

Э. А. А. А.



ТЕЛЕГРАФИЯ И ТЕЛЕФОНΙΑ
БЕЗ
ПРОВОДОВ

№ 10. МАЙ 1921.

ИЗДАНИЕ НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ПОЧТ И ТЕЛЕГРАФОВ.

Печатается при Нижегородской Радиолaborатории.

СОДЕРЖАНИЕ.

О дальнейшем издании „ТиТбп“	360
Расчет сложного незатухающего отправителя. Проф. А. Петровского	361
Дальность действия радиопередачи (оконч.). Проф. А. Чернышева	375
Применение катодного реле при телефонировании по проводам на большие расстояния. Проф. К. Шенфера	409
Катодные умножители частоты. В. В. Татаринова	430
Некоторые особенности работы радиотелефонных аппаратов. Проф. М. А. Бонч-Бруевича	437
Теория триода. В. К. Лебединского	446
Исследование характеристик и параметров триода с чисто электрон. разрядом. С. И. Зилитинкевича	456
К теории триода. Проф. М. А. Бонч-Бруевича	485
Письмо в редакцию. Проф. М. А. Бонч-Бруевича	490
От редакции	491
Исправления.	493
Указатель содержания „ТиТбп“ №№ 5—10	495

Десятым выпуском журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“ заканчивается серия его выпусков, начатая в сентябре 1919 г. номером пятым. Эта серия отпечатана в типографии Нижегородской Радиолaborатории, взявшей на себя эту работу, как только возникли затруднения с изданием журнала в Москве.

№№ 6—10 „ТиТбп“ заключают в себе 39 статей по радиотехнике, из которых 36—оригинальные статьи восемнадцати русских авторов и три—переводные; общий объем этих статей 492 страницы. По сравнению с первой серией (№№ 1—4), заключавшей в себе 136 стр., журнал увеличился более, чем на 150%.

Журнал „ТиТбп“ с № 1 начал выходить в сентябре 1918 г. и является в хронологическом смысле продолжением „Вестника военной радиотелеграфии“ (с марта по июль 1917 г.), который, в свою очередь, продолжал дело „Вестника телеграфии без проводов“ (1912—1914 гг.). Таким образом наша десятилетняя специальная радиожурналистика почти не прерывалась за все это время, и к настоящему моменту еще возросла, выразившись в серьезном органе, обильном по материалу, 92% которого представляют собою оригинальные работы наших авторов.

Дело требует своего продолжения. Совет Нижегородской Радиолaborатории будет продолжать ведение журнала „ТиТбп“, рассчитывая на прежнюю поддержку со стороны Нар. Ком. Почт и Телеграфов; программа издания будет несколько расширена отделом „Из иностранной литературы“ и т. под.

Учреждения и лица, желающие получать „ТиТбп“ с № 11, приглашаются известить об этом редакцию (Нижний-Новгород, Верхняя Набережная, 8).

Трудности, постоянно возникающие на пути издания, надеемся, будут учтены авторами, и они простят случайные задержки в печатании статьи и другие технические недостатки нашего журнала.

Расчет сложного незатухающего радиоотправителя.

Доложено на заседании I-го Всероссийского Радютехнического съезда 11 сентября 1920 г.

Проф. А. Петровского.

В соответствии с положениями и выводами, изложенными в статье „Работа сложного незатухающего радиоотправителя“¹⁾, я полагаю целесообразным следующий порядок расчета.

1) Задается дальность действия. Это есть то расстояние, на котором рассчитываемый отправитель создает в приемной сети, имеющей сопротивление 25 Ω и высоту 100 мт, 100 μ А действующей силы тока (т. е. $1,0 \frac{\mu A}{\text{мт}}$). Если передача происходит по суше, то заданная дальность приводится к морю, при помощи известных коэффициентов. Окончательно полученная, т. е. приведенная дальность будет обозначаться r_0 . Пусть

$$r_0 = 6000 \text{ км.}$$

2) Вычисляется наивыгоднейшая длина волны, соответствующая дальности r_0 . В первом приближении она получается по формуле:

$$\lambda = 551 \cdot 10^{-6} r_0^2,$$

непосредственно вытекающей из формулы Остина, причем λ получается в метрах при r_0 в километрах. Но в действительности наивыгоднейшая длина волны отклоняется от величины, определяемой формулой; причиной является непостоянство сопротивления приемной радиосети. Часто также длина волны бывает обусловлена посторонними соображениями.

По вышеприведенной формуле получаем:

$$\lambda = 19800 \text{ мт,}$$

но принимаем:

$$\lambda = 15000 \text{ мт.}$$

¹⁾ „Титбл“ № 9 стр. 322.

По установлении длины волны вычисляется эл. угловая частота по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi c_0}{\lambda} = \frac{18,84 \cdot 10^8}{\lambda},$$

причем λ должна быть выражена в метрах. Получаем:

$$\omega = 125600.$$

3) Вычисляется действующий эл. момент тока радиоотправителя, а именно:

$$M_e = h_e i_e = 0,0663 \lambda r_0 \varepsilon \frac{0,0015 r_0}{V \lambda_{\text{вк}}},$$

где λ и r выражены в километрах, а M_e получается в метриперах. Получаем:

$$M_e = 60 \cdot 10^3.$$

4) Задается геометрическая высота сети радиоотправителя. Пусть

$$h = 250 \text{ м.}$$

Имея определенный тип сети и зная по данным опыта или иным соображениям формфактор f для этого типа, находим действующую высоту сети:

$$h_e = fh.$$

Пусть

$$f = 1$$

$$h_e = 250 \text{ м.}$$

5) Вычисляется действующая сила тока в сети радиоотправителя

$$i_e = \frac{M_e}{h_e} = 239 \text{ А},$$

а затем и амплитуда этого тока:

$$I_e = \sqrt{2} i_e = 338 \text{ А}.$$

- 6) Вычисляется амплитуда заряда сети:

$$Q_1 = \frac{I_1}{\omega} = 2,69 \cdot 10^{-8} \text{ C.}$$

- 7) Задается амплитуда напряжения, которое должно получаться на верхней части сети при работе, или же задается величина емкости сети. Пусть амплитуда напряжения

$$V_1 = 100000 \text{ V.}$$

- 8) Вычисляется емкость сети, или же амплитуда напряжения:

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} = 2,69 \cdot 10^{-8} \text{ F} = 242000 \text{ CGS.}$$

- 9) Вычисляется полная величина вторичной самоиндукции по формуле:

$$L_1 = \frac{\lambda^2}{4C_1},$$

где λ выражена в метрах, C_1 в эс. единицах, а L_1 получается в микро-геири. Находим:

$$L_1 = 2325 \mu H.$$

- 10) Задается собственная длина волны сети. Обыкновенно она принимается равной половине или трети рабочей волны λ . Пусть

$$\lambda_a = 5000 \text{ мт.}$$

- 11) Вычисляется собственная самоиндукция сети по формуле:

$$L_a = \frac{\lambda_a^2}{4C_1},$$

где λ_a выражено в метрах, C_1 в эс. единицах, а L_a получается в микро-геири. Находим:

$$L_a = 258 \mu H.$$

- 12) Вычисляется самоиндукция удлинительной катушки вариометра, включенного в сеть:

$$L_1' = L_1 - L_a = 2067 \mu H.$$

13) Вычисляется сопротивление излучения сети по формуле:

$$R_r = 1580 \left(\frac{h_e}{\lambda} \right)^2 = 0$$

Находим: $R_r = 0,44 \Omega$.

14) Задается полное сопротивление радиосети. Оно бывает известно из опыта, причем основною является измерение полного декремента радиосети, который связан с ее полным сопротивлением соотношением:

$$R_a = 150 \frac{\delta \lambda}{C_2},$$

где R_a получается в омах, если λ выражено в метрах, а C_2 в эс. единицах.

Принимая, что при $\lambda = 5000$ мт, $C_2 = 24200$, $\delta = 0,1$, находим:

$$R_a = 3,1 \Omega.$$

Допуская, что удлинительная катушка и вторичный вариометр дадут сопротивление в $0,9 \Omega$, можно принимать полное сопротивление вторичной цепи равным:

$$R_1^1 = 4 \Omega,$$

из которых на потери приходится

$$R_1 = R_1^1 - R_r = 3,56 \Omega$$

при этом отдача радиосети будет:

$$\eta = \frac{R_r}{R_1^1} = \frac{0,44}{4} = 0,11.$$

Падение напряжения, имеющее место на сопротивлении излучения, будет равно:

$$R_r I_1 = 149 \text{ V.}$$

Падение на сопротивлении потерь:

$$R_1 I_1 = 1203 \text{ V.}$$

Полное падение на вторичном сопротивлении:

$$R_2^1 I_2 = 1352 \text{ V.}$$

15) Рассчитывается мощность, расходуемая на излучение:

$$P_r = R_r i_e^2 = 25,1 \text{ k W.}$$

Мощность, расходуемая на потери:

$$P_2 = R_2 i_e^2 = 203,3 \text{ k W.}$$

Полная мощность, расходуемая во вторичной цепи:

$$P_2^1 = R_2^1 i_e^2 = 228,4 \text{ k W.}$$

16) Рассчитывается произведение коэффициента взаимной индукции на амплитуду силы первичного тока из равенства (оно вытекает из рассмотрения диаграммы вторичной цепи, настроенной в резонанс):

$$MI_1 = \frac{R_2^1 I_2}{\omega}$$

Находим: $MI_1 = 10,76 \cdot 10^{-3}$.

17) Задается отдача перехода энергии из первичной цепи во вторичную:

$$\gamma_1 = 0,8.$$

Отсюда вычисляется полная отдача радиоотправителя:

$$\gamma = \gamma_1 \gamma_2.$$

Находим: $\gamma = 0,088$.

18) Вычисляется мощность альтернатора по формуле:

$$P = \frac{P_2^1}{\gamma_1}.$$

Находим: $P = 285,5 \text{ k W.}$

19) Задается амплитуда первичного напряжения (получающегося на обкладках первичного конденсатора):

$$V_1 = 10000 \text{ V.}$$

20) Задается амплитуда эд. силы альтернатора:

$$E = 5000 \text{ V.}$$

Отсюда вычисляется действующая эд. сила:

$$e_e = 3546 \text{ V.}$$

21) Вычисляется амплитуда силы первичного тока:

$$I_1 = \frac{2P}{E}.$$

Находим: $I_1 = 114,2 \text{ A.}$

Отсюда действующая сила первичного тока $I_e = 81 \text{ A.}$

22) Рассчитывается коэффициент взаимной индукции из (16) и (21):

$$M = 94,2 \mu \text{ H.}$$

23) Рассчитывается первичная емкость:

$$C_1 = \frac{I_1}{V_1 \omega}.$$

Находим: $C_1 = 90920 \mu \text{ F} = 81828 \text{ CGS.}$

24) Рассчитывается первичная самоиндукция:

$$L_1 = \frac{\lambda^2}{4C_1},$$

где λ должно быть выражено в метрах, C_1 в э.с. единицах, а L_1 получится в микрогенри.

Находим: $L_1 = 688 \mu \text{ H.}$

25) Рассчитывается амплитуда эд. силы возвратной индукции:

$$M \omega I_1 = 3994 \text{ V.}$$

26) Рассчитывается амплитуда падения напряжения на первичном сопротивлении:

$$R_1 I_1 = E - M \omega I_2.$$

Находим: $R_1 I_1 = 1006 \text{ В}$.

27) Рассчитывается первичное сопротивление из (26) и (21):

$$R_1 = 8,9 \Omega.$$

28) Задается наибольшая величина m связи, достижимая между обмотками трансформатора. Пусть:

$$K = 0,5.$$

29) Вычисляется самоиндукция первичного вариометра:

$$L_1^1 = \frac{M^2}{L_2^1 K^2}.$$

Находим: $L_1^1 = 17,2 \mu \text{ H}$.

При этом амплитуда индуктивного падения напряжения на первичном вариометре равна:

$$L_1^1 \omega I_1 = 245,5 \text{ В}.$$

30) Вычисляется самоиндукция альтератора:

$$L_0 = L_1 - L_1^1 = 670,8 \mu \text{ H}.$$

Вышеприведенный расчет я рассматриваю, как пример, т. к. данные, положенные в его основу, может быть, и не вполне соответствуют тем, которые доставляются практикой. Впрочем, хотя в некоторых случаях эти данные и были округлены, в общем порядок их величины вполне отвечает действительности¹⁾.

Так как в результате расчета мы получаем все физические постоянные установки, то возникает вопрос, как будут изменяться эти постоянные в зависимости от принятых заданий. Наиболее характер-

¹⁾ Наиболее серьезным отклонением от действительности приходится считать задание эд. сил альтератора 5000 В и первичного напряжения 10000 В. По мнению профессора В. П. Вологодина альтератор трудно построить выше, чем на 200—1000 В. Я полагаю, что это затруднение можно обойти, но оставляю пока вопрос открытым.

на та зависимость от отдачи перехода γ_{11} , при которой работает установка. С этой целью я вычислил кроме вышеприведенного варианта, соответствующего отдаче $\gamma_{11} = 0,8$, еще несколько, соответствующих отдам $\gamma_{11} = 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,9$ и $1,0$. Сводка результатов представлена в таблице I.

Так как при расчете этих вариантов цифры, соответствующие пунктам 1—16 расчета, остаются без изменения, то они собраны в верхней части таблицы; остальные же цифры, соответствующие пунктам 17—30, распределены вертикальными столбцами, каждый из которых отвечает определенной величине γ_{11} .

Для наглядности представления наиболее интересные величины, а именно R_1 , C_1 , L_1 , L_0 , M , I_1 , получающиеся при расчетах отдельных вариантов, представлены графически в зависимости от величины γ_{11} на черт. 1 (стр. 370). Из него видно, что по мере увеличения отдачи перехода γ_{11} , сила первичного тока I_1 и потребная для установки первичная емкость C_1 уменьшаются по гиперболической кривой, тогда как потребная для установки первичная самоиндукция L_1 и взаимная индукция M возрастают почти прямолинейно. Самоиндукция L_0 , которою можно располагать для альтернатора (последняя может быть и меньше E_0 , т. к. недостающая величина легко добавляется включением в первичную цепь подходящей катушки) также возрастает почти прямолинейно, что представляет значительную выгоду для конструктора. Что касается первичного сопротивления R_1 , то оно изменяется по параболической кривой, имеющей вершину при отдаче перехода $\gamma_{11} = 0,5$. При этих условиях первичная цепь может иметь максимум сопротивления, и дальнейшее возрастание отдачи непременно связано с уменьшением R_1 . В этом и заключается затруднение для конструктора, ставящее предел заданию γ_{11} . Повидимому исполнимой является конструкция, для которой $\gamma_{11} = 0,7—0,8$.

Интересно посмотреть, какой вид представляют векториальные диаграммы работы установки, рассчитанной в настоящей статье. С этой целью в расчет и были введены некоторые пункты, необходимые исключительно для построения диаграммы. Построение ее происходит следующим образом.

а) От некоторой точки O откладываем вверх отрезок равный амплитуде вторичного напряжения V_2 (задание 7); он же изобразит собою и вектор вторичной самоиндукции.

б) От той же точки откладываем вправо отрезок, равный амплитуде падения напряжения на сопротивлении потерь во вторичной цепи $R_2 I_2$ (расчет 14) и, как продолжение, отрезок, равный амплитуде падения напряжения на сопротивлении излучения $R_r I_2$ (расчет 14); сумма их представляет полную амплитуду падения напряжения на сопротивлении вторичной цепи $R_2 I_2$, а вместе с тем и амплитуду эд. силы взаимной индукции $M \omega I_1$.

ТАБЛИЦА I.

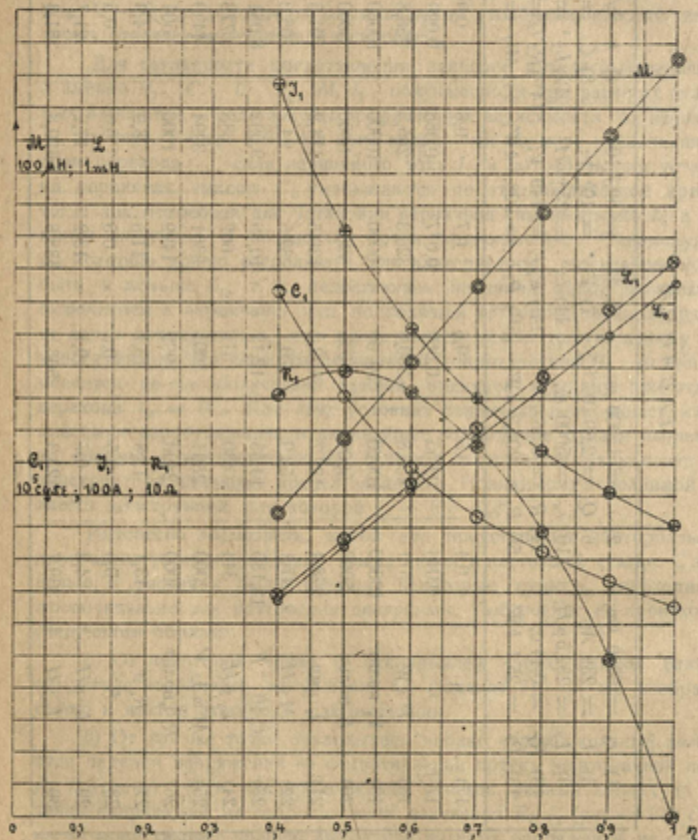
1) r_0 = 6000 км;	2) λ = 15000 м;	3) M_e = 59,7 · 10 ²⁴ ;	4) h = 250 м;
5) i_e = 239 А;	6) Q_2 = 2,69 · 10 ⁻³ С;	7) V_2 = 10 ⁵ В;	8) C_2 = 2,69 · 10 ⁻⁸ Ф;
9) L_2 = 232,5 мГ;	10) λ_e = 5000 м;	11) L_a = 258 мГ;	12) L_2 = 2067 мГ;
13) R_T = 0,44 Ом;	14) R_2 = 3,56 Ом;	14') $R_T I_2$ = 149 В;	14'') $R_2 I_2$ = 1203 В;
15) P_T = 25,1 кВт;	15') P_2 = 203,3 кВт;	15'') P_2 = 228,4 кВт;	16) M_I = 10,76 · 10 ⁻³ .
17) η	0,4	0,5	0,6
17') γ	0,044	0,055	0,066
18) P кВт	571	456,8	380,6
19) V_1 вольт	10000	10000	10 000
20) E вольт	5000	5000	5000
21) I_1 амп	228,4	182,7	152,2
22) M мГ	47,1	58,9	70,7
23) C_1 10 ⁻⁸ Ф	18,185	14,55	12,12
24) L_1 мГ	344	430	516
25) $M_{\infty I_2}$ В	2000	2504	3001
26) R_1 вольт	3000	2496	1999
27) $R_1 I_2$	13,1	13,8	13,1
28) K	0,5	0,5	0,5
29) L_1 мГ	4,3	6,7	9,7
30) I_{∞} мГ	339,7	423,3	506,3
			670,8
			588,8
			13,2
			17,2
			21,7
			751,3
			832,1
			0,5
			26,9
			859
			5000
			0
			0
			4,9
			0,5
			8,9
			1006
			3994
			773
			8,081
			106,0
			101,5
			5000
			253,8
			0,099
			0,9
			1,0

Сметание А. А. Петровского.

Изменения параметров радиопередающего устройства.

$\lambda = 5000 \text{ м}; C_2 = 24200 \text{ пф}; L_2 = 2525 \text{ мГ}; \lambda_a = 5000 \text{ м}; L_a = 258 \text{ мГ}; \mu_1 = 10; \alpha_1 = 3,44 \text{ л}$

$I_1 = 338 \text{ А}; U_1 = 10^5 \text{ В}; P_1 = 228,4 \text{ кВт}; P_2 = 25,1 \text{ кВт}; \eta_2 = 0,11; U_2 = 10000 \text{ В}; G = 5000 \text{ Г}; \kappa = 0,5$



Зеркало.

с) От той же точки откладываем влево отрезок, равный амплитуде напряжения на обкладках первичного конденсатора V_1 (задание 19); он же изобразит собою и вектор первичной самоиндукции.

д) От той же точки откладываем вверх отрезок, равный амплитуде эд. силы возвратной индукции $M \omega I_2$ (расчет 25) и, как его продолжение, отрезок, равный амплитуде падения напряжения на первичном сопротивлении $R_1 I_1$; сумма их изобразит собою амплитуду эд. силы, развиваемой альтернатором.

К этому можно добавить, что построения б) и д) можно заменить следующими:

б¹) От точки O откладываем вправо отрезок, равный амплитуде полного падения напряжения на вторичном сопротивлении $R_2 I_2$ (расчет 14), и на нем отмечаем точку, отношение расстояния которой от конца этого отрезка к полной длине его, равно γ_2 (расчет 14).

д¹) От точки O откладываем вверх отрезок, равный амплитуде эд. силы альтернатора E (задание 20) и на ней отмечаем точку, отношение расстояния которой от точки O к полной длине отрезка равно отдаче перехода γ_1 (задание 17).

Это и заканчивает построение диаграммы.

На черт. 2 (стр. 372) представлен ряд векториальных диаграмм, соответствующих всем рассчитанным вариантам.

Некоторый интерес представляет также величина напряжения V_1^1 , которое будет иметь место при работе установки на зажимах альтернатора, а также и сдвиг фаз ϵ между этим напряжением и первичным током I_1 . Их легко найти при помощи построения диаграммы, представленной на черт. 3 (стр. 373).

а) Принимая ось абсцисс за направление вторичного, а ось ординат за таковое первичного тока, откладываем от начала координат вправо отрезок, равный амплитуде напряжения на обкладках первичного конденсатора V_1 .

б) Из конца этого отрезка откладываем по перпендикуляру вверх отрезок, равный амплитуде эд. силы возвратной индукции $M \omega I_2$ и затем, как продолжение, отрезок, равный амплитуде падения напряжения на сопротивлении первичного вариометра и на сопротивлении потерь первичного конденсатора $(R_1^1 + R_1^{11}) I_1$.

с) Из конца последнего отрезка проводим горизонтально влево линию, на которой откладываем отрезок, равный амплитуде индуктивного падения напряжения на первичном вариометре $L_1^1 \omega I_1$.

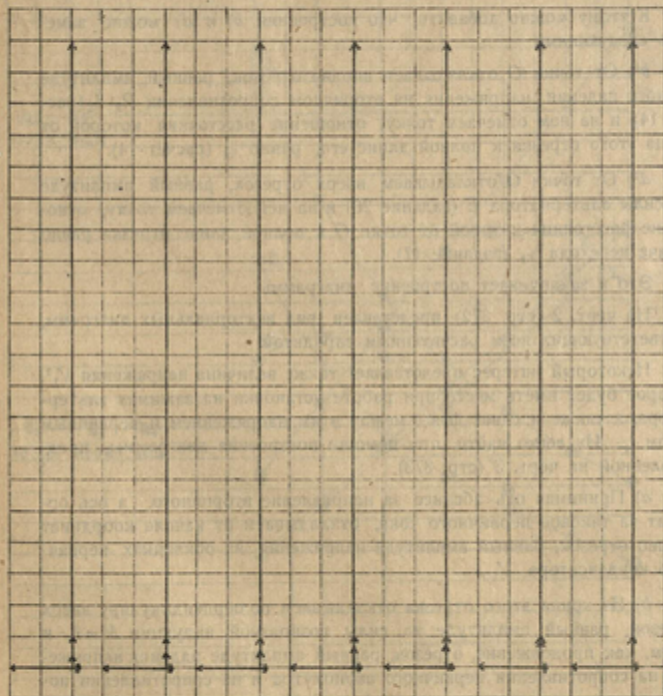
д) Соединив конец последнего отрезка с началом координат и получаем вектор, по длине равный амплитуде напряжения на зажимах альтернатора V^1 ; угол же ϵ между этим вектором и осью ординат

Θηεηηνξηαηηθή εηαγξαθηα ηεηαηηαηηηεηε ηεηαηηηεηεηε.

$\lambda = 15000 \mu\text{m}$; $C_2 = 24200 \text{ pF}$; $Z_2 = 2325 \mu\text{H}$; $\lambda_0 = 5000 \mu\text{m}$; $Z_0 = 258 \mu\text{H}$; $R_2 = 4 \Omega$; $F_2 = 0,44 \Omega$;

$I_2 = 358 \text{ A}$; $V_2 = 10^5 \text{ V}$; $P_2 = 223,4 \text{ kW}$; $P_2 = 25,3 \text{ kW}$; $\eta_2 = 0,9$; $V_1 = 10000 \text{ V}$; $E = 5000 \text{ V}$; $\kappa = 0,5$.

$\eta = 0,4$	$\eta = 0,5$	$\eta = 0,6$	$\eta = 0,7$	$\eta = 0,8$	$\eta = 0,9$	$\eta = 1$
$\eta = 0,044$	$\eta = 0,065$	$\eta = 0,066$	$\eta = 0,077$	$\eta = 0,083$	$\eta = 0,093$	$\eta = 0,11$
$P = 571$	$P = 457$	$P = 381$	$P = 326$	$P = 286$	$P = 254 \text{ kW}$	$P = 213 \text{ kW}$
$I_1 = 128$	$I_1 = 183$	$I_1 = 152$	$I_1 = 131$	$I_1 = 114$	$I_1 = 102 \text{ A}$	$I_1 = 91 \text{ A}$



$M = 47,1$	$M = 55,9$	$M = 71$	$M = 82,5$	$M = 94,2$	$M = 106 \mu\text{H}$	$M = 118$
$C_1 = 163465$	$C_1 = 150950$	$C_1 = 109050$	$C_1 = 93510$	$C_1 = 81328$	$C_1 = 72730 \text{ pF}$	$C_1 = 65493$
$Z_1 = 344$	$Z_1 = 430$	$Z_1 = 516$	$Z_1 = 602$	$Z_1 = 688$	$Z_1 = 773 \mu\text{H}$	$Z_1 = 859$
$R_1 = 13,1$	$R_1 = 13,8$	$R_1 = 13,1$	$R_1 = 11,5$	$R_1 = 8,9$	$R_1 = 4,9 \Omega$	$R_1 = 0$
$Z_0 = 340$	$Z_0 = 425$	$Z_0 = 506$	$Z_0 = 588$	$Z_0 = 671$	$Z_0 = 751 \mu\text{H}$	$Z_0 = 832$

Исмаилов А. А. Темповенко.

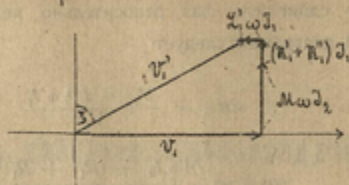


Рис. 3.

Схемы графика первой цепи излучения разномощности.

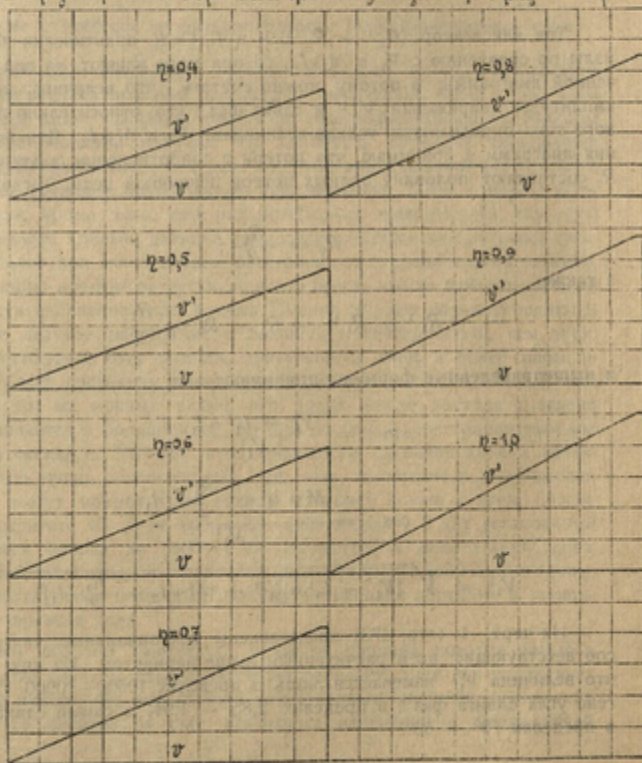


Рис. 4.

представляет сдвиг его фаз относительно первичного тока.

Из этой диаграммы следует:

$$\sin \varepsilon = \frac{V_1 - L_1^1 \omega I_1}{V_1^1}$$

$$\cos \varepsilon = \frac{M \omega I_2 + (R_1^1 + R_1^{11}) I_1}{V_1^1}$$

$$V_1^1 = \sqrt{[V_1 - L_1^1 \omega I_1]^2 + [M \omega I_2 + (R_1^1 + R_1^{11}) I_1]^2}$$

Так как вектор $(R_1^1 + R_1^{11}) I_1$ и $L_1^1 \omega I_1$ практически бывают малы по сравнению с V_1 и $M \omega I_2$, то они мало влияют на вид полученной диаграммы, а потому можно считать, что величина искомой амплитуды напряжения V_1^1 и сдвиг фаз ε его относительно первичного тока определяются только величинами V_1 и $M \omega I_2$. Для построения диаграммы я принимаю, что потери в сопротивлении альтернатора R_0 составляют половину полных потерь первичной цепи. Тогда:

$$R_0 = \frac{R_1}{2},$$

а также:

$$R_1^1 + R_1^{11} = R_1 - R_0 = \frac{R_1}{2},$$

и вышеприведенные формулы принимают вид:

$$\sin \varepsilon = \frac{V_1 - L_1^1 \omega I_1}{V_1^1}$$

$$\cos \varepsilon = \frac{M \omega I_2 + \frac{R_1}{2} I_1}{V_1^1}$$

$$V_1^1 = \sqrt{[V_1 - L_1^1 \omega I_1]^2 + [M \omega I_2 + \frac{R_1}{2} I_1]^2}$$

На черт. 4 (стр. 373) представлены векториальные диаграммы, соответствующие всем рассчитанным выше вариантам. Из них видно, что величина V_1^1 изменяется лишь в пределах 10500—10900 В, тангенс угла сдвига фаз ε в пределах 2,86 — 1,94, а самый сдвиг фаз ε в пределах 70° — 63°.

Дальность действия радиопередачи.

Проф. А. Чернышева.

Окончание со стр. 300.

Влияние атмосферы на распространение электромагнитных волн.

Еще в 1902 году Маркони¹⁾ обратил внимание на то, что передача радиотелеграфных сигналов происходит значительно легче и надежнее ночью, чем днем. Из своих опытов по телеграфированию на большие расстояния Маркони получил, что дальность передачи повышается ночью приблизительно в $2\frac{1}{2}$ раза по сравнению с дальностью передачи днем. Последующие исследования, произведенные более точными методами, дали, кроме того, еще ряд интересных зависимостей; так, если рассматривать кривые, дающие силу получающихся на приемной станции сигналов при значительном расстоянии от отправительной станции, как функцию времени за сутки, то почти всегда можно найти некоторую законность изменения силы приема. Именно сигналы ночью передаются на более далекое расстояние с большей интенсивностью, чем днем; с другой стороны, хотя сигналы, принимаемые днем, и более слабы, но сила их более постоянна по сравнению с силой ночных сигналов. Кроме того, из тех же кривых видно, что время около восхода и захода солнца является в большинстве случаев особенно неблагоприятным для передачи сигналов. Разница в интенсивности сигналов днем и ночью может быть очень значительной, при чем отношение в расстояниях, которые могут покрываться данной станцией ночью и днем, иногда может достигать 10. В то время как ночью суда с 2 квт установками сообщаются иногда до 3500—4500 километров и даже дальше, днем они сообщаются надежно только на расстоянии 300—400 километров²⁾. Наблюдается также некоторая разница в условиях передачи в зависимости от времени года.

Таким образом существует какая-то причина, которая ночью в большинстве случаев благоприятствует передаче, днем же отсутствует или даже мешает ей; совершенно естественным является стремление отнести это влияние за счет некоторых изменений в окружающей

¹⁾ The Electr. T. 49, p. 521. 1902.

²⁾ The Electr. T. 74, p. 674. 1915.

землю атмосфере, которые связаны особенно сильно с ее освещением солнечными лучами.

Таким образом мы приходим к третьему взгляду на распространение электромагнитных возмущений в земных условиях, появление которого породило обширную литературу и полемику в специальной литературе¹⁾.

В 1900 году Хивисайд указал, что в том случае, если верхние слои атмосферы будут сильно ионизированы, возможно распространение электромагнитного возмущения в пространстве между земною поверхностью и этим проводящим слоем при помощи отражения.

Тот же взгляд позднее был высказан Пуанкаре в упоминавшейся ранее работе²⁾. Получив отрицательный результат в своей попытке объяснить распространение электромагнитных волн на расстояние $1/4$ земного меридиана при помощи теории дифракции, Пуанкаре говорит: „может быть, необходимо вспомнить про другую гипотезу, по которой верхние слои атмосферы, сделавшись проводящими, отражают волны“.

Несколько отличный от указанного взгляд на причину огибания электромагнитными волнами земной поверхности был развит Икклзом³⁾. Он также усматривает причину огибания в ионизации атмосферы, но исходит из определения скорости распространения в зависимости от ионизации. В том случае, если в атмосфере присутствует значительное число ионов, скорость распространения электромагнитных волн при этом изменяется в сторону ее увеличения. В виду того, что солнечные лучи, именно ультрафиолетовая часть их, производят ионизацию, которая будет особенно сильна в верхних слоях атмосферы, поэтому по своему составу в отношении процентного содержания ионизированных молекул слои газовой атмосферы, окружающей землю, будут неодинаковы; вышележащие будут более богаты ионами. Таким образом атмосфера может быть представлена состоящей из ряда концентрических слоев с различным содержанием продуктов ионизации в виде заряженных молекул.

Исходя из уравнений Максвелла, Икклз получил значение электрической силы в точке на расстоянии x от вибратора в таком виде:

$$-ax + fp \left(t - \frac{x}{v} \right) \\ Z = I$$

¹⁾ The Electr. за 1914 и 1915 года. Ряд писем в редакцию по поводу „слоя Хивисайда“.

²⁾ Rend. del Cir. Mat. di Palermo, 259. 1910.

³⁾ Proc. of the Royal Soc. 1912, также H. Porödi. La Lum. Electr. T. 25, 449. 1914. J. d. d. T. T. B. 8, p. 253.

где p частота в 2π секунд; волны распространяются со скоростью:

$$v = \frac{mp}{\gamma} \sqrt{\left(\frac{2(1-\gamma)}{\mu\epsilon}\right)} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{\gamma f}{mp(1-\gamma)}\right)^2} - 1 \right\}^{1/2}$$

и с коэффициентом поглощения

$$\alpha = \frac{\mu\epsilon \gamma f}{2m} v, \text{ где } \gamma = \frac{4\pi ne^2 m}{\epsilon(m^2 p^2 + f^2)};$$

при этом μ и ϵ магнитная проницаемость и диэлектрическая постоянная среды — до ионизации, m масса, e заряд отдельного иона¹⁾, n число ионов в кубическом сантиметре в данной точке (концентрация) и f постоянная аналогичная коэффициенту трения, характеризующая возникающую силу при сдвигении иона из его первоначального положения под влиянием электрической силы волны.

Так как величина

$$\frac{\gamma f}{mp(1-\gamma)}$$

обыкновенно очень мала по сравнению с единицей, пренебрегая высшими степенями при разложении в ряд, получим для скорости распространения электромагнитной волны при этих условиях:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \left(1 + \frac{1}{2} \gamma\right)$$

и для коэффициента поглощения

$$\alpha = \frac{V\mu\epsilon}{2m} f \gamma \left(1 + \frac{1}{2} \gamma\right);$$

на длину волны последний коэффициент равен

$$\alpha^1 = \frac{\pi}{1-\gamma} \frac{\gamma f}{mp}.$$

Таким образом скорость распространения волн зависит от значения величины γ . Рассмотрим эту величину несколько подробнее.

¹⁾ Масса иона может быть составлена из суммы масс отдельных молекул.

Как было раньше указано,

$$\gamma = \frac{4\pi n e^2 m}{m^2 p^2 + f^2}.$$

Принимая $e = 1,0 \times 10^{-20}$ эл.-магн. ед., $f = 7 \cdot 10^{-13}$, $p = 10^7$, $m = 2 \times 10^{-21}$ гр, для mp получим 2×10^{-14} . Таким образом для волн с частотой порядка 1000000 в секунду оба члена в знаменателе выражения одного и того же порядка. Для волн меньшей частоты член f^2 гораздо больше члена $m^2 p^2$, и потому последним можно пренебрегать. Это справедливо для низких высот. На больших высотах мы будем иметь обратное соотношение, так как известно, что f с увеличением разрежения уменьшается гораздо быстрее, чем m . Поэтому для больших высот мы будем иметь приблизительно

$$\gamma = \frac{4\pi n e^2}{m p^2}.$$

Таким образом для незначительных высот мы получим значение γ приблизительно равным $0,55 \times 10^{-14}$ л (при этом l обычно лежит в пределах между 1000 и 10000). На больших высотах мы получим для γ значения равные $0,6 \times 10^{-11}$ л при $p = 10^7$ и $0,6 \times 10^{-9}$ л при $p = 10^6$. Если же принять во внимание то обстоятельство, что на больших высотах масса иона вероятно гораздо меньше, то не исключена возможность, что $\gamma = 0,6 \times 10^{-7}$ л при $p = 10^6$.

Таким образом γ не является величиной постоянной, а является функцией расстояния от центра земли. Если мы обозначим через v скорость распространения излучения на расстоянии p от центра земли и через $v + dv$ на расстоянии $p + dp$, то мы будем иметь:

$$\frac{dp}{p} = \frac{dv}{v};$$

откуда

$$\frac{1}{p} = \frac{dv}{v dp};$$

и так как

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} \left(1 + \frac{1}{2} \gamma\right),$$

то

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{2} \frac{d\gamma}{dp}.$$

Если мы теперь примем такие соотношения, при которых радиус кривизны лучей на всех высотах равен $R + h$, где R радиус земли и h высота, на которой распространяется луч, так что при $h = 0$ и $\gamma = 0$, то мы найдем приближенно для γ следующее значение

$$\gamma = 2 \ln \frac{R + h}{R} \approx 2 \frac{h}{R}.$$

Хотя в действительности кривизна лучей в нижних частях атмосферы по всей вероятности не столь велика, тем не менее это уравнение показывает, что в высоких слоях атмосферы на высоте 35 километров γ должно иметь значение порядка 0,01. Это значение получится при длинах волн в 2000, 6000 и 18000 метров при концентрациях порядка 160000, 16000 и 1600, что является уже весьма вероятным; последнее значение существует даже в нижних частях атмосферы.

Таким образом при малых и средних длинах волн электромагнитная волна, распространявшаяся сначала в горизонтальном направлении, начинает по мере перехода в слои с большей концентрацией ионов изгибаться по направлению к земной поверхности. При этом могут быть три случая: 1) радиус кривизны окажется все-таки больше, чем радиус земли; в этом случае электромагнитная волна или выйдет совершенно из пределов земной атмосферы и будет таким образом потеряна или же, достигнув очень сильно проводящего верхнего слоя, отразится от него и придет в отдаленную точку земной поверхности, причем в промежуточных точках у поверхности земли электромагнитная волна будет отсутствовать; 2) радиус кривизны электромагнитного луча окажется приблизительно равным земному радиусу, и волна будет огибать землю по правильной кривой без всяких отражений, и наконец 3) радиус кривизны окажется меньше радиуса земли, и волна будет переходить из верхних слоев обратно в нижние, отражаться от земной поверхности, снова переходить в верхние слои до своего полного ослабления.

В виду того, что ионизация атмосферы в любом месте земной поверхности зависит от времени дня и ночи и вообще увеличивается к полдню, а затем уменьшается, очевидно, что и распространение электромагнитных волн по этой теории должно представлять периодическую функцию времени с периодом равным суткам. Кроме того в те часы, когда солнце восходит и заходит, вследствие резкого изменения ионизации слоев атмосферы в частях ее, лежащих у пограничной области между освещенными и неосвещенными частями ее, мы должны обнаруживать влияние нарушения непрерывности ионизированных слоев.

Кроме указанной причины ионизации вероятны и другие; верхние слои атмосферы могут быть и вероятно являются ионизированными

вследствие других причин космического характера, именно, бомбардировки космической пылью и электронными радиациями; такая ионизация уже не будет зависеть от освещения, а будет зависеть от других условий и потому будет функцией периода отличного от периода ионизации, обусловленного освещением, или же будет приближаться к некоторой постоянной величине.

Таким образом по этой гипотезе, отражения и преломления ночью зависят от этих более отдаленных слоев с более резким градиентом ионизации по сравнению со средними слоями атмосферы; в то же время в течение дня мы имеем более постепенное изменение градиента ионизации, в виду чего явления отражения будут ослаблены; кроме того поглощение днем должно быть более значительным.

Явление, наблюдавшееся с установками, излучавшими волны вместо одной определенной частоты — волны двух частот, и состоявшее в том, что в течение короткого промежутка времени то одна, то другая частота давала более интенсивные сигналы на приемной станции, объясняется с точки зрения этой гипотезы дисперсией вследствие зависимости показателя преломления ионизированной атмосферы от частоты. Перерывы в сообщениях между двумя станциями, обычно вполне свободно общающимися друг с другом, при чем явление состоит в том, что в течение очень короткого времени сигналы начинают очень быстро ослабевать по своей интенсивности и затем иногда совершенно прекращаются, чтобы также быстро после некоторого промежутка времени (часто долей секунды) достигнуть своей нормальной силы, объясняются тем, что слои ионизированного воздуха, расположенные под углом к распространяющимся электромагнитным волнам, или их отражают, или волны в них преломляются таким образом, что они при своем дальнейшем поступательном движении минуют приемную радиостанцию. Целый ряд других аналогичных аномалий в распространении электромагнитных волн в земных условиях может быть удовлетворительно объяснен с этой точки зрения.

Другой взгляд на значение верхних слоев атмосферы был высказан Флемингом в 1914 году¹⁾ и представляет также значительный интерес.

Из предыдущего очевидно, что радиотелеграфия на значительных расстояниях связана самым тесным образом с метеорологическими и атмосферными условиями. Флеминг при своем рассмотрении исходит из изменения состава атмосферы с высотой. Земная атмосфера может быть грубо представлена, как состоящая из двух областей. В нижних частях ее вследствие разницы в температурах в различных местах земной поверхности составные части ее очень хорошо перемешаны между собой, и таким образом эта часть ее, может быть рассматриваема довольно однородной по своему химическому составу. Эта область

¹⁾ The Electr. 1914, T. 74 p. 152.

имеет распространение в высоту на 15—30 километров. Выше этой области начинается вторая, в которой конвекционные явления играют все меньшую и меньшую роль, и потому разница в плотностях газов, составляющих атмосферу, может быть значительной. Более плотные газы — азот и кислород — будут составлять в процентном отношении все меньшую часть общего количества, между тем как водород и гелий вместе с другими газами — неон, криптоном и т. под. будут составлять более значительную часть данного слоя атмосферы. Дюар утверждает, что на расстоянии 100 километров над земной поверхностью атмосфера почти исключительно составлена из водорода и гелия.

При рассмотрении этого вопроса необходимо считаться также и с распределением температурного градиента, который по данным опыта изменяется следующим образом. В начале до высот порядка 10 километров температура падает приблизительно на 6° на километр, после чего остается приблизительно постоянной до некоторой высоты и затем по всей вероятности спускается до некоторого другого постоянного значения температуры мирового пространства.

В нижних частях атмосферы зависимость между плотностью газа и высотой определяется температурным градиентом и силой тяжести; но выше этой области едва ли закон Дальтона будет играть прежнюю роль, и газы начнут распределяться сообразно плотностям, при чем более плотные газы останутся в нижних частях атмосферы. Нижеследующая таблица дает значения отношения плотности различных газов на поверхности земли (q_0) к плотности (q) на высоте 100 километров.

ТАБЛИЦА.

Газ. Отношение q_0/q на высоте 100 килом.

Водород	4,17
Гелий	$1,74 \times 10$
Неон	$1,57 \times 10^6$
Азот	$4,75 \times 10^6$
Кислород	$8,26 \times 10^6$

Из нее видно, что на высоте 100 километров атмосфера состоит исключительно из водорода и гелия; на высоте 50 километров в атмосфере присутствует еще значительная часть азота, а также примесь кислорода.

Для газов показатель преломления μ связан с плотностью q законом Гладстона и Дэля, по которому

$$\frac{\mu - 1}{q} = A = \text{const.}$$

Таким образом земная атмосфера может быть рассматриваема состоящей из ряда концентрических слоев с показателями преломления, убывающими с высотой; при прохождении электромагнитного луча через такую атмосферу получается интересная зависимость, а именно:

$$\rho = \frac{\mu_0}{98 A} \frac{1}{q_0^2},$$

где ρ представляет радиус кривизны луча, искривляющегося вследствие изменения показателя преломления. Если подставить в последнюю формулу значения μ_0 , A и q_0 при 0° и атмосферном давлении, то мы получим для ρ следующие значения:

Газ.	Значения ρ .
Воздух	27000 килом.
Водород	880000 "
Криптон	6682 "
Ксенон	2768 "

Таким образом радиус кривизны очень сильно зависит от состава атмосферы, и принимая во внимание различный состав верхних слоев, можно объяснить по крайней мере частичное искривление траектории электромагнитного луча разницей в показателях преломления различных слоев атмосферы.

Весьма серьезным подтверждением правильности взглядов Икльза на значение ионизации атмосферы при распространении электромагнитных волн являются экспериментальные данные, опубликованные де Гроотом¹⁾. Из своих весьма многочисленных данных, собранных в течение продолжительного времени он получил подтверждение следующих положений.

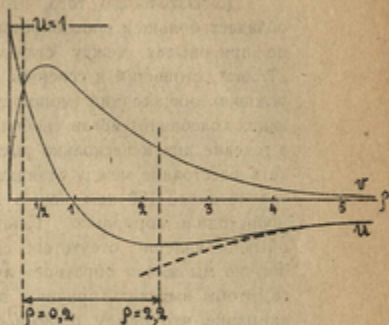
1. Условия распространения пространственного луча в течение дня таковы, что он изгибается по направлению к земле.

2. Распространение пространственного луча в течение ночи обусловлено главным образом отражением от верхних слоев атмосферы.

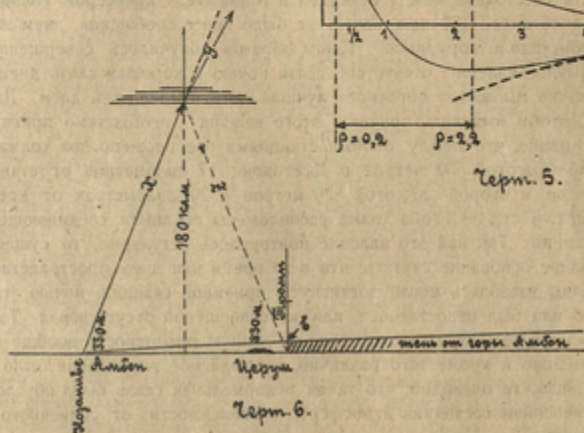
Опыты, произведенные на расстояниях от 50 до 5900 км, дали ряд чрезвычайно ценных указаний, которые позволили не только подтвердить основные положения теории Икльза, но и развить их дальше. В виду этого мы остановимся несколько на результатах этих исследований.

¹⁾ J. d. d. T. T., B. 12, p. 15.

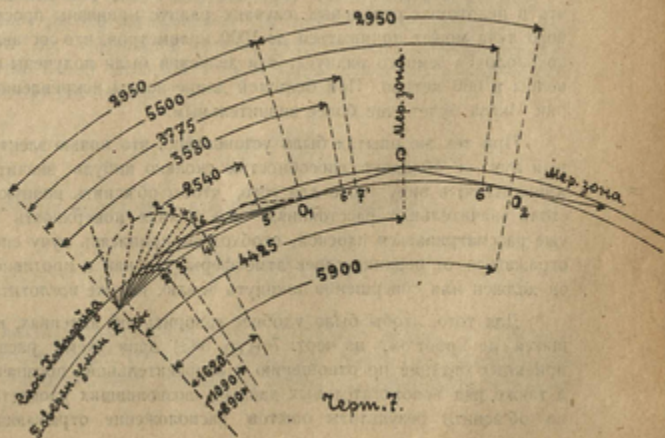
И отаме през. Терпиева.



Черт. 5.



Черт. 6.



Черт. 7.

Доказательство того, что в течение дня пространственный луч обладает большей способностью изгибаться, чем ночью, было получено при опытах между станцией в Noesanive (Ambon) и крейсером „Tromp“, стоявшим в северной бухте острова Ceram. При нормальных условиях обе станции (мощностью 2,5 и 5 кв в антенне слабозатухающих колебаний) могли свободно покрывать расстояния более 750 км в течение дня и несколько тысяч километров ночью. Несмотря на это, хотя расстояние между станцией в Noesanive и крейсером Tromp было только около 150 км, ночью не было вовсе сообщения, днем же оно происходило нормально. Таким образом получилось совершенно необычное явление: отсутствие связи ночью и хорошая связь днем, хотя обычно мы имеем обратное — лучшая связь ночью, чем днем. Для того, чтобы выяснить причину этого явления, необходимо принять во внимание, что между обоими станциями расположено два холма, первый — высотой 530 метров в расстоянии 17 километров от станции в Ambon и второй — высотой 830 метров в 20 километрах от крейсера (черт. 6 стр. 383); оба холма расположены по линии, соединяющей обе станции. Так как это явление повторялось регулярно, то существует полное основание считать, что в то время как днем пространственные волны изгибаясь могли достигнуть приемной станции, ночью этот изгиб или был недостаточен, или же совершенно отсутствовал. Так как влияние солнечного освещения на земную поверхность вообще незначительно и кроме того различно, наблюдаемое же явление было регулярным, то очевидно, что такая ненормальная связь была обусловлена изменением состояния атмосферы в зависимости от солнечного освещения.

При помощи отдельных опытов де Грооту удалось установить, что в некоторых отдельных случаях радиус кривизны пространственного луча может понижаться до 1000 километров, что составляет только около $\frac{1}{6}$ земного радиуса. Эти значения были получены при длине волны в 600 метров. При большей длине волны искривление по теории Икльза будет еще более значительным.

При тех же опытах было установлено, что ночью электромагнитный луч не обладает способностью сколько нибудь значительно искривляться; в виду этого для того, чтобы объяснить ночную связь на столь значительных расстояниях, что земная поверхность не может уже рассматриваться плоской, необходимо приписать лучу способность отражаться от верхних слоев атмосферы, так как в противном случае он должен или совершенно покинуть землю, или же поглотиться в них.

Для того, чтобы было удобнее говорить об явлениях, наблюдавшихся де Гроотом, на черт. 7 (стр. 383) дана схема расположения приемных станций по отношению к отправительной, обозначенной Z, а также ряд вспомогательных данных, позволивших удовлетворительно объяснить результаты опытов, расположение отражающего слоя

(слоя Хивисайда), расположение лучей, дававших сообщение между различными станциями, расположение наблюдавшихся мертвых зон. Если положить в основу объяснения ночной связи теорию отражения, то очевидно, что связь между точками 1', 2', 3' и т. д. со станцией, расположенной в точке Z, может происходить через отражение лучей 1, 2, 3, 4 и т. д., при чем угол, под которым эти лучи будут достигать верхних слоев атмосферы (по отношению к земной поверхности), будет тем большим, чем меньше расстояние.

При рассмотрении связи при помощи указанных лучей необходимо считаться еще с тем, что эти лучи не одинаковой интенсивности. При вертикальной антенне сила поля, возбуждаемого в отдаленной точке линейным вибратором, зависит от угла между ним и выходящим лучем. Характеристика излучения при постоянном расстоянии будет кругом, так как сила поля возбуждаемого в отдаленной точке пропорциональна синусу угла между лучем и вибратором. На чертеже характеристика излучения изображена полукругом Z 123456. Из этой характеристики видно, что, хотя при больших расстояниях длина пути луча велика, интенсивность его также максимальная. Кроме того, при малых расстояниях отражение от верхних слоев происходит при очень неблагоприятных условиях, так как при этом луч встречает отражающий слой почти перпендикулярно; как известно из теории отражения, при таких условиях большая часть мощности луча проходит через отражающий слой, преломившись в нем, и только часть отражается. В то же время условия отражения для лучей, обозначенных цифрами 5 и 6, оказываются весьма благоприятными. Если принять еще во внимание, что при вертикальной приемной антенне горизонтально распространяющийся луч дает максимальную электродвижущую силу, и вертикально распространяющийся луч будет для нее потерян, то очевидно, что эдс в приемной антенне будет пропорциональна квадрату синуса угла между антенной и выходящим лучем (α) и обратно пропорциональна расстоянию (r):

$$E_2 = K_1 \frac{\sin^2 \alpha}{r};$$

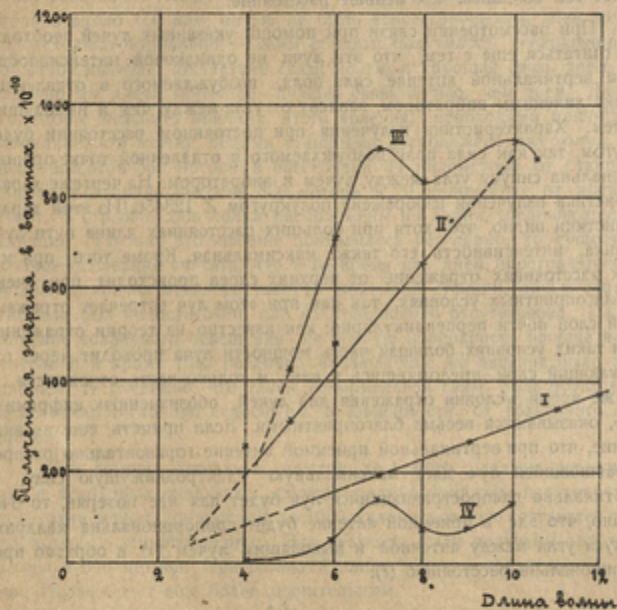
это выражение может быть преобразовано в такой вид:

$$E_2 = \frac{K_1}{2} \left(\frac{R+h}{R} \right)^2 \frac{p^2}{l^2},$$

где h —высота отражающего слоя, R —земной радиус, p —половина хорды, соединяющей станции, l —половина длины пространственного луча от отправительной станции до точки, где происходит отражение ($l = \frac{r}{2}$).

К статье проф Чернишова.

Плюс & отриц. ант. $\lambda_1 = 35$ ант.



I	Из Лонгвуд & Сан-Франциско	25 ант.	17.5 м. - 22.55 м. дна.
II	" " " " "	8 м. ант.	11 - 44 - 12 - 3 - "
III	" " " " "	" " "	3 - 8 - 3 - 54 - "
IV	" " " " "	15 -	10 - 30 - 12 - " - "

Наблюдения 1914 года. Врмя & С.-Франциско.

Черн. 8.

Из этой формулы мы видим, что при очень коротких расстояниях, для которых l , как функция расстояния, очень мало изменяется (отраженный луч распространяется почти вертикально, так что $l \approx h$) и половина хорды $= p \approx$ приблизительно половине расстояния между станциями, индуцируемая эдс $= E_2$ возрастает приблизительно пропорционально квадрату расстояния, измеренному по поверхности земли. Этим самым находит себе объяснение нормально встречающееся ночью в тропиках явление увеличения силы приема с увеличением расстояния между станциями; это явление наблюдается с вертикальными антеннами и при не очень больших расстояниях.

С другой стороны для больших расстояний (до θ_0 на черт. 7 стр. 383) получается, что при $h \ll R$ (h равна около 3% R), $p \approx l$ приблизительно равно половине расстояния между станциями, измеренного по поверхности земли; при этом получается, что эдс E_2 уменьшается обратно пропорционально действительному расстоянию, измеренному по поверхности земли.

Таким образом с увеличением расстояния между станциями сначала мы будем иметь сильное увеличение приема до некоторого максимума, после чего сила приема будет опять понижаться; но это понижение будет меньше, чем то, которое мы имели бы при прямом луче. При нескольких отражениях мы будем иметь эдс обратно пропорциональную расстоянию, но в виду значительных потерь энергии при отражениях на самом деле убывание будет идти значительно быстрее.

Прием на значительных расстояниях может получаться не только от одного луча, отразившегося один раз или несколько раз от верхних слоев и земли, но может быть обусловлен и суммой отдельных лучей, отраженных нечетное число раз от верхнего слоя. Сила приема, обусловленная этими добавочными лучами, по сравнению с основным будет значительно слабее по следующим причинам:

- 1) все добавочные лучи будут проходить более длинные пути;
- 2) угол выхода и угол приема будут тем более невыгодными, чем большее число отражений претерпел луч, прежде чем достичь места, где происходит прием;
- 3) с уменьшением угла выхода луча увеличивается часть луча, проходящего через отражающий слой вследствие преломления;
- 4) при каждом отражении часть энергии луча теряется, переходя в другие формы энергии.

Сложный прием, обусловленный присутствием не одного, а двух или большего числа лучей, может быть или значительно усилен, или ослаблен, вследствие существования разности фаз, в результате чего

могут возникнуть явления интерференции. В то время как при работе затухающими колебаниями появление такого рода интерференционных явлений мало вероятно, или же появление их будет сопровождаться незначительным изменением силы приема в ту или другую сторону, работа незатухающими колебаниями будет в очень сильной степени зависеть от этих явлений интерференции.

Этим обстоятельством могут быть объяснены те большие изменения в силе приема, которые наблюдались Остином, де Форестом и Фуллером при незначительном изменении длины волны при работе станции по ночам.

В том случае, когда различие в путях, проходимых двумя лучами, составляет целое число длин волн, обе волны будут в фазе и следовательно усиливать друг друга (максимальная сила приема); при разнице в путях равной нечетному числу полуволн волны будут ослаблять друг друга (минимальная сила приема). Как видно из черт. 7, различие в длинах путей главного луча и первого дополнительного, между точками Z и O_1 , равно приблизительно 160 километрам. Если мы теперь примем, что получается максимальная сила приема при длине волны равной 1000 метрам, то при тех же условиях минимальная сила приема получится при изменении длины волны до 1003 или 997 метров, т. е. на 0,3%.

Так как верхние отражающие слои могут находиться и, вероятно, находятся в некотором движении, то необходимо ожидать сильного изменения в силе приема при такого рода движениях. Как известно, радиотелеграфная практика дает ежедневно многочисленные подтверждения этого предположения; радиотелеграфный прием в ночное время течение самого короткого времени изменяется в сотни и даже тысячи раз, а иногда и совершенно прекращается с тем, чтобы также внезапно усилиться до нормального.

Кроме указанных явлений, наблюдавшихся многократно при работе станций, расстояния между которыми видно из черт. 7, наблюдались еще мертвые зоны, сменявшиеся местами с нормальным приемом, причем из измерений расстояний, на которых наблюдались эти изменения в силе приема, можно было определить высоту расположения отражающего слоя над поверхностью земли. Эта высота оказалась лежащей в пределах между 152,5 и 267 километрами; пределы эти были вычислены из нескольких наблюдений, произведенных в различные дни и на различных расстояниях. Среднее значение, равное 210 километрам, немногим отличается от значения, вычисленного де Гроотом из наблюдений, сделанных раньше¹⁾ между станцией на Кокосовом острове и судном, находившимся в бухте Melbourne (1,5 кв. 6000 клм), и из наблюдений над связью между станциями в Науэне и Alermelek (Sobang)

¹⁾ J. d. d. T. u. T. T. 7, p. 201, 1913.

(100 кв, 9450 клм). Оба наблюдения дали значение около 197,2 клм. Таким образом можно принять, что отражающий слой расположен на высоте около 200 километров.

Интересно указать, что из наблюдений над северным сиянием и над рядом атмосферно-электрических явлений высота проводящего слоя была определена в 180 километров — значение очень близкое к найденному из радиотелеграфных измерений.

Не останавливаясь на более подробном рассмотрении результатов, полученных де Гроотом, укажем, что из всего этого обширного материала с очевидностью следует, что в распространении электромагнитных волн в земных условиях атмосфера играет очень важную роль, причем эти условия в очень сильной степени благоприятствуют этому распространению.

Прежде чем перейти к расчету дальности действия радиотелеграфных установок, необходимо сказать несколько слов относительно количественных результатов, полученных Фуллером во время опытов, произведенных в 1914 году¹⁾ и Остином²⁾ в 1915 и 1916 г.г.

Опыты были произведены главным образом между Сан-Франциско и Говолулу на расстоянии 3880 клм и кроме того между станцией в Тукертон в штате Нью-Джерси и Говолулу на расстоянии 8000 километров. Результаты измерений полученной энергии в приемной антенне для нескольких типичных случаев изображены на черт. 8 и 9. Ток при всех испытаниях в отправительной антенне поддерживался постоянным и равным 35 амперам.

На кривых черт. 8 (стр. 386) даны дневные наблюдения, на кривых черт. 9 — ночные.

Кривые черт. 8 I и II приближаются к прямым, т. е. энергия пропорциональна длине волны; весьма вероятно, что в продолжении этих испытаний волны подвергались только преломлению; количество энергии, получаемой при помощи отражения от верхних слоев, вообще, было очень мало, и условия передачи были устойчивыми; на кривых III и IV заметно уже влияние отражения волн от верхних слоев с вероятной интерференцией их. Эти кривые представляют как бы комбинацию дневных и ночных условий, которые, как видно из кривых V и VI черт. 9, полученных ночью, отличаются резкими изменениями в получаемой энергии. Интересно обратить внимание на то, что количество энергии, получаемое ночью, в некоторых случаях в 20 раз более, чем днем.

Из этих кривых очевидно, что теории преломления, отражения и интерференции электромагнитных волн при распространении их на

¹⁾ Proc. Am. Inst. E. E. p. 567. 1915.

²⁾ Proc. Ins. R. Eng. T. 4, p. 251. 1916.

ТАБЛИЦА VI.

Отправитель- ная станция.	f_1 в метрах.	λ в метрах.	k_1 в метрах	R в омах.	Расстояние в километрах	W в приемной антенне в ваттах.			Коэффициент слышимости.			
						По уравни. I.	По уравни. II.	По уравни. III.	Наблюдения	По уравни. I.	По уравни. II.	По уравни. III.
Арлингтон . .	60	6000	61	23,2	3330	$9,44 \times 10^{-9}$	$6,85 \times 10^{-8}$	$4,14 \times 10^{-7}$	5000	2770	7780	18200
Тукертон . .	115	7400	120	25	3430	$8,9 \times 10^{-8}$	$1,25 \times 10^{-6}$	$5,58 \times 10^{-6}$	10000	8500	25800	67200
Сэйвиль . .	140	9400	80	14	3520	$8,56 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-6}$	$6,5 \times 10^{-6}$	7500	8320	25900	72500
Сан Диего . .	35	3800	55	26,5	4670	$5,12 \times 10^{-11}$	$1,63 \times 10^{-9}$	$2,26 \times 10^{-8}$	0—100	204	911	1350
Сан Франциско	40	6500	96	23,5	4820	$3,09 \times 10^{-10}$	$4,65 \times 10^{-9}$	$7,05 \times 10^{-8}$	0—1000	500	2330	7560
Гондлу . .	60	10000	96	13,5	8500	$1,54 \times 10^{-12}$	$4,16 \times 10^{-10}$	$5,26 \times 10^{-8}$	150	35	514	6590
Науен	150	9400	120	29	9400	$1,11 \times 10^{-12}$	$9,95 \times 10^{-10}$	$1,18 \times 10^{-8}$	200	30	750	980
Эйлевезе . . .	140	7400	120	25	9160	$0,85 \times 10^{-12}$	$5,67 \times 10^{-10}$	$5,57 \times 10^{-8}$	200	26	500	6720

¹⁾ k_1 исправлено по наблюдениям на коротких расстояниях и найдено равным около половины высоты антенны до геометрического центра; k для других станций принята равной 0,8 высоты антенны до геометрического центра.

Эффективная высота приемной антенны в Дарлен принята равной 146 метрам.

большие расстояния являются наиболее пригодными для объяснения их своеобразного вида; интересно здесь привести подмеченное при этих исследованиях явление, что весьма часто длина волны, которая оказывалась очень подходящей для приема сигналов в Сан-Франциско, в то же время оказывалась неблагоприятной для соседней станции, расположенной на берегу в расстоянии всего 15 километров от первой и наоборот. Отсюда можно заключить, что в некоторых случаях интерференционные полосы не превосходят 30 километров.

Из результатов этих опытов ясно видна необходимость применения для телеграфирования больших длин волн, а также необходимость применения для надежности сообщений не одной определенной длины волны, а ряда волн с возможностью очень быстрого перехода от одной длины к другой.

Данные, опубликованные Остином, относятся к радиопередаче на очень значительных расстояниях. Прием производился на станции в Даризен (Панамериканский канал); отправительными станциями служили как американские, так и германские станции. Расстояние между отправительными и приемной станциями в данном случае доходило до 9400 километров и поэтому сравнение этих данных с теоретическими и экспериментальными формулами представляет очень значительный интерес.

В таблице VI (стр. 391) приведены данные, характеризующие отправительные станции, средние значения мощности в приемной антенне из опыта, значения коэффициентов слышимости, вычисленные по теоретической формуле и по эмпирическим формулам Остина и Фуллера.

Действительная высота антенны в Даризен равна 146 метрам.

Как видно из таблицы, значения, полученные из опыта, довольно близко согласуются со значениями, полученными по формуле Остина. Значения, полученные по теоретической формуле, довольно хорошо согласуются с данными, полученными на расстояниях до 4 — 5000 километров; но при больших расстояниях они сильно отличаются от опытных данных, что указывает на то, что при этом к энергии, дошедшей до приемной станции при помощи дифракции, присоединялась еще энергия от отражения верхними слоями атмосферы. Если обратить внимание на то, что из опытных данных, приведенных в таблице, все за исключением данных станции в Арлингтоне были получены в ночное время, то данные опыта являются подтверждением теории отражения.

Еще более замечательными являются те данные, которые были получены на пароходах „Ventura“ во время его перехода из Сан-Франциско в Сидней (Австралия) и „Sierra“¹⁾. Хотя измерений силы приема

¹⁾ Proc. of the Radio Eng. T. 4, p. 305. 1916.

не делалось, но самый прием происходил на столь значительных расстояниях и с такой отчетливостью, что эти данные заслуживают упоминания.

Прием производился со следующих станций: 1) Сан-Франциско, работавшей при токе в антенне равном 50—60 амперам и длине волны 8000 метров (генератор незатухающих колебаний системы Паульсена), 2) Тукертон, работавшей при токе в антенне равном 100—120 амперам при длине волны 7400 метров, 3) Науен и 4) Эйльвезе. На пароходе „Ventura“ были приняты депеши при следующих обстоятельствах:

На расстоянии 6150 километров от Сан-Франциско сигналы могли быть записаны на пишущей машине в сентябре 1915 года днем.

На расстоянии 6750 километров депеши могли быть записаны днем несмотря на присутствие сильных атмосферных разрядов.

На расстоянии 8260 километров депеши могли быть записаны днем в присутствии слабых атмосферных разрядов.

В начале вечера в сентябре 1915 г., когда пароход находился между островами Гавайи и Самоа, сигналы были записаны на пишущей машине. В это время расстояние до Сан-Франциско было 6180 километров и до Тукертон, откуда давались депеши, более 10000 километров.

Сигналы были получены и записаны со станции Тукертон в вечерние часы в сентябре 1915 года в то время, когда пароход находился в расстоянии 850 километров к юго-западу от Самоа, в 8550 километрах от Сан-Франциско и приблизительно в расстоянии 13000 километров от Тукертон.

Эти приемы сигналов со станции Тукертон часто повторялись. Принимались также сигналы, когда на станции Тукертон работал альтернатор высокой частоты; при этом расстояние до Сан-Франциско достигало 6180 километров и до Тукертон около 10000 километров.

В мае 1915 года пароход „Sierra“, находясь в 2600 километрах к западу от Сан-Франциско, принял сигналы со станции Науен на расстоянии около 14000 километров.

В декабре 1914 года южная станция в Сан-Франциско принимала сигналы днем со станции Науен на расстоянии около 11000 километров.

Станция Эйльвезе также часто принималась на пароходе на расстоянии 2700 километров к западу от Сан-Франциско и ночью на станцию Гонолулу на расстоянии около 13500 километров.

Данные, относящиеся к приему станций в Сан-Франциско и Тукертон, не являются случайными, так как они часто повторялись; к такого рода приему можно отчасти отнести прием станций Науен и Эйльвезе, так как они повторялись значительно реже.

Необходимо обратить внимание при рассмотрении этих случаев

приема на то обстоятельство, что при приеме станции Тукертон электромагнитные волны должны были сначала пройти очень значительное расстояние над сушей и затем над морской поверхностью. Несомненно, что при переходе через пограничную область, электромагнитные волны претерпевали частичное отражение, и лишь часть их энергии распространялась дальше над морской поверхностью.

При распространении волн с германских станций такое отражение происходило три раза, и несмотря на это, часть их энергии достигла приемных станций на расстояниях до 14000 километров.

Эти последние случаи приема, особенно случаи приема в дневные часы, с несомненностью указывают на то, что атмосферные явления чрезвычайно благоприятствуют распространению электромагнитных волн, независимо от того, распространяются ли последние над морской поверхностью или над сушей. На это обстоятельство необходимо обратить внимание, так как в этом кроется причина, что формула Коэн-Остина может применяться для расчета дальности станций, разделенных не только морской поверхностью, но также и сушей при условии работы длинными волнами.

Основные данные для расчета дальности станций.

Для определения числовых соотношений между отдельными элементами отправительной станции и током в антенне приемной станции при расчетах дальности радиотелеграфных установок обыкновенно исходят из формулы Коэн-Остина, упоминавшейся раньше. Формула эта явилась следствием продолжительных опытов, производившихся в течение ряда лет совместно морским ведомством Соединенных Штатов и National Electric Signaling Company. Она может быть написана в полном виде следующим образом:

$$I_2 = \frac{120 \pi}{R_2 \sqrt{1 + \frac{z_1}{z_2}}} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} \frac{h_1 h_1 I_1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}} =$$

$$= 377 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{z_1}{z_2}}} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r R_2} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}},$$

где I_1 и I_2 величины действующего тока в отправительной и приемной антеннах в амперах,

h_1 и h_2 высоты отправительной и приемной антенн (эффективные) в километрах,

z_1 и z_2 коэффициенты затухания отправительной и приемной станций,

λ длина волны в километрах,

r расстояние в километрах,

R_2 действующее сопротивление приемной антенны в омах,

θ геодезический угол отправительной и приемной станции.

Формула эта обычно дается в сокращенном виде, а именно:

$$I_2 = 4,25 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}},$$

причем приняты значения:

$$R_2 = 25 \text{ ом}, \quad \sqrt{1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}} = \sqrt{2}, \quad \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} = 1,$$

и вместо эффективных высот отправительной и приемной антенн приняты полные высоты их.

В том случае, если эта формула применяется для случая передачи незатухающими колебаниями, коэффициент зависящий от затухания исчезает, и ток в приемной антенне определяется следующим образом:

$$I_2 = 377 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r R_2} \times \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}}.$$

Аналогичная теоретическая формула для последнего случая может быть написана в таком виде:

$$I_2 = 377 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r R_2} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-0,0017 r \lambda^{-1/3}};$$

и формула Фуллера:

$$I_2 = 377 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r R_2} \sqrt{\frac{\theta}{\sin \theta}} e^{-\frac{0,0045 r}{\lambda \sqrt{2}}}.$$

Кроме того можно указать на формулу, помещенную в справочнике Икклза¹⁾, формулу, являющуюся отчасти комбинацией формул Коэн-Остина и Фуллера с заменой $\sqrt{2}$ коэффициентом 1,5, а именно:

¹⁾ Eccles, Hand Book of Wireless Telegraphy and Telephony.

$$I_2 = 4,25 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0045 r}{\lambda^{1,5}}}$$

Таким образом все указанные формулы фактически идентичны в первых своих частях и отличаются лишь экспоненциальными членами.

Как мы видели раньше, наиболее близкое совпадение с опытными данными особенно для больших расстояний дает формула Коэн-Остина; для малых и средних расстояний теоретическая формула дает также очень близкие результаты. В данном случае речь идет о радиотелеграфной связи в течение дня, когда условия передачи являются более постоянными.

Какая же из указанных формул наиболее пригодна для расчета? Если обратить внимание на все то, что было ранее изложено, то является естественным пользоваться при расчете не одной какой либо определенной формулой, а всеми первыми тремя из указанных, так как формула Остина дает обычные условия передачи, теоретическая формула те минимальные значения тока, которые получаются в приемной антенне при отсутствии обычных атмосферных условий благоприятствующих передаче, и наконец формула Фуллера пытается отчасти учесть особенно благоприятные условия передачи при применении очень длинных волн.

На основании указанных соображений построен ряд кривых на черт. 10, 11, 12, и 13 (стр. 398, 399), позволяющих очень быстро получать требуемые значения по всем трем формулам. Кривые чертежа 10 построены по образцу помещенных в *Electrical World* (т. 66. стр. 1250, 1915 г.¹). В виду того, что эти последние кривые были построены при принятии смешанной системы единиц длины—часть величин, входящих в формулу, принята в английской системе, часть в метрической—мною эти кривые были перечислены, расширены пределы длин волн, приемных токов и, кроме того, добавлены кривые чертежа 11 и 12, позволяющие получать значения тока в приемной антенне по теоретической формуле и по формуле Фуллера, после того как на основании первой системы кривых определена дальность радиотелеграфной передачи по первой формуле.

Для того, чтобы ход определения дальности передачи на основании этих кривых был вполне ясен, ниже приведен способ построения их.

Уравнение Коэн-Остина для случая передачи затухающими волнами при сопротивлении приемной антенны равном 25 омам может быть представлено следующим образом:

¹) Графический метод решения уравнения Коэн-Остина разработан Кордсом и опубликован Хоггинсом.

$$\frac{I_2 \lambda}{4,25 \times 10^6 I_1 h_1^{-1} h_2^{-1}} = e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}} \quad (1).$$

Логорифмируя, это же уравнение можем получить в таком виде:

$$\log_{10} \frac{I_2}{4,25 \times 10^6} + \log_{10} \frac{\lambda}{I_1 h_1^{-1} h_2^{-1}} = -\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}} \log_{10} e - \log_{10} r.$$

Затем построено пять кривых для $I_2 = 10, 20, 50, 100$ и $200 \cdot 10^{-6}$ при ординатах равных $\lambda/I_1 h_1^{-1} h_2^{-1}$ и абсциссах

$$\log_{10} \frac{I_2}{4,25 \times 10^6} + \log_{10} \frac{\lambda}{I_1 h_1^{-1} h_2^{-1}}.$$

После этого для каждой из следующих длин волн: 0,6; 0,75; 0,9; 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 и 15,0 километров построены добавочные кривые при тех же абсциссах в виду равенства их выражения:

$$-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}} \log_{10} e - \log_{10} r$$

и ординатах равных r .

При применении этих кривых вопрос о дальности передачи при заданном значении I_2 решается весьма просто:

1. Определяют величину

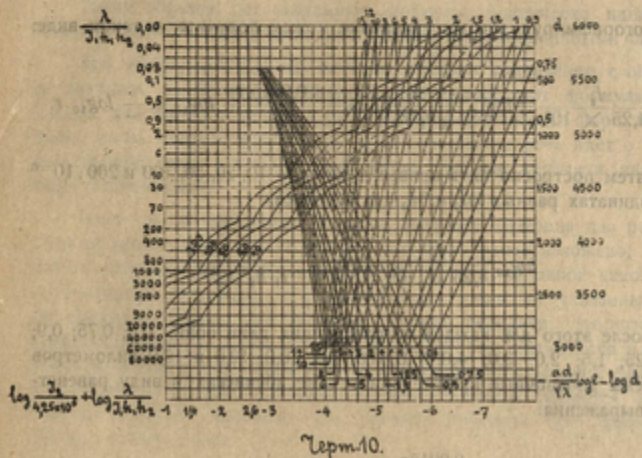
$$\frac{\lambda}{I_1 h_1^{-1} h_2^{-1}} \quad (\lambda, h_1^{-1}, h_2^{-1} \text{ в километрах}).$$

2. Находят соответствующее значение по левой шкале ординат и проводят горизонтальную прямую до встречи с одной из кривых I_2 с требуемым значением тока в приемной антенне.

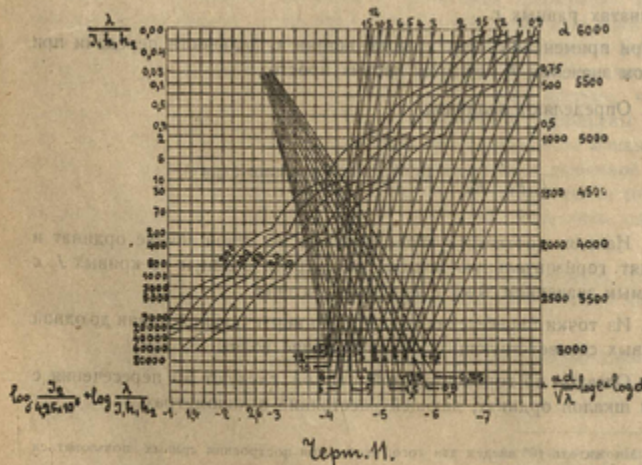
3. Из точки пересечения следуют по вертикальной линии до одной из кривых соответствующих заданной длине волны.

4. Отсюда по горизонтальной прямой следуют до пересечения с правой шкалой ординат, дающей расстояние в километрах.

¹⁾ Множитель 10^6 введен для того, чтобы при построении кривых пользоваться токами I_2 в микроамперах.

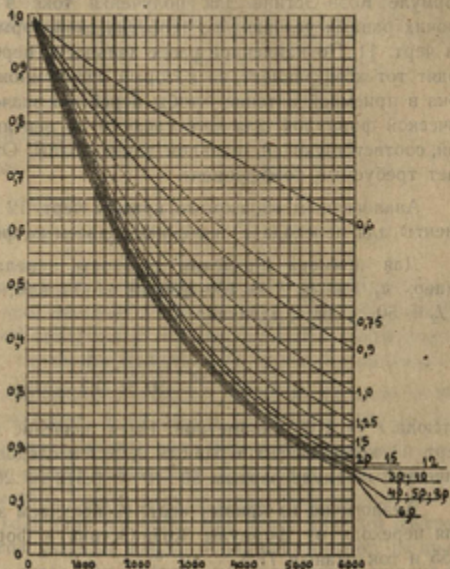


Черт. 10.

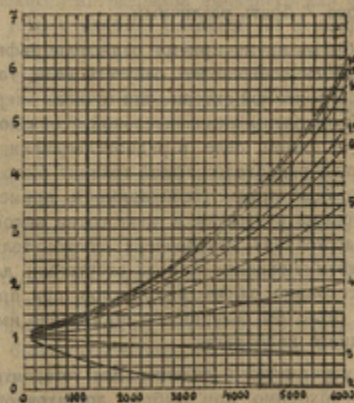


Черт. 11.

К. Станиславский. А. А. Терпигурев.



Терпигурев.



Терпигурев.

После того как определена дальность передачи в километрах по формуле Кози-Остина для получения тока в приемной антенне при прочих равных условиях по теоретической формуле пользуются кривыми черт. 11. По найденной ранее дальности передачи в километрах находят тот коэффициент, на который надо умножить принятое значение тока в приемной антенне, чтобы перейти к значению, даваемому теоретической формулой, для чего следуют по вертикали до встречи с кривой, соответствующей заданной длине волны. Отсчет по оси ординат и дает требуемый коэффициент.

Аналогичным образом по кривым черт. 12 определяются коэффициенты для перехода к значениям, даваемым формулой Фуллера.

Для примера определим дальность передачи для случая $J_1 = 50$ ампер, $h_1^{(1)} = h_1^{(2)} = 100$ метрам $= 0,1$ км, $\lambda = 5000$ мт $= 5$ км и $J_2 = 50 \times 10^{-6}$; величина

$$\frac{\lambda}{J_1 h_1 h_2} = \frac{5}{50 \times 0,1 \times 0,1} = 10.$$

Отсюда $r = 2100$ километров. Имея значение r , получаем из кривой черт. 11 коэффициент α равным 0,512 и следовательно ток по теоретической формуле равным $50 \cdot 10^{-6} \cdot 0,512 = 25,6 \times 10^{-6}$ ампера.

Аналогично из кривых черт. 12 получаем значение коэффициента для перехода от формулы Кози-Остина к формуле Фуллера равным 1,55 и ток равным $77,5 \times 10^{-6}$.

Возникает теперь вопрос, какое значение тока J_2 необходимо для надежного приема; необходимо ли всегда останавливаться на одном и том же его значении, или же в зависимости от различных условий и значение тока J_2 брать различным.

Если бы во время приема радиотелеграфных сигналов атмосферные возмущения совершенно отсутствовали, то в этом случае необходимый ток в приемной антенне или точнее — энергия принимаемой волны могла бы быть очень незначительной, гораздо меньше той, которую мы имеем на самом деле в радиотелеграфии, и в то же время при существующей радиотелеграфной технике было бы возможно получить вполне надежный прием. Необходимость применения станций с излучаемой мощностью в десятки и даже сотни киловатт при работе на очень больших расстояниях обусловлена исключительно мешающими атмосферными возмущениями; при их отсутствии для сношений на расстояниях в несколько тысяч километров при применении современных усилителей было бы совершенно достаточно иметь станции мощностью порядка одного киловатта.

В виду указанного явления для того, чтобы обеспечить работу станций, необходимо при выборе достаточной для приема мощности

считаться с местом их расположения и с теми мешающими атмосферными возмущениями, появления которых надо ожидать в данной местности. В виду этого необходимо различать пять интенсивностей атмосферных разрядов.

1. Слабые разряды.
2. Разряды средней силы.
3. Сильные разряды.
4. Очень сильные разряды.
5. Грозные разряды.

Последний род атмосферных возмущений делает сообщение между станциями абсолютно невозможным и при их появлении приходится выключать все приемные аппараты с соответствующим заземлением антенны. Поэтому этого случая мы дальше и не будем рассматривать.

Кроме своей интенсивности атмосферные возмущения могут также отличаться и своим характером, и их можно разбить на три группы:

а) разряды внезапного характера, по звуку напоминающие треск, часто в виде отдельных групп, отделенных друг от друга довольно продолжительным временем. Такого рода разряды вызываются грозовыми разрядами, происходящими на более или менее далеком расстоянии. В том случае, когда разряды других родов отсутствуют, их присутствие обычно очень слабо сказывается на надежности приема и выражается лишь в отдельных пропусках того или другого знака или отдельного слова.

б) Редко встречающийся тип разрядов шипящего или свистящего характера, вызываемый рядом слабых разрядов из атмосферы через антенну в землю, также не является особенно мешающим дальности действия данных радиостанций, так как кроме редкости появления и продолжительность такого рода разрядов не велика. При слабой интенсивности такого рода разряды дают возможность принимать сигналы без особых затруднений.

в) Главные затруднения при приеме вызываются третьим типом атмосферных разрядов, характеризующихся непрерывным треском большей или меньшей интенсивности. Такого рода разряды присутствуют всегда, и их сила является функцией времени как течение суток, так и течение года. Обычно они достигают наибольшей силы после полудня и по ночам. Разряды этого рода течение дня в средней полосе не являются особенно заметными, но на юге и особенно в тропиках их интенсивность бывает настолько значительна, что они очень часто совершенно прекращают сообщение даже при очень большой мощности отправительной станции.

Работа станций при существовании слабых атмосферных разрядов происходит вполне нормально, так как распространенные в настоящее время передатчики дают настолько отличный от звука разрядов тон, что радиотелеграфист безо всякого труда следит за принимаемой телеграммой.

Точно также работа станций при существовании разрядов средней силы существенно не нарушается, а лишь несколько замедляется, вследствие необходимости повторения непринятых из-за разрядов знаков.

Наконец, при существовании сильных разрядов и особенно при существовании сильных атмосферных возмущений, работа при обычной силе сигналов может быть настолько замедлена, что практически может совершенно прекратиться.

Для того, чтобы работа станций при различной интенсивности атмосферных разрядов была возможна, де Гроот рекомендует¹⁾ иметь следующие коэффициенты слышимости при передаче передатчиком с музыкальной искрой (1000 искр в секунду) и при скорости передачи в 12 слов в минуту:

- 1) при слабых разрядах коэффициент слышимости около 10,
- 2) при разрядах средней силы от 20 до 30,
- 3) при сильных разрядах около 60 и
- 4) при очень сильных разрядах от 250 до 500.

Коэффициенты слышимости определены при телефоне с сопротивлением около 1000 ом при применении кристаллического детектора с силиконом.

Если принять, что для приема с хорошим кристаллическим детектором, при передатчике с числом искр равно 1000, необходимо около 10×10^{-6} ампер при сопротивлении приемной антенны равно 25 омам, то при приеме с внешним возбуждением и выпрямляющим детектором достаточно половины этого тока для получения вполне отчетливого сигнала.

В том случае, когда применяются приемники с катодными реле, которые служат для вызывания местных колебаний от постороннего источника постоянного напряжения под влиянием проходящих сигналов, сила тока, дающая в телефоне коэффициент слышимости равный единице, по данным Остина может быть равна только $5 \cdot 10^{-10}$ ампера при частоте искр 1000 в секунду и при телефоне с сопротивлением равным 2000 омам.

Таким образом, по сравнению с единицей коэффициента слышимости при электролитическом детекторе, приемник с катодным реле

¹⁾ Proc. of the Radio Eng. T. 5, № 2, p. 92. 1917.

при колебаниях может быть коэффициент слышимости равный 1000^1).

В дальнейшем мы будем принимать при единице слышимости ток равный $10 \cdot 10^{-6}$ ампера, и таким образом для получения надежной работы в зависимости от силы атмосферных разрядов при применении формулы Кози-Остина необходимо иметь:²⁾

- 1) при слабых разрядах $40 \cdot 10^{-6}$ ампер,
- 2) при разрядах средней силы от 50 до $70 \cdot 10^{-6}$ ампер,
- 3) при сильных разрядах около $100 \cdot 10^{-6}$ ампер,
- 4) при особенно сильных разрядах от 150 до $250 \cdot 10^{-6}$ ампер.

В виду того, что в средних широтах необходимо считаться лишь с разрядами главным образом средней силы и лишь отчасти с сильными разрядами, силу приемного тока в $150 - 200 \cdot 10^{-6}$ ампера при дальних расстояниях надо считать вполне достаточной, так как при этом даже при сильных атмосферных разрядах связь не будет прерываться а лишь будет замедлена передача.

Кроме этого необходимо считаться с тем, что в последнее время разработаны схемы приема, позволяющие усиливать более значительным образом принимаемые сигналы по сравнению с сильными атмосферными разрядами, что конечно дает возможность значительно понижать необходимый для надежного приема ток³⁾.

Вообще в настоящее время вполне полагаться на применение особенно чувствительных детекторов и усилителей нельзя, так как вообще с увеличением чувствительности приема к сигналам отправительной станции растет чувствительность приема и к атмосферным разрядам; но в то же время нельзя игнорировать применения этих средств приема особенно при работе на далеких расстояниях, где в силу необходимости, из за крайней ответственности работы, приходится иметь очень хорошо подготовленный технический персонал; применение этих новейших методов приема дает возможность с одной стороны работать с гораздо меньшей мощностью и с другой стороны самый прием получается гораздо более надежным.

В виду этого при расчетах дальности действия мощных станций можно рекомендовать исход из указанных ранее цифр, ведя таким образом расчет на приемники старого образца; применение же новейших способов приема, позволяющих повышать чувствительность и

¹⁾ Proc. Ins. Rad. Eng. T. 4, p. 255. 1916. Там же T. 5, p. 243. 1917.

²⁾ По данным Остина слышимости пропорциональны квадрату принимаемого тока при электролитическом детекторе и аудионе без вспомогательной колебательной цепи и прямо пропорциональны току при аудионе с вспомогательной колебательной цепью. Proc. Inst. R. Eng. T. 4, p. 252. 1916.

³⁾ Бокш-Бруевич. „Телетел“ № 2, стр. 62. 1918.

надежность приема во много раз по сравнению с прежними способами, дает тот коэффициент надежности, который необходим при всех инженерных сооружениях.

Необходимо теперь обратить внимание на то, что формула Козн-Остина выведена из данных опытов, произведенных на море, и лишь отчасти проверена при передаче на суше; поэтому прежде всего возникает вопрос о том, можно ли пользоваться этой формулой при расчетах дальности действия сухопутных станций. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо обратиться к тем данным, которые были изложены в предыдущих главах. Мы видели, что значения токов в приемной антенне, определенные по теоретической формуле, оказываются и *при передаче по морской поверхности* вообще значительно более низкими, чем значения, получаемые из опыта; из предыдущего очевидно, что главная часть энергии, обнаруживаемая при приеме на далеких расстояниях, должна быть приписана влиянию атмосферы; отсюда можно сделать заключение, что, так как атмосфера будет действовать благоприятным образом и при передаче по суше, то следовательно значения, даваемые формулой Козн-Остина, должны в значительной степени быть применимыми и к передаче по суше. Для того же, чтобы улучшить условия передачи той части энергии, которая передается на основании теории дифракции и теории Ценнека-Зоммерфельда, необходимо насколько возможно уменьшить значение того числового расстояния, о котором была речь выше при изложении Ценнека-Зоммерфельда. Как мы видели раньше, средством для его уменьшения является увеличение длины волны. Таким образом значения числового расстояния можно привести к значениям близким к единице даже при расстояниях порядка 3000 километров при передаче по мокрой почве. Раньше были приведены основания для рассмотрения лишь случая распространения электромагнитных волн при мокрой почве при применении длинных волн, именно их глубокое проникновение в земную толщу и следовательно их прохождение через мокрые почвенные слои. Применение волн большой длины выгодно при больших расстояниях также и с точки зрения теории преломления волн верхними слоями атмосферы.

В виду этих соображений при расчетах по формуле Козн-Остина за наивыгоднейшую длину волны при передаче по суше на большие расстояния нельзя считать волну, определенную из выражения, полученного дифференцированием этой формулы и приравнением его нулю. Значение волны, полученное из такого выражения лишь может служить указанием того предела, ниже которого нежелательно идти; выбирать же длину волны приходится из тех соображений, чтобы естественная длина волны антенны не очень сильно отличалась от применяемой для передачи; в силу этого приходится выбирать размеры отправительной антенны, при большой дальности станций, насколько возможно боль-

шими, чтобы иметь возможность применять возможно большую длину волны; в этом случае экономические соображения должны служить основным отправительным пунктом для всех расчетов; в то время как при одних условиях может быть выгодным применять низкую антенну и большую мощность, в других случаях может оказаться более рациональным принять обратное соотношение; но необходимым условием получения благоприятных условий передачи сигналов при очень большой дальности является применение больших длин волн.

В виду того, что при применении очень высоких приемных антенн значения атмосферных разрядов сильно возрастают, вообще оказывается более рациональным применять для приема более низкие антенны; несмотря на более низкие значения индуктируемых в приемной антенне электродвижущих сил, это может оказаться более благоприятным для приема вследствие значительного уменьшения влияния атмосферных разрядов.

Следующим обстоятельством, которое необходимо принять во внимание при пользовании приведенными ранее формулами, это род электромагнитных волн. Уже ранее было указано, что при применении затухающих колебаний в передатчике необходимо ввести в формулы коэффициент, зависящий от затухания отправительной и приемной станций; при применении незатухающих колебаний этот коэффициент, должен быть принят равным единице. Но кроме этого, так как приемники незатухающих колебаний обладают меньшим эквивалентным сопротивлением, то при составлении кривых, служащих для определения дальности действия станций, работающих незатухающими колебаниями, это сопротивление взято несколько меньшим по сравнению с принятым ранее, именно равным 20 омам (вместо 25). Для этого случая расчетная формула может быть представлена в таком виде:

$$I_2 = \frac{120\pi}{20} \cdot \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}} = 18,8 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r} e^{-\frac{0,0015 r}{\sqrt{\lambda}}},$$

где h_1 и h_2 представляют действующие высоты антенн.

На основании этой формулы по ранее указанному методу построены кривые для токов $I_2 = 10, 20, 50, 100$ и 200×10^{-6} ампер для длин волн 600, 750, 900, 1000, 1250, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000, 10000, 12000 и 15000 метров, позволяющие непосредственно определять дальность действия радиотелеграфных установок (черт. 13, стр. 399).

Для перехода от значений, даваемых формулой Коэн-Остина, к значениям, даваемым теоретической формулой и формулой Фуллера, служат те же кривые, что и раньше, а именно, изображенные на черт. 11 и 12.

Дальность действия станций, работающих незатухающими колебаниями, определенная по кривым черт. 13 (стр. 399), рассчитана при отсутствии интерференционных явлений; появление последних, как было указано ранее, может вызвать как усиление, так и ослабление приема и даже полное его прекращение независимо от мощности передающей станции; в виду этого для получения непрерывности связи между станциями, работающими незатухающими колебаниями, применение большой мощности отправительной станции является недостаточной гарантией, и необходимо иметь в распоряжении средство нарушать невыгодные для приема условия интерференции соответствующим изменением длины волны. В этом отношении особенно удобно применение дуговых генераторов, работающих непосредственно на антенну без применения промежуточного контура и позволяющих весьма просто менять длину волны изменением числа витков удлинительной самоиндукции.

До сего времени мы рассматривали распространение электромагнитных волн при ровной земной поверхности, при отсутствии естественных препятствий в виде горных хребтов или холмов значительной высоты. При наличии такого рода препятствий передача сигналов может быть очень сильно изменена, и потому с этим обстоятельством необходимо считаться при определении дальности действия станций.

К сожалению, количество данных, необходимых для детального рассмотрения с практической расчетной стороны этого влияния, невелико, и потому приходится пользоваться при такого рода подсчетах главным образом лишь общими соображениями; в этом отношении особенно ценные указания дает теория отражения и преломления волн вместе с теми наблюдениями, которые были сделаны де Гроотом.

Из этих данных следует, что для электромагнитных волн особенно трудно достижимыми точками на поверхности являются расположенные непосредственно за горными хребтами, так как необходимый для этого изгиб электромагнитных волн должен быть очень значительным и тем большим, чем ближе к такому естественному препятствию расположена приемная или отправительная станции. Особенно неблагоприятные условия для связи в этих случаях будут иметь место ночью, когда искривление траекторий электромагнитных волн наименьшее. С удалением приемной и отправительной станций от этих естественных препятствий условия распространения все более и более облегчаются и при значительном расстоянии от них сравнительно мало отличаются от условий распространения при ровной поверхности для той части энергии, которая распространяется в требуемом направлении, благодаря присутствию атмосферы. Та часть энергии, которая распространяется вблизи земной поверхности в виде энергии поверхностных волн, при встрече со всякого рода естественными препятствиями, не только в виде возвышенностей, но и в виде рек, морей и т. п. (вообще при изменении

постоянных среды), будет лишь частью распространяться дальше через пограничную область, так как при встрече с такого рода препятствиями электромагнитная волна будет претерпевать частичное отражение, тем большее, чем меньше длина волны.

Для того, чтобы учесть влияние возвышенностей на распространение электромагнитных волн, Иклз в своем справочнике беспроводной телеграфии и телефонии дает следующую формулу, определяющую зависимость между мощностью P_1 в отправительной и мощностью P_2 в приемной антеннах:

$$P_1 = \frac{P_2}{20} \left(\frac{\lambda r}{h_1 h_2} \right)^2 e^{\frac{r}{\sqrt{2} C \lambda}} + 2 \sqrt{\frac{2 r \chi_1 \chi_2}{\lambda}},$$

где по прежнему

λ — длина волны в километрах,

r — расстояние между станциями в километрах,

h_1, h_2 — высоты антенн в километрах,

C — постоянная равная 40000 километрам;

χ_1, χ_2 представляют углы в радианах, под которыми горный хребет виден из отправительной и приемной станции; именно если S и R будут положения отправительной и приемной станции и T вершина горной местности, находящейся между ними, то χ_1 представляет меру угла TSR в радианах и χ_2 — угла TRS в тех же единицах.

По данным Иклза применение этой формулы дает хорошие результаты.

Формула Коэн-Остина для этого случая распространения электромагнитных волн может быть переписана в таком виде:

$$I_2 = 4,25 \frac{h_1 h_2 I_1}{\lambda r} e^{-\left(\frac{0,0015r}{\sqrt{\lambda}} + 2 \sqrt{\frac{2 r \chi_1 \chi_2}{\lambda}} \right)}.$$

Из этих формул следует, что при значительных расстояниях между отправительной и приемной станциями и при расположении горных хребтов ближе к середине расстояния между станциями даже при значительной высоте горных хребтов влиянием добавочного члена

$2 \sqrt{\frac{2 r \chi_1 \chi_2}{\lambda}}$ по сравнению с первым $\frac{0,0015r}{\sqrt{\lambda}}$ можно пренебречь. Совсем иначе дело обстоит при малых расстояниях r , где, наоборот, часто можно пренебречь влиянием первого члена по сравнению со вторым.

Таким образом положения, которые должны быть приняты в основу при расчетах дальности действия радиотелеграфных станций, следующие:

1. Распространение электромагнитных волн в земных условиях возможно лишь вследствие совокупного действия факторов, вытекающих из теорий дифракций, Ценнека-Зоммерфельда, преломления и отражения.

2. В то время как распространение электромагнитных волн при небольших расстояниях между отправительной и приемной станциями обусловлено главным образом дифракцией и свойствами поверхностного слоя земли, распространение электромагнитных волн при очень значительных расстояниях между станциями обусловлено главным образом влиянием верхних слоев атмосферы.

3. Нормальные минимальные значения энергии электромагнитных волн, доходящих до приемной станции, обуславливаются теорией дифракции.

4. Формула Кози-Остина выражает с достаточной для практики точностью средние условия распространения электромагнитных волн; для очень значительных расстояний между отправительной и приемной станциями эта формула дает совпадающие с опытными данными результаты при применении длинных волн.

5. Резкие изменения в силе приема и полное прекращение его при передаче незатухающими волнами может быть объяснено интерференцией волн.

6. При передаче на большие расстояния применение незатухающих волн большой длины представляет очень большие преимущества.

7. При передаче незатухающими волнами необходимо иметь возможность быстро изменять длину волны для нарушения невыгодных для приема условий интерференции.

8. В том случае, когда электромагнитные волны должны проходить через гористую местность, применение длинных волн является крайне необходимым для получения надежной связи.

9. Влияние гористой местности, расположенной между станциями, на силу приема сказывается особенно значительным образом в том случае, если одна из станций — отправительная или приемная или же обе вместе находятся вблизи горных хребтов.

10. В том случае, если горные хребты, расположенные между станциями, находятся на значительном расстоянии от них, влияние их присутствия при пользовании для передачи длинными волнами вообще незначительно, так как, как было указано раньше, при телеграфировании на значительные расстояния главным фактором, влияющим на силу приема, является присутствие земной атмосферы.

Применение катодного реле при телефонировании по проводам на большие расстояния.

Проф. К. И. Шенфер, д. ч. РОРИ.

Доложено в заседании РОРИ 19 ноября 1920 года.

Поразительные успехи телефонирования на большие расстояния, достигнутые за последнее десятилетие, объясняются не только улучшением конструкции приемных и передаточных телефонных аппаратов, но также и соответственным улучшением электрических постоянных самой телефонной линии, которое достигается т. н. „пупинизацией“ линии, дающей возможность отчасти компенсировать вредное влияние емкости линии на телефонную передачу.

Иллюстрацией достигнутого в этом направлении может служить, например, воздушная телефонная линия Берлин—Рим длиной в 2200 км (бронзовый провод диам. 4,5 мм) и Нью-Йорк—Денве—длиной в 3300 км (медный провод диам. 4,2 мм).

Вышеприведенные расстояния (2000—3000 км) являются, повидимому, предельными в случае применения телефонных аппаратов обычного типа и пупинизированной линии; дальнейшее увеличение длины телефонных передач требует разработки особых способов и применения особых аппаратов—телефонных реле или телефонных усилителей.

Применение трансляционных реле в телеграфных линиях, как известно, дало возможность достичь увеличения телеграфной передачи на расстояния, почти неограниченно большие.

Нужно думать, что появление реле подходящей конструкции для телефонных линий сразу решило бы также задачу о телефонировании на большие расстояния.

Однако при этом приходится считаться с тем, что решение задачи здесь представляется несравненно более трудным, чем для телеграфии без проводов, где, как известно, в последнее время катодные реле применяются в широком масштабе, так как в телефонии мы имеем дело с токами чрезвычайно сложной кривой, характер которой должен быть сохранен и после усиления тока во избежание изменения тембра и ясности передачи.

Среди различных телефонных реле, изобретенных до последнего времени, можно различать два типа: механические реле и реле катодные.

Недостатком реле механического типа является искажение телефонного тока, вызываемое инерцией движущихся масс и связанными с этим собственными колебаниями реле.

Этого недостатка лишены катодные реле, в которых масса движущихся частей сведена до ничтожной величины массы электронов, и в которых инерция движущихся частей практически может быть принята равной нулю. Благодаря этим своим достоинствам, катодные реле нашли себе широкое применение в радиотелеграфном деле, как усилители приемных токов антенны.

В последнее время катодные реле начинают находить себе применение также в телефонных линиях большого протяжения; в качестве примера здесь можно привести линию Нью-Йорк—Сан-Франциско длиной около 6000 км, оборудованную такими катодными усилителями.

Необходимо отметить, что к катодным реле в радиотелеграфном и в телефонном деле предъявляются разные требования; в то время, как телефонное реле должно усиливать телефонный ток по возможности без искажения его кривой, в радиотелеграфном деле искажение большого вреда не представляет.

Поэтому при всех опытах с телефонными усилителями автору приходилось обращать главное внимание не только на величину коэффициента усиления, но также и на искажение телефонного тока в усилителе.

Опыты производились только с катодными „пустотными“ лампами; лампы этого типа оказываются более пригодными для целей телефонирования, чем лампы, содержащие некоторое количество газа (так наз. „газовые реле“) в виду их большого постоянства действия, их чувствительности к чрезвычайно слабым колебаниям большой частоты и незначительной величины тока в цепи „решетки“ (сетки).

Опыты с французским трех-кратным усилителем „3-fer“.]

Трехкратный французский усилитель испытывался при двух различных способах включения: в начале линии (усиление на станции отправления) и — в конце линии (усиление на станции приема).

На черт. 1 (стр. 411) изображена схема соединения усилителя, включенного в конце линии.

На этом чертеже означают:

B, M, T, — батарея, микрофон и трансформатор на станции отправления,

L—L — телефонная линия,

(для опытов нам служила искусственная телефонная линия, состоящая

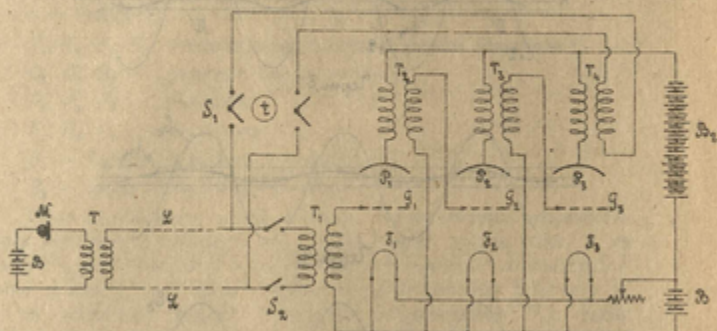


Рис. 1.

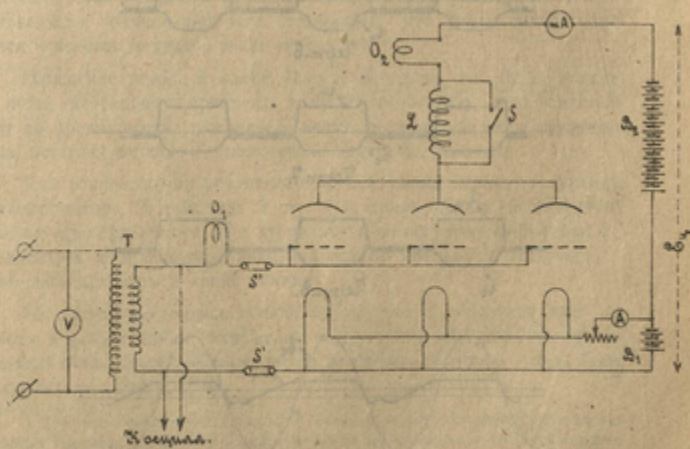
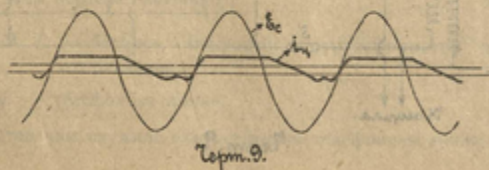
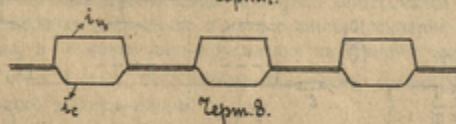
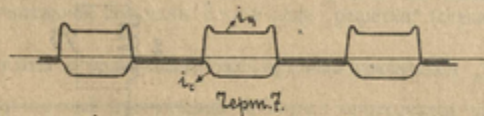
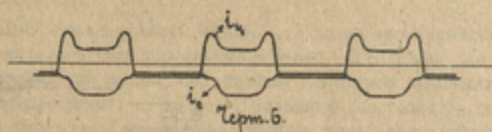
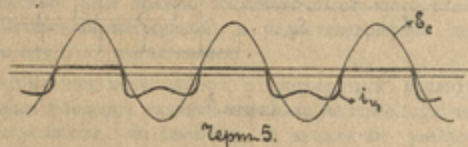
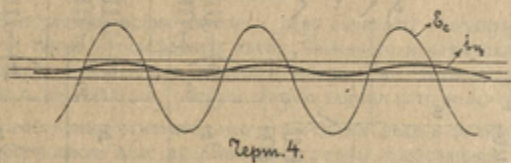
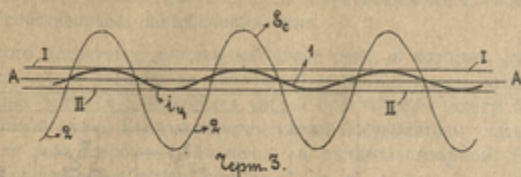


Рис. 2.



из ряда катушек самоиндукции и конденсаторов, соответственным образом соединенных).

S_1 — переключатель,

S_2 — выключатель,

t — телефон,

T_1, T_2, T_3, T_4 — трансформаторы французского усилителя¹⁾,

G_1, G_2, G_3 — „решетки“ катодных ламп,

P_1, P_2, P_3 — „цилиндры“

F_1, F_2, F_3 — „нити накала“

B_1 — батарея накала на 4 вольта,

B_2 — аккумуляторная батарея на 80 вольт.

Опыт производился таким образом, что на станции отправления перед мембраной микрофона M читался какой-нибудь текст, а на станции приема телефон t переключался периодически то непосредственно на линию $L-L$ (нижнее положение переключателя S_1 на черт. 1), то на усилитель (верхнее положение переключателя S_1); таким образом можно было сравнивать работу телефонной линии с усилителем и без него.

Из опытов выяснилась возможность значительного усиления телефонных токов.

Так например, при длине искусственной линии — 1200 км. (затухание $\beta l = 3,0$), когда без усилителя в телеф. t ничего не было слышно, при включении усилителя отдельные слова можно было различать довольно ясно; однако при этом выяснилось, что тембр сильно изменился и ясность передачи была небольшая.

Изменение тембра и малую ясность передачи, как будет выяснено ниже, необходимо приписать тому обстоятельству, что усилитель 3-тер по преимуществу усиливает малые гармонические телефонного тока, оставляя высшие гармонические почти без усиления.

При расположении усилителя в начале линии первичные зажимы трансформатора T_1 (см. черт. 1 стр. 411) приключались ко вторичной обмотке трансформатора T_2 , а вторичная обмотка трансформатора T_4 соединялась с проводами линии; приемный телефон t (см. черт. 1) включался при этом в конце линии.

Из опытов выяснилась полная непригодность усилителя 3-тер для работы в начале линии: искажение телефонного тока усилителем получалось таким значительным, что в приемном телефоне нельзя было разобрать ни одного слова.

¹⁾ При опыте напряжение батарей B было 4 в; в качестве передатчика служил микрофон Эриксона с порошком (сопротивление 60 Ω); приемником был телефон фирмы Эриксона с сопротивлением в 120 Ω .

Для выяснения причины такого искажения были сняты осциллограммы и построены характеристики катодных ламп.

Осциллограммы и характеристики катодных ламп.

Схема соединений, которая применялась нами при снятии осциллограмм, изображена на черт. 2 (стр. 411); на этом чертеже означают:

T — трансформатор для понижения напряжения,

V — вольтметр,

O_1, O_2 — шлейфы осциллографа,

L — самоиндукция,

S и S^1 — рубильники,

mA — миллиамперметр для измерения силы тока в цепи цилиндра,

A — амперметр, измеряющий силу тока в цепи накала,

B_1 — батарея накала,

B_2 — батарея в цепи цилиндра.

Для увеличения отклонения шлейфы осциллографа три катодных лампы, как показано на черт. 2 (стр. 411), были соединены между собой параллельно.

При опыте к трем соединенным между собой решеткам катодных ламп через посредство трансформатора T подводилось напряжение переменного тока (число периодов = 50), благодаря чему проводимость цепи „нить-цилиндр“ также периодически изменялась, и в цепи цилиндра появлялся переменный ток, форму кривой которого можно было наблюдать при помощи шлейфы осциллографа O_2 .

На черт. 3 (стр. 412) изображена осциллограмма, снятая при напряжении в цепи цилиндра ¹⁾ $E_c = 80$ вольт; напряжение переменного тока между решеткой и нитью накала было равно $E_c = 6$ вольт (эффективных); на черт. 3 кривая 2 — кривая напряжения в цепи решетки и II — ее нулевая линия; 1 — кривая тока в цепи цилиндра и I — ее нулевая линия; $A - A$ — ток в цепи цилиндра при $E_c = 0$ (разомкнутом рубильнике S^1 на черт. 2).

Осциллограмма черт. 3 была снята при отсутствии в цепи цилиндра самоиндукции L (при замкнутом рубильнике S на черт. 2); из черт. 3 видно, что амплитуды кривой тока и напряжения совпадают между

¹⁾ По техническим причинам значки g и p при буквах E и i заменены значками „с“ и „д“, хотя сетка и цилиндр обозначены на чертежах буквами G и P .

собой по фазе, что объясняется отсутствием в цепи цилиндра самоиндукции.

На черт. 4 изображена осциллограмма, снятая при тех же условиях, что и для черт. 3, но при включенной самоиндукции L в цепь цилиндра (рубильник S на черт. 2 — разомкнут); обращает на себя внимание на этом черт. сдвиг фаз, появившийся между кривой тока i_n и напряжением E_c , вызванный самоиндукцией L , а также уменьшение амплитуды тока i_n , вызванное увеличившимся кажущимся сопротивлением в цепи цилиндра, благодаря наличности самоиндукции.

Как на черт. 3, так и на черт. 4 (стр. 412) кривая тока i_n симметрична относительно оси абсцисс; опыты показали, что для французских катодных ламп марки „Métal“ максимальное напряжение переменного тока в цепи решетки E_c не должно быть больше 6 вольт эффективных во избежание искажения формы кривой тока в цепи цилиндра.

На черт. 5 показана осциллограмма, снятая при $E_c = 70\text{ V}$, $E_n = 80\text{ V}$ и $L = 0$; при указанных условиях, несмотря на синусоидальность кривой E_c , мы получаем кривую тока весьма сильно искаженной, совершенно не похожей по своей форме на синусоиду; на черт. 5 мы видим, что каждая лампа пропускает через себя ток только в одном направлении: от цилиндра к нити накала (считая за направление тока от $+$ к $-$); в обратном же направлении ток через лампу совсем не проходит, на что указывают прямолинейные части кривой i_n .

На черт. 5 обращает также на себя внимание седлообразная форма кривой i_n , объяснение чего будет дано ниже.

На черт. 6—8 изображены осциллограммы тока цилиндра i_n и тока решетки i_c , снятые при $E = 110\text{ V}$, $E = 110\text{ V}$ (пер. тока) и напряжениях цилиндра, E_n равном соответственно 80, 40 и 20V; на этих осциллограммах можно видеть, как „седло“ кривой i_n постепенно уменьшается по мере уменьшения напряжения цепи цилиндра E_n ; кривые i_n и i_c на черт. 6—8 (стр. 412) должны совпадать по фазе; (осциллограммы этих черт. получены при включении в обратном направлении шлейфы цепи решетки во избежание затемнения осциллограммы).

На черт. 9 изображена осциллограмма тока цилиндра i_n при $E_c = 110\text{ V}$ (пер. тока), $E_n = 80\text{ V}$ и наличности самоиндукции L в цепи цилиндра; кривые i_n и E_c смещены по фазе; кривая тока i_n , как и на предыдущих осциллограммах, сильно искажена.

Для выяснения причины искажения и седлообразной формы кривой тока в цепи цилиндра i_n , при больших напряжениях переменного тока в цепи решетки, были сняты „характеристики“ испытуемых катодных ламп.

На черт. 10 (стр. 417) показаны кривые зависимости между током цилиндра i_n , током решетки i_c и напряжением (постоянного тока) на

решетке E_c ; эти кривые сняты при двух напряжениях в цепи цилиндра: $E_a = 80$ и $E_a = 40$ V.

На кривых тока цилиндра обращает на себя внимание резкое понижение силы этого тока при напряжениях решетки $E_c > E_a$: для кривой тока i_a , снятой при $E_a = 80$ V, „колено“ получается при $E_c = 80$ V, а для кривой i_a , снятой при $E_a = 40$ V, это колено получается при $E_c = 40$ V.

Причину такого понижения тока i_a при напряжениях решетки больших, чем напряжение цилиндра, легко можно объяснить следующим образом.

Пока напряжение (положительное) решетки E_c не превосходит по своей величине напряжения цилиндра E_a , электрическое поле, как показано схематически на черт. 11 (стр. 417), имеет на всем пути между нитью накала F и пластиной P одно и то же направление — от положительно заряженной пластины и отрицательно заряженной нити; под влиянием этого поля электроны, вылетающие из раскаленной нити, движутся ускоренно по направлению к пластинке; так будет происходить явление до тех пор, пока потенциал решетки G относительно нити не будет превосходить потенциала пластины P относительно той же нити; при $E_c > E_a$ направление электрического поля между пластиной и решеткой V_{cg} изменяется на обратное, как это показано на черт. 12 (стр. 417), при таких условиях электроны, вылетевшие из раскаленного волоска и двигающиеся ускоренно на пути между нитью F и решеткой G , пролетев через последнюю, начинают затем двигаться замедленно под влиянием тормозящего поля V_{cg} (см. черт. 12); как результат этого, общее число электронов, достигающих пластины, уменьшается, и сила тока в цепи цилиндра убывает.

Рассматривая кривые изменения тока решетки i_c на черт. 10, мы замечаем резкое повышение тока решетки i_c при $E_c > E_a$; это может быть объяснено совокупным действием ускоряющего поля V_{fc} и тормозящего поля V_{cg} , под влиянием которых возрастает число электронов, вылетевших из нити и осевших на решетке.

На черт. 13 (стр. 418) построена кривая суммарного тока $i_c + i_a$ для $E_a = 80$ V; из рассмотрения этой кривой видно, что общее число электронов, вылетевших из раскаленного тела нити и достигших решетки и пластины, с изменением E_c изменяется в малой степени.

На черт. 13 показаны кривые зависимости между током цилиндра i_a током решетки i_c и напряжением цилиндра E_a при постоянном напряжении решетки $E_c = 30$ и 40 V.

На этом черт. можно видеть резкое повышение тока цилиндра i_a при напряжении цилиндра большем, чем напряжение решетки: $E_a > E_c$; суммарная кривая $i_c + i_a$ при условиях черт. 13 протекает почти параллельно оси абсцисс.

Экспериментальные данные.

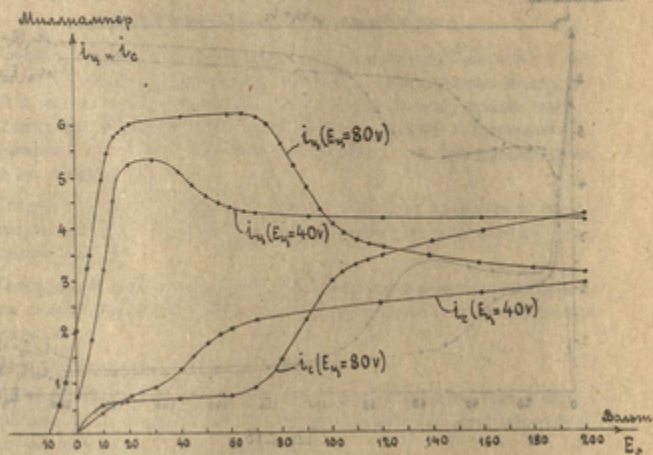


Рис. 10.

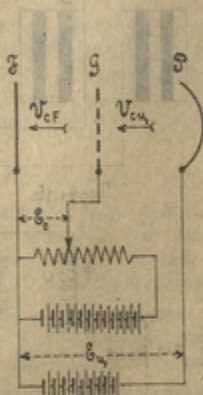


Рис. 11.

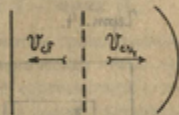


Рис. 12.

Характеристики полевых транзисторов.

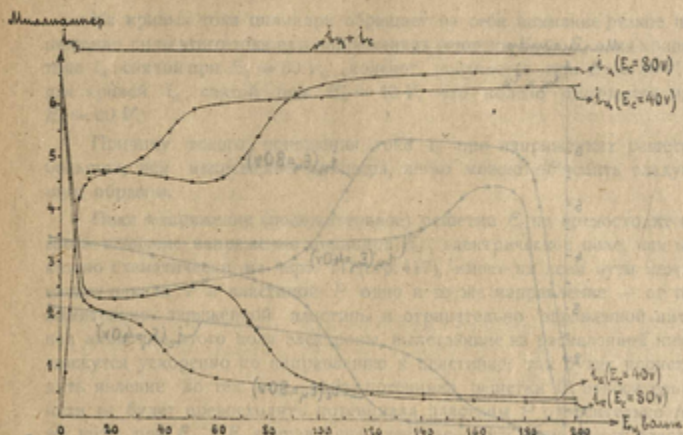


Рис. 13.

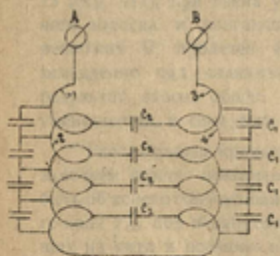


Рис. 14.

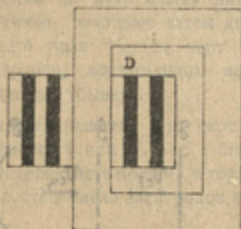


Рис. 15.

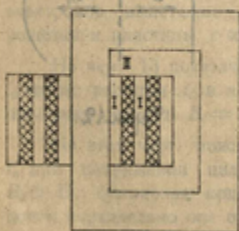


Рис. 16.

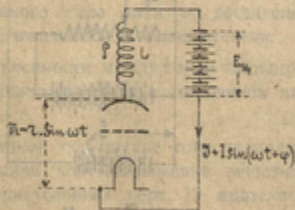


Рис. 17.

Кривые черт. 10 и 13 очень наглядно объясняют причину седлообразной формы кривых тока цилиндра на осциллограммах черт. 5—7.

Влияние трансформатора.

Рассмотренные выше осциллограммы показывают (см. черт. 3—8), что при напряжениях переменного тока E_c , действующих между решеткой и нитью накала, меньших 6 V (эффективных), кривая тока в цепи цилиндра совпадает по своей форме с кривой напряжения E_c ; при значениях $E_c > 6$ V, ток в цепи цилиндра, как мы видели, искажается по своей форме.

Второй причиной искажения телефонного тока являются те трансформаторы, которые включаются в цепь усилителя или, вообще, — в телефонную линию.

Телефонный ток может искажаться благодаря влиянию, во первых, емкости самого трансформатора и, во вторых, благодаря влиянию его самоиндукции.

Рассмотрим сначала влияние емкости.

На черт. 14 (стр. 418) изображена схематически первичная обмотка трансформатора; на этом черт. — C_1 обозначает емкость, образованную двумя витками смежных слоев.

Положим, что к зажимам трансформатора подведено напряжение какой-нибудь сложной кривой; т. е. кажущееся сопротивление емкостей C_1 и C_2 изменяется обратно пропорционально частоте тока, то токи низших гармонических пройдут беспрепятственно через все витки обмотки трансформатора; наоборот, токи высоких частот, для которых емкости C_1 представляют малое кажущееся сопротивление, пройдут только по части витков трансформатора, замыкаясь на остальном участке замкнутой цепи через емкости C_2 ; так, например: при некоторой частоте может статься, что ток I пройдет следующий путь, показанный на черт. 14:

Зажим A , виток I — емкость C_2 — виток 3 — зажим B .

Благодаря указанной здесь особенности обмоток трансформатора коэффициент трансформации для высших гармонических тока получается меньше, чем для низших гармоник, и в соответствии с этим телефонный ток во вторичной цепи трансформатора должен исказиться.

Для уменьшения величины емкости C_2 между слоями обмотки трансформатора можно, как показано на черт. 15 (стр. 418), между отдельными слоями применять утолщенную изоляцию D .

Для увеличения использования пространства занятого обмоткой автор предлагает применять трансформатор с чередующимися слоями первичной I и вторичной II обмотки, показанный на черт. 16 (стр. 418);

в этом трансформаторе пространство D , занятое на черт. 15 изоляцией, заполнено проводами вторичной обмотки: емкость C_2 такого трансформатора, правда, должна быть больше емкости трансформатора по черт. 15, но меньше емкости C_2 трансформатора обычного типа с концентрической обмоткой.

Второй причиной искажения телефонного тока может быть большая самоиндукция трансформатора. На черт. 17 (стр. 418) изображено катодное реле, в цепь цилиндра которого включена батарея, дающая напряжение E_a , и самоиндукция L , омическое сопротивление которой $= \rho$. Предположим, что под влиянием переменного напряжения решетки равного $e_c = E_c \cdot \sin \omega t$, омическое сопротивление участка цепи: цилиндр — нить накала изменяется по закону $R = r \cdot \sin \omega t$, где R — сопротивление цепи цилиндр — нить при отсутствии разности потенциалов между решеткой и нитью. При колебании потенциала решетки с частотой ω , в цепи цилиндра потечет ток $i = J + I \cdot \sin(\omega t + \varphi)$, где $J = \frac{E_a}{\rho + R}$ — ток цилиндра при $e_c = 0$.

Для замкнутой цепи, в которую включена самоиндукция L , периодически изменяющееся сопротивление $R = r \cdot \sin \omega t$ и батарея с напряжением E_a , мы можем написать:

$$[J + I \sin(\omega t + \varphi)] [\rho + R - r \sin \omega t] = E - L \frac{di}{dt};$$

Пренебрегая величиной $r \cdot \sin \omega t$, малой по сравнению с $\rho + R$, и подставляя в это выражение

$$\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt} [I \sin(\omega t + \varphi)] = \omega \cdot I \cdot \cos(\omega t + \varphi),$$

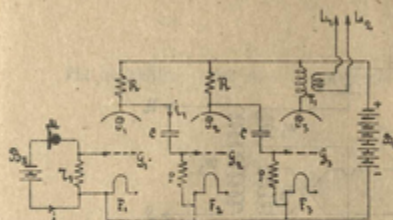
мы получим приближенно:

$$I \cdot [(\rho + R) \sin(\omega t + \varphi) + \omega L \cdot \cos(\omega t + \varphi)] = E \cdot \frac{r \cdot \sin \omega t}{\rho + R};$$

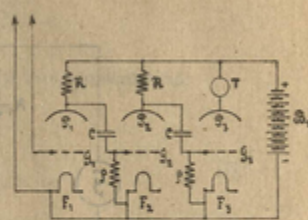
это уравнение должно удовлетворяться при всяких значениях $\omega t + \varphi$; поэтому, подставляя в последнее уравнение один раз $\omega t + \varphi = 0$ и другой раз $\omega t + \varphi = \pi/2$, мы получим два уравнения:

$$I \cdot \omega \cdot L = - \frac{E \cdot r \cdot \sin \varphi}{\rho + R};$$

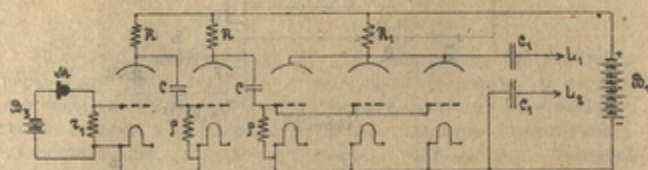
Х. статья проф. Мендере.



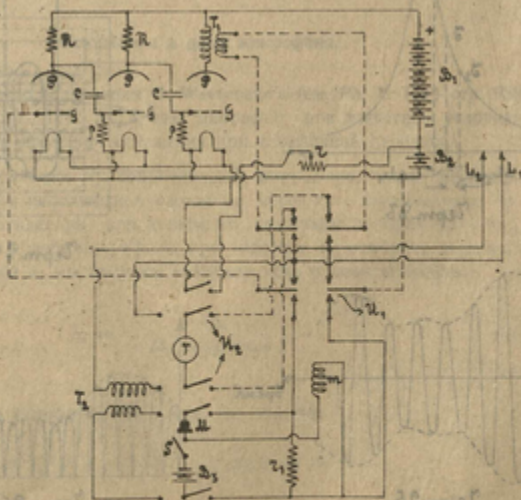
Sept. 18.



Sept. 19.



Sept. 20.



Sept. 21.

и емкостью проп. конденсера.

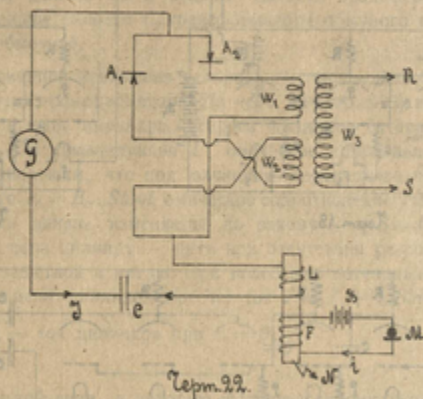


Рис. 22.

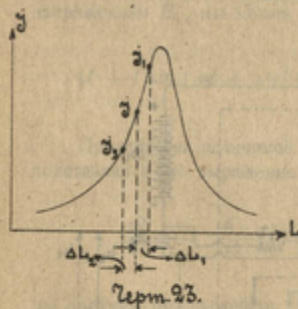


Рис. 23.

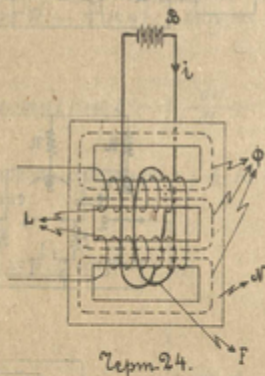


Рис. 24.

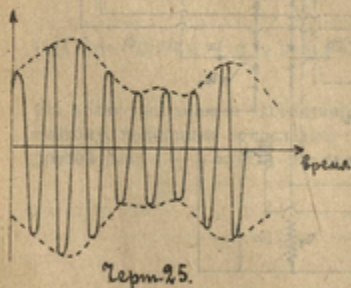


Рис. 25.

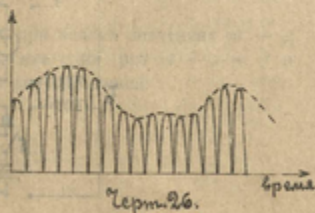


Рис. 26.

$$I \cdot (\rho + R) = \frac{E \cdot r \cdot \cos \varphi}{\rho + R}.$$

На основании этих двух уравнений получаем окончательно:

$$I = \frac{E \cdot \frac{r}{\rho + R}}{\sqrt{\omega^2 L^2 + (\rho + R)^2}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = - \frac{\omega L}{\rho + R}. \quad (2)$$

Полученные два уравнения (1) и (2) показывают, что амплитуда I переменного тока, текущего в цепи цилиндра зависит от частоты этого тока: для больших ω получаются малые значения I и наоборот; другими словами, в катодном реле, в цепь цилиндра которого включена самоиндукция, высшие гармонические усиливаются в меньшей степени, чем низшие. Т. е. мы видим, что благодаря влиянию самоиндукции происходит искажение формы кривой усиленного телефонного тока, текущего в цепи цилиндра катодного реле.

Искажения в цепи микрофона.

Согласно исследованиям E. Waetzmann'a (см. Ph. Z. 1914 стр. 638 и J. d. d. T. u. T., 1915 № 1) сам микрофон при известных условиях может служить причиной искажения при телефонной передаче.

Обозначим через R_m сопротивление микрофона, когда мембрана его находится в неподвижном состоянии, через r_m — максимальное изменение сопротивления при колебании мембраны и через E_m — эдс, действующую в цепи микрофона; при действии на мембрану звуковых волн с частотой ω , мы получим величину тока в цепи микрофона

$$J_m = \frac{E_m}{R_m + r_m \sin \omega t}. \quad (3)$$

Разложив выражение (3) в ряд, мы получим:

$$J_m = J_0 + J_1 \cdot \sin \omega t + J_2 \cdot \cos 2 \omega t + \dots,$$

где

$$\left. \begin{aligned} J_0 &= \frac{E_m}{\sqrt{R_m^2 - r_m^2}}; \\ J_1 &= \frac{2 E_m}{\sqrt{R_m^2 - r_m^2}} \cdot \left(\frac{\sqrt{R_m^2 - r_m^2} - R_m}{r_m} \right) \\ J_2 &= - \frac{2 E_m}{\sqrt{R_m^2 - r_m^2}} \cdot \left(\frac{\sqrt{R_m^2 - r_m^2} - R_m}{r_m} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

и т. д.

Вышеприведенные уравнения показывают, что при действии на мембрану чистого синусоидального тока, в цепи микрофона появляются обертоны совершенно независимо от свойств мембраны; как показывают ур-ия (4), эти обертоны тем сильнее выражены, чем больше r_m по сравнению с R_m , т. е. чем чувствительнее микрофон. Увеличивая сопротивление цепи микрофона R_m путем, например, включения добавочных сопротивлений, мы можем в значительной мере понизить относительную величину обертонов в цепи микрофона.

Опыты с усилителями без трансформаторов.

После того, как предварительные опыты показали непригодность усилителя с трансформаторами по черт. 1 (стр. 411) для усиления телефонных токов, и выяснилось, что главной причиной искажения служит большая самоиндукция трансформаторов, включенных в цепь усилителя, автор произвел ряд опытов с усилителем, в котором число трансформаторов уменьшено до минимума.

На черт. 18 (стр. 421) изображена схема усилителя, применявшаяся автором на станции отправления, а на черт. 19 (стр. 421) схема усилителя на станции приема. На черт. 18 и 19 означают:

P_1, P_2, P_3 — цилиндры трех катодных реле,

G_1, G_2, G_3 — решетки

F_1, F_2, F_3 — нити накала

R, R — омические сопротивления в 80000 ом каждое,

C, C — конденсаторы емкостью $5 \cdot 10^{-4}$ микрофард,

ρ, ρ — омические сопротивления в 4 М ом каждое,

T_1 — трансформатор,

L_1, L_2 — линейные телефонные провода,

B_1 — аккумуляторы в 80 В,

M — микрофон,

B_3 — батарея на 4 V,

r_1 — омическое сопротивление, по величине равное приблизительно сопротивлению микрофона в покое,

T — телефон (черт. 19).

Для того, чтобы не затемнять схемы, на черт. 18—20 батарея в цепи накала не показана.

Действие усилителя по схеме черт. 18 следующее.

При колебании микрофонной мембраны M происходит колебательное изменение разности потенциалов на концах сопротивления r_1 , включенного в микрофонную цепь; эти колебания напряжения вызывают колебания тока в цепи цилиндра первой катодной лампы; т. к. в цепь цилиндра включено большое сопротивление $R \approx 80000$ ом, то при этих колебаниях тока происходит колебание разности потенциалов между точками P_1 и F_1 , и в соответствии с этим в цепи, содержащей емкость C и сопротивление r , тоже течет переменный ток, i_1 , по своей кривой ничем не отличающийся от тока i_m , текущего в микрофонной цепи; вследствие этого на концах сопротивления r создается переменная разность потенциалов, увеличенная по сравнению с таковой на концах сопротивления r_1 , и в цепи цилиндра второй лампы возникает также колебательный ток и т. д.

Усиленный т. о. ток цилиндра третьей лампы затем трансформируется в трансформаторе T_1 на низшее напряжение и передается в линию $L_1 L_2$.

Достоинство этой схемы заключается в малом числе трансформаторов, число которых уменьшено до 1-го. Включение большого, сравнительно, сопротивления r_1 в цепь микрофона также способствует увеличению ясности передачи, т. к. согласно опытам Waetzmann'a, как было сказано выше, относительная величина искажающих передач высших гармоник, вызванных самим микрофоном, тем меньше, чем больше сопротивление микрофонной цепи.

Единственным недостатком этой схемы по сравнению со схемой черт. 1 является несколько меньшая степень усиления; последний недостаток в значительной мере окупается увеличением ясности передачи.

Можно схему черт. 18 изменить таким образом, что трансформатор T_1 станет излишним; на черт. 20 показана такая видоизмененная схема; последняя отличается от первой, кроме отсутствия трансформатора T_1 , еще большим числом катодных ламп; для увеличения тока, посылаемого в телефонную линию, последняя группа ламп соединена между собою параллельно, при чем сопротивление R_1 в соответственной мере должно быть уменьшено по сравнению с R ; конденсатор

$C_1 - C_2$ включается в телефонную линию L_1, L_2 с целью отделить последнюю от высоковольтной батареи B_1 .

На черт. 19 изображена схема соединения усилителя, применявшаяся автором при приеме.

Линейные провода L_1, L_2 присоединяются соответственно к решетке и нулевой точке; усиленные телефонные токи действуют на телефонный приемник T ; в виду сравнительно малой величины тока, текущего в цепи цилиндра, включенный в эту цепь телефон, должен иметь электромагнит с большим числом витков (многоомный телефон); в случае применения обычного малоомного телефона, необходимо включить в цепь цилиндра последней лампы повышающий ток во вторичной цепи трансформатор; вторичная обмотка этого трансформатора в этом случае соединяется с телефоном T .

При телефонировании можно пользоваться схемой черт. 18 (и 20) или схемой черт. 19, располагая в этом случае по одному усилителю на обоих концах телефонной линии.

В известных случаях бывает удобнее сосредоточить усиление телефонного тока, как приемного и передаточного на одной к. н. б. станции.

В этом случае необходимо иметь возможность быстрого переключения со схемы по черт. 18 на схему черт. 19 (стр. 421). На черт. 21 (стр. 421) изображена разработанная автором схема усилителя с переключателем, дающая возможность переключать схему с положения „передача“ на положение „прием“ и обратно.

Обозначения на этом чертеже те же, что и на черт. 18—19. Пятиполюсный (рычажный) переключатель U_1 , который может быть переключаем от руки, служит для переключения телефона с обычного положения на положение работы с усилителем.

При левом положении переключателя U_1 , микрофон M и телефон T соединяются, как обычно, с телефонной линией, и установка работает без усилителя.

При правом положении переключателя U_1 , трансформатор T_1 отключается, включается усилитель, и батарея B_2 замыкается на нити накала.

Монтированный на ручке микрофона нажимной выключатель S позволяет замыкать и размыкать цепь микрофона.

При разомкнутом выключателе S (ненажатое положение), ток через электромагнит m переключающего реле U_1 не проходит, и под действием пружин все четыре рычага реле U_1 упираются в верхние контакты, вследствие чего вторичная обмотка трансформатора T_1 соединяется с телефоном T (пунктирные линии на черт. 21), а линейные

провода L_1 , L_2 соединяются соответственно с решеткой G и нитью накала (т. наз. „нулевой точкой“) первой (левой на черт. 21) катодной лампы; при таком положении переключателя U_1 может происходить только прием.

При передаче необходимо нажать выключатель S , вследствие чего цепь микрофона замкнется на батарею B_2 и сопротивление r_1 , и одновременно с этим по обмотке электромагнита реле m потечет ток из батареи B_3 , вследствие чего все четыре рычага переключателя U_1 будут притянуты книзу, и нижние контакты замкнутся.

При таком положении переключателя U_1 линейные провода L_1 , L_2 будут соединены со вторичной обмоткой трансформатора T_1 , а сопротивление r_1 одним своим концом будет присоединено к решетке G , а другим концом — к нулевой точке первой катодной лампы.

Манипуляции с этим усилителем при разговоре по телефону очень просты: при передаче необходимо нажать выключатель S и при слушании необходимо оставлять этот выключатель ненажатым.

Работа усилителей с сопротивлениями.

Опыты производились с усилителями, соединенными по схеме черт. 18 и 19, и велись на телефонных линиях Москва—Петроград, Москва—Тверь, Москва—Тула и Москва—Нижний-Новгород¹⁾.

Эти опыты показали полную пригодность схемы черт. 18 и 19; искажение телефонного тока было значительно меньше, чем при схеме черт. 1, и передача и прием получались ясными и отчетливыми. Из опытов также выяснилось, какое большое влияние оказывает состояние телефонной линии на передачу с усилителем.

Оказалось, что при плохой изоляции телефонной линии (в сырую погоду) и связанной с этим утечки тока, в телефоне появляются шумы, в значительной мере усиливаемые усилителем и затрудняющие телефонную передачу.

Схема автора телефонирования на далекие расстояния.

Кроме применения катодных реле при телефонировании на большие расстояния, возможно применение и других принципов.

На черт. 22 показана схема телефонирования на большие расстояния, разработанная автором.

На этом черт. обозначают:

G — генератор тока большой частоты (не ниже примерно 20000 периодов в сек.),

¹⁾ В период опытов, которые вел автор, более длинных линий для испытания, к сожалению, получить не удалось.

- A_1, A_2 — два выпрямителя тока,
 T — трансформатор с тремя обмотками,
 R, S — линейные провода,
 C — конденсатор,
 N — дроссельная катушка с двумя обмотками L и F , самоиндукция может быть изменяема путем изменения насыщения магнитной цепи,
 B — аккумуляторная батарея,
 M — микрофон.

Показанная на черт. 22 (стр. 422) емкость C должна быть подобрана такой величины, чтобы при данной частоте генератора G и данной величине самоиндукции L цепь, состоящая из C и L , была настроена почти (но не совсем) в резонанс; тогда, как показывает кривая резонанса на черт. 23 (стр. 422), при возрастании самоиндукции L , скажем, на величину ΔL_1 , будет происходить изменение эффективной величины тока с J на J_1 , и при уменьшении L на величину ΔL_2 , ток J уменьшится до величины, скажем, J_2 .

Как показано на черт. 24, обмотка самоиндукции L состоит из двух катушек, намотанных на каждый из двух внутренних кернов магнитной цепи N в таком направлении, что магнитный поток Φ , образованный этой обмоткой, замыкается по кривой, обозначенной на черт. 24 пунктиром; обмотка F , состоящая из одной катушки, охватывающей оба внутренних керна и питаемая от аккумуляторной батареи B через микрофон M , служит для изменения магнитного насыщения потока Φ ; при таком расположении обмоток L и F , последние магнитно не связаны друг с другом¹⁾.

Вышеуказанные изменения самоиндукции L достигаются путем изменения силы постоянного тока i в катушке F (см. черт. 22); последние же изменения тока i вызываются колебаниями сопротивления микрофона M во время колебания микрофонной мембраны при передаче человеческой речи.

Колебания величины амплитуды тока J , текущего в цепи емкости C , вызванные колебаниями микрофонной мембраны, будут иметь приблизительно вид, показанный на черт. 25 (стр. 422).

Однако, токи высокой частоты, как известно, не действуют на телефонный электромагнитный приемник обычного типа, т. е. железная мембрана приемника не успевает следовать за изменениями высоко-

¹⁾ Описанная здесь магнитная цепь с четырьмя кернами и двумя обмотками была впервые применена Александрсоном для радиотелефонных установок. J. d. d. T. u. T. B. 2, Heft 4. 1917.

частотного тока; с целью обойти вышеуказанное затруднение, можно применить, как показано на черт. 22, два выпрямителя тока A_1 и A_2 и трансформатор с тремя обмотками W_1 , W_2 и W_3 ; при этом обмотки трансформатора W_1 и W_2 должны быть соединены так, чтобы направления ампервитков, образованных обмотками при протекании по ним выпрямленных токов, совпадали.

При соблюдении последнего условия, кривая изменения ампервитков, образованных витками W_1 и W_2 , будет иметь, примерно, вид, показанный на черт. 26 стр. 422 (сплошная линия), при чем железная мембрана телефона приемной станции будет следовать за всеми изменениями амплитуды кривых ампервитков так, как если бы кривая телефонного тока в линейных проводах изменялась согласно пунктирной кривой, изображенной на черт. 26.

Т. к. сила тока J (см. черт. 22) и колебания амплитуды этого тока могут быть сделаны значительно больше, чем колебания величины тока i , то мощность токов, передаваемых в линию при помощи трансформатора T , может быть значительно увеличена, и дальность телефонной передачи, таким образом, повышена.

Катодные умножители частоты.

В. В. Татарикова.

При проверке волномеров весьма важно бывает получить достаточно мощные гармоники некоторого основного незатухающего колебания. Для этой цели с успехом может служить катодный выпрямитель, на анод которого наложен известный постоянный добавочный потенциал. Изменяя этот потенциал, можно выделить ту или другую гармонику.

Чертеж 1 (стр. 431) показывает схему такого умножителя частоты. Цепь I есть цепь какого-либо генератора незатухающих колебаний Γ ; цепь II представляет собою собственно умножитель частоты $У$; наконец, III-я цепь есть цепь резонатора, которым является исследуемый волномер.

Генератор возбуждает в цепи II синусоидальную электродвижущую силу E , уравнение которой пусть будет

$$E = a \sin \omega t. \quad (1)$$

Пусть на анод выпрямителя наложен отрицательный потенциал — b . Ток в выпрямителе будет иметь место только тогда, когда

$$a \sin \omega t - b > 0.$$

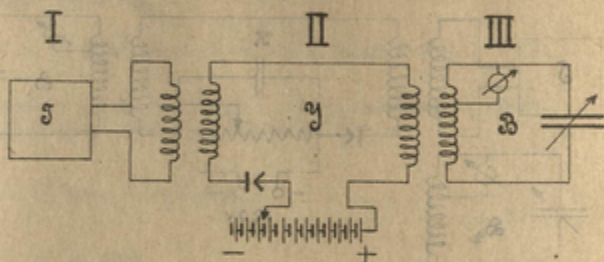
Для этих значений t можно считать сопротивление R умножителя постоянным. Когда же

$$a \sin \omega t - b < 0,$$

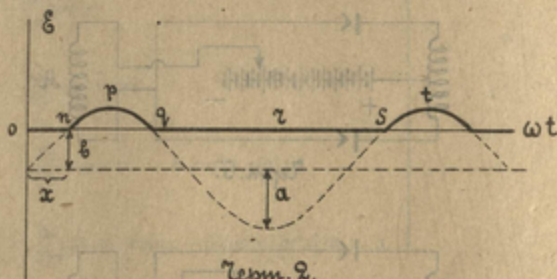
R делается равным бесконечности, и ток прекращается. Для удобства вычисления предположим, что R все время остается постоянным, но E при $a \sin \omega t - b < 0$ обращается в нуль. Тогда закон изменения эдс выразится кривой $onpqrst$ (черт. 2). Пусть уравнение ее будет

$$e = f(t, x), \quad (2)$$

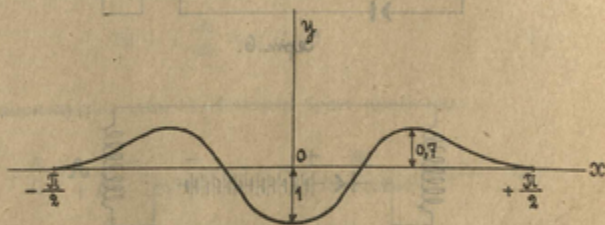
где $x = on = \arcsin \frac{b}{a}$.



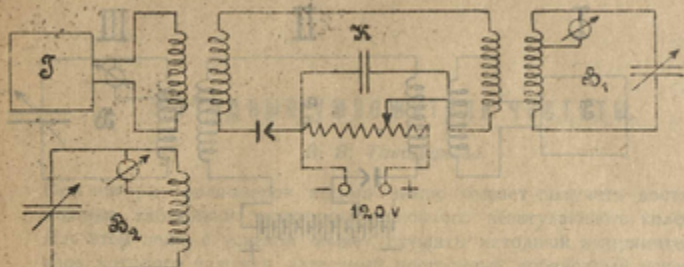
Репм.1.



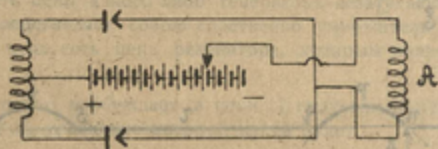
Репм.2.



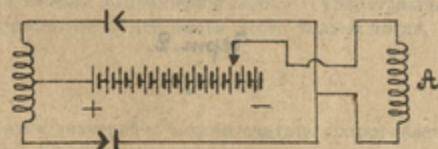
Репм.3.



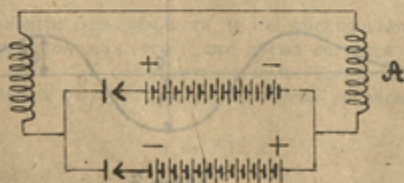
Ներք. 4.



Ներք. 5.



Ներք. 6.



Ներք. 7.

Функцию $f(t, x)$ можно разложить в ряд Фурье, который в данном случае будет иметь вид:

$$f(t, x) = A_0 + A_1 \sin \omega t + B_2 \cos 2 \omega t + A_3 \sin 3 \omega t + \dots \quad (3)$$

Коэффициенты $A_0, A_1, B_2, A_3, B_4, \dots$ будут функциями x . Их трудно найти, пользуясь известными приемами. Получим:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{a}{\pi} \left[\cos x - \frac{\pi - 2x}{2} \sin x \right] \\ A_1 &= \frac{a}{\pi} \left[\frac{\pi - 2x}{2} + \cos x \sin x \right] \\ B_2 &= -\frac{2a}{3\pi} \cos^3 x \\ A_3 &= -\frac{2a}{3\pi} \cos^3 x \sin x \\ B_4 &= -\frac{2a}{15\pi} [\cos^5 x - 5 \cos^3 x \sin^2 x] \\ A_5 &= -\frac{2a}{15\pi} [3 \cos^5 x \sin x - 5 \cos^3 x \sin^3 x] \text{ и т. д.} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Чтобы найти закон изменения тока в цепи умножителя, надо интегрировать следующее уравнение:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = f(t, x), \quad (5)$$

где L есть самоиндукция цепи II. Интеграл будет иметь вид:

$$\begin{aligned} i = Ce^{-\frac{Rt}{L}} + \frac{A_0}{R} + \frac{A_1}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} \sin(\omega t - \theta_1) + \frac{B_2}{\sqrt{R^2 + (2L\omega)^2}} \cos(2\omega t - \theta_2) + \\ + \frac{A_3}{\sqrt{R^2 + (3L\omega)^2}} \sin(3\omega t - \theta_3) + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

C есть постоянная интегрирования, $\theta_1 = \text{arctg} \frac{L\omega}{R}$, $\theta_2 = \text{arctg} \frac{2L\omega}{R}$ и т. д.

Первый член ур-ия (6), содержащий C , можно отбросить, т. к. при достаточно больших t он обращается в нуль и имеет значение лишь в первый момент после замыкания тока.

Следует заметить, что ур. (6) является лишь первым приближением решения задачи. Формула тем ближе к действительности, чем меньше $\frac{L\omega}{R}$. Тем не менее ур-ие это может дать выводы, оправдывающиеся в существенных чертах на опыте, а именно указать характер зависимости амплитуды гармоник от заданного на анод потенциала b .

Ясно, что максимумы амплитуд различных гармоник мы найдем, дифференцируя по x коэффициенты (4) и приравнявая производные нулю. Само собою понятно, что для нас важны максимумы абсолютной величины этих коэффициентов. Таким образом найдем, что

максимум B_2 получается при $x = 0$,

$$A_3 \quad x = -\frac{\pi}{6}, +\frac{\pi}{6},$$

$$B_4 \quad x = -\frac{\pi}{4}, 0, +\frac{\pi}{4},$$

$$A_5 \quad x = -\frac{3\pi}{10}, -\frac{\pi}{10}, +\frac{\pi}{10}, +\frac{3\pi}{10}$$

и т. д.

Назовем отрезок pq (черт. 2 стр. 431) „продолжительностью импульса“ эдс. Ясно, что она равна $\pi - 2x$. Из предыдущей таблицы легко убедиться, что максимум n -ой гармоники получается, когда „продолжительность импульса“ содержится n раз в $2\pi, 2\pi \cdot 2, 2\pi \cdot 3, \dots, 2\pi(n-1)$, т. е. когда

$$(\pi - 2x)n = 2\pi, 2\pi \cdot 2, 2\pi \cdot 3, \dots, 2\pi(n-1).$$

Найдем например $(\pi - 2x)n$ для $n = 5$, т. е. для максимумов 5-ой гармоники. Получим такую табличку:

x	$\pi - 2x$	$(\pi - 2x)n$
$-\frac{3\pi}{10}$	16π	$80\pi = 2\pi \cdot 4$
$-\frac{\pi}{10}$	10π	$50\pi = 2\pi \cdot 2.5$
0	12π	$60\pi = 2\pi \cdot 3$
$+\frac{\pi}{10}$	10π	$50\pi = 2\pi \cdot 2.5$
$+\frac{3\pi}{10}$	8π	$40\pi = 2\pi \cdot 2$
$+\frac{\pi}{2}$	4π	$20\pi = 2\pi \cdot 1$

Нетрудно проследить и относительную величину этих максимумов амплитуд. Возьмем например 4-ю гармонику. Если будем откладывать по оси абсцисс x , а по оси ординат

$$y = B_4 : \frac{2a}{15\pi},$$

то получим кривую, изображенную на чертеже 3. Подобный характер изменения амплитуды с изменением x , или, что то же, с изменением b , можно проследить и в действительности. 3-я гармоника появляется только при добавочном потенциале на выпрямителе, без чего ее трудно заметить.

Описанным умножителем я пользовался для градуировки волномеров. Чертеж 4 (стр. 432) показывает схему действительного соединения приборов.

Добавочный потенциал на анод выпрямителя задавался потенциометром¹⁾ шунтированным конденсатором K порядка нескольких десятых μF . B_1 — исследуемый волномер. B_2 — добавочный волномер, которым контролировалась неизменность периода генератора G . Генератором служило катодное реле для телефонных передатчиков конструкции проф. Бонч-Бруевича²⁾. Напряжение на анод генератора задавалось около 600 В, при чем горел только один волосок. Выпрямителем служило катодное реле Нижегородской Радиолaborатории типа ПР1, в котором анод был соединен с сеткой³⁾.

Пользование генератором сравнительно большой мощности и применение описанного умножителя позволяли градуировать волномер на ваттметр.

Опыт показал, что наложение добавочного потенциала на выпрямитель

- 1) увеличивает мощность соответствующей гармоники,
- 2) увеличивает остроту настройки и
- 3) не смещает сколько-нибудь заметно положения резонанса на шкале волномера, конечно, при условии неизменности периода генератора.

В заключение укажу на некоторые возможные более сложные комбинации описанных умножителей.

1. Схема двойного выпрямителя (черт. 5 стр. 432). Легко видеть, что при этой схеме в катушке A будет действовать эдс, выражаю-

¹⁾ Источником тока для потенциометра должна быть батарея аккумуляторов, т. е. напряжение машины не достаточно постоянно.

²⁾ См. „Титон“ № 9 стр. 301.

³⁾ Лучшие результаты наблюдаются должен был бы дать выпрямитель без сетки с одним анодом и волоском.

щаяся суммой двух функций вида:

$$f(t, x) + f\left(t + \frac{\pi}{\omega}, x\right).$$

Благодаря этому все нечетные гармоники пропадут, а четные удвоят амплитуду.

2. Та же схема, но направление одного из выпрямителей изменено на обратное (черт. 6). В этом случае эдс в катушке *A* выразится разностью

$$f(t, x) - f(t, -x).$$

Рассмотрение коэффициентов (4) приводит к заключению, что при такой схеме пропадут четные гармоники, нечетные же удвоят амплитуду.

3. Можно, наконец, включить в цепь умножителя параллельно два выпрямителя, сообщив им равные, но противоположные потенциалы, как показано на черт. 7. Эдс в катушке *A* выразится тогда суммой

$$f(t, x) + f(t, -x),$$

при чем нечетные гармоники пропадут, а четные удвоят амплитуду.

Как видно, все подобные сложные схемы приводят к одному результату: уничтожению четных или нечетных гармоник и к удвоению амплитуды оставшихся.

Радиолоборатория.

Апрель, 1921 г.

Некоторые особенности работы радиотелефонных аппаратов.

М. А. Бонч-Бруевич. Ч. РОРИ.

1.

Общей теории радиотелефонирования в сущности не существует, и это кладет особый отпечаток на всю историю радиотелефона. Несмотря на то, что уже с 1906 года появились источники незатухающих колебаний в виде дуги и машины (отсутствие которых было первоначально главным препятствием для осуществления телефонной передачи) радиотелефон на большие расстояния, как — *регулярное явление*, появился только в период 1918—1920 года, и причину такого медленного прогресса нельзя конечно видеть исключительно в трудности модулирования большими мощностями, но также и в том, что в основу разработки вопроса не было положено достаточно отчетливого понимания происходящих процессов.

Хорошей иллюстрацией к такому утверждению может служить хотя бы та масса усилий, которая была потрачена на устройство „мощных“ микрофонов с целью включать их непосредственно в антенну; здесь мысль шла неверным путем уже потому, что отдача такого рода установок не может быть более нескольких процентов; микрофон является переменным омическим сопротивлением, *поглощающим* мощность; и при самых идеальных условиях — при монотонном синусоидальном звуке (но не буквах), совершенно определенной интенсивности этого звука и наконец при идеальном устройстве самого микрофона можно было бы получить, как теоретический предел, отдачу 50%, т. е. при 100 кв в антенне 100 кв пришлось бы гасить и в микрофоне, но при передаче букв это соотношение должно резко измениться в невыгодную сторону¹⁾.

Отсутствие теории обуславливает те относительно скромные достижения при наличии поразительных „рекордов“, которые так характерны для истории радиотелефона. И в настоящее время мы имеем множество всевозможных „схем“, „систем“ и патентов радиотелефонных устройств, и почти не имеем теоретического критерия для оценки их за исключением главным образом чисто формальной классификации по каким либо признакам общего характера. В то же время и эксперимент

¹⁾ См. М. А. Бонч-Бруевич: „Катодные реле большой мощности“. „Титбл“ № 6, стр. 116, 1919 г.

иногда дает противоречивые результаты, и мы знаем много примеров когда удавалось покрыть большие расстояния, но повторные попытки того же исследователя с теми же аппаратами терпели неудачу. Очевидно, что дело здесь не только в „системе“, но и в каком то умелом использовании тонкостей этой системы; и здесь нет до сего времени общей руководящей теоретической, нити: все дело в чутье и опыте экспериментатора.

Необходимость особой теории радиотелефонирования распространяется также и на вопросы общего характера, как например, вопросы об устройстве антенны, о выборе наиболее выгоднейшей волны, о выборе рода генераторов, об устройстве приемных аппаратов, об определении наиболее выгодных связей; многие основные понятия, как например, понятие об использованной мощности, с точки зрения радиотелефонной передачи должны быть освещены иначе, чем в других случаях. Целый ряд причин делает невозможным безоговорочное применение здесь выводов и норм справедливых для радиотелеграфа. Наконец в одном отношении задача радиотелефона представляет собою некоторую особенность именно потому, что здесь требуется передача звукового *впечатления*, т. е. чего то неопределяемого одними физическими данными, но имеющего еще психо-физиологический характер; это должно в сильной степени повлиять на содержание теории и до известной степени поставить ее особняком.

В обыкновенной телефонии, где ставится та же задача (передача звукового впечатления), дело существенно разнится в том отношении, что там нет вопроса о полном использовании мощности передатчика, без чего в радиотелефонии невозможно получить большой дальности действия. Как мы увидим ниже, такое использование неизбежно ведет к искажениям звуковых кривых, и эти искажения могут быть как угодно велики с физической точки зрения, но не должны быть *существенны* с точки зрения психо-физиологической.

Приводимые здесь ниже примеры и соображения могут дать понятие об особенностях условий работы радиотелефона; их можно рассматривать, как известный материал для общей теории.

2.

а) Мощность радиотелеграфных передатчиков определяется, как произведение квадрата силы тока в пучности на динамическое сопротивление антенны. В случае радиотелефона такое определение может относиться только к мощности, которой радиостанция *располагает*, но мощность, *использованная* для радиотелефонных целей, пока не имеет точного определения. Если кривая передаваемого звука была бы близка к синусоиде, и кривая амплитуд передатчика точно воспроизводила ее, то вопрос об использованной мощности стоял бы в непосредственной

связи с вопросом об использовании амплитуды. Т. е. например „телефонная“ мощность была бы больше, если бы явление происходило согласно черт. 1 (стр. 441), и меньше, если бы оно происходило согласно черт. 2, т. к. модуляция во втором случае менее глубока. Эта мощность могла бы быть количественно определена, и увеличению ее всегда бы соответствовало усиление звука на приемной радиостанции.

Но в действительности при передаче сложных звуковых комплексов, какими являются буквы, количественный подсчет мощности не имеет почти никакого смысла, т. к. для разных букв, произнесенных одинаково громко, она будет разниться в сотни раз; но еще более замечательно, что для одной и той же буквы, произнесенной одинаковым образом, эта мощность получается различной в зависимости от тех искажений, которые имеют место в той, либо другой системе модуляции, как это будет показано ниже.

Кроме того при некоторых системах модуляции передатчик излучает не одну, а вообще говоря, несколько волн, и в этом случае картина еще более усложняется. Поэтому, если основываться только на величине тока в антенне и на сопротивлении антенны, то полезная для телефонной передачи часть мощности может быть определена только как нибудь условно; но тем не менее она имеет несомненно реальный смысл, т. к. при той же основной мощности незатухающих колебаний в антенне слышимость станции может быть больше или меньше, а следовательно и использование этой мощности могло бы быть выражено каждый раз определенным числовым коэффициентом, относящимся хотя бы к звуку более или менее определенного характера, напр. к звуку камертона.

Техническое определение степени использования мощности могло бы быть сделано путем сравнения звука камертона или пищика, слышимого по радиотелефону, со звуком той же высоты, полученным от искрового передатчика, или еще лучше от прерываемого незатухающего передатчика (черт. 3).

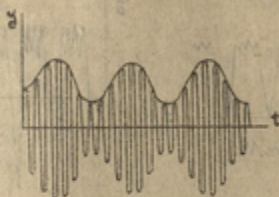
б) Точная передача звуковых вибраций при помощи эл.-маг. колебаний возможна постольку, поскольку кривая амплитуд большой частоты может быть сделана подобной кривой звука; эта задача сама по себе весьма трудна; но если бы даже она была разрешена, то результаты выразились бы в чрезвычайной ясности речи при малой дальности действия и большой зависимости от силы звука. Действительно, если между звуковыми колебаниями и изменением амплитуды в антенне существует прямая пропорциональность, то эта зависимость может быть выражена прямой линией (черт. 4). Если некоторая величина мощности OA является предельной для данной установки, то очевидно, что только при силе звука OB она может быть достигнута; следовательно, при передаче, тихий голос будет слышен очень слабо, но ясно, голос же, превышающий по силе OB , будет искажен.

Но в действительности ясность речи вполне сохраняется при значительных искажениях кривой звука; здесь особенно проявляется роль психо-физиологического элемента, и работа воображения дополняет то, что не передано приборами. Вследствие этого кривая типа черт. 5 является более рациональной. Кривая типа черт. 6, имеющая порог действия звука „ОВ“, ведет к существенным искажениям (хрипоте); она получается иногда благодаря плохому устройству микрофона, а также при применении ламп с газом. Кривые типа черт. 7 со шлейфом ОД получаются наиболее легко; совершенно понятно, что они менее выгодны, чем кривые черт. 5. Обследование передатчика в этом смысле может быть приблизительно выполнено сравнением силы приема звуков различной силы; более же точно — наблюдением затухания камертона в осциллографе, включенном в приемный контур, связанный с передатчиком.

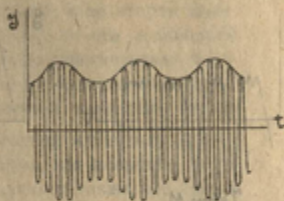
а) Что касается искажений кривой звука вообще, то они могут быть весьма значительны, не будучи существенными для восприятия. Роль воображения здесь можно сравнить с той, которую оно имеет при узнавании букв в скорописи, где начертания в сущности искажаются до неузнаваемости. Кроме того надо иметь в виду, что при осциллографических исследованиях одни и те же буквы дают множество различных кривых. В качестве примера на черт. 8, 9 и 10 даны кривые, соответствующие букве „О“, полученные при помощи фоторграфической осциллограммы, при чем на каждом чертеже дано две кривых: одна до прохождения микрофонного тока через трансформатор, а другая после трансформирования. Искажения на всех трех чертежах с графической точки зрения достаточно велики; с точки же зрения восприятия они ничтожны.

Изучение искажений должно иметь большое значение, так как оно позволит искусственно приводить звуковые кривые к таким формам, при которых передача их может быть сделана более рациональной; и с этой точки зрения искажения могут быть разделены на два вида: *рациональные* и *нерациональные*. В качестве первого можно указать, например, следующее искажение. Положим, что требуется передать кривую черт. 11 (на стр. 442), одну из кривых, соответствующих букве „О“. Она может быть передана точно, т. е. кривая амплитуд в антенне будет иметь вид черт. 12, но может быть передана также кривой черт. 13, где амплитуда тока в антенне та же, но она в значительной мере использована для передачи „верхушек“ кривой звука в то время, как ее низ как бы срезан. Это как бы часть предидущей кривой, но *увеличенная*. Такое искажение дает более значительное использование мощности и увеличивает силу звука, причем ясность его до некоторого предела может быть нарушена несущественно.

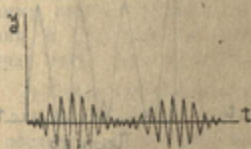
г) Кривые звука, вообще говоря, несимметричны относительно средней оси; если кривая имеет, например, вид, показанный на черт. 14 (стр. 442), то она может быть передана или путем изменения амплитуды, или путем изменения частоты.



Грм.1.



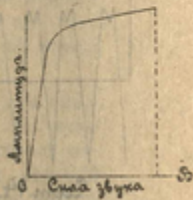
Грм.2.



Грм.3.



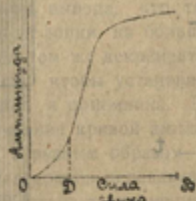
Грм.4.



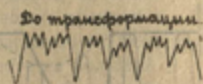
Грм.5.



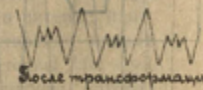
Грм.6.



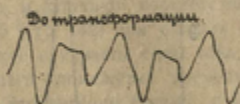
Грм.7.



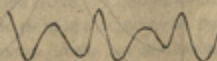
До трансформации



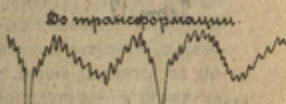
После трансформации



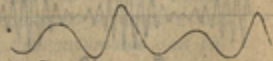
До трансформации



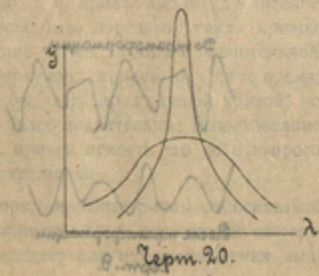
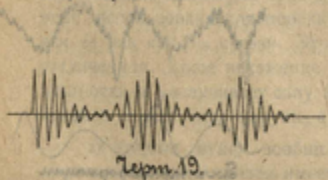
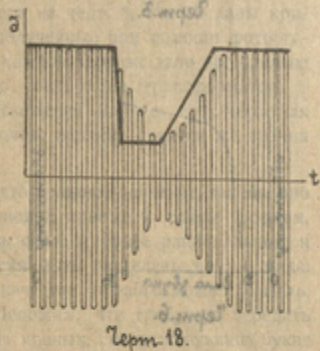
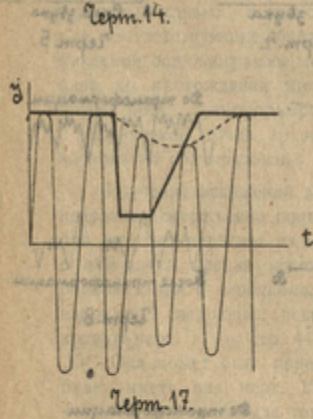
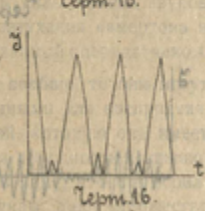
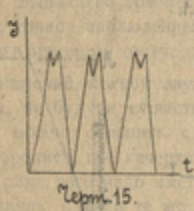
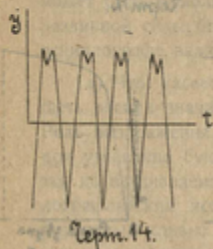
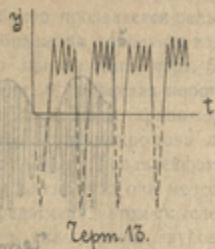
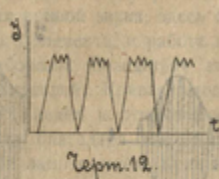
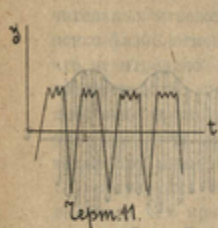
После трансформации



До трансформации



После трансформации



литуды в антенне, согласно черт. 15, или же черт. 16. В первом случае средний ток в антенне очевидно будет больше, а во втором меньше. Что же касается ясности звука и его силы, то это в большой степени зависит от системы модулирования. Опыт действительно показывает, что перемена направления тока в трансформаторах низкой частоты передатчика сказывается и на токе в антенне и на силе звука.

д) Само собой понятно, что только при полном изменении амплитуды колебаний в антенне от нуля до максимума, вся мощность передатчика использована. Но из предыдущего вытекает также, что самый характер этого изменения играет большую роль, и что путем рациональных искажений кривых звука можно повысить его слышимость, применяя ту же исходную мощность. Из этого следует, что осциллограммы радиотелефонных токов не могут еще дать полного представления о рациональном использовании мощности, но они во всяком случае могут указать глубину изменения амплитуды.

е) Самая возможность передавать звуковые колебания при помощи электромагнитных волн обуславливается, конечно, тем, что частоты последних значительно выше, т. е. кривые звука до известной степени детально могут быть выражены кривыми амплитуд большой частоты. Эта предпосылка тем более имеет место, чем выше частота эл.-магн. колебаний, но в сущности уже при волне 15000 метров разговор может быть передан совершенно отчетливо. Однако из этого ни коим образом нельзя сделать вывода, что такие волны практически рациональны для радиотелефонии на большие расстояния. Чем медленнее колебания, тем при том же декременте требуется больший промежуток времени для того, чтобы установился тот либо другой режим в антеннах передатчика и приемника. Вследствие этого при длинных волнах больше отставание кривой амплитуд в антенне передатчика от звуковой кривой, а равным образом и отставание кривой амплитуд в антенне приемника против передающей антенны. На черт. 17 (стр. 442) жирная линия обозначает изменения амплитуды возбуждающей колебания внешней эдс, а синусоида соответствует изменению силы тока; ток не следит за изменениями эдс; например, в точке А, эдс внезапно становится равной нулю, но колебания в антенне продолжают и затухают соответственно ее декременту. Та же кривая на черт. 15 (стр. 442) при условии более быстрых колебаний производит глубокое изменение силы тока, так как антенна затухает в течение меньшего промежутка времени и успевает лучше следить за модуляцией. Это явление сходно с явлением самоиндукции в цепях изменяющегося тока. Совершенно понятно, что оно тем сильнее сказывается, чем меньше затухание приемной и передающей антенны и чем длиннее волна. Это заставляет, повидимому, предпочитать для радиотелефона антенны с большим излучением, и мало удлинненные.

ж) Колебания, излучаемые радиотелефонной антенной, в сущно-

сти не есть уже „незатухающие“ колебания. Непрерывное изменение амплитуды может рассматриваться, как затухание и развитие колебаний. Вследствие этого и острота настройки радиотелефонного излучения меньше, чем излучения незатухающего. При глубокой и резко производимой модуляции всегда замечается утрата остроты настройки на приемнике, а это резко понижает силу приема, так как передатчик излучает не одну волну, а более или менее широкий спектр (черт. 20).

Это обстоятельство особенно важно; оно приводит к тому, что рациональная модуляция при длинных волнах невозможна; чем волна короче и чем, следовательно, больше колебаний происходит за тот же промежуток времени, тем менее „затухание“, и поэтому возможна более глубокая модуляция без потери остроты настройки.

При волне 4500 метров, которой благодаря устройству Московской антенны приходится работать Московскому радиотелефону, мне не удалось достичь тех же модуляций, как при волне 1800 метров, которой работал передатчик Нижегородской Радиолaborатории. В результате—слышимость Московской станции при том же токе в антенне почти одинакова с Нижегородской станцией, хотя высота антенны в первом случае почти в четыре раза больше. Вследствие этого наиболее выгоднейшая волна для радиотелефонии должна быть, вообще говоря, короче, чем для радиотелеграфии.

з) В качестве источника колебательной энергии для телефонирования катодное реле представляет собой значительные преимущества, благодаря легкости получения коротких волн и необыкновенной гибкости схем, позволяющей осуществить модуляции любого характера. Можно отметить вообще, что хотя хорошие результаты могут быть получены с самыми разнообразными системами передатчиков, но а priori представляется более рациональным применение таких схем, при которых модуляция достигается не изменением каких либо условий передачи колебаний в антенну от постоянно действующего источника, а изменением амплитуды самого источника. В последнем случае при уменьшении амплитуды антенны, антенна начинает питать источник (так как связь между ними сохраняется); это увеличивает ее затухание, а, следовательно, улучшает модуляцию. В случае машинного передатчика применение большого числа железных трансформаторов в низкой частоте во всяком случае нежелательно, так как это ведет к искажениям, которые выше классифицированы, как „нерациональные“.

Модуляция изменением периода излучаемой волны, удобная при дуговом передатчике, повидимому, наименее рациональна.

а) Характер изменения тока в антенне при модуляции может быть трех родов: 1) при разговоре средний ток в антенне повышается, 2) понижается, 3) остается неизменным.

Преимущества того либо другого вида пока не ясны, но нет сом-

нения, что этот вопрос имеет известное значение. В своей схеме (см. „Радиотехник“ № 11 стр. 14. 1920 г.) я всегда получал лучшие результаты, работая с повышением тока при разговоре.

При ламповом генераторе существенную роль может играть изменение величины постоянного тока, питающего цепь анодов. Эти изменения происходят со звуковой частотой и поэтому ток, идущий на питание ламп, состоит из суммы постоянного и переменного. Последний тем меньше, чем меньше зависит питающий ток от амплитуды в антенне; во всяком случае при питании от динамомашин конденсаторы, шунтирующие их, должны быть рассчитаны на высокую и на звуковую частоту.

Н.-Новгород.

Апрель. 1921 г.

Теория триода.

В. К. Лебединского.

Три параметра. — D вместо g . — Основная характеристика. — Усилитель. — Рабочая характеристика. — Генератор. — Колебательная характеристика. — Линия связи. — Условия возбуждения незатухающих колебаний. — Самовозбуждающийся генератор.

В № 8 „ТиТбп“ (стр. 242—253) мною были отмечены идеи, руководящие заграничными авторами при теоретическом рассмотрении явлений в триоде; имелись ввиду главным образом работы английских и французских исследователей. В добавление считаю интересным для читателей привести немецкие методы теории триода в той мере, в какой они представляются мне по книжке Мёллера: „Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen“ (Sammlung Vieweg. Heft 49. Braunschweig 1920. 162 стр. М. 10); Макс Вин в предисловии к этой книжке рекомендует ее, как „необходимую“, „разъясняющую и продвигающую в дальнейшем развитии всей области“.

Мёллер является одним из тех немецких физиков, которые, работая за время войны по поручению различных отделов военного ведомства, значительно развили умение пользоваться катодными лампами (М. Вин, Баркгаузен, В. Вин, Шоттки, Рукоп, Кибиц, Макс Абрагам, Лауе).

1. Основные параметры. В дальнейшем мы несколько изменим обозначения, принятые в предыдущей статье. Оставив значки a и p по прежнему для анода и решетки, токи и напряжения будем обозначать малыми i и e , когда имеются в виду какие либо вообще значения этих величин. Большими буквами будем обозначать их амплитуды при синусоидальном изменении; E_0 — напряжение батареи и R — внешнее сопротивление в цепи анода.

Из основных параметров катодного реле остаются: S — крутизна основной характеристики (i_a, e_p), обозначаемой в последующем кратко OX , и R_m — сопротивление лампы. Что же касается до коэффициента усиления g , то вместо него мы будем пользоваться коэффициентом D , связанным с двумя первыми через уравнение:

$$SR_m D = 1. \quad (*)$$

Сравнивая равенство (*) с отношением¹⁾, данным на стр. 242 (1-ая строка снизу), мы усматриваем, что

$$D = \frac{I}{g}.$$

S определяется из геометрических условий. По Лэнгмюру для цилиндрического диода с радиусом цилиндра r и длиной нити l

$$i = c \cdot e^{3/2} \text{ амп, где } c = 1,465 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{I}{r};$$

для такого диода

$$S = \frac{di}{de} = \frac{3}{2} \cdot c \cdot \sqrt{e} = \frac{3}{2} \cdot c^{2/3} i^{1/3}.$$

В триоде электронный ток с нити распределяется между двумя путями, к решетке и к аноду; поэтому, оставаясь верными лэнгмюровской формуле, мы можем написать

$$i = i_p + i_a = c(e_p + De_a)^{3/2}; \quad (1)$$

$$S_1 = \frac{di}{de_p} = \frac{2}{3} \cdot c(e_p + De_a)^{1/2}. \quad (2)$$

Пренебрегая током на решетку, мы можем считать, что S_1 и есть крутизна OX :

$$S = \frac{di_a}{de_p} \text{ (стр. 242).}$$

Форм. (2) как будто говорит, что этот параметр крутизны не зависит от накала; но на самом деле при увеличении накала увеличивается I , входящая в c , т. к. укорачиваются концевые отрезки нити, мало излучающие электроны, как охлаждаемые теплопроводящими электродами нити. Крутизна OX имеет наибольшую величину при токе на анод между половиною и двумя третями тока насыщения.

Выражение (1) заменяет английскую форму этого уравнения (стр. 211 строка 3-ья снизу) и выражает, что коэффициент D меряет, какая часть силовых линий, исходящих из анода, „прохватывает“ до нити между проволоками сетки, какая доля потенциала анода влияет на возбужде-

¹⁾ Которое может быть выведено более правильно в математическом отношении.

ние катодного потока i и потому должна быть приложена к e_p ; он тем меньше, чем гуще сетка и дальше анод; по Баркгаузену он

$$D = \frac{C_{aa}}{C_{sp}},$$

т. е. равен отношению емкостей между нитью, включая пространственный заряд, и анодом и нитью и сеткой¹⁾. При i постоянном i , $D = -\Delta e_p : \Delta e_a$; отсюда понятно, как может быть измерен этот параметр по семье кривых OX .

Отклонения на опыте (черт. 1 стр. 451) от кривой, выражаемой уравнением (1), происходят: (а) — от неполного использования нити — ее части за проволоками решетки не работают, (б) — от различного удаления разных частей решетки от нити при плоской решетке, (с) — от присутствия очень небольших остатков газа; причина, почему эти небольшие остатки газов понижают ток насыщения, остается пока непонятной.

2. Усилитель. При усилении низкой частоты предполагается, что первый трансформатор (при входе в усилитель) есть резонансный трансформатор; i_p сводится до минимума ничтожными емкостями C_{pk} и вторичной обмотки; по Баркгаузену, утечка на разомкнутой вторичной обмотке чрез недостаток изоляции в 1 мегом производит десятикратное возрастание декремента и низводит напряжение резонанса до $1/10$. Навысшая мощность во внешнем сопротивлении R анодной цепи получается равной (при $R = R_m$)

$$N_a = \frac{S}{8D} \cdot E_p^2, \quad (3)$$

т. е. тоже (по ур. ²⁾), что на стр. 245²⁾, но без применения таинственных свойств величины g (ср. стр. 244). Может показаться странным, что здесь не играет роли E_a , а также постоянное напряжение на решетке e_0 . Но эти величины заключаются в отношении $S:D$, которое по ур. (2), получает вид³⁾:

$$\frac{S}{D} = \frac{3}{2} \cdot \frac{c}{D} \cdot (e_0 + DE_a)^{1/2}. \quad (4)$$

¹⁾ В этом же направлении развивались и идеи М. А. Бонч-Бруевича, см. «Радиот.» № 7, стр. 227. 1919.

²⁾ В знаменателе 8 соответствует амплитудной величине напряжения; на стр. 245 разумеется средняя квадратичная.

³⁾ Ток на решетку в усилителе равен нулю.

Максимум этой величины, как функции от D , получается при

$$D = -\frac{2E_0}{E_6}.$$

При начальном потенциале сетки в -1 вольт и батарее в 100 в имеем наилучшее $D = 20\%$. Однако по ур. (*) это требует (при $S = 5 \cdot 10^{-5}$), чтобы сопротивление трубки (равное внешнему в цепи анода) было в 1 мегом, что невыполнимо. Предлагается такой технически важный компромисс: из ур. (1), пользуясь ур. (*), (3) и (4), легко получить

$$\frac{N_a}{E_p^2} = \frac{R}{2(RD + \frac{2}{3c\sqrt{DE_6 - 1 \text{ вольт}}})^2}.$$

Для максимума этой величины по D получим

$$D = \frac{1 \text{ вольт}}{E_6} + \frac{1}{(E_6 \cdot 9R^2 c^2)^{1/3}}.$$

Отсюда можно напр., задавшись величинами R и c , найти для различных напряжений анодной батареи наилучшее D .

При усилении большой частоты приходится отказаться от всякой настроенности трансформаторов (входного и промежуточных) вследствие большого диапазона частот, а потому и вообще от трансформации.

Ток в цепи анода первой лампы определяется из:

$$I_a = SE_p + \frac{1}{R_m} E_a = SE_p + \frac{R}{R_m} \cdot I_a, \quad (5)$$

$$I_a = \frac{E_p}{D} \cdot \frac{1}{R_m + R}. \quad (5^1)$$

Это есть выражение характеристики лампы при ее работе на внешнее сопротивление R . Выражение (5) представляет собою вариацию ур. (1); I_a и E_p могут быть средними вариациями соотв. переменных; их отношение из (5¹) есть средняя крутизна рабочей характеристики, которая по ур. (*) немедленно обращается в S (при токе на решетку пренебрежимо малом), если взять $R = 0$, т. е. тот случай когда лампа не производит внешней работы, который и разумеется, конечно, в ур. (1).

¹) $E_a = -RI_a$, как одновременные вариации внутреннего и внешнего напряжений при пост. E_6 .

Помножив этот ток (5^1) на R , получим напряжение на сетке 2 ой лампы; разделив его на E_p , получаем усиление

$$\text{усиление} = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_{\pi}}{R}}$$

Отсюда видим, что при очень большом внешнем сопротивлении лампы усиление равно $1/D$; при $D = 0,05$ или 5% , усиление одной лампой равно 20. В этом случае этот параметр действительно представляет собою величину обратную коэффициенту усиления. При $D = 0,05$ и крутизне в 10^{-4} , а след. $R_{\pi} = 2 \cdot 10^5 \Omega$, и самом большом внешнем сопротивлении — только емкости дросселя, проводов и следующей лампы (пусть вся эта емкость равна 20 см) — которое получается ($\omega = 10^6$) равным $5 \cdot 10^4$ омов, имеем усиление около 5. Таким образом действительность понижает высший формальный предел в 4 раза.

3. Генератор. Когда в триоде происходят электрические колебания, явления слишком глубоко затрагивают его, чтобы можно было рассуждать так просто, как в предыдущем. По самому существу дела ток в цепи сетки обязательно существует, и даже моментами, вследствие того, что потенциал анода испытывает большие колебания и может стать ниже потенциала сетки, весь ток с нити направляется на сетку. Мёллеру принадлежит особый метод исследования колебаний в цепи триода-генератора, который в дальнейшем своем развитии может дать очень много.

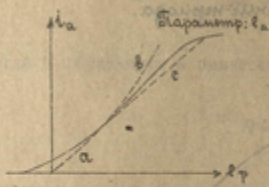
Первые сведения о свойствах явления получаются из рассмотрения случая постороннего возбуждения колебаний триода (черт. 2 стр. 451); здесь триод является простым усилителем, но только определенной частоты. Поэтому, если *амплитуда колебаний мала*, ток на сетку ничтожен, мы можем не касаться никаких осложнений и воспользоваться формулой (5). Вся особенность настоящего вопроса пока лишь в том, что внешнее сопротивление анодного контура

$$R = \frac{(j\omega L + r) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{j\omega L + r + \frac{1}{j\omega C}}$$

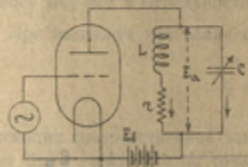
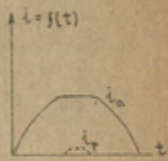
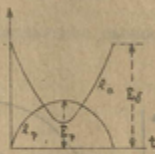
Колебательный контур рассматривается здесь, как две параллельные ветви, эквивалентное сопротивление которых вычисляется по обычной формуле¹⁾. В случае резонанса этого контура с периодом приходящих колебаний имеем

¹⁾ См. напр. „Титон“ № 6, стр. 86, § 18.

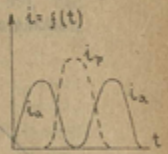
Задача: "Теория лампы."



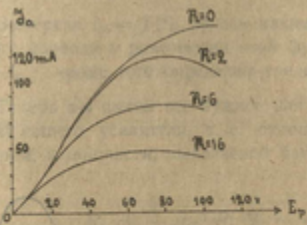
Черт. 1.



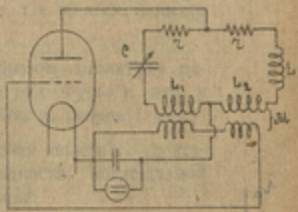
Черт. 2.



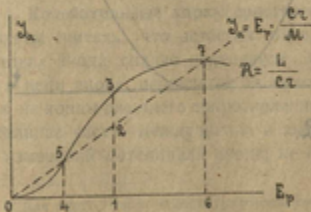
Черт. 3.



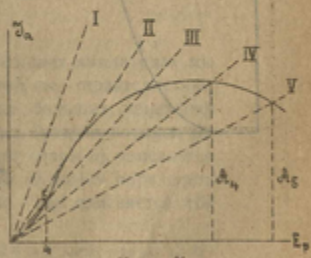
Черт. 4.



Черт. 5.



Черт. 6.



Черт. 7.

Имя М. А. Бур-Буря:

Имя м. А. Бур-Буря:

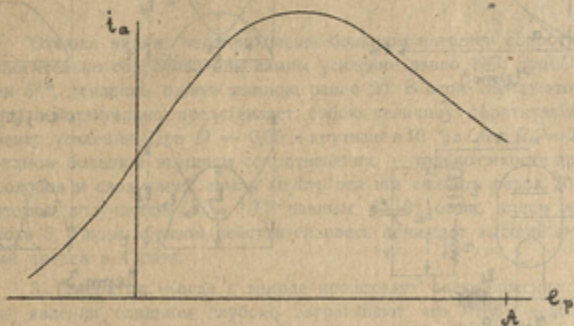


Рис. 1.

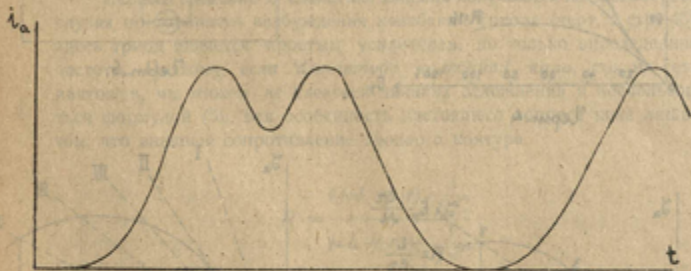


Рис. 2.

$$\omega L = \frac{1}{\omega C},$$

и тогда R обращается в омическое сопротивление равное

$$R = \frac{L}{rC}. \quad (6)$$

Моллер считает очень важным это выражение; оно „одним ударом вносит порядок в пеструю картину опытных данных“ (р. 59), где емкость, самоиндукция и сопротивление колебательного контура влияют, казалось бы, все в отдельности.

При заданном колебании потенциала на решетке

$$e_p = E_p \sin \omega t$$

происходит соответственное изменение по времени тока на анод; оно может быть вычерчено по точкам, если воспользоваться основной характеристикой, соответствующей вольтажу анода; этот вольтаж мы считаем пока мало изменяющимся, постоянным, т. е. во всем процессе остаемся на одной кривой в семье линий OX .

Вычертив $i_a = f(t)$, узнаем каким либо образом амплитуду основного периода в разложении этой функции в ряд Фурье¹⁾; это и будет I_a ; кроме того определим среднее значение i_a равное $\bar{i}_a$.

Теперь мы имеем все нужное для определения полезного действия (k) нашего усилителя, т. е. отношения мощности, поглощаемой контуром, к мощности, выделяемой батареей анода:

$$N_a = \frac{1}{2} \cdot I_a^2 R; N_c = \bar{i}_a E_c; k = \frac{N_a}{N_c}.$$

Здесь R из форм. (6).

4. Колебательные характеристики. При больших амплитудах мы не можем считать, что остаемся на одной и той же характеристике; потенциал анода сильно изменяется: вследствие больших изменений тока в цепи анода, изменяется та часть вольтажа батареи, которая ложится на концы внешнего сопротивления, а, значит (форм. 5), изменяется и оставшая часть—между нитью и анодом; и мы не можем определить этих изменений потенциала анода, не определив, как изменяется ток

¹⁾ Для этого нужно изаниметризовать кривую $i_a \sin \omega t$, вычерченную из i_a по точкам, и результат разделить на T .

на анод, а этот ток зависит опять таки от значений потенциала на аноде.

Выход такой: построить семью кривых, связывающих все эти величины. Задаясь различными амплитудами E_p и E_a и вычерчиваем синусоидальные изменения этих величин (черт. 3, стр. 451 два примера); вычерчиваем, воспользовавшись *семью* OX , кривые $i_a = f(t)$; узнаем i_a и I_a , как выше было указано. И наконец, по соотношению

$$E_a = I_a R$$
узнаем, для какого R годны наши наперед заданные амплитуды.

Теперь мы можем построить семью кривых, которые можно назвать „колебательными характеристиками— KX^* “, отложив по осям амплитуды тока на анод и вольтажа решетки и взяв различные R за параметры (черт. 4).

С помощью этих кривых решается практический вопрос: при данных R и E_p находим I_a ; отсюда $E_a = R I_a$ и N_a ; далее $e_a = E_0 + E_a \sin \omega t$; по этой величине и $e_p = E_p \sin \omega t$ с помощью *семьи* OX узнаем (подобно черт. 3) $i = f(t)$ и i_a , а след. и N_0 ; а наконец k .

Целый ряд следствий может быть выведен из кривых KX ; их максимумы показывают, что для наибольшей мощности во внешнем сопротивлении необходима некоторая определенная амплитуда напряжения на решетке; из них могут быть построены кривые, дающие N_a в зависимости от R при параметре E_p , откуда получается наилучшая величина внешнего сопротивления; выводится значение параметра D и накала волоска.

Не останавливаясь на этих вопросах, переходим к тому, что дают KX для подсчета явлений в самовозбуждающемся генераторе незатухающих колебаний (черт. 5 стр. 451). Принципы, на основании которых могут быть констатированы незатухающие колебания, следующие.

Если мы, исходя из данной амплитуды анодного колебательного тока, при данном внешнем сопротивлении, через напряжение на решетке получим тот же анодный ток, то колебания незатухающие; в противном случае они будут либо возрастающими, когда мы получим больший ток на анод, либо затухающими.

Точно также, узнав разность фаз (при известном предположенном периоде) между током на анод и в самоиндукции колеб. контура, а также между напряжением на решетке и током в самоиндукции, мы определим разность фаз между током на анод, производимым напряжением на решетке и тем, из которого мы исходили; если она окажется рав-

ной нулю, то период подобран верно; если полученный нами ток по фазе окажется опережающим, то частота увеличивается (период подобран неправильно); в противном случае — уменьшается. Таким путем узнается, что для схемы черт. 5 период

$$T = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2 + L) C}$$

является правильно предположенным.

Воспользуемся теперь первым из вышеуказанных принципов.

Строим прямую, (черт. 6 стр. 451), выражающую зависимость между амплитудами тока в цепи анода и напряжения, индуктируемого в цепи решетки через взаимную индукцию M (черт. 5 стр. 451); эта „линия связи“ выражается:

$$E_p = I_a \cdot \frac{M}{Cr} \quad (7)$$

так как

$$\frac{E_p}{E_a} = \frac{M}{L}; \quad E_a = I_a \cdot \frac{L}{Cr}$$

На том же чертеже проводим KX , соответствующую данному внешнему сопротивлению и, конечно, в тех же масштабах. По этому чертежу читаем: какое либо случайное возбуждение анодного тока, напр. выражаемое отрезком 1—2, вызывает такое напряжение на решетке 0—1, которому будет соответствовать колебательный ток в цепи анода 1—3 (всё — амплитуды); на основании вышеозначенного принципа говорим, что колебания будут возрастающей амплитуды. Анодный ток 4—5 дает незат. колебания, также как и 6—7; но лишь последний будет изображать устойчивое состояние колебаний: анодные токи большие, чем 6—7, приводят к замирающим колебаниям, а меньшие — к возрастающим, если они, однако, больше, чем 4—5.

При очень слабой связи M цепи решетки с колебательным контуром, когда линия связи занимает какое либо положение I (черт. 7 стр. 451), колебания не могут возникнуть. Колебания могут возникнуть лишь с такой величины M , при которой линия связи занимает положение II или вправо от него; но для них первым толчком должна служить амплитуда не меньшая некоторой наименьшей (4—5 на III, ср. также черт. 6). Лишь когда M настолько велик, что линия связи совпадает с касательной в нулевой точке KX или лежит правее ее, колебания возникают при всяком начальном толчке и вскакивают до амплитуды соотв. A_4, A_5 и т. д. Теперь катодный генератор является самовозбуждающимся в точном смысле этого слова.

Условием самовозбуждения, которое, как мы видим, отлично от условия возникновения незат. колебаний, является: крутизна линии связи по форм. (7) должна быть меньше, чем крутизна KX в нулевой точке; эта последняя совпадает с крутизной по ур. (5¹) вообще рабочей линии. Итак получаем:

$$\frac{Cr}{M} \leq \frac{1}{D(R_m + R)}$$

Воспользовавшись ур. (*), а затем ур. (6), легко получаем условие самовозбуждения в виде:

$$S > \text{ или } = \frac{Cr}{M} + \frac{L}{MR_m}$$

Это выражение вполне совпадает с приведенным на стр. 252¹) выражением Уиддингтона; по неимению данных не могу решить, выведено ли оно английским автором или взято им из немецкой литературы; оно отличается от выражений того же самого условия, выведенных французскими и английскими авторами (ср. стрр. 249—252), которые мне известны.

Апрель 1921 г.

¹) Отметим спечатку; на этой странице им. R_m написано R_n .

Исследование характеристик и параметров триода с чисто электронным разрядом.

С. И. Зилитинкевича.

1. Метод и задачи исследования.

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых процессов и явлений, имеющих место в „жестком“ триоде, при чем особое внимание уделено рассмотрению тех параметров, которые могут быть интересны с точки зрения характеризования свойств катодных релэ. Отчасти здесь рассмотрены и условия, при которых триод может быть использован, как детектор, усилитель и генератор незатухающих колебаний.

1. „Статические“ и „динамические характеристики“.

Исследование произведено на основании полученных опытным путем „статических характеристик“. Поэтому его результаты могут быть приложены к процессам, происходящим в катодных релэ, в условиях их рабочего использования, только приблизительно.

Как известно, рабочие процессы в катодных релэ, в их графической форме, носят название „динамических характеристик“.

Очевидно, что разница между „статическими“ и „динамическими характеристиками“ объясняется влиянием в последних факторов, связанных с действием высокой частоты. Эта разница может достигь очень большой величины, если в цепях цилиндра (анода) и сетки (контрольного электрода) имеются значительные емкости и самоиндукции, особенно если эти цепи между собою связаны¹⁾. Но так как это исследование посвящено не рабочим схемам использования триода, а работе самого триода, то учет влияния этих цепей на полученные из опыта характеристики является не желательным.

В работе самого триода с частотой связано изменение влияния следующих факторов:

1. Влияние емкости трех электродов триода и четырех подводящих ток проводников.
2. Инерция процесса, происходящего в приборе.

¹⁾ Напр., в схемах „двойного усиления“ и т. п., а также в схемах для генерирования незатухающих колебаний.

3. Гистерезис.

Влияние перечисленных выше факторов весьма различно для разных типов катодных релэ. Обычно, последние делятся на две группы, значительно отличающиеся по характеру происходящих в них процессов: катодные релэ с чисто электронным (термионным) разрядом, жесткие релэ¹⁾ и катодные релэ со вторичной ионизацией (магкие или газовые релэ).

Совершенно ясно, что такие факторы, как инерция и гистерезис, играют значительно более существенную роль у релэ второго типа, чем у первого.

2. Инерция релэ.

Как известно, инерция процессов, происходящих в катодных релэ чрезвычайно ничтожна по сравнению с инерцией каких угодно других релэ и практически может считаться равной нулю. Это составляет огромное преимущество данного прибора, особенно для целей беспроводного телефонирования.

Относительно же влияния инерции на форму характеристик релэ, можно думать, что у жестких релэ инерция практически не оказывает действия, у мягких же — ее влияние значительней, а при работе очень мягких релэ со сравнительно короткими электрическими волнами — инерция может оказывать уже значительное влияние²⁾.

3. Гистерезис у релэ.

Что касается гистерезиса у катодных релэ, то он имеет место как у статических, так и у динамических характеристик.

Для обычных значений V_k (около 80 вольт), величина гистеретического сдвига у французских усилительных ламп колеблется в среднем от 0,03 м-А до 0,10 м-А для прямолинейных участков характеристик.

С уменьшением напряжения, приложенного к аноду, гистерезисные сдвиги сильно уменьшаются, и наоборот, сильно увеличиваются с его увеличением. Это вполне понятно в виду наличия некоторого количества газа даже в самых жестких триодах и, значит, увеличения вторичной ионизации с увеличением скорости электронов.

Вопрос о том, в каком взаимоотношении между собою с точки зрения гистерезиса находятся статические и динамические характеристики надо считать невыясненным.

¹⁾ Релэ, у которых давление газа в баллоне $\leq 10^{-6}$ мм ртут. столба.

²⁾ В этом отношении интересна работа R. Whiddington'a (The Radio Review 1, 1919, November).

4. Влияние емкости электродов и проводников.

Влияние емкости электродов и токопроводящих проводников триода чрезвычайно существенно и особенно сказывается тогда, когда триод употребляется при режиме исчезающе малой величины тока сетки¹⁾. На этом мы еще остановимся ниже, здесь же необходимо указать, что емкость триода в холодном состоянии имеет значительно меньшую величину, чем в нагретом состоянии, когда возникает действие пространственного заряда.

Иклз в своем „Исследовании внутренних явлений в триоде“²⁾ указывает, что взаимная емкость между электродами обыкновенного триода в 2—4 раза больше при наличии пространственного заряда, чем при его отсутствии³⁾.

5. Французские усилительные лампы.

Как известно, релэ с чисто электронным разрядом почти совершенно вытеснили из практического обихода релэ со вторичной ионизацией, несмотря на некоторые преимущества в известных отношениях последних. Причины этого общеизвестны.

Данное исследование посвящено тоже жестким триодам, а все характеристики и „картины распределений токов“ сняты с французских усилительных ламп, являющихся весьма типичным и распространенным видом катодного трехэлектродного релэ с чисто электронным разрядом.

Французские усилительные лампы, вызвавшие большое количество подражаний и просто копировок в Германии и Англии, по достоинствам своей работы и простоте и изяществу выполнения превосходят все остальные виды жестких релэ европейской конструкции и уступают только американским аудионам.

Существует два типа французских усилительных ламп: „S“ и „Métal“.

В типе S цилиндр имеет в диаметре 1 см и в длину 1,5 см. Сетка же в диаметре 0,45 см и состоит из 12 витков. В длину сетка имеет 1,6 см. Диаметр проволоки, из которой она сделана, равняется 0,2 мм.

В типе „Métal“ сетка состоит только из 11 витков, расположенных слегка шире и состоящих из несколько более тонкой проволоки, чем в типе „S“. С внешней стороны лампы обоих типов выглядят совершенно одинаково, но среди ламп типа „Métal“ больше порченных или неудовлетворительно откатанных.

На последующих чертежах указывается, с какого типа и образчика лампы снята та или иная характеристика.

1) Т. е., при отрицательном и нулевом напряжении на сетке.

2) Перевод помещен в журнале „ТЭТбм“, № 5. 1920.

3) Ср. „Рад.“ № 14, 1921, стр. 505—507.

В работе французские лампы очень устойчивы и сравнительно идентичны; поэтому их обыкновенно и принимают за образец, с которым сравнивают другие катодные релэ.

6. Схема, применявшаяся для снятия характеристик.

Относительно схемы соединений, примененной для снятия характеристик, необходимо указать, что за нулевой потенциал был принят потенциал отрицательного зажима нити накала. Этот зажим, следовательно, и является общей точкой для всех трех цепей триода.

При снятии характеристик, в целях сохранения неизменным рабочего режима нагретого катода, по возможности поддерживался постоянным ток накала (i_w). Это, конечно, вело к небольшим изменениям напряжения, приложенного к нити накала (V_w), так как ее сопротивление менялось в связи с изменением тока, проходившего через триод. Обычно, при увеличении тока в триоде (i_a), сопротивление нити тоже увеличивалось и ток накала падал. Для приведения его к прежней величине приходилось увеличивать напряжение, приложенное к катоду.

Очевидно, что увеличение сопротивления вызывалось дальнейшим разогреванием нити, а уменьшение — ее охлаждением в связи с теми процессами, которые имеют место в триоде.

II. Теория триода.

1. Ток насыщения и формула проф. Ричардсона.

В основу нашего представления о процессах, происходящих в триоде, кладется положение, выдвинутое и развитое Ричардсоном¹⁾, что прохождение тока в пустоте происходит путем испарения электронов из накаливаемого катода.

Ричардсоном уже дана формула для случая прохождения в пустоте термionicного тока между двумя плоскими электродами, связывающая число выделенных катодом электронов („ток насыщения“) с температурой самого катода.

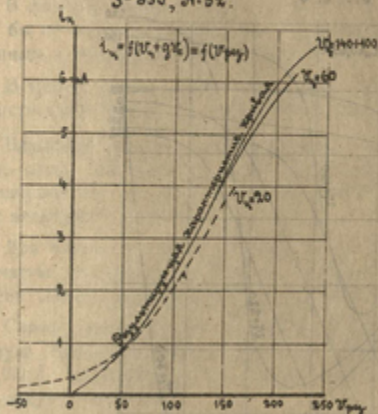
$$N = A_1 T^{1/2} e^{-\frac{b}{T}};$$

здесь N число электронов, выброшенных с единицы поверхности катода в единицу времени, T абсолютная температура катода, e основание натуральных логарифмов, A_1 и b постоянные, зависящие от материала катода²⁾.

¹⁾ O. W. Richardson. The emission of electricity from hot bodies. 1916.

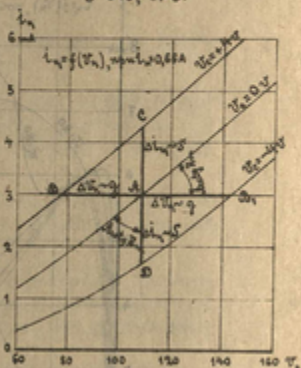
²⁾ Значения коэффициентов A_1 и b даны в той же монографии Ричардсона (стр. 69). Некоторые из этих значений приведены в журнале „Рад“ № 10, 1920, стр. 515.

S-830, №32.



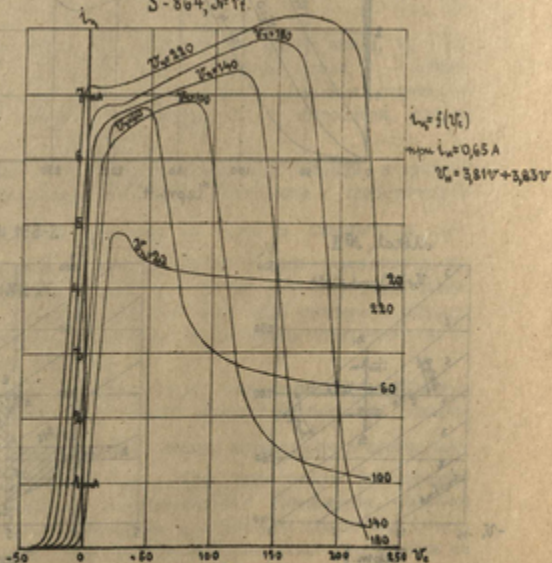
Чепм.1

S-819, №3.



Чепм.2.

S-864, №17



Чепм.3.

2. Формула И. Лэнгмюра.

В формулу Ричардсона потенциал анода не входит. Следовательно, если бы не было других факторов, влияющих на ток, он был бы постоянным и максимальным по величине.

В триоде таких дополнительных факторов имеется два: 1) пространственный заряд, и 2) контрольный электрод.

Благодаря влиянию этих факторов, ток, проходящий в цепи катод—анод, уже зависит не только от температуры катода, но и от тех напряжений, которые приложены к аноду („цилиндру“) и контрольному электроду („сетке“).

Для выражения этой зависимости было предложено значительное количество эмпирических формул, которые в большей или меньшей степени удовлетворительно отвечают опытным данным.

Самой замечательной из предложенных зависимостей является формула Лэнгмюра (Proceedings of the Institute of Radio Engineers, p. 278, 1915), предложенная им для его плиотронов. Она устанавливает следующую зависимость:

$$i_a = A (V_a + gV_c)^{3/2} \quad (1)$$

Здесь, i_a — плотность тока, проходящего в цепи анода, V_a — потенциал анода, V_c — потенциал контрольного электрода, g — коэфф. усиления потенциала, или „потенциальный коэфф. усиления“, зависящий от геометрических размеров плиотрона, A — постоянная, равная $2,33 \cdot 10^{-6}$.

В своей статье „Исследование внутренних явлений в триоде“ Иклиз обосновал правильность формулы Лэнгмюра с теоретической стороны. Он выяснил, что показатель $\frac{3}{2}$ является результатом действия объемного заряда, а „потенциальный коэфф. усиления“ g объясняется „экранирующим действием“ контрольного электрода, возникающим благодаря взаимной емкости всех трех электродов триода. Эта емкость зависит от геометрических размеров электродов и от объемного заряда (см. стр. 459).

Что касается того, что практически получаемые характеристики иногда в значительной части своей длины отступают от „закона степени $\frac{3}{2}$ “, то Иклиз показал, что главное искажающее действие происходит неравномерностью температуры нити накала. Эта неравномерность накала вызывает неодновременное достижение разными точками катода состояния насыщения в испускании электронов. Совершенно ясно, что падение температуры особенно резко сказывается на

концах нити, в виду охлаждающего действия поддерживающих их проводников и более свободного излучения в пространство теплоты.

III. Параметры триода.

1. „Результирующее напряжение“ и „результирующая характеристика“.

Самым важным в формуле является утверждение, что зависимость тока цилиндра от напряжений цилиндра и сетки непременно выражается функцией вида:

$$i_a = f(V_a + g V_c).$$

Это выражение указывает, что изменение напряжения сетки на некоторую величину ΔV оказывает на ток цилиндра такое же влияние, как „ g “ раз большее изменение напряжения цилиндра. Если, напр., $g = 8$, то изменения тока i_a будут одинаковы при изменении V_c на 1 вольт, или же V_a — на 8 вольт.

Это дало основание Икльз'у утверждать, что „главная функция триода—умножит вольтаж сетки на g , передать его в цепь анода и наложит его на вольтаж анода“. Новый, полученный таким образом, вольтаж, может быть назван „результирующим“, а перечисленные на него характеристики — „результирующими характеристиками триода“.

Такая „результирующая характеристика“ показана у меня на черт. 1 (стр. 461). Для ее нахождения был применен графический метод Икльза.

Обычные характеристики триода представляют собою следующие зависимости:

1) $i_a = f(V_c)$, при пост. потенциале цилиндра, для различных накалов (i_a);

и 2) $i_a = f(V_a)$, при пост. накале, для различных потенциалов на цилиндре.

Серии этих характеристик показаны на черт. 4 (стр. 462).

Если мы обозначим

$$V_a + g V_c = V_{резулт.} = V_p,$$

то „результирующая характеристика“ выражает собою зависимость

$$i_a = f(V_p).$$

В случае же формулы Лэнгмюра, имеем

$$i_a = A V_p^{3/2} = 2,33 \cdot 10^{-6} \cdot V_p^{3/2}.$$

2. „Общий коэфф. усиления тока“ и „истинное сопротивление триода“.

Из черт. 1 видно, что тангенс угла, образованного касательной к произвольной точке результирующей характеристики с осью абсцисс,

$$S_0 = \frac{di_a}{dV_p}$$

может быть принят за меру усиления тока для данной точки характеристики триода. Точно так же, как и обратная ему величина

$$R_0 = \frac{dV_p}{di_a}$$

(т. е., котангенс того же угла) может рассматриваться, как мера внутреннего сопротивления триода для той же точки.

В прямолинейной же части „результирующей характеристики“ величина $\tan$ остается практически постоянной для весьма значительных изменений V_p . Его значение $S_0 = \text{const}$ и могло бы быть принятым за основной параметр, характеризующий триод.

Принятие этого условия создало бы то удобство, что триод характеризовался бы только одной численной величиной, сохраняющей свое значение для большого ряда различных режимов работы прибора. А это очень облегчило бы сравнение различных триодов между собой.

Однако, надо признать, что такой параметр не давал бы представления о действительных взаимоотношениях различных факторов, влияющих на работу триода. Он не давал бы материала для выбора тех условий, при которых триод мог бы работать, наилучшим образом отвечая поставленной ему задаче.

Кроме того, нахождение численной величины этого параметра довольно кропотливо. Но нельзя не указать еще раз, что это единственный параметр, остающийся постоянным для широких пределов работы триода. Со стороны своей физической сущности он может быть назван „общим¹⁾ коэфф. усиления тока“ триода; а величина обратная

¹⁾ Или „суммарным“, или „результирующим“.

ему, R_0 по своему физическому смыслу с большим правом может считаться за „истинное сопротивление триода“.

3. Три общепринятых параметра триода.

Из представления о токе триода, как функции от

$$(V_a + gV_c),$$

вытекают следующие три параметра, численно характеризующие различные стороны рабочего процесса триода:

g = потенциальный коэфф. усиления.

$$S = \frac{di_a}{dV_c} = \text{коэфф. усиления тока триода}, \quad (2)$$

$$R_m = \frac{dV_a}{di_a} = \text{внутреннее сопротивление триода}. \quad (3)$$

Значение и физический смысл коэфф. g уже достаточно выяснен на стр. 9. Зависимость же коэфф. g от i_a , V_c и V_a может быть получена следующим образом.

Имеем в общей форме

$$i_a = A_1 (V_a + gV_c + A_2)^n;$$

Отсюда находим, что

$$V_a + gV_c = \text{const. при } i_a = \text{const.}$$

Откуда, окончательно получаем:

$$g = - \frac{dV_a}{dV_c} \quad (\text{при } i_a = \text{const}). \quad (4)$$

Это соотношение очень ценно, так как оно дает возможность наиболее просто определять g .

Здесь же интересно отметить простую связь между и остальными двумя параметрами. Находим произведение:

$$SR_m = \frac{di_a}{dV_c} \cdot \frac{dV_a}{di_a} = \frac{dV_a}{dV_c}.$$

Следовательно,

$$SR_m = -g;$$

или

$$g = SR_m.$$

Эта зависимость дает простой способ определения одного параметра, когда два другие известны. Если же все три параметра определены независимо друг от друга, она может служить для проверки полученных результатов.

Что касается до физического смысла коэфф-ов S и R_m , то он ясен из вышеуказанных их дифференциальных выражений.

Коэфф. S показывает, насколько увеличивается ток в цепи цилиндра, когда напряжение в цепи сетки возрастает на единицу. Он обычно выражается в мА/вольт.

Коэфф. R_m считается „сопротивлением участка катод—анод“ или „внутренним сопротивлением триода“, хотя эта связь чисто формальная и гораздо удачнее было бы это название относить только к коэфф. R_0 .

4. Определение численных величин коэффициентов триода.

А. Метод характеристики: $i_a = f(V_a)$.

До сих пор, насколько мне известно, было предложено два способа для определения коэфф. g : один Икльзом и другой, упомянутый в статье проф. В. К. Лебединского. Оба описаны в соответствующих статьях этих авторов, помещенных в журнале „Титбп“, № 8, июль 1920.

Основная черта обоих способов та, что g находится из серии обычных характеристик, типа $i_a = f(V_c)$, при $i_a = \text{const}$, для различных V_a .

Недостатком обоих методов является необходимость применения более или менее значительных графических построений, для получения интересных величин.

Между тем, весьма небольшое видоизменение способа, указанно-го проф. В. К. Лебединским, значительно упрощает приемы для получения g и делает их гораздо более точными. Для этого надо только при нахождении g обращаться не к вышеупомянутым сериям характеристик, а к сериям характеристик $i_a = f(V_a)$, при $i_a = \text{const}$, для различных V_c .

Т. е., по просту, из опыта получать те взаимоотношения, которые иначе приходится находить построением из обычных характеристик.

Такие опытные характеристики и изображены у меня на черт. 4 (стр. 462), (параметром кривых служит V_c). На этом чертеже особенно подходящими для получения g являются кривые, найденные для случаев: $V_c = -4$ в., 0 и $+4$ в., (так как эти значения V_c соответствуют условиям, в которых обычно работают франц. усиленные лампы). Если мы теперь разделим разность абсцисс между этими кривыми (выраженную в вольтах) на 4 (вольта), то мы и получим g для произвольных значений i_a .

В качестве иллюстрации к тому, как наиболее удобно можно пользоваться этим методом для получения g , может служить черт. 2, где начерчены вышеуказанные три кривые. Здесь в качестве масштаба для V_a (ось абсцисс) было взято: 1 см = 4 вольта. Тогда g определяется числом см горизонтального отрезка, ограниченного двумя кривыми.

Напр., для точки A (соответственно $i_a = 3$ м.-А), при работе прибора в пределах изменения потенциала сетки от $+4$ до 0, среднее значение g выражается длиной отрезка AB (в см), т. е., равно 8,1. А в пределах изменения потенциала сетки от 0 до -4 , отрезком AB , (в см), т. е., = 8,6. (Черт. уменьшен в 5 раз).

Эта же серия характеристик может служить для очень простого определения и остальных двух параметров триода. В самом деле, разность ординат между двумя из начерченных кривых представляет собою Δi_a , отнесенное к заданному изменению напряжения сетки (4 вольта). Следовательно, тогда, когда кривые сняты для случаев последовательного изменения V_c через 1 вольт, эта разность ординат будет численно равна коэфф. S .

В самом деле (форм. 2), при $\Delta V_c = 1$ вольт, $S = \Delta i_a$.

Так как на черт. 2 (стр. 461) $\Delta V_c = 4$ вольт, а масштаб для тока цилиндра принят 1 см $\equiv 0,2$ м.-А, то мы получаем, что коэфф. S , выраженный в м.-А/вольт, численно равен $\frac{1}{20}$ числа см, заключенных в разности ординат для двух кривых.

Так, для точки A , на том же чертеже, мы получаем такие численные значения. При возрастании тока от 3 до $\sim 4,4$ м.-А. $S = \frac{1}{20} AC$.

При падении же тока до 1,7 м.-А, $S = \frac{1}{20} AD$.

Так как $AC = 6,9$ см, а $AD = 6,5$ см, то в первом случае получаем

$$S = 0,345,$$

а во втором

$$S = 0,325.$$

Для определения коэфф. R_m , достаточно найти величину котангенса угла, образованного касательной в точке A и осью абсцисс, или тангенс угла, образованного той же касательной с осью ординат. Так как точка A расположена на прямолинейной части кривой, то касательная в данном случае сливается на значительном участке с самой кривой.

Легко вычислить, что для случая черт. 2, масштаб для коэфф. R_m будет 20000 ом.

И, так как котангенс угла между прямолинейной частью и осью абсцисс = 1,17, то $R_m = 20000 \cdot 1,17 = 23400$ ом.

Удобство пользования такими характеристиками для нахождения параметров, кроме очень большой простоты этого метода, состоит и в том, что такие характеристики дают ясную (графическую) картину изменений этих коэфф-ов при изменении режима работы триода.

Однако, необходимо указать, что описанный метод имеет крупный недостаток, — это невозможность получения параметров для произвольных заданных значений потенциала на цилиндре и тока на него.

В. Метод „Картин распределения токов в триоде“.

Этим недостатком не обладает способ, который может быть назван методом „Картин распределения токов в триоде“.

Для получения этих „картин“ необходимо, задавшись рядом определенных значений тока цилиндра (напр. 1, 2, 3... мА), как это сделано на черт. 5 — 7, (стр. 462 и 471)¹⁾, находить те значения напряжения, которые должен иметь анод, когда потенциал сетки меняется, а ток в анодной цепи остается постоянным.

Очевидно, мы в этом случае получаем такую зависимость:

$$V_a = f(V_c), \text{ при } i_a = \text{const.}^2)$$

Последовательный ряд таких кривых дает совершенно исчерпывающую картину условий, создающих определенное значение тока i_a .

¹⁾ Параметр: ток на цилиндр в мА.

²⁾ Здесь интересно отметить чрезвычайно большую простоту построения по таким „картинам“ остальных двух родов характеристик триода. В самом деле, проведя горизонтальную прямую через заданное V_a , мы, по точкам пересечения этой горизонтали с кривыми, легко построим характеристику $i_a = f(V_c)$, при заданном V_a . Проведя же вертикаль мы точно также получим характеристику $i_a = f(V_a)$, при заданном V_c .

Пользуясь этими „картинами“, мы очень просто можем определить значения интересующих нас трех параметров триода.

В самом деле, так как каждая кривая представляет собою зависимость между потенциалами цилиндра и сетки при постоянном токе на цилиндр, то g определяется, как tg угла, образованного касательной к данной точке кривой с осью абсцисс. Если же мы желаем получить не частное значение g (для данной точки), а некоторое среднее, то, вместо построения касательной, нам достаточно в ту или другую сторону от точки отложить отрезки, параллельные осям координат, до их пересечения с соседними кривыми. Очевидно, что таким путем мы получим величины ΔV_a и ΔV_c , отношение которых и дает нам среднее значение для g , при данных пределах изменения V_a и V_c (форм. 4).

Напр., для точки A мы получаем следующие значения: точное значение $g = 8,1$; в сторону увеличения потенциалов, получаем среднее значение:

$$g_{cp} = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_c} = \frac{AB_1}{AC_1} = \frac{38}{4,4} = 8,6;$$

в сторону же уменьшения имеем:

$$g_{cp} = \frac{AB}{AC} = \frac{28}{3,65} = 7,7.$$

Те же отрезки абсцисс и ординат, заключенные между двумя кривыми, могут служить для определения S и R_m .

Покажем это на примере черт. 5. Здесь мы имеем ряд кривых, проведенных для случаев последовательного увеличения тока на цилиндр на 1 м-А. Следовательно $\Delta I_a = 0,001$ А. Но по форм. (3)

$$R_m = \frac{\Delta V_a}{0,001} = 1000 (\Delta V_a) \text{ ом.}$$

Совершенно так же получаем (форм. 2).

$$S = \left(\frac{1}{\Delta V_c} \right) \frac{\text{м-А}}{\text{вольт}},$$

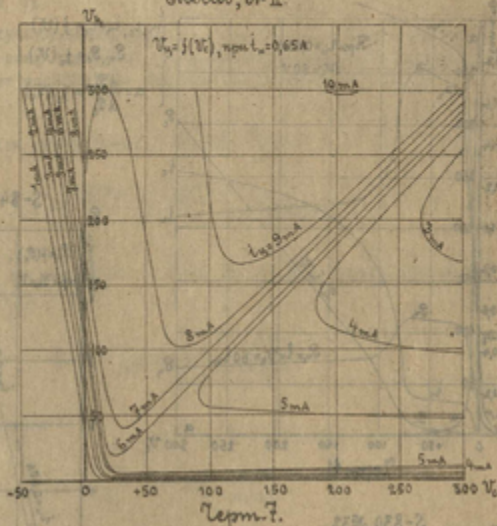
или

$$\frac{1}{S} = (\Delta V_c);$$

т. е., разность абсцисс для точек двух соседних кривых, выраженная в вольтах, численно равна величине, обратной S в миллиамп. на вольт.

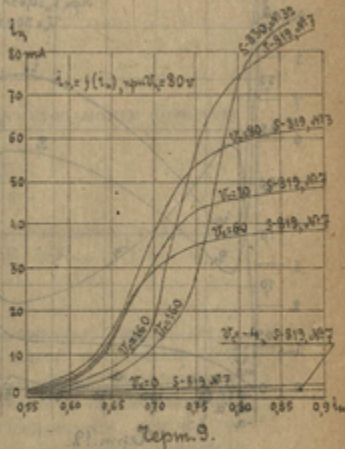
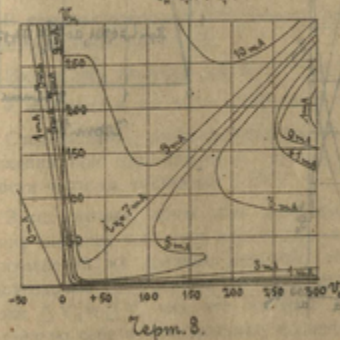
Понятно, что таким путем мы получаем средние значения для коэфф-ов S и R_m .

Метал, № II

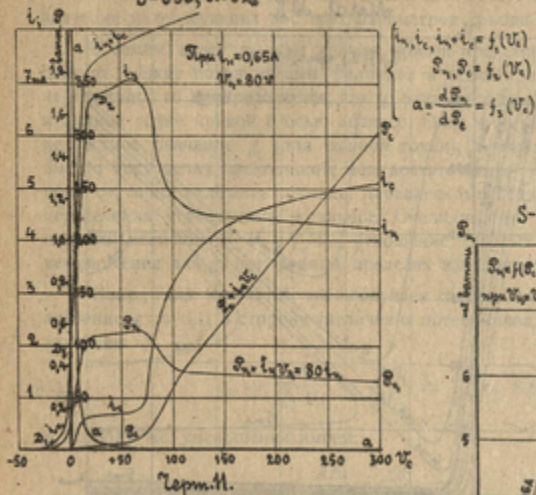


S-726, №3, "forte".

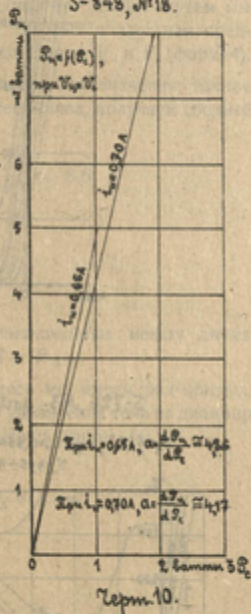
$V_b = f(V_c), n_{\text{put}} = 0,65A$
 $V_c = 4,95 + 4,10 V$



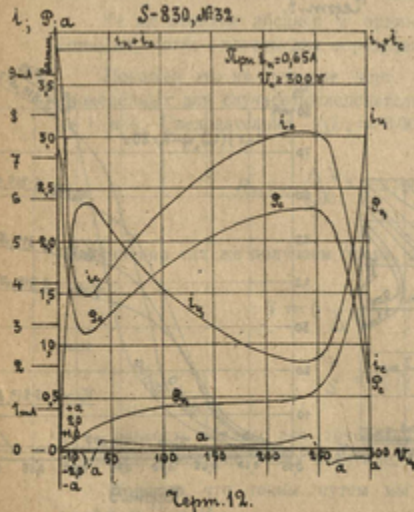
S-830, №39.



S-848, №18.



S-830, №32.



Иллюстрируем полученный результат численным примером той же точки А (черт. 5).

Мы уже получили выше, что $AB = 20$, $AB_1 = 38$; следовательно среднее значение сопротивления триода, при возрастании V_a , равняется 38000 ом и падает до 28000 ом при падении напряжения анода.

Очевидно, для самой точки А можем считать

$$R_m = \frac{28000 + 38000}{2} = 33000 \text{ ом.}$$

Аналогично, мы имеем $AC = 3,65$, $AC_1 = 4,4$. Значит, при падении напряжения V_c ,

$$S_{cp} = \frac{1}{AC} = 0,274 \frac{\text{м-А}}{\text{вольт}}$$

При возрастании V_c ,

$$S = \frac{1}{AC_1} = 0,227 \frac{\text{м-А}}{\text{вольт}}$$

Отсюда, получаем для точки А:

$$S = 0,250 \frac{\text{м-А}}{\text{вольт}}$$

В качестве проверки полученных результатов, можем применить выведенное выше уравнение (5).

$$\text{Имеем } SR_m = 33000 \cdot 0,250 \cdot 10^{-3} = 8,25.$$

А фактически мы выше получили $g = 8,1$.

Следовательно, относительная ошибка, происшедшая от сделанных допущений при переходе от R_{cp} и $R_{m, cp}$ к S_A и $R_{m, A}$, а также от неточности чертежа, составляет 1,85%.

В тех случаях, когда нам интересны не отдельные частные и средние значения всех трех параметров, а величина и, главное, характер изменений их средних значений, мы можем представить себе прямоугольный треугольник, катетами которого служат соответственно отрезки ΔV_a и ΔV_c (как это показано на черт. 6), перемещающийся параллельно себе в произвольном заданном направлении, при чем его вершины остаются все время расположенными на характеристических

кривых. Тогда изменение размеров катетов этого треугольника и даст ясную картину изменений параметров S и R_m .

Изменение же коэфф. g непосредственно видно на самой картине, так как они выражаются степенью кривизны начерченных кривых и изменением наклона их друг относительно друга.

Этот метод дает простой путь для исследования вопросов о зависимости параметров от различных факторов.

С. Численные значения параметров для французских усилительных ламп.

Что касается численной величины параметров для обычных французских усилительных ламп, то можем указать следующие средние пределы их изменений.

g — обычно колеблется в пределах значений от 6 до 9,5, в среднем имея значение около 8. При приближении к току насыщения, g , конечно, постепенно падает до нуля. Здесь можно отметить факт, имеющий большой практический интерес и естественно вытекающий из нашего представления о характере испускания электронов и роли сетки, это — уменьшение g с увеличением тока накала. Но это уменьшение, вообще говоря не велико.

Как известно, сопротивление триода, R_m , колеблется очень значительно. В пределах рабочих условий и при обычном накале оно меняется от ~ 40000 до 15000Ω , в среднем имея около 25000Ω .

С увеличением накала сопротивление триода должно уменьшаться, но на практике это наблюдается не всегда. И это явление не только не находит себе общепринятого теоретического объяснения, но стоит в противоречии с некоторыми воззрениями на теорию явлений в триоде¹⁾.

Средние значения для S легко получаются из указанных величин простым применением формулы (5). В среднем $S = 0,32$ для прямолинейных участков характеристик. Накал практически не влияет на коэфф. S при работе триода в условиях, далеких от тока насыщения. В условиях же близких к току насыщения, а тем более при возникновении тока насыщения, накал может играть большую роль, меняя значение S от нуля до его обычных пределов.

Д. Значение степени накала катода.

Роль накала в процессах, имеющих место в триоде, можно проследить по характеристикам, полученным при различных значениях накала, а также по характеристикам, специально указывающим зависи-

¹⁾ Этот вопрос затронут в статье М. А. Болч-Бруевича — "Катодный выпрямитель с пустотой для 15000 вольт", "ТвТбп" № 6, Декабрь 1919. Стр. 30.

мость тока цилиндра от тока накала, при тех или других значениях напряжения.

На черт. 9 стр. 471 (параметр: потенциал сетки в вольтах) показаны кривые, снятые с различных французских усилительных ламп. Значительная разница в величине тока цилиндра, при одинаковых заданных условиях, для различных ламп может быть объяснена рядом причин:

1. разницею в геометрических размерах электродов, главным образом катода.
2. неодинаковыми условиями охлаждения концов катода,
3. различным вакуумом (а значит, и различий вторичной ионизацией).

Наиболее существенной, конечно, является первая причина, благодаря которой сопротивление нитей накала различных ламп различно, а значит, и степень их накала, при одном и том же токе чрез нить, различна. Кроме того, разница в геометрических размерах влечет за собой и различие в величинах поверхностей, испускающих электроны

Пределы, до которых можно идти с накалом катода, зависят от напряжений на аноде и сетке, значительно падая с увеличением этих напряжений. Во всяком случае, накал нити франц. лампы током, большим $0,9\text{ А}$, является для нее опасным и легко влечет за собой перегорание нити. При накале же нити током от $0,8\text{ А}$ до $0,9\text{ А}$ срок службы лампы сильно сокращается в виду разрушения нити благодаря энергичному катодному распылению, которое, между прочим, легко обнаруживается почернением стекла баллона в местах, незащищенных цилиндром. Благодаря этому почернению, происходит резкое понижение яркости лампы, она как бы „тухнет“.

Зависимость предельного допустимого накала от напряжений на аноде и сетке объясняется только вторичной ионизацией, а катодное распыление и фиолетовые вспышки, которые наблюдаются в лампе при больших значениях этих напряжений, неоспоримо подтверждают это. О том же говорят и такие явления, как неустойчивость показаний амперметров в цепях нити и цилиндра, а также резкие и неожиданные увеличения яркости нити, наблюдаемые при значительном накале и больших напряжениях.

Все это объясняется усиленной бомбардировкой нити положительными ионами, образующимися в большем количестве, благодаря значительным скоростям, приобретаемым первичными электронами в сильных электрических полях, создаваемых напряжениями на сетке и цилиндре.

Благодаря же сильному дополнительному нагреванию нити, под действием этой бомбардировки, происходит увеличение ее сопротивле-

ния, и если приложенное к ней напряжение остается постоянным, то ток накала падает.

IV. Рабочее использование триода.

В настоящее время триоды применяются в трех главных направлениях: как детекторы, усилители и генераторы незатухающих колебаний. Они употребляются как для приема сигналов, так и для их передачи. Не останавливаясь ни на конструктивных особенностях отдельных типов триодов, зависящих от рода их применения, ни на тех схемах, которые при этом употребляются, мы лишь рассмотрим каждый род деятельности прибора с точки зрения его характеристик.

1. Триод, как детектор.

Для использования детекторных свойств триода последний ставится в такие условия, чтобы он работал на перегибе¹⁾ своей характеристики. Потенциал, который необходимо приложить для этого к сетке, может быть легко найден по любому из представленных чертежей с характеристиками типа $i_a = f(V_c)$.

Совершенно ясно, что выгодней работать на нижнем перегибе характеристики (точка D_1 , на черт. 11), чем на верхнем (точка D_2), так как работа на последнем сопровождается прохождением в цепи сетки значительного тока, что ведет к сильному затуханию принимаемых сигналов и, кроме того, вызывает непрерывную и напрасную трату энергии в цепи цилиндра в виде постоянного тока, почти равного току насыщения. Если же, все-таки, желательно использовать именно эту точку характеристики, то работают при пониженном токе накала.

С увеличением вольтажа V_a , а также накала, нижняя детекторная точка передвигается влево, в область более отрицательных значений V_c . При работе триода в этих условиях, тока в цепи сетки нет, и триод почти совершенно не оказывает затухающего действия на колебания в приемной цепи.

На том же черт. 11 мы видим, что ток сетки практически возникает при потенциале $V_c = 0$ и, с увеличением потенциала V_c , быстро возрастает. Это явление очень характерно, и оно дает новую детекторную точку.

Прежде всего необходимо отметить, что момент возникновения тока сетки не случаен, а отвечает тому условию, что потенциал сетки достигает равенства и начинает превышать потенциал какого-либо участка нити накала. Значит, ток в цепи сетки появляется каждый раз, когда напряжение сетки начинает превосходить потенциал отрицательного зажима нити накала (т. е., для случая примененной мною схемы, „общей“, или „нулевой“ точки).

¹⁾ Или точнее: „сгибе“, как предлагает проф. Петровский Е. „Титбн“, № 8, стр. 253.

Детекторные свойства катодного релэ в этих условиях можно объяснить следующим образом. Когда потенциал сетки имеет указанную величину (т.е. $V_c = 0$), ток в цепи цилиндра достигает некоторого значения OD_3 , при чем точка D_3 лежит в прямолинейной части характеристической кривой. При получении сеткой отрицательного импульса, напряжение ее получает отрицательное приращение, и ток в цепи цилиндра падает¹⁾. При получении же сеткой положительного импульса, ведущего к повышению напряжения сетки, на сетку из катода устремляется поток электронов и нейтрализует полученный положительный заряд. Таким образом, напряжение сетки не может возрасти, и ток остается равным OD_3 .

Из рассмотрения этого процесса следует, что точка D_3 является более детектирующей, чем точки D_1 и D_2 , соответствующие перегибам характеристической кривой; кроме того, релэ здесь одновременно производит и значительное усиление. Усилительное действие оно имеет и в точках D_1 и D_2 , но, как это ясно из чертежа, в гораздо меньшей степени.

В виду всех этих преимуществ точки D_3 , и благодаря чрезвычайной легкости ее получения (простым присоединением сетки к отрицательному зажиму нити), почти всегда и пользуются этой точкой при употреблении триода, как детектора.

2. Триод, как генератор незатухающих колебаний.

Применение триода, как генератора незатухающих колебаний, имеет место, как для целей передачи, так и для приема сигналов.

В первом случае, конечно, желательно получение как можно большей амплитуды генерируемого тока, что достигается соответствующим изменением напряжения на сетке. Максимальная достижимая при этом амплитуда получается тогда, когда ток от θ возрастает до насыщения.

Из черт. 11 легко видеть, что потребляемый при этом ток в цепи сетки, а тем более энергия, во много раз меньше, чем ток и энергия, получаемые в цепи анода. Мощности обозначены на чертежах буквой P с соотв. значком; под ними разумеются простые произведения соответственных токов на напряжения.

Основную роль в вопросе о возникновении незатухающих колебаний играет взаимоиנדукция между цепями сетки и цилиндра. Она, во первых, должна быть достаточной величины²⁾, и, во вторых, ЭДС-ы самоиנדукции этих цепей должны быть обратно направлены.

¹⁾ Согласно форм. (2).

²⁾ Величина самоиנדукции должна быть достаточна, чтобы покрыть все потери затухания в цепи сетки.

Роль накала, в вопросе о максимальном токе, понятно огромна. Для того же, чтобы можно было идти с накалом как можно дальше, без опасности быстрого разрушения катода, передатчики должны откачиваться особенно тщательно¹⁾, для устранения следов вторичной ионизации.

Применение триодов, как генераторов незатухающих колебаний в приемных схемах, носит название „гетеродинного метода“. Отличие работы триода в гетеродинной схеме от его работы передатчиком состоит в том, что такие значительные амплитуды колебаний, какие применяются в последнем, здесь не нужны. Поэтому триод работает здесь только в пределах небольшого участка прямолинейной части характеристики.

3. Триод, как усилитель.

Но самым главным применением триода в настоящее время является его использование, как усилителя; для этого пользуются прямолинейными участками его характеристик. Для устранения же тока в цепи сетки и, следовательно, дополнительных потерь в приемном контуре, следует работать при возможно более значительном отрицательном напряжении на сетке. Для сохранения при этом крутизны характеристик приходится увеличивать значение V_k (см. черт. 4), или же работать на менее крутых, но достаточно прямолинейных участках характеристик, т. е. жертвовать величиною коэфф. S (форм. 2).

Весьма часто в практических схемах для французских усилит. ламп потенциал сетки задается положительным зажимом батареи накала. (Для примененной мною схемы это соответствует в среднем 4 вольтам). Тогда триод работает на весьма крутом участке своей характеристики, потери же в сетке еще очень ничтожны (см. черт. 11 стр. 472).

При желании численно характеризовать „усилительное действие“ релэ, до сих пор прибегали к коэфф. S (форм. 2).

В последнее время, в связи с появлением обоснованной теории действия контрольного электрода, особенное внимание уделяется коэфф. g , который может быть назван, согласно его английскому обозначению, „коэфф. усиления потенциала“, или лучше „потенциальным коэфф. усиления“²⁾.

Третий параметр фактически заключается в двух вышеупомянутых, как это следует из ур-ня (5).

4. Коэффициент усиления мощности — „ a “.

Однако, несмотря на сравнительное обилие параметров, чувствуется явная неполнота в нашем представлении о численных взаимо-

¹⁾ Или заполняться специальным газом, напр., аргонном.

²⁾ Последний термин удачнее, так как g определяет, как увеличение „результующего потенциала“, так и вытекающее отсюда усиление тока цилиндра.

отношениях при усилении. Прежде всего, из самого понятия об „усилении“ вытекает представление об отношении двух одноименных количеств, составными частями которых являются токи. Очевидно, что этими количествами должны быть, во-первых, та мощность, которая передается из приемного аппарата в триод, и здесь затрачивается для приведения его в действие, и во-вторых, та мощность, которая отдается прибором в результате его действия, как релэ. Такой параметр может быть назван „коэфф. усиления мощности“.

На черт. 11, этот коэфф. представлен в функции от напряжения V_c , а на черт. 12 в функции от V_a , и везде обозначен буквою „а“.

Численно коэфф. этот выражается следующим образом:

$$a = \frac{dP_a}{dP_c} \sim = \frac{\Delta P_a}{\Delta P_c}.$$

Как видно из черт. 11, с уменьшением напряжения сетки, коэфф. а быстро возрастает. При приближении V_c к 0, он достигает колоссально больших значений, увеличиваясь почти до бесконечности, с получением V_c отрицательных значений.

Неожиданный с первого взгляда результат между тем вполне естествен. Как было указано выше, ток в цепи сетки возникает только при потенциале $V_c = 0$. Следовательно, при значениях потенциала меньших нуля, тока в цепи сетки нет, и энергия в этой цепи не затрачивается¹⁾.

5. Короткое соединение цилиндра и сетки.

Полученный результат интересно сравнить с данными, отвечающими случаю соединения сетки и цилиндра накоротко.

Такое соединение, очевидно, ставит трехэлектродное релэ в промежуточное положение между его обычным режимом и „вентилем Флеминга“.

Если мы станем судить об усилительных свойствах релэ, при таком соединении электродов, только по коэфф. S, а о детекторных свойствах по резкости изгиба его характеристики, то придем к следующему результату. И внешний вид кривых, и полученные из них численные значения определенно говорят, что при таких условиях детектирующее действие прибора выше, чем при обычных, а усиление

¹⁾ Точнее, нет ваттного тока и вызываемого им расхода энергии. Имеется же ток безваттный. Последний идет на заряд емкости сетки и, таким образом, вызывает изменение потенциала сетки.

тока с возрастанием V_c , если не больше, то, во всяком случае, не меньше, чем при работе триода в нормальных условиях.

Этот результат, вполне естественный, вытекает из основной формулы тока (1).

В случае нормальных условий работы триода потенциал цилиндра остается постоянным¹⁾, при соединении же сетки и цилиндра коротко изменяются одновременно и на одинаковую величину оба потенциала, что, конечно, вызывает большее изменение тока i_a .

При сравнительно больших значениях V_a и V_c , влияние незначительных приращений V_a невелико (прямолинейный участок характеристики); при значениях же малых, а тем более близких к нулю, влияние этих приращений может быть весьма велико²⁾. Этим и объясняется значительный детекторный изгиб в полученных таким образом характеристиках.

Но прежде чем делать из этого какие либо заключения, необходимо обратить внимание на чрезвычайно большое значение тока сетки, возникающего при работе реле в подобных условиях. Так как, при этом $V_a = V_c$, то получается сравнительно весьма большая затрата энергии в цепи сетки.

Если найти величины мощностей P_a и P_c и построить зависимости $P_a = f(P_c)$ для различных значений тока накала, то получим прямые, тангенсы углов которых с осью абсцисс дают значение коэффициента

$$a = \frac{dP_a}{dP_c}.$$

Такие прямые построены на черт. 10 (стр. 472). И мы видим, что при подобном соединении электродов, „коэфф. усиления мощности“ для каждого режима работы реле остается постоянным и измеряется сравнительно небольшим числом. Так, для случая, приведенного на черт 10, мы имеем при накале $i_n = 0,65$ А.

$$a = 4,9 = \text{const.}; \text{ и при накале } i_n = 0,68 \text{ А, } a = 4,2 = \text{const.}$$

Эти значения a ясно указывают на огромную разницу в работе реле при нормальных условиях и при коротком соединении цилиндра

¹⁾ Если не считать омического падения потенциала.

²⁾ Это усиливается еще тем, что при приближении потенциала анода к нулю, формула Лэнгмюра теряет свою приложимость; точно также, как не может она применяться и в условиях сравнительно больших отрицательных значений потенциала сетки. Получаемая незаяка от применения формулы в этих условиях видна на черт. 1, где начерченный пунктиром нижний хвост „результатирующей характеристики“ заходит далеко в область отрицательных значений результ. потенциала, тогда как по смыслу формулы ток должен проходить через начало координат.

и сетки. В то время, как при обычном соединении электродов реле может работать не производя никакого затухающего действия на приемный контур (т. е., при a почти бесконечно большом), при соединении цилиндра и сетки накоротко, цепь сетки поглощает мощность, равную $\frac{1}{5} - \frac{1}{4}$ мощности, развиваемой в цепи цилиндра (т. е. $a = 4 - 5$), и прибор оказывает значительное затухающее действие.

Что касается того факта, что, при употреблении триода в приемных схемах, обычно достигается не больше, чем прибл. пятикратное усиление тока, или двадцатипятикратное усиление мощности, то это объясняется потерями энергии вне триода, в его рабочей схеме, которая выполняет роль источника безваттного тока, вызывающего изменения потенциала сетки.

V. Характеристики триода при возникновении δ -лучей Д. Д. Томсона.

1. Ток в цепи сетки.

Предложенная Лэнгмюром формула и вытекающие из нее коэффициенты приложимы к триоду только до тех пор, пока напряжение сетки растет до достижения током цилиндра состояния насыщения и при этом все время остается значительно меньше напряжения, приложенного к аноду. При таких условиях ток в цепи сетки достигает только небольших значений, и даже при токе насыщения, i_c довольно постоянно составляет только $\sim 10,5\%$ от тока цилиндра. Ток в цепи сетки, в этом случае, объясняется простым попаданием на нее электронов, испускаемых катодом, под действием поля сетки.

Здесь интересно отметить явление, которое изредка можно наблюдать в отдельных французских лампах при включении в цепь сетки чувствительного гальванометра. Это — возникновение в цепи сетки тока обратного направления. Явление это имеет место только при отрицательных значениях V_c . Объяснить его можно следующим образом.

Так как сетка французской лампы состоит из сравнительно широко расставленных витков спиральной проволоки, то ее экранирующее действие далеко не распространяется на всю область промежутков между витками. Поэтому, при отрицательном напряжении V_c , ток в цепи цилиндра не только возможен (см. черт. 2), но отдельные электроны могут достигать значительных скоростей. При наличии же в приборе следов газа, эти электроны расщепляют его молекулы. Тогда положительные ионы притянутся к сетке и дадут начало „обратному току“.

Таким образом, наличие этого тока свидетельствует, что вакуум в лампе не очень велик.

Возвращаясь теперь к величинам тока сетки при условиях возрастания ее потенциала после достижения i_a значений насыщения, мы видим (черт. 3 и 11), что приблизительно за 10—20 вольт (в зависимости от V_a) до достижения V_c значений, равных V_a , ток цилиндра начинает круто падать, а ток сетки так же круто расти. В дальнейшем, при достижении потенциалом сетки значений, сильно превышающих потенциал анода, ток сетки становится больше тока цилиндра.

Если оба тока просуммировать, и сумму вычертить в функции от V_c (как это сделано на черт. 11), то мы получим типичную кривую тока насыщения. Очень интересный результат получается если то же сделать в функции от V_a (см. черт. 12). Тогда, для случаев незначительных величин V_c , получается кривая насыщения, а при значениях V_c достаточно больших, получается постоянная величина т.е. $i_a + i_c = i_{нас} = const$.

Еще более рельефную «картину» условий возрастания и падения тока цилиндра в зависимости от взаимоотношений напряжений анода и сетки можно видеть на черт. 8.

2. δ —лучи, их возникновение и влияние.

Описанные выше, крайне резкие изменения в токах, возникающие при приближении напряжения сетки к напряжению анода, объясняются появлением в этих условиях так наз. δ —лучей Д. Д. Томсона.

Сущность этого явления состоит в следующем.

Испускаемые нагретым катодом электроны получают в значительных электрических полях очень большие скорости, а значит, и большую кинетическую энергию. Благодаря этому, они со значительной силой ударяют об атомы анода и выбивают из них новые электроны. Выбитые электроны вылетают из анода с малыми скоростями и, значит, малой кинетической энергией. Поэтому один первичный электрон может выбить значительное число новых электронов раньше, чем израсходует всю свою живую силу¹⁾.

Если триод работает в нормальных условиях, когда V_a значительно превышает V_c , то под действием поля, и благодаря объемному заряду, выбитые электроны попадают обратно на цилиндр. Если же V_c растет, то электрическое поле между цилиндром и сеткой уменьшается, переходит через нуль и получает обратное направление (при потенциале сетки большем V_a поле направлено от цилиндра к сетке).

Тогда механизм явлений может быть представлен в таком виде. Вылетающий из катода электрон, под влиянием очень большого поля сетки, получает чрезвычайно большую скорость. Поэтому, когда он

¹⁾ Таким образом, при благоприятных условиях, обратный ток может превосходить до 20 раз ток прямой.

попадает в пространство между сеткой и цилиндром, где поле оказывает на него тормозящее действие, он все же сохраняет еще значительную кинетическую энергию и выбивает ряд электронов из поверхности анода. Под влиянием же поля, направленного от цилиндра к сетке, выбитые электроны летят на сетку и суммируются с теми электронами, которые попали на сетку непосредственно из нагретого катода.

Численное определение величины потока δ — лучей при помощи обычной схемы невозможно, как это вытекает из следующего подсчета.

Имеем:

i_1 = ток, идущий непосредственно от катода к сетке.

i_2 = ток, идущий непосредственно от катода к цилиндру.

Некоторая часть электронов в токе i_2 попадает на анод, не выбивая новых электронов. Другая же часть, выбивает их; при этом часть выбитых электронов, под действием объемного заряда, возвращается обратно на анод, другая же часть, с большими первоначальными скоростями, летит на сетку, образуя δ —лучи.

Обозначим:

i_3 = ток, идущий от цилиндра к сетке = поток δ — лучей.

Тогда получим:

$i_a = i_2 - i_3$ = ток, идущий в цепи цилиндра (учитывается миллиамперметром цилиндра).

$i_c = i_1 + i_3$ = ток, идущий в цепи сетки (учитывается тоже соответственным миллиамперметром или гальванометром).

При суммировании, получаем

$$i_a + i_c = i_2 - i_3 + i_1 + i_3 = i_1 + i_2.$$

При условии насыщения тока, имеем

$$i_a + i_c = i_{\text{max}} = \text{const.}$$

Таким образом, факт получения постоянных величин для суммы

$$i_a + i_c = f(V_a) = \text{const.},$$

при достаточно больших потенциалах сетки анода, вполне естествен, несмотря на то, что в этих условиях происходят очень сильные изменения тока i_3 .

Неоспоримость того, что в вышеприведенных условиях мы имеем дело с δ —лучами, а не просто с делением тока, исходящего из катода, между сеткой и цилиндром, исчерпывающе доказывается получением в цепи цилиндра отрицательного тока, т.е. тока, направленного от катода к аноду.

Это оригинальное явление объясняется тем, что при известных благоприятных условиях число первичных электронов, ударившихся об анод, оказывается меньше числа электронов, выбитых из анода и притянутых сеткой. Такой случай изображен на черт. 8. На основании показанной здесь картины легко проследить, что для возникновения отрицательного тока необходимо, чтобы напряжения на аноде и сетке были достаточно велики, и при этом V_c оставалось большим V_a .

На той же картине видно, что при известных значениях напряжений анода и сетки ток в цепи цилиндра может совершенно не идти. Это объясняется тем, что числа падающих на цилиндр электронов и выбитых из него и притянутых сеткой оказываются равными.

Рассмотрение характеристик на черт. 3 и 4 показывает, что в области значительного действия δ — лучей коэфф. S снова получает довольно большой размер, хотя и меньший, чем при обычном рабочем режиме. Но зато достижимая амплитуда изменений тока цилиндра в этих условиях может быть больше, чем в рабочих, так как здесь ток может принимать и отрицательные значения. Последнее очень ценно для передатчиков.

Нужно, однако, отметить, что отрицательный ток можно получить не у всех французских ламп (сравнить черт. 8 с другими чертежами).

Важным преимуществом работы триода в области использования δ — лучей является то, что в этом случае значительная часть кинетической энергии первичных электронов затрачивается на выбивание новых электронов, а не обращается в тепло. Благодаря этому нагревание цилиндра уменьшается, что тоже особенно ценно для передатчиков, где устранение нагревания цилиндра составляет весьма важную задачу.

Как известно, все эти преимущества привели к созданию новых типов катодных приборов, известных под названиями динатронов¹⁾ и плиодинатронов, при чем последние представляют собою уже четырех-электродное катодное реле.

Петроград.

Политехнический Институт.

Радиотелеграфная лаборатория.

¹⁾ „Рад.“ № 12 стр. 195—6.

К теории триода.

М. А. Бонч-Бруевича, Ч. РОРИ.

§ 1.

В феврале 1919 года на Первой Научно-Технической Беседе в Нижегородской Радиолaborатории мною был сделан доклад относительно теории расчета катодных реле (триодов) малой мощности, напечатанный затем в 7 номере „Радиотехника“ за август 1919 г. В основу этой теории были положены представления, явившиеся следствием моей работы по конструированию усилительных ламп, для которого в то время не было решительно никаких теоретических нитей. Состояние вопроса за границей тогда не было известно в России, вследствие нашей полной изолированности.

В 1920 году, когда были получены первые иностранные журналы, я нашел в статье Икльза, напечатанной осенью 1919 года¹⁾, подтверждение своих выводов, о чем мною и было упомянуто в одном из докладов на Первом Всероссийском Радиотехническом Съезде. Теперь мы получили немецкую теорию триода, изложенную в этом номере „Титбп“ В. К. Лебединским; эта теория в основных своих чертах сходна с английской теорией, и выводы ее очень хорошо согласуются с теми, которые были в свое время сделаны мною, хотя я исходил из совершенно других основных положений.

Судя по тому, что мы имеем из иностранных изданий, моя работа появилась раньше аналогичных работ за границей и во всяком случае в то время, когда эти работы в России не были известны; поэтому я счел интересным сопоставить здесь выводы, переписав для этого свои формулы в тех символах, которые сейчас общеприняты за границей.

§ 2.

В основу моей теории было положено представление о триоде, как о системе с излучающим катодом и двумя анодами (анод и решетка), которые могут быть заменены одним эквивалентным анодом, дающим тот же электрический вектор у поверхности катода. Это представление может быть распространено и на системы с многими анодами.

¹⁾ „Исследование внутренних явлений в триоде“, „Титбп“ № 8, июль 1920.

Таким образом основная формула, выражающая зависимость тока на эти аноды (ток на анод + ток на решетку) от их потенциалов и емкостей, у меня была написана так:

$$I = f \left(\frac{C_{на} e_a}{S} + \frac{C_{кр} e_p}{S} \right). \quad (1)$$

По Баркхаузену $D = \frac{C_{на}}{C_{кр}}$ (см. здесь стр. 448).

Подставив это в предыдущую формулу, обозначив токи и напряжения принятыми ныне символами, получим

$$i = i_p + i_a = F(D e_a + e_p), \quad (2)$$

т. е. основную формулу немецкой теории.

Из формулы (6) на стр. 230 „Радиотехника“

$$i = \delta C_{кр} e_p$$

легко вывести параметр S , который обозначает крутизну характеристики при отсутствии внешнего сопротивления, а именно:

$$S = \delta C_{кр}, \quad (3)$$

где δ — некоторый коэффициент, зависящий от формы и размеров волоска. А так как $DSR_m = 1$, то следовательно

$$R_m = \frac{1}{C_{на} \delta}.$$

Таким образом выражаются три основных параметра немецкой теории в моих параметрах.

При включении внешнего сопротивления уравнение „рабочей“ характеристики у меня было написано так:

$$I = \frac{\delta(C_{кр} e_p + C_{на} E_s)}{1 + \delta C_{на} R} \quad (\text{стр. 231}). \quad (4)$$

В новых символах это переписывается так:

$$i_a + i_p = \frac{\delta C_{кр} (e_p + DE_s)}{1 + \delta C_{ан} R}. \quad (5)$$

Если мы определим отсюда крутизну рабочей характеристики, пренебрегая током на решетку, то получим:

$$S_A = \frac{d i_a}{d e_p} = \frac{2 C_{np}}{1 + 2 C_{na} R} \quad (6)$$

или

$$S_A = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{R_n + R}; \quad (7)$$

откуда

$$i_a = S_A e_p = \frac{e_p}{D} \cdot \frac{1}{R_n + R}; \quad (8)$$

это выражение тождественно с выражением (5¹) на стр. 449 настоящего номера „ТиТбп“, данным немецкой теорией.

*Наконец величина коэффициента усиления $\frac{d(i_a^2 R)}{d e_p}$ в моей статье была определена (стр. 232 формула 11) следующим образом (перепиываю в новых обозначениях):

$$a = \frac{2 \delta^2 C_{np} [C_{np} e_p + C_{na} E_0]}{\frac{1}{R} + 2 \delta C_{np} + \delta^2 C_{na}^2 R} \quad (9)$$

или

$$a = \frac{2 S^2 (e_p + D E_0)}{\frac{1}{R} + 2 S + S^2 R} \quad (10)$$

Этой формулы в немецкой теории не имеется, но вывод из нее, сделанный у меня, совпадает с выводом немецких авторов (см. также стр. 245 „ТиТбп“ № 8); именно максимум „a“ получается при:

$$R = \frac{1}{C_{na}} \text{ т. е. при } R = R_n.$$

Выражение (10) полезно потому что позволяет определить численно величину усиления. Усиление при наивыгоднейшем сопротивлении получается (стр. 232 „Радиотехника“)

$$a_{\max} = \frac{\delta C_{np}}{2} \left[\frac{C_{np}}{C_{na}} e_p + E_0 \right], \quad (11)$$

или

$$a_{\max} = \frac{S}{2} \left[\frac{e_p}{D} + E_0 \right]. \quad (12)$$

Как можно видеть из предыдущего, различие в подходе к вопросу заключается в том, что я подходил к нему со стороны геометрических соотношений, которые выступали на первый план, потому что для меня важен был прежде всего вопрос о самом конструировании лампочки—отсюда представление о роли емкостей; у английских и немецких авторов исходной точкой являются опытные параметры уже готовой лампы, и от них приходят к геометрическим величинам путем применения, напр., форм. Лэнгмюра.

Введенное у меня представление о емкостях все же представляет собою некоторое преимущество потому, что позволяет делать непосредственные выводы относительно тех изменений, которые произойдут в лампе с переменной расстояний и размеров электродов.

У меня совершенно не фигурирует величина: „сопротивление трубки“, которой надо пользоваться крайне осторожно. Как известно,

$$R_m = \frac{de_a}{di_a}; \quad \text{где } e_a \text{ — потенциал анода, } i_a \text{ — анодный ток.}$$

это та величина, которая, будучи помножена на квадрат силы синусоидального тока, дает *приращение* мощности, вызванное появлением этого тока. Она может играть роль только при рассмотрении колебательных синусоидальных процессов и вне их не имеет смысла, как „сопротивление“. Мне кажется более общим смотреть на триод просто, как на переменное омическое сопротивление, понимая под этим сопротивлением, как и вообще это делается для всех проводников, величину $\frac{e_a}{i_a}$, которая в данном случае является функцией потенциала

решетки; с этой точки зрения вопросы об отдаче, наивыгоднейших нагрузках, мощности могут быть разрешаемы более общим способом.

В немецкой теории вводится понятие о рабочей характеристике, которая не встречалась у английских авторов. По существу оно то же самое, которое было дано в моей статье, где проведен был также способ построения самой кривой по заданной или вычисленной основной характеристике (i_a , e_a). Существенно новым со стороны изучения самого триода является введение понятия о „колебательной“ характеристике и метод построения этих характеристик (стр. 453 здесь). Однако с практической стороны трудно сказать, насколько сложность самого метода может быть оправдана его результатами. Основная предпосылка, вызывающая к жизни понятие о колебательных характеристиках, заключается в том, что при больших амплитудах искажения кривых анодного тока столь велики, что ни о какой пропорциональности между потенциалом решетки и током на анод не может быть

речи; и это особенно важно при решении вопросов о мощности, отдаче и экономическом использовании лампы, как генератора. Особенно большие искажения приписываются немецкими авторами влиянию тока в цепи решетки, за счет которого уменьшается ток на анод, так что характеристика цепи анода приобретает вид черт. 1 (стр. 452), и если амплитуда сетки доходит до точки А (черт. 1), то ток в аноде изменяется не синусоидально, а совершенно иным образом (напр. по черт. 2). Но здесь надо иметь в виду, что практически в катодных лампах большой мощности такие токи на решетку, при которых они являются существенной долей анодного тока, вряд ли осуществимы, так как сетка не в состоянии гасить на себе такой мощности.

Немецких и вообще зарубежных ламп большой мощности мы не имеем; что же касается наших киловаттных ламп, то в них максимальный ток на сетку составляет около 4% от тока на анод, и характеристика в рабочем районе примерно прямолинейна; более неизбежную и более несомненную причину искажений, мне кажется, надо видеть в детектирующем действии в самой цепи решетки, т. е. в практической трудности изменять синусоидально потенциал решетки, вследствие неравномерной нагруженности ее в положительной и отрицательной областях.

Май 1921 г.

Нижегородская Радиолaborатория.

ПИСЬМО В РЕДАКЦИЮ.

Редактору журнала „Телеграфия и Телефония без проводов“.

Глубокоуважаемый Владимир Константинович.

Не откажите поместить в редактируемом Вами журнале „ТТбп“ нижеследующее.

В недавно вышедшей брошюре „Радиотехнические известия 2-й базы радиотелеграфных формирований“ (№ 1, Ноябрь 1920 г.) в статье Углова на стр. 28 напечатано: „Здесь весьма уместно будет установить терминологию: во всех актах и отчетах, где говорится о том, что разговор *слышен*, нужно считать, что он был и понятен полностью, ибо мы имеем пример с телефоном Нижегородской Лаборатории, о котором писалось, что он слышен в Ташкенте, но который понять и в Казани не представлялось возможным даже на усилитель“; далее на стр. 30 напечатано: „.....опыты в Москве с телефоном Нижегородской Лаборатории. Первоначально весьма плохая ясность передачи, ныне значительно улучшилась и теперь уже (начало февраля 1921 г.) в Казани медленную речь на усилитель можно принять полностью“.

Этим заявлениям можно противопоставить следующие телеграммы, полученные в разное время по поводу Московских опытов радиотелефонирования:

1) Из Ташкента 17/12—1920 г. (1-й день опытов). „Слушали Московский Радиотелефон. Результат разговора: голос ясен, громок, даже бьет в мембрану телефона, но по случаю сильных грозových разрядов принять весь разговор не удалось. Говорили: изобретатель данного телефона и его сотрудники, а также говорили по немецки, повторяя несколько раз“.

2) Из Ташкента 12/2—1921 г. „Радиотелефонный разговор слышен хорошо. Прием зависит каждый раз от силы атмосферных разрядов. № 23 не принят, прошу повторить, передачу квитанций будем давать тотчас же“.

3) Из Семипалатинска 17/12—1920 г. „Радиотелефон слышен с усилителем. Некоторые последние радиотелефонограммы за 17 приняты полностью, мешают приему разряды, слышимость удовлетворительная“.

4) Из Челябинска 2/2—1921 г. „Второго февраля слышали очень хорошо, статья Московского Радиотелефона № 19 принята полностью“.

5) Из Обдорска 12/2 - 1921 г. „Двенадцатого февраля принята телефонограмма № 20, принята на детектор без усилителя“.

6) Из Христиании 12/2—1921 г. (Перевод). „Сегодня следили за вашими опытами телефонирования, разговор очень громкий и артикуляция (выговор) очень хорошая“.

7) Из Берлина. (За неимением у меня сейчас подлинника немецкой телеграммы, привожу следующее) из Москвы 10/1—1921 г.

„Николаев телеграфирует из Берлина, что Потсдам слышал нас хорошо“.

К этому можно добавить, что в своем докладе на 29-ой Научно-технической беседе от 10 февраля 1921 г. в Радиолaborатории приехавший из Германии доктор физики Ружечко сообщил, что лично вместе с графом Арко слушал Московский Радиотелефон в Потсдаме на рамку, причем графом Арко было высказано удивление по поводу достигнутых в России успехов.

Наконец согласно сообщениям начальника Иркутской Радиостанции целый ряд телефонограмм из Москвы был принят в Иркутске полностью за время декабрьских и январских опытов.

Расстояния: до Иркутска 4100 верст; до Ташкента—2600 верст; до Семипалатинска—2700 верст; до Обдорска—2000 верст; Берлина и Христиании—1500 верст; до Казани—500 верст.

Примите уверение в совершенном к Вам уважении.

12 мая 1921 года.

Профессор М. А. Бонч-Бруевич.

г. Н.-Новгород.

Редакция с удовольствием помещает это письмо, содержащее столь интересные данные относительно московских опытов по радиотелефонированию.

Письмо это вызвано заметкою А. Т. Углова в № 1 „Известий 2-ой базы“ (Казань).

В той же книжке „Известий“ на первой странице, в статье от „Редакции“ читаем нижеследующее: „Единственный выходящий ныне в России журнал (по Радиотехнике) „ТиТбп“ с „Радиотехником“, издаваемый на средства Компочтеля - при Нижегородской Радиолaborатории, естественно обратился в журнал, обслуживающий главным образом интересы группы радиоработников этой Лаборатории. Что это так, легко установить простым просмотром статей, напечатанных в журнале.“

В результате этого и появляются настоящие „Известия“.

Так ли это?

Интересно подвести итоги в этом отношении.

Если „обслуживать интересы“ значит — печатать статьи сотрудников РЛ, то цифры показывают, что это не так: „Титбп“ №№ 5—10 включает в себе на 310 страницах работы авторов, которых РЛ не имеет счастья считать своими сотрудниками, и на 180 стр.¹⁾ — работы авторов, сотрудников РЛ. В „Рад.“ №№ 5—14 статьи первой категории (780 стр.) составляют 70%, а статьи второй (260 стр.) — 30% всего издания; при этом приходится считать „Популярные очерки“ и рефераты из иностранной литературы, как обслуживающие сотрудников РЛ, т. к. они написаны таковыми.

Если „обслуживать“ значит — оповещать о деятельности, что не выражается так просто числом страниц, то наши журналы помещали протоколы, доклады и работы не только РЛ, но и Высшего Радиосовета, ПВРС, РОРИ, Птг. отд. РОРИ, сотрудников б. Радиоотдела, Птг. Политехнического и Электротехнического Институты, Высшего Техн. училища, Военной Радиолaborатории, Испытательной радиостанции, Радиокурсов в Москве, словом, представителей всех радиотехнических учреждений, которые пожелали посмотреть на наши издания, как на объединяющий центр.

Со своей стороны редакция шла и сама всеми силами своими на встречу этому здоровому все возрастающему объединению. В частности, о работах А. Т. Углова сообщалось все, что редакции было известно („Рад.“ № 10 стр. 417 и 525, № 13 стр. 335, № 14 стр. 444), и печатались статьи его и его сотрудника („Рад.“ № 4 и № 6).

Как всякое печатное издание, журнал обслуживает не только авторов и учреждения, но, и главным образом, своих читателей. По сравнению с маленькою горсточкой сотрудников РЛ, общее число читателей наших журналов, конечно, огромно. Наши журналы обслуживают интересы всех русских радиоработников.

Редактор.

14 мая 1921 г.

¹⁾ В этом числе 186 стр. „Титбп“ № 6, исключительно посвященного работам, сделанным при жизни В. М. Лежневского отчасти еще тогда, когда не было РЛ.

ИСПРАВЛЕНИЯ.

Стран.	Строка	Напечатано	Должно быть
62	12 см	$2\pi^2$	$4\pi^2$
62	14 см	2π	4π
255	8 см	провода	противовеса
352	<i>чертеж следует перевернуть верхом вниз</i>		
354	7 см	сети	рамки
"	8 и 10 см	s	s_1
"	1 см	$\varphi = 0$	$\psi = 0$
"	11 см	Ql	$\omega^2 Ql$
"	8 см должна быть переписана:		

$$Q = \frac{I_1}{\omega} = \frac{I_1}{2\pi c} = \frac{T}{2\pi} I_1 = \frac{\lambda}{2\pi v} I_1$$

356 после 6-й строчки сверху пропущено: подставляя значения m и n и переходя к практическим единицам, получим:

$$E = \frac{120 \pi^2 J s_1}{d \lambda^2} \quad (14a)$$

Указатели к журналу „Тел. и Тел. б. проводов“ №№ 5—10.

(Сентябрь 1919 — Май 1921).

Указатель по авторам.

Аркадьев В. К.

Работы В. К. Аркадьева в области магнетизма 134

Бонч-Бруевич М. А.

Катодный выпрямитель спустотой до 15000 вольт 28
Усижительная лампочка Нижегородской лаборатории 41

Бонч-Бруевич М. А.

Катодный прерыватель Тверской радиостанции 48

Бонч-Бруевич М. А.

Катодные реле большой мощности 116
Катодные реле для передатчиков 301
Некоторые особенности работы радиотелефонных аппаратов . 437
К теории триода 485
Письмо в редакцию 490

Введенский Б. А.

О приеме на рамку с генератором незатухающих колебаний без катушек связи . . . 189

Вологдин В. П.

Двигатель для машин большой частоты 67

Вологдин В. П.

Статический умножитель частоты 229

Зилитинкевич С. И.

Исследование характеристик и параметров триодов с чисто электронным разрядом . . . 457

Икклз В.

Исследование внутренних явлений в триоде 195

Исаков Л. Д.

Вывод линейной формулы для ряда равноотстоящих наблюдений 56
Практические формулы для расчета однослойных катушек самоиндукции 61

Кляцкин И. Г.

Расчет воздушного противовеса 306

Лебединский В. К.

Силовые линии—Фарадей — всемирный эфир 20
О методе балансирования в цепи переменного тока 81
Теория триода 242, 446

Луценко Н. Н.

К вопросу о расчете изоляционных подвесок для радиотелеграфных сетей 1

Мак Леклэн.

Магнитное поведение железа в переменных полях радиочастоты 256

Никитин Н. А.

О влиянии металлических эк-

ранов на период и энергию колебательного контура . . .	99	ния силы радиотелеграфного приема	15
Остряков П. А.		Фрейман И. Г.	
Работа с вольтовой дугой, как с генератором колебаний для радиотелефонии	108	Основные задания для машины высокой частоты для радио-передачи	331
Петровский А. А.		Чернышев А. А.	
Графическое представление электрических колебаний излучающей системы	9	Дальность действия радиопередачи	279, 375
Петровский А.		Шенфер К. И.	
Измерение малых самоиндукций мостиком Томсона	184	Применение катодного реле при телефонировании по проводам на большие расстояния	409
Петровский А.		Шулейки М. В.	
Работа сложного незатухающего радиоотправителя	322	Рамка приемник и рамка отправитель	352
Петровский А.		Указатель по содержанию	
Расчет сложного незатухающего радиоотправителя	361	Атмосферные возмущения — мешающее действие	400
Попов Г. Р.		Классификация их	401
Искровой метод получения незатухающих колебаний высокой частоты	65	Андерсон.	
Ржевкин С. Н.		Схема для сравнения коэффициента самоиндукции с емкостью конденсатора	96
Колебания связанных контуров, из которых один содержит равномерно распределенную емкость и самоиндукцию	342	Антенна.	
Татаринов В. В.		Об определении постоянных антенн с равномерным распределением емкости и самоиндукции	222
Об определении постоянных антенн с равномерным распределением емкости и самоиндукции	222	Колебания связанных контуров, из которых один содержит равномерно распределенную емкость и самоиндукцию	342
Катодные умножители частоты	430	Расчет противовеса	306
Фарадей М.		Балансирования метод.	
Мысли о колебаниях в луче	24	О методе балансирования в цепи переменного тока	81
Фрейман И. Г.		Векториальные диаграммы.	
Некоторые опыты по выяснению пригодности термогальванометра Дуддлея для измерения		Графическое представление	

электрических колебаний излучающей системы	368	Двигатель для машины большой частоты	67
Витстона мост.		Детекторная чувствительность	49
О методе балансирования в цепи переменного тока	81	Детекторный эффект	49, 476, 489
Вольтова дуга.		Диаграммы векторные.	
Работа с вольтовой дугой, как с генератором колебаний для радиотелефона	108	Графическое представление электрических колебаний излучающей системы	9
Выпрямитель катодный.		Дифракция электромагнитных волн	
Катодный выпрямитель с частотой до 15000 вольт	28	Теория дифракции электромагнитных волн	281
Генераторы колебаний.		Дудделя термогальванометр.	
Искровой метод для получения незатухающих колебаний высокой частоты	65	Некоторые опыты по выяснению пригодности термогальванометра Дудделя для измерения силы радиотелеграфного приема	15
Работа с вольтовой дугой, как с генератором колебаний для радиотелефонии	108	Железо.	
Катодные реле большой мощности	116	Работа Аркадьева	135
Триод—генератор незатухающих колебаний	248, 450, 477	Поведение железа в полях радиочастоты	286
Катодные реле для передатчиков	301	Зоммерфельд.	
Основные задания для машин высокой частоты для радиопередачи	391	Теория распространения электромагнитных волн	291
Герц.		Излучающая система.	
Теория излучения	382, 354	Графическое представление электрических колебаний излучающей системы	9
Графические представления.		Измерения электрические.	
Графическое представление электрических колебаний излучающей системы	9	Некоторые опыты по выяснению пригодности термогальванометра Дудделя для измерения силы радиотелеграфного приема	15
Далтон.		О методе балансирования в цепи переменного тока	81
Схема для сравнения коэффициента самоиндукции с емкостью конденсатора	95	Измерение малых самоиндукций мостиком Томсона	184
Дальность передачи.		Об определении постоянных антенны с равномерным распределением емкости и самоиндукции	222
Дальность действия радиопередачи	279, 375	Измерение внутреннего сопро-	
Двигатели.			

тивления триода по способу
Баллэтина и по способу Мил-
лера 243, 248

Изоляторные подвески.

К вопросу о расчете изоля-
торных подвесок для радио-
телеграфных сетей 1

Катодные реле.

Нижег. радиолaborатории. 4
Большой мощности 116

Исследование внутренних яв-
лений в триоде 195
Теория триода 242
Для передатчиков 361
При проволочном телефоне . 409

Катодный выпрямитель.

Катодный выпрямитель с пу-
стотой до 15000 вольт 28

Катодный прерыватель.

Катодный прерыватель Твер-
ской радиостанции 48

Катодный участник 430

Катушка самоиндукции.

Практические формулы для
расчета однослойных катушек
самоиндукции 61
Вычисление самоиндукции и
взаимной индукции катушек 156

Колебания в луче.

Мысли о колебаниях в луче . 24

Колебания связанных контуров.

С равномерно распределенны-
ми емкостью самоиндукцией 342

Лэнгмюр.

Формула его 211, 447, 463

Лещинский.

Посвящение В.М. Лещинскому 27

Линии силовые.

Силовые линии — Фарадей —
всемирный эфир 20

Магнетизм.

Работы В. К. Аркадьева в об-
ласти магнетизма 134
Магнитное поведение железа
в переменных полях радиоач-
стоты 256

Магнитная цепь.

Теория магнитной цепи и те-
ория размагничивающего фак-
тора 186

Магнитные коэффициенты.

Магнитные коэффициенты ве-
щества и материала 141
Магнитные коэффициенты те-
ла и формы 142

Максвелл.

Схема для сравнения коэффи-
циента самоиндукции с емко-
стью конденсатора 13

Макдональд.

Работы по теории дифракции
электромагнитных волн . . . 281

Марч.

Работы по теории дифракции
электромагнитных волн . . . 282

Машины большой частоты.

Двигатель для машин боль-
шой частоты 67
Основные задания для машин
высокой частоты для радио-
передачи 331

Наблюдения.

Вывод линейной формулы для
ряда равноотстоящих наблю-
дений 56

Незатухающая колебания.

Искровой метод получения не-
затухающих колебаний высо-
кой частоты 65
Опыты с незат. колеб. 103
Работа с вольтовой дугой,
как с генератором колебаний
для радиотелефонии 108
Триод-генератор незатухаю-
щих колебаний 248, 450, 477

Основные задания для машины
высокой частоты для радио-
передачи 331, 361, 289, 408

Никольсон.

Работы по теории дифрак-
ции электромагнитных волн . 282

Остин.

Формула действия радиопе-
редачи 287, 394

Переменный ток.

Основные понятия о цепи
переменного тока 81

Период колебательного контура.

О влиянии металлических эк-
ранов на период и энергию
колебательного контура . . . 99

Петровский.

Схема для сравнения коэффи-
циентов самоиндукции с ем-
костью конденсатора 93

Пирани.

Схема для сравнения коэффи-
циента самоиндукции с емко-
стью конденсатора 97

Прерыватель катодный.

Катодный прерыватель Твер-
ской радиостанции 48

Прием радиотелеграфный.

Некоторые опыты по выясне-
нию пригодности термогаль-
ванометра Дудделя для изме-
рения силы радиотелеграфно-
го приема 15

О приеме на рамку с генера-
тором незатухающих колеба-
ний без катушки связи . . . 189
Рамка приемник и рамка от-
правитель 352

Противовес.

Расчет воздушного противо-
веса 306

Пуанкаре.

Работы по теории дифрак-
ции электромагнитных волн 282

Радиоотправитель.

Работа сложного незатухаю-
щего радиоотправителя . . . 322
Расчет сложного незатухаю-
щего радиоотправителя . . . 361

Радиопередача.

Дальность действия радиопе-
редачи 279, 375
Катодные реле для передат-
чиков 301
Работа сложного незатухаю-
щего радиоотправителя . . . 322
Основные задания для машины
высокой частоты для радиопе-
редачи 331
Рамка приемник и рамка от-
правитель 352
Расчет сложного незатухаю-
щего радиоотправителя . . . 361

Радиотелефония.

Работа с вольтовой дугой, как
с генератором колебаний для
радиотелефонии 108
Катодные реле для передатчи-
ков 301
Некоторые особенности рабо-
ты радиотелефонных аппара-
тов 437

Рамки.

О приеме на рамку с генера-
тором незатухающих колеба-
ний без катушек связи . . . 189
Рамка приемник и рамка от-
правитель 352

Расчет изоляторных подвесок.

К вопросу о расчете изоля-
торных подвесок для радио-
телеграфных сетей 1

Расчет катушек самоиндукции.

Практические формулы для
расчета однослойных катушек
самоиндукции 61

Расчет допустимого диаметра проволоки в сердечнике . . .	170
Рибчинский.	
Работы по теории дифракции электромагнитных волн .	283
Римингтон.	
Сравнение коэффициента самоиндукции с емкостью . . .	94
Ричардсон.	
Формула его	460
Самондукция.	
Вычисление самоиндукции и взаимной индукции катушек	156
Измерение малых самоиндукций мостиком Томсона . . .	184
Об определении постоянных антенны с равномерным распределением емкости и самоиндукции	222
Связанные контуры.	
Колебания связанных контуров, из которых один содержит равномерно распределенную емкость и самоиндукцию	342
Силовые линии.	
Силовые линии — Фарадей — всемирный эфир	20
Схемы для сравнения коэффициентов самоиндукции и емкостей.	
Схема Петровского	93
• Максвелла	93
• Римингтона	93
• Далтона	94
• Андерсона	96
• Пирани и Васки	97
Термогальванометр Дудделя.	
Термогальванометр Дудделя для измерения силы радиотелеграфного приема	15
Томсона мостик.	
Измерение малых самоиндукций мостиком Томсона . . .	184

Трансформатор.	
Статич. умножитель частоты	229
Действие трансформатора	419, 448
Триод.	
Исследование внутренних явлений в триоде	195, 457
Теория триода	242, 446, 457, 485
Умножитель частоты.	
Статический умножитель	229
Катодные умножители частоты	430
Усилительная лампочка.	
Усилительная лампочка Нижегородской лаборатории . .	41
Исследование внутренних явлений в триоде	195
Действие усилителя	410, 424, 448, 487
Хивисайда слой	376
Фарадей.	
Силовые линии — Фарадей — всемирный эфир	20
Ценник.	
Теория распространения электромагнитных волн	297
Частоты умножитель.	
Статический умножитель частоты	229
Катодные умножители частоты	430
Экранирование.	
О влиянии металлических экранов на период и энергию колебательного контура . . .	29
Электромагнитные волны.	
Дальность действия радиопередачи	279, 375
Энергия колебательного контура.	
О влиянии металлических экранов на период и энергию колебательного контура . . .	99

Г. В. Ц.

Корректуру держал О. В. Лосев.

Тираж 1000 экз.

Чертежи исполнены К. Т. Турсыным и отпечатаны в литографии Б. Федотова.

Печатание „Титбн“ № 10 закончено 17 мая 1921 года.

Адрес редакции: Н. Новгород, Верхняя Набережная, 8.

Редактор: В. ЛЕБЕДИНСКИЙ.