



1918 X 1928

Том X, № 5 (50), ОКТЯБРЬ, 1928

ТЕЛЕГРАФИЯ и ТЕЛЕФОНΙΑ БЕЗ ПРОВОДОВ

40. p 60/31

ТЕЛЕГРАФИЯ И ТЕЛЕФОНΙΑ БЕЗ ПРОВОДОВ

(Т и Т бп)

== II-Й ГОД ИЗДАНИЯ ==

Издание Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА „Т и Т бп“

ЛЕНИНГРАД, ВАСИЛЬЕВСКИЙ ОСТРОВ, 4 ЛИНИЯ, 5, КВ. 4. ТЕЛЕФ. 52-79.

КОНТОРА ЖУРНАЛА „Т и Т бп“

НИЖНИЙ-НОВГОРОД. РАДИОЛАБОРАТОРИЯ ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА.
РАДИОНАБЕРЕЖНАЯ, 8. ТЕЛЕФОН 20-46.

СКЛАДЫ ИЗДАНИЯ „Т и Т бп“

НИЖНИЙ-НОВГОРОД. РАДИОЛАБОРАТОРИЯ ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА.
РАДИОНАБЕРЕЖНАЯ, 8.

МОСКВА. МОСКОВСКОЕ БЮРО РАДИОЛАБОРАТОРИИ. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ
БУЛЬВАР, 15. ТЕЛЕФОН 3-17-18.

ЛЕНИНГРАД, ВАСИЛЬЕВСКИЙ ОСТ., 2 ЛИНИЯ, 4/13, КВ. 17, ТЕЛЕФОН 170-39
И ВО ВСЕХ КРУПНЫХ КНИЖНЫХ МАГАЗИНАХ.

НА СКЛАДАХ ИМЕЮТСЯ „Т и Т бп“ №№ 21—50.

ЦЕНА ОТДЕЛЬНОГО НОМЕРА 1 руб. 25 коп.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ на 1928 год: НА ГОД—6 Р. = НА 1/2 Г. 3 Р. 50 К.

„Т. и Т. б. н.“

Ж У Р Н А Л

ТЕЛЕГРАФИЯ и ТЕЛЕФОНИЯ БЕЗ ПРОВОДОВ

ИЗДАНИЕ НИЖЕГОРОДСКОЙ РАДИОЛАБОРАТОРИИ им. В. И. ЛЕНИНА

ПОД РЕДАКЦИЕЙ ПРОФ. В. К. ЛЕБЕДИНСКОГО И ПРОФ. А. А. ПЕТРОВСКОГО

ОСНОВАН В 1918 ГОДУ

Том X

№ 5 (50) ОКТЯБРЬ

1928

TELEGRAFIA i TELEFONIA BEZ PROVODOV (T. i T. b. n.)

The Magazine of Wireless Telegraphy and Telephony

Published by Radio Laboratory, Nizhny-Novgorod. Founded 1918

Editors: Profs. W. K. Lebedinsky and A. A. Petrowsky

Volume X

№ 5 (50), October, 1928

C O N T E N T S

A. Original papers.

B. A. Ostroïmov, N.-Novgorod. To the Tenth Anniversary of the Radio Laboratory V. I. Lenin, Nizhni-Novgorod.—Editorial. Ten Years of T. i T. b. n.—P. N. Ramlau, Eng. Nizhni-Novgorod. Investigation of Stabilizing a Short Wave Oscillator with Negative Resistance by means of a Special Stabilizing Electromotive Force.—G. A. Ostroïmov, N.-Novgorod. A Method of Diminishing Interference in Radio Telegraphy.—S. I. Shaposhnikov, N.-Novgorod. The Condenser Microphone developed by Radio Laboratory V. I. Lenin, Nizhni-Novgorod.—A. Pistol Kors, Eng., N.-Novgorod. On Calculation of the Radiation of Directional Antennae.—A. Pistol Kors, Eng., N.-Novgorod. On Radiation of a Simple Antenna in Presence of a Reflecting Wire.—V. A. Pavlov, Eng., N.-Novgorod. Reception and Retransmission on the Same Antenna.—A. M. Kugushev, Eng., N.-Novgorod. Polyphase Rectification.—M. A. Bontch-Brueritch, Prof., N.-Novgorod. On Negative Resistance.—V. P. Vologdin, Prof., Leningrad. High Voltage Mercury Vapour Rectifiers.

B. Letter to the Editors. Chronicle. Errata.

Subscription 6 dollars per Annum for all Foreign Countries

Address: for editorial communication—Leningrad, 34, U. S. S. R., Vass. Ostr., 4 linia, 5, kv. 4; for Subscriptions—Nizhni-Novgorod, U. S. S. R. Radionaberezhnaia, 8, Radiolaboratoria.

Содержание ТиТбп № 5 (50)

Б. А. Остроумов (Н.-Новгород). К десятилетию Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина	495
10 лет ТиТбп	509
П. Н. Рамлау, инж. (Н.-Новгород). Исследование метода стабили- зации коротковолнового генератора с отрицательным сопро- тивлением при помощи отдельной стабилизирующей электро- движущей силы	515
Г. А. Остроумов (Н.-Новгород). Об одном способе ослабления атмосферных помех в радиотелеграфии	531
С. И. Шапошников (Н.-Новгород). Электростатические микрофоны Нижегородской радиолaborатории имени В. И. Ленина	537
А. Пистолькорс, инж. (Н.-Новгород). К расчету излучения на- правленных антенн	541
А. Пистолькорс, инж. (Н.-Новгород). Об излучении вибратора при наличии отражающего провода	547
В. А. Павлов, инж. (Н.-Новгород). Радиотрансляция на горячую антенну	553
А. М. Кугушев, инж. (Н.-Новгород). Схемы многофазного выпря- мления	556
М. А. Бонч-Бруевич, проф. (Н.-Новгород). Об отрицательном сопротивлении	572
В. П. Вологдин, проф. (Ленинград). Ртутный выпрямитель вы- сокого напряжения	587
В редакцию ТиТбп	603
Хроника. Резолюция О-ва Радиоинженеров в Ленинграде. — Резолюция общего собрания Русского О-ва Радиоинжене- ров. — Постановление Бюро ИТС Ниж. Ру. — Радиовещание в Н.-Новгороде	604
Исправления	608

К десятилетию Нижегородской Радиолaborатории имени Владимира Ильича Ленина

В настоящем году истекло 10 лет существования Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина и своевременно поэтому бросить взгляд назад, на пройденный путь.

Основанная в 1918 году группой инженеров с В. М. Лещинским и М. А. Бонч-Бруевичем во главе, Радиолaborатория является одним из первых научно-технических институтов, созданных и развивших свою работу после революции. В короткое время она завоевала выдающееся положение среди аналогичных учреждений и до последнего времени являлась одним из пионеров в русской радиотехнике.

Радиолaborатория начала свою работу в период полной изоляции русской научно-технической мысли, и это наложило как на самую организацию нового учреждения, так и на всю последующую деятельность его своеобразный отпечаток.

Первым сотрудникам Радиолaborатории приходилось изучать, разрабатывать, испытывать и применять к потребностям жизни новые средства связи. Нужно было не мало мужества и веры в свои силы, нужно было самообладание и ясное представление об окружающей действительности, о тех обязанностях, которые силой вещей были неразрывно связаны со строительством нового социалистического государства, чтобы в тяжелых условиях того времени взяться за решение новых и трудных проблем беспроволочной сигнализации. Личная поддержка В. И. Ленина, с самого начала сознававшего



В. М. Лещинский

значение беспроводной связи, как нового социального фактора, а также глубокая уверенность, что дело это неотложное, что нужно кому-нибудь за него приниматься,—поддержали организаторов Радиолaborатории в их борьбе с встретившимися им препятствиями.

К счастью, руководителями Лаборатории с самого начала было избрано правильное направление в работе, которое проводилось в течение всех десяти лет ее существования. Оно основывалось на ряде более или менее ясно осознанных и продуманных положений, правильность которых жизнь потом полностью подтвердила. Именно:

1) Беспроволочная связь должна базироваться на основе новейших выводов научно-технической мысли. Устаревшие аппараты именно в этой области, развитие которой отличается исключительной интенсивностью, должны особенно быстро заменяться новыми моделями.

2) Работа подобного института не должна поэтому ограничиваться одними теоретическими и экспериментальными исследованиями электрических волн, а каждый новый шаг теоретической мысли должен немедленно получать свою оценку в смысле практических приложений его при существующих реальных условиях и технических возможностях.

3) Направлением теоретических исследований в этой области должны руководить потребности жизни и социального организма в целом, а не только нужды производства и промышленности (ведь во время организации Радиолaborатории в сущности радиопромышленность вовсе не существовала). Производство же должно черпать указания из результатов теоретических работ, стараясь, по мере возможности, немедленно реализовать новые, открывающиеся перед ним перспективы.

4) При фактическом осуществлении связи, при выборе конструкций аппаратов необходимо прежде всего считаться с условиями реальной действительности, с нашими техническими средствами и с текущими потребностями широких слоев населения, а не копировать слепо, хотя бы и превосходные, заграничные образцы по готовым чертежам.

5) При изготовлении радиотехнической аппаратуры, для всех способов реального осуществления связи внутри Союза, возможно базироваться только на материалах и полуфабрикатах, которые можно достать на месте, и лишь в самых исключительных случаях прибегать к заграничным рынкам.

6) Необходимо в самой Радиолaborатории развить производственную работу главным образом в сторону создания новых аппаратов и новых методов работы, не отвлекаясь проблемами массового производства с его естественным консерватизмом, так как эту задачу

с гораздо большим успехом могут выполнить предприятия чисто промышленные и более мощные в финансовом отношении.

Реальное осуществление этих принципов, намеченных уже в историческом рапорте инженера Лещинского Народному Комиссариату Почт и Телеграфов от 7/VI—1918 г. о необходимости создания специальной Радиолaborатории, выливалось в различные периоды ее существования в различные формы.

Сначала деятельность Радиолaborатории сосредоточилась на изготовлении усилительных катодных лампочек для замены французских, получивших во время войны широкое распространение, и на усовершенствовании приемников, а также выразилась в первоначальных опытах радиотелефонной связи. Работы эти служили непосредственным продолжением и развитием работ, начатых организаторами Радиолaborатории еще в Твери на радиостанции, послужившей зародышем нового учреждения, куда перешли не только сотрудники радиостанции, но и было передано все техническое имущество. В это время число сотрудников Радиолaborатории достигало всего 17 человек; управление ею было сосредоточено в руках управляющего РЛ инженера В. М. Лещинского. Но уже вскоре под влиянием прогресса в радиотехнике и достигнутых Радиолaborаторией успехов рамки ее работы сильно расширились. К участию в них был привлечен целый ряд новых выдающихся специалистов и было приступлено к пересмотру, проверке и усовершенствованию всех отраслей беспроводной и проводочной связи при помощи токов высоких частот, какие только возможно было реально осуществить в тяжелых условиях того времени.

Хотя безвременная кончина Лещинского в 1919 г. была тяжелым ударом для Радиолaborатории, но начатое им дело не погибло. Благодаря данному им верному направлению работ и подбору сотрудников деятельность РЛ продолжала интенсивно развиваться и после его смерти. Управление РЛ перешло сначала к коллегии специалистов, образованной еще при жизни Лещинского, а потом к Совету, председателями которого были сначала инж. Остряков, а потом проф. Лебединский (1921 и 1923 г.г.).

Сбивчивые и отрывочные слухи об успехах радио за границей заставляли работников удваивать свои усилия, расширять объем работ и углублять теоретическое изучение связанных с ними вопросов.

Чтобы стимулировать теоретическую мысль и научно-техническое творчество, Радиолaborатория предприняла с первого же года ее существования издание сначала скромного журнала «Радиотехник», а потом взяла на себя издание более солидного журнала «Телеграфия и Телефония без проводов», который до того времени издавался Народным Комиссариатом Почт и Телеграфов.

Несмотря ни на какие затруднения, РЛ непрерывно и регулярно издает его в течение всего времени, начиная с 1919 г., считая это реальным средством пробуждения коллективной исследовательской деятельности и единственным надежным путем проведения новых технических идей в широкие круги русских радиотехников. Журнал, редактором которого, равно как и прежнего «Радиотехника», состоит и поныне В. К. Лебединский, один из пионеров русской радиотехники, отличающийся особенной широтой своих физических воззрений, остается все еще главнейшим научным радиотехническим журналом на русском языке. Последние годы часть труда по редактированию взял на себя известный теоретик проф. А. А. Петровский. Оба редактора посвятили свою деятельность радиотехнике под личным влиянием самого А. С. Попова и работа их в РЛ устанавливает таким образом известную преемственность с основателем радиотехники.

Широкий размах творческой мысли, которая получила возможность конкретного осуществления в мастерских РЛ, не мог остаться бесплодным и результаты, достигнутые ею, привлекают к себе всеобщее внимание.

Организация производства катодных ламп привела к более детальному изучению физических процессов в электронных приборах, а наряду с научными исследованиями и к целому ряду новых конструкций, показавших возможность создания таких мощных электронных механизмов, о которых сначала нельзя было и мечтать. Решающую роль здесь сыграло примененное М. А. Бонч-Бруевичем водяное охлаждение анода и усовершенствование техники откачки. Были построены катодные лампы мощностью в 1, 2, 5 и наконец в 25 киловатт. Это привело к изучению и разработке ламповых генераторов, а это, в свою очередь, выдвинуло на первый план во всей широте проблемы радиотелефонии, получившей наконец возможность реального осуществления в наших условиях. И вот после ряда удачных опытов телефонной связи, сделанных в различных вариантах сотрудниками РЛ, и в частности после осуществления в 1920 году телефонной связи Нижний—Иркутск, РЛ строит первую мощную широкоэмитальную станцию «имени Коминтерна» в Москве с новыми 2-киловаттными лампами с водяным охлаждением и этим самым вступает на путь изучения техники и организации радиовещания. Мощность передатчика станции, пущенного в эксплуатацию в октябре 1922 г., была около 10 киловатт, что ставило ее в число наиболее мощных радиовещательных станций в мире и позволяло заграничным любителям слушать московские программы¹⁾.

¹⁾ За границей специальные радиовещательные станции начали свою работу в том же 1922 году и имели мощность: Нью-Йорк—1,5 квт, Башня Эйфеля—5 квт, Кенигсбург—5 квт.

В это же время, по мере углубления наших знаний по теории электрических колебаний и волн, среди работ РЛ выдвигаются друг за другом ряды других задач связи, для которых намечаются возможности конкретного разрешения. Исследуются различные способы многократного телеграфирования по проводам и управления на расстоянии. Исследуются различные конструкции приемников, и между прочим молодым сотрудником РЛ О. В. Лосевым изготавливается своеобразный регенеративный приемник «Кристадин» с детектором из цинкита, генерирующим электрические колебания. Ставятся опыты с подводной телефонией, с громкоговорителями разных типов, с передачей на расстояние изображений, с выпрямительными устройствами, с умножителями частоты, по исследованию свойств антенн и т. д. Таким образом сотрудниками РЛ накапливается опыт и экспериментальный материал в самых разнообразных отраслях радиотехники, вырабатывается своеобразный критерий, позволяющий легче ориентироваться во всем разнообразии очередных технических проблем и правильнее определять направление работы.

Главное внимание все больше и больше начинает привлекать к себе задача рациональной конструкции мощных передатчиков, которые первоначально служили только для телеграфной связи и питались исключительно альтернаторами высокой частоты (Науен, Сент-Ассиз и друг.). Радиолaborатория под руководством профессора В. П. Вологодина тоже строит оригинальные машины высокой частоты сначала в 10, потом в пятьдесят и, наконец, ведет подготовительные работы и приступает к постройке машины в 150 кВ, законченной уже в Москве и работающей ныне на Ходынской радиостанции.

Такая исключительно интенсивная деятельность, которую развила РЛ с первого же года своего существования, обратила на себя широкое общественное внимание и привела к признанию ее одним из центров русской научной и технической мысли. В 1921 году в ней собирается первый радиотехнический съезд, а в 1922 г. РЛ принимает деятельное участие в организации III-го съезда физиков, который собрался в Н.-Новгороде. Сведения о работах РЛ проникают за границу, так как ослабление блокады дает возможность к возобновлению научного общения и обмена периодическими изданиями.

Работы РЛ получают оценку и со стороны правительства СССР, выразившуюся в награждении ее орденом Трудового Красного Знамени.

К этому то времени — к 1923 году, повидимому, приурочивается и перелом в работах РЛ и наступление новой эпохи в истории русской радиотехники. С одной стороны, мощные катодные лампы выступили конкурентами машин, а с другой стороны возродилась, наконец, под влиянием непрерывно растущего спроса и поразительно быстро развилась до невиданных у нас размеров радиотехническая промышленность, объединившаяся потом в конце концов около Треста заводов слабого тока.



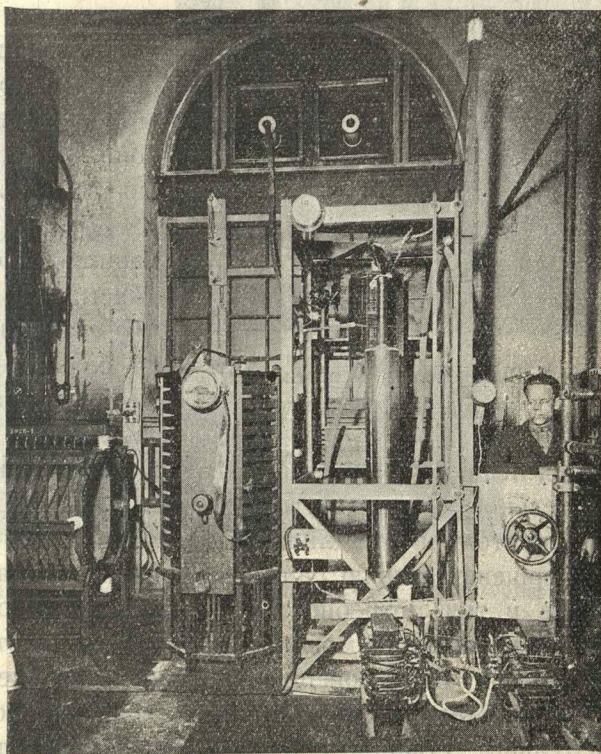
Фот. 1. Гр. Арко, Д-р Мейснер и Зам. Нарком Любович в лаборатории проф. М. А. Бонч-Бруевича в 1923 г.

Конкуренция между машиной и лампой в РЛ чувствовалась особенно остро еще и потому, что именно в РЛ были достигнуты самые крупные успехи в смысле повышения мощности лампы и исследования различных способов ее применения. Посетившие в этом году РЛ знаменитые немецкие специалисты гр. Арко и д-р А. Мейснер, давшие блестящий отзыв о ее работах, попали как раз в разгар спора между сторонниками этих двух способов питания мощных станций. Это дало повод гр. Арко в специальной статье высказать свое мнение по этому вопросу. Оно сводилось к признанию преимуществ лампового возбуждения для станций средней мощности и предпочтению машин для больших станций. Такая точка зрения, объяснявшаяся отчасти тем, что в Германии в то время мощные лампы с водяным охлаждением были еще недостаточно изучены, да и вообще едва достигали 10 киловатт мощности, была отвергнута уже в ближайшие годы после того, как группировкой нескольких больших ламп научились получать в антенне мощности того же порядка, какой дают машины. Ныне нигде больше не строят новых станций с машинами, применяя их уже не для целей связи, а преимущественно в лабораторной заводской практике в качестве источников энергии для индукционных печей.

Как бы то ни было, расхождение во взглядах, с одной стороны, и образование новых радиотехнических лабораторий, — с другой, вызвали, во-первых, крупные изменения в личном составе РЛ, а во-

вторых, некоторое изменение характера ее работы. Целый ряд задач, связанных с массовым производством радиоаппаратуры широкого потребления, с обслуживанием проволочной связи, с изучением высокочастотных машин, автоматически перешел к другим учреждениям, и РЛ получила возможность сосредоточить свою деятельность пионера и новатора на более конкретном и определенном ряде вопросов, выдвинутых к этому времени прогрессом радиотехники. Одновременно с этим произошло и изменение в формах управления лабораторией, так как вся ответственность за ее работу была возложена приказом Нар. Ком. Почт и Телеграфов на директора Лаборатории, которым в 1924 году был назначен М. А. Бонч-Бруевич.

Среди научно-технических проблем вновь, как в период организации РЛ, на первый план выдвинулись изучение и разработка катодных ламп и др. электронных приборов. Успешность работ превзошла даже смелые ожидания. Были предложены и проверены новые способы откачки ламп, изготовлены лампы новых оригинальных конструкций, напр., «микродинная» для работ с пониженным (6—8 в.) анодным напряжением, специальные коротковолновые с уменьшенной емкостью между анодом

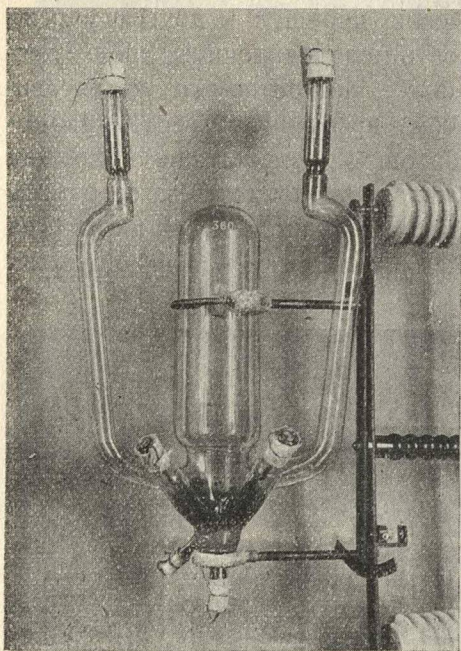


Фот. 2. 100 квл лампа в работе с опытным контуром

и сеткой и улучшенной изоляцией, позволяющей повышать анодное напряжение, специальные динатронные и пр. Мощность медных ламп была доведена до 30, 40 и, наконец, до 100 киловатт.

Это обстоятельство выдвинуло вопрос о питании таких громадных электронных механизмов. Пришлось заняться проработкой различных типов выпрямительных установок большой мощности и целой серией вопросов, связанных с ними. В частности были

выработаны новые типы ртутных выпрямителей, производство которых было начато еще в 1921 г. проф. Вологдиным. Теперь оказалось



Фот. 3. Высоковольтный ртутный выпрямитель на 15.000 вольт

возможным изготовить выпрямители для напряжений в 16.000 в. и выше, мощностью до 50 киловатт, работающие безусловно надежно и не дающие обратного зажигания. Этим вопрос о питании сверхмощных ламп был исчерпывающе разрешен. В настоящее время в РЛ непрерывно работает выпрямительная установка с 9 колбами этого типа мощностью в 300 киловатт, дающая постоянный сглаженный до 0,1% ток с напряжением в 15.000 вольт, питающая опытные генераторы с 100-киловаттными лампами.

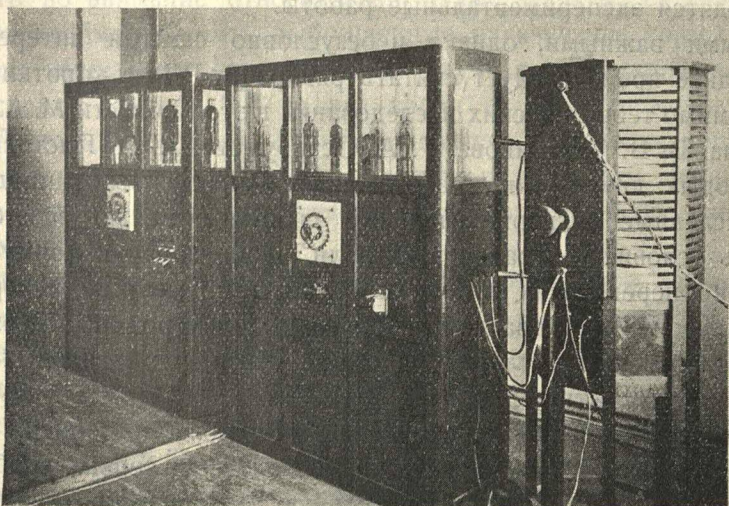
Такая детальная разработка вопросов, связанных с применением электронных ламп, работа на станции «имени Коминтерна» и совокупность всех результатов опытов радиотелефонной связи позволили РЛ выработать свою

определенную точку зрения на проблемы радиовещания и принять деятельное участие в его развитии.

При этом РЛ уделила немало внимания не только изучению и усовершенствованию радиотелефонной аппаратуры, но и той обстановке и тем потребностям, к которым необходимо приноровить организацию этого мощного проводника культуры в широкие народные массы. Было совершенно ясно установлено то исключительное значение, которое должны иметь в нашем Союзе мощные радиовещательные станции, с одной стороны, а с другой — определена та роль, которую должна выполнять система радиотрансляций. Вопрос этот неоднократно освещался сотрудниками РЛ как на страницах печати, так и в различных докладах. Наконец, РЛ получила возможность и практического осуществления выработанных ею взглядов на этот вопрос. По заказу Наркомпочтеля ей поручается постройка мощной станции, получившей название «Нового Коминтерна», взамен устаревшего передатчика, проработавшего непрерывно более четырех лет и получившего новое назначение. Эта мощная станция, обслуживаемая медными лампами и ртутными выпрямителями нового типа, дает в антенне 40 киловатт мощности. Она при начале своей экспло-

станции в 1926 г. являлась самой мощной радиовещательной станцией старого света и только в последний год новая немецкая станция в Цеезене, дающая около 50 киловатт, явилась ее достойной соперницей. При постройке «Нового Коминтерна» РЛ имела возможность применить целый ряд усовершенствований и в частности своеобразный способ модуляции, выработанный М. А. Бонч-Бруевичем при участии своего молодого сотрудника А. М. Кугушева.

Инженер С. И. Шапошников в тот же период времени с 1923 по 1927 г. разработал и организовал производство маленьких радиовещательных станций губернского типа, приспособленных для радиотрансляции и обслуживания местных нужд, получивших название «Малый Коминтерн». Этот тип явился результатом целого ряда



Фот. 4. Передатчик Иваново-Вознесенск, рации типа «Малого Коминтерна». 1925 г.

удачных и неудачных вариантов и оказался, наконец, приемлемым во многих случаях примирением противоречивых требований, которым должна удовлетворять станция местного назначения—дешевизны, достаточной мощности, простоты в обращении, качеству передачи, компактности и пр. Он получил широкое распространение и по настоящее время РЛ было выпущено 27 экземпляров этих станций.

Вообще нужно сказать, что из сорока восьми радиовещательных станций мощностью не менее 1 киловатта, действующих в нашем Союзе и помещенных в «Путеводителе по эфиру», 29 конструированы и изготовлены в Н.-Новгороде и в том числе обе самых мощных станции «Старый» и «Новый» Коминтерны. Такова роль, которую сыграла РЛ в организации русского радиовещания.

В настоящее время РЛ выдвинут проект постройки сверхмощной радиовещательной станции со 100-киловаттными лампами мощностью порядка 1000 киловатт, которая могла бы включить в область своей слышимости по возможности весь наш Союз и все европейские государства. Аналогичный проект выдвигается для Америки инж. Гольдсмитом. Где будет раньше осуществлен этот проект — в Америке или в нашем Союзе — покажет будущее. Пока же РЛ занята выяснением тех частных технических и научных вопросов, которые связаны с работой и постройкой таких сверхмощных радиовещательных станций. В сущности, упомянутая выше установка, достаточная для питания одной трети такой станции, и целый ряд отдельных элементов ее (контуров связей антенн и пр.) соответственной мощности уже осуществлены в Н.-Новгороде. С их помощью и проводятся экспериментальные работы.

Самыми важными, однако, и безусловно самыми интересными в последнее время следует считать ряд работ РЛ по коротким волнам. Помимо теоретических исследований в этой области М. А. Бонч-Бруевича, В. В. Татарина, Г. А. Остроумова, А. А. Пистолькорса и некоторых других лиц, работавших в РЛ, ею были проделаны многочисленные экспериментальные работы с целью всесторонне осветить условия генерации этих волн, рациональную форму передатчиков и передающих антенн, особенности применимости коротких волн в качестве средства для лабораторных измерений, особенности распространения их, условия надежной связи, рациональных форм приемных устройств и т. д.

Разносторонний опыт, накопленный Радиолaborаторией, позволил ей с самого начала оценить по достоинству первые сообщения любителей, открывших исключительную пригодность сверхчастых эл. колебаний для связи на дальние расстояния. И в то время, как многие авторитеты еще скептически относились к этим сенсационным сообщениям, РЛ имела возможность не только проверить их, но и приступить немедленно к предварительным работам по конкретному осуществлению связи в условиях эксплуатации и к выяснению тех особенностей, которыми эта связь отличается от привычных методов работы прежних длинноволновых передающих и приемных станций.

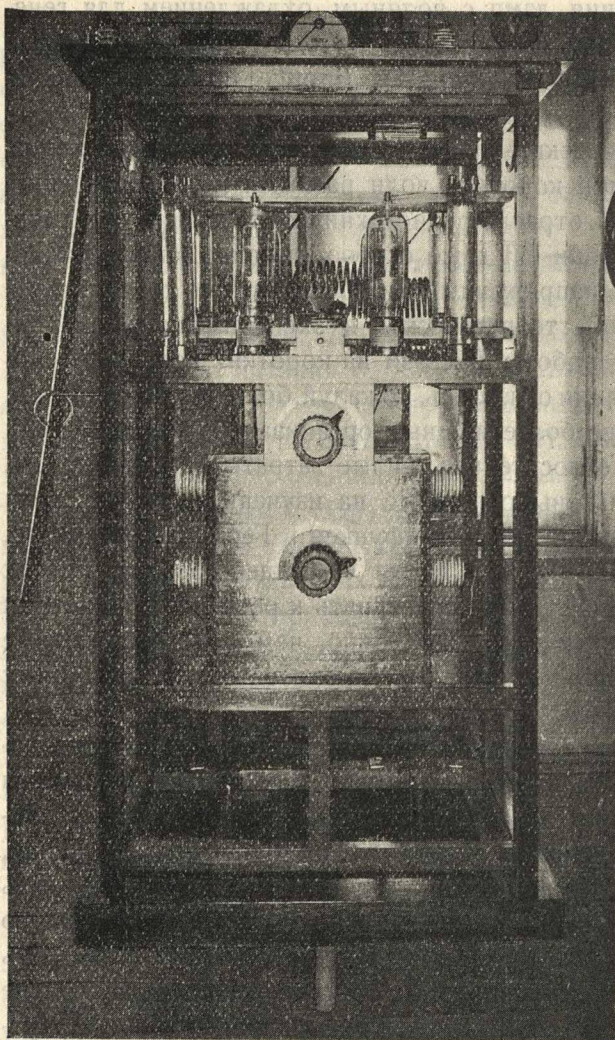
В частности при помощи передатчика своеобразной конструкции, дававшего волны от 80 до 120 метров, с медными лампами в 25 квл был уже в 1924 г. проделан целый цикл опытов по связи с Америкой и антиподами, сначала в Нижнем, а потом главным образом в Москве при станции «Коминтерн», давший весьма поучительные результаты. Передатчик этот в то время был вероятно самым мощным коротковолновым передатчиком в мире, так как нагрузка на лампу доводилась до 30 квл, а излучаемая мощность в ряде опытов превосходила 10 киловатт. Он дал определенные указания на полную возможность

и на способы применения ламп с водяным охлаждением для генерирования коротких волн. Ныне в РЛ работает другой опытный передатчик уже с 2 медными лампами (input—50 клв), дающий волны в диапазоне от 10 до 20 метров.

Совокупность практических результатов и теоретических выводов, полученных при изучении коротких волн разными исследователями, составляет ныне особую отрасль радиотехнических знаний, получившую в повседневной жизни РЛ даже особое название «новая радиотехника» и вызвавшую напряженный интерес у всех ее сотрудников. Благодаря основательной теоретической и экспериментальной подготовке нижегородские работы по связи на коротких волнах в условиях реальной эксплуатации оказались, пожалуй, более продуктивными, чем работы других даже более мощных организаций, особенно если принять во внимание относительно малые затраты, сделанные РЛ на этот предмет. Суммы, выброшенные на изучение коротких волн фирмами Маркони в Англии или Телефункен в Германии, вероятно, превосходят бюджет РЛ за все время ее существования. Между тем РЛ, повидимому, может ныне приступить к решению конкретных задач в этой области не менее сознательно, чем эти авторитетные в деле связи организации, несмотря на всю относительную неполноту произведенных РЛ опытов.

Действительно, Радиолaborаторией впервые была выяснена необходимость последовательной работы на двух волнах, испытаны разные методы вариации частот, исследованы рациональные конструкции сложных излучающих антенн и т. п. Две опытные станции, обеспечивающие в течение круглых суток почти непрерывную связь между Москвой и Ташкентом, уже в течение двух лет несут полную эксплуатационную нагрузку. Кроме того, РЛ организовала целую сеть опытных передающих коротковолновых станций в Нижнем, в Томске (университет), в Ташкенте, во Владивостоке (университет), в Иркутске, на Маточкином Шаре (Новая Земля), поддерживающих связь друг с другом и ведущих опыты по телеграфной и телефонной связи. Работа этих станций обещает выяснить подробнее законы распространения коротких волн над широкими площадями суши в дополнение к иностранным работам по исследованию связи через водные пространства океанов.

Главные исследования этого рода ведутся РЛ под руководством В. В. Татарина в Нижнем-Новгороде на особом участке земли за чертой города, отведенном в 1925 г. для этой цели Нижегородским Исполнительным Комитетом. Этот участок назван «радиополе», и на нем построено несколько систем антенн, ведущих непрерывно опытную работу для решения очередных проблем коротковолновой связи, и установлен целый ряд коротковолновых передатчиков.



Фот. 5. Коротковолновый передатчик на волну 35 мт.

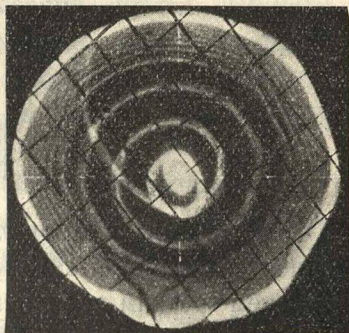
Здесь следует отметить суперрегенеративный приемник РЛ, позволяющий на 2 лампы принимать русские и заграничные коротковолновые станции без антенны и без земли при относительно низком анодном напряжении. Теория его была подробно рассмотрена Г. А. Остроумовым, который выполнил целый ряд работ по исследованию и усовершенствованию различных методов приема — этой труднейшей радиотехнической проблемы.

Попутно РЛ пыталась наметить и возможные способы борьбы с основным препятствием для широкого распространения радиослушания среди деревенского населения, пока постройка сверхмощной станции в 1000 квт не позволит ограничиться для этого простыми

«Новая радиотехника» коротких волн, в которой самый процесс излучения энергии с антенны, выдвигается на первый план, а электротехнические законы переменного тока отступают на второй, пролила яркий свет и на целый ряд проблем старой радиотехники длинных волн, где представления о характерных особенностях процесса излучения ступшевываются. В частности, в новом освещении представились вопросы о неустановившемся режиме в колебательных контурах, о паразитных колебаниях, о модуляции и пр., которым сотрудники РЛ посвятили целый ряд работ.

Оказалось возможным глубже продумать и проблемы

детекторными приемниками—с недостатком батарей для питания чувствительных приемников с усил. лампами. Ею были разработаны два типа оригинальных маломощных приемников для индивидуального слушания, питающихся сухими элементами и перекрывающих громадные расстояния—«кристадин» Лосева с генерирующим кристаллом цинкита и «микродин» Максимовых с одной лампочкой специального типа, а в последнее время переконструирован с той же целью специально для приема в деревне коротких волн описанный недавно в литературе «негадин» с двухсетчатой лампой.



Фот. 6. Наблюдение устанавливающегося режима с браунской трубкой.

Таким образом и за последние пять лет работы РЛ продолжали отличаться той же интенсивностью и плодотворностью, как и при ее основании. Изменился только в соответствии с изменившимися условиями нашей экономической и государственной жизни общий характер этих работ—уточнились, углубились и соответственно сузились проблемы и задания, которыми ей пришлось заниматься, сделались гораздо строже те требования, которые она стала предъявлять к качеству аппаратов и методов связи, сделался шире размах технических задач, которые она себе ставила и успешно разрешала.

Неудивительно поэтому, что накануне ее десятилетнего юбилея Правительство нашего Союза в лице ВЦИК'а нашло возможным снова отметить значение РЛ в деле государственного строительства нашего Союза и наградить ее вторично орденом Трудового Красного Знамени—честь, которой не удостоилось до сих пор, насколько нам известно, еще ни одно научно-производственное учреждение.

Переходя к третьему пятилетию своего существования, РЛ вновь переживает перелом в своей деятельности в соответствии с изменившимися культурными и экономическими факторами нашей реальной действительности. Для решения намеченных современным неуклонным прогрессом радиотехники проблем радиовещания и телефонной связи технических средств РЛ оказывается совершенно недостаточно. Безусловно необходимо интенсивное расширение мастерских и других подсобных органов РЛ, что возможно при наличных условиях только единственным путем—путем теснейшего кооперирования ее работ с работами какой-либо мощной производственной организации, располагающей необходимыми техническими силами и заводской обстановкой.

25/VIII—1928 г.

Нижний-Новгород,
Радиолaborатория.

Б. Остроумов.

10 лет „ТиТбп“

Первый выпуск журнала «Телеграфия и Телефония без проводов» вышел в сентябре 1918 г. Основание радиотехнического журнала было тем третьим проявлением нарождавшейся радиотехники Союза, которое, естественно, завершало другие два: основание НРЛ и основание РОРИ. Журнал был основан Радиоотделом НКПиТ; слово «телефония» в его названии не вызывалось условиями тогдашнего времени и представляло собою продукт своего рода предвидения. Журнал выходил в Москве.

Но уже к началу следующего года типографское дело стало перед таким острым кризисом, что журнал на своем 4-ом выпуске замер.

За возрождение ТиТбп взялся В. М. Лещинский, главный организатор НРЛ; он убедил В. К. Лебединского переехать в Н.-Новгород и обещал оборудовать при РЛ все необходимое для продолжения издания. Несмотря на большие затруднения, он достиг этой цели, оборудовав при НРЛ небольшую типографию. Пятый выпуск ТиТбп вышел в сент. 1919 г. Но уже в декабре того же года выпуск шестой был посвящен памяти покойного В. М. Лещинского. Однако, как и все другое, что основал Лещинский, как и сама РЛ, ТиТбп получил уже, хотя и в такое короткое время, своего рода несокрушимость, жизнеспособность и просуществовал, неизменно развиваясь, за все время тяжелых годов нашей страны.

В № 21 (сент. 1923 г.), в статье, посвященной пятилетию журнала, подробно описывается жизнь, содержание и значение ТиТбп за первые пять лет его существования; в этой статье поименованы все лица, содействовавшие изданию за тот период времени. За истекшее теперь второе пятилетие много ценного труда в деле технического выполнения нашего издания вложили: Г. А. Остроумов, В. Т. Зенкевич и О. А. Зайцева (секр. редакции с 1926 г.), а также заведующий типографией НРЛ, Ф. А. Миронов и весь небольшой штат ее.

С октября 1925 г. по причине переезда В. К. Лебединского в Ленинград редакция ТиТбп была переведена в этот город. С 1926 г. в редакцию вошел проф. А. А. Петровский; с этого года наш журнал находится под руководством двух редакторов. С августа 1927 г. к этой маленькой редколлегии присоединился очень ценный сотрудник А. Е. Сузانت; в этих строках, носящих характер отчета, особенно уместно отметить, что в свое время Сузانت, достигший теперь звания инженера по специальности радио, получил свое высшее образование по радиотехнике на страницах ТиТбп; конечно, необходимы

большое увлечение радио и особые дарования, чтобы составить себе нечто целое из разрозненного и отрывочного материала статей журнала, но этот факт, повторившийся, разумеется, многократно в том или ином размере, как нельзя более жизненно иллюстрирует значение нашего журнала.

За все истекшее время НРЛ несла на себе все расходы по изданию журнала, и теперешний (с 1924 г.) ее директор, М. А. Бонч-Бруевич неоднократно обнаруживал особенную настойчивость в стремлении продолжать это издание.

С внешней стороны ТиТбп давно уже скинул с себя ту оболочку, которая отмечала издания тяжелых годов; с 1926 г. исчезли иллюстрации вне текста, воспроизводимые литографским способом, и прежняя серая бумага заменилась нормальным типом бумажного производства.

За истекшие 10 лет наш журнал составили 49 книжек, заключающих в себе около 5000 страниц; более 90% этого материала представляют собою оригинальные статьи 177 авторов. На конструкции отдельных книжек редко можно было видеть идею редакции: статьи следуют одна за другой в порядке очереди, иногда, к сожалению, очень долгой. Лишь №№ 6, 30 и отчасти 21 были построены по определенному плану; № 6 состоял из работ, сделанных в НРЛ или ближайшими сотрудниками—товарищами покойного Лещинского; № 30, посвященный 30-летию первых опытов радиосвязи А. С. Попова, в некоторой мере обрисовывал личность изобретателя Тбп, начальное состояние радиотехники и ее форму к концу 30-летнего периода развития. Наконец, № 21 второю своею половиною служил к выявлению роли ТиТбп в прогрессе нашего радиодела.

Содержание журнала направляется туда, куда направлены интересы исследователей, куда идет радиостроительство. Но затем наблюдается и обратное воздействие—содержания журнала на продуктивную мысль авторов. Эта очень глубоко сокрытая обратная связь до некоторой степени может быть проявлена подсчетом ссылок на ТиТбп в статьях, напечатанных в нашем журнале. Так в № 9 была 1 ссылка на предыдущее содержание журнала, в № 14—7, в № 17—10; в №№ 40—45 (1927 г.) было 65 ссылок, располагавшихся довольно равномерно: 11, 11, 14, 10, 11 и 8.

Переходя к статистическому обзору, прежде всего напомним, что все выпуски ТиТбп группируются в девяти томах, из которых последний еще незакончен. Каждый из них заключается указателем содержания всего тома (по авторам и по предметам); такой указатель имеется в №№ 4, 10, 17, 22, 27, 33, 39, 45 и предполагается в № 51.

Первые три тома не вытекали из предусмотренного плана издания и относятся к 1918, 1919—21, 1921—22 годам; с 1923 г. окончание тома совпадает с окончанием года (тома IV—VIII), причем

за 23 и 24 года вышло по пяти выпусков, а с 1925 г. установился тот объем тома в шесть выпусков, который продолжается до настоящего времени.

Прилагаемая таблица изображает рост числа авторов и распределение всего изданного материала по отдельным томам.

№№	1—4	5—10	11—17	18—22	23—27	28—33	34—39	40—45	46—49	—
Томы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	—	—
Года	1918	19/21	21/22	23	24	25	26	27	28	—
Число стр.	160	500	813	548	562	662	590	706	492	5033
Нов. авт.	25	13	34	18	17	13	17	18	22	177
Антенны	4	6	8	4	6	8	8	5	—	49
Мачты	—	—	3	—	—	2	2	—	2	9
Лампы	2	9	9	4	7	5	4	8	5	53
Передатч.	—	9	8	6	4	7	5	7	5	53
Приемники	1	2	6	7	3	6	5	4	—	34
Распростр.	3	3	7	1	—	4	6	6	1	31
Измер.	1	4	2	4	6	3	2	5	1	28
Колеб. к.	2	3	11	1	3	1	—	1	1	23
Р.-телеф.	—	1	1	2	3	3	2	5	1	18
Кор. в.	—	—	1	1	1	8	—	3	—	14
Р.-любит.	—	—	—	2	6	3	—	—	1	12
Рации загр.	—	—	—	3	2	1	—	2	—	8
Рации СССР	—	—	1	3	1	—	1	—	—	6
Р.-виден.	—	—	—	—	1	—	1	1	—	3
Разное	—	3	8	10	4	10	13	4	3	55
Т.-экон.	—	—	14	5	6	5	4	1	—	35

Журнал был начат изданием при наличии 25 авторов; во втором томе к этому числу прибавилось 13 авторов; в третьем—прибавилось особенно много авторов—34; затем ежегодное увеличение числа авторов колебалось около 16. Заметно возрастание этого прироста за последние три года и особенно к настоящему 1928 г. Таким образом ТиТбп начинает обслуживать новую смену наших радиоспециалистов. Радиотехнические кафедры наших ВТУЗ'ов готовят новых радиоинженеров (многие статьи молодых авторов представляют собою сокращенное изложение дипломных работ); исследовательские институты и заводские лаборатории дают им дальнейшие темы, определяют направление работы вступающих на научно-техническое поприще молодых людей.

Статьи эти своим содержанием часто обнаруживают большие экспериментальные навыки, углубленную осведомленность в математическом анализе, а также нередко смелое искание новых путей в разрешении радиотехнических вопросов.

Все 177 авторов нашего журнала подразделяются по степени своего участия в ТиТбп на две близкие к равенству группы; 92 автора (52%) дали по одной статье: сюда относятся прежде всего те начинающие исследователи, которые не успели еще дать больше, а затем—случайно, на короткий срок примыкавшие к сотрудничеству в журнале.

Вторая группа, состоящая из 84 авторов (48%), может считаться в той или иной степени главным устоем существования ТиТбп, как органа, посвященного радиотехнике; из этой группы 61 автор дали журналу от 2 до 5 статей, 15—от 6 до 10 статей (Минц и Ржевкин по 10 статей) и, наконец, восемь авторов (Баженов, Бонч-Бруевич, Лебединский, Лосев, Остроумов Г., Петровский, Татаринов, Фрейдман) поместили каждый более 10 статей. Здесь мы разумеем под статьями оригинальные исследования; большие обзоры, в которых проявлено много оригинальной мысли, составляющие тоже важную часть содержания всякого повременного научно-технического издания, в наибольшем числе даны Горленко (19 статей).

Из вышеназванных восьми основных авторов ТиТбп на первом месте должен быть поставлен М. А. Бонч-Бруевич, поместивший за истекшие 10 лет двадцать две своих работы.

Считая только те статьи, к которым относятся предыдущие цифры, т.е. выключая мелкие обзоры, заметки из иностранной литературы, письма в редакцию, библиографические заметки, мы получаем общее их число равным 430, т.е. в среднем по 2,4 статьи на автора. По своим темам они распределяются следующим образом: на первом месте оказываются антенны (49) с мачтами (9), трактуемые в 58 статьях; затем следуют катодные лампы и радиопередатчики, которым посвящены по 53 статьи; далее идут радиоприемники (34), теория распространения радиоволн (31), техника радиоизмерений (28), теория эл. колебательного контура (23), радиотелефония (18) и т. д. В прилагаемой таблице отдельно отмечены под названием «разное» 55 статей, относящихся к теории эл.-магн. излучения, теории телефона, радио по проводам, а также—к вопросам из смежных наук (физика, физиология); под названием «техно-экономические» отмечены 35 статей, рассматривающих экономические вопросы радио, историю радиосвязи.

С 1926 г. по инициативе инж. Волынкина был введен ежегодный обзор патентов СССР из области радио (№№ 36 и 45).

Значение ТиТбп за все время его существования выразилось в следующем. За первые годы издания этого журнала он давал нашим специалистам по радио совершенно исключительную для того времени возможность видеть свои работы напечатанными. Благодаря ТиТбп наша периодическая спецлитература по радио, начавшаяся в 1912 г., почти не прерывалась. И имеет, конечно, большое значение для авторов, что журнал просуществовал до настоящего времени, представляя собою надежное место для помещения статей.

Они все составили собою полную сводку, летопись радиотехнической мысли в нашей стране; основные черты хода этой мысли можно видеть из прилагаемой таблицы.

Редакция употребляла все усилия к тому, чтобы напечатанный ею материал получил наибольшее распространение не только в нашем Союзе, но и на Западе. В значительной мере это было достигнуто¹⁾.

Наши радиоинженеры узнавали о работах своих товарищей и общими силами создавали ту технику незатухающих колебаний, радиофонии, вещания и новых типов антенны, которая так быстро развилась на Западе.

Интерес же, возбуждаемый на Западе (Германия, Франция, САСШ, Польша, Литва, Бельгия, Голландия, Болгария, Швеция, Испания, Аргентина, Австрия) в некоторые моменты превышал даже всякие ожидания; наш журнал послужил одним из проводников просачивающегося, наконец, за границу представления, что Союз наш при всех внутренних потрясениях, при всех трудностях своей начинающейся жизни, полагает основы культурного развития.

В то же время журнал имел в виду и тех наших техников по радио, которые чувствовали, как быстро радио развивается, и жаждали узнать все новое. К первым четырем выпускам ТиТбп был присоединяем небольшой элементарный отдел под названием: «Радиотехник». С № 5 до № 15 (июль 1921 г.) этот отдел издавался в виде самостоятельного небольшого журнала; он не выдерживал популярного характера, и многие—исторические в нашем деле—статьи (Баженова, Бонч-Бруевича, Циклинского, Шулейкина и др.) попали в него. Наиболее вчитывающиеся в работы наших авторов знают это, стремятся разыскать «Радиотехник», ссылаются на него.

Со второй половины 1921 г. популяризация радиотехнических сведений была оставлена редакцией ТиТбп; произошла разумная дифференциация работы: другими организациями, с другими средствами, были предприняты популярные издания, особенно в виде только что возникавших тогда радиолюбительских журналов; некоторые из них в своем дальнейшем развитии достигли очень высокого состояния.

Но с течением времени много и специальных работ по радиоделу появилось в многочисленных, возникших за последние годы или возродившихся, технических изданиях, ведомственных, ВУЗ'овских, трестовских, а также в научных изданиях НИ институтов и научных обществ. Теперь уже нельзя считать ТиТбп полным изображением работы наших радиоспециалистов.

Однако посреди этого пестрого разнообразия изданий наш журнал выделяется, как единственный посвященный исключительно вопросам радио, и остается наиболее полною летописью радиотехни-

¹⁾ К сожалению, приходится убеждаться, что большое число разосланных в свое время выпусков ТиТбп не сохранилось даже в крупнейших библиотеках; недавно, напр., оказалось, что в Лнгр. Публ. Библ. не существует нашего журнала за 1919 г.

ческого дела в Союзе, начиная, как мы видели, обслуживать новую смену радиоинженеров; редакция ТиТбп идет, насколько позволяют технические средства, навстречу авторам, желающим повторно в извлечении напечатать свою работу в нашем журнале.

Идея объединяющего журнала по радиоспециальности продолжает направлять деятельность редакции ТиТбп, и мы надеемся, что во втором десятилетии обстоятельства позволят еще в большей мере воплощать эту идею, что явится весьма большим содействием совместной работе многочисленных наших центров прогресса радио.

СПИСОК АВТОРОВ, УЧАСТВОВАВШИХ В ЖУРНАЛЕ «ТиТбп»

(цифры означают число статей)

1918 — 1928 г. г.

Азбукин 2; Андреев 1; Аренберг 1; Аркадьев 2; Арко 1; Архангельский 1; Асеев 1; Бажанов 1; Баженов 12; Белов 1; Белявский 6; Берг 2; Бонч-Бруевич 22; Введенский 3; Векшинский 1; Вербицкий 3; Виккер 2; Виноградов 3; Виторский 3; Власов 1; Воеводин 1; Вологдин 5; Волюнкин 6; Габель 3; Гинкин 1; Глаголева 1; Гоноровский 1; Горбачев 4; Горбачевский 1; Горленко 19; Граматчиков 2; Грибский 1; Григорьева 4; Гришкова 1; Гуревич 1; Гуров 1; Делакроа 8; Дерябин 1; Днепровский 1; Дождиков 2; Дрожжин 1; Зебоде 1; Зейлигер 1; Зейтленок 1; Зилитинкевич 8; Зискинд 2; Ильин 6; Ильченко 3; Ирисов 1; Исаков 3; Казарновский 1; Какурин 1; Каргин 4; Кляцкин 3; Кабзарев 1; Козицкий 1; Кондратьев 1; Котельников А. 8; Котельников В. 1; Крейцер 1; Кренке 1; Крылов 2; Кугушев 4; Кузнецов 1; Кузькин 1; Кузьмин 2; Кузьмичев 1; Куксенко 3; Кулебакин 1; Куприянов 5; Кюммих 1; Кьяндский 1; Лазовский 2; Ланда 1; Лбов 3; Лебедев 2; Лебединский 18; Леонтьев 1; Левитская 1; Лермонтов 2; Линтер 1; Литвинов 1; Лифшиц 1; Лопухин 1; Лосев 13; Луценко 1; Львович 7; Макаревский 7; Максимовых 1; Малов 1; Маляров 1; Мейер 2; Минц 10; Маргулис 2; Моругина 3; Назаршвили 1; Нефедьев 1; Никитин 6; Николаенко 1; Оболенский 2; Обухов 5; Оганов 2; Одинцов 3; Огнос 3; Островский 1; Остроумов Б. 7; Остроумов Г. 15; Остряков 1; Панфилов 1; Петров В. 1; Петров Н. 3; Петровский 16; Пистолькорс 3; Пономарев 1; Попов А. 1; Попов Г. 1; Преунер 1; Пунгс 4; Рамлау 2; Ржевкин 10; Рожанский 4; Рожествен 2; Розен 1; Розинг 2; Романов 3; Рыбкин 2; Савельев 1; Савостюк 1; Салтыков 3; Сапельков 1; Серебряков 1; Семичев 1; Ситников 1; Скрицкий 3; Слепян 5; Слуцкий 1; Смирнов 1; Соколов 1; Страхов 1; Суворов 2; Сузант 4; Тархов 2; Татаринов 17; Теодорчик 1; Термен 1; Тимирязев 1; Тимофеев-Радзивиц 1; Турлыгин 6; Углов 1; Усиков 1; Флейшер 1; Фраже 1; Фрейман 18; Френкель 1; Харкевич 1; Хвольсон 1; Хохлов 2; Циклинский 2; Чернышев 1; Чернышева 1; Шапошников А. 5; Шапошников С. 1; Шарапов 3; Шевцов 1; Шенфер 3; Шефтель 1; Ширков 5; Шмаков 9; Шорин 4; Штейнгауз 2; Шулейкин 7; Шульгин 1; Юрьев 1; Эйленкриг 2; Эфруси 1; Яковлев А. 3; Яковлев В. 2.

Исследование метода стабилизации коротковолнового генератора с отрицательным сопротивлением при помощи отдельной стабилизирующей электродвижущей силы¹⁾

Инж. П. Н. Рамлау

1. Целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное обследование одного из возможных способов стабилизации волны коротковолнового генератора. Способ стабилизации, предложенный мне для разработки проф. М. А. Бонч-Бруевичем, заключается в следующем.

В обычном ламповом генераторе частота колебаний зависит от физических параметров схемы. Для стабилизации частоты необходимо сделать ее независимой от постоянных контура. Если в колебательный контур ввести постороннюю эдс с частотой достаточно близкой к собственной частоте контура, то при благоприятных условиях частота собственных колебаний сможет быть «затянута» частотой введенной эдс²⁾. В этом случае введенная эдс с устойчивой амплитудой и частотой будет служить стабилизатором собственных колебаний контура.

2. Для решения поставленной задачи необходимо сделать выбор между различными методами расчета ламповых генераторов. Наиболее простое решение дает метод, принимающий катодную лампу (вместе с источником тока) за отрицательное сопротивление. Оно не может быть принято за постоянную величину, так как в этом случае все значения токов и напряжений будут равны бесконечности при стационарном режиме. Следовательно величина отрицательного сопротивления должна быть функцией тока или напряжения. Математические выкладки получаются проще, если принять отрицательное сопротивление за функцию напряжения на его зажимах. Допустим, что зависимость между током, проходящим через отрицательное сопротивление, и напряжением на его зажимах выражается степенным рядом

$$i = A_0 + A_1 V + A_2 V^2 + A_3 V^3 + A_4 V^4. \quad (1)$$

Функция должна обладать двумя свойствами:²⁾ $\frac{di}{dV} \bigg|_{V=0} < 0$, т. е. функ-

¹⁾ Извлечение из дипломного проекта по радиотехнике в Моск. Высш. Техн. училище, сделанного под руководством проф. М. А. Бонч-Бруевича.

²⁾ Этот факт «затягивания» собственных колебаний посторонней эдс описан (для случая регенеративного приемника) у Мёллера, в J. d. d. T. u. T. 17, S. 256.

ция должна обладать некоторым «падающим участком», необходимым для возникновения генерации¹⁾; 2) при некотором достаточно большом значении V падающий участок должен кончиться, чтобы амплитуда тока не возрасла выше определенной величины. Для удовлетворения этих условий необходимо, чтобы A_1 имело знак минус, а A_3 знак плюс. Знаки остальных членов ряда безразличны.

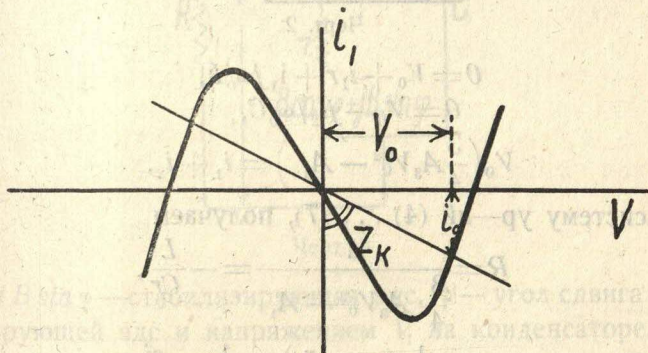
$$i = \pm A_0 - A_1 V \pm A_2 V^2 + A_3 V^3 \pm A_4 V^4. \quad (2)$$

Сделаем допущение, что напряжение на зажимах отрицательного сопротивления, равное напряжению на обкладках конденсатора контура, будет строго синусоидальной величиной. При синусоидальном напряжении ток, проходящий через отрицательное сопротивление, будет несинусоидален; форма его определится ур—ием (2).

Выделяем из ур—ния (2) первую гармонику

$$i_1 = -A_1 V + \frac{3}{4} A_3 V^3. \quad (3)$$

Значения напряжения и тока (первых гармоник) устанавливаются при генерации в зависимости от сопротивления колебательного кон-



Черт. 1

тура $Z_k = \frac{L}{rC}$. Графически значения V_0 и i_0 получаются (черт. 1), как координаты точки пересечения кривой (3) с прямой $i = -\frac{rC}{L} V$. Если

$$\left| \frac{rC}{L} \right| > \left| \frac{di}{dV} \right|_{V=0} = |A_1|,$$

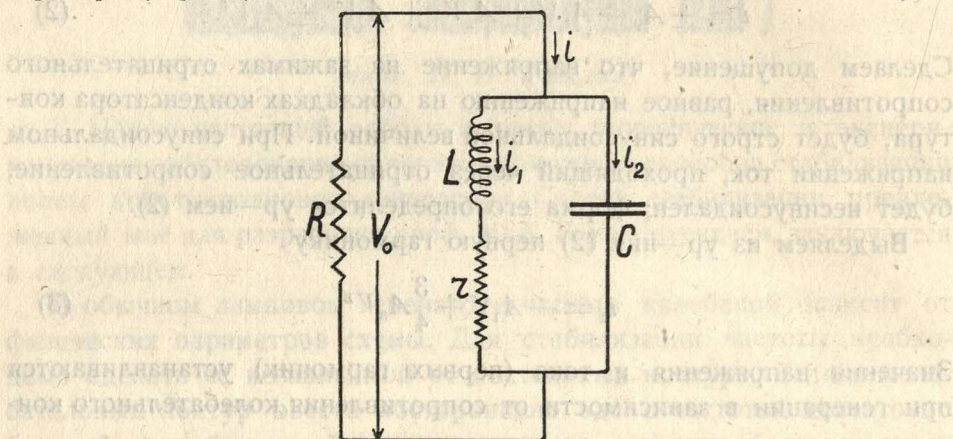
то точка пересечения окажется в начале координат, т.-е. колебания не возникнут.

Из ур—ия (3) находится величина отрицательного сопротивления для первой гармоники

¹⁾ См. Г. А. Остроумов, «Этюды лампового приема», ТиТбп № 5 (38), стр. 466, 1926.

$$\frac{V}{i} = R = \frac{1}{\frac{3}{4} A_3 V_0^2 - A_1}. \quad (4)$$

3. Переходим к исследованию генератора. Пользуемся комплексным методом, рассматривая только стационарный режим первой гармоники. Составляем ур—ия Кирхгофа для эквивалентной схемы генератора (черт. 2).



Черт. 2

$$0 = V_0 + i_1 r + i_1 j \omega_0 L, \quad (5)$$

$$0 = V_0 - j i_2 / \omega_0 C, \quad (6)$$

$$V_0 \left(\frac{3}{4} A_3 V_0^2 - A_1 \right) = i_1 + i_2. \quad (7)$$

Решая систему ур—ий (4) ... (7), получаем

$$R = \frac{1}{\frac{3}{4} A_3 V_0^2 - A_1} = -\frac{L}{Cr}, \quad (8)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R} \right) = \frac{1}{LC} - \frac{r^2}{L^2}. \quad (9)$$

Ур—ие (8) показывает, что отрицательное сопротивление лампы всегда равно сопротивлению колебательного контура, при чем это равенство поддерживается автоматически соответственным изменением амплитуды напряжения V_0 .

Из ур—ия (9) следует, что частота колебаний устанавливается такая, чтобы контур представлял собой чисто ваттное сопротивление. Из ур—ия (9) получаем известное условие самовозбуждения

$$r \leq \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (10)$$

Омическое сопротивление должно быть меньше волнового сопротивления контура, или

$$r \leq \frac{L}{rC}; \quad (11)$$

сопротивление контура постоянному току должно быть меньше сопротивления переменному току.

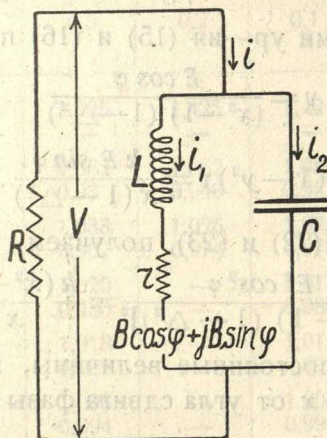
Пользуясь вышеприведенным методом исследования генератора, переходим к решению задачи о стабилизации частоты.

4. Составляем ур-я Кирхгофа для эквивалентной схемы лампового генератора со стабилизирующей эдс (черт. 3):

$$0 = V + i_1 r + i_1 j \omega L + B \cos \varphi + j B \sin \varphi, \quad (12)$$

$$0 = V - j \frac{i_2}{\omega C}, \quad (13)$$

$$V \left(\frac{3}{4} A_3 V^2 - A_1 \right) = i_1 + i_2; \quad (14)$$



Черт. 3

$B \cos \varphi + j B \sin \varphi$ — стабилизирующая эдс, φ — угол сдвига фаз между стабилизирующей эдс и напряжением V на конденсаторе.

Решаем систему ур-ий (12), (13), (14), пользуясь обозначением V_0 и ω_0 из ур-ий (8) и (9):

$$LC (\omega_0^2 - \omega^2) = - \frac{B \cos \varphi}{V}, \quad (15)$$

$$\left(\frac{A_1}{C} - \frac{r}{L} \right) \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \right) = \frac{B \sin \varphi^1}{V \omega LC}. \quad (16)$$

Вводим следующие обозначения, позволяющие перейти от абсолютных величин V , B , ω к относительным.

¹⁾ Если в ур-иях (15) и (16) положить $\omega_0^2 \approx \frac{1}{LC}$ и $Z = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{\omega}$, возвести каждое ур-ие в отдельности в квадрат и затем сложить их, то получится ур-ие

$Z^2 + \alpha^2 \left(1 - \frac{V^2}{V_0^2} \right)^2 = \frac{B^2 \omega^2}{V^2} \left(\text{где } \alpha = \frac{A_1}{C} - \frac{r}{L} \right)$, совпадающее с аналогичным ур-ием Ван дер Поля, Phil. Mag., V. 3, № 13, p. 71, 1927.

$$y = \frac{V}{V_0} \quad (17) \quad \text{— относительное изменение напряжения при стабилизации;}$$

$$E = \frac{B}{V_0} \quad (18) \quad \text{— относительная величина стабилизирующей эдс;}$$

$$x = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (19) \quad \text{— относительное изменение частоты при стабилизации;}$$

$$k = \frac{\omega_0}{A_1/C - r/L} \quad (20) \quad \text{— постоянный коэффициент, зависящий от параметров контура и лампы}$$

$$\Delta = r \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (21) \quad \text{— показатель затухания контура; } \Delta < 1, \text{ т. к. } r < \frac{L}{rC}.$$

С новыми обозначениями ур—ия (15) и (16) принимают такой вид:

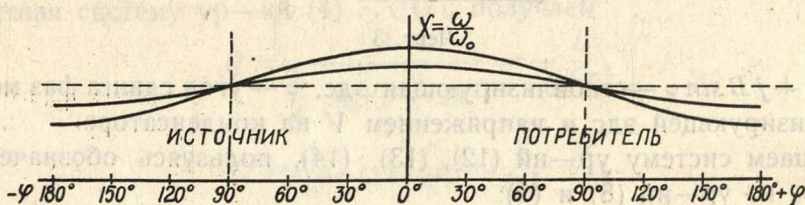
$$y = \frac{E \cos \varphi}{(x^2 - 1)(1 - \Delta^2)}, \quad (22)$$

$$(1 - y^2)y = \frac{k E \sin \varphi}{x(1 - \Delta^2)}. \quad (23)$$

Исключая y из ур—ий (22) и (23), получаем

$$1 - \frac{E^2 \cos^2 \varphi}{[(x^2 - 1)(1 - \Delta^2)]^2} = \frac{k(x^2 - 1)}{x} \operatorname{tg} \varphi. \quad (24)$$

Считая E , Δ и k за постоянные величины, получаем зависимость относительной частоты x от угла сдвига фазы φ (черт. 4). Так как i ,



Черт. 4

в цепи с самоиндукцией (черт. 3) отстает на угол $\varphi \approx 90^\circ$ от напряжения, то при значениях $-180^\circ \leq \varphi \leq 0$ стабилизирующая эдс будет источником энергии, а при значениях $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$ — потребителем.

Исследуем отдельно ур—ие (24) при $\varphi = 0$ и $\varphi = 90^\circ$. Если $\varphi = \pm 90^\circ$, то при любых значениях E , Δ и k^1), имеем $x = 1$. Это означает, что при тех углах сдвига фаз, когда стабилизирующая эдс является чисто ваттным потребителем или источником энергии, частота колебаний равна собственной частоте контура ω_0 независимо от величины введенной эдс E и параметров контура Δ и k .

¹⁾ За исключением не имеющих физического смысла случаев: $\Delta = 1$ и $k = 0$.

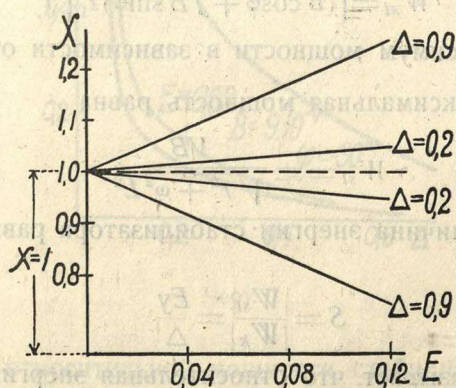
$\varphi = 0$ или $\pm 180^\circ$. При этих значениях φ получается максимальное отклонение частоты под влиянием стабилизирующей эдс от собственной частоты контура ω_0 . Так как угол сдвига фазы между током i_1 и введенной эдс при этом равен $\sim 90^\circ$, то мощность стабилизатора равна нулю. Подставляя значение $\varphi = 0$ в ур-ие (24), получаем

$$x = \sqrt{1 \pm \frac{E}{1 - \Delta^2}} \quad (25)$$

Значения x в зависимости от E и Δ собраны в табл. 1 и изображены на черт. 5.

ТАБЛИЦА 1

$E \backslash \Delta$	0,9	0,5	0,2	0,1	0	Знаки перед дробью
1	2,4 —	1,525 —	1,425 —	1,42 —	1,41 0	+
0,1	1,24 0,689	1,062 0,93	1,052 0,948	1,050 0,95	1,050 0,95	+
0,05	1,125 0,852	1,033 0,967	1,026 0,974	1,025 0,975	1,025 0,975	+
0,03	1,078 0,920	1,020 0,980	—	1,015 0,985	—	+
0,02	1,052 0,945	1,013 0,987	—	1,01 0,99	—	+
0,01	1,026 0,976	1,006 0,994	—	1,005 0,995	—	+
0,005	1,010 0,990	1,003 0,997	—	1,003 0,997	—	+



Черт. 5

Из ур-ия (23) находим зависимость y от φ (черт. 6). При $E \leq 0,05$, $k \leq 1$, $\Delta \leq 0,5$, $y \approx 1$ ($y_{\max} = 1,05$, $y_{\min} = 0,95$); y — относительное из-

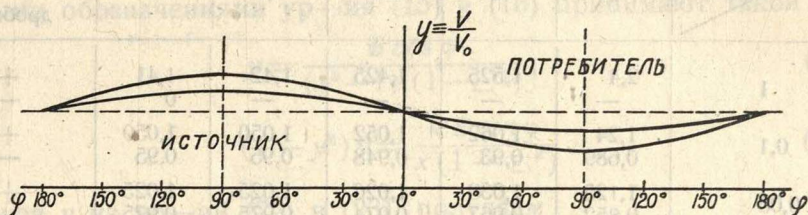
менение напряжения при стабилизации — по физическому смыслу должно быть положительной величиной, что возможно только (см. ур-е 23), если

$$\frac{k E \sin \varphi}{x(1 - \Delta^2)} < \frac{1}{\sqrt{3}}. \quad (26)$$

Ур-е (26) показывает, что при $\varphi < 0$, когда стабилизатор является источником энергии, величины k , Δ и E могут быть выбраны произвольно. Если же $\varphi > 0$ (стабилизатор — потребитель энергии), то величина E при данных параметрах k и Δ ограничена условием

$$\frac{k E}{1 - \Delta^2} < \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Следовательно область применения стабилизатора потребителя более ограничена по сравнению со стабилизатором источником энергии.



Черт. 6

5. Найдем величину энергии, которую необходимо ввести в контур для стабилизации частоты. Мощность, поглощаемая контуром без стабилизирующей эдс, равна [ур-ия (5), (6), (7)]

$$W_k = - \frac{V_0^2 r}{r^2 + \omega^2 L^2}.$$

Мощность стабилизирующей эдс

$$W_{st} = [(B \cos \varphi + j B \sin \varphi) i_1]^1).$$

Чтобы найти максимум мощности в зависимости от угла φ , полагаем $\frac{dW_{st}}{d\varphi} = 0$. Максимальная мощность равна

$$W_{st} = \pm \frac{VB}{\sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}}. \quad (27)$$

Относительная величина энергии стабилизатора равна (см. ур-ия 17, 18 и 21)

$$S = \frac{|W_{st}|}{|W_k|} = \frac{E y}{\Delta}. \quad (28)$$

Формула (28) показывает, что относительная энергия стабилизатора прямо пропорциональна относительной эдс и обратно пропорцио-

¹⁾ Квадратные скобки служат для того, чтобы показать, что произведение здесь не векторное, а скалярное.

нальна показателю затухания контура. Для того, чтобы определить зависимость S от параметров контура, необходимо сначала найти величины u и k . Обозначая проводимость контура

$$\frac{Cr}{L} = \beta, \quad (29)$$

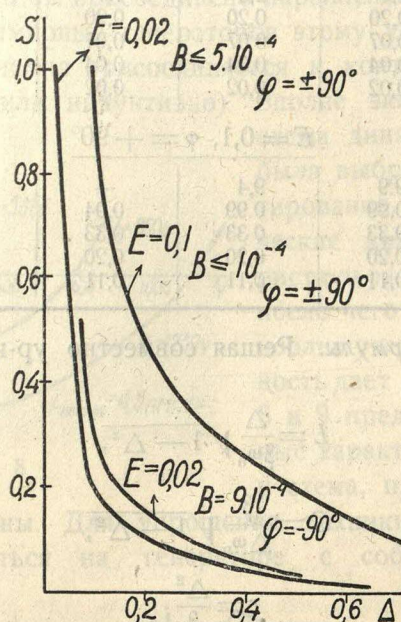
получаем из ур-ия (20)

$$k = \frac{\beta}{\Delta} \frac{\sqrt{1 - \Delta^2}}{A_1 - \beta}. \quad (30)$$

Величина $A_1 = -\frac{di}{dV_{v=0}}$ зависит от свойств лампы. В среднем A_1

может быть принятым равным 0,001. Подставляя в ур-ие (23) $\varphi = \pm 90^\circ$ и $x=1$, находим значения u в зависимости от Δ и β . Величина u может быть принята равной единице¹⁾, если $\Delta \geq 10^{-3}$

и β не слишком приближается к пределу генерации ($\beta \leq \frac{A_1}{2}$).



Черт. 7

Зависимость относительной мощности стабилизатора S от Δ и β представлена на табл. 2 и черт. 7²⁾.

¹⁾ Ошибка не более 5%.

²⁾ На черт. 7 знак B обозначает β .

ТАБЛИЦА II

 $E = 0,02, \varphi = -90^\circ$

$\Delta \backslash \beta$	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$
10^{-2}	2,1	2,0	2,2	3,0	5,5
10^{-1}	0,20	0,02	0,20	0,22	0,29
0,3	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08
0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,046
0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,023

 $E = 0,1, \varphi = -90^\circ$

10^{-2}	10,0	10,5	13,5	23,1	45,5
10^{-1}	1,00	1,00	1,05	1,32	2,24
0,3	0,33	0,33	0,33	0,34	0,56
0,5	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30
0,9	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13

 $E = 0,02, \varphi = +90^\circ$

10^{-2}	2,0	2,0	1,7	—	—
10^{-1}	0,20	0,20	0,20	0,17	—
0,3	0,07	0,07	0,07	0,06	—
0,5	0,04	0,04	0,04	0,04	—
0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,017

 $E = 0,1, \varphi = +90^\circ$

10^{-2}	9,9	9,4	—	—	—
10^{-1}	0,99	0,99	0,94	—	—
0,3	0,33	0,33	0,33	0,24	—
0,5	0,20	0,20	0,20	0,17	—
0,9	0,11	0,11	0,11	0,09	—

6. Расчетные формулы. Решая совместно ур-ия (9), (21) и (29), получаем

$$L = \frac{\Delta}{\beta \omega_0} \sqrt{1 - \Delta^2}, \quad (31)$$

$$C = \frac{\beta}{\Delta \omega_0} \sqrt{1 - \Delta^2}, \quad (32)$$

$$r = \frac{\Delta^2}{\beta}. \quad (33)$$

Ур-ия (31), (32) и (33) и табл. I и II дают возможность произвести расчет генератора со стабилизирующей эдс.

Пример. Дано: $\lambda = 23$ мт, $x = 1 \pm 1\%$.

2) Отсутствие цифры показывает, что генерация в этих условиях не возникнет, так как стабилизатор-потребитель введет слишком большое затухание в контур. В этом случае никакое положительное значение u не удовлетворяет ур-ию (23).

Из табл. I получаем, что для $x - 1 = \pm 0,01$, $E = 0,02$, если $\Delta \leq 0,5$. Задаемся относительной мощностью стабилизатора (два варианта) и находим значения Δ и β из табл. II.

$$\begin{aligned} S_1 &= 0,2 \\ \Delta_1 &= 0,1, \beta, \leq 10^{-4} \\ L_1 &= \frac{0,1 \cdot 10^4}{82 \cdot 10^6} \sqrt{1 - 0,01} = \\ &= 12,2 \cdot 10^{-6} H \geq 12200 \text{ см} \\ C_1 &= 12,2 \cdot 10^{-12} F \leq 11 \text{ см} \\ r_1 &= \frac{0,01}{10^{-4}} \geq 100 \Omega \end{aligned}$$

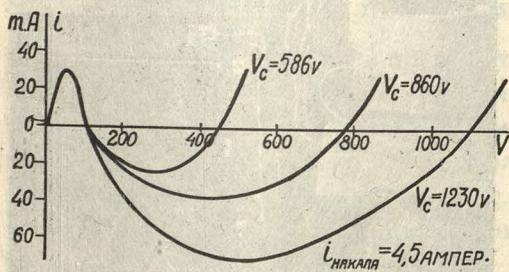
$$\begin{aligned} S_2 &= 0,7 \\ \Delta_2 &= 0,3, \beta \leq 10^{-4} \\ L_2 &\geq 32100 \text{ см} \\ C_2 &\leq 3,67 \text{ см} \\ r_2 &\geq 900 \Omega \end{aligned}$$

Если данные генератора наперед заданы, то расчет стабилизатора производится по формулам (21) и (29) и табл. I и II.

Экспериментальная проверка

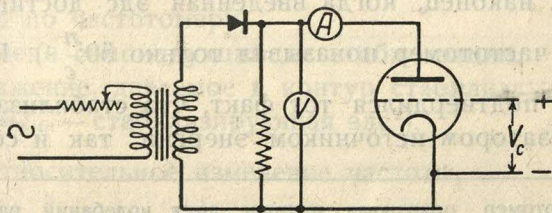
7. Для экспериментальной проверки полученных результатов необходимо было создать такой генератор, у которого отрицательное сопротивление было бы присоединено параллельно контуру (черт. 2). Обычные схемы ламповых генераторов этому условию не удовлетворяют, так как лампа присоединяется к контуру в трех точках (непосредственно или индуктивно). Вполне эквивалентна черт. 2

схема динатрона, поэтому она была выбрана для экспериментирования. Были сняты статические динатронные характеристики различных типов ламп, после чего выяснилось, что наибольшую колебательную мощность дает лампа ГИ. На черт. 8 и 9 представлены динатронные характеристики лампы ГИ и схема, при помощи которой



Черт. 8

они были получены. Для упрощения техники измерений было решено остановиться на генераторе с собственной частотой



Черт. 9

$\omega_0/2\pi = 50 \frac{n}{c}$. Принципиальная схема генератора со стабилизатором представлена на черт. 11. Общий вид установки показан на фотографии 10.

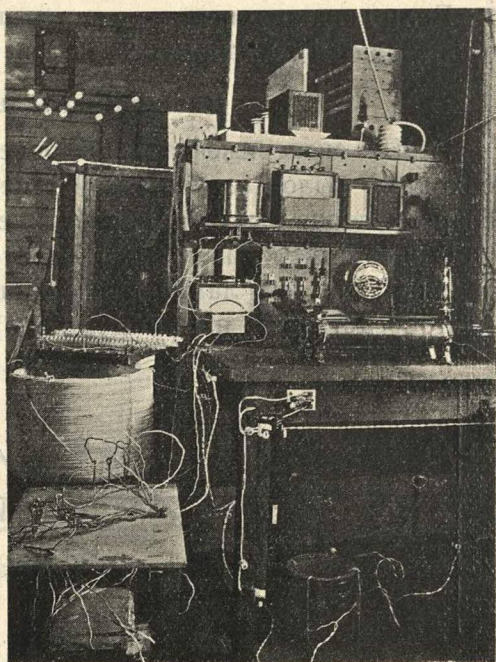
Частота контура определялась частотомером F , присоединенным параллельно нескольким виткам самоиндукции L . При помощи трансформатора T в контур вводилась стабилизирующая эдс. Источником энергии стабилизатора служил городской ток $\left(120 \text{ V}, 50 \frac{n}{c}\right)$.

Величина стабилизирующей эдс изменялась при помощи реостата r_1 и измерялась вольтметром V . Мощность стабилизатора определялась показаниями ваттметра W .

Ввиду того, что источником высокого анодного напряжения служило выпрямительное устройство, то необходимо было его шунтировать сопротивлением (600 до 1500 Ω), чтобы дать возможность пройти току противоположного направления.

8. Сначала экспериментальной проверке была подвергнута непосредственно сама возможность стабилизации частоты методом введения в контур стабилизирующей эдс. Для этого контур настраивался на частоту отличную от $50 \frac{n}{c}$

и по возникновении колебаний в контур вводилась стабилизирующая эдс. Частотомер показывал сначала только частоту собственных колебаний контура, затем по мере увеличения стабилизирующей эдс, показывал обе частоты, и, наконец, когда введенная эдс достигала достаточной величины, частотомер показывал только $50 \frac{n}{c}$ ¹⁾. При этом экспериментально подтвердился тот факт, что стабилизация возможна как со стабилизатором источником энергии, так и со стабилизато-



Фот. 10

¹⁾ Когда частотомер показывал наличие двух колебаний различной частоты, стрелки всех приборов колебались в такт с числом биений. Когда вместо сопротивления употреблялся ламповый реостат, то лампочки «мигали» в такт с числом биений.

ром потребителем, так как изменением введенной эдс легко было получить отклонения ваттметра в ту или иную сторону.

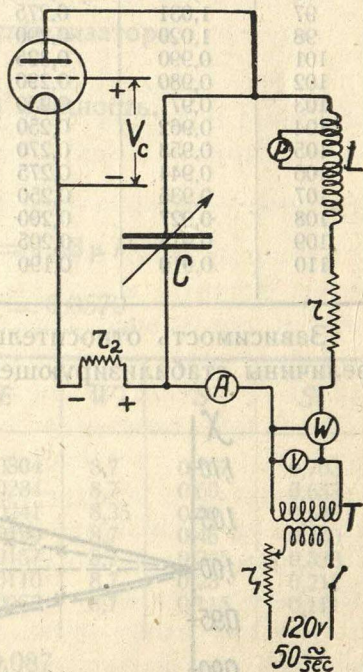
Как это теоретически предполагалось, ток контура при стабилизаторе-источнике возрастал и уменьшался при стабилизаторе-потребителе. Максимальная расстройка контура, при которой стабилизация была экспериментально проверена, равна

$$x - 1 = \pm 15\% \left(\frac{\omega_0}{2\pi} = 43 \text{ до } 59 \frac{n}{c} \right).$$

9. После качественного экспериментального подтверждения общих теоретических положений при стабилизации необходимо было перейти к количественной проверке двух теоретически найденных соотношений: 1) определение зависимости величины относительной стабилизирующей эдс от допускаемой расстройки контура $x = F(E)$, 2) определение необходимой относительной мощности стабилизатора при различных показателях затухания контура.

1) При помощи конденсатора C (черт. 11) контур настраивался на различные частоты. Затем вводилась стабилизирующая эдс и увеличивалась до тех пор, пока частота снова не становилась равной $50 \frac{n}{c}$. Стабилизатор при этой минимальной эдс всегда оказывался потребителем энергии. При дальнейшем увеличении стабилизирующей эдс стрелка ваттметра приближалась к нулю и затем все больше отклонялась в другую сторону, т. е. стабилизатор из потребителя превращался в источник энергии.

Показания приборов записывались при том значении стабилизирующей эдс, когда мощность стабилизатора равнялась нулю. Наблюдаемые и вычисленные величины собраны в табл. III.



Черт. 11

n — частота по частотомеру,

i — ток в цепи самоиндукции до стабилизации,

V_{st} — напряжение, даваемое в контур стабилизатором,

$B = V_{st} \pm i\omega L_{tr}$ — стабилизирующая эдс¹⁾,

$x = \frac{50}{n}$ — относительное изменение частоты,

1) Знаки $+$ и $-$ зависят от направления вектора V_{st} при x не равном 1.

$V_0 = i\omega L$ — напряжение на конденсаторе,

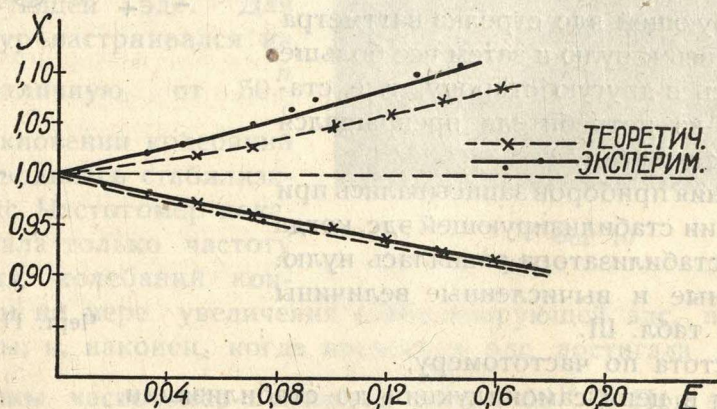
$E = \frac{B}{V_0}$ — относительная величина стабилизирующей эдс.

ТАБЛИЦА III

$L = 7H$, $C = 1,43\mu F$, $r = 128\Omega$, $L_{tr} = 0,137H$.

$2n$	x	i	V_{st}	B	V_0	E
90	1,110	0,225	62	71,7	495	0,145
91	1,100	0,235	57	67,3	517	0,130
92	1,085	0,250	53	64	550	0,116
93	1,075	0,275	44	56,1	605	0,093
94	1,063	0,290	41	53,8	638	0,084
95	1,052	0,250	30	41	550	0,074
96	1,042	0,250	27	38	550	0,069
97	1,031	0,275	15,6	27,7	605	0,046
98	1,020	0,290	9	21,8	638	0,034
101	0,990	0,325	28	13,7	715	0,019
102	0,980	0,290	33	20,3	638	0,032
103	0,971	0,250	36	25	550	0,045
104	0,962	0,250	43	32	550	0,058
105	0,953	0,270	56	44,1	595	0,074
106	0,944	0,275	68	55,9	605	0,093
107	0,935	0,250	78	67	550	0,122
108	0,927	0,200	71	62,2	440	0,141
109	0,918	0,205	80	71	450	0,158
110	0,910	0,190	81	72,8	420	0,173

Зависимость относительн. изменения частоты x от относительной величины стабилизирующей эдс представлена на черт. 12.



Черт. 12

2) Мощность стабилизатора достигает максимума, когда $x = 1$. При помощи конденсатора C колебательный контур настраивался на частоту $50 \frac{n}{c}$. Затем, по возникновении собственных колебаний,

в контур вводилась стабилизирующая эдс B . В зависимости от нее изменялась мощность стабилизатора и ток контура (табл. IV).

B — стабилизирующая эдс,

W_{st} — мощность стабилизатора (по ваттметру),

i_g — ток контура до включения стабилизатора,

i_n — ток контура после включения стабилизатора,

$y = \frac{i_n}{i_g},$

$V_0 = i_g \omega L$ — напряжение на конденсаторе,

$E = \frac{B}{V_0},$

$W_k = i_g^2 r$ — мощность генератора,

$S = \frac{W_{st}}{W_k}$ — относительная мощность стабилизатора,

$S^1 = \frac{\Sigma y}{\Delta}$ — теоретическая относительная мощность.

ТАБЛИЦА IV

$\omega_0/2\pi = 50 \frac{n}{c}, L = 7H, C = 1,43 \mu F$

I. $r = 128, \Delta = r \sqrt{C/L} = 0,0579$

W	B	i_g	i_n	y	V_0	E	W_k	S	S^1
6,75	17,4	0,260	0,350	1,34	573	0,0304	8,7	0,767	0,703
6	16,3	0,260	0,345	1,33	573	0,0284	8,7	0,69	0,653
5	13,5	0,255	0,335	1,31	560	0,0241	8,35	0,60	0,546
4	11,4	0,260	0,325	1,25	573	0,0199	8,7	0,46	0,430
3	9	0,260	0,310	1,19	573	0,0157	8,7	0,345	0,323
2	6,3	0,260	0,290	1,115	573	0,0110	8,7	0,23	0,212
1	3,6	0,260	0,265	1,02	573	0,0063	8,7	0,115	0,111

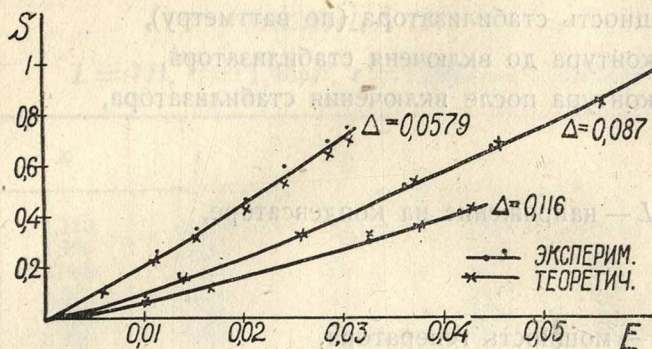
II. $r = 193\Omega, \Delta = 0,087$

6	24,3	0,175	0,260	1,48	385	0,063	5,9	1,017	1,07
5	21,1	Const.	0,235	1,34	Const.	0,0549	Const.	0,847	0,845
4	17,4		0,230	1,31		0,0452		0,679	0,682
3	14,1		0,225	1,28		0,0366		0,509	0,539
2	9,9		0,200	1,14		0,0257		0,339	0,338
1	5,4		0,185	1,06		0,0140		0,169	0,170

III. $r = 237\Omega, \Delta = 0,116$

6	21	0,230	0,300	1,30	506	0,0415	13,6	0,442	0,465
5	18,9	0,230	0,290	1,26	506	0,0373	13,6	0,368	0,405
4	16,2	0,225	0,273	1,22	495	0,0327	13,0	0,308	0,344
3	13,5	0,225	0,260	1,15	495	0,0273	13,0	0,238	0,271
2	7,8	0,215	0,240	1,11	473	0,0165	11,9	0,168	0,158
1	4,8	0,215	0,230	1,07	473	0,0101	11,9	0,084	0,093

Зависимость относительной мощности S и S^1 от относительной величины стабилизирующей эдс E при разных Δ представлены на черт. 13.



Черт. 13

10. Некоторое несовпадение экспериментальных кривых с теоретическими может быть объяснено следующими причинами: 1) частота стабилизирующей эдс (городской ток) не являлась величиной постоянной, изменяясь приблизительно в пределах от $49,5$ до $50,2 \frac{n}{c}$, 2) конденсатор контура обладал утечкой (ок. 50000Ω), 3) теоретические формулы выведены для первой гармоники, приборы же фактически показывают весь ток, 4) высокое напряжение на сетку и на анод взято от выпрямителя, который, несмотря на фильтры, все же пропускает 50-ти периодный городской ток.

11. Кроме динатрона экспериментальной проверке была подвергнута обычная трехточечная схема генератора с одной лампой ГИ с мощностью в контуре около 30-ти ватт. Все теоретические положения при стабилизации качественно подтвердились в простой схеме и в сложной схеме со связанными контурами. В последнем случае выяснилось, что влияние вторичного контура на стабилизацию частоты в первичном очень незначительно, так что для теоретических расчетов вполне допустимо перечисление параметров вторичного контура в первичный.

12. Теория и эксперимент показали, что с точки зрения экономии энергии стабилизатора выгоднее стабилизировать контур с большим затуханием ($0,1 \leq \Delta \leq 0,9$). Необходимо было экспериментально проверить, возможно ли получение колебаний при коротких волнах с контуром с большим показателем затухания. Из векторной диаграммы, построенной для схемы, изображенной на черт. 2, нетрудно до-

казать, что $\Delta = r \sqrt{\frac{L}{C}} = i/i_1$, где i — ток в неразветвленной части

цепи, а i_1 — ток в цепи самоиндукции. Был собран генератор на волны от 20 до 40 метров. Экспериментально выяснилось, что генерация возможна при

$$\frac{i}{i_1} = \Delta \leq 0,6;$$

следовательно вышеописанный метод стабилизации волны вполне применим для коротковолнового генератора.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность сотрудникам Нижегородской радиолaborатории В. А. Коринскому и А. М. Моисеичеву за помощь, оказанную мне в экспериментальной части этой работы.

Короткое содержание

1. Исследование генератора с отрицательным сопротивлением.
2. Исследование зависимости между величиной стабилизирующей эдс и допустимой величиной расстройки контура.
3. Выяснение соотношения между мощностью и вольт-амперами генератора с отрицательным сопротивлением и мощностью и вольт-амперами стабилизирующей эдс.
4. Экспериментальная проверка полученных теоретических результатов.

Нижегородская радиолaborатория

Радио-поле

Октябрь—май 1927/28

Об одном способе ослабления атмосферных помех в радиотелеграфии

Г. А. Остроумов

Из весьма длинного ряда мероприятий, направленных к улучшению радиоприема путем устранения атмосферных шорохов, жизненными оказались только те, которые в явной или скрытой форме осуществляют два принципа: принцип увеличения селективности и принцип направленного действия. Оставляя здесь второй принцип в стороне, обратим наше внимание на те различные способы, в которых нашел приложение первый принцип.

Принято думать ¹⁾, что селективность следует измерять площадью резонансной кривой, и чем эта площадь больше, тем селективность меньше. Таким образом, если мы имеем два приемника, имеющих различное устройство, но отрегулированных так, чтобы площади их резонансных кривых были одинаковы, то казалось бы, что мешание атмосферы будет одинаково в обоих приемниках. Однако опыт показывает, что это заключение, хотя в общем и верно, но не вполне точно. Дело в том, что структура атмосферных разрядов такова, что в них среди общего фона встречаются отдельные сильные удары ²⁾. При этом удары большей силы встречаются реже, а из слабейших наиболее частых ударов собственно и складывается средний непрерывный шорох (фон).

Условия современного радиоприема в среднем таковы, что принимаемый сигнал достаточно силен, чтобы выделяться отчетливо на фоне шороха, но отдельные более или менее редкие удары помех безусловно превосходят силу сигнала.

Поскольку дело идет о среднем фоне шорохов, значение полной площади резонансной кривой приемника бесспорно: чем шире кривая резонанса, тем сильнее слышен фон и тем труднее отличить на нем сигнал, но зато тем большее число боковых частот сигнала может быть принято и зарегистрировано.

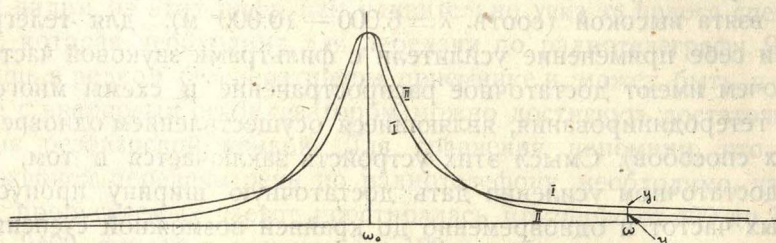
Что же касается тех отдельных более или менее редких и соответственно сильных ударов, обнаруживающихся при радиоприеме, то устранение их зависит от таких деталей устройства приемника, которые лишь ничтожно влияют на площадь резонансной кривой.

¹⁾ Carson J. R. Electr. Comm. (Western El. Co) V. III, № 1, p. 300-309, 1924, Journ. A. I. E. E., 1925.

²⁾ W. Gerlacn, Jahrbuch d. d. Tel. u. Tel. Bd. 16, H. 5, p. 337, 1920.

Например, если мы сравним хороший детекторный приемник со сложной схемой с ламповым приемником, в котором допущена небольшая регенерация, то при одинаковой степени чистоты воспроизведения радиотелефонной передачи (соотв. одинаковой площади обеих резонансных кривых), второй приемник даст прием, более искаженный атмосферными разрядами.

Причина этого факта лежит в том, что приемник со сложной схемой обладает двумя настроенными контурами. Поэтому те ординаты его резонансной кривой, которые достаточно удалены от максимальной ординаты («середины» кривой), будут во много раз меньше, чем соответствующие ординаты кривой резонанса равной площади любого приемника с одним контуром¹⁾. Это различие преувеличенно изображено на черт. 1, где кривая I относится к приемнику



Черт. 1

с одним, а кривая II к приемнику с двумя контурами. Мешание (атмосферный разряд), в состав которого в числе прочих частот входит и частота ω , даст эффект, соответствующий этой частоте, в простом приемнике гораздо больший (y_1), чем в приемнике со сложной схемой (y_2). Если это мешание относится к числу сильных ударов, то и эффект от него, хотя и будет соответствовать далекой от резонанса частоте, тем не менее может быть вполне сравним с силой сигнала в резонансе и может исказить передачу сигнала. Поэтому, убавляя, по возможности, ординаты резонансных кривых, соответствующие уже ненужным боковым частотам, путем введения нескольких контуров, мы уменьшаем вероятность искажения сигналов исключительно сильными ударами. При этом, конечно, мы попрежнему остаемся не в силах защитить прием от воздействия помехи в пределах пропускаемых частот.

Требования, предъявляемые к радиоприему, заставили давно уже перейти от приемных устройств с простыми контурами к устройствам со сложными контурами. Наиболее ярким представителем приемников со многими контурами является многоламповый нейтродин. Каждый каскад нейтродина служит настроенным контуром,

¹⁾ P. Turner, Experim. Wireless, V. II, № 25, p. 801, 1925.

главное назначение которого не столько в сужении общей резонансной кривой, сколько в возможном принижении к оси абсцисс ее ветвей (концов) в пределах ненужных частот.

Трудности, связанные с одновременной настройкой нескольких контуров нейтродина при переходе от одного корреспондента к другому, побуждают пользоваться супергетеродинной схемой. Путем гетеродинирования вся резонансная кривая высокой частоты переносится в область промежуточных частот¹⁾ и оставляет за конструктором полную возможность дальше повышать селективность посредством настроенных контуров в промежуточной частоте, при чем качество данного приемника зависит почти исключительно от числа этих контуров. Две ветви радиотехники—телеграфий и телефония—пошли в этом направлении двумя параллельными, но не совпадающими путями. Для надобностей телефонии промежуточная частота была взята высокой (соотв. $\lambda = 6.000 - 10.000$ м), для телеграфии нашли себе применение усилители с фильтрами звуковой частоты²⁾. (Впрочем имеют достаточное распространение и схемы многократного гетеродинирования, являющиеся осуществлением одновременно обоих способов). Смысл этих устройств заключается в том, чтобы при достаточном усилении дать достаточную ширину пропускания нужных частот и одновременно до крайней возможной степени снизить ординаты резонансной кривой, соответствующие ненужным частотам. Очевидно при этом, что излишняя ширина пропускания не только бесполезна, но определенно вредна, так как она не улавливает никаких полезных сигналов, но, увеличивая площадь кривой резонанса, усиливает влияние вредных мешаний. Также очевидно, что если в одной части приемного устройства (напр. в высок. частоте) ширина полосы пропускаемых частот больше, чем в другой (например в звуковом фильтре), то действие такого устройства будет хуже, чем действие устройства с везде одинаково широкими (вернее сказать одинаково узкими) полосами пропускания, потому что при этом ординаты при ненужных частотах будут наименьшими.

Сосредоточивая здесь свое внимание на радиотелеграфии, выясним, какая же полоса пропускаемых частот необходима для нее. Для этого разберем частный пример передачи со скоростью 60 слов в минуту (или 1 слова в секунду), при чем за «слово» выберем слово «Paris»³⁾. Длина этого слова по алфавиту Морзе соответствует длине 24 точек с равными промежутками. Точка с равным промежутком является самым коротким сигналом азбуки Морзе и продолжительность его в нашем примере составляет $1/24$ сек. Ясно поэтому, что

¹⁾ Arnold and Lloyd Espenshied, J. A. I. E. E., V XLII, № 8, p. 815, 1923.

²⁾ K. Küpfmüller, Electr. Nachrichtentechnik, B. 3, H. 3, S. 112, 1926.

³⁾ П. Н. Куксенко, ТиТбп № 32, стр. 481, 1925.

для передачи алфавита Морзе достаточно использовать частоты от 0 до 24 периодов в секунду; более высокие частоты нам могут помочь не в том, чтобы передать новые буквы алфавита, а только в том, чтобы передать детали все тех же букв. Этими деталями являются те импозантные острые углы и вертикальные линии на ондуляторных записях, которые придают последним большую красоту, но отсутствие которых не нарушает разборчивости записи¹⁾. Эти детали при записи на аппарат Морзе или Уитстона или при работе на реле совершенно утрачиваются.

Таким образом для передачи текста со скоростью 60 слов в минуту необходима передача частот от 0 до 24 циклов в секунду (или от $\omega = 0$ до $\omega = 151$); разумеется, границы требуемых для передачи частот пропорционально суживаются по мере уменьшения скорости передачи.

Мы видим из этих цифр, как удивительно узка та полоса спектра частот, которая необходима для передачи по радиотелеграфу. Ясно, что лишь в редком регенеративном приемнике и, может быть, в приемнике с кварцевым стабилизатором можно достигнуть достаточного сужения резонансной кривой. Для сравнения напомним, что для неискаженной передачи речи по радиотелефону необходимо, чтобы полоса пропускаемых частот простиралась примерно от 400 до 2800, т.е. на 2400 циклов в секунду,— в 100 раз больше, чем для телеграфии. Поэтому редко можно надеяться сузить резонансную кривую приемника до требуемой степени в высокой частоте; приходится это сужение производить в промежуточной или звуковой частоте путем постройки усилителя промеж. част. с преувеличенной нейтрализацией (эквивалентно—введением регенерации) или в фильтрах звуковой частоты. Чем большее число настроенных контуров участвует в этих фильтрах, тем чище прием от разрядов.

Из изложенного вытекает, что, как бы хорошо и совершенно ни было данное радиотелеграфное приемное устройство, его можно только еще улучшить прибавлением лишнего элемента фильтрации, обладающего подходящей полосой пропускаемых частот и достаточной степенью непропускания (затуханием) для остальных частот.

Таким элементом фильтрации, который совершенно без переделок может быть присоединен к любому телеграфному приемному пишущему устройству, является фильтр телеграфной частоты²⁾, включаемый между анодом последней лампы усилителя и пишущим механизмом.

Действие телеграфного фильтра сводится к тому, что он не пропускает до пишущего аппарата тех сигналов и разрядов, продолжи-

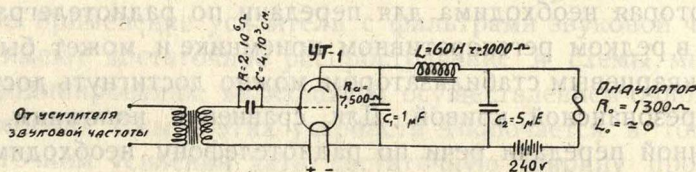
¹⁾ J. Weinberger, Jahrbuch d. d. T. u. T., B. 20, H. 1, S. 30, 1922. Ср. напр. первую и третью строчки сверху Fig. 15 (S. 43).

²⁾ Соотв. работа в обл. проволочной телеграфии: П. Акульшин. «О возможности применения теории телефонных цепей к телеграфным цепям». Доклад на расширенном собрании Совета Лабораторий по Электросвязи (Ленинград) 6 марта 1928 г.

тельность которых короче, чем точка принимаемой передачи. Таким образом запись очищается от всех кратковременных тресков, которыми достаточно богат радиоприем.

С точки зрения электрических спектров это действие почти эквивалентно сужению резонансных кривых (и принижению их ветвей), в высокой или промежуточной частоте, — почти потому, что при помощи телеграфного фильтра мы не можем отстроиться от мешающей станции, работающей на соседней волне с достаточно малой скоростью.

В зависимости от величины самоиндукции пишущего прибора схемы телеграфных фильтров разбиваются на две группы. Если самоиндукция пишущего прибора очень мала¹⁾ (ондулятор²⁾, то удобно применять схему черт. 2; на чертеже надписаны цифры, соответствующие одному частному случаю.



Черт. 2

Расчет для других случаев сводится к вычислению по формулам:

$$RC = R_a C_1 = R_o C_2 = \frac{L}{R_a + R_o} = \frac{1}{\omega},$$

где ω есть круговая частота телеграфной точки (в нашем прежнем примере $\omega = 151$). Величина ваттного сопротивления дросселя при частоте ω допустима различная в зависимости от силы сигнала; чем больший запас мощности мы имеем от сигнала, тем большее сопротивление дросселя допустимо. Дроссель будет действовать вполне хорошо, если его сопротивление не превышает 20% от $(R_a + R_o)$.

Неточности, допускаемые в величинах C_1 , L и C_2 без вреда для дела, составляют смело 20% вычисленного значения.

Что касается выбора частоты ω в связи с различными скоростями передачи наших корреспондентов, то ясно, что необходимо выбрать то значение ω , которое соответствует наибольшей из интересующих нас скоростей. Вместе с тем прием корреспондента, работающего на меньшей скорости, будет не так чист, как при применении фильтра, рассчитанного на эту меньшую скорость. При каждой скорости передачи, измеряемой числом слов в минуту n , частота ω определяется из выражения:

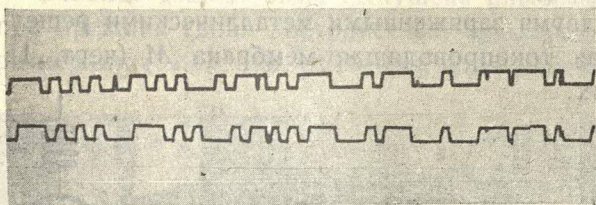
¹⁾ Точнее, если $\frac{R_o}{L\omega} \gg \omega$.

²⁾ J. Weinberger, loc. cit.

$$\omega = \frac{4}{5} \pi n \simeq 2,5 n.$$

Если самоиндукция пишущего устройства велика (точнее, если $\frac{R_o}{L_o}$ близко к ω), что имеет место, например, у аппарата Уитстона ($R_o = ca 1500 \Omega$, $L_o = ca 5 H$), то удобнее удвоить величину конденсатора C_2 сравнительно с изложенным выше случаем.

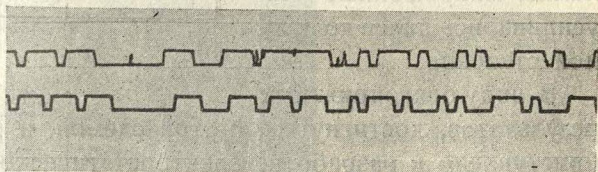
Результаты применения подобных телеграфных фильтров иллюстрируются следующими photographиями. На фот. 3 представлена



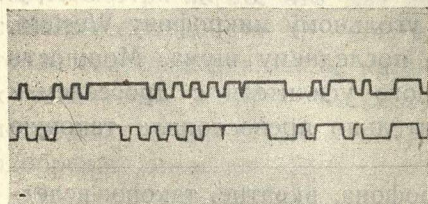
Черт. 3

запись одного и того же приема на два ондулятора¹⁾, имевшие общую схему высокой частоты и индивидуальные усилители звуковой частоты; в последние входили настроенные контура звуковой ча-

стоты в качестве фильтров. Фотография отображает довольно одинаковое отношение обоих ондуляторов к наиболее сильным атмосферным разрядам. На фот. 4 видно различное отношение этих ондуляторов к разрядам, когда в один из них (нижняя кривая) был включен телеграфный фильтр²⁾. Мы замечаем значительное очищение записи от разрядов. Разумеется, подобным фильтром не устраняются все разряды; к наиболее сильные продолжительные разряды будут записываться и тем ондулятором, который снабжен телеграфным фильтром. Такой случай изображен на фот. 5, где атмосферный разряд прибавил в обеих записях к 5 точкам сигнала еще шестую точку.



Черт. 4



Черт. 5

Н.-Новгород
Радиолaborатория.

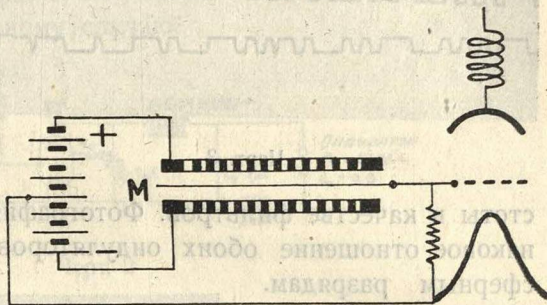
¹⁾ В Радиоузле НКПит 20 апреля 1928 года.

²⁾ Скорость принимавшейся передачи была примерно вдвое меньше той, на которую рассчитан был фильтр.

Электростатические микрофоны Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина

С. И. Шапошников

По предложению проф. М. А. Бонч-Бруевича, автором была испытана схема микрофона, заключающаяся в след.: в электрическом поле, образуемом двумя заряженными металлическими решетками, помещалась легкая токопроводящая мембрана *М* (черт. 1). Под влиянием звуковых колебаний, мембрана, перемещаясь в эл. поле, соответствующим образом изменяла свой потенциал, а также и потенциал сетки электронной лампы. Полученные в цепи анода лампы микрофонные токи усиливались далее до нужной степени.



Черт. 1

В виду благоприятных результатов, достигнутых с этой схемой, в радиолaborатории было приступлено к разработке электростатического микрофона и вскоре первая модель его¹⁾ была установлена для пробной эксплуатации на опытной радиостанции имени В. М. Лещинского при радиолaborатории.

По чистоте, правильности передачи всей гаммы звуков и тембру, микрофон был подобен известному угольному микрофону Western, но совершенно не имел присущего последнему шума. Мощность эл.-ст. микрофона после трехкаскадного усилителя с дросселем и двумя трансформаторами н. ч. значительно превосходила таковую микрофона Western.

Первоначальное устройство микрофона, вкратце, таково: вследствие невозможности средствами мастерских радиолaborатории изготовить тонкие натянутые мембраны с собственным периодом колебания в несколько килоциклов, пришлось обратиться к мембранам аperiодическим.

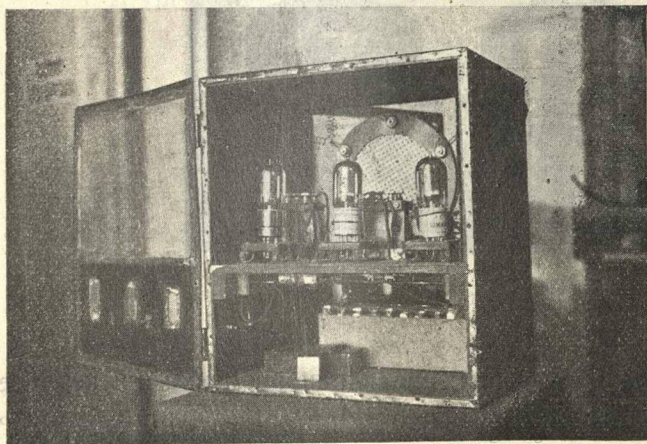
¹⁾ Заявочное свидетельство за № 7392 от 20/IV—26, выданный Ком. по дел. изобрет. М. А. Бонч-Бруевичу и С. И. Шапошникову, и постановление о выдаче им патента от 31/VIII—27 г.

В качестве таковых мембран применена золотая фольга (поталь), поддерживаемая посредине поля двух массивных решеток посредством тонких резиновых щек. Изменением упругости щек можно было регулировать и получать желаемый тембр микрофона. Напряжение на решетках применялось в 500—700 В. Эксплуатация в течение нескольких месяцев выявила след. недостатки конструкции: непостоянство действия, вследствие гигроскопичности системы, механическую непрочность резиновых щек, громоздкость микрофона, неотделимого от усилителя, и необходимость высокого вольтажа, для создания поля микрофона.

В конце 1926 г. была выпущена новая модель эл.-ст. микрофона, при прежних своих достоинствах, отличавшаяся от старой: малыми размерами ($320 \times 320 \times 210$ мм), малым вольтажом (120 В), исполь-

зованием для вольтажа микрофона — батареи усилителя и большей механической прочностью. Фот. 2 показывает общий вид этого микрофона с усилителем.

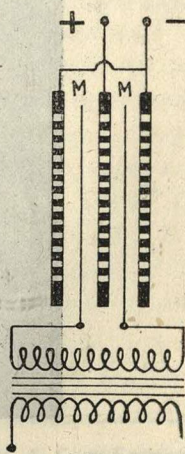
Весною 1927 г. эта модель была испытана комиссией в Акц. О-ве «Радиопередача» в Москве, путем сравнения с луч-



Фот. 2

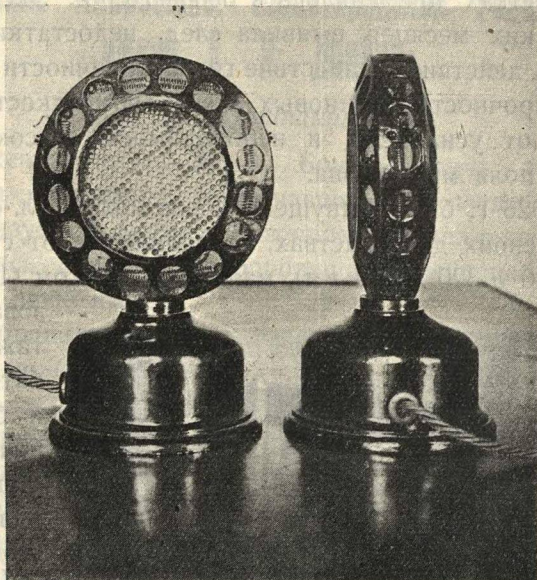
шим из имеющихся там мраморных микрофонов Reiss'a. Несмотря на то, что для получения одинаковой с Reiss'ом мощности, эл. — ст. микрофон был зашунтован сопротивлениями и, кроме того, присоединен к усилителю Western посредством случайного, не подходящего выходного трансформатора, он получил одобрение комиссии, зафиксированное в акте.

Желание сделать микрофон независимым от усилителя и увеличить его мощность вызвали появление эл.-ст. микрофона, работающего по схеме, приведенной на черт. 3. Две мембраны М, перемещаясь идентично в двух эл. полях разного направления, получают потенциалы противоположных знаков и создают в первичной обмотке трансформатора микрофонные токи, которые далее усиливаются до нужной степени.



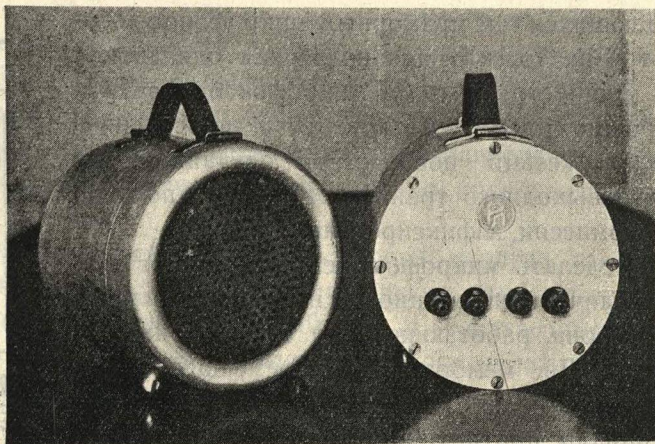
Черт. 3

Число мембран может быть больше двух, оставаясь четным. При увеличении числа мембран, последние, а также и решетки соединяются параллельно через одну. Увеличение числа мембран —



Фот. 4

увеличивает мощность микрофона, внося одновременно и некоторое искажение передачи. Поэтому больше 4—6 мембран применять не следует.



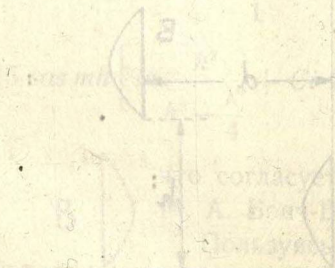
Фот. 5

Микрофоны, построенные по этому принципу¹⁾, дали при предварительных испытаниях след. результаты: при прежней безукоризненной передаче полное отсутствие шумов, прочность мембраны, заключенной в этой модели между тонкими шелковыми сетками, постоянство действия и мощность одного порядка с Reiss'ом при токе в 320 V.

Микрофон может быть удален от усилителя на произвольное расстояние.

Фот. 4 и 5 показывают два типа таких электростатических микрофонов выработанных автором: 1) открытый, в сетчатом кожухе и 2) закрытый в массивном алюминиевом корпусе.

Нижегородская Радиолaborатория
имени В. И. Ленина
27/VIII—28 г.



¹⁾ Заявочное свидетельство выдано Ком. по делам изобретений М. А. Бонч-Бруевичу и С. И. Шапошникову за № 23604.

К расчету излучения направленных антенн

А. А. Пистолькорс

1. В № 48 этого журнала была напечатана наша статья, в которой изложен способ расчета сопротивления излучения направленных антенн (beam system) по методу наводимых эдс. Основой этого расчета служит формула, учитывающая влияние на излучение рассматриваемого вибратора другого вибратора параллельного первому и находящегося на одной с ним высоте на расстоянии d .

В этом случае поправка к сопротивлению излучения вибратора будет:

$$\Delta R_{\Sigma} = 30 \left[2 C_i m d - C_i m \left(\sqrt{d^2 + \frac{\lambda^2}{4}} - \frac{\lambda^2}{2} \right) - C_i m \left(\sqrt{d^2 + \frac{\lambda^2}{4}} + \frac{\lambda^2}{2} \right) \right],$$

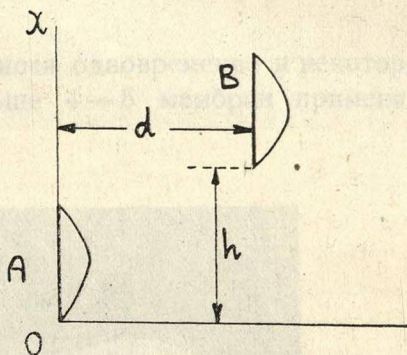
где $m = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Следующим шагом в развитии настоящего метода будет подсчет сопротивления излучения для случаев, когда параллельные вибраторы смещены по высоте (черт. 1). На практике этот случай имеет место как при учете влияния проводящей земли (по методу зеркальных изображений), так и при расчете многоэтажных антенн.

Нам предстоит вывести формулу, учитывающую влияние вибратора A (черт. 1) на сопротивление излучения вибратора B , находящегося на расстоянии d и поднятого на высоту h по сравнению с первым. Обозначим слагающую сопротивление излучения, обусловленную таким взаимным расположением вибраторов, через $R(d, h)$, а соответствующую наводимую мощность через $P(d, h)$. Напряжение поля вблизи B от первого вибратора определяется выражением (1) из упомянутой выше статьи. Распределение тока в проводе B может быть написано так:

$$I_x = I_0 \sin m(x - h).$$

Как и ранее, токи в обоих проводах мы считаем равными и совпадающими по фазе. Рассуждая так же, как в § 3 упомянутой статьи, мы получим для наводимой мощности излучения такой интеграл:



Черт. 1

$$P(d, h) = 30 I_0^2 \int_h^{h+\frac{\lambda}{2}} \left(\frac{\sin mr_{l-x}}{r_{l-x}} + \frac{\sin mr_x}{r_x} \right) \sin m(x-h) dx.$$

Интегрирование дает для соответствующей слагающей сопротивления излучения следующее довольно сложное выражение:

$$R(d, h) = -15 \sin mh \left[S\left(d, h - \frac{\lambda}{2}\right) - 2S(d, h) + S\left(d, h + \frac{\lambda}{2}\right) \right] - \\ - 15 \cos mh \left[C\left(d, h - \frac{\lambda}{2}\right) - 2C(d, h) + C\left(d, h + \frac{\lambda}{2}\right) \right], (*)$$

где $S(x, y)$ и $C(x, y)$ — функции такого вида:

$$S(x, y) = Si\ m(\sqrt{x^2 + y^2} + y) - Si\ m(\sqrt{x^2 + y^2} - y), \\ C(x, y) = Ci\ m(\sqrt{x^2 + y^2} + y) + Ci\ m(\sqrt{x^2 + y^2} - y).$$

Полученное выражение является наиболее общим для случая двух параллельных вибраторов. Выражение (1), которое было выведено для вибраторов, расположенных на одинаковой высоте, является частным случаем данного, именно, когда $h=0$. Для другого частного случая, когда $d=0$ (черт. 2), это выражение дает:

$$R(0, h) = -15 \sin mh \left[Si\ 2\ m\left(h - \frac{\lambda}{2}\right) - 2Si\ 2\ mh + Si\ 2\ m\left(h + \frac{\lambda}{2}\right) \right] - \\ - 15 \cos mh \left[ln\ \frac{h^2}{h^2 - \frac{\lambda^2}{4}} + Ci\ 2\ m\left(h - \frac{\lambda}{2}\right) - 2Ci\ mh + Ci\ 2\ m\left(h + \frac{\lambda}{2}\right) \right],$$

В

что согласуется с аналогичной формулой, полученной М. А. Бонч-Бруевичем ¹⁾.

Пользуясь выражением (*), можно определить сопротивление излучения любого из проводов в какой-нибудь сложной системе из n параллельных синфазных вибраторов. Оно будет равно:

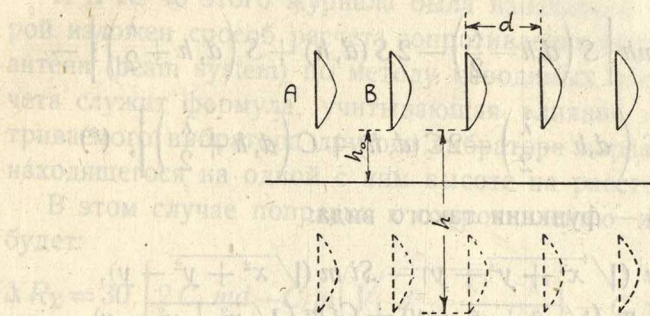
$$R_{\Sigma} = R(0, 0) + R(d_1, h_1) + R(d_2, h_2) + \dots \\ \dots + R(d_{n-1}, h_{n-1}),$$

Черт. 2

где d и h обозначают расстояние и высоту каждого из остальных $n-1$ вибраторов по отношению к рассматриваемому; $R(0, 0) = 73,3 \Omega$ — сопротивление излучения одиночного вибратора.

¹⁾ ТиТбп № 36, стр. 197, выраж. (45), 1926.

2. Выражение (*) позволяет в частности вычислить сопротивление излучения антенны, находящейся над идеально проводящей поверхностью, если пользоваться методом зеркальных изображений. Покажем это на примере одноэтажной антенны, в которой вибраторы находятся все на одинаковой высоте и расположены на одинаковом расстоянии (d) друг от друга (черт. 3). Пусть антенна, име-



Черт. 3

ющая n вибраторов, поднята на высоту h_0 над землей. Учитывая влияние зеркальных изображений, мы получим в этом случае: для крайних проводов (A)

$$R_A = R(0,0) + R(0,h) + R(d,0) + R(d,h) + R(2d,0) + R(2d,h) + \dots + R[(n-1)d,0] + R[(n-1)d,h],$$

где $h = 2h_0 + \frac{\lambda}{2}$; для вторых с краю (B)

$$R_B = R(0,0) + R(0,h) + 2[R(d,0) + R(d,h)] + \dots + R[(n-2)d,0] + R[(n-2)d,h] \text{ и т. д.}$$

Если нас интересует лишь сопротивление всей антенны, а не отдельных ее проводов, то мы можем воспользоваться следующим выражением, аналогичным выражению (5) предыдущей статьи:

$$R_{\Sigma} = n R_0 + 2(n-1) R_1 + 2(n-2) R_2 + \dots + 2 R_{n-1},$$

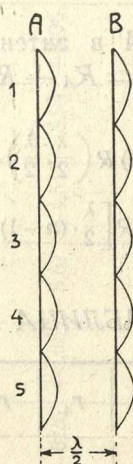
где $R_k = R\left(\frac{\kappa\lambda}{2}, 0\right) + R\left(\frac{\kappa\lambda}{2}, 2h_0 + \frac{\lambda}{2}\right)$.

По этим формулам были произведены вычисления для случая синфазной антенны из 7 проводов для высоты $h_0 = 0, \frac{1}{8}\lambda, \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{8}\lambda$ и $\frac{\lambda}{2}$ над землею. Результаты вычислений сведены в таблицу (I), из которой видно, что при подъеме антенны над поверхностью ее полное сопротивление излучения быстро приближается к величине, полученной для свободного пространства ($h_0 = \infty$), но распределение энергии между отдельными проводами при этом все время

меняется. Вблизи поверхности сопротивление излучения, как и следовало ожидать, значительно возрастает.

3. Что касается многоярусных антенн, то следует иметь в виду, что обычно отдельные вертикальные провода такой антенны располагаются на расстоянии полволны. Расстояние это обусловлено как соображениями, касающимися направленного излучения, так и в значительной мере удобством канализации токов высокой частоты питающих антенну.

Автором составлена прилагаемая здесь таблица величин $R(d, h)$, вычисленных по формуле (*) для некоторых значений d и h кратных полволны, что позволяет весьма просто и быстро подсчитать сопротивление излучения подобной антенны. Как пользоваться этой таблицей, и самый ход расчета покажем на конкретном примере: пусть требуется найти сопротивление излучения антенны из двух пятиэтажных проводов, расположенных на расстоянии $\frac{\lambda}{2}$ (черт. 4).



Черт. 4

Вычислим сперва слагающую сопротивления излучения провода А, обусловленную наличием провода В с током.

Слагающая эта для вибраторов 1 и 5 провода А будет равна:

$$R_{1B} = R_{5B} = R\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, 2\lambda\right).$$

Для остальных вибраторов

$$R_{2B} = R_{4B} = R\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + 2R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right) + R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}\right),$$

$$R_{3B} = R\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + 2R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + 2R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right)$$

А для всего провода А

$$R_{AB} = 5R\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + 8R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + 6R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right) + 4R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}\right) + 2R\left(\frac{\lambda}{2}, 2\lambda\right) = \\ = 5 \cdot (-12,36) + 8 \cdot (-11,80) + 6 \cdot (-0,78) + 4 \cdot (+0,80) + 2 \cdot (-1,00) = \\ = -159,7 \Omega^1).$$

Величину сопротивления излучения одиночного пятиэтажного провода (самого провода А) получим аналогичным способом, заменив $d = \frac{\lambda}{2}$ через $d = 0$

$$R_{AO} = 558,5 \Omega.$$

Сопротивление провода А в антенне будет $R_A = R_{AO} + R_{AB} = 398,8 \Omega$ и всей антенны $R_{\Sigma} = R_A + R_B = 2R_A = 797,6 \Omega$.

$$R_{AB} = nR\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + 2(n-1)R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + 2(n-2)R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right) + \dots \\ \dots + 2R\left[\frac{\lambda}{2}, (n-1)\frac{\lambda}{2}\right].$$

ТАБЛИЦА I

h_0	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	R_{Σ}
0	84,7	58,2	74,7	62,0	74,7	58,2	84,7	497,3
$\frac{\lambda}{8}$	65,0	41,8	59,8	43,7	59,8	41,8	65,0	376,8
$\frac{\lambda}{4}$	62,8	44,7	58,8	42,2	58,8	44,7	62,8	374,8
$\frac{3\lambda}{8}$	65,8	50,5	59,0	51,2	59,0	50,5	65,8	401,8
$\frac{\lambda}{2}$	66,4	51,2	55,5	54,4	55,5	51,2	66,4	400,6
∞	64,0	51,2	56,1	53,2	56,1	51,2	64,0	395,6

¹⁾ И вообще, если имеется n этажей,

$$R_{AB} = nR\left(\frac{\lambda}{2}, 0\right) + 2(n-1)R\left(\frac{\lambda}{2}, \frac{\lambda}{2}\right) + 2(n-2)R\left(\frac{\lambda}{2}, \lambda\right) + \dots \\ \dots + 2R\left[\frac{\lambda}{2}, (n-1)\frac{\lambda}{2}\right].$$

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ $R(d, h)$

$d \backslash h$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
0	+73,29	-12,36	+4,08	-1,77	+1,18	-0,75	+0,42	-0,33	+0,21	-0,18	+0,15	-0,12	+0,12	-0,10	+0,06	-0,03
0,5	+26,40	-11,80	+8,83	-5,75	+3,76	-2,79	+1,86	-1,54	+1,08	-0,85	+0,69	-0,57	+0,51	-0,45	+0,36	-0,30
1,0	-4,065	-0,78	+3,56	-6,26	+6,05	-5,67	+4,51	-3,94	+3,08	-2,50	+2,10	-1,80	+1,56	-1,18	+1,14	-1,00
1,5	+1,78	+0,80	-2,92	+1,96	+0,16	-2,40	+3,24	-3,76	+3,68	-3,40	+3,14	-2,90	+2,61	-2,31	+2,06	-1,86
2,0	-0,96	-1,00	+1,13	+0,56	-2,55	+2,74	-2,07	+0,74	+0,51	-1,30	+1,82	-2,24	+2,28	-2,29	+2,26	-2,14
2,5	+0,58	+0,45	-0,42	-0,96	+1,59	-0,28	-1,59	+2,66	-2,49	+2,00	-1,35	+0,49	-0,06	-0,45	+0,85	-1,03
3,0	-0,43	-0,30	+0,13	+0,85	-0,45	-0,10	+1,74	-1,03	-0,09	+1,12	-1,87	+1,77	-2,02	+1,71	-1,32	+0,66

Примечание: d и h даны в долях длины волны λ . Значения $R(d, h)$ -- в омах.

Об излучении вибратора при наличии отражающего провода

А. А. Пистолькорс

1. В практике коротких волн очень часто употребляются так называемые отражающие или зеркальные провода, располагаемые позади антенны, с целью направить излучение в одну сторону. В настоящей статье мы будем рассматривать лишь простейшую систему такого рода, когда имеются всего 2 вибратора, расположенных на одинаковой высоте, причем один из них служит зеркалом, т.-е. не получает энергии непосредственно от передатчика, а только от другого вибратора. В этом случае наиболее интересными для практики являются два вопроса: первый—на каком расстоянии нужно ставить зеркальный провод для получения наилучшего отражающего действия и второй—чему равно сопротивление излучения системы.

Первый вопрос был экспериментально исследован В. В. Татариновым¹⁾, которым наивыгоднейшее расстояние было определено в 0,2 длины волны. Что же касается второго вопроса, то, насколько известно, в технической литературе об этом никаких данных нет. Попытаемся в этой статье применить для исследования вопроса о зеркальном проводе метод наводимых эдс, который был уже нами приложен к исследованию сопротивления излучения направленных антенн²⁾.

При этом исследовании мы будем предполагать наши провода лишенными ваттных потерь, кроме излучения, и удаленными от земли настолько, что влиянием последней можно пренебречь. Практически этого можно достигнуть, расположив провода на расстоянии $\frac{\lambda}{2}$ от земли и выше. Распределение тока в проводах предполагается синусоидальным.

2. Чтобы подойти к вопросу, рассмотрим предварительно систему из двух параллельных проводов одинаковой длины, работающих гармоникой, имеющих разные токи и колеблющихся в разных фазах. Как известно, мощность, излучаемая каждым проводом, складывается из мощности, зависящей от собственного тока, и мощности, наводимой током другого провода:

$$P_{\Sigma} = P_0 + P_d.$$

Случай, когда токи равны и провода колеблются синфазно, уже был разобран в цитированной статье. Тогда

¹⁾ ТиТбп № 32, стр. 534, 1925.

²⁾ ТиТбп № 48, стр. 333, 1928.

$$P_0 = 30 J_0^2 (E + \ln 2 ml + Ci 2 ml) = 30 J_0^2 M_0,$$

$$P_d = 30 J_0^2 [2 Ci md - Ci m (\sqrt{d^2 + l^2} - l) - Ci m (\sqrt{d^2 + l^2} - l)] = 30 J_0^2 M_d.$$

Здесь l — длина каждого провода (кратная полволны), d — расстояние между проводами, $m = \frac{2\pi}{\lambda}$ — пространственная частота, J_0 — сила тока в пучности, Ci обозначает интегральный косинус и $E = 0,577 \dots$ есть Эйлера постоянная.

Предположим теперь, что токи в проводах совпадают по фазе, но имеют различные значения в пучности J_1 и J_2 . Нетрудно видеть, что тогда в выражении для P_d мы получим вместо квадрата тока J_0^2 произведение обоих токов, так что

$$P_d = 30 J_1 J_2 M_d.$$

Мощность от собственного тока в каждом из проводов будет:

$$P_1 = 30 J_1^2 M_0, \quad P_2 = 30 J_2^2 M_0$$

и полная мощность системы будет

$$P_{\Sigma} = [(J_1^2 + J_2^2) M_0 + 2 J_1 J_2 M_d].$$

3. Переходим теперь к сдвигу фаз. Положим, что ток во втором проводе отстает по времени на угол ψ так, что мгновенные значения токов в пучности будут

$$i_1 = J_1 \sin \omega t \text{ и } i_2 = J_2 \sin (\omega t - \psi).$$

Рассмотрим сперва мощность, излучаемую вторым проводом, и, в частности, ту ее слагающую P_d , которая наводится током другого (первого) провода.

Из предыдущей статьи известно, что

$$P_d = - \int_0^l E_d J_x \cos \varphi dx,$$

где E_d — напряжение поля I провода в точке x , J_x — сила тока II провода в той же точке и φ — угол сдвига фаз между этими величинами.

Мгновенное значение напряжения поля (составляющая параллельная проводу) будет:

$$e_d = 30 J_1 \left[\frac{\cos ml \cos (\omega t - mr_{e-x})}{r_{e-x}} - \frac{\cos (\omega t - mr_x)}{r_x} \right]^1,$$

или, полагая $30 J_1 \frac{\cos ml}{r_{l-x}} = E'$ и $\frac{30 J_1}{r_x} = E''$,

$$e_d = E' \cos (\omega t - mr_{l-x}) - E'' \cos (\omega t - mr_x).$$

¹⁾ Здесь $r_x = \sqrt{d^2 + x^2}$ и $r_{l-x} = \sqrt{d^2 + (l-x)^2}$; обозначения взяты из предыдущей статьи.

Поэтому

$$P_d = - \int_0^l J_x E' \cos \varphi' dx + \int_0^l J_x E'' \cos \varphi'' dx.$$

Будем искать углы φ' и φ'' , помня, что i_2 отстает от i_1 на угол ψ .

Так как $\cos(\omega t - m r_{l-x}) = \sin\left(\frac{\pi}{2} + \omega t - m r_x\right)$, то $\varphi' = \frac{\pi}{2} - m r_x + \psi$; $\cos \varphi' = \sin(m r_{l-x} - \psi)$.

Аналогично $\cos \varphi'' = \sin(m r_x - \psi)$ и мощность, наводимая первым проводом на второй, будет

$$P_{21} = 30 J_1 J_2 \int_0^l \left[\frac{\sin(m r_{l-x} - \psi)}{r_{l-x}} \cos m l - \frac{\sin(m r_x - \psi)}{r_x} \right] \sin m x dx,$$

или, после интегрирования,

$$P_{21} = 30 J_1 J_2 [M \cos \psi - N \sin \psi],$$

где

$$\begin{aligned} M &= 2 C i m d - C i m (\sqrt{d^2 + l^2} + l) - C i m (\sqrt{d^2 + l^2} - l), \\ N &= -2 S i m d + S i m (\sqrt{d^2 + l^2} + l) + S i m (\sqrt{d^2 + l^2} - l). \end{aligned} \quad (1_a)$$

Мощность излучения, наводимая вторым проводом на первый, будет

$$P_{12} = 30 J_1 J_2 (M \cos \psi + N \sin \psi), \quad (1_b)$$

т. к. ток i_1 опережает i_2 на угол ψ .

Полная мощность излучения системы будет

$$P_{\Sigma} = 30 [M_0 (J_1^2 + J_2^2) + 2 J_1 J_2 M \cos \psi]. \quad (2)$$

Выведенные выражения позволяют вычислить мощность излучения системы из любого числа параллельных вибраторов (расположенных на одинаковой высоте), токи в которых имеют различную величину и фазу. Метод вычисления будет аналогичен тому, который дан для синфазных проводов в цитированной выше статье.

4. Пусть теперь имеется система из двух вибраторов — одного, питаемого извне, второго — зеркального.

Мощность, излучаемая основным вибратором, будет

$$P_1 = P_{10} + P_{12} = 30 J_1^2 M_0 + 30 J_1 J_2 (M \cos \psi + N \sin \psi). \quad (3)$$

Т. к. другого источника энергии нет, то это будет мощностью всей системы.

Баланс мощности в отражающем проводе, если пренебречь всеми потерями, кроме излучения, напишется так:

$$P_2 = P_{20} + P_{21} = 30 J_2^2 M_0 + 30 J_1 J_2 (M \cos \psi - N \sin \psi) = 0. \quad (4)$$

Ток в зеркальном проводе будет:

$$J_2 = -\frac{J_1}{M_0} (M \cos \psi - N \sin \psi), \quad (5)$$

и мощность излучения системы:

$$P_{\Sigma} = \frac{30 I_1^2}{M_0} (M_0^2 - M^2 \cos^2 \psi + N^2 \sin^2 \psi). \quad (6)$$

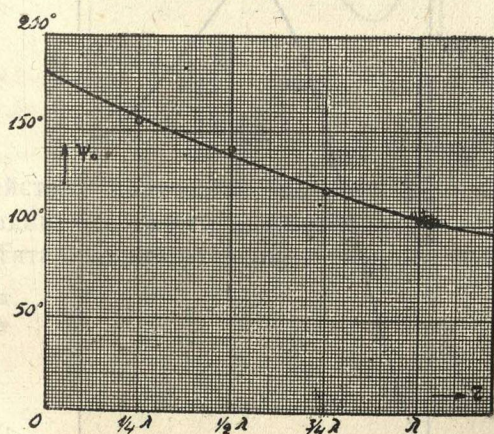
Мощность, наводимая вибратором в зеркале

$$P_{21} = \frac{30 I_1^2}{M_0} (M \cos \psi - N \sin \psi)^2. \quad (7)$$

Формулы эти будут справедливы как для вибраторов, так и для проводов, работающих гармоникой. Кроме того, аналогичным путем могут быть получены формулы для многоэтажных проводов (из синфазных вибраторов).

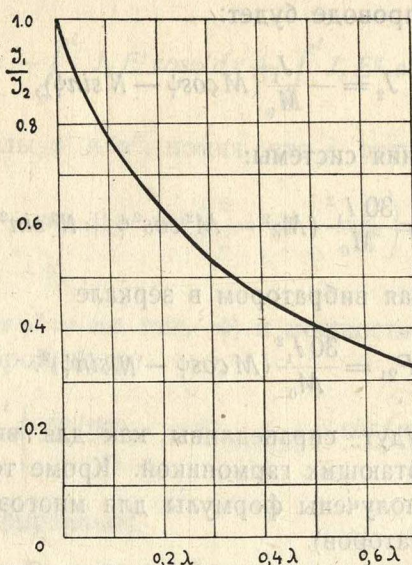
Однако полный расчет зеркальной системы требует знания угла сдвига фаз ψ , который пока может быть определен только экспериментально. Это определение может быть сделано или по методу В. В. Татарина, или косвенно из сравнения токов в основном и отражающем проводах на основании форм. (5). При этом следует помнить, что последний метод будет тем вернее, чем меньше ваттные потери в проводах.

Возвращаясь к системе вибраторов, заметим, что в упомянутой статье В. В. Татарина имеется кривая изменения угла $\psi_0 = \psi - 2\pi d$ в за-



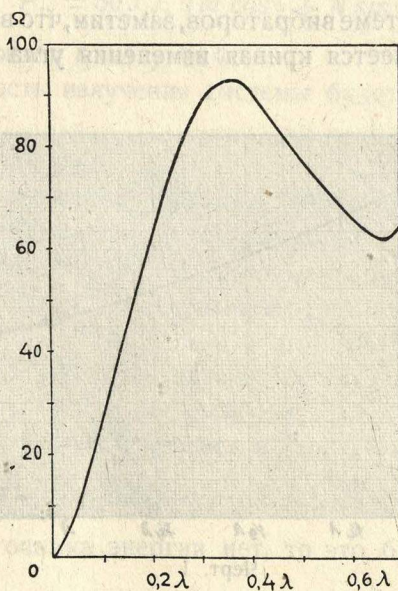
Черт. 1

висимости от расстояния между вибраторами d , воспроизводимая нами с разрешения автора (черт. 1). Ею можно воспользоваться для вычислений. На черт. 2 приведена полученная т. обр. кривая со-



Черт. 2

отношения сил токов в проводах ($\frac{I_2}{I_1}$) в зависимости от расстояния между ними, а на черт. 3 аналогичная кривая для сопротивления излучения системы (отнесенного к току в пучности основного провода).



Черт. 3

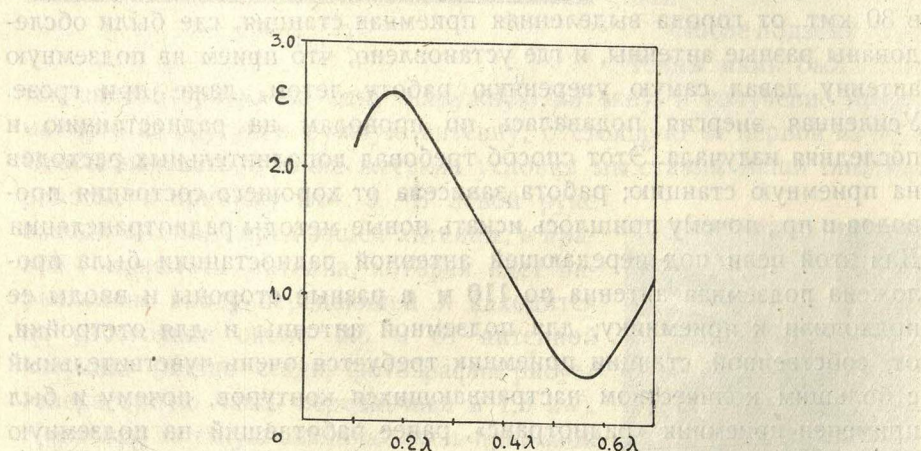
5. Чтобы судить о степени направленного действия системы, заметим, что напряжение поля E в удаленной точке при наличии

зеркала представится в виде геометрической суммы векторов E_1 и E_2 , зависящих от токов I_1 и I_2 и сдвинутых по фазе на угол $\psi + 2\pi d$. Пусть теперь в этой удаленной точке имеется приемник. Энергия, поглощаемая им, будет пропорциональна квадрату напряжения поля. Мы можем за меру направленного действия взять *отношение энергии, поглощаемой приемником, к энергии, излучаемой системой*, подобрав параметры так, чтобы отношение это для случая одиночного вибратора равнялось 1. Эту величину

$$\mathcal{E} = k \frac{E^2}{W_{\Sigma}}$$

будем называть коэффициентом направленного действия антенной системы.

На черт. 4 приведена кривая изменения $\mathcal{E}$ для системы с зеркалом в зависимости от расстояния между проводами. Максимум на-



Черт. 4

правленного действия получается при расстоянии около $0,2\lambda$, где $\mathcal{E} \cong 2,5$. Как видим, это расстояние совпадает с тем, которое было найдено В. В. Татариновым экспериментальным путем.

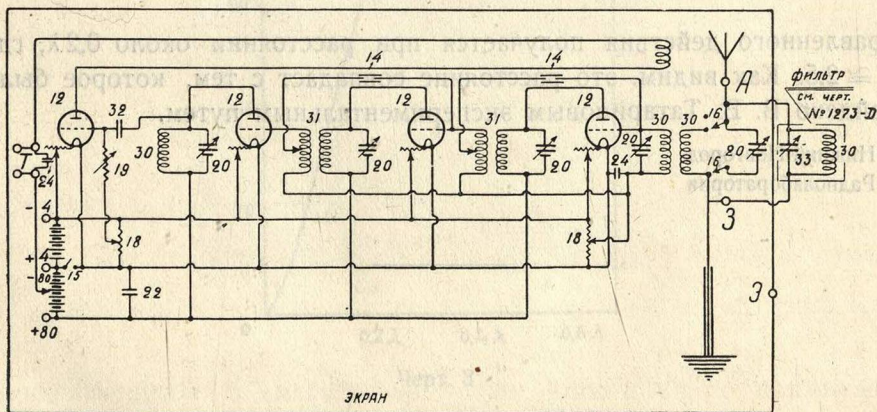
Нижний-Новгород
Радиолaborатория

Радиотрансляция и прием на „горячую“ антенну

Инж. В. А. Павлов

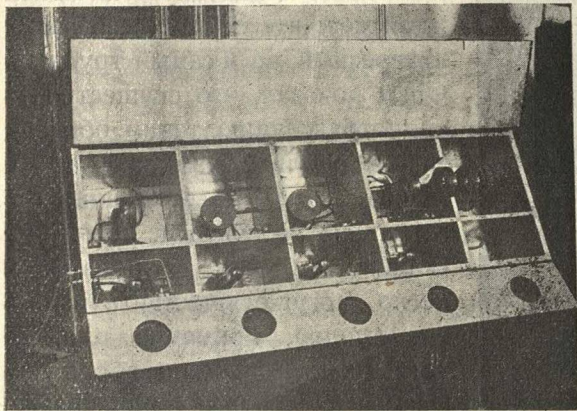
Такое необычное название введено нами для обозначения приема и передачи в одно и то же время на одну и ту же систему антенн, т.-е. при радиотрансляциях. Вопрос о последних играет для Союза огромную роль, ибо не проволока, а радиотрансляция должна связать окраины с центром; вот почему мною и разработан своеобразный метод и приемник, позволяющий без больших затрат осуществлять радиотрансляцию.

История работ по радиотрансляции при радиостанции им. Лещинского вкратце заключалась в следующем. Сначала была устроена в 30 км от города выделенная приемная станция, где были обследованы разные антенны, и где установлено, что прием на подземную антенну давал самую уверенную работу летом, даже при грозе. Усиленная энергия подавалась по проводам на радиостанцию и последняя излучала. Этот способ требовал дополнительных расходов на приемную станцию; работа зависела от хорошего состояния проводов и пр., почему пришлось искать новые методы радиотрансляции. Для этой цели под передающей антенной радиостанции была проложена подземная антенна по 110 м в разные стороны и вводы ее подходили к приемнику; для подземной антенны и для отстройки, от собственной станции приемник требуется очень чувствительный с большим количеством настраивающихся контуров, почему и был применен приемник «радиотранс», ранее работавший на подземную антенну и сконструированный для радиотрансляций.



Черт. 1

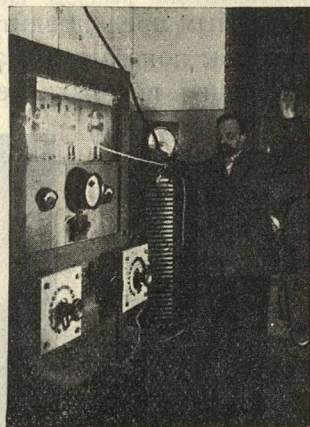
Как видно из схемы черт. 1 и фот. 2, приемник нейтродинного типа разбит на ячейки и бронирован для уменьшения вредного взаимодействия отдельных элементов. Работа по радиотрансляции



Фот. 2

в этих условиях дала также очень хорошие результаты. Прием на подземную антенну был совершенно обеспечен и местная станция совершенно не мешала и не была слышна, т.е. можно было слушать или местную станцию, или другие станции при работе местной станции.

После подземной антенны нами был испытан способ приема на одну наружную антенну и излучение принимаемого на другую наружную антенну, отстоящую от первой на 40 м. Чтобы показать, в какие жесткие условия мы ставим наши опытные работы, я привожу фот. 3. В левой руке находится ввод передающей антенны, в правой — приемная антенна, которая идет параллельно вводу передающей и находится на расстоянии около 0,5 м от антенной катушки (видна сзади; фотография рисует генераторную часть передатчика в 1,8 kw). Несмотря на такую сильную связь приемной антенны с передатчиком, отстройка получается абсолютно полной и местная станция не мешает приему других станций. Этот способ также дает возможность применить радиотрансляцию местными станциями, где невозможно проложить подземную антенну, но где представляется допустимым устройство второй антенны.



Фот.3

Удовлетворительное разрешение предыдущих способов радиотрансляции натолкнуло на мысль осуществить таковую на одну и ту же антенну, что значительно упростило бы как вопрос об антеннах, так и вопрос обслуживания приемной части. Для осуществления этой задачи была подвешена приемная антенна непосредственно под передающей, сначала на 5 м, а затем на 3 м под нею, что видно из фот. 4.



Фот. 4

Здесь A, B есть передающая антенна, а C, D —приемная антенна. Как видно, обе антенны почти параллельны и находятся на одной и той же мачте. Этот способ самый интересный, но и самый трудный. Опыт показал, что осуществлять радиотрансляцию таким образом также вполне возможно, а это значит, что местные станции без затрат на выделенные приемные станции и уход за проводами легко смогут осуществить радиотрансляцию, применив один из указанных способов и собрав указанный приемник «радиотранс». Для сравнения работ других приемников были испытаны многие, как например Б. Ч., американский супер и др.; но ни один из них не мог работать в перечисленных условиях, почему я считаю не-

обходимым предупредить работающих, дабы предотвратить неудачу.

Чтобы показать, в каких жестких условиях происходила радиотрансляция по последнему методу, я привожу фот. 5. Как видно из фотографии, приемник помещается рядом с передатчиком, в данном случае рядом с модуляторной его частью, и глубина модуляции, а также и чистота передачи управляется непосредственно приемником.



Фот. 5

Этот последний способ и назван мною работой на «горячую» антенну, для того чтобы предостеречь работающих от ожогов, которые можно получить от приемной антенны, так как в ней, благодаря близости передающей антенны, индуцируется большой ток

высокой частоты и прием производится при $1\frac{1}{2}$ А высокой частоты в приемной антенне. Вся работа радиотрансляции производится след. образом. Подбирают элементы фильтра таким образом, чтобы он был настроен на волну собственной станции; после этого пускается передатчик и во время его работы (когда передающая антенна излучает) производят прием желательной станции; получив нужную чистоту и громкость, включают приемник на модулятор, а для контроля работы слушают на детектор уже свою станцию и по контролю подстраивают приемник. Надо еще раз подчеркнуть, что все части приемника имеют высокую частоту, а поэтому обращаться с ним надо весьма осторожно. Настройку приемника надо обязательно вести при генерирующем передатчике, иначе, поймав станцию без этого, и затем включив передатчик, можно совсем не получить слышимости, ибо будет произведена расстройка.

Для обследования последнего метода мы меняли длину волны своей станции в больших пределах, что совсем не сказывалось на результате приема. Во время работ ст. им. Лещинского этим методом принимались и передавались как русские станции, так и заграничные с одинаковым результатом.

По имеющимся у нас сведениям, некоторые местные станции уже производят радиотрансляцию по одному из указанных способов и сообщают о хороших результатах. Было бы весьма желательным, чтобы местные работники делились своими результатами с опытной станцией им. Лещинского при Нижегородской радиолaborатории, где вопросы радиотрансляции продолжают разрабатываться.

Н - Новгород
Радиолaborатория

Схемы многофазного выпрямления¹⁾

Инж. А. М. Кугушев

Известные в настоящее время схемы для выпрямления переменного тока можно разбить на следующие три категории:

1. Параллельная или однополупериодная—черт. 1а²⁾),
2. Последовательная или двухполупериодная—черт. 1б).
3. Схема Латура.

Как источник питания мощных катодных генераторов, следует рассматривать только первые две. Третья в этом смысле не интересна, ибо она может оправдать себя лишь, как источник больших напряжений и небольших мощностей порядка единиц киловатт.

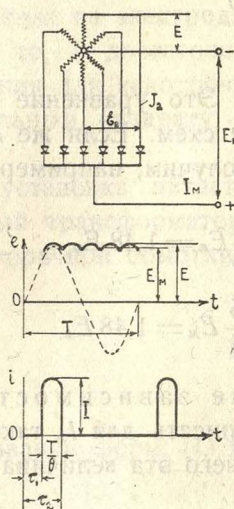
Для мощных установок первая схема в настоящее время является наиболее распространенной, тогда как вторая схема, насколько известно автору, практическое применение для ламповых генераторов получила лишь в самое последнее время в установках Нижегородской Радиолaborатории, а в частности на радиостанции «Новый Коминтерн» и на нескольких 1 kw радиостанциях т. н. типа «Малый Коминтерн».

Несмотря на то, что последовательная схема является сама по себе схемой давно известной, как схема Греца для однофазного и трехфазного тока (см. напр. K. Riemenschneider и E. Welter «Electrische Umformer и Gleichrichter» 1915 г., стр. 217), и несмотря на некоторые весьма существенные преимущества перед первой схемой, она не получила должного распространения в радиотехнике в силу, видимо, случайных причин. К таковым, вероятно, следует отнести невозможность при ней многофазного выпрямления с одним катодом, что как раз удобно делать при первой (параллельной) схеме.

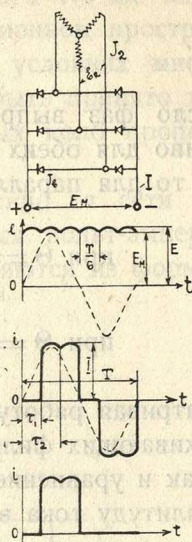
Основным признаком различия разбираемых схем является форма фазового тока сети (или тр—ра), питающего вентиля. В параллельной схеме этот ток пульсирует, т.-е., являясь непостоянным по мгновенным значениям, течет, однако, все время в одном направлении (черт. 1а). В последовательной схеме фазовый ток будет обязательно переменным, т.-е. идущим в течение обоих, хотя и неполных, полупериодов (черт. 1б). Кроме того для первой схемы необходимо наличие нулевой точки на стороне переменного тока.

¹⁾ Доложено на Всесоюзной электротехнической конференции в Ленинграде 10 марта 1928 г.

²⁾ На чертеже дан частный случай шестифазного выпрямления.



Черт. 1a



Черт. 1b

§ 1. Исследование параллельных схем. Выгода той или иной схемы должна рассматриваться с точки зрения режима трансформатора и вентилей, входящих в выпрямительную установку, поэтому здесь необходимо начать с его рассмотрения.

Для этой цели найдем соотношение между напряжением, током и мощностью в цепи выпрямленного, с одной стороны, и с такими же величинами в цепи переменного тока (до вентилей), с другой стороны.

Введем обозначения (см. черт. 1).

E_m — среднее арифметическое значение напряжения выпрямленного тока;

I_m — среднее арифметическое значение выпрямленного тока;

$W_m = E_m I_m$ — мощность в цепи постоянного тока; рассматривается также в виде среднего арифметического значения, так как в конечном счете, благодаря сглаживанию, применительно к целям радиотехники нас может интересовать только таковая;

E и I — соответственно амплитудные значения;

E_2, J_2 — эффективные значения напряжения и тока сети или вторичной обмотки трансформатора, работающего на выпрямительную установку, при чем E_2 измеряется как наибольшее линейное. Дальше мы будем для упрощения рассматривать случай, когда питающая сеть переменного тока имеет эдс чистой синусоидальной формы, а вентили не искажают форму тока, идущего через них.

Напряжение E_m может быть связано с амплитудой E в виде:

$$E = \frac{E_m}{\frac{\Theta}{\pi} \sin \frac{\pi}{\Theta}}, \quad (1)$$

где Θ число фаз выпрямленного тока. Это уравнение одинаково справедливо для обеих указанных выше схем. Если же E заменить через $\mathcal{E}_2$, то для параллельной схемы получим, например,

$$\text{при } \Theta = 6 \quad \mathcal{E}_2 = \frac{\sqrt{2}}{0,955} E_m = 1,48 E_m,$$

$$\text{при } \Theta = 3 \quad \mathcal{E}_2 = \frac{\sqrt{1,5}}{0,826} E_m = 1,48 E_m.$$

Рассматривая работу выпрямителя вне зависимости от наличия сглаживающих фильтров, можно написать для I_m такое же уравнение, как и уравнение (1), вследствие чего эта величина выразится через амплитуду тока в виде:

$$I_m = I \frac{\Theta}{\pi} \sin \frac{\pi}{\Theta}. \quad (2')$$

Фазный ток J_2 для параллельной схемы, (черт. 1а), может быть найден из решения следующего интеграла:

$$J_2^2 = \frac{I^2}{2\pi} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \sin^2 \omega t \, dt. \quad (2''')$$

Нетрудно видеть, что

$$\tau_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{\Theta}, \quad \tau_2 = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{\Theta}$$

и тогда решение получается в виде

$$J_2 = \frac{I}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\Theta} + \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{\Theta}}. \quad (2'')$$

Заменив в полученном выражении I из (2'), будем иметь

$$J_2 = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{\Theta \sin^2 \frac{\pi}{\Theta}} + \frac{1}{\pi \cdot \text{tg} \frac{\pi}{\Theta}}}. \quad (2)$$

Полученные формулы позволяют, с одной стороны, выбрать необходимый трансформатор для установки, и с другой стороны, представить те условия, в которых будет работать вентиль как в смысле величины «обратного» вольтажа, так и в смысле величины тока, который он должен пропустить. Квадратичные значения тока для

¹⁾ См. ТиТбп № 26, стр. 412, 1924.

обмоток тр—ра и выводов вентиля понятны, а что же касается выделения тепла на электродах вентиля и в ионном пространстве последнего, то, с достаточной точностью в условиях многофазного выпрямления для кенотронов, оно может быть принято также пропорциональным квадрату J_2 , а для ртутных колб пропорциональным I_m .

Если установка питается непосредственно от сети или через переходный трансформатор, то требующиеся вольт-амперы от нее или от вторичной обмотки тр—ра определяются из формулы:

$$W_2 = \Theta \cdot \frac{E}{\sqrt{2}} \cdot J_2,$$

а на основании форм. (1) и (2)

$$W_2 = \left(\frac{\pi^2}{2 \cdot \Theta \sin \frac{\pi}{\Theta}} \sqrt{\frac{1}{\Theta \sin^2 \frac{\pi}{\Theta}} + \frac{1}{\pi \operatorname{tg} \frac{\pi}{\Theta}}} \right) \cdot W_m. \quad (3)$$

Обозначая выражение в скобках через ϕ , перепишем форм. (3) в виде

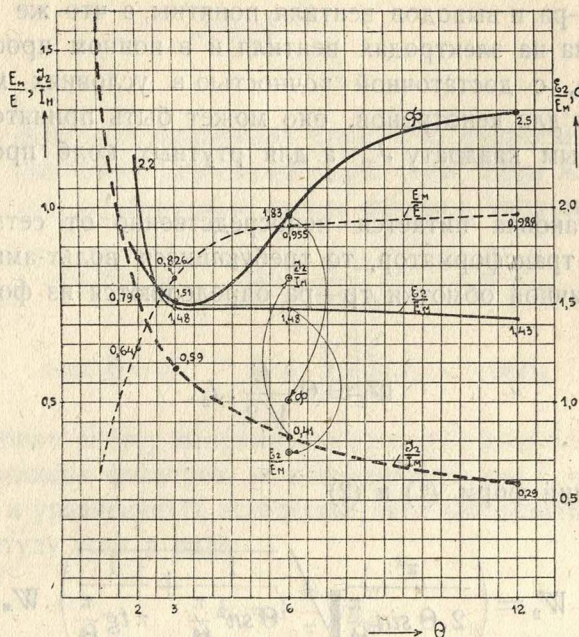
$$W_2 = \phi \cdot W_m.$$

Назовем обратную величину множителя ϕ коэффициентом использования мощности в отличие от коэффициента мощности, обусловливаемого сдвигом фаз между током и напряжением.

В данном случае, когда нет сглаживающих фильтров и магнитного рассеивания у тр—ра, сдвига фаз наблюдаться не должно и различие между W_2 и W_m обуславливается, как видно из предыдущих выкладок, с одной стороны, прохождением фазового тока лишь в течение небольшой доли всего периода и, с другой стороны, тем, что W_m — среднее арифметическое, а W_2 — эффективное значение мощности. Однако полезно заметить, что при многофазном выпрямлении, например, при $\Theta = 6$, разница между средней квадратичной и средней арифметической мощностью не составляет более 1%.

Необходимо оговориться также в том, что при питании вентиля через трансформатор величина коэффициента использования мощности для подводящих проводов, первичной и вторичной обмоток будут между собою различны в зависимости от схемы тр—ра и числа фаз. В книжке «Wissenschaftl. Siemens-Konzern» ч. 3, стр. 59, 1923/24 г. приведен ряд соответствующих значений для этой величины.

На черт. 2 графически представлены отношения



Черт. 2

$$\frac{E_2}{E_H}, \quad \frac{J_2}{J_H}, \quad \frac{W_2}{W_H}$$

в зависимости от числа фаз выпрямляемого тока при параллельной схеме.

§ 2. Исследование последовательной схемы. Переходя к рассмотрению указанных выражений для случая последовательной схемы, отметим первоначально то обстоятельство, что, благодаря наличию двухполупериодного процесса выпрямления, кривая выпрямленного тока будет иметь двойное число выпрямленных фаз против числа фаз подводимого к установке переменного тока. Так, например, трехфазная схема, указанная на черт. 1b, дает шестифазную кривую выпрямленного тока.

Для мощных установок наибольший интерес представляет лишь трехфазное питание, а потому определим искомые соотношения токов и напряжений только для этого случая.

Из форм. (1) выводим применительно к черт. 1b

$$E_2 = \frac{E_H}{0,955} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0,74 E_H \quad (a)$$

Теоретические осциллограммы тока J_2 и J_b изображены на черт. 1b

Аналогично предыдущему имеем:

$$J_2^2 = \frac{4 \cdot I^2}{2\pi} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \sin^2 \omega t dt,$$

что в данном случае дает по форм. (2'')

$$J_2 = 0,781 \cdot I,$$

или при условии, что в цепи выпрямленного тока нет самоиндукции и емкости, будем иметь:

$$J_2 = \frac{0,781}{0,955} I_m = 0,817 \cdot I_m. \quad (б)$$

Если искать J_b — ток через вентиль, то в приведенном интеграле четверку следует заменить двойкой, что в свою очередь даст

$$J_b = \frac{J_2}{\sqrt{2}} = 0,578 I_m. \quad (в)$$

Переходя к коэффициенту использования мощности, находим, что вольт-амперы, требующиеся от сети или переходного тр—ра, будут определяться величиной:

$$W_2 = \varepsilon_2 \cdot J_2 \cdot \sqrt{3} \cong 1,05 W_m. \quad (г)$$

Как видим, коэфф. использования при этой схеме немногим менее единицы.

§ 3. Сравнительная оценка параллельной и последовательной схем. На черт. 2 для $\theta = 6$ в виде точек с кружечками показаны соответствующие значения из равенств (а), (б) и (г). Это позволяет сравнить обе схемы, параллельную и последовательную, в отношении интересующих нас величин. Прежде всего, касаясь расчетной мощности сети или переходного тр—ра, отметим, что для второй схемы она в $\frac{1,83}{1,05} = 1,75$ раза меньше, чем для первой при том же значении θ , и почти соответствует средней арифметической мощности выпрямленного тока.

Далее, линейное напряжение сети или обмоток тр—ра, включаемых на вентиль при последовательной схеме, ровно в два раза меньше, чем при параллельной. Это обстоятельство при высоких напряжениях в постоянном токе значительно удешевляет сам тр—р, но, более того, оно ценно для вентиля: как при ртутных колбах, так и при кенотронах, ибо облегчает их режим, затрудняя возникновение обратного зажигания или выделение газа.

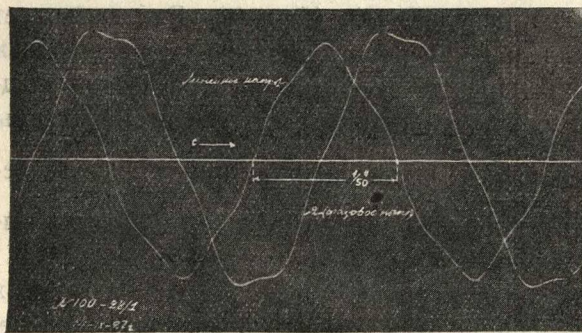
Переходя теперь к току через вентиль, мы видим, что последовательная схема дает большее его эффективное значение; это обстоятельство вызывает усиление выводов, что само по себе едва ли может иметь сколько-нибудь большое практическое значение. Что касается эмиссии кенотрона и падения напряжения в нем, то они, определяясь амплитудой выпрямленного тока, остаются такими

же, как и при параллельной схеме. Потеря энергии в вентилях из-за тока, конечно, будет больше в последовательной схеме, но особенно при ртутных колбах, это опять таки не представляет большого значения ввиду вообще ее относительно малой величины, а при кенотронах, где потери, наоборот, велики, этот недостаток, а также и двойное внутреннее падение вольтажа во всей схеме, могут быть скомпенсированы для частных случаев преимуществами последовательной схемы в отношении коэффициента использования мощности и линейного напряжения на кенотронах.

Ради объективности отметим еще конструктивный недостаток последовательной схемы, выражающийся в том, что при ртутных выпрямителях в ней нельзя обойтись одной колбой, а необходимо минимум четыре. Однако следует сказать, что для мощных установок это не может иметь существенного значения уже по одному тому, что высоковольтную колбу все равно практически трудно осуществить на единичную мощность больше 100 kw.

§ 4. Питание несинусоидальным током. Необходимо указать на особенности работы той и другой схемы при питании несинусоидальным током.

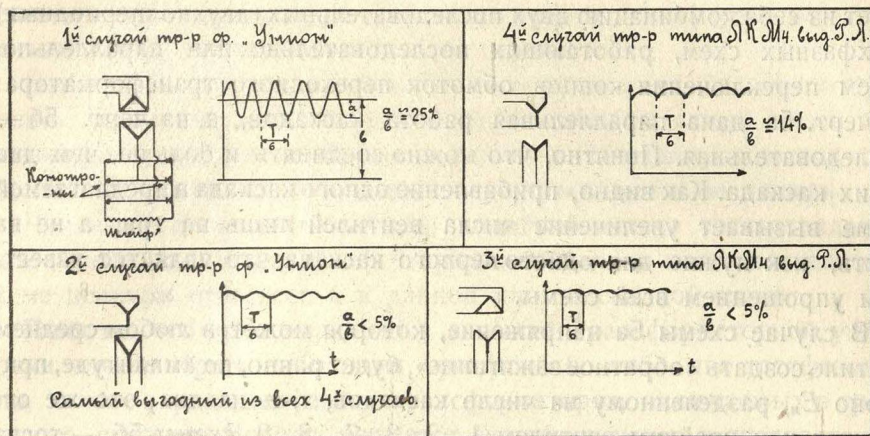
Очень часто на практике бывает, что фазовое напряжение сети содержит третью гармонику. В линейном напряжении она будет отсутствовать, и тогда обе кривые приобретают различную форму, например: фазовая — тупую, а линейная — острую вершину (см. фот. 3).



Фот. 3

Для определения формы кривой выпрямленного тока при последовательной схеме следует принимать в расчет кривую линейного напряжения, т.е. следует считать, что нагрузка в виде вентиля включена треугольником. При параллельной схеме с нулем следует считаться, наоборот, с формой фазового напряжения.

Отсюда вытекает, что, если требуется осуществить выпрямительную установку при наличии вышеуказанных напряжений в питающей сети, то в случае последовательной схемы выпрямления одну из обмоток переходного трансформатора надо соединить звездой, а другую — треугольником. Тогда третья гармоника будет во вторичном линейном напряжении, т.е. кривая приобретет притупленную форму, а пульсация выпрямленного тока — наименьшую амплитуду.

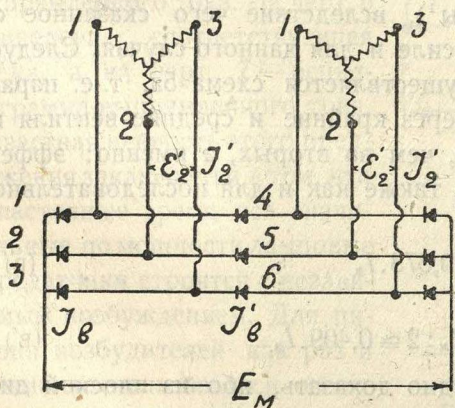


Черт. 5

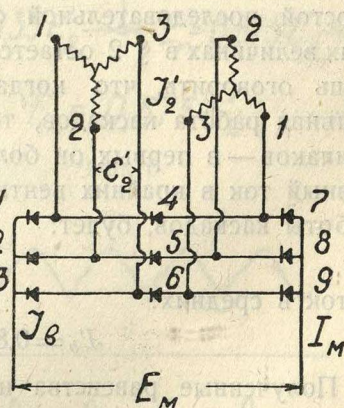
Подтверждением этому выводу может служить черт. 4, на котором приведен ряд соответствующих осциллограмм с указанием примененных схем.

При параллельной схеме выпрямления, в переходном трансформаторе здесь нельзя было бы допустить соединения треугольником.

§ 5. Многокаскадная шестифазная схема¹⁾. С целью повысить еще больше качества последовательной (двухполупериодной) схемы и тем самым удовлетворить требованиям, которые возникают при постройке мощных установок, можно воспользоваться последовательным или параллельным, смотря по надобности, соединением нескольких каскадов, состоящих из таких же схем. При этом оказывается, что возможно получить некоторые упрощения всей схемы. Так, например, схема, изображенная на черт. 5, принципиально предста-



Черт. 5а



Черт. 5б

¹⁾ Заявочное свидетельство № 26123, выданн. М. А. Бонч-Бруевичу и А. М. Ку-гушеву.

влетает из себя комбинацию двух последовательных (двухполпериодных) трехфазных схем, работающих последовательно или параллельно, путем переключения концов обмоток переходного трансформатора: на черт. 5а дана параллельная работа каскадов, а на черт. 5б — последовательная. Понятно, что можно соединять и больше, чем два таких каскада. Как видно, прибавление одного каскада в предлагаемой схеме вызывает увеличение числа вентилях лишь на три, а не на шесть, как нужно для одного первого каскада, что является известным упрощением всей схемы.

В случае схемы 5а напряжение, которое может в любом среднем вентиле создать «обратное зажигание», будет равно, по амплитуде, примерно E_m , разделенному на число каскадов, т.е. на два; это же относится и к крайним вентилям 1, 2, 3, 7, 8, 9 схемы 5б, — тогда как для средних вентилях ее оно будет в два раза больше.

Переходя к выводу соотношения напряжений, укажем, что в нашей схеме (черт. 5) кривая выпрямленного тока естественно должна иметь шестифазную форму, как и в случае однокаскадной схемы, разобранный в § 2.

Связь между E_m и E_2 на основании предыдущих исследований может быть выражена для новой схемы черт. 5б в виде:

$$E'_2 = \frac{E_m}{2\sqrt{2} \cdot 0,955} = 0,37 E_m, \quad (a)$$

а для параллельной работы каскадов (черт. 5а)

$$E'_2 = 0,74 E_m. \quad (a')$$

Соотношение токов и коэффициент использования мощности сети или переходных трансформаторов остаются такими же, как и для простой последовательной схемы¹⁾, вследствие чего сказанное об этих величинах в § 2 остается в силе и для данного случая. Следует лишь оговорить, что когда осуществляется схема 5а, т.е. параллельная работа каскадов, ток через крайние и средние вентиля не одинаков — в первых он больше, чем во вторых, а именно: эффективный ток в крайних вентилях, также как и для последовательной работы каскадов, будет:

$$J_b = 0,578 \cdot I_m \quad (b)$$

а ток в средних:

$$J'_b = 0,817 \cdot I_m : 2 \cong 0,409 \cdot I_m \quad (b')$$

Полученные равенства нетрудно доказать, ибо из плоской диаграммы токов через вентиля можно было бы видеть, что в крайних

¹⁾ Разумеется, что при схеме черт. 5а

$$J'_2 = (0,817 \cdot I_m) : 2 \cong 0,409 \cdot I_m$$

вентильях по сравнению со средними больше амплитуда, но зато меньше время прохождения тока за период.

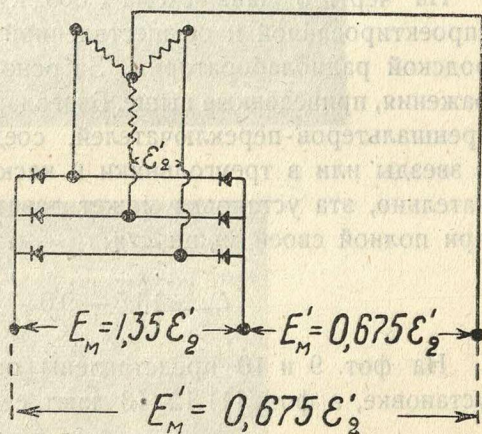
Эта небольшая неравномерность в нагрузке вентилей может требовать различных колб, однако главная ценность новой схемы заключается в последовательном соединении каскадов, а потому существенного значения отмеченный недостаток иметь не должен.

Что касается вопроса питания подобной схемы несинусоидальным током, то сказанное в § 4 применительно к последовательной схеме целиком относится и к данной многокаскадной схеме.

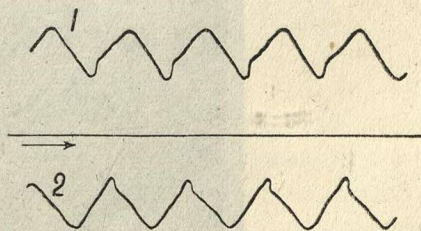
Понятно, что принципиально в качестве трансформаторной установки можно брать либо один трехфазный, либо два трехфазных или, наконец, ряд однофазных трансформаторов, включаемых в трехфазную систему. Вопрос решается экономическими и эксплуатационными соображениями за исключением того момента, когда по-является опасность возбудить с невыгодной фазой третью гармонику.

Все расчеты для предлагаемой схемы, как в смысле соотношения токов и напряжений, так и в смысле кривой выпрямленного тока, подтвердились на опытах, произведенных с 3-киловаттной моделью такого выпрямителя. В качестве питающего трансформатора был один трехфазный, у которого вторичная

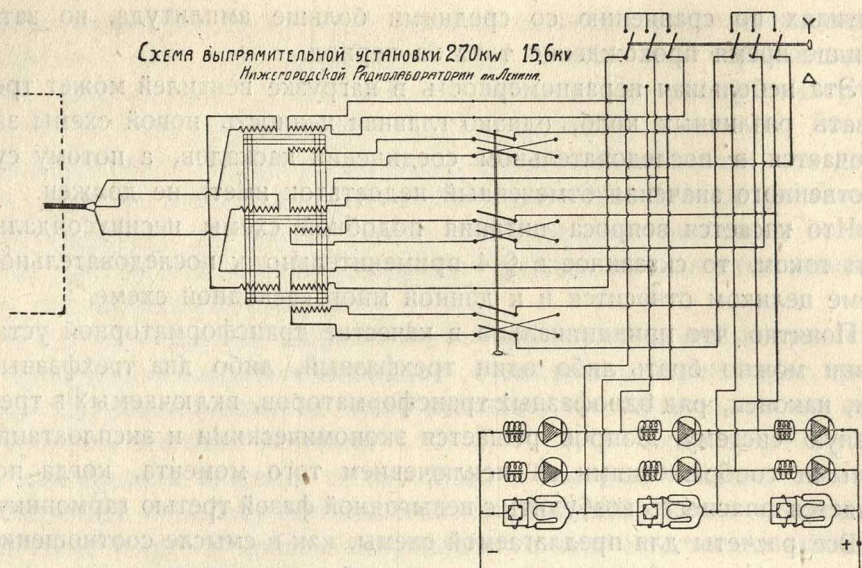
обмотка имела две уединенных электрически друг от друга половины. Предлагаемая схема, как и однокаскадная, обладает способностью давать одновременно, без особых дополнительных устройств пониженный вольтаж с трехфазной кривой выпрямленного тока. На черт. 6 приведена соответствующая схема, а на черт. 7 — оциллограмма выпрямленного тока. Известная ценность этого предложения заключается в том, что в настоящее время все значительные по мощности ламповые передатчики строятся с независимым возбуждением. Для питания возбуждителей как раз и можно воспользоваться ответвленным пониженным напряжением, полученным указанным образом, не уменьшая при этом КПД всей установки.



Черт. 6



Черт. 7

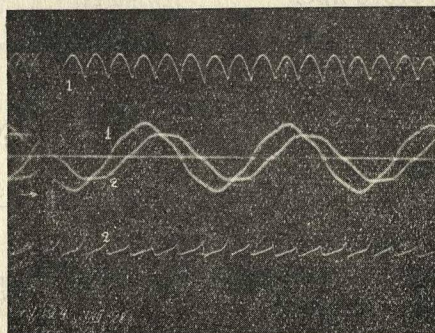


Черт. 8

На черт. 8 дана схема 300 квт выпрямительной установки, спроектированной и осуществленной для собственных нужд Нижегородской радиолaborатории. За основу, как видно, положены соображения, приведенные выше. Благодаря наличию двух шестиполусных трензальтеров-переключателей, соединяющих вторичные обмотки в звезды или в треугольники и каскады параллельно или последовательно, эта установка может давать следующие четыре вольтажа при полной своей мощности:

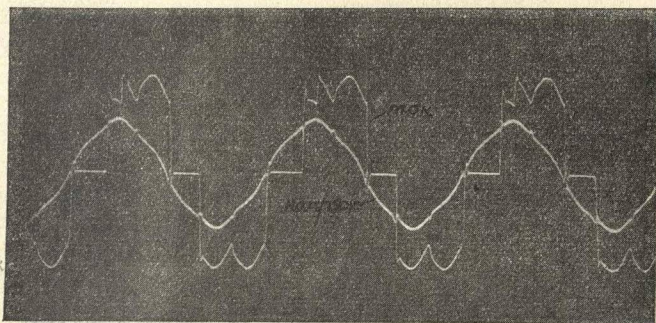
$$E_{\text{ж}} = 15,5 - 9,0 - 7,8 - 4,5 \text{ kV.}$$

На фот. 9 и 10 представлены осциллограммы, снятые на этой установке, а фот. 11, 12, 13 дают ее внешний вид.

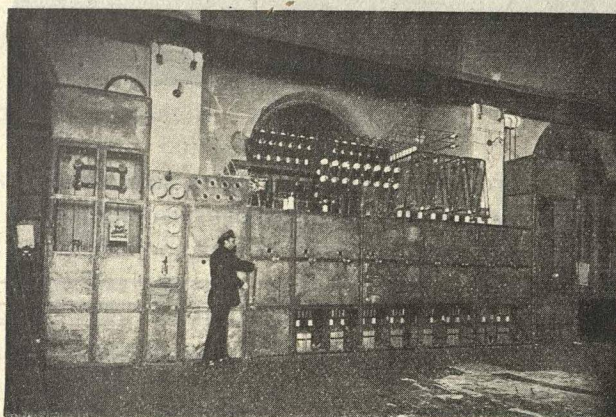


Фот. 9

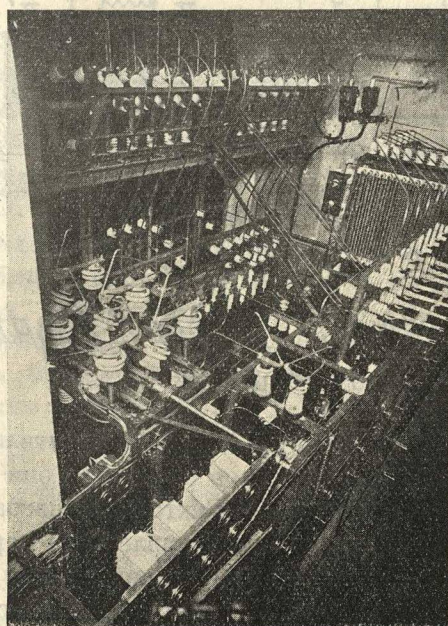
Фот. 10

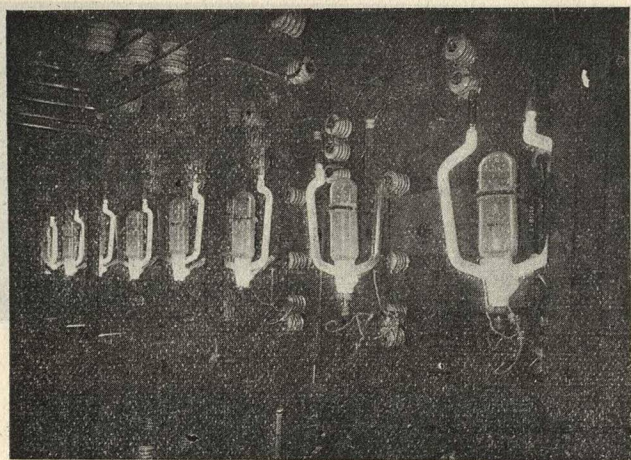


Фот. 11



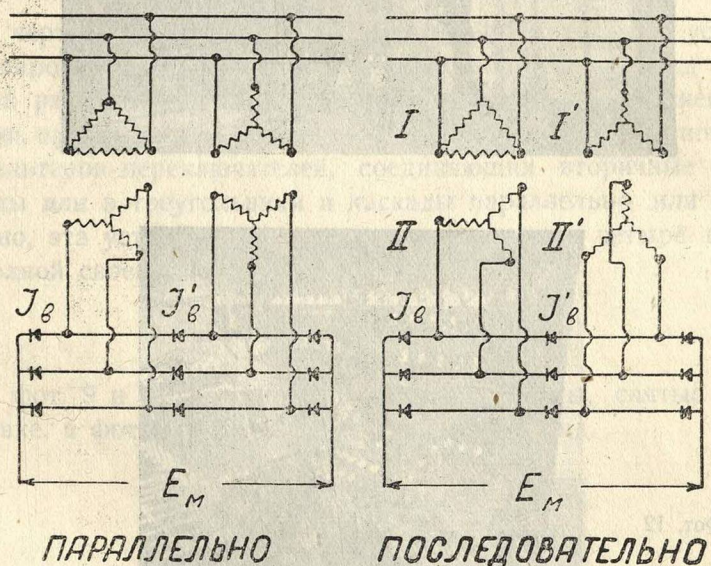
Фот. 12





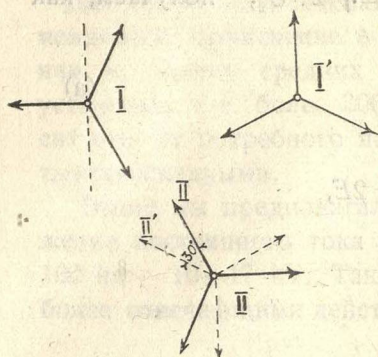
Фот 13

В заключение этого параграфа укажем на возможность получения от предлагаемой схемы двенадцатифазного выпрямления.



Черт. 14

Пусть, как показано на черт. 14, питание вентиля происходит от двух трехфазных трансформаторов и в сеть они включены, один треугольником, а второй звездой. Векторная диаграмма напряжений, выполненная для такой схемы, представлена на черт. 15. Она показывает, что вектора вторичных напряжений каждой группы сдвинуты друг относительно друга на 30° . Это обстоятельство должно дать



Черт. 15

двенадцатифазную кривую выпрямленного тока. То же можно получить и при одном трехфазном трансформаторе, если вторичную обмотку разбить на две системы и одну из них соединить звездой, а другую—треугольником, или, наконец, можно воспользоваться рядом однофазных трансформаторов, включенных трехфазно.

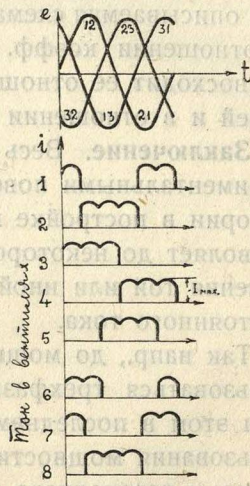
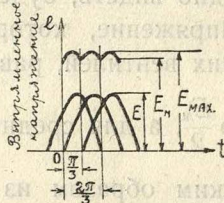
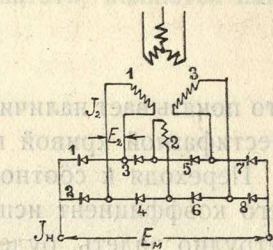
По сравнению с предыдущей схемой получение двенадцатифазной схемы сводится лишь к соответствующему построению и соединению фазовых обмоток переходного трансформатора.

Если не в каждом частном случае, то, безусловно, для сверхмощных высоковольтных установок двенадцатифазная форма кривой выпрямленного тока крайне желательна и даже, пожалуй, необходима. Применение ее может освободить от сглаживающего фильтра совершенно или, по крайней мере, сделать его с очень малыми значениями емкости и самоиндукции.

§ 6. Схема с разделенными фазами¹⁾.

Черт. 16 представляет такую схему для трехфазной сети питания, при чем, как видно, можно ограничиться применением 8 вентилях. Процесс выпрямления происходит так, как будто каждая фаза работает самостоятельно, и кривая выпрямленного тока приобретает шестифазную форму за счет алгебраического сложения ординат кривых напряжения от каждой фазы. Обращаясь к черт. 16, имеем следующую связь между значением выпрямленного и фазового напряжений:

$$E_m = \frac{3E}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \left[\sin \omega t + \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \right] dt.$$



Черт. 16

¹⁾ Заявленное свидетельство № 30693, выд. М. А. Бонч-Бруевичу и А. М. Кугушеву.

Решая этот интеграл и подставляя $E = \sqrt{2} \cdot \mathcal{E}_2$, получаем, как и для двухкаскадной шестифазной схемы:

$$\mathcal{E}_2 = 0,37 E_m. \quad (a)$$

Далее

$$E_{max} = E + 2 \sin \frac{\pi}{6} \cdot E = 2E,$$

откуда

$$\frac{E_m}{E_{max}} = 0,955,$$

что показывает наличие именно такой пульсации, какая соответствует шестифазной кривой выпрямленного тока.

Переходя к соотношению токов, укажем, что $J_2 \cong I_m$, вследствие чего коэффициент использования мощности для данной схемы, как нетрудно видеть, будет близок к единице.

Напряжение, которое может создать «обратное зажигание» для крайних вентилях, равно амплитуде фазового напряжения, т.е. примерно $\frac{E_m}{2}$, а для средних оно будет в $\sqrt{3}$ раз больше.

Таким образом из приведенного материала можно заключить, что описываемая схема уступает двухкаскадной шестифазной (черт. 5) в отношении коэфф. использования мощности, но зато несколько превосходит ее отношение «обратного» вольтажа для средних вентилях и в отношении числа вентилях.

Заключение. Весь приведенный в статье материал, вкупе с экспериментальными поверками и опытом Нижегородской радиолaborатории в постройке мощных выпрямительных установок 50 ~ тока, позволяет до некоторой степени наметить возможные пределы применения той или иной схемы в зависимости от мощности и вольтажа постоянного тока.

Так напр., до мощностей в 50 kw с напряжением до 6 kV удобно пользоваться трехфазной или шестифазной параллельной схемой. При этом в последнем случае, для повышения коэффициента использования мощности, следует пользоваться на стороне вторичной обмотки переходного тр-ра двумя трехфазными звездами. Для мощностей от 50 до 100 kw наиболее выгодна трехфазная последовательная (двухполпериодная) схема (см. § 2) с ртутными колбами.

Для мощностей в пределах от 100 до 300 kw необходима двухкаскадная схема с двенадцатифазной кривой и в том случае, когда сеть обладает несинусоидальным напряжением, та же схема с 6-ти фазной кривой (см. §§ 5 и 6). В качестве вентилях здесь должны выбираться ртутные колбы с параллельно работающими рогами.

Для особо ответственных установок дополнительно можно рекомендовать применение в этих схемах 12-ти вентилях вместо 9 и 8 или же замену средних ртутных колб кенотронами. Сверхмощные установки, т.е. более 300 кв постоянного тока, что вероятно зависит еще от потребного напряжения, должны строиться трех или четырехкаскадными,

Выше мы предполагали, что установки до 100 кв имеют напряжение постоянного тока в пределах 5—10 kV, а установки свыше 100 кв — 10—17 kV. Такие значения, надо полагать, являются наиболее отвечающими действительности.

Н.-Новгород
Радиолaborатория им. Ленина
Январь 1928

Отрицательное сопротивление

М. А. Бонч-Бруевич

§ 1. Введение. В настоящее время уже довольно широко пользуются понятием „отрицательное сопротивление“. Однако ни содержание этого понятия, ни смысл самого термина нельзя считать достаточно уточненным. Очень часто это приводит к недоразумениям, самое распространенное из которых — это простое противоположение друг другу отрицательного и положительного сопротивления, причем под последним понимается *омовое* сопротивление. Многие важные свойства отрицательного сопротивления еще мало освещены и далеко не всегда правильно понимаются. Это относится, например, к свойству отрицательного сопротивления быть по своей природе или „сопротивлением утечки“ или „последовательным сопротивлением“.

В указанных обстоятельствах можно видеть объяснение непопулярности самого понятия отрицательного сопротивления в некоторых кругах наших радиотехников ¹⁾.

Между тем применение этого понятия в соответствующих случаях настолько же упрощает анализ явлений в электрических цепях и в особенности в цепях, содержащих колебательные контура, насколько его упрощает применение понятия „омического“, „ваттного“, „безваттного“ и „кажущегося“ сопротивлений.

В этой статье делается попытка изложить принципиальную сторону вопроса об отрицательном сопротивлении и установить терминологию. Материалом для нее послужили, главным образом, работы Нижегородской радиолaborатории, где вопрос об отрицательном сопротивлении по различным поводам разрабатывался целым рядом лиц (В. В. Татаринов, Б. А. Остроумов, Г. А. Остроумов, О. В. Лосев). Работы эти неоднократно служили темой частных собеседований и научно-технических бесед и лишь в некоторой части были опубликованы ²⁾.

¹⁾ Автору, например, неоднократно приходилось слышать, что введение этого понятия не только бесполезно, но даже и вредно.

²⁾ В. В. Татаринов. *ТиТбп* № 17, стр. 735—742, 1922. «Archiv für Elektrotechnik» В. XII. Н. 1, р. 16—25, 1923.

М. А. Бонч-Бруевич. Сеточные и анодные паразитные колебания в цепях катодных ламп. *ТиТбп* № 38, стр. 449—464, 1926. Расчет прямоуг. антенны с идентичн. вибраторами. *ТиТбп* № 39, стр. 555—567, 1926.

О. В. Лосев. *ТиТбп* № 14, стр. 377—386, № 15, стр. 564—569, 1922; № 18, стр. 45, № 21, стр. 349, 1923. Дальнейшее исследование процессов в генерирующем

§ 2. Ваттное и безваттное сопротивление. Мгновенная мощность, потребляемая каким-либо участком электрической цепи, равна

$$W = \pm v i, \quad (1)$$

где v и i — мгновенные значения тока в цепи и напряжения на концах рассматриваемого участка. Положительное значение мощности указывает, что энергия в данный момент *потребляется*, отрицательное значение, наоборот, указывает, что цепь в данный момент является *источником энергии*.

Отношение

$$\frac{v}{i} = \pm R \quad (2)$$

будем называть „мгновенным сопротивлением“ независимо от того, куда тратится или откуда получается в данный момент энергия в данном приборе. Отрицательному значению мощности соответствует, очевидно, отрицательное значение мгновенного сопротивления.

Для мгновенных значений всегда справедливо равенство

$$W = i^2 R = \frac{v^2}{R}. \quad (3)$$

При длящихся процессах средняя мощность за некоторый промежуток времени

$$W = \frac{1}{t} \int_0^t v i dt. \quad (4)$$

Однако, в общем случае, когда v и i изменяются по произвольному закону, понятие о каком-либо (напр. среднем) сопротивлении этой цепи не имеет никакого практического интереса и является бесцельным.

контакте. ТиТбп № 26, стр. 403—409, 1924. «Трансгенерация». № 38, стр. 436—448, 1926. Реф. «о нетомсоновских колебаниях». № 43, стр. 449—451, 1927.

Г. А. Остроумов. Этюды лампового приема. ТиТбп № 37, стр. 346—351, № 38, стр. 465—483, 1926; № 42, стр. 233—252, 1927. Исследование поведения триода в магнитном поле посредством брауновской трубки. ТиТбп № 42, стр. 335—342, 1927. О причине громадной чувствительности суп.-рег. режима. ТиТбп № 43, стр. 417—432, 1927. Доклад на кварц. с'езде. ТиТбп № 47, стр. 235—236, 1928.

В. Ostroumoff. Der Charakterograph und die dynamischen Charakteristiken einer Elektronenröhre. «Ztschr. f. techn. Physik». 8 Jahrg., № 4, p. 163, 1927.

Б. А. Остроумов «Характерограф». ТиТбп № 39, стр. 568—575, 1926.

П. Н. Рамлау. Отрицат. сопротивление, как причина незатухающих колебаний. ТиТбп № 39, стр. 512—521, 1926.

А. Одинцов. Влияние сдвига фаз между анодом и сеткой. ТиТбп № 47, стр. 188—197, 1928.

Если же v и i суть периодические функции времени или могут рассматриваться, как таковые, то мощность может быть представлена, как некоторый интеграл вида

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(x) f(x) dx, \quad (5)$$

и понятие о сопротивлении может быть установлено следующим образом. Разлагая под'интегральные сомножители в ряд Фурье получим

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[A_0 + A_1 \sin(x + \Theta_1) + \right. \\ \left. + A_2 \sin(2x + \Theta_2) + \dots A_n \sin(nx + \Theta_n) \right] \\ \left[A'_0 + A'_1 \sin(x + \psi_1) + A'_2 \sin(x + \psi_2) + \dots A'_n \sin(nx + \psi_n) \right] dx.$$

После замены синусов суммы соответствующими выражениями перемножим оба многочлена, стоящие в скобках. При этом примем во внимание, что при интегрировании в указанных пределах интегралы произведений вида $\sin mx \cos kx$ (где m и k произвольные целые числа) будут равны нулю.

Тогда получим:

$$W = A_0 A'_0 + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[A_1 A'_1 \sin \Theta_1 \sin \psi_1 \cos^2 x + A_1 A'_1 \cos \Theta_1 \cos \psi_1 \sin^2 x + \right. \\ \left. + A_2 A'_2 \sin \Theta_2 \sin \psi_2 \cos^2 2x + A_2 A'_2 \cos \Theta_2 \cos \psi_2 \sin^2 2x + \dots \right. \\ \left. + A_n A'_n \sin \Theta_n \sin \psi_n \cos^2 nx + A_n A'_n \cos \Theta_n \cos \psi_n \sin^2 nx \right] dx,$$

откуда

$$W = A_0 A'_0 + \frac{1}{2} A_1 A'_1 \cos(\Theta_1 - \psi_1) + \frac{1}{2} A_2 A'_2 \cos(\Theta_2 - \psi_2) + \dots \\ \dots + \frac{1}{2} A_n A'_n \cos(\Theta_n - \psi_n). \quad (6)$$

Если $F(x)$ и $f(x)$ представляют собою ток и напряжение в функции времени, то по величине постоянные A_0 и A'_0 представят собою постоянные слагаемые тока и напряжения; A_1 и A'_1 — амплитуды тока и напряжения первой гармонической, A_2 и A'_2 — амплитуды второй гармонической и т. д.

Углы $(\Theta_k - \psi_k) = \varphi_k$ суть углы сдвига фаз между током и напряжением для данной гармонической.

Мощность выразится следующим образом:

$$W = W_0 + W_1 + \dots W_n = i_0 v_0 + \frac{i_1 v_1 \cos \varphi_1}{2} + \frac{i_2 v_2 \cos \varphi_2}{2} + \dots + \frac{i_n v_n \cos \varphi_n}{2}, \quad (7)$$

т.е. мощность, расходуемая в данном участке электрической цепи при периодическом процессе, может быть представлена, как сумма мощностей постоянной слагающей, основного тона и высших гармонических. Отсюда возникает необходимость приписать данному участку цепи при данном виде $v = f(t)$ и $i = F(t)$ определенные индивидуальные значения сопротивлений для различных гармонических.

Отношение $\frac{v_k}{i_k} = Z_k$ (где k —номер гармоники) принято называть „кажущимся сопротивлением“, мы оставляем этот термин в силу его общепринятости, хотя было бы правильнее называть эту величину просто *сопротивлением для k -ой гармоники*.

Обратную величину $\frac{i_k}{v_k} = \mathfrak{z}_k$ будем называть *кажущейся проводимостью*.

$$\frac{v_k^2}{2\mathfrak{z}_k} = \frac{i_k^2 Z_k}{2} = v_k i_k \text{ дает вольт-амперы данной гармоники.}$$

Величину $Z_k \cos \varphi_k$ мы будем называть *ваттной слагающей* кажущегося сопротивления или просто *ваттным сопротивлением* данного участка цепи для k -ой гармоники. Эта величина может быть положительна или отрицательна в зависимости от знака косинуса.

В частных случаях положительное ваттное сопротивление может быть омическим (если энергия тока непосредственно переходит в тепло), или сопротивлением излучения (если энергия излучается), или каким либо иным, не имеющим специального названия.

Если в цепи, например, имеется выпрямитель, заряжающий батарею, или мотор, превращающий электрическую энергию в механическую — цепь будет обладать положительным ваттным сопротивлением, и величина его, совершенно независимо от устройства цепи, (которое может нас и не интересовать), будет

$$R = \frac{v}{i} \cos \varphi, \quad (8)$$

а расходуемая в цепи мощность

$$W = \frac{i^2 R}{2}. \quad (9)$$

В некоторых случаях величина ваттного сопротивления может зависеть от периода данной гармоники; в других случаях оно может быть совершенно независимо от периода.

Также и отрицательное ваттное сопротивление может иметь место в рассматриваемом участке цепи для данного вида Θ (v, i) и для данной гармонике по самым разнообразным причинам. В цепи может находиться, например, батарея с выпрямителем, автоматически управляемым таким образом, что он питает цепь (катодная лампа), или динамо машина, или иной какой-либо источник. Наконец, рассматриваемый участок цепи может и не обладать источником тока, а являться, например, трансформатором частоты, питаемым извне одной частотой и превращающим ее в другую частоту, идущую обратно на питание внешней цепи.

Во всех случаях соотношения (8) и (9) остаются справедливыми. Будем называть *ваттной проводимостью* для k -ой гармоники величину

$$\frac{i}{v} \cos \varphi_1 = g_k;$$

при этом, очевидно, что

$$W_k = v^2 g_k. \quad (10)$$

Все, что сказано выше относительно ваттного сопротивления, может быть соответственно отнесено и к ваттной проводимости. При этом всегда

$$g_k = \frac{\cos^2 \varphi_k}{R_k}. \quad (11)$$

Будем называть *безваттным сопротивлением* данного участка цепи для k -ой гармонике величину

$$S = \frac{v_k}{i_k} \sin \psi_k.$$

Это сопротивление может быть также положительным (при $0 < \varphi_k < \pi$) или отрицательным (при $\pi < \varphi_k < 2\pi$). Частным случаем положительного безваттного сопротивления является индуктивное сопротивление (ωL); частным случаем отрицательного безваттного сопротивления является емкостное сопротивление $\left(\frac{1}{\omega C} \right)$.

Однако, наличие безваттного сопротивления может быть обусловлено и другими самыми разнообразными причинами, как-то: наличием электромагнитных механизмов с движущимися частями или наличием в данном участке цепи проводников, способных трансформировать частоту, и проч. При этом не всегда безваттное сопротивление связано с частотой, как это имеет место в случае индуктивного сопротивления. Например, если в цепи имеется газовый разрядник, то при синусоидальной электродвижущей силе, приложенной

к концам цепи, в ней появятся гармоники тока. Однако сопротивление для любой гармоники выше первой будет равно нулю, т.к. они не содержатся в кривой напряжения. Но, если в кривой напряжения будут также гармоники, то появятся как ваттные, так и безваттные сопротивления

$$R_k = \frac{v_k}{i_k} \cos \varphi_k \text{ и } S_k = \frac{v_k}{i_k} \sin \varphi_k,$$

не связанные функционально с элементом времени. Аналогичный пример дает цепь, содержащая катодную лампу, в случае сдвига фаз между анодом и сеткой.

Соответственно предыдущему величину

$$\frac{i_k}{v_k} \sin \varphi = u_k$$

следует назвать „безваттной проводимостью“.

Безваттные вольт-амперы

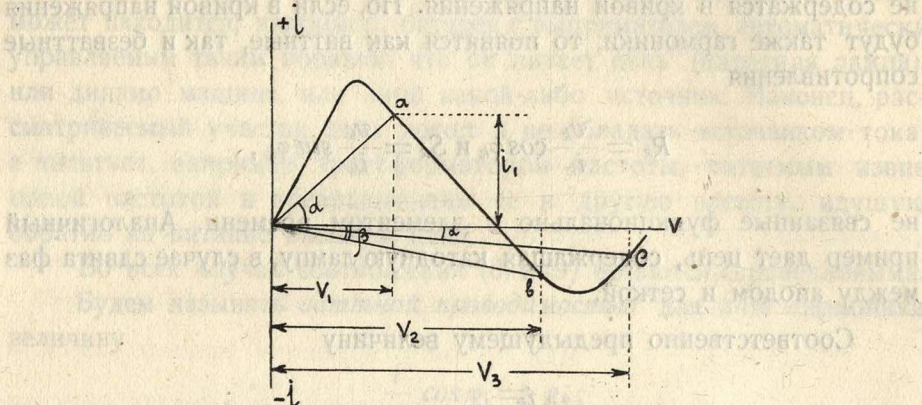
$$\frac{v_k i_k}{2} \sin \varphi_k = \frac{i_k^2 S_k}{2} = \frac{v_k^2 u_k}{2}. \quad (12)$$

§ 3. Характеристики цепи, содержащей сопротивления. Ток и напряжение в рассматриваемом участке цепи не являются независимыми функциями времени. Они связаны свойствами этого участка цепи. Эта связь только в самых простейших случаях может быть дана аналитически. На практике гораздо чаще она дается в виде некоторой графической характеристики, например, в виде кривой, непосредственно связывающей ток и напряжение.

Во многих практических случаях оказывается для решения поставленной задачи возможно и достаточно охарактеризировать цепь одной кривой $i = f(v)$ или семейством кривых. Именно в этих случаях пользование понятием сопротивления особенно удобно.

Если цепь обладает только ваттным сопротивлением, то связь между током и напряжением однозначна. При наличии безваттных составляющих характеристика приобретает форму замкнутой кривой. Если при этом элемент времени не играет роли (т.е. сопротивление не зависит от частоты) и если ток или напряжение синусоидальны, то полная характеристика цепи для любых частот дается семейством замкнутых кривых, относящихся к различным амплитудам тока или напряжения. При наличии емкостного или индуктивного сопротивления или вообще сопротивления, зависящего от элемента времени, такое же семейство кривых может характеризовать цепь, но уже только для определенного периода.

Рассматривая характеристику, приведенную на черт. 1, легко видеть, что:



Черт. 1

1) Для значений напряжения v_1 , v_2 , v_3 соответствующие мгновенные сопротивления цепи будут

$$R_1 = \frac{v_1}{i_1} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}; R_2 = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}; R_3 = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}.$$

Вследствие знака tg , вторые два сопротивления будут отрицательны (ток идет против напряжения).

2) Если величины v_1 , v_2 , v_3 , являются начальным потенциалом, к которому добавляется некоторая бесконечно малая синусоидальная переменная слагающая, то сопротивление прибора для постоянной слагающей остается R_1 , R_2 , R_3 .

Сопротивление для переменной слагающей будет

$$R = \frac{dv}{di} \quad (13)$$

и явится величиной обратной тангенсу угла, составляемого касательной в данной точке a , b , или c с осью абсцисс.

3) Если некоторому напряжению v_1 соответствует на кривой $i = f(v)$ точка a , лежащая на прямолинейном участке кривой, и если переменная слагающая напряжения синусоидальна и не выходит за пределы прямолинейного участка, то сопротивление для постоянной слагающей остается $R_1 = \frac{v_1}{i_1}$, а сопротивление для переменной слагающей является величиной обратной тангенса угла, составляемого данным прямолинейным участком (или продолжением его) с осью абсцисс.

Далее следует заметить, что:

1) Если амплитуда переменной составляющей напряжения v , будучи синусоидальной, выходит за пределы прямолинейного участка,

то следует построить кривую изменения тока во времени при произвольно выбранном масштабе времени и одним из графических методов определить его постоянную слагающую i_0 и амплитуду первой гармоники i_1 .

Тогда сопротивление для постоянной слагающей будет:

$$\frac{v_0}{i_0} = R_0,$$

а сопротивление для первой гармоники (т.е. для основного тона)

$$\frac{v_1}{i_1} = R_1.$$

2) При несинусоидальной переменной слагающей напряжения следует найти, разложив графически кривые тока и напряжения в ряд Фурье, значения $v_0, v_1, v_2, \dots i_0, i_1, i_2, \dots$ и отсюда определить значения сопротивлений.

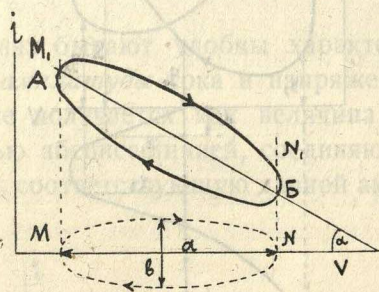
Рассмотрим теперь характеристику цепи, содержащей и ваттное, и безваттное сопротивления.

При циклических процессах уравнение такой характеристики удобно представить в следующем виде:

$$x = v_0 + v_1 \sin(\omega t + \theta_1) + v_2 \sin(2\omega t + \theta_2) \dots v_n \sin(n\omega t + \theta_n)$$

$$y = i_0 + \frac{v_1}{Z_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + \dots + \frac{v_n}{Z_n} \sin(\omega t + \varphi_n).$$

Если амплитуды всех гармоник выше первой равны нулям, то кривая, очевидно, получает вид кольца (черт. 2), каждая ордината



Черт. 2

которого может быть представлена как сумма ординаты прямой AB , уравнение которой:

$$x = v_0 + v_1 \sin \omega t; y = \frac{v_1}{Z_1} \cos \varphi_1 \sin \omega t, \quad (14)$$

и эллипса

$$x = v_1 \sin \omega t; y = \frac{v_1}{Z_1} \sin \varphi_1 \cos \omega t. \quad (15)$$

Прямая AB соответствует ваттной и эллипс ab — безваттной слагающей тока и напряжения.

Легко видеть, что ваттное сопротивление переменной слагающей будет

$$Z_1 \cos \varphi_1 = R_1 = \frac{1}{tg \alpha},$$

где α — угол, составленный прямой AB с осью x -ов.

Для построения прямой AB проводят касательные ординаты MM_1 и NN_1 (черт. 2). Точки касания суть концы AB , так как их координаты соответствуют значениям

$$x = v_0 \pm v_1, \quad y = i_0 \pm \frac{v_1}{Z} \cos \varphi_1.$$

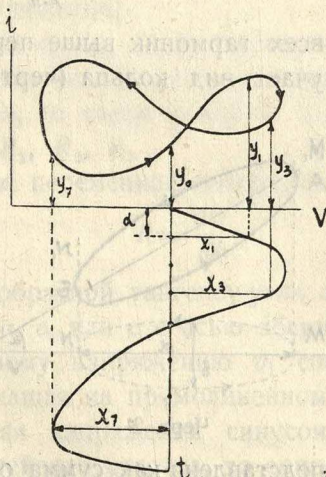
Безваттное сопротивление s по величине определится отношением осей эллипса

$$S = \pm \frac{a}{b};$$

знак будет зависеть от направления движения по линии эллипса, которое обозначается стрелками. Если это движение происходит против часовой стрелки (фаза тока запаздывает), то сопротивление положительно.

При обратном направлении стрелок — отрицательно.

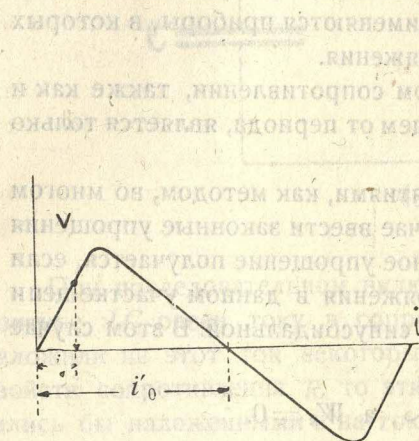
Если ток и напряжение несинусоидальны, то, при наличии безваттного сопротивления для основного тона или для высших гармо-



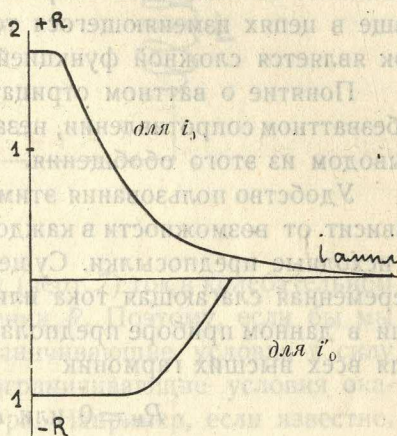
Черт. 3

нических, характеристика будет либо замкнутой, либо будет пересекать сама себя в одной или нескольких точках (черт. 3). Путем разложения кривой тока и напряжения в ряд Фурье она может быть представлена для каждой из гармоник в виде некоторого отрезка прямой, характеризующего ваттную составляющую, и в виде эллипса, — характеризующего безваттную составляющую.

В каждом частном случае из рассмотренных характеристик указанными способами могут быть получены кривые, связывающие непосредственно величину ваттного или безваттного сопротивления с амплитудой тех или иных гармоник.



Черт. 4

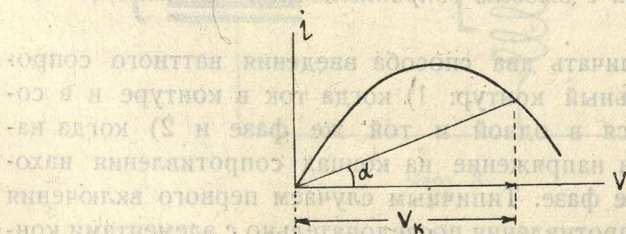


Черт. 5

На черт. 5 даны такие кривые $R=f(i_1)$ для первой гармоники соответственно характеристике черт. 4. Одна из кривых сопротивления дана на черт. 5 для начального тока i_0 (черт. 4), а другая для начального тока i_0' .

Кривые $R=f(v_1)$ иногда удобнее заменять кривыми утечки $g=F(v_1)$.

В других случаях бывают удобны характеристики, связывающие между собою амплитуды тока и напряжения k -ой гармоники. Тогда сопротивление получается как величина обратная $\tan$ угла α , составленного с осью абсцисс линией, соединяющей начало координат и точку кривой, соответствующую данной амплитуде v_k (черт. 6).



Черт. 6

§ 4. Два рода приборов с отрицательным сопротивлением.

Вышеприведенные рассуждения обобщают понятие о сопротивлении и устанавливают понятие об индивидуальном сопротивлении для каждой

гармонической. Эти рассуждения приложимы ко всякой электрической цепи в целом и отдельным ее участкам и ко всякому прибору, который может рассматриваться, как часть цепи.

Необходимость введения обобщенного понятия о сопротивлении возникает из состояния современной техники, так как все чаще и чаще в цепях изменяющегося тока применяются приборы, в которых ток является сложной функцией напряжения.

Понятие о ваттном отрицательном сопротивлении, также как и о безваттном сопротивлении, независимом от периода, является только выводом из этого обобщения.

Удобство пользования этими понятиями, как методом, во многом зависит от возможности в каждом случае ввести законные упрощения в исходные предпосылки. Существенное упрощение получается, если переменная слагающая тока или напряжения в данном участке цепи или в данном приборе предполагается синусоидальной. В этом случае для всех высших гармоник

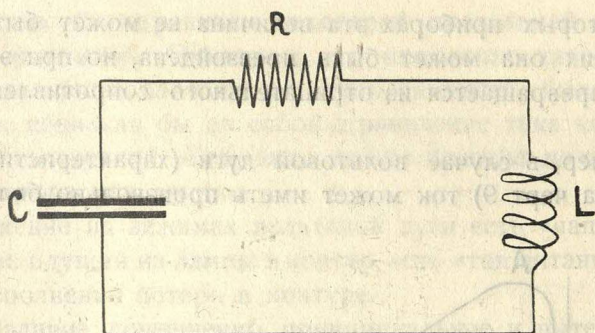
$$R_k = 0 \text{ или } R_k = \infty, \text{ а } W_k = 0.$$

Такое допущение часто делается, когда ток или напряжение регулируется колебательным контуром с малым декрементом.

Другое упрощение, дополняющее первое, заключается в предположении, что отрицательное сопротивление для первой гармоники в пределах некоторых амплитуд остается постоянным или же, что вообще оно связано с амплитудой некоторой простой и удобной для анализа зависимостью. Это второе упрощение может быть сделано только с учетом некоторых оговорок, которые вытекают из свойств приборов, обладающих отрицательным сопротивлением, и которые мы сейчас укажем.

За исключением некоторых ограничений, налагаемых этими оговорками, указанные упрощения *позволяют оперировать с ваттным отрицательным сопротивлением, как с физической величиной, совершенно однородной с омовым сопротивлением, но имеющей обратный знак.*

Необходимо различать два способа введения ваттного сопротивления в колебательный контур: 1) когда ток в контуре и в сопротивлении находится в одной и той же фазе и 2) когда напряжение в контуре и напряжение на концах сопротивления находится в одной и той же фазе. Типичным случаем первого включения является введение сопротивления последовательно с элементами контура (L и C); поэтому будем называть его «последовательным». Типичным случаем второго включения является присоединение сопротивления параллельно элементам контура; мы будем называть его «утечкой». Обратим внимание на следующее различие между этими двумя способами включения.

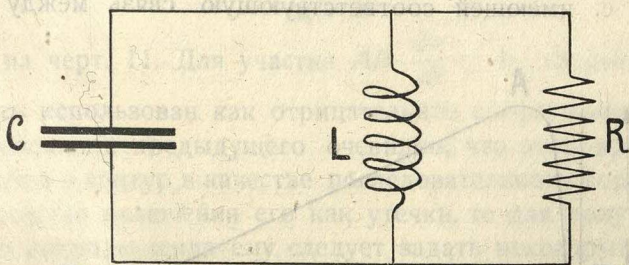


Черт. 7

При последовательном включении (черт. 7) ток в колебательном контуре LC равен току в сопротивлении R . Поэтому, если бы мы наложили на этот ток некоторые ограничивающие условия в силу свойств сопротивления R , то эти же ограничивающие условия оказались бы наложенными и на ток контура. Например, если известно, что в силу свойств сопротивления R амплитуда тока не может превосходить некоторую предельную величину, то и ток в контуре ни при каких ЭДС и ни при каких комбинациях элементов контура не может превзойти этой величины.

В то же время напряжение на конденсаторе контура может быть сделано любым путем соответствующей перегруппировки элементов контура.

Так же точно ограничивающие условия, наложенные на напряжение на утечке r (черт. 8), налагаются вместе с тем и на напря-

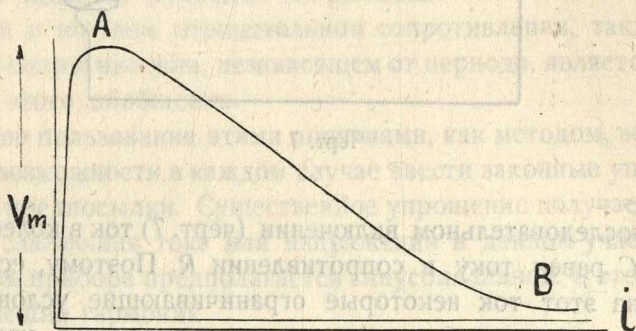


Черт. 8

жение на конденсаторе контура, к которому утечка присоединена. В этом случае ток в контуре может иметь любую величину. Это различие весьма существенно, т. к. во всех приборах, которыми мы пользуемся в качестве отрицательных сопротивлений, или ток, или напряжение имеет некоторую предельную величину.

В некоторых приборах эта величина не может быть превзойдена; в других она может быть превзойдена, но при этом прибор мгновенно превращается из отрицательного сопротивления в положительное.

Например, в случае вольтовой дуги (характеристика которой приведена на черт 9) ток может иметь произвольно большую вели-



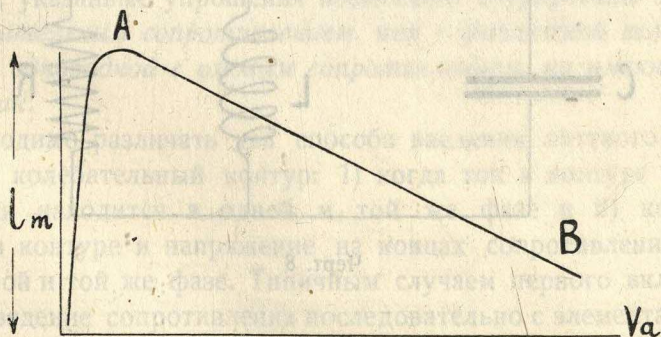
Черт. 9

чину, в то время как напряжение не может превзойти некоторой для данной дуги величины V_m .

Если бы вольтову дугу присоединить параллельно конденсатору контура, то амплитуда напряжения в последнем ни в каком случае не могла бы превзойти этого предела. Практически было бы невозможно получить таким образом сколько-нибудь мощных колебаний.

Поэтому вольтова дуга должна рассматриваться в силу своих свойств как *последовательное отрицательное сопротивление*.

Характеристика катодной лампы, работающей в качестве генератора (т. е. имеющей соответствующую связь между анодом и



Черт. 10

сеткой, благодаря которой $\frac{dV_a}{di_a} < 0$), дана на черт. 10. Здесь мы видим обратное. Напряжение на аноде может иметь любую величину

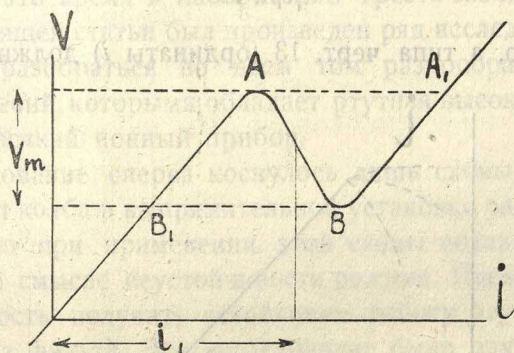
в то время, как ток ограничен некоторой предельной для данного устройства величиной. Очевидно, что включение катодной лампы в контур, как последовательного сопротивления, было бы неправильно, т. к. повлекло бы за собой ограничение тока контура некоторой малой величиной. *Катодная лампа должна по природе своей рассматриваться как утечка.*

Напряжение на зажимах вольтовой дуги есть «напряжение питания», а ток, идущий из лампы в контур, есть «ток питания», которые идут на восполнение потерь в контуре.

Это различие совершенно принципиальное и вытекает из различной природы тех механизмов, благодаря которым дуга и лампа могут являться отрицательным ваттным сопротивлением.

В дуге мгновенные значения сопротивления зависят от степени ионизации промежутка, т. е. в конечном счете от тока. В лампе эти свойства зависят от определенной связи между потенциалом сетки и потенциалом анода, т. е. в конечном счете от напряжения.

Рассмотрим еще характеристику генерирующего кристалла, при-



Черт. 11

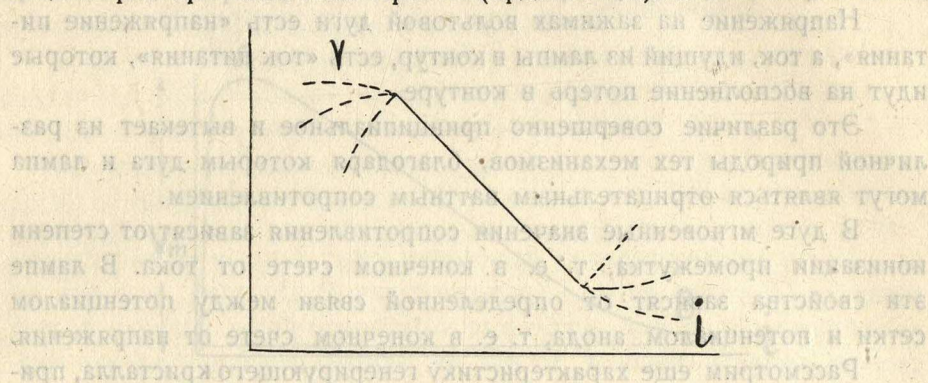
веденную на черт. 11. Для участка AB $\frac{dv}{di} < 0$; следовательно он может быть использован как отрицательное сопротивление.

На основании предыдущего очевидно, что этот прибор может быть включен в контур в качестве последовательного сопротивления. Что же касается включения его как утечки, то для получения отрицательного сопротивления ему следует задать некоторый начальный ток, напр. i_1 , дабы использовать именно участок характеристики на AB , а не B_1A и не BA_1 .

Однако как только значение напряжения выйдет за пределы V_m , ток мгновенно примет значение абсциссы точки B_1 или точки A_1 . При этом прибор мгновенно потеряет свойства отрицательного сопротивления и в дальнейшем величина тока будет определяться участком BA_1 или B_1A , для которых $\frac{dv}{di} > 0$. В качестве отрица-

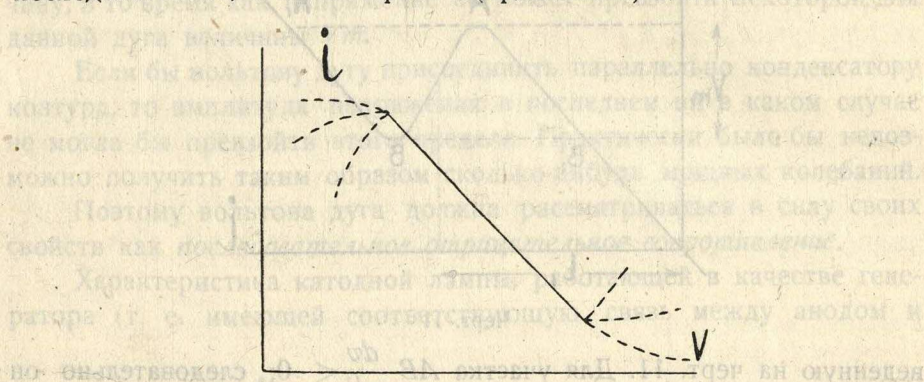
тельной утечки такой прибор еще менее пригоден, чем вольтова дуга, т. к. увеличение амплитуды напряжения сверх определенного предела уничтожает самое свойство отрицательного сопротивления.

Из сказанного следует, что, как общее правило, приборы, имеющие характеристики типа черт. 12. (ординаты V), должны включаться



Черт. 12

последовательно, а типа черт. 13 (ординаты i) должны включаться



Черт. 13

как утечки. Это правило легко соблюдается, если сопротивление соответственно включается непосредственно в самоиндукцию контура или на обкладках его емкости. Однако, в целом ряде случаев сопротивление связывается с контуром через посредство промежуточных цепей, вследствие чего фаза тока в нем может оказаться сдвинутой по отношению к фазе тока в контуре на величину отличную от 0 или 90 градусов.

Как будет показано ниже, это соответствует случаю одновременного введения в контур последовательного сопротивления и утечки.

(Окончание следует).

Ртутный выпрямитель высокого напряжения

Проф. В. П. Вологдин

Применение ртутных выпрямителей для питания ламповых передатчиков еще недавно встречало целый ряд возражений. Правда, многолетний опыт давал указания на то, что в некоторых случаях ртутная установка работает достаточно устойчиво, при весьма большом сроке службы самой колбы; однако в других случаях получить достаточно устойчивую работу удавалось с трудом. При этом в самой работе колбы было трудно подметить какую-либо закономерность, влиявшую на те или другие недостатки работы. При таких условиях было невозможно остановиться на ртутной колбе, как на нормальном выпрямителе, для замены ею кенотрона.

Однако за это время в лаборатории Треста заводов слабого тока автором настоящей статьи был произведен ряд исследований, давших возможность разобраться во всем том разнообразии и во всей сложности явлений, которыми обладает ртутная высоковольтная установка, как и всякий ионный прибор.

Это исследование сперва коснулось лишь схемы, в которой работает ртутная колба в выпрямительной установке радиопередатчика, так как именно при применении этой схемы возникают особенные затруднения, в смысле неустойчивости режима. Исследование схемы дало возможность получить устойчивую работу ртутной установки, работающей на фильтр. Это исследование было опубликовано в Научно-техническом Сборнике № 1 издательства «Связь» за 1927 г., на стр. 10—26 и в кратком изложении в ТиГбп № 41.

Однако после этого стало очевидным, что необходимо разобраться в тех явлениях, которые происходят в самой ртутной высоковольтной колбе, чтобы с одной стороны вполне выяснить влияние разобранной раньше схемы на колбу, а с другой — определить те пути, которые намечаются в развитии высоковольтной ртутной установки.

Вторая работа показала целый ряд интересных свойств ртутной колбы, которые можно применить в выпрямительных устройствах для получения более экономичной или устойчивой работы, а также в целом ряде других приборов в области сильных токов и высоких напряжений.

Так как после окончания упомянутых выше исследований, ртутное высоковольтное устройство заняло твердое положение, как наиболее экономичный источник питания для ламповых станций, и это положение теперь признается большинством наших радиотехников, то

конечно представляется интересным сделать общую сводку экономических выгод этого устройства и связать исследование схемы с исследованием самой колбы. Такая работа дает полную картину рассматриваемой системы и составляет основу настоящей статьи.

Для выяснения экономичности сделаем сравнение выпрямительного кенотронного устройства мощностью выпрямленного тока 36 kw при 12000 v с установкой с ртутными колбами.

В качестве кенотронов возьмем металлические кенотроны. Число фаз—6.

Ртутная установка состоит из 2 трехфазных колб, включенных каскадом.

ТАБЛИЦА 1

(Стоимость и расходы указаны в рублях)

	Установка с ртут- ными колбами	Установка с кено- тронами
Число колб	2	6
Потери в колбах ватт	360	4000
Срок службы часов	10000	2000
Стоимость потерянной в колбах в 1 ч. энергии	0,015	0,2
То же в год при 6000 час.	90	1.200
Стоимость одной колбы	150	875
Стоимость 1 комплекта	300	5.250
Стоимость замены колб, лежащая на 1 час горения	0,03	2,625
Годовой расход на замену колб	180	15.750
Общий расход на замену и потерянную энергию	250	16.950

Как видно из таблицы 1, расход на ртутную установку, не считая амортизации, составляет всего лишь $\frac{1}{50}$ от расхода на установку с кенотронами. В других случаях могут быть конечно условия более благоприятные для кенотронов, но все же едва ли мыслима установка с кенотронами более выгодная, чем с ртутными колбами.

Таким образом остается другая сторона установки, которая до сих пор и мешала всеобщему применению ртутных установок, это—надежность и устойчивость работы выпрямительного устройства.

Для выяснения этого вопроса перечислим сперва те отрицательные стороны, которые встречаются в работе высоковольтных выпрямительных установок, затем разберем явления, происходящие в самой колбе, и, наконец, покажем, при каких условиях возможно осуществление совершенно надежной работы ртутной колбы.

В высоковольтной выпрямительной установке, работающей на ламповый передатчик, колба работает на конденсаторе, как это и

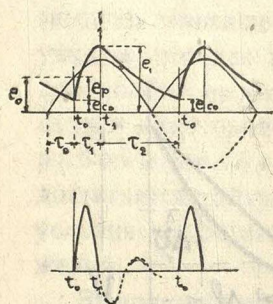
показано на черт. 1. Обычно при этом наблюдается или непосредственно после включения трансформатора, или через некоторое время, потухание одного из рогов, т.-е. пропуск в работе одной или даже 2 фаз.

Результатом этого является падение напряжения выпрямленного тока часто на 20—30%, весьма низкий коэффициент мощности и пульсации напряжения на конденсаторе C , частоты, отвечающей основной частоте тока, питающего установку, или с частотой еще более низкой. Такая работа выпрямителя совершенно нарушает передачу.

При колебаниях нагрузки, приключенной к конденсатору C , как это имеет место при телеграфном передатчике, работающем без баланса, особенно легко возникает описанное явление.

Часто в начале работы, при холодной колбе, работа идет совершенно устойчиво, но после нескольких минут начинаются перебои; при этом характер явлений бывает чрезвычайно разнообразным, и на первый взгляд совершенно невозможно подметить здесь какой-либо закономерности. Включение дросселей в аноды выпрямителя, создающих искусственное падение в отдельных фазах, не приводит к удовлетворительным результатам.

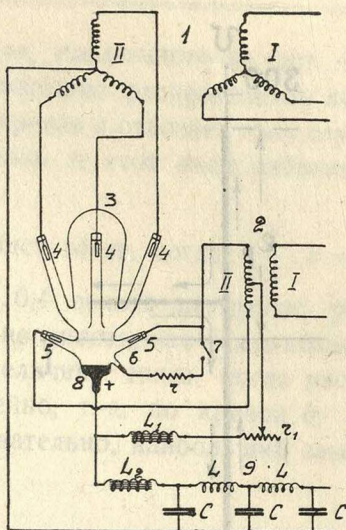
Исследование колбы, пригодной для высоковольтной выпрямительной установки, показало следующее:



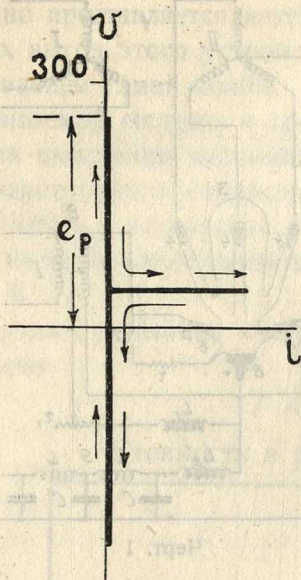
Черт. 2

1) В установке, работающей на конденсатор C по схеме черт. 1, при малой нагрузке, т.-е. большой величине R , где R результирующее сопротивление передатчика, ток i_k каждого анода имеет вид, показанный на кривой b , черт. 2, где кривая a дает напряжение e_c на конденсаторе и e_w напряжение трансформатора. Иначе говоря, за каждый период величина тока каждого анода изменяется от величины равной 0 до некоторой максимальной, падая затем опять до 0.

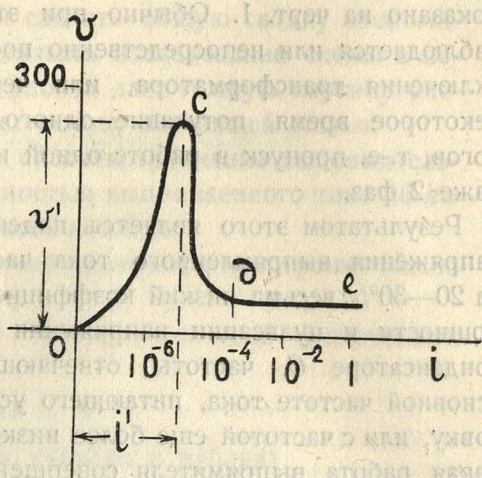
2) Вольт-амперная характеристика каждого анода имеет вид, показанный на черт. 3, причем кривая $3a$ вычерчена в координатах, имеющих равные деления, и кривая $3b$ в координатах, имеющих по оси абсцисс логарифмические деления. Как видно из кривой b здесь имеются 3 ветви, os , cd и de . Ветвь os отвечает току, при котором



Черт. 1

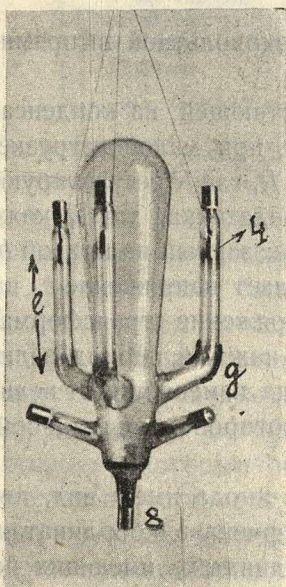


Черт. 3а

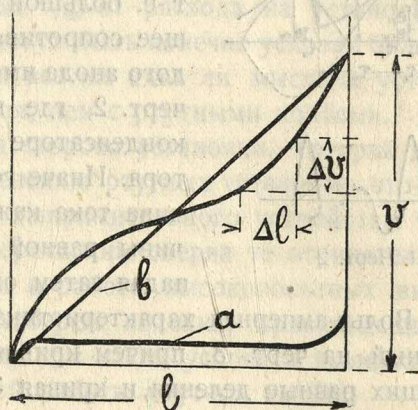


Черт. 3б

ионизация столкновениями не играет роли, ветвь cd — где она играет роль, но явление носит неустойчивый характер, и ветвь de соответствует устойчивому состоянию, обусловленному ионизацией столкновениями, при котором пространственные заряды не играют решающей роли на всем протяжении трубки. Ветвь oc отличается тем, что в процессе электронный ток и пространственные заряды играют первостепенную роль и поэтому в момент возникновения тока данного анода, что, как мы видели в п. 1, происходит при каждом периоде, выпрямитель можно практически трактовать, как чисто элеткронный прибор.



Фот. 4



Черт. 5

Определим сперва для выпрямителя, показанного на фот. 4, зажига́тельный потенциал. На черт. 5 показано распределение потенциала между электродами; при этом кривая *a* отвечает тому случаю, когда ионизация играет решающую роль и этот анод работает на ветви *de* черт. 3*b*.

Ионизация, как известно, произойдет тогда, когда $\frac{\Delta V}{\Delta l} \cdot \lambda = \sigma_a$, где λ длина свободного пути и $\sigma_a = 10,4$ вольт для ртути, равна ионизирующему потенциалу. Не трудно видеть, что зажига́тельный потенциал будет иметь наибольшую величину тогда, когда распределение потенциала будет прямолинейно, т.-е. по кривой *b*, чего конечно в точности не бывает. Следовательно, наибольший зажига́тельный потенциал будет равен

$$V = \frac{\sigma_a \cdot l}{\lambda}.$$

Для нашего случая, при $l = 20$ см (черт. 4) и температуре колбы в момент зажигания $= 50^\circ$, будем иметь $\lambda \cong 2,8$ см и зажига́тельный потенциал $V = \frac{10,4 \cdot 20}{2,8} \cong 75$ вольт. Если теперь температура колбы повысится до 60° , то для величины λ мы будем иметь значение равное 0,56 см, и зажига́тельный потенциал будет иметь уже величину равную около 370 вольт; при температуре колбы 100° свободный путь $\lambda = 0,08$ мм и зажига́тельный потенциал $= 2800$ вольт.

Из сказанного выше следует, что зажига́тельный потенциал при температуре колбы даже около 60° не будет велик; он принимает значительную величину лишь при повышении температуры колбы (вернее, зависящего от температуры колбы давления). Так как ниже увидим, что для хорошей работы выпрямительной установки с ртутной колбой необходимо, чтобы зажига́тельный потенциал не превосходил некоторой величины, то отсюда следует, что для хорошей работы колба должна хорошо охлаждаться, что легко достигается обдуванием ее вентилятором. Однако одного этого условия недостаточно, как это видно из нижеследующих соображений.

Выпрямленный ток, при небольших нагрузках выпрямительного устройства, имеет вид, показанный на черт. 2 (кривая *b*), т.-е. за каждый период ток имеет нулевое значение, почему при возникновении тока выпрямитель можно рассматривать, как электронный, исходя из ветви *oc* характеристики черт. 3*b*.

Как мы уже говорили ранее, в этом случае пространственные и другие заряды будут играть решающую роль, не будучи компенсированы положительными ионами.

Положим теперь, что на поверхности g трубки фот. 4, заключающей один из анодов, имеется проводящий слой, что часто имеет место в ртутном выпрямителе, вследствие конденсации ртути в начале трубок. Пусть емкость этой поверхности по отношению к катоду 8 будет C_g . Такая же емкость анода 4, заключенного в трубке, будет C_a ; тогда, если $D = \frac{C_a}{C_g}$, то для тока, проходящего через данный анод, мы будем иметь известное выражение

$$J = \frac{1}{K} \left(V_g + D V_a \right)^{3/2},$$

где $V_g + D V_a = V_{st}$.

Из характеристики, приведенной на черт. 3, видно, что ионизация начинает оказывать влияние на пространственные заряды лишь после достижения током величины i' , для чего нужен управляющий потенциал $V_{st} = V'$, черт. 3.

Следовательно, в нашем случае зажигающий потенциал может достигнуть величины около

$$V_a = \left(V_{st} - V_g \right) \cdot \frac{1}{D} = \left(V' - V_g \right) \cdot \frac{1}{D}.$$

При соединении проводящим слоем (зеркалом) поверхности g с катодом (что весьма часто бывает, особенно у плохо откаченных колб вследствие образования на поверхности колбы маслообразной массы, состоящей из ртути и окиси железа), то в этом случае $V_g = 0$ и для зажигающего потенциала мы будем иметь величину

$$V_a = \frac{1}{D} \cdot V'.$$

В применяемых нами колбах D достигает обычно величины 10—20%, Напряжение V' составляет около 200 в, и тогда в описанном случае колбы, имеющей проводящий слой g , соединенный с катодом, получим для зажигающего потенциала величину

$$V_a = (5 - 10) \cdot V' = 1000 - 2000 \text{ вольт}.$$

Допустим теперь, что проводящая поверхность g , как это и должно быть в хорошей колбе, не имеет соединения с катодом. В этом случае поверхность g может зарядиться до весьма высокого напряжения, конечно, если пространство вблизи этой поверхности, как это обычно бывает при возникновении тока, не будет ионизовано. Верхним пределом отрицательного напряжения, до которого может зарядиться поверхность g , будет двойное напряжение выпрямительного тока, как это видно из черт. 1; однако уже при напряжении поверхности меньшем, чем $D \cdot V_a$, т.-е. в нашем случае при

$$V_g \approx \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{5} \right) V_a - V_{st},$$

наступит состояние псевдовысокого вакуума.

При обычных условиях применение ртутного выпрямителя для питания лампового передатчика амплитуда анодного рабочего напряжения V_a равна 10^4 — $1,2 \cdot 10^4$ в, и полное прекращение работы анода наступит при получении поверхностью g отрицательного заряда всего в

$$V_g \cong 1000 - 200 \cong 800 \text{ в.}$$

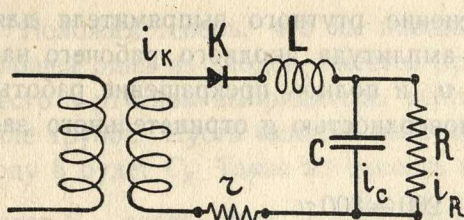
В этом и лежит причина нерегулярной работы высоковольтной ртутной установки. Наиболее опасною является возможность получения поверхностью g отрицательных зарядов. Раз только были созданы условия, дающие возможность заряжения, и периодически заряды не будут сниматься, то во все дальнейшее время будет нерегулярная работа отдельных фаз с их полным потуханием, а иногда и совершенным прекращением функционирования выпрямителя.

Посмотрим теперь, каким образом возможно реализовать, несмотря на столь неблагоприятную картину, надежную работу выпрямителя. Прежде всего заметим, что в первый момент включения выпрямителя условия для прохождения тока через все аноды обычно благоприятны, и псевдо-вакуума быть не может, потому что поверхности g , если и имеют, то весьма малый отрицательный заряд; при этом заряды все время будут сниматься той ионизацией, которая обусловлена возбуждающим током. Заряды могут появиться только после того, как будут приключены к анодам обмотки высокого напряжения и конденсатор C будет заряжен, и в то же время почему-либо одна или другая фаза не даст тока.

Следовательно, совершенно необходимым условием для устранения явлений, описанных выше, будет непрерывное прохождение тока с первого момента по всем фазам, так как только в этом случае ионизация, возникающая при прохождении тока, снимет могущие накопиться заряды на поверхностях g . Это удаление зарядов должно быть весьма совершенным, так как при работе на емкость уже при малой величине V_g возможно нарушение работы данной фазы, т.-е. пропуск ее в смысле прохождения тока.

Для определения условий, которые должны быть предъявлены к схеме, рассмотрим работу всей выпрямительной установки, исходя для колбы из вольт-амперной характеристики вида, показанного на черт. 3, и считая при этом, что величина e_p зажигающего потенциала постоянна.

Схему, изображенную на черт. 1, заменим упрощенной схемой черт. 6, где k один из анодов, L —дроссель, включенный перед конденсатором фильтра C , R —сопротивление, заменяющее передатчик и отвечающее соотношению:



Черт. 6

$$R = \frac{W}{I^2},$$

где W — мощность, потребляемая передатчиком, при чем I — его ток анодного питания. Так как ток каждого анода, как было сказано раньше, будет прекращаться, а затем восстанавливаться вновь,

то нас интересует напряжение конденсатора C и значение тока i_k . В дальнейшем мы не будем рассматривать влияния других звеньев фильтра, чтобы не усложнять основного вопроса. Исходя из характеристики выпрямителя k , показанной на черт. 3, и схемы черт. 6, получим для напряжения на конденсаторе

$$e_c = e_s + e_v \quad (1)$$

и для тока, проходящего через выпрямитель k ,

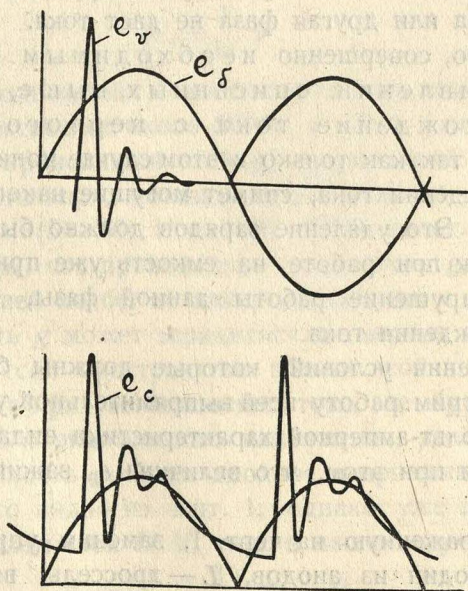
$$i_k = i_s + i_v; \quad (2)$$

здесь и в дальнейшем величины со значком s будут отвечать стационарному току и напряжению, и со значком v — свободным колебаниям.

Эдс трансформатора пусть будет

$$e_w = E \sin \omega t. \quad (3)$$

На черт. 7 даны кривые как стационарных токов и напряжений, так и свободных колебаний.



Черт. 7

Как известно, для цепи черт. 6, если вместо вентиля k будет простой выключатель, будем иметь:

$$i_s = \frac{E}{Z} \cdot \sin(\omega t - \varphi), \quad (4)$$

$$Z = \sqrt{\left(r + \frac{A}{A^2 + \omega^2 C^2}\right)^2 + \left(\omega L - \frac{\omega C}{A^2 + \omega^2 C^2}\right)^2}, \quad (5)$$

где $A = \frac{1}{R}$. Так же точно

$$e_s = \frac{EZ_1}{Z} \cdot \sin(\omega t - \varphi - \psi), \quad (6)$$

где $\operatorname{tg} \psi = \frac{\omega C}{A}$. (7)

Для определения тока свободных колебаний напомним уравнение для цепи черт. 6 в следующем виде:

$$\frac{d^2 i_v}{dt^2} + \left(\frac{1}{CR} + \frac{r}{L}\right) \frac{di_v}{dt} + \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R}\right) i_v = 0, \quad (8)$$

решениями которого будут:

$$i_v = \mathcal{E}^{-\delta t} \left(\alpha \sin \sigma t + \beta \cos \sigma t \right); \quad (9)$$

и так же точно для напряжения на конденсаторе получим:

$$e_v = \mathcal{E}^{-\delta t} \left(k \sin \sigma t + l \cos \sigma t \right) \quad (10)$$

$$\delta = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{CR} + \frac{r}{L} \right), \quad (11)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{LC} \left(1 - \frac{r}{R}\right) - \frac{1}{4} \left(\frac{1}{CR} + \frac{r}{L}\right)^2}. \quad (12)$$

Здесь σ — круговая частота собственных колебаний системы.

Как видно из уравнения (8), свободный ток в цепи и напряжение будут колебательными при

$$\frac{1}{4} \left(\frac{1}{CR} + \frac{r}{L} \right)^2 \leq \frac{1}{LC} \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (13)$$

в случае верхнего знака, и аperiодическими — в случае нижнего знака. Действительные ток и напряжение получатся подстановкой в уравнение (1) и (2) значение из (9) и (10).

Перейдем теперь к тому случаю, когда в цепи вместо выключателя будет вентиль k . Если ток i_k к моменту t_1 дойдет до 0, как показано на черт. 2, то далее он по уравнению (9) должен принять отрицательное значение, как видно из того же чертежа; однако, так как мы принимаем то условие, что выпрямитель k имеет совершенное вентильное действие, уравнения (9) и (10) будут справедливы лишь от t_0 до момента t_1 .

Напряжение на конденсаторе e_c будет изменяться от величины e_{c0} до некоторой максимальной величины, иногда значительно превышающей максимальное трансформаторное напряжение, затем к моменту t_1 , отвечающему $i_k = 0$, примет некоторое значение e_1 .

Далее конденсатор будет разряжаться через сопротивление R , по уравнению

$$e'_c = e_1 \mathcal{E}^{-\frac{t}{CR}}. \quad (14)$$

За начальный момент из этого уравнения возьмем t_1 . Разряд пойдет до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не упадет до величины $e_{co} = e_o - e_p$. В этот момент ток через выпрямитель пойдет вновь.

Таким образом уравнение (14) будет действительно лишь в интервале между t_1 и t'_0 . Ток конденсатора для времени разряда будет равен

$$i_r = i_1 \mathcal{E}^{-\frac{t}{RC}}. \quad (15)$$

Полный период изменения в описанном частном случае этим заканчивается, ограничиваясь временем $\tau_1 + \tau_2$.

Как увидим ниже, в некоторых других случаях, исходя из тех же уравнений, мы получим другой, более длинный, период.

Для рассмотренного частного случая постоянные интегрирования α , β , k и l , а также угол ξ и время τ_1 и τ_2 могут быть определены из пограничных условий. Здесь мы этого делать не будем, отсылая читателя к упомянутой статье автора в Научно-техническом Сборнике. Прибавим лишь, что значительно проще исходить из предположения, что включение трансформатора произошло при $e_w = 0$, и как период, так и начальные напряжения определить графическим построением. В этом случае, в начальный момент мы предполагаем конденсаторное напряжение также равным нулю.

Здесь мы рассматриваем случай, отвечающий верхнему знаку неравенства (13), т.-е. ток i_v колебательного характера.

При нижнем знаке неравенства (13) ток i_v будет аperiодическим. Этот случай мы в дальнейшем рассматривать не будем, так как нетрудно убедиться, что установки с ртутным выпрямителем для питания ламповых передатчиков дают почти всегда ток i_v колеба-

тельного характера. Кроме того, нас наиболее интересует режим, отвечающий значительной величине R , как наиболее опасный в смысле устойчивости работы высоковольтной колбы, а в этом случае всегда получаем из условия (13) колебательный характер тока i_v .

Здесь скажем лишь, что для случая аperiодического тока i_v его значение получится из уравнения

$$i_v = \varepsilon^{-\delta t} (A \varepsilon^{\sigma t} + B \varepsilon^{-\sigma t}). \quad (16)$$

Хотя рассмотренные выше уравнения и совершенно приложимы к выпрямительной установке, работающей на конденсатор, независимо от того, будет ли в качестве вентиля ртутный выпрямитель или кенотрон, так как та или другая характеристика вентиля практически оказывает не столь большое влияние, однако здесь имеется и глубокое различие.

Это различие заключается в том, что кенотронная установка, вернее самый кенотрон, не меняет своей характеристики в зависимости от реакции на него схемы, тогда как ртутная колба чрезвычайно чувствительна к этой реакции, почему вся задача получения устойчивого работающего выпрямительного устройства заключается в создании такой реакции, которая при всех изменениях нагрузки в выпрямительном устройстве обеспечивала бы совершенно постоянную и одинаковую для всех анодов характеристику.

Выше мы видели, что на зажигающий потенциал, а значит и на характеристику, оказывает влияние прохождение тока, т.е. ионизация около данного анода. В виду этого, в последующем рассмотрим кривые тока, проходящего через аноды ртутной колбы для различных схем и нагрузок выпрямительного устройства. Нас будет интересовать главным образом кривая этого тока, продолжительность прохождения, и главное, будет ли ток иметь место за каждый период или же будут пропуски. Последнее обстоятельство, как увидим ниже, имеет наибольшее значение.

Случай I. Период свободных колебаний системы состоящей из емкости C , дросселя L , черт. 6, мал:

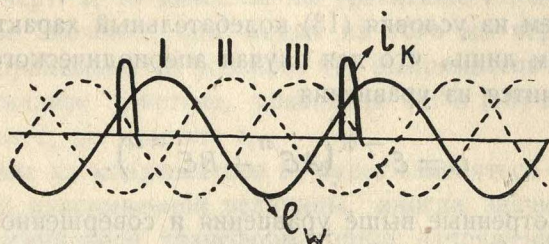
$$\sigma > \frac{m}{2} \cdot \omega \cdot k,$$

где m число фаз¹⁾, ω круговая частота питающего выпрямитель тока, $k \cong 1,5 - 2$.

а. Нагрузка выпрямительного устройства мала. Например, при $C = 0,1 \text{ } \mu\text{F}$ и $E_g = 4000 \text{ в}$, $R = (200 - 400) 10^3 \text{ ом}$.

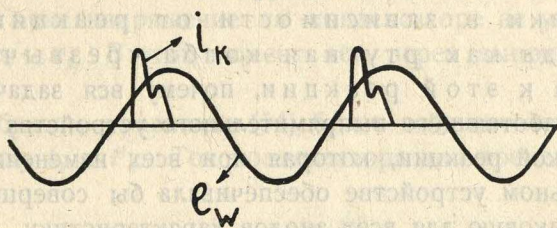
¹⁾ При однофазном токе $m = 2$.

В этом случае из уравнений, приведенных выше, для тока i_k получим кривую, показанную на осциллограмме черт. 8. Если сопро-



Черт. 8

тивление будет уменьшено, то постепенно ток перейдет в несколько другой вид, где уже можно заметить более одного полупериода колебаний, черт. 9. В том и другом случае ток проходит лишь через одну фазу. Две другие остаются без тока.



Черт. 9

Если такая нагрузка будет существовать некоторое время, то первая фаза выпрямителя, которая дает ток все время на конденсатор, будет и в дальнейшем в более благоприятных условиях, во-первых, потому что все заряды, могущие накопиться на стенках трубки, заключающей анод данной фазы, будут компенсированы положительными ионами, появляющимися по всей длине трубки во время прохождения тока. Следовательно зажигающий потенциал будет зависеть лишь от свободного пути электронов и распределения потенциала вдоль трубки.

Кроме того местное повышение температуры одного анода и одной трубки (при незначительном повышении температуры всей колбы) увеличит свободный путь, а следовательно повлечет за собой уменьшение зажигающего потенциала. Опыт как раз подтверждает это положение.

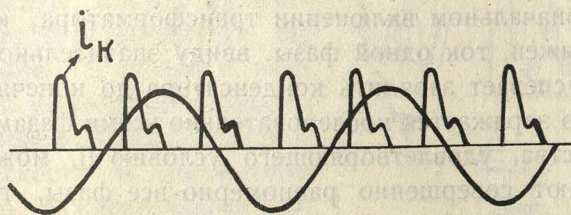
В то же самое время другие фазы будут все более и более увеличивать свой зажигающий потенциал, вследствие отрицательных зарядов, которые постепенно будут покрывать стенки трубки. При неблагоприятных условиях для этих фаз, которые не дают тока, наступит состояние псевдо-вакуума.

Если после этого увеличить нагрузку на выпрямительное устройство путем уменьшения сопротивления R , то все же, вследствие чрезвычайно большой величины зажигающего потенциала 2 и 3-й фаз, ток будет проходить лишь через одну 1-ю фазу; остальные же не будут работать, и такое устройство, конечно, не может быть применимо для питания лампового передатчика. На черт. 15 показано напряжение для этого случая после увеличения нагрузки при получившемся неравном для всех фаз зажигающем потенциале.

Однако, если ток пойдет с пропуском лишь одной фазы, т.-е. последовательно в работе будет 1, 3, 2, 1, 3, 2 и т. д. фазы, то и при указанной выше частоте σ и нагрузке возможно получить устойчивую работу, хотя, конечно, для практики такая установка не годится.

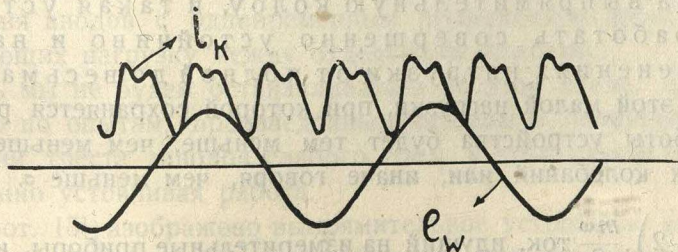
Так же точно при данной σ возможно иметь удовлетворительную работу, если:

б. Нагрузка составляет некоторую величину, не падающую ниже определенного предела. В этом случае получим кривые тока, показанные на черт. 10. При дальнейшем увеличении нагрузки кривая получит вид, показанный на черт. 11. В этом случае ток будет проходить по всем фазам и зажигающий потенциал остается для всех фаз одинаковым.



Черт. 10

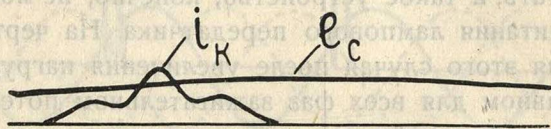
Следовательно для случая I необходимым условием является наличие все время достаточно большой нагрузки. Опасным является лишь момент включения транс-



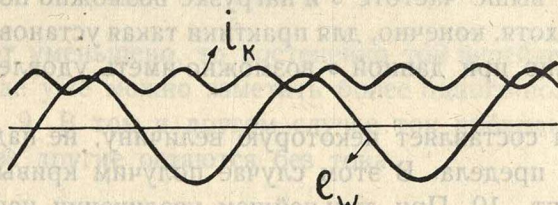
Черт. 11

форматора. Если после этого момента ток пойдет по всем фазам, то в дальнейшем работа устройства будет совершенно удовлетворительна.

Случай II. $\sigma < k \frac{m}{2} \omega$. В этом случае, даже при малой нагрузке, ток проходит последовательно через все фазы, как это и видно из осциллограммы черт. 12 и 13. Прохождение тока по всем фазам



Черт. 12



Черт. 13

уничтожает поверхностные заряды на стенках трубок, уменьшая для всех одинаково зажигающий потенциал.

При первоначальном включении трансформатора, когда конденсатор C разряжен, ток одной фазы, ввиду значительной постоянной времени, не успевает зарядить конденсатора до конечной величины и конденсатор заряжается последовательно всеми фазами. При включении устройства, удовлетворяющего условию II, можно заметить, что вспыхивают совершенно равномерно все фазы, тогда как при условии I вспыхивает одна или две фазы и уже в первый момент включения создается неравномерность зажигающего потенциала в различных фазах.

Таким образом соблюдение условия II обеспечивает в достаточной степени благоприятную реакцию схемы на выпрямительную колбу, и такая установка будет работать совершенно устойчиво и надежно при изменениях нагрузки от полной до весьма малой. Величина этой малой нагрузки, при которой сохраняется равномерность работы устройства будет тем меньше, чем меньше частота свободных колебаний или, иначе говоря, чем меньше σ . Уже при

$\sigma \cong (1,5 - 2) \cdot \frac{m \omega}{2}$ ток, идущий на измерительные приборы, или успо-

каивающие приспособления дает равномерное горение всех фаз.

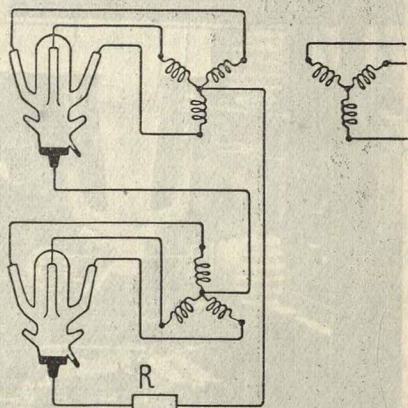
При соблюдении условия II возможно питание как телеграфных, так и телефонных передатчиков.

Осуществление условия II достигается включением перед конденсатором C дросселя L , удовлетворяющего условию II, при чем в нем σ будет дана ур. (12).

Случай III. $\sigma \cong \frac{m}{2} \cdot \omega$. Этот случай дает наиболее неблагоприятную

реакцию схемы на выпрямительную колбу. Даже при сравнительно значительных нагрузках ток отдельных фаз, как видно из осциллограммы черт. 16, не одинаков, чем легко создается различие в зажигающих потенциалах. При малых нагрузках при этом всегда получается неравномерное горение отдельных фаз, которое не прекращается и с увеличением нагрузки, как это бывает в случае II.

При установках большой мощности, где нагрузка колбы получается весьма значительной (свыше 40—50 kw), возможно с успехом применить каскадное включение колб по схеме, разработанной автором в 1920 году в Нижегородской радиолaborатории (черт. 14). Эта схема вообще представляет целый ряд преимуществ, в виду лучшего использования трансформатора, питающего колбы, а также в виду значительной устойчивости работы установки, происходящей вследствие большой легкости в достижении равномерного зажигающего потенциала.



Черт. 14

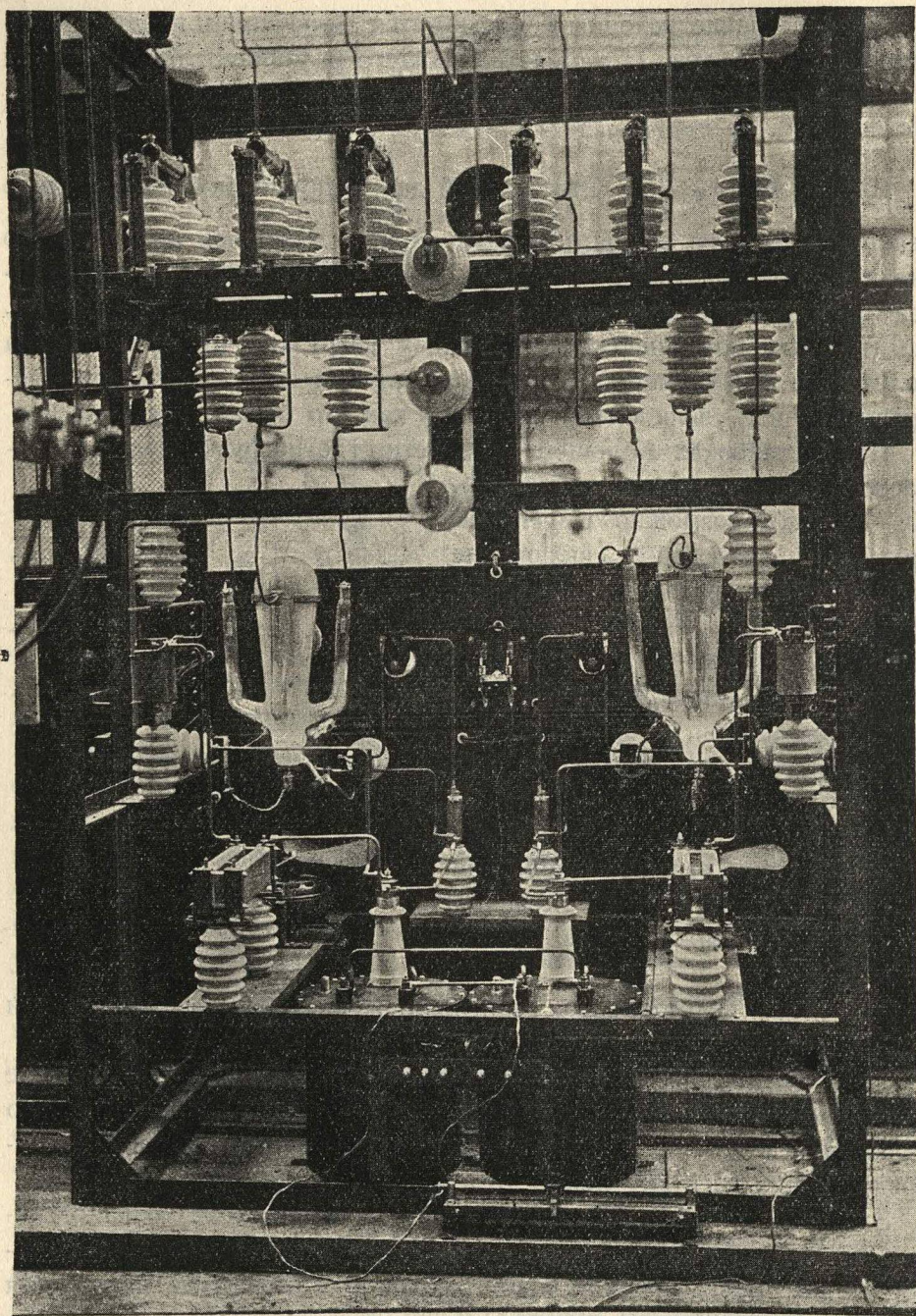
Эта схема целесообразна при напряжениях свыше 10—15 kV и может быть применена до 100 kV .

При значительных мощностях, например, 100—200 kw , и даже в несколько тысяч kw с успехом применима схема параллельного включения анодов с одновременным применением дросселей, распределяющих нагрузку между отдельными колбами.

Здесь мы не будем останавливаться на этой схеме, однако скажем, что по опытам, произведенным автором в Ленинградской лаборатории треста заводов слабого тока, в этом случае получается совершенно устойчивая работа.

На фот. 15¹⁾ изображено выпрямительное устройство вновь устанавливаемого 20 kw передатчика Октябрьской радиостанции, изготовленного Трестом заводов слабого тока. Это устройство дает выпрямленный ток 12000 v при мощности 40 kw .

¹⁾ Клише фот. 15 любезно доставлено редакцией „Электросвязи“.



Фот. 15

Лаборатория Треста зав. слаб. тока

Ленинград

1 ноября 1927 года

В редакцию журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“

Русское Общество Радиоинженеров в Ленинграде сердечно приветствует редакцию «Телеграфии и Телефонии без проводов» с исполняющимся десятилетием славного существования журнала. Основанный в исключительно трудные годы существования Республики, когда даже самые распространенные и влиятельные журналы постепенно замирали и закрывались, «Телеграфия и Телефония без проводов» под талантливым руководством своего бессменного редактора проф. В. К. Лебединского, а впоследствии соредактора проф. А. А. Петровского, блестяще развивалась, заняв положение одного из лучших радиотехнических научных журналов мира.

Неизменно сохраняя полную академическую независимость и поддерживая тесный рабочий контакт с Русским Обществом Радиоинженеров в Ленинграде, «Телеграфия и Телефония без проводов» всегда оставалась наилучшей выразительницей научных и технических успехов русской радиотехники, пережившей за истекшие 10 лет, вместе с мировой радиотехникой, период исключительного подъема.

Еще раз приветствуя Редакцию «Телеграфии и Телефонии без проводов», Русское Общество Радиоинженеров в Ленинграде выражает твердую уверенность в неизменном дальнейшем развитии журнала на благо русской радиотехники.

За Председателя *Циклинский.*

Ученый Секретарь *С. Зилитинкевич.*

Ленинград
17 октября 1928 г.

Хроника

Нижеследующие резолюции печатаются в порядке их поступления в редакцию.

Резолюция Русского Общества Радиоинженеров в Ленинграде, принятая на общем собрании Общества 10 октября 1928. — Общее собрание Русского Общества Радиоинженеров в Ленинграде, выслушав доклад члена-учредителя Общества профессора В. К. Лебединского об истории развития журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“ за десять лет его существования, считает необходимым констатировать:

1) Журнал „Телеграфия и Телефония без проводов“, находящийся ныне на пороге своего второго десятилетия, неизменно являлся и является единственным в Союзе специальным научно-техническим органом в области радиотехники, стоящим при этом на уровне лучших иностранных научно-технических журналов.

2) Журнал за минувшее десятилетие объединил на своих страницах статьи около двухсот русских и иностранных деятелей радиотехники.

3) На «Телеграфии и Телефонии без проводов» воспитывались и продолжают воспитываться новые поколения русских радиоспециалистов.

4) Журнал издавался непрерывно, несмотря на исключительно тяжелые условия в период гражданской войны, всегда давая ряд выпусков в течение года.

5) „Телеграфия и Телефония без проводов“ всегда неизменно сохра-

няла вполне объективное и научное направление.

6) Благодаря высокой научной ценности печатавшегося в нем материала, „Телеграфия и Телефония без проводов“ обратила на себя широкое внимание научно-технических кругов не только внутри Союза, но и за границей, что способствовало проникновению русских работ и идей в мировую технику.

7) Многие из напечатанных в журнале «Телеграфия и Телефония без проводов» статей вызвали ряд дальнейших идей у новых авторов, вызвали появление дальнейших статей и тем способствовали предметности в работе русских радиотехников.

8) Журнал в целом, прекрасно отражает всю историю русской научной радиотехнической мысли.

9) Все это создает условия непрерывного роста влияния журнала на русскую радиотехнику и вызывает живой интерес в широких радиотехнических кругах ко всему материалу, напечатанному в нем за этот период.

Принимая во внимание все вышесказанное, собрание постановляет:

1. Обратиться с письменным приветствием по поводу исполняющегося десятилетия журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“ — к его редакции, к его основателю — Народному Комиссариату Почт и Телеграфов, и к его колыбели, где он окреп и развился — Нижегородской Радиолaborатории.

2. Принести поздравления с десятилетним юбилеем редакторской деятельности первому редактору

журнала, непрерывно и плодотворно руководящему им с первых дней его основания — профессору Владимиру Константиновичу Лебединскому; а также приветствовать его позднейшего соредактора — профессора Алексея Алексеевича Петровского.

3.* Считать совершенно необходимым непрерывное продолжение существования журнала в дальнейшем при неизменности его основного направления. Общество уверено, что это является единодушным мнением всех русских радиотехников.

4. Выразить пожелание о неизменном сохранении журналом его названия и формы.

За председателя *Циклинский*.

Ученый секретарь *С. Зилитинкевич*.

Резолюция, принятая на Общем Собрании Русского Общества Радиоинженеров 16 октября с. г.

«Общее Собрание Русского Общества Радиоинженеров, заслушав сообщение члена учредителя РОРИ В. И. Баженова о краткой истории журнала «Телеграфия и Телефония без проводов» за десять лет его существования, считает необходимым отметить:

1) Журнал «Телеграфия и Телефония без проводов» с первого номера, вышедшего в сентябре 1918 г., был органически связан с Русским Обществом Радиоинженеров, учрежденным 31 марта того же года. Общность основных принципов и задач, положенных в основу обоих и руководящих ими и поныне, является залогом силы и процветания обоих — Общества и Журнала. Более 80% всех трудов, напечатанных в журнале за десять лет, принадлежит перу членов РОРИ и его Отделений.

2) Непрерывное, даже в те годы, когда старейшие журналы («Эле-

ктричество» и др.) принуждены были перестать функционировать, издание ТиТбп, всегда дававшее ряд выпусков в течение года, имело исключительное значение в деле развития научной радиотехнической мысли в СССР, а также воспитания новых поколений русских радиоспециалистов.

3) Славный путь, пройденный нашей научной радиотехникой за истекшие десять лет, получил вполне объективное и научное освещение на страницах юбиляра; материалы, печатавшиеся в журнале, привлекали к себе внимание не только внутри Союза ССР, но и за границей, что, с одной стороны, способствовало проникновению наших идей в мировую технику, а с другой — вызвало появление дальнейших работ тем по научной радиотехнике, чем достигалась преемственность в работах русских радиотехников.

На основании изложенного Русское Общество Радиоинженеров постановляет:

1) Приветствовать по поводу исполнявшегося десятилетия журнала «Телеграфия и Телефония без проводов» — бессменного редактора журнала, почетного члена РОРИ, профессора Владимира Константиновича Лебединского и позднейшего соредактора, почетного члена РОРИ, профессора Алексея Алексеевича Петровского, а также основателя издания — Народный Комиссариат Почт и Телеграфов и давшую физическое бытие журналу — Нижегородскую радиолaborаторию имени В. И. Ленина.

2) Считать крайне необходимым непрерывное существование журнала в дальнейшем, с тем же названием и по той же программе».

Ученый Секретарь РОРИ

В. Баженов.

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

Бюро Инженерно - Технической Секции при Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина, принятое на заседании 3 ноября с. г. по докладу Б. А. Остроумова о деятельности журнала „ТиТбп“.

Приветствуя выход в свет № 50 журнала «Телеграфия и Телефония без проводов», которым начинается второе десятилетие существования этого единственного в нашем Союзе специального научного органа, являющегося летописью русской радиотехнической мысли, Инженерно-техническая секция Нижегородской Радиолaborатории не может обойти молчанием ту роль, которую сыграл этот журнал в новом государственном и культурном строительстве нашей страны.

Всем известно то значение, которое беспроводная связь должна приобрести в новых условиях жизни, и то поразительное развитие, которое выпало на долю этой отрасли техники. Журнал «Телеграфия и Телефония без проводов» явился одним из существенных факторов, послуживших к раскрытию этого исключительного значения беспроводной связи и стимулировавших громадные успехи, достигнутые нами в этой области.

В течение десяти лет без прерыва, как в самые тяжелые годы голода, разрухи и гражданской войны, так и в период наступившего расцвета нового государственного и общественного строя, журнал будил русскую радиотехническую мысль, предоставляя свои страницы всем, кто имел сказать новое ценное слово в этой народившейся области научно-технических знаний.

Он не только отражал уровень последних и их развитие в нашем Союзе, но и информировал своих читателей о всех выдающихся событиях в истории радиотехники за границей. Он служил руководством —

отправным пунктом для самостоятельных исследований и справочником при конструктивных технических работах.

Заботливое и умелое редактирование позволяло на ограниченном числе печатных страниц в течение всех десяти лет помещать громадное количество самого ценного и самого современного печатного материала по радиотехнике, в то время как некоторые другие области науки и техники и до сих пор не могут найти удовлетворительных путей для опубликования интересующих их работ. Все это делает наш журнал особенно близким для тех из наших организаций и учреждений, которые в той или иной мере работают в области беспроводной связи, и в частности деятельность Нижегородской Радиолaborатории неразрывно связана с теми новыми горизонтами научно - технической мысли, выразителем которых он является.

Инженерно - техническая Секция констатирует, что значительная доля успеха в работах Радиолaborатории обусловлена именно тем обстоятельством, что, с одной стороны, они своевременно, без промедления, публиковались и таким образом подвергались широкому обсуждению и критике, а с другой стороны и тем, что сотрудники Радиолaborатории все время имели возможность без опоздания знакомиться с успехами других радио-специалистов и учитывать их в своих изысканиях.

ТиТбп таким образом как бы широко раздвигал рамки нашей Секции объединяя с ней всех радиоспециалистов Союза к общим согласным усилиям для разрешения текущих научно-технических проблем.

Инженерно - техническая Секция, считает такое координирование работ отдельных исследователей и техников в общее коллективное творчество, на основах взаимной осведомленности и разделения труда, главнейшей и драгоценной заслугой

нашего журнала и выражает твердую уверенность, что и в наступающем втором десятилетии, под искусным руководством своих маститых редакторов, пионеров русской радиотехнической мысли, журнал наш, с еще большим успехом, будет развивать именно эту сторону своей деятельности и тем обеспечит несомненно еще больший успех научно-технического творчества в области связи в нашем Союзе.

Секрет. Бюро ИТС *Н. Кубенский.*

Радиовещание в Н.-Новгороде.

С 23 декабря 1924 г. радиовещание в Н.-Новгороде происходило через опытные установки Радиолaborатории им. Ленина; с середины 1925 г. радиовещательная установка носит имя первого директора РЛ — инж. В. М. Лещинского.

В 1927 г. было принято решение построить для нужд Нижегородского Губисполкома отдельный передатчик типа ЛФМ.

Станция была пущена в работу в дни 10 годовщины Октябрьской революции; регулярные передачи программ по 6 часов 4 дня в неделю были начаты с 25 дек. 1927 г.

Передатчик помещен на окраине города, в третьем этаже здания, расположенного на самой высокой точке городской территории.

Две деревянные 24-метровые мачты расположены на крыше (19 м от земли), на расстоянии 76 м одна от другой. Антенна в форме 3-лучевой колбаски длин. 12,5 м подвешена почти в середине этого пролета, так что снижение ее идет вертикально к передатчику, находящемуся на высоте около 14 м над землей.

По габариту крыши проложены припаянные к железу медные провода 10 мм², в пролетах между крыльями здания натянут тот же провод; с углов прямоугольника, ограниченного зданием, спущены провода почти до земли — вся эта система работает как противовес.

Передатчик работал на волне 505 м до мая месяца; затем был переведен на волну 375 и, наконец, — 384 м. Работа ведется без укорачивающего конденсатора; при 4 лампах в генераторной части и 4 — в модуляторной ток в антенне 5,5 — 6А, модуляция 70 — 80%.

В одном помещении с передатчиком установлен приемник «Радиотранс» Ниж. РЛ; на него ведется радиотрансляция других станций.

Студия, предварительное усиление, усилитель для проволочной передачи по городу — находятся в центре города, в 1 км от передатчика.

Студия имеет размеры 7×9 м; акустическая защита — войлок и легкая бумажная ткань местами в складку.

Передача производится через микрофон типа ММ—3; несмотря на очень небольшую нагрузку микрофона (4 — 5 МА), не удается достаточно освободиться от шипящего фона.

Работа по проводам идет через усилитель типа УМ—2; в городе около 8 км сети, на которой включено 5 репродукторов „ТМ“ и до 25 „Рекордов“, установленных в красных уголках, клубах и квартирах. Провода подвешены на столбах электросети; индукция 50 пер. тока на репродукторах устраняется включенными на каждом вводе конденсаторами 30 — 40 · 10³ см.

Стоимость технической эксплуатации при передаче 1152 часа в год — около 12 р. за час (энергия, лампы, личный состав и т. п.).

Программу составляют передачи из студии и местных театров (местный материал) и трансляции московского материала по радио и по проводу (~450 км). За 6 месяцев (январь — июль 1928 г.) выработано всего 660,75 часа; из них было:

местного материала	
(лекционн. и музыкальн.)	197,3 час — 29,8%
трансляционного	463,45 час — 70,2%
в том числе по радио:	36%
по проводу	64%.

Оплата местного материала — лекционного в среднем 5 р., музыкального — 15 руб., час трансляции по

междугородному проводу стоит 9 р. 30 к. (аренда провода).

Средняя продолжительность дневной передачи: январь 5,6 ч., февраль 6,7 ч., март 6,7 ч., апрель 7,8 ч., май 11,8 ч., июнь 6,3 ч.

Наибольшая продолжительность работы в течение суток—14 ч. 10 м.

Перерывов в работе по техническим причинам за 6 месяцев было 10 ч. 25 м., или — 6,6 %.

Качество передачи удовлетворительно на 90%; есть сообщения, сравнивающие чистоту передачи с иностранными станциями. Подача материала по междугородному проводу из Москвы проходит хорошо, примерно в тех же процентах. Основные помехи—утечка на проводах и возникающая при этом индукция на провода. 450 ккм линия бронзовая, с перекрещиванием, никаких устройств для пупинизации не имеется.

Слушатели отзываюся о работе станции так: за 6 месяцев получено 632 письма; 252 из них (январь, февраль, март) подверглись детальной обработке. В этих письмах было отзывов о технике передачи — 164; из них хороших — 80%, плохих — 20%.

Дальность действия была обследована; прием на детектор отмечен на расстоянии 300 ккм; на 1-ламповый приемник — 3000 ккм. В радиусе 15 ккм от передатчика прием на простейший детекторный приемник ведется R6 на комнатную антенну.

Перевод станции на длину волны 384 м вызвал резкое падение числа слушателей, массовый слушатель—рабочий и крестьянин редко умеет настроить приемник на волны ко-

роче 500—600 м, особенно потому, что приемные антенны в большинстве имеют собственную длину волны свыше 1000 м.

Отзывчивость радиослушателей, особенно по вопросам программы радиовещания, весьма слабая. В июле 1928 г. был поставлен на массовое обсуждение вопрос о нужности местной станции и о построении программы. Несмотря на то, что необходимость высказаться была подкреплена угрозой прекратить работу, отозвалось только 524 из зарегистрированных по городу и пригородам 2387 владельцев приемников (15,8%). Из числа отозвавшихся слушающих на детектор было 72,5%, на ламповые приемники — 5%; остальные не указали системы приемников, но косвенные данные заставляют отнести эти 22,5% к „детекторщикам“.

Для решения вопроса: нужна ли в Н.-Новгороде своя радиостанция, был исследован прием на детектор ст. им. Коминтерна. Оказалось, что хороший прием имеют только 6,2% корреспондентов; 33,5% принимают плохо и у 60,3% — нет приема. Эти цифры говорят, что радиослушание в Н.-Новгороде развивается в примитивной форме — на суррогатные антенны и самодельные приемники. Это убедило радио-отдел НКПиТ в том, что местная станция, хотя бы в виде небольшой мощности релестанции, необходима, ибо замена дешевого детекторного слушания дешевым слушанием по провололочной сети в городе и пригородах в настоящее время невозможна.

Н.-Новгород
Сентябрь 1928 г.

Ф. Л.

ИСПРАВЛЕНИЯ.

К статье инж. Кугушева. ТиТбп № 48. На стр. 364 вместо: $C = (2k_3 + \pi)$ следует читать $C = (2k_3 + \pi) \cdot f$

К статье Н. Д. Смирнова. ТиТбп № 49. На стр. 480, строка 2-я сверху, напечатано $y - De_a$, должно быть $y + De_a$.

Издание Нижегородской Радиолaborатории имени В. И. Ленина.

Тираж 1050 экз.

НИЖПОЛИГРАФ, Н.-Новгород, Варварка, 32.

Гублит № 506.

Печатание ТиТбп № 5 (50 закончено 21 ноября 1928 года.

1 руб. 25 коп.