. 7), на вопрос друга, как такое произошло, бодро произнес, а затем заметил в вопросительном ключе: «И подумать только, за небольшую сухую батарею!» При соответствующем уточнении: «Но в нужном месте!» Фриц был так доволен своим достижением, что носил с собой выставку фотографий своего изобретения, которую демонстрировал друзьям, словно скальп индейца!

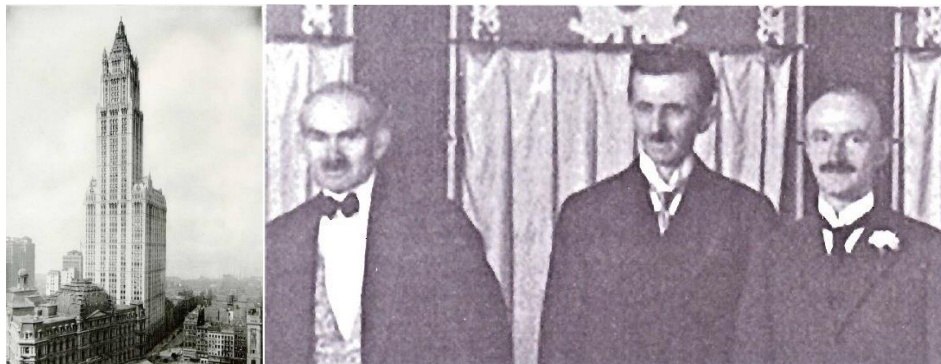


Рис. 7. Вулворт-билдинг. Нью-Йорк. 1918 г. Слева направо: Ли де Форест, Никола Тесла и Фриц Левенштейн. 1915 г.

Fig. 7. Woolworth Building. New York. 1918. From left to right: Lee de Forest, Nikola Tesla and Fritz Lowenstein. 1915

⁵ Вулворт-билдинг (англ. *Woolworth Building*) — небоскреб в Нью-Йорке, построенный в 1910—1913 гг. как штаб-квартира розничной сети F. W. Woolworth Company, позднее принадлежавшей светской львице Барбаре Хаттон. Самое высокое здание мира в 1913—1930 гг.

5. Исследования Ли де Фореста в Федеральной телеграфной компании

В начале 1911 г. на западное побережье США, в Калифорнию, приехал Ли де Форест для осуществления планового контроля установки искровых радиостанций с разрядниками Вина на двух военных транспортных кораблях. Один из них, *Beauford*, находился в Сиэтле, а другой *Dix* — в Сан-Франциско. Пока шла установка аппаратуры, де Форест продолжал свои эксперименты с передачей голоса во временной лаборатории в Сан-Франциско. Он был убежден, что технология вакуумных ламп, которую он разрабатывал, поможет преодолеть зависимость от азбуки Морзе и позволит передавать голосовые сообщения по воздуху. Во время работы Форест получил известие о том, что его нью-йоркские партнеры по радиотелефонной компании *De Forest Radio Telephone Company* арестованы за мошенничество с почтой и акциями, а также за то, что разместили необеспеченные акции на сумму \$1507505. Было созвано большое жюри, и компания была объявлена банкротом. Форест находился в удручающем состоянии; к семейным неурядицам, из-за которых он оказался в Калифорнии, прибавились еще и финансовые.

Во время пребывания де Фореста в районе залива Сан-Франциско (англ. *San Francisco Bay Area* или *The Bay Area*) в Пало-Альто⁶ (*Palo Alto*) он познакомился с сотрудниками Федеральной телеграфной компании (*Federal Telegraph Co.*, сокращенно *FTC*, рис. 8), в частности, с ее главным инженером Кириллом Элвеллом (*Cyril Frank Elwell*, 20.08.1884—1963).

Элвелл посчитал, что Форест будет полезен *FTC*. Он убедил Бич Томпсона взять Фореста на работу и предоставить ему лабораторию с двумя помощниками, а также свободу действий для развития своих идей. *FTC* выкупила часть оборудования обанкротившейся компании де Фореста и в июле 1911 г. он стал руководителем исследовательской лаборатории.

Форест был специально нанят, чтобы усовершенствовать систему Паульсена, в частности, попытаться разработать приемлемый детектор на вакуумной лампе для замены не слишком эффективного тиккера при приеме сигналов от дугового передатчика. Для этих целей первые образцы аудионов были приобретены у *H. W. MacCandless & Co.* в Нью-Йорке, в то

⁶ Пало-Алто является историческим центром американской Кремниевой долины. К нему при­мыкает кампус Стэнфордского университета. Город является местом рождения и штаб-квартирой компаний, в частности, *Hewlett-Packard*, *Xerox*, *Apple*, *Facebook*, *VMware* и *Tesla Motors*. Здесь на­ходится академическое издательство *Annual Reviews*. Около дома 218 по улице Ченнинг установлен памятный знак: «Здесь находилась лаборатория Федеральной телеграфной компании, в которой рабо­тал знаменитый американский инженер Ли де Форест - изобретатель триода».

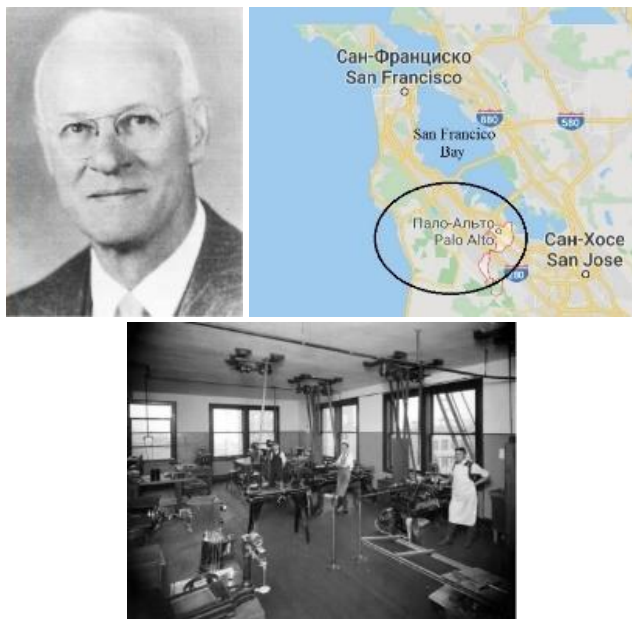


Рис. 8. Кирилл Элвелл (1947 г.), карта района залива Сан-Франциско и цех Федеральной телеграфной компании в Пало-Альто. Темный круглый объект в нижнем левом углу представляет собой небольшой федеральный дуговой передатчик.

Фото из коллекции Перхама, история Сан-Хосе.

Fig. 8. Cyril Elwell (1947), a map of the San Francisco Bay Area and the workshop of the Federal Telegraph Company in Palo Alto. The dark round object in the lower left corner is a small federal arc transmitter. Photo from the collection of Perham, the history of San Jose

время единственного производителя трехэлектродных электронных ламп. Позже фирма в Окленде начала их производство по техническим заданиям де Фореста.

Для реализации поставленной задачи в группу де Фореста включили сотрудников компании Чарльза Логвуда (*Charles Veyne Logwood*, 1882—1927) и Кирилла Ф. Элвелла (*Cyril F. Elwell*), рис. 9. Логвуд был радиолюбителем; у него не было специального технического образования, но он был прирожденным экспериментатором. Его первым достижением в лаборатории стала разработка роторного тиккер-детектора, стоимость которого была в несколько раз меньше стоимости сложного вибрирующего устройства с золотой проволокой, привезенного из Дании. Логвуд просто придал шкиву игрушечного электродвигателя за 1,25 доллара шероховатость и расположил на нем небольшой кусок стальной проволоки так, чтобы он проходил по шероховатой канавке. В результате появился тиккер, который

давал более сильные и лучше звучащие сигналы, чем гораздо более дорогой тип, который использовался до этого. Сначала между де Форестом и Логвудом возникали некоторые недоразумения, но вскоре отношения наладились. Форест со временем начал уважать изобретательность Логвуда и его готовность опробовать новые идеи. Они сумели вместе сделать два самых важных открытия во время пребывания в стенах лаборатории, и даже после того, как покинули Федеральную компанию, они работали вместе и получили несколько совместных патентов.

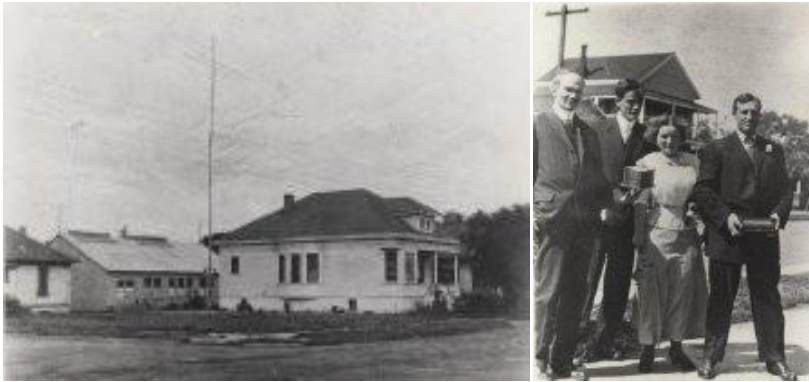


Рис. 9. Дом на Эмерсон-стрит 913 (Пало-Альто, Калифорния), где находилась лаборатория Федеральной телеграфной компании. Исследовательская группа компании, слева направо: Ли де Форест, Герберт Ван Эттен и Чарльз В. Логвуд с миссис (Джин) Логвуд. Пало-Альто, Калифорния. Начало 1912 г. [5].

Fig. 9. House at 913 Emerson Street (Palo Alto, California), where the FTC laboratory was located. Company Research Team, left to right: Lee de Forest, Herbert Van Etten, and Charles W. Logwood with Mrs. (Jean) Logwood. Palo Alto, California. Early 1912 [5]

6. Изобретение каскадного лампового усилителя звуковой частоты

Вскоре направление исследований лаборатории де Фореста было изменено. Б. Томпсон 25 января 1912 г. получил письмо от Джона Хаммонда младшего, в котором сообщалось об успешных испытаниях железного контроллера (*iron controller*, это одно из наименований ионного контроллера) с надеждой его внедрения в беспроводную систему в Соноре⁷ [6]. Это и стало, вероятно, отправным моментом, который побудил Томпсона обратиться к де Форесту с просьбой возобновить исследования по развитию аудиона в качестве усилителя электрических сигналов в телефонных линиях. После всех жизненных неудач фортуна повернулась ли-

⁷ Сонора (англ. Sonora), город в штате Калифорния.

цом к Ли де Форесту. По этому поводу он, однажды в феврале 1912 г. заметил: «Каждое падение приносит надежду; в то время как новое здоровье, неизвестная физическая сила, обновленная молодость растут во мне. Это Калифорния, а мне всего 38!» [7].

Предложение Б. Томпсона было принято де Форестом, так как в случае успеха оно сулило ему определенную коммерческую выгоду. Он располагал информацией о том, что *AT&T* ищет хороший звуковой усилитель для предполагаемой телефонной линии между Нью-Йорком и Сан-Франциско. Этот амбициозный проект *AT&T* обещала осуществить к 1915 г.

Весной 1912 г. к группе де Фореста присоединился новый сотрудник, Герберт ван Эттен (*Herbert B. Van Etten*). Ван Эттен ранее работал в телефонной компании в Нью-Йорке и был знаком с электрическими устройствами звуковой частоты и схемами их построения. В мае—июне 1912 г. Герберт ван Эттен под руководством де Фореста начал эксперименты с трансформаторами звуковой частоты с целью их применения для получения лучшего согласования выхода детекторного радиоприемника с головными телефонами.

Вскоре из Нью-Йорка де Форест получил несколько аудионов. Это позволило ему уже летом 1912 г. начать серию экспериментов по использованию аудиона в качестве усилителя электрических сигналов. Сначала был построен усилитель на одном аудионе. На рис. 10 представлена схема первого экспериментального звукового усилителя, разработанного под руководством доктора Ли де Фореста в лаборатории Федеральной компании в Пало-Альто в 1912 г. Эта схема послужила важным документом, когда позже в судах возник вопрос о патентных правах на изобретение усилителя. Это помогло установить тот факт, что все предыдущие работы были выполнены в Федеральной лаборатории и это впоследствии позволило Федеральной компании получить права на изобретение усилителя [8].

Однажды во время экспериментов, соединив выход одного аудиона со входом другого, он получил более громкое звучание, чем от одного однолампового усилителя. Это натолкнуло де Фореста на разработку каскадных усилителей. Подход в конструировании мощных усилителей звуковой частоты в виде каскадов, предложенный де Форестом, в дальнейшем стал использоваться в радиотехнике.

Для согласования каскадов усилителя между собой де Форест использовал низкочастотные трансформаторы, известные еще из электротехники. Помимо двухкаскадных усилителей были разработаны еще более мощные трехкаскадные усилители на аудионах.

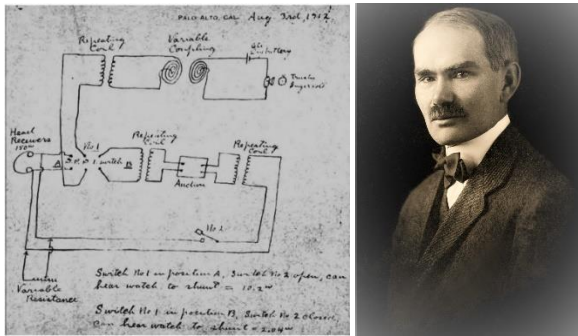


Рис. 10. Схема первого экспериментального звукового усилителя Ли де Фореста, разработанного в лаборатории Федеральной компании в Пало-Альто [8]. 1912 г. Ли де Форест в возрасте 37 лет (1910 г.).

Fig. 10. Circuit of the first experimental audio amplifier Lee de Forest, developed in the laboratory of the Federal Company in Palo Alto [8]. 1912. Lee de Forest at the age of 37 (1910)

В усилителях де Фореста установка величины смещения на сетках аудионов отличалась от технологии Фрица Левенштейна. Смещение устанавливалось подбором анодного напряжения по минимуму звуковых искажений на выходе усилителя. Это производилось переменными резисторами со ступенчатым регулированием, которые были установлены в каждом каскаде усилителя. Для этих целей позже стали еще использовать переменный резистор в цепи накала.

Величину громкости воспроизведения звуковых сигналов конструируемых усилителей де Форест определял субъективно. Для этого он устанавливал акустический излучатель на подоконнике открытого окна лаборатории, а сам удалялся от него до максимальной границы слышимости. В первых конструкциях двухкаскадных усилителей величина анодного напряжения составляла 50—60 В и коэффициент усиления был ненамного больше однокаскадного усилителя. Причина этого, как оказалось, была связана с низким вакуумом аудионов. Тогда де Форест собрал все имеющиеся у него аудионы и поехал в Сан-Франциско к производителю рентгеновских трубок. Ему удалось получить намного более высокий вакуум в аудионах, чем было ранее, и тем самым поднять анодное напряжение в усилителе до 200 В. В результате этих экспериментов был разработан двухкаскадный усилитель с приемлемыми характеристиками, которым де Форест очень гордился, рис. 11.

Наличие двухкаскадного звукового усилителя позволило компании заняться разработкой беспроводного приемника, который мог бы записывать высокоскоростные «входящие» сигналы беспроводной телеграфии от

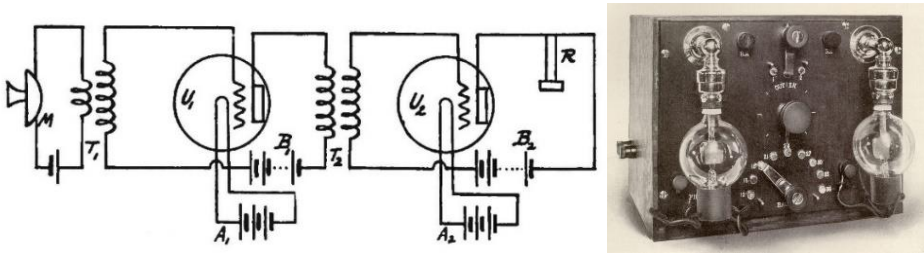


Рис. 11. Принципиальная схема двухкаскадного усилителя звуковой частоты на аудионах де Фореста и его общий вид в виде законченной конструкции. 1914 г.

Fig. 11. Schematic diagram of a two-stage audion frequency amplifier at de Forest's audions and its general appearance in the form of a finished design. 1914

дугового передатчика. В конечном итоге проблема Логвудом была решена [9]. Для этого он использовал свою конструкцию тиккера роторного типа и ставший уже типовым двухкаскадный ламповый усилитель, рис. 12. В схеме звуковой сигнал от тиккера через трансформатор поступал на вход лампового усилителя, где происходило усиление сигнала. После этого сигнал поступал на единственный чувствительный приемник R (телефон). Телефон располагался напротив микрофонного передатчика M , диафрагма которого была настроена на диафрагму приемника, что позволило получить наибольшую чувствительность. Микрофон был соединен последовательно с батареей и небольшой телефонной индукционной катушкой C (рис. 12), вторичная обмотка которой была соединена с телеграфом Паульсена. На телеграф происходила запись звукового сигнала. По-существу телефон R и микрофон M представляли собой телефонный ретранслятор.

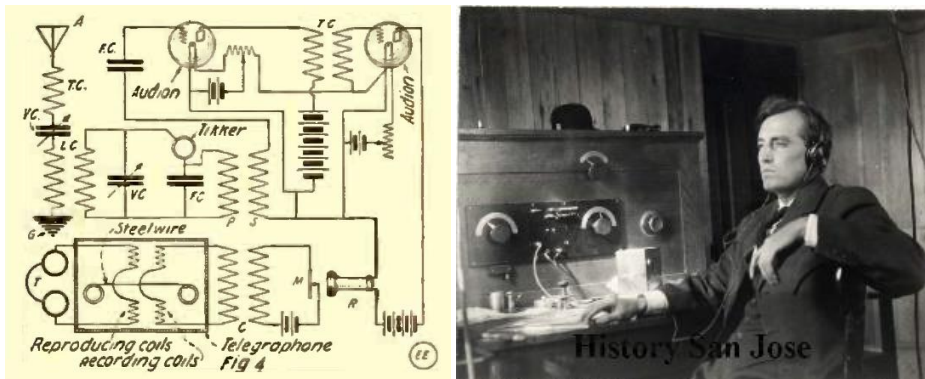


Рис. 12. Подключение аудионного усилителя звука и звукозаписывающего телеграфона [9].
Чарльз В. Логвуд.

Fig. 12. Hook-up for Audion Amplifier and Telegraphone Recorder [9]. Charles V. Logwood

Из-за нечистых звуков, издаваемых тиккером, было невозможно принимать сигналы со скоростью более семидесяти пяти слов в минуту. Это было вызвано следующими факторами: сигналы, поступающие со скоростью семьдесят пять слов в минуту, легко записывались на движущуюся стальную проволоку телеграфа, но для того, чтобы воспроизвести их с нормальной (тридцать или тридцать пять слов в минуту) скоростью, необходимо было медленно протягивать стальную проволоку, и при этом тон сигналов был не очень четким. Причиной этого являлись резкие звуки, возникающие в телеграфе приемника из-за медленной скорости движущегося стального провода. Однако это было быстро устранено путем использования более высокого тона, нежели тон «разрывающей бумаги» тиккера.

Федеральная телеграфная компания успешно работала с системой передачи информации, в которой был установлен приемник по схеме рис. 12 в течение всего сезона, но сигналы передавались с несколько меньшей скоростью, чем семьдесят пять слов в минуту. В дальнейшем для приема сигналов от дугового передатчика был разработан трехкаскадный звуковой усилитель.

В самый интенсивный момент разработок в Пало-Альто в 1912 г. приехали федеральные агенты, чтобы арестовать де Фореста в связи со схемой мошенничества с акциями. Из сложной ситуации помог выйти Б. Томпсон, который внес залог в 10 000 долларов, что позволило де Форесту продолжить свою работу.

В сентябре 1912 г. *FTC* отправила первый автономный трехступенчатый усилитель в Вашингтон, чтобы продемонстрировать его военно-морскому флоту США, рис. 13. Этот усилитель был собран в деревянном корпусе, внутри которого находились: три аудиона, переключатели, резисторы, трансформаторы, плоская гальваническая батарея и клеммы для подключения внешней батареи для питания нитей накала ламп. Доктор Луис Остин (*Louis Austin*), возглавлявший тогда военно-морскую радиотелеграфную лабораторию США, отнес усилитель в бюро стандартов и измерил его усиление. С помощью несовершенных методов, доступных в то время, было определено, что трехкаскадный усилитель усиливает сигнал в 120 раз.

В октябре 1912 г. Ли де Форест привез один из своих усилителей звуковой частоты в Нью-Йорк, чтобы показать его своему другу Дж. Стоуну. Дж. Стоун с 1890 г. по 1899 г. работал в *Bell Telephone Co.* в Бостоне (штат Массачусетс), в частности, лаборатории исследований и разработок экспериментального отдела. После ухода из компании Стоун работал в Бостоне в качестве независимого инженера-консультанта, но наряду с этим он сохранил хорошие отношения с *AT&T* и часто оказывал ей услуги в ка-

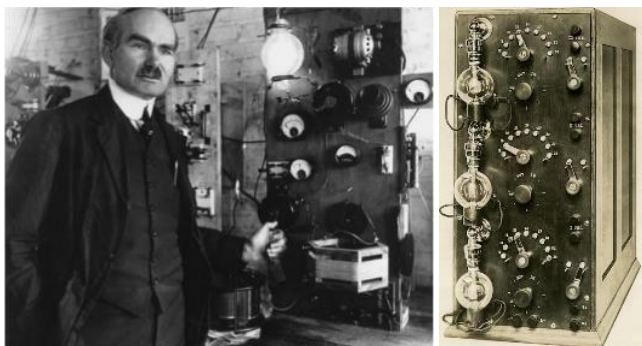


Рис. 13. Ли де Форест, Пало-Альто (1915 г.) и общий вид трехкаскадного звукового усилителя на аудионах (1912 г.).

Fig. 13. Lee de Forest, Palo Alto (1915) and a general view of a three-stage audio amplifier at audions (1912)

честве «консультанта и эксперта в патентных вопросах». Аудионный усилитель де Фореста произвел сильное впечатление на Дж. Стоуна. Он увидел в устройстве большой потенциал для телефонной связи, и пообещал организовать его презентацию для инженеров и менеджеров *AT&T*.

Это то, к чему стремился Ли де Форест. В случае успеха открывался путь практического внедрения аудиона в грандиозный коммерческий и технический проект, что сулило немалые финансовые выгоды для всей цепочки Ли де Форест — *AT&T*. С другой стороны, подходило к концу время одиночек изобретателей, ярким представителем которых был Ли де Форест, на смену им должны были прийти научные коллективы (школы), способные решать масштабные научно-технические проекты. Но самое главное заключалось в том, что общество благодаря научно-техническому прогрессу поднималось на новую ступень развития. Эра информатизации набирала обороты, расстояния сокращались, а время ускорялось.

Ли де Форест покинул *FTC* в 1913 г., чтобы основать еще одну свою компанию *Radio Telegraph & Telephone Company*, которая просуществовала недолго. Компания располагалась в центрально-западном районе Бронкса Нью-Йорка.

7. Бизнес De Forest Radio Telephone & Telegraph Company

В 1916 г. Военным ведомством России были сделаны закупки радиоаппаратуры в разных странах мира [10]. В США у *De Forest Radio Telephone & Telegraph Co.* были закуплены не только сами аудионы, но и аппаратура на них.

В морском ведомстве России использовались усилительная лампа *Audion amplifier* (двойной аудион) и детекторная лампа *Audion detector*. Лампа *Audion amplifier* имела две дугообразно изогнутые нити накала конструкции Хадсона (*Hudson*). Детекторная лампа *Audion detector*, использовавшаяся как детектор, отличалась от описанной выше тем, что в ней нагревалась только одна нить, а другая запасная нить подключалась при необходимости. В *Audion detector* анод и сетка были расположены лишь с одной стороны от нитей накала и их устройство было такое, как у *Audion amplifier*. На рис. 14 представлены анодно-сеточные характеристики *Audion detector* при анодном напряжении 30 В, снятые в Радиотелеграфном кабинете Офицерской электротехнической школы в Санкт-Петербурге.

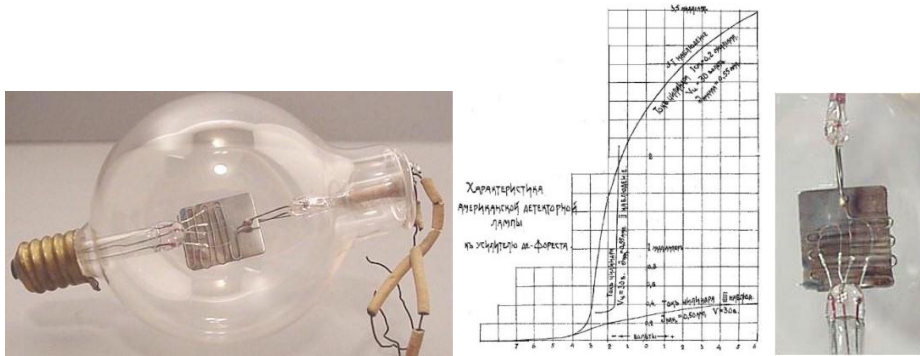


Рис. 14. Общий вид *Audion detector* Ли де Фореста и его анодно-сеточные характеристики (1917 г.) [10].

Fig. 14. General view of the “Audion detector” by Lee de Forest and its anode–grid characteristics (1917) [10]

Среди приобретенной в США радиоаппаратуры были, в частности, детекторные радиоприемники с кристаллическим детектором и трехкаскадным усилителем звуковой частоты на двойных аудионах, рис. 15. Радиоприемники конструкции де Фореста перед поставкой в войска были протестированы в Радиотелеграфном кабинете Офицерской электротехнической школы подпоручиком Александром Тихоновичем Угловым, исполняющим обязанности заведующего электротехническим кабинетом, при участии подпоручика Магнушеского, командующего 1-й радиотелеграфной ротой запасного электротехнического батальона.

Усилитель звуковой частоты Ли де Фореста имел три каскада усиления на двойных аудионах. Связь между каскадами была трансформаторная. Выходной сигнал с детектора радиоприемника поступал на первичную обмотку трансформатора, а уже с вторичной его обмотки — на сетку

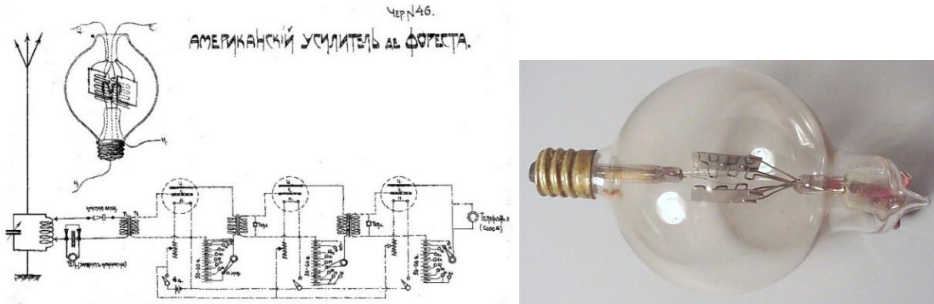


Рис. 15. Принципиальная схема детекторного радиоприемника с трехкаскадным усилителем звуковой частоты конструкции Ли де Фореста, который поставлялся в Россию. 1916 г. [10]. Аудион «двойное крыло» с вольфрамowymi нитями. 1915 г.

Fig. 15. Schematic diagram of a detector radio with a three-stage sound frequency amplifier designed by Lee de Forest, which was delivered to Russia. 1916 [10]. Double wing audion with tungsten filaments 1915

первой лампы усилителя. Для накаливания нитей использовалась батарея аккумуляторов напряжением 6 В, общая для всех трех ламп. Ток накала каждой лампы регулировался реостатом на глаз по силе свечения нити.

Анодное напряжение для каждой лампы подавалось от отдельной батареи, состоящей из 36 сухих элементов общим напряжением около 60 В. Анодная батарея имела 8 выводов, которые использовались для изменения анодного напряжения. Путем ступенчатого изменения анодного напряжения и плавного изменения накала нити реостатом удавалось найти точку на прямолинейном участке характеристики лампы, при которой потенциал на сетке становился нулевым. Нормальная работа лампы соответствовала анодному напряжению величиной 18—24 В. Срок службы новой анодной батареи составлял 8—12 месяцев. При регулировке необходимо было следить за тем, чтобы в лампах не возникало синего свечения, так как это могло привести к разрушению нити. В этих случаях рекомендовалось уменьшить накал или анодное напряжение, или и то, и другое. Точная регулировка на силу звука производилась одним реостатом накала, когда анодное напряжение было уже установлено.

Для прослушивания радиосообщений использовались телефонные наушники сопротивлением не менее 2000 Ом, которые включались непосредственно в цепь анода выходной лампы. В радиоприемнике предусматривалась работа приемника без звукового усилителя. Для этого в цепи детектора имелись гнезда для подключения наушников. Эти гнезда при работе лампового усилителя накоротко замыкались перемычкой.

8. Заключение

Аудион де Фореста вначале использовался в качестве детектора. Инновационные технологии, разработанные Фрицем Левенштейном для конструирования усилителей электрических сигналов, позволили собрать первые усилители звуковой частоты на аудионах [11]. В дальнейшем они стали основой генераторов высокой частоты.

Благодаря аудионному усилителю, работающему в режиме усиления электрических сигналов, удалось подключить к радиоприемнику громкоговоритель. Это позволило прослушивать передачи целой аудитории, в то время как детекторный приемник давал возможность слушать на наушники и только при полной тишине. Длительное время для получения требуемого смещения на сетке вакуумного триода использовались гальванические элементы, пока их не потеснил в некоторых каскадах радиоприемников гридлик Ли де Фореста (1920 г.).

Нужно отметить, что разработка звукового усилителя в *FTC* мало что дала компании в краткосрочной перспективе, она стала существенной в 1920-х годах, когда растущее доминирование технологии вакуумных ламп заставило *FTC* перейти с дуги Паульсена на системы вакуумных электронных ламп.

Список литературы

1. Bronk O. von. Patent für DRP271059 vom 3. September 1911 über eine "Empfangseinrichtung für drahtlose Telegraphie".
2. Stone J. S. & Cabot S. Space Telegraphy. Patent US884110A. Application Filed Jan. 4. 1907. Patented Apr. 7, 1908.
3. Discussion of "A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology" // Proceedings of the IRE. 1959. No. 7. P. 1254.
4. Lowenstein Fritz. Telephone relay. Patent US12478717A. Application Filed Apr. 24, 1912. Renewed Apr. 26, 1917. Patented July 3, 1917.
5. History San Jose Research Library. History San Jose Online Catalog. URL: <https://calisphere.org/item/d4cd7ae1bdfe0d0223fcf60bdce1c071/> (27.11.2020).
6. Discussion of "A History of Some Foundations of Modern Radio-Electronic Technology" // Proceedings of the IRE. 1959. No. 7. P. 1255.
7. De Forest's diary, February 12, 1912; entry in his notebook, April 22, 1912, Papers of Lee de Forest, Library of Congress, Washington DC.
8. Mann F. J. Federal Telephone and Radio Corporation. A Historical Review: 1909–1946 // Sparks. 1974. Vol. 3. No. 11. P. 17.
9. Logwood C. V. High Speed Radio Telegraphy // The Electrical Experimenter. 1916. No. 6. P. 99–100.
10. Углов А. Е. Атлас чертежей к курсу усилительные лампы в телеграфии и телефонии без проводов. Петроград, 1917. 38 с.

11. Pestrikov Victor M. The invention of a tube audio amplifier // ITM Web of Conferences. Vol 30. 16002 (2019). URL: https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2019/07/itmconf_crimico2019_16001.pdf (01.12.2020).

Информация об авторе

Пестриков Виктор Михайлович, д. т. н., профессор Санкт-Петербургского государственного института кино и телевидения, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация. ORCID 0000-0003-0466-881X.

Information about the author

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation. ORCID 0000-0003-0466-881X.