

УДК 621.37-621.39(091)

Ртутные газоразрядные лампы Гарольда Арнольда и их применение

Пестриков В. М.

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

Получено: 12 декабря 2022 г.

Отрецензировано: 10 марта 2023 г.

Принято к публикации: 20 марта 2023 г.

Аннотация: *В статье подробно описано создание первых устройств телефонной трансляции в WECO для будущей сверхдлинной телефонной линии Нью-Йорк — Сан-Франциско. Главное внимание акцентировано на разработке этих устройств на основе ртутных газоразрядных технологий сотрудником компании Гарольдом Арнольдом. Приведен анализ конструкций репитеров, существовавших до 1911 года. Дано обоснование выбранного научного направления по разработке репитеров в WECO. Рассмотрены конструкции ртутных газоразрядных ламп Питера Купера Хьюитта и ртутного дугового реле Джона Беллами Тейлора. Отмечено, что организация в WECO исследовательской группы по разработке репитеров на новых физических принципах и приглашение в эту группу молодых талантливых ученых позволило получить весомый научный результат.*

Ключевые слова: *телефонная линия Нью-Йорк — Сан-Франциско, телефонная трансляция, репитер, ртутные газоразрядные лампы, Питер Купер Хьюитт, ртутные газоразрядные лампы Гарольда Арнольда.*

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Пестриков В. М. Ртутные газоразрядные лампы Гарольда Арнольда и их применение // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2023. Т. 6, № 1. С. 81—107.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.100—2018): Пестриков, В. М. Ртутные газоразрядные лампы Гарольда Арнольда и их применение / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2023. — Т. 6, № 1. — С. 81—107.

1. Введение

В статьях [1, 2] была представлена история организации научно-исследовательской группы в *Western Electric Co.* по разработке конструкции нового типа телефонной трансляции для сверхдлинной телефонной

линии Нью-Йорк — Сан-Франциско. Для решения поставленной задачи руководство компании привлекло молодых ученых, выпускников университетов. Многие из них пришли в компанию по рекомендации известного физика Роберта Милликена из Чикагского университета. Первым сотрудником научно-исследовательской группы по рекомендации Милликена стал Гарольд Арнольд (*Harold De Forest Arnold*, 03.09. 1883—10.07.1933). В настоящей статье пойдет речь о выборе научного направления разработки телефонной трансляции и создании для этого соответствующих устройств на основе изобретенной им усилительной ртутной газоразрядной лампы. Рассматриваемая тема в отечественной и зарубежной научно-технической литературе в должной мере не освещена.

Начиная примерно с 1900 г. компания *Bell System* стала доминировать в области разработки телефонных ретрансляторов. Первым практическим ретранслятором было механическое устройство, изобретенное Х. Э. Шривом из *Western Electric Co.* Эта конструкция ретранслятора была доведена до стадии практического внедрения в эксплуатацию к 1906 году. С появлением экономической программы, учрежденной г-ном Вейлом в 1907 году, научно-исследовательские работы были значительно сокращены, но ретрансляторам по-прежнему уделялось большое внимание в попытке сделать их коммерчески более привлекательными. Было получено множество патентов на различные альтернативы и улучшения как в элементах, так и в схемах повторителей. Хотя усилия по разработке были в некоторой степени успешными и на телефонных линиях были установлены механические повторители, было очевидно, что повторители этого типа имеют почти непреодолимые недостатки.

Другой тип телефонного репитера, ламповый, появился в 1910 году. Этот репитер представлял собой триод *LRS*, наполненный парами ртути, конструкции группы немецких радиотехников, руководимой Робертом фон Либеном. К 1911 году триод *LRS* доказал свою пригодность для практических целей, в частности, усиления телефонных сигналов. Об этом триоде знали в *Western Electric Co.* из публикаций, а также, по слухам, что он использовался в Германии в качестве ретранслятора [3].

Следует отметить, что научные сотрудники *AT&T* не особо интересовались и поэтому не владели достаточной информацией о том, что в это время, кроме названных технологий, шло развитие радиоламповых технологий на базе аудиона Ли де Фореста. Вероятно, это было связано с тем, что Форест позиционировал свой аудион для беспроволочной телеграфии и телефонии, а не для проводных телефонных линий. Использование лампового триода *LRS* в качестве усилителя было продемонстрировано за несколько лет до того, как компания *De Forest* смогла это сделать. Немецкие

суды сочли это «новаторским изобретением». Было много патентных дел, но суд Лейпцига вынес решение в пользу Роберта фон Либена, и это решение не было обжаловано.

Исследование стоимости телефонного разговора, проведенное Фрэнком Джеветтом и его сотрудниками [4, р. 371], показало, что было бы экономически необоснованным пытаться совершить передачу телефонных сигналов по линии Нью-Йорк — Сан-Франциско, не разработав совершенно новый тип телефонного ретранслятора и не взяв его за тренд инновационного развития технологий дальней телефонной связи.

2. Выбор направления разработки репитера

В 1902 году американский инженер-электрик Питер Купер Хьюитт (*Peter Cooper Hewitt*, 05.05.1861—25.08.1921) показал в своих патентах возможность применения дугового разряда для усиления электрического сигнала [5]. Питер Хьюитт был широко известен тем, что разработал в 1900 г. первую успешную коммерческую газоразрядную ртутную лампу.

Известный британский физик Уильям Томсон (англ. *William Thomson, 1st Baron Kelvin*, 26.06.1824—17.12.1907) после своей поездки в США 1903 году сказал [6]: «Что меня больше всего привлекало в Америке, так это работы мистера Питера Купера Хьюитта и его вакуумные лампы». В начале XX века мировая пресса, в основном американская, причисляла к знаковым открытиям в мире науке три изобретения Хьюитта, каждое из которых должно было со временем существенно изменить условия нашей повседневной жизни [7]. Все три изобретения основывались на ртутных технологиях: вакуумная лампа, прерыватель для беспроводной телеграфии и преобразователь переменного тока в постоянный ток (рис. 1). Питер Купер однажды сказал: «Я всегда планировал и изобретал, и никогда не был удовлетворен, если не делал что-то сложное и то, чего никогда раньше не делалось, если это было возможно» [6, р. 174].

В первой коммерческой лампе Хьюитта для генерации оптического излучения использовался газовый разряд в парах ртути, рис. 2 [8]. В стеклянной колбе лампы иногда могло быть до 1 кг ртути. Такая лампа люминисцирует, когда электрический ток проходит через пары ртути при низком давлении. Для зажигания разряда лампу Хьюитта необходимо было качнуть, чтобы свободно находившаяся в колбе ртуть перелилась и замкнула электроды, а затем разорвать образовавшуюся электрическую цепь. Только после этого вспыхивала электрическая дуга. Купер Хьюитт подробно изучил факторы, влияющие на работу лампы, такие как геометрия, электрические характеристики, количество ртути и т. д.

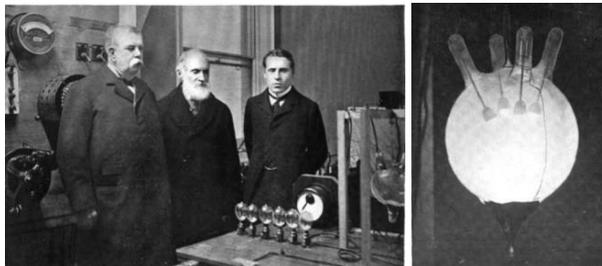


Рис. 1. Мистер Джордж Вестингауз, лорд Кельвин и мистер Чарльз Мерц на испытании статического преобразователя Хьюитта. Статический преобразователь в работе. Выставка в офисе британской компании «Вестингауз». 1903 г.

Fig. 1. Mr. George Westinghouse, Lord Kelvin, and Mr. Charles Merz at the trial of the Hewitt static converter. The static converter in operation. Exhibition in the office of the British company "Westinghouse". 1903

Лампа Хьюитта функционировала при отрицательном сопротивлении, погашая положительное сопротивление телефонной линии, поэтому для ее функционирования она должна была тщательно отрегулирована на индивидуальное сопротивление каждой линии, в противном случае устройство возбуждалось, производя свист на линии.

Ртутная лампа превосходила лампу накаливания того времени в отношении энергетической эффективности, но сине-зеленый свет, который она испускала, ограничивал ее применение. В быту эта лампа использовалась в одной люстре вместе с лампами накаливания с целью восполнить отсутствие красной составляющей света, рис. 2. В конце концов, лампа Хьюитта нашла свое место там, где нужен был яркий свет, а цветопередача не имеет значение, в частности, в фотостудиях, на киносъёмках и строительных площадках [9].

Несколько позже П. Хьюитт разработал индуктивный балласт для включения газоразрядных ламп. Балласт включался последовательно с лампой и служил для регулировки проходящего через нее тока. Исключительные права на использование ртутной дуги в проводной телефонии и телеграфии были защищены патентами Купера Хьюитта.

В мае 1902 года П. К. Хьюитт во время экспериментов в Нью-Йорке обнаружил, что на ионный ток газоразрядной лампы можно воздействовать внешним магнитным полем. На это ему был выдан патент US749791. Ионы на такое управление реагируют гораздо медленнее в сравнении с электронами в трубке Либена, что является его недостатком [10]. Однако принцип тот же. Питером Купером Хьюиттом было получено несколько патентов на конструкции дуговых ртутных ламп, в которых использовались различные методы управления электрической дугой [11, 12]. По су-

шеству в этих патентах были предложены идеи решения поставленных задач, но ни один патент с предложением по усилению электрического сигнала не был доведен до практической конструкции. Когда Купера Хьюитта спросили о его методе работы, он ответил, что у него нет ничего, кроме постоянства, за исключением: «Когда я совершенно озадачен, я иду заниматься, часто в какой-то другой области, и появляется что-то, что наводит на мысль связанной непосредственно с работой. Работайте над чем угодно, только продолжайте в том же духе».

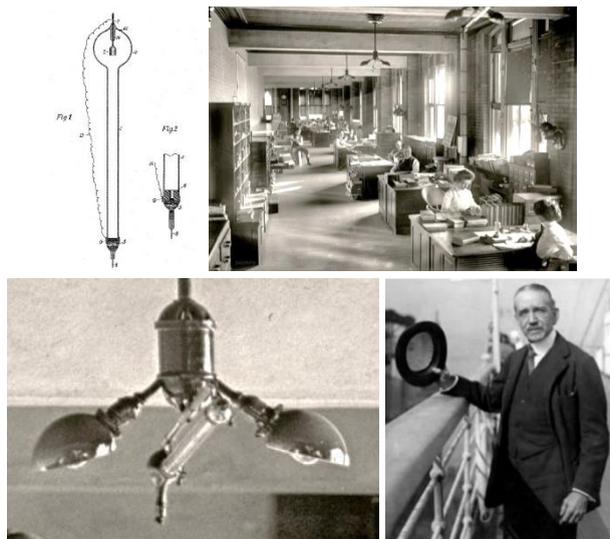


Рис. 2. Устройство первой коммерческой ртутной лампы Хьюитта (рисунок из патента US682690A с приоритетом от 5 апреля 1900 г.). Офис в Вашингтоне, 1912г. Под потолком висят две обычные лампы накаливания и длинная стеклянная лампа Хьюитта. Питер Купер Хьюитт (1918 г.).

Fig. 2. Arrangement of the first commercial Hewitt mercury lamp (drawing from US682690A patent with priority dated April 5, 1900). Washington office, 1912 Hanging from the ceiling are two ordinary incandescent lamps and a long glass Hewitt lamp. Peter Cooper Hewitt (1918)

Наиболее реальную конструкцию дугового усилителя звуковых колебаний предложил инженер-исследователь *General Electric Co.* в Скенектади Джон Беллами Тейлор ¹ (*John Bellamy Taylor*, 20.08.1875—20.12.1963). В 1910 году Дж. Тейлор получил патент на «Ртутное дуговое реле» (англ. *Mercury arc relay*), рис. 2 [13].

¹ Дж. Беллами Тейлор наиболее известен тем, что привлек международное внимание демонстрацией, которую он провел в 1931 году. Пока дирижабль парил над заводом GE в Скенектади, Тейлор создавал музыку с помощью луча света, который направлял на экран воздушного судна.

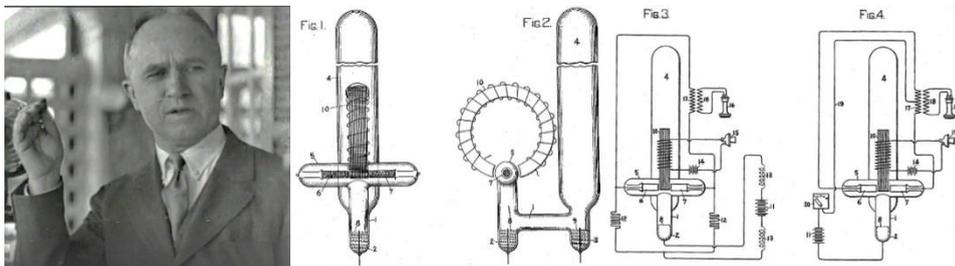


Рис. 2. Джон Тейлор. Ртутное дуговое реле. Рисунки из патента US953361A с приоритетом от 17 сентября 1907 г.

Fig. 2. John Bellamy Taylor. Mercury arc relay. Drawings from US953361A, priority September 17, 1907

В патенте US953361A Тейлора сказано [13]: «Настоящее изобретение относится к реле для использования в связи с электрическими цепями везде, где требуется воспроизвести или повторить в одной цепи электрический импульс или колебание, воздействующие на другие». Реле (рис. 2) состоит из двух анодов (6, 7) и ртутного катода (8) в вакуумированном сосуде, пускового анода (9) и источника тока (11). В реле предусмотрена возможность изменения распределения тока между двумя анодами для устойчивой работы реле. Устройство для воздействия (отклонения) на ток электрической дуги представляет собой электромагнит (10), полюса которого расположены так, чтобы создавать магнитный поток через ртутную дугу, возникающую между анодами и катодом. Если теперь говорить в микрофон (15), то звуковой ток изменит магнитный поток, создаваемый электромагнитом (10), и в результате произойдет соответствующее изменение тока в электрической дуге. Это изменение тока отразится в телефонной трубке (16) и таким образом реле усилит звуковой сигнал, как речевой, так и другие звуки. На Рис. 2: Fig. 1 представляет собой вид спереди одного из вариантов усовершенствованного реле; Fig. 2 — его вид сбоку; Fig. 3 и 4 — схемы, показывающие реле, используемое в телефонных цепях.

Интересно отметить причину, по которой концепция безынерционного электронного усилителя потребовала так много времени, прежде чем ее начали развивать другие исследователи. Джордж А. Кэмпбелл из бостонской лаборатории AT&T осознал эту необходимость еще в 1907 году. Последовавшая депрессия того года помешала активной работе над этой концепцией. Та же депрессия пришла в Англию и остановила разработку британских ламп на Исследовательской станции Почтового отделения (*Post Office Research Station*) в 1908 году. К счастью, финансовые ресурсы, которыми располагал немецкий радиотехник Роберт фон Либен, не повлияли на завершение его разработок в области электронных ламповых технологий.

Незвизрая на появление радиоламповых технологий, компания *AT&T* в поисках конструкции репитера, лишенной недостатков механического варианта репитера, в первую очередь обратила внимание на конструкции ртутных дуговых повторителей.

В 1910 году Кэмпбелл в служебной записке Банкрофту Герарди (*Bancroft Gherardi Jr.*, 06.04.1873—14.08.1941), в то время инженеру завода в *AT&T*, предложил компании изучить возможность разработки ретранслятора с вибрирующей частью, состоящей из молекул ртутного газа или катодных лучей (электронов) [14, р. 532]. Нет никаких доказательств того, что это предложение было одобрено.

К моменту образования в 1911 году исследовательской группы под руководством Эдвина Колпиттса, в *West Electric Company* сложилось научное мнение, что при разработке репитера для Трансконтинентальной линии связи необходимо использовать катодно-лучевые технологии. Проводниками этой точки зрения выступали Фрэнк Джеветт и Роберт Милликен [1, с. 417—419].

3. Начало научной деятельности Г. Арнольда в *AT&T*

Фрэнк Джеветт, получив прекрасные рекомендации о Гарольде Арнольде (*Harold De Forest Arnold*), решил с ним встретиться лично. Осенью 1910 года Джеветт вместе с Милликеном пришли в комнату Арнольда в лаборатории Райерсон² (*Ryerson Physical Laboratory*, рис. 3) в университете Чикаго, где Милликен представил Джеветта Гарольду Арнольду. Джеветт поговорил с претендентом о его работе в телефонной промышленности. При этом он подчеркнул [15], что телефонная промышленность нуждается в безынерционном ретрансляторе и что он уверен, что должно быть решение этой проблемы. А достижение поставленной цели должно быть осуществлено путем правильного использования электронных явлений, которые в то время в физических лабораториях были предметом самого интенсивного изучения. Доктор Джеветт спросил Арнольда, не согласится ли тот на работу в телефонной индустрии. На это предложение Арнольд ответил, что очень рад принять предложение, и к нему вернется, как только закончит экспериментальную работу, которой занимается.

² Физическая лаборатория Райерсона была построена в 1894 году. Лаборатория была самой современной для того времени. Здание было спроектировано так, чтобы оптимизировать экспериментальные условия, чтобы свести к минимуму внешние вибрации, которые могли бы помешать проведению экспериментов. Здание обладало исключительно прочной конструкцией и имело сверхтяжелый фундамент, тяжелые шиферные стеновые полки и каменные столбы для лабораторий первого этажа. Подвальные лаборатории были облицованы толстой пробкой для контроля уровня влажности.

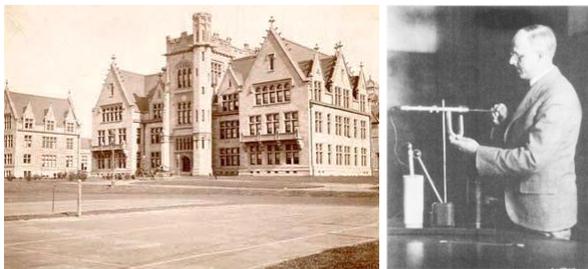


Рис. 3. Общий вид здания Физической лаборатории Райерсон в университете Чикаго (около 1900 г.). Гарольд Арнольд в лаборатории (конец 20-х гг. XX века).

Fig. 3. General view of the Ryerson Physics Laboratory building at the University of Chicago (circa 1900). Harold Arnold in the laboratory (late 1920s)

Арнольд после завершения исследований в Чикаго уехал в Нью-Йорк и явился на работу в инженерный отдел (*Engineering Department*) *Western Electric Company* во второй день января 1911 года. Он присоединился к исследовательской группе в производственном подразделении *West Electric Company*³, которая тогда входила в *AT&T*. Арнольд сразу же приступил к работе над телефонными ретрансляторами и погрузился в решение проблемы.

Примерно в апреле 1911 года Арнольд после консультации с доктором Джеветтом и заведующим лаборатории Колпитсом начал разработку телефонного ретранслятора с использованием ртутной дуги. Причина выбора ртутной газоразрядной лампы Хьюитта заключалась в том, что в тот период времени Г. Арнольд мало знал об аудионе. Об этом он вспоминал через 15 лет, когда уже усовершенствовал аудион и разработал репитер на электронной лампе [16, p. 556]: «Я был знаком с клапаном Флеминга, но никогда не пытался использовать его как практическое устройство. Мое знакомство ограничивалось изучением литературных источников. Я также был знаком с продолжительной серией дискуссий в журнале *Electrician* (*London*), которые вели между собой Флеминг и де Форест относительно того, кто был первым в этом вопросе. Исходя из этого, я знал об аудионе де Фореста только из прессы, и не мог понять, как работает аудион, а также для чего предназначена сетка в этом устройстве».

Использовать ртутную дугу в качестве телефонного ретранслятора было давним предложением, которое, как известно, было выдвинуто среди прочих Питером Купером Хьюиттом, но оно так и не оказалось, как было сказано выше, практически осуществленным.

³ Американская электротехническая компания *Western Electric Company* (иногда сокращенно *WE* или *WEC*) была в составе *AT&T* с 1881 по 1995 гг.

Арнольд тщательно изучил патенты Питера Купера Хьюитта, когда взялся за разработку ртутного дугового ретранслятора. Основной причиной такого подхода к делу явилось то, что эти патенты содержали лучшее описание существовавшей тогда технологии, которое он смог найти. Его отправной точкой в работе стало то, на чем закончилась работа Купера Хьюитта.

За основу своей будущей ртутной газоразрядной лампы Арнольд взял конструкцию лампы из патента Хьюитта US991304A, рис. 4а. В этой лампе электрическая дуга зажигается между положительным электродом 18 отрицательным электродом 2. Электрод 4 является дополнительным электродом и используется для запуска дуги. Особенностью лампы явилась конструкция электромагнитного узла (рис. 4б) для воздействия на электрическую дугу. Электромагнитный узел содержит металлический Т-образный сердечник с загнутыми внешними концами вовнутрь для непосредственного нахождения их близости к положительному электроду 18. Обмотка, на которую подается сигнал от микрофона 30, намотана на среднем стержне электромагнита. Воздействие электромагнитного поля передается на зажженную электрическую дугу, в цепь которой включена первичная обмотка трансформатора 10 с телефоном 9. Вторичная обмотка 11 указанного трансформатора соединена с телефонным приемником 12.

При таком схемном решении вызванные значительные изменения сопротивления парового устройства (дуга с парами ртути) приводят к изменению электрического тока в цепи дуги, которые и воспроизводятся в приемной цепи 9, 12. В патенте Хьюитта отмечено, что устройство в целом может служить в качестве реле, приспособленного для усиления звуковых эффектов, которые первоначально создаются перед микрофоном 8.

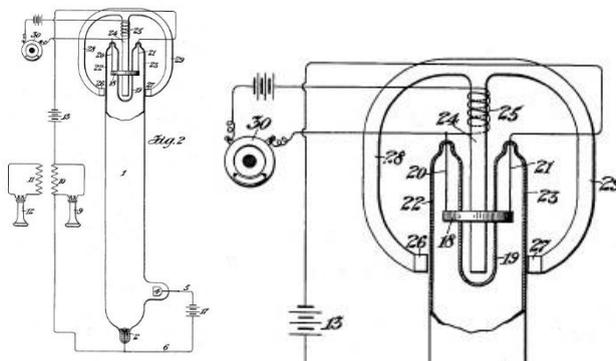


Рис. 4. Устройство для воспроизведения электрических колебаний.
Рисунки из патента П. К. Хьюитта US991304A с приоритетом от 7 июля 1904 г. [16]

Fig. 4. Means for reproducing electrical variations.
Drawings from P.C. Hewitt's patent US991304A with priority dated July 7, 1904. [16]

Арнольд досконально изучил само устройство для воспроизведения электрических колебаний Хьюитта (рис. 4) и работу электрической дуги в парах ртути. Это позволило ему сделать довольно хороший телефонный усилитель с использованием ртутной дуги. Главным отличием его устройства от конструкции Хьюитта стал не только внешний вид, но и конструкция камер, в одну из камер было включено нескольких различных электродов.

4. Ртутный газоразрядный звуковой усилитель Г. Арнольда

Давно было признано, что устройства с ртутной дугой работают стабильно только тогда, когда практически нет другого газа, кроме присутствия паров ртути. Питер Купер Хьюитт подчеркивал это в своих патентах [17]: «При изготовлении моей лампы важно, чтобы имеющаяся в ней камера была освобождена от вредных газов и веществ, а по окончании работы содержалось подходящее количество газа или газов с надлежащей плотностью. Этих результатов я добиваюсь, изготавливая лампу способом, который будет более подробно описан в связи с приложенным чертежом, на котором схематически изображена лампа, схемы и устройство для ее изготовления».

Для получения чистых паров ртути в дуговой трубке необходимо было не только вывести газ, находившийся в пространстве трубки, но и с большой осторожностью вывести газ, который был окклюдированный⁴ с внутренней стороны стеклянных стенок. Одна из причин, почему это так важно, заключалась в том, что ртутная дуга по своей природе работает при высокой температуре, и поэтому стеклянные стенки дуговой лампы во время нормальной работы нагреваются до температуры, при которой они могут ее выдержать не размягчаясь. Сама природа ртутной дуги такова, что в процессе ее работы автоматически создается хороший вакуум внутри камеры. Это связано с тем, что в трубке дуги находится масса ртути, а также горячий столб дуги. Ртуть испаряется и быстро проходит вверх в виде облака пара через трубку к насосу и вымывает все газы, которые могли остаться в трубке. Арнольд, несмотря на то, что ртутная дуга представляет собой хороший насос, для изготовления ртутного репитера использовал ртутный насос *Gaede*, который был в то время и оставался лучшим коммерческим ртутным насосом своего типа.

Арнольд в процессе работы консультировался у Питера Купера Хьюитта, который посоветовал и указал на необходимость удаления газов из электродов в трубке. Методика Купера Хьюитта была использована для

⁴ Окклюдированный (лат. окклюзия) — содержащийся, скрытый в твердом теле (о металле, о газе).

положительных и отрицательных электродов дуги. Этот метод заключался в пропускании большого тока через дугу для сильного нагрева электродов, что приводило к удалению из них газа. Откачка продолжалась до полного удаления газа из трубки. После этого дуга работала при нормальном значении тока, то есть при более низком значении, чем то, которое использовалось в существовавшем до этого процесса. Вакуум оставался хорошим, потому что электроды, как в процессе откачки, сильно не нагревались.

Арнольд экспериментировал с 1911 по 1912 гг. с молекулами ртутного пара (как было предложено ранее Кэмпбеллом) в поисках более легкой вибрирующей части, заменяющей механическую диафрагму в модели Шриве, и в конце концов разработал перспективную модель ртутного усилителя на основе работ Питера Купера Хьюитта.

Экспериментальный вариант усилителя, разработанный на основе этой лампы (рис. 4) обладал небольшим усилением, что принципиально подтверждало возможность построения на ртутной газоразрядной лампе Хьюитта пригодного для практической телефонии электронного ретранслятора. Арнольд, увидев итог своей работы, удивился; оказалось, что он разработал ретранслятор, совершенно отличный от того, что сделал Питер Купер Хьюитт. Руководство компании отметило в его работе использование фундаментальных патентов Купер Хьюитта и то, что, возможно, придется получить от того лицензию, чтобы использовать сделанное изобретение.

На разработку ртутного газоразрядного звукового усилителя Арнольд оформил заявки на получение двух патентов, которые подал 15 июля 1912 года. Один патент US1118172A на «Способ получения электрических колебаний» (англ. *Method of producing electrical variations*) [18], а второй US1118173A — на устройство под названием «Электрическое реле» (англ. *Electric relay*) [19]. Рисунки в обоих патентах одинаковые, различные только описания изобретений.

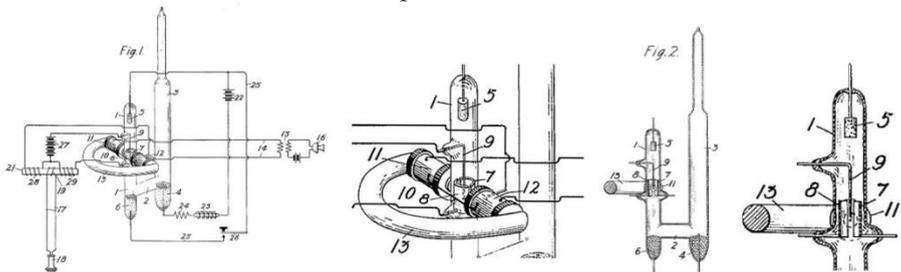


Рис. 4. Ртутный газоразрядный звуковой усилитель конструкции Гарольда Арнольда.
Рисунки из патента US1118172 приоритетом от 15 июля 1912 г.

Fig. 4. Mercury gas-discharge sound amplifier designed by Harold Arnold.
Drawings from US1118172 priority dated July 15, 1912

В патенте на «Способ получения электрических колебаний» сказано [18]: «Настоящее изобретение относится к области воспроизведения электрических колебаний; его целями являются обеспечение усиленного воспроизведения колебаний энергии тока, воспроизведение без искажений, чувствительность к малым токам, эффективность, надежность и бесшумная работа. Среди других применений изобретение применимо к телефонии с целью получения в исходящей цепи усиления голосовых токов, возникающих во входящей цепи».

При осуществлении этого изобретения используется принцип отклонения электромагнитом или другими подходящими средствами ионизированного потока, который может быть получен любым из множества способов. Ртутная дуга оказалась подходящим средством для этой цели. Изменения тока, которые необходимо воспроизвести или усилить, можно наложить на катушки электромагнита, расположенные таким образом, чтобы индуцированные в них изменения магнетизма вызывали соответствующие отклонения ионизированного потока.

Средство обнаружения по настоящему изобретению включает в себя использование вспомогательного контура, который не является дуговым по своему характеру и не зависит от контура для определения ионизированного потока, за исключением того, что он пересекает часть пара потока. Этот вспомогательный контур поддерживается посредством вспомогательного катода или пары таких катодов, которые погружены в поток и соединены с источником электродвижущей силы, который может быть отдельным от источника, создающего сам поток, при этом схема завершается анодом, который также может быть погружен в поток. Таким образом, в емкости вспомогательного катода или катодов создается электрическое поле, которое вызывает в вспомогательном контуре протекание тока, интенсивность которого направлена в зависимости от распределения ионизации в поле вспомогательного катода. На рис. 4 (Fig. 1) показана система схем и устройств, с помощью которых может быть осуществлен заявленный способ, а на рис. 4 (Fig. 2) показано в разрезе по высоте и поперечному сечению устройства из рис. 1 отдельно от цепей.

Формула изобретения содержит 4 пункта. Приведем из нее первый пункт, который в принципе отражает суть изобретения: «Способ воспроизведения электрических колебаний, который заключается в создании ионизированного потока, поддержании контура, включающего поперечный путь внутри указанного потока, приложения в точке внутри указанного пути переменной отклоняющей силы к указанному потоку и создании, таким образом, изменений тока в указанном контуре».

Как видно из рис. 4, средство для получения ионизированного потока, которое в данном случае показано как ртутно-дуговой аппарат, содержит основную камеру 1 с горизонтальным ответвлением 2 и конденсационную камеру 8 вместе с ртутным катодом 4, анодом 5 из углерода и пусковым ртутный анодом 6. Внутри основной камеры 1 установлена пара вспомогательных катодов 7, 8, которые показаны полуцилиндрическими по форме и имеющими возможность перемещения одного относительно другого и от стенок камеры. Между вспомогательными катодами вниз проходит вспомогательный анод 9. Вспомогательные катоды и вспомогательный анод изготовлены из платины.

В качестве средства отклонения ионизированного потока на рис. 1 показан электромагнит 10, который содержит две катушки 11, 12 с металлическими сердечниками. Одно основание каждой катушки обращено к противоположным сторонам основной камеры 1 в области вспомогательных катодов 7, 8 так, чтобы силовые линии между полюсными наконечниками проходили в направлении, поперечном направлению течения ионизированного потока в камере 1, и приводили к отклонению потока в сторону того или иного вспомогательного катода, в зависимости от направления тока в катушках магнитов.

В патенте на «Электрическое реле» [19] Арнольд классифицирует свое изобретение как релейное устройство для воспроизведения электрических колебаний (см. рис. 1). Цели изобретения указаны те же, что и в его патенте на «Способ получения электрических колебаний» [19]. Реле, воплощенное в этом изобретении, состоит из трех основных цепей: входной (микрофон 16, гальваническая батарея и две электромагнитные катушки 11 и 12), выходной (телефонный наушник 18, трансформатор, гальваническая батарея, анод 9 и катоды 7, 8) и ртутной газоразрядной лампы. Входная и выходная цепи усилителя не имеют прямого соединения. Связующим звеном между двумя этими цепями является ионизированная парами ртути электрическая дуга, которая зажигается между анодом 5 и катодом 6. Для работы усилителя необходимо было в начале лампу наклонить влево, чтобы ртуть замкнула катоды 6 и 4, а потом включить выключателем 26 гальваническую батарею 22. Как только лампа принимала вертикальное положение и ртуть начинала уходить в свои емкости (катоды 6 и 4), то зажигалась дуга между катодами 6 и 4, которая вызывала зажигание дуги между анодом 5 и катодом 6. Усилитель начинал работать. Если теперь начать говорить в микрофон 16, то возникшие электрические сигналы, поданные на электромагнитные катушки 11 и 12, вызывали изменение анодного тока между катодом 6 и анодом 5, что в свою очередь изменяло электрический ток между погруженными в дугу катодами 7, 8 и анодом 9. Та-

ким образом, происходило усиление электрического сигнала. И, как результат — громкий звук в телефонном наушнике 18.

В этом патенте формула изобретения содержит уже 10 пунктов. В первом пункте патента отмечены особенности конструкции реле для получения усиления электрического сигнала: «Электрическое реле, содержащее камеру, средство, включающее пару электродов для поддержания в ней потока ионизированной дуги, выходную цепь, включающую электрод, погруженный в указанный поток между указанной парой электродов, и входную цепь, включающую средство для переменного отклонения указанного потока в области упомянутого электрода».

Заметим, что патенты US1118172A и US1118173A были выданы только через 2 года после подачи заявок на них, 24 ноября 1914 года. На ртутный газоразрядный звуковой усилитель конструкции Г. Арнольда (рис. 4) были получены патенты в Великобритании GB191229384A «Способ воспроизведения электрических вариаций» (англ. *Method of Reproducing Electric Variations*) и Франции FR449842A «Улучшения в электрических реле» (фр. *Perfectionnements dans les relais électriques*).

5. Газоразрядный генератор электрических колебаний

Первую заявку на получение патента «Устройство для генерации электрических колебаний» (нем. *Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Schwingungen*) на изобретение генератора на вакуумной электронной лампе подал 10 апреля 1913 года в Германское патентное ведомство сотрудник немецкой компании Telefunken Александр Мейсснер⁵ [20]. Знал ли об этом немецком патенте Гарольд Арнольд, подавая заявку на получение своего патента «Генератор переменного тока» (англ. *Alternating current generator*) 12 июня 1913 года, доподлинно не известно. В тексте патента Арнольда нет ни одного слова о ламповом генераторе Мейсснера.

Арнольд разработал и описал в патенте US1118174A генератор переменного тока на раннее изобретенной им ртутной газоразрядной лампе [21]. Изобретение относится к устройству для генерирования незатухающих высокочастотных электрических колебаний. Когда требуются колебания такого характера, обычно используют свободные колебания, которые могут возникать в цепи, содержащей емкость и индуктивность. В схеме такого типа, содержащей обычный конденсатор и катушку индуктивности, колебания могут генерироваться путем заряда конденсатора, а затем введения некоторого неустойчивого состояния в цепи, такого, напри-

⁵ Патент зарегистрирован на компанию Gesellschaft für drahtlose telegraphie M. B. H. in Berlin. В тексте патента авторство А. Мейсснера не указано.

мер, как разряд через искровой промежуток. Он вызывает колебания с частотой, которая определяется собственной частотой цепи. Амплитуда колебаний постепенно уменьшается по мере рассеивания энергии заряда конденсатора.

В патенте Арнольда отмечается, что генератор может быть использован для многих целей, в частности, в беспроводной телеграфии и телефонии, где необходимо генерировать устойчивые и незатухающие колебания. Целью настоящего изобретения является создание такого генератора. Для этого в дополнение к обычному колебательному контуру, содержащему емкость и индуктивность, используется вспомогательный контур, задачей которого является подача энергии в колебательный контур и, таким образом, предотвращение затухания колебаний.

Для того чтобы энергия могла подаваться в колебательный контур с требуемыми приращениями и через определенные промежутки времени, часть вспомогательного контура состоит из поля ионизированного пара, на который воздействует магнитное поле колебаний в колебательном контуре. Поле ионизированного пара создается дуговым разрядом в вакуумной трубке, которая содержит пары ртути. Этот дуговой разряд поддерживается контуром через газовую среду, которая при этом образуется независимо как от колебательного, так и от вспомогательного контуров, упомянутых выше.

На рис. 5 (Fig. 1) показан общий вид одного из вариантов генератора переменного тока по изобретению. На рис. 5 (Fig. 2 — Fig. 4) представлены модификации конструкции генератора.

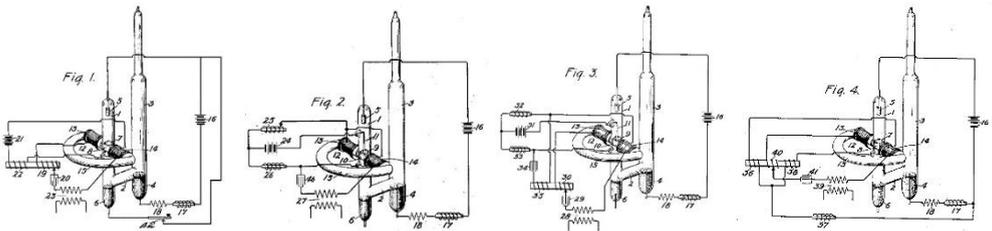


Рис. 5. Генератор переменного тока на ртутной газоразрядной лампе конструкции Гарольда Арнольда. Рисунки из патента US1118174A приоритетом от 12 июня 1913 г.

Fig. 5. An alternating current generator on a mercury gas discharge lamp designed by Harold Arnold. Drawings from US1118174A, priority June 12, 1913

В генераторе, показанном на рис. 5 (Fig. 1), один из электродов, соединенный с отрицательной батареей, действует как катод. Экспериментально установлено, что при отклонении дуги магнитом к катоду происходит увеличение тока во вспомогательной цепи, а отклонение в другую сторону вызывает соответствующее уменьшение тока в такой цепи. Таким

образом, пульсации во вспомогательном контуре вызываются колебаниями в колебательном контуре. Поскольку эти две цепи индуктивно связаны, было обнаружено, что, по существу, в то время, когда пульсация приближается к своему максимальному значению, соответствующее колебание приближается к своему максимальному положительному значению, а когда пульсация приближается к своему минимальному значению, соответствующее колебание приближается к своему максимальному отрицательному значению, так что в любом случае импульс стремится поддерживать колебание и предотвращает его затухание. В формуле изобретения содержится 5 пунктов. Приведем 4-й пункт из него, который показывает генерирование электрических колебаний устройством:

«В генераторе переменного тока для поддержания поля ионизированного пара предусмотрены колебательный контур, взаимодействующий с ним вспомогательный контур, содержащий источник энергии и путь тока через указанный ионизированный пар и средства, включенные в указанный колебательный контур и реагирующие на колебания в нем для изменения проводимости указанного ионизированного пара, вызывая тем самым пульсации энергии во вспомогательном контуре, при этом указанные пульсации усиливают колебания в колебательном контуре».

На рассмотренный генератор переменного тока Гарольд Арнольд 24 ноября 1914 года получил американский патент US1118174A.

6. Газоразрядные телефонные трансляторы

Полученный Арнольдом опыт в разработке одностороннего звукового усилителя на ртутной газоразрядной лампе позволил ему разработать двухсторонний усилитель звуковой частоты для использования в телефонных линиях дальней связи. В конце 1914 г. такой усилитель был готов, рис. 6.

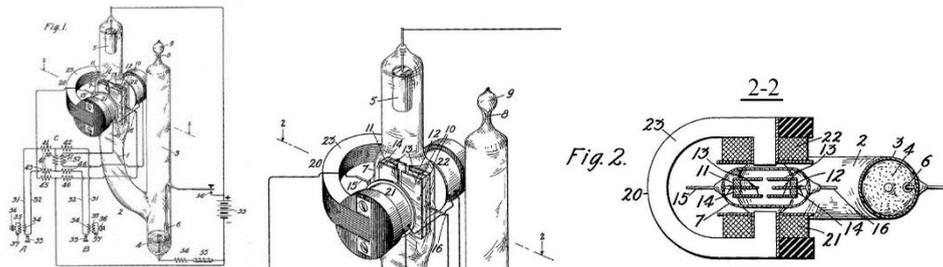


Рис. 6. Устройство звукового усилителя на ртутной газоразрядной лампе.
Рисунки из патента Гарольда Арнольда US1118175A с приоритетом от 8 января 1914 г.

Fig. 6. The device of the sound amplifier on a mercury gas-discharge lamp.
Drawings from Harold Arnold's patent US1118175A with priority dated January 8, 1914

В новом усилителе (рис. 6) принцип работы был тот же, что и в его патенте US1118172, но отличался некоторыми новыми техническими решениями. Была использована другая конструкция ртутной газоразрядной лампы, в которой дуга зажигалась электрическим способом, в связи с этим отпала необходимость для этого наклонять лампу. Арнольд применил в выходной цепи другую конструкцию электродов (11, 12), которые находились в электрической дуге (в виде пластин).

Патентная заявка на этот звуковой усилитель под названием: «Электрическое релейное устройство» (англ. *Electric relay apparatus*, рис. 6) была подана 8 января 1914 г., а в конце года получен сам патент US1118175A [22] вместе с подобным патентом, поданным еще в 1912 году. На этот усилитель Г. Арнольда (рис. 6) были получены патенты в Великобритании GB191409092A «Усовершенствования в электрических релейных аппаратах для телефонии и других переменных токов» (англ. *Improvements in Electric Relay Apparatus for Telephonic and other Variable Current*) и Франции FR19806E «Улучшения в электрических реле» (фр. *Perfectionnements dans les relais électriques*).

Первые полевые эксперименты с ртутно-дуговым ретранслятором были проведены в конце декабря 1912 года в Филадельфии на нагруженных цепях кабеля Нью-Йорк — Вашингтон. В течение следующих двух лет был изготовлен ряд других экспериментальных установок. На рис. 7 приведена экспериментальная работающая установка с двумя телефонными ретрансляторами на ртутной газоразрядной лампе, изготовленными по патенту US1118175A.

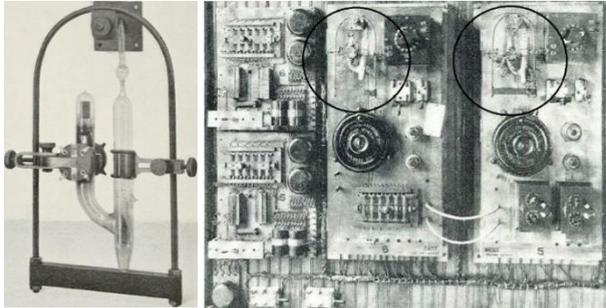


Рис. 7. Общий вид (слева) экспериментального ртутного газоразрядного звукового усилителя конструкции Гарольда Арнольда (1912 г.) и экспериментальная установка (справа) с ртутными газоразрядными ретрансляторами (выделены окружностями) на трансконтинентальной телефонной линии. 1912 г.

Fig. 7. General view (on the left) of an experimental mercury gas-discharge sound amplifier designed by Harold Arnold (1912) and an experimental setup (on the right) with mercury gas-discharge repeaters (highlighted by circles) on a transcontinental telephone line. 1912

Газоразрядная лампа Арнольда прошла экспериментальную проверку кроме линии Нью-Йорк — Вашингтон и на некоторых других телефонных линиях. Она использовалась в течение короткого периода времени только под специальным техническим контролем. Например, эти устройства были установлены на важных междугородних трассах между Нью-Йорком и Сан-Франциско, но никогда не использовались в коммерческих целях [23].

В конце весны 1915 года на трансконтинентальной линии были проведены значимые эксперименты с использованием трех, а иногда и четырех ртутно-дуговых ретрансляторов в тандеме. В некоторых отношениях общие характеристики передачи были хорошими, но в целом они не были столь удовлетворительными, как позже, в случае с вакуумными ламповыми (усовершенствованный аудион Ли де Фореста) ретрансляторами. Значительные трудности возникли при запуске и обслуживании ртутных дуговых усилителей. При этом они имели еще один серьезный недостаток — во время работы издавали сильный шум, похожий на шум дугового передатчика с угольными электродами.

Газоразрядная лампа Арнольда примечательна главным образом тем, что явилась предшественницей усилительной вакуумной электронной лампы типа «триод». Это газоразрядное устройство имело неплохое усиление, которое почти не зависело от искажений, за исключением тех, что могли быть вызваны тем фактом, что полное сопротивление электромагнитов не совпадало с полным сопротивлением телефонной линии. Помимо этого, лампе Арнольда, при удовлетворительном усилении, была свойственна трудность настройки.

Интересно, что Арнольд в один день, 24 января 1914 года, вместе с патентом US1118175A получил патент US1118176A на «Репитер с отрицательным сопротивлением» (англ. *Negative-resistance repeater*), заявку на который подал 7 мая 1914 г. [24] Это изобретение относилось к телефонной трансляции электрическими волнами и, в частности, к использованию отрицательного сопротивления для этого, а также для усиления электрической энергии волн. Его цель состояла в том, чтобы обеспечить в упрощенной форме устройства усиленное воспроизведение вариаций энергии тока без искажения формы волны. Рассматриваемое изобретение основано на открытии того факта, что на паре вспомогательных электродов, расположенных на противоположных сторонах ионизированного столба пара, может существовать чрезвычайно высокое отрицательное сопротивление.

На рис. 8 (Fig. 1) показано устройство репитера с отрицательным сопротивлением и его включение в телефонную линию, а на рис. 8 (Fig. 2) показан его модифицированный вариант.

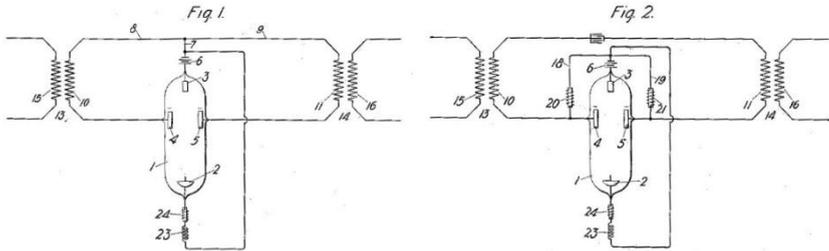


Рис. 8. Репитер с отрицательным сопротивлением. Рисунки из патента Гарольда Арнольда US1118176A с приоритетом от 7 мая 1914 г.

Fig. 8. Negative resistance repeater. Drawings from Harold Arnold's patent US1118176A with priority dated May 7, 1914

Из рис. 8 видно, что в вакуумном сосуде 1 для получения ионизированного столба пара используется ртутно-дуговое устройство, которое содержит ртутный катод 2 и анод 3. Анод 3 изготавливается из любого подходящего материала. Для зажигания дуги между анодом и катодом может быть использовано любое подходящее средство, которое не показано на рисунке. Внутри сосуда 1 закреплена пара вспомогательных электродов 4, 5, расположенных на противоположных сторонах столба пара и расположенных точно друг напротив друга. При таком устройстве пары ионизированной ртути поддерживаются между указанными вспомогательными электродами.

На рис. 8 (Fig. 1) и 8 (Fig. 2) показана двусторонняя система передачи, две половины которой подобны. Следовательно, любую половину можно рассматривать как входную цепь, а другую половину — как выходную цепь. В устройстве предусмотрены подходящие средства для подачи отрицательного потенциала на оба электрода 4 и 5. В показанной схеме такие средства включают батарею 6 или другой подходящий источник постоянного тока. Отрицательный полюс указанной батареи 6 соединен с каждым из вспомогательных электродов 4 и 5, а ее положительный полюс может быть соединен с одним из электродов 2 и 3, причем на чертежах он показан соединенным с анодом 3. Для удобства иллюстрации батарея 6 показана как та же батарея, которая используется для подачи тока, создающего поток паров ртути между катодом 2 и анодом 3.

Отрицательный потенциал вспомогательных электродов 4 и 5 намного выше отрицательного потенциала катода 2. Автор изобретения отмечает, что отрицательный потенциал вспомогательных электродов должен быть на 40 В или более выше отрицательного потенциала катода. Благодаря высокому отрицательному сопротивлению на электродах 4 и 5 поток тока, создаваемый колебаниями тока во входной цепи, значительно усиливается, и такое усиление повторяется в выходной цепи.

Схема создания дуги в парах ртути между анодом и катодом включает обычное сопротивление 23 и высокое сопротивление 24.

Основной поток дуги между катодом 2 и анодом 3, как было показано, можно использовать в качестве повторителя с отрицательным сопротивлением. В этом случае, как было отмечено в патенте, отрицательное сопротивление составляет примерно 2 Ом по сравнению с отрицательным сопротивлением около 400000 Ом между вспомогательными электродами. Это огромное различие указывает на то, что настоящее изобретение основано на принципе, отличном от использовавшегося до сих пор. Формула изобретения содержит 7 пунктов.

Патент на репитер с отрицательным сопротивлением не был воплощен Арнольдом в практическую конструкцию и явился последним запатентованным устройством для использования в телефонной трансляции. Больше он не занимался приложением газоразрядных технологий для усиления электрических сигналов в телефонных линиях, а переключился для той же цели на разработку электронных ламп типа аудиона Ли де Фореста.

7. Использование газоразрядной лампы Арнольда в усилителях

В преддверии Первой мировой войны, за 1 год до ее начала (1 августа 1914 г.), возрос объем информации, передаваемый по атлантическим кабелям. В AT&T отдел Эдвина Колпиттса (*Edwin H. Colpitts*) получил заказ на изготовление устройства для эффективного усиления слабых низкочастотных электрических сигналов атлантических кабелей. Из-за высоких капитальных затрат на прокладку океанских кабелей компаниям-операторам необходимо было максимизировать пропускную способность сообщений, чтобы получить наибольшую отдачу от своих инвестиций.

Известно, что закон электрических цепей требует, чтобы импеданс внешнего тракта в цепи был равен импедансу внутреннего тракта или источника всякий раз, когда требуется передача максимума энергии. В океанской кабельной телеграфии в тот период времени, обычно, для фиксации полученной информации подключали самописец (англ. *siphon recorder*, рис. 9) непосредственно к наземным клеммам кабельной цепи. Для того, чтобы принимать на самописец максимальную доступную информацию, его приемный магнит должен быть намотан так, чтобы обеспечить сопротивление того же порядка, что и сопротивление кабельной цепи, измеренное на ее входных выводах. Например, если сопротивление кабельной цепи, измеренное на ее входных клеммах к токам телеграфной частоты составляет, скажем, 2000 Ом, то наилучшее сопротивление для магнита регистратора в этом случае также будет составлять 2000 Ом. Когда такое выравнивание им-

педансов обеспечено, можно сказать, что схема сбалансирована. Если же импедансы источника и приемного устройства сильно несоразмерны, то возникает несбалансированное состояние и потеря доступной информации.

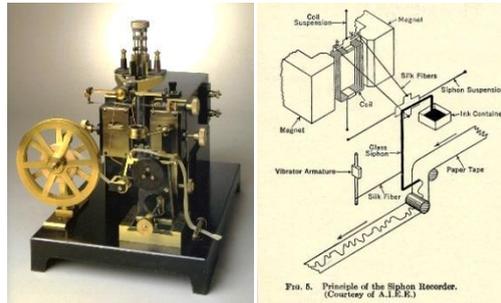


Рис. 9. Сифонный регистратор Мюрхеда. Принцип работы сифонного регистратора [25].

Fig. 9. Muirhead siphon recorder. Principles of the siphon recorder [25]

Колпиттс начал разрабатывать усилительное устройство в первой половине 1914 года, когда уже компания купила патенты на аудион у Ли де Фореста и Арнольд проводил работы с газоразрядными репитерами и параллельно экспериментировал с аудионами. Все это отразилось на схемном решении усилителя Колпиттса, в котором он использовал ртутную газоразрядную лампу (рис. 10, Fig. 1) и аудионы де Фореста [26]. На рис. 10 (Fig. 1) океанский кабель представлен проводниками 1 и 2, которые подсоединяются ко входу усилителя ионизированного газа 3 непосредственно в цепи с его электромагнитом 4. На выходе усилителя установлено регистрирующее устройство 5, которое может быть сифонным регистратором или другим устройством, например, для воспроизведения или записи электрических волн, принимаемых через кабель.

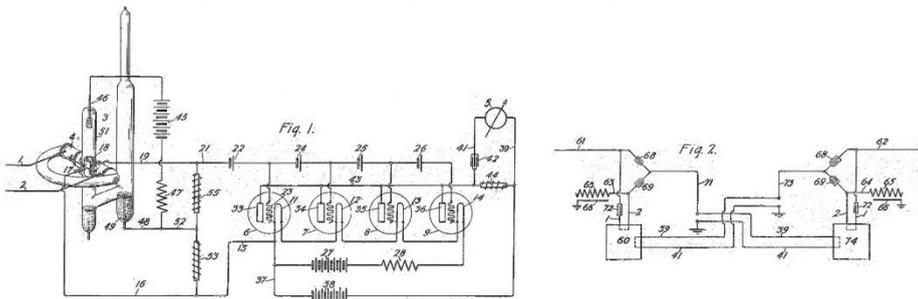


Рис. 10. Система усиления электрических колебаний атлантического телеграфного кабеля.

Рисунки из патента Эдвина Колпиттса US1129959 с приоритетом от 6 апреля 1914 г.

Fig. 10. Amplification system of electric oscillations of the Atlantic telegraph cable.

Drawings from Edwin Colpitts patent US1129959 with priority April 6, 1914

Такое необычное сочетание разных типов ламповых компонентов было продиктовано следующими соображениями. Из различных типов известных усилительных устройств, которые относятся к общему классу репитеров вакуумного разряда, такие как ионизированный газовый тип и тип, известный как термоэмиссионный, примером которого является «аудион», имеют преимущества в отношении усиления токов очень низкой частоты, поскольку выходные токи в таких устройствах не подвержены сильным искажениям из-за внешних или внутренних возмущений, а в значительной степени их формы определяются формой входного тока.

Ретрансляторы, кроме того, на ионизированном газе тех видов, которые используют электромагниты для приема входящих токов, обычно имеют свои магниты, намотанные приблизительно с импедансом кабельных цепей. При этом возможна эффективная работа при прямом подключении ко входным клеммам таких цепей. Что касается аудионов, то следует отметить, что импеданс их выходных цепей, хотя и значительно выше, чем у обычных сифонных записывающих устройств, используемых в океанской кабельной телеграфии, обычно не так высок, как у их входных цепей, и может быть с помощью соответствующих решений уменьшен, благодаря чему происходит адаптация аудиона для прямого подключения к регистраторам. Одним из способов снижения выходного импеданса является использование нескольких аудионов с параллельным подключением их выходных цепей. Таким образом, импеданс может быть уменьшен до определенной степени для формирования достаточно сбалансированных соединений с записывающими устройствами.

Ретранслятор с ионизированным газом имеет выходную цепь с импедансом порядка нескольких сотен тысяч Ом, в то время как аудион имеет входную цепь с таким же высоким импедансом. Такие импедансы настолько непропорциональны импедансу кабельной цепи или любой практической обмотки сифонного самописца, что прямое соединение между выходными клеммами газового повторителя и сифонным самописцем или соединение между входными клеммами аудиона или даже нескольких аудионов и кабельной цепью приведут к неэффективной работе. Кроме того, из-за очень низкой частоты слабых электрических колебаний в кабельной телеграфии, а в некоторых случаях, например, в океанской телеграфии, частота этих волн составляет всего два периода в секунду.

На рис. 10 (Fig. 2) б показана схема соединения усилителей 60 и 74, если требуется двухсторонняя передача или дуплексная работа. В этом случае для каждого проводника предусмотрены искусственные линии 63 и 64. Каждая такая искусственная линия может содержать сопротивление 65 и распределенную емкость между этим сопротивлением и заземляющей

пластиной 66. Этим устройством сообщения могут передаваться в обоих направлениях одновременно в сквозном контуре кабельных проводников 61 и 62, при этом токи усиливаются в точке, где секции объединены.

Предложенная Колпиттсом схема цепи «выход — вход» между двумя каскадами с высокими импедансом: первый каскад на ионизированной газовой лампе, а второй — на термоэмиссионной лампе, позволяет получить электрически сбалансированную систему, которая в целом хорошо приспособлена для эффективного усиления [27]. Добавим, что при этом решена особая задача, поставленная в изобретении — создание эффективной системы усиления, адаптированной без трансформаторов для использования на приемном конце сигнальной цепи.

8. Заключение

Создание в *Western Electric Company* исследовательской группы по разработке устройства телефонной трансляции на новых физических принципах и приглашение в эту группу молодых талантливых ученых дало свои плоды. Лидером в решении поставленных задач стал Гарольд Арнольд, которого Милликен характеризовал как «одного из самых умных людей, исследования с которыми он когда-либо проводил в лабораториях».

Арнольду удалось разработать ртутную газоразрядную лампу, на основе которой он построил усилитель звуковой частоты для телефонных линий, генератор электрических колебаний и устройство для телефонной трансляции. Помимо этого, он представил идею о репитере с отрицательным сопротивлением в виде патента. Всего им было получено 5 американских патентов, в которых фигурирует газоразрядная лампа. Из 5 патентов только один патент US1118175A на телефонную трансляцию (репитер) получил практическое применение в виде экспериментального устройства на действующей телефонной линии. Патент Арнольда US1118173A на первую конструкцию усилительной ртутной газоразрядной лампы был использован Колпиттсом при разработке системы усиления электрических колебаний атлантических кабелей. Это была одна из нескольких несовершенных технологий, которые телефонные компании пытались применить для усиления телефонных сигналов до открытия практического использования вакуумной лампы типа аудион (вакуумный триод) в качестве усилителя в 1912 году.

Дальнейшие исследования Г. Арнольда с усилителями электрических сигналов на ртутных газоразрядных лампах показали, что они не способны конкурировать с усилителями на усовершенствованных аудионах ввиду трудоемкости изготовления конструкции, содержащей большее количество

ртути, а также сложности их обслуживания. На самом деле разработка ртутно-дугового устройства начала замедляться в конце 1912 года, вскоре после того, как компания купила патенты на аудион и начались работы над его улучшением. Из-за этого Г. Арнольд прекратил дальнейшие разработки усилителей на ртутных лампах и в последующем занимался конструированием только электронных устройств на жестких лампах типа вакуумного триода, доведя их до практического внедрения на линиях связи.

Успех, который был быстро достигнут позже в разработке удовлетворительного лампового ретранслятора высокого вакуума, оставляет без ответа вопрос о том, можно ли было разработать ртутный дуговой ретранслятор, чтобы он стал полностью удовлетворительным усилителем речевой частоты. Его более сложная структура, потребность в более сложных и более дорогих вспомогательных устройствах для подключения к работающим телефонным цепям и большие трудности в эксплуатации и обслуживании были серьезными препятствиями. Кроме того, этот ретранслятор имел большие ограничения не только в коэффициенте усиления, но и ограничения в рабочей полосе частот. Разработанное устройство могло использоваться только в качестве усилителя речевой частоты.

Невзирая на это, работы Г. Арнольда по усилительным ртутным газоразрядным лампам и сегодня, в XXI веке, вызывают научный интерес и восхищение перед его научной мыслью.

Список литературы

1. Пестриков В. М. Выбор тренда развития Bell System в начале XX века // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2022. Т. 5, № 3. С. 395—427.
2. Пестриков В. М. Роберт Милликен и его роль в рождении современных радиоламп // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2022. Т. 5, № 4. С. 587—610.
3. Пестриков В. М. Конкуренты аудиона на рынке радиотехнологий // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2021. Т. 4, № 4. С. 322—352.
4. Shaw T. The conquest of distance by wire telephony // The Bell System Technical Journal. October, 1944. Vol. XXIII, no. 4. P. 337—421.
5. Пестриков В. М. Применение катодно-лучевых технологий для усиления электрических сигналов // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2020. Т. 3, № 3. С. 360—383.
6. Baker R. S. Peter Cooper Hewitt – inventor // McClure's magazine. June, 1903. Vol. 21, no. 2. P. 172—178.
7. Three remarkable discoveries // The World's Work. February, 1902. Vol. 3, no. 4. P. 1791.
8. Hewitt P. C. Electric lamps. Patent US682690. Patented September 17, 1901. Application filed April 5, 1900.
9. Откуда пошли лампы дневного света. Сайт «Инженерия зданий и сооружений». URL: <http://engineering-ru.livejournal.com/4657.html> (дата обращения: 01.11.2022).
10. Hewitt P. C. Means for reproducing electrical variations. Patent US749791. Patented Jan. 19, 1904. Application filed May 16, 1902.

11. Hewitt P. C. Vapor electric device. Patent US1052057. Patented February 4, 1913. Application filed, July 24, 1905.
12. Hewitt P. C. Vapor electric apparatus. Patent US1025464. Patented May 7, 1912. Application filed, March 23, 1908.
13. Taylor J. B. Mercury arc relay. Patent US953361. Patented March 29, 1910. Application filed September 17, 1907.
14. Hoddeson L. The Emergence of Basic Research in the Bell Telephone System, 1875–1915 // *Technology and Culture*. July 1981. Vol. 22, no. 3. P. 512—544.
15. Records & Briefs. 15. Transcript of Record. Supreme Court of the United States. October Term, 1930. Vol. I, no. 630. De Forest Radio Company, Petitioner, General Electric Company. On Writ of Certiorari to the United States circuit court of appeals for the third circuit. P. 571.
16. Hewitt P. C. Means for reproducing electrical variations. Patent US991304A. Patented May 2, 1911. Application filed July 7, 1904.
17. Hewitt P. C. Method of manufacturing vapor or gas lamps. Patent US682699A. Patented September 17, 1901. Application filed April 5, 1900. Renewed May 2, 1901. P. 1, line 36.
18. De Forest A. H. Method of producing electrical variations. Patent US1118172A. Patented November 24, 1914. Application filed July 15, 1912.
19. De Forest A. H. Electric relay. Patent US1118173A. Patented Nov. 24, 1914. Application filed July 15, 1912.
20. Gesellschaft für drahtlose Telegraphie M. B. H. in Berlin. Patent DE291604. Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Schwingungen. Patentiert im Deutschen Reich vom 10. April 1913.
21. De Forest A. H. Alternating current generator. Patent US1118174A. Patented November 24, 1914. Application filed June 12, 1913.
22. De Forest A. H. Electric relay apparatus. Patent US1118175A. Patented Nov. 24, 1914. Application filed January 8, 1914.
23. Bancroft G., Jowett F. B. Telephone repeaters // *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*. July to December, 1919. Vol. 38, part 2. P. 1320.
24. De Forest A. H. Negative-resistance repeater. Patent US1118176A. Patented Nov. 24, 1914. Application filed May 7, 1914.
25. Burns B. Early Cable Instruments.
URL: <https://atlantic-cable.com/Article/Instruments/index.htm> (дата обращения: 04.12.2022).
26. Colpitts E. H. System for amplifying electric waves. Patent US1129959. Patented March 2, 1915. Application filed April 6, 1914.

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.

Mercury Discharge Lamps by Harold Arnold and Their Application

V. M. Pestrikov

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

Received: December 12, 2022

Peer-reviewed: March 10, 2023

Accepted: March 20, 2023

Abstract: *The article details the creation of the first telephone relay devices at WECO for the future extra-long telephone line New York – San Francisco. The main attention in the article is focused on the development of these devices by an employee of the company Harold Arnold based on mercury gas discharge technologies. An analysis of the designs of repeaters that existed before 1911 is given. The substantiation of the chosen scientific direction for the development of repeaters in WECO is given. The designs of Peter Cooper Hewitt mercury discharge lamps and John Bellamy Taylor’s mercury arc relay are considered. It was noted that the organization of a research group at WECO to develop repeaters based on new physical principles and the invitation of young talented scientists to this group made it possible to obtain a significant scientific result.*

Keywords: *New York – San Francisco telephone line, telephone relay, repeater, mercury discharge lamps, Peter Cooper Hewitt, Harold Arnold mercury discharge lamps.*

For citation (IEEE): V. M. Pestrikov, “Mercury discharge lamps by Harold Arnold and their application,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 81–107, 2023, doi: 10.29039/2587-9936.2023.06.1.08. (In Russ.).

References

- [1] V. M. Pestrikov, “Choice of Development Trend of Bell System at the Beginning of the 20th Century,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 3, pp. 395–427, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.3.30. (In Russ.).
- [2] V. M. Pestrikov, “Robert Millikan and His Role in the Birth of Modern Radio Tubes,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 5, no. 4, pp. 587–610, 2022, doi: 10.29039/2587-9936.2022.05.4.41. (In Russ.).
- [3] V. M. Pestrikov, “Audion Competitors in the Radio Technology Market,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 4, no. 4, pp. 322–352, 2021. (In Russ.).
- [4] Shaw Thomas, “The conquest of distance by wire telephony,” *The Bell System Technical Journal*, October, 1944, vol. XXIII, no. 4, pp. 337–421.
- [5] 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.).

- [6] “Baker Rray Stannard. Peter Cooper Hewitt – inventor,” *McClure’s magazine*, June, 1903, vol. 21, no. 2, pp. 172–178.
- [7] “Three remarkable discoveries,” *The World’s Work*, February 1902, vol. 3, no. 4, p. 1791.
- [8] P. C. Hewitt, “Electric lamps,” Patent US682690. Patented September 17, 1901. Application filed April 5, 1900.
- [9] Where did fluorescent lamps come from. Site “Engineering of buildings and structures”. URL: <http://engineering-ru.livejournal.com/4657.html> (01.11.2022). (In Russ.).
- [10] P. C. Hewitt, “Means for reproducing electrical variations,” Patent US749791. Patented Jan. 19, 1904. Application filed May 16, 1902.
- [11] P. C. Hewitt, “Vapor electric device,” Patent US1052057. Patented February 4, 1913. Application filed, July 24, 1905.
- [12] P. C. Hewitt, “Vapor electric apparatus,” Patent US1025464. Patented May 7, 1912. Application filed, March 23, 1908.
- [13] John B. Taylor, “Mercury arc relay,” Patent US953361. Patented March 29, 1910. Application filed September 17, 1907.
- [14] Lillian Hoddeson, “The Emergence of Basic Research in the Bell Telephone System, 1875–1915,” *Technology and Culture*, July 1981, vol. 22, no. 3, p. 532.
- [15] “Records & Briefs. 15. Transcript of Record. Supreme Court of the United States,” October Term, 1930, vol. I, no. 630, *De Forest Radio Company, Petitioner, General Electric Company. On Writ of Certiorari to the United States circuit court of appeals for the third circuit*, p. 571.
- [16] P. C. Hewitt, “Means for reproducing electrical variations,” Patent US991304A. Patented May 2, 1911. Application filed July 7, 1904.
- [17] P. C. Hewitt, “Method of manufacturing vapor or gas lamps,” Patent US682699A. Patented September 17, 1901. Application filed April 5, 1900. Renewed May 2, 1901. P. 1, line 36.
- [18] Arnold Harold De Forest, “Method of producing electrical variations,” Patent US1118172A. Patented November 24, 1914. Application filed July 15, 1912.
- [19] Arnold Harold De Forest, “Electric relay. Patent US1118173A,” Patented Nov. 24, 1914. Application filed July 15, 1912.
- [20] “Gesellschaft für Drahtlose Telegraphie M. B. H. in Berlin,” Patent DE291604. Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Schwingungen. Patentiert im Deutschen Reich vom 10. April 1913.
- [21] Arnold Harold De Forest, “Alternating current generator,” Patent US1118174A. Patented November 24, 1914. Application filed June 12, 1913.
- [22] Arnold Harold De Forest, “Electric relay apparatus,” Patent US1118175A. Patented Nov. 24, 1914. Application filed January 8, 1914.
- [23] Gherardi Bancroft and Jowett Frank B., “Telephone repeaters,” *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, July to December, 1919, vol. 38, part 2, p. 1320.
- [24] Arnold Harold De Forest, “Negative-resistance repeater,” Patent US1118176A. Patented Nov. 24, 1914. Application filed May 7, 1914.
- [25] Bill Burns. Early Cable Instruments. URL: <https://atlantic-cable.com/Article/Instruments/index.htm>.
- [26] Edwin H. Colpitts, “System for amplifying electric waves,” Patent US1129959. Patented March 2, 1915. Application filed April 6, 1914.

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.