

Д. С. ПРЕНС
D. C. PRINCE

621.38

17 71

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ, КАК ГЕНЕРАТОРЫ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

VACUUM TUBES AS POWER
OSCILLATORS

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
ИНЖ. К. Э. ВИЛЛЕР



ЛЕНИНГРАД
1929

634

П-41

Д. С. ПРЕНС
D. C. PRINCE

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

11/2/55



ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ, КАК ГЕНЕРАТОРЫ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

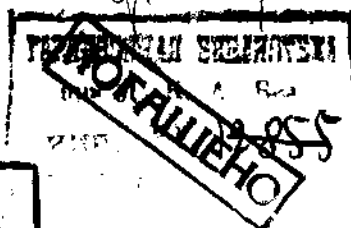
VACUUM TUBES AS POWER
OSCILLATORS

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО
ИНЖ. К. Э. ВИЛЛЕР

11/2/55
20409

155045

28396



Республиканская
научно-техническая
библиотека



ЛЕНИНГРАД
1929

Эта работа является попыткой свести проектирование мощных ламповых генераторов к техническим основаниям, подосновым тем, которые служат для проектирования моторов и трансформаторов. При этом здесь изложены объяснения многих побочных явлений, нарушающих правильную работу генераторов.

Как электрон, так и явления при высокой частоте, по природе своей, не могут быть наблюдаемы или измерены непосредственно и поэтому необходимо найти объяснения этим побочным явлениям построением гипотез и проверкой экспериментальным путем ожидаемых результатов. Так как бесчисленное множество гипотез может дать одни и те же результаты, то нужно откровенно признать, что некоторые выдвинутые пункты граничат со спекуляцией. Публикуя эту статью, автор надеется, что ему удастся доказать правильность приводимых им утверждений.

В этой статье автор пытался больше говорить о вопросах, о которых до сих пор не говорилось совсем, или очень мало, чем рассмотреть все случаи применения электронных ламп. Во всех главах, кроме 6-й, рассматриваются только свободные колебательные контуры. Вопрос о связанных контурах затронут в главе 6-й только для того, чтобы показать, как можно с помощью того же общего метода авара за определить влияние возбуждаемого контура на величину отдачи и полезной мощности.

Основанием для этой статьи послужили поверочные опыты, сделанные Mr. F. B. Vogdes и Mr. A. Schmidt. В окончательной своей форме эта статья была проработана Mr. Vogdes и издана Mr. E. W. Kellog. Автор благодарит всех за помощь.

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1

Изложение точного метода для определения условий и всех трескуемых напряжений, при которых электронная лампа будет расотать, как генератор. Осуждение вопроса о возникновении колесаний и орыва (locking) 5-18

Глава 2

Изложение приближенного метода, который для определения различных факторов, как например, пространственный заряд, напряжение и т.д. проще кропотливо 19-27

Глава 3

Проектирование контура с одной настройкой на один вариант условий главы 1. Установленные критерии для выбора емкостей и самоиндукции контура. Осуждение условий прерывистости колесаний 28-42

Глава 4

Проектирование анодного контура, допускающего частичную настройку. Изложенный здесь порядок расчета типичен для методов, применимых ко многим контурам, одна самоиндукция и емкость которых служат для настройки, но имеющим еще другие самоиндукции и емкости, присоединенные к главному контуру 44-49

Глава 5

Рассмотрение расоты вакуумной лампы на двуволнистый контур. Критерий двуволнистости как простейшее следствие оттока, указания на способы контролирования колесаний в двуволнистом контуре 50-80

Глава 6

Осуждение вопроса о влиянии приемного контура на величину полезной мощности и К.П.Д. мощного лампового усилителя 81-90

Глава 7

Применение методов главы 1 к контурам с несинусоидальным анодным напряжением. Указание на то, как можно значительно увеличить полезную мощность и К.П.Д.

подбором контуров, дающим специальную форму кривой 91-
колесания

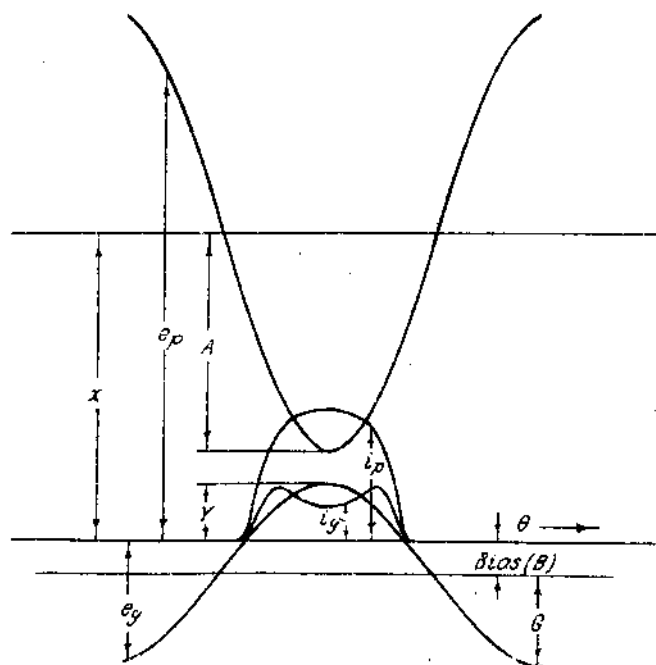
П р и л о ж е н и е

Краткое сравнение между теорией и наблюдениями в
отношении эмиссии пространственного заряда и уси-
лительной постоянной. Оспровержение вопроса о разде-
лении первичных и вторичных электронов между ано- 99-
дом и сеткой

Г Л А В А 1

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА, КАК МОЩНЫЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛ. МАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ.

Целью этой статьи является развитие метода расчета условий работы мощного лампового генератора в зависимости от характеристик лампы. В первой части мы ограничимся синусоидальными колебаниями в простых контурах. В этом случае основные соотношения имеем следующие (фиг1)



Фиг.1. Соотношение между напряжением и током
в Плиотронном генераторе.

X - постоянное напряжение между анодом и нитью;

e_p - мгновенное значение напряжения между анодом и нитью;

i_p - мгновенное значение анодного тока;

e_g - мгновенное значение напряжения между сеткой и нитью;

i_g - мгновенное значение тока сетки;

$X i_p$ - мгновенное значение подводимой к аноду мощности;

$e_p i_p$ - мгновенное значение рассеиваемой на аноде мощности;

$e_g i_g$ - мгновенное значение рассеиваемой в сетке мощности;

$e_p i_p + e_g i_g$ - мгновенное значение всей рассеиваемой в лампе мощности (1)

$(X - e_p) i_p - e_g i_g$ - мгновенное значение полезной мощности

$\frac{(X - e_p) i_p - e_g i_g}{X i_p}$ - мгновенное значение К.П.Д. (2)

Интегрируя мгновенные значения за целый период, получаем средние значения:

$$\int_0^{2\pi} X i_p d\theta = \text{среднему значению подводимой мощности} \quad (4)$$

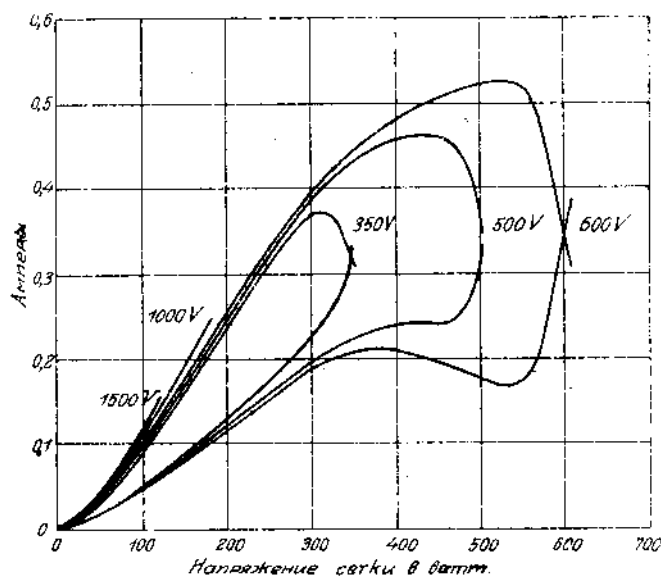
$$\int_0^{2\pi} (X - e_p) i_p - e_g i_g d\theta = \text{среднему значению полезной мощности} \quad (5)$$

$$\frac{\int_0^{2\pi} (X - e_p) i_p - e_g i_g d\theta}{\int_0^{2\pi} X i_p d\theta} = \text{среднему значению К.П.Д.}$$

Все предыдущие соотношения совсем не зависят ни от характеристик лампы, ни от частоты или формы кривой колебаний. Характеристики лампы не могут быть просто выражены через уравнения статических кривых, так как они проходят через области, в которых действуют различные физические законы. При усилении работа происходит в небольшой части одной зоны, где имеет место один и тот же закон, в

то время как при стационарных колебаниях рабочая точка переходит из одной зоны вдругую, соседнюю с ней. Это становится ясным, если рассмотреть ряд действительных характеристик. На фиг.2-я помещено семейство кривых для 1кв-й лампы Gen.El.Сomp. Ниже 10 в. ток, приблизительно, пропорционален степени $\frac{5}{2}$ от напряжения. Показатель степени постепенно падает до $\frac{3}{2}$ выше 10 в., становится равным 1-и около 250 в., а дальше принимает отрицательное значение. Однако, можно использовать непосредственно статические кривые, производя интегрирование шаг за шагом, т.е. можно разбить целый период на ряд точек и, интегрируя отдельно между каждыми двумя отдельными точками, вывести затем и среднее значение подводимой и полезной мощности за целый период.

Так как не наблюдается доступного измерения запаздывания в движении электронов, то, независимо от частоты, можно пользоваться статическими характеристиками.



Фиг.2. Характеристики Плиотрона UV-206 N 7,621

Для выполнения интегрирования шаг за шагом необходимо определить пять переменных - X , e_p , i_p , e_d , i_d . Это производится следующим образом:

X - постоянное анодное напряжение, на которое рассчитана лампа, в нашем случае - 10.000 в.

e_r - не может быть выражено в общей форме. В генераторе с, сравнительно, небольшими потерями, можно, с очень небольшой ошибкой, предположить, что будут индуцироваться синусоидальные напряжения. Таким образом известна форма кривой колебаний, но неизвестна ее амплитуда. Обозначим ее через „А“. Это синусоидальное напряжение накладывается на приложенное постоянное напряжение.

e_g создается тем же потоком, что и e_r и потому форма кривой колебаний здесь та же. Из ур-ния (5) видно, что полезная мощность имеет положительное значение для e_r - минимум и i_r - максимум. Это значит, что разность фаз между e_r и i_r равна 180° . И так как i_r в фазе с e_g , то разность фаз между e_r и e_g равна 180° (фиг.2). Амплитуда и ось e_g неизвестны. Обозначим их через „G“ и „B“.

Зная e_r и e_g , можно из характеристик непосредственно получить i_r и i_g .

Общее уравнение трехэлектродной лампы имеет следующий вид:

$$i = f(e_g + \frac{e_r}{\mu}) \dots \dots \dots (7)$$

откуда следует, что

$$e_g = -\frac{e_r}{\mu} \quad \text{для } i_r = 0 \dots \dots \dots (8)$$

Пусть
$$e_r = X - A \cos \theta \dots \dots \dots (9)$$

и
$$e_g = -B + G \cos \theta \dots \dots \dots (10)$$

Тогда, если θ_1 = углу, для которого $i_r = 0$
то
$$-B + G \cos \theta_1 = -\frac{X - A \cos \theta_1}{\mu} \dots \dots \dots (11)$$

Для углов, больших $2\theta_1$, как подводимая, так и полезная мощность равны нулю и, следовательно, производить дальнейшее интегрирование не нужно. Входящие в уравнение (11)

ИСПРАВЛЕНИЕ

В строках С, D, F, H, N и O следует внести "е":

Лампа

Поот. анод. напряж. (X)

Постоянная усиления (μ)

X-ки

Макс. сеточн. напряж. (Y)

Миним. анод. напряж. (Z)

		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
		А н о д н о е н а п р я ж е н и е									
θ		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
A	$1 - \cos \theta$	0	0,0152	0,0603	0,1340	0,2340	0,3572	0,5000	0,6580	0,8264	1,0000
B	$(X-Z)(1 - \cos \theta)$	(X-Zx на строчку „А“									
C	l_p	4-строчка „В“									
D	l_p/μ	Строка „С“ + μ									
		С е т о ч н о е н а п р я ж е н и е									
E	Угол отсечки тока θ_1	(Вставляются только выбранные значения угла θ_1)									
F	$Y + l_p/\mu$	Y-строчка „D“									
G	$1 - \cos \theta$	0	0,0152	0,0603	0,1340	0,2340	0,3572	0,5000	0,6580	0,8264	1,0000
H	Макс.знач. l_p (G)	Строка „F“ + строчка „G“									
I	Перем.составл. E_1	Строка „H“ + $\sqrt{2}$									
K	Напр.смещения.	Строка „H“ - Y									
		Р а с ч е т а с о ч е й т о ч к и									
θ_1 -		(Выберите одно из требуемых значений)									
θ -		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
L	$1 - \cos \theta$	0	0,0152	0,0603	0,1340	0,2340	0,3572	0,5000	0,6580	0,8264	1,0000
M	$G(1 - \cos \theta)$	(Возьмите значения, соответствующие θ_1)									
N	l_p	Y-строчка „M“									
O	$l_p + l_p/\mu$	Строка „N“ + строчка „D“									
P	l_p	Ветоя из X-ки лампы									
Q	l_p	Ветоя из X-ки лампы									
R	Потери на аноде	Строка „P“ + строчка „С“									
S	Потери на сетке	Строка „Q“ + строчка „N“									

Среднее значение анодного тока = $\frac{R_a + 2R_b + 2R_c + 2R_d \text{ и т.д.}}{36}$

Среднее значение сеточного то = $\frac{O_a - 2O_b + 2O_c + 2O_d \text{ и т.д.}}{36}$

Среднее значение анодн. потерь = $\frac{R_a + 2R_b + 2R_c + 2R_d \text{ и т.д.}}{36}$

Среднее значение потерь в цепсетки = $\frac{S_a + 2S_b + 2S_c + 2S_d \text{ и т.д.}}{36}$

Потери в лампе = сумме двух последних

Потери в гриднике = смещ. напряж среднее знач. сеточн. тока.

Полные потери (исключая потерна накал) = сумме последних двух.

Подводимая мощность (исключая мощность накала) = X х среднее значение анодного тока.

Полезная мощность = подводимой мощности - полные потери.

К.П.Д. (исключая накал) = $\frac{\text{Полезной мощности}}{\text{Подводимой мощности}} =$

Исправление в первых колонках таблиц:

Таблица:	Строка:	Напечатано:	Должно быть:
Анодное напряжение	4 и 5	l	e
Напряжение сетки	2	l	e
1-ая рабочая точка	4	l	e
" " "	5	$l_g - l_p/\mu$	$e_g + e_p/\mu$

исправлении в первых колонках таблиц.

I A D M E N C.

Таблица: *Строка:* *Напечатано:* *Должно быть:*

ФАКУЛЬТЕТА ГЕНЕРАТОРА.

нодное напряжение

4 и 5

1

2

Напряжение сетки

2

1

e

UV - 16

Пост. анодн. напр. = 10000В.

1-ая рабочая точка

4

1

e

$$\mu = 0$$

Х-ки - Фиг. 4

4 7 7

5

$$l_g - l_p / \mu$$
$$e_g + e_D/v$$

сет. нал. = 600 в. мин. анодн. напр. = 750 в.

АНОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$(1 - \cos \theta)$	0	0.0152	0.0603	0.1340	0.2340	0.3572	0.5000	0.6580	0.8264	1.000
$(X-Z)(1 - \cos \theta)$	0	140	555	1240	1170	3330	4625	6080	7650	9250
l_r	750	890	1305	1990	3920	4080	5375	6830	8400	10000
l_r/μ	3	4	5	8	12	16	22	28	34	40

НАПРЯЖЕНИЕ СЕТКИ.

θ_1	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$Y+1_{\mu/\mu}$	603	604	605	608	612	616	622	628	634	640
$1-\cos \theta_1$	0	0,0152	0,0603	0,1340	0,2340	0,3572	0,5000	0,6580	0,8284	1,000
G	∞	39800	10000	4530	2010	1710	1240	860	768	640
Пер. состав. E_g	∞	28200	7070	3200	1845	1210	877	679	543	453
Напр. смещения	∞	39200	9400	3930	2010	1210	640	360	168	40

1-я рабочая точка.

 $\theta_1 = 70^\circ$

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	Сумма	Средн. знач.
$1 - \cos \theta$	0	0,0152	0,0803	0,1340	0,2310	0,3572	0,5000	0,6580	0,8264	1,000		
$G(1 - \cos \theta)$												
I_g	600	586	543	471	374	256	128	28				
$I_g - I_p / \mu$	603	590	549	479	386	272	142	0				
I_p	560	550	540	510	479	330	120	0			5610	156
I_g	140	145	160	190	230	170	60	0			2050	57
Потери на ан.	420	494	705	1020	1375	1345	645	0			11590	322
Потери на сет.	84	85	87	90	86	44	7	0			902	25

Подводимая мощность (исключая нагрев) = $10000 \times 0,1560 = 1560$

Полезная " " " " 1183

К.П.Д. (исключая налог) = 76,5 %

Потери в лампе = 347

Потери в Гридлике = 20

Полные потери (исключая накал) = 367

Мейс

величины A , B и G можно рассматривать, как независимые переменные.

Обозначим через Y расстояние наибольшего сеточного напряжения от нулевой оси.

Тогда

$$B = G - Y$$

и уравнение (11) может быть переписано в виде:

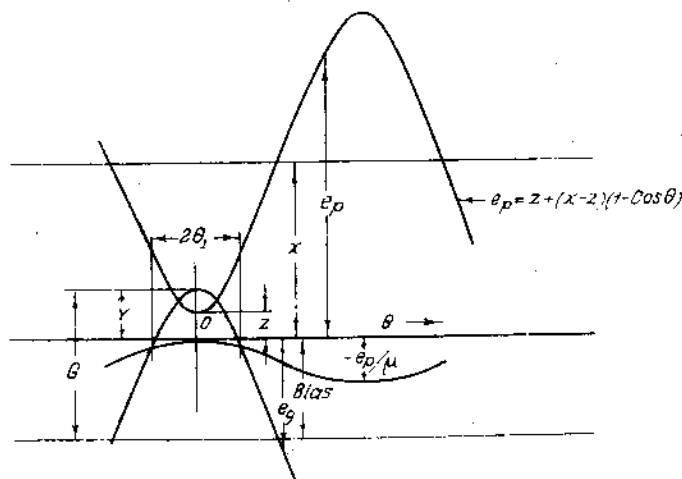
$$\frac{X - A \cos \theta_2}{\mu} = -Y + G(1 - \cos \theta_2) \quad (12)$$

($X - A$) является теперь минимальным анодным напряжением, а Y максимальным положительным напряжением на сетку. Из характеристик (фиг. 2) видно, что при $Y > 0,8(X - A)$ наступают условия, при которых начинается уменьшение i_p и увеличение i_g . Это может привести к понижению как полезной мощности, так и K . П. Д., поэтому переходить за эту точку не следует. Это положение можно еще объяснить так, что при возбуждении в генераторе колебаний амплитуда продолжает расти до тех пор, пока подводимая к контуру мощность не уравнивается рассеиваемой в нем. Исследования показали, что эта точка имеет место тогда, когда максимальное напряжение на сетку составляет 80% минимального анодного напряжения. Что это предположение не включает в себе большой ошибки, можно видеть из следующих рассуждений. Обращаясь к вычисленной нами точке (таблицы 2) увидим, что увеличение переменного анодного напряжения на 2% составит 185 в. Этому соответствует увеличение сеточного напряжения на 18 в. Результирующее минимальное анодное и максимальное сеточное напряжения будут соответственно - 565 в. и 618 в. При этом условии большая часть тока эмиссии идет на сетку, а анодный ток практически равен нулю (см. хар - ки фиг. 2). Вследствие этого полезная мощность очень сильно понизится и лампа не в состоянии будет возмещать все возрастающие с амплитудой потери. Т. к. уменьшение переменного анодного напряжения на 2% вызвало понижение полезной мощности, и т. к. очевидно, что полезная мощность падает при всяком уменьшении анодной реакции, то отсюда следует, что при выбранных нами вели-

чивая (табл. 2), мы находимся очень близко от точки устойчивой работы генератора. Выбор A определяет Y , а дополнительный выбор θ (угла отсечки тока) определяет G . Приписывая двум независимым переменным ряд значений, мы можем исследовать работу лампового генератора.

Для облегчения работы здесь приведена форма таблицы 1 с указанием, как заполнить каждую строчку. Таблица 2 представляет собой образцовый расчет по такой форме. Строчки от A до K включительно заполняются для заданной пары значений максимального сеточного и минимального анодного напряжений только один раз. Строчки от L до S должны заполняться отдельно для каждой рабочей точки.

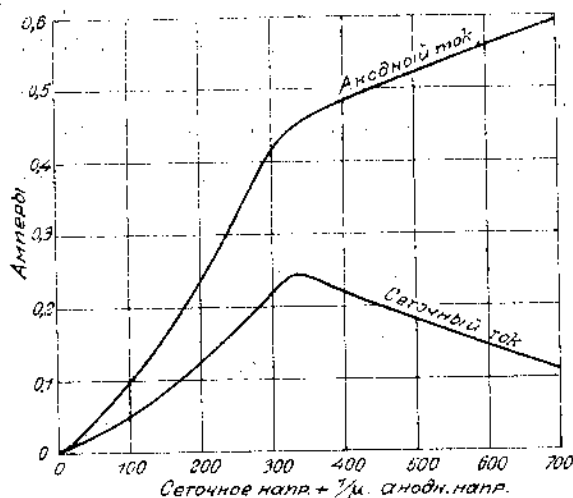
Приводимая здесь номенклатура относится к фиг. 3. Каждое из приведенных в фиг. 2 семейств кривых анодного и



фиг. 3.

сеточного тока для 1-кв. - ной лампы можно заменить одной кривой и экстраполировать с достаточной точностью. Эта замена выполнена на фиг. 4 и с помощью этих кривых можно изводить расчет для минимального анодного напряжения до 1000в. Мгновенное значение потерь в лампе при минимальном анодном напряжении в 1000в. и максим. сеточн. напряж. в 800в. настолько велики, что в этой области нельзя пользоваться статическими характеристиками. Идеальным методом для снятия динамической характеристики лампы является

он осциллографический, т.к. он дает возможность регистрировать мгновенные токи и напряжения без вреда для лампы.



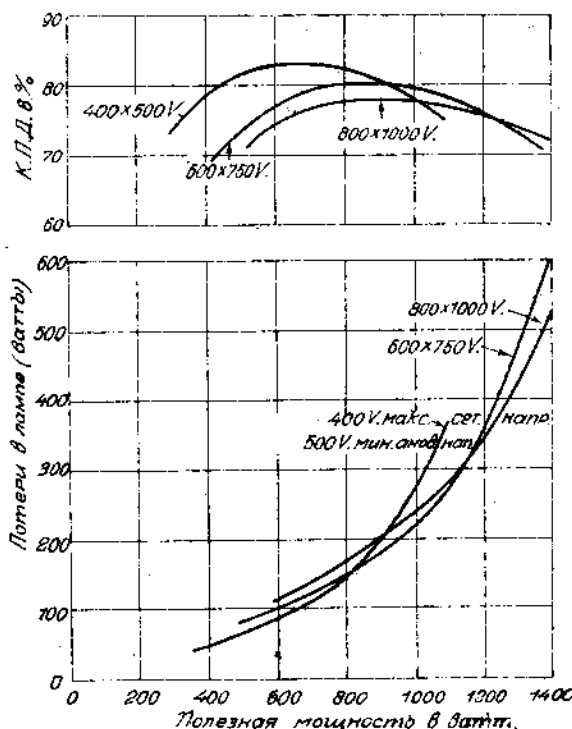
Фиг. 4. Экстраполированные х-ки
Плиотрона UV-206 №7621.

Фиг. 5 дает результаты расчета точек для трех значений минимального анодного напряжения при различных θ_1 . Так как само θ_1 для нас не представляет интереса, то построена зависимость К.П.Д. и потерь от величины полезной мощности. Величина полезной мощности ограничена нагреванием анода, который в рассматриваемом нами случае допускает рассеяние в 350 ватт. Таким образом, соответствующим подбором всех величин, можно, не переходя за допускаемые пределы для лампы, получить полезную мощность 1080, 1195 и 1215 ватт. Казалось бы, что кривые изменения потерь и К.П.Д. должны были бы пересечься при одном и том же значении полезной мощности. На самом деле это не так, т.к. потери в-grid-лике входят в К.П.Д., но не включаются в величину общих потерь на нагревание лампы.

Ясно, что при больших значениях минимального анодного напряжения и потерях в 350 ватт, полезная мощность будет меньше, чем при мин. анод. напр. в 1000 в. Вблизи этой

точки будут лежать наивыгоднейшие условия в смысле полезной мощности, хотя в значительных пределах за этой точкой, она все еще не будет падать. Так как все эти величины не зависят от частоты, то они, практически, являются основанием для проектирования любого контура при постоянном напряжении в 10000 в.

Подобным же образом можно произвести расчет для других ламп, или тех же, но при других значениях анодного напряжения и тока накала.



фиг. 5. Вычисленные значения К.П.Д. и потерь в лампе UV-206 при 10000 в. пост. напряжения.

Из фиг. 5 видно, что подбор величин, соответствующих наибольшей полезной мощности, не всегда является наилучшим для меньшего значения полезной мощности. Можно провести огибающую, на которой будут лежать точки минимальных потерь для любого значения полезной мощности. С помощью такой кривой можно произвести выбор постоянных кон

тура для любого заданного ряда условий. Это построение показано на фиг. 6 и 7. Кривые К.П.Д. и потерь для постоянного, напр. в 1500 в., приведены на фиг. 8. Выбрав величину мощности, можно из фиг. 6 и 7 получить соответствующие значения постоянных контура, а из остальных кривых величину К.П.Д. и потерь.

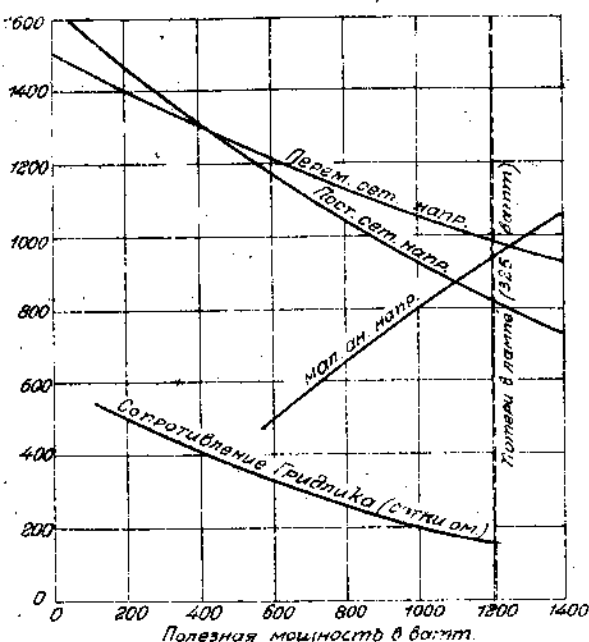
ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ.

Имея все данные для лампового генератора, можно, конечно, не делая специальных исследований, определить, будут ли колебания возбуждаться автоматически. Однако, в особых случаях бывает желательно в этом убедиться. Предположим, что мы хотим определить, будет ли вычисленной точке иметь место самовозбуждение. Как только русильник замкнут, мы имеем на аноде полное напряжение в 10.000 в. Напряжение на сетку равно нулю. Фиг. 9 изображает соответствующую этому моменту часть характеристики. Всякое проходящее возмущение, как например, замыкания русильника возбуждает в колебательном контуре небольшой ток. А это создает напряжение, которое распределится между анодом и сеткой определенном соотношении, зависящем от способа присоединения их к колебательному контуру. Для рассматриваемой нами точки $\Delta e_g = -0,104 \Delta e_p$.

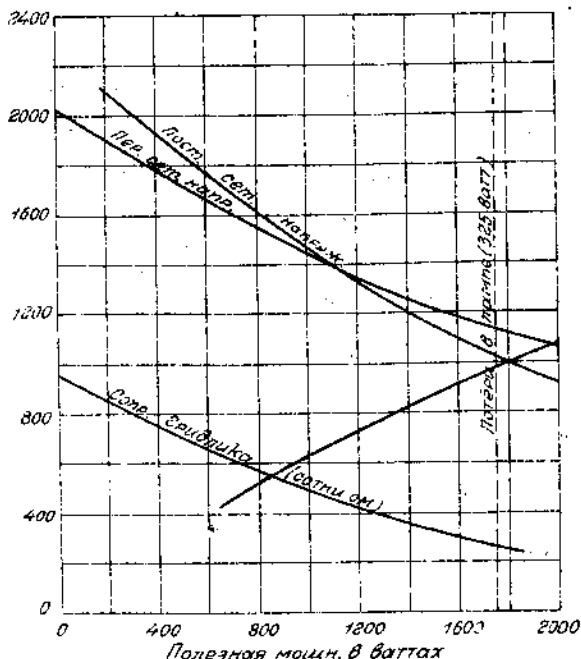
Сохраняя зависимость $\Delta e_g = -0,104 \Delta e_p$, мы можем графически построить зависимость анодного тока от индуктируемого (переменного) анодного напряжения. Для этого предполагаем ряд значений результирующего анодного напряжения - 10.000 в., 9.900 в., 9.800 в. и т.д. Разность между этими значениями и 10.000 в. эквивалентна индуктируемому в колебательном контуре напряжению, а напряжение на сетку в 0,104 раза больше этой разности. Такого рода кривые изображены на фиг. 10. Проведя новую ось X' через конец ординаты, соответствующей нулевому потенциалу, и, относя значения токов к этой новой оси, мы получим в каждой точке

мгновенные значения подводимых к контуру вольт и ампер переменного тока.

На небольшом расстоянии от начала координат мы можем кривую рассматривать, как прямую с наклоном, обратная величина которого представляет собой омическое сопротивление, потребляющее получаемую от лампы мощность. Если



Фиг. 6. Вычисленные наилучшие условия работы для лампы UV-206 при пост. напр. в 10.000в.



Фиг. 7. Вычисленные наилучшие условия работы лампы UV-206 при пост. напр. в 15.000в.

эквивалентное сопротивление больше этой величины, то колебания возникнут и будут расти до тех пор, пока не будет достигнута точка устойчивой работы. Теряемая в контуре мощность будет равна $M_L = \frac{(\Delta \phi_r)^2}{r}$. С увеличением r мощности в контуре теряется меньше и излишки ее накапливаются в виде колебательной энергии до тех пор, пока

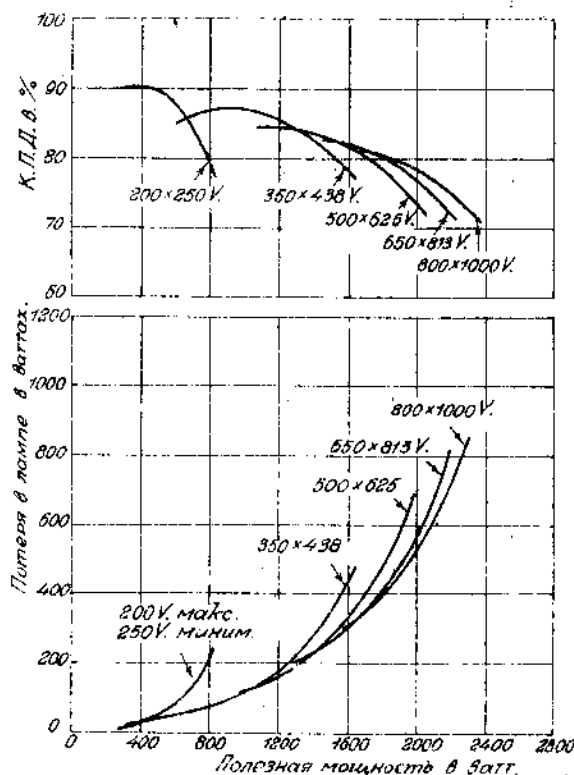
возрастающая амплитуда колебаний становится недостаточной для того, чтобы покрыть возрастающие при этом потери. Эквивалентное сопротивление представляет собой сопротивление контура, допускающего многократную настройку и обратно пропорционально омическому сопротивлению отдельных частей его. В рассматриваемом нами случае полной нагрузке соответствует сопротивление в 35.800 ом. Так как самовозбуждение имеет место при 8.700 омах, то,

следовательно, здесь оно обеспечено. Внутри области между 8.700 и 35.800 омами лампа при длительной работе будет перегреваться, что не является полезным и может быть допущено только в исключительном случае, когда требуется большой запас для самовозбуждения. Для более низких анодных напряжений эта область все суживается до тех пор, пока не наступит точка, в которой самовозбуждения не будет. При опытах с пониженным анодным напряжением

следует помнить об этой точке. Точно настроенный контур часто не дает самовозбуждения при половинном анодном напряжении, не-

смотря на то, что он будет колебаться, если дать вначале полное напряжение и затем постепенно понижать его.

Что касается устойчивости колебаний, то никаких заключений на основании фиг.10 сделать нельзя. Как только



Фиг. 8. Вычисление К.П.Д. и потери для лампы UV-206 при пост. напр. в 15.000в.

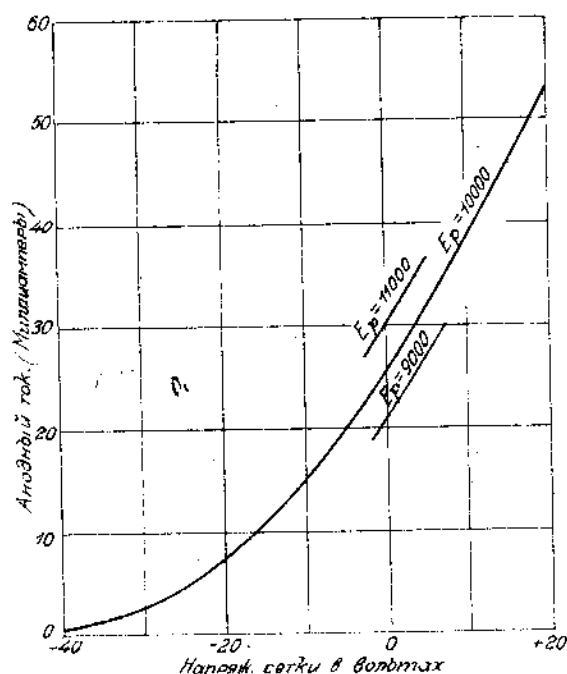
колебания возникли, сетка начинает заряжаться отрицательно и оси представленного здесь графика перемещаются.

СРВВ КОЛЕБАНИЙ (blocking).

Некоторые, даже и хорошей конструкции, лампы подвержены явлению, известному в технике под названием "blocking". Внешние признаки этого явления заключаются в прекращении колебаний, сопровождаемом внезапным повышением анодного тока до значения, большего того, которое мы можем получить при полном анодном напряжении и нулевом потенциале на сетке. Это явление "blocking", обычно, разрушает мощные лампы, вследствие рассеиваемой при

этом на аноде колоссальной мощности.

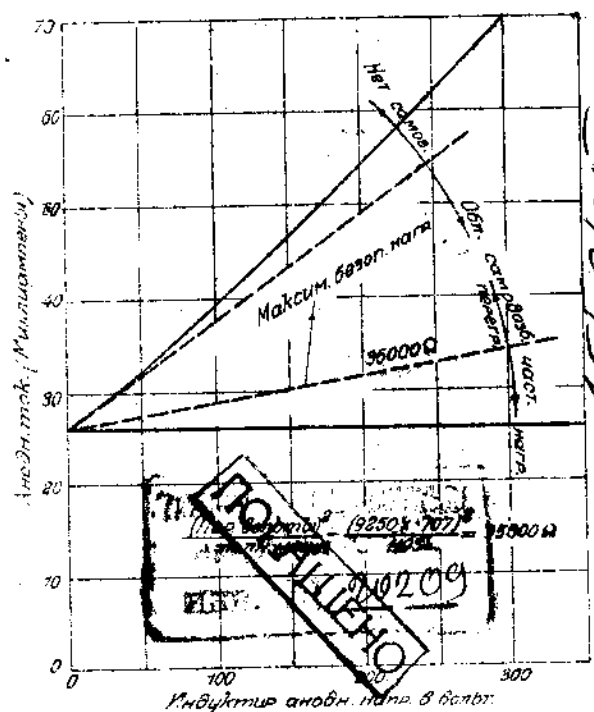
Однокиловаттная лампа UV-206, взятая здесь в качестве примера, практически не боится "blocking", но природу этого явления можно изучить, экстраполируя сложную характеристику фиг.4. Кривая фиг.11 можно мысленно продолжить до значения сеточного напряжения в 2.000в. Когда сеточное напряжение проходит через значение в 1.000в., сеточный ток меняет свое направление. При этом падение напряжения вдоль грид-лика также меняет свой знак и ось сеточного напряжения перемещается



Фиг. 9. Характеристики лампы UV-206.

ется в положительную область. Т. к. при этом ток течет от сетки, то между сеткой и нитью имеется эквивалентное отрицательное сопротивление e_g / i_g . Если сопротивление грид-лики равно 18.000 омам, то падение напряжения вдоль него для тока -70мА равно 1.250В. При этих условиях равновесие установится в точке "А", но оно будет неустойчивым. Т. к. соответствующий этому состоянию сеточный ток -80мА дает падение напряжения вдоль сопротивления грид-лики в 1.440В, что в свою очередь создаст ток в -120мА. А этот ток даст опять падение напряжения на сетку больше 2.000В, но в этот момент ток опять изменит свое направление и равновесие установится в точке "В". Проведя из начала координат касательную и кривой, найдем точку С, соответствующую наименьшему сопротивлению, дающему устойчивое равновесие при положительном напряжении на сетку. При меньших значениях сопротивления грид-лики срыв колебаний (blocking) невозможен.

Нужно заметить, что для наступления „blocking“ необходимы три следующих одновременных условия: 1) большое значение минимального анодного напряжения; 2) большое значение максимального сеточного напряжения и 3) большое сопротивление грид-лики. Это положение, обычно наступает при попытке увели-

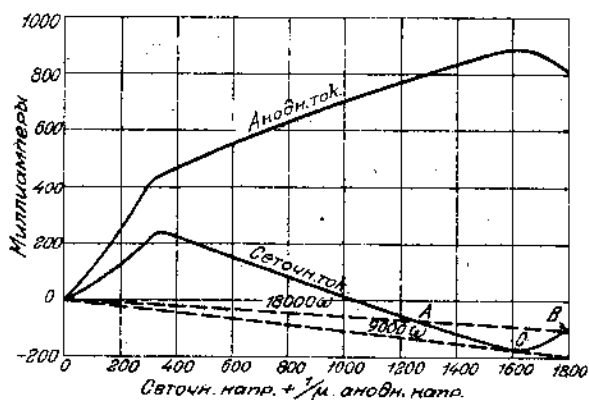


Фиг. 10. Кривые возникновения колебаний при пост. напр. в 10.000В.

чить полезную мощность, уменьшением эффективного сопротивления анодного контура. При этом понижается амплитуда колебаний и возрастает анодное напряжение. Экспериментатор, пытаясь восстановить амплитуду колебаний, увеличивает возбуждение на сетку, вследствие чего напряжение на сетку повышается до значения, большего того, при котором сеточный ток начинает усывать. В результате этого уменьшается и отрицательное напряжение на сетку, так что результирующее напряжение на сетку становится еще более положительным, до тех пор пока не наступает срыв колебаний (blocking).

При разумном построении контура можно совершенно избежать „blocking“. рассмотрим вычисленную нами для примера точку. Контур был подобран таким образом, что амплитуда переменного анодного напряжения была 8250 в.

а амплитуда сеточного напряжения - 960 в. При



Фиг. 11. Характер кривых, выражающих условия, при которых наступает „blocking“.

постоянном анодном напряжении в 10.000 в. минимальное анодное напряжение равно 750 в. следовательно, прежде чем сеточное напряжение примет значение, при котором сеточный ток становится отрицательным, анодное напряжение будет слишком мало для того, чтобы могло наступить явление „blocking“.

Г Л А В А 2

ПРИБЛИЖЕННЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЛИОТРОНА С СИНУСОИДАЛЬНЫМИ АНОДНЫМИ И СЕТОЧНЫМИ НАПРЯ- ЖЕНИЯМИ:

Для качественного анализа лампового генератора по-
лучаемая с помощью изложенного в главе 1 точного метода
расчета действительная кривая изменения анодного тока
может быть с достаточной точностью заменена частью синусо-
иды. Для такой кривой интегрирование производится ана-
литически вместо кропотливого интегрирования шаг за ша-
гом. Обратимся к фиг. 12; пусть

E — постоянное анодное напряжение;

e_p — напряжение анод- нить;

a — часть всего потенциала, не потраченная на
преодоление пространственного заряда;

i_p — анодный ток;

I — максимальное значение анодного тока;

c — такой величине, что $(1+c)I$ дает максималь-
ное значение анодного тока относительно
оси, для которой кривая анодного тока
есть синусоида;

θ_1 и θ_2 — точки, в которых кривая анодного тока пере-
секает нулевую ось,

Т. к. колебательный контур точно настроен, то он от-
зывается только на импульсы его основной частоты и, сле-
довательно, напряжение синусоидально. И т. к. при полной
нагрузке ток должен идти тогда, когда падение внутри лам

ны минимально, то анодное напряжение не падает ниже значения $(1-a)E$ которое соответствует потере на преодоление пространственного заряда.

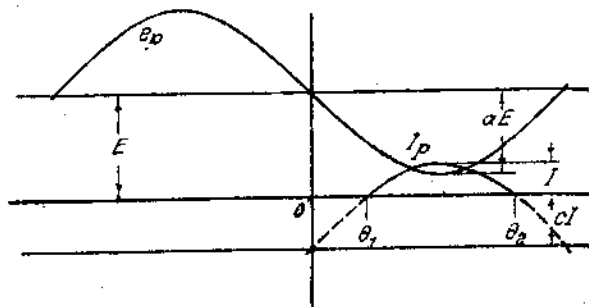
$$i_p = I(-a + (1+a) \sin \theta) = If_2 \theta$$

Основной закон имеем, конечно:

$$i_p = K(E_g + \frac{1}{2}E_p)^{3/2}$$

но при разности фаз между сеточным и анодным напряжением в 180° действительное выражение очень тесно приближается к виду: $i_p = KE_g$.

При желании можно получить выражение $i_p = -K' \sin \theta + K''$, изменив соответственно образом выражение для E_g . При этом приближении нет надобности в кропотливом интегрировании шаг за шагом.



Фиг. 12.

Подводящая к генератору мощность задана выражением:

$$N = E i_p = EI(-a + (1+a) \sin \theta) = -EI f_2 \theta \quad (1)$$

Потери в лампе равны произведению из мгновенных значений тока и падения напряжения внутри лампы.

$$\text{Потери} = EI(1-a \sin \theta)(-a + (1+a) \sin \theta) = -EI f_1 f_2 \theta \quad (2)$$

$$\text{Полезная мощность} = (1) - (2) = EI f_2 \theta (1 - f_1 \theta) \quad (3)$$

$$\text{К. П. Д.} = (3) / (1) = \frac{EI f_2 \theta (1 - f_1 \theta)}{-EI f_2 \theta} = 1 - f_1 \theta = a \sin \theta \quad (4)$$

Для того, чтобы определить среднее значение К.П.Д. нужно разделить средние значения полезной и подводимой мощности.

$$\text{Среднее значение К.П.Д.} = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} E I r_2 \theta (a \sin \theta) d\theta}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} E I f_2 \theta d\theta} \quad (5)$$

$$= \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} a \sin \theta [-c + (1+c) \sin \theta] d\theta}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} [-c + (1+c) \sin \theta] d\theta} \quad (6)$$

$$= \frac{a \int_{\theta_1}^{\theta_2} [-c \sin \theta + (1+c) \sin^2 \theta] d\theta}{\int_{\theta_1}^{\theta_2} [-c + (1+c) \sin \theta] d\theta} \quad (7)$$

$$= \frac{a \left[c \cos \theta + \frac{(1+c)}{2} \theta - \frac{(1+c)}{4} \sin 2\theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2}}{\left[-c\theta - (1+c) \cos \theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2}} \quad (8)$$

Так как в термоионной лампе имеется проводимость лишь в одну сторону, то обратного тока быть не может. Полученное нами для К.П.Д. выражение имеет смысл лишь для θ_1 и θ_2 , включающих часть периода, в течение которого течет ток. В течение остальной части периода как подводимая, так и полезная мощность равны нулю, так что интегрирование между указанными пределами дает результат за целый период.

При выбранном нами начале координат имеем следующие соотношения между пределами и постоянными:

$$\frac{c}{1+c} = \sin \theta_1 \quad \cos \theta_2 = -\cos \theta_1$$

$$\theta_2 = \pi - \theta_1 \quad \sin 2\theta_2 = -\sin 2\theta_1$$

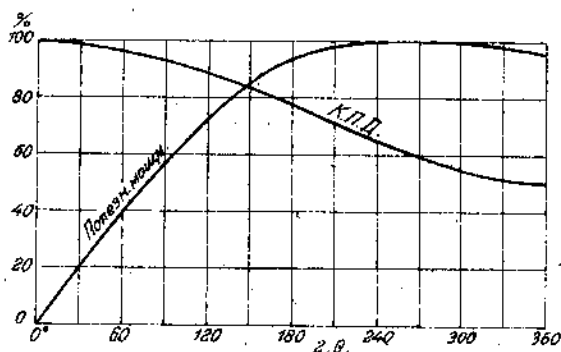
Полное выражение может быть переписано в виде:

$$\text{К.П.Д.} = \frac{a \left[\frac{1+c}{2} (\pi - 2\theta_1) - 2c \cos \theta_1 + \frac{1+c}{2} \sin 2\theta_1 \right]}{-c(\pi - 2\theta_1) + 2(1+c) \cos \theta_1} \quad (9)$$

Значение „I“ выбрано постоянным, так как максимальная

Эмиссия всякой лампы постоянна и зависит от удельной нагрузки нити. Отсюда можно вычислить выражение (3) для полезной мощности для того, чтобы показать, как ее изменение отразится на изменении К.П.Д. Решив уравнение (3) получим выражение для числителя уравнения (9) для $E = 1$.

На фиг. 13 К.П.Д. и полезная мощность представлены в процентах от их максимальных значений для $a = 1$.



фиг. 13. Теоретическое значение К.П.Д. Плиотронного генератора. Изменение его в зависимости от угла отсечки тока, при условии пренебрежения потерями на преодоление пространственного заряда и в предположении пропорциональности, выше точки отсечки, между кривой тока и синусоидальным сеточным напряжением. Максимальный сеточный ток остается постоянным.

фиг. 14 изображает кривые зависимости К.П.Д. и полезной мощности от угла отсечки тока для различных значений a .

Для того, чтобы можно было сделать нужные заключения из этих кривых, масштаб для полезной мощности выбран обратно пропорциональным $(1-a)$ таким образом, что максимальная мощность для $(1-a) = 5\%$ взята для удобства равной 200. Если считать, что эти кривые применимы к одной лам

не, то пространственный заряд в % будет обратно пропорционален приложенному напряжению при „I“ постоянном и поэтому:

$$\text{полезная мощность} = I I_2 \theta (1 - f_1 \theta)$$

и т. н.

$$E \sim \frac{1}{1-a}$$

то полезная мощность = $\frac{K'' I}{1-a} f_2 \theta (1 - f_1 \theta)$.

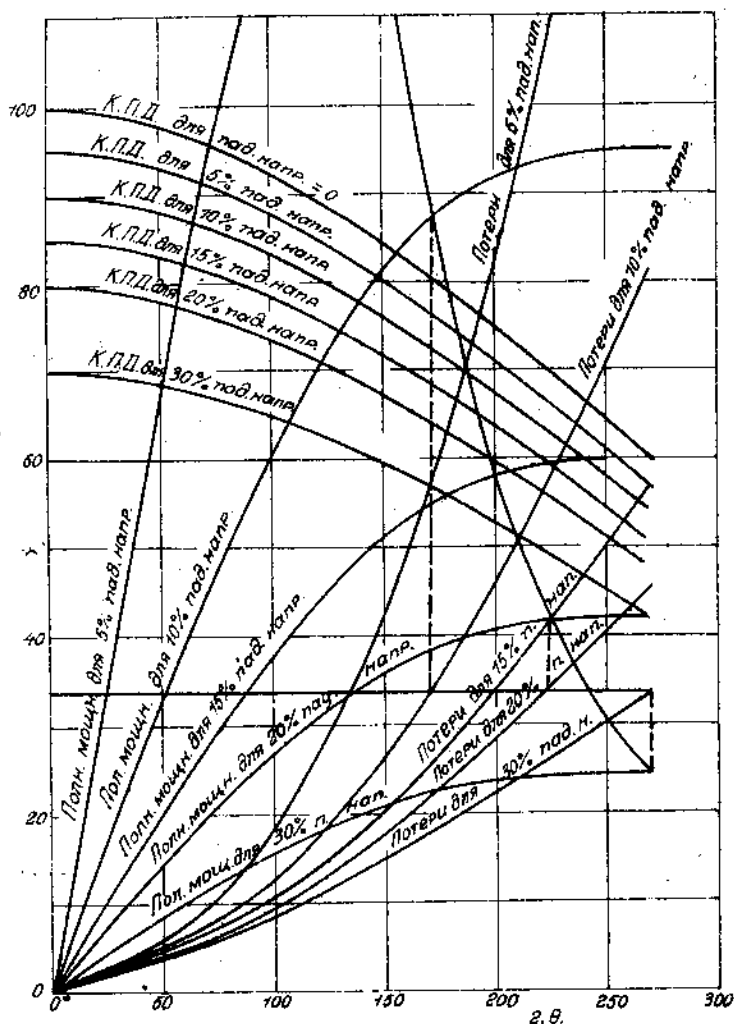


Fig. 14. Теоретические колебательные характеристики Планотрона (абсолютное значение пространственного заряда остается постоянным, меняется приложенное напряжение).

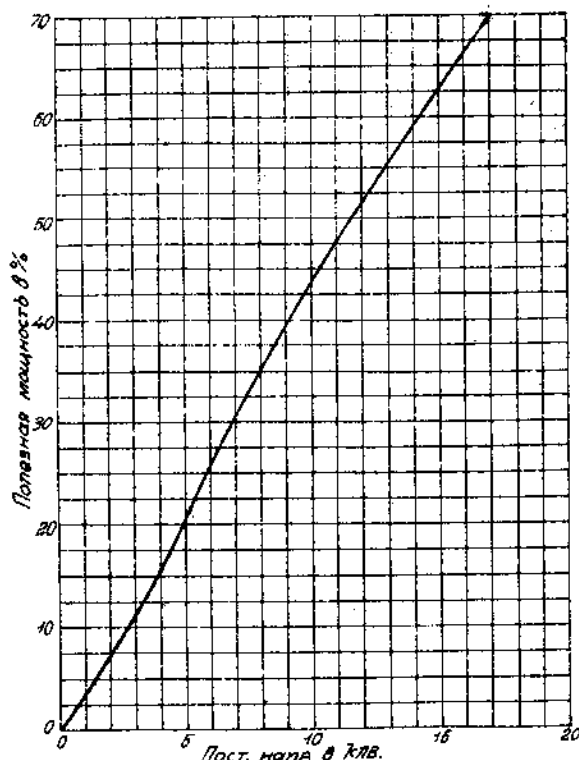
Кривые фиг. 14 представляют условия работы для различных значений приложенного напряжения.

Т. к. величина полезной мощности ограничена нагревом лампы, то можно непосредственно вывести заключение о влиянии на нее изменения напряжения. Для этого проводят любую прямую, например, „АА“, представляющую максимальное рассеяние для данной лампы. Пересечение этой прямой с кривыми потерь даст значения углов отсечки тока для различных напряжений. Эти же абсциссы на кривых полезной мощности даст изменение полезной мощности при постоянном нагреве.

Фиг. 15 дает зависимость полезной мощности от напряжения, в предположении, что потери на преодоление пространственного заряда равны 1.000 в. Масштаб для ординат выбран в % от максимальной полезной мощности, которую можно получить от лампы при постоянном анодном напряжении в 20.000 в., пренебрегая потерями на нагрев. Эта кривая показывает едва заметное стремление к насыщению, но при постоянном нагреве, если уменьшить потери на преодоление пространственного заряда до 5% от приложенного напряжения, полезная мощность продолжает возрастать почти пропорционально напряжению.

Кривые фиг. 16 позволяют вычислять токи по показаниям амперметра постоянного тока в анодной цепи для указанных выше условий. Кривая „А“ применима для токов, имеющих принятое нами при вычислении К.П.Д. форму колебаний, а кривая „В“ относится к лампам, работающим как выпрямители без сглаживающих устройств.

Для того, чтобы получить представление, каковы должны быть амплитуды сеточного напряжения при синусоидальном вольтажении, дающие различные К.П.Д., мы предположили условия, представленные на фиг. 17. Для генератора предполагалось, что напряжение на сетку положительно, когда анодное отрицательно, так что они приблизительно встречаются.



Фиг. 15. Теоретические χ -ки Плиотрона.
Зависимость полезной мощности от напряжения при постоянных значениях максимального тока и потерь.

Пусть:

e_p - анодному напряжению $= E(1 - a \cos \theta)$

e_s - сеточному напряжению $= E(-b + g \cos \theta)$

E - пост. анодн. напряжение

$1 - a$ - отношению падения на преодоление пространства. вярда к пост. напр. E

b - отношеник смещающего напр. к E

g - отношеник максим. сеточн. напр. к E

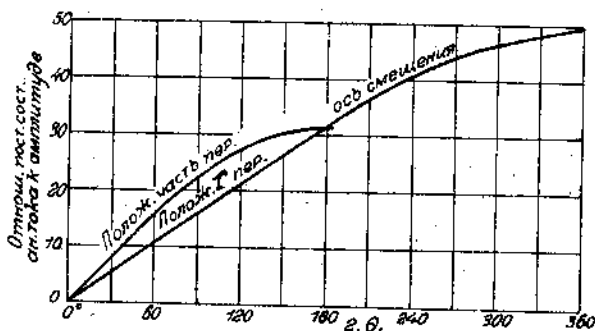
d - отношеник сеточн. напр. в точке отсечки тока к E

$E_d = \frac{e_s}{d}$ - напряжение на сетку, необходимому для того, чтобы сделать анодный ток равным нулю.

Т.к. все величины выражены через E , то в следующих ниже соотношениях E принимается равным 1.

1-a-максимальному положительному напр.
сетки

$$b+1-a=g$$



Фиг. 16. Отношение постоянной составляющей анодного тока к амплитуде синусоидального тока.

$2\theta_1$ - двойному углу отсечки тока. Фаза сетки принимает положительное значение, начиная с точки, находящейся от точки появления тока на расстоянии

$$M = (1-a) + d_1 = 1-a + \frac{g}{\mu} =$$

$$= 1-a + \frac{1-a \cos \theta_1}{\mu}$$

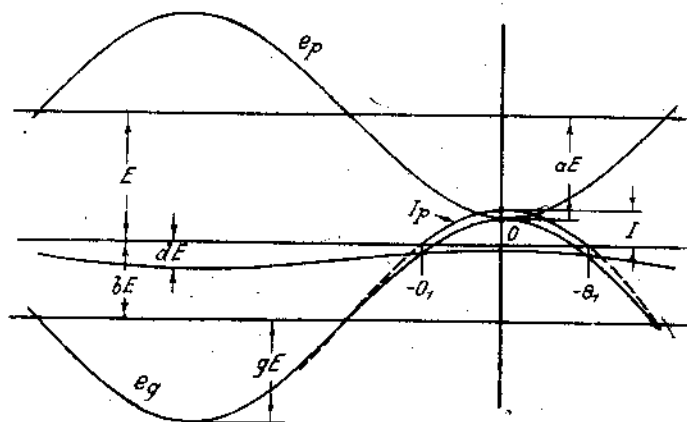
$$g \cos \theta_1 = g - M$$

Или
$$g = \frac{\left[\frac{1+\mu}{\mu} - a \left(\frac{1}{\mu} \cos \theta_1 + 1 \right) \right]}{1 - \cos \theta_1}$$

$$b = g - (1-a)$$

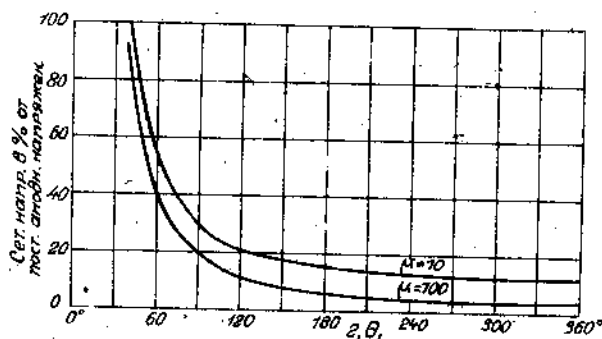
Кривые фиг. 18 показывают изменение „g“ от $2\theta_1$ -двойного угла отсечки тока для $a=0,95$, $\mu=10$ и $\mu=100$. При малых значениях θ_1 „g“ приближается к бесконечности,

так что если при этих условиях, необходимо получить вы-
сокий К.П.Д., то при синусоидальном возбуждении напря-



фиг. 17.

жение сетка-нить может оказаться равным или даже боль-
ше напряжения анод-нить.



фиг. 18. Теоретические х-ки
Плиотрона. Максимальное сеточ-
ное напр. как ф-ия приложен,
пост. напр. Синусоидальное се-
точн. возбуждение. Простр. за-
ряд-5%. Макс. положит. сет. напр.
равно миним. анодн. напр.

Г Л А В А 3

РАСЧЕТ КОНТУРА.

При расчете контура лампового генератора необходимо иметь в виду выполнение двух условий:

1. Колебательный контур должен быть подобран таким образом, чтобы в нем накопилось достаточно энергии, которая должна питать контур по принципу маховика в течение тех частей периода, когда подводимая мощность не равна потерям.
2. Все напряжения должны удовлетворять по амплитудам и фазам значениям, определяемым в главе 1.

З а п а с э н е р г и и.

Представим себе контур из самоиндукции L и емкости C , колеблющийся с частотой f при напряжении V и потерях W ватт. В точке, соответствующей нулевому току мгновенное напряжение равно $\sqrt{2}V$; вся энергия накоплена в конденсаторе и равна CV^2 . Эффективное значение тока в контуре равно $2\pi f CV$ и потери за целый период в джоулях, равны W/f . Разделив накопленную в конденсаторе энергию на потери в джоулях за целый период, получим:

$$\frac{\text{Накоплен. энергия}}{\text{Расход энергии в джоулях за период}} = \frac{CV^2}{W/f} = \frac{f CV^2}{W} = \frac{2\pi f CV^2}{2\pi W} = \frac{VI}{W}$$

Это показывает, что отношение накопленной энергии к расходуемой в $1/2\pi$ раз больше отношения безваттной мощности к ваттной. Контур, в которых запас энергии меньше, два-три раза расход энергии за период, непостоянны в работе. Контур с большим запасом энергии могут иметь непропорциональные омические потери. Если тогда

но нет какого-нибудь другого фактора, определяющего запас энергии. то колебательную энергию в вольт-амперах нужно брать, приблизительно, в 49 раз больше расходуемой. Иначе говоря, коэффициент мощности не должен быть больше 8% или декремент выше 0,25. Эта колебательная энергия имеет для генератора то же значение, что и маховик для однократной машины и связь с анодом должна быть сделана тесной.

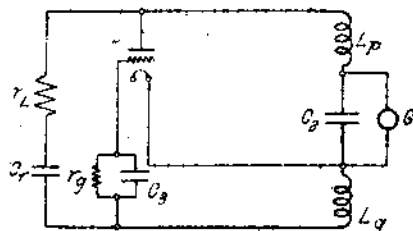
После окончательной проверки необходимого значения колебательной энергии, остается только определить правильные напряжения и их фазы. Для нашей в качестве примера лампы полезная мощность для $E = 10000$ в. была определена в 1 кв. Из фиг. 6 получаем следующие значения напряжений:

Минимальное анодное напр.	равно 800 в., что
даст для эффект. значения перем. анод. напр.	6500 в.
Эффект. значение сет. напр.	1050 в.
Смещающее напр. на сетку	920 в.
Сопротивление грид-лика	20000 ом.
Потери в лампе (фиг. 6)	220 ват
К.П.П.	79,6 %

Предположим, что мы хотим рассчитать простой контур Гартлей'я, удовлетворяющий этим условиям. (фиг. 19).

Здесь:

- L_p — анодная самодукация.
- L_g — самодукация цепи сетки.
- C_1 — конденсатор настройки.
- C_2 — анодный блокировочн. конден.
- C_3 — блокировочн. конденсат. сетки.
- r_g — сопротивление грид-лика.
- r_L — сопротивление нагрузки.
- E — источник пост. тока.



Фиг. 19. Контур Гартлей'я.

Для того, чтобы удовлетворить требуемым условиям, необходимо, чтобы:

$$L_p/L_g = \frac{6500}{1050}; \quad r_g = 20000 \text{ ом.}$$

Предположим, что в сопротивление нагрузки r_1 необходимо передать максимальную энергию при частоте в 10^6 пер. сек. При полезной мощности в 1 кв. ваттная мощность в кв. - амп. должна быть в 4 раза больше, т.е. равна 12,5 миллов. амп.

$$X_{L_p} = \frac{E_p^2}{V_a} = \frac{6500^2}{12500} = 3380 \text{ ом, при } 10^6 \text{ пер./сек. } L_p = 0,538 \text{ миллигенри.}$$

$$X_{L_g} = X_{L_p} \times \frac{1050}{6500} = 545 \text{ ом, при } 10^6 \text{ пер./сек. } L_g = 0,087 \text{ миллигенри.}$$

$$X_{C_1} = X_{L_p} + X_{L_g} = 3,925 \text{ ом, при } 10^6 \text{ пер./сек. } C_1 = 4,06 \times 10^{-5} \text{ мфд.}$$

$$\text{Безваттный ток равен } \frac{12500}{6500} = 1,925 \text{ ампер.}$$

$$\text{Полное сопротивление контура равно } \frac{1000}{1,925} = 270 \text{ ом.}$$

Отсюда, зная сопротивление при высокой частоте L_p , C_1 и соединительных проводов, можно получить значение r_1 . Предположим коэффициент мощности самоиндукций равным 1%, а потери в конденсаторах и соединительных проводах ничтожно малыми, тогда

$$r_1 = 270 - 39,3 = 230,7 \text{ ом.}$$

Этим методом можно рассчитать бесчисленное множество различных контуров, имеющих одну настройку. Требуемые напряжения могут осуществляться с помощью самоиндукций, емкостей или взаимной индукции, и если только разность фаз между анодным и сеточным напряжениями правильна и контур не перегружен, генератор должен правильно работать. C_2 и C_3 не имеют особого значения.

Если при выполнении указанных условий, экспериментатор все же не получит ожидаемых результатов, то это,

чаще всего, объясняется следующими двумя причинами: либо лампа не соответствует приложенным характеристикам, либо постоянные контура не те, какими они кажутся. Чаще всего заменяется эмиссия лампы. Если она мала, то лампа работать не будет. Если она слишком велика, то можно удлинить жизнь лампы, уменьшив ток накала. Как полезная мощность, так и К.П.Д. могут быть увеличены за счет продолжительности жизни лампы перекаливанием нити.

Вакуумно-электродная лампа может работать почти при любой частоте, но при частотах выше собственной частоты самондукции последние могут действовать как емкости. Индуктивное сопротивление соединительных проводов, идущих от конденсатора, может оказаться выше его емкостного сопротивления. Возможны также колебания в отдельных частях контура. При высоких частотах сопротивление возрастает вследствие skin-effect'a и окружающие предметы могут влиять на сопротивления, катушки и емкости, для того, чтобы получить правильно работающий генератор, необходимо учесть или уничтожить все эти паразитные явления.

Приведение фазы сетки к требуемому значению.

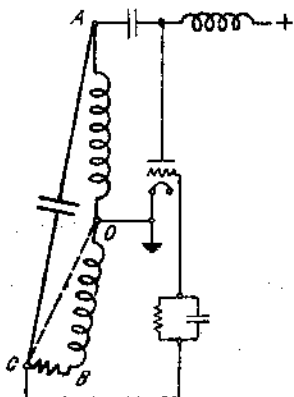
Рассмотрение условий расчета контура не является полным без учета явлений, заставляющих генератор колебаться с частотой, отличной от собственной частоты контура. Заслуживает также детального обсуждения выбор блокировочных анодных конденсаторов и воздушных дросселей.

Контур Гартлея нормально работает при частоте, не определяемой по формуле:

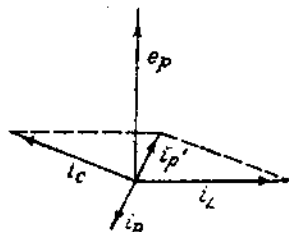
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Причина этого ясна на фиг. 20-А и 20-В, которыми можно воспользоваться для численного подсчета.

Фиг. 20-А представляет соединенные вместе диаграммы контура и напряжений. ОА-вектор анодного напряжения; анод присоединен к точке А, нить в О, а между ними включена анодная самоиндукция. ОВ-падение напряжения вдоль самоиндукции цепи сетки, а ВС вдоль сопротивления, так что ОС и представляет собой результирующий вектор сеточного напряжения, при чем С есть точка присоединения сетки. Т.к. сопротивление анодной самоиндукции на фазу сетки не влияет, то оно не включено в диаграмму, хотя оказываемое им вообще действие очевидно.



фиг. 20-А.



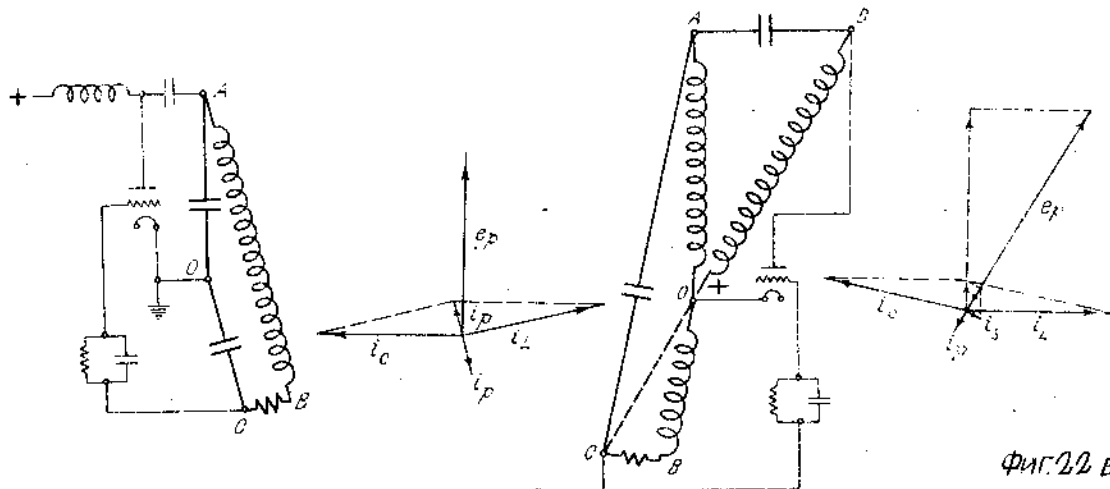
фиг. 20-В.

Анодный ток в фазе с сеточным напряжением. В фиг. 20-А представлен вектором i_p . i_c обозначает ток в контуре ОБСА, а i_L - ток через самоиндукцию ОА. По закону Кирхгофа векторная сумма токов в точке О должна быть равна нулю. Поэтому сумма i_c и i_L равна i_p , равному и обратному i_p . Т.к. i_p имеет компоненту, опережающую e_p , которая складывается с соответствующей компонентой i_c , то значение i_L должно быть увеличено, а это можно осуществить либо уменьшением самоиндукции анодной катушки, либо понижением частоты. Отсюда следует, что простой контур Гарлей'я всегда работает ниже точки резонанса и что уменьшение частоты можно вычислить, если приписать век-

торам диаграммы 20-Б численные значения.

Рассуждая подобным образом, можно проанализировать и работу контура Колпитт'я - фиг. 21-А и 21-Б.

Как и прежде, фиг. 21-А есть соединенная диаграмма контура и напряжения с анодом в точке А, нитью в О и сеткой в С. В этом случае составляющая анодного тока в фазе с i_L и ее нужно скомпенсировать повышением тока через анодный конденсатор. Это требует либо увеличения емкости анодного конденсатора, либо повышения частоты, так что контур Колпитт'я всегда работает выше точки резонанса на величину, которую можно вычислить из диаграммы, приписав векторам численные значения.



фиг. 21.А.

фиг. 21.Б.

фиг. 22.А.

фиг. 22.Б.

Диаграммы фиг. 22-А и 22-Б иллюстрируют влияние блокировочного конденсатора и воздушного дросселя на работу контура Гартлей'я. Здесь О, А, В и С имеют те же значения, что и в фиг. 20-А. АД-переменная составляющая падения напряжения в конденсаторе. Анод присоединен в точке D. OD-переменная составляющая падения напряжения в воздушном дросселе. Постоянный ток, проходящий через OD в диаграмме не представлен. фиг. 22-Б подобна фиг. 20-Б, за исключением добавочного тока в дросселе OD- i_s и изменения e_r , которое направлено по OD вместо OA.

Очевидно, что правильным выбором блокировочного конденсатора и воздушного дросселя можно опять направить вводимое напряжение по одной прямой с сеточным напряжением и анодным током. Из главы 1-ой видно, что наибольший К.П.Д. получается при разности фаз между анодным и сеточным напряжением в 180° . Если это условие не имеет места, то интегрирование нужно производить шаг за шагом за целый период и так как максимальный ток уже не соответствует минимальному анодному напряжению, то подынтегральное произведение, естественно, больше. Поэтому выбор блокировочного конденсатора и воздушного дросселя должен входить в расчет контура.

Вначале расчет производится так, как если-бы конденсатора и дросселя не было совсем. Контур может быть эквивалентен либо чисто омическому, либо последовательно соединенным омическому и реактивному сопротивлениям. Предположим, что контур эквивалентен чисто омическому сопротивлению, тогда можно вычислить угол $\cos \alpha$ и дополнительный к нему, угол $\sin \alpha$. Так как эквивалентное сопротивление между А и О известно, то емкостное сопротивление АД выбирается таким образом, что $AD/OA = \tan^{-1}(180^\circ - \alpha)$. Напряжение передается в контур в точке D и создаст в нем опережающий ток, величина которого легко может быть определена. Остается только выбрать такой дроссель, чтобы создаваемый им запаздывающий ток был по величине равен опережающему току.

Из численного примера станет яснее как практически производится выбор правильных величин блокировочного конденсатора и воздушного дросселя.

Прежде всего необходимо, чтобы возбуждение на сетку удовлетворяло требуемому соотношению.

Возьмем:

$$\frac{E_p}{E_g} = \frac{OA}{OC} = 4$$

Так как OD представляет собой анодное напряжение, то

может оказаться необходимым, в случае резкого отличия OD от OA , еще второе приближение.

Возьмем $OA=100$ омам индукт.
 $OB=25$ омам индукт.
 $BC=2,5$ омам омическ.
 $CA=125$ омам емкостн.

Тогда угол $OAC = \sin^{-1} \frac{2,5}{100} = 1^{\circ}27'$

Если напряжение OA равно 100 в., то

$$I_L = 1, \quad \text{Ватты в } OA = I_L^2 \times 10 = 10$$

$$I_C = 1, \quad \text{Ватты в } BC = I_C^2 \times 2,5 = \frac{2,5}{12,5}$$

Эквивалентное сопротивление $\frac{E^2}{W} = \frac{100^2}{12,5} = 800$ ом. Можно настроить контур в резонанс, и тогда реактивное сопротивление будет равно нулю.

По правилу синусов имеем:

$$\frac{OA}{\sin C} = \frac{OC}{\sin A} = \frac{AC}{\sin O}$$

$$\frac{100}{\sin C} = \frac{25}{0,025}$$

$$\sin C = 0,1$$

$$C = 5^{\circ}$$

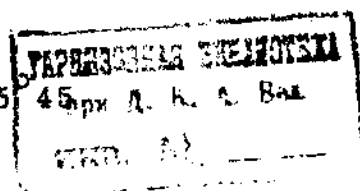
Угол $AOD = A + C = 6^{\circ}55'$

$$AD = AO \operatorname{tg} AOD =$$

$$= 800 \cdot 0,1 = 80 \text{ ом емкостн.}$$

Полное кажущееся сопротивление равно 894 омам, так что соотношение для сетевого напряжения получилось, почти точно, равным выбранному нами раньше. Если взять напряжение $D - O$ равным 100 в., то ток будет равен:

$$\frac{100}{894} = 0,112 \text{ ампер}$$



Безваттная мощность будет равна:

$$0,124^2 \times 80 = 1,23 \text{ вольт-ампер.}$$

Для того, чтобы скомпенсировать эти опережающие вольт-амперы, необходимо получить от воздушного дросселя столько же запаздывающих вольт-ампер.

$$D0 = \frac{100^2}{1,23} = 8,180 \text{ ом.}$$

Если-бы кажущееся сопротивление блокировочного конденсатора оказалось слишком велико, то взятое нами вначале соотношение между анодным и сеточным напряжением не выполнялось бы. В этом случае пришлось-бы взять первоначальное значение больше, чем то, какое мы хотим получить окончательно, и производить подбор всех величин рядом последовательных приближений. Однако, и по другим причинам высокое кажущееся сопротивление блокировочного конденсатора нежелательно, т.к. это влечет за собой низкое кажущееся сопротивление воздушного дросселя, и токи высокой частоты могут проникнуть в цепь мощного генератора и произвести разрушения.

Соответствующий выбор блокировочного конденсатора и воздушного дросселя не есть единственный метод для получения разности фаз между анодным напряжением и током в 180° . Угол OAC может быть скомпенсирован таким изменением фазы сеточного напряжения, чтобы вызвать колесания с частотой резонанса и принести анодный ток и напряжение к правильному соотношению.

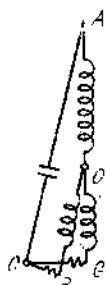


Fig. 28-A.

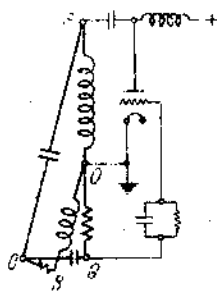


Fig. 28-B.

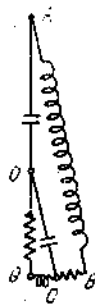


Fig. 28-C.

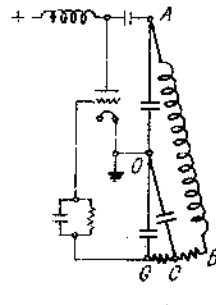


Fig. 28-D.

Фиг. 23-А и 23-В иллюстрируют два метода, приводящих контур Гартлей'я в колебания с частотой резонанса при правильном соотношении f_{aa} , а фиг. 23-С и 23-Д дают два эквивалентных метода для контура Колпитт'а.

В схеме фиг. 23-А изменение фазы производится последовательным соединением сопротивления CG с самоиндукцией GO . Сетка присоединена к точке G . Тот же результат достигается включением сопротивления OG и конденсатора CG . Эти же элементы ^{нужно} в схеме 23-С и 23-Д поменять местами для того, чтобы вместо опережения получить запаздывание.

Несмотря на то, что изменением фазы сетки можно компенсировать различные углы, все же подбор блокировочного конденсатора и воздушного дросселя предпочтительнее, т.к. они нормально всегда имеются налицо, и это не вносит лишних усложнений.

КОНДЕНСАТОР СЕТКИ.

Следует заметить, что до сих пор не было создано критериев для выбора блокировочного конденсатора на сетку. Т.к. назначение этого конденсатора состоит в том, чтобы пропускать составляющую тока возбуждения без заметного падения и заставить постоянную составляющую идти через сопротивление утечки, то величина его емкости не имеет критического значения. Она должна быть достаточно велика, для того чтобы емкость сетка-анод была мала по сравнению с ней. Т.к. емкости ламп обычно очень малы, то это требование легко осуществимо. Отдельные толчки постоянного тока не должны изменять значительно смешивающего напряжения, но это также не имеет большого значения.

ПРЕРЫВИСТЫЕ КОЛЕБАНИЯ.

Слишком большая емкость конденсатора грид-лики может вызывать осложнения в работе генератора. Т.к. это с пер-

вого взгляда не ясно, то оно будет рассмотрено детально. Внешне это проявляется в понижении подводимой и полезной мощности и излучении прерывистых колебаний.

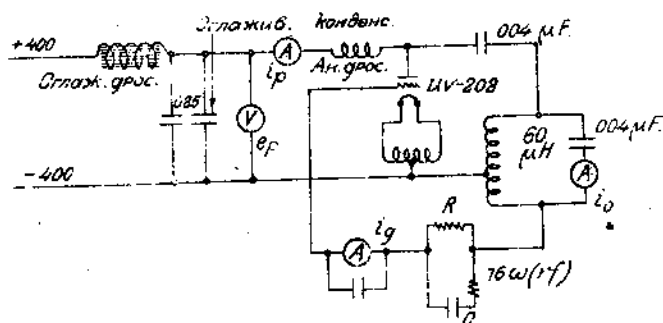


Fig. 24. Контур, служивший для снятия осциллограмм фиг. 26, 27 и 28.

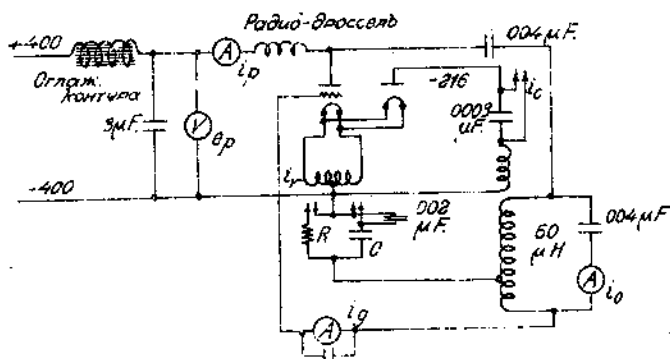
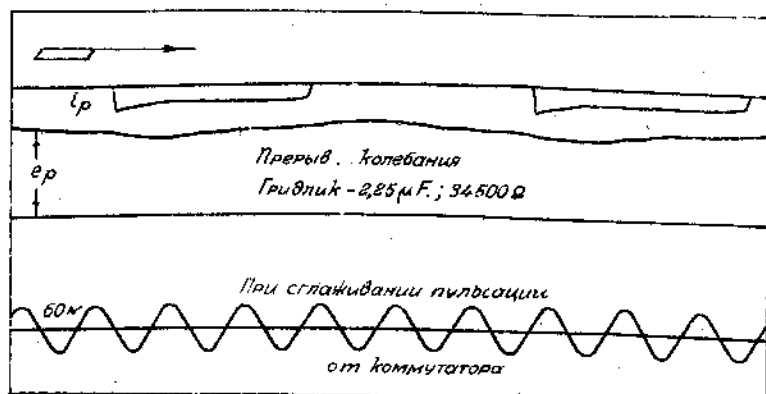


Fig. 25. Контур, служивший для снятия осциллограммы фиг. 29.

Осциллограмма (фиг. 26) показывает результат, полученный для очень большого конденсатора сетки (схема фиг. 24). Колебания то возникают, то исчезают, при чем период довольно длительный. При уменьшении емкости конденсатора период изменяется (фиг. 27). Это явление имеет место

и тогда, когда анодное напряжение сглаживается при помощи фильтра (фиг. 26). Из неправильностей фиг. 28 можно увидеть, что это явление нельзя объяснить резонансом. В предыдущих 3-х осциллограммах мерой колебаний являлся анодный ток. Из фиг. 29 видно, что действительная амплитуда колебаний следует той же общей форме кривой (схема фиг. 25).

К объяснению этого явления прили следующим образом: обратимся к фиг. 30 и предположим, что соотношение между переменным анодным током и напряжением сетки, а так же и между другими величинами остается постоянным. Если взять постоянное смещающее напряжение, то можно, поль-



фиг. 26.

зуясь методом главы 1-ой, вычислить для любой амплитуды колебаний величину полезной мощности. Несколько таких кривых здесь приводится.

Построена также кривая омических потерь в контуре, которая квадратична. Пересечение кривых полезной мощности и потерь соответствует точке равновесия. Если с уменьшением амплитуды колебаний полезная мощность становится больше потерь, то работа генератора в этой точке устойчива. Если, наоборот, то устойчивости нет. Определив сеточный ток для различных точек кривой полезной мощности, при постоянном смещающем напряжении, мы

можем вычислить соответствующие сопротивления утечки. Через эти точки можно провести кривую, представляющую зависимость величины полезной мощности от амплитуды колебаний при постоянном сопротивлении утечки.

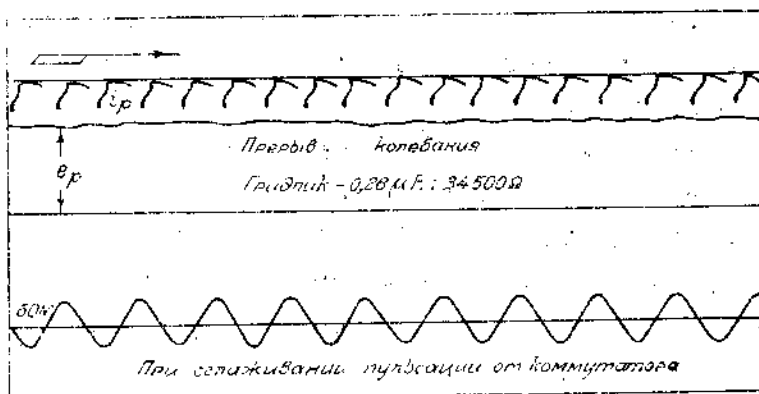


Fig. 27.

Существует такое значение смещающего напряжения, при котором кривая полезной мощности, соответствующая этому напряжению, касается кривой потерь в точке С. Большее смещающего напряжения брать нельзя, так как тогда невозможно пересечение между кривыми полезной мощности и потерь, а, следовательно, не будет точек равновесия.

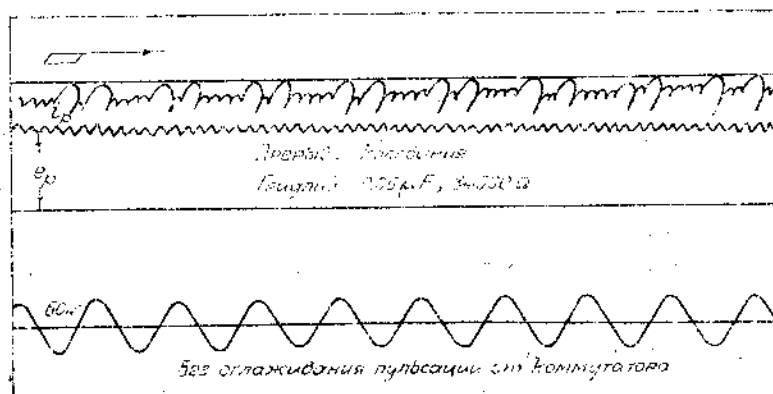
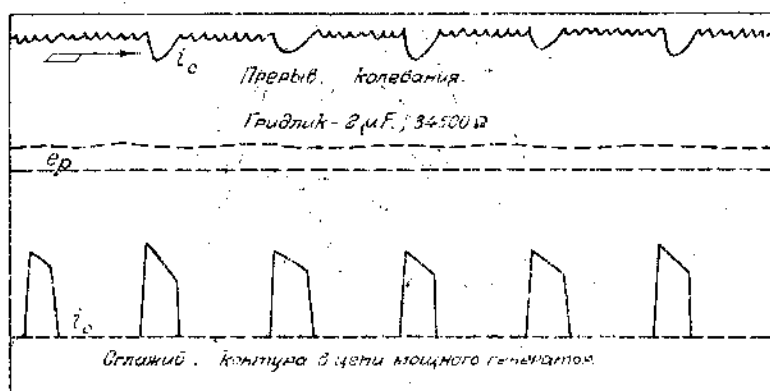


Fig. 28.

Через любую точку на кривой потерь, например А и В, можно провести две линии, из которых одна дает напря-

ленные изменения полезной мощности при постоянном смещающем напряжении, а вторая — изменение полезной мощности при постоянном сопротивлении утечки. При пользовании постоянным фиксированным смещающим напряжением, проверку равновесия нужно делать по линии пост. смещающего напряжения. При постоянном сопротивлении утечки нужно пользоваться соответствующей ему линией. Блокировочный конденсатор стремится сохранить постоянное значение смещающего напряжения и, что касается равновесия, то работа приближается к линии пост. смещ. напр.

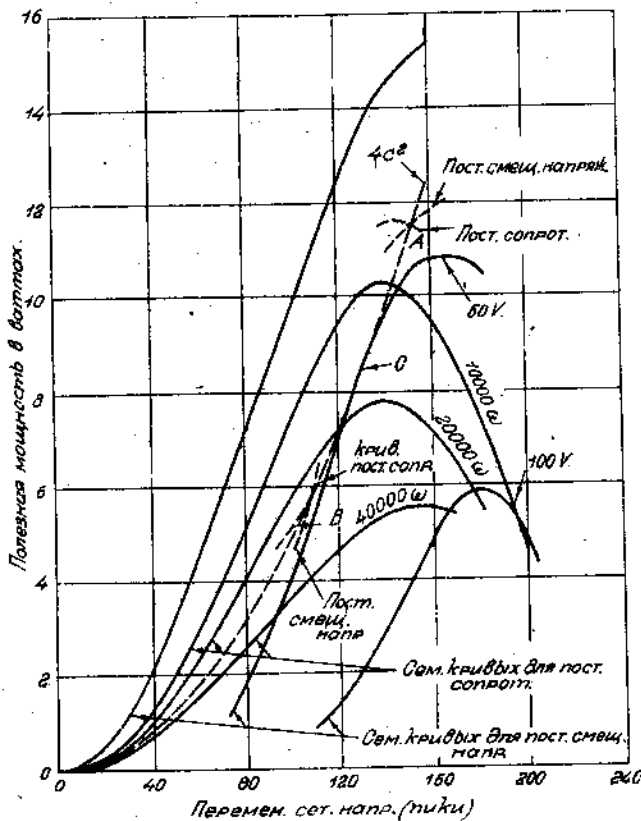


Иг. 29.

При малой емкости конденсатора сетки, более правильным критерием устойчивости служит линия постоянного сопротивления утечки. Очевидно, что в области между С и В работа будет устойчива как при постоянном сопротивлении утечки, так и при постоянном смещающем напряжении. В направлении от С к В работа при постоянном смещающем напряжении неустойчива, в то время, как при постоянном сопротивлении утечки она устойчива.

Очень вероятно, что лучше всего генератор будет работать, особенно для ламп с большой эффективностью, в области СВ, так что для устойчивости требуется достаточно малый конденсатор, дающий для вероятных пределов изменения амплитуд, крутость результирующей кривой меньше, чем крутость кривой потерь. Это условие часто наклад-

ется и в регенеративных приемниках.



Фиг. 30. Кривые, дающие условия устойчивости в сеточном контуре для лампы UV-202, в предположении, что перем. анод. напр. в 1,7 раза больше перем. сет. напряж., а пост. анодн. напр. равно 350 в.

Если режим работы генератора неустойчив, или устойчивость имеется только в узкой области, то равновесие может нарушаться целым рядом причин, а именно: модуляцией напряжения питающего генератора, регулировкой линии, работой ключа и т.п. В таких случаях складывается следующий цикл: предположим, что сопротивление грид-лики = 20000 ом, колебания возникают при смещающем напр. равном нулю

и что равновесие устанавливается при полезной мощности в 7,8 ватта и смещающем напряжении около 50 в. Если емкость конденсатора сетки мала, то работа будет устойчива. При большой емкости конденсатора всякое мгновенное возмущение сдвинет расщепленную точку вниз или вверх по линии, соответствующей пост. смещающему напр. в 50 в., при чем конденсатор будет стремиться сохранить в течение короткого промежутка времени постоянное напряжение. Если точка передвинулась вниз, то полезная мощность станет меньше потерь в контуре и колебания прекратятся.

Конденсатор разрядится через сопротивление, пока напряжение не станет настолько малым, что колебания возобновятся опять. Тогда весь цикл повторится снова.

Г Л А В А 4

ЧАСТИЧНО НАСТРОЕННЫЙ КОНТУР

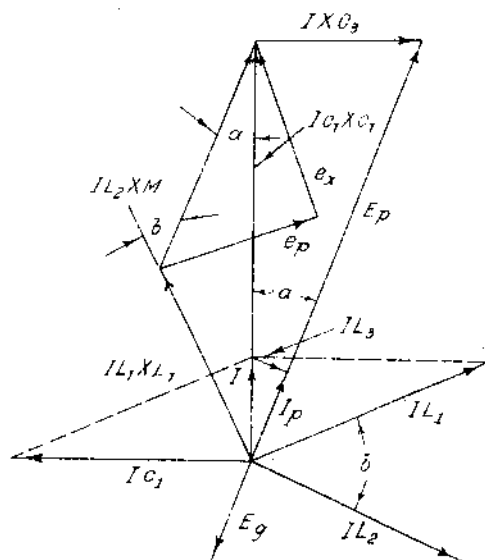
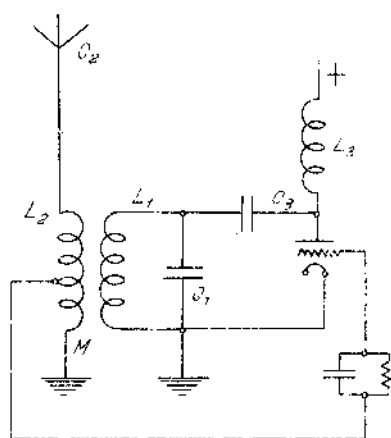
Хотя нами был принципиально рассмотрен контур с одной настройкой, следует проанализировать контур более сложный, чем взятый нами в качестве примера, т.к. это проливает свет не только на явления в более сложных контурах, но и на меры, предпринимаемые для избежания паразитарных колебаний, заключающиеся в добивании частично настроенного контура к главному, полностью настроенному контуру, определяющему частоту.

АНАЛИЗ ГЕНЕРАТОРА С ПОЛУНАСТРОЕННЫМ АНОДОМ.

Схема фиг.31 имеет то преимущество, что анодный контур действует как фильтр и ослабляет излучение гармоник. Прежде чем говорить о фильтрующем действии, необходимо изучить особенности колебаний.

Фиг.32 представляет собой векторную диаграмму контура фиг.31. Обозначим антенный ток, идущий через катушку L_2 через I_{L_2} . Этот ток возбуждает в первичной катушке L_1 напряжение $I_{L_2} X_M$. Напряжение $I_{L_2} X_M$ состоит из двух составляющих $-e_2$, перпендикулярной к $I_{L_1} X_{L_1}$ и e_1 , параллельной к $I_{L_1} X_{L_1}$. первая представляет собой ваттную составляющую, зависящую от омического сопротивления антенны. Вторая есть безваттная составляющая. $I_{L_1} X_{L_1}$ - напряжение самоиндукции L_1 . Сумма напряжений $I_{L_1} X_{L_1}$ и $I_{L_2} X_M$, возбуждаемых в катушке L_1 , вызывает в конденса-

торе C_1 ток I_{C_1} , который дает падение напряжения $I_{C_1} X_{C_1}$. Емкостный ток I_{C_1} опережает напряжение, его вызывающее, на 90° , в то время как ток через L_1 отстает от напряжения самоиндукции на 90° .



Фиг. 31. Схема генератора фиг. 32. Векторная диаграмма частично настроенным анодным контуром генератора с частично настроенным контуром.

1. к. сетка присоединена к антенной катушке L_2 , то напряжение на сетку составляет прямой угол с I_{L_2} и соответственным выбором конденсатора C_3 , дающим падение напряжения $I X_{C_3}$, можно сделать разность фаз между анодным напряжением E_p и сеточным E_g равной 180° .

Из чертежа видно, что $I_{L_1} X_{L_1}$ не равно $I_{C_1} X_{C_1}$. Иначе говоря, первичный контур не настроен. Очевидно также, что увеличение $I_{L_1} X_{L_1}$ должно происходить за счет составляющей $I_{L_1} X_{L_1} - e_x$, т.к. e_x определяет передаваемую

энергии, величина которой должна сохраняться постоянно. Угол β определяется отношением этих двух величин, и он тем больше, чем ближе к резонансу первичный контур. При точной настройке первичного контура в резонанс угол β был бы равен 90° и никаким падением напряжения в С его нельзя было бы скомпенсировать.

Если с другой стороны, $X_{C1}/X_{L1} = 4$, то вторая гармоника анодного тока может оказаться в резонансе с антенной и возможно излучение мощного колебания этой частоты. Если бы это отношение было больше 4-х, то вторая гармоника тока в антенне была бы усилена и, если длина волны как раз в два раза больше собственной длины волны антенны, то даже возможно возникновение незатухающих колебаний этой частоты. Поэтому желательно, чтобы первичный контур был настроен на частоту между основной и второй гармоникой.

Взяв отношение X_{C1}/X_{L1} не слишком большим для того, чтобы избежать выявления гармоник, и не слишком близким к единице, чтобы не изменить разности фаз между анодным и сеточным напряжениями, можно для любого значения C_1 определить количество излучаемых гармоник, построив кривую анодного тока и произведя гармонический анализ ее. Предположив дальше, что этот ток через емкость C_1 идет в контур, можно непосредственно определить какая часть его попадает в антенну.

Выбравши емкость C_1 такой величины, чтобы излучение гармоник не выходило за требуемые пределы, можно точно рассчитать весь контур, пользуясь качественными определениями из векторной диаграммы и принимая во внимание, что напряжения E_p и E_g должны соответствовать характеристикам лампы, и, что разность фаз между ними должна быть равна 180° . Ниже приложен примерный расчет, выполненный этим способом.

Рассматриваемая нами здесь схема нормально требует тесной связи, так что можно ожидать двуволнистости. В

в связанном двуволнистом контуре оба периода колебаний сильно отличаются от периода колебаний каждого отдельного контура, так что их легко разделить. Антенна будет слабо отвечать на колебания более высокой частоты и, т. е. сетка получает возбуждение от антенной катушки, то легко так подобрать контура, что колебания более высокой частоты совсем не будут поддерживаться. Чем дальше находятся друг от друга точки резонанса первичного и вторичного контуров, тем слабее тенденция к двуволнистости.

П р и л о ж е н и е к Г л а в е 4 .

РАСЧЕТ ЧАСТИЧНО НАСТРОЕННОГО АНОДНОГО КОНТУРА .

Расчитываемый контур должен передавать в антенну многократной настройкой, имеющую два снижающихся периода, мощность в 20 квл. Полная мощность требует 46,5 амп. на каждый снижающийся провод. Переменное анодное напряжение должно быть равно 9400 в., а сеточное напряжение - 2300 в. Т.к. никакого тресования относительно гармоник не поставлено, то число вольт-ампер взято в 4% от большего числа ватт. Это дает для C значение в 0,004 мфд.

Все величины можно разместить в таблицы:

$\lambda = 2500$ метров	$2\pi f = 753,000$ радианов/сек.
$C_1 = 0,004$ мфд.	$\frac{1}{2\pi f C_1} = 332$ омам
$E_p = 9400$ вольт	
$E_g = 2300$ вольт	$I_{c2} = 46,5$ А

Мощность равна 20 квл.

Напряжение на зажимах C_1 приблизительно равно E_p и принимаем для него это значение. Тогда

$$I_{c1} = \frac{9400}{332} = 28,3 \text{ амп.},$$

что в данном случае может быть взято и для I_{L1} .

Зная первичный ток и передаваемую мощность, можно определить и

$$e_2 = \frac{20000}{28,3} = 707 \text{ в.}$$

Вектор $I_{C1} X_{C1}$ должен быть равен сумме трех векторов - $I_{L1} X_{L1}$, e_r и e_x . И т.к. e_r равно только 707 в., то можно, не внося какой-либо заметной ошибки, взять $e_x = I_{L1} X_{L1} = 4700$ в. Тогда получим:

$$X_{L1} = \frac{X_{C1}}{2} = 166 \text{ омам}$$

$$L_1 = \frac{166}{753000} = 221 \text{ микрогенри}$$

$$X_M = \frac{4700 \text{ вольт}}{46,58 \text{ мп.}} = 101 \text{ ом}$$

$$M = \frac{101}{753000} = 134 \text{ микрогенри}$$

Угол „а“ теперь легко вычислить, а зная его, можно найти емкость блокировочного анодного конденсатора.

$$a = \sin^{-1} \frac{707}{9400} = \sin^{-1} 0,0752 = 4,33^\circ$$

$$I X_{C3} = 9400 \sin a = 707 \text{ в.}$$

$$I = \frac{20000}{9400} = 2,13 \text{ амп.}$$

$$X_{C3} = \frac{707}{2,13} = 332 \text{ ома}$$

$$C_3 = \frac{1}{332 \times 753000} = 0,004 \text{ мфд.}$$

Для того, чтобы коэффициент мощности сделать равным единице, необходимо, чтобы безваттный ток через радио-дроссель был равен по величине и обратен по фазе то

ку через слюсчировочный анодный конденсатор.

Это осуществляется при:

$$I_{L_3} = I \cdot \sin a = 2,13 \cdot 0,0752 = 0,16 \text{ амп.}$$

$$X_{L_3} = \frac{9400}{0,16} = 58700 \text{ ом.}$$

$$L_3 = \frac{58700}{753000} = 78 \text{ миллигенри.}$$

Сетка получает возбуждение из антенного контура. Когда антенная катушка находится под рукой, то не представляет трудности найти на ней точку, соответствующую напряжению в 2300 в. если помнить, что эта часть напряжения создается в катушке первичным током.

При мощности в 20 квт. напряжение в антенне равно 30900 в. и напряжение, возбуждаемое первичным током в антенной катушке равно

$$I_{L_1} X_m = 28,3 \cdot 101 = 2860 \text{ в.}$$

Оба эти напряжения, практически, в фазе, так что

$$I L_2 X_{L_2} = 30900 - 2860 = 28040 \text{ в.}$$

$$X_{L_2} = \frac{28040}{46,5} = 603 \text{ ом.}$$

$$I_2 = \frac{603}{753000} = 802 \text{ микрогенри.}$$

Г Л А В А 5

ПРИМЕНЕНИЕ СВЯЗИ СЕТКИ С ПЕРВИЧНЫМ КОНТУРОМ К ДВУВОЛНИСТЫМ КОНТУРАМ.

ДВУВОЛНИСТЫЙ КОНТУР.

В предыдущей главе упоминалось о возможности возникновения колебаний двух различных частот, но само это явление детально не рассматривалось. Вакуумная лампа, как источник колебаний, может питать связанный с ним контур, настроенный в резонанс на одну частоту, если только анодное и сеточное напряжения имеют компоненты с правильной разности фаз и потери в контуре не слишком велики. В самом общем случае связанный контур имеет три частоты резонанса.

Анализ контура такого типа дан Pierce'ом в „Electric Oscillations and Electric Waves,“ гл. XI, стр. 156-159. Обращаясь к фиг. 32 имеем, что кажущееся сопротивление первичного контура выражается через:

$$Z_1' = R_1 + \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} R_2 + j \left\{ X_1 - \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} X_2 \right\} \dots \dots \dots (1)$$

$$= R_1' + j X_1' \dots \dots \dots (2)$$

$$R_1' = R_1 + \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} R_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$X_1' = X_1 - \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} X_2 \dots \dots \dots (4)$$

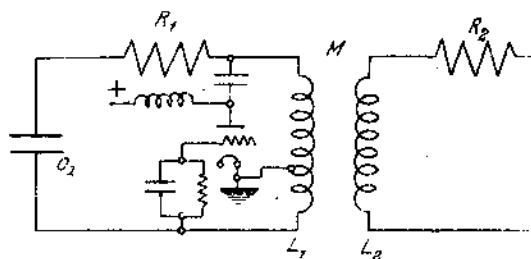
Z_1 и Z_2 - первичное и вторичное кажущиеся сопротивления, состоящие из самоиндукций L_1 и L_2 и емкостей C_1 и C_2 .

M - взаимоиנדукция

ω - угловая скорость векторов тока.

Предположим, что в генераторе будут возбуждаться колебания с частотами, для которых полное кажущееся сопротивление не имеет реактивной составляющей, т.е.

$$X_1 - \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} X_2 = 0 \quad \dots (5)$$



Фиг. 22. Двухволновый контур.

Попытки решить это уравнение подстановкой различных значений для X_1 , X_2 и Z_2 приводят к большому количеству алгебраических выражений и практически такое решение невозможно. Оно может быть решено графически, а для случая, когда точки резонанса близки одна к другой, решение легко получается простым приближением.

Предположим, что каждый из контуров настроен на круговую частоту ω и что все три длины волны выражены через изменение этой частоты - $(\Delta\omega)$. Предположим, кроме того, что:

$$\left. \begin{aligned} M\omega &= M\omega_0 = M_0 = (\text{постоянной величины}) \\ X_1 &= 2L_1 (\Delta\omega) \\ X_2 &= 2L_2 (\Delta\omega) \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

Тогда

$$2L_1 (\Delta\omega) - \frac{M_0^2}{4L_2^2} \frac{2L_2 (\Delta\omega)}{(\Delta\omega)^2 + R_2^2} = 0$$

или

$$8L_1 L_2^2 (\Delta\omega)^2 + \{2L_1 R_2^2 - 2L_2 M_0^2\} (\Delta\omega) = 0$$

Это ур-ие имеет три следующих корня:

$$(\Delta\omega)=0 \quad \text{и} \quad (\Delta\omega)=\pm\frac{1}{2}\sqrt{\frac{M_0^2}{L_1 L_2}-\frac{R_2^2}{L_2^2}} \quad \dots \quad (7)$$

Два корня могут оказаться мнимыми и тогда будем мы иметь только одну длину волны. Для этого необходимо, чтобы

$$M_0 < R_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad \dots \quad (8)$$

С помощью указанного выше приближения было вычислено вносимое в контур реактивное и омическое сопротивление для следующих данных контуров:

$$\begin{aligned} R_2 &= 0,5 \text{ ом} \\ M_0 &= 1,46 \text{ ом} \\ L_1 &= 0,000443 \text{ генри} \\ L_2 &= 0,001430 \text{ генри} \\ R_1 &= 0 \\ \omega_0 &= 115000 \end{aligned}$$

Желаемая полезная мощность - 200 ватт.

По полученным значениям построены кривые фиг. 34. A_1 , A_2 и A_3 соответствуют трем частотам, колебания которых могут возникать. Перестроив первичный контур на частоту, слегка отличающуюся от вторичного, можно эти точки резонанса сдвинуть, напр. в B_1 , B_2 и B_3 .

ПЕРЕДАЧА МОЩНОСТИ НА „ВОКСВЫХ“ ЧАСТОТАХ.

Обозначим через M_c связь, при которой генератор, при одинаково настроенных обоих контурах, будет стремиться колебаться с боковыми частотами. Если M_c есть связь, необходимая для того, чтобы передать мощность на „центральной частоте“ то обе они связаны с ур-ием:

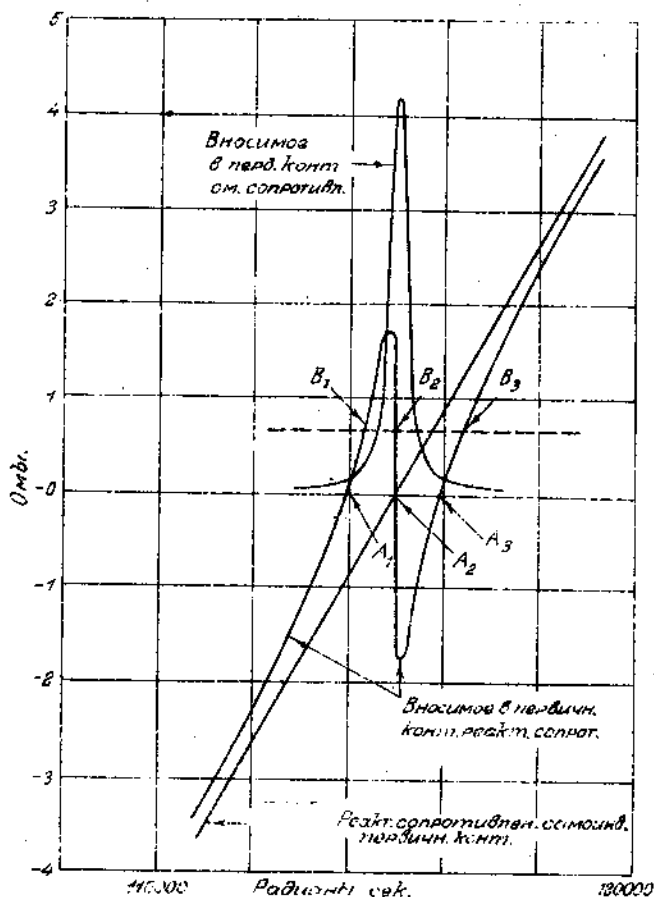
$$M_c^2 = \frac{4L_2^2 (\Delta\omega)^2 + R_2^2}{R_2^2} M_r^2 \quad \dots \quad (9)$$

Выражение для соковых частот может быть написано в виде:

$$(\Delta\omega)^2 = \frac{M_0^2}{4L_1L_2} - \frac{R_2^2}{4L_2^2}$$

Подставивши это значение $(\Delta\omega)^2$ в ур-ие (9), получим

$$M = \sqrt{\frac{R(M_0 - 1)}{R - \frac{L_2}{L_1}}} \dots (10)$$



Фиг. 34. Вносимое в первичный, связанный со вторичным, контур реактивное и омическое сопротивление.

$R_1=0$; $R_2=0,5$ ом; $M_0=1,46$ ом; $L_1=0,000443$ генри; $L_2=0,001430$ генри; $\omega_0=115000$ радиан/сек.

Для приведенного здесь случая эта подстановка дает для M_0 мнимое значение, а это значит, что здесь необходимо применить особые средства для того, чтобы была возможна передача мощности на соковых частотах.

Критерии двуволнистости и вытекающие из него ограничения для передачи энергии могут быть выражены в более удобной форме, чем соотношением:

$$M_0 \leq R_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

Когда оба контура настроены одинаково, то $X_1 = X_2 = 0$ и энергия передается из одного контура в другой с коэффициентом мощности, равным единице. Пользуясь равенством:

$$I_2 = \frac{E_m}{R_2} = \frac{I_1 M_0}{R_2} = I_1 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

получаем $I_1^2 \omega L_1$ первичных вольт-ампер. Предполагается, что ваттная составляющая не влияет заметным образом на величину полной мощности. Вторичных вольт-ампер имеем:

$$I_2^2 \omega L_2 = I_1^2 \frac{L_1}{L_2} \omega L_2 = I_1^2 \omega L_1 \dots \dots \dots (11)$$

Это значит, что если число вторичных вольт-ампер равно или меньше первичных, то в контуре будут колебания только одной длины волны. Если бы при той же частоте число вторичных вольт-ампер было больше первичных, то контур был бы трех-волнистый.

Наибольшая мощность, которую можно получить во вторичном связанном контуре при одной длине волны, равна:

$$\frac{E_m^2}{R_2} = \frac{(I_1 M_0)^2}{R_2} = \frac{I_1^2 R_2^2 \frac{L_1}{L_2}}{R_2} = I_1^2 R_2 \frac{L_1}{L_2}$$

Расходуемая в первичном контуре мощность равна $I_1^2 R_1$. К.П.Д. равен:

$$\frac{I_1^2 R_2 \frac{L_1}{L_2}}{I_1^2 R_1 + I_1^2 R_2 \frac{L_1}{L_2}} = \frac{R_2 L_1}{R_1 L_2 + R_2 L_1}$$

после перестановки получаем:

$$\text{К.П.Д.} = \frac{\frac{R_2}{\omega L_2}}{\frac{R_2}{\omega L_2} + \frac{R_1}{\omega L_1}} \dots \dots \dots (12)$$

Это выражение означает, что для случая равенства первичных и вторичных вольт-ампер К.П.Д. равен отношению коэффициента мощности вторичного контура к сумме коэффициентов мощности первичного и вторичного контуров.

Как будет показано ниже, приведенный выше аргумент не исключает возможности практической работы с многоволновыми контурами.

СВЯЗЬ СЕТКИ С ПЕРВИЧНЫМ КОНТУРОМ.

Нами было показано, что, в случае связанных контуров, из которых один возбуждается термодонной лампой, накладывается критическое условие, определяемое равенством первичных и вторичных вольт-ампер. Если в возбуждающем контуре вольт-ампер больше, то система будет колебаться только с одной частотой. Если же окажется больше вторичных вольт-ампер, то возможны колебания двух различных частот. В целях улучшения К.П.Д. и экономии в аппаратуре нежелательно, чтобы в контуре лампы было столько же вольт-ампер, сколько и в антенне, так что двуволновые контуры следует применять.

Если лампа связана с первичным контуром, то колебания будут происходить с теми частотами, для которых х'

равно нулю при разности фаз между анодным и сеточным напряжениями 180° , и близко от нуля, если разность фаз не точно равна 180° , т.е.

$$X_1 = -\frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} X_2$$

(ур-ие 5). Это ур-ие легче всего решить графически и, если $M\omega > R_2 \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$, то оно может иметь три корня, два из которых представляют собой точки устойчивой работы. Фиг. 35 дает общий характер кривых X_1 и $\frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} X_2$. Там же нанесены соответствующие значения $\frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} R_2$.

Т.к. R_2 постоянно, то изменение первичного кажущегося сопротивления, зависящее от R_2 , дает изменение вторичного тока. Чем выше это кажущееся сопротивление, тем больше вторичный или антенный ток. Здесь приводится также кривая изменения X_1' , на которой отмечены частоты f_0 , f_1 и f_2 , соответствующие $X_1' = 0$.

Из следующих рассуждений можно увидеть, что в точке f_0 колебания неустойчивы. Предположим, что частота стала немного больше f_0 , тогда вносимое в первичный контур сопротивление станет емкостным. Эта эквивалентная емкость последовательно с C_1 даст результирующую емкость, меньшую чем C_1 . Точка резонанса контура передвинется еще выше и частота будет все возрастать. С другой стороны, если частота в точке f_0 мгновенно понизится, то вносимое в первичный контур сопротивление будет индуктивным. Эквивалентная самоиндукция, сложившись с L_1 , еще больше повысит точку резонанса контура. Отсюда следует, что в точке f_0 частота всегда стремится от нее отдалиться в направлении первоначального импульса. Подобные рассуждения покажут, что точки f_1 и f_2 устойчивы.

Из чертежа видно, что устойчивые частоты лежат по обе стороны области, заключенной между двумя миниму-

$$X_2' = \frac{M^2 \omega^2 (L_2 \omega - \frac{1}{C_2 \omega})}{R_2^2 + (L_2 \omega - \frac{1}{C_2 \omega})^2} \dots \dots \dots (13)$$

Дифференцируя, получим:

$$\frac{dX_2'}{d\omega} = \frac{d}{d\omega} \left[\frac{M^2 \omega^2 (L_2 \omega - \frac{1}{C_2 \omega})}{R_2^2 + (L_2 \omega - \frac{1}{C_2 \omega})^2} \right] = 0 \dots \dots \dots (14)$$

Решение ур-ня (14) несколько сложно, но для обычно встречающихся условий может быть сильно упрощено. В контуре с достаточной эффективностью оба максимума будут довольно близки к f_0 , так, что взаимдукция в омах можно считать постоянной, т.е.

$$M\omega = M_0 \omega \dots \dots \dots (15)$$

Для такой узкой области, при данном изменении частоты изменение емкостного сопротивления равно изменению индуктивного сопротивления, и их можно заменить одно другим, т.е.

$$L_2 \omega_0 = \frac{1}{\omega \omega'} = \frac{1}{\omega (\omega_0 + \omega')} \dots \dots \dots (16)$$

где $\omega_0 + \omega' = \omega$, так что ω_0 представляет собой отклонение от рассматриваемой частоты. Ур-ие (14) может быть переписано в виде:

$$\frac{dX_2'}{d\omega_0} = \frac{d}{d\omega_0} \left[\frac{2M_0 L_2 \omega_0}{R_2^2 + (2L_2 \omega_0^2)} \right] = 0 \dots \dots \dots (17)$$

Опуская в числителе постоянные коэффициенты $2M_0 L_2$, получаем:

$$(R_2^2 + 4L_2^2 \omega_0^2)^{-1} - 8L_2^2 \omega_0^2 (R_2^2 + 4L_2^2 \omega_0^2)^{-2} = 0 \dots \dots \dots (18)$$

$$R_2^2 = 4L_2^2 \omega_0^2 \dots \dots \dots (19)$$

$$R_1 = 2L_2 \omega_0 \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$\omega_0 = \frac{R_1}{2L_2} \quad \dots \dots \dots (21)$$

Для того, чтобы расширить область устойчивой работы, следует взять несколько большее значение ω_0 , скажем

$$\omega_0 = 3R_1/4L_2 \quad \dots \dots \dots (22)$$

или

$$X_2 = 2L_2 \omega_0 = 1,5R_1 \quad \dots \dots \dots (23)$$

Обращаясь снова к (3), имеем:

$$R_1' = R_1 + \frac{M^2 \omega^2}{Z_2^2} R_2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

R_2 - сопротивление вторичного или антенного контура.
 R_1 - сопротивление первичного или питающего контура. Значение первичного тока выбрано наиболее выгодное в смысле работы генератора, т.е. наименьшее возможное. Следовательно потери в первичном контуре известны, и

$$R_1' = \frac{\text{потери в перв. конт.} + \text{потери в антенне}}{(\text{первичный ток})^2} \quad (24)$$

Таким образом, зная, что ω требуемая частота, мы можем сразу получить решение для $M\omega$ и M , а зная $M^2\omega^2$, мы можем из ур-ния (4) найти L_1 , и таким образом нам известны все величины.

Для многократной антенны, связанной только одной из самоиндукций, участвующих в настройке, точное решение оказывается совсем сложным. Однако, в обычных условиях передаваемая из одного контура в другой безымянная мощность достаточно мала для того, чтобы не влиять на распределение тока между различными самоиндукциями. При выполнении этого условия, полученное выше значение для связи умножается просто на отношение всего тока к току в этой части, которая связана с первичным контуром.

РАБОТА ГЕНЕРАТОРА С СВЯЗАННЫМ ДВУВОЛНИСТЫМ КОНТУРОМ.

Из фиг. 35 видно, что если контур настроен на хорошую отдачу для одной из стабильных частот, то для другой как вносимое в первичный контур реактивное сопротивление так и вторичный ток очень малы.

Если генератор приводится в действие включением постоянного напряжения, то при этом колебания, естественно возникающие при той частоте, для которой сопротивление имеет наименьшее значение, а это, как мы видели, влечет за собой малый вторичный ток. Колебания, возникшие с правильной частотой, устойчивы, если они только не встречают серьезных помех; и не изменяются от сильного уменьшения амплитуды и возвращения ее до прежней величины.

Однако, если накладывается изменение частоты от нагрузки, зависящее от способа присоединения контура к лампе, то устойчивость может мгновенно нарушиться и частота будет непрерывно изменяться. Необходимо, во всяком случае, принять меры к тому, чтобы колебания возникали с правильной частотой.

Предположим, что в присоединенном к лампе контуре Гартлей'я возбуждаются колебания частоты f_2' и что имеет место небольшое понижение частоты. Кажущееся сопротивление при этом возрастает и частота будет понижаться все больше и больше. Отсюда следует, что для случая связанных контуров, каждый из которых настроен на частоту ниже частоты колебаний, схема Гартлей'я не дает устойчивости.

Если, с другой стороны, контура настроены на частоту выше f_1' , то в возбуждающем контуре по схеме Гартлей'я это повышение частоты вызовет повышение кажущегося сопротивления, что заставит возбуждающийся контур понизить свою частоту, так что здесь осуществляются условия стабильности.

При возбуждающем контуре по схеме Колпитт'а условия

прямо противоположны, и стабильность получается тогда, когда оба контура настроены на частоту ниже требуемой.

Причина, почему в контурах Гартлей'я и Колпитт'я наблюдается тенденция к изменению частоты, объясняется тем, что если, по какой-либо причине, фаза сетки изменилась, то лампы начинают пропускать безваттный ток и работа связанных контуров уже не соответствует оси нулевого реактивного сопротивления (см. главу 3).

Очевидно, что если относительная настройка контуров изменилась соответственно точке X''' на оси X , то колебания возможны только с одной частотой f_2''' , для которой безваттная мощность равна нулю. Для этой частоты вносимое во вторичный контур сопротивление и, следовательно, и вторичный ток очень малы. Как только колебания возникли, можно изменением настройки передвинуть ось в точку X'' . Во все время этой перестройки колебания сохраняют стабильность и устанавливаются при частоте f_2'' , при которой вторичный ток велик. Этим можно воспользоваться, как одним из методов для возбуждения колебаний с выгодной частотой в тесно связанном контуре. Однако, нужно заметить, что для целей сигнализации пользование этим методом нежелательно, т.к., хотя вторичный ток устойчив в широких пределах, волна при покое отличается от передающей, по частоте, и здесь возможна интерференция.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА СЕТКУ ПРИ ПОМОЩИ КЛЮЧА.

Уже раньше было указано, что можно, не нарушая настройки и устойчивости колебаний, сильно понизить полезную мощность уменьшением амплитуды колебаний. Таким образом, можно осуществить сигнализацию уменьшением мощности колебаний, причем минимальные колебания могут поддерживаться либо главным питающим контуром лампы, либо посторонним источником.

Полезно изучить некоторые возможные способы выполнения такой сигнализации. Раньше было замечено, что уве

личением сопротивления грид-лики можно повысить амплитуду колебаний. Без детального рассмотрения колебательных характеристик лампы при этих условиях, очевидно, что колебания будут поддерживаться, т.к. они возникают при отсутствии заряда на сетке и, следовательно, сопротивление сетки не существенно.

Амплитуда колебаний будет мала, т.к. анодный ток, до известной степени, пропорционален сеточному, а последний мал вследствие большого сопротивления грид-лики. Т.к. амплитуда колебаний мала, то смещающее напряжение также должно быть мало, иначе никакого сеточного тока для поддержания этого смещения не будет. Потери в лампе могут быть определены приближенно для предельного случая, когда колебаний нет совсем. Для этого случая анодное напряжение равно приложенному постоянному напряжению, а потенциал сетки равен потенциалу земли. Это условие исключает все лампы с низким кажущимся сопротивлением, т.к. они при полном анодном напряжении и заземленной сетке быстро разрушаются. По всей вероятности не существует высоковольтных генераторных ламп, которые могли бы в течение значительного времени выдерживать полное анодное напряжение при заземленной сетке.

Казалось бы, что должно быть возможно уменьшение амплитуды колебаний с помощью постороннего смещающего напряжения. Это встречает возражения, т.к. в контуре с посторонним смещающим напряжением не будет самовозбуждения и, кроме того, вследствие малого изменения приложенного напряжения, колебания, уже возникшие, могут при сильном уменьшении их амплитуд прекратиться совсем.

СИГНАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА.

Преимуществом дополнительного источника колебаний является возможность использовать его, как для возбуждения колебаний, так и для работы ключом, причем когда

ключ замкнут, главный мощный источник полностью выключен. Если дополнительным источником является ламповый генератор, то он должен иметь свой отдельный колебательный контур. Этот контур настроен на требуемую частоту и связан с главным контуром слабо по двум причинам. Во-первых, слабая связь необходима для того, чтобы колебания возбуждались только с одной частотой. Во-вторых, когда работает главный генератор, то он может при сильной связи возбудить в вспомогательном контуре очень сильные токи вызвать в нем повреждения. Связь между генераторами можно так подобрать, что когда придет в действие главный генератор, он будет возвращать контуру вспомогательного генератора лишь столько энергии, чтобы разгрузить его лампу. Посмотрим, какие для этого требуются условия.

- Пусть
- I_a - ток в вспомогательном контуре, когда он служит для возбуждения колебаний.
 - I_z - соответствующий ток в части главного контура, связанного с вспомогательным
 - I'_a - ток в вспомогательном контуре, когда он возбуждается главным контуром.
 - I'_z - соответствующая амплитуда тока в части главного контура, связанной с вспомогательным контуром.
 - Z_a - кажущееся сопротивление вспомогательного контура.
 - Z_z - кажущееся сопротивление главного контура, выраженное через данные части его, связанной с вспомогательным контуром.
 - Z'_a, Z'_z - соответствующие вносимые в контура кажущиеся сопротивления.
 - M_a - взаимная индукция между главным и вспомогательным контурами

клич замкнут, главный мощный источник полностью выключен. Если дополнительным источником является ламповый генератор, то он должен иметь свой отдельный колебательный контур. Этот контур настроен на требуемую частоту и связан с главным контуром слабо по двум причинам. Во-первых, слабая связь необходима для того, чтобы колебания возбуждались только с одной частотой. Во-вторых, когда работает главный генератор, то он может при сильной связи возбудить в вспомогательном контуре очень сильные токи и вызвать в нем повреждения. Связь между генераторами можно так подобрать, что когда придет в действие главный генератор, он будет возвращать контуру вспомогательного генератора лишь столько энергии, чтобы разгрузить его лампу. Посмотрим, какие для этого требуются условия.

- Пусть
- I_a - ток в вспомогательном контуре, когда он служит для возбуждения колебаний.
 - I_z - соответствующий ток в части главного контура, связанного с вспомогательным
 - I'_a - ток в вспомогательном контуре, когда он возбуждается главным контуром.
 - I'_z - соответствующая амплитуда тока в части главного контура, связанной с вспомогательным контуром.
 - Z_a - кажущееся сопротивление вспомогательного контура.
 - Z_z - кажущееся сопротивление главного контура, выраженное через данные части его, связанной с вспомогательным контуром.
 - Z'_a, Z'_z - соответствующие вносимые в контура кажущиеся сопротивления.
 - M_a - взаимная индукция между главным и вспомогательным контурами

Риерге дает для независимого возбуждения (стр.160, стр-ия 31 и 32)

$$I_a = \frac{E}{Z_a} \dots \dots \dots (25)$$

$$I_0 = \frac{M_a \omega E}{Z_b Z_a'} \dots \dots \dots (26)$$

Разделив (25) на (26), получим:

$$\frac{I_a}{I_b} = \frac{Z_b}{M_a \omega}; \quad I_a = \frac{I_b Z_b}{M_a \omega} \dots \dots \dots (27)$$

Когда возбуждающим контуром является главный, то

$$I_b' = \frac{E}{Z_b'} \dots \dots \dots (28)$$

$$I_a' = \frac{M_a \omega E}{Z_a Z_b'} \dots \dots \dots (29)$$

Разделив (28) на (29), получим:

$$\frac{I_b'}{I_a'} = \frac{Z_a}{M_a \omega} \dots \dots \dots (30)$$

Т.к. мы хотим, чтобы $I_a = I_a'$, то

$$I_a = \frac{I_b' M_a \omega}{Z_a} \dots \dots \dots (31)$$

Желательно, чтоб вспомогательный контур возбуждал в главном колебания только одной частоты. Для этого необходимо, чтобы

$$M_a \omega < R_b \sqrt{\frac{L_a}{L_b}} \dots \dots \dots (32)$$

При выполнении этих условий, возможны колебания с частотой резонанса обоих контуров, так что:

$$Z_a = R_a; \quad Z_b = R_b \dots \dots \dots (33)$$

Из ур-ий (27), (31) и (33) имеем, что:

$$\frac{I_b R_b}{M_a \omega} = \frac{I_b' M_a \omega}{R_a} \dots \dots \dots (34)$$

$$M_a \omega = \sqrt{\frac{I_1 R_1 R_2}{I_1'}} \dots \dots \dots (35)$$

Последнее ур-ие при введении в него условий (32), дает связь между главным и вспомогательным контуром, при которой ток в главном контуре может изменяться от I_1 до I_1' только разгружая лампу, питающую вспомогательный контур, в предположении, что настройка изменяется. В действительности ток в вспомогательном контуре слегка увеличится, но не настолько сильно, чтобы повредить включенные в него приборы.

Мощность, рассеиваемая вспомогательным генератором, равна сумме $I^2 R$ обоих контуров и легко вычисляется из данных здесь соотношений. Надежных критериев для проверки минимального значения I_1 нет. Его значение должно быть достаточно велико для того, чтобы обеспечить сноровое и надежное возбуждение колесаний правильной частоты.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНОДНОГО ТОКА ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ.

Для телеграфных передатчиков средней мощности, скажем, от 5 до 10 квт. было бы желательно найти метод, позволяющий поддерживать устойчивые колебания малой амплитуды без больших потерь. Помня об этом, рассмотрим, какое оказывает влияние сопротивление, шунтированное конденсатором, включенное между концом нити и землей. Такое сопротивление создаст смещающее напряжение, пропорциональное анодному току, т.е. потенциал нити будет выше потенциала земли на $I_a R$. При соответствующих условиях это должно дать как устойчивость, так и самовозбуждение.

Для того, чтобы определить, какие для этого требуются условия, рассмотрим 20 квт-ную лампу с водяным охлаждением типа UV-207, пользуясь х-ками фиг. 36. Для отрицательных напряжений на сетку можно с достаточной степенью точности определять анодный ток по формуле:

$$i = 0,29 \times 10^{-3} (E_g + \frac{1}{\mu} E_r)^{3/2}$$

где $0,29 \cdot 10^{-3}$ - константа, полученная из целого ряда х-к. м-оксид 35. В колебательном контуре как сеточное, так и анодное напряжение имеют по две составляющих - переменную и постоянную. Переменные составляющие пропорциональны между собой и соотношение между ними зависит от связи между контурами. Если ΔE_g и ΔE_r обозначают переменные составляющие, то

$$\begin{aligned} i + \Delta i &= 0,29 \times 10^{-3} \left[E_g + \frac{1}{\mu} E_r - \Delta E_g + \frac{1}{\mu} \Delta E_r \right]^{3/2} \\ &= 0,29 \times 10^{-3} \left[E_g + \frac{1}{\mu} E_r - (C - \frac{1}{\mu}) \Delta E_r \right]^{3/2} \end{aligned}$$

Для нашей цели C определяется полной нагрузкой и равно 0,25. E_r - приложенное постоянное напряжение и равно 15000 в., поэтому

$$i + \Delta i = 0,29 \times 10^{-3} \left[E_g + \frac{15000}{35} - (0,25 - \frac{1}{35}) \Delta E_r \right]^{3/2}$$

Т.к. $\frac{\Delta E_r}{\Delta i} = r_0$ эквивалентному сопротивлению лампы,

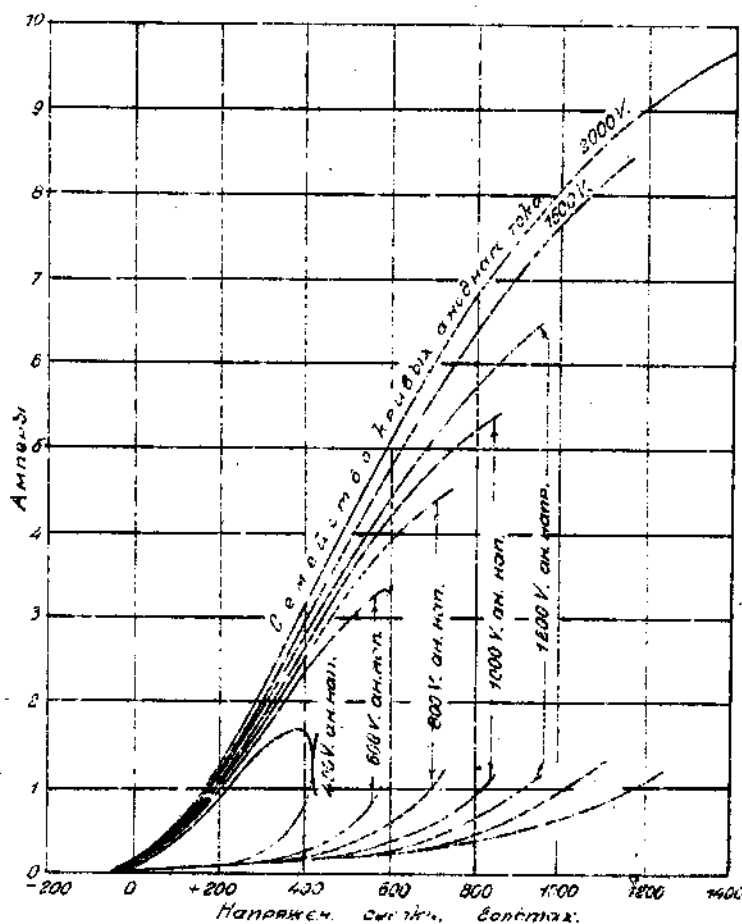
которое, очевидно, отрицательно, то колебания возникнут, если $r_0 < r$ - эквивалентного параллельного сопротивления нагрузки. Можно начертить схему эквивалентного контура (фиг. 37). „ r “ - сопротивление, которое, будучи присоединено к чистой емкости C и самоиндукции L , даст кажущееся сопротивление контура. Через L и C идет некоторый ток, который создает напряжение на концах r и r_0 . Мощность, поглощаемая „ r “, равна:

$$W_r = \frac{E^2}{r}$$

Мощность, отдаваемая „ r_0 “, равна:

$$W_{r_0} = \frac{E^2}{r_0}$$

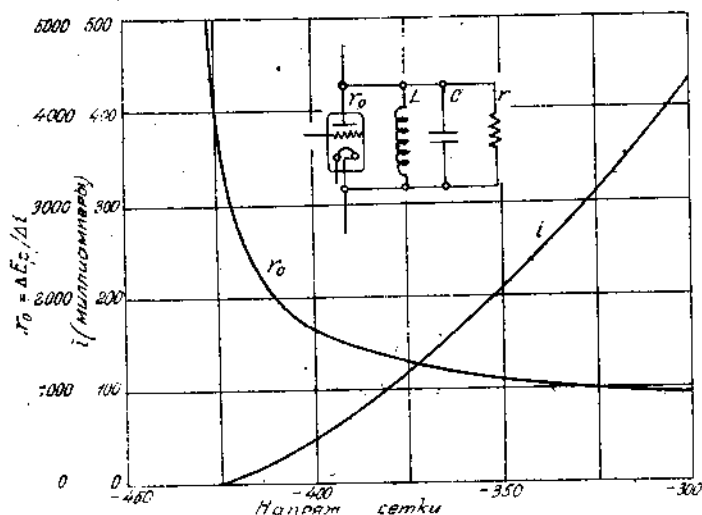
Поэтому, если r меньше, то имеется излишек энергии, который накапливается в L и C . Давая E_c ряд значений, можно получить соответствующие значения $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ и



Фиг. 36 У.и. Ралистрона с водяным охлаждением N109 для тока накала 52 амп. Снять с помощью осциллографа.

по ним построить кривую, наклон которой является мерой отрицательного сопротивления. Фиг.37 дает кривую, полученную таким путем. Т.к. нормальная нагрузка соответствует 3500 ом, то устойчивые колебания малой амплитуды должны получаться при токе несколько большем 0,005

амп., что дает полезную мощность в 75 ватт. Точность приводимого здесь ур-ия для анодного тока едва ли достаточна для того, чтобы доказать, что колебания такой амплитуды будут поддерживаться. Однако, очевидно, что



Фиг. 37. Отрицательное сопротивление Радиотрона UV-207.

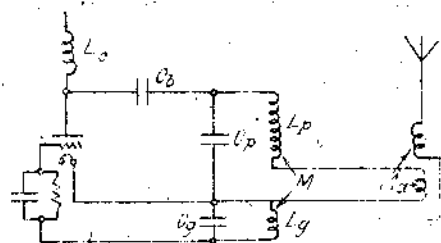
помощью смещающего напряжения можно получить колебания малой амплитуды с малыми потерями.

Для того, чтобы получить ток в 0,005 амп., необходимо иметь смещающее напряжение в 425в. или сопротивление между нитью и землей в 85000 ом.

ИСКЛЮЧЕНИЕ ОДНОЙ ЧАСТОТЫ ИЗМЕНЕНИЕМ ЧАСТ. СЕТКИ.

Если связь такова, что возможны колебания двух разных частот, которые можно легко разделить, то одну из них можно исключить перестройкой контура. Это можно сделать следующим образом (фиг.38): сеточный контур индуктивно связан с первичным или анодным контуром и настроен в резонанс на частоту между рабочими точками одного связанного контура. Для более низкой частоты

(фиг.39-А), требуемое для колебаний соотношение фаз, правильное. Вектора, соответствующие частоте резонанса сеточного контура, показаны на фиг.39-В. Анодное и сеточное напряжения взаимно перпендикулярны и колебания поддерживаться не будут. Фиг. 39-С показывает векторную диаграмму для второй частоты резонанса главного контура. Здесь сеточное возбуждение активно противодействует возникновению колебаний этой частоты.



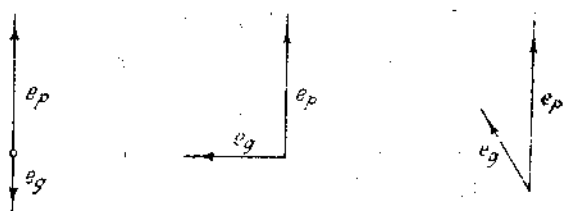
Фиг. 38. Схема, применяемая для исключения одной частоты изменением фазы сетки.

В такой схеме, несмотря на двуволинность главного контура, возникновение колебаний нежелательной частоты встречает противодействие. Необходимо, чтобы связь сетки с анодом была достаточно слабой для того, чтобы не могли появиться новые нежелательные точки резонанса.

РАБОТА ОДНОВРЕМЕННО С ДВУМЯ ЧАСТОТАМИ.

Предыдущие рассуждения об изменении амплитуды в связанных контурах являются неполными в одном, очень важном, отношении. Трех-электродная лампа существенно не

ограничивается колебаниями одной частоты. Наоборот, в ненасыщенном состоянии она может поддерживать одновременно колебания большого количества частот. Этому можно воспрепятствовать,



фиг. 39-А, 39-В, 39-С. Соотно-главным образом, смещение между анодным и сеточным напряжением в контуре фиг.38.

чением сетки. Если смещающее напряжение подобрано таким образом, что все токи прерываются в течение значительной части периода, то преобладающее колебание будет поддерживаться соответствующей синхронизацией толчков тока. Все колебания другой частоты с самого начала прекращаются в течение той части периода, когда тока нет, и не могут, таким образом, стать первенствующими.

Перестройка контура, колеблющегося устойчиво с одной частотой и малой амплитудой, с целью увеличить полезную мощность, может сделать смещающее напряжение не достаточным для того, чтобы воспрепятствовать возникновению других колебаний. Если при этом будет поглощаться мало энергии, то колебания, раз возникшие, могут даже заглушить колебания полезной частоты. Вероятность этого является ф-ией от изменения амплитуды от времени. Никакого количественного определения этой ф-ии пока еще не удалось получить.

П р и л о ж е н и е к Г л а в е 5.

РАСЧЕТ ПЕРВИЧНОГО КОНТУРА, СВЯЗАННОГО С СЕТКОЙ.

Расчитываемый контур показан на фиг. 38; в нем одна частота исключена тем, что для нее фаза сеточного напряжения неправильна. Генератор должен дать мощность в 200 кВт. при длине волны в 16400 мтр. и состоит из 10 ламп, рассчитанных на пост. напр. в 15000в. X-ки антенны даны фиг. 42. X-ки лампы, приведенные на фиг. 40 и 41 для полезной мощности в 25 кВт. дают след. величины:

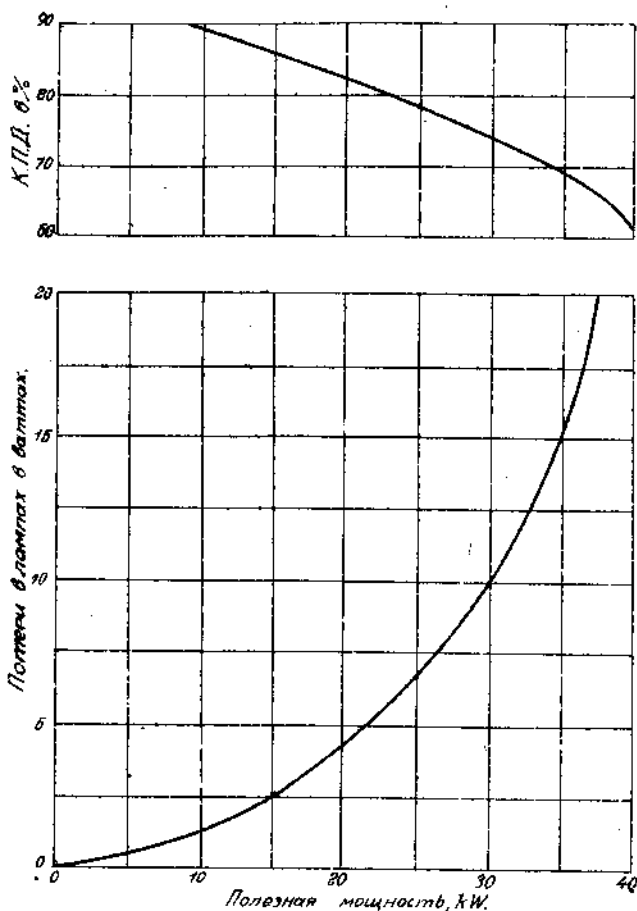
Потери в лампе - 6,6 кВт. на каждую лампу.

Перем. анодное напр. - 9400в.

Перем. сеточн. напр. - 2350в.

Методом, указанным в главе I, было вычислено, что

потери в цепи сетки составляет 8% от потерь в цепи анода. Для того, чтобы оделать допуск на потери в первичном контуре и другие, для мощности каждой лампы взято



Иг. 40. Вычисленные К.Д.Д. и потери Радио-
трона N109 с водяным охлаждением в наивыгодней-
ших условиях работы для пост. напр. в 15000в.

значение в 25 клвт.

ПЕРВИЧНЫЙ КОНТУР.

Тк. связь с антенной предполагается слабой, то количе-
ство вольт-ампер, которое должно накапливаться в первич-

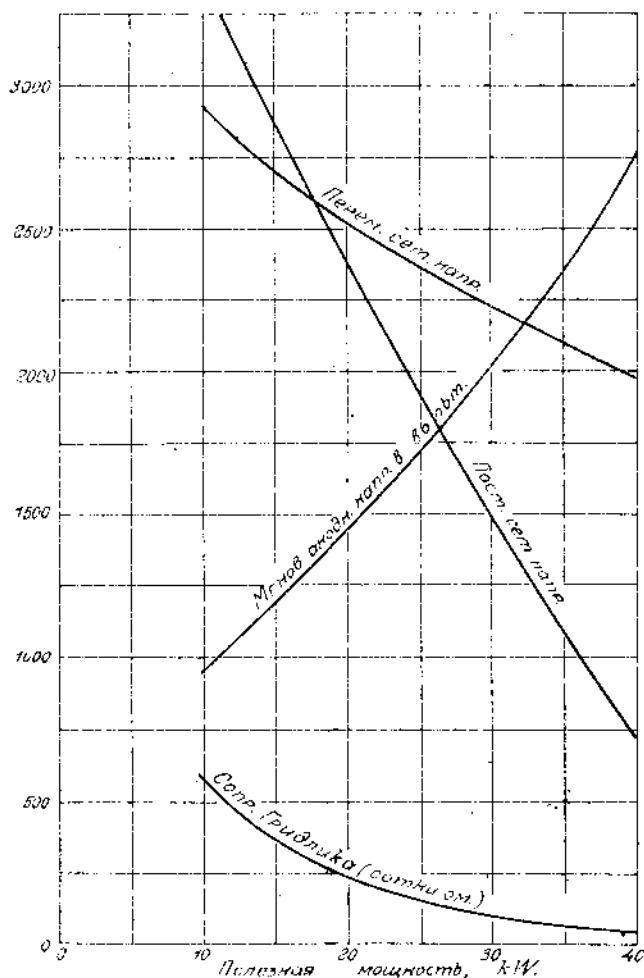
ном контуре, в 49 раз больше ватт, т.е. равно 2510квв. Это дает при переменном анодном напряжении 9400в. для безваттного тока значение в 267 амп., и вносимое антенным или вторичным контуром в первичный омическое сопротивление равно

$$\frac{200000}{267} = 2,81 \text{ ома.}$$

Реактивное сопротивление конденсатора С равно

$$\frac{9400}{267} = 35,2 \text{ омам.}$$

Вносимое вторичным контуром реактивное сопротивление в сумме с первичным сопротивлением должно равняться этой величине.



Инг. 41. Вычисленные наивыгоднейшие условия работы Радиотрона с водяным охлаждением N102 для пост. напр. в 15000в.

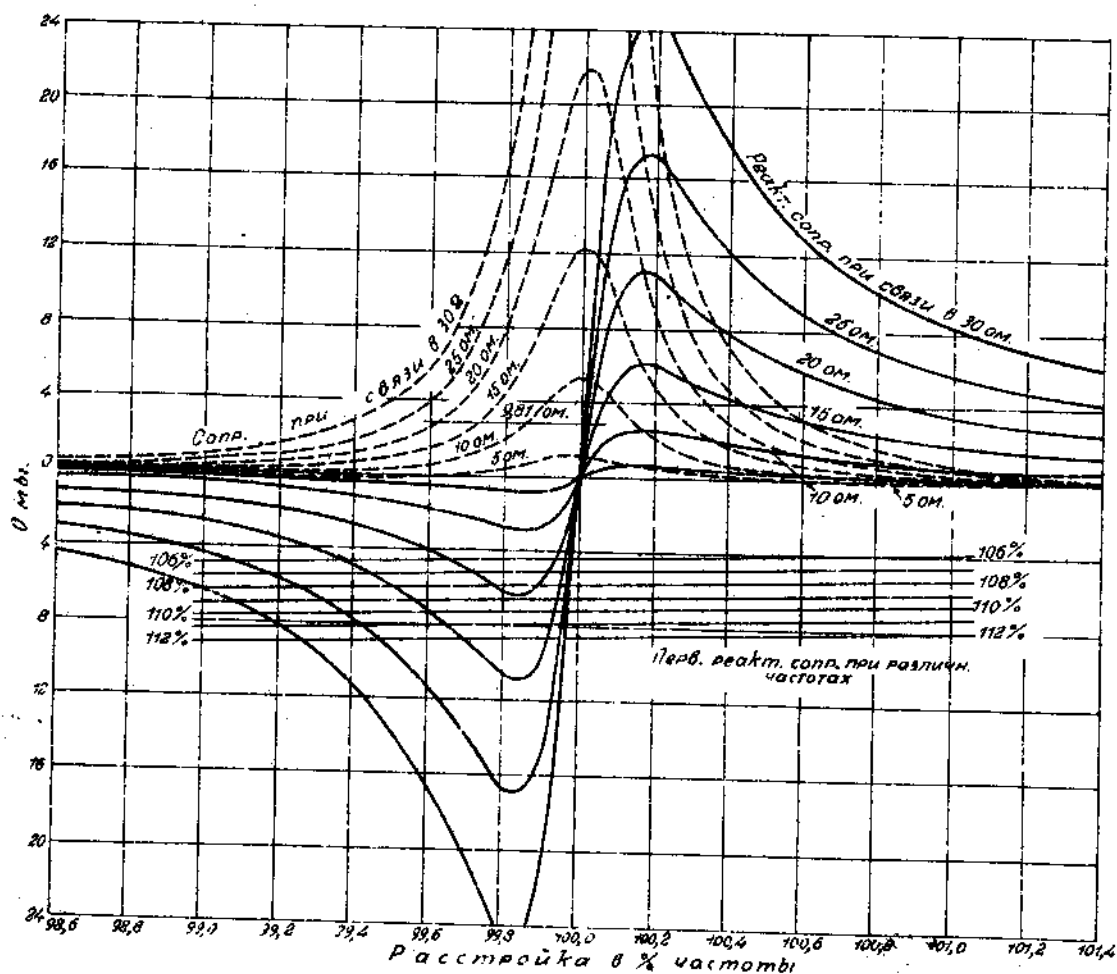
АНТЕННЫЙ КОНТУР.

Фиг. 42 дает х-ки антенны. Там же нанесена зависимость первичного реактивного сопротивления от расстройки первичного контура. Антенный контур наверное двуволнистый, т.к. антенный ток $= \sqrt{\frac{20.000}{4,5}} = 633$ амп., что дает $633 \times 164,2 = 65600$ ква., а это значительно больше 2510 ква. первичного контура. Как видно из чертежа, наименьшая связь, при которой эффективное сопротивление первичного контура равно 2,81 омам, заключается между 5 и 10 омами, но т.к. контур двуволнистый, то необходимо взять большую связь, для того чтобы можно было разделить обе частоты настолько, чтобы дать возможность контуру сетки исключить нежелательную частоту. Мы возьмем связь в 20 ом. Фиг. 42 дает для вносимого в первичный контур омического сопротивления значение 2,81 ома при 99,61% требуемой частоты. Этому соответствует вносимое антенной в первичный контур реактивное сопротивление в 7,25 ома при расстройке первичного контура в 10%. Индуктивное сопротивление первичного контура должно быть равно $35,2 - 7,25 = 27,95$ омам. Вторая точка резонанса определяется пересечением продолженных вправо кривых первичного реактивного сопротивления и вносимого в контур реактивного сопротивления при связи в 20 ом. Это имеет место немного дальше 110% требуемой частоты и эта частота должна быть исключена действием сеточного контура. Сеточный контур должен быть настроен на частоту, равную 109% требуемой, и тогда точка, соответствующая 110% требуемой частоты будет исключена.

КОНТУР СЕТКИ.

Фиг. 43 представляет собой векторную диаграмму, с помощью которой может быть вычислено возбуждение сетки. Если колебания возникают при напряжении первичного контура E_{cp} , то полное падение напряжения в L_p равно E_{cp}

и может быть разложено на две составляющие - $I_L X_L$ - напряжение самоиндукции и $I_L X_M$ - возбуждаемое антенной. Нап



Фиг. 42. Характеристики Сольшой многократной антенны. Числа на кривых обозначают связь в омах при частоте, равной 100% требуемой (18300 пер./сек.). Емкость антенны равна 0,053 мкд. (сопротивление при 100% частоты равно 164, омам.) связь ваята с одной из шести катушек настройки. Сопротивление антенны - 0,5 ома. Емкостное сопротивление первичного конденсатора при 100% частоты - 35,2 омам. Следует заметить, что кривые реакт. сопр. самого контура и вносимого антенной, нанесены в противоположных направлениях, т. е. их пересечение дает нулевой реакт. сопрот.

Что касается контура сетки, то напряжение $E_{сг}$ должно отличаться по фазе от напряжения E_r на 180° , разность фаз между $I_{L_r} X_m$ и I_{L_r} равна 90° . Падение напряжения в катушке сетки, создаваемое сеточным током, равно $I_{L_g} X_{L_g}$ и отличается по фазе от напряжения, возбуждаемого сеточным контуром в первичном, на 180° . Это напряжение $I_{L_g} X_{L_g}$ настолько мало, что им при расчетах можно пренебречь, а при окончательной настройке оно автоматически учтется. Угол „а“ получается из отношения вносимых в первичный контур омического и реактивного сопротивлений, когда он связан с антенной:

$$a = \operatorname{tg}^{-1} \frac{2,81}{35,2} = \operatorname{tg}^{-1} 0,0798 = 4^\circ 35'$$

Эквивалентное параллельное сопротивление первичного колебательного контура может быть вычислено из мощности и напряжения:

$$R = \frac{9400^2}{200000} = 442 \text{ омам.}$$

Если взять анодный блокировочный конденсатор емкостью 0,2 мфд., то его сопротивление равно 43,5 омам и

$$b = \operatorname{tg}^{-1} \frac{43,5}{442} = \operatorname{tg}^{-1} 0,0985 = 5^\circ 40'$$

Если контур сетки настроен на частоту, равную 109% требуемой, то для возбуждения колебаний частоты, равной 100% требуемой, не окажется составляющей сеточного напряжения правильной фазы. Предположив, что контур сетки настроен на частоту, равную 109% требуемой, и зная, что $E_{сг}$ равно 350 в., можно с помощью тригонометрии вычислить вектора диаграммы напряжений сеточного контура. (фиг. 40) Угол в начале координат равен $a+b = 10^\circ 15'$; $I_{L_g} X_{L_g} = E_{сг} \times 1/1,09^2 = 1980 \text{ в.}$

Зная две стороны и угол треугольника, мы можем вычислить и третью сторону, которая равна 369 в., и угол $C = 1^\circ 55'$. Таким образом, нам полностью известна диаграмма

пряжений, несмотря на то, что мы не знаем ни токов, ни сопротивлений.

В этом контуре питания является напряжение $I_{Lp} X_M$. Оно перпендикулярно к $I_{Lq} X_{Lq}$. Коэффициент мощности равен

$$\sin \alpha = \sin (a+b+c) = \sin 12^\circ 10' = 0,211$$

Полная мощность сеточного контура равна

$$W_g = 10 \times 6600 \times 0,08 = 5280 \text{ ватт. и отсюда}$$

$$I_{Lq} = \frac{5280}{369 \times 0,211} = 67,8 \text{ амп.}$$

Это дает для безваттной мощности значение - 159000 вольт-ампер, которая не может повлиять чувствительным образом на первичный контур с безваттной мощностью в 10000 вольт-ампер. Длина вектора $I_{Lq} X_M$ задается

$$I_{Lq} X_M = I_{Lp} X_M - \frac{I_{Lq}}{I_{Lp}} = 369 \cdot \frac{67,8}{267} = 94 \text{ в.}$$

Это, конечно, совсем незначительная величина и, как было указано, компенсируется при окончательной настройке контура.

Нужно заметить, что количество вольт-ампер сеточного контура гораздо больше, чем нужно. Для уменьшения это возможны два метода. Во-первых, можно увеличить $I_{Lp} X_M$. Это повлечет за собой дальнейшее удаление частоты сеточного контура от рабочей, что, в свою очередь, потребует ослабления связи между питанием и антенным контуром, для того чтобы обеспечить себя от возникновения колебаний желательной частоты. Во-вторых, может быть увеличен коэффициент мощности передаваемой в сеточный контур энергии. Это требует увеличения угла $(a+b)$. Значение „а“ фиксировано выбором первичных вольт-ампер и эквивалентным сопротивлением антенны, а „b“ может быть увеличено увеличением емкостного сопротивления блокировочного анодного конденсатора. Первый способ может встретить возра-

жения, т.к. очень трудно построить катушки связи большой мощности, и взаимная индукция должна быть сделана как можно меньше. Кроме того, чем меньше связь, тем меньше гармоник попадет в антенну. Вторым способом также далеко не идеальным, т.к. он может привести к неожиданным осложнениям паразитарного характера. Из всего сказанного здесь следует, что при проектировании такого генератора приходится считаться с тремя факторами: количеством вольт-ампер сеточного контура, связью между первичным и вторичным контурами и сдвигом фазы, вызываемым блокировочным конденсатором.

АНОДНЫЙ КОНТУР.

Емкость блокировочного конденсатора была взята 0,5 мфд., следовательно, сопротивление его равно 43,5 ом. Это дает для угла ϕ значение $5^{\circ}40'$. Ток, подводимый к колебательному контуру, равен $200000/9400 = 21,3$ ампер и находится в фазе с E_{cp} . Для того, чтобы фаза тока была равна фазе E_p , необходимо, чтобы ток через L был

$$I_{L_1} = 21,3 \sin 5^{\circ}40' = 2,1 \text{ ампер.}$$

Т.е. напряжение на концах L равно 9400 в., то ее индуктивное сопротивление должно быть равно 4480 ом.

СВОДКА ВСЕХ ПОСТОЯННЫХ В ТАБЛИЦУ.

Пользуясь предыдущими вычислениями, можно определить значения всех емкостей и самоиндукций и распределить их по таблицам.

Приводимые здесь цифры были приняты без допущения на то, что рабочая частота равна 99,615% частоты антенны вместо 100%. Закладываясь при этом ошибкой меньше той точности, с которой могут быть измерены конденсаторы и катушки, и окончательная настройка должна производиться по волюмеру для каждого контура отдельно.

Раз- вание	Вольты	Амперы	Кажущееся сопротивлен.	Рассчитанн. величины
L_c	9400	2,1	4480	39 миллигенри
C_c			43,5	0,2 микрофарад
C_r	9400	267	35,2	0,247 микрофар.
L_r		267	27,95	243 микрогенри
M	369	267	1,38	12 микрогенри
M_a			20	174 микрогенри
C_g	2350	67,8	34,7	0,251 микрофар.
L_g	1980	67,8	29,2	254 микрогенри

КРАТКИЙ СБОР ВСЕХ КРИТЕРИЕВ.

C_r имеет такое значение, при числе вольт-ампер в 47 раз больше числа ватт через него идет ток, дающий требуемое входное напряжение.

M_a берется в соответствии с фиг. 42 и должна быть достаточно велика для того, чтобы выгодным образом разделить точки резонанса и передать требуемую мощность.

C_g выбирается произвольно. Проверка ее производится по получаемому при этом значению L_c к фазы сетки.

L_r зависит от выбора M_a .

L_c должна поглощать столько же отстающих вольт-ампер, сколько в C_g поглощается опережающих.

Направление векторов напряжений сеточного контура фиксированы, т.к. E_g должно отличаться по фазе от E_r на 180° , а $I_{L_r} X_M$ от I_L на 90° . Если контур должен быть настроен на частоту, равную 109% требуемой, то

$$I_{L_g} X_{L_g} / E_{c_g} = \frac{1}{109^2}$$

Длина E_{c_g} определяется α -кой лампы, а потери в контуре определяют все остальные постоянные.

Г Л А В А 6.

КОНТУР МОЩНОГО УСИЛИТЕЛЯ.

Иногда бывает желательно получить большую излучаемую мощность усилением колебаний малой мощности, отличающихся большим постоянством частоты, при помощи более мощных ламп. Затруднения, с которыми приходится встречаться в этом случае, особенно резко выражены тогда, когда контур нагрузки точно настроен на требуемую частоту. Поэтому полезно изучить работу мощного усилителя в условиях, имеющих место в мощной Трансатлантической антенне.

Фиг. 42 показывает влияние, оказываемое на первичный контур при различных частотах и значениях связи. По имеющимся сведениям, изменение скорости ветра и температуры может вызвать изменение емкости антенны, дающее изменение частоты резонанса на 0,3%.

Предположим вначале, что усилитель связан кондуктивно с антенной (фиг. 44). Для простоты выберем связь в 20 ом, т.к. это есть наибольшая связь, для которой фиг. 42 дает полную кривую. Помещенная ниже таблица дает значения полного кажущегося сопротивления отсيراющего контура при различной расстройке

Расстройка в %	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Ом. сопротивлен.	22,2	20	16	11,5	8,4	6,2	4,7
Реакт. сопротив.	0	6,4	10,3	11,2	11,0	10,1	9,2
Каж. сопротивл.	22,2	21,0	19,0	10,1	12,8	11,9	11,32

Очевидно, что при резонансе кажущееся сопротивление максимально. Т.к. при постоянной эмиссии и сеточном возбуждении ток не может увеличиться при понижении кажущегося сопротивления, то его можно считать постоянным. Тогда полезная мощность равна произведению из квадрата тока на омическое сопротивление. Подводимая мощность остается постоянно:

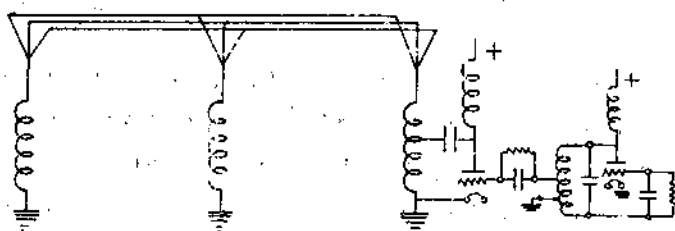


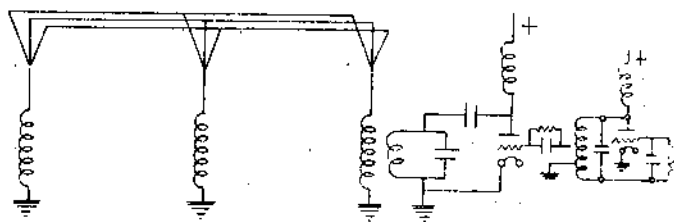
Рис. 44. Контур мощного усилителя, связанный непосредственно с антенной.

Если К.П.Д. при резонансе равен 80%, то подводимая мощность равна $200/0,8 = 250$ кВт. Соответствующие различной расстройке значения К.П.Д. и потерь даны в помещенной ниже таблице.

Расстройка в %	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Сопротивление (эффективное)	22,2	20	16	11,5	8,4	6,2	4,7
Пол. мощн. в кВт.	200	180	144	103,5	75,7	55,8	42,3
Потери в кВт.	50	70	106	146,5	174,3	194,2	207,7
Антен. ток в %	100	95	85	72	61,5	53	46

Из таблицы видно, расстройка частоты в 0,1% удваивает потери и доводит ток до 85% его максимального значения.

нения. Дальнейшая расстройка до 0,3% снова удваивает потери и уменьшает излучение больше чем на 50%. Для принятой нами раньше длины волны 0,1% составляет 18,3 периода в секунду, а 0,3% - 54,9 периода. Сомнительно, что-бы такие малые изменения частоты оправдывали выбор схемы фиг. 44 для нашего случая. Изменение потерь в лампе и антенного тока, несомненно, более важны, чем эти небольшие изменения частоты. Положение несколько изменится при введении промежуточного контура между антенной и лампами. Это показано фиг. 45. И для этого случая значения сопротивлений могут быть взяты из фиг. 42.



Фиг. 45. Контур мощного усилителя, присоединенный к антенне через промежуточный контур.

Жирные кривые представляют собой реактивное, а пунктирные омическое сопротивления, вносимые в контур антенной.

Когда антенна настроена точно в резонанс, то вносимое в контур реактивное сопротивление равно нулю. Вносимое в контур омическое сопротивление, при мощности в антенне в 200 квт., равно 4,25 омам, и полученное интерполяцией значение для связи составляет 8 ом. Мощный усилитель подводит к контуру напряжение, создающее в самоиндукции и емкости первичного контура ток в 217 ампер при этом

$$E_p = 217 \times 51 = 11070 \text{ в.}$$

Количество КВА в конденсаторе = $217^2 \times 51 = 2400$ КВА опереж.

Количество КВА в самоиндукции = $217^2 \times 51 = 2400$ КВА отстаж.

Действительная мощность = $217^2 \times 4,25 = 200$ кВт.

Полная подводимая мощность = 200 кВт.

Кажущееся сопротивление подвод. цепи = $\frac{11070^2}{200000} =$

= 612 ом.

Очевидно, что эта величина сопротивления в омах не зависит от выбора подводимого напряжения в 11070в., а была бы та же при всяком другом напряжении.

Из фиг. 42 видно, что наибольшее реактивное сопротивление вносится антенной при расстройке в 0,15%. Т.к. это находится в пределах наблюдаемых изменений частоты, до 0,3%, то чаще и при меньших мы проходим через эту точку.

При такой расстройке антенна вносит в первичный контур омическое и индуктивное сопротивление в 2 ома (величины эти получены интерполяцией из кривых [фиг. 42]). Эту величину нужно сложить алгебраически с кажущимся сопротивлением индуктивной ветви первичного контура. Ток в этой ветви равен

$$\frac{51}{53} \times 217 = 208,8 \text{ амп.}$$

Количество КВА в конденсаторе = $217^2 \times 51 = 2400$ КВА опереж.

Количество КВА в самоиндукции = $208,8^2 \times 51 = 2310$ КВА отстаж.

Действительная мощность = $208,8^2 \times 4 = 87,2$ кВт.

Результир. безв. мощность = 90 КВА опережающих ватт. мощн. - 87,2, кВт.

Полная мощность равна 125,2 КВА.

$$\text{Накующее сопротивление} = \frac{11070^2}{125200} = 978 \text{ ом.}$$

$$\text{реакт сопрот.} = 704 \text{ омам}$$

Из них:

$$\text{омическ. сопр.} = 682 \text{ омам.}$$

Эти значения также не зависят от выбора анодн. напряжения в 11070 в. К.П.Д. ламп, высванных для получения мощности в антенне в 200 квт. равен 80%, а потери в них на преодоление пространственного заряда составляет около 10%. Для вычислений можно считать метод главы 2 достаточно точным, и из фиг. 14 получаем для угла $2\theta_1 = 125^\circ$.

Основная составляющая тока в контуре отдачи равна

$$\frac{11070}{620} = 18,1 \text{ амперам. Форма кривой тока определяется следующим образом: т.к. потери на преодоление пространственного заряда составляют 10%, то приложенное постоянное напряжение равно:}$$

$$10700 \times 1,41 \times \frac{100}{90} = 17320 \text{ в.}$$

Среднее значение тока будет:

$$\frac{2000000 \times \frac{100}{80}}{17320} = 14,45 \text{ амп.}$$

но т.к. ток течет только в течение части периода, соответствующей 125° , то за это время средний ток будет равен:

$$14,45 \times \frac{360}{125} = 41,6 \text{ амп.}$$

$$\cos 62,5^\circ = 0,463$$

Среднее значение между $-62,5$ и $+62,5$ (отнесенное к

линии симметрии) равно:

$$\frac{1}{125} \int_{-62,5}^{+62,5} \cos \theta d\theta = \frac{180^\circ}{\pi \times 125^\circ} \times 2 \sin 62,5^\circ = 0,81$$

В этом масштабе наибольшая ордината равна 1.

Среднее положительное значение этой кривой равно $0,814 - 0,463 = 0,351$. Эта же кривая, отнесенная к масштабу, в котором средний ток при 125° равен 41,6 амп., представляет собой положительную часть кривой тока.

$$1 = \frac{41,6}{0,351} \cos \theta = \frac{41,6}{0,351} 0,463 =$$

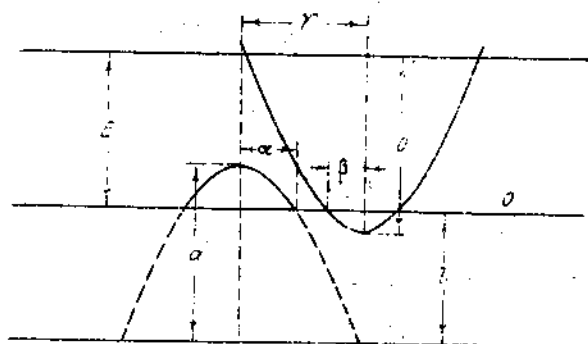
$$= 118,5 \cos \theta = 54,9$$

Разложение в ряд Фурье дает для среднего квадратичного значения основной составляющей тока, как и следовало ожидать, 18,1 амп.

Когда антенна расстроена, ток повиситься не может вследствие того, что как эмиссия, так и возбуждение сетки остались те же. Он, наоборот, даже может упасть, т.к. при расстройке антенны кажущееся сопротивление антенны возросло. Если бы мы довели ток до низкого значения, то переменное анодное напряжение стало бы также очень чистым и не в состоянии было бы ограничить тока. При постепенном возрастании тока наступает такой момент, когда результирующее анодное напряжение становится на мгновение равным нулю. При приближении к этой точке происходит быстрое уменьшение угла отсечки тока. Обращаясь к фиг. 46, представляющей кривые колебаний анодного тока и напряжения, заметим, что для $C < E$ никакого ограничения угла отсечки тока нет, а для $C = E$, если только кривая тока окончательно не искажена, угол 2γ имеет наибольшее значение. Если эмиссия и возбуждение таковы, что при уменьшенном угле невозможно, чтобы C было больше или р

но E , то величина C больше увеличиться не может. Если C другой стороны, такое значение C возможно, то ток может возрасти до тех пор, пока $\alpha + \beta = \gamma$. В этой точке, при заданном возбуждении сетки, кривая уже дальше подниматься не может, т.к. форма кривой тока зависит от возбуждения сетки и при отрицательном напряжении на аноде тока быть не может. Для того чтобы определить, возможно ли, чтобы C было больше E , достаточно получить решение для пограничного случая $C=E$.

Обратимся снова к фиг. 46 и для нашего случая предположим, что кривая тока представляет собой часть изображенной здесь синусоиды, при чем постоянный член, дополняющий действительную амплитуду тока до амплитуды синусоиды $a=118,5$ амп. может изменяться.



Фиг. 46. Соотношение между анодным напряжением и током в мощном усилительном контуре.

Пусть:

- E = пост. анодн. напр.
- a = амплитуда кривой тока = 118,5 амп.
- b = величина, дополняющая действ. ампл. тока до 118,5 амп., мин. значение которой равно 54,9 амп.
- C = амплитуда сеточн. напр.

γ - угол сдвига фаз конт. = $\cos^{-1} 0,697 = 46^\circ$.

$$\beta = \cos^{-1} \frac{E}{U}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{b}{a}$$

Z - кат. сопр. контура

R - вносимое в контур омическ. сопрот.

m - амплитуда основной составляющей анод. тона

$$\text{Поглощение в контуре} = \frac{C^2}{2Z^2} R = \frac{C^2 \times 882}{2 \times 978^2} = 356 \times 10^{-6} \text{ } \Omega^2$$

$$\text{Отдача лампы} = \frac{MC \cos \gamma}{2}$$

При установившемся состоянии потери равны отдаче, поэтому:

$$356 \times 10^{-6} \text{ } \Omega^2 = \frac{MC \cos \gamma}{2}$$

$$C = \frac{M \cos \gamma}{712 \times 10^{-6}}$$

Разложение в ряд Фурье дает:

$$\begin{aligned} \pi &= \frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{+\alpha} (a \cos^2 \theta - b \cos \theta) d\theta = \\ &= \frac{1}{\pi} \left[a \left(\frac{\theta}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) - b \sin \theta \right]_{-\alpha}^{+\alpha} = \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\alpha a + \frac{a}{2} \sin 2\alpha - 2b \sin \alpha \right) \end{aligned}$$

Если $C > E$, то $\alpha < \gamma$. В пограничном случае $C = E$ и $\alpha = \gamma$. Тогда $b = a \cos \gamma = 118,5 \times 0,697 = 82,6$ и

$$M = \frac{1}{\pi} \left(118,5 \times \frac{46^\circ}{180} + \frac{118,5}{2} \sin 92^\circ - 2 \times 82,6 \sin 46^\circ \right) = 12,5$$

$$C = \frac{12,5 \times 0,697}{2 \times 356 \times 10^{-6}} = 12240 \text{ вольт.}$$

Отсюда следует, что при отсутствии ограничения для угла отсечки тока напряжение могло бы возрасти до величины $C = 1,41 \times 18,1 \times 978 = 25000$ вольт; ограничение величины этого угла не дает напряжению подняться выше 17320 в., т.е. выше пост. напр. Е. В действительности, угол ограничен еще меньшей величиной, т.к. в точке периода, соответствующей максимуму переменного анодного напряжения, ток должен иметь еще значительную величину. Если предположить, что при этом достаточно иметь разность потенциалов между анодом и нитью в 1000 в., то С должно быть равно 16320 в.

$$m = \frac{16320 \times 2 \times 356 \times 10^{-6}}{0,697} = 16,7$$

Для построения кривой тока даем α ряд значений. Вычисления приводятся в приложении к этой главе (таблица 3), из которой, интерполируя, получаем $m = 16,7$ и $\alpha = 53^\circ$. Полезная мощность = $C^2 \times 356 \times 10^{-6} = 94,8$ квт. Подводимая мощность = $E \times I$ среднее = $17320 \times \frac{1}{\pi} \int_0^{53^\circ} (118,5 \cos \theta - 71,3) d\theta = \frac{17320}{\pi} (118,5 \sin 53^\circ - 71,3 \times \frac{53}{180} \pi) = 158,8$ квт.

Потери = 64 квт.

Таким образом, промежуточный контур не дает потерям возрастать так быстро, как без него. Дальнейшая расстройка вызывает увеличение кажущегося сопротивления, сопровождающееся, вероятно, уменьшением потерь.

Примененный здесь метод слишком приближенный для того, чтобы его можно было считать надежным, но все же он дает порядок величин, которых можно ожидать в мощном усилительном контуре с смесковым напряжением, создаваемым сопротивлением в цепи сетки. Точное исследование может быть, конечно, произведено по методу, изложенному в главе 1. Вследствие непостоянства фазы сетки, при расстройке

ке могут возникнуть некоторые особые явления. От серьезности этих явлений зависит, в каждом данном случае, необходимость в большем или меньшем постоянстве настроек.

Приложение к Главе 3.

Таблица 3.

Анализ кривой тока для нахождения составляющей с коэффициентом мощности = 1.

	45°	50°	55°	60°
α (в радианах)	0,787	0,875	0,980	1,050
$\sin \alpha$	0,707	0,768	0,820	0,867
$\sin 2\alpha$	1,000	0,98	0,94	0,867
$\cos \alpha$	0,707	0,643	0,573	0,500
$b = 118,5 \cos \alpha$	0,827	76,2	68,0	59,3
$a\alpha/\pi$	23,7	33,0	36,2	39,6
$a/2\pi \sin 2\alpha$	18,9	18,5	17,75	16,35
$2b/\pi \sin \alpha$	37,7	37,3	35,5	32,8
m	10,9	14,2	18,45	23,15

Г Л А В А 7.

УВЕЛИЧЕНИЕ К.П.Д. ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАРМОНИК.

Во всех предыдущих главах предполагалось, что колебания в контурах могли быть только синусоидальные. Так, например, двуволнистый контур настраивался таким образом, что одна из кратных частот исключалась. В контуре, отвечающем только на синусоидальные колебания, полезная мощность определяется основной составляющей тока, находящейся в фазе с напряжением, в то время как все остальные составляющие тока дадут потери. Следующие рассуждения покажут, что можно чувствительным образом повысить К.П.Д. и полезную мощность, если сделать контур нагрузки реагирующим на известные гармоники, так что не вся идущая на эти гармоники мощность войдет в потери в лампе.

Обозначим (фиг. 47) через:

X - приложенное пост. напр.

e_p - мгн. значение падения напр. между анодом и нитью

e_g - мгн. значение напр. между сеткой и нитью

i_p - мгновенное значение анодного тока

i_g - мгновенное значение сеточного тока.

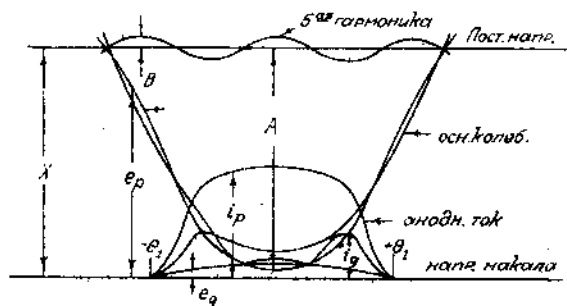
Тогда: $X i_p$ - мгнов. значение подводимой мощности

$(X - e_p) i_p$ - мгновенное значение полезной мощности (пренебрегая потерями в цепи сетки).

$e_g i_g$ - мгновенное значение потерь в цепи сетки
 $(X - e_r) i_r - e_g i_g$ - мгновенное значение полезной мощн.

$\frac{(X - e_r) i_r - e_g i_g}{X i_r}$ - мгновенное значение К.П.Д.

e_r - угол отсечки тока.



Фиг. 47. Кривые тока и напряжения в контурах с фильтром для гармоник.

Если пренебречь потерями в цепи сетки, то мгновенное значение К.П.Д. равно $\frac{(X - e_r)}{X}$. Для того, чтобы получить большое среднее значение К.П.Д. необходимо, чтобы e_r сохраняло в течение значительной части периода малое значение.

Это можно осуществить использованием несинусоидального напряжения, содержащего гармоники с соответствующими фазами, сплюсывающие кривую анодного тока (фиг. 47). Очевидно, что наличия такой гармоники не достаточно для того, чтобы показать, что при этом К.П.Д. повышается. Гармоника эта должна возбуждаться в настроенном для нее контуре за счет мощности генератора. Поэтому предположим, что кривая анодного тока содержит желаемую гармонику и рассмотрим, хватит ли ее мощности для того, чтобы поддержать колебания соответствующей гармоники анодного напряжения.

Пусть:

$$e_p = X - A \cos \theta + B \cos n\theta$$

Тогда:

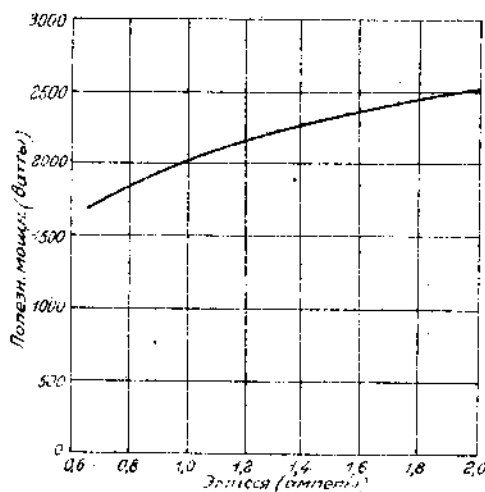
$(A \cos \theta - B \cos n\theta) i_p$ - полезной мощности (если пренебречь потерями в цепи сетки

т. е.

$A \cos \theta \cdot i_p$ - полезной мощности основного колебания, а
 $-B \cos n\theta \cdot i_p$ - полезной мощности n -ой гармоники.

Если для взятого из x -ки лампы значения i_p рассматриваемая гармоника дает положительную мощность, то ее можно возбудить в настроенном на нее контуре (фиг. 49) для того, чтобы поддерживать соответствующие значения амплитуды и фазы кривой анодного напряжения. Если полезная мощность гармоники мала, то она может оказаться недостаточной для того, чтобы поддерживать колебания анодного напряжения соответствующей формы. При отрицательном значении мощности гармоники, фаза возбуждаемой гармоники анодного напряжения будет неправильна. В этом случае кривая анодного напряжения примет заостренную форму и К.П.Д. уменьшится вместо того, чтобы увеличиться.

Случаи положительной и отрицательной мощности могут



Фиг. 48. Вычисленная зависимость полезной мощности от тока эмиссии для Радиотрона UV-206 при E_p - 15000 в. и потерях в лампе 350 ватт.

встретиться при вычислении мощности различных гармоник одной и той же кривой анодного тока. Возьмем х-ки фиг. 4. Значения полезной мощности, потерь и К.П.Д. для синусоидальных анодного и сеточного возбуждений даны в таблице 4. Из фиг. 47 видно, что для приплекснутой кривой при $\theta_1 = 0$ мгновенное значение мощности гармоник отрицательно. Для того, чтобы мощность эта была положительна, необходимо, чтобы в части периода, в течение которой ток идет, укладывалось $3/2$ периода гармоник. Это значит, что если желательно использовать пятую гармонику, то $2\theta_1$ должно равняться 108° , а для третьей гармоники 180° . Соответственно этому θ_1 должно равняться 54° и 90° , или, округляя, 60° и 90° .

В таблице 5 приведены вычисления для случая использования 5-ой гармоники анодного напряжения. Из этой таблицы видно, что при $\theta_1 = 60^\circ$ можно получить для поддержания гармонического колебания 16 ватт, а при $\theta_1 = 90^\circ$ мощности никакой получить нельзя.

Таблица 6 дает вычисления для случая использования третьей гармоники анодного напряжения. В этом случае при $\theta_1 = 60^\circ$ мощность равна 77 ватт, т.е. гармоническое колебание возникнет с неправильной фазой, что может привести к нежелательным результатам. Для $\theta_1 = 90^\circ$ можно для покрытия потерь в поглощающем контуре получить 38 ватт. Соотношение между мощностью гармоники тока и гармоникой напряжения зависит от данных поглощающего контура.

Так, например, для приведенных здесь х-к и постоянных контура можно, имея достаточно эффективный поглощающий контур, существенно повысить значение полного К.П.Д. Полезная мощность правильно сконструированной лампы ограничена допускаемым на нагрев рассеянием. Поэтому зависимость между полезной мощностью и К.П.Д. выражается соотношением:

$$\frac{\text{Полезн. мощность}}{\text{Потери}} = \frac{\text{К.П.Д.}}{1 - \text{К.П.Д.}}$$

На основании этого можно сказать, что для $\theta_1 = 60^\circ$ пользование контуром, настроенным на пятую гармонику, повышает полезную мощность на 57%, а для $\theta_1 = 90^\circ$ третья гармоника дает повышение мощности на 95%.

Эти цифры получены в предположении, что К.П.Д. является функцией только угла отсечки тока, что не всегда имеет место. В таблице 7 дана зависимость К.П.Д. от эмиссии для $\theta_1 = 60^\circ$. Из этой таблицы видно, что для одного и того же угла отсечки тока увеличение эмиссии лишь слабо влияет на величину К.П.Д., так что при отсутствии настроенных на гармоники контуров повышение эмиссии будет только перегрывать лампу.

Величину полезной мощности можно несколько повысить и без настроенных на гармоники контуров увеличением тока эмиссии и уменьшением угла отсечки тока. Увеличение полезной мощности на 57% для $\theta_1 = 60^\circ$ использованием пятой гармоники соответствует повышению эмиссии приблизительно на 51%, т.е. с 0,7а. до 1,1а. Фиг. 48 показывает, какое можно получить повышение полезной мощности увеличением тока эмиссии и уменьшением угла отсечки тока при постоянной величине потерь. Повышение эмиссии с 0,7 до 1,1 без применения настроенных контуров увеличивает полезную мощность на 20%. К этой же фиг. 48 необходимо отнести и повышение, которое можно получить, применяя настроенный на гармонику контур. Это даст для действительного, приписываемого гармонике, повышения значение - 157-120

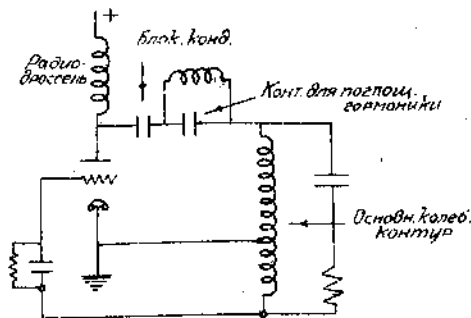
120

, т.е. 30%. Из кривой можно видеть, что дальнейшее повышение эмиссии, без использования гармоник, никакого выигрыша не дает.

Если мощности гармоники не достаточно для того, чтобы поддерживать колебания в настроенном для нее контуре, то ее необходимо увеличить. Все, что делает кривую более плоской, увеличивает мощность гармоники. Ограниченность тока эмиссии действует также в этом направлении, и возможно, что часть мощности гармоники будет возвращена на

сетку и установится гармоническое колебание желаемой мощности. Эта возвращенная часть должна быть мала по сравнению со всей мощностью, т.е. в противном случае не будет сохранено требуемое соотношение фаз.

Фиг. 49 изображает схему контура, в котором может возникнуть гармоника анодного напряжения.



Фиг. 49. Колесательный контур с фильтром для гармоник.

Предыдущие выводы основаны на вычислениях с помощью χ -к, а не на величине подводимой мощности и опытах потерь генерирующей лампы. Поэтому они являются теоретическими. Послужившие основанием для вычислений опыты просты и были подтверждены опытами над синусоидально колеблющимися контурами. Т.е. χ -ки различных типов ламп сильно отличаются одна от другой, особенно в отношении содержания гармоник в кривой анодного тока, то для общего случая нельзя дать правильного метода получения требуемой мощности гармоник. Возможное повышение полезной мощности зависит от эффективности лампы, представленной в процентах от полного анодного напряжения, теряемых на преодоление пространственного заряда. Чем выше в этом отношении эффективность лампы, тем больше можно получить отдачу применением настроенного на гармонику контура.

Т а б л и ц а 4.

15000 в. Эмиссия - 0,7 а. Максимальное положительное напряжение сетки - 650 в. Минимальное анодное напряжение - 813 в.

θ_1	50°	60°	70°	80°	90°
Подвод. мощность	1,828	2,165	2,500	2,860	3,180
Электрон. потери	264	380	523	717	928
Полные потери	316	415	546	730	932
Полезн. мощность	1512	1750	1954	2130	2248
К.П.Д.	82,7	80,9	78,2	74,5	70,7

Т а б л и ц а 5.

15000 в. Эмиссия - 0,7 а. Амплитуда основной составляющей анодного напряжения - 15000 в. Амплитуда 5-й гармоники - 800 в. Максимальное положительное напряжение сетки - 640 в.

θ_1	50°	60°	70°	80°	90°
Подвод. мощность		2,100			3,150
Электрон. потери		224			772
Полные потери		274			782
Осн. полезн. мощн.		1826			2368
К.П.Д.		87			75
Мощность пятой гармоники (считая как потери)		16			0,1

Т а б л и ц а 6

15000 в. Эмиссия - 0,7 а. Амплитуда основной составляющей анодного напряжения - 16400 в. Амплитуда 3-й гармоники анодн. напряжения - 2200 в. Максим. положительное напряж.сетки 640в.

θ_1	50°	60°	70°	80°	90°
Подвод.мощность		2,130			3,150
Электр.потери		165			496
Полные потери		198			538
Полезн.основн.мощн.		2009			2572
К.П.Д.		-			82,5
Полезн.мощн.третьей гармоники (считается, как потери)		- 77			+ 38

Т а б л и ц а 7.

15000 в., минимальное анодное напряжение - 800 в.
Максимальное сеточное напр.- 640в. $\theta_1 = 60^\circ$

Эмиссия	0,7	1,0	1,5
Подвод.мощность	2,165	2,820	3,570
Электронные потери	380	468	560
Полные потери	415	505	617
Полезная мощность	1750	2315	2953
К.П.Д.	80,9	82,0	82,5

П Р И Л О Ж Е Н И Е.

ТЕОРИЯ РАДИОТРОНА.

Краткий обзор некоторых наименее заметных особенностей в работе лампового генератора может оказаться полезным при решении известных задач. В дальнейшем изложении сделана попытка кратко коснуться различных факторов приведением теоретических формул и указанием на степень соответствия между теорией и практикой.

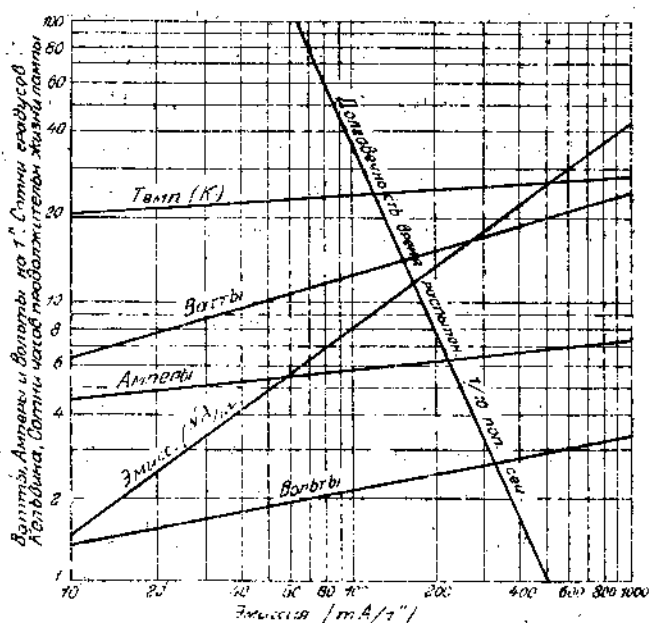
Э м и с с и я.

Раскаленная вольфрамовая нить излучает электроны. На фиг. 50 представлены вольты, амперы, ватты и температура в зависимости от эмиссии нити диаметром в 0,25 мм. Наятые на этих кривых значения не соответствуют наблюдаемым в действительности. Причины этих отклонений могут быть двух родов. Температурные влияния обуславливаются электродами, конструкцией стоек нити и самими токами эмиссии. Окружающие электроды стремятся отразить значительную часть тепла обратно к нити. В лампе совершенной цилиндрической формы отраженное тепло, собирающееся на нити, может значительно ее перегреть и ток эмиссии возрастет. Напряжение оказывает меньшее влияние, т.к. с повышением температуры сопротивление увеличивается. Обычные несимметричные нити так расположены, что на них не может собраться большого количества отраженного тепла.

Провода и стойки действуют охлаждающим образом на

свцы и другие части нити, что понижает эмиссию. Это понижение эмиссии можно учесть, считая эффективную длину нити несколько меньше действительной.

Если накал нити производится переменным током, частота отличная от контура, то ток в обоих концах нити симметрично увеличивается, что компенсирует охлаждение, производимое подводными проводами. При токе накала постоянном или синхронизированном с током эмиссии, один конец нити нагревается сильнее и полный ток эмиссии значительно повышается.



Фиг. 50. Мощность накала нити диаметром 0,25 мм. Температура сохраняется постоянной для нити диаметром „d“.

$$\text{Эмиссия}_d = \text{эмиссия}_{10} \times \frac{d}{10}; \quad \text{Ватты}_d = \text{ватты}_{10} \times \frac{d}{10};$$

$$\text{Амп. нити}_d = \text{амп. нити}_{10} \left(\frac{d}{10} \right)^{\frac{3}{2}}; \quad \text{Долговечность нити}_d = \text{долго-}$$

$$\text{Напр. нити}_d = \text{напр. нити}_{10} \times \left(\frac{d}{10} \right)^{-\frac{1}{2}} \text{вечности нити}_{10} \times \frac{d}{10};$$

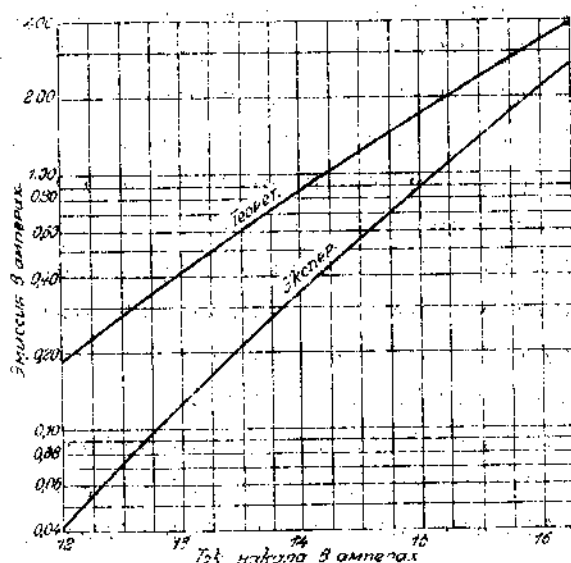
Проволжательность жизни нити больше всего тогда, когда она накаливается равномерно по всей длине. Для этого требуется, чтобы ток накала был либо асинхронным либо в квадратуре с током эмиссии.

Кроме накала на величину эмиссии может также сильно влиять и форма нити. Намотанная туго в виде спирали нить представляет собой электростатический экран для внутренних частей ее витков. Такое же, менее заметное влияние, оказывают нити в форме V или W. Разности потенциалов между соседними витками также могут влиять на эмиссию от положительных частей.

Хотя, теоретически, эти экранирующие влияния должны вызывать изменения пространственного заряда, а не ток эмиссии, напряжения, требуемые для того, чтобы извлечь вод излучаемые электроны, становятся слишком высокими для наблюдений при статических опытах. Характерный пример расхождения между теоретической (прямолинейная нить) и наблюдаемой эмиссией для V-образной нити приведен на фиг. 51. Как уже раньше сообщалось, эмиссия прямолинейной нити, расположенной по оси цилиндра, равна теоретической и может быть даже несколько больше из-за отраженного тепла. Из фиг. 51 можно видеть, что для больших токов накала наблюдаемая эмиссия гораздо ближе к теоретической.

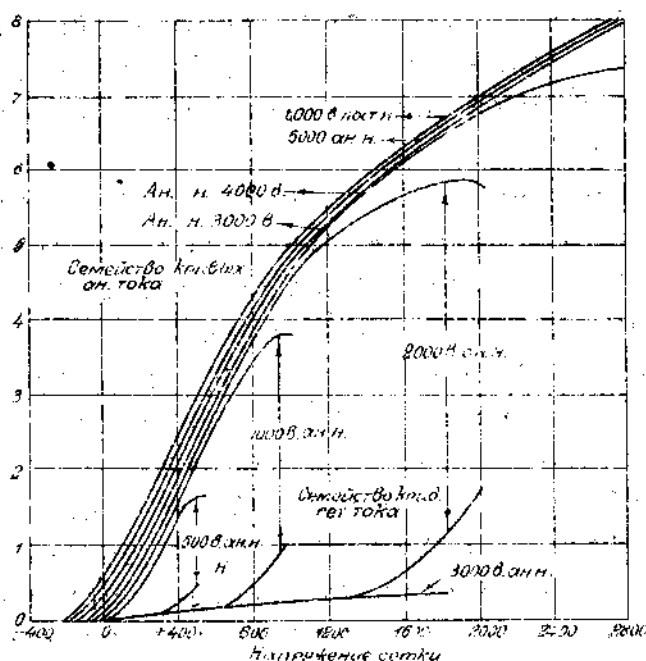
Одно из возможных объяснений этого явления заключается в том, что при более высоких температурах электроны могут проходить с первоначальной скоростью из наиболее экранированных областей по другим частям нити и стойки. В лампах с нитью сложной формы переход от области пространственного заряда к области тона насыщения очень постепенный. Удачный пример такого случая приведен на фиг. 52. Нить имеет форму двойного V и стойки ее расположены очень близко. Теоретически ток эмиссии равен 10-12 ма, но уже при 6а. начинается насыщение, при чем ниже этой точки предполагается, что активными являются только внеш-

ние части витков нити. Поэтому для современных типов ви-



Фиг. 51. Эмиссия Кенотрона UV-218 с V-образной нитью диаметром 0,457 мм. Нить вольфрамовая с активной длиной в 108 мм.

теи нельзя непосредственно пользоваться теоретическими данными.



Фиг. 52. X-ни Радиотрона с водяным охлаждением, полученные экstrapоляцией.

О б л а с т ь п р о с т р а н с т в е н - н о г о з а р я д а.

Для ламп цилиндрической формы теоретическое ур-е в области пространственного заряда имеет вид:

$$1 = 14,85 \times 10^{-6} \frac{LV^{3/2}}{R\beta^2}.$$

Это соотношение построено графически для $\beta^2 = 1$ на фиг. 53. β^2 является функцией отношения радиусов анода и катода. Если диаметр катода больше 1/10 диаметра анода, то β^2 не равно 1. Фиг. 54 дает зависимость β^2 от отношений r и a . В приведенных выше формулах предполагается, что нить представляет собой поверхность равного потенциала. Ток накала создает падение напряжения вдоль нити и она уже не является поверхностью равного потенциала. Фиг. 55 дает величины ошибок, которые мы вносим, пренебрегая этим падением напряжения. Для анодного напряжения, меньшего падения вдоль нити, накаливаемой постоянным током, ток в области пространственного заряда задается соотношением:

$$1 = 0,4 \times K \frac{1}{r_n} \cdot \frac{V^{3/2}}{V_0}$$

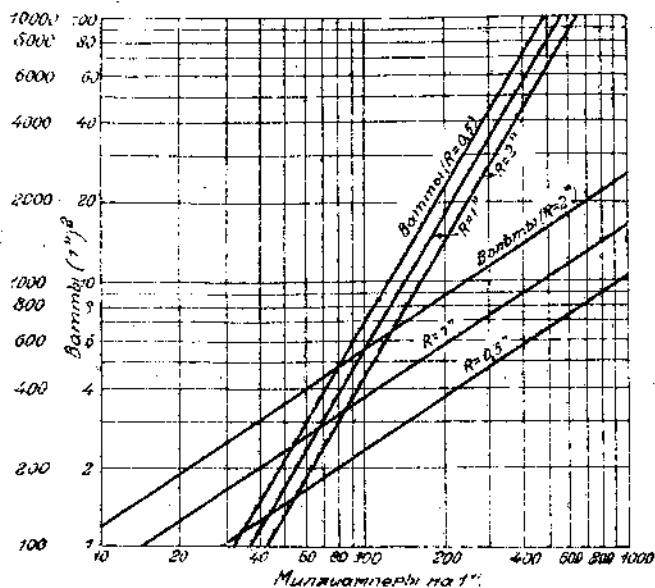
$$K = 14,85 \times 10^{-6} \quad \text{для цилинд. анода.}$$

$$n = 1$$

$$V_0 = \text{падение напр. вдоль нити.}$$

Существует некоторое несогласие между этими формулами и полученными в действительности значениями. Для трехэлектродной лампы было найдено эмпирически, что кривая зависимости анодного тока от анодного напряжения при нулевом потенциале сетки приближается к параболе, и некоторые авторы приводили это в качестве доказательства

против закона степени $3/2$. Для напряжения нужно брать значение результирующего анодного и сеточного напряжений.

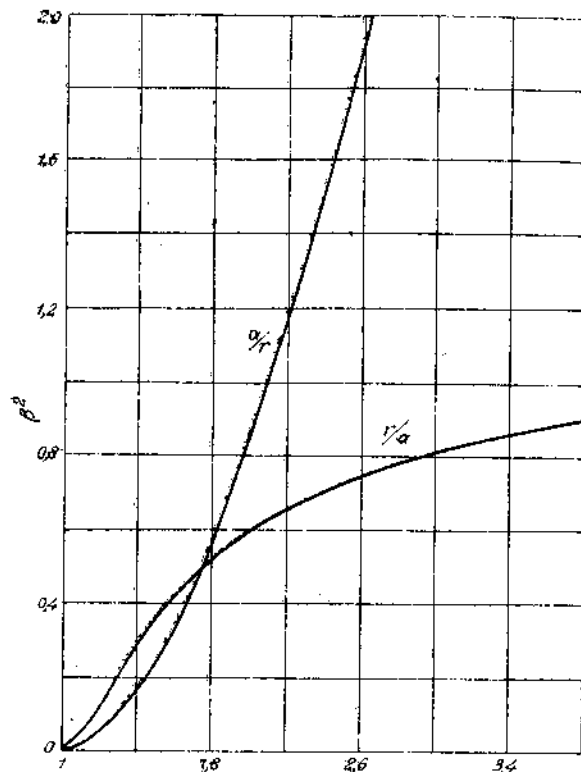


Фиг. 53. Область пространственного заряда для цилиндрического анода диаметр R ,

вычисленного из формулы $i = 14,65 \times 10^{-6} \frac{L V^{3/2}}{R^2}$

усилительных лампах это результирующее напряжение, практически, того же порядка, что напряжение нити, и показатель степени изменяется от $3/2$ до $5/2$, так что мы в среднем имеем квадратичный закон. Это очень ясно выведено у van der Bijl'a („The Thermionic Vacuum Tube“, page 236). Фиг. 56 дает соответствие между теорией и результатами наблюдений. Для того, чтобы теоретическая и экспериментальная кривые совпали, необходимо, чтобы активная длина нити была равна 60,4 мм., чего и нужно ожидать, если принять во внимание охлаждение концов нити. Показатель степени равен $3/2$. Напряжение накала для этого случая равно 11 в. Согласно данным фиг. 55 отступление от закона степени $3/2$ составляет только 0,1%.

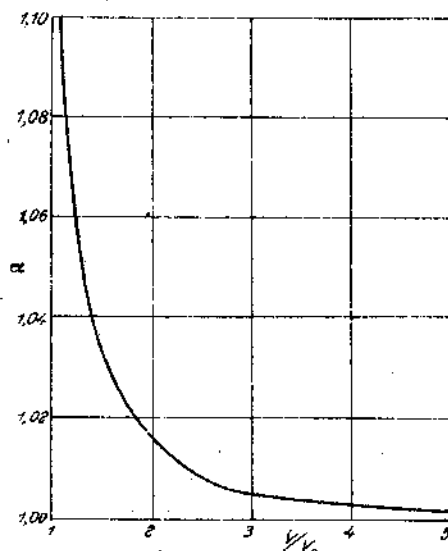
Для случая Радиотрона потенциал внутри сетки зависит как от напряжения сетки, так и от анода. Диаметр ци-



Фиг. 54. Область пространственного заряда для цилинд. анода и катода бесконечной длины. $i = 14,65 \frac{LV^{3/2}}{R\beta^2} \times 10^{-6}$. V -напр. в вольтах, r -радиус анода, a -радиус катода, L -длина рассматриваемого отрезка. При больших значениях $r/a - \beta^2$ приближается к 1.

линдра, который оказывал бы то же самое экранирующее действие, является средним между анодом и сеткой. Для густой решетчатой сетки эквивалентный диаметр очень мало отличается от диаметра сетки. Фиг. 57 дает теоретические значения тока в области пространственного заряда для лампы с витк и анодом тех же размеров, что и в кенотроне предыдущего параграфа, но имеющей и сетку. На-

Складываемые величины совпадают с теоретическими в пределах ошибок наблюдений. Повидимому, ниже заметного насыщения ур-ня для области пространственного заряда могут



Фиг. 55. Поправки на падение напряжения вдоль нити. $i = \frac{KL}{r^2} \left(\frac{V - V_0}{2} \right)^{3/2}$ ха. V - напр. между анодом и отрицательным концом нити. V_0 - падение напр. вдоль нити. Для $V < V_0$ активная длина нити равна LV/V_0 , что дает $i = 0,4K \frac{LV^{3/2}}{r^2 V_0}$.

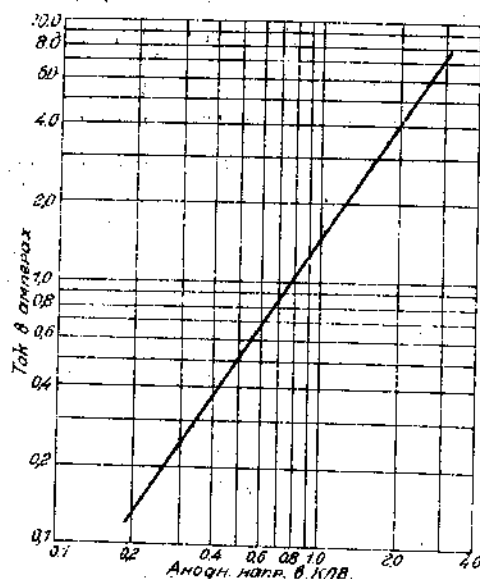
применяться с большой степенью точности, если только известны эффективные значения длины нити и диаметра анода.

П о с т я н н а я у с и л е н и я .

Для определения усиленной постоянной Радиотрона в настоящее время, повидимому, еще не существует никаких теоретических ур-ий. Старые формулы предполагают, что диаметр проволоки мал по сравнению с отверстиями. Для большинства генераторных и многих усилительных ламп эти формулы очень неточны. Даже и без указанного ограничения наличие стоек сетки представляет собой серьезный недостаток.

точник описом. Поэтому для предварительного определения приходится пользоваться только эмпирическими методами.

Определению усиленной постоянной силы посвящено много исследований и имеется много эмпирических данных.



Фиг. 56. X-ки кенотрона UV-318 в области пространственного заряда. V-образная нить диаметром 0,46 мм. Длина нити 140 мм. Диам. анода—38 мм., длина его—76 мм.

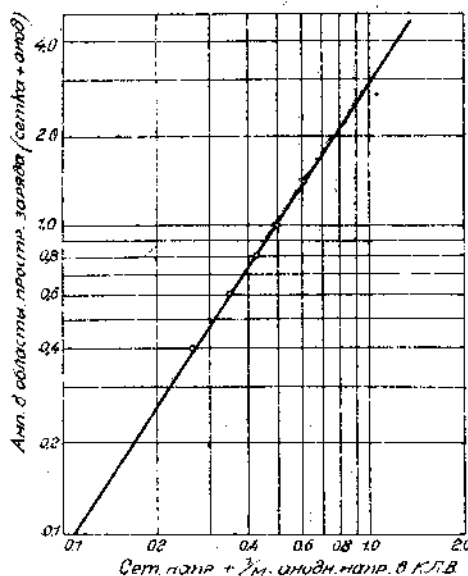
П р и м е ч а н и е : Эти кривые получены из опытов; теоретически длина каждой половинки V-образной нити предполагалась равной 60,4 мм.

Р а з д е л е н и е п е р в и ч н ы х э л е к т р о н о в .

Самым основным законом, применимым к распределению токов между сеткой и анодом, является пропорциональность скорости электрона корню квадрату из потенциала, через который он прошел. По определению, даваемому этому

закону, электрон не может удариться об электрод отрицательный по отношению к нити с потенциалом, большим потенциала, соответствующего скорости эмиссии. Поэтому при отрицательном потенциале сетки сеточный ток равен нулю.

Покачивая меота близ самих ее проволок, сетка оказывает почти равномерное влияние на электроны, и т.к. электроны отталкиваются друг от друга, то распределение их при приближении к сетке совсем равномерно. Достигая сетки, электроны попадают в поле, радиальное по отношению



Фиг. 57. Ток в области пространственного заряда в Радиотроне ВУ-206. V-образная нить диам. 0,46 мм. и длиной 140 мм. Диам. анода 38 мм., длина его 76 мм. Диам. сетки 19 мм., витков 11,8/1 см., диам. проволоки 0,25 мм. $\mu=250$.

к ее проволокам. Т.к. они к тому времени приобрели наибольшую скорость, то их инерция воспрепятствует отклонению их радиальному полку, если только их скорость существенно отличается по направлению. Те электроны, которые ударятся о сетку, не отклоняясь от своего пути, бу-

нут притягиваться к все время, пока она будет положительной. На сетку попадет еще также небольшая часть электронов, отклонившихся от своего пути. Количество ударившихся о сетку электронов будет пропорционально проекции сетки на плоскость и, в случае положительного анода, достаточного для того, чтобы привлечь все прошедшие через нее электроны; отношение сеточного тока к анодному не будет зависеть от их относительных потенциалов. Правильность такого рода определения разделения первичных электронов имеет достаточно подтверждений.

В т о р и ч н а я э м и с с и я.

Если заключение, сделанное в предыдущем параграфе, правильно, то отклонение действительного отношения сеточного тока к анодному может быть объяснено вторичной эмиссией. Количественно вторичная эмиссия неизвестна. Известно только, что если электрон ударяется о поверхность со скоростью большей, чем 5 вольт, то он может извлечь или выбить еще один или несколько других электронов. Это количество выбитых электронов зависит от скорости бомбардировки, состояния поверхности и следов газа в лампе. Скорость вторичных электронов может составлять значительную часть скорости бомбардировки и равняться 10-60 вольтам.

В Радиотроне такие вторичные электроны извлекаются из анода и из сетки и сильно влияют на распределение токов. При высоких анодных и низких сеточных напряжениях вторичные электроны летят в большом количестве от сетки к аноду, так что сеточный ток может стать не только ниже величины соответствующей проекции сетки на плоскость, но даже отрицательным, что может явиться причиной срыва колебаний „blocking“. При приближении сеточного напряжения к анодному, наибольший поток электронов идет от анода к сетке, так что сеточный ток может стать даже больше анодного. Этим объясняется форма приводимых здесь к-

Потеря электронов с анода на сетку дает насыщение и ограничивает амплитуду колебаний. Это влияние вполне постоянно, но оно ограничивает величину полезной мощности и К.П.Д. лампы. Переход электронов с сетки на анод уменьшает потери на сетку, что дает преимущества вплоть до точки, где сеточный ток принимает обратное направление. Но и тогда полезная мощность увеличивается, зато возможно повреждение приборов, имеющих обычно в схеме создающей смешивающее напряжение.

Геометрическими факторами, имеющими значение для процессов излучения вторичных электронов, являются величина расстояния между анодом и сеткой по сравнению с расстоянием между анодом и нитью. Если, по сравнению с расстоянием от нити, анод расположен близко от сетки, то пространственный заряд между ними будет мал и перелет вторичных электронов не встретит препятствий. При большом расстоянии между анодом и сеткой имеем обратное явление.

Большая часть материалов, послуживших для построения кривых в этой главе, получены были от Dr'a Irving Langmuir'a.