

УДК 621.37-621.39(091)

Применение катодно-лучевых технологий для усиления электрических сигналов

Пестриков В. М.

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

Получено: 20 ноября 2020 г.

Отрецензировано: 25 ноября 2020 г.

Принято к публикации: 27 ноября 2020 г.

Аннотация: *Усилительная электронная лампа австрийского физика Роберта фон Либена занимает важное место в истории усилительной техники электрических сигналов. Первоначально это устройство не было разработано для беспроблочной телеграфии, а предназначалось для усиления телефонных токов. Электронные лампы были созданы после многих попыток в лаборатории Либена, в которой работали выдающиеся физики, такие как Е. Рейс и С. Штраус. Вопросы применения катодно-лучевых технологий для усиления телефонных сигналов занимались в основном в Австро-Венгерской империи. Помимо Либена, в этом направлении работал Юлиус Нардин в Словении.*

Ключевые слова: *телефонная трансляция, катодное реле, усилительная электронная лампа, Роберт фон Либен, Евгений Рейс, Зигмунд Штраус, Юлиус Нардин.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Применение катодно-лучевых технологий для усиления электрических сигналов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 3. С. 360—383.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Пестриков, В. М. Применение катодно-лучевых технологий для усиления электрических сигналов / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 3. — С. 360—383.

Application of cathode-ray technologies for amplification of electrical signals

V. M. Pestrikov

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

Received: November 20, 2020

Peer-reviewed: November 25, 2020

Accepted: November 27, 2020

Abstract: *The amplifying vacuum tube of the Austrian physicist Robert von Lieben occupies an important place in the history of the amplifying technology of electrical signals. This device was not originally designed for wireless telegraphy but was intended to amplify telephone currents. Vacuum tubes were created after many attempts in the laboratory of Lieben, in which eminent physicists such as E. Reis and S. Strauss worked. The use of cathode ray technologies to amplify telephone signals was mainly dealt with in the Austro-Hungarian Empire. Besides Lieben, Julius Nardin worked in this direction in Slovenia.*

Keywords: *telephone repeater, cathode relay, amplifying vacuum tube, Robert von Lieben, Eugen Reis, Siegmund Strauss, Julius Nardin.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov “Application of cathode-ray technologies for amplification of electrical signals,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 360–383, 2020. (In Russ.).

1. Введение

К началу XX века в Европе и США уже существовала разветвленная телефонная сеть, которая продолжала покорять все новые пространства. Однако ее продвижение начало тормозиться, телефонному сигналу стало трудно преодолевать большие расстояния. Для решения этой проблемы необходимо было усилить телефонный сигнал. Срочно понадобился усилитель для подобного типа сигналов. О ценности и полезности такого телефонного усилителя говорит тот факт, что в 1899 г. президент компании *The Erie Telegraph and Telephone Co. Charles J. Glidden*¹ объявил о премии \$1 млн тому, кто его сконструирует.

¹ Charles Jasper Glidden (29.08.1857—11.09.1927) основал телефонную компанию в Лоуэлле (Lowell, Mass.), штат Массачусетс, в 1878 г. после того, как за год до этого увидел выставку Александра Грэма Белла на Столетней выставке в Филадельфии. В 1901 г. продал свою компанию Беллу. Он стал частным лицом, увлекся автомобилями и кругосветными путешествиями на них.

Телефонной технологии требовалось «реле», как это было ранее в телеграфной технике, то есть устройство, которое усиливало передачу входящих слабых токов за счет взаимодействия со специальным источником электроэнергии. Поскольку телефонные токи, в отличие от телеграфных, представляют собой чрезвычайно сложные переменные токи, создание телефонного реле представляло гораздо большие трудности, чем известное телеграфное реле. Было испробовано несколько более или менее остроумных решений, но ни одно из них не принесло удовлетворительных результатов.

Данная статья совместно с [1—3] завершает цикл из 4-х статей, которые посвящены открытию катодных лучей, формированию катодно-лучевых технологий и их применению к усилению электрических сигналов. В этих статьях автор отобразил в основном научные исследования, которые носили фундаментальный характер и повлияли на развитие различных направлений науки и техники. Характерной чертой этих статей является то, что в них показаны научные будни ученых и их подходы к решению научных проблем. Во многих случаях рассмотрены оригиналы работ ученых, которые принесли им известность. Многие оригиналы статей и патентов ученых ранее были недоступны отечественным научным работникам. Автор надеется, что прочтение его статей молодыми учеными, поможет им в выборе научного направления и подвигнет их на новые научные открытия, которые принесут славу России.

2. Усиление телефонных сигналов на рубеже XIX и XX вв.

Первый телефонный передатчик (микрофон) Александра Белла был электромагнитного типа и не мог усиливать звук. Требовалась только сила самого голоса, чтобы преодолеть потери в линии и издать слышимый звук на другом конце телефонной линии. С таким устройством вести разговор можно было только на небольшом расстоянии. Ближайшая перспектива междугородной связи не казалась слишком радужной. Прогресс в появлении работоспособных телефонных реле для усиления звука наметился только в 1877 г., когда американский картограф Фрэнсис Блейк (англ. *Francis Blake, Jr.*, 25.12.1850—20.01.1913) изобрел микрофон с угольными гранулами и запатентовал (CA10021, US250126) его до того, как Томас Эдисон изобрел аналогичный микрофон, в котором также использовались мелкодисперсный уголь. Компания Александра Белла выкупила у Блейка его патент с условием, что у каждого микрофона, на каждом аппарате должна быть надпись «Передатчик Блейка» (англ. *Blake Transmitter*). Этим

он шокировал и Томаса Ватсона, помощника Белла, который считал, что вклад каждого изобретателя заслуживает внимания.

Угольный микрофон (*carbon microphone*) представляет собой устройство с переменным сопротивлением, состоящим из мелких углеродных гранул, которое управляет протеканием тока от источника постоянного тока, а не просто преобразует акустическую энергию в электричество. Эта технология усиления мощности стала основой первых практических телефонных систем.

Конструкции первых телефонных усилителей, или как их тогда называли телефонных ретрансляторов (англ. *Telephone Repeater*), представляли собой комбинацию электромагнитного телефона (приемника) и угольного микрофона. В 1878 г. Дэвид Юз (англ. *David Edward Hughes*), а в 1898 г. Оливер Лодж (англ. *Oliver Lodge*) [4] сконструировали телефонное реле, которое было подобно телеграфному реле [5]. В этом реле колебания мембраны электромагнитного приемника (телефона) приводили к разрыву микроконтакта в первичной цепи повышающего трансформатора. Процесс размыкания-замыкания контакта приводил к появлению переменного низкочастотного тока. В результате действия электромагнитной индукции во вторичной обмотке трансформатора возникал переменный ток большей величины. Принцип действия микрофонного реле показан на рис. 1 [6]. Эта конструкция из-за несовершенства микрофонов и телефонных диафрагм не нашла применения на практике, так как вторичный ток не совпадал по форме с первичным током, что приводило к искажениям речи.

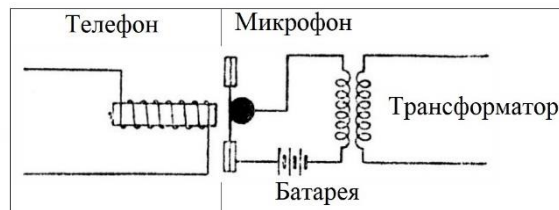


Рис. 1. Изобретатель угольного микрофона Фрэнсис Блейк Младший (фото сделано Вильямом Вэбстером в 1901 г.) и принципиальная схема телефонного ретранслятора с использованием угольного микрофона.

Fig. 1. The inventor of the carbon microphone, Francis Blake the Younger (photo taken by William Webster in 1901) and the circuit diagram of a telephone repeater, using the carbon microphone

Долгое время не удавалось сконструировать устройство с приемлемым качеством усиления звука. В 1903 г. инженеру компании Bell Гербер-

ту Шриве (англ. *Herbert E. Shreeve*, 01.08.1873—25.04.1942) было поручено разработать практический механический усилитель. До него изобретатели в устройстве усиления соединяли диафрагмы телефонов и микрофонов для выполнения функций приема или излучения звука. Шриве же отказался вообще от этих диафрагм и заменил их простым плунжером, который приводился в движение приемной катушкой телефона и прижимался к углеродным гранулам микрофона (передатчика), рис. 2а [7]. Этот механический ретранслятор был усовершенствован Шриве до такой степени, что он получил на него патент и устройство стало использоваться в коммерческих целях, рис. 2б [8]. Ретранслятор Шриве был одним из первых механических усилителей, который использовался в течение более 10 лет, прежде чем они были заменены ретрансляторами на вакуумных электронных радиолампах.

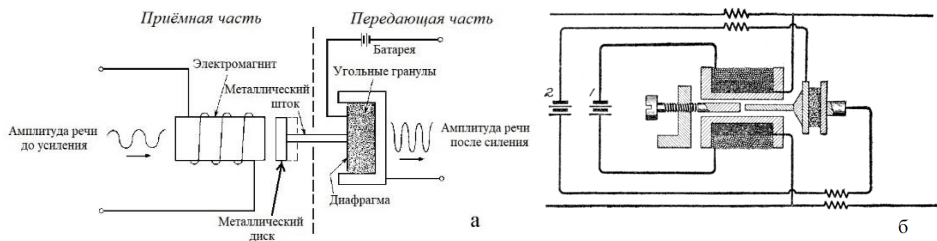


Рис. 2. Принцип работы (а) [7] и типовая схема (б) [8] включения усилителя Шриве в телефонную линию (1903 г.).

Fig. 2. The principle of operation (a) [7] and a typical circuit (б) [8] for connecting the Schreeve amplifier to a telephone line (1903)

Одной из проблем ранних конструкций ретрансляторов была «упаковка» гранул углерода в корпусе микрофона. Шриве обнаружил, что из-за выделения тепла в углеродной камере происходит расширение угольного порошка. В его первой удачной лабораторной модели в качестве соединительного звена между приемником и микрофоном использовалась натянутая стальная полоса, причем микрофон был сконструирован таким образом, чтобы при расширении его частей под действием тепла гранулированный углерод между электродами не подвергался повышенному давлению. Первый успешный тест работы ретранслятора (рис. 3) был проведен в 1904 г. на телефонной линии протяженностью в 65 км между городами Эймсбери (*Amesbury, Massachusetts*) и Бостоном (*Boston*). Тест показал большую разборчивость при передаче длинных предложений несвязанных слов, в сравнении с тем, что можно было получить в схеме без повторителя. Механический усилитель хотя и был далек от совершенства, но это

был единственный вариант усиления телефонных сигналов на то время, который решал практические задачи.

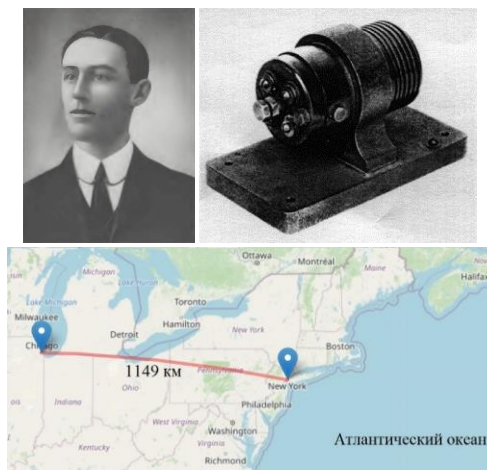


Рис. 3. Герберт Шриве и его первая конструкция механического усилителя (1904 г.), который использовался в коммерческих целях на линии Нью-Йорк — Чикаго с августа 1904 по февраль 1905 г.

Fig. 3. Herbert Schreeve and his first mechanical amplifier design (1904), which was used commercially on the New York-Chicago line from August 1904 to February 1905

В механических усилителях искажения при воспроизведении голоса были связаны с инерцией подвижных частей. Это и стало причиной к созданию конструкции реле на базе управляемых газоразрядных трубок. В 1904 г. американский инженер-электрик Питер Хьюитт (англ. *Peter Cooper Hewitt*, 05.05.1861—25.08.1921) описал такое устройство в полученном им патенте «Методы воздействия электрическими колебаниями» (англ. *Means for reproducing electrical variations*) [9]. В патенте приведено две схемы газоразрядных устройств и показаны методы управления в них электрическим током с помощью магнитного поля соленоида, рис. 4. Нужно заметить, что газоразрядные лампы Хьюитта были разновидностью вакуумной трубки Гейсслера, в которых анод был металлическим, а в качестве катода использовалась ртуть. При приложении к аноду высокого положительного напряжения или при наклоне лампы до кратковременного касания ртути анода, происходила ионизация паров ртути и зажигалась электрическая дуга².

² Электрическая дуга или дуга Петрова представляет собой один из видов электрического разряда в газе. Присутствие свободных электрических зарядов обеспечивает проводимость электрической дуги. При увеличении напряжения между двумя электродами до определенного уровня в воздухе происходит электрический пробой и возникает искровой разряд, который импульсно замыкает электрическую цепь.

В тексте патента Хьюитт отмечает: «Я обнаружил, что сопротивление этих ламп может контролироваться другими средствами, кроме тех, которые изложены в упомянутых мною патентах, а лампы могут использоваться как очень чувствительные устройства для изменения сопротивления электрической цепи. Например, на сопротивление этих ламп легко влияет магнитное поле в непосредственной близости от них, и изменение поля может восприниматься как изменение электрического сопротивления лампы» [9]. Из рис. 4а видно, что первичные токи подводятся к катушке 5 и ее магнитное поле вызывает изменение высоковольтного тока, протекающего через ртутную лампу. На рис. 4б в первичную цепь с электромагнитом включен микрофон. При воздействии звуковых волн на его мембрану происходит изменение магнитного поля электромагнита, которое, воздействуя на ток в газоразрядной лампе, вызывает его изменение. Другими словами, небольшие воздействия внешнего магнитного поля приводят к изменениям высоковольтного тока в газоразрядной лампе, которые могут быть зафиксированы визуально по изгибу электрической дуги. Схемы устройств Хьюитта (рис. 4) имели принципиальное значение для дальнейшего развития телефонных усилителей.

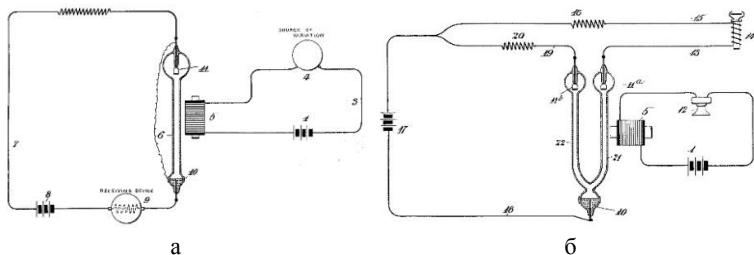


Рис. 4. Питер Купер Хьюитт (1904 г.) и его схемы управления током катодной трубки из патента US749791 с приоритетом от 16 мая 1902 г.

Fig. 4. Peter Cooper Hewitt (1904) and his cathode tube current control circuits from US749791 with priority of May 16, 1902

Попытки использовать электрические токи дуги в разряженных газах для релейного эффекта в тот период времени не имели успеха, поскольку для разряда требовались относительно высокие напряжения и большое количество электрической энергии. Газоразрядные трубки типа Хьюитта получили практическую реализацию в качестве релейных устройств только в начале второго десятилетия XX в., когда на их базе были разработаны работоспособные телефонные ретрансляторы. Невзирая на это, в дальнейшем отказались от использования электрических лучей с высокими скоростями носителей заряда из-за сложности управления ими.

3. Изобретение катодного реле

Разработать практический телефонный ретранслятор с использованием катодно-лучевых технологий было суждено 28-летнему австрийскому физику Роберту фон Либену (*Robert von Lieben*, 05.09.1878—20.02.1913). Роберт фон Либен родился в состоятельной семье в Вене, в доме, расположенном недалеко от Венской оперы, рис. 5. Его отец, Леопольд фон Либен, был банкиром и являлся президентом Венской биржи.

Роберт, будучи материально обеспеченным человеком, учился без особого желания в строго регламентированной школьной системе. Он досрочно покинул Венскую академическую гимназию и довольствовался аттестатом об окончании средней школы. Однако он рано сформировался как самоучка, проводя в основном физико-химические эксперименты, и в подростковом возрасте установил электрическое освещение на родительской вилле в Хинтербрюле у Медлинга (нем. *Hinterbrühl bei Mödling*) с подводом энергии от близлежащей мельницы Хельдриха (нем. *Höldrichsmühle*). В этот период времени он настолько увлекся электричеством, которое тогда вызывало всеобщий интерес, что на короткое время устроился стажером, сотрудником без оплаты, в компанию *Siemens-Schuckert* в г. Нюрнберг. Здесь он приобрел практический опыт в области электротехники.



Рис. 5. Роберт фон Либен (1910 г.) и здание Венской государственной оперы.
Художник *Friedrich Frank*. Начало XX в.

Fig. 5. Robert von Lieben (1910) and the Vienna State Opera.
Artist *Friedrich Frank*. Early 20th century

Роберт фон Либен не получил полного университетского образования, так как посещал лекции в университете Вены по выбору на правах вольного слушателя. Стремление заниматься наукой привело его в Геттингенский университет, где он проработал целый учебный год (1899/1900 гг.) помощником у известного немецкого физика и химика Вальтера Нернста (*Walther Hermann Nernst*, 25.06.1864—18.11.1941). Благодаря своему при-

лежанию и научному кругозору он обратил на себя внимание профессора В. Нернста, и у них сложились дружеские отношения. В последующем отзыве о своем ученике В. Нернст называл его не просто своим любимым учеником, но также и верным другом.

За время пребывания в университете Либен изучил особенности электрохимических фонографов, над усовершенствованием которых работал В. Нернст, рис. 6. Во время этих экспериментов он и заинтересовался проблемой усиления звуковых сигналов. Накопленный во время экспериментов опыт пригодился ему в дальнейшем, когда он занялся вплотную созданием приборов для усиления звуковых телефонных сигналов.

В 1900 г. Р. Либен возвратился в Вену и в доме родителей создал свою собственную лабораторию, в которой проводил различные физико-технические эксперименты, в частности, изучал электрические явления в разряженных газах, рис. 6.

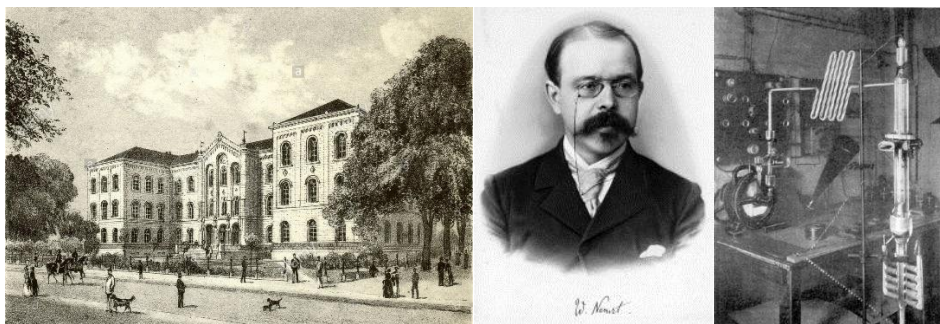


Рис. 6. Старая большая аудитория Геттингёнского университета имени Георга Августа. Литография. После 1872 г. Роберт Гайсслер (1819—1893), Вальтер Герман Нернст и лаборатория Роберта фон Либена в Вене. 1900 г.

Fig. 6. Old Auditorium Maximum of the Georg-August-Universität Göttingen. Lithograph. After 1872. Robert Geissler (1819–1893), Walther Hermann Nernst and laboratory of Robert von Lieben in Vienna. 1900

Отец Роберта фон Либена всячески поддерживал увлечение сына техникой, и в 1904 г. купил ему телефонную фабрику в городе Махрен³ (немецкое название города Mähren времен Австро-Венгерской монархии). Предприятие получило название: «Телефонная фабрика Роберта фон Либена» (нем. *Telephon Fabrik Robert von Lieben*).

Продукция телефонной фабрики использовалась в междугородней телефонной связи Австро-Венгрии. Во время ее наладки Р. Либен обратил внимание на тот факт, что качество телефонного разговора ухудшается с

³ Сейчас этот город называется Оломоуц (нем. Olmütz) и входит в область Моравия (Чехия).

увеличением расстояния между городами, так как уменьшается сила тока в телефонной линии. При длине телефонной линии около 400 км, электрический ток уже не может привести в движение мембрану телефона⁴ [10]. При увеличении телефонного трафика на большие расстояния необходимо было решить две основные задачи: явление искажения речи и ослабление передаваемых телефонных сигналов. Если первая задача могла быть решена чисто теоретическими подходами в борьбе с источниками ошибок искажения речи, то вторая задача все еще ждала своего решения. Поэтому, чтобы добиться качественной работы телефона, необходимо было усилить электрический сигнал в телефонной линии.

Р. Либен после анализа работы телефонных релейных усилителей, пришел к выводу, о необходимости замены механических реле, другими более совершенными приборами. Это было связано с тем, что релейный усилитель, хотя и мог дать очень большой «коэффициент усиления» мощности, обеспечивая гальваническую развязку входа и выхода, у него было ограниченное быстродействие. Вдобавок релейный усилитель не мог усиливать аналоговые, плавно изменяющиеся сигналы, каковыми являются звуковые телефонные сигналы. Главный недостаток всех конструкций телефонных реле заключался в инерции движущихся масс, которые, какими бы чувствительными они ни были, имеют малую скорость переключения. Для усиления телефонных сигналов были необходимы другие устройства.

Роберт Либен понял, что механические конструкции не могут привести к цели. Он, будучи физиком, был в курсе последних достижений в области катодно-лучевых технологий. Это позволило ему прийти к мысли, что в газоразрядной трубке катодные лучи являются своеобразным мостом между катодом и анодом, соединяющим электрическую цепь. Воздействуя слабым входным током на такую цепь, можно управлять ее выходным электрическим током. Он понял, что практическая реализация телефонного усилителя с использованием катодных технологий возможна только с помощью более медленных, легко регулируемых катодных лучей, которые производятся тлеющим разрядом. Исходя из этого, Либен выбрал в качестве базового элемента своего электронного усилительного устройства трубку Перрена, которую он модернизировал. Холодный катод был заменен нагреваемым оксидным катодом в виде вогнутого зеркала для фокусировки электронного потока. Такая форма катода была, как известно, предложена в свое время Круксом. Покрытие катода смесью оксидов щелочно-

⁴ В 1909 г. русский ученый в области проводной связи В. И. Коваленков разработал телефонную проволочную безламповую трансляцию, которая позволила удлинить линию передач в несколько раз. Схема трансляции включала реле, гальваническую батарею и повышающий трансформатор.

земельных металлов указывает на знание им работ по оксидным катодам своего соотечественника Артура Венельта, который в этот период времени опубликовал свои результаты экспериментов с катодными трубками. Либен для отклонения катодных лучей использовал магнитное поле кольцевого электромагнита, состоящего из двух половинок, соединенных последовательно, как это было сделано в трубке Брауна.

Исследования и разработки катодного реле проходили в течение 1905 года в частной лаборатории Роберта фон Либена в Вене, на улице Оппольцегассе 6 (нем. *Oppolzergasse*), в доме его родителей, рис. 7. В исследованиях в качестве сотрудников принимали участие его соученики по учебе в университете физик Евгений Рейс⁵ (нем. *Eugen Reisz*, 1879—1957) и инженер-электрик Зигмунд Штраус (нем. *Siegmond Strauss*, 04.01.1875—29.03.1942). Рейс работал у Роберта фон Либена с 1902 года.

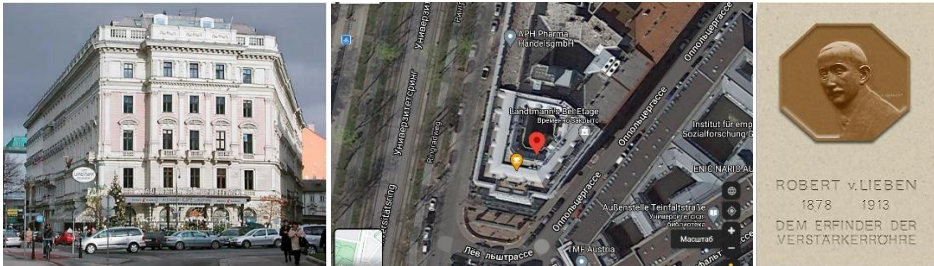


Рис. 7. Вена. Дом, в котором на первом этаже находилась лаборатория Роберта фон Либена. Карта с расположением дома по улице Оппольцегассе, 6. Справа мемориальная доска Либену, установленная 24 апреля 1927 г. на здании RAVAG по улице Johannesgasse, 4 (в 1938 г. снята из-за антисемитских настроений).

Fig. 7. Vienna. The house in which the laboratory of Robert von Lieben was located on the ground floor. Map showing the location of the house on Oppolzergasse 6. On the right is a memorial plaque to Lieben, installed on April 24, 1927 on the RAVAG building on Johannesgasse 4 (removed in 1938 due to anti-Semitic sentiments)

В январе 1906 года Либен привлек к работам химика доктора Ричарда Лейзера (*Richard Leiser*), ассистента из Института химии Венского университета, который должен был помочь в разработке оксидного катода с вогнутым зеркалом. Для этой цели Лейзер испробовал широкий спектр механических конструкций (слой платины на фарфоровом корпусе, платиновый лист с отдельным нагревательным элементом, сборка зеркала из отдельных частей платинового листа), пока наконец не была найдена удовлетвори-

⁵ Е. Рейс в 1923 г. изобрел микрофон для передачи высококачественного звука, в котором закрытая мембрана была сделана из угольной пыли и размещалась в мраморном блоке. Обладатель нескольких патентов в этой области. Разработчик и производитель микрофонов, электростатических динамиков и других электроакустических устройств.

тельная конструкция с соответствующим тонким листом платины. Было очень трудно изготовить зеркало с оксидом щелочного металла, чтобы оно выполняло функцию катода Венельта. Лейзер сначала попытался применить оксид кальция (CaO) в виде порошка, затем препарат с органическими солями кальция. Наконец успех пришел с нитратом кальция, и колебания тока можно было увеличить с 5 мА до 50 мА с помощью магнитного управления. Важный вклад доктора Ричарда Лейзера в исследование был признан Робертом фон Либеном в сентябре 1908 г. в контракте, согласно которому доктор Лейзер должен был получать 40 % прибыли от изобретения.

Во время экспериментов с катодно-лучевым реле возникли трудности из-за высокого потенциала, приложенного к внешнему цилиндру. Это вызывало ионизацию остаточного газа и появление «голубого свечения», которое снижало эффективность реле. В результате напряженных исследований 1905/1906 гг. была сконструирована усилительная электронная лампа с магнитным управлением. Р. Либен на свою конструкцию электронной лампы получил немецкий патент DE179807 от 4 марта 1906 г. (рис. 8) [11]. Согласно патенту лампа называлась «Катодно-лучевое реле» (нем. *Kathodenstrahlrelais*). Отсюда и пошло последующее название электронных ламп «катодное реле», которое долгое время использовалось в радиотехнике. В дальнейшем «катодными реле» стали называть и появившиеся позже трехэлектродные лампы Ли де Фореста.

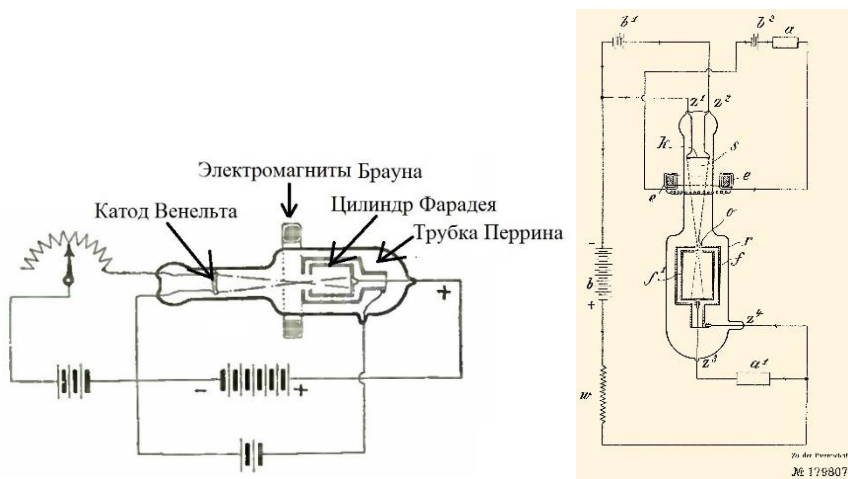


Рис. 8. Модернизированная трубка Перрина (слева) и конструкция катодно-лучевого реле Роберта фон Либена (справа) в соответствии с патентом DE179807 от 4 марта 1906 г.

Fig. 8. The modernized Perrin tube (left) and the design of a cathode ray relay by Robert von Lieben (right) in accordance with patent DE179807 dated March 4, 1906

Формула изобретения Р. Либена была следующей: «Катодно-лучевое реле электрических волн для больших частот, отличающееся тем, что медленные катодные лучи, исходящие в известной степени из катода с вогнутым отражателем, покрытого нагреваемым металлическим оксидом, находятся под влиянием усиливаемых электрических волн таким образом, что они вызывают в электрической цепи (контуре) волны одинаковой частоты, но более высокой амплитуды».

Входной электрический сигнал, который необходимо усилить, поступает на кольцевой электромагнит из двух половинок, и его магнитное поле через силу Лоренца изменяет направление электронного пучка при его движении от катода к аноду. В зависимости от степени отклонения электронов происходит необходимое усиление сигнала. В патенте подчеркивается тот факт, что катодные лучи практически не имеют момента инерции, так что должно быть возможно усиление до самых высоких частот. Кроме того, за счет использования «медленных катодных лучей» (поскольку катод Венельта позволял снизить анодное напряжение примерно до 200 вольт) относительно небольшие магнитные или электрические силы позволяли реализовать желаемый эффект усиления сигнала.

В патенте Р. Либена впервые сформулирован принцип усиления электрического сигнала в вакуумной электронной лампе. Заметим, что эта первая усилительная электронная вакуумная лампа, которая, кроме катода прямого накала, анода, управляющего электрода, имела еще и катушки индуктивности, что не позволяло ее назвать трехэлектродной лампой, которая потом стала доминирующей в радиотехнике. Лампу трехэлектродного типа немецкий ученый изобрел позже, после того как стало известно о работах американца Ли де Фореста.

Нужно отметить одно важное отличие в предназначении изобретенных усилительных ламп австрийцем Робертом фон Либеном и американцем Ли де Форестом. Изначально усилительная электронная лампа Роберта фон Либена предназначалась для усиления низкочастотных электрических колебаний в телефонных линиях, в то время как трехэлектродная электронная лампа Ли де Фореста изобреталась специально для усиления радиочастот принимаемых антенной радиоприемника. При этом изобретения имеют различные прототипы: у фона Либена — катодная трубка, у де Фореста — пустотный клапан.

Если судить по датам полученных патентов двумя учеными, Р. Либена (патент выдан 04 марта 1906) и Ли де Фореста (патент заявлен 27 августа 1906), то первенство в изобретении вакуумной электронной лампы для усиления электрического сигнала принадлежит Роберту фон Либену.

Появившаяся усилительная лампа получила название «трубка Либена» (нем. Lieben-Röhre), но иногда ее называли и «лампа Либена». При практическом внедрении лампы Либена встретились некоторые трудности, но, невзирая на это, лампа была опробована в качестве усилителя звукового сигнала в телефонии [12] вместо телефонного электромагнитного реле и, что важно, показала свою работоспособность, рис. 9а. В патенте DE179807 указывается, что катодное реле предназначено для решения некоторых проблем в телефонии, в частности, передача голоса на большие расстояния, кабельная телефония, беспроводная телефония, усиление передачи голоса и музыки и т. д. Это реле может быть полезным также для некоторых проблем дистанционной фотографии, фонографии и др.

Что касается беспроводной телефонии, о которой упоминается в патенте, то в нем не приводятся схемы, относящиеся к этой области связи. Возможная схема приемника беспроводной телеграфии на лампе Либена с прослушиванием информации на наушники приведена на рис.9б [13].

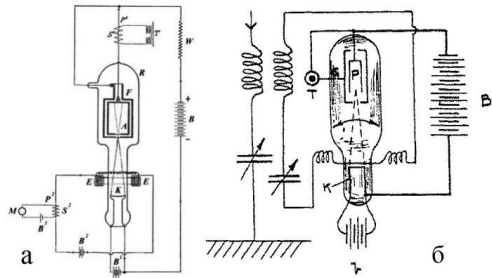


Рис. 9. Город Оломоуц (нем. Olmütz, 1900 г.), в котором Роберт фон Либен в 1904—1906 гг. проводил эксперименты с телефонным усилителем и принципиальная схема (а) усилителя звукового сигнала на катодно-лучевом реле (рис. В. М. Пестрикова) [12]. Справа (б) возможная схема приемника беспроводной телеграфии на лампе Либена [13].

Fig. 9. The city of Olomouc (German Olmütz, 1900), in which Robert von Lieben 1904—1906 conducted experiments with a telephone amplifier and a schematic diagram (а) of an audio signal amplifier on a cathode-ray relay (drawing by V. M. Pestrikov) [12]. On the right (б) is a possible diagram of a wireless telegraphy receiver on a Lieben tube [13]

Сконструированное Р. Либеном устройство для усиления звукового тока позволило увеличить дальность ведения телефонных разговоров. Другими словами, впервые была введена в практику так называемая «телефонная трансляция» [14]. До ее появления основным средством борьбы с ослабеванием тока в телефонной линии было применение проводов большого сечения (т. е. толще) и изготовленных из материала, отличающегося большой электропроводностью, например, из красной меди. Этот путь, однако, имеет разумные пределы, так как провода большого диамет-

ра стоят очень дорого, и могут настолько удорожить проведение телефонной линии, что она окажется нерентабельной. Все это говорит о важности и своевременности изобретения катодно-лучевого реле Р. Либеном.

В 1907 г. Либен продемонстрировал Нернсту работу катодного реле в своей частной лаборатории в Вене. Демонстрация проходила в режиме телефонного разговора с необычайно повышенной громкостью и в то же время при совершенно четко различимой речи [15]. Аппаратура с лампой Либена была громоздкой, высотой в человеческий рост. К лампе постоянно был подключен вакуумный насос для поддержания в ней требуемого разрежения.

4. Реле переменного тока с ионизационным управлением

Первая усилительная электронная лампа конструкции Либена была далека от совершенства. В связи с этим Либен поручил Рейсу и Штраусу продолжить работу над катодным реле и довести его до практического использования. Доктор Лейзер на этом этапе работ не принимал участие, так как в сентябре 1907 г. поменял место жительства и переехал в город Карлсруэ (*Karlsruhe*, город в Германии в 680 км от Вены). В этот период времени Либен плохого себя чувствовал и разработками занимался в основном Рейс. По словам Рейса, важные детали более поздних разработок были связаны с именем Либена, который все еще был очень активен, несмотря на свою болезнь [16]. Была кардинально пересмотрена первоначальная конструкция катодного реле (рис. 8) с целью ее упрощения, неизменным осталось только магнитное управление катодными лучами.

Изобретатели отказались от «высокого вакуума», упомянутого в предыдущем патенте DE179807, и вместо этого использовали ионизацию разряженного газа. «Трудность изготовления полого зеркального катода, неоднородное излучение катодных лучей из нагретого оксида и, в частности, сложность поддержания постоянного вакуума в газоразрядной трубке были основными причинами», которые мотивировали дальнейшее развитие устройства 1906 года [17].

В начале 1910 г. Рейс и Штраус для предотвращения вредного влияния тлеющего разряда на работу катодно-лучевого реле установили металлическую диафрагму в виде диска с отверстием на пути катодных лучей между катодом и анодом и подключили ее к положительному полюсу источника постоянного тока питания анода. Во время экспериментальной работы с реле они обнаружили контролирующее влияние этого электрода на поток носителей электрического заряда между катодом и анодом. Это открытие привело к новой конструкции катодного реле, которая была разработана после окончания текущих работ.

30 марта 1910 г. фон Либен вместе с Е. Рейсом и З. Штраусом, запатентовали новую конструкцию катодного реле — *Relais fur undulierende Strome* (реле переменного тока) и получили на нее австрийский патент [18], а потом и немецкий патент [19], рис.10а, б. Немецкий патент имел более длинное название: *Relais fur undulierende Strome, bei welchem durch die zu verstärkenden Stromschwankungen ein Ionisator beeinflusst wird* (реле переменного тока с ионизационным управлением).

В новой электронной усилительной лампе вместо коаксиального анода был использован небольшой толщины металлический диск *K*. Для образования катодных лучей горячий катод был заменен на холодный в форме полусферы. Это позволило сформировать параллельный не рассеивающийся электронный пучок, который падал перпендикулярно плоскости анода. Заметим, что в катодно-лучевом реле Либена (рис. 8) катод был выгнут таким образом, что его фокус находился в зоне отверстия цилиндра Фарадея. Это было сделано для того, чтобы сфокусированные частицы катодных лучей с большей долей вероятности попали в цилиндрический анод.

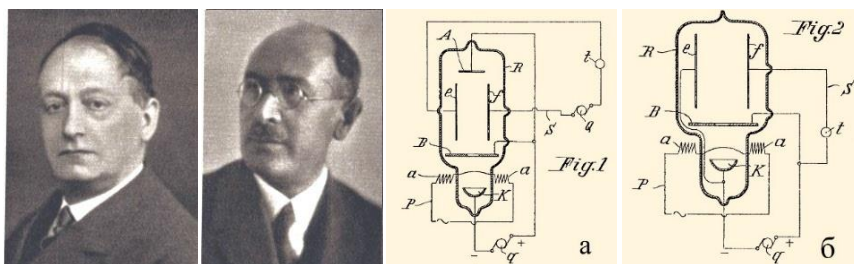


Рис. 10. Евгений Рейс (слева) и Зигмунд Штраус. В центре (а) и справа (б) схемы катодных реле конструкции Р. фон Либена, Е. Рейса и З. Штраусса из патента АТ47172 от 30.03.1910 г. [18].

Fig. 10. Eugen Reisz (left) and Siegmund Strauss. In the center (a) and on the right (b) diagrams of cathode relays designed by R. von Lieben, E. Reisz and Z. Strauss from patent AT47172 dated 03.30.1910 [18]

Устройство новой катодной лампы состоит из двух цепей, рис. 10. В первичную цепь входит контур *P*, содержащий электромагнитные катушки *a*, на которые подается первичный сигнал для усиления. Колебания магнитного поля катушек *a* оказывают воздействие на катодные лучи, которые генерируются в газоразрядной трубке *R*, и действуют как ионизатор. Другая цепь, вторичная, состоит из анода *A* в цепи источника постоянного тока *q*. Внутри газоразрядной трубки *R* имеется два пластинчатых электрода *e* и *f*, которые располагаются таким образом, что в пространстве между ними проходит траектория движения катодных лучей. Пластинчатые электроды

относятся также ко вторичной цепи S , содержащей свой источник постоянного тока Q . Металлическая диафрагма B перед катодом разделяет рассмотренные две цепи, а также формирует катодные лучи в пучок меньшего диаметра, чем диаметр при выходе от катода K , и ускоряет их движение.

Катодные лучи, исходящие от катода K , попадают в газовое пространство между электродами e , f и вызывают его ионизацию, что приводит к изменению электропроводности газа и возникновению тока во вторичной цепи S . Проводимость (ионизация) газового пространства между e и f изменяется в соответствии с изменениями переменных токов, которые протекают в отклоняющих катушках a , или вызываемыми ими магнитным отклонением катодных лучей. Эти изменения происходят с той же частотой и формой волны, что и колебания тока в первичной цепи P , но с большей амплитудой. В второй цепи происходят усиление колебаний тока, которые приводят в действие мембрану телефона t . В лампе, по существу, электроды e и f представляют собой второй анод, но из двух пластин. Первый анод A служит только для генерирования катодных лучей. Проблемы, связанные с высоким вакуумом, были преодолены за счет использования ионизации разреженного газа вместо зависимости от чистой термоэлектронной эмиссии.

Р. фон Либен, Е. Рейс и С. Штраус на свое устройство получили австрийский патент АТ48172 от 30 марта 1910 г. под названием «Реле для переменных токов», а 7 декабря 1910 г. им был выдан дополнительный патент АТ54011 с тем же названием, который часто называют «патентом на сетку».

В патенте АТ47172 указывается, что материал и температуру катода K , а также газ в газоразрядных трубках целесообразно выбирать так, чтобы катодные лучи испускались даже при относительно низком напряжении источника питания q . Лучи, излучаемые при таком низком напряжении, более чувствительны к воздействию отклоняющего магнитного поля, что увеличивает чувствительность реле.

В полученном группой Либена патенте еще приводится упрощенная схема устройства реле переменного тока с ионизационным управлением, рис. 9б. Упрощение достигнуто удалением анода A и одного источника постоянного тока. В этом устройстве пластина f выполняет роль анода, а пластина e подключена к минусу источника питания и отталкивает катодные лучи к аноду A . Диафрагма B и один контакт телефона подсоединены к плюсу источника питания. Описанное реле для переменных токов может использоваться для различных целей, например, в качестве усилителя звука, в качестве реле в проводной и кабельной телеграфии при местном и междугороднем трафике, а также в радиотелеграфии и телефонии и в ка-

честве вспомогательного устройства для телеграфа и для передачи электрического изображения.

Работы Роберта фон Либена, проведенные совместно с Евгением Рейсом (*Eugen Reisz*) и Зигмундом Штраусом (*Siegmund Strauss*), позволили значительно улучшить усилитель на катодном реле. Все патенты, полученные в результате работ группой Либена, содержали три фамилии: Р. Либен, Е. Рейс и С. Штраус.

Австрийский поэт Гуго фон Гофмансталь (нем. *Hugo von Hofmannsthal*, 01.02.1874—15.07.1929), который был частым гостем светских мероприятий в доме фон Либена, однажды написал о нем: «Он был одним из очень редких людей на Земле, которым их профессия доставляла полное счастье: он знал, что в самые высокие мгновения ему представится неизмеримо долгое время, чтобы обдумать бесконечные мысли»⁶ [20].

5. Катодное реле дистанционного электрического действия

Вопросы усиления телефонных сигналов волновали не только столичных ученых Австро-Венгрии, но и исследователей на ее окраинах, в частности, словенском городе Люблина (словен. *Ljubljana*, итал. *Lubiana*, до 1918 г. — *Лайбах*, нем. *Laibach*).

В 1911 г. известный учитель физики Люблинской классической гимназии Юлиус Нардин (рис. 11) со своим другом юристом Рене Зеи (*Rene Zei*) решили заняться улучшением телефонной передачи, так как шум, который присутствовал во время разговора, их очень раздражал [21].



Рис. 11. Юлиус Нардин. Вид города Люблин в 1911 г. и карта, показывающая удаленность Люблина от Вены.

Fig. 11. Julij Nardin. View of the city of Lublin in 1911 and a map showing the distance between Lublin and Vienna

Для решения поставленной задачи они сконструировали телефонное реле на базе катодной трубки Венельта на медленных электронах с напря-

⁶ Перевод с немецкого М. В. Пестриковой.

жением 400 В и несколькими (двумя и более) эквивалентными, взаимно изолированными анодами [22]. Нардин и Зеи получили на это устройство патенты в нескольких странах (Австро-Венгрии [23], Франции [24] и Великобритании [25]). В полученных патентах изобретенное устройство называется по-разному: австрийском — «Реле для электрических токов», французском — «Реле дистанционного электрического действия». При оформлении патента Нардин отвечал за его техническую часть, Зеи — за организационную часть [26].

В патенте [23] авторы отмечают: «Настоящее изобретение относится к реле для электрических токов, в частности, для телепечатных и телефонных целей на больших расстояниях, посредством изменения электромагнитного воздействия лучей, таких как катодные лучи и т. д. Эти лучи отклоняются, и их интенсивность изменяется из-за колебаний электромагнита, через который протекает постоянный ток. Изменение интенсивности и отклонение лучей приводят к изменению силы тока в ветвях местного высоковольтного тока». Конструкция анода реле такая, что он может состоять из двух, трех или более частей, и согласно изобретению все ветви анодной линии находятся в единой локальной цепи. Отклонение лучей заставляет их падать поочередно на одну или другую ветвь этого электрода, в результате чего ток в ветвях разделенного электрода колеблется и, таким образом, возбуждает приемное устройство, аналогичное передатчику.

Применительно к телефонному трафику это устройство позволяет увеличить расстояние разговора и повысить безопасность трафика в качестве конечного ретранслятора, или в качестве промежуточного ретранслятора, для увеличения расстояния, на котором возможен трафик, и в то же время обеспечивает лучшую безопасность трафика. Использование постоянных токов значительно снижает вредное воздействие кабельной арматуры. Возможность применения прибора для переменных токов очевидна. Устройство катодного реле Нардина представлено в виде чертежа на рис. 12.

На рис.12а показано устройство катодного реле Нардина, которое в значительной степени отличается от катодного реле Либена:

1. Используется катод косвенного нагрева. Пластина P является своеобразной нитью накала и питается постоянным током (провода S). Эта пластина нагревает зеркальный вогнутый оксидный катод K конструкции Венельта. Происходит термоэмиссия электронов, которые устремляются к анодам $A1, A2, A3$ при наличии анодного напряжения.

2. Непосредственно внутри стеклянного баллона R , недалеко от катода K , прямо в потоке электронов находится катушка Sp небольшого электромагнита E (рис.12б), на которую подается сигнал.

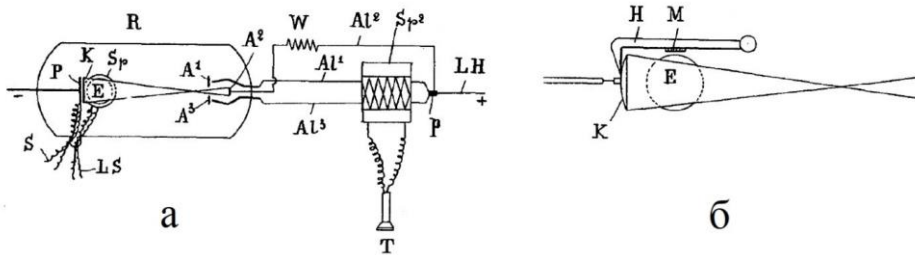


Рис. 12. Устройство (а) катодного реле для усиления телефонных сигналов Юлиа Нардина и Рене Зеи согласно патенту АТ66604 с приоритетом от 13 августа 1912 г.
 Справа (б) показана конструкция катода этого реле.

Fig. 12. Device (a) of a cathode relay for amplifying telephone signals of Julij Nardin and Rene Zei according to patent AT66604 with a priority of August 13, 1912. The design of the cathode (b) of this relay is shown on the right

3. Анод состоит из трех частей $A1$, $A2$, $A3$. Части анода изолированы друг от друга, средняя часть короче двух других внешних частей. В среднюю ветвь анода $A2$ включен обычный резистор W для настройки цепи. Такая конструкция анода позволяет не изменять силу всего локального тока, а только распределять его по трем ветвям.

4. Ветви внешней анодной линии $AL1$ и $AL2$ намотаны изолированным проводом вокруг железного сердечника (одна по часовой стрелке, другая — в противоположном направлении), которые соединяются в точке p вместе с LH . Таким образом, они образуют первичную обмотку трансформатора. Он окружен вторичной обмоткой $Sp2$, которая последовательно соединена с приемным устройством типа телефонного наушника.

Устройство (рис. 12) работает следующим образом [23]. Сгенерированные катодные лучи (поток электронов) падают симметрично на анодные части $A1$ и $A2$, которые имеют одинаковый потенциал, и, если сопротивления двух внешних ветвей одинаковы, то токи одинаковой величины протекают через обе ветви $AL1$ и $AL3$. Эти токи вращаются вокруг железного сердечника в первичной катушке в противоположном направлении, поэтому их эффекты полностью нейтрализуют друг друга. Из этого очевидно, что во вторичной обмотке $Sp2$ не могут возникнуть индукционные токи, даже если местный ток колеблется. Индукционные токи генерируются в $Sp2$ только тогда, когда катодные лучи отклоняются в сторону $A1$ и $A3$, что и происходит с постоянным током LS , окружающим электромагнит E . В этом случае две противоположные обмотки первичной обмотки также удваивают влияние на вторичную обмотку $Sp2$. Когда катодные лучи отклоняются в сторону $A1$, ток в $AL1$ увеличивается, а в $AL3$ ослабляет-

ся на ту же величину, и поскольку оба тока протекают вокруг первичной катушки в противоположных направлениях, и их эффекты складываются. Средняя анодная часть $A2$ и ответвление $AL3$ с резистором W служат, с одной стороны, для направления катодных лучей, но, с другой стороны, регулирование силы тока в $AL1$ и $AL3$ не является абсолютно необходимым, как указано выше.

В патенте авторы отмечают, что многократное разделение анода в связи с описанной обмоткой первичной катушки имеет первостепенное значение для чистоты передачи вызовов.

В патенте [25] формула изобретения представлена следующим образом: «Реле для электрических дистанционных эффектов, в частности, для записи на большие расстояния телефонных разговоров, в котором вариации тока, которые должны быть увеличены, действуют путем отклонения пучка катодных лучей, расположенных в локальной цепи, содержащей множество ветвей — вариации ветвей указанной цепи, которые используются для увеличения или лучшего воспроизведения первичных колебаний тока, отличающиеся тем, что полюса электрода, состоящего из множества участков, расположены близко друг к другу и на большем расстоянии от односекционного противоположного электрода, чтобы пучок лучей сходился к первому электроду и ударял по нему напрямую, и что отклонение пучка лучей достигается за счет электромагнита, возбуждаемого током, который должен быть передан, и расположен в самой лучевой трубке и как можно ближе к одному электроду».

Нужно заметить, что во всех полученных патентах Нардином и Зеи формулы изобретения не совпадают, они разные, в то время как чертежи устройства одни и те же. Выше приведена формула из патента Великобритании [25], которая, по мнению автора настоящей статьи, наилучше отражает суть изобретения. В патенте Нардин упоминает «другие лучи» в дополнении к катодным лучам, что связано с «открытием» в то время целого ряда новых лучей.

Работая над оформлением патента, Нардин обнаружил, что его усилитель в четыре раза мощнее усилителя Либена образца 1906 года. Однако он не смог протестировать свое устройство, так как Нардину и Зею не удалось купить достаточно эффективный вакуумный насос. Поэтому они на безвозмездной основе согласились сотрудничать с телефонным заводом *Zwietusch* в Берлине, который проявил интерес к их изобретению. Во время первой мировой войны завод *Zwietusch* присоединился к *Siemens & Halske* [22].

Нардин и Зеи, разрабатывая катодное реле для усиления телефонного сигнала, не подозревали, что их изобретение уже давно морально уста-

рело, а технический прогресс в области разработки усилительных электронных ламп за шесть лет после изобретения катодного реле Либеном ушел далеко вперед. Доминирующее положение в радиотехнике почти на 40 лет заняла трехэлектродная лампа Ли де Фореста.

6. Заключение

Роберт фон Либен первый применил катодно-лучевые технологии для усиления телефонных сигналов. В патенте DE179807 четко и впервые заявлено об использовании медленных катодных лучей в качестве управляемого органа реле, а в качестве их источника указан горячий оксидный катод конструкции Венельта. Важно подчеркнуть, что Либен оставил выбор типа управления открытым и не ограничился исходным магнитным управлением. Хотя это было разумное и удачное решение задачи, однако позже он отказался от него, когда обнаружил, что электрическое управление проще и эффективнее.

Что касается катодного реле Юлия Нардина и Рене Зеи, то их устройство имеет черты оригинальности и отличается от усилителя Либена. Невзирая на это, оно оказалось не актуальным для того периода времени, так как прогресс в начале второго десятилетия XX века в области усилительных электронных ламп уже был связан с трехэлектродной лампой Ли де Фореста. Катодное реле Нардина и Зеи не оказало заметного влияния на развитие радиотехнологий, так как устройство являлось лабораторным образцом и не было адаптировано для практического применения. Это катодное реле представляет интерес только с позиций возможности применения катодно-лучевых технологий для усиления телефонных токов.

Радиотехнологии обязаны своим подъемом, прежде всего, изобретению усилительной электронной лампы Либена с ее замечательными свойствами и широкими возможностями применения. Работы Роберта фон Либена заложили основу в конструировании усилительных электронных ламп и долгое время способствовал их дальнейшему развитию.

Список литературы

1. Пестриков В. М. Открытие и некоторые научные исследования катодных лучей // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 2. С. 190—226.
2. Пестриков В. М. Развитие катодно-лучевых технологий на рубеже XIX и XX веков // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 2. С. 227—260.
3. Пестриков В. М. Открытие природы катодных лучей // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 3. С. 325—359.

4. Blake G. G. History of Radio Telegraphy and Telephony. London : Chapman & Hall Ltd., 1926. 207 s.
5. Banneitz F. Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. Berlin : Springer, 1927. 522 s.
6. Skowronnek K. Zur Entwicklung der Elektronenverstärker-Röhre (Lieben-Röhre) // Archiv für Geschichte der Mathematik, der Naturwissenschaften und der Technik. 1931. Bd 13. Heft 3/4. Neue Folge IV. S. 226.
7. The Gallery of Electro-Mechanical Amplifiers. URL: <http://www.douglas-self.com/MUSEUM/COMMS/mechamp/mechamp.htm> (10.11.2020).
8. Shreeve H. E. Telephone current reinforcer or relay. Patent US791665. Patented June 6, 1905. Application filed July 8, 1904.
9. Hewitt P. C. Means for reproducing electrical variations. Patent US749791. Patented Jan. 19, 1904. Application filed Mat. 16, 1902.
10. Медведев П. Е. Беседы о важнейших научных открытиях. Минск : ГОИ БССР РНТЛ. 1961. 183 с.
11. Robert von Lieben. Kathodenstrahlenrelais. Patent DE179807 vom 4. März.1906.3S.
12. Пестриков В. М. Катодное реле — первая усилительная электронная лампа. Материалы 22-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 10—14 сентября 2012 г. В 2 т. Севастополь : Вебер. 2012. Том 1. С. 32—34.
13. Leggett B. Wireless Telegraphy. London : Chapman & Hall Ltd. 1921. P. 162–163.
14. Телефонная трансляция // Наука и техника, 1925. № 6 (98). С. 2—3.
15. Nernst W. Zur Erinnerung an Robert von Lieben // Telefunken Zeitung. Sept. 1923. Nr. 32/33. S. 5–7.
16. Pichler F. Elektronen zur Signalverstärkung : Die Pionierarbeiten im Laboratorium “Lieben – Reisz – Strauss” in Wien 1905–1913 // e&i Elektrotechnik und Informationstechnik. 2004. Heft 5. S.180–186.
17. Reisz E. Neues Verfahren zur Verstärkung elektrischer Ströme // Elektrotechnische Zeitschrift. Nov. 1913. Band 34. Heft 45. S. 1359.
18. Robert von Lieben, Eugen Reisz und Siegmund Strauss, sämtliche in Wien. Relais für undulierende Ströme. Patent AT48172. Angemeldet am 30 März 1910. Beginn der Patentdauer : 1. Dezember 1910. Ausgegeben um 26. Mai 1911.
19. Robert von Lieben, Eugen Reisz und Siegmund Strauss, sämtliche in Wien. Relais für undulierende Ströme, bei welchem durch die zu verstärkenden Stromschwankungen ein Ionisator beeinflusst wird. Patent DE236716. Patentiert im Deutschen Reiche vom 4 September 1910.
20. Das Lieben des Robert von Lieben. Die Homepage von H.-T. Schmidt. URL: <http://www.hts-homepage.de/Lieben/Biografie.html> (10.11.2020).
21. Kvarkadabra. Začetki raziskovanja televizije v Ljubljani. URL: <https://kvarkadabra.net/2003/04/zgodovina-televizije/> (11.11.2020).
22. Juznic S. Zgodovina raziskovanja vakuumu in vakuumskih tehnik. Ljubljana : Drustvo za vakuumsko tehniko Slovenije, 2004. S. 229–230.
23. Zei R. und Nardin J. Relais für elektrische Ströme. Patent AT66604. Angemeldet am 13. August 1911. Beginn der Patentdauer : 15 Juni 1913. Ausgegeben am 10 September 1914.
24. Zei R. et Nardin J., résident en Autriche. Relais pour actions électriques à distances. Patent FR4611363. Demandé le' 13 août 1913. Délivré le 27 octobre 1918. Publié le 27 décembre 1918. (Demande de brevet déposée en Autriche le 13 août 1912. Déclaration des déposants.)
25. Zei R. and Nardin J. Improvements in or relating to Relays. Patent GB18438. Patent, being date of first Foreign Application (in Austria) 13th Aug. 1912, Date of Application (in the United Kingdom), 13th Aug. 1913.

26. Zvonka Zupanič Slavec. Prva učitelja fizike in kemije na popolni Medicinski fakulteti, Julij Nardin in Dušan Štucin // Revija ISIS. 2010. Št. 3. S. 44–46.

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 authors

Viktor M. Pestrikov, Dr. Tech. Sc., Professor, St. Petersburg State University of Film and Television, St. Petersburg, Russian Federation.