

УДК 621.37-621.39(091)

## **Клапан Дж. А. Флеминга: предпосылки и его изобретение**

Пестриков В. М.

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

Получено: 13 августа 2019 г.

Отрецензировано: 9 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

**Аннотация:** *Томас А. Эдисон изобрел первую двухэлектродную электронную лампу, которая, по существу, представляла собой вакуумный диод для использования в низкочастотных цепях. Он не осознал важности сделанного открытия, которое получило название «эффект Эдисона». За него это сделал британский ученый Джон Амброз Флеминг, который переосмыслил этот эффект и применил его для обнаружения «беспроводных» электрических сигналов. Основой этой технологии стал изобретенный Флемингом так называемый «колебательный клапан» (англ. oscillation valve).*

**Ключевые слова:** *переменный ток, выпрямитель, волномер, цимометр, высокочастотный волномер, ячейка Нодона, выпрямитель Венельта, эффект клапана, волномер Флеминга, клапан Флеминга, соглашение с компанией Маркони.*

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Пестриков В. М. Клапан Дж. А. Флеминга: предпосылки и его изобретение // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 2. С. 264—284.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Пестриков, В. М. Клапан Дж. А. Флеминга: предпосылки и его изобретение / В. М. Пестриков // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 2. С. 264—284.

## Valve J. A. Fleming: background and its invention

V. M. Pestrikov

*St. Petersburg State University of Film and Television*

*13 Pravda St. Petersburg, 191119, Russia*

*pvm205@yandex.ru*

Received: August 13, 2019

Peer-reviewed: September 9, 2019

Accepted: September 16, 2019

**Abstract:** *Thomas A. Edison invented the first two-electrode electron tube, which essentially was a vacuum diode for use in low-frequency circuits. He did not realize the importance of the discovery, which was called the “Edison effect”. This was done for him by the British scientist John Ambrose Fleming, who rethought this effect and applied it to detect “wireless” electrical signals. The basis of this technology was invented by Fleming, the so-called “oscillation valve”.*

**Keywords:** *alternating current, rectifier, wave meter, cimometer, high-frequency wave meter, Nodon cell, Wehnelt rectifier, valve effect, Fleming wave meter, Fleming valve, agreement with Marconi company.*

**For citation(IEEE):** V. M. Pestrikov, “Valve J. A. Fleming: background and its invention,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 2, pp. 264–284, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.2.24

### 1. Введение

В 1899 году Дж. А. Флеминг (John Ambrose Fleming) становится техническим советником компании Marconi и участвует в проекте Poldhu. Целью проекта была передача беспроводного сигнала через Атлантический океан. Для этого проекта он разработал специальную передающую аппаратуру, которая была установлена в Корнуолле (Англия). 12 декабря 1901 года с помощью искровой радиосистемы, созданной Флемингом, была осуществлена передача информации через Атлантику. Во время сеанса был передан кодовый знак «S» азбукой Морзе. На острове Ньюфаундленд Гульельмо Маркони принимал сигнал на проволочную антенну, поднятую высоко в небо бумажным змеем (по другим источникам — воздушным шаром). До сих пор идет спор о том, действительно ли Маркони смог на примитивный радиоприемник с когерером принять сигнал, посланный передатчиком из Англии, или это были атмосферные разряды? О принад-

лежности Флеминга к этому триумфу новых технологий в тот момент не вспоминали, и он жаловался на то, что его имя не упоминалось в период торжеств и в газетных поздравлениях.

Активно участвуя в этом эксперименте, Дж. А. Флеминг чувствовал себя ущемленным из-за сдержанного признания его заслуг самим Г. Маркони, который считал, что его вклад в достигнутый результат явился не определяющим. Дж. А. Флеминг не получил тех лавров славы, на которые он рассчитывал. Из-за этого отношения между ним и Г. Маркони сложились недолжным образом, что и послужило к прекращению консультативных функций Дж. А. Флеминга в *Marconi Company*.

В декабре 1903 года Дж. А. Флеминг был уволен из *Marconi Company*, несмотря на его желание сохранить научное сотрудничество с компанией. В дальнейшем Флеминг направил свои усилия на восстановление связей с компанией *Marconi Co.*, что повлияло на изменение его научно-технических интересов. Он понял, что только новыми результативными научными исследованиями сможет вновь привлечь к себе внимание компании Г. Маркони.

Его интерес к этому периоду времени в значительной степени лежал в области высокочастотных измерений, в частности, длины волны, частоты, числа искр, тока, измерении индуктивности, емкости и сопротивления.

## 2. Измерение высокочастотного переменного тока

На рубеже XIX и XX веков существовало два разных метода измерения высокочастотного переменного тока. В первом методе использовалось удлинение металлической проволоки при нагревании слабым высокочастотным переменным током. В качестве измерительного прибора использовался термоэлектрический амперметр. В этом приборе переменный ток преобразовывался в постоянный с помощью термопреобразователей, представляющих собой сочетание одной или нескольких термодпар и нагревателя.

По второму способу использовались чувствительные динамометры переменного тока, в которых датчик преобразовывал деформацию от воздействия силы в электрический сигнал.

Обычные высокотемпературные амперметры и динамометры обладали малой чувствительностью и не позволяли измерить слабый высокочастотный ток, который был характерен для беспроводной телеграфии. В связи с этим Флеминг разработал третий метод, в котором использовался эффект намагничивания железа электромагнитными волнами.

Намагниченность куска размагниченного железа, а также размагничивание части намагниченного железа электромагнитными волнами было обнаружено Э. Резерфордом в 1896 году. Основываясь на этом, Маркони изобрел практическую конструкцию магнитного детектора в 1902 году. В магнитном детекторе Маркони использовал телефон, а не гальванометр, так как обычные гальванометры постоянного тока не могли обнаружить высокочастотные сигналы переменного тока.

В декабре 1902 года Флеминг и его ассистент А. Блок (A. Blok) решили исследовать возможность практического использования эффекта Резерфорда с применением гальванометра. Принцип работы, который они пытались реализовать, был прост. Они предположили, что после размагничивания железа электромагнитными волнами его можно снова намагнитить каким-либо другим способом. Тогда бы эффект воздействия электромагнитных волн можно было зафиксировать на магнитном детекторе обычным гальванометром постоянного тока. Если бы электромагнитные волны производили только одностороннее воздействие (либо намагничивание, либо размагничивание), то в этом случае появляется возможность его преобразования в электрический сигнал. Сигнал такой природы можно зафиксировать с помощью гальванометра постоянного тока. После долгих проб и ошибок, Флеминг и Блок создали работоспособное устройство, которое назвали «цимоскоп» (англ. *cymoscope*), рис. 1. Флеминг описал его в статье, опубликованной в марте 1903 года [1].

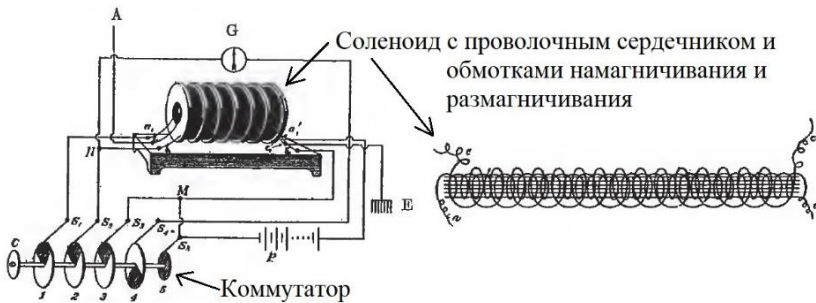


Рис. 1. Конструкция магнитного цимоскопа Флеминга для измерения длин волн Герца [2].

Fig. 1. The design of the Fleming magnetic cymoscope for measuring Hertz wavelengths [2]

Разработанное устройство позволяло выпрямлять высокочастотный переменный ток, который после преобразования его в постоянный ток, можно было измерить обычным гальванометром.

Здесь важно заметить, что магнитный цимоскоп Флеминга — Блока был не просто детектором в обычном смысле, а скорее представлял собой

лабораторный инструмент, своего рода измерительный высокочастотный гальванометр переменного тока. Это устройство, используемое в качестве выпрямителя, было очень громоздким и менее эффективным, чем большинство обнаружителей высокочастотных колебаний (детекторов), доступных в то время.

Флеминг надеялся, что цимоскоп, найдет широкое применение в связи с разработкой излучателей и передатчиков беспроводной телеграфии для волн Герца. В тот период времени, как правило, было трудно установить, является ли улучшение передачи радиосигнала следствием случайного увеличения чувствительности когерера или какого-либо изменения или изменения, сделанного в передатчике.

Цимоскоп Флеминга — Блока, однако, не получил широкого распространения из-за малой стабильности коммутатора, что влияло на калибровку всего устройства. За пределами инженерной лаборатории Флеминга в Университетском колледже устройство использовалось только итальянским ученым В. Бушеми (Vincenzo Buscemi) для изучения поглощения электромагнитных волн в различных диэлектриках [3].

После этого несовершенного устройства Флеминг разработал более чувствительные амперметры, которые были настроены на высокую частоту. Однако они обладали недостаточной чувствительностью при измерении слабых токов менее 5 мА, а это как раз те электрические токи, которые радиоинженеры часто измеряли в лаборатории и в условиях эксплуатации аппаратуры [4].

### 3. Высокочастотный волномер — цимометр

В январе 1903 года Флеминг пришел к необходимости разработать более совершенный прибор для количественного измерения энергии радиоволн. «Только обладая таким инструментом, — сказал он, — мы можем надеяться на правильность изучения передающей мощности различных передатчиков или эффективности различных форм антенн или устройств, с помощью которых создается волна» [5]. Измерение мощности передатчиков было основной целью Флеминга в этот период времени. При разработке прибора для измерения длины радиоволн он использовал некоторые результаты эксперимента австрийского физика Эрнста Лехера (Ernst Lecher, 01.06.1856—19.07.1926). В 1888 году Э. Лехер разработал методику измерения длины и частоты электрических волн на основе пары параллельных проводов (*L*-провода или англ. *L-wires*).

В приборе, который Флеминг назвал «цимометр» (англ. *cyrometer*), вместо проводов использовался длинный соленоид, намотанный на эбони-

товый каркас, рис. 2. Соленоид имел подвижной контакт (ползунок) для регулировки индуктивности. Один конец соленоида соединялся через конденсатор с антенной передатчика, а его подвижной контакт — с землей. Из-за колебаний напряжения в антенне, волны напряжения распространялись по соленоиду.

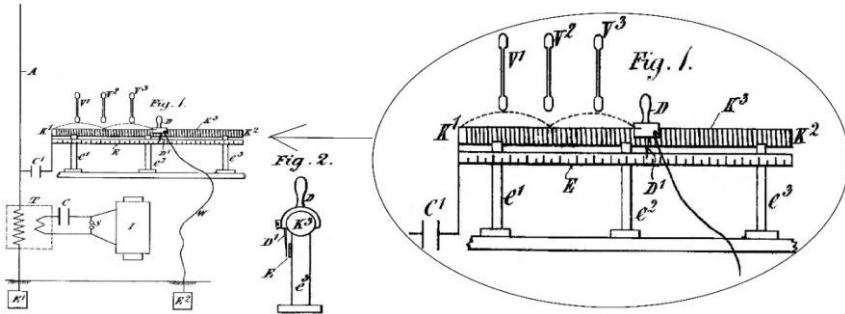


Рис. 2. Конструкция волномера Флеминга под названием цимометр (англ. *cymometer*). 1904 г.  
Рисунок из патента Флеминга [6].

Fig. 2. The design of the Fleming wavemeter called a cymometer. 1904.  
Figure from Fleming's patent [6]

Цимометр представлял собой разновидность поглощающего волномера, в котором с помощью скользящего контакта (ползунка) отыскивалось такое его положение (резонанс), при котором происходит взаимодействие появившейся отраженной волны с проходящими волнами. В результате этого возникают синусоидальные стоячие волны напряжения и тока в соленоиде. Напряжение падает до нуля в узлах, расположенных на расстоянии, кратном половине длины волны от конца соленоида. Максимумы напряжения, называемые пучностями, расположены на полпути между узлами.

Длина волны определялась непосредственно по измерению расстояния между узлами, а, поскольку скорость волн в спирали известна, то частота колебаний в антенне вычислялась по емкости и индуктивности на единицу длины. Для обнаружения присутствия узлов использовались три тонкие стеклянные вакуумные трубки  $V1$ ,  $V2$ ,  $V3$ , которые имели на концах шарики. Трубки заполнялись разреженным газом, в качестве которого брался водород, гелий и т. д., но предпочтение отдавалось неону. Также было желательным, чтобы стекло было сделано флуоресцентным и содержало в своем составе уран. Такая трубка светилась при размещении вблизи точки соленоида, потенциал которой не равен нулю, то есть в точке резонанса. Неон, как и другие разреженные газы, в тлеющем разряде может светиться только при воздействии электрического поля и не светится под действием магнит-

ного поля. В устройстве между антенной и соленоидом был установлен большой металлический экран, чтобы предотвратить влияние излучаемых непосредственно антенной волн на стационарные волны в соленоиде.

Во время исследований длину волны  $\lambda$  вычисляли по формуле

$$\lambda = \frac{2l}{n-1},$$

где  $l$  — расстояние между первой и последней с номером  $n$  пучностями (или узлами).

Частота  $f$  определялась по известной формуле:

$$f = c/\lambda, \text{ где } c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с — скорость света.}$$

Для измерений обычно использовались узлы, так как они проявляются более остро, чем пучности, соответственно и точность измерений получается выше.

В июне 1904 года Флеминг подал заявку для получения патента на новую конструкцию волномера под названием «цимометр» [6], рис. 3.



Рис. 3. Общий вид промышленной конструкции волномера (цимометра) Дж. А. Флеминга. 1904 г.

Fig. 3. General view of the industrial design of the wavemeter (cymometer) J. A. Fleming. 1904

Маркони и другие экспериментаторы до появления волномера (цимометра) Флеминга имели только приблизительные представления о значениях частот своих передатчиков. Позже Генри Раунд и другие радиоинженеры разработали более компактные волномеры (англ. *wavemeters*), которые охватывали более широкий диапазон частот. Флеминг, который никогда не терпел соперников, с раздражительностью жаловался Маркони, что «эти молодые люди читают мои книги, а затем делают вид, что делают изобретения».

Цимометр Флеминга длительное время использовался в практической беспроводной телеграфии, а изучение методики его использования входило в программы радишкол Маркони<sup>1</sup>, рис. 4.

<sup>1</sup> В 1897 году была образована компания Marconi Wireless Telegraph & Signal, а спустя 4 года она открыла свою первую школу по обучению радиосвязи (Marconi School of Wireless) в Эссексе (Essex, England). После была создана сеть школ для обучения операторов, обслуживающих мировые океаны.

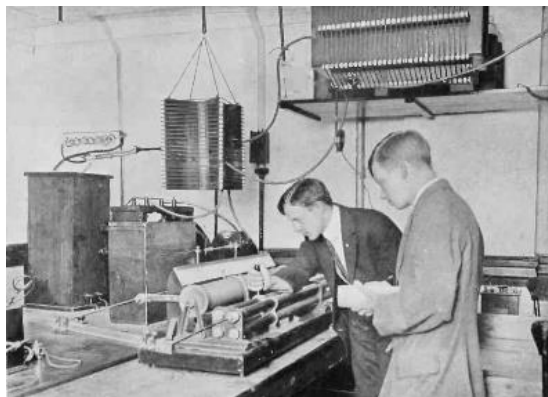


Рис. 4. Изучение работы цимометра Флеминга в школе Маркони. Нью-Йорк. 1912 г.  
Fig. 4. Studying the work of the Fleming cymometer at the Marconi school. New York. 1912

#### 4. Поиск конструкции высокочастотного выпрямителя

Сконструированные Флемингом приборы для измерения высокочастотного переменного тока оказались очень сложными в эксплуатации. Помимо прочего, для определения искомой величины требовались аналитические вычисления. Это стало одной из причин того, что он решил позаимствовать некоторые технологии, относящиеся к выпрямлению переменного тока в электротехнике.

Преобразование переменного тока в постоянный являлось важным вопросом в энергетике. В энергетике в это время, широко использовалось несколько типов выпрямителей, в частности, механический и электролитический. Из двух названных выпрямителей для решения проблемы, очевидно, более перспективным выглядел электролитический выпрямитель. Механический выпрямитель ввиду своей громоздкости для достижения поставленной цели не подходил [7].

В октябре 1904 года в английском научно-техническом журнале «Electrician» появилась статья французского инженера-химика Альберта Нодона (Albert Nodon, 1862—1934) под названием «Электролитический выпрямитель: экспериментальное исследование» [8]. В этой статье приводится описание эффективно работающих выпрямителей, сконструированных на базе алюминиевых ячеек Нодона. Ячейка Нодона состояла из двух полосок разнородных металлов (алюминий и железо), которые были погружены в электролит, например, карбонат аммония. При переменном токе частотой 42—82 Гц было получено эффективное выпрямление низкочастотного переменного тока при к. п. д. 65—75 %. В статье автор предста-



вил свой выпрямитель как электролитический «клапан<sup>2</sup>» (англ. *valve*). Нодон на это изобретение получил патенты у себя на родине, а также за рубежом, в Германии, Великобритании и США, рис. 5 [9—11].

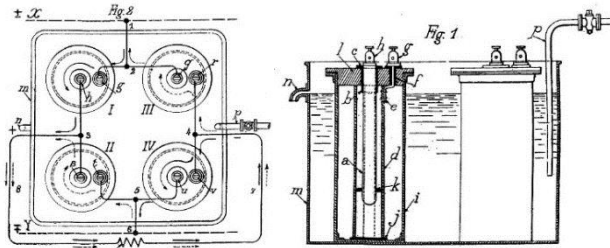


Рис. 5. Устройство клапана Нодона и схема выпрямителя из 4-х таких клапанов [10]. 1902 г.

Fig. 5. The device Nodon valve and rectifier circuit of 4 such valves [10]. 1902

Нужно заметить, что работа выпрямителя Нодона основывается на открытии, сделанном в 1857 году немецким химиком Иоганном Генрихом Буффом (нем. *Johann Heinrich Buff*, 23.05.1805—24.12.1878). Буфф установил, что через электролит, в котором один из электродов выполнен из алюминия, а другой — из свинца, электрический ток проходит только тогда, когда алюминий служит катодом, при условии, что разность потенциалов у электродов не превышает известного предела. Так, пара металлов алюминий — свинец (или железо), погруженных в электролитический раствор, пропускают переменный ток только в одном направлении, что позволяет использовать этот эффект для выпрямления переменного тока в постоянный, рис. 6. 4 января 1898 года М. Пупин подал заявку на получение патента на использование электролитического клапана [12].

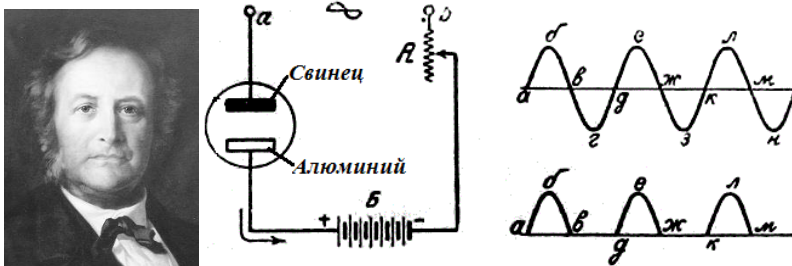


Рис. 6. Иоганн Генрих Буфф (1840), схема однополупериодного выпрямителя на клапане Нодона и кривые выпрямленного тока (справа).

Fig. 6. Johann Heinrich Buff (1840), the scheme of a half-wave rectifier on the Nodon valve and the curves of the rectified current (right)

<sup>2</sup> В английском языке *valve* означает — клапан, вентиль; на французском *valvule* — клапан, в статье Нодона на французском языке *souppapes electroquies* — электроклапан; на немецком *ventiln* — вентиль.

Флеминг решил применить клапан Нодона для выпрямления высокочастотных колебаний беспроводной телеграфии при измерениях гальванометром постоянного тока. После большого количества экспериментов он в конце концов обнаружил, что клапан Нодона неэффективен для выпрямления высокочастотного переменного тока, так как был разработан для энергетики, в частности, заряда промышленных аккумуляторов [13].

Невзирая на это, проведенное исследование с электролитическим клапаном Нодона позволило Флемингу переосмыслить механизм эффекта Эдисона. В ранних его работах односторонняя проводимость в эффекте Эдисона была объяснена Флемингом с точки зрения испускания отрицательно заряженных молекул углерода от нити накала лампы до добавленного в нее второго электрода. При подключении к этому электроду гальванической батареи он функционировал как разрядник отрицательных зарядов, накопленных на нем, а гальванометр в схеме измерял скорость этого разряда.

В 1904 году Флеминг стал трактовать механизм эффекта Эдисона совершенно по-другому. Батарея, включенная в цепь второго электрода, функционировала как источник ускорения движения электронов в вакууме, а гальванометр измерял скорость этого потока электронов. Односторонняя проводимость трансформировалась в действие клапана [14].

## 5. Ламповый выпрямитель Венельта

Отрицательный результат в эксперименте с клапаном Нодона заставил Флеминга задуматься о создании других конструкций устройств, обладающих эффектом клапана (выпрямления) для высокочастотных колебаний.

Ему было необходимо устройство, которое допускало только однонаправленное движение электрического тока. Как он нашел такое устройство, Флеминг рассказал в своих мемуарах, вышедших в 1934 году [15]. В момент раздумий он вспомнил об односторонней проводимости в небольшом пространстве внутри лампы Эдисона, явление, которое исследовал несколько раз в 1880-х и 1890-х годах и подумал: «А почему бы не попробовать?»

Возможности практического использования двухэлектродной вакуумной лампы для выпрямления низкочастотных переменных токов были известны еще до Флеминга. Немецким физиком Артуром Венельтом (Arthur Rudolph Berthold Wehnelt) был изготовлен и запатентован вакуумный диод для выпрямителей, предназначенных для зарядки автомобильных аккумуляторов.

В статье Венельта, вышедшей в 1906 году [16], отмечается, что «...недавняя публикация господина Дж. А. Флеминга в *Proceedings of the Royal Society* (1905) [13] о его экспериментах, которые, вероятно, были проведены, под влиянием моей публикации в *Annalen der Physik* (1904) [17]. В 1904 году я работал с подобной лампой (рис. 7), описанной мною в статье в том же году. Только господин Флеминг вместо нити накала, покрытой оксидом в моей лампе, использовал углерод, который, как известно, также испускает отрицательные электроны, но в меньшей степени, чем при покрытии одним из указанных мной оксидов. Господин Флеминг отмечает, что такие лампы могут использоваться в качестве детекторов волн в беспроводной телеграфии, что по полученным мной результатам с электрическими волнами было само собой разумеющимся».

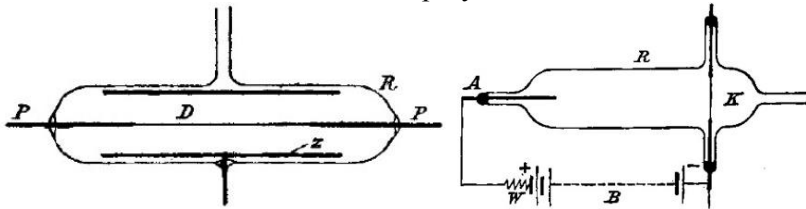


Рис. 7. Ламповые диоды Венельта [17]. 1904 г.

Fig. 7. Tube diodes Venelt [17]. 1904

Заметим, что высказывание Венельта об использовании лампового диода для выпрямления высокочастотных колебаний было сделано только через 2 года после получения патента Флемингом. Сам же Венельт вообще не пытался этого сделать, даже в заявке на патент в январе 1904 года указывается двухэлектродная вакуумная лампа только в качестве преобразователя переменного тока в постоянный [18]. В этом патенте не упомянуто использование устройства для обнаружения радиоволн, что не позволило Венельту в дальнейшем продать свое изобретение.

## 6. Изобретение лампового волномера

Флеминг, стремясь реализовать идею лампового выпрямителя, попросил своего помощника Г. Б. Дайка (G. В. Дуке) собрать схему (рис. 8) в соответствии с инструкциями и «вынул из шкафа одну из своих экспериментальных лампочек» для использования в эксперименте [15]. Схема включала два колебательных контура — один с двумя лейденскими банками (конденсаторами) и катушкой Румкорфа, а другой, такой же, но с подключенным к нему клапаном Флеминга с гальванометром постоянного тока и гальванической батареей.

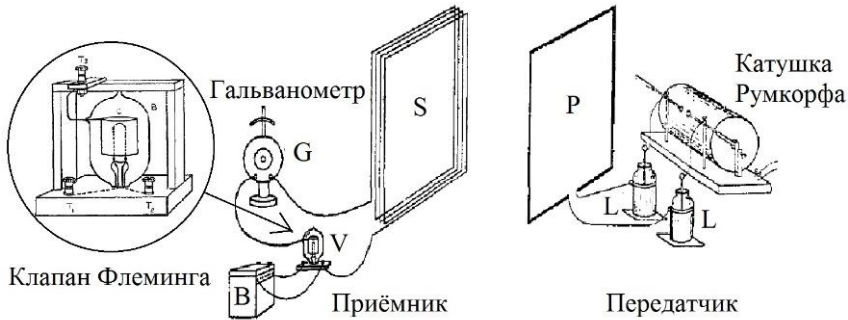


Рис. 8. Эксперимент с клапаном Флеминга в качестве выпрямителя высокочастотных колебаний [19].

Fig. 8. An experiment with a Fleming valve as a high-frequency oscillation rectifier [19]

Оба контура были настроены на одну частоту. Впоследствии Флеминг вспоминал: «Это было около пяти часов вечера, когда постройка радиоустройств была закончена. Я, конечно, больше всего стремился как можно быстрее все проверить, не теряя времени. Как только в лаборатории мы установили два контура на некотором расстоянии друг от друга, я начал создавать колебания в первом контуре. К моему восхищению я увидел, что стрелка гальванометра указала устойчивое прямое прохождение тока, а отсюда и решение проблемы выпрямления высокочастотных беспроводных токов с помощью специальной электронной лампы. Необходимая деталь для радиосвязи была найдена. Это была электронная лампа. Я сразу увидел, что металлическая пластина должна быть заменена металлическим цилиндром, окружающим всю нить, чтобы собирать все электроны, прилетающие к нему. У меня было много ламп, содержащих угольные нити накала и металлические цилиндры, которые использовались для выпрямления высокочастотных токов беспроводной телеграфии. Этот инструмент я назвал «клапан колебаний» (oscillation<sup>3</sup> valve)» [15].

После этого первоначального названия вскоре появились альтернативные названия, такие как клапан Флеминга (англ. *Fleming's valve*), вентиль Флеминга, вакуумная трубка, термоэлектронный клапан, пустотный клапан, вакуумный диод и др. Можно предположить, что Флеминг после изучения работ Нодона позаимствовал у него не только ряд указанных терминов для названия своего пустотного клапана, но также использовал и другие понятия, такие как «эффект клапана» (англ. *valve effect*) и «действие клапана» (англ. *action of the valve*).

<sup>3</sup> Oscillation — рус. колебание, вибрация, генерирование

После проведения эксперимента ученый пришел к выводу, что устройство, состоящее из нити накала и холодной металлической пластины (анода), может быть использовано как выпрямитель высокочастотных токов при определении длин электромагнитных волн высокой частоты, рис. 9.

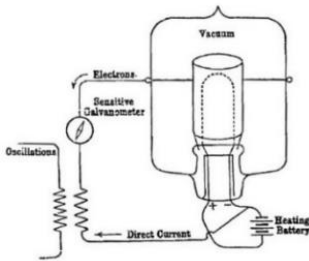


Рис. 9. Схема волномера на клапане Флеминга [20].

Fig. 9. Circuit of the wavemeter on the Fleming valve [20]

Успешно проведенный эксперимент позволил Флемингу подать заявку и получить британский патент на «Improvements in Instruments for Detecting and Measuring Alternating Electric Currents» (Усовершенствование устройств для обнаружения и измерения переменных электрических токов) с приоритетом от 16 ноября 1904 года [21]. В патенте отмечалось, что «данное изобретение относится к некоторым новым и полезным устройствам для преобразования альтернативных электрических токов и особенно высокочастотных переменных электрических токов или электрических колебаний в постоянные электрические токи с целью их обнаружения и измерения с помощью обычных инструментов постоянного тока, таких как как «зеркальный гальванометр» обычного типа или любой обычный прамоточный амперметр тока.

В патенте Флеминга указывается, что «целью изобретения является разработка устройства, с помощью которого обычный гальванометр может быть использован для обнаружения и измерения переменного электрического тока и особенно высокочастотных переменных токов, обычно известных как электрические колебания».

В тексте патента не содержится информации о проблемах с существовавшими тогда детекторами и нет намека в потребности новых детектирующих устройствах. Подчеркивается, что механический или электролитический выпрямители неприменимы для высокочастотных токов, а также то, что алюминиево-углеродная ячейка не будет функционировать с переменными высокочастотными токами.

О главном, ради чего так много работал Флеминг, он написал: «Я обнаружил, что если два проводника заключены в сосуд, в котором сделан хороший вакуум и один из них нагревается до высокой температуры, то

пространство между горячим и холодным проводниками обладает односторонней электропроводностью, а отрицательное электричество может переходить от горячего проводника к холодному проводнику, но не в обратном направлении» [15].

Следует отметить, что патент Флеминга относится исключительно к изобретению волномера, хотя в нем и приведена схема (Fig. 1) использования вакуумного клапана в беспроводной телеграфии, рис. 10. Эту схему следует рассматривать как пример того, что при измерении определенной частоты, низкой или высокой, следует выбирать соответствующую конструкцию антенного провода  $n$ . Это подтверждается текстом патента: «Вышеописанная колба с несколькими нитями накала и гальванометром может быть использована в качестве приемного прибора в беспроводной телеграфии. В этом случае антенный приемный провод подключается к катушке связи входного контура, а один из вышеописанных электрических клапанов и гальванометр включаются во вторичную обмотку катушки входного контура. Слабые переменные токи, возбуждаемые антенной электрическими волнами, затем фиксируются на шкале гальванометра».

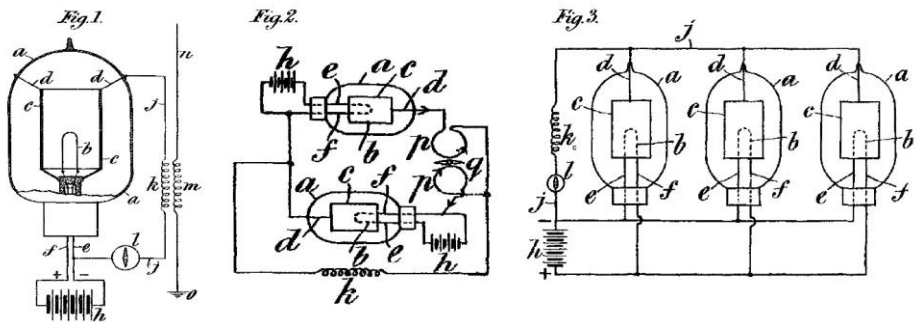


Рис. 10. Принципиальные схемы устройств преобразования переменного электрического тока в постоянный ток. Из патента А. Флеминга GB24850. 16 ноября 1904 года

Fig. 10. Schematic diagrams of devices for converting alternating electric current into direct current. From A. Fleming's patent GB24850 on November 16, 1904

В патенте, несмотря на то, что клапан предлагалось изготавливать с углеродной нитью накала, подобно той, что использовалась в то время в электрических лампочках, он указал на возможность ее замены металлической нитью. Одна или несколько нитей углерода могут быть заменены петлей из платиновой проволоки, что и было подтверждено в экспериментах Дж. А. Флеминга. В первоначальной патентной заявке, поданной в 1904 году, он предполагал, что в баллоне лампы может вообще не содержаться газ.

Особенностью запатентованного устройства явилось то, что в схеме волномера с пустотным клапаном принятый электрический сигнал фиксировался визуально с помощью зеркального гальванометра. Градуировка волномера могла быть произведена с помощью цимометра. Как показали дальнейшие исследования, клапан Флеминга обладал большей чувствительностью, чем использовавшиеся тогда когереры.

Патент на волномер в Великобритании Дж. А. Флеминг получил 15 августа 1905 года [21]. В том же 1905 году были получены патенты в США (US803684), Германии (DE186084C), Канаде (CA98083) и других странах. Нужно отметить, что в английском и американском патентах графическая часть одна и та же, но они имеют некоторые отличия только в текстовой части, в частности в названии изобретения. Так, название американского патента звучит следующим образом: «Instrument for converting alternating electric currents into continuous currents» (Прибор для преобразования переменного электрического тока в постоянный). Почти такое же название у канадского патента: «Instrument for converting alternating currents into continuous currents» (Прибор для преобразования переменного тока в постоянный).

## 7. Возобновление Флемингом взаимоотношений с Гульельмо Маркони

Изобретение вакуумного клапана и цимометра стало весомым аргументом для Флеминга в попытке восстановления его научных контактов с Маркони, а также с его компанией. Флеминг после подачи заявки на получение патента на клапан написал письмо Маркони. В этом недатированном письме (написанном в конце ноября 1904 г.) он впервые упомянул о своем изобретении измерителя длины волны (цимометр), а затем заметил:

*«Я нашел способ выпрямления электрических колебаний, т. е. потока электричества в одном направлении, так что я могу обнаружить его с помощью обычного зеркального гальванометра. Я принимаю сигналы на антенну, но только зеркальный гальванометр и мое устройство в настоящее время существуют в лабораторном масштабе. Это открывает широкое поле для работы, так как теперь я могу точно измерить эффект передатчика».*

Затем Флеминг заверил Маркони, что «я еще об этом никому не говорил, так как это может быть очень ценным» [22].

Новые изобретения Флеминга произвели большое впечатление на Маркони, который выразил желание провести некоторые эксперименты с «выпрямителем электрического тока» конструкции Флеминга. Флеминг

предложил изготовить свое устройство на заводе Маркони в Челмсфорде (Chelmsford), куда Маркони «мог прийти в удобное время для ознакомления».

В своей пятничной лекции 3 марта 1905 года Маркони продемонстрировал цимометр и клапан Флеминга. После лекции Маркони спросил Флеминга, можно ли у него одолжить клапан для дальнейших экспериментов [23]. Так появилась возможность для Флеминга восстановить и упрочить связь с Маркони, которую он постарался не упустить. Флеминг сразу ответил Маркони:

*«Единственный клапан, который у меня есть и который хорошо работает — это тот, который я одолжил Вам для Вашей лекции, и с которым была проделана вся работа для моей статьи в Royal Society.*

*Я не хочу расставаться с этим клапаном, поскольку у меня не будет никаких возможностей для проведения сравнительных измерений. Я постараюсь сделать пару хороших клапанов как можно скорее и отправлю Вам. Между тем хотел бы обратить Ваше внимание на вопрос о моем соглашении с компанией, о котором я говорил с Вами при нашей последней встрече. В Ваше отсутствие я надеюсь, что рассмотрение этого вопроса не затянется, так как в интересах компании он должен быть решен» [24].*

Несколько месяцев спустя, в мае 1905 года, компания Маркони повторно назначила Флеминга своим научным консультантом, начиная с первого числа этого же месяца. Между двумя директорами компании и Флемингом был подписан документ о согласии. Соглашение содержало четыре пункта. В третьем пункте указывалось на то, что изобретения Флеминга, сделанные между 1 декабря 1903 года и 1 мая 1905 года, явились результатом работы Флеминга, как если бы он был научным консультантом в этот период времени. Другими словами, все, что изобрел Флеминг в прошедший период времени, является интеллектуальной собственностью компании Маркони.

В соглашении, в частности, отмечено, что Джон Амброз Флеминг должен время от времени и в любое время в течение периода с 1 мая 1905 по 30 апреля 1908 гг. сообщать компании обо всех предполагаемых открытиях и изобретениях, которые он намерен сделать в дальнейшем, а также представлять по запросу компании информацию об их полной стоимости или ее части, которая связана с бизнесом компании, при этом прилагать максимальные усилия по бесплатному использованию эквивалентов иностранных патентов в странах, где компания может иметь отношение к открытиям и изобретениям (независимо от того, были ли они сделаны или доведены до его сведения в настоящем документе с момента исте-



чения первого вышеупомянутого периода в три года с первого дня 1 декабря 1900 года или могут быть сделаны или доведены до его сведения в дальнейшем в течение периода действия настоящего Соглашения) [25].

Патент на клапан был выдан на имя Флеминга, но, невзирая на это, компания Marconi согласно достигнутому соглашению, теперь имела на него все права. В течение следующих нескольких лет, примерно до 1907 года, Флеминг, а не Маркони, заказывал изготовление клапанов в мастерской компании Ediswan в Ponders End<sup>4</sup>. В компании Ediswan этим занимался друг Флеминга, опытный мастер по изготовлению электроламп Чарльз Гимингам (Charles Gimingham). Он делал клапаны в соответствии с инструкцией Флеминга.

Всякий раз, когда Маркони и его компания просили Флеминга предоставить им клапаны, то заказывал их Флеминг, а его помощник Г. Б. Дайк доставлял продукцию в компанию Маркони. Использование клапанов в этот период времени не было под контролем Флеминга.

В конце 1906 года один итальянский профессор спросил Флеминга: «Может ли он получить клапан для научных экспериментов?» Флеминг, взял паузу, чтобы рассказать об этом Маркони. Маркони отказался давать клапаны другим, исходя из необходимости их использования в качестве детектора беспроводного телеграфа в своих текущих экспериментах. Однако Флеминг заметил, что даже если вы хотите сохранить эксклюзивное использование клапана для беспроводной телеграфии, все равно можно будет поставлять его для иных научных целей, которые не противоречат вашей работе [26]. В 1907 году Маркони решил передать несколько клапанов итальянскому правительству, в связи с чем попросил Флеминга предоставить инструкции по их использованию итальянцам.

## 8. Дальнейшие эксперименты Флеминга с пустотным клапаном

Флеминг, несмотря на потепление отношений с компанией Маркони, продолжил экспериментировать с пустотным клапаном как выпрямителем высокочастотных колебаний. Он экспериментально опробовал различные формы анодов. Изменяя форму второго дополнительного электрода, он согнул металлическую пластину в виде цилиндра, который расположил таким образом, что чтобы нить накала оказалась внутри его. После соединения металлического цилиндра с положительным электродом он обнаружил, что в этом случае гальванометр показывает самый большой электрический ток в сравнении с другими типами и положениями элект-

---

<sup>4</sup> Ponders End — район городка Энфилд, расположенного в северной части большого Лондона

тродов. Флемингу стало ясно, что металлический цилиндр с положительным потенциалом способен улавливать наэлектризованные частицы, которые вылетают из разогретой нити накала.

Двухэлектродная лампа Флеминга представляла собой стеклянный баллон, в нижнюю часть которого впаивалась нить накаливания. Вокруг нее располагался дополнительный электрод в виде металлического цилиндра, рис. 11. Внутри баллона давление воздуха составляло 0,01 мм рт. ст. Цилиндр получил название «анод», а нить накала — «катод».

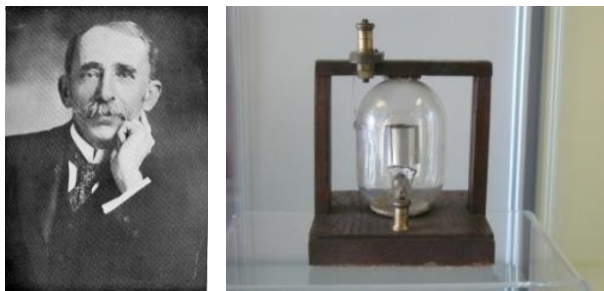


Рис. 11. Дж. А. Флеминг и одна из первых его конструкций пустотного клапана при исследовании эффекта Эдисона (около 1889 г.).

Fig. 11. J. A. Fleming and one of his first hollow valve designs in the study of the Edison effect (circa 1889)

В начале 1905 года в трудах Лондонского королевского общества вышла статья Дж. А. Флеминга о применении вакуумного клапана для преобразования электрических колебаний [27]. В статье приводятся основные положения из патента Флеминга [21] о том, что электролитический выпрямитель, в частности, элемент Нодона не подходит для выпрямления высокочастотных токов. Это и явилось тем фактором, который заставил автора статьи вернуться к продолжению исследований по односторонней проводимости в двухэлектродной вакуумной лампе. Для исследований были взяты двухэлектродные лампы различной конструкции, рис. 12.

Эксперименты показали, что указанные двухэлектродные лампы могут быть использованы в качестве электрического клапана для выпрямления переменных электрических токов различной частоты.

В статье отмечается, что лучше для этих целей подходит пустотный клапан с цилиндрическим анодом. Электронная лампа с таким анодом имела следующие характеристики: напряжение углеродной нити (длина 4,5 см, диаметр 0,5 см, площадь поверхности  $70 \text{ мм}^2$ ) напряжение накала — 12 В при токе 2,7—3,7 А, анод — алюминиевый цилиндр диаметр 2 см, высота — 2 см, площадь поверхности —  $12,5 \text{ см}^2$ .

Если металлический цилиндр охлаждать проточной холодной водой, то выпрямление переменного тока достигнет 100 % или будет полным. Из этого следует, что идеальный и совершенный выпрямитель для электрических колебаний может быть построен путем включения углеродной нити накала и холодного металлического анода в стеклянную колбу с высоким вакуумом.

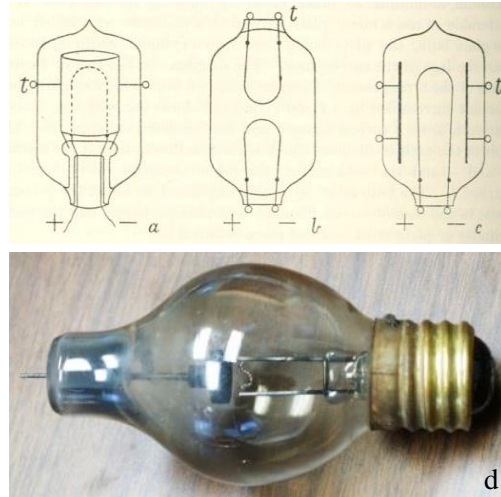


Рис. 12. Устройство двухэлектродных вакуумных электронных ламп в научных исследованиях А. Флеминга (a, b, c) и одна из ранних конструкций вентиля с анодом в виде диска. 1910 г. (d).

Fig. 12. Arrangement of two-electrode vacuum electron tubes in A. Fleming's scientific research (a, b, c) and one of the earliest valve designs with an anode in the form of a disk in 1910 (d)

Для получения более полного преобразования переменного тока в постоянный предлагается использовать дифференциальный гальванометр и два вакуумных клапана. Исходя из этого приводится схема такого волномера, рис. 13. Нужно заметить, что такая же схема есть у Флеминга и в его патенте [21], рис. 9.

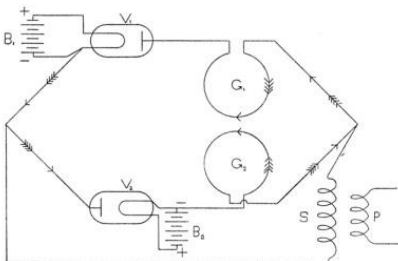


Рис. 13. Принципиальная схема волномера с дифференциальным гальванометром [21]. 1905 г.  
Fig. 13. Schematic diagram of a wavemeter with a differential galvanometer [21]. 1905

Для подключения волномера к источнику электрических колебаний используется вторичная обмотка  $P$  трансформатора (см. рис. 13). Основным преимуществом этого волномера является возможность исследования поведения любой конкретной формы электрических колебаний, производимых передатчиком.

В заключение Флеминг отмечает, что предложенное устройство может быть полезно не только в качестве простого средства обнаружения электрических колебаний, но также может быть использовано и в качестве метрического устройства для их измерения.

## 9. Заключение

Известная до изобретения Флеминга выпрямительная двухэлектродная вакуумная лампа Венельта предназначалась для низкочастотных переменных токов. Что касается патента Флеминга, то его вакуумный клапан относился исключительно к изобретению волномера для измерения длин электромагнитных волн, хотя в нем и была приведена схема использования этого устройства для беспроводной телеграфии. Область использования клапана Флеминга не была еще четко очерчена в 1904 году и в этот период времени его применение ограничивалось только измерениями высокочастотных колебаний. Под влиянием экспериментов Маркони в 1905 году Флеминг расширил возможности практического применения пустотного клапана, используя его в качестве детектирующего устройства для радиосвязи. Для этих целей он сконструировал несколько конструкций радиоприемников на вакуумных диодах. На некоторые схемные решения для этих радиоприемных устройств им были получены патенты.

## Список литературы

1. Fleming J. A. A Note on a Form of Magnetic Detector for Hertzian Waves adapted for Quantitative Work//Proceedings of the Royal Society. 1903. Т. 74. С. 398—401.
2. Fleming J. A. The principles of electric wave telegraphy. Longmans, Green, and Co. 39 Paternoster Row, London, New York and Bombay. 1906. С. 382—386.
3. Buscemi. V. Trasparenza dei Liquidi per le onde Hertziane // Nuovo Cimento. 1905. Т. 9. С. 105—112.
4. Fleming J. A. On a Hot-Wire Ammeter for the Measurement of Very Small Alternating Currents (read at the Physical Society on 25 March 1904) // Proceedings of the Physical Society of London. 1904. Т. 19. С. 173—184.
5. Fleming J. A. Hertzian Wave Telegraphy (Cantor Lecture given on 16 March 1903) // Journal of the Society of Arts. 1902—03. Т. 51. С. 762.
6. Fleming J. A. Improvements in Apparatus Employed for Measuring Wave Lengths in Wireless Telegraphy. Patent GB190413736. Date of Application, 17th June, 1904.
7. Rosling P. The Rectification of Alternating Currents // Electrician. 1906. 58. С. 677—679.

8. Nodon A. Electrolytic Rectifier: An Experimental Research (read at the St. Louis International Congress), Electrician. 14 October 1904. 53. C. 1037—1039.
9. Nodon A. Stromrichter für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom. DE139837C. Patentiert im Deutschen Reich vom 11. März 1902 ab.
10. Nodon A. Improvements relating to Rectifiers for Single or Polyphase Alternating Currents. GB190205978A. Date of Application, 11th Mar., 1902 Complete Specification Left, 3rd Dsc., 1902 — Accepted, 11th Mar., 1903.
11. Nodon A. Rectifiers for Single or Polyphase Alternating Currents. US715126. Application filed Apr. 30, 1902. Patented Dec. 2, 1902.
12. Pupin M. I. Method of Producing Asymmetrical Currents from Symmetrical Alternating Electromotive Forces. US713044. Application filed January 4, 1898. Renewed Oct. 4, 1902. Patented Nov. 4, 1902.
13. Fleming A. On the Conversion of Electric Oscillation into Continuous Currents by means of Vacuum Valve // Proceedings of the Royal Society. 1905. T. 74. C. 476—487.
14. Fleming J. A. The Electronic Theory of Electricity // Proceedings of the Royal Institution. 1902. T. 17. C. 163—181.
15. Sir John Ambrose Fleming. Memories of a scientific life. Marshall, Morgan & Scott. London. 1934. 244 c.
16. Wehnelt A. Ein elektrisches Ventilrohr // Annalen der Physik. 1906. Band 24, Helt 1, C. 138—156
17. Wehnelt A. Über den Auetritt negativer Ionen aus glühenden Metallverbindungen und damit zusammenhängende Erscheinungen // Annalen der Physik. 1905. Band 14. Helt 8. C. 425—468.
18. Wehnelt Arthur. Elektrisches Ventil. Patentschrift. DE157845. Patentiert im Deutschen Reich vom 15. Januar 1904 ab.
19. Fleming J. A. The Construction and Use of Oscillation Valves for Rectifying High-Frequency Electric Currents // Proceedings of the Physical Society. 1906. T. 20. C. 177—185.
20. Electrician. 31 March 1905. T. 54. C. 961.
21. Fleming J. A. Improvements in Instruments for Detecting and Measuring Alternating Electric Currents. Patent GB190424850. Date of Application, 16th Nov., 1904.
22. Hong Sungook. Wireless from Marconi's Black-Box to the Audion. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England. 2001. C. 221—222.
23. Marconi to Fleming, 14 Feb. 1905, University College London MS Add 122/1, Fleming Collection. Fleming to Marconi, 15 Feb. 1905, MCA, Chelmsford. G. Marconi, Recent Advances in Wireless Telegraphy (Friday Lecture on 3 March 1905), Proceedings of the Royal Institution 18 (1905), C. 31—45.
24. Fleming to Marconi, 24 March 1905, MCA, Chelmsford.
25. Memorandum of Agreement between the Marconi Company and Fleming 26 May 1905, MCA, Chelmsford.
26. Fleming to Marconi, 9 Oct. 1906, MCA, Chelmsford.
27. Fleming J. A. On the Conversion of Electric Oscillations into Continuous Currents by means of a Vacuum Valve // Royal Society of London Proceedings, Feb. 9, 1905. T. 74. P. 476—487.

### 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. ORCID 0000-0003-0466-881X.