

Б. С. АГАФОНОВ

**РА ЧЕТ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫ
РЕЖИМОВ
ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП**

О Э = Г Т

Б. С. АГАФОНОВ

РАСЧЕТ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
РЕЖИМОВ
ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

Руководство по расчету эксплуатационных режимов генераторных радиоэлектронных ламп.

Кратко изложена методика расчета радиотелеграфных и радиотелефонных режимов генераторных ламп, произведены расчеты эксплуатационных режимов в различных ступенях передатчика

Книга предназначена для инженеров и радиотехников.

6П2.15 *Агафонов Борис Севастьянович*
 А23 **Расчет эксплуатационных режимов генераторных ламп.** М.—Л.,
 Госэнергониздат, 1962 224 с с илл.

6П2 15

* * *

Редактор Тимофеев В. М.

Техн. редактор Г. Е. Ларионов

Сдано в пр во 30/VI 1962 г.

Подписано к печати 5/XI 1962 г.

Формат бумаги 84×108¹/₃₂

11,48 п. л.

10,2 уч.-изд. л.

Г-11981

Тираж 17 000 экз.

Цена 51 коп.

Зак. 2448

 Типография Госэнергониздата Москва, Шлюзовая наб., 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнем десятилетии в связи с полным обновлением ассортимента генераторных ламп интенсивно развивалась отечественная теория радиопередающих устройств. Эта теория была создана в 20-х годах русскими учеными: М. В. Шулейкиным, А. И. Бергом, М. А. Бонч-Бруевичем -- и получила развитие в работах их учеников. Основной особенностью теории было предположение о работе генераторной лампы в режиме насыщения, т. е. при полном использовании тока эмиссии, что соответствовало специфике средневолновых триодов с вольфрамовым катодом прежних конструкций. Линеаризация ламповых характеристик легла в основу расчетной методики А. И. Берга, опубликованной им в 1932 г. в учебнике по расчету эксплуатационных режимов триодных ламповых генераторов.

В двадцатых и тридцатых годах на заводе «Светлана» под руководством С. А. Векшинского были воспитаны кадры конструкторов электронных ламп.

В последующие годы наблюдалось постепенное изменение конструкций генераторных ламп, используемых на КВ, УКВ и ДЦВ диапазонах, применением в них высокоэффективных катодов (оксидного, синтерированного и торированно-карбидированного), широким внедрением генераторных тетродов и пентодов и огромным увеличением числа диапазонных передатчиков уменьшенной мощности на тетродах и пентодах; сильно возросла роль электровакуумных заводов в разработке эксплуатационных режимов генераторных ламп, способствующих их долговечности.

Постепенная эволюция отдельных ламповых конструкций привела в настоящее время к принципиальной качественной особенности всего ассортимента современ-

ных генераторных ламп отечественного и заграничного производства — наличие в них режима пространственного заряда, при котором импульс анодного тока I_a значительно меньше тока электронной эмиссии катода I_e . Это уменьшение в лампах с высокоэффективными катодами может быть в 5—8 раз, а в мощных триодах с вольфрамовым катодом в 1,5—2 раза и больше.

Для мощных ламп характерно возрастающее применение карбидированного катода, вытесняющего катод из чистого вольфрама. Существуют триоды с карбидированным катодом, имеющие полезную мощность $P=250—500$ кВт и анодное напряжение 12—18 кВ. Их крутизна порядка 150—300 мА/В. Увеличение крутизны, уменьшение угла отсечки (от $\theta=90^\circ$ до $\theta=60—75^\circ$) и применение катодно-фокусирующих систем позволяет для мощных триодов повышенный коэффициент усиления по мощности, достигающий до 600. Для мощных тетродов этот коэффициент может быть порядка 200—400.

Принудительное воздушное охлаждение, все шире применяемое в мощных лампах, позволяет удешевить эксплуатацию передатчика.

Качественной особенностью современного ассортимента генераторных ламп следует считать преобладающее наличие ламп, работающих в диапазонах УКВ и ДЦВ.

Для ламп с высокоэффективными катодами наиболее критичными величинами обычно являются постоянная составляющая анодного тока и мощность, рассеиваемая на управляющей сетке.

Прогрессивными идеями современной отечественной линейной теории расчета ламповых генераторов являются: линеаризация характеристик в соответствии с их действительным видом, немногочисленность расчетных параметров, несложность расчетных формул, обязательное соблюдение предельных электрических величин, допущение неточности порядка 10% при сравнении результатов расчета с опытными данными и с результатами графоаналитического исследования.

Эти положения, сформулированные автором [Л. 1, 2, 3], легли в основу настоящей монографии, посвященной методам инженерного расчета эксплуатационных режимов современных генераторных ламп.

В книге приводятся расчетные примеры (гл. 2 и 4), подкрепляющие основные теоретические положения, а также проводится сравнение полученных расчетных данных с типовыми эксплуатационными режимами.

Совпадение расчетных данных с данными типового эксплуатационного режима и с результатами графоаналитического исследования характеристик показывает, что линейная теория может служить хорошей основой для технического расчета ламповых генераторов.

Особое внимание обращено на выбор правильных эксплуатационных режимов и соблюдение предельных электрических норм, от чего зависит надежная и длительная работа электронных ламп. При ежегодном выпуске в СССР сотен миллионов электровакуумных приборов проблема увеличения сроков их службы приобретает большое народнохозяйственное значение. Без увеличения надежности и долговечности ламп нельзя добиться устойчивой работы многих радиопередатчиков с автоматическим управлением, все шире применяемых в современной радиотехнике.

В книге приведен справочный материал по характеристикам, параметрам и режимам генераторных ламп, необходимый широкому кругу радиоспециалистов.

Автор выражает благодарность академику А. И. Бергу, идеи которого нашли дальнейшее развитие в данной книге. Большую помощь оказал автору редактор книги В. М. Тимофеев. Улучшению ее содержания способствовали полезные советы, высказанные автору А. Г. Александровым, Д. П. Линде и Р. А. Нилендером. Трудоемкая работа по расчету графиков и графоаналитическому исследованию характеристик выполнена А. Б. Агафоновым. Автор глубоко признателен всем товарищам за их помощь.

Редакция

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Особенности расчета радиотелеграфных режимов генераторных ламп	7
1-1. Характеристики и расчетные параметры генераторных ламп	7
1-2. Использование лампы по анодному напряжению	16
1-3. Последовательность расчета лампового генератора	18
1-4. Использование лампы по анодному току	20
1-5. Особенности некоторых высокоэффективных катодов	28
1-6. Предельные электрические величины	39
1-7. Тепловой режим генераторных ламп	32
1-8. Методы расчета максимальных (телеграфных) режимов	37
1-9. Расчет недонапряженного режима	40
1-10. Расчет перенапряженного режима	42
1-11. О выборе угла отсечки	44
1-12. Расчет режима выходной лампы диапазонного передатчика	46
1-13. Расчет режимов умножения частоты	52
1-14. Эквивалентные схемы лампового генератора	55
1-15. Графоаналитическое исследование эксплуатационных режимов генераторных ламп	56
1-16. Возможные методы расчета телеграфного режима	62
Глава вторая. Расчеты радиотелеграфных режимов генераторных ламп	70
2-1. Общие замечания	70
2-2. Примеры расчетов	72
Глава третья. Особенности расчета радиотелефонных режимов генераторных ламп	142
3-1. Необходимость обновления теории радиотелефонных режимов	142
3-2. Сеточная модуляция изменением смещения в коротковолновых пентодах и тетрадах	144
3-3. Сеточная модуляция в УКВ лампах	148
3-4. Усиление модулированных колебаний	150
3-5. Модуляция на защитную сетку пентода	154
3-6. Модуляция на экранирующую сетку	159
3-7. Анодная модуляция	161
3-8. Анодно-экранная модуляция	166
3-9. Выбор электрических данных для разных видов работы по данным телеграфного режима	169
Глава четвертая. Расчеты радиотелефонных режимов генераторных ламп	171
4-1. Примеры расчетов радиотелефонных режимов генераторных ламп	171
Заключение	194
Приложения	
Таблицы расчетных коэффициентов	199
Справочные таблицы	212
Литература	223

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РАДИОТЕЛЕГРАФНЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

1-1. ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Вопрос о расчетных параметрах ламп имеет принципиальное значение, так как при использовании многих величин расчет превращается в длительную математическую процедуру и в этом случае искомые результаты проще получить непосредственно из рассмотрения характеристик лампы.

При создании теории расчета генераторных триодов использовались привычные понятия коэффициента усиления μ , крутизны характеристики S , внутреннего сопротивления R_i . Эти параметры были установлены в 1915—1920 гг. применительно к «левому» приемно-усилительному триоду, имеющему равномерно смещенные анодно-сеточные характеристики и работающему в области отрицательных значений сеточного потенциала, т. е. без сеточных токов. В настоящее время эти параметры можно рассматривать в качестве констант лишь для модуляторных низкочастотных триодов (рис. 1-1) и для немногих генераторных ламп с малым коэффициентом усиления ($\mu \leq 30$).

Современный генераторный триод с повышенным коэффициентом усиления является «правой» лампой, имеющей веерообразные анодно-сеточные характеристики, показанные на рис. 1-2. Эта веерообразность обусловлена возрастанием сеточного тока, неизбежного при положительных потенциалах сетки. В «правом» триоде параметры μ , S , R_i переменные и, следовательно, неудобны для расчетов, так как теряют значимость неизменных величин.

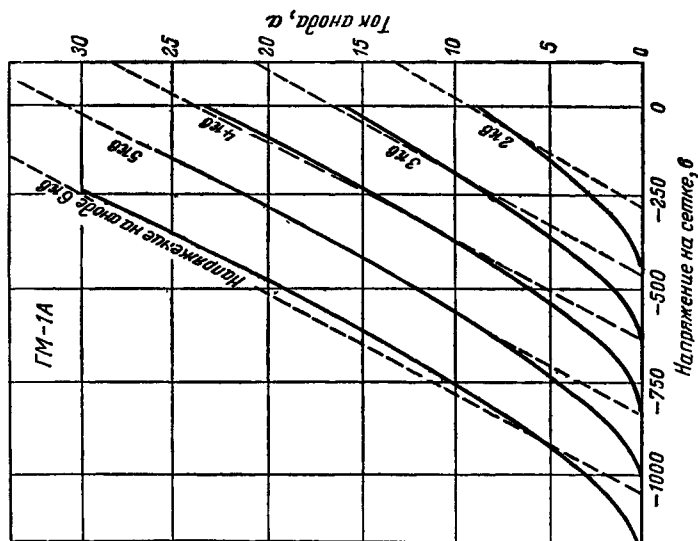


Рис. 1-1. Анодно-сеточные характеристики модуляторного триода 6М1А.

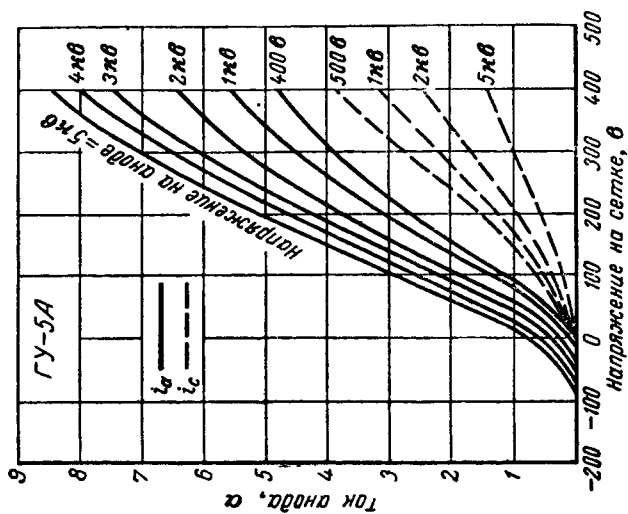


Рис. 1-2. Анодно-сеточные характеристики триода 6Y5A.

Электровacuумные заводы сообщают потребителю значение крутизны S «правого» триода, измеряемой обычно при небольшом анодном токе. Эта крутизна служит критерием однородности отдельных ламп, но не может служить расчетным параметром, так как она справедлива лишь для начального участка анодно-сеточной характеристики.

Устаревшее положение о постоянстве крутизны может привести к ошибке в 40—50% для расчетных значений амплитуды возбуждающего напряжения и напряжения смещения по сравнению с их истинными значениями. Кроме того, заводы сообщают значение μ , причем специально оговаривают его частное значение, справедливое для конкретных условий измерений. Вообще же μ может изменяться в 5—8 раз (рис. 1-3) при различном использовании лампы по току. Значение R_i не приводится вообще. Таким образом, понятие о постоянстве параметров μ , S , R_i не подтверждается документацией электровacuумной промышленности.

Идеализированные веерообразные анодно-сеточные характеристики «правого» генераторного триода в первом приближении можно считать падающими в начале координат.

Важным расчетным параметром генераторного триода служит крутизна линии критического режима S_k , которая с достаточной точностью может быть определена как крутизна общего участка анодных характеристик (линия спада анодного тока). Линия спада удовлетворяет условию равенства анодного и сеточного напряжений (рис. 1-4).

Для всех генераторных триодов крутизна линии критического режима S_k приблизительно равна частному значению крутизны S для точки перегиба анодной характеристики. Эта точка свидетельствует о пограничном режиме лампы, который обычно соответствует слегка

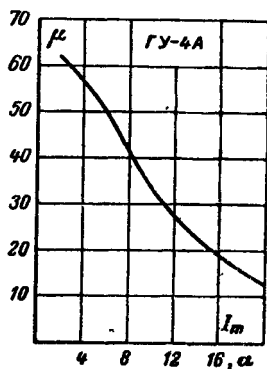


Рис. 1-3. Изменения статического коэффициента усиления триода ГУ-4А в зависимости от импульса анодного тока.

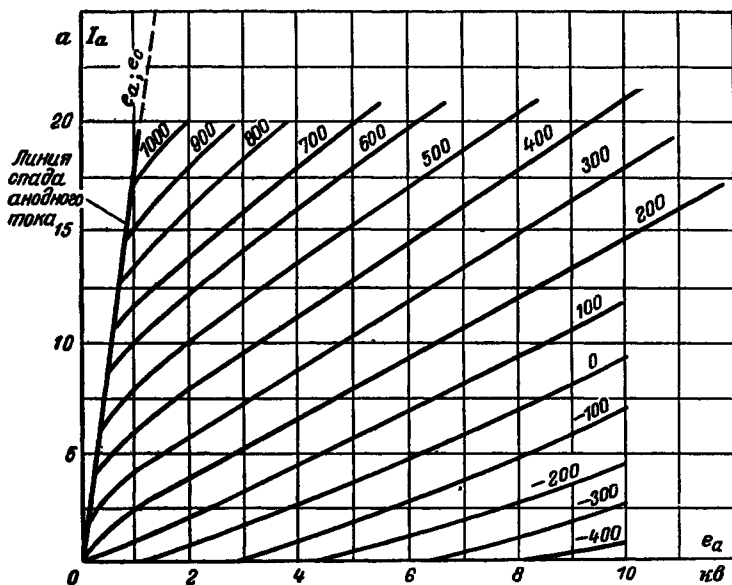


Рис. 1-4. Анодные характеристики триода 6X12A.

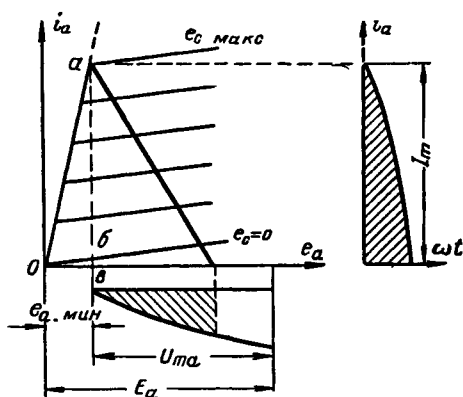


Рис. 1-5. График, поясняющий формирование идеализированного косинусоидального импульса анодного тока в триоде.

уплощенному импульсу анодного тока, при котором наблюдается наибольшая колебательная мощность лампы (оптимальный или критический режим).

Покажем идентичность крутизны S_K и частной крутизны S . На рис. 1-5 изображен идеализированный импульс анодного тока с амплитудой I_m , соответствующий остаточному анодному напряжению $e_{a \text{ мин}}$ и максимальному положительному сеточному напряжению

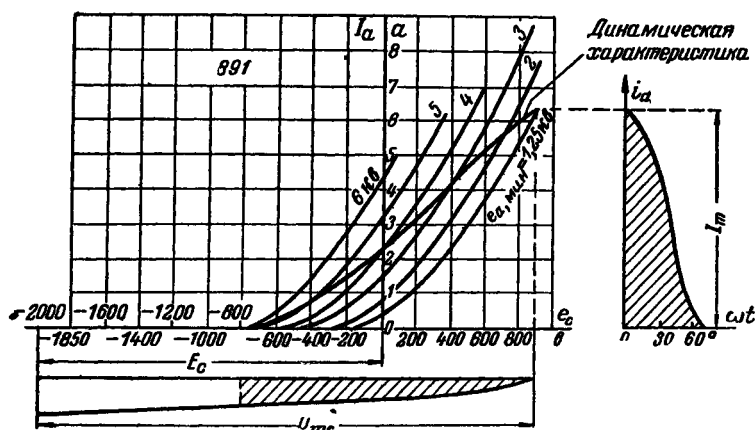


Рис. 1-6. График, поясняющий формирование косинусоидального импульса в триоде 891, имеющем равномерно смещенные анодно-сеточные характеристики.

$$E_a = 10 \text{ кВ}, E_c = 2 \text{ кВ}, U_{ma} = 8,75 \text{ кВ}, U_{mc} = 2,9 \text{ кВ}, \mu = 12.$$

$e_{c \text{ макс}}$. Очевидно, значение крутизны S_K и S можно описать следующими выражениями:

$$S_K = \frac{I_m}{e_{a \text{ мин}}} = \frac{ab}{e_{a \text{ мин}}} ; S = \frac{\Delta i_a}{\Delta e_a} = \frac{ab}{e_{c \text{ макс}}} .$$

Так как характеристика, соответствующая напряжению $e_c = 0$, имеет небольшой угол возвышения над осью абсцисс, то допустимо считать $ab \approx av = I_m$. Учтем, что для точки a справедливо равенство $e_{c \text{ макс}} = e_{a \text{ мин}}$. Применяя два последних условия к выражениям для S_K и S , получим их приближенное равенство. Для многочисленных триодов, имеющих $\mu < 30$, анодно-сеточные характеристики можно считать равномерно сдвинутыми (рис. 1-6).

Из рассмотрения анодных характеристик генераторного триода (рис. 1-7) видно, что нижние характери-

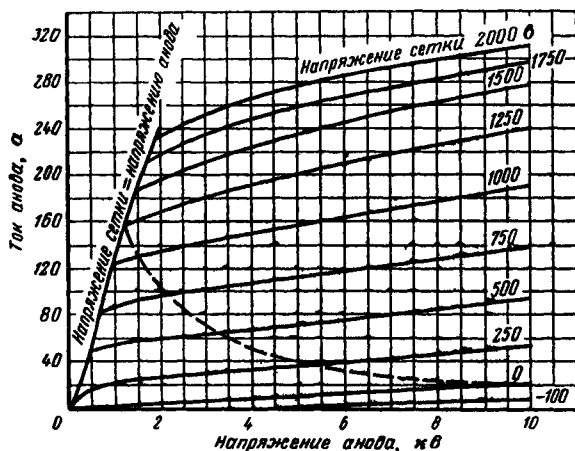


Рис 1-7. Анодные характеристики триода 6К1А.

ки, снятые при отрицательных сеточных напряжениях, более пологие. Они показывают, что при небольшом использовании эмиссии анодный ток очень мало зависит от потенциала анода. Следовательно, в динамическом режиме влияние анодного напряжения на анодный ток весьма невелико, если мгновенное отрицательное напряжение сетки близко к «напряжению запираения». Это обстоятельство объясняет получение практически одинакового нижнего угла отсечки для импульсов анодного тока, соответствующих различным коэффициентам использования анодного напряжения (рис. 1-8).

Характеристики сеточного тока, снятые при различных потенциалах анода в зависимости от

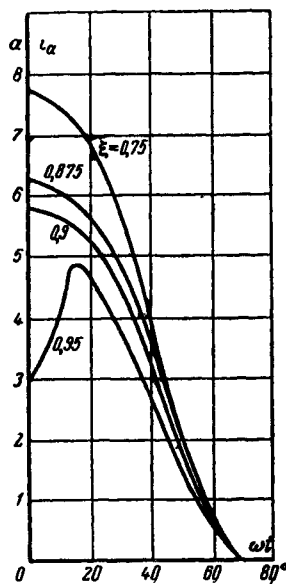


Рис. 1-8. Импульсы анодного тока триода 6К1А, получающиеся при различных коэффициентах использования анодного напряжения

$E_a = 10 \text{ кВ}$, $E_c = -2 \text{ кВ}$, $U_{г1} = 2,9 \text{ кВ}$

сеточного напряжения, представляют собой веер кривых, выходящих из начальной точки анодно-сеточных координат (рис. 1-2). Поэтому представляется нецелесообразным приписывать цепи сетки неизменный коэффициент усиления $\mu_c = -\frac{di_c}{de_a}$ (так называемый «рефлексный множитель»), находимый в предположении равномерно сдвинутых характеристик сеточного тока.

Анодно-сеточные характеристики тетродов и пентодов, снятые при различных анодных напряжениях, также веерообразны. Ток экранирующей сетки начинается одновременно с анодным, но для некоторых современных пентодов и лучевых тетродов, имеющих хорошую фокусировку электронного потока, веер характеристик тока i_{c2} расположен правее (рис. 1-9). Поэтому напряжение запирания E_c'' для идеализированных характеристик тока экранирующей сетки может быть значительно меньше (по своей абсолютной величине) напряжения запирания E'_c , справедливого для идеализированных анодно-сеточных характеристик анодного тока. Следовательно, угол отсечки тока второй сетки может быть значительно меньше угла отсечки анодного тока.

Анодные характеристики тетродов и пентодов при их нормальном использовании по току аналогичны характеристикам генераторных триодов. Таким образом, для тетродов и пентодов приближенно общую начальную линию анодного тока также можно считать линией критических режимов (рис. 1-10).

Для некоторых пентодов наблюдается взаимное сближение линий спада анодного тока характеристик $i_a = f(e_a)$, снятых при различных напряжениях на управляющей сетке. В этом случае S_k определяется как крутизна линии, исходящей из начала координат с верхней точкой, лежащей на характеристике, снятой при положительном сеточном напряжении $e_{c, \max}$, которое соответствует максимально возможному использованию лампы по анодному току. Изменение S_k в пределах $\pm 10\%$ практически не влияет на точность расчета коэффициента использования анодного напряжения.

Другим расчетным параметром пентода и тетрода является обычная крутизна, находящаяся из графика

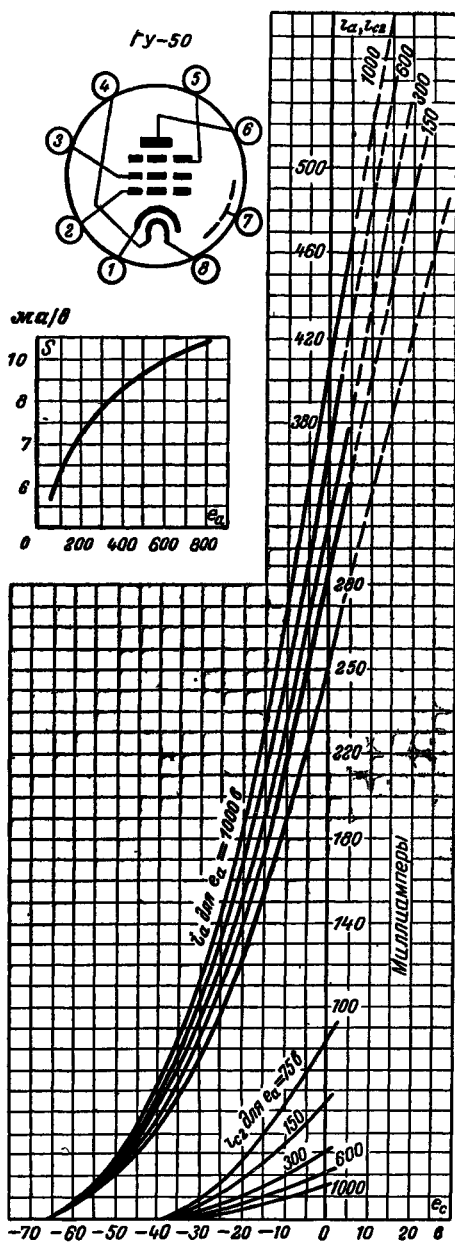


Рис. 1-9. Анодно-сеточные
характеристики пентода
Гy-50.

$$E_{c2} = 250 \text{ в}; E_{c3} = 0, \\ E'_c = 40 \text{ в}.$$

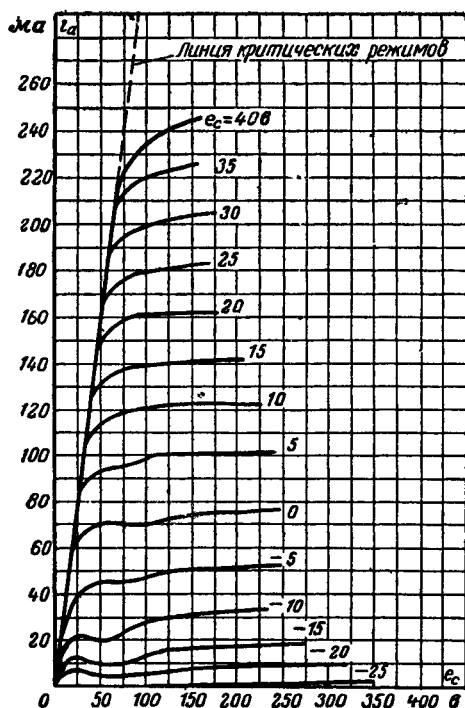


Рис. 1-10. Анодные характеристики одной половины лучевого тетрода 6У-17 для $E_{c2} = 200$ в.

Крутизна линии критического режима

$$S_K = 2,9 \text{ ма/в.}$$

$S = f(e_a)$. При работе в пограничном режиме справедливы соотношения

$$I_m = S_K e_{a. \text{мин}} = S_K (E_a - U_{ma});$$

$$I_m = S(e_{c. \text{макс}} + |E'_c|) = S(E_c + U_{mc} + |E'_c|).$$

Следовательно,

$$S_K e_{a. \text{мин}} = S(e_{c. \text{макс}} + |E'_c|).$$

Тогда получим:

$$S = S_K \frac{e_{a. \text{мин}}}{e_{c. \text{макс}} + |E'_c|}.$$

Зная S_K , можно найти S по данным оптимального режима. Последняя формула приближенно справедлива и для правого триода. Считая в оптимальном режиме $e_{a,\text{мин}} = e_{c,\text{макс}}$ и $E_c' \approx 0$, получаем $S \approx S_K$, т. е. приходим к известному соотношению.

В случае анодно-экранной модуляции и модуляции на экранирующую сетку возникает необходимость знать коэффициент усиления во второй сетке $\mu_2 = \Delta E_{c2} / \Delta E_c$ для $i_a = \text{const}$. Коэффициент $\mu_3 = \Delta E_a / \Delta E_{c3}$ необходимо знать при модуляции на третью сетку. Параметры μ_2 и μ_3 желательно находить, беря точки на характеристиках, соответствующие использованию лампы по току в телеграфном режиме.

Часто анодно-сеточные характеристики тетрода и пентода, снятые при различных анодных напряжениях, изображают равномерно смещенными. Такое изображение не соответствует реальным характеристикам. Иногда анодные характеристики генераторных тетродов изображают с впадинами, обусловленными динаatronным эффектом, и на этом основании выводят специальные формулы, рекомендуемые при расчете оптимального коэффициента использования анодного напряжения $\xi_{\text{опт}}$. Заметим, что эти впадины имеются только при малом использовании лампы по анодному току, наблюдаемом в случае отрицательных потенциалов управляющей сетки. При нормальном же использовании по току анодные характеристики не имеют впадин [Л. 2].

1-2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАМПЫ ПО АНОДНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ

При расчете эксплуатационного режима генераторной лампы обычно исходят из известных величин постоянного анодного напряжения E_a и полезной номинальной мощности P_N . Значение этих величин и параметра S_K определило подход к рассмотрению оптимального или пограничного режима генераторной лампы с высокоэффективным катодом. Этот режим характеризуется оптимальным коэффициентом использования по анодному напряжению

$$\xi_{\text{опт}} \approx 1 - \frac{2P_N}{a_1 S_K E_a^2}. \quad (1-1)$$

Формула (1-1) применима для генераторных триодов, тетродов и пентодов и хорошо согласуется с формой импульса анодного тока.

В оптимальном режиме обычно имеет место плоский импульс анодного тока, характеризующийся нижним углом отсечки θ и верхним углом θ' .

Пределы изменений $\xi_{\text{опт}}$ для триодов обычных тетродов, лучевых тетродов и пентодов 0,8—0,9.

Для маломощных тетродов и пентодов, работающих с пониженными анодными напряжениями, нередко

$$\xi_{\text{опт}} \approx 0,75 - 0,8.$$

Формула (1-1) введена автором в учебную практику в 1941 г. и опубликована в 1948 г. [Л. 1]. Ее вывод базируется на удобном методе [Л. 24], внедренном в отечественную теорию Н. С. Бесчастновым [Л. 6], предложившим формулу

$$\xi_{\text{опт}} \approx 1 - \frac{2P_{\sim}}{\alpha_1 S_K E_a^2 \cos \theta'} , \quad (1-2)$$

приблизленно пригодную для всех типов ламп. Но в ряде случаев имеет место несогласование найденного $\xi_{\text{опт}}$ с формой импульса анодного тока. Например, при $\theta = 75^\circ$ и $\theta' = 20^\circ$ получают для плоского импульса $\xi_{\text{опт}}$, которое одинаково как и для косинусоидального импульса при $\theta = 75^\circ$, если мощность взята одинаковой в обоих случаях. Иногда для плоского импульса (наблюдаемого при большой перенапряженности режима) получают даже меньшее значение $\xi_{\text{опт}}$, чем для косинусоидального. Так, например, для типового режима пентода 4П1Л ($E_a = 200$ в, $P = 4,6$ вт, $S_K = 2$ ма/в) в случае плоского импульса ($\theta = 90^\circ$ и $\theta' = 35^\circ$) получают $\xi_{\text{опт}} = 0,747$, а для косинусоидального при $\theta = 90^\circ$ имеет место $\xi_{\text{опт}} = 0,77$.

Формула (1-1) получена из исходного выражения

$$\xi_{\text{опт}} = 1 - \frac{I_m}{S_K E_a} . \quad (1-3)$$

Так как для триодов, работающих в пограничном режиме, $S \approx S_K$, то (1-3) приводится к виду:

$$\xi_{\text{опт}} \approx 1 - \frac{I_m}{S E_a} , \quad (1-4)$$

т. е. получаем формулу, предложенную в 1927 г. А. И. Бергом. Формулой (1-3) удобно пользоваться, если известно предельно допустимое значение анодного тока $I_{a0 \text{ пред}}$, согласно которому выбирают анодный ток

$$I_{a0} \approx (0,9 - 1) I_{a0 \text{ пред}}. \quad (1-5)$$

Тогда получим выражение

$$\xi_{\text{опт}} \approx 1 - \frac{I_{a0}}{\alpha_0 S_R E_a}, \quad (1-6)$$

также используемое для расчета.

1-3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Значение $\xi_{\text{опт}}$, найденного по (1-1), определяет дальнейший ход расчета. Становится возможным нахождение первой гармоники анодного тока

$$I_{a1} = \frac{2P_N}{U_{ma}}, \quad (1-7)$$

постоянной составляющей анодного тока

$$\gamma_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma}, \quad \text{где } \gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_0} \quad (1-8)$$

мощности, подводимой к генератору,

$$P_0 = I_{a0} E_a, \quad (1-9)$$

мощности, рассеиваемой на аноде,

$$P_a = P_0 - P, \quad (1-10)$$

к. п. д. по анодной цепи

$$\eta = \frac{P}{P_0}, \quad (1-11)$$

эквивалентного сопротивления анодной цепи

$$R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}}. \quad (1-12)$$

Таким образом, могут быть найдены все величины, справедливые для анодной цепи лампового генератора.

Коснемся расчета цепи управляющей сетки. Для всех ламп (триод, тетрод, пентод) справедлива общая формула расчета напряжения смещения

$$E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta, \quad (1-13)$$

где E'_c — напряжение запираения, которое в триоде соответствует анодно-сеточной характеристике с выбранным E_a ; в тетродах и пентодах напряжение E'_c определяется общей начальной точкой веера идеализированных характеристик, справедливых при выбранном напряжении E_{c2} .

В тетродах и пентодах, работающих плоским импульсом анодного тока, амплитуда возбуждающего напряжения

$$U_{mc} = \frac{I_m'}{S(\cos \theta' - \cos \theta)}. \quad (1-14)$$

При работе косинусоидальным импульсом

$$U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta}, \quad (1-15)$$

где

$$\beta = \alpha_1 (1 - \cos \theta). \quad (1-16)$$

Формула (1-13) также справедлива для мощного генераторного триода, имеющего $\mu \geq 40-50$ и работающего в пограничном режиме, при котором напряжение $e_{a, \min}$ соответствует точке, находящейся на линии спада анодного тока. Так как в этом случае $S \approx S_K$, то получим формулу

$$U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S_K \beta}. \quad (1-17)$$

Формулой (1-17) можно пользоваться для расчета U_{mc} в максимальном режиме при амплитудной модуляции.

Для понимания необходимости использовать другую формулу остановимся на вопросе, связанном с особенно-

стями режимов новых генераторных триодов. Среди них ведущая роль принадлежит мощным УКВ триодам с карбидированным катодом. Для этих ламп характерно относительное уменьшение предельной мощности рассеяния на сетке. Чтобы не допустить ее перегрева, необходимо работать с уменьшенным сеточным током. Поэтому часто возникает необходимость в уменьшении расчетного значения $\xi_{\text{опт}}$ на 4—8%, чтобы получить несколько недонапряженный режим, характеризующийся пониженным сеточным током. В лампе имеет место косинусоидальный импульс анодного тока. Равенство $S \approx S_K$ становится несправедливым. Превышение S над S_K может быть порядка 10—25%. Возрастание S объясняется анодной реакцией, о которой свидетельствует явно выраженный подъем характеристики $i_a = f(e_a)$ при значительных потенциалах сетки. Это объясняет необходимость использования формулы

$$U_{mc} = \frac{I_m}{S(1 - \cos \theta)} + DU_{ma} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma}. \quad (1-18)$$

Крутизна

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} \quad (1-19)$$

находится для напряжения $e_a \approx E_a - U_{ma}$ при токе i_a'' , близком к значению I_m , ток $i_a' = (0,1 - 0,2)I_m$. Формула (1-19) справедлива и для ДЦВ триодов, работающих в резко недонапряженном режиме, при котором S может быть в 1,5—2 раза больше S_K .

1-4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАМПЫ ПО АНОДНОМУ ТОКУ

Существовало неправильное утверждение о том, что основной тип катода в мощных лампах — вольфрамовый и что катод из карбидированного торированного вольфрама можно применять лишь в лампах средней мощности, имеющих $E_a < 1500$ в. В настоящее время катод из карбидированного торированного вольфрама получил широкое распространение в мощных генераторных лампах. Он успешно применяется в генераторных триодах, работающих при более высоком анодном напряжении, например, при $E_a = 18 - 20$ кВ и имеющих $P_N = 500$ кВт.

В отечественных радиопередатчиках применяются многие мощные триоды с катодом из карбидированного торированного вольфрама, преимущественно предназначенные для работы на УКВ в схемах с заземленной сеткой (триоды ГУ-5А, ГУ-5Б, ГУ-10А, ГУ-10Б, ГУ-4А, ГУ-21Б, ГУ-22А, ГУ-23А и др.).

Утверждение о необходимости выбора в мощной лампе с вольфрамовым катодом импульса анодного тока

$$I_m = (0,85 - 0,9) I_e, \quad (1-20)$$

устарело в отношении подавляющего большинства мощных генераторных триодов. Большинство современных генераторных ламп с вольфрамовым катодом работает в режиме интенсивного пространственного заряда, имея $I_m = (0,3 - 0,6) I_e$.

Высказанное положение иллюстрируется табл. 1-1, в которой приведены данные по использованию тока эмиссии некоторых современных отечественных и зарубежных мощных триодов с вольфрамовым катодом.

Т а б л и ц а 1-1

Лампа	P , квт	E_a , кв	I_e , а	I_m/I_e
ГУ-89А	10,4	7,5	12	0,54
Г-891	10,8	7,5	9,5	0,664
893	33,1	12	25	0,64
898-А	100	18	57	0,422
5592	34,6	11	30	0,533
ГУ-11А	29	10	21	0,56
ГК-3А	97	12	60	0,634
ГУ-16Б	18	8	17	0,56
ГК-1А	250	10	350	0,35

Резкое недоиспользование эмиссии способствует приближению виртуального катода к сетке, что ведет к значительному возрастанию крутизны. Благодаря увеличенному значению S возрастает коэффициент усиления каскада по мощности, что вызывает сокращение числа каскадов в передатчике. Следовательно, недоиспользование эмиссии катода, питаемого «дешевой» энергией силовой сети, вполне рационально, так как оно способствует экономному расходованию «дорогой» энергии,

подводимой в анодные цепи передатчика от выпрямительного устройства.

Современный вольфрамовый катод обычно имеет эффективность $H \approx 7-10$ ма/вт; в некоторых триодах она достигает ~ 15 ма/вт.

Большинство ламп средней и большой мощности с карбидированным катодом работает в телеграфном

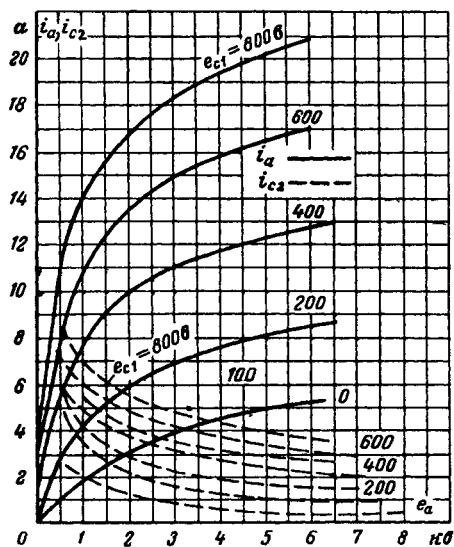


Рис. 1-11. Анодные характеристики 10-киловаттного тетрода при $E_{c2} = 2$ кв.

режиме, имея импульс анодного тока $I_m = (0,2-0,3) I_e$, где I_e — нижний предел тока эмиссии, при котором происходит заметное сближение верхних анодных характеристик, свидетельствующее о возможности режима насыщения. Во многих случаях это сближение нельзя получить вследствие опасности перегрева сеток.

Чтобы судить о возможном использовании эмиссии в мощных генерторных лампах, отметим, что в десятикиловаттном УКВ тетроде (одном из вариантов лампы ГУ-28) для типового режима имеет место импульс $I_m = 6$ а, тогда как $I_e > 30$ (рис. 1-11).

В литературе приводится завышенное значение пиковой эффективности карбидированного катода, кото-

рую считают равной 50—75 *ма/вт*. Лампы, используемые с такой эффективностью, выйдут из строя вследствие перегрева катода. На практике в телеграфном режиме необходимо иметь пиковую эффективность $H = 20\text{—}25$ *ма/вт*, т. е. вдвое и втрое меньшую. Пиковая эффективность карбидированного катода может быть увеличена в 3—5 раз при работе в импульсном режиме.

Карбидированный катод имеет следующие преимущества по сравнению с вольфрамовым:

а) уменьшение температуры нагрева, что обуславливает значительную экономию мощности накала;

б) меньший нагрев стекла баллона и вводов, что увеличивает надежность работы, особенно при повышенных частотах. В некоторых случаях отпадает необходимость принудительного воздушного охлаждения;

в) меньший температурный перепад между нагретой и охлаждаемой частями колбы, что позволяет упростить ее конструкцию и уменьшить размеры;

г) уменьшение температуры катода, позволяющее увеличить мощность, рассеиваемую на аноде;

д) возможность приблизить управляющую сетку к поверхности катода без опасения ее перегрева. Тогда получают значительное возрастание крутизны и лучшую фокусировку электронов, летящих между витками сетки, что способствует уменьшению сеточного тока;

е) уменьшение энергии накала, позволяющее иметь в мощных лампах меньшее число выводов и способствующее уменьшению выходной емкости;

ж) возможность получить в пиковом режиме при амплитудной модуляции импульс анодного тока в 1,5—2 раза больший, чем в телеграфном режиме, за счет кратковременного использования запаса эмиссии;

з) наличие режима интенсивного пространственного заряда, способствующего ослаблению электронных флуктуаций. Поэтому в радиовещательных передатчиках значительно снижается уровень шумов;

и) увеличение долговечности катода (более 1 500 ч). В некоторых лампах получают долговечность, достигающую до 10 000—20 000 ч.

Недостаток карбидированного катода заключается в его хрупкости, обусловленной тем, что коэффициенты расширения карбида вольфрама и чистого вольфрама неодинаковы. Поэтому при частом нагревании и охлаж-

дении поверхность катода покрывается трещинами, ослабляющими его прочность. Частое включение и выключение источника накала ведут к преждевременному изнашиванию нити. Уменьшение напряжения накала по сравнению с номинальным недопустимо.

Значительно расширилось применение в генераторных лампах оксидного катода. В период 1935—1950 гг. пентоды и лучевые тетроды с подогревным оксидным катодом входили в категорию маломощных ламп. В настоящее время имеются УКВ тетроды средней и большой мощности с подогревным оксидным катодом. Пентоды и тетроды с оксидным катодом прямого накала менее распространены и относятся к самым маломощным ($P_N=2—15$ вт).

Лампы с оксидным катодом не имеют явно выраженного тока насыщения, поэтому возникает особенная необходимость знать его пиковую эффективность, соответствующую безопасной эксплуатации. Иногда указывают пиковую эффективность подогревного оксидного катода $H=30—35$ ма/вт, что не соответствует истине. В действительности для современных пентодов и лучевых тетродов эффективность $H=80—100$ ма/вт. Кроме того, отсутствует резкая разница между эффективностями оксидных катодов прямого и косвенного накала. Эффективность катода прямого накала больше, чем у косвенного, на 10—20%. Это объясняется применением подогревного катода в лампах, имеющих увеличенную номинальную мощность ($P_N=20—150$ вт), для которых имеет место повышенная удельная эмиссия.

У ламп с высокоэффективными катодами при импульсной работе с малой скважностью импульс анодного тока может быть в десятки раз больше импульса I_m при обычном телеграфном режиме. Поэтому для импульсной работы необходимо знать амплитуду (максимальный «всплеск») тока катода для выбранной скважности.

При обычной телеграфной работе температура катода зависит от длительного динамического режима. Она определяется среднеквадратичным значением тока катода и обратным его подогревом от анода. Основной частью тока катода является постоянная составляющая анодного тока I_{ao} . Его предельное значение $I_{a0 пред}$, полученное из длительных испытаний лампы в течение

паспортного срока службы, определяет нормальное использование лампы по анодному току.

Целесообразно ввести понятие о динамической эффективности катода по анодному току H_0 , находимой как отношение тока $I_{a0 \text{ пред}}$ к мощности накала P_n , являющейся своеобразным инвариантом для групп ламп, не слишком разнящихся по времени выпуска. Изучение эксплуатационных режимов большого количества генераторных ламп показывает, что различные группы ламп, характеризующиеся одинаковым катодом, имеют мало разнящиеся значения H_0 для большинства отдельных типов ламп, входящих в рассматриваемую группу. Следовательно, можно рассчитать предельный ток

$$I_{a0 \text{ пред}} = H_0 P_n.$$

Для различных групп ламп динамическая эффективность катода H_0 составляет:

Мощные триоды с вольфрамовым катодом . . .	1,4—1,8	ma/vt
Лампы средней мощности с карбидированным катодом	5—7	"
Маломощные пентоды с оксидным катодом прямого накала и современные пентоды и лучевые тетроды средней мощности с оксидным катодом	16—22	"
Мощные триоды с карбидированным катодом	2—5	"

При перегреве катода можно получить большее значение H_0 , но срок службы лампы в этом случае резко сокращается.

При конструировании лампы исходят из оптимальной плотности электронного потока, при котором происходит наилучшее токораспределение. Оно определяет геометрию лампы, обеспечивающую наилучшие условия с точки зрения электронной оптики. Например, в лучевом тетроде стремятся получить пересечение траекторий летящих электронов точно в серединах междувитковых промежутков второй сетки, чтобы получить наименьший ток I_{c2} ; область же нулевого пространственного потенциала между экраном и анодом должна замкнуть края боковых пластин, образуя (при взгляде сверху) эллипсоидальный барьер, препятствующий вторичным электронам проникать с анода на экран (рис. 1-12, 1-13, 1-14). Но если электронная оптика выбрана в соответствии

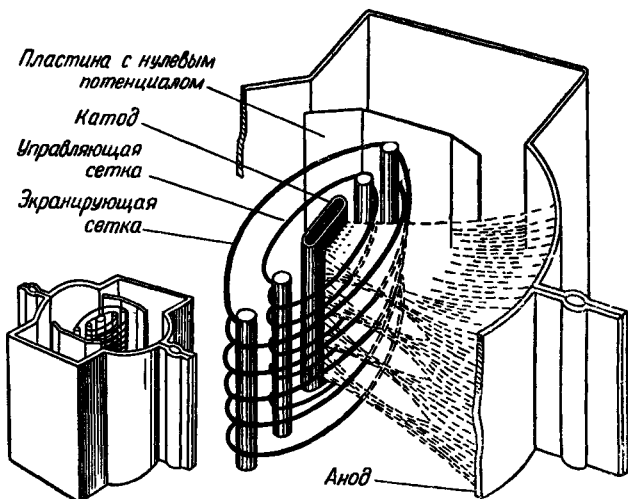


Рис. 1-12. Конструкция лучевого тетрода.

с оптимальной плотностью анодного тока, то нельзя рекомендовать режимы, которым присущи резко неравные анодные токи. Поэтому электровакуумные заводы стремятся рекомендовать эксплуатационные режимы, при которых анодный ток остается неизменным (например, в лучевых тетродах Г-807 и ГУ-13) или режимы с его незначительным изменением.

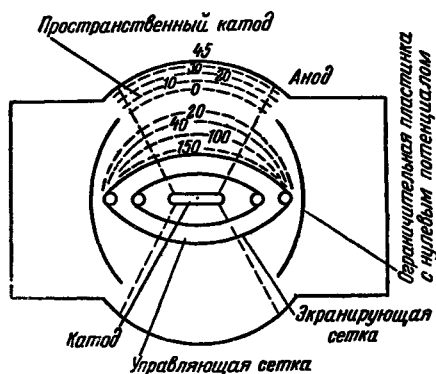


Рис. 1-13. Разрез конструкции тетрода (вид сверху).

При сильном недоиспользовании лампы по току возникает опасность динатронного эффекта и увеличивается ее нагрузочное сопротивление, что обуславливает возможность применения лампы на повышенных частотах. Поэтому, если полезная мощность лампы чрезмерно велика, то рекомендуется понизить анодное напряжение, но не снижать анодный ток.

При сильном недоиспользовании лампы по току возникает опасность динатронного эффекта и увеличивается ее нагрузочное сопротивление, что обуславливает возможность применения лампы на повышенных частотах. Поэтому, если полезная мощность лампы чрезмерно велика, то рекомендуется понизить анодное напряжение, но не снижать анодный ток.

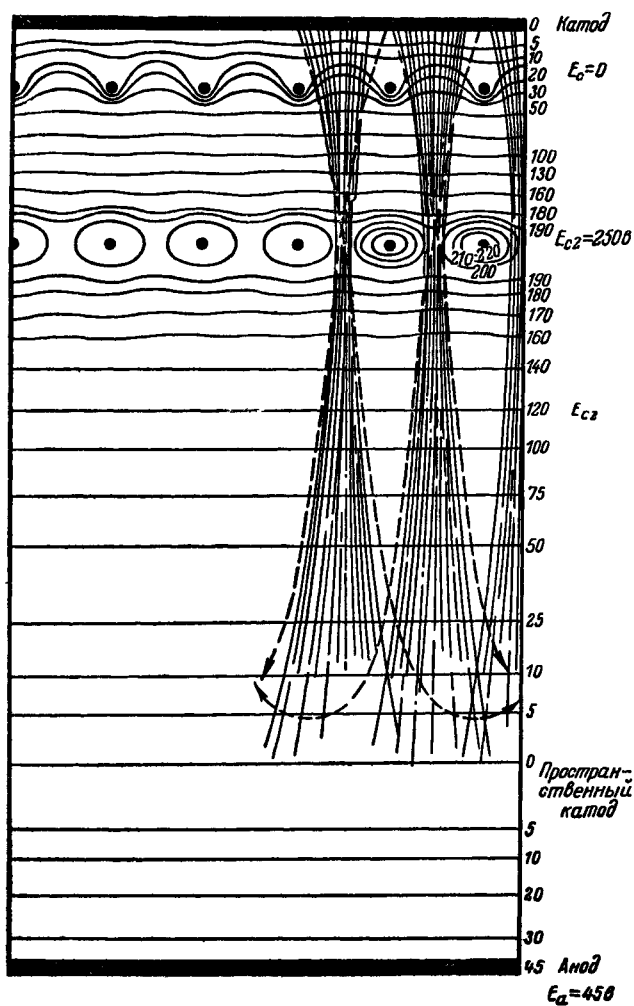


Рис. 1-14. Распределение потенциала и траектории электронов между катодом и анодом лучевого тетрода.

1.5. ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ КАТОДОВ

В настоящее время катод из карбидированного торирированного вольфрама получил наибольшее распространение в генераторных лампах средней и большой мощности, работающих на УКВ, а также в коротковолновом и средневолновом диапазонах. Эти лампы преимущественно используются в радиотелеграфном и радиотелефонном режимах. Однако в импульсных генераторных лампах, работающих на СВЧ, и в импульсных модуляторных лампах все шире применяют новые высокоэффективные катоды. Дадим их краткую характеристику.

Танталовые катоды. В мощных высоковольтных лампах нашли применение танталовые катоды, имеющие температуру плавления 3120°K . Эти катоды при температурах $2300\text{—}2500^{\circ}\text{K}$ дают эмиссию в 10 раз большую, чем вольфрамовые, что объясняется несколько меньшей работой выхода, равной $4,07\text{ в}$ (для вольфрама $4,52\text{ в}$). Недостатком танталового катода является его пониженная механическая прочность, объясняемая тем, что при повышенном нагреве тантал рекристаллизуется и становится хрупким и ломким.

Синтерированные катоды. У синтерированных или ториево-оксидных катодов покрытие из окиси тория помещается на вольфрамовом или молибденовом керне. В этих катодах отсутствует запорный слой между слоем оксида и керном (он существует в оксидных катодах из щелочноземельных металлов), вследствие чего катоды способны создать большую импульсную эмиссию.

Для ториево-оксидных катодов, используемых в импульсном режиме, отсутствует спад эмиссии, наблюдаемый в лампах с обычным оксидным катодом. Рабочая температура $1700\text{—}1950^{\circ}\text{K}$. Эффективность изменяется в пределах $20\text{—}80\text{ ма/вт}$. В импульсном режиме эффективность может быть большей в $5\text{—}20$ раз. Эти катоды применяются в мощных импульсных лампах и магнетронах.

Синтерированные катоды косвенного накала применяются, например, в импульсных модуляторных тетрадах ГМИ-83, ГМИ-89, ГМИ-90, предназначенных для усиления мощности в схемах с накопительной емкостью в цепи анода.

Металлокерамический ториево-оксидный катод. Этот сложный катод с электронным подогревом изготавливают посредством спекания мелкозернистых порошков вольфрама и окиси тория в тонкостенные трубки, которые в свою очередь спекаются с молибденовыми цилиндрами. Внутри цилиндра помещают изолированный вольфрамовый подогреватель. Рабочая температура 1500—1900° К. Катод устойчив к ионной бомбардировке, хорошо работает при высоких анодных напряжениях и имеет малую склонность к искрению. В импульсном режиме способен давать эмиссию порядка 15 а/см^2 . Применяется в импульсных магнетронах и мощных генераторных лампах. В частности, такой катод применен в мощном триоде ГУ-26А, предназначенном для телевизионных передатчиков.

В этой лампе эффективность катода более 50 ма/вт.

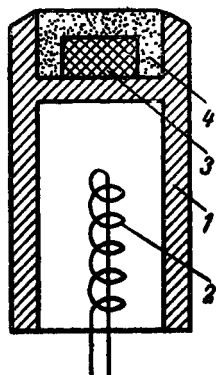


Рис. 1-15. Конструкция Л-катода.

Бариево-вольфрамовые катоды (Л-катоды). В этом катоде, используемом в лампах дециметрового и сантиметрового диапазонов, применена специальная подогревная конструкция (рис. 1-15). Основание катода сделано в виде молибденового стаканчика 1, в котором расположен подогреватель 2. В углублении верхней части помещена таблета 3 из смеси карбонатов бария и стронция. Чашечка заполнена пористым вольфрамом 4, внешняя сторона которого является рабочей поверхностью катода. Активная пленка образована барием при нагревании диффундирующим на поверхность.

При повышенной температуре существует опасность распыления бария, загрязняющего сетку, что ведет к увеличению сеточного термотока. Геометрическая форма катода позволяет более близкое расположение к сетке. Это обстоятельство играет положительную роль в триодах сантиметрового диапазона, где имеют место пролетные явления. Описанный катод применяется также в магнетронах и мощных клистронах.

1-6. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Передовые электровакуумные заводы, заинтересованные в соблюдении гарантийной долговечности ламп, рекомендуют потребителю типовые эксплуатационные режимы, разработанные в лабораториях применения ламп. Конструктору современного лампового генератора завод сообщает рекомендуемые величины E_a , E_c , E_{c2} , U_{mc} , R_c , R_{c2} , I_{a0} , I_{c2} и т. д. Часто конструктору остается лишь проверить соответствие этих величин особенностям проектируемого передатчика. В ряде случаев конструктор может иметь в своем распоряжении почти исчерпывающие данные по необходимому виду работы лампового генератора.

Специфика проектируемого передатчика может обусловить выбор его режима, отличного от режимов, рекомендуемых электровакуумным заводом, но в этом случае конструктор обязан не превысить предельных электрических величин.

В этих условиях назрела необходимость модернизации расчетной методики режимов ламповых генераторов. Эта методика должна привить навыки в быстром поверочном расчете. Величины, полученные расчетным путем, полезно сравнить с аналогичными величинами, рекомендуемыми электровакуумным заводом. Такое сравнение часто служит критерием правильности расчета и приучает проектировщика к соблюдению требований электровакуумной промышленности¹.

Соблюдение предельных электрических величин играет важную роль при эксплуатации генераторных ламп. В теории радиопередающих устройств основными предельными величинами считаются E_a , P_{aN} , I_e ; на них базировался расчет старых триодов с вольфрамовым катодом.

Для современных ламп основными предельными величинами являются:

$$E_a, P_{aN}, P_{cN}, P_{\text{опред}}, I_{a0 \text{ пред}}.$$

¹ В случае явного несовпадения расчетных величин или значений, полученных из графоаналитического исследования характеристик, с типовым режимом, рекомендуемым радиоламповым заводом, может возникнуть необходимость в запросе или рекламации, адресованной в лабораторию завода

Кратко охарактеризуем их роль.

Для современных мощных УКВ триодов, имеющих карбидированный катод, наиболее критичной предельной величиной в телеграфном режиме является номинальная мощность, рассеиваемая сеткой P_{cN} . Температурные условия сетки определяются не только мощностью, рассеиваемой на сетке, но и подогревом со стороны катода и анода. Поэтому при уменьшенной мощности P_a , т. е. при работе с повышенным к. п. д., создаются облегченные температурные условия для работы сетки.

При анодной и анодно-экранной модуляции наиболее критичной величиной является напряжение E_a , которое в режиме несущей волны обычно выбирается равным $(0,7—0,8) E_a$.

Наиболее критичной величиной для всех видов сеточной модуляции является номинальная мощность, рассеиваемая анодом P_{aN} . Ее значение неизменно в лампах с естественным и с принудительным водяным охлаждением. В лампах с принудительным воздушным охлаждением величина P_{aN} может изменяться в зависимости от интенсивности воздушного потока. В последнее время получают распространение лампы с пароводяным охлаждением¹, характеризующиеся повышенной удельной теплоотдачей анода.

Мощность P_{aN} устанавливается, исходя из условий несущей волны при амплитудной модуляции, т. е. при резко недонапряженном режиме. В большинстве коротковолновых ламп для телеграфного режима имеет место соотношение

$$P_a \approx (0,3 — 0,5) P_{aN}, \quad (1-21)$$

¹ При водяном охлаждении температура воды порядка 50° С. При охлаждении паром температура воды доводится до 100° С. Для преобразования 1 л воды с температурой 100° С в пар требуется 539 кал. Источником этой тепловой энергии является анод. Отдавая энергию, необходимую для создания пара, анод охлаждается. Созданы УКВ триоды с пароводяным охлаждением, имеющие полезную мощность до 120 кВт. Фирмой Телефункен выпущены УКВ триоды с пароводяным охлаждением, имеющие полезную мощность 10, 35 и 120 кВт. В них применен кольцевой вывод сетки. Крутизна у них порядка 30—60 ма/в, выходная емкость 1—1,5 пф. 30-киловаттный триод работает на частоте до 225 Мгц, два других — на частотах до 30 Мгц (Senderrohren, 1957, Telefunken).

т. е. в этом случае P_{aN} нельзя считать критичной величиной.

Предельная мощность постоянного тока, подводимая к ламповому генератору, $P_{0 \text{ пред}}$ является более критичной величиной, чем мощность P_{aN} . Величиной $P_{0 \text{ пред}}$ удобно пользоваться при расчете среднemosных генераторов. В лампах пониженной мощности (Г-411, Г-807, ГУ-13 и др.) устанавливают $P_{0 \text{ пред}} = I_{a0 \text{ пред}} E_a$. Ее выбор диктуется анодным током, при котором не происходит перегрева оксидного катода. В этом случае пониженное напряжение E_a обусловлено не опасностью электрического пробоя, а требованием эффективной работы, на повышенных частотах, что возможно при малом нагрузочном сопротивлении

$$R_{0e \text{ опт}} \approx 0,4 \frac{E_a^2}{P_N}.$$

В лампах с повышенной мощностью выбирают E_a , безопасное с точки зрения пробоя. Но в обоих случаях для большинства ламп справедливо соотношение между полезной и подводимой мощностями

$$P \approx (0,65 - 0,7) P_{0 \text{ пред}}. \quad (1-22)$$

Так как мощность $P_{0 \text{ пред}}$ является точной и легко измеряемой величиной, то согласно (1-22) легко установить полезную мощность лампы и безопасный для ее эксплуатации энергетический режим.

Ток эмиссии I_e не может быть предельной величиной даже в лампах с вольфрамовым катодом.

1-7. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Нагрев ламповой конструкции определяется суммой тепловых потерь, а именно:

- а) мощностью, рассеиваемой анодом, P_a ;
- б) мощностью, рассеиваемой сетками;
- в) мощностью накала P_n ;
- г) мощностью высокочастотных потерь во вводах и стойках преимущественно первой сетки $P_{\text{ввод}}$;
- д) мощностью диэлектрических потерь $P_{\text{диэл}}$.

Два последних вида потерь не являются характерными для ламп, работающих в диапазонах промежуточ-

ных и средних волн. Для этих ламп температурный режим определяется в основном мощностью P_a . Приближенно температурные условия средневолнового триода определяются суммой мощностей

$$P_{\Sigma} = P_a + P_n + P_c.$$

Для пентода, работающего на промежуточных волнах, эта сумма имеет вид:

$$P_{\Sigma} \approx P_a + P_n + P_c + P_{c2} + P_{c3}.$$

Но, например, для мощного УКВ триода имеет место

$$P_{\Sigma} \approx P_a + P_n + P_c + P_{\text{ввод}} + P_{\text{диэл}}.$$

Рассмотрение отдельных составляющих, входящих в мощность P_{Σ} , позволяет уяснить конструктивные тенденции, ведущие к повышению полезной мощности генераторной лампы (в заданных ее габаритах), без ухудшения температурных условий. Эти тенденции сводятся к возможному увеличению мощности, рассеиваемой анодом, P_a за счет других мощностей, определяющих температурный режим лампы.

Так, например, замена вольфрамового катода карбидированным катодом ведет к значительному уменьшению мощности P_n . Следовательно, можно увеличить P_a , т. е. в условиях неизменного температурного режима получить возросшую полезную мощность

$$P = P_a \frac{\eta}{1 - \eta}.$$

Фокусировка электронного потока позволяет резко уменьшить токи экранирующей и управляющей сеток, т. е. снизить мощности P_{c2} и P_c и соответственно увеличить P_a .

Применение высококачественного стекла и укороченные электродных вводов и стоек ведут к уменьшению диэлектрических потерь и потерь во вводах и стойках, что опять-таки позволяет увеличить мощность P_a .

Применение тугоплавких металлов для изготовления анода позволяет увеличить мощность P_{an} без увеличе-

ния его размеров. К такому же результату приводит принудительное воздушное или водяное охлаждение

Показательно следующее сравнение. Для старого триода Г-400 с вольфрамовым катодом имеем: $E_a=3$ кв и $P_n=145$ вт. В динамическом режиме при $I_n=0,7$ а, $\theta=90^\circ$ и $\xi=0,9$ получим $P=473$ вт, $P_a=200$ вт, $P_0=670$ вт, т. е. $P_n=0,72$, $P_a=0,216 P_0$.

Для близкого по мощности современного УКВ триода ГУ-8 с катодом из карбидированного торированного вольфрама справедлив следующий типовой режим: $E_a=3$ кв, $P=410$ вт, $P_a=100$ вт, $P_0=510$ вт, $P_n=31$ вт, т. е. $P_n=0,31$, $P_a=0,061 P_0$. В последнем случае имеет место относительное уменьшение мощности P_n по сравнению с P_a более чем вдвое и по сравнению с мощностью P_0 в 3,5 раза.

В теории ламповых генераторов считают тепловые потери в лампе локализованными на аноде. Номинальная мощность P_{aN} показывает предельное значение указанных потерь.

Это положение справедливо для средневолновых и (приблизленно) для коротковолновых ламп. Для УКВ лампы суммарные тепловые потери равны $P_T=P'+P_a$, где P_a обозначает мощность, рассеиваемую анодом, а P' — мощность, расходуемую на все другие виды потерь.

В маломощных лампах для метровых волн иногда имеет место равенство $P_a=P'$, т. е. тепловые потери в конструкции равны потерям на аноде.

Для УКВ лампы номинальная мощность P_{aN} показывает предельное значение всех тепловых потерь. Следовательно, в предельном температурном режиме получим равенство

$$P_T=P'+P_a=P_{aN}.$$

При возрастании частоты необходимо понижать анодное напряжение, причем при его понижении необходимо удовлетворять этому равенству.

В большинстве случаев УКВ лампы работают в предельном температурном режиме или в режиме, близком к предельному. Так, например, при телеграфной работе для многих УКВ ламп является справедливым соотношение $P_T=(0,9-1)P_{aN}$, показывающее, что в этом случае тепловой режим соответствует наиболее тяжелым температурным условиям, наблюдаемым в коротковол-

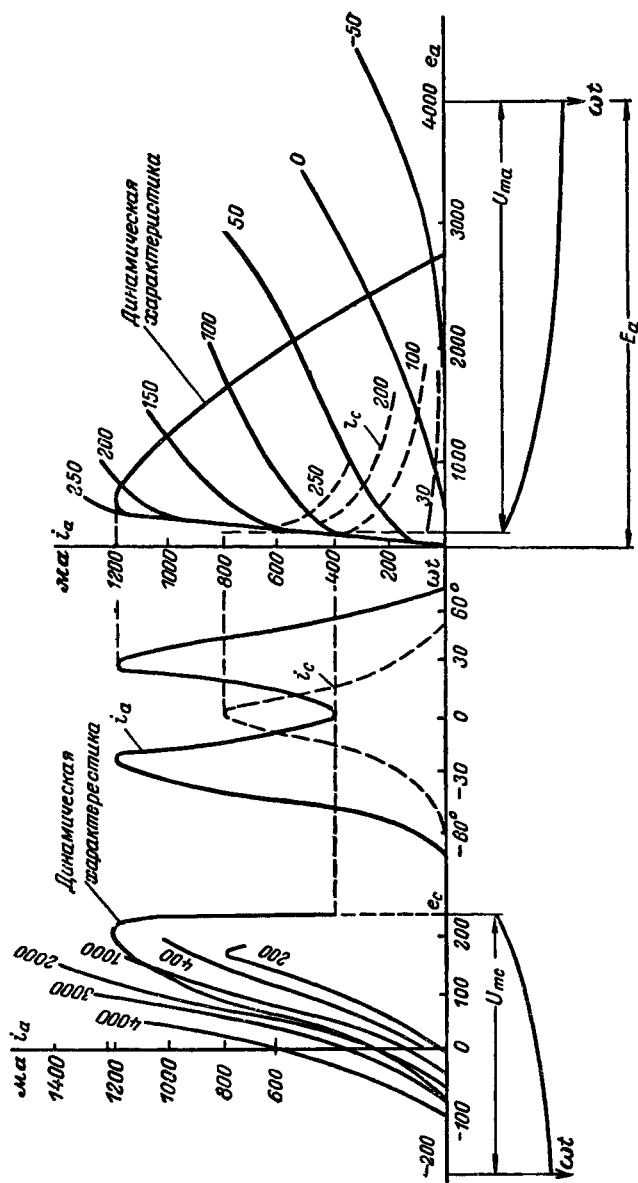


Рис. 1-16. График, поясняющий возникновение перенапряженного режима в триоде ГЛ-750. $E_a = 4 \text{ кВ}$, $E_c = -220 \text{ в}$, $U_{mc} = 470 \text{ в}$, $U_{ma} = 3880 \text{ в}$.

новых и средневолновых лампах только при сеточной модуляции в телефонной точке.

Тяжелые температурные условия явились причиной выбора в маломощных и среднемощных УКВ лампах перенапряженного режима работы (рис. 1-16), при котором снижается мощность, рассеиваемая анодом. Сле-

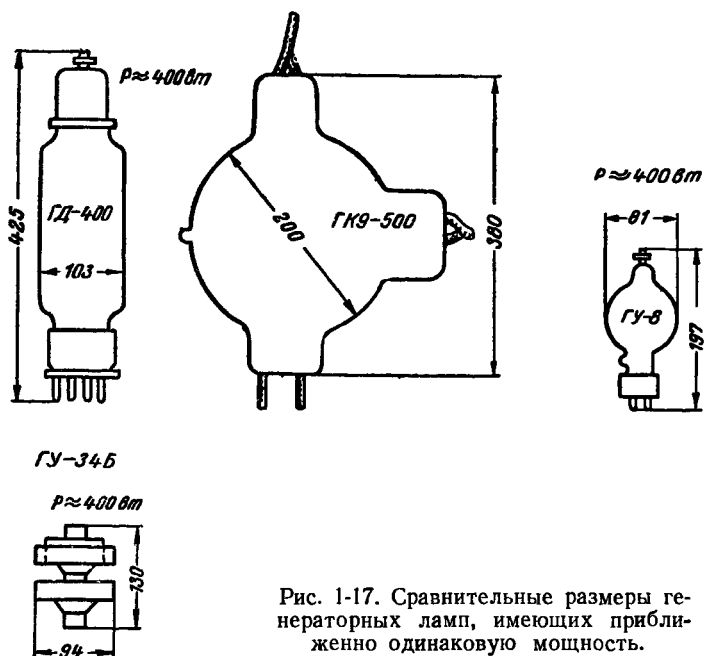


Рис. 1-17. Сравнительные размеры генераторных ламп, имеющих приблизительно одинаковую мощность.

довательно, можно уменьшить размеры анода, что приводит к уменьшению междуэлектродных емкостей и повышению предельной рабочей частоты. Перенапряженный режим применяется, например, в лампах 837, ГУ-29, ГУ-32, ГКС-750, ГУ-8 и др.¹

В перенапряженном режиме удастся получить наиболее высокий к. п. д., лежащий в пределах 0,8—0,85. Применение этого режима ведет к увеличению значения нагрузочного сопротивления.

¹ В современных мощных УКВ триодах перенапряженный режим, как правило, не применяется вследствие опасности перегрева сетки.

Для УКВ ламп характерны малые углы отсечки. Наиболее часто имеет место $\theta=60^\circ$. Но встречаются $\theta=55^\circ$ (тетрод ГУ-27А).

При уменьшенном угле отсечки становится возможным выбрать значительно увеличенный импульс анодного тока без риска превысить предельное значение его постоянной составляющей. Увеличение амплитуды импульса (возможное в условиях богатой эмиссии катода) ведет к возрастанию первой гармоники анодного тока; при неискаженном импульсе это сочетается с возрастанием остаточного анодного напряжения. Следовательно, лампа становится прибором, требующим уменьшенного нагрузочного сопротивления.

На рис. 1-17 показаны сравнительные размеры старых ламп триода ГД-400 и тетрода ГКЭ-500 и современных ламп УКВ триода ГУ-8 и УКВ и ДЦВ тетрода ГУ-34Б с принудительным воздушным охлаждением. Лампы имеют приблизительно одинаковую полезную мощность. Уменьшение габаритов при возросшей полезной мощности — характерная особенность современных ламп. Уменьшение размеров способствует снижению междуэлектродных емкостей и индуктивностей, выводов, определяющих минимально короткую рабочую волну.

1-8. МЕТОДЫ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНЫХ (ТЕЛЕГРАФНЫХ) РЕЖИМОВ

Расчет лампового генератора сводится к нахождению электрических величин, определяющих правильное использование лампы по току и напряжению. Появление средневолновых и коротковолновых ламп с высокоэффективными катодами не внесло изменений в вопросе о выборе $\xi_{\text{опт}}$, для которого остаются справедливыми пределы изменения $\xi=0,85-0,9$. В мощных УКВ тетрадах может возникнуть необходимость в выборе $\xi_{\text{опт}}=0,75-0,8$, чтобы уменьшить ток экранирующей сетки и облегчить ее тепловой режим. Такая же проблема может возникнуть в мощных УКВ триодах в отношении управляющей сетки.

Анодный ток находят, базируясь на одной из трех известных величин P_N , $P_{0 \text{ пред}}$, $I_{a0 \text{ пред}}$. Поэтому справедливы три основных расчетных метода. Каждый из них может быть удобен в рассматриваемом частном случае. Для средневолновых и коротковолновых ламп в основу

расчета удобно положить величины E_a и P_N , для УКВ ламп — величины E_a и $P_{0 \text{ пред}}$. Когда же ламповый завод вместо $P_{0 \text{ пред}}$ указывает значение $I_{a0 \text{ пред}}$, то может быть использована эта величина. Если известен ток $I_{a0} = (0,9—1) I_{a0 \text{ пред}}$ или его можно найти по формуле $I_{a0} = P_{0 \text{ пред}}/E_a$, то, задавшись углом отсечки, определяют максимальное значение импульса анодного тока $I_m = I_{a0}/\alpha_0$. Потом рассчитывают оптимальный коэффициент использования анодного напряжения по формуле (1-3).

В остальном ход расчета остается аналогичным описанному в § 3.

Для маломощных пентодов (например, 4П1Л, ГУ-15 и др.) иногда электровакуумный завод указывает предельное значение постоянной составляющей тока катода

$$I_K = I_{a0} + I_c + I_{c2} + I_{c3}. \quad (1-23)$$

Тогда, выбрав постоянную составляющую анодного тока

$$I_{a0} = (0,6 — 0,75) I_K, \quad (1-24)$$

можно произвести остальной расчет, как выше описано. Отметим, что анодный ток и ток второй сетки в сумме приближенно составляют $(0,9—0,95) I_K$.

Расчет сеточных цепей различных ламп имеет свои особенности. Опыт показывает, что обычно в коротковолновых тетрадах и пентодах не возникает опасности тепловой перегрузки управляющей и экранирующей сеток, так как нормы допустимой нагрузки по мощности, рассеиваемой на этих сетках, значительно больше соответствующих предельных значений.

Необходимо принять во внимание более остроконечную форму импульса тока экранирующей сетки I_{mc2} по сравнению с косинусоидальной. Тогда формулой для расчета тока экранирующей сетки явится следующая:

$$I_{c2} = (0,6 — 0,7) \alpha_0 I_{mc2}. \quad (1-25)$$

Ток I_{mc2} находится из характеристики вида $i_{c2} = f(e_a)$ для напряжений $e_{a \text{ мин}} = E_a - U_{ma}$, $e_{c \text{ макс}} = E_c + U_{mc}$. Эта формула справедлива для ламп с экранирующей сеткой, ток которой начинается одновременно с анодным. Если начало веера характеристик анодного тока не сов-

падает с началом веера характеристик тока второй сетки (рис. 1-9), то расчетной формулой для угла отсечки тока i_{c2} явится следующая:

$$\cos \theta_{c2} = \frac{E_c'' - E_c}{U_{mc}}, \quad (1-26)$$

где E_c'' — напряжение запираения для идеализированных анодно-сеточных характеристик тока второй сетки.

Согласно этому углу находят коэффициент разложения и рассчитывают I_{c2} по формуле (1-25).

При ориентировочном расчете для большинства коротковолновых пентодов справедливо выражение $I_{c2} \approx (0,25-0,3) I_{a0}$, где I_{a0} — ток в телеграфном режиме.

Номинальное напряжение экранирующей сетки E_{c2} известно из описания лампы. Следовательно, можно найти мощность, рассеиваемую в цепи экранирующей сетки

$$P_{c2} = I_{c2} E_{c2}. \quad (1-27)$$

Расчет цепи третьей сетки (в силу незначительности ее тока) не производят. Эта сетка имеет нулевой потенциал или на нее подается положительный потенциал

$$E_{c3} \approx (0,05 - 0,2) E_a. \quad (1-28)$$

Ток управляющей сетки находится по приближенной формуле

$$I_c = (0,7-0,8) a_{oc} I_{mc}, \quad (1-29)$$

где I_{mc} — максимальное значение импульса сеточного тока;

a_{oc} — коэффициент разложения для постоянной составляющей этого тока, находимой по известному углу отсечки, определяемому из формулы

$$\cos \theta_c = - \frac{E_c}{U_{ma}}, \quad (1-30)$$

θ_c обычно значительно меньше угла отсечки θ для анодного тока. Импульс тока первой сетки по форме более близок к косинусоидальному по сравнению с импульсом тока второй сетки.

Мощность возбуждения равна¹:

$$P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc}. \quad (1-31)$$

Она расходуется в источнике смещения и на тепловые потери (нагрев сетки)

$$P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc} = |I_c E_c| + P_c. \quad (1-32)$$

Следовательно, мощность, рассеиваемая сеткой,

$$P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = I_c U_{mc} \left(1 - \frac{|E_c|}{U_{mc}}\right). \quad (1-33)$$

Эта мощность не должна превосходить предельную мощность P_{cN} , указываемую электровакуумным заводом.

1-9. РАСЧЕТ НЕДОНАПРЯЖЕННОГО РЕЖИМА

Остановимся на возможном методе расчета недонапряженного режима УКВ и ДЦВ генераторов. В УКВ и ДЦВ тетроде мощность, допустимая к рассеянию на экранирующей сетке, может оказаться наиболее критичной из предельных величин. Так, например, в 10-киловаттном УКВ тетроде имеют место $E_a = 10 \text{ кВ}$, $P_{aN} = 6 \text{ кВт}$, $P_{c2N} = 300 \text{ Вт}$.

Для $E_{c2} = 2 \text{ кВ}$ получим предельно допустимую постоянную составляющую

$$I_{c2} = \frac{P_{c2N}}{E_{c2}} = \frac{300}{2000} = 0,15 \text{ а.}$$

Если $\theta = 50^\circ$, то из формулы $I_{c2} \approx 0,6 \alpha_0 I_{mc2}$ находим импульс тока

$$I_{mc2} = \frac{I_{c2}}{0,6 \alpha_0} = \frac{0,15}{0,6 \cdot 0,183} = 1,37 \text{ а.}$$

¹ При работе на УКВ имеют место дополнительные потери во входной цепи.

Этому току приближенно соответствует (рис. 1-11) остаточное анодное напряжение $e_a = E_a - U_{ma} = 3$ кВ, если максимальное положительное напряжение первой сетки $e_c = 200$ в. Тогда получим импульс анодного тока $I_m \approx 6,9$ а. Следовательно, $U_{ma} = 7$ кВ, $I_{a1} = a_1$, $I_m = 2,34$ а,

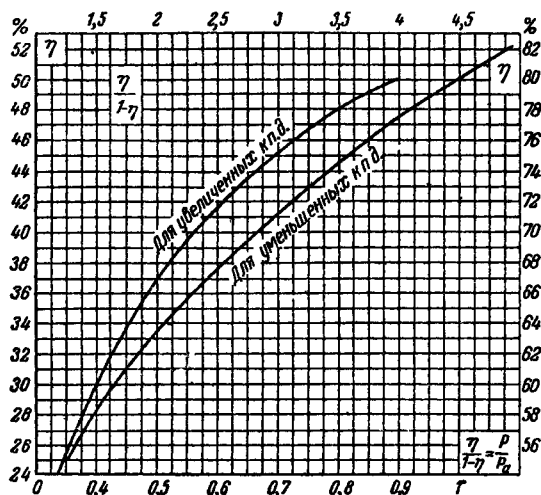


Рис 1-18 График изменения к. п. д. от функции $\frac{P}{P_a} = \frac{\eta}{1-\eta}$. Верхняя кривая соответствует увеличенным значениям функции и увеличенному к. п. д.

$I_{a0} = 1,26$ а, $P = 7$ кВт $= 0,7 P_N$, $P_0 = 12,6$ кВт, $P_a = 5,6$ кВт $= 0,93 P_{aN}$.

Таким образом, приходим к выводу, что опасность тепловой перегрузки экранирующей сетки определяет наличие недонапряженного режима, характеризуемого коэффициентом $\xi = 0,7$.

Если $\theta > 50^\circ$ (этот случай более реален), то в условиях предельной температурной нагрузки по аноду получим еще более недонапряженный режим и резкое уменьшение полезной мощности.

Работа при $P_a = (0,8-1) P_{aN}$ и предельной температурной нагрузке по экранирующей сетке характерна для многих УКВ тетродов; в УКВ и ДЦВ триодах часто имеют место предельные температурные условия анода

и сетки. Тогда можно применить следующую расчетную методику.

Задаваясь мощностью P_a в указанных пределах, находим функцию $\frac{P_N}{P_a} = \eta/1 - \eta$. Затем по графику, изображенному на рис. 1-18, определяем значение η . Выбрав угол отсечки, находим $\xi = 2\eta/\gamma$. Дальнейший расчет не представит затруднений. Его конечным пунктом явится проверка отсутствия тепловой перегрузки сеток.

Описанный метод пригоден для расчета режима несущей волны при сеточной модуляции.

1-10. РАСЧЕТ ПЕРЕНАПРЯЖЕННОГО РЕЖИМА

При расчете перенапряженного режима в случае триода обычно исходят из представления о перераспределении тока эмиссии между анодом и сеткой. Это представление, правильное для триодов с вольфрамовым катодом, работающих в режиме насыщения, не соответствует особенностям современных ламп с высокоэффективными катодами, работающих в режиме интенсивного пространственного заряда, т. е. при токе катода, значительно меньшем по сравнению с током эмиссии. Поэтому ток эмиссии I_e нельзя положить в основу расчета перенапряженного режима. Наиболее удобно исходить при расчете из известной мощности $P_{0\text{ пред}}$ и анодного напряжения E_a .

Необходимо выбрать форму импульса, определяемую углами отсечки θ и θ' и относительной глубиной впадины $n = I'_m/I_m$ (рис. 1-19). Следует иметь в виду, что для тетродов и пентодов

$$\theta' = (0,4 - 0,45) \theta, \text{ если } n = 1;$$

$$\theta' = (0,25 - 0,3) \theta, \text{ если } n = \frac{1}{2};$$

$$\theta' = (0,15 - 0,2) \theta, \text{ если } n = \frac{1}{3}.$$

Для триодов θ' возрастает на 20—25% по сравнению с указанными величинами.

Коэффициенты разложения α_1 и α_0 , присущие импульсу со впадиной, находят в результате вычитания коэффициентов $\alpha_{0\text{ кос}}$ и $\alpha_{1\text{ кос}}$, справедливых для косинусоидального импульса, из коэффициентов $\alpha_{0\text{ пл}}$ и $\alpha_{1\text{ пл}}$, присущих плоскому импульсу. Определив $\alpha_0 = \alpha_{0\text{ пл}} -$

— $n\alpha_{0 \text{ кос}}$, $\alpha_1 = \alpha_{1 \text{ пл}} - n\alpha_{1 \text{ кос}}$ находят $I_{a0} = P_0/E_a$ и высоту импульса $I_m = I_{a0}/\alpha_0$. Если $n > 1/2$, то находят коэффициент $\gamma = \alpha_1/\alpha_0$ и рассчитывают амплитуду первой гармоники

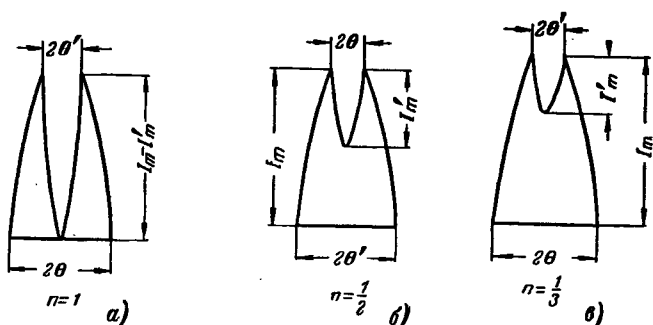


Рис. 1-19. Идеализированные импульсы анодного тока с впадиной различной глубины.

$I_{a1} = \gamma I_{a0}$. При $n \geq \frac{1}{2}$ повышается неточность расчетного коэффициента α_0 и рекомендуется находить γ из графика (рис. 1-20), построенного по данным, полученным

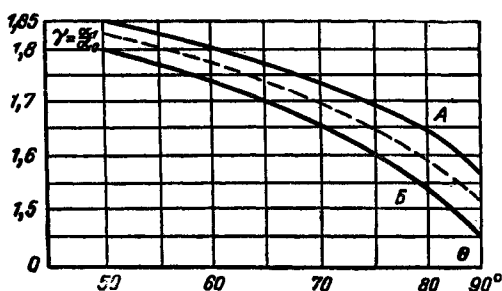


Рис. 1-20. График изменения коэффициента γ в зависимости от угла нижней отсечки θ для импульса с впадиной различной глубины.

в результате изучения реальных импульсов. На графике кривая А справедлива для косинусоидального импульса, пунктирная кривая для $n = 1/2$ и кривая Б для $n = 1$.

Амплитуду переменного анодного напряжения находят по формуле $U_{ma} = E_a - \frac{(1-n)I_m}{S_K}$. Амплитуду напряже-

ния возбуждения и напряжение смещения находят по формулам, справедливым для плоского импульса с углами θ и θ' .

В случае тетродов и пентодов необходимо выбирать значение крутизны в точке перегиба кривой $S=f(e_a)$, так как эта точка свидетельствует о пограничном токо-распределении, при котором имеет место плоский импульс.

1-11. О ВЫБОРЕ УГЛА ОТСЕЧКИ

Применение высокоэффективных катодов привело к большому возрастанию крутизны генераторных ламп, особенно заметному в мощных генераторных лампах. Если для ламп с вольфрамовым катодом, производимых в начале 30-х годов, крутизна была порядка 8—10 *ма/в*, то некоторые современные мощные триоды с вольфрамовым катодом имеют $S=120—150$ *ма/в*, а в мощных триодах и тетродах с карбидированным катодом можно получить $S \approx 300$ *ма/в*.

Повышенная крутизна лампы позволила выбирать меньший угол отсечки анодного тока θ , не опасаясь чрезмерного возрастания амплитуды напряжения возбуждения. В триодах прежних конструкций наиболее употребительными являлись углы $\theta=80—100^\circ$, тогда как в современных лампах часто рекомендуют $\theta=50—70^\circ$. Результаты исследования большого числа эксплуатационных режимов показывают, что уменьшение θ особенно характерно для УКВ ламп, при использовании которых возникает острая необходимость в увеличении к. п. д. и в снижении мощности, рассеиваемой анодом.

Мнение о преимущественном выборе $\theta=90^\circ$ противоречит рекомендациям электровакуумных заводов, известным еще с 1935—1937 гг.

Типовые эксплуатационные режимы, разработанные для современных ламп всех категорий мощности в лабораториях применения многих передовых иностранных радиоламповых фирм, показывают, что наиболее часто применяемые углы отсечки лежат в пределах $50—75^\circ$. На необходимость выбора уменьшенных углов отсечки указывают в первую очередь специалисты, работающие в области расчета и конструирования массово-серийных маломощных и среднемощных передатчиков, где обнов-

ление ламповой техники происходит более интенсивно [Л. 7, 10, 14, 15, 17].

Выбор уменьшенных углов отсечки продиктован стремлением повысить к. п. д. лампового генератора, и эта тенденция резко выражена в практике использования современных генераторных ламп.

Одной из причин, объясняющих значительное увеличение промышленного к. п. д. лучших зарубежных передатчиков, является выбор уменьшенных θ .

Конечно, могут быть случаи, когда необходимо выбрать увеличенный угол отсечки. Такая необходимость, например, имеет место в подвижных двухкаскадных передатчиках уменьшенной мощности. Чтобы уменьшить амплитуду напряжения возбуждения в выходном каскаде, иногда выбирают угол отсечки порядка $90-100^\circ$ (например, в первых вариантах пентодов типов 4П1Л, ГУ-15). Часто подобный выбор также диктуется уменьшенной крутизной выходной лампы. Однако высказанная оговорка касается лишь частных случаев, а общим правилом явится необходимость выбора уменьшенных углов отсечки УКВ лампового генератора.

Улучшение токораспределения в лампах и уменьшение углов отсечки обусловило резкое возрастание коэффициента усиления по мощности, равного отношению полезной мощности к мощности возбуждения. Этот коэффициент в современных триодах бывает порядка 30—50, доходя до 150 (и даже до 600), а в пентодах и в лучевых тетрадах может быть 100—200 и даже 1000. В лучевых тетрадах возможна работа без захода в положительную область сеточных напряжений, т. е. без токов управляющей сетки. В последнем случае коэффициент усиления теоретически равен бесконечности. Практически он имеет конечную величину вследствие наличия высокочастотных потерь в стекле, цоколе и вводах лампы.

Знание указанного коэффициента позволяет оценить ламповый генератор как усилитель мощности. Заметим, что если имеется резкое неравенство мощностей сравниваемых ламп различных конструкций (триод, тетрод, пентод) и если они предназначены для работы в различных диапазонах, то такое сравнение явится не показательным.

1-12. РАСЧЕТ РЕЖИМА ВЫХОДНОЙ ЛАМПЫ ДИАПАЗОННОГО ПЕРЕДАТЧИКА

В связи с широким распространением диапазонных передатчиков существует практическая необходимость в расчете нагрузочных характеристик. Сложные и трудоемкие графоаналитические методы расчета, рекомендуемые рядом авторов, дают результаты, которые по своей точности не превосходят результатов, получаемых при расчете нагрузочных характеристик по формулам,

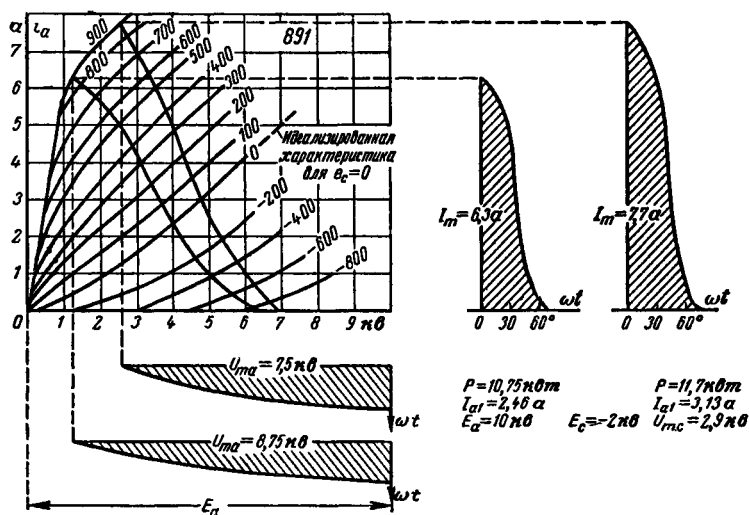


Рис. 1-21. Импульсы анодного тока триода Г-891, получающиеся при различных амплитудах переменного анодного напряжения.

предложенным Н. С. Бесчастновым [Л. 6], но требуют значительно большего времени.

Графоаналитическое исследование многочисленных ламповых характеристик показывает, что для тетродов, пентодов и триодов с увеличением μ максимум полезной мощности, т. е. наивысшая точка нагрузочной характеристики вида $P=f(R_{oe})$, обычно получается при незначительном упрощении импульса анодного тока; в этом случае остаточное анодное напряжение обычно соответствует точке перегиба анодной характеристики. Для некоторых ламп, характеризуемых уменьшенным μ , максимум полезной мощности получается в недонапря-

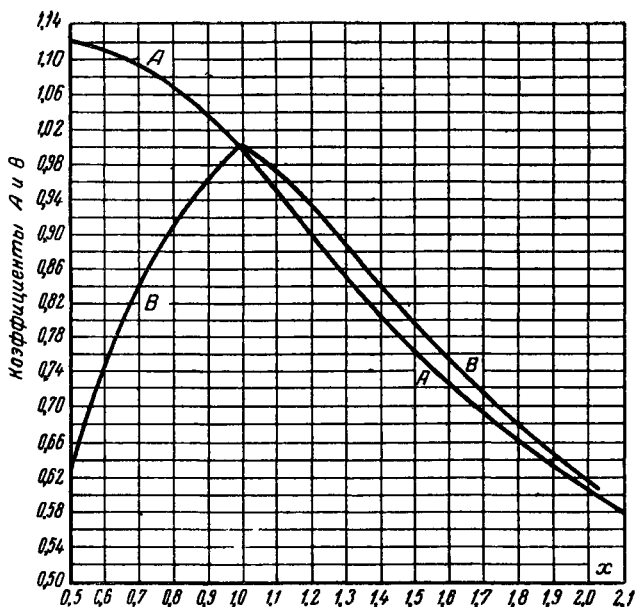


Рис. 1-22 Обобщенные нагрузочные характеристики
Коэффициент A для расчета мощности постоянного
тока, коэффициент B для расчета мощности перемен-
ного тока.

женном режиме (например, при $\xi=0,75$) при косинусоидальном импульсе анодного тока (рис. 1-21).

Автор полагает, что обобщенные нагрузочные характеристики, разработанные на основе графоаналитического исследования характеристик современных ламп, удовлетворяют требованиям технического расчета тетродов, пентодов и триодов с большим μ [Л. 2]. С помощью этих характеристик (рис. 1-22) можно быстро установить энергетические соотношения в диапазонном передатчике.

В основу расчета положены известные для оптимального режима значения: колебательной мощности P_N , подводимой мощности P_0 и оптимального эквивалентного сопротивления $R_{0\text{е опт}}$. Зная изменения нагрузочного сопротивления $R_{0\text{е}}$, можно найти отношение $x=R_{0\text{е}}/R_{0\text{е опт}}$ для недонапряженного и перенапряженного режимов и определить из графика согласно известной величине x значения функций A и B . Затем опре-

деляют величины $P_0 = AP_0$, $P = BP_N$, $P_a = P_0 - P$. Получают достаточное совпадение расчетных величин с результатами графоаналитического исследования (рис. 1-23).

На рис. 1-24 показаны нагрузочные характеристики пентода ГУ-50, построенные для условий работы на ко-

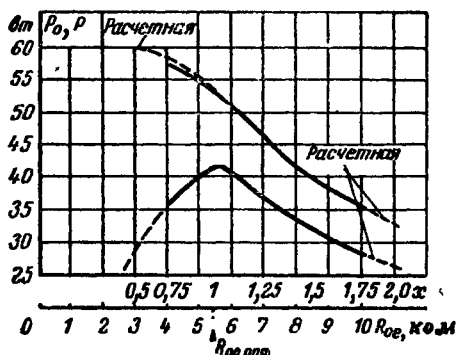


Рис. 1-23. Сравнение расчетных нагрузочных характеристик пентода (пунктирные линии) с нагрузочными характеристиками, получающимися из графоаналитического исследования. $E_a = 750$ в; $E_{c2} = 250$ в, $E_{c3} = 40$ в, $E_c = -55$ в, $U_{тс} = 100$ в, $R_{0\text{ опт}} = 5\ 520$ ом.

ротких волнах и УКВ, когда имеют место высокочастотные потери в ламповой конструкции.

При расчете выходного каскада передатчика сложной схемы допустимо максимум полезной мощности, создаваемой в анодном контуре, считать совпадающим с максимумом полезной мощности в цепи антенны. В общем случае указанные максимумы не совпадают, но можно пренебречь поправкой, не влияющей на точность расчета для наиболее типичного случая, когда работают, имея к. п. д. промежуточного контура 0,8—0,9.

Исходя из этой предпосылки и используя обобщенные нагрузочные характеристики, предложена методика расчета, с помощью которой можно быстро найти электрические величины, характеризующие выходной каскад диапазонного передатчика сложной схемы. Исходным

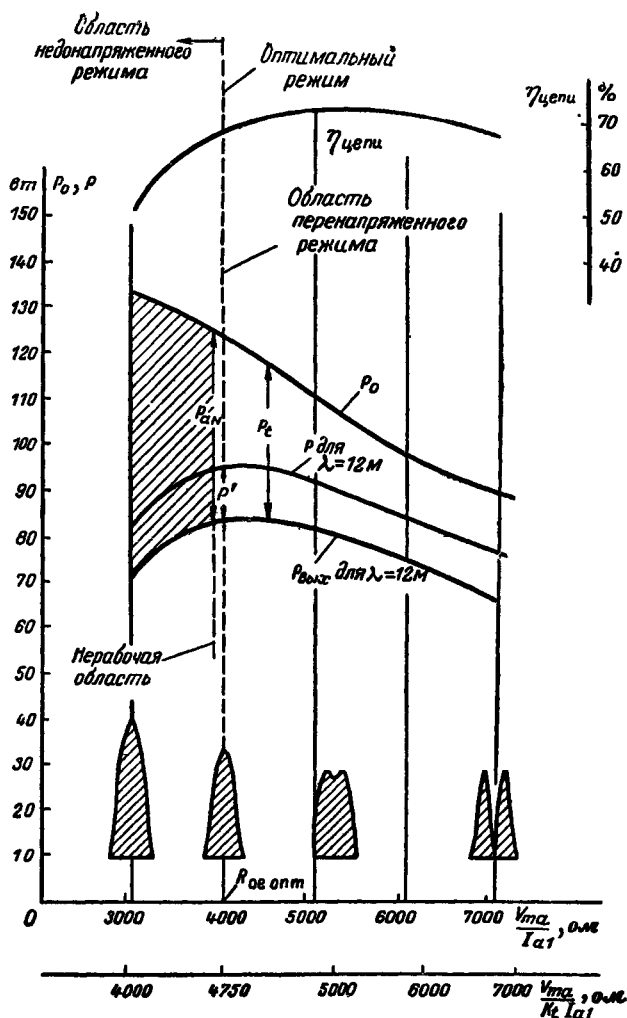


Рис. 1-24. Нагрузочные характеристики пентода 6У50.
 $E_a = 1000 \text{ в}$, $E_{с2} = 250 \text{ в}$, $E_c = -80 \text{ в}$, $U_{mc} = 100 \text{ в}$,
 $R_{о\text{е опт}} = 4230 \text{ ом}$ (при работе на коротких волнах),
 $P_{опт} = 96 \text{ вт}$, $\xi_{опт} = 0,9$.

моментом расчета является известный оптимальный режим на выбранной частоте. Полагают также известными активное сопротивление антенны на различных частотах и потери в контуре на одной из частот.

Возможны три варианта, применительные к индуктивной связи между анодным контуром выходной лампы передатчика и цепью антенны. Предусматривается отдельная настройка анодного контура и контура антенны.

Для первого случая существует возможность выбора оптимальной связи между этими контурами при помощи вариометра связи (рис. 1-25).

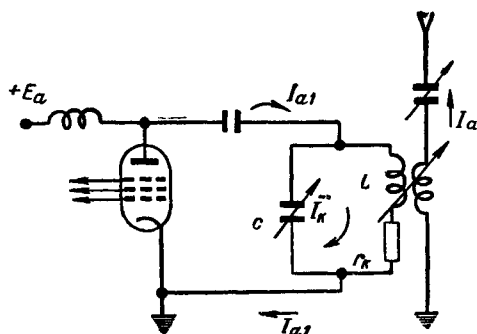


Рис. 1-25. Сложная схема оконечного каскада передатчика, имеющего переменную связь между анодным контуром и контуром антенны.

Первоначально производят расчет лампы в оптимальном режиме на средней волне заданного диапазона. Находят оптимальное нагрузочное сопротивление лампы $R_{oe\text{ опт}} = U_{ma}/I_{a1}$. Так как коэффициент перекрытия по диапазону $k = \lambda_{\text{макс}}/\lambda_{\text{мин}}$ известен, то, зная минимальную емкость анодного контура (на промежуточных волнах $C_{\text{мин}} \approx 80 - 120 \text{ см}$), находят его емкость на длинной волне $C_{\text{макс}} = k^2 C_{\text{мин}}$ и его индуктивность $L [\text{см}] = \frac{253\lambda^2 [\text{см}]}{C_{\text{мин}} [\text{см}]}$. Далее становится возможным расчет эквивалентного сопротивления анодного контура, не связанного с антенной, на средней волне

$$Z_{oe\text{ ср}} = 900 \frac{L [\text{см}]}{C_{\text{ср}} r_{k.\text{ср}}},$$

где $r_{k.\text{ср}}$ — известное сопротивление потерь контура и $C_{\text{ср}} = 253 \frac{\lambda_{\text{ср}}^2}{L [\text{см}]}$ — его емкость на средней волне. Затем

определяют отношение $a_{ср} = \frac{Z_{0ср}}{R_{0ср\text{ опт}}}$ и степень связи на средней волне $n_{ср} = a_{ср} - 1$. Становится возможным и расчет взаимоиндуктивности между контурами на средней волне

$$M_{ср} = 0,53\lambda_{ср} \sqrt{n_{ср} r_{к\text{ ср}} r_{А\text{ ср}}},$$

где $r_{А\text{ ср}}$ — сопротивление контура антенны на средней волне; его изменение по диапазону задается. Найдя к. п. д. промежуточного контура $\eta_{п.к} = \frac{n_{ср}}{1 + n_{ср}}$, определяют мощность в антенне $P_{А\text{ ср}} = \eta_{п.к.ср} P$, где P — полезная мощность лампового генератора.

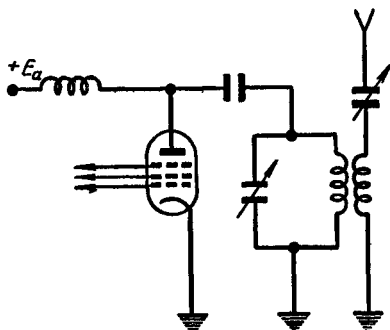


Рис. 1-26. Сложная схема оконечного каскада передатчика, имеющего неизменную связь между анодным контуром и контуром антенны.

При расчете режима на крайних волнах полагают сопротивление потерь в контуре возрастающим пропорционально частоте. Определив степень связи на крайних волнах

$$n_{\text{макс}} = 0,5a_{ср} \left(1 + \frac{1}{k}\right) - 1, \quad n_{\text{мин}} = 0,5a_{ср}(1 + k) - 1,$$

производят аналогичный расчет для крайних волн диапазона.

Второй случай характерен отсутствием регулируемой связи между контурами антенны и анодным (рис. 1-26). Полагают, что оптимальная связь подобрана на средней волне. Тогда на других волнах лампа работает не

в оптимальном режиме. Для расчета значений $x = R_{0e}/R_{0e \text{ опт}}$ на крайних волнах справедливы формулы

$$x_{\text{мин}} = \frac{a_{\text{ср}}}{\frac{2}{k+1} + n_{\text{ср}} \frac{r_{A \text{ ср}}}{r_{A. \text{мин}}}};$$

$$x_{\text{макс}} = \frac{a_{\text{ср}}}{\frac{2}{1 + \frac{1}{k}} + n_{\text{ср}} \frac{r_{A \text{ ср}}}{r_{A. \text{макс}}}}.$$

Затем определяют для крайних волн

$$\eta_{\text{п.к. макс}} = 1 - \frac{2x}{a_{\text{ср}}(1+k)};$$

$$\eta_{\text{п.к. макс}} = 1 - \frac{2x}{a_{\text{ср}} \left(1 + \frac{1}{k}\right)}.$$

Согласно известному значению x находят из графика (рис. 1-24) значения коэффициентов A и B и рассчитывают величины $P_0 = AP_{0 \text{ опт}}$, $P = BP_{\text{опт}}$, $P_a = P_0 - P$. Величины $P_{0 \text{ опт}}$ и $P_{\text{опт}}$ известны из расчета оптимального режима на средней волне.

Для третьего случая является характерным выбор оптимального режима лампы на наиболее длинной волне. Для этого режима полагают анодный ток равным предельному. Тогда на более коротких волнах $I_{a0} < I_{a0 \text{ пред}}$, т. е. не произойдет перегрузки катода. В этом случае для наиболее короткой волны

$$x_{\text{мин}} = \frac{a_{\text{макс}}}{\frac{1}{k} + n_{\text{макс}} \frac{r_{A \text{ макс}}}{r_{A. \text{мин}}}};$$

$$\eta_{\text{п.к. мин}} = 1 - \frac{x_{\text{мин}}}{ka_{\text{макс}}}.$$

Остальной расчет аналогичен предыдущему.

1-13. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ УМНОЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ

При расчете умножителей частоты можно пользоваться формулами, справедливыми при работе на основной частоте. Это обстоятельство, обусловленное отсут-

ствием необходимости учитывать анодную реакцию, существенно облегчает расчет. Наиболее часто встречается удвоение частоты. Предположим, что лампа при телеграфной работе и в режиме удвоения имеет одинаковый импульс анодного тока I_m . Тогда допустимо пользоваться приближенными формулами [Л. 2], которые позволяют найти полезную мощность и мощность, рассеиваемую анодом, в режиме удвоения согласно номинальной полезной мощности

$$P_{удв} \approx (0,5 \div 0,6) P_N; \quad (1-34)$$

$$P_a \approx (0,4 \div 0,5) P_N. \quad (1-35)$$

В этом случае оптимальный коэффициент использования анодного напряжения находят по формуле

$$\xi_{опт} = 1 - \frac{2P_{удв}}{S_{ка2}E_a^2}. \quad (1-36)$$

Табл. 1-2 позволяет судить о возможности некоторых ламп работать в режиме удвоения.

Т а б л и ц а 1-2

Тип лампы	$E_a, в$	$P_N, вт$	$P_{aN}, вт$	P_{aN}/P_N
4П1Л	200	4,6	7,5	1,63
ГУ-15	350	13	15	1,15
807	500	35	25	0,71
6ПЗС	400	25	21	0,84
ГУ-80, ГУ-81	3 000	800	450	0,5
ГУ-27Б	3 000	1 000	800	0,8
ГУ-50	1 000	100	40	0,4
ГУ-13	2 000	260	100	0,385
ГУ-8	3 000	410	100	0,244

Для ламп, у которых $P_{aN}/P_N < 0,4$, необходимо в режиме удвоения снижать анодное напряжение во избежание тепловой перегрузки анода.

Невыгодными особенностями режима удвоения являются: ухудшенный температурный режим, уменьшение полезной мощности и необходимость иметь увеличенные сопротивления анодного контура, амплитуду напряжения возбуждения и напряжение смещения. Возрастание

величин U_{mc} и E_a объясняется уменьшенными углами отсечки. Значение θ при работе на основной частоте и высших гармониках для большинства ламп изменяется в следующих пределах:

Основная частота	$\theta = 60-75^\circ$
Вторая гармоника	$\theta = 45-60^\circ$
Третья гармоника	$\theta = 40-55^\circ$
Четвертая гармоника . . .	$\theta = 35-45^\circ$
Пятая гармоника	$\theta = 30-35^\circ$

Лампы с высокоэффективными катодами, имеющие отношение $P_{aH}/P_N \geq 0,8$, допускают увеличенную нагрузку анода. Тогда допустимо выбирать анодный ток

$$I_{a0} = (0,8-1) I_{a0 \text{ пред.}}$$

Если известен анодный ток, то можно найти величину импульса $I_m = I_{a0}/\alpha_0$ и рассчитать коэффициент использования анодного напряжения по формуле (1-6). Дальнейший расчет ведется, как и для случая работы на основной частоте.

Если в режиме удвоения (или утроения) лампа имеет анодный ток I_{a0} такой же, как и при обычной телеграфной работе, то будет неверным прежнее утверждение о том, что при умножении частоты полезная мощность генератора уменьшается в n раз (где n — порядковый номер гармоники).

Опытные данные показывают, что в УКВ и ДЦВ лампах при удвоении полезная мощность уменьшается приблизительно на 10—20% по сравнению с режимом на основной частоте, а при утроении уменьшается на 35—40%, но не вдвое и втрое, как было принято считать для удвоителей и утроителей частоты.

Такое положение имеет место и в ДЦВ триодах (лампы типов ГИ-6Б, ГИ-7Б, ГС-9Б, ГС-90Б, ГИ-11Б, 6383 и др.).

Приводим данные режима непрерывной работы ДЦВ триода 6383 на частоте 1 100 Мгц в схеме с заземленной сеткой: $E_{a.c} = 1\,590$ в, $P_{\text{вых}} = 240$ вт, $P_{\text{возб}} = 80$ вт, $I_{a0} = 400$ ма, $I_c = 15$ ма, $U_{mc} = 155$ в, $E_c = -90$ в. Для сравнения приведем данные режима удвоения: $E_{a.c} = 1\,675$ в, $P_{\text{вых}} = 225$ вт, $P_{\text{возб}} = 160$ вт, $I_{a0} = 400$ ма, $I_c = 25$ ма, $U_{mc} = 215$ в, $E_c = -175$ в, частота в анодной цепи 900 Мгц.

В УКВ пентоде 5618 при работе на основной частоте мощность в анодной цепи равна 5,2 вт; при удвоении она уменьшается до 4,2 вт, а при утроении — до 3,4 вт.

Отмеченное обстоятельство объясняется тем, что, например, в режиме удвоения частоты ламповый генератор работает при уменьшенном угле отсечки (например, при $\theta = 45^\circ$) и сильно увеличенном импульсе анодного тока, получаемом за счет использования эмиссионных резервов оксидного катода (рис. 1-27). Указанные причины противодействуют уменьшению амплитуды I_{a2} , и она получается ненамного меньшей по сравнению с I_{a1} (уменьшение может быть порядка 10%).

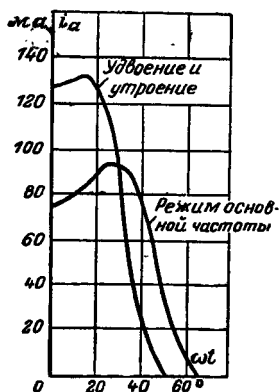


Рис. 1-27. Импульсы анодного тока УКВ пентода 5618 при работе на основной частоте и в режимах удвоения.

1-14. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ СХЕМЫ ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Для подавляющего большинства генераторных ламп (триоды с большим μ , тетроды и пентоды) амплитуду тока первой гармоники можно найти по формуле $I_{a1} = SU_{mc}\beta$, справедливой для оптимального и недонапряженного режимов.

Это позволяет для указанных режимов создать эквивалентную схему, в которой ламповый генератор заменяется источником переменной э. д. с. и амплитудой μU_{mc} и внутренним сопротивлением

$$R'_i = R_i \alpha_i,$$

где

$$\alpha_i = \frac{1}{\alpha_1 (1 - \cos \theta)},$$

работающим практически на короткозамкнутую внешнюю цепь (рис. 1-28).

Для перенапряженного режима, при котором импульс анодного тока имеет впадину, изменяющуюся до полного провала, можно предложить эквивалентную

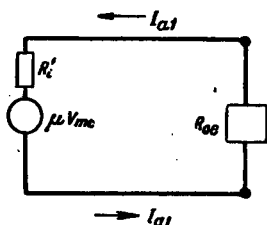


Рис. 1-28. Эквивалентная схема лампового генератора для пограничного и недонапряженного режимов ($R'_k \gg R_{0e}$).

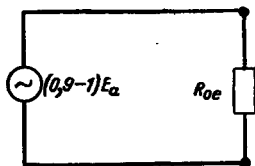


Рис. 1-29. Эквивалентная схема лампового генератора для перенапряженного режима.

схему, в которой ламповый генератор заменяется источником переменной э. д. с. с амплитудой $(0,9-1)E_a$, имеющим внутреннее сопротивление, равное нулю, и работающим на внешнюю цепь с эквивалентным сопротивлением R_{0e} (рис. 1-29).

1-15. ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Часто возникает необходимость в графоаналитическом исследовании работы лампового генератора. Это исследование является весьма важным для выяснения процессов, происходящих в радиотелеграфном или радиотелефонном режимах генераторной лампы¹. К нему также приходится прибегать при выяснении потерь в конструкции УКВ лампы, чтобы найти коэффициент потерь $k_f = P_{\text{вых}}/P$ и рассчитать электронный к. п. д. УКВ лампы.

Необходимо знать методы расчета, позволяющие быстро производить построение импульса анодного тока, и его последующее разложение с целью определения отдельных составляющих анодного тока. Обычно

¹ Предложенный метод нашел применение при разработке типовых эксплуатационных режимов отечественных генераторных ламп, рекомендуемых электровакуумной промышленностью потребителям [Л. 22].

это построение производят следующим образом. Задаваясь различными значениями текущего угла ωt , например, можно взять углы $\omega t = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ \dots$, рассчитывают мгновенные значения напряжений $e_a = E_a - U_{ma} \cos \omega t$, $e_c = E_c + U_{mc} \cos \omega t$ для каждого частного значения угла ωt . Затем согласно полученным напряжениям e_a и e_c находят по статическим характеристикам мгновенные значения анодного тока. Не возникает затруднения при получении первого частного значения тока, соответствующего $\omega t = 0$. Но при последующем расчете ($\omega t = 10^\circ, 20^\circ \dots$) для найденных значений сеточного напряжения e_c (являющихся, как правило, отличными от целых чисел) на чертеже отсутствуют характеристики. В результате импульс будет построен не по реальным характеристикам, а по интерполяционным кривым, что снижает точность последующего расчета. Чтобы построить импульс согласно реальным анодным характеристикам, рекомендуется следующая методика, предложенная автором в 1939 г.² Очевидно,

$$\cos \omega t = \frac{e_c - E_c}{U_{mc}}.$$

Задаваясь мгновенным сеточным напряжением e_c , при этом любой из реальных характеристик можно найти частный угол, при котором искомое значение тока будет определяться точкой, лежащей на выбранной характеристике. Тогда можно найти мгновенное анодное напряжение $e_a = E_a - U_{ma} \cos \omega t$ и найти по реальной характеристике частное значение анодного тока. Таким образом производят построение импульса.

При разложении импульса анодного тока, производимого общеизвестным методом, рекомендуется разбивать период на 180 частей, т. е. брать $\Delta \omega t = 2^\circ$. Тогда для постоянной составляющей и первой гармоники анодного тока будут справедливы следующие формулы:

$$I_{a0} = \frac{1}{90} \sum_1^{90} i_a(\omega t);$$

$$I_{a1} = \frac{1}{45} \sum_1^{90} i_a(\omega t) \cos \omega t.$$

² Б. С. Агафонов, Теория тетродных генераторов, МЭИС, 1939.

Нижеследующий пример иллюстрирует расчетную методику.

Пример. Необходимо произвести графоаналитическое исследование характеристик пентода ГУ-50, чтобы найти мощность, расходуемую на высокочастотные потери при работе лампы на волне $\lambda=4,5$ м. Известны следующие опытные данные: $E_a=800$ в,

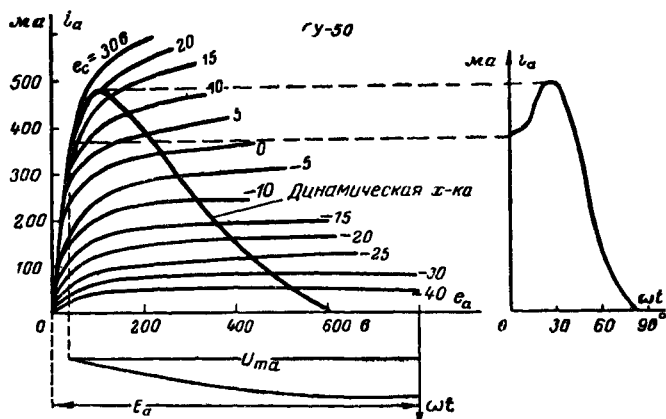


Рис. 1-30. Получение импульса анодного тока в пентоде типа ГУ-50. $E_a=800$ в, E_{c2} в 250 в, $E_c=-80$ в, $U_{mc}=110$ в, $U_{ma}=765$ в, $\lambda=4,5$ м.

$E_{c2}=250$ в, $E_c=-80$ в, $U_{mc}=110$ в, $I_{a0}=130$ ма, $I_{c2}=10$ ма, $P_{вых}=65$ вт.

Характеристики показаны на рис. 1-30.

Решение. Допустим, что $e_c=10$ в. Тогда получим:

$$\cos \omega t = \frac{e_c - E_c}{U_{mc}} = \frac{10 - (-80)}{110} = 0,818.$$

Следовательно, $\omega t \approx 35^\circ$. Если выбрана амплитуда $U_{ma}=765$ в, то находим:

$$e_a = 800 - 765 \cdot 0,818 = 174 \text{ в.}$$

Для напряжений $e_a=174$ в, $e_c=10$ в находим по характеристике частное значение анодного тока $i_a=434$ ма. Аналогично определяем необходимые значения. Первым значением, найденным для $\omega t=0$, будет ток $i_a=380$ ма, найденный на спаде характеристики для $e_a=800-765=35$ в и $e_c=35$ в.

Расчетные данные сводим в табл. 1-3.

Согласно полученной таблице строим импульс анодного тока (рис. 1-31). Он имеет небольшую впадину,

Таблица 1-3

$e_c = E_c + U_{mc} \cos \omega t, \text{ в}$	$\cos \omega t = \frac{e_c - E_c}{U_{mc}}$	ωt	$U_{ma} \cos \omega t, \text{ в}$	$e_a = E_a - U_{ma} \cos \omega t, \text{ в}$	$I_a, \text{ ма}$
30	1	0	765	35	380
27	0,974	13	745	55	442
25	0,955	17	730	70	470
20	0,91	24	696	104	487
15	0,863	30	660	140	475
10	0,818	35	626	174	434
0	0,726	43	556	244	352
-5	0,682	47	523	273	293
-10	0,636	51	487	313	238
-15	0,591	54	452	348	192
-20	0,546	57	418	382	150
-25	0,5	60	382	418	118
-30	0,454	63	349	451	80
-40	0,363	68	277	523	50
-50	0,273	74	209	591	24

определяемую формой динамической характеристики.

Перейдем к разложению импульса, чтобы определить амплитуду первой гармоники анодного тока I_{a1} и его постоянную составляющую I_{a0} .

В табл. 1-4 сведены данные, полученные из разложения импульса, показанного на рис. 1-31.

Находим:

$$I_{a0} = \frac{11\,757}{90} = 130,5 \text{ ма};$$

$$I_{a1} = \frac{10\,017}{45} = 222,5 \text{ ма}.$$

Найденный ток I_{a0} практически точно соответствует опытному. Так как напряжения E_a , E_{c2} , E_c , U_{mc} при опыте и графоаналитическом исследовании сохранились одинаковыми, то можно полагать, что найденный импульс соответствует опытному режиму.

Рассчитываем необходимые величины.

Мощность переменного тока, создаваемая ламповым генератором,

$$P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 0,222 \cdot 765 = 85 \text{ вт}.$$

Мощность, подводимая к ламповому генератору,

$$P_0 = I_{a0} E_a = 0,13 \cdot 800 = 104 \text{ вт}.$$



Рис 131 Разложение импульса анодного тока пентода ГУ-50 $E_a = 800$ в, $E_c = -80$ в, $U_{ma} = 765$ в, $U_{mc} = 110$ в, $E_{c2} = 250$ в.

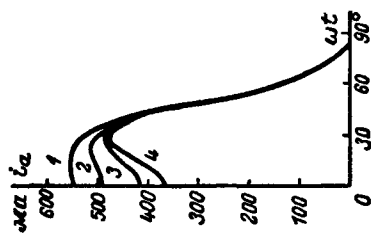


Рис 1-32 Импульсы анодного тока пентода ГУ-50 при различных использовании по анольному напряжению при $E_a = 800$ в Импульсы справедливы для значений ξ , равных 0,85, 0,894, 0,944; 0,956

Таблица 14

ωt°	$i_a, \text{ ма}$	$\cos \omega t$	$i_a \cos \omega t, \text{ ма}$
1	382	0,999	382
3	390	0,998	389
5	396	0,996	395
7	405	0,992	402
9	416	0,988	411
11	427	0,982	418
13	440	0,974	429
15	456	0,966	440
17	470	0,956	454
19	477	0,945	451
21	484	0,934	451
23	488	0,92	448
25	488	0,906	443
27	487	0,891	434
29	480	0,874	420
31	470	0,857	403
33	456	0,839	382
35	440	0,819	360
37	415	0,799	332
39	394	0,777	306
41	374	0,755	282
43	350	0,731	256
45	322	0,707	228
47	297	0,682	203
49	268	0,656	176
51	244	0,629	154
53	210	0,601	126
55	185	0,573	106
57	157	0,544	85
59	127	0,515	66
61	104	0,484	50
63	82	0,454	37
65	68	0,423	29
67	56	0,39	22
69	46	0,358	16
71	38	0,325	12
73	28	0,292	8
75	20	0,259	5
77	13	0,225	3
79	6	0,119	1
$\Sigma i_a = 11\,757 \text{ ма}$		$\Sigma i_a \cos \omega t = 10\,017 \text{ ма}$	

Мощность тепловых потерь

$$P_T = P_0 - P_{\text{вых}} = 104 - 65 = 39 \text{ вт}$$

Так как $P_{aN} = 40 \text{ вт}$, то приходим к выводу о наличии предельного температурного режима

Мощность высокочастотных потерь в ламповой конструкции

$$P' = P - P_{\text{вых}} = 85 - 65 = 20 \text{ вт.}$$

Коэффициент уменьшения мощности

$$K_f = \frac{P_{\text{вых}}}{P} = \frac{65}{85} = 0,765$$

Сопrotивление потерь

$$R' = \frac{U_{ma}^2}{2P} = \frac{765^2}{2 \cdot 20} = 14\,600 \text{ ом.}$$

В действительности почти невозможно получить соответствия первого найденного импульса выбранному опытному режиму. По этому обычно строят несколько импульсов для различных ξ . Они даны на рис 1-32, причем указана их возможная очередность. Результаты расчета даны в табл 1-5

Требуемое соответствие получено лишь для четвертого импульса

Т а б л и ц а 1-5

ξ	U_{ma} в	ΣI_a ма	I_{a0} ма	$\Sigma I_a \cos \omega t$ ма	I_{a1} ма	P_0 вт	P вт	P_a вт
0,85	780	13 304	148	11 402	253	118,2	86	36,2
0,894	715	12 920	143,5	11 033	245	115	87,5	27,5
0,944	755	12 108	134	10 257	228	107,3	86	23,3
0,956	766	11 757	130,5	10 017	222,5	104,5	85	19,5

1-16. ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕЛЕГРАФНОГО РЕЖИМА

В заключение рассмотрим некоторые возможные методы расчета телеграфного режима, в основу которых положены различные электрические величины. Справедливы формулы

$$P = 0,5 I_{a1} U_{ma}; \quad (1-37)$$

$$I_{a1} = \alpha_1 I_m; \quad (1-38)$$

$$U_{ma} = E_a - e_{a.\text{мин}} = E_a - \frac{I_m}{S_R}; \quad (1-39)$$

$$\eta = \frac{P}{P_0}; \quad (1-40)$$

$$P_0 = I_{a0} E_a. \quad (1-41)$$

Подстановкой (1-39) и (1-38) в (1-37) получим:

$$P = \frac{\alpha_1 I_m}{2} \left(E_a - \frac{I_m}{S_K} \right). \quad (1-42)$$

Подстановкой (1-42) и (1-41) в (1-40) находим:

$$\eta = \frac{\gamma}{2} \left(1 - \frac{I_m}{S_K E_a} \right). \quad (1-43)$$

Решая (1-42) в отношении тока, находим:

$$I_m = \frac{E_a \pm \sqrt{E_a^2 - \frac{8P}{\alpha_1 S_K}}}{2/S_K}.$$

Справедливо решение, в котором подкоренное выражение взято с минусом. Подставляя это решение в (1-43), находим:

$$\eta = \frac{\alpha_1}{4\alpha_0} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{8P}{\alpha_1 S_K E_a^2}} \right). \quad (1-44)$$

Допустим, что заданной электрической величиной является мощность P . Тогда полагаем константой величину

$$q = \frac{8P}{S_K E_a^2}. \quad (1-45)$$

Изменение η по д. по анодной цепи в зависимости от угла отсечки при различных q показано на рис. 1-33. Найдя q и задаваясь θ , можно найти η , исходя из которого ведется дальнейший расчет.

Допустим, что задан предельный ток I_{a0} . Тогда (1-43) принимает вид:

$$\eta = \frac{\gamma}{2} \left(1 - \frac{I_{a0}}{\alpha_0 S_K E_a} \right). \quad (1-46)$$

Константой является величина

$$p = \frac{I_{a0}}{E_a S_k} \quad (1.47)$$

На рис. 1-34 дано изменение к. п. д. в зависимости от θ при разных p .

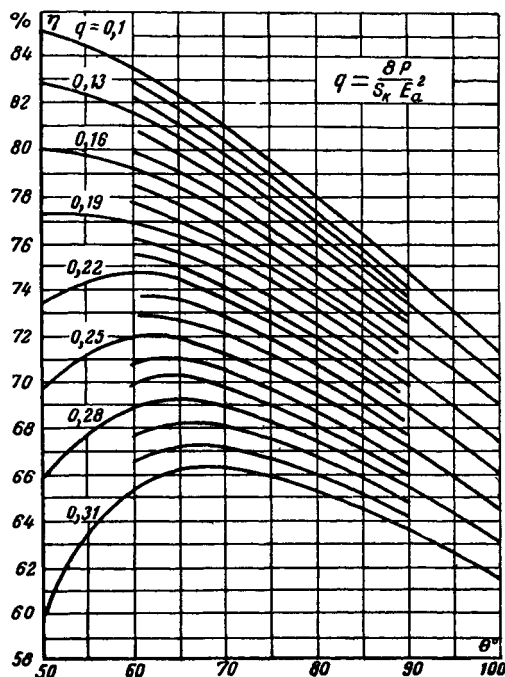


Рис. 1-33. График для расчета лампового генератора, если известна мощность переменного тока в анодной цепи.

Если задана неизменная мощность, рассеиваемая на аноде, то исходят из выражения

$$P_a = P_0 - P. \quad (1.48)$$

Подставив в (1.48) формулы (1.41), (1.42), получим после преобразований квадратное уравнение, позволяющее найти импульс анодного тока:

$$\frac{\alpha_0 \gamma I_m^2}{2S_k} + I_m \left(\alpha_0 E_a - \frac{\gamma \alpha_0 E_a}{2} \right) - P_a = 0.$$

Единственное реальное решение имеет вид:

$$I_m = \frac{S_K E_a}{2} - \frac{S_K E_a}{\gamma} + \frac{S_K}{\alpha_0 \gamma} \sqrt{\left(\alpha_0 E_a - \frac{\gamma \alpha_0}{2} E_a \right)^2 + \frac{2 \alpha_0 \gamma P_a}{S_K}}. \quad (1-49)$$

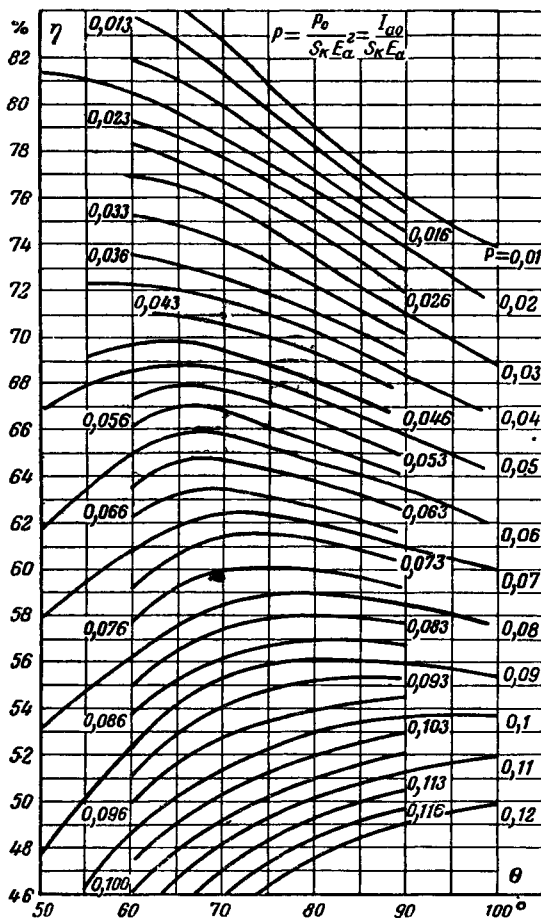


Рис. 1-34. График для расчета лампового генератора, если заданы анодный ток или мощность, подводимая к анодной цепи генератора от внешнего источника.

После подстановки (1-49) в (1-46) приходим к выражению

$$\eta = \frac{1}{2} + \frac{\gamma}{4} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{\gamma}{4}\right)^2 + \frac{\gamma P_a}{2\alpha_0 S_{\kappa} E_a^2}}.$$

Полагая расчетной константой

$$r = \frac{P_a}{2S_{\kappa} E_a^2}, \quad (1-50)$$

получим графики на рис. 1-35. Очевидно, что при углах, лежащих в пределах от 20 до 50°, получим наибольшие к. п. д. Но выбор этих режимов приводит к большему возрастанию амплитуды возбуждающего напряжения. Поэтому обычно выбирают $\theta = 60-70^\circ$.

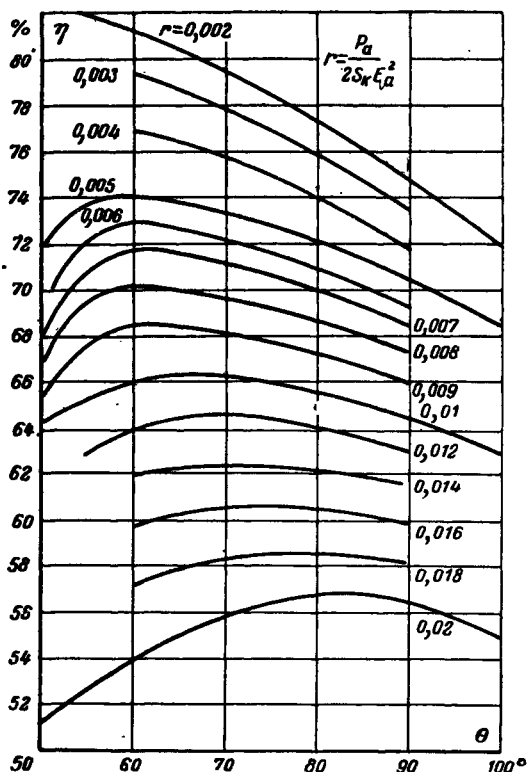


Рис. 1-35. График для расчета лампового генератора, если известна мощность, рассеиваемая анодом.

Пример. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-10А, исходя из требования получить выходную мощность 16 кВт, рекомендуемую электровакuumным заводом. Дано: $E_a=8$ кВ, $E'_c \approx -120$ в, $P_a=10$ кВт, $P_c=300$ вт, $S_k=19$ ма/вт, $\mu=50$. Характеристики показаны на рис. 2-26, 2-27, 2-28.

Решение. 1. Находим расчетный параметр

$$q = \frac{8P}{E_a^2 S_k} = \frac{8 \cdot 16\,000}{8\,000^2 \cdot 19 \cdot 10^{-8}} = 0,105.$$

2. Выбираем $\theta=90^\circ$. Согласно графику на рис. 1-33 получим $\eta=0,745$. Для мощных триодов рекомендуется работа в слегка недонапряженном режиме, при котором рекомендуется уменьшить к. п. д. на 3—5% по сравнению с полученным в оптимальном режиме, чтобы не допустить тепловой перегрузки сетки. Поэтому выбираем $\eta=0,7$. Из табл. П-1 находим $\gamma=1,57$, $\alpha_1=\beta=0,5$.

$$3. P_0 = \frac{P}{\eta} = \frac{16}{0,7} = 22,9 \text{ кВт.}$$

$$4. P_a = P_0 - P = 22,9 - 16 = 6,9 \text{ кВт.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{P_0}{E_a} = \frac{22,9}{8} = 2,86 \text{ а.}$$

$$6. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,57 \cdot 2,86 = 4,5 \text{ а.}$$

$$7. \xi = \frac{2\eta}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,7}{1,57} = 0,892.$$

$$8. U_{ma} = \xi E_a = 0,892 \cdot 8 = 7,14 \text{ кВ.}$$

$$9. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{7\,140}{4,5} = 1\,585 \text{ ом.}$$

$$10. I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{4,5}{0,5} = 9 \text{ а.}$$

11. Руководствуясь импульсом анодного тока 9 а и остаточным анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{ma} = 8\,000 - 7\,140 = 860 \text{ в,}$$

находим из характеристик (рис. 2-27) крутизну

$$S = \frac{i'_a - i'_a}{e'_c - e'_c} = \frac{9\,000 - 1\,000}{500 - 100} = 20 \text{ ма/в.}$$

$$12. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{4\,500}{20 \cdot 0,5} + 0,02 \cdot 7\,140 = 595 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c = -120 \text{ в.}$$

14. Для напряжений $e_a = 860$ в и

$$e_c = E_c + U_{mc} = -120 + 595 = 475 \text{ в}$$

находим из характеристик импульс сеточного тока (рис. 2-28)
 $I_{mc} \approx 3,1 \text{ а.}$

$$15. I_c \approx 0,7\alpha_0 I_{mc} = 0,7 \cdot 0,32 \cdot 3,1 = 0,7 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc} = 0,7 \cdot 595 = 416 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 416 - 0,7 \cdot 120 = 332 \text{ вт.}$$

В табл. 2-11 произведено сравнение расчетных данных с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендованными электровакуумным заводом.

Пример. Произвести расчет радиотелеграфного режима пентода ГУ-50, исходя из заданной мощности, рассеиваемой на аноде $P_a = 30 \text{ вт}$, которая на 25% меньше допустимой номинальной мощности, равной 40 вт. Дано: $E_a = 1\,000 \text{ в}$, $E_{c2} = 250 \text{ в}$, $S_k = 5 \text{ ма/в}$.

Решение. 1. Выбираем $\theta = 75^\circ$. Из табл. II-1 находим $\gamma = 1,69$.

2. Находим расчетный параметр

$$r = \frac{P_a}{2S_k E_a^2} = \frac{30}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 1\,000^2} = 0,003.$$

Согласно графику на рис. 1-35 находим $\eta = 0,77$.

$$3. P = P_a \frac{\eta}{1 - \eta} = \frac{30 \cdot 0,77}{1 - 0,77} = 100 \text{ вт.}$$

$$4. P_0 = P_a + P = 30 + 100 = 130 \text{ вт.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{P_0}{E_a} = \frac{130}{1\,000} = 0,13 \text{ а.}$$

$$6. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,69 \cdot 0,13 = 220 \text{ ма.}$$

$$7. \xi = \frac{2\eta}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,77}{0,69} \approx 0,91.$$

$$8. U_{mc} = \xi E_a = 0,91 \cdot 1\,000 = 910 \text{ в.}$$

$$9. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{910}{0,22} \approx 4\,130 \text{ ом.}$$

Результаты расчета подтверждаются данными графоаналитического исследования [Л. 2].

Пример. Произвести расчет радиотелеграфного режима тетрода ГУ-13, исходя из предельно допустимой мощности, подводимой к ламповому генератору $P_{\text{опред}} = 360 \text{ вт}$. Дано: $E_a = 2\,000 \text{ в}$, $E_{c2} = 400 \text{ в}$, $P_a = 100 \text{ вт}$, $S_k = 3,5 \text{ ма/в}$.

Решение. 1. Полагаем $\theta = 65^\circ$. Из табл. II-1 находим $\gamma = 1,76$.

2. Полагая $P_0 = 360 \text{ вт}$, находим анодный ток

$$I_{a0} = \frac{P_0}{E_a} = \frac{360}{2\,000} = 0,18 \text{ а.}$$

$$3. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,76 \cdot 0,18 = 317 \text{ ма.}$$

4. Находим расчетный параметр

$$p = \frac{P_0}{S_k E_a^2} = \frac{360}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2\,000^2} = 0,0257.$$

Из графика на рис. 1-34 находим $\eta \approx 0,78$.

5. $P = \eta P_0 = 0,78 \cdot 360 = 280 \text{ вт.}$

6. $P_a = P_0 - P = 360 - 280 = 80 \text{ вт.}$

7. $\xi = \frac{2\eta}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,78}{1,76} = 0,886.$

8. $U_{ma} = \xi E_a = 0,886 \cdot 2\,000 = 1\,772 \text{ в.}$

9. $R_{oe} = \frac{U_{ma}}{I_a} = \frac{1\,772}{0,317} = 5\,600 \text{ ом.}$

Результаты расчета подтверждаются данными опыта [Л. 2].

ГЛАВА ВТОРАЯ

РАСЧЕТЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

2-1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В этой главе приводятся расчеты типовых эксплуатационных режимов телеграфной работы коротковолновых и ультракоротковолновых генераторных ламп, применяемых в отечественных радиопередатчиках. Результаты расчета сравниваются с данными, полученными из графоаналитического исследования, и с опытными данными, рекомендуемыми лабораториями применения радиоламповых заводов. Для многих ламп приведены данные, рекомендуемые радиоламповым заводом, которые также получены путем графоаналитического исследования характеристик по методу, описанному в гл. 1.

В ряде случаев эти данные соответствуют оптимальному использованию лампы. Но для некоторых ламп возможно и более эффективное использование, т. е. получение увеличенной мощности при отсутствии тепловой перегрузки электродов.

Для некоторых ламп (например, ГК-5А и ГУ-28) необходимо производить уточнение номинальной мощности, приписываемой лампе заводом, так как при указанной P_N может иметь место тепловая перегрузка сеток. Такой форсированный режим допустим лишь при кратковременной работе, а для условий длительной работы необходимо произвести второй вариант расчета, исходя из уменьшенной номинальной мощности.

Заметим, что термин «коротковолновая» или «средневолновая» лампа лишь приблизительно отражает преимущественное использование лампы в собственном ей диапазоне волн. Но это различие не имеет значения, так как метод расчета лампового генератора, используемого

в диапазонах средних или коротких волн, один и тот же.

Иное положение возникает, если генераторная лампа, используемая преимущественно в коротковолновом диапазоне, применяется на УКВ. Это имеет место, например, с пентодом ГУ-50, полезная мощность которого порядка 100 вт в коротковолновом диапазоне. При использовании на УКВ мощность лампы уменьшается до 40—50 вт.

Рекомендации по выбору пограничного режима остаются справедливыми, и расчет телеграфного режима УКВ лампы производят аналогично, как для ее использования на коротких волнах. Учитываются некоторые особенности, вызванные появлением высокочастотных потерь в ламповой конструкции. Особенности расчета отражены в следующих пунктах.

Мощность в анодной цепи считают равной

$$P_{\text{вых}} = K_f P_N,$$

где коэффициент уменьшения мощности $K_f = 0,9 - 0,95$ для большинства УКВ ламп.

Мощность тепловых потерь

$$P_T = P_a + P',$$

где P' — мощность высокочастотных потерь в ламповой конструкции и P_a — мощность, рассеиваемая на аноде.

Сопротивление анодной нагрузки

$$R_{\text{oe}} = \frac{U_{\text{ма}}}{K_f I_{a1}}.$$

Заметим, что имеет место общность физических процессов, происходящих в УКВ и ДЦВ лампах. Однако существенное отличие состоит в невозможности использования ДЦВ лампы в пограничном режиме, что требует применения иного подхода к расчету лампового генератора.

Для оптимального режима УКВ ламп обычно исходят из возможности получить $\xi = 0,85 - 0,9$. Иногда применяют перенапряженный режим УКВ ламп с уменьшенной мощностью. Расчет мощного УКВ триода в инверсной схеме производится по обычной методике, справедливой для лампы с заземленным катодом. Затем

расчет дополняется пунктами, отражающими специфику инверсной схемы.

В табл. 2-1 даны значения P и $P_{\text{вых}}$ для некоторых ламп, по которым можно найти K_f .

Т а б л и ц а 2-1

Тип лампы	E_a	P , вт	$P_{\text{вых}}$, вт	λ , м	Примечание
Пентод 4П1Л	200	4,6	4,6	50	Телеграфный режим на основной частоте
	200	4,6	4	8	
	200	4,6	3	3	
Пентод ГУ-15	350	13	13	200	
	350	13	11	20	
	350	13	7	5	
Пентод ГУ-50	1 000	95	95	50	
	1 000	95	85	12	
	1 000	95	80	6,5	
	800	85	65	4,5	
	700	72,5	52	3,5	
	600	60	40	2,5	
Тетрод ГУ-27Б	3 500	1 250	1 050	2,8	
Двойной пентод ГУ-32	750	32	26	1,5	
	500	29	26	1,5	
Двойной пентод ГУ-29	750	125	110	1,5	
	500	103	87	1,5	
	600	43	40	5	
	400	26	25		
Лучевой тетрод ГУ-13	2 000	280	260		
	1 500	195	190	10	
	1 250	155	155		

2-2. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Ниже приводятся примеры расчетов режимов ламп для различных случаев их использования с тем, чтобы проиллюстрировать положения, развитые в первой главе.

Пример 1. Произвести расчет телеграфного режима лучевого тетрода 2П9М, если даны: $E_a=250$ в, $E_{c2}=150$ в, $E'_{c1}\approx-17$ в, $S_K\approx 2$ ма/в, $P_N=8$ вт, $U_H=2$ в, $I_H=1$ а. Характеристики показаны на рис. 2-1, 2-2.

Решение. 1. Полагаем, что лампа работает косинусоидальным импульсом анодного тока, для которого $\theta=75^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1=0,455$; $\gamma=1,688$; $\cos \theta=0,258$; $\beta=0,337$.

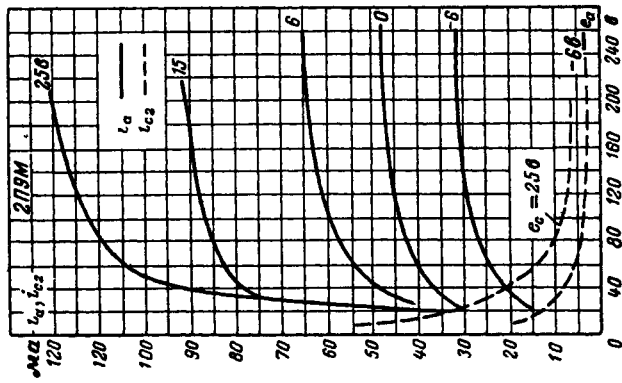


Рис. 2-1. Анодные характеристики тетроды 2П9М при $E_{c2} = 150$ в.

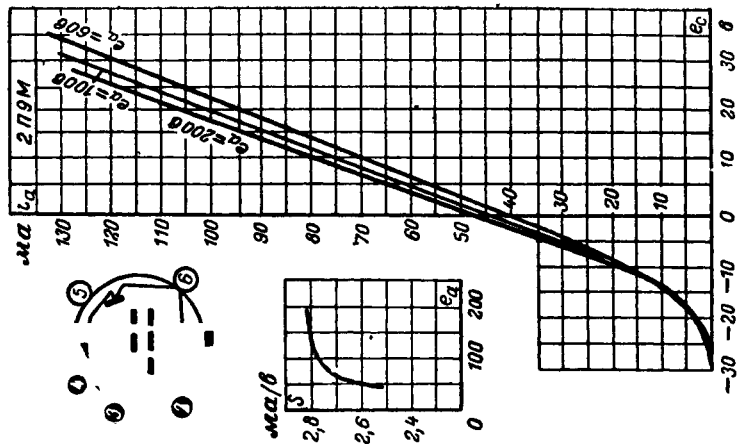


Рис. 2-2. Анодно-сеточные характеристики тетрода 2П9М при $E_{c2} = 150$ в.

$$2. P_{\text{н}} = I_{\text{н}} U_{\text{н}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ вт.}$$

3. Для лампы, имеющей оксидный катод прямого накала, допустимо считать динамическую эффективность по анодному току

$$H_0 = \frac{I_{\text{аопрд}}}{P_{\text{н}}} = 20 \text{ ма/вт.}$$

Следовательно, $I_{\text{аопрд}} = H_0 P_{\text{н}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ ма.}$

$$4. \text{Выбираем } I_{\text{ао}} = I_{\text{опрд}} = 40 \text{ ма.}$$

$$5. I_{\text{а1}} = \gamma I_{\text{ао}} = 1,688 \cdot 40 = 67,5 \text{ ма.}$$

$$6. \xi = 1 - \frac{I_{\text{а1}}}{\alpha_1 S_{\text{к}} E_{\text{а}}} = 1 - \frac{67,5}{0,455 \cdot 2 \cdot 250} \approx 0,7.$$

$$7. U_{\text{ма}} = \xi E_{\text{а}} = 0,7 \cdot 250 = 175 \text{ в.}$$

$$8. P = 0,5 I_{\text{а}} U_{\text{ма}} = 0,5 \cdot 67,5 \cdot 10^{-3} \cdot 175 \approx 5,9 \text{ вт.}$$

$$9. P_0 = I_{\text{ао}} E_{\text{а}} = 40 \cdot 250 = 10 \text{ вт.}$$

$$10. P_{\text{а}} = P_0 - P = 10 - 5,9 = 4,1 \text{ вт.}$$

$$11. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{5,9}{10} = 0,59.$$

$$12. R_{0\text{еопт}} = \frac{U_{\text{ма}}}{I_{\text{а1}}} = \frac{175}{67,5 \cdot 10^{-3}} = 2600 \text{ ом.}$$

13. Из графика на рис. 2-2 следует, что для $e_{\text{а}} = E_{\text{а}} - U_{\text{ма}} = 250 - 175 = 75 \text{ в}$ получим: $S \approx 2,7 \text{ ма/в.}$

$$14. U_{\text{мс}} = \frac{I_{\text{а1}}}{S_{\beta}} = \frac{67,5}{2,7 \cdot 0,337} = 74 \text{ в.}$$

$$15. E_{\text{с}} = E'_{\text{с}} - U_{\text{мс}} \cos \theta = -17 - 74 \cdot 0,258 = -36 \text{ в.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумной промышленностью.

Т а б л и ц а 2-2

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_{\text{а}}, \text{ в}$	$E_{\text{с2}}, \text{ в}$	$-E_{\text{с}}, \text{ в}$	$U_{\text{ма}}$	$I_{\text{ао}}$	$R_{0\text{е}}$
Опытные	≥ 6	250	150	—	70,5	—	2500
Расчетные	5,9	250	150	36	74	40	2600

Пример 2. Произвести расчет телеграфного режима пентода 2П29Л, если даны: $E_{\text{а}} = 160 \text{ в}$, $E_{\text{с2}} = 120 \text{ в}$, $E_{\text{с3}} = 15 \text{ в}$, $E'_{\text{с}} \approx -10 \text{ в}$, $P_{\text{ан}} = 2 \text{ вт}$, $P_{\text{с2н}} = 0,7 \text{ вт}$, $S_{\text{к}} \approx 1,3 \text{ ма/в}$, предельное значение тока катода $I_{\text{к}} = 20 \text{ ма}$. Характеристики показаны на рис. 2-3, 2-4.

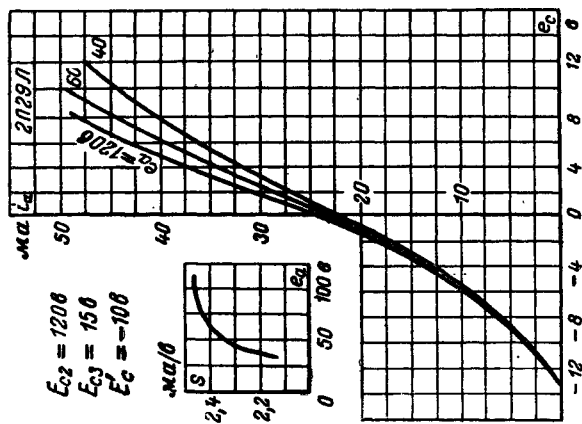


Рис. 2-3. Анодно-сеточные характеристики пентода 2П29Л при $E_{c2} = 120 \text{ В}$, $E_{c3} = 15 \text{ В}$.

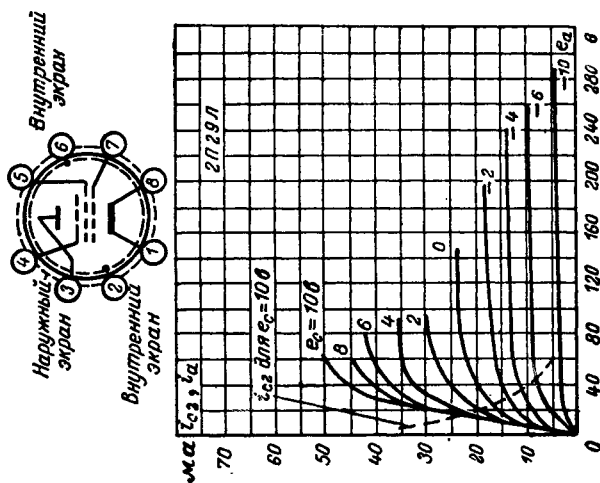


Рис. 2-4. Анодные характеристики пентода 2П29Л при $E_{c2} = 120 \text{ В}$, $E_{c3} = 15 \text{ В}$.

Решение. 1. Полагаем, что лампа работает косинусоидальным импульсом анодного тока, для которого $\theta = 80^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1 = 0,473$; $\gamma = 1,65$; $\cos \theta = 0,173$; $\beta = 0,391$.

2. Считаем

$$I_{a0} = 0,8I_K = 0,8 \cdot 20 = 16 \text{ ма.}$$

$$3. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,65 \cdot 16 = 26,5 \text{ ма.}$$

$$4. \xi = 1 - \frac{I_{a1}}{\alpha_1 S_K E_a} = 1 - \frac{26,5}{0,473 \cdot 1,3 \cdot 160} = 0,73.$$

$$5. U_{ma} = \xi E_a = 0,73 \cdot 160 = 117 \text{ в.}$$

$$6. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 26,5 \cdot 10^{-3} \cdot 117 = 1,55 \text{ вт}$$

$$7. P_0 = I_{a0} E_a = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 160 = 2,56 \text{ вт.}$$

$$8. P_a = P_0 - P = 2,56 - 1,55 \approx 1 \text{ вт.}$$

$$9. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{1,55}{2,56} = 0,605.$$

$$10. R_{\text{о.опт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{117}{26,5 \cdot 10^{-3}} = 4400 \text{ ом.}$$

11. Из графика на рис. 2-3 следует, что для

$$e_a = E_a - U_{ma} = 160 - 117 = 43 \text{ в,}$$

получим:

$$S \approx 2,3 \text{ ма/в.}$$

$$12. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{26,5}{2,3 \cdot 0,391} = 29,5 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -10 - 29,5 \cdot 0,173 \approx -15 \text{ в.}$$

$$14. I_{c2} = 0,2 I_{a0} = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ ма.}$$

$$15. P_{c2} = I_{c1} E_{c2} = 3,2 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \approx 0,5 \text{ вт.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумной промышленностью.

Таблица 2-3

Данные	P , вт	E_a , в	E_{c2} , в	E_{c2}' , в	U_{mc} , в	I_K , ма	$I_{a0} + I_{c2}$, ма
Опытные	1,86	160	120	15	28,2	20	—
Расчетные	1,55	160	120	15	29,5	—	19,2

Пример 3. Произвести расчет телеграфного режима пентода 4П1Л, если даны: $E_a = 200$ в, $E_{c2} = 150$ в; $E_{c3} = 0$, $E'_c \approx -12$ в, $P_{aN} = 7,5$ вт, $P_{c2N} = 1,5$ вт, $S_K \approx 2$ ма/в, предельное значение тока катода $I_K = 50$ ма. Характеристики показаны на рис. 2-5, 2-6 и 2-7.

Решение 1. Полагаем, что лампа работает плоским импульсом анодного тока, для которого $\theta = 75^\circ$, $\theta' = 15^\circ$.

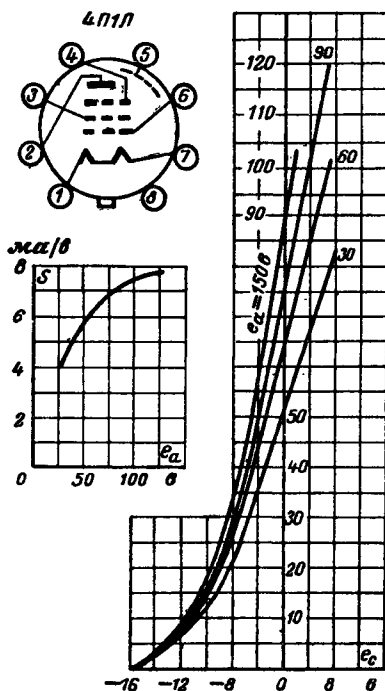


Рис. 2-5. Анодно-сеточные характеристики пентода 4П1Л при $E_{c2} = 150$ в, $E_{c3} = 0$.

Из табл. П-1, П-2, П-3 находим: $\cos \theta = 0,259$, $\cos \theta' = 0,966$, $\alpha_0 = 0,28$, $\gamma = 1,682$.

2. Считаем: $I_{a0} = 0,8 I_K = 0,8 \cdot 50 = 40$ ма.

3. $I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,682 \cdot 40 \approx 67$ ма.

$$4. I_m = \frac{I_{a0}}{\alpha_0} = \frac{40}{0,28} \approx 143 \text{ ма.}$$

$$5. \xi = 1 - \frac{I_m}{S_k E_a} = 1 - \frac{143}{2 \cdot 200} \approx 0,64.$$

$$6. U_{ma} = \xi E_a = 0,64 \cdot 200 = 128 \text{ в.}$$

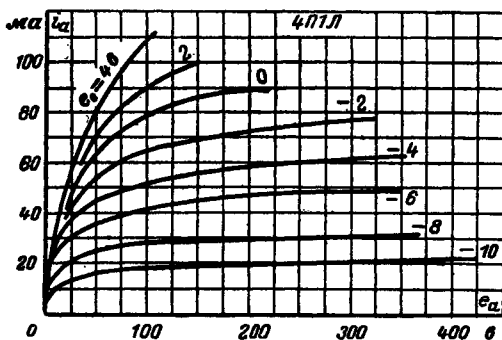


Рис. 2-6. Анодные характеристики пентода 4П1Л при $E_{c2} = 150 \text{ в.}$, $E_{c3} = 0$.

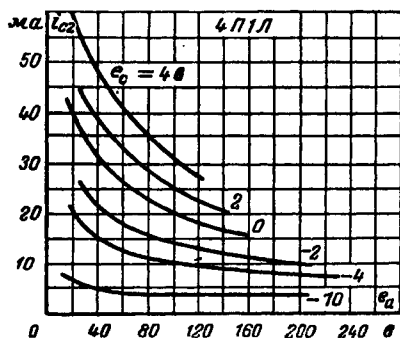


Рис. 2-7. Характеристики тока второй сетки пентода 4П1Л при $E_{c2} = 150 \text{ в.}$, $E_{c3} = 0$.

$$7. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 67 \cdot 10^{-3} \cdot 128 \approx 4,3 \text{ вт.}$$

$$8. P_0 = I_{a0} E_a = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 8 \text{ вт.}$$

$$9. P_a = P_0 - P = 8 - 4,3 = 3,7 \text{ вт.}$$

$$10. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{4,3}{8} = 0,537.$$

$$11. R_{\text{еопт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{128}{0,067} \approx 1900 \text{ ом.}$$

12. Из графика на рис. 2-5 следует, что для

$$e_a = E_a - U_{ma} = 200 - 128 = 72 \text{ в,}$$

получим $S \approx 6,8 \text{ ма/в.}$

$$13. U_{mc} \approx \frac{I_m}{S(\cos \theta' - \cos \theta)} = \frac{139}{6,8(0,966 - 0,259)} \approx 29 \text{ в.}$$

$$14. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -12 - 29 \cdot 0,259 \approx -19,5 \text{ в.}$$

$$15. I_{c2} \approx 0,25 I_{a0} = 0,25 \cdot 40 = 10 \text{ ма.}$$

$$16. I_{a0} + I_{c2} = 40 + 10 = 50 \text{ ма.}$$

$$17. P_{c2} = I_{c2} E_{c2} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 150 = 1,5 \text{ вт.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумной промышленностью.

Таблица 2-4

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$E_c, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$I_{a0} + I_{c2}, \text{ ма}$
Опытные	4,2	200	150	15	20	25,3	50	—
Расчетные	4,3	200	150	0	19,5	29	—	50

Пример 4. Произвести расчет телеграфного режима пентода 12П17Л, если даны: $E_a = 200 \text{ в}$, $E_{c3} = 15 \text{ в}$, $E'_c \approx -15 \text{ в}$, предельное значение тока катода 60 ма , при токах второй и первой сеток, соответственно равных 10 и 2 ма ; $S_K = 2,8 \text{ ма/в}$. Характеристики показаны на рис. 2-8, 2-9, 2-10.

Решение. 1. Полагаем $\theta = 80^\circ$. Из табл. П-1 находим $\gamma = 1,65$; $\cos \theta = 0,173$; $\beta = 0,391$.

2. Анодный ток

$$I_{a0} = 60 - 12 = 48 \text{ ма.}$$

$$3. p = \frac{I_{a0}}{S_K E_a} = \frac{48}{2,8 \cdot 200} = 0,086.$$

Согласно рис. 1-34 находим $\eta = 0,57$.

$$4. P_0 = I_{a0} E_a = 48 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 9,6 \text{ вт.}$$

$$5. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,65 \cdot 48,1 = 79 \text{ ма.}$$

$$6. \xi = \frac{2\eta}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,57}{1,65} = 0,692.$$

$$7. U_{ma} = \xi E_a = 0,692 \cdot 200 = 138,5 \text{ в.}$$

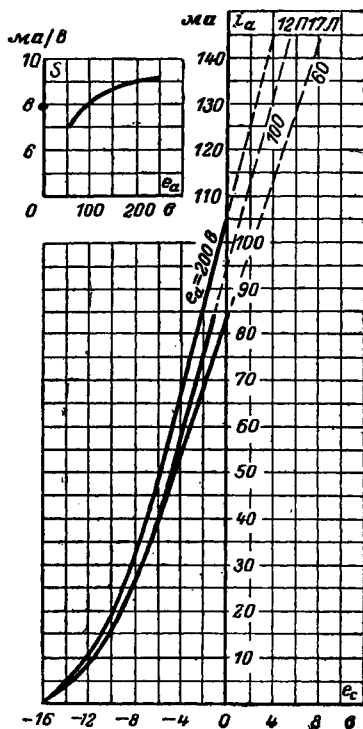


Рис. 2-8. Анодно-сеточные характеристики пентода 12П17Л при $E_{c2} = 150 \text{ в}$ и $E_{c3} = 0$.

$$8. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{138,5}{0,079} = 1750 \text{ ом.}$$

9. Для напряжения $e_{a.\text{мин}} = E_a - U_{ma} = 200 - 138,5 \approx 60 \text{ в}$ находим (рис. 2-8) крутизну 7 ма/в .

$$10. U_{ma} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{79}{7 \cdot 0,391} \approx 29 \text{ в.}$$

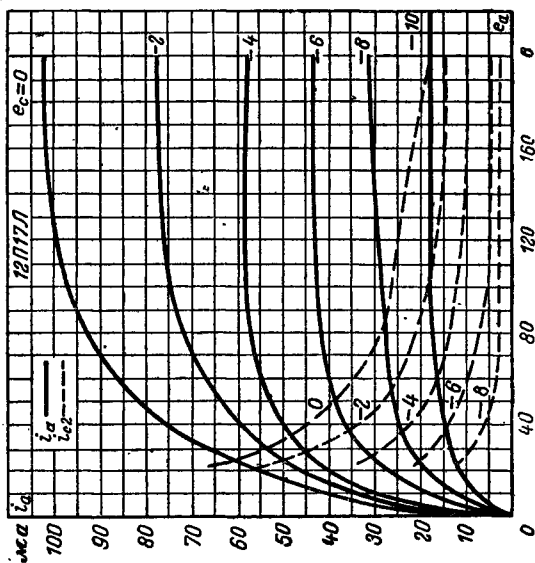


Рис. 2-9. Анодные характеристики пентода 12П17Л при $E_{c2} = 150$ в и $E_{c3} = 0$.

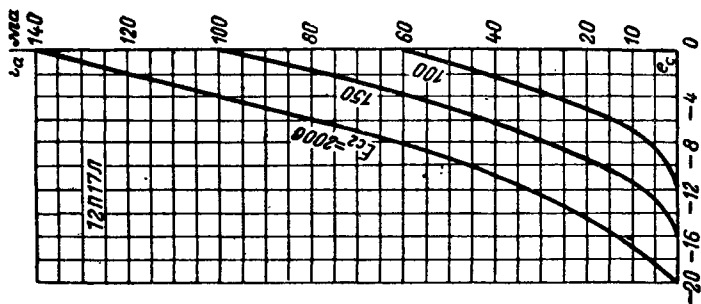


Рис. 2-10. Анодно-сеточные характеристики пентода 12П17Л при $E_a = 200$ в, $E_{c3} = 0$ и различных E_{c2} .

$$11. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -12 - 29 \cdot 0,173 = -17 \text{ в.}$$

$$12. P_a = P_0 - P = 9,6 - 5,47 = 4,1 \text{ вт.}$$

Произведем сравнение расчетных величин с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом.

Таблица 2-5

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$E_c, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$
Расчетные	5,5	200	150	15	17,5	29	48
Опытные	4,4	200	150	15	20	27	48

Пример 5. Рассчитать выходной каскад диапазонного передатчика по сложной схеме (рис. 1-25), работающий на волнах от $\lambda_{\min} = 40 \text{ м}$ до $\lambda_{\max} = 60 \text{ м}$. Сопротивление контура антенны: $r_{a40} = 50 \text{ ом}$, $r_{a50} = 21 \text{ ом}$, $r_{a60} = 10 \text{ ом}$; на волне $\lambda_{\text{ср}} = 50 \text{ м}$ сопротивление одиночного анодного контура $r_{\text{к.ср}} = 2,4 \text{ ом}$. Начальная емкость контура $C_{\min} = 80 \text{ см}$. Мощность в контуре антенны должна быть не меньше 600 вт.

Решение. Первоначально произведем расчет оптимального режима выходной лампы, в качестве которой выбран пентод ГУ-80 или его модифицированная конструкция лампа ГУ-81. Характеристики показаны на рис. 2-11 — 2-15. Известно, что $E_a = 2500 \text{ в}$, $E_{c2} = 600 \text{ в}$, $E_{c3} = 0$, $P_N = 900 \text{ вт}$, $P_{aN} = 450 \text{ вт}$, $P_{c2N} = 120 \text{ вт}$, $P_{cN} = 10 \text{ вт}$, $E'_c = -160 \text{ в}$, $S_K \approx 5 \text{ ма/в}$.

1. Полагая, что лампа работает косинусоидальным импульсом анодного тока при $\theta = 85^\circ$, находим из табл. П-1 коэффициенты $\alpha_1 = 0,488$; $\gamma = 1,611$; $\cos \theta = 0,087$; $\beta = 0,446$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P_N}{\alpha_1 S_K E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 900}{0,488 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 2500^2} \approx 0,88.$$

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,88 \cdot 2500 = 2200 \text{ в.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 900}{2200} = 0,82 \text{ а} = 820 \text{ ма.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{0,82}{1,611} = 0,508 \text{ а.}$$

$$6. R_{\text{оепт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{2200}{0,82} = 2680 \text{ ом.}$$

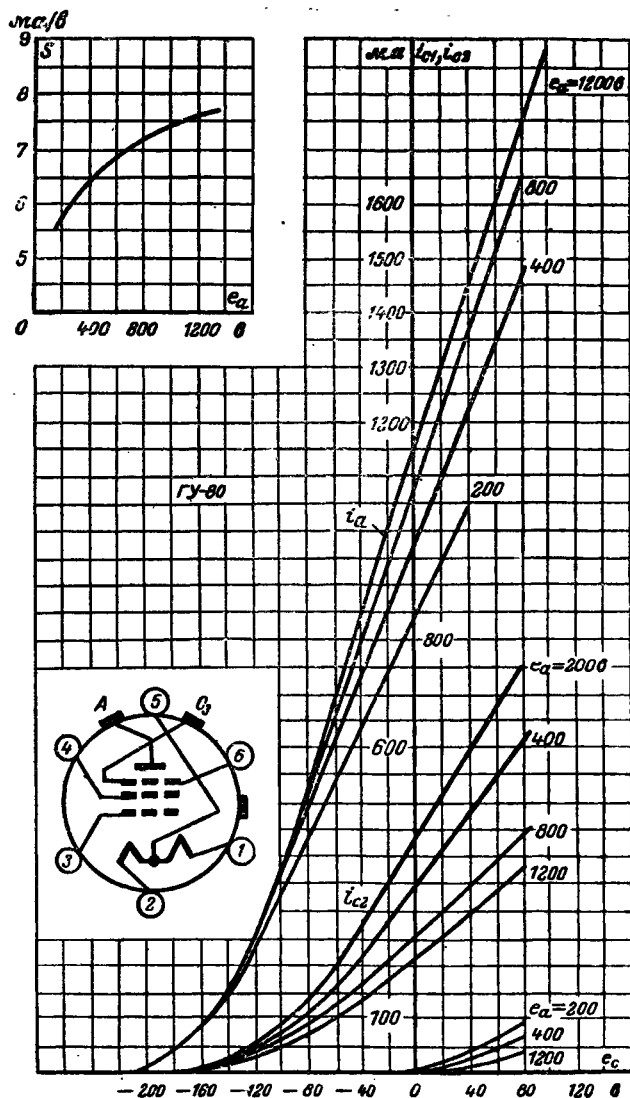


Рис. 2-11. Анодно-сеточные характеристики пентода ГУ-80 (и ГУ-81) для $E_{c2} = 600$ в и $E_{c3} = 0$.

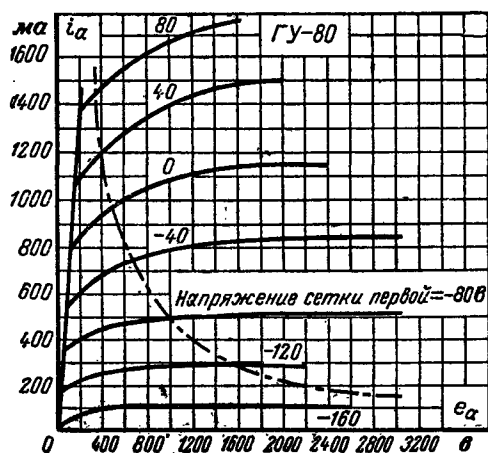


Рис. 2-12 Анодные характеристики пентода ГУ-80 (и ГУ-81) для $E_{c2}=600$ в и $E_{c3}=0$.

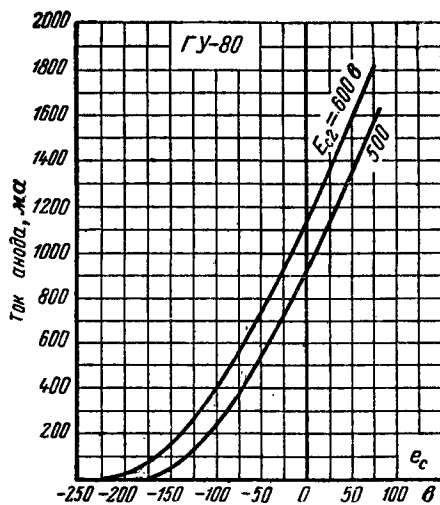


Рис. 2-13. Анодно-сеточные характеристики пентода ГУ-80 (и ГУ-81) при различных E_{c2} и $E_a=1200$ в.

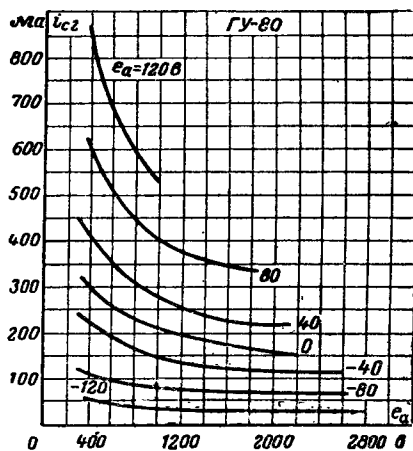


Рис. 2-14. Характеристики тока второй сетки пентода ГY-80 (и ГY-81) для $E_{c2} = 600$ в и $E_{c3} = 0$.

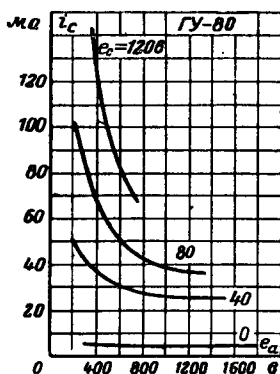


Рис. 2-15. Характеристики тока первой сетки пентода ГY-80 (и ГY-81) для $E_{c2} = 600$ в и $E_{c3} = 0$.

$$7. P_0 = I_{a0} E_a = 0,508 \cdot 2500 = 1270 \text{ вт.}$$

$$8. P_a = P_0 - P = 1270 - 90 = 370 \text{ вт.}$$

$$9. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{900}{1270} = 0,708.$$

10. Для анодного напряжения

$$e_a = E_a - U_{ma} = 2500 - 2200 = 300 \text{ в}$$

находим (рис. 2-11) значение крутизны $S \approx 6,1 \text{ ма/в.}$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{820}{6,1 \cdot 0,446} \approx 302 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -160 - 302 \cdot 0,087 \approx -186 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_a = 300 \text{ в}$ и

$$e_c = E_c + U_{mc} = -186 + 302 = 116 \text{ в}$$

находим (рис. 2-14) импульс тока экранирующей сетки $I_{mc2} \approx 750 \text{ ма.}$

14. Напряжение запираения для тока экранирующей сетки этого пентода $E''_{c2} \approx -120 \text{ в.}$ Находим угол отсечки тока второй сетки

$$\cos \theta_{c2} = \frac{E''_{c2} - E_c}{U_{mc}} = \frac{-120 - (-186)}{302} = 0,218.$$

Из табл. П-1 находим $\theta_{c2} \approx 77^\circ$, $\alpha_0 = 0,275$.

$$15. I_{c2} \approx 0,7 \alpha_0 I_{mc2} = 0,7 \cdot 0,275 \cdot 750 = 144 \text{ ма.}$$

16. Мощность, рассеиваемая второй сеткой,

$$P_{c2} = I_{c2} E_{c2} = 0,144 \cdot 600 = 86,5 \text{ вт.}$$

17. Для напряжений $e_a = 300 \text{ в}$, $e_c = 116 \text{ в}$ находим (рис. 2-15) импульс тока первой сетки $I_{mc} \approx 120 \text{ ма.}$

18. Угол отсечки тока первой сетки

$$\cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{126}{302} = 0,616;$$

$$\theta_c \approx 52^\circ, \alpha_{c0} = 0,19.$$

$$19. I_c \approx \alpha_{c0} I_{mc} = 0,19 \cdot 120 = 22,3 \text{ ма.}$$

20. Мощность возбуждения

$$P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc} = 22,3 \cdot 10^{-3} \cdot 302 \approx 6,9 \text{ вт.}$$

21. Мощность, рассеиваемая управляющей сеткой,

$$P_c \approx I_c U_{mc} \left\{ 1 - \frac{|E_c|}{U_{mc}} \right\} = 22,3 \cdot 10^{-3} \cdot 302 (1 - 0,616) \approx 2,6 \text{ вт.}$$

Рассчитаем величины, относящиеся к анодному контуру.

$$22. K = \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = \frac{60}{40} = 1,5.$$

$$23. L_{(см)} = \frac{253\lambda_{\min}^2 (м)}{C_{\min (см)}} = \frac{253 \cdot 40}{80} = 5\,060 \text{ см.}$$

$$24. C_{\max} = C_{\min} K^2 = 80 \cdot 1,5 = 180 \text{ см.}$$

$$25. C_{ср} = 253 \frac{\lambda_{ср}^2 (м)}{L_{(см)}} = \frac{253 \cdot 50^2}{5\,060} = 125 \text{ см.}$$

$$26. R_{ср} = 900 \frac{L_{(см)}}{C_{ср (см)} r_{к,ср}} = 900 \frac{5\,060}{125 \cdot 2,4} = 15\,180 \text{ ом.}$$

$$27. a_{ср} = \frac{R_{ср}}{R_{ср,опт}} = \frac{15\,180}{2\,680} = 5,67.$$

$$28. n_{ср} = a_{ср} - 1 = 5,67 - 1 = 4,67.$$

Результаты дальнейшего расчета сведены в табл. 2-6

Т а б л и ц а 2-6

Расчетные величины	$\lambda=40 \text{ м}$	$\lambda=50 \text{ м}$	$\lambda=60 \text{ м}$
Параметры			
$n_{\max} = 0,5 a_{ср} \left(1 + \frac{1}{k}\right) - 1$	—	—	3,72
$n_{\min} = 0,5 a_{ср} (1 + k) - 1$	6,08		
Оптимальная взаимоиндукция, см, $M = 0,53\lambda \sqrt{n r_{к} r_{а}}$	512	406	274
Коэффициент полезного действия промежуточного контура $\eta_{п.к} = \frac{n}{1+n}$	0,86	0,824	0,788
Мощность в антенном контуре, вт, $P_{А} = P \eta_{п.к}$	774	742	710
Действующее значение тока в промежуточном контуре, а, $I_{к,эфф} = \sqrt{\frac{P - P_{А}}{r_{к}}}$	6,48	8,1	9,75
Действующее значение тока в антенне, а, $I_{А,эфф} = \sqrt{\frac{P_{А}}{r_{А}}}$	4,92	5,94	8,42

Пример 6. Рассчитать режим удвоения на пентоде ГУ-80, если даны: $E_a = 3 \text{ кВ}$, $E_{c2} = 600 \text{ в}$, $E'_c \approx -160 \text{ в}$, $P_{aN} = 450 \text{ Вт}$, $P_N = 900 \text{ Вт}$, $S_K = 4 \text{ ма/в}$. Характеристики показаны на рис. 2-11 — 2-15.

Решение. 1. Выбираем $\theta = 60^\circ$. Из табл. П-1, П-5 находим: $\alpha_2 = 0,276$; $\alpha_0 = 0,218$; $\cos \theta = 0,5$; $\gamma_2 = 1,27$.

$$2. P_2 = 0,6 P_N = 0,6 \cdot 900 = 540 \text{ Вт.}$$

$$3. \xi = 1 - \frac{2P_2}{S_K \alpha_2 E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 540}{4 \cdot 0,276 \cdot 3000^2} \approx 0,89.$$

$$4. U_{ma} = \xi E_a = 0,89 \cdot 3000 = 2670 \text{ в.}$$

$$5. I_{a2} = \frac{2P_2}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 540}{2670} = 0,405 \text{ а} = 405 \text{ ма.}$$

$$6. I_{a0} = \frac{I_{a2}}{\gamma_2} = \frac{405}{1,27} = 319 \text{ ма} = 0,319 \text{ а.}$$

$$7. P_0 = I_{a0} E_a = 0,319 \cdot 3000 = 957 \text{ Вт.}$$

$$8. P_a = P_0 - P_2 = 957 - 540 = 417 \text{ Вт.}$$

$$9. \eta = \frac{P_2}{P_0} = \frac{540}{957} = 0,564.$$

$$10. R_{0e} = \frac{U_{mc}}{I_{a2}} = \frac{2670}{0,405} = 6600 \text{ ом.}$$

11. Из графика на рис. 2-11 находим, что для

$$e_a = E_a - U_{ma} = 3000 - 2670 = 330 \text{ в}$$

получим $S \approx 6 \text{ ма/в}$.

$$12. U_{mc} = \frac{I_{a0}}{\alpha_0 S (1 - \cos \theta)} = \frac{319}{0,218 \cdot 6 (1 - 0,5)} \approx 490 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -160 - 490 \cdot 0,5 = -405 \text{ в.}$$

Пример 7. Произвести расчет режима утроения на пентоде 4П1Л, если даны: $E_a = 200 \text{ в}$, $E_{c2} = 150 \text{ в}$, $E'_c = -12 \text{ в}$, $S_K \approx 2 \text{ ма/в}$, $P_{aN} = 7,5 \text{ Вт}$, $I_{a\text{опред}} = 40 \text{ ма}$. Характеристики показаны на рис. 2-5 — 2-7.

Решение. 1. Выбираем $\theta = 45^\circ$. Из табл. П-1, П-6 находим: $\alpha_0 = 0,165$; $\cos \theta = 0,707$; $\alpha_2 = 0,181$.

2. Полагаем:

$$I_{a0} = 0,8 I_{a\text{опред}} = 0,8 \cdot 40 = 32 \text{ ма.}$$

$$3. I_m = \frac{I_{a0}}{\alpha_0} = \frac{32}{0,165} \approx 194 \text{ ма.}$$

$$4. I_{a3} = \alpha_3 I_m = 0,181 \cdot 194 \approx 35 \text{ ма.}$$

$$5. \xi = 1 - \frac{I_m}{S_k E_a} = 1 - \frac{194}{2 \cdot 200} = 0,516.$$

$$6. U_{ma} = \xi E_a = 0,516 \cdot 200 = 103 \text{ в.}$$

$$7. P_s = 0,5 I_{a3} U_{ma} = 0,5 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 103 = 1,8 \text{ вт.}$$

$$8. P_0 = I_{a0} \cdot E_a = 35 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 7 \text{ вт.}$$

$$9. P_a = P_0 - P = 7 - 1,8 = 5,2 \text{ вт.}$$

$$10. \eta = \frac{P_a}{P_0} = \frac{1,8}{7} = 0,257.$$

$$11. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a3}} = \frac{103}{35 \cdot 10^{-3}} = 2950 \text{ ом.}$$

12. Из графика на рис. 2-5 находим, что для

$$e_a = E_a - U_{ma} = 200 - 103 = 97 \text{ в}$$

получим $S = 7,6 \text{ ма/в.}$

$$13. U_{mc} = \frac{I_m}{S(1 - \cos \theta)} = \frac{194}{7,6 \cdot (1 - 0,707)} = 87 \text{ в.}$$

$$14. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -12 - 87 \cdot 0,707 = -74 \text{ в.}$$

Пример 8. Произвести расчет телеграфного режима триода ГК-5А, если известны: $E_a = 10 \text{ кВ}$, $E'_c \approx -100 \text{ в}$, $P_N = 250 \text{ кВт}$, $P_{aN} = 200 \text{ кВт}$, $P_{cN} = 10 \text{ кВт}$, $\mu \approx 50$. Характеристики показаны на рис. 2-16—2-18.

Решение 1. Графоаналитическое исследование характеристик показывает, что

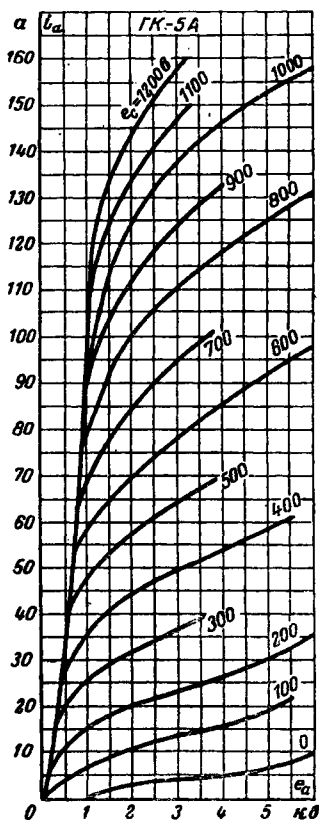


Рис. 2-16. Анодные характеристики триода ГК-5А.

при выборе $P_N = 250$ кВт имеет место значительное превышение мощности, рассеиваемой на сетке, по сравнению с номинально допустимой.

Этот форсированный режим допустим лишь в течение кратких рабочих интервалов (порядка нескольких

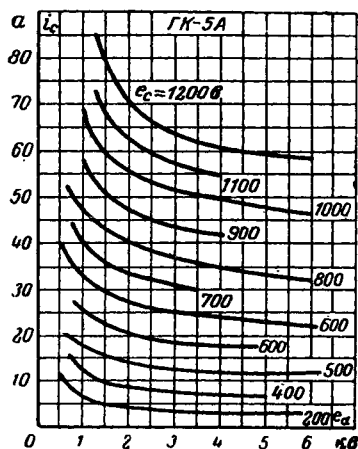


Рис. 2-17. Характеристики сеточного тока триода ГК-5А.

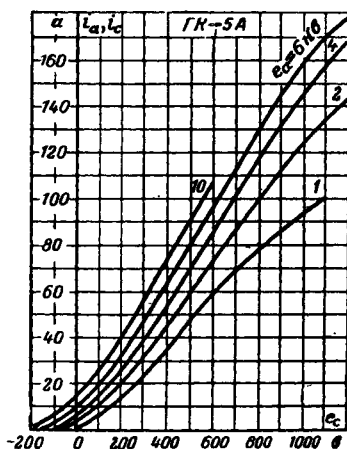


Рис. 2-18. Анодно-сеточные характеристики триода ГК-5А.

секунд) с паузами, имеющими длительность, достаточную для охлаждения сетки. При нормальной работе необходимо выбирать полезную мощность порядка 200—210 кВт. Чтобы избежать увеличенного сеточного тока, рекомендуется работать в несколько недонапряженном режиме. Из характеристик (рис. 2-17) следует, что резкое возрастание сеточного тока наблюдается при $e_a \leq 2$ кВ. Выбрав $e_{a, \min} = 2$ кВ, получим $U_{ma} = E_a - e_{a, \min} = 10 - 2 = 8$ кВ.

2. Полагаем $\theta = 70^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1 = 0,436$, $\gamma = 1,725$, $\cos \theta = 0,342$, $\beta = 0,287$.

3. Полагая $P = 210$ кВт, находим:

$$I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 210}{8} = 52,6 \text{ а.}$$

$$4. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{52,6}{1,725} = 30,5 \text{ а.}$$

$$5. P_0 = I_{a0} E_a = 30,5 \cdot 10 = 305 \text{ кВт.}$$

$$6. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{210}{305} = 0,69.$$

$$7. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{8000}{52,6} = 1520 \text{ ом}.$$

8. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{52,6}{0,436} \approx 121 \text{ а}$$

и анодным напряжением $e_{a, \text{мин}} = 2 \text{ кВ}$, находим из характеристик (рис. 2-16) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{125000 - 11000}{1000 - 100} = 127 \text{ ма/в}.$$

$$9. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{52600}{127 \cdot 0,287} + \frac{8000}{50} = 1575 \text{ в}.$$

$$10. E_c \approx E_c' - U_{mc} \cos \theta = -100 - 1575 \cdot 0,342 = -640 \text{ в}.$$

11. Для напряжений $e_{a, \text{мин}} = 2 \text{ кВ}$

$$e_{c, \text{макс}} = E_c + U_{mc} = -640 + 1575 = 935 \text{ в}$$

находим (рис. 2-17) импульс сеточного тока $I_{mc} \approx 51 \text{ а}$.

$$12. \cos \theta_c = \frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{640}{1575} = 0,406; \theta_c \approx 66^\circ; \alpha_{c0} = 0,239.$$

$$13. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,239 \cdot 51 = 9,75 \text{ а}.$$

$$14. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 9,75 \cdot 1575 = 15,35 \text{ кВт}.$$

$$15. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 15,32 - 9,75 \cdot 640 = 9,1 \text{ кВт}.$$

Произведем сравнение расчетных величин с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при исследовании, показаны на рис. 2-19.

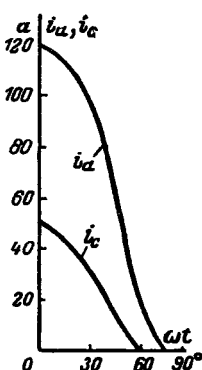


Рис. 2-19. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГҚ-5А. $E_a = 10 \text{ кВ}$, $E_c = -700 \text{ в}$, $U_{mc} = 1650 \text{ в}$, $U_{ma} = 8 \text{ кВ}$.

Данные	P , квт	E_a , кв	$-E_c$, в	$U_{мс}$, в	$U_{та}$, кв	I_{a0} , а	I_{a1} , а	I_c , а
Расчетные	210	10	640	1575	8	30,5	52,6	9,75
Результаты графоанали- тического ис- следования	212	10	700	1650	8	30,4	52,8	10

Пример 9. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-4А, если даны: $E_a = 6$ кв, $E'_c \approx -60$ в, $P_N =$

$= 10$ квт, $P_{aN} = 20$ квт, $P_{cN} = 800$ вт, $\mu = 40$, $S_R \approx \approx 22$ ма/в. Характеристики показаны на рис. 2-20 и 2-21.

Решение. 1. Полагая $\theta = 65^\circ$, находим из табл. П-1

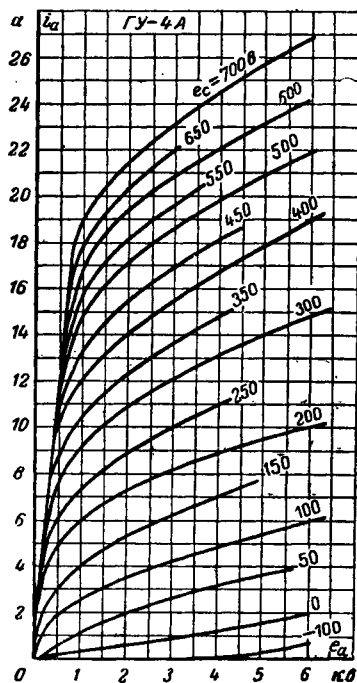


Рис. 2-20. Анодные характеристики триода ГУ-4А.

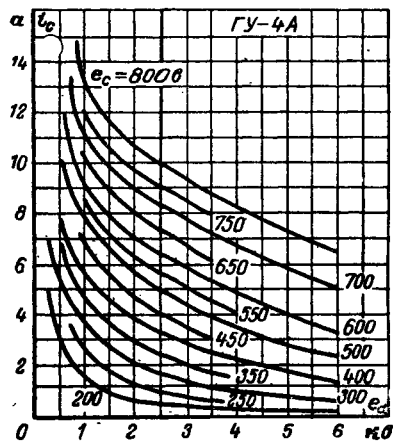


Рис. 2-21. Характеристики сеточного тока триода ГУ-4А.

коэффициенты: $\alpha_1 = 0,414$; $\gamma = 176$; $\cos \theta = 0,42$; $\beta = 0,239$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{\alpha_1 S_R E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 10\,000}{0,414 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 6\,000^2} \approx 0,939.$$

Выбираем $\xi = 0,88$.

3. $U_{ma} = \xi E_a = 0,88 \cdot 6 = 5,28 \text{ кВ.}$

4. $I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 10}{5,28} = 3,79 \text{ а.}$

5. $I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{3,79}{1,76} = 2,15 \text{ а.}$

6. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{a_1} = \frac{3,79}{0,414} = 9,15 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_{a. \text{мин}} = E_a - U_{ma} = 6 - 5,28 = 0,72 \text{ кВ,}$$

находим крутизну (рис. 2-20)

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{9600 - 2200}{350 - 100} = 30,4 \text{ ма/в.}$$

7. $P_0 = I_{a0} E_a = 2,15 \cdot 6 = 12,9 \text{ кВт.}$

8. $P_a = P_0 - P = 12,9 - 10 = 2,9 \text{ кВт.}$

9. $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{10}{12,9} = 0,775.$

10. $R_{0\text{еопт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{5280}{3,79} = 1390 \text{ ом.}$

11. $U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{3790}{30,4 \cdot 0,239} + 0,025 \cdot 5280 = 654 \text{ в.}$

12. $E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -50 - 654 \cdot 0,42 = -324 \text{ в.}$

13. Для напряжений $e_{a. \text{мин}} = 0,72 \text{ кВ}$, $e_{c. \text{макс}} = -E_c + U_{mc} = -324 + 654 = 330 \text{ в}$ находим из характеристик (рис. 2-21) импульс сеточного тока $I_{mc} \approx 5 \text{ а.}$

14. $\cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{324}{654} = 0,496$; $\theta_c \approx 60^\circ$; $\alpha_{c0} \approx 0,218.$

15. $I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,218 \cdot 5 = 0,872 \text{ а.}$

16. $P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,872 \cdot 654 = 570 \text{ вт.}$

17. $P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 570 - 0,872 \cdot 324 = 288 \text{ вт.}$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного и сеточного тока, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-22.

Данные	$P, \text{кв}$	$E_a, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$U_{ma}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$
Расчетные	10	6	324	654	5,28	2,15	3,79	0,872
Результаты графоанали- тического ис- следования	10,6	6	330	660	5,3	2,49	4	0,696

Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо произвести дополнительные пункты расчета.

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5 I_{a1} U_{mc} + I_c U_{mc} = 0,5 \cdot 3,79 \cdot 654 + 0,872 \cdot 654 = 1,81 \text{ квт.}$$

$$19. P_K = P + 0,5 I_{a1} U_{mc} = 10 + 0,5 \times 3,79 \cdot 654 = 11,24 \text{ квт.}$$

$$20. R_{oe} = \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{5280 + 654}{3,79} = 1560 \text{ ом.}$$

$$21. A = \frac{P_K}{P_{\text{возб}}} = \frac{11,24}{1,81} = 6,2.$$

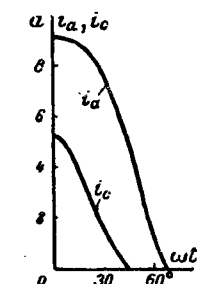


Рис. 2-22. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-4А.

$$E_a = 6 \text{ кв}, E_c = -330 \text{ в}, \\ U_{mc} = 660 \text{ в}, U_{ma} = 5,3 \text{ кв.}$$

Пример 10. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-5А, если даны: $E_a = 5 \text{ кв}$, $E'_c = -40 \text{ в}$, $P_N = 3,5 \text{ квт}$, $P_{aN} = 3,5 \text{ квт}$, $P_{cN} = 150 \text{ вт}$, $S_K = 14 \text{ ма/в}$, $\mu = 50$.

Характеристики показаны на рис. 1-2, 2-23 и 2-24.

Решение. 1. Полагаем угол отсечки $\theta = 60^\circ$. Из табл. П-1 находим: $\alpha_1 = 0,391$; $\gamma = 1,79$; $\beta = 0,195$; $\cos \theta = 0,5$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{\alpha_1 S_K E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 3 \cdot 500}{0,391 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 000^2} \approx 0,949.$$

Выбираем $\xi = 0,9$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,9 \cdot 5 = 4,5 \text{ кв.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 3,5}{4,5} = 1,56 \text{ а.}$$

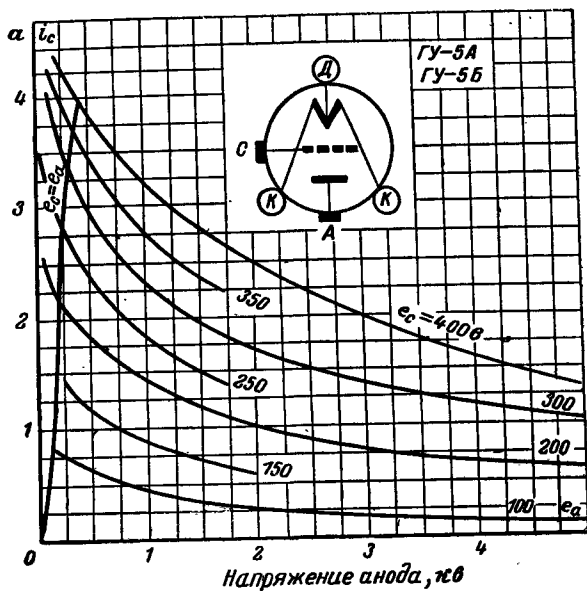


Рис. 2-23. Анодные характеристики триода ГУ-5А.

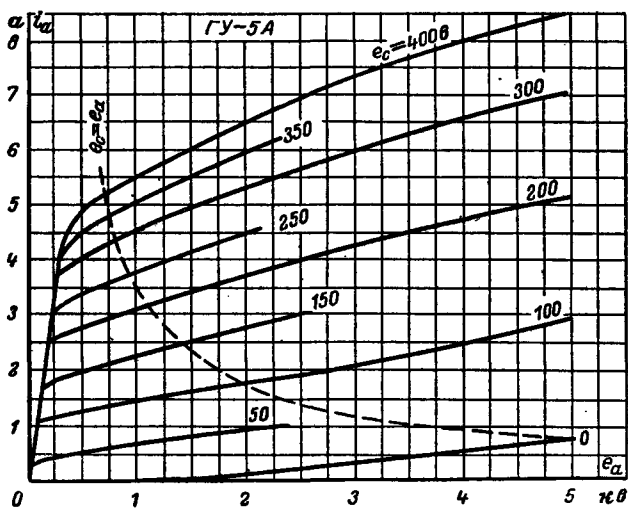


Рис. 2-24. Характеристики сеточного тока триода ГУ-5А.

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{1,56}{1,79} = 0,87 \text{ а.}$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 0,87 \cdot 5 = 4,35 \text{ квт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P = 4,35 - 3,5 = 0,85 \text{ квт.}$$

$$8. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{3,5}{4,35} = 0,805.$$

$$9. R_{0e \text{ опт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{4\,500}{1,56} = 2\,900 \text{ ом.}$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{a_1} = \frac{1,56}{0,391} = 4 \text{ а}$$

и остаточным анодным напряжением

$$e_{a. \text{ мин}} = E_a - U_{ma} = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ кв,}$$

находим из характеристик (рис. 2-24)

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{4\,000 - 500}{300 - 50} = 14 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{1\,560}{14 \cdot 0,195} + 0,02 \cdot 4\,500 = 662 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -40 \cdot 662 \cdot 0,5 = -371 \text{ в.}$$

$$13. \text{Для напряжений } e_{a. \text{ мин}} = 500 \text{ в,}$$

$$e_{c. \text{ макс}} = E_c + U_{mc} = -371 + 662 = 291 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-23) импульс сеточного тока

$$I_{mc} \approx 2,75 \text{ а.}$$

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{371}{662} = 0,562; \theta_c \approx 56^\circ;$$

$$\alpha_{c0} = 0,204.$$

$$15. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,204 \cdot 2,75 = 0,45 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc} = 0,45 \cdot 662 = 298 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 298 - 0,45 \cdot 371 = 131 \text{ вт.}$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-25.

Полученные данные справедливы при работе лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

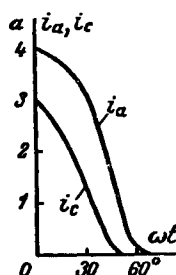


Рис. 2-25. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-5А.

$$E_a = 5 \text{ кВ}, E_c = -370 \text{ В}, U_{mc} = 670 \text{ В}, U_{ma} = 4,5 \text{ кВ}.$$

Таблица 2-9

Данные	$P, \text{ кВт}$	$E_a, \text{ кВ}$	$-E_c, \text{ В}$	$U_{mc}, \text{ В}$	$U_{ma}, \text{ В}$	$I_{a0}, \text{ А}$	$I_{a1}, \text{ А}$	$I_c, \text{ А}$
Расчетные	3,5	5	371	662	4,5	0,87	1,56	0,45
Результаты графоаналитического исследования	3,67	5	370	670	4,5	0,915	1,63	0,465

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5 I_{a1} U_{mc} + I_c U_{mc} = 0,5 \cdot 1,56 \cdot 662 + 0,45 \times 662 = 814 \text{ Вт}.$$

$$19. P_k = P + 0,5 I_{a1} U_{mc} = 3,5 + 0,5 \cdot 1,56 \cdot 0,662 = 4,016 \text{ кВт}.$$

$$20. R_{0e} = \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{4500 + 662}{1,56} \approx 3300 \text{ Ом}.$$

$$21. A = \frac{P_k}{P_{\text{возб}}} = \frac{4,016}{0,814} \approx 4,95.$$

Пример 11. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-10А, если даны: $E_a = 8 \text{ кВ}$, $E'_c \approx 120 \text{ В}$, $P_N = 15 \text{ кВт}$, $P_{aN} = 10 \text{ кВт}$, $P_{cN} = 300 \text{ Вт}$, $S_R = 19 \text{ ма/е}$, $\mu = 50$.

Характеристики показаны на рис. 2-26—2-28.

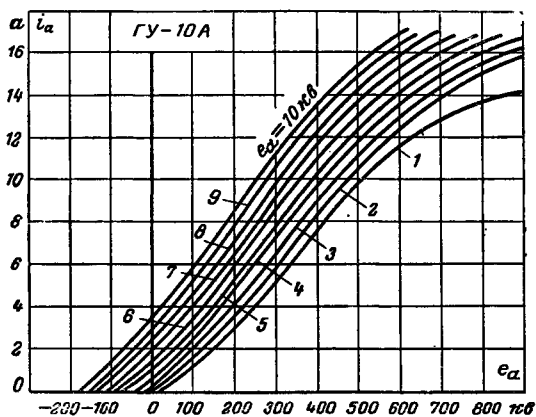


Рис. 2-26. Анодно-сеточные характеристики триода 6У-10А.

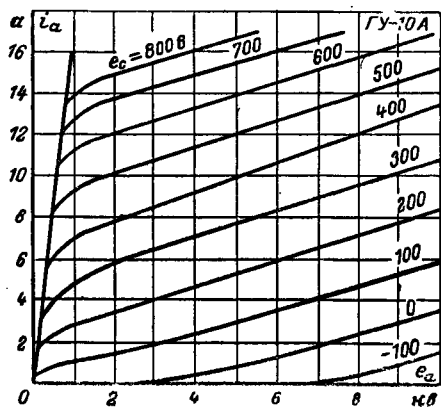


Рис. 2-27. Анодные характеристики триода 6У-10А.

Решение. 1. Полагаем $\theta = 65^\circ$. Из табл. П-1 находим:

$$\alpha_1 = 0,414; \quad \gamma = 1,76; \quad \beta = 0,239; \quad \cos \theta = 0,422.$$

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{S_K \alpha_1 E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 15\,000}{19 \cdot 110^{-3} \cdot 0,414 \cdot 8\,000^2} \approx 0,94.$$

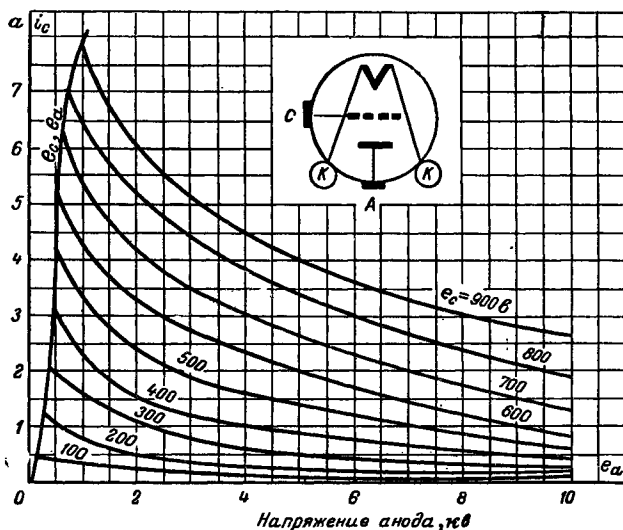


Рис. 2-28. Характеристики сеточного тока триода ГУ-10А.

Выбираем $\xi = 0,88$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,88 \cdot 8 = 7,05 \text{ кВ.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 15}{7,05} = 4,27 \text{ а.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{4,27}{1,76} = 2,43 \text{ а.}$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 2,43 \cdot 8 \approx 19,5 \text{ кВт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P = 19,5 - 15 = 4,5 \text{ кВт.}$$

$$8. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{15}{19,5} = 0,77.$$

$$9. R_{oe \text{ опт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{7\,050}{4,27} = 1\,650 \text{ ом.}$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{4,27}{0,414} = 10,3 \text{ а}$$

и остаточным анодным напряжением

$$e_{a.\text{мин}} = E_a - U_{ma} = 8 - 7,05 = 0,95 \text{ кВ},$$

находим из характеристик (рис. 2-27)

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{11\,400 - 1\,000}{600 - 100} = 20,8 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{4\,270}{20,8 \cdot 0,239} + 0,02 \cdot 7\,050 = 1\,000 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -120 - 1\,000 \cdot 0,422 = -542 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a.\text{мин}} = 950 \text{ в},$

$$e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -542 + 1\,000 = 458 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-28) импульс сеточного тока

$$I_{mc} \approx 2,9 \text{ а.}$$

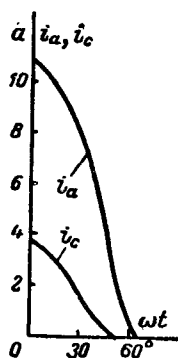
$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{542}{1\,000} = 0,542;$$

$$\theta_c \approx 57^\circ; \quad \alpha_{c0} = 0,207.$$

$$15. I_c \approx 0,8\alpha_{c0}I_{mc} = 0,8 \cdot 0,207 \cdot 2,9 = 0,48 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,48 \cdot 1\,000 = 480 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 480 - 0,48 \times 542 = 220 \text{ вт.}$$



Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-29.

Рис. 2-29. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-10А.

$E_a = 8 \text{ кВ}, U_{ma} = 7 \text{ кВ}, E_c = -550 \text{ в}, U_{mc} = 1\,000 \text{ в.}$

Данные	P , квт	E_a , кв	$-E_c$, кв	U_{mc} , кв	U_{ma} , кв	I_{a0} , а	I_{a1} , а	I_c , а
Расчетные	15	8	0,544	1	7,05	2,43	4,27	0,6
Результаты графоанали- тического ис- следования	15	8	0,55	1,1	7	2,43	4,3	0,572

Полученные данные справедливы при работе лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5 I_{a1} U_{mc} + I_c U_{mc} = 0,5 \cdot 4,27 \cdot 100 + 0,48 \times \times 1000 = 2,61 \text{ квт.}$$

$$19. P_K = P + 0,5 I_{a1} U_{mc} = 15 + 0,5 \cdot 4,27 \cdot 1000 = = 17,6 \text{ квт.}$$

$$20. R_{oe} \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{7050 + 1000}{4,27} \approx 1800 \text{ ом.}$$

$$21. A = \frac{P_K}{P_{\text{возб}}} = \frac{17,6}{2,61} = 6,75.$$

Ниже приводим результаты расчета второго варианта, сделанного в предположении $\theta = 90^\circ$. Исходим из мощности $P = 16 \text{ квт}$ и выбираем $\xi = 0,89$. В нижеприведенных таблицах проведено сравнение расчетных данных с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом. Табл. 2-11 относится к схеме с общим катодом и табл. 2-12 к схеме с общей сеткой.

На рис. 2-30 показаны импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании.

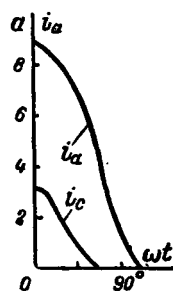


Рис. 2-30. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-10А.

$$E_a = 8 \text{ кв}, E_c = -120 \text{ в}, \\ U_{mc} = 600 \text{ в}, U_{ma} = = 7,1 \text{ кв.}$$

Таблица 2-11

Данные	$P_K, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$-E'_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$U_{ma}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$R_{0e}, \text{ом}$
Расчетные	16	0,416	8	120	595	7,14	2,86	4,5	0,7	1 585
Результаты графо- аналитического ис- следования	15,7	0,31	8	120	600	7,1	2,73	4,43	0,518	—
Рекомендуемые заво- дом	16	0,34	8	120	600	—	2,8	—	0,63	1 600

Таблица 2-12

Данные	$P_K, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$-E'_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$U_{ma}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$R_{0e}, \text{ом}$
Расчетные	17,7	1,7	8	120	600	7,14	2,86	4,5	0,7	1 750
Результаты графо- аналитического ис- следования	17	1,64	8	120	600	7,1	2,73	4,43	0,518	—
Рекомендуемые за- водом	17,3	1,64	8	120	600	—	2,8	—	0,63	1 850

Пример 12. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-12А, если даны: $E_a=10 \text{ кв}$, $E'_c \approx -400 \text{ в}$, $P_N=40 \text{ квт}$, $P_{aN}=20 \text{ квт}$, $S_K=19 \text{ ма/в}$, $\mu \approx 20$. Характеристики показаны на рис. 1-4, 2-31 и 2-32.

Решение. 1. Полагаем $\theta=80^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1=0,473$; $\gamma=1,65$; $\cos \theta=0,173$; $\beta=0,391$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P_N}{\alpha_1 S_K E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 40 \cdot 000}{0,473 \cdot 19 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 000^2} = 0,911.$$

Выбираем $\xi=0,87$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,87 \cdot 10 = 8,7 \text{ кв}.$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 40}{8,7} \approx 9,2 \text{ а}.$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{9,2}{1,65} \approx 5,58 \text{ а}.$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 5,58 \cdot 10 = 55,8 \text{ квт}.$$

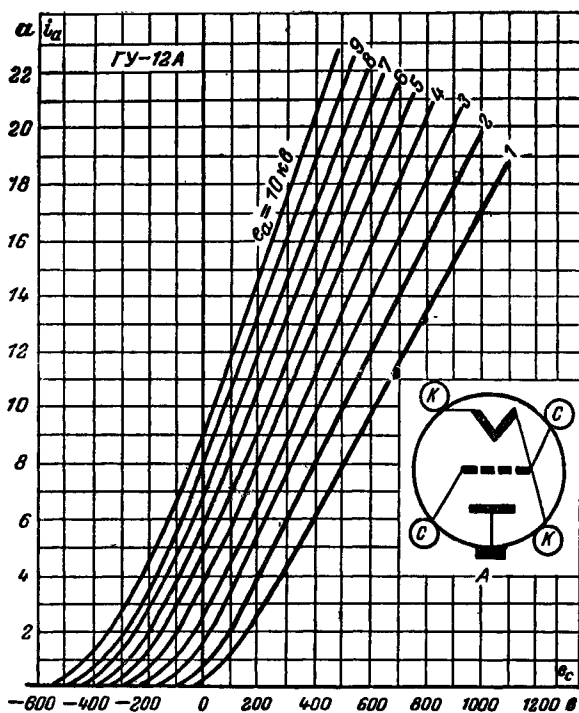


Рис. 2-31. Анодно-сеточные характеристики триода 6Y12A.

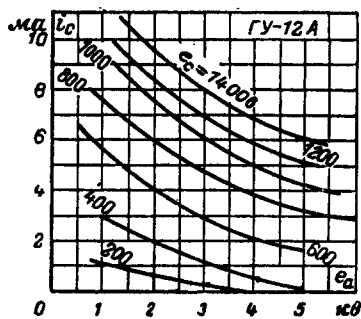


Рис. 2-32. Характеристики сеточного тока триода 6Y12A.

$$7. P_a = P_0 - P = 55,8 - 40 = 15,8 \text{ кВт.}$$

$$8. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{40}{55,8} = 0,718.$$

$$9. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{8700}{9,2} \approx 950 \text{ ом.}$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{9,2}{0,473} = 19,4 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{ma} = 10 - 8,7 = 1,3 \text{ кв}$$

находим из характеристик (рис. 1-4) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{20400 - 400}{1100 - 0} = 18,2 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{9200}{18,2 \cdot 0,391} + 0,05 \cdot 8700 = 1725 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -400 - 1725 \cdot 0,173 \approx -700 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a. \text{мин}} = 1,3 \text{ кв}$ и

$$e_{c. \text{макс}} = E_c + U_{mc} = -700 + 1725 = 1025 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-32) импульс сеточного тока

$$I_{mc} \approx 9 \text{ а.}$$

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{700}{1725} = 0,406; \theta_c \approx 66^\circ;$$

$$\alpha_{c0} = 0,239.$$

$$15. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,239 \cdot 9 = 1,72 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 1,72 \cdot 1,725 = 2,97 \text{ кВт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 2,97 - 1,72 \cdot 0,7 = 1,77 \text{ кВт.}$$

Произведем сравнение расчетных данных второго варианта лампы с опытными и с результатами графоаналитического исследования, относящимися к первому ламповому варианту. Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 2-33.

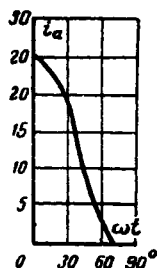


Рис. 2-33. Импульс анодного тока триода 6X4-12A (880).

$E_a = 10 \text{ кВ}$, $E_c = 800 \text{ в}$, $U_{mc} = 1500 \text{ в}$, $U_{ma} = 8,85 \text{ кВ}$.

Таблица 2-13

Данные	P , квт	E_a , кВ	U_{mc} , кВ	$-E_c$, кВ	U_{ma} , кВ	I_{a0} , а
Расчетные	40	10	1,725	0,7	8,7	5,58
Опытные	45	10	1,5	0,8		6
Результаты графоаналитического исследования . .	46,3	10	1,5	0,8	8,85	5,94

Пример 13. Произвести расчет радиотелеграфного режима двойного лучевого тетрода 6X4-12A, если даны $E_a = 600 \text{ в}$, $E_{c2} = 200 \text{ в}$, $E'_{c1} = -20 \text{ в}$, $P_{aV} = 13,5 \text{ вт}$ (для каждой половины), $P_{c2} = 4 \text{ вт}$, $P_{c1} = 0,5 \text{ вт}$ (для каждой половины), предельное значение суммарного тока анодов 120 ма , $S_k = 2,3 \text{ ма/в}$. Характеристики показаны на рис. 2-34, 2-35.

Решение. 1. Полагаем суммарный ток анодов равным предельному, т. е. считаем для каждой половины $I_{a0} = 60 \text{ ма}$. Считаем $\theta = 55^\circ$.

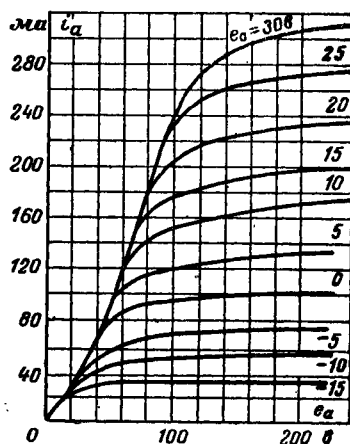
$$2. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,82 \cdot 60 = 109 \text{ ма.}$$

$$3. I_m = \frac{I_{a0}}{\alpha_0} = \frac{60}{0,201} = 298 \text{ ма.}$$

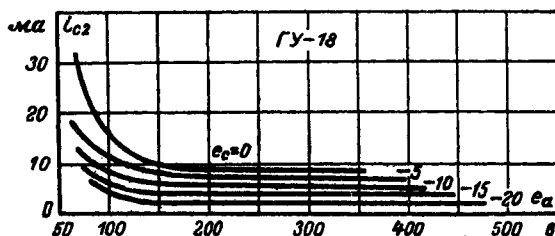
$$4. \xi = 1 - \frac{I_m}{S_k E_a} = 1 - \frac{298}{2,3 \cdot 600} = 0,784.$$

$$5. U_{ma} = \xi E_a = 0,784 \cdot 600 = 470 \text{ в.}$$

$$6. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 109 \cdot 470 = 25,6 \text{ вт.}$$



а)



б)

Рис. 2-34. Характеристики одной половины двойного лучевого тетрода ГУ-18.

а — анодные характеристики для $E_{c2} = -200$ в;

б — характеристики тока экранирующей сетки для $E_{c2} = -200$ в.

7. $P_0 = I_{a0} E_a = 0,06 \cdot 600 = 36$ вт.

8. $P_a = P_0 - P = 36 - 25,6 = 10,4$ вт.

9. $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{25,6}{36} = 0,71$.

10. Для напряжения

$$e_a = E_a - U_{та} = 600 - 470 = 130 \text{ в}$$

находим крутизну $S = 5,7$ ма/в (рис. 2-35).

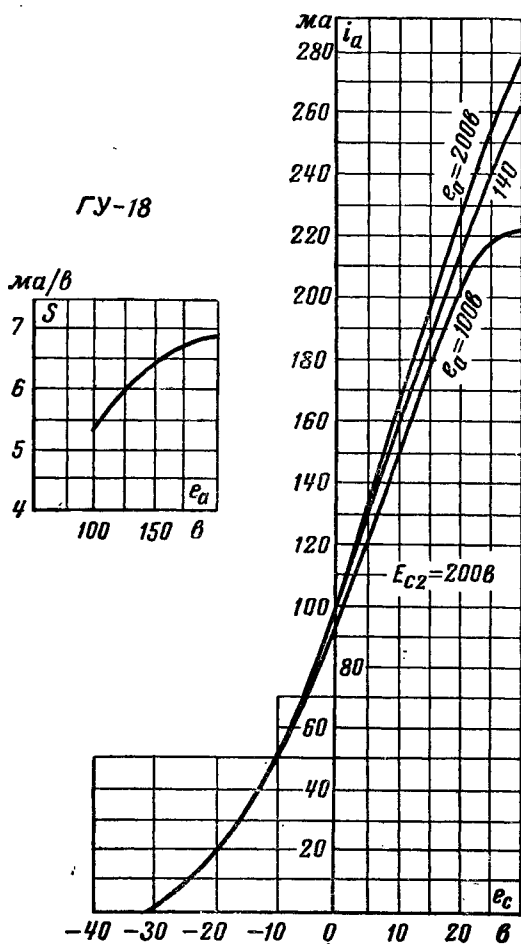


Рис. 2-35. Анодно-сеточные характеристики одной половины двойного тетрода ГУ-18 для $E_{c2} = 200$ в.

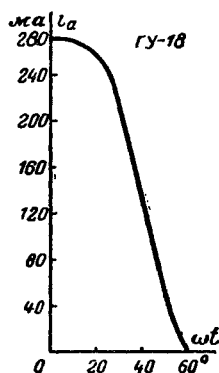


Рис. 2-36. Импульс анодного тока одной половины лучевого тетрода ГУ-18.

$E_a = 600$ в, $E_{c2} = 200$ в,
 $E_c = -80$ в, $U_{mc} =$
 $= 120$ в, $U_{ma} = 480$ в.

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{109}{5,8 \cdot 0,156} = 120 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -20 - 120 \cdot 0,574 = -89 \text{ в.}$$

13. Находим для всей лампы

$$P_0 = 2 \cdot 36 = 72 \text{ вт.}$$

$$14. P = 2 \cdot 25,6 = 51,2 \text{ вт.}$$

$$15. R_{0e} = \frac{2U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{2 \cdot 470}{0,109} = 8600 \text{ ом.}$$

Произведем сравнение расчетных данных с результатами графоаналитического исследования и с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом при работе на частоте 200 Мгц. Данные справедливы для одной половины. Согласно опытным данным получают с учетом к. п. д. контура выходную мощность не менее 40 вт. Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 2-36.

Таблица 2-14

Данные	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$U_{ma}, \text{ в}$	$P, \text{ вт}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$I_{a1}, \text{ ма}$
Расчетные	600	200	89	120	470	25,6	60	109
Рекомендуемые заводом	600	250	80	110	—	—	55	—
Результаты графоаналитического исследования . . .	600	200	80	120	480	25,8	59,5	107,5

Пример 14. Произвести расчет телеграфного режима мощного УКВ триода ГУ-21Б, если даны: $E_a = 9$ кв, $P_{aN} = 10$ квт, $P_{cN} = 600$ вт, $P_N = 15$ квт, $S_K \approx 25$ ма/в, $\mu = 40$, $E'_c = 100$ в.

Характеристики показаны на рис. 2-37—2-39.

Решение. 1. Полагаем, что лампа работает косинусоидальным импульсом анодного тока при $\theta = 60^\circ \text{С}$. Из табл. П-1 находим:

$$\alpha_1 = 0,391; \quad \alpha_0 = 0,218; \quad \gamma = 1,794; \quad \cos \theta = 0,5;$$

$$\beta = 0,195.$$

$$2. \xi = 1 - \frac{2P_N}{\alpha_1 S_R E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 15 \cdot 000}{0,391 \cdot 25 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 000^2} = 0,966.$$

Выбираем $\xi = 0,92$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,92 \cdot 9 = 8,28 \text{ кв.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P_N}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 15}{8,28} = 3,62 \text{ а.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{3,62}{1,794} = 2,02 \text{ а.}$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 2,02 \cdot 9 = 18,2 \text{ квт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P_N = 18,2 - 15 = 3,2 \text{ квт.}$$

$$8. \eta = P_N / P_0 = \frac{15}{18,2} = 0,824.$$

$$9. R_{0\text{с опт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{8 \cdot 280}{3,62} = 2 \cdot 290 \text{ ом.}$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{3,62}{0,391} = 9,25 \text{ а}$$

и остаточным анодным напряжением

$$e_{a, \text{мин}} = E_a - U_{ma} = 9 \cdot 000 - 8 \cdot 280 = 720 \text{ в,}$$

находим крутизну (рис. 2-37)

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{9 \cdot 000 - 1 \cdot 800}{350 - 100} = 28,8 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{3 \cdot 620}{29,8 \cdot 0,195} + 0,025 \cdot 8 \cdot 300 = 852 \text{ в.}$$

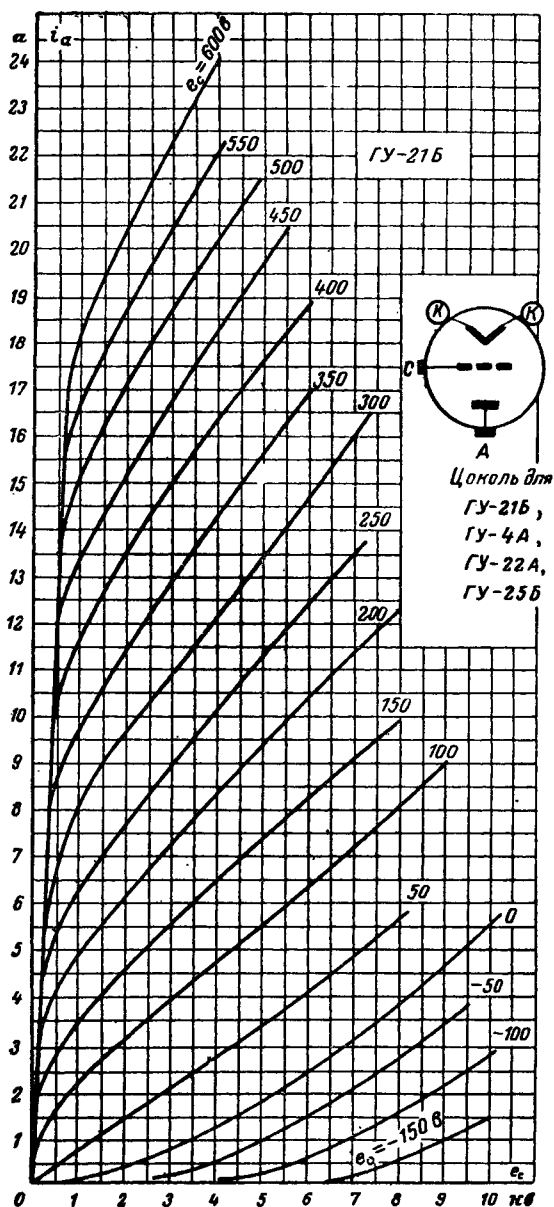


Рис. 2-37. Анодные характеристики триода ГУ-21Б,

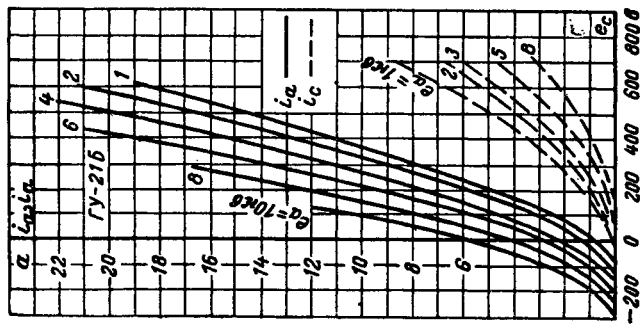


Рис. 2-38. Анодно-сеточные характеристики триода ГУ-21Б.

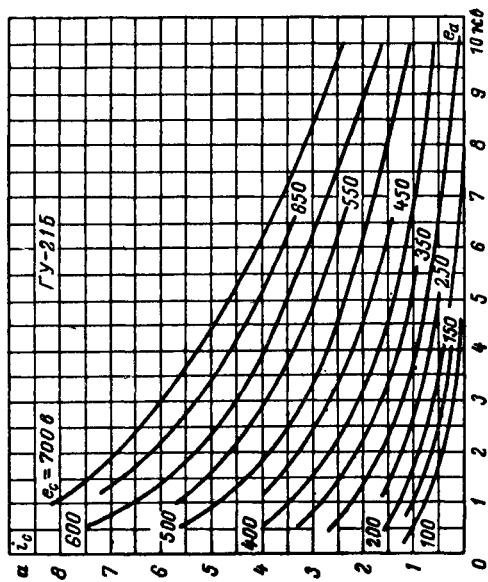


Рис. 2-39. Характеристики сеточного тока триода ГУ-21Б.

$$12. E_c = E'_c - U_{ma} \cos \theta = -100 - 852 \cdot 0,5 = -526 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a.\text{мин}} = 720 \text{ в}$

$$e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -852 + 526 = 326 \text{ в}$$

находим из характеристик, показанных на рис. 2-39, импульс сеточного тока

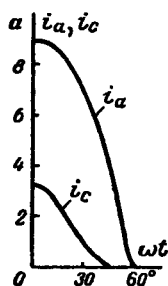
$$I_{mc} \approx 2,8 \text{ а.}$$

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{526}{852} = 0,62; \quad \theta_c = 52^\circ, \quad \alpha_{c0} = 0,19.$$

$$15. I_c = 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,19 \cdot 2,8 = 0,426 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,426 \cdot 852 = 363 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 363 - 0,426 \cdot 526 = 139 \text{ вт.}$$



Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-40.

Рис. 2-40. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-21Б.

$$E_a = 9 \text{ кВ}, \quad E_c = -520 \text{ в}, \quad U_{mc} = 870 \text{ в}, \quad U_{ma} = 8,3 \text{ кВ.}$$

Таблица 2-1

Данные	$P, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$U_{ma}, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$
Расчетные	15	9	8,28	526	852	2,02	0,420	3,62
Результаты графоаналитического исследования	14,9	9	8,3	520	870	2	0,434	3,59

Пример 15. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-22А, если даны $P=30$ кВт, $E_a=10$ кВ, $E_c'=-175$ в, $P_{aN}=20$ кВт, $P_{cN}=600$ вт, $S_k \approx 27$ ма/в, $\mu=40$. Характеристики показаны на рис. 2-37—2-39.

Решение. 1. Выбираем $\theta=80^\circ$. Из табл. П-1 находим коэффициенты: $\alpha_1=0,473$; $\gamma=1,65$; $\cos \theta=0,173$; $\beta=0,391$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{\alpha_1 S_k E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 30 \cdot 1000}{0,473 \cdot 27 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 1000^2} \approx 0,953.$$

Выбираем $\xi=0,92$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,92 \cdot 10 = 9,2 \text{ кВ.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 30}{9,2} = 6,53 \text{ а.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{6,53}{1,65} = 3,95 \text{ а.}$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 3,95 \cdot 10 = 39,5 \text{ кВт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P = 39,5 - 30 = 9,5 \text{ кВт.}$$

$$8. R_{oe} = \frac{U_{ma}}{I_{c1}} = \frac{9 \cdot 200}{6,53} = 1 \cdot 410 \text{ ом.}$$

$$9. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{30}{39,5} = 0,76.$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{6,53}{0,473} \approx 13,9 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{ma} = 10 - 9,2 = 0,8 \text{ кВ,}$$

находим из характеристик (рис. 2-37) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{14 \cdot 600 - 2 \cdot 000}{500 - 100} = 31,5 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{6 \cdot 530}{3,15 \cdot 0,391} + 0,025 \cdot 9 \cdot 200 = 760 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_m \cos \theta = -175 - 760 \cdot 0,173 = -306 \text{ в.}$$

$$13. \text{Для напряжений } e_{a.\text{мин}} = 0,8 \text{ кВ}$$

$$e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -306 + 760 = 454 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-39) импульс сеточного тока

$$I_{mc} \approx 4,5 \text{ а.}$$

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{306}{760} = 0,403; \theta_{c0} \approx 66^\circ;$$

$$\alpha_{c0} = 0,239.$$

$$15. I_c \approx 0,8\alpha_{c0}I_{mc} = 0,8 \cdot 0,239 \cdot 4,5 = 0,86 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,86 \cdot 760 = 656 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 656 - 0,86 \cdot 306 = 393 \text{ вт.}$$

Полученные данные справедливы при работе лампы в схеме с общим катодом. Для схемы с общей сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5I_{a1}U_{mc} + I_c U_{mc} = 0,5 \cdot 6,53 \cdot 0,76 + 0,86 \cdot 0,76 \approx 3,17 \text{ квт.}$$

$$19. P_k = P + 0,5I_{a1}U_{mc} = 30 + 0,5 \cdot 6,53 \cdot 0,76 = 32,5 \text{ квт.}$$

$$20. R_{0e} = \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{9200 + 760}{6,53} = 1420 \text{ ом.}$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-41. Табл. 2-16 относится к схеме с общим катодом и табл. 2-17 — к схеме с общей сеткой.

Таблица 2-16

Данные	$E_a, \text{ кВ}$	$P, \text{ квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{ квт}$	$E_c, \text{ кВ}$	$U_{mc}, \text{ кВ}$	$U_{ma}, \text{ кВ}$	$I_{a0}, \text{ а}$	$I_c, \text{ а}$	$I_{a1}, \text{ а}$	$R_{0e}, \text{ ом}$
Расчетные	10	30	0,656	0,306	0,76	9,2	3,95	0,86	6,53	1410
Результаты графоаналитического исследования	10	31	0,66	0,32	0,8	9,2	4,09	0,835	6,74	—
Рекомендуемые заводом	10	30	0,8	0,25	0,8	—	4	—	—	1400

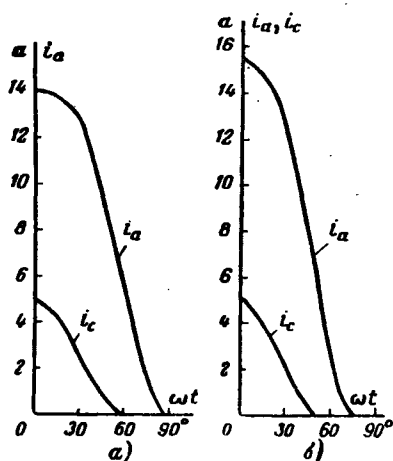


Рис. 2-41. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-22А.

а — $E_a = 10$ кВ, $E_c = -320$ В, $U_{mc} = 800$ В, $U_{ma} = 9,2$ кВ; б — $E_a = 10$ кВ, $U_{ma} = 9$ кВ, $E_c = -500$ В, $U_{mc} = 1,02$ кВ.

Возможен второй вариант режима при $\theta = 70^\circ$ и $\xi = 0,9$. Расчет производится аналогично. Получают $S = 30,2$ ма/В и $P_c = 491$ Вт. Другие данные и ре-

Таблица 2-17

Данные	E_a , кВ	P_R , кВт	$P_{\text{возб}}$, кВт	E_c , кВ	U_{mc} , кВ	I_{a0} , а	R_{0e} , ом
Расчетные	10	32,5	3,17	0,306	0,76	3,95	1 520
Рекомендуемые заводом	10	32,6	3,4	0,25	0,8	4	1 520

зультаты графоаналитического исследования приведены в табл. 2-18. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-41,б.

Пример 16. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-23А, если дано: $E_a = 11$ кВ, $E'_c = 110$ В, $P_{aN} = 60$ кВт, $P_{cN} = 2,6$ кВ, $P_N = 100$ кВт, $\mu \approx 40$,

Таблица 2-18

Данные	P , квт	E_a , кв	$-E_c$, кв	U_{mc} , кв	U_{ma} , кв	I_{a0} , а	I_{a1} , а	I_c , а
Расчетные	30	10	0,494	1,005	9	3,86	6,67	0,9
Результаты графо- аналитического исследования . .	31	10	0,5	1,02	9	3,97	6,9	0,817

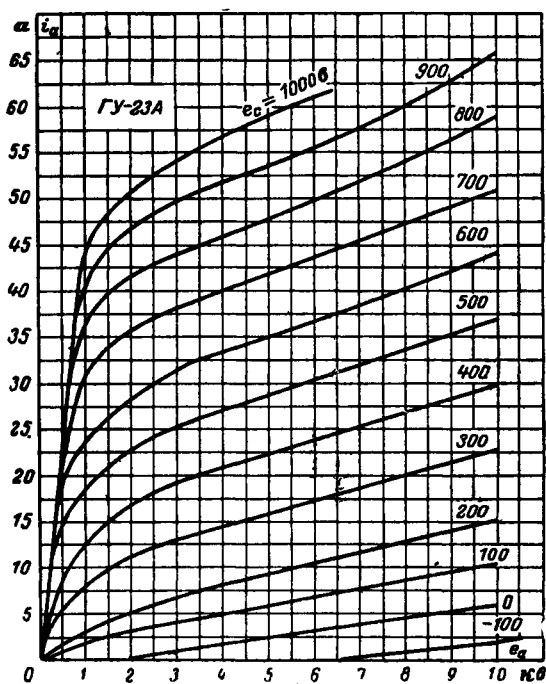


Рис. 2-42. Анодные характеристики триода ГУ-23А.

$S_R \approx 45$ ма/в. Характеристики показаны на рис. 2-42—2-44.

Решение. 1. Полагая $\theta = 85^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1 = 0,488$; $\gamma = 1,611$; $\beta = 0,446$; $\cos \theta = 0,087$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{\alpha_1 S_R E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 100\,000}{0,488 \cdot 45^2 \cdot 10^{-3} \cdot 11\,000^2} \approx 0,925.$$

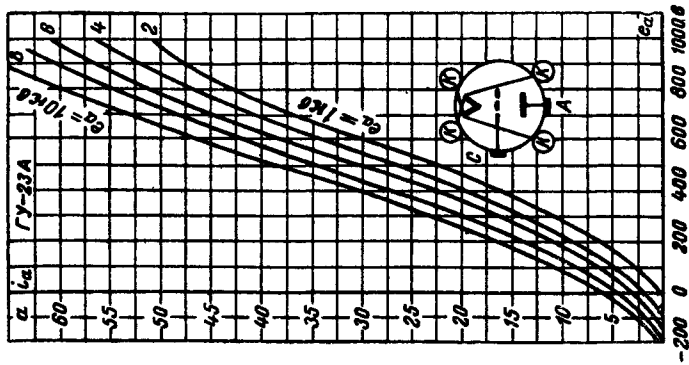


Рис. 2-43. Анодно-сеточные характеристики триода 6Y-23A.

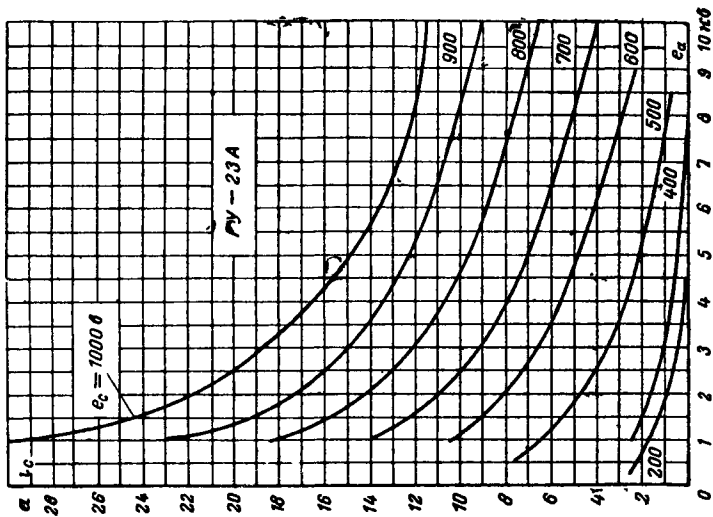


Рис. 2-44. Характеристики сеточного тока триода 6Y-23A.

Выбираем $\xi = 0,84$.

$$3. U_{ma} = \xi E_a = 0,84 \cdot 11 = 9,25 \text{ кв.}$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 100}{9,25} = 21,6 \text{ а.}$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{21,6}{1,611} = 13,4 \text{ а.}$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 13,4 \cdot 11 = 147 \text{ квт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P = 147 - 100 = 47 \text{ квт.}$$

$$8. R_{0e \text{ опт}} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{9\,250}{21,6} = 428 \text{ ом.}$$

$$9. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{100}{147} = 0,68.$$

10. Руководствуясь импульсом тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{21,6}{0,488} = 44,3 \text{ а}$$

и остаточным анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{ma} = 11 - 9,25 = 1,75 \text{ кв}$$

находим крутизну (рис. 2-42)

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{41\,500 - 4\,900}{800 - 200} = 61 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{21\,600}{61 \cdot 0,446} + 0,025 \cdot 9\,250 = 1\,027 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -100 - 1\,027 \cdot 0,087 = -200 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a. \text{ мин}} = 1,75 \text{ кв.}$

$$e_{c. \text{ макс}} = E_c + U_{mc} = -200 + 1\,027 = 827 \text{ в}$$

находим (рис. 2-44) импульс сеточного тока $I_{mc} = 16 \text{ а.}$

$$14. \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{200}{1\,027} = 0,195; \quad \theta_c \approx 79^\circ; \quad \alpha_{c0} = 0,282.$$

$$15. I_c \approx 0,7 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,7 \cdot 0,282 \cdot 16 = 3,16 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 3,16 \cdot 1,027 = 3,25 \text{ квт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |E_c I_c| = 3,25 - 3,16 \cdot 0,2 = 2,52 \text{ квт.}$$

Практически сетка работает в условиях предельного температурного режима. Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5 I_{a1} U_{mc} + I_c U_{mc} = \\ = 0,5 \cdot 21,6 \cdot 1,02 + 3,16 \cdot 1,027 = \\ = 14,25 \text{ квт.}$$

$$19. R_{oe} = \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{9750 + 1027}{21,6} = \\ = 500 \text{ ом.}$$

$$20. P_k = P + 0,5 I_{a1} U_{mc} = 100 + \\ + 0,5 \cdot 21,6 \cdot 1,02 = 111 \text{ квт.}$$

$$21. A = \frac{P_k}{P_{\text{возб}}} = \frac{111}{14,25} \approx 7,8.$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-45. Табл. 2-19 относится к схеме с заземленным катодом и табл. 2-20 — к схеме с заземленной сеткой.

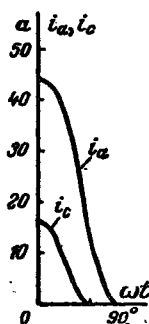


Рис. 2-45. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-23А.

$E_a = 11 \text{ кВ}$, $E_c =$
 $= -200 \text{ в}$, $U_{ma} =$
 $= 9,25 \text{ кВ}$, $U_{mc} =$
 $= 1,05 \text{ кВ}$.

Таблица 2-19

Данные	P , квт	$P_{\text{возб}}$, квт	E_a , кВ	U_{ma} , кВ	$-E_c$, в	U_{mc} , в	I_{a0} , а	I_{a1} , а	I_c , а	R_{oe} , ом
Расчетные	100	3,25	11	9,25	200	1 027	13,4	21,6	3,16	428
Результаты графоаналитического исследования	100	—	11	9,25	200	1 050	13,7	21,6	3,07	—
Рекомендуемые заводом	100	3,2	11	—	200	1 050	13	—	3,04	500

Таблица 2-20

Данные	$P, \text{ кВт}$	$P_{\text{возб}}, \text{ кВт}$	$E_a, \text{ кВ}$	$U_{\text{та}}, \text{ кВ}$	$-E'_c, \text{ В}$	$U_{\text{мс}}, \text{ В}$	$I_a, \text{ А}$	$I_{a1}, \text{ А}$	$I_c, \text{ А}$	$R_{\text{св}}, \text{ Ом}$
Расчетные	111	14,25	11	9,25	200	1 027	13,4	21,6	3,16	500
Результаты гра- фоаналитиче- ского исследо- вания	111,3	14,52	11	9,25	200	1 050	13,7	21,6	3,07	—
Рекомендуемые заводом	110,5	13,7	11	—	200	1 050	13	—	3,04	550

Пример 17. Произвести расчет телеграфного режима триода ГУ-25Б, если дано: $E_a=12 \text{ кВ}$, $E'_c=180 \text{ В}$, $P_N=40 \text{ кВт}$, $P_{aN}=12 \text{ кВт}$, $P_{cN}=600 \text{ Вт}$, $\mu \approx 40$, $S_k \approx 30 \text{ ма/В}$.

Характеристики показаны на рис. 2-39, 2-46, 2-47.

Решение 1. Полагаем $\theta=75^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1=0,455$; $\alpha_0=0,269$; $\gamma=1,688$; $\cos \theta=0,258$; $\beta=0,337$.

$$2. \xi = 1 - \frac{2P}{\alpha_1 S_k E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 40 \cdot 1000}{0,455 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 1000^2} = 0,951.$$

Выбираем $\xi=0,92$.

$$3. U_{\text{та}} = \xi E_a = 0,92 \cdot 12 \approx 11 \text{ кВ}.$$

$$4. I_{a1} = \frac{2P}{U_{\text{та}}} = \frac{2 \cdot 40}{11} = 7,27 \text{ А}.$$

$$5. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{7,27}{1,688} = 4,31 \text{ А}.$$

$$6. P_0 = I_{a0} E_a = 4,31 \cdot 12 = 51,6 \text{ кВт}.$$

$$7. P_a = P_0 - P = 51,6 - 40 = 11,6 \text{ кВт}.$$

$$8. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{40}{51,6} = 0,775.$$

$$9. R_{\text{св опт}} = \frac{U_{\text{та}}}{I_{a1}} = \frac{11 \cdot 1000}{7,27} = 1510 \text{ Ом}.$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{7,27}{0,455} = 16 \text{ А}$$

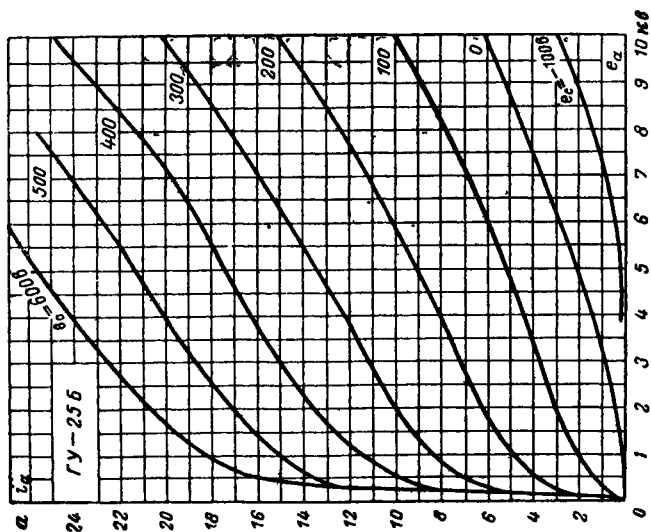


Рис. 2-46. Анодные характеристики триода ГУ-25Б.

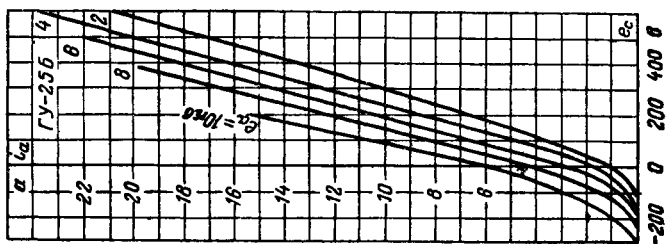


Рис. 2-47. Анодно-сеточные характеристики триода ГУ-25Б

и анодным напряжением

$$e_{a.\text{мин}} = E_a - U_{ma} = 12 - 11 = 1 \text{ кВ},$$

находим (рис. 2-46) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{15\,000 - 5\,000}{500 - 200} = 33,3 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{72\,700}{33,3 \cdot 0,337} + 0,025 \cdot 11\,000 = 925 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = 180 - 925 \cdot 0,258 = -418 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a.\text{мин}} = 1 \text{ кВ}$, $e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -418 + 925 = 507 \text{ в}$ находим (рис. 2-39) импульс сеточного тока $I_{mc} \approx 5 \text{ а}$.

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{418}{925} = 0,458; \theta_c \approx 63^\circ; \alpha_{c0} = 0,228.$$

$$15. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,228 \cdot 5 = 0,91 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,91 \cdot 925 = 840 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 840 - 0,91 \cdot 418 = 460 \text{ вт.}$$

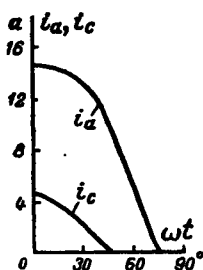
Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$18. P_{\text{возб}} = 0,5 I_{a1} U_{mc} + I_c U_{mc} = 0,5 \cdot 7,27 \cdot 925 + 0,91 \times 925 = 4,2 \text{ ватт.}$$

$$19. R_{oe} = \frac{U_{ma} + U_{mc}}{I_{a1}} = \frac{11\,000 + 925}{7,27} = 1\,640 \text{ ом.}$$

$$20. P_K = P + 0,5 I_{a1} U_{mc} = 40 + 0,5 \cdot 7,27 \cdot 0,925 \approx 43,36 \text{ ватт.}$$

$$21. A = \frac{P_K}{P_{\text{возб}}} = \frac{43,36}{4,2} = 10,6.$$



Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-48.

Рис. 2-48. Импульсы анодного и сеточного токов триода ГУ-25Б

$$E_a = 12 \text{ кВ}, E_c = -400 \text{ в}, U_{mc} = 900 \text{ в}, U_{ma} = 10,8 \text{ кВ.}$$

Табл. 2-21 относится к схеме с заземленным катодом и табл. 2-22 к схеме с заземленной сеткой.

Таблица 2-21

Данные	$P, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{\text{мс}}, \text{в}$	$U_{\text{ма}}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$R_{0\text{с}}, \text{ом}$
Расчетные	40	0,84	12	418	925	11	4,31	0,91	7,27	1 510
Рекомендуемые заводом	39,5	0,7	12	400	900	—	4,3	0,9	—	1 550
Результаты графоаналитического исследования	39,4	0,7	12	400	900	10,8	4,16	0,78	7,31	—

Таблица 2-22

Данные	$P, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{\text{мс}}, \text{в}$	$U_{\text{ма}}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$R_{0\text{с}}, \text{ом}$
Расчетные	43,3	4,2	12	418	925	11	4,31	0,91	7,27	1 640
Рекомендуемые заводом	42	4,2	12	400	900	—	4,3	0,9	—	1 650
Результаты графоаналитического исследования	42,7	3,3	12	400	900	11	4,31	0,875	7,31	—

Пример 18. Произвести расчет телеграфного режима УКВ тетрода ГУ-27А, если даны: $E_a=3,5 \text{ кв}$, $E_{c2}=750 \text{ в}$, $E'_c \approx -25 \text{ в}$, $S_R=3 \text{ ма/в}$, $P_{aN}=2 \text{ квт}$, $P_{c2N}=150 \text{ вт}$. Характеристики показаны на рис. 2-49 и 2-50. Полагать коэффициент $k_f=0,9$.

Решение. 1. Полагаем $\theta=55^\circ$. Из табл. П-1 находим $\alpha_1=0,366$; $\gamma=1,82$; $\beta=0,156$; $\cos \theta=0,573$.

$$2. P = \frac{P_{\text{вых}}}{k_f} = \frac{1}{0,9} = 1,1 \text{ квт.}$$

$$3. \xi = 1 - \frac{2P}{S_R \alpha_1 E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 1100}{3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,366 \cdot 3500^2} = 0,837.$$

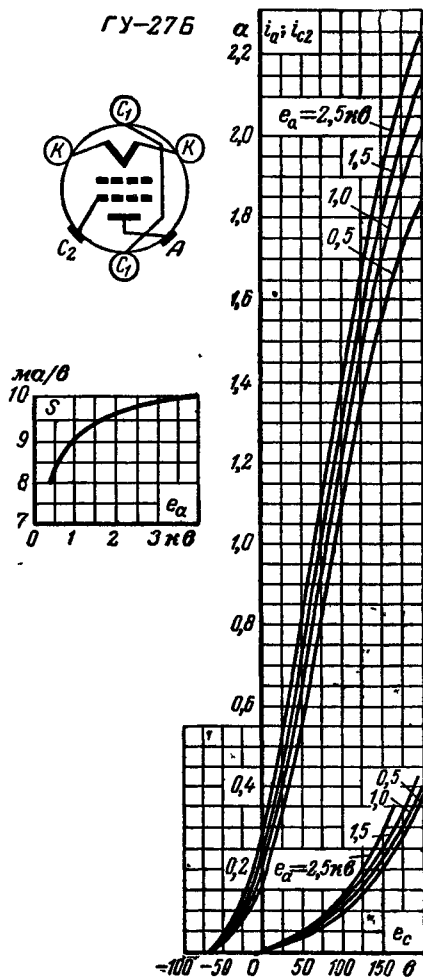


Рис. 2-49. Анодно-сеточные характеристики тетрода ГУ-27А при $E_{c2} = 750$ в.

Характеристики справедливы и для тетрода ГУ-27Б.

$$4. U_{ma}' = \xi E_a = 0,837 \cdot 3500 = 2930 \text{ в.}$$

$$5. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 1100}{2930} = 0,75 \text{ а.}$$

$$6. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{0,75}{1,82} = 0,412 \text{ а.}$$

$$7. P_0 = I_{a0} E_a = 0,412 \cdot 3,5 = 1,44 \text{ квт.}$$

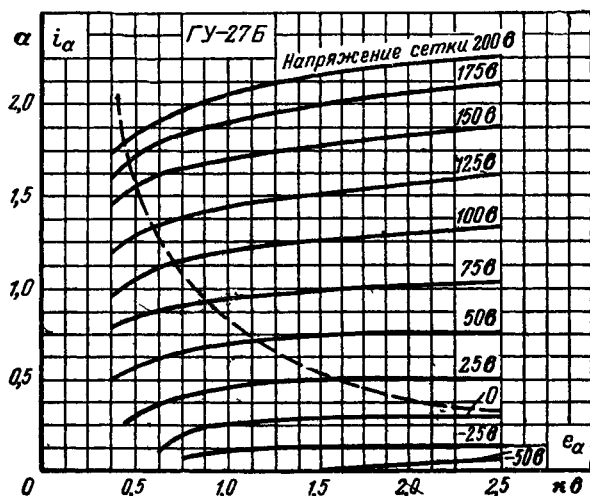


Рис. 2-50. Анодные характеристики тетрода ГУ-27А при $E_{с2} = 750 \text{ в.}$

Характеристики справедливы и для тетрода ГУ-27Б.

$$8. P_T = P_0 - P - P_{\text{вых}} = 1,44 - 1 = 0,44 \text{ квт.}$$

$$9. \eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0} = \frac{1}{1,44} = 0,695.$$

$$10. R_{oe} = \frac{U_{ma}}{k_f I_{a1}} = \frac{2930}{0,9 \cdot 0,75} = 4340 \text{ ом.}$$

11. Для напряжения $e_{a.\text{мин}} = E_a - U_{ma} = 3500 - 2930 = 570 \text{ в}$ находим из рис. 2-49 крутизну $S = 8,5 \text{ ма/в.}$

$$12. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{750}{8,5 \cdot 0,156} = 566 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -25 - 566 \cdot 0,573 = 349 \text{ в.}$$

Произведем сравнение расчетных данных с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом, и с результатами графоаналитического исследования Импульс,

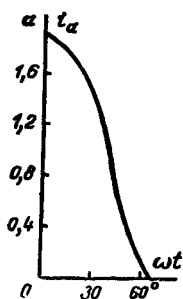
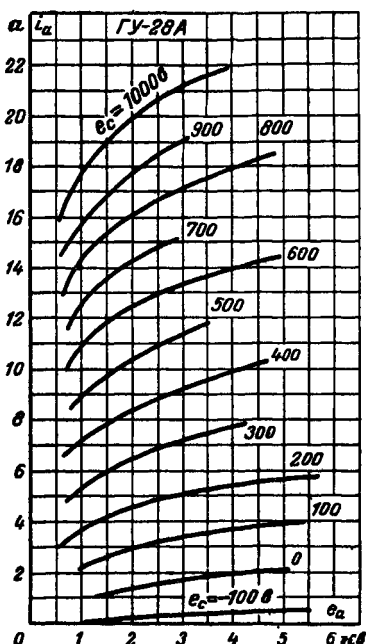


Рис. 2-51 Импульс анодного тока тетрода ГУ-27А.

$E_a = 3,5 \text{ кв}$, $U_{ma} = 2,9 \text{ кв}$, $E_c = 320 \text{ в}$, $U_{mc} = 520 \text{ в}$.

Рис. 2-52. Анодные характеристики тетрода ГУ-28А при $E_{c2} = 1 \text{ кв}$.



получаемый при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 2-51.

Таблица 2-23

Данные	P , квт	$P_{\text{выл}}$, квт	E_a , кв	E_{c2} , кв	$-E_c$, в	U_{mc} , в	U_{ma} , в	I_{a0} , ма
Данные завода . .	1,02	—	3,5	1	320	520	—	415
Расчетные	1,1	1	3,5	1	349	566	2 930	412
Результаты графоаналитического исследования	1,04	—	3,5	1	320	520	2 900	418

Пример 19. Произвести расчет телеграфного режима тетрода ГУ-28А, если даны: $E_a = 10 \text{ кв}$, $E_{c2} = 1 \text{ кв}$,

$E_c' = 50$ в, $P_N = 12$ кВт, $P_{aN} = 8$ кВт, $P_{c2N} = 300$ вт, $P_{c1N} = 200$ вт. Характеристики показаны на рис. 2-52—2-55.

Решение. 1. Тетрод характеризуется относительно небольшой мощностью P_{c2N} , являющейся наиболее критичной предельной величиной. Поэтому выбираем наи-

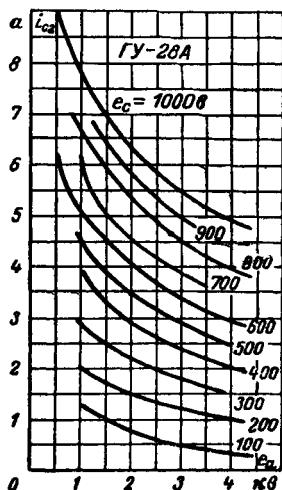


Рис. 2-53. Характеристики тока второй сетки тетрода ГY-28A при $E_{c2} = 1$ кв.

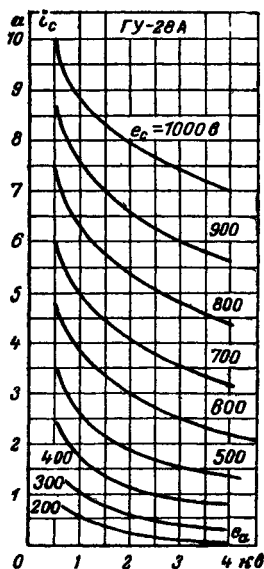


Рис. 2-54. Характеристики тока первой сетки тетрода ГY-28A при $E_{c2} = 1$ кв.

более недонапряженный режим, возможный в условиях предельной тепловой нагрузки анода.

Полагая $P_a = P_{aN} = 8$ кВт, находим отношение $\frac{P}{P_a} = \frac{12}{8} = 1,5$, согласно которому получим из графика на рис. 1-18 значение $\eta = 0,6$.

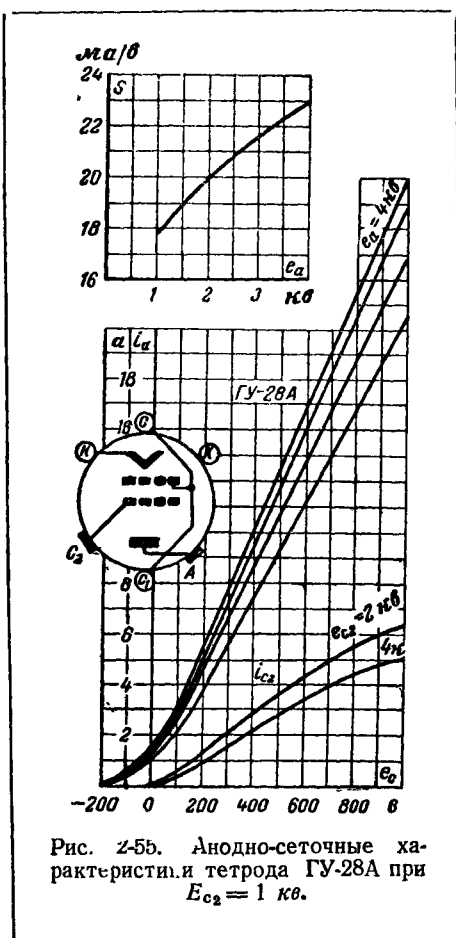
2. Полагая $\theta = 60^\circ$ находим из табл. П-1 коэффициенты $\alpha_1 = 0,391$; $\alpha_0 = 0,218$; $\gamma = 1,79$; $\beta = 0,195$.

$$3. \xi = \frac{2\eta}{\xi} = \frac{2 \cdot 0,6}{1,79} = 0,67.$$

$$4. U_{ма} = \xi E_a = 0,57 \cdot 10 = 6,7 \text{ кв.}$$

$$5. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 12}{6,7} = 3,58 \text{ а.}$$

$$6. I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{3,58}{0,391} = 9,15 \text{ а.}$$



$$7. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{3,58}{1,79} = 2 \text{ а.}$$

$$8. P_0 = I_{a0} E_a = 2 \cdot 10 = 20 \text{ кВт.}$$

$$9. R_{os} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{6700}{3,58} = 1870 \text{ ом.}$$

10. Для напряжения $e_{a, \text{мин}} = E_a - U_{ma} = 10 - 6,7 = 3,3 \text{ кВ}$ находим из графика на рис. 2-55 крутизну 22 ма/в.

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{358}{22 \cdot 0,195} = 834 \text{ в.}$$

$$12. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -50 - 834 \cdot 0,5 = -467 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a, \text{мин}} = 3,3 \text{ кВ}$, $e_{c, \text{макс}} = E_c + U_{mc} = -467 + 834 = 367 \text{ в}$ получим (рис. 2-53 и 2-54) $I_{mc2} = 2 \text{ а}$, $I_{mc} = 0,7 \text{ а}$.

$$14. \cos \theta_c = -\frac{|E_c|}{U_{mc}} = \frac{467}{834} = 0,56; \theta_c = 56^\circ; \alpha_{c0} = 0,204.$$

$$15. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,204 \cdot 0,7 = 0,114 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,114 \cdot 834 = 95 \text{ вт.}$$

$$17. A = \frac{P}{P_{\text{возб}}} = \frac{12}{0,095} = 126.$$

$$18. I_{c2} \approx 0,7 \alpha_{c0} I_{mc2} = 0,7 \cdot 0,218 \cdot 2 = 0,305 \text{ а.}$$

$$19. P_{c2} = I_{c2} E_{c2} = 0,305 \cdot 1000 = 305 \text{ вт.}$$

Приходим к выводу, что при отдаче номинальной полезной мощности лампа работает в предельном температурном режиме по аноду и второй сетке.

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования. Импульсы токов анодного и второй сеток показаны на рис. 2-56.

Выскажем соображения о возможности работы лампы при измененном E_{c2} .

В рассмотренном случае имеет место предельная тепловая нагрузка анода и второй сетки. Если выбрать $E_{c2} = 1,5 \text{ кВ}$, то неизбежно возрастет ток второй сетки. Чтобы не превысить мощность $P_{c2N} = 300 \text{ вт}$ необходим выбор еще более недонапряженного режима. Но в этом случае возникает опасность перегрева анода. Следовательно, надо уменьшать использование лампы по току. В таких условиях невозможно получение $P = 12 \text{ кВт}$.

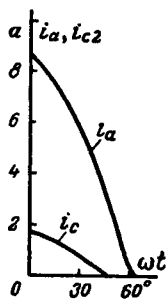


Рис. 2-56. Импульсы токов анодного и экранирующей сетки тетроды ГУ-28А.

$$\begin{aligned} E_a &= 10 \text{ кВ}, E_{c2} = \\ &= 1 \text{ кВ}, E_c = \\ &= -450 \text{ в}, U_{mc} = \\ &= 800 \text{ в}, U_{ma} = \\ &= 6,7 \text{ кВ.} \end{aligned}$$

Таблица 2-24

Данные	$P, \text{квт}$	$P_a, \text{квт}$	$P_{c2}, \text{вт}$	$E_a, \text{кв}$	$E_{c2}, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{тс}, \text{в}$	$U_{та}, \text{кв}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_c, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$
Расчетные	12	8	305	10	1	467	834	6,7	2	0,305	3,58
Результаты графоаналитического исследования	11,7	7,9	310	10	1	450	800	6,7	1,96	0,31	3,47

Но если выбрать $E_{c2}=500 \text{ в}$, то уменьшается нагрузка второй сетки. Это обстоятельство позволяет повысить ξ и η . Следовательно, возрастет полезная мощность при отсутствии перегрева анода и второй сетки. Так как эта мощность неизвестна, то расчет проведем согласно лам-

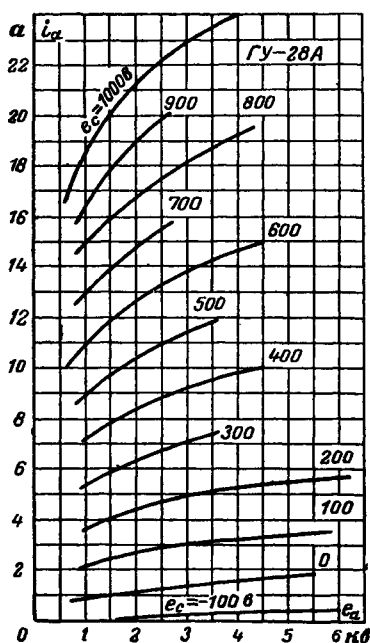


Рис. 2-57. Анодные характеристики тетроды ГУ-28А при $E_{c2} = 500 \text{ в}$.

повым характеристикам (рис. 2-57—2-60), с последующей проверкой теплового режима анода и сеток. Полагая $E'_c = -100$ в.

Решение. 1. Предположим возможность значительно увеличить U_{ma} и аналогичного снижения I_m . Выбе-

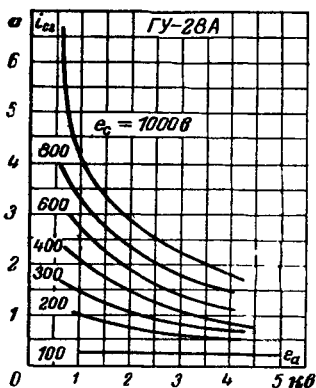


Рис. 2-58 Характеристики тока второй сетки тетрода ГУ-28А при $E_{c2} = 500$ в

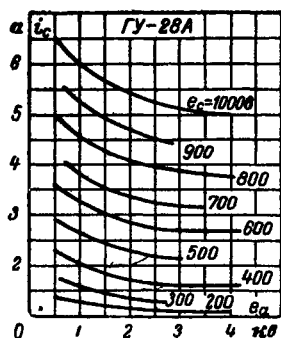


Рис. 2-59. Характеристики тока первой сетки тетрода ГУ-28А при $E_{c2} = 500$ в.

рем $I_m = 6$ а и $U_{ma} = 9,3$ кВ ($\xi = 0,93$). Исходя из этих данных, проведем расчет, предполагая наличие плоского импульса, имеющего $\theta = 75^\circ$, $\theta' = 30^\circ$.

2. Из табл. П-1, П-2, П-3, П-4 находим $\cos \theta = 0,258$; $\cos \theta' = 0,906$; $\alpha_1 = 0,506$; $\alpha_0 = 0,304$; $\gamma = 1,658$.

3. $I_{a1} = \alpha_1 I_m = 0,506 \cdot 6 = 3,03$ а.

4. $I_{a0} = \alpha_0 I_m = 0,304 \cdot 6 = 1,82$ а.

5. $P_0 = I_{a0} E_a = 1,82 \cdot 10 = 18,2$ кВт.

6. $P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 3,03 \cdot 9,3 = 14,1$ кВт.

7. $P_a = P_0 - P = 18,2 - 14,1 = 4,1$ кВт. Анод лампы работает в облегченных температурных условиях.

8. $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{14,1}{18,2} = 0,775$.

9. $R_{oe} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{9300}{3,03} = 3070$ ом.

10. Для напряжений $e_{a, \text{мин}} = E_a - U_{ma} = 10 - 9,3 = 0,7$ кВ находим (рис. 2-60) значение $S \approx 15$ ма/в.

$$11. U_{mc} = \frac{I_m}{S(\cos \theta' - \cos \theta)} = \frac{6000}{15(0,906 - 0,258)} = 618 \text{ в.}$$

$$12. E_c \approx E'_c - U_{mc} \cos \theta = -100 - 618 \cdot 0,258 = -259 \text{ в.}$$

13. Для напряжений $e_{a, \text{мин}} = 0,7 \text{ кв}$, $e_{c, \text{макс}} = E_c + U_{mc} = -259 + 618 = 359 \text{ в}$ находим (рис. 2-59, 2-58) импульсы токов $I_{mc} = 2 \text{ а}$, $I_{mc2} = 2,1 \text{ а}$.

14. $I_{c2} = 0,6 \alpha_0 I_{mc2} = 0,6 \cdot 0,269 \cdot 2,1 = 0,338 \text{ а}$. В этой формуле коэффициент α_0 взят для косинусоидального импульса, имеющего $\theta = 75^\circ$.

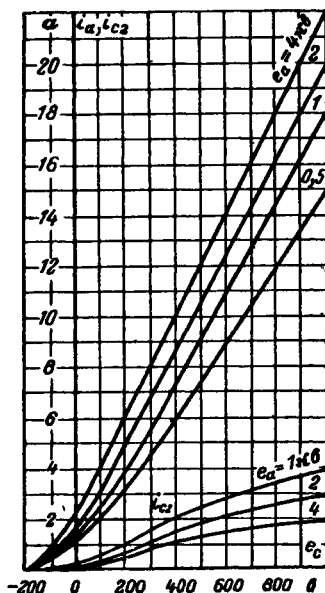
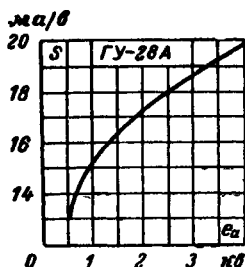


Рис. 2-60. Анодно-сеточные характеристики тетрода 6Y-28A при $E_{c2} = 500 \text{ в}$.

15. $P_{c2} = I_{c2} E_{c2} = 0,338 \times 500 = 169 \text{ вт}$. Вторая сетка работает в облегченном температурном режиме по сравнению с первым вариантом.

$$16. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{259}{618} = 0,42; \theta_c \approx 65^\circ; \alpha_{c0} \approx 0,236.$$

$$17. I_c = 0,7 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,7 \cdot 0,236 \cdot 2 = 0,33 \text{ а.}$$

$$18. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,33 \cdot 618 = 204 \text{ вт.}$$

$$19. P_c = P_{\text{возб}} - I_c E_{c0} = 204 - 0,33 \cdot 259 = 150 \text{ вт.}$$

Первая сетка работает в условиях, приближающихся к предельному по температурному режиму.

$$20. A = \frac{P}{P_{\text{возб}}} = \frac{14,1}{0,204} = 69.$$

В этом случае получают коэффициент усиления, по мощности почти вдвое меньший по сравнению с первым случаем. Но второй вариант более выгоден в энергетическом отношении. Произведем сравнение расчетных величин второго варианта с результатами графоаналити-

ческого исследования. Импульсы токов, полученных при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-61,а.

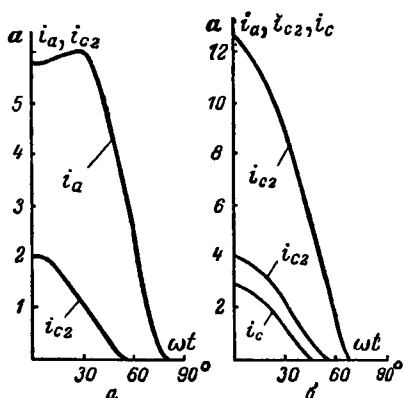


Рис. 2-61. Импульсы анодного и сеточных токов тетродов ГУ-28А а) и ГУ-28Б б).

а — $E_a = 10$ кВ, $E_{c2} = 500$ в, $E_c = -250$ в, $U_{mc} = 600$ в, $U_{ma} = 9,3$ кВ; б — $E_a = 8$ кВ, $E_{c2} = 1$ кВ, $U_{ma} = 6$ кВ, $E_c = -700$ в, $U_{mc} = 1,3$ кВ.

Т а б л и ц а 2-25

Данные	$P, \text{квт}$	$P_{c2}, \text{вт}$	$E_a, \text{кВ}$	$E_{c2}, \text{в}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$U_{ma}, \text{кВ}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_a, \text{а}$	$I_{c2}, \text{а}$
Расчетные	14,1	169	10	500	259	618	9,3	1,82	3,03	0,338
Результаты графоаналитического исследования	14,3	170	10	500	250	600	9,3	1,89	3,08	0,34

Пример 20. Рассчитать кратковременный форсированный режим импульсной работы тетрода ГУ-28Б. Работа производится циклами — два импульса с минутным перерывом между ними. Длительность импульса 500 мксек. При наличии принудительного воздушного охлаждения

интервал между циклами порядка 2 мин. При работе без воздушного охлаждения интервал между циклами должен быть не менее часа. Долговечность в кратковременно форсированном режиме 4000 циклов. Дано: $E_a=8$ кв, $P_{aN}=14$ квт, $P_{cN}=400$ вт, $P_{c2N}=800$ вт. Указано, что выходная мощность в импульсном режиме при частоте 30 Мгц может быть порядка 20 квт. Но это значение необходимо уточнить, принимая во внимание предельный температурный режим сеток. Характеристики показаны на рис. 2-52—2-55

Решение. 1. В этом тетроде наиболее критичной предельной величиной является мощность, допустимая к рассеянию на второй сетке. Поэтому при расчете необходимо исходить из предельного температурного режима по второй сетке. При выборе $E_{c2}=1$ кв получим допустимый ток второй сетки

$$I_{c2} = \frac{P_{c2N}}{E_{c2}} = \frac{800}{1000} = 0,8 \text{ а.}$$

Импульсное значение этого тока $I_{mc2} = (4-5)I_{c2}$, если $\theta = 75-60^\circ$.

Выбрав значение $I_{mc2} = 4$ а и полагая

$$e_{a.m\text{нн}} = E_a - U_{ma} = 8 - 6 = 2 \text{ кв}$$

(т. е. считая $\xi=0,75$), получим из характеристик (рис. 2-53) напряжение первой сетки $e_c=600$ в. Согласно напряжениям $e_c=600$ в, $e_a=2$ кв находим из характеристик (рис. 2-52) импульс анодного тока $I_m = 12,6$ а. Эти данные положим в основу расчета.

2. Выбираем $\theta=60^\circ$. Из табл. П-1 находим: $\alpha_1 = 0,391$; $\alpha_0 = 0,218$; $\beta = 0,195$; $\cos \theta = 0,5$.

$$3. I_{a1} = \alpha_1 I_m = 0,391 \cdot 12,6 = 4,93 \text{ а.}$$

$$4. I_{a0} = \alpha_0 I_m = 0,218 \cdot 12,6 = 2,75 \text{ а.}$$

$$5. P_0 = I_{a0} E_a = 2,75 \cdot 8 = 22 \text{ квт.}$$

$$6. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 4,93 \cdot 6 = 14,8 \text{ квт.}$$

$$7. P_a = P_0 - P = 22 - 14,8 = 7,2 \text{ квт.}$$

$$8. R_{oe} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{6000}{4,93} \approx 1200 \text{ ом.}$$

$$9. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{14,8}{22} = 0,673.$$

10. Для напряжения $e_{a.m\text{нн}} = 2$ кв находим (рис. 2-55) крутизну $S \approx 20$ ма/в.

$$11. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} = \frac{4\,930}{20 \cdot 0,195} = 1\,260 \text{ в.}$$

12. Полагая $E'_c = 50 \text{ в}$ (рис. 2-55), получаем: $E_c \approx E'_c - U_{mc} \cos \theta = -50 - 1\,260 \cdot 0,5 = -680 \text{ в.}$

13. Для напряжений $e_{a.\text{мин}} = 2 \text{ кВ}$, $e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -680 + 1\,260 = 580 \text{ в}$ получим из характеристик на рис. 2-54 импульс тока первой сетки $I_{mc} = 2,7 \text{ а.}$

$$14. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{680}{1\,260} 0,54; \theta_c \approx 57^\circ; \alpha_{c0} = 0,207.$$

$$15. I_c \approx 0,8 \alpha_{c0} I_{mc} = 0,8 \cdot 0,207 \cdot 2,7 = 0,447 \text{ а.}$$

$$16. P_{\text{возб}} = I_c U_{mc} = 0,447 \cdot 1\,260 = 565 \text{ вт.}$$

$$17. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c E_c| = 565 - 0,447 \cdot 680 = 261 \text{ вт}$$

$$18. A = \frac{P}{P_{\text{возб}}} = \frac{14,8}{0,261} = 57.$$

Произведем сравнение расчетных данных с результатами графоаналитического исследования характеристик. Импульсы анодного и сеточного токов, полученные при исследовании, показаны на рис. 2-61,б.

Т а б л и ц а 2-26

Данные	$P, \text{ кВт}$	$P_{c2}, \text{ вт}$	$E_a, \text{ кВ}$	$E_{c2}, \text{ кВ}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ а}$	$I_{a1}, \text{ а}$	$I_c, \text{ а}$	$I_{c2}, \text{ а}$
Расчетные	14,8	800	8	1	680	1 260	2,75	4,93	0,147	0,8
Результаты графоаналитического исследования	15,3	780	8	1	700	1 300	2,86	5,1	0,4	0,78

Пример 21. Произвести расчет телеграфного режима двойного УКВ лучевого тетрода ГУ-29. Для случая кратковременной эпизодической работы (форсированный режим) при: $E_a = 750 \text{ в}$, $E_{c2} = 225 \text{ в}$, $E'_c = -20 \text{ в}$, $P_{\text{опред}} = 150 \text{ вт}$ (для лампы), $P_{aN} = 45 \text{ вт}$ (для двух анодов), $S_K = 7 \text{ ма/в}$. Характеристики лампы показаны на рис. 2-62—2-64. Считать при работе на $\lambda = 1,5 \text{ м}$ коэффициент потерь $k_f = \frac{P_{\text{вых}}}{P} = 0,85$.

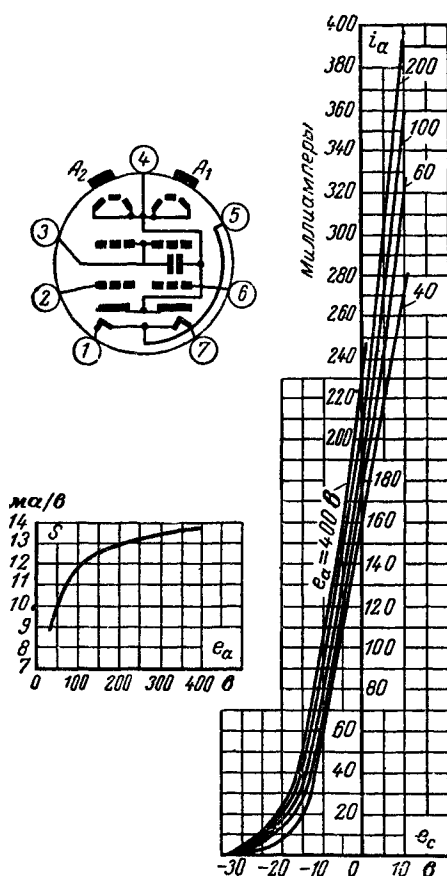


Рис. 2-62. Анодно-сеточные характеристики двойного тетрода 6Y-29 при $E_{c2} = 225$ в (для одной половины).

Решение. 1. Полагаем, что каждая анодная система работает импульсом с полной впадиной (рис. 1-19, а), для которого $\theta = 70^\circ$, $\theta' = 25^\circ$. Следовательно, $\cos \theta = 0,342$; $\cos \theta' = 0,906$. Согласно рис. 1-20 получим $\gamma \approx 1,65$. Из табл. П-3 находим:

$$\alpha_0 = \alpha_{\text{опл}} - \alpha_{\text{окос}} = 0,279 - 0,092 = 0,187.$$

2. Для каждой анодной системы полагаем: $E_a = 750$ в, $U_{\text{та}} = E_a = 750$ в, $P_0 = P_{\text{опред}} = 75$ вт.

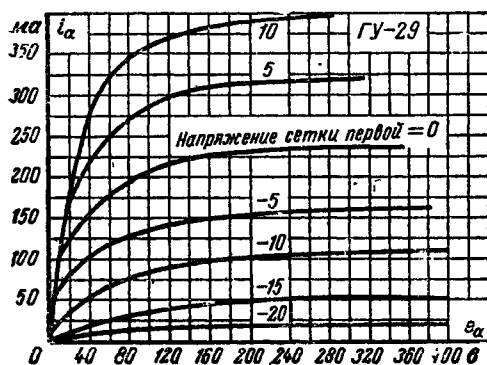


Рис. 2-63. Анодные характеристики двойного тетрода ГУ-29 при $E_{c2} = 225$ в (для одной половины).

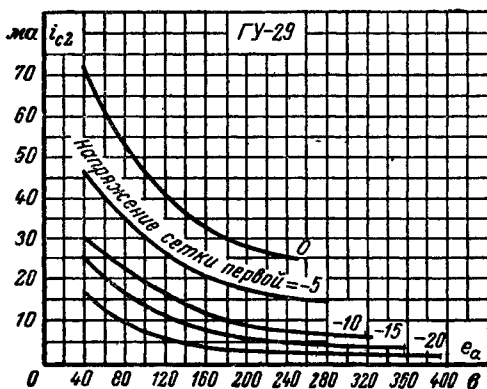


Рис. 2-64. Характеристики тока второй сетки одной половины двойного тетрода ГУ-29А при $E_{c2} = 225$ в.

$$3. I_{a0} = \frac{P_0}{E_a} = \frac{75}{750} = 0,1 a = 100 \text{ ма.}$$

$$4. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,65 \cdot 100 = 165 \text{ ма.}$$

$$5. I_m = \frac{I_{a0}}{\alpha_0} = \frac{100}{0,165} = 606 \text{ ма.}$$

$$6. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 0,165 \cdot 750 = 62 \text{ вт.}$$

$$7. \text{Для лампы получим } I_{a0} = 200 \text{ ма, } P_0 = 150 \text{ вт, } P = 124 \text{ вт.}$$

$$8. \text{Полагаем: } P_{\text{вых}} = k_f P = 0,85 \cdot 124 = 105,5 \text{ вт.}$$

$$9. \eta = \frac{P_{\text{цепи}}}{P_0} = \frac{105,5}{150} = 0,703.$$

$$10. R_{0\theta} = \frac{2U_{ma}}{k_f I_{a1}} = \frac{2 \cdot 750}{0,85 \cdot 0,165} = 10\,700 \text{ ом.}$$

$$11. P_T = P_0 - P_{\text{цепи}} = 150 - 105,5 = 44,5 \text{ вт.}$$

$$12. \text{Считая значение } S \approx 12 \text{ ма/в (рис. 2-62), находим для анодной системы } U'_{mc} = \frac{I_m}{S(\cos \theta' - \cos \theta)} = \\ = \frac{606}{12(0,906 - 0,342)} = 90 \text{ в.}$$

$$13. \text{Для лампы } U_{mc} = 2 \cdot 90 = 180 \text{ в.}$$

$$14. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -20 - 90 \cdot 0,342 = -51 \text{ в.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом.

Т а б л и ц а 2-27

Данные	$P, \text{ вт}$	$P_{\text{вых}}, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E'_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$
Опытные	—	110	750	200	50	150	150
Расчетные	124	105,5	750	225	51	180	150

Пример 22. Произвести расчет радиотелеграфного режима двойного лучевого тетрода ГУ-17, если дано: $E_a = 300 \text{ в}$, $E_{c2} = 200 \text{ в}$, $E'_c = -18 \text{ в}$, $P_{aH} = 6 \text{ вт}$ (для одной половины), $P_{c2} = 3 \text{ вт}$, $P_{c1} = 0,25 \text{ вт}$ (для одной половины), предельное значение суммарного тока анодов 85 ма , $S_K = 2,9 \text{ ма/в}$. Характеристики показаны на рис. 2-65, 2-66, 1-10.

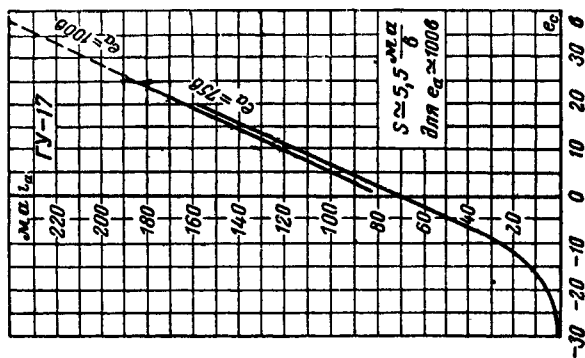


Рис. 2-65. Анодно-сеточные характеристики двойного лучевого тетрода ГУ-17 (для одной половины).

$E_{c2} = 200 \text{ в.}$

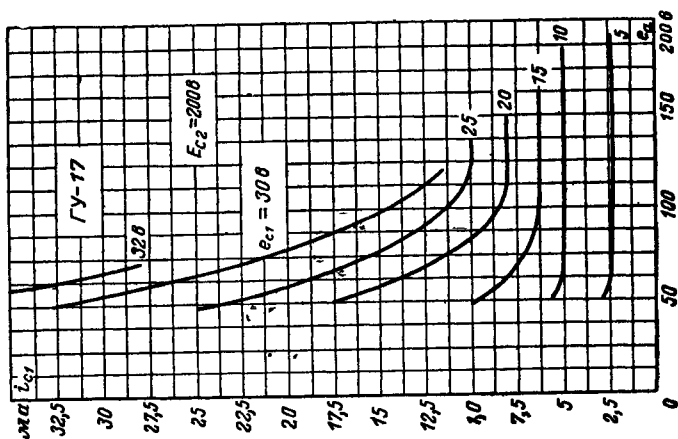


Рис. 2-66. Характеристики тока управляющей сетки двойного лучевого тетрода ГУ-17 (для одной половины).

$E_{c2} = 200 \text{ в.}$

Решение. 1. Полагаем суммарный ток анодов 80 *ма*. т. е. считаем для каждой половины $I_{a0}=40$ *ма*.

2. Выбираем $\theta=55^\circ$. Следовательно, $\alpha_0=0,201$; $\gamma=1,82$; $\cos\theta=0,574$; $\beta=0,156$.

$$3. I_{a1}=\gamma I_{a0}=1,82 \cdot 40=72,8 \text{ ма.}$$

$$4. I_m=\frac{I_{a0}}{\alpha_0}=\frac{40}{0,201}=199 \text{ ма.}$$

$$5. \xi=1-\frac{I_m}{S_{KE_a}}=1-\frac{199}{2,9 \cdot 300}=0,772.$$

$$6. U_{ma}=\xi E_a=0,772 \cdot 300=231 \text{ в.}$$

$$7. P=0,5 I_{a1} U_{ma}=0,5 \cdot 0,07 \cdot 28 \cdot 231=8,4 \text{ вт.}$$

$$8. P_0=I_{a0} E_a=0,04 \cdot 300=12 \text{ вт.}$$

$$9. P_a=P_0-P=12-8,4=3,6 \text{ вт.}$$

$$10. \eta=\frac{P}{P_0}=\frac{8,4}{12}=0,7.$$

11. Руководствуясь значениями $I_m=199$ *ма* и $e_{a.\text{мин}}=E_a-U_{ma}=300-231=69$ *в* находим крутизну (рис. 1-10) $S=\frac{i'_a-i''_a}{e'_c-e''_c}=\frac{190-70}{30-0}=4$ *ма/в*.

$$12. U_{mc}=\frac{I_{a1}}{S\beta}=\frac{72,8}{4 \cdot 0,156}=117 \text{ в.}$$

$$13. E_c=E'_c-U_{mc} \cos\theta=-18-117 \cdot 0,574=-85 \text{ в.}$$

14. Для напряжений $e_{a.\text{мин}}=69$ *в* и $e_{c.\text{макс}}=E_c+U_{mc}=-85+117=32$ *в* находим импульс тока управляющей сетки (рис. 2-66) $I_{mc} \approx 28$ *ма*.

$$15. \cos\theta_c=-\frac{E_c}{U_{mc}}=-\frac{85}{117}=0,733; \quad \theta_c=43^\circ; \quad \alpha_{c0}=0,158.$$

$$16. I_c=0,8\alpha_{c0} I_{mc}=0,8 \cdot 0,158 \cdot 28=3,54 \text{ ма.}$$

$$17. P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc}=3,54 \cdot 10^{-3} \cdot 117=0,42 \text{ вт.}$$

$$18. P_c=P_{\text{возб}}-|E_c I_c|=0,42-85 \cdot 3,54 \cdot 10^{-3}=0,12 \text{ вт.}$$

Находим для всей лампы

$$19. R_{oe}=\frac{2U_{ma}}{I_{a1}}=\frac{2 \cdot 231}{0,0728}=6340 \text{ ом.}$$

$$20. P_0=2 \cdot 12=24 \text{ вт.}$$

$$21. P=2 \cdot 8,4=16,8 \text{ вт.}$$

$$22. P_{\text{возб}}=2 \cdot 0,42=0,84 \text{ вт.}$$

$$23. U_{mc}=2 \cdot 117=234 \text{ в,}$$

Произведем сравнение расчетных данных с опытными и с результатами графоаналитического исследования. Импульсы анодного тока и тока управляющей сетки, полученные при графоаналитическом исследовании, показаны на рис. 2-67. Опытные данные, рекомендуемые

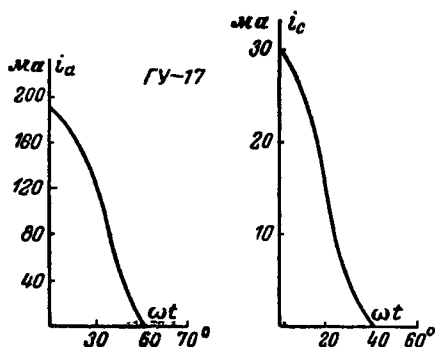


Рис. 2-67. Импульсы анодного тока и тока управляющей сетки двойного лучевого тетрода ГУ-17 (для одной половины).

$$E_a = 300 \text{ в}, \quad E_{c2} = 200 \text{ в}, \quad E_c = -85 \text{ в}, \quad U_{mc} = 110 \text{ в}, \quad U_{ma} = 240 \text{ в}.$$

электроввакуумным заводом, справедливы при работе на частоте 200 Мгц, когда с учетом к. п. д. контура получают выходную мощность всей лампы не менее 11 вт. Данные в таблице справедливы для одной половины.

Таблица 2-28

Данные	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$U_{ma}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$I_c, \text{ ма}$	$I_{a1}, \text{ ма}$	$P, \text{ вт}$
Расчетные	300	200	85	117	231	40	3,54	72,8	8,4
Рекомендуемые заводом . .	300	200	80	120	—	42,5	—	—	—
Результаты графоаналитического исследования	300	200	80	110	240	39,5	3,45	69,5	8,3

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РАДИОТЕЛЕФОННЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

3-1. НЕОБХОДИМОСТЬ ОБНОВЛЕНИЯ ТЕОРИИ РАДИОТЕЛЕФОННЫХ РЕЖИМОВ

Теория расчета радиотелефонных режимов, изложенная в трудах, датированных концом 20-х и началом 30-х годов, была создана на большом экспериментальном материале, полученном при эксплуатации триодных (преимущественно мощных) передатчиков. В ней были достаточно полно рассмотрены вопросы сеточной модуляции изменением смещения, усиления модулированных колебаний и анодной модуляции.

Этот аспект изложения по существу сохранился в учебниках, авторы которых уделяют основное внимание описанию процессов модуляции, происходящих в мощных триодных радиовещательных передатчиках. Однако такое изложение уже не соответствует требованиям современности, так как подавляющее большинство радиотелефонных передатчиков малой и средней мощности, используемых в народном хозяйстве, имеют в выходных каскадах тетроды и пентоды¹.

Эти передатчики получили широкое распространение в свихозах и колхозах, на железнодорожном и автомобильном транспорте, в гражданской авиации, в морском и речном флоте, на приисках, на рыболовецких судах, в гидрометеорологической службе и во многих других службах и ведомствах. В них широко применяются

¹ Теория и расчет всех видов амплитудной модуляции в коротковолновых тетродах и пентодах опубликована автором в 1939—1940 гг. в мощных триодах и УКВ тетродах в 1955 г. В гл 3 кратко сформулированы основные положения предлагаемой теории.

анодно-экранная модуляция, модуляция на экранирующую сетку и комбинированные виды модуляции.

Что же касается видов модуляции, применяемых в мощных передатчиках, то их необходимо рассматривать с позиций современной электроники в соответствии с изменениями, происшедшими в конструкциях генераторных ламп.

Нельзя базировать теорию радиотелефонии на идеях и представлениях, справедливых для старых триодов с вольфрамовым катодом, работающих в режиме насыщения. Такая теория неспособна объяснить плодотворную возможность форсированного использования эмиссионного тока в пике модуляции, возможность и целесообразность анодной модуляции в недонапряженном режиме, сближение значений номинальной мощности лампы и мощности в режиме несущей волны при комбинированной анодно-сеточной (автоанодной) модуляции и ряд других вопросов, специфичных для ламп с высокоэффективными катодами.

Следует указать, что имеет место ошибочное направление при рассмотрении сеточной модуляции изменением смещения. Ее рассматривают применительно к мощным триодам, что было справедливо для конца 20-х и начала 30-х годов. В настоящее время сеточную модуляцию изменением смещения имеет смысл рассматривать применительно к тетрадам и пентодам¹. Лишь в этих маломощных и среднемощных лампах возможно эффективное применение указанной модуляции. Что же касается мощных генераторных триодов, используемых в выходных каскадах стационарных передатчиков, то для них основным видом сеточной модуляции необходимо считать усиление модулированных колебаний.

Иногда этот вид модуляции рекомендуется для маломощных триодов, имеющих полезную мощность 10—20 *вт*. Но в типовых экспериментальных режимах, рекомендуемых потребителям зарубежными электрова-

¹ Показателем неактуальности этого вида модуляции в мощных триодах является также следующий факт: ведущие зарубежные фирмы, производящие электровакуумные приборы, вообще исключают возможность применения сеточной модуляции смещением в мощных и среднемощных триодах, если не говорить о сеточной модуляции видеосигналами в телевизионных передатчиках

куумными заводами, сечочная модуляция изменением смещения рекомендуется лишь для тетродов и пентодов.

Для всех видов сеточной модуляции (изменением смещения, модуляция на экранирующую или защитную сетку, усиление модулированных колебаний) обязательно на работа неискаженными импульсами анодного тока. Основной предельной величиной для лампы необходимо считать номинальную мощность, рассеиваемую анодом.

Согласно прежней теории при любом виде сеточной модуляции мощность в максимальном режиме $P_{\text{макс}}$ равна номинальной мощности лампы P_N ; при коэффициенте модуляции $m=1$ в режиме несущей волны мощность $P_{\text{нес}}=0,25 P_N$. Для анодной модуляции считают $P_{\text{нес}}=0,5 P_N$, если $m=1$.

В настоящее время эти соотношения справедливы лишь в частных случаях, так как в лампах с высокоэффективными катодами в пике модуляции можно работать импульсом анодного тока, значительно большим, чем в случае телеграфного режима, и получать увеличение мощности $P_{\text{нес}}$ в 1,5—2 раза по сравнению с вышеуказанными значениями.

В современных лампах мощность, рассеиваемая анодом, в режиме несущей волны $P_{\text{а.нес}} \approx (0,85—1) P_{\text{ан}}$. Исходя из этого условия [Л. 3], получим для большинства ламп при $m=1$ мощность в максимальном режиме $P_{\text{макс}} = (1,9—2,2) P_{\text{ан}}$.

Таким образом, мощность $P_{\text{макс}}$ зависит от «запаса прочности по аноду» и не ограничивается (даже в лампах с вольфрамовым катодом) током эмиссии I_e .

3-2. СЕТОЧНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СМЕЩЕНИЯ В КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПЕНТОДАХ И ТЕТРОДАХ

При расчете сеточной модуляции (смещением) в среднемощных тетродах и пентодах (рис. 3-1), имеющих высокоэффективные катоды, ориентировочно можно считать $P_{\text{макс}} \approx 2 P_{\text{ан}}$. Для маломощных ламп (например, 4П1Л, ГУ-15), обладающих увеличенным запасом прочности по аноду, можно выбирать $P_{\text{макс}}$ равной номинальной полезной мощности лампы. Порядок расчета следующий. Приближенно, полагая угол отсечки

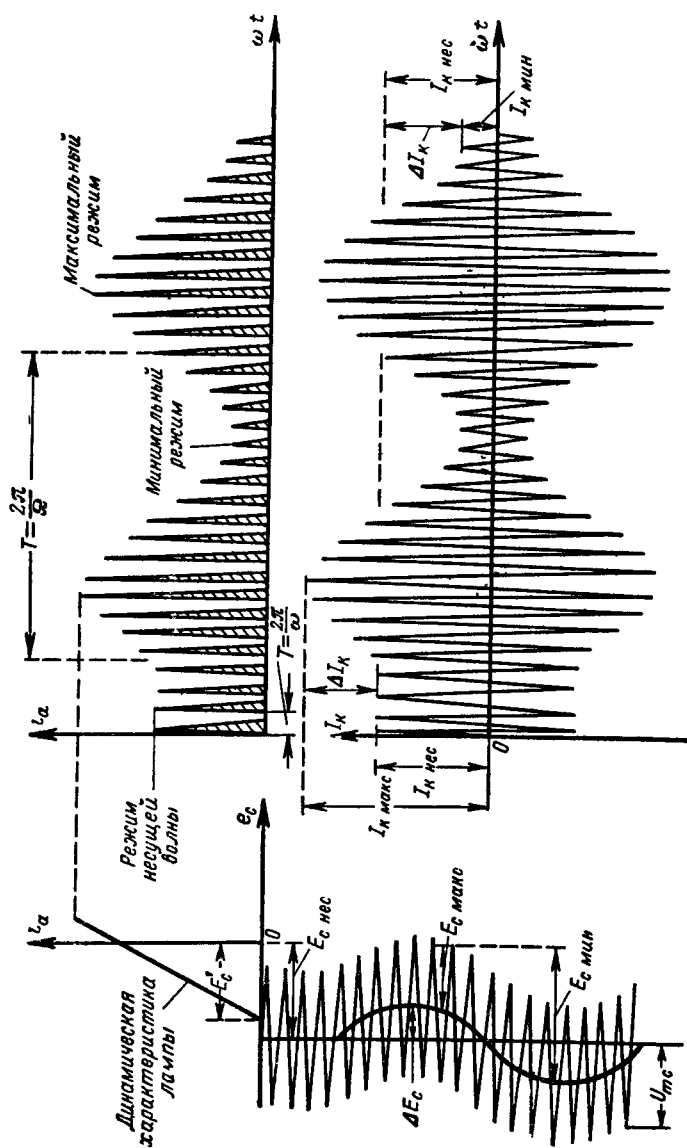


Рис. 3-1. Изменение импульсов анодного тока и амплитуд высокочастотного тока в анодном контуре лампового генератора при сеточной модуляции смещением.

в максимальном режиме $\theta \approx 90^\circ$, находят коэффициент использования анодного напряжения

$$\xi_{\text{макс}} = 1 - \frac{2P_{\text{макс}}}{\alpha_1 S_K E_a^2}. \quad (3-1)$$

Конечно, $\theta_{\text{макс}}$ может быть меньше или несколько больше 90° , но это обстоятельство не влияет на точность расчета. Так, например, если $\theta = 80^\circ$, то разница в расчетном значении $\xi_{\text{макс}}$ по сравнению с найденным при $\theta = 90^\circ$ получается порядка 1% .

Задавшись коэффициентом модуляции, определяют значение

$$\xi_{\text{нес}} = \frac{\xi_{\text{макс}}}{1 + m}. \quad (3-2)$$

Рассчитывают амплитуду переменного анодного напряжения

$$U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a \quad (3-3)$$

и полезную мощность

$$P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{1 + m}. \quad (3-4)$$

В режиме несущей волны угол отсечки выбирают в пределах

$$\theta_{\text{нес}} \approx 55 - 75^\circ \quad (3-5)$$

и находят из таблиц расчетные коэффициенты

$$\gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}, \quad \cos \theta, \quad \beta = \alpha_1 (1 - \cos \theta).$$

Затем определяют другие величины, относящиеся к режиму несущей волны:

$$\eta_{\text{нес}} = 0,5 \xi_{\text{нес}} \gamma_{\text{нес}}; \quad (3-6)$$

$$P_{\text{онес}} = \frac{P_{\text{нес}}}{\eta_{\text{нес}}}; \quad (3-7)$$

$$P_{\text{анес}} = P_0 - P_{\text{нес}}; \quad (3-8)$$

$$I_{\text{аонес}} = \frac{P_{\text{онес}}}{E_a}; \quad (3-9)$$

$$I_{\text{а1нес}} = \gamma_{\text{нес}} I_{\text{ао}}; \quad (3-10)$$

$$R_{\text{оe}} = \frac{U_{\text{та.нес}}}{I_{\text{а1нес}}}. \quad (3-11)$$

Амплитуду напряжения возбуждения определяют по формуле

$$U_{\text{тнес}} = \frac{I_{\text{а1нес}}}{S\beta_{\text{нес}}} . \quad (3-12)$$

В этой формуле значение крутизны S берут из графика $S=f(e_a)$, полагая анодное напряжение равным разности $e_a = E_a - U_{\text{т а. нес}}$. Крутизна остается неизменной при пере-

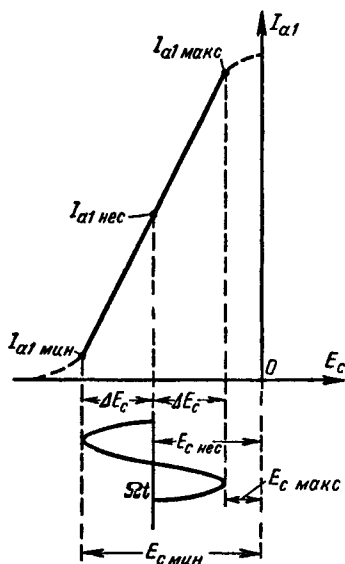


Рис 3-2. График, показывающий предельные точки модуляционной характеристики для сеточной модуляции смещением, при которых отсутствуют искажения.

ходе в минимальную точку. Это объясняется тем, что в тетрадах и пентодах в условиях резко недонапряженного режима не происходит изменения S . Затем определяют напряжение смещения

$$E_{\text{с. нес}} = E'_c - U_{\text{тс}} \cos \theta_{\text{нес}} . \quad (3-13)$$

Перейдем к расчету модуляционной характеристики, под которой понимают зависимость $I_{\text{а1}} = f(E_c)$, показанную на рис. 3-2. Обозначим через ΔE_c амплитуду звукового напряжения. Заметим, что при неискаженной модуляции (при $m = 0,85 - 0,9$) величина $2\Delta E_c$ лежит в пределах линейного участка модуляционной характеристики [Л. 2]. Из рассмотрения опытных характеристик минимальным напряжением смещения

следует считать значение $E_{\text{с. мин}}$, обуславливающее еще неискаженную амплитуду

$$I_{\text{а1 мин}} \approx 0,2 I_{\text{а нес}} . \quad (3-14)$$

Этот ток определяет начальную точку модуляционной характеристики. Так как расчетный коэффициент

$$\beta_{\text{мин}} = \frac{I_{\text{а1 мин}}}{S U_{\text{тс}}} = \frac{0,2 I_{\text{а1 нес}}}{S U_{\text{тс}}} , \quad (3-15)$$

то, найдя $\beta_{\min}$, из таблицы определяем соответствующее значение угла отсечки $\theta_{\min}$. Потом находим:

$$E_{c,\min} = E'_c - U_{mc} \cos \theta_{\min}. \quad (3-16)$$

Из рассмотрения модуляционной характеристики очевидно, что амплитуда напряжения звуковой частоты равна:

$$\Delta E_c = E_{c,\text{нес}} - E_{c,\min} = U_{mc} (\cos \theta_{\min} - \cos \theta_{\text{нес}}). \quad (3-17)$$

Так как в большинстве случаев $\cos \theta_{\min} \approx 0,8$, то расчетная формула принимает вид:

$$\Delta E_c = U_{mc} (0,8 - \cos \theta_{\text{нес}}). \quad (3-18)$$

Если выбран $\theta_{\text{нес}} = 55 - 60^\circ$, то более точной формулой явится

$$\Delta E_c = U_{mc} (1 - \cos \theta_{\text{нес}}). \quad (3-19)$$

Для максимальной точки имеют место соотношения

$$I_{a1\max} = I_{a1\text{нес}} (1 + m); \quad (3-20)$$

$$\Delta E_{c,\max} = E_{c,\text{нес}} + \Delta E_c. \quad (3-21)$$

Коснемся вопроса о мощности звуковой частоты, расходуемой в цепи управляющей сетки. Необходимо найти постоянные составляющие сеточного тока $I_{c\max}$ и $I_{c\text{нес}}$, которые соответствуют максимальному режиму и режиму несущей волны. Их разность приближенно равна амплитуде тока звуковой частоты в сеточной цепи

$$\Delta I_c = I_{c,\max} - I_{c,\text{нес}}. \quad (3-22)$$

Тогда требуемая мощность источника звуковой частоты равна:

$$P_{c,\text{ср}} \approx 0,5 \Delta I_c \Delta E_c. \quad (3-23)$$

Заметим, что в основу расчета всех видов сеточной модуляции может быть также положена предельная мощность, подводимая к лампе в режиме несущей волны.

3.3. СЕТОЧНАЯ МОДУЛЯЦИЯ В УКВ ЛАМПАХ

При расчете всех видов сеточной модуляции в среднемощных УКВ лампах необходимо принять во внимание, что в анодную цепь поступает не вся мощность,

создаваемая ламповым генератором. Поэтому надо знать коэффициент потерь $k_f = P_{\text{вых}}/P_{\text{нес}}$ для выбранной частоты. Мощность в максимальном режиме можно полагать $P_{\text{макс}} \approx 2 P_{\text{ан}}$. Так, например, для УКВ тетрода ГУ-27Б, имеющего $P_{\text{ан}} = 800$ вт, справедливо соотношение $P_{\text{вых макс}} = 1,6$ вт. Мощность, создаваемая ламповым генератором, окажется равной.

$$P_{\text{макс}} = \frac{P_{\text{вых макс}}}{k_f}. \quad (3-24)$$

При определении величин

$$\xi_{\text{макс}}, \xi_{\text{нес}}, U_{\text{та, нес}}, P_{\text{нес}}, \eta_{\text{нес}}, P_{\text{онес}}, I_{\text{аонес}}, I_{\text{а1нес}}, \\ U_{\text{мс}}, E_{\text{с, нес}}, \Delta E_{\text{с}}$$

руководствуются вышеизложенной методикой. Для проверки допустимости теплового режима необходимо учесть, что в условиях несущей волны мощность суммарных тепловых потерь в конструкции лампы P_T не должна быть больше паспортной мощности $P_{\text{ан}}$. Обычно имеет место соотношение

$$P_{T_{\text{нес}}} = (0,8 - 1) P_{\text{ан}}. \quad (3-25)$$

Найдя мощность переменного тока в анодной цепи $P_{\text{вых, нес}} = \frac{P_{\text{вых макс}}}{(1+m)^2}$, определяют мощность тепловых потерь

$$P_{T_{\text{нес}}} = P_{\text{онес}} - P_{\text{вых, нес}}, \quad (3-26)$$

эквивалентное сопротивление анодной цепи

$$R_{\text{ое}} = \frac{U_{\text{та, нес}}}{k_f I_{\text{а1нес}}} \quad (3-27)$$

и к. п. д. по анодной цепи

$$\eta_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{вых нес}}}{P_{\text{онес}}}, \quad (3-28)$$

который меньше электронного к. п. д. лампы, равно отношению $P_{\text{нес}}/P_{\text{онес}}$.

Сеточная модуляция (смещением) применяется в двойных УКВ тетрадах ГУ-29, ГУ-32, работающих на

метровых волнах. Для этих ламп удобной явится также расчетная методика, в основу которой положена известная мощность $P_{0 \text{ пред}}$, указываемая для режима несущей волны. Выбрав $P_{0 \text{ пред}} = P_{0 \text{ нес}}$, находят:

$$I_{a0 \text{ нес}} = \frac{P_{0 \text{ нес}}}{E_a}; \quad (3-29)$$

$$P_{T \text{ нес}} = (0,9 - 1) P_{aN}; \quad (3-30)$$

$$\eta_{\text{нес}} = 1 - \frac{P_{T \text{ нес}}}{P_{0 \text{ нес}}}, \quad (3-31)$$

$$P_{\text{вых. нес}} = P_{0 \text{ нес}} = P_{\text{нес}} \eta_{\text{нес}}. \quad (3-32)$$

Эти величины относятся ко всей лампе.

Потом выбирают угол отсечки $\theta_{\text{нес}} \approx 60^\circ$ и находят для каждого отдельного тетрода величины

$$I_{a1 \text{ нес}} = \frac{\gamma I_{a0 \text{ нес}}}{2}; \quad (3-33)$$

$$\xi_{\text{нес}} = \frac{2\eta_{\text{нес}}}{k_f \gamma_{\text{нес}}}; \quad (3-34)$$

$$U_{\text{та. нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a. \quad (3-35)$$

Амплитуда напряжения на контуре: $U_{\text{тнес}} = 2U_{\text{та. нес}}$. Эквивалентное сопротивление нагрузки между анодами

$$R_{0ea-a} = \frac{U_{\text{тнес}}}{k_f I_{a1 \text{ нес}}}. \quad (3-36)$$

Амплитуда напряжения между управляющими сетками будет равна удвоенной амплитуде напряжения возбуждения.

3-4. УСИЛЕНИЕ МОДУЛИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Усиление модулированных колебаний преимущественно применяется в мощных триодах. Иногда оно имеет место в средне-мощных тетродах и пентодах. Более часто применяется работа с неизменным углом отсечки $\theta = 90^\circ$ (рис. 3-3). Для коротковолновых тетродов и пентодов полезную мощность в максимальной точ-

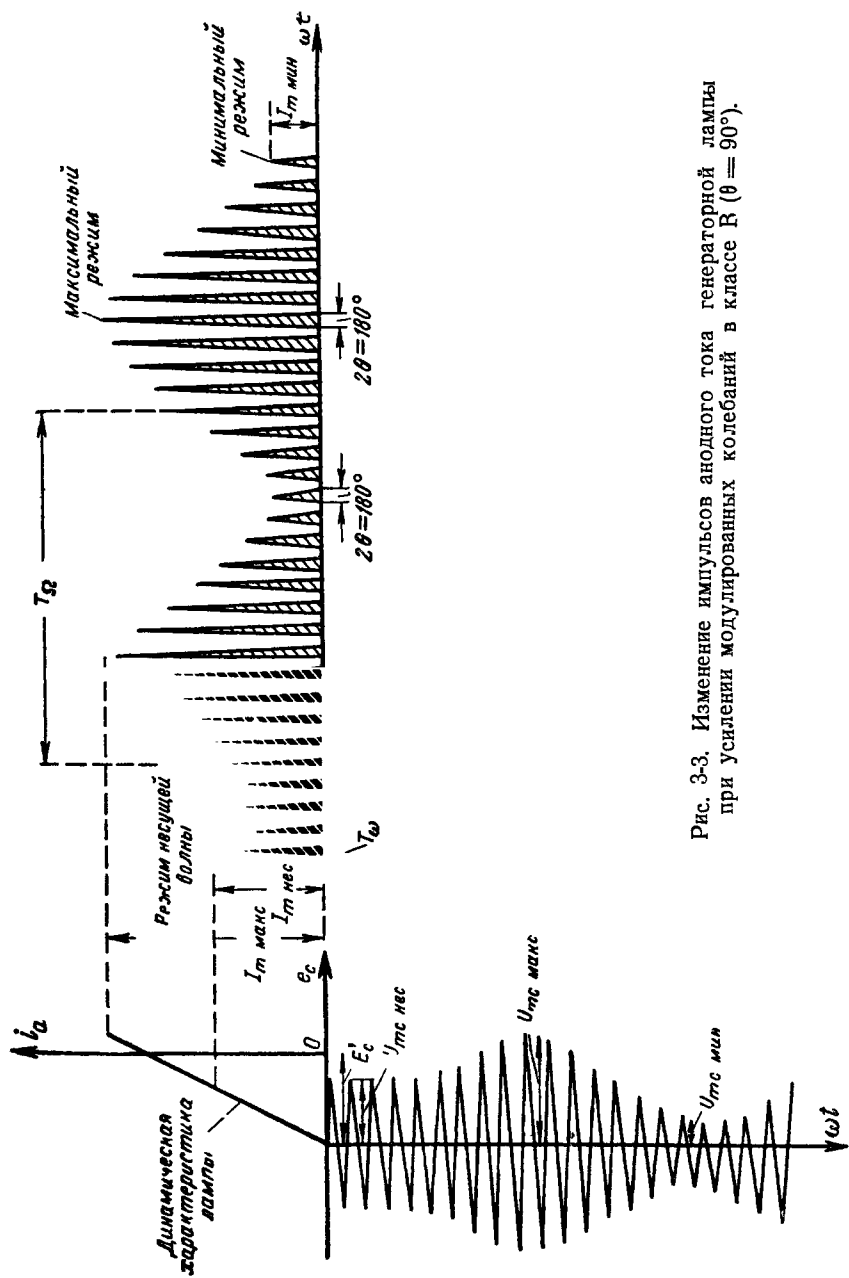


Рис. 3-3. Изменение импульсов анодного тока генераторной лампы при усилении модулированных колебаний в классе В ($\theta = 90^\circ$).

ке можно ориентировочно считать $P_{\text{макс}} \approx 2P_{\text{ан}}$. Для мощных триодов обычно считают мощность $P_{\text{макс}}$ равной номинальной полезной мощности лампы. Если отсутствует опасность перегрева сетки, то мощность $P_{\text{макс}}$ может быть взята больше P_N на 10—30%. Расчет можно вести, исходя из данных максимального режима или из данных режима несущей волны. В первом случае значения ξ , $U_{\text{ма}}$, $I_{\text{а1}}$, $I_{\text{а0}}$, $U_{\text{мс}}$, E_c , относящиеся к максимальной точке, можно найти по формулам для расчета телеграфного режима. Затем рассчитывают режим несущей волны. Единственной особенностью явится нахождение амплитуды $U_{\text{мс}} = \frac{U_{\text{ма.макс}}}{1+m}$. Необходимо не допустить перегрева анода в режиме несущей волны, так как лампа часто работает в предельном температурном режиме.

Во втором случае исходят из мощности $P_{\text{а.нес}} = (0,9-1)P_{\text{ан}}$ и производят расчет по методике, описанной в § 6 гл. 1. Этот метод целесообразен в случае расчета мощных триодов, для которых опытные данные, рекомендуемые электровакуумным заводом, относятся к режиму несущей волны.

Мощность возбуждения следует находить в максимальной точке. Она определяет порядок мощности лампы предыдущей ступени. Мощность $P_{\text{возб.макс}}$ обычно в 2 и более раз превышает мощность, допустимую к рассеянию на сетке $P_{\text{сн}}$. Это превышение не опасно, так как нагрев сетки зависит от средней мощности, рассеиваемой за модуляционный цикл, и получается значительно меньше $P_{\text{возб.макс}}$.

При усилении модулированных колебаний в классе С происходит некоторое углубление модуляции в анодной цепи (рис. 3-4). В табл. 3-1 показаны значения коэффициента модуляции в сеточной цепи m_c при разных углах отсечки $\theta_{\text{нес}}$ и неизменном коэффициенте $m_a = 1$.

Таблица 3-1

$\theta_{\text{нес}}^\circ$	50	60	65	70	75	80	85	90
m_c	0,952	0,5	0,578	0,66	0,742	0,827	0,913	1

Этой таблицей необходимо пользоваться в случаях, когда расчет ведут, исходя из данных режима несущей волны, полагая $P_{0 \text{ нес}} = P_{0 \text{ пред}}$ и $P_{\text{а.нес}} = P_{\text{ал.}}$. Получают $U_{\text{т с. макс}} = U_{\text{т с. нес}} (1 + m_c)$.

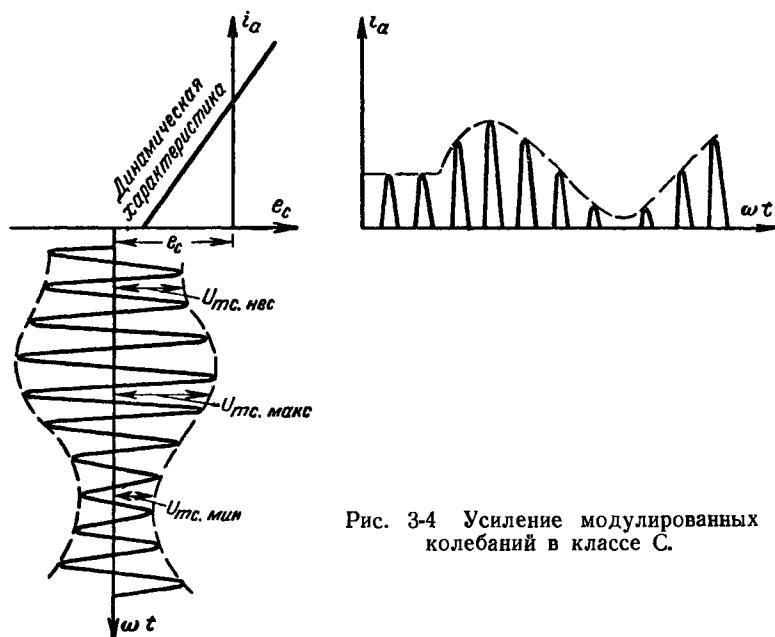


Рис. 3-4 Усиление модулированных колебаний в классе С.

Возможен другой случай, когда расчет ведется согласно данным максимального режима. Тогда по заданным значениям $\theta_{\text{макс}}$ и коэффициента m_a можно определить коэффициент m_c , пользуясь табл. 3-2.

Таблица 3-2

Глубина модуляции в анодной цепи m_a	Коэффициент модуляции m_c для следующих углов отсечки $\theta_{\text{макс}}$				
	90	85	80	75	70
1	1	0,84	0,705	0,59	0,49
0,9	0,9	0,763	0,643	0,543	0,453
0,8	0,8	0,686	0,583	0,493	0,413
0,7	0,7	0,602	0,515	0,44	0,372

3-5. МОДУЛЯЦИЯ НА ЗАЩИТНУЮ СЕТКУ ПЕНТОДА

Имеется ошибочная трактовка модуляции на антидинатронную сетку (рис. 3-5), которую считают возможной лишь в перенапряженном режиме. В действительности неискаженную модуляцию получают при работе всех средневолновых и коротковолновых пентодов

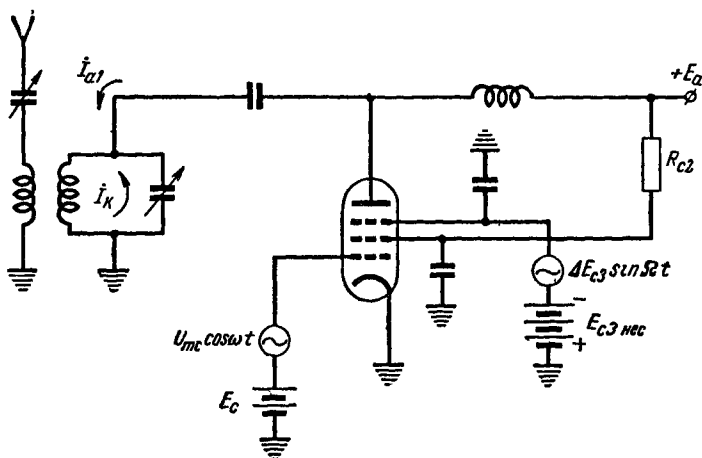


Рис. 3-5. Принципиальная схема модуляции на противодинаatronную сетку.

импульсами анодного тока, практически не имеющими провалов (рис. 3-6). Лишь для немногих УКВ пентодов выбирается перенапряженный режим с целью облегчить температурные условия.

При этом виде модуляции для различных ламп имеет место соотношение

$$P_{\text{макс}} = (1 - 1,5) P_N. \quad (3-37)$$

Для среднemoshных пентодов можно также выбрать $P_{\text{макс}} \approx 2 P_{\text{ан}}$.

Выбрав $P_{\text{макс}}$ и задавшись $\theta_{\text{макс}} = 60-75^\circ$, находят значения ξ , $U_{\text{ма}}$, $I_{\text{а1}}$, $I_{\text{а0}}$, $U_{\text{мс}}$, E_c , $R_{0\text{в}}$. Затем определяют величины, характеризующие режим несущей волны.

Максимальный режим

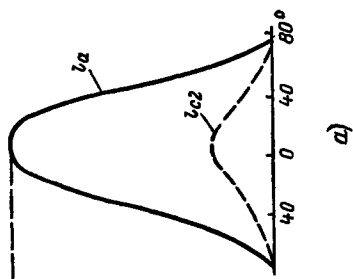
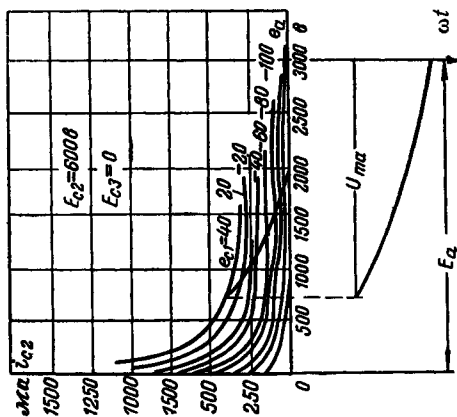
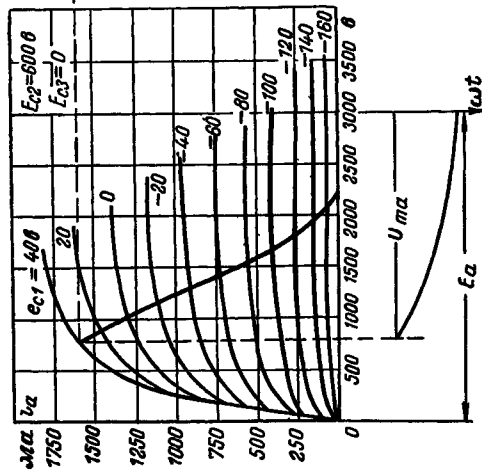
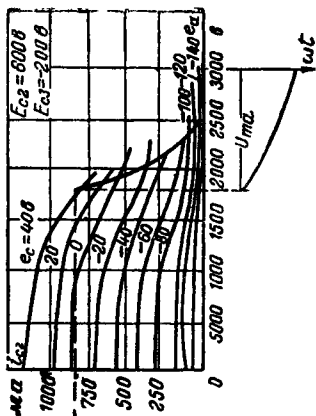
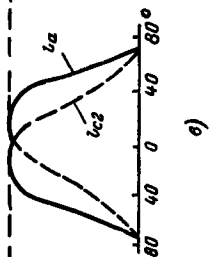
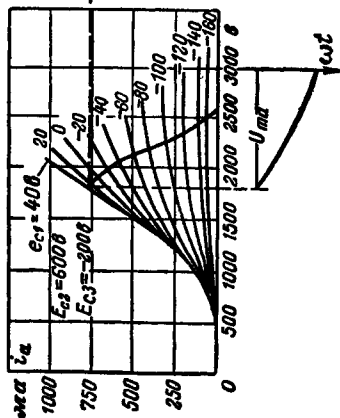
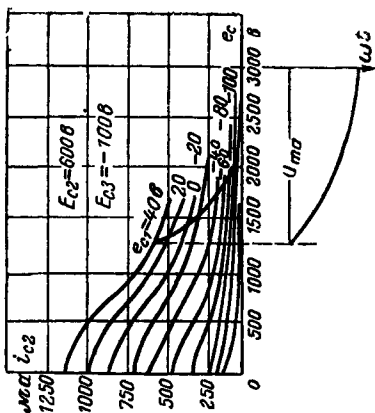
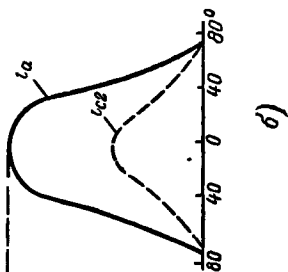
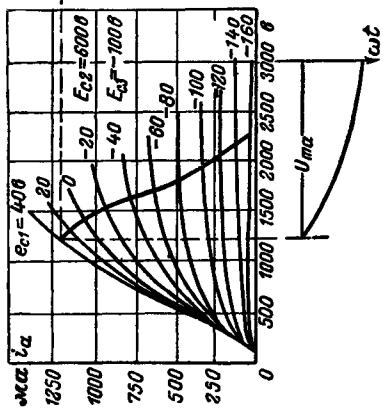


Рис. 3-6, а



Режим несущей балки

Рис. 3-6б, в.

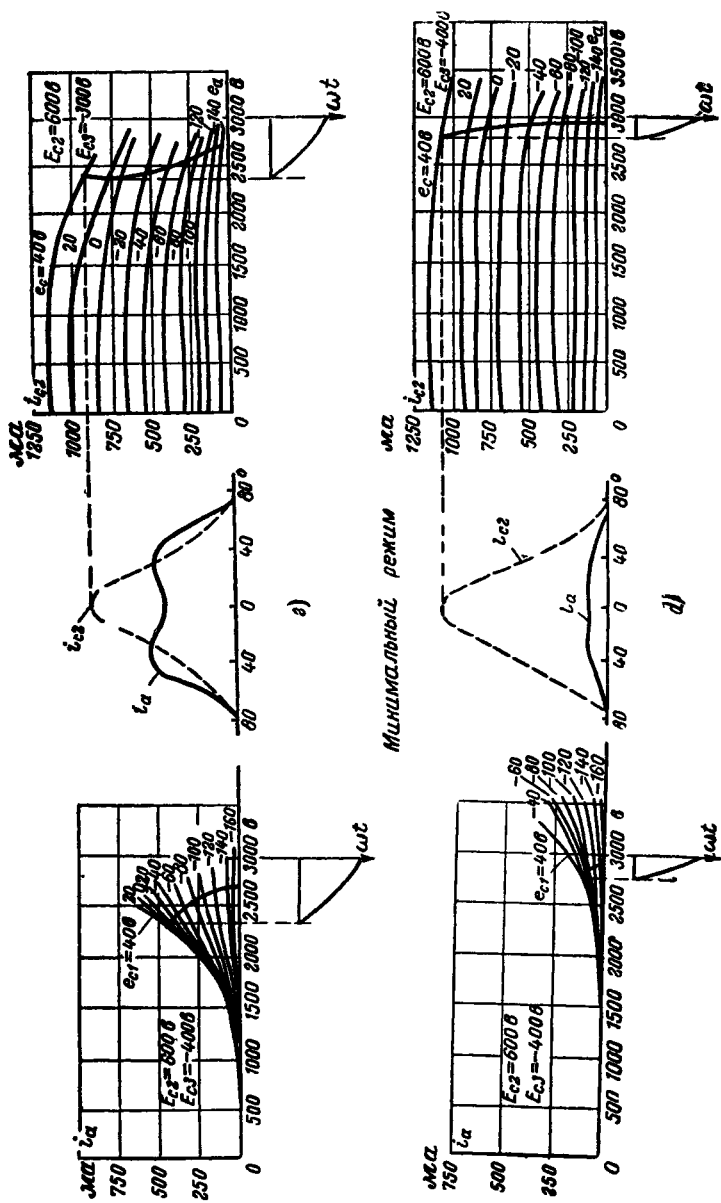


Рис. 3-6. График, поясняющий процессы, происходящие при пентодной модуляции.

Идеализированная модуляционная характеристика показана на рис. 3-7. При ее расчете необходимо знать наиболее отрицательное модулирующее напряжение

$$E_{сз\text{мин}} = -\frac{E_a}{\mu_3}, \quad (3-38)$$

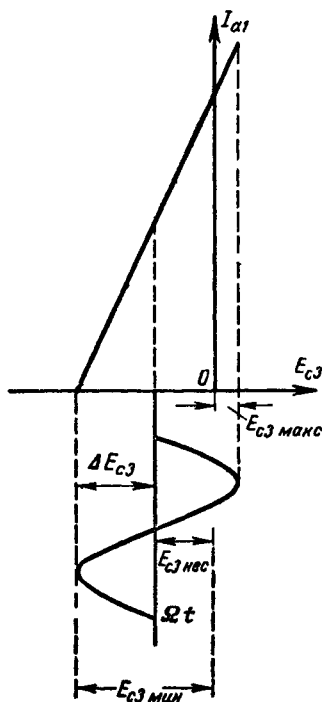


Рис 3-7 Идеализированная модуляционная характеристика при модуляции на защитную сетку.

присущее минимальной точке, амплитуду звукового напряжения

$$\Delta E_{сз} = \frac{|E_{сз\text{мин}}|}{2} \quad (3-39)$$

и напряжение смещения при молчании

$$E_{сз\text{нес}} \approx \frac{E_{сз\text{нес}}}{2} - \Delta E_{сз}. \quad (3-40)$$

3-6. МОДУЛЯЦИЯ НА ЭКРАНИРУЮЩУЮ СЕТКУ

Модуляция на экранирующую сетку имеет место в некоторых тетродных и пентодных передатчиках небольшой мощности (рис. 3-8). В этом случае основным модулирующим фактором является напряжение звуковой частоты, действующее в цепи экранирующей сетки.

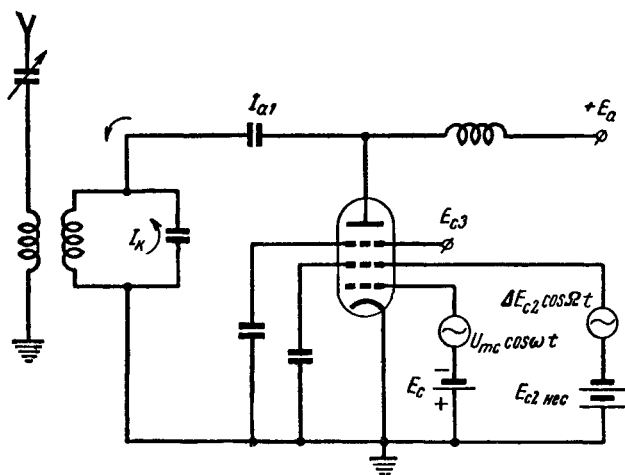


Рис. 3-8. Принципиальная схема модуляции на экранирующую сетку.

С изменением его происходит перемещение динамических характеристик. Поэтому соответственно изменяются амплитуды импульсов анодного тока в течение звукового периода (рис. 3-9). Модуляционная характеристика получается достаточно линейной (рис. 3-10). Ее линейность позволяет находить напряжение экранирующей сетки в режиме несущей волны по формуле $E_{c2\text{нес}} \approx \frac{E_{c2\text{макс}}}{1+m}$. Амплитуда звукового напряжения в цепи экранирующей сетки окажется равной $\Delta E_{c2} = E_{c2\text{макс}} - E_{c2\text{нес}}$. Расчет модуляции ведется, исходя из максимального режима в предположении $P_{\text{макс}} = P_N$.

Для получения неискаженной модуляции не следует выбирать коэффициент модуляции больше 0,7—0,8.

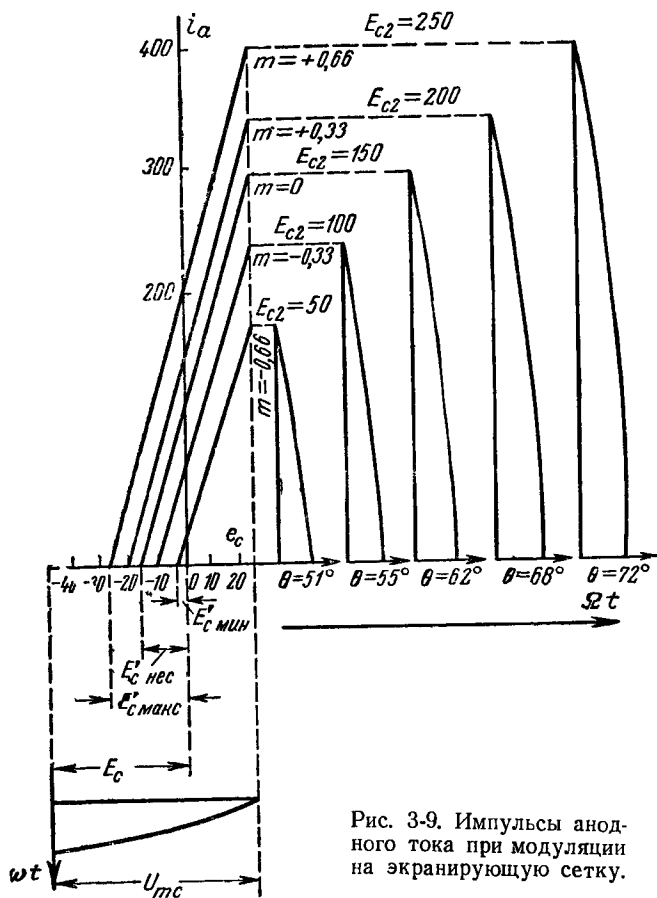


Рис. 3-9. Импульсы анодного тока при модуляции на экранирующую сетку.

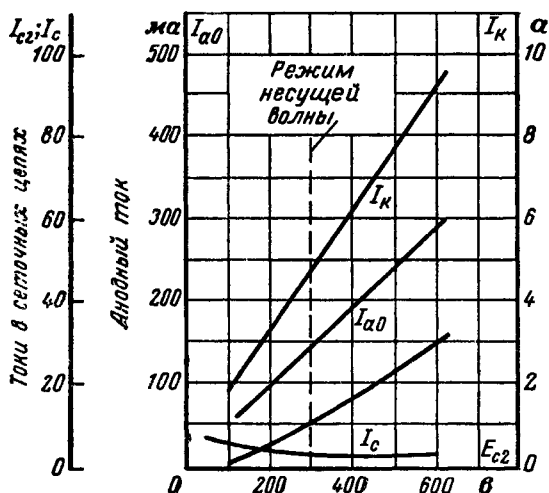


Рис. 3-10. Модуляция на экранирующую сетку в пентоде 6К-71.

3-7. АНОДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Существует ошибочное утверждение, что анодная модуляция осуществима лишь в перенапряженном режиме, при работе лампы искаженными импульсами анодного тока. Типовые эксплуатационные режимы многих мощных триодов с вольфрамовым катодом (например, триоды ГУ-12А, 891, ГУ-89А и др.) показывают, что для этих ламп в условиях несущей волны имеет место пограничный режим. В общем же случае линейные модуляционные характеристики при анодной модуляции можно получить при работе ламп как в недонапряженном (рис. 3-11), так и в перенапряженном (рис. 3-12) режимах. Возможность применения недонапряженного режима имеет существенное значение для многих УКВ триодов с относительно небольшой допустимой мощностью рассеяния на сетке.

На рис. 3-13 показаны импульсы анодного тока, соответствующие опытным режимам несущей волны некоторых мощных триодов. Для коротковолновых триодов преимущественно наблюдаются неискаженные импульсы анодного тока. Режимы триодов описаны в табл. 3-3.

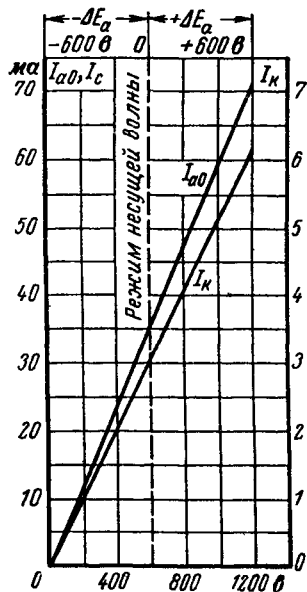


Рис. 3-11. Анодная модуляция в генераторном триоде.

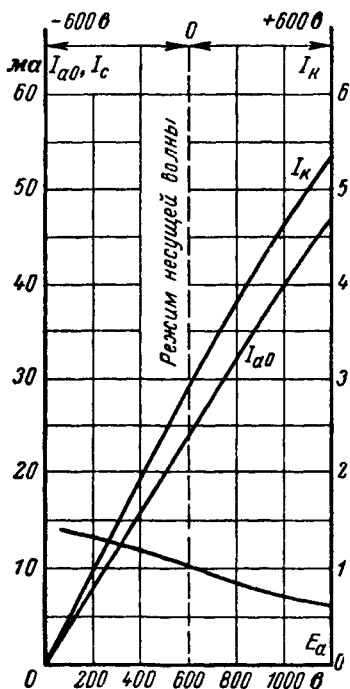


Рис. 3-12. Анодная модуляция в триоде 6К-20.

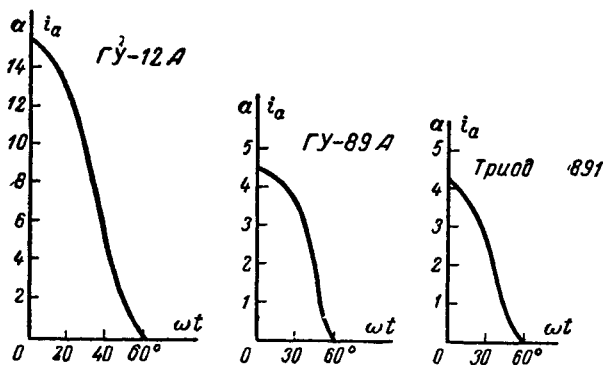


Рис. 3-13. Импульсы анодного тока некоторых триодов, справедливые для режима несущей волны при анодной модуляции.

Таблица 3-3

Тип триода	$E_a, \text{кв}$	$-E_c, \text{кв}$	$U_{mc}, \text{кв}$	$U_{ma}, \text{кв}$
ГУ-12А	7,5	1	1,55	6,75
ГУ-89А	6	0,9	1,42	4,6
Г-891	8	2,4	3,1	7,1

В ДЦВ триодах анодная модуляция обычно происходит в недонапряженном режиме. Так, например, в американском триоде 6383 при работе на частоте 1000 Мгц справедливы токи $I_{a0}=335 \text{ ма}$, $I_c=15 \text{ ма}$. Соотношение этих токов свидетельствует о неискаженной форме импульса.

Для генераторных ламп, выпускаемых электровакуумной промышленностью Германской Демократической Республики и ФРГ, характерно их использование при анодной модуляции, в недонапряженном режиме. Отмечаем наличие неискаженных импульсов анодного тока во всех точках модуляционной характеристики.

Часто в режиме несущей волны выбирают ток, который составит 0,8—0,9 от анодного тока при телеграфной работе. Если выбрано одинаковое анодное напряжение, то в условиях несущей волны получают полезную мощность, почти одинаковую с полезной мощностью при телеграфной работе. Так, например, для лампы ТВ 4/1250 (ГДР) при $E_a=3000 \text{ в}$ имеет место полезная мощность в телеграфном режиме 1175 вт при соотношении сеточного и анодного токов 0,215; при анодной модуляции в условиях несущей волны это соотношение равно 0,185, причем полезная мощность составит 1050 вт.

Для получения линейной анодной модуляции в недонапряженном режиме необходимо применять комбинированное смещение в цепи сетки. Тогда результирующее смещение создается частично за счет напряжения постоянного источника и частично за счет падения напряжения на сопротивлении, по которому проходит сеточ-

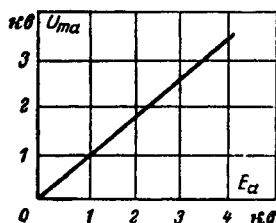


Рис. 3-14. Модуляционная характеристика триода 304-TL при анодной модуляции.

В табл. 3-4 проведено сравнение телеграфного режима и режима несущей волны при анодной модуляции для некоторых триодов; эти триоды работают при анодной модуляции неискаженными импульсами тока.

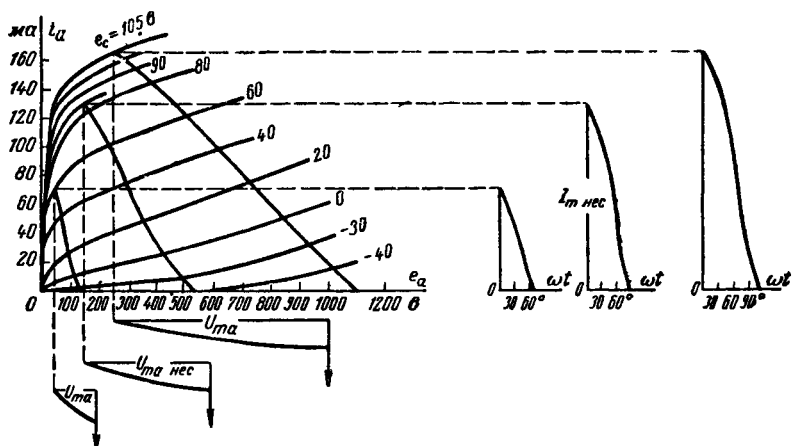


Рис. 3-16. Анодная модуляция в генераторном триоде.

При анодной модуляции возрастает опасность межэлектродного электрического пробоя в лампе и иногда необходимо понижать анодное напряжение, выбирая его в пределах $E_{a, \text{нес}} = (0,7-0,8) E_a$. Следовательно, напряжение $E_{a, \text{нес}}$ становится основной предельной величиной.

Таблица 3-4

Величины	Телеграфный режим			Режим несущей волны при анодной модуляции			
	ГУ-89 А	891	ГУ-12 А	ГУ-89 А			1 У-12 А
				1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	
$E_a, \text{ в}$	7 500	10 000	10 000	6 000	8 000	10 000	7 500
$I_{a0}, \text{ ма}$	2 000	14 000	6 000	1 000	780	3 600	3 000
$I_c, \text{ ма}$	240	110	500	100	80	500	300
$I_a/I_{a0}, \%$	12	7,9	8,3	10	10,2	14	10
$P, \text{ вт}$	10 000	10 000	45 000	4 000	5 000	28 000	16 000
$P_{\text{возб}}, \text{ вт}$	400	310	750	140	260	880	460
A	25	32,3	60	28,6	12,2	32	35

Для мощных триодов в режиме несущей волны получают следующие пределы анодного тока: $I_{a0 \text{ нес}} = (0,5—0,8) I_{a0}$, где I_{a0} обозначает ток при телеграфной работе. Увеличенное использование по току характерно для триодов, имеющих катод из карбидированного торированного вольфрама.

При наличии пониженного на 20—30% анодного напряжения мощность в режиме несущей волны оказывается равной

$$P_{\text{нес}} \approx (0,45—0,6) P_{a\lambda}. \quad (3-41)$$

Возможны три варианта расчета режима анодной модуляции в предположении коэффициента модуляции $m = 0,9—1$.

В первом случае полагают, что модуляция происходит в перенапряженном режиме и лампа в условиях несущей волны работает искаженным импульсом анодного тока, имеющим значительную впадину. Полагают, что в максимальной точке имеет место критический режим, для которого находят все расчетные величины. Данные режима несущей волны получают в предположении линейности модуляционной характеристики. Очевидно, что в этом случае $U_{\text{та.нес}} = \frac{U_{\text{та.макс}}}{1+m}$. Зная остаточное анодное напряжение $e_{a.\text{нес}} = E_a - U_{\text{та.нес}}$ и сеточное напряжение $e_c = E_c + U_{\text{мс}}$, производят расчет импульса сеточного тока и проверяют отсутствие тепловой перегрузки сетки.

Во втором случае в основу расчета перенапряженно-го режима положены величины E_a и P_0 , рекомендуемые ламповым заводом.

Наиболее несложным явится третий вариант расчета, когда лампа работает неискаженными импульсами анодного тока. Выбирают в условиях несущей волны приближенно критический режим. Зная величины $E_{a.\text{нес}}$ и $P_{\text{нес}}$, производят расчет, аналогичный расчету для случая телеграфной работы.

3-8. АНОДНО-ЭКРАННАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Анодно-экранная модуляция часто применяется в подвижных передатчиках, работающих на пентодах и лучевых тетрадах при мощности лампы выходного каскада

в пределах от 1 до 100 вт. Для этой модуляции справедливы энергетические соотношения, имеющие место при модуляции на анод триодов. Экранирующая сетка питается через сопротивление R_{c2} , управляющая с помощью сопротивления R_c (рис. 3-17). Таким образом, при этой модуляции происходит изменение анодного на-

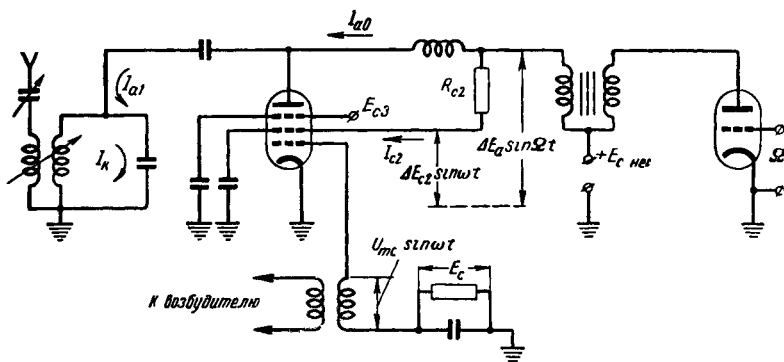


Рис. 3-17. Схема анодно-экранной модуляции, в которой питание экранирующей сетки осуществляется через сопротивление.

пряжения, напряжения экранирующей сетки и напряжения смещения.

Анодно-экранная модуляция в средневолновых и коротковолновых пентодах происходит при наличии неискаженных импульсов анодного тока (рис. 3-18). В некоторых двойных УКВ тетрадах эта модуляция происходит в перенапряженном режиме.

Расчет режима анодно-экранной модуляции ведется аналогично расчету режима анодной модуляции в случае работы неискаженными импульсами анодного тока. Так как в режиме несущей волны выбирается пониженное напряжение экранирующей сетки, то крутизна линии критического режима S_K и обычная крутизна S будут меньше приблизительно в $E_{c2N}/E_{c2нес}$ раз.

Заметим, что при анодной модуляции в мощных триодах происходит почти двойное увеличение сопротивления R_{0e} , что ведет к возрастанию потерь в ламповой конструкции, которые можно не учитывать при телеграфной работе. В среднемощных и маломощных пентодах R_{0e} при анодно-экранной модуляции может оказаться не намного большим, чем для телеграфной работы.

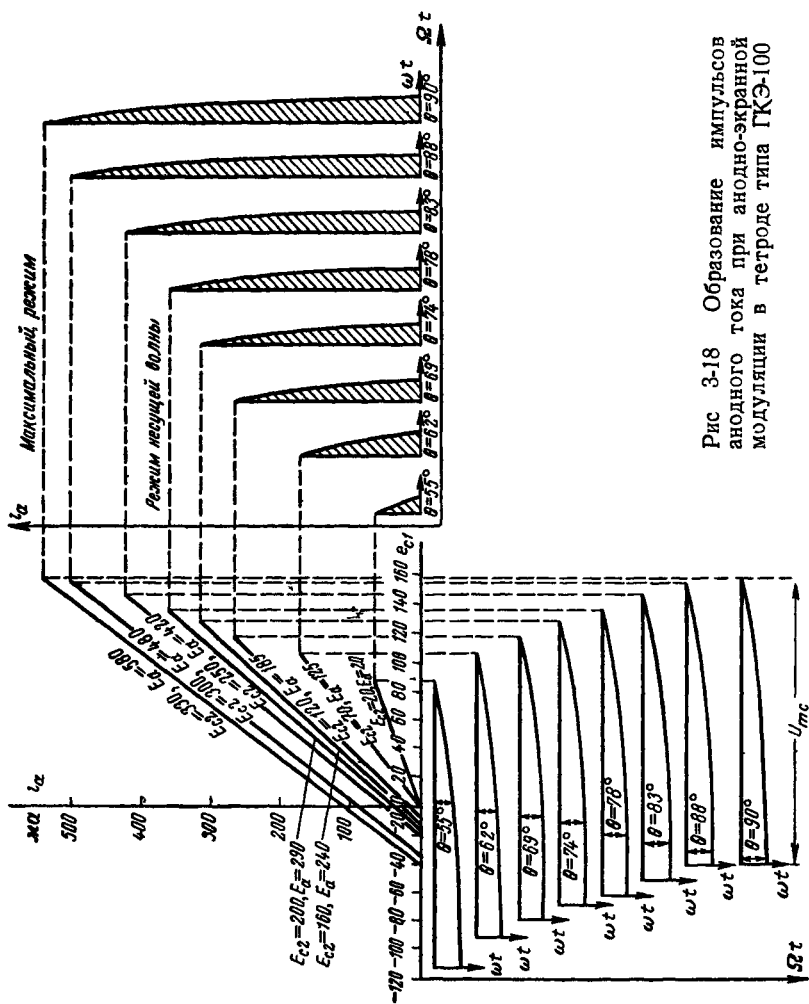


Рис 3-18 Образование импульсов
анодного тока при анодно-экранной
модуляции в тетроде типа 6КЭ-100

Помимо перечисленных способов модуляции, являющихся основными, существуют многие способы комбинированной модуляции. Представляет интерес анодно-сеточная (автоанодная) модуляция, внедренная в 1943 г. Н. Г. Кругловым на мощном отечественном передатчике. В настоящее время анодно-сеточная модуляция применяется и в зарубежных передатчиках¹. Мы считаем более правильным название «анодно-сеточная модуляция» по следующим соображениям. Основной особенностью схемы является периодическое изменение напряжения звуковой частоты в анодной цепи, вызываемое действием анодного дросселя, что происходит аналогично схеме с анодной модуляцией. Эта особенность объясняет наличие повышенного к. п. д. Первопричиной модуляционного процесса является изменение напряжения смещения в цепи управляющей сетки и эта другая особенность схемы также должна найти свое отражение в названии.

3-9. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАБОТЫ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕГРАФНОГО РЕЖИМА

Часто возникает необходимость найти некоторые электрические данные различных видов работ по данным телеграфного режима. В табл. 3-5 приведены

¹ Советская радиотехника имеет приоритет в создании этого вида модуляции. Принцип использования индуктивного элемента в анодной цепи генератора с целью повышения его к. п. д. известен в СССР с 1939 г. [Л. 3]. Первоначальные рекомендации этого принципа относились к диапазонным подвижным передатчикам, имеющим ограниченную мощность источников питания. Энергетические соотношения в такой схеме рассматривались автором с точки зрения возможности получить при 100-процентной сеточной модуляции смещением неискаженную мощность в модуляционном пике, имея источник анодного питания, рассчитанный лишь на питание лампы в режиме несущей волны. Оказалось, что увеличение среднего анодного тока может быть порядка 7% при почти двойном возрастании к. п. д. Роль индуктивного элемента анодной цепи играл фильтр, предназначенный для сглаживания пульсаций напряжения, подаваемого от умформера РУН-30 к аноду пентода Г-418, являвшегося выходной лампой подвижного передатчика для МТС. Пентод Г-418 был разработан в 1937 г. конструктором завода «Светлана» Г. Шустиним. Описанная автором идея использования реактивной энергии, периодически накапливающейся в анодной цепи, впоследствии нашла подтверждение в схеме Н. Г. Круглова.

коэффициенты пересчета, позволяющие найти необходимые электрические величины.

Т а б л и ц а 3-5

Вид работы	E_a	I_{a0}	I_c	P_0	P_a	P_{c2}
Телеграфия, класс С	1	1	1	1	1	1
Анодная модуляция в лампе с карбидированным катодом	0,8	0,833	1	0,67	0,67	0,67
Анодная модуляция в лампе с вольфрамовым катодом	0,8	0,5	1	0,4	0,4	0,4
НЧ усиление класса В в лампе с карбидированным катодом	1	0,833	1	0,833	1	0,67
НЧ усиление класса В в лампе с вольфрамовым катодом	1	0,5	1	0,5	1	5
НЧ усиление класса АВ . .	1	1	1	1	1	1
НЧ усиление класса А . .	1	1	—	P_{aN}	1	1
Автогенератор на лампе с карбидированным катодом	1,13	0,53	0,53	0,665	1	—
Автогенератор на лампе с вольфрамовым катодом . .	1,13	0,32	0,32	0,4	1	—
Двухтактный автогенератор на лампе с карбидированным катодом . . .	0,9	0,89	0,89	1	1	—
Двухтактный автогенератор на лампе с вольфрамовым катодом	0,9	0,6	0,6	1	1	—

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

РАСЧЕТЫ РАДИОТЕЛЕФОННЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

4-1. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ РАДИОТЕЛЕФОННЫХ РЕЖИМОВ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

Ниже приведен ряд примеров расчетов телефонных режимов современных генераторных ламп. Даны различные варианты расчетов в зависимости от заданных первоначальных условий для различных способов модуляции.

В приведенных расчетах даны сравнения полученных результатов с данными, рекомендуемыми заводами.

Пример 1. Произвести расчет режима сеточной модуляции изменением смещения для пентода ГУ-81, считая коэффициент модуляции $m=1$. Дано: $E_a=2500$ в, $E_{c2}=600$ в, $E_{c3}=0$, $P_{aV}=450$ вт, $E'_c=-150$ в, $S_K=4$ ма/в. Характеристики показаны на рис. 2-11—2-15.

Решение. 1. Полагаем $P_{\text{макс}} = 2P_{aV} = 2450 = 900$ вт.

$$2. \xi_{\text{макс}} = 1 - \frac{2P_{\text{макс}}}{\alpha_{1\text{макс}} S_K E_a^2} = 1 - \frac{2900}{0,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 2500^2} = 0,856.$$

$$3. \xi_{\text{нес}} = \frac{\xi_{\text{макс}}}{1+m} = \frac{0,856}{1+1} = 0,428.$$

$$4. U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,428 \cdot 2500 = 1070 \text{ в.}$$

$$5. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{900}{(1+1)^2} = 225 \text{ вт.}$$

$$6. I_{a1\text{нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{\text{та.нес}}} = \frac{2 \cdot 225}{1070} = 0,42 \text{ а} = 420 \text{ ма.}$$

$$7. \text{Полагаем } \theta_{\text{нес}} = 60^\circ. \text{ Из табл. П-1 находим: } \gamma = 1,79; \beta = 0,195; \cos \theta = 0,5.$$

$$8. I_{a0\text{нес}} = \frac{I_{a1\text{нес}}}{\gamma_{\text{нес}}} = \frac{420}{1,79} = 235 \text{ ма.}$$

$$9. P_{\text{онес}} = I_{\text{аонес}} E_a = 0,235 \cdot 2500 = 587 \text{ вт.}$$

$$10. P_{\text{а.нес}} = P_{\text{онес}} - P_{\text{нес}} = 587 - 225 = 362 \text{ вт.}$$

$$11. \eta_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{нес}}}{P_{\text{онес}}} = \frac{225}{587} = 0,384.$$

$$12. R_{\text{ое}} = \frac{U_{\text{та нес}}}{I_{\text{а1нес}}} = \frac{1070}{0,42} = 2550 \text{ ом.}$$

13. Для анодного напряжения

$$e_a = E_a - U_{\text{та}} = 2500 - 1070 = 1430 \text{ в.}$$

находим из графика на рис. 2-11 значение $S \approx 7,7 \text{ ма/в}$

$$14. U_{\text{мс}} = \frac{I_{\text{а1нес}}}{S \beta_{\text{нес}}} = \frac{420}{7,7 \cdot 0,195} = 279 \text{ в.}$$

$$15. E_c = E'_c - U_{\text{мс}} \cos \theta_{\text{нес}} = -150 - 270 \cdot 0,5 = -290 \text{ в.}$$

$$16. \Delta E_c = U_{\text{мс}} (1 - \cos \theta_{\text{нес}}) = 279 (1 - 0,5) = 140 \text{ в.}$$

Сравним расчетные данные с данными опытного режима несущей волны (рис. 4-1), рекомендуемого электровакуумным заводом.

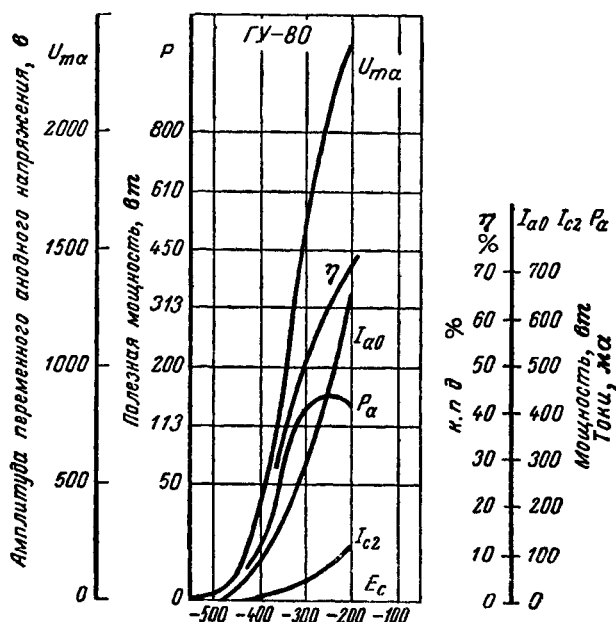


Рис. 4-1 Сеточная модуляция смещением в пентоде ГУ-80.

Таблица 4-1

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$\Delta E_{c2}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$R_{0e}, \text{ ом}$
Опытные . . .	240	2 500	600	305	280	105	240	2 500
Расчетные . .	225	2 500	600	290	279	140	235	2 550

Пример 2. Произвести расчет режима при модуляции на защитную сетку в пентоде ГУ-80, считая коэффициент модуляции $m=1$. Дано: $E_a=2\,500 \text{ в}$, $E_{c2}=500 \text{ в}$, $E_{c3}=0$, $E'_c \approx -150 \text{ в}$, $P_{aN}=450 \text{ вт}$, $S_K=5 \text{ ма/в}$, $\mu_3=7$. Характеристики показаны на рис. 2-11—2-15.

Решение. 1. Полагаем $P_{\text{макс}} = 2P_{aN} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ вт}$.

2. Считаем в максимальном режиме $\theta = 85^\circ$. Из табл. П-1 находим: $\cos \theta = 0,087$, $\beta = 0,446$; $\gamma = 1,611$; $\alpha_1 = 0,488$.

$$3. \xi_{\text{макс}} = 1 - \frac{2P_{\text{макс}}}{S_K \alpha_1 E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 900}{5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,488 \cdot 2\,500^2} \approx 0,882.$$

$$4. U_{\text{та макс}} = \xi_{\text{макс}} E_a = 0,882 \cdot 2\,500 = 2\,200 \text{ в}.$$

$$5. I_{a1\text{макс}} = \frac{2P_{\text{макс}}}{U_{\text{та макс}}} = \frac{2\,900}{2\,200} = 0,818 \text{ а} = 818 \text{ ма}.$$

$$6. I_{a0\text{макс}} = \frac{I_{a1\text{макс}}}{\gamma_{\text{макс}}} = \frac{818}{1,611} = 508 \text{ ма}.$$

7. Из графика на рис. 2-11 для анодного напряжения

$$e_a = E_a - U_{\text{та макс}} = 2\,500 - 2\,200 = 300 \text{ в}$$

находим $S \approx 6,1 \text{ ма/в}$.

$$8. U_{mc} = \frac{I_{a1\text{макс}}}{S\beta_{\text{макс}}} = \frac{818}{6,1 \cdot 0,44} \approx 300 \text{ в}.$$

$$9. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta_{\text{макс}} = -150 - 300 \cdot 0,087 = -176 \text{ в}.$$

$$10. R_{0e} = \frac{U_{\text{та макс}}}{I_{a1\text{макс}}} = \frac{2\,200}{0,818} = 2\,690 \text{ ом}.$$

Определим величины, относящиеся к режиму несущей волны.

$$11. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{900}{(1+1)^2} = 225 \text{ вт}.$$

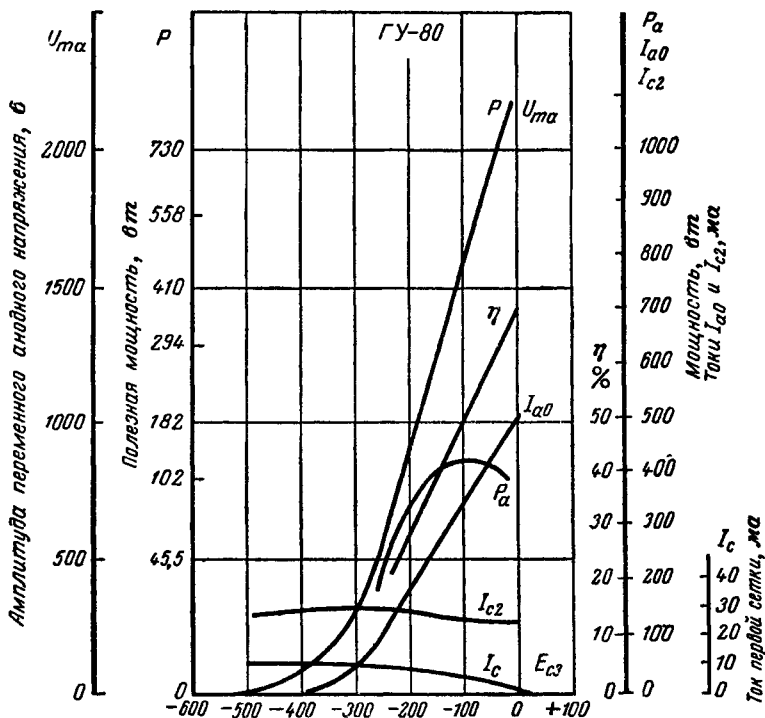


Рис. 4-2. Модуляция на защитную сетку в пентоде ГУ-80.

$$12. I_{a0\text{нес}} = \frac{I_{a0\text{макс}}}{1+m} = \frac{508}{1+1} = 254 \text{ ма.}$$

$$13. P_{\text{нес}} = I_{a0} E_a = 0,254 \cdot 2500 = 635 \text{ вт.}$$

$$14. P_{a.\text{нес}} = P_{\text{нес}} - P_{\text{нес}} = 635 - 225 = 410 \text{ вт.}$$

$$15. \eta = \frac{P_{\text{нес}}}{P_{\text{нес}}} = \frac{225}{635} = 0,355.$$

$$16. E_{c3\text{мин}} = -\frac{E_a}{\mu_3} = -\frac{2500}{7} = -357 \text{ в.}$$

$$17. \Delta E_{c3} = \frac{|E_{c3\text{мин}}|}{2} = \frac{357}{2} = 174 \text{ в.}$$

$$18. E_{c3\text{нес}} = \frac{E_{c3\text{макс}}}{2} - \Delta E_{c3} = 0 - 174 = 174 \text{ в.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными режима несущей волны (рис. 4-2), рекомендуемого электровакуумным заводом для $m=1$.

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E_{c3}, \text{ в}$	$\Delta E_{c3}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{ma}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$R_{0e}, \text{ ом}$
Опытные	230	2 500	500	170	170	210	275	250	2 500
Расчетные	225	2 500	500	174	174	176	300	254	2 690

Пример 3. Произвести расчет режима анодно-экранной модуляции в пентоде ГУ-50, полагая коэффициент модуляции $m=1$. В режиме несущей волны электровакуумный завод рекомендует величины: $E_a=800 \text{ в}$, $E_{c2}=250 \text{ в}$, $I_{a0}=120 \text{ ма}$. Считать $P_{aN}=40 \text{ вт}$, $S_K=5 \text{ ма/в}$, $E'_c \approx -40 \text{ в}$.

При работе на волне $\lambda=12 \text{ м}$ справедлив коэффициент $k_f = \frac{P_{\text{вых}}}{P} = 0,89$. Характеристики показаны на рис. 1-9, и 1-30.

Решение. 1. Полагаем в режиме несущей волны $I_{a0}=120 \text{ ма}$, т. е. равным току при телеграфной работе.

2. Считаем, что в режиме несущей волны имеет место плоский импульс анодного тока, для которого $\theta=60^\circ$ и $\theta'=15^\circ$. Из табл. П-1, П-2, П-3, П-4 находим: $\cos \theta=0,5$; $\cos \theta'=0,966$; $\alpha_1=0,412$; $\gamma=1,79$.

$$3. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,79 \cdot 120 = 214 \text{ ма.}$$

$$4. \xi = 1 - \frac{I_{a1}}{\alpha_1 S_K E_a} = 1 - \frac{214}{0,412 \cdot 5 \cdot 800} = 0,87.$$

$$5. U_{ma} = \xi E_a = 0,87 \cdot 800 = 696 \text{ в.}$$

$$6. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 0,214 \cdot 696 = 74,5 \text{ вт.}$$

$$7. P_{\text{вых}} = k_f P = 0,89 \cdot 74,5 = 66,4 \text{ вт.}$$

$$8. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{k_f I_{a1}} = \frac{696}{0,89 \cdot 0,214} = 3650 \text{ ом.}$$

$$9. P_0 = I_{a0} E_a = 0,12 \cdot 800 = 96 \text{ вт.}$$

$$10. P_T = P_0 - P_{\text{вых}} = 96 - 66,4 = 29,6 \text{ вт.}$$

$$11. \eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0} = \frac{66,4}{96} = 0,692.$$

12. Для анодного напряжения

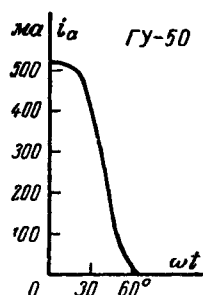
$$e_a = E_a - U_{ma} = 800 - 696 = 104 \text{ в.}$$

Находим из рис 1-9 значение $S=6,5 \text{ ма/в.}$

$$13. U_{ma} = \frac{I_{a1}}{S_{a1}(\cos \theta' - \cos \theta)} = \frac{214}{6,5 \cdot 0,412 \cdot (0,966 - 0,5)} = 172 \text{ в.}$$

$$14. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -40 - 172 \cdot 0,5 = -126 \text{ в.}$$

Рис. 4-3. Импульс анодного тока пентода ГУ-50 при анодно-экранной модуляции $E_a = 800 \text{ в}$, $E_{c2} = 250 \text{ в}$, $E_c = -130 \text{ в}$, $U_{mc} = 160 \text{ в}$, $U_{ma} = 700 \text{ в}$.



Сравним расчетные величины с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом в типовом режиме несущей волны при $m=1$. На рис. 4-3 показан импульс анодного тока, соответствующий импульсу, наблюдаемому в типовом режиме.

Таблица 4-3

Данные	$P, \text{ вт}$	$P_{\text{вых}}, \text{ вт}$	$E_{a1}, \text{ в}$	$E_{a2}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ ма}$	$P_{0e}, \text{ ом}$
Опытные . . .	—	70	800	250	130	160	120	3 100
Расчетные . .	74,5	66,4	800	250	126	172	120	3 650

Пример 4. Произвести расчет режима анодно-экранной модуляции в пентоде ГУ-80, полагая коэффициент модуляции $m=1$. Дано для телеграфного режима: $E_{aN} = 2500 \text{ в}$, $P_N = 900 \text{ вт}$, $E_{c2N} = 600 \text{ в}$, $E'_{cN} \approx -150 \text{ в}$, $S_{кN} = 5 \text{ ма/в}$, $P_{aN} = 450 \text{ вт}$. Характеристики показаны на рис. 2-11—2-15. Проницаемость $D_2 = 0,31$.

Решение. 1. В режиме несущей волны рекомендуется иметь анодное напряжение не свыше 2000 в . Так как отношение

$$F = \frac{E_a}{E_{aN}} = \frac{2000}{2500} = 0,8,$$

ТО МОЖНО СЧИТАТЬ ПОЛЕЗНУЮ МОЩНОСТЬ В РЕЖИМЕ НЕСУЩЕЙ ВОЛНЫ

$$P_{\text{нес}} = 0,5P_N = 0,5 \cdot 900 = 450 \text{ вт.}$$

$$2. E_{c2} = FE_{c2N} = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ в.}$$

$$3. E'_c = E'_{cN} + D_2(E_{c2N} - E_{c2}) = -150 + 0,31(600 - 480) = -113 \text{ в.}$$

$$4. S_K \approx FS_{KN} = 0,8 \cdot 5 = 4 \text{ ма/в.}$$

$$5. \text{ Полагаем } \theta = 65^\circ. \text{ Из табл. П-1 находим: } \alpha_1 = 0,414; \gamma = 1,76; \beta = 0,239; \cos \theta = 0,422.$$

$$6. \xi = 1 - \frac{2P_{\text{макс}}}{\alpha_1 S_K E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 450}{0,414 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 2000^2} = 0,864.$$

$$7. U_{ma} = \xi E_a = 0,864 \cdot 2000 = 1728 \text{ в.}$$

$$8. I_{a1} = \frac{2P}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 450}{1728} = 0,522 \text{ а} = 522 \text{ ма.}$$

$$9. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{522}{1,76} = 296 \text{ ма.}$$

$$10. R_{0e} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{1728}{0,522} = 3300 \text{ ом.}$$

$$11. P_0 = I_{a0} E_a = 0,296 \cdot 2000 = 592 \text{ вт.}$$

$$12. P_a = P_0 - P = 592 - 450 = 142 \text{ вт.}$$

$$13. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{450}{592} = 0,76.$$

$$14. e_a = E_a - U_{ma} = 2000 - 1728 = 272 \text{ в.}$$

15. Из рис. 2-11 следует, что для $E_{c2} = 600 \text{ в}$ и $e_a = 272 \text{ в}$ имеет место $S \approx 5,8 \text{ ма/в}$. При пониженном E_{c2} получим:

$$S_{\text{нес}} \approx FS = 0,8 \cdot 5,8 = 4,65 \text{ ма/в.}$$

$$16. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S_{\text{нес}} \beta} = \frac{522}{4,65 \cdot 0,239} = 470 \text{ в.}$$

$$17. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -113 - 470 \cdot 0,422 = -311 \text{ в.}$$

Сравним расчетные величины с опытными данными режима несущей волны, рекомендуемого электровакуумным заводом при коэффициенте модуляции $m = 1$.

Данные	$P, \text{вт}$	$E_a, \text{в}$	$E_{c2}, \text{в}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{ма}$	$R_{ge}, \text{ом}$
Опытные	400	2 000	400	300	470	300	4 300
Расчетные	450	2 000	480	311	470	296	3 300

Пример 5. Произвести расчет режима анодно-экранной модуляции при $m=1$ для УКВ тетрода ГУ-27Б, работающего в перенапряженном режиме. Дано: $E_a = 3000 \text{ в}$, $E_{c2} = 750 \text{ в}$. $P_{\text{опред}} = 1200 \text{ вт}$. Считать $P_{aN} = 800 \text{ вт}$, $S_k \approx 5,5 \text{ ма/в}$, $E'_c = -25 \text{ в}$, $k_f = \frac{P_{\text{вых}}}{P} = 0,85$.

Характеристики показаны на рис. 2-49 и 2-50.

Решение. 1. Полагаем:

$$P_0 = P_{0 \text{ пред}} = 1200 \text{ вт}, E_a = 3000 \text{ в}, E_{c2} = 600 \text{ в}.$$

$$2. I_{a0} = \frac{P_0}{E_a} = \frac{1200}{3000} = 0,4 \text{ а} = 400 \text{ ма}.$$

3. Полагаем, что лампа работает импульсом анодного тока со впадиной, для которого можно считать $\theta = 60^\circ$, $\theta' = 30^\circ$, $n = \frac{2}{3}$. Из табл. П-1 находим: $\cos \theta = 0,5$; $\cos \theta' = 0,866$.

Согласно табл. П-3 рассчитываем:

$$\alpha_0 = \alpha_{0 \text{ пл}} - \frac{2}{3} \alpha_{0 \text{ кос}} = 0,257 - \frac{2}{3} 0,11 = 0,184.$$

Согласно рис. 1-20 находим $\gamma \approx 1,75$.

$$4. I_m = \frac{I_{a0}}{\alpha_0} = \frac{0,4}{0,184} = 2,17 \text{ а}.$$

$$5. I_{a1} = \gamma I_{a0} = 1,75 \cdot 400 = 700 \text{ ма}.$$

$$6. U_{ma} = E_a - 0,33 \frac{I_m}{S_k} = 3000 - 0,333 \frac{2170}{5,5} \approx 2870 \text{ в}.$$

$$7. P = 0,5 I_{a1} U_{ma} = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 2870 = 1000 \text{ вт}.$$

$$8. P_{\text{вых}} = k_f P = 0,85 P = 0,85 \cdot 1000 = 850 \text{ вт}.$$

$$9. P_T = P_0 - P_{\text{вых}} = 1200 - 850 = 350 \text{ вт}.$$

$$10. R_{0c} = \frac{U_{ma}}{k_f I_{a1}} = \frac{2870}{0,85 \cdot 0,7} = 4830 \text{ ом.}$$

$$11. \eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0} = \frac{850}{1200} = 0,708.$$

12. По графику на рис. 2-49 считаем $S = 9 \text{ ма/в.}$ Находим:

$$U_{mc} = \frac{I_m}{S (\cos \theta' - \cos \theta)} = \frac{2170}{9 (0,866 - 0,5)} = 658 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c - U_{mc} \cos \theta = -25 - 658 \cdot 0,5 = -354 \text{ в.}$$

Сравним расчетные величины с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом в типовом режиме несущей волны при $m=1$, и с результатами графоаналитического исследования. На рис. 4-4 показан импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании.

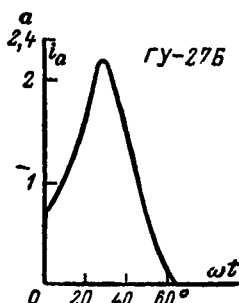


Рис 4-4. Импульс анодного тока пентода ГУ-27Б при анодно-экранной модуляции.

$$E_a = 3 \text{ кв, } U_{ma} = 2,9 \text{ кв, } E_{c2} = 750 \text{ в,} \\ E_c = -300 \text{ в, } U_{mc} = 600 \text{ в.}$$

Таблица 4-5

Данные	$P, \text{вт}$	$P_{\text{вых}}, \text{вт}$	$E_a, \text{в}$	$E_{c2}, \text{в}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{mc}, \text{в}$	$U_{ma}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{ма}$
Опытные	—	825	3 000	750	325	600	—	400
Расчетные	1 000	850	3 000	750	354	658	2 870	400
Результаты графоаналитического исследования	1 100	—	3 000	750	325	600	2 800	426

Пример 6. Произвести расчет режима анодной модуляции (при недонапряженном режиме генератора) для мощного триода ГУ-12А, полагая коэффициент модуляции $m=1$. Известно, что при использовании этой лампы в телеграфном режиме для $E_a=10 \text{ кв}$ получают полезную мощность $P_N \approx 40 \text{ квт.}$ Для этого триода допустимо

применение указанного E_a при модуляции на анод. В целях большей безопасности работы несколько понижаем анодное напряжение. Дано: $S_K=19 \text{ ма/в}$, $\mu=20$. Характеристики показаны на рис. 1-4, 2-31 и 2-32.

Решение. 1. Полагаем в режиме несущей волны

$$E_a = 0,75E_{aN} = 0,75 \cdot 10 = 7,5 \text{ кв.}$$

Согласно анодно-сеточным характеристикам (рис. 2-31) для $E_a = 7,5 \text{ кв}$ можно считать $E'_a \approx -300 \text{ в}$.

2. Считаем в режиме несущей волны

$$P_{\text{нес}} = 0,45P_N = 0,45 \cdot 40 = 18 \text{ квт.}$$

3. Полагаем, что лампа работает косинусоидальным импульсом анодного тока. Выбираем $\theta = 65^\circ$. Из табл. П-1 находим: $\alpha_1 = 0,414$; $\gamma = 1,76$; $\cos \theta = 0,422$; $\beta = 0,239$.

$$4. \xi = 1 - \frac{2P_{\text{нес}}}{\alpha_1 S_K E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 18 \cdot 000}{0,414 \cdot 19 \cdot 7500^2} = 0,921.$$

Полагаем $\xi = 0,88$.

$$5. U_{ma} = \xi E_a = 0,88 \cdot 7,5 = 6,6 \text{ кв.}$$

$$6. I_{a1} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{ma}} = \frac{2 \cdot 18}{6,6} = 5,46 \text{ а.}$$

$$7. I_{a0} = \frac{I_{a1}}{\gamma} = \frac{5,46}{1,76} = 3,1 \text{ а.}$$

$$8. P_0 = I_{a0} E_a = 3,1 \cdot 7,5 = 23,2 \text{ квт.}$$

$$9. P_a = P_0 - P = 23,2 - 18 = 5,2 \text{ квт.}$$

$$10. \eta = \frac{P}{P_0} = \frac{18}{23,2} = 0,776.$$

$$11. R_{0c} = \frac{U_{ma}}{I_{a1}} = \frac{6 \cdot 600}{5,46} = 1 \cdot 210 \text{ ом.}$$

12. По импульсу анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{5,46}{0,414} = 13,2 \text{ а}$$

и анодному напряжению

$$e_{a.\text{мин}} = E_a - U_{ma} = 7,5 - 6,6 = 0,9 \text{ кв}$$

находим из характеристик (рис. 1-6) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{13200 - 1900}{800 - 100} = 17,5 \text{ ма/в.}$$

$$13. U_{mc} = \frac{I_{a1}}{S\beta} + DU_{ma} = \frac{5460}{17,5 \cdot 0,239} +$$

$$+ 0,05 \cdot 6600 = 1635 \text{ в.}$$

$$14. E_c = E_c' - U_{mc} \cos \theta = -300 - 1635 \cdot 0,422 = -890 \text{ в.}$$

$$15. \cos \theta_c = -\frac{E_c}{U_{mc}} = \frac{890}{1635} = 0,543;$$

$$\theta_c \approx 57^\circ; \alpha_{c0} = 0,207.$$

16. Для напряжений $e_{a.\text{мин}} = 0,9 \text{ кв}$ и

$$e_{c.\text{макс}} = E_c + U_{mc} = -890 + 1635 = 745 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-32) импульс сеточного тока $I_{mc} = 7 \text{ а.}$

$$17. I_c \approx 0,8\alpha_{c0}I_{mc} = 0,8 \cdot 0,207 \cdot 7 = 1,16 \text{ а.}$$

$$18. P_{\text{возб}} \approx I_c U_{mc} = 1,16 \cdot 1,635 = 1,9 \text{ квт.}$$

$$19. P_c = P_{\text{возб}} - |I_c U_{mc}| = 1,9 - 0,116 \cdot 0,890 =$$

$$= 0,87 \text{ квт.}$$

$$20. R_c = \frac{|E_c|}{I_c} = \frac{890}{1,16} \approx 766 \text{ ом.}$$

Сравним результаты расчета с опытными данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом для режима несущей волны при $m=1$ в первом варианте лампы.

Т а б л и ц а 4-6

Данные	$P, \text{ квт}$	$E_a, \text{ кв}$	$-E_c, \text{ кв}$	$U_{mc}, \text{ кв}$	$I_{a0}, \text{ а}$
Опытные	16	7,5	1	1,55	3
Расчетные	18	7,5	0,89	1,635	3,1

Пример 7. Произвести расчет режима усиления модулированных колебаний для пентода ГУ-80, работающего в классе В с коэффициентом модуляции $m=1$. Дано: $E_a=2500 \text{ в}$, $E_{c2}=600 \text{ в}$, $E_{c3}=0$, $P_{aN}=450 \text{ вт}$, $E_c' \approx \approx -150 \text{ в}$, $S_K=4 \text{ ма/в}$. Характеристики показаны на рис. 2-11—2-15.

Решение. 1. Полагаем $P_{\text{макс}} = 2P_{\text{аН}} = 2 \cdot 450 = 900 \text{ вт.}$

$$2. \xi_{\text{макс}} = 1 - \frac{2P_{\text{макс}}}{\alpha_{1\text{макс}} S_R E_a^2} = 1 - \frac{2 \cdot 900}{0,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 2500^2} = 0,856.$$

$$3. \xi_{\text{нес}} = \frac{\xi_{\text{макс}}}{1+m} = \frac{0,856}{1+1} = 0,428.$$

$$4. U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,428 \cdot 2500 = 1070 \text{ в.}$$

$$5. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{900}{(1+1)^2} = 225 \text{ вт.}$$

$$6. I_{\text{а1.нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{\text{та.нес}}} = \frac{2 \cdot 225}{1070} = 0,42 \text{ а} = 420 \text{ ма.}$$

$$7. I_{\text{а0.нес}} = \frac{I_{\text{а1.нес}}}{\gamma_{\text{нес}}} = \frac{420}{1,57} = 268 \text{ ма.}$$

$$8. P_{\text{0.нес}} = I_{\text{а0.нес}} E_a = 0,268 \cdot 2500 = 670 \text{ вт.}$$

$$9. P_{\text{а.нес}} = P_{\text{0.нес}} - P_{\text{нес}} = 670 - 225 = 445 \text{ вт.}$$

$$10. \eta_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{нес}}}{P_{\text{0.нес}}} = \frac{225}{670} = 0,336.$$

$$11. R_{\text{0e}} = \frac{U_{\text{та.нес}}}{I_{\text{а1.нес}}} = \frac{1070}{0,42} = 2550 \text{ ом.}$$

12. Для анодного напряжения

$$e_a = E_a - U_{\text{та}} = 2500 - 1070 = 1430 \text{ в.}$$

Находим из графика на рис. 2-11 значение $S \approx 7,7 \text{ ма/в.}$

$$13. U_{\text{мс.нес}} = \frac{I_{\text{а1.нес}}}{S\beta} = \frac{420}{7,7 \cdot 0,5} \approx 109 \text{ в.}$$

$$14. U_{\text{мс.макс}} = U_{\text{мс.нес}} (1+m) = 109 (1+1) = 218 \text{ в.}$$

$$15. E_c = E'_c = -150 \text{ в.}$$

$$16. I_{\text{а0.макс}} = I_{\text{а0.нес}} (1+m) = 268 (1+1) = 536 \text{ ма.}$$

Сравним расчетные данные с данными опытного максимального режима, рекомендуемого электровакуумным заводом (рис. 4-5).

Таблица 4-7

Данные	$P, \text{ вт}$	$E_a, \text{ в}$	$E_{c2}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{\text{мс}}, \text{ в}$	$I_{\text{а0}}, \text{ ма}$	$R_{\text{0e}}, \text{ ом}$
Опытные	900	2500	600	180	240	560	2500
Расчетные	900	2500	600	150	218	536	2720

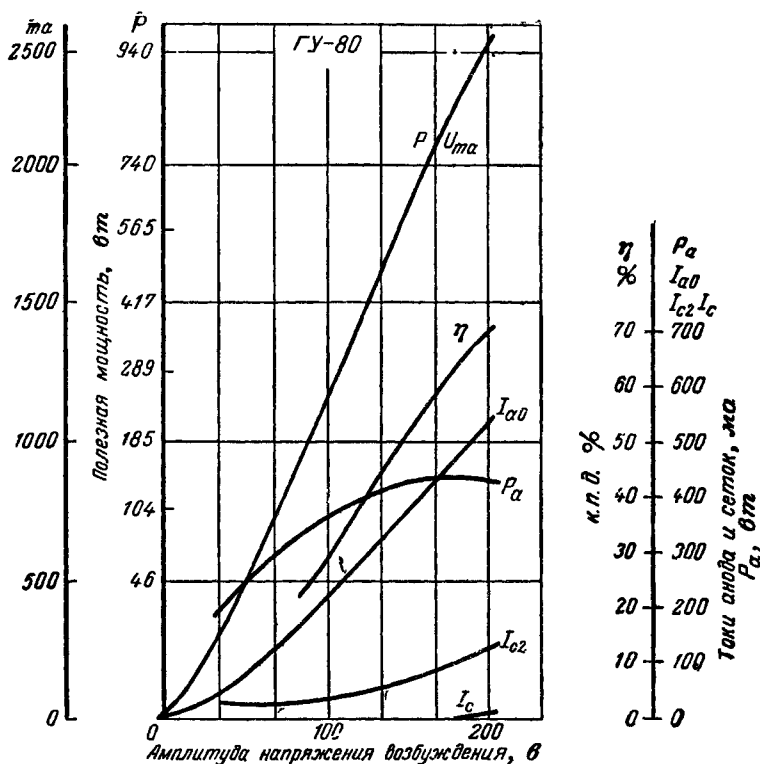


Рис. 4-5. Рекомендуемый режим для лампы ГУ-80.

Пример 8. Произвести расчет режима усиления модулированных колебаний для триода ГУ-5Б, работающего в классе В ($\beta=0,5$; $\gamma=1,57$; $\alpha_0=0,32$) с коэффициентом модуляции $m=1$. Дано: $P_N=3,5$ квт, $E_a=5$ кв, $E'_c \approx -40$ в, $P_{aN}=2,5$ квт, $P_{cN}=150$ вт, $\mu \approx 80$.

Характеристики показаны на рис. 2-23 и 2-24.

Решение. 1. Полагаем $P_{\text{макс}}=3,6$ квт, $P_{a.\text{нес}} = 0,9$, $P_{aN}=0,9 \cdot 2,5=2,25$ квт.

$$2. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{3,6}{(1+1)^2} = 0,9 \text{ квт.}$$

3. Согласно отношению

$$\frac{P_{\text{нес}}}{P_{a.\text{нес}}} = \frac{0,9}{2,25} = 0,4$$

находим из графика на рис. 1-18 значение $\eta_{\text{нес}} \approx 0,285$.

$$4. \xi_{\text{нес}} \approx \frac{2\eta}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,285}{1,57} = 0,364.$$

$$5. U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,364 \cdot 5 = 1,82 \text{ кВ.}$$

$$6. I_{a1 \text{ нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{\text{та.нес}}} = \frac{2 \cdot 0,9}{1,82} = 0,99 \text{ а.}$$

$$7. I_{a0 \text{ нес}} = \frac{I_{a1 \text{ нес}}}{\gamma} = \frac{0,99}{1,57} = 0,63 \text{ а.}$$

$$8. P_{o \text{ нес}} = I_{a0 \text{ нес}} E_a = 0,63 \cdot 5 = 3,15 \text{ кВт.}$$

$$9. R_{oe} = \frac{U_{\text{та.нес}}}{I_{a1 \text{ нес}}} = \frac{1,82}{0,99} = 1,84 \text{ ом.}$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{0,99}{0,5} = 2 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{\text{та.нес}} = 5 - 1,82 = 3,18 \text{ кВ,}$$

находим из характеристик (рис. 2-24) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{2600 - 800}{150 - 50} = 18 \text{ ма/в.}$$

$$11. U_{\text{мс.нес}} = \frac{I_{a1 \text{ нес}}}{S\beta} + DU_{\text{та.нес}} = \frac{990}{18 \cdot 0,5} + \\ + \frac{1820}{80} = 133 \text{ в.}$$

$$12. E_c' = E_c = -40 \text{ в.}$$

$$13. U_{\text{мс.макс}} = U_{\text{мс.нес}} (1 + m) = 133 (1 + 1) = 266 \text{ в.}$$

$$14. U_{\text{та.макс}} = U_{\text{та.нес}} (1 + m) = 1,82 (1 + 1) = 3,64 \text{ кВ.}$$

15. Для напряжений

$$e_a = E_a - U_{\text{та.макс}} = 5 - 3,64 = 1,36 \text{ кВ,}$$

$$e_c = E_c + U_{\text{мс.макс}} = -40 + 266 = 226 \text{ в}$$

находим из характеристик (см. рис. 2-23) импульс сеточного тока $I_{\text{мс}} \approx 1,1 \text{ а.}$

$$16. \cos \theta_c = - \frac{E_c}{U_{\text{мс.макс}}} = \frac{40}{266} = 0,15;$$

$$\theta_{c. \text{ макс}} \approx 81^\circ; \alpha_{c0} = 0,289.$$

$$17. I_{c, \text{макс}} = 0,8 I_{mc} a_{c0} = 0,8 \cdot 0,289 \cdot 1,1 = 0,254 \text{ а.}$$

$$18. P_{\text{возб. макс}} = I_{c, \text{макс}} U_{mc, \text{макс}} = 0,254 \cdot 266 = 68 \text{ вт.}$$

Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с общим катодом. Для схемы с общей сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$19. P_{\text{возб. макс}} = 0,5 I_{a1, \text{макс}} U_{та, \text{макс}} + I_{c, \text{макс}} U_{mc, \text{макс}} = 0,5 \cdot 0,99 (1 + 1) \cdot 266 + 0,254 \cdot 266 = 332 \text{ вт.}$$

$$20. R_{oe} = \frac{U_{та, \text{нес}} + U_{mc, \text{нес}}}{I_{a1, \text{нес}}} = \frac{1820 + 133}{0,99} = 1970 \text{ ом.}$$

$$21. P_{к, \text{нес}} = P + 0,5 I_{a1, \text{нес}} U_{mc, \text{нес}} = 0,9 + 0,5 \cdot 0,99 \times 133 \approx 0,966 \text{ кВт.}$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом, при $m=1$ Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 4-6. Он справедлив для режима несущей волны. Табл. 4-8 относится к схеме с общим катодом и табл. 4-9 к схеме с общей сеткой. Все

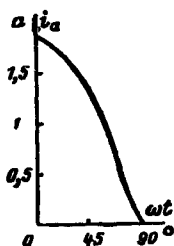


Рис. 4-6. Импульс анодного тока триода ГУ-5Б. $E_a = 5 \text{ кВ}$, $E_c = -40 \text{ в}$, $U_{mc} = 130 \text{ в}$, $U_{та} = 1,9 \text{ кВ}$.

данные справедливы для режима несущей волны. Мощность возбуждения относится к максимальной точке.

Таблица 4-8

Данные	$P, \text{ кВт}$	$P_{\text{возб.}}, \text{ вт}$	$E_a, \text{ кВ}$	$U_{mc}, \text{ в}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{та}, \text{ кВ}$	$I_{a0}, \text{ а}$	$I_{a1}, \text{ а}$	$R_{oe}, \text{ ом}$
Расчетные	0,9	86	5	133	40	1,82	0,63	0,99	1840
Результаты графоаналитического исследования	0,91	—	5	130	40	1,9	0,612	0,958	—
Рекомендуемые заводом	0,9	70	5	130	40	—	0,63	—	2000

Данные	$P_{\kappa}, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$U_{\text{мс}}, \text{в}$	$-E_c, \text{в}$	$I_{a0}, \text{а}$	$R_{0e}, \text{ом}$
Расчетные	0,966	349	5	133	40	0,63	1970
Рекомендуемые за- водом	1	0,3	5	130	40	0,63	2 140

Пример 9. Произвести расчет режима усиления, модулированных колебаний для триода ГУ-10А, работающего в классе В ($\gamma=1,57$; $\alpha_0=0,32$; $\beta=0,5$) с коэффициентом модуляции $m=1$. Дано: $\mu=50$, $E_a=8 \text{ кв}$, $E'_c=120 \text{ в}$, $P_{aN}=10 \text{ квт}$, $P_{cN}=300 \text{ вт}$. Характеристики показаны на рис. 2-26—2-28.

Решение. 1. В телеграфном режиме полезная мощность ограничена опасностью тепловой перегрузки сетки. Поэтому выбирают $P_N=15 \text{ квт}$. Облегченный тепловой режим сетки при модуляции позволяет считать $P_{\text{макс}}=18 \text{ квт}$.

2. Произведем расчет режима несущей волны, полагая

$$P_{a.\text{нес}} = P_{aN} = 10 \text{ квт.}$$

$$3. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{18}{(1+1)^2} = 4,5 \text{ квт.}$$

4. Согласно отношению

$$\frac{P_{\text{нес}}}{P_{a.\text{нес}}} = \frac{4,5}{10} = 0,45$$

находим из графика на рис. 1-18 значение $\eta_{\text{нес}} \approx 0,31$.

$$5. \xi_{\text{нес}} = \frac{2\eta_{\text{нес}}}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,31}{1,57} = 0,395.$$

$$6. U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,395 \cdot 8 = 3,16 \text{ кв.}$$

$$7. I_{a1 \text{ нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{\text{та.нес}}} = \frac{2 \cdot 4,5}{3,16} = 2,85 \text{ а.}$$

$$8. I_{a0 \text{ нес}} = \frac{I_{a1 \text{ нес}}}{\gamma} = \frac{2,85}{1,57} = 1,82 \text{ а.}$$

$$9. P_{0\text{нес}} = I_{a0 \text{ нес}} E_a = 1,82 \cdot 8 = 14,6 \text{ квт.}$$

$$10. R_{0e} = \frac{U_{\text{та.нес}}}{I_{a1 \text{ нес}}} = \frac{3,16}{2,85} = 1\,110 \text{ ом,}$$

11. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a0 \text{ нес}}}{\alpha_0} = \frac{1,82}{0,32} = 5,7 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_{a1 \text{ нес}} = E_a - U_{та. \text{ нес}} = 8 - 3,16 = 4,84 \text{ кВ},$$

находим из характеристик (рис. 2-27)

$$S = \frac{5300 - 700}{2(0 - 0)} = 23 \text{ ма/В.}$$

$$12. U_{мс. \text{ нес}} = \frac{I_{a1 \text{ нес}}}{S_{\beta}} + DU_{та. \text{ нес}} = \frac{2850}{23 \cdot 0,5} + 0,02 \cdot 3160 \approx 311 \text{ В.}$$

$$13. E_c = -E'_c = -120 \text{ В.}$$

$$14. U_{мс. \text{ макс}} = U_{мс. \text{ нес}} (1 + m) = 311 (1 + 1) = 622 \text{ В}$$

$$15. U_{та. \text{ макс}} = U_{та. \text{ нес}} (1 + m) = 3,16 (1 + 1) = 6,32 \text{ кВ.}$$

16. Для напряжений

$$e_a = E_a - U_{та. \text{ макс}} = 8 - 6,32 = 1,68 \text{ кВ};$$

$$e_c = E_c + U_{мс. \text{ макс}} = -120 + 622 = 502 \text{ В}$$

находим из характеристик на рис. 2-28 импульс сеточного тока $I_{мс} \approx 2,6 \text{ а}$.

$$17. \cos \theta_{с. \text{ макс}} = \frac{E_c}{U_{мс}} = \frac{120}{502} = 0,239;$$

$$\theta_{с. \text{ макс}} \approx 77^\circ; \alpha_{с0} = 0,275.$$

$$18. I_{с. \text{ макс}} \approx 0,8 \alpha_{с0} I_{мс} = 0,8 \cdot 0,275 \cdot 2,6 = 0,572 \text{ а.}$$

$$19. P_{возб. \text{ макс}} = I_{с. \text{ макс}} U_{мс. \text{ макс}} = 0,572 \cdot 622 = 0,356 \text{ кВт.}$$

Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с общим катодом. Для схемы с общей сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$20. P_{возб. \text{ макс}} = 0,5 I_{a1 \text{ макс}} U_{та. \text{ макс}} + I_{с. \text{ макс}} U_{мс. \text{ макс}} = 0,5 \cdot 2,85 (1 + 1) 622 + 0,572 \cdot 622 = 2,12 \text{ кВт.}$$

$$21. R_{oe} = \frac{U_{та. \text{ нес}} + U_{мс. \text{ нес}}}{I_{a1 \text{ нес}}} = \frac{3160 + 311}{2,85} = 1215 \text{ ом.}$$

$$22. P_{к. \text{ нес}} = P_{нес} + 0,5 I_{a1 \text{ нес}} U_{мс. \text{ нес}} = 4,5 + 0,5 \times 2,85 \cdot 311 = 4,94 \text{ кВт.}$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом, при $m=1$. Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 4-7. Он справедлив для режима несущей волны. Табл. 4-10 относится к схеме с общим катодом и табл. 4-11 к схеме с общей сеткой. Все данные справедливы для режима несущей волны. Мощность возбуждения относится к максимальному режиму.

Рис. 4-7. Импульс анодного тока триода ГУ-10А.

$$E_a = 8 \text{ кВ}, E_c = -125 \text{ в}, U_{mc} = 350 \text{ в}, \\ U_{ma} = 3,1 \text{ кВ}.$$

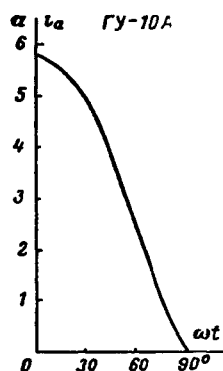


Таблица 4-10

Данные	$P_{квт}$	$P_{возб. кВт}$	$E_a, кВ$	$U_{ma}, кВ$	$-E_c, в$	$U_{mc}, в$	$I_{a0}, а$	$I_{a1}, а$	$R_{0e}, ом$
Расчетные	4,5	0,356	8	3,16	120	311	1,82	2,85	1 110
Результаты графоаналитического исследования	4,35	—	8	3,1	125	350	1,79	2,81	—
Рекомендуемые заводом	4,4	0,39	8	—	125	350	1,8	—	1 100

Таблица 4-11

Данные	$P_{квт}$	$P_{возб. кВт}$	$E_a, а$	$U_{ma}, кВ$	$-E_c, в$	$U_{mc}, в$	$I_{a0}, а$	$R_{0e}, ом$
Расчетные	4,94	2,12	8	3,16	120	311	1,82	1 215
Рекомендуемые заводом	4,9	2,4	8	—	125	350	1,8	1 225

Пример 10. Произвести расчет режима усиления модулированных колебаний для триода ГУ-22А, работаю-

щего в классе В ($\beta=0,5$; $\gamma=1,57$; $\alpha_0=0,32$) с коэффициентом модуляции $m=1$. Дано: $P_N=30$ кВт, $E_a=10$ кВ, $E_c=-175$ В, $P_{aN}=20$ кВт, $P_{cN}=600$ Вт, $\mu \approx 40$. Характеристики показаны на рис. 2-37—2-39.

Решение. 1. Произведем расчет режима несущей волны в предположении возможного увеличения мощности в максимальном режиме на 10% по сравнению с P_N . Поэтому считаем $P_{\text{макс}}=33$ кВт.

2. Полагаем:

$$P_{a.\text{нес}} = 0,95 P_{aN} = 0,95 \cdot 20 = 19 \text{ кВт.}$$

$$3. P_{\text{нес}} = \frac{P_{\text{макс}}}{(1+m)^2} = \frac{33}{(1+1)^2} = 8,25 \text{ кВт.}$$

4. Согласно отношению

$$\frac{P_{\text{нес}}}{P_{a.\text{нес}}} = \frac{8,25}{19} = 0,434$$

находим из графика на рис. 1-18 значение $\eta_{\text{нес}}=0,3$.

$$5. \xi_{\text{нес}} = \frac{2\eta_{\text{нес}}}{\gamma} = \frac{2 \cdot 0,3}{1,57} = 0,382.$$

$$6. U_{та.\text{нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,382 \cdot 10 = 3,82 \text{ кВ.}$$

$$7. I_{a1\text{нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{та.\text{нес}}} = \frac{2 \cdot 8,25}{3,82} = 4,32 \text{ А.}$$

$$8. I_{a0\text{нес}} = \frac{I_{a1\text{нес}}}{\gamma} = \frac{4,32}{1,57} = 2,75 \text{ А.}$$

$$9. P_{0\text{нес}} = I_{a0\text{нес}} E_a = 2,75 \cdot 10 = 27,5 \text{ кВт.}$$

$$10. R_{0e} = \frac{U_{та.\text{нес}}}{I_{a1\text{нес}}} = \frac{3,82}{4,32} = 882 \text{ Ом.}$$

11. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1}}{\alpha_1} = \frac{4,32}{0,5} = 8,64 \text{ А}$$

и анодным напряжением

$$e_a = E_a - U_{та.\text{нес}} = 10 - 3,82 = 6,18 \text{ кВ,}$$

находим из характеристик (рис. 2-37) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{8400 - 2600}{150 - 0} = 38,7 \text{ ма/В.}$$

$$12. U_{мс.нес} = \frac{I_{a1нес}}{S\beta} + DU_{та.нес} = \frac{4 \cdot 320}{38,7 \cdot 0,5} + 0,025 \cdot 3 \cdot 820' = 320 \text{ в.}$$

$$13. E_c = E'_c = -175 \text{ в.}$$

$$14. U_{мс.макс} = U_{та.нес} (1 + m) = 320 (1 + 1) = 640 \text{ в.}$$

$$15. U_{та.макс} = U_{та.нес} (1 + m) = 3,82 (1 + 1) = 7,64 \text{ кВ.}$$

16. Для напряжений

$$e_a = E_a - U_{та.макс} = 10 - 7,64 = 2,36 \text{ кВ;}$$

$$e_c = E_c + U_{мс.макс} = -175 + 640 = 465 \text{ в}$$

находим из характеристик (рис. 2-39) импульс сеточного тока $I_{мс} = 3,2 \text{ а.}$

$$17. \cos \theta_{с.макс} = -\frac{E_c}{U_{мс.макс}} = \frac{175}{640} = 0,274.$$

$$\theta_{с.макс} \approx 74^\circ; \quad \alpha_{с0} \approx 0,265.$$

$$18. I_{с.макс} = 0,8 \alpha_{с0} I_{мс} = 0,8 \cdot 0,265 \cdot 3,2 = 0,63 \text{ а.}$$

$$19. P_{возб.макс} = I_{с.макс} U_{мс.макс} = 0,63 \cdot 640 = 403 \text{ вт.}$$

Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с общим катодом. Для схемы с общей сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$20. P_{возб.макс} = 0,5 I_{a1макс} U_{та.макс} + I_{с.макс} U_{мс.макс} = 0,5 \cdot 4,32 (1 + 1) \cdot 0,64 + 0,63 \cdot 0,64 = 3,16 \text{ кВт.}$$

$$21. R_{0e} = \frac{U_{та.нес} + U_{мс.нес}}{I_{a1нес}} = \frac{3 \cdot 820 + 320}{4,32} = 960 \text{ ом.}$$

$$22. P_{к.нес} = P + 0,5 I_{a1нес} U_{мс.нес} = 8,25 + 0,5 \cdot 4,32 \times \times 0,32 = 8,94 \text{ кВт.}$$

Сравним расчетные данные с результатом графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом, при $m=1$. Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 4-8. Он справедлив для режима несущей волны. Табл. 4-12 относится к схеме

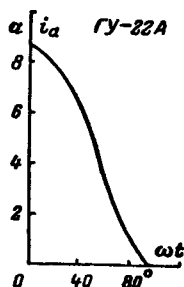


Рис. 4-8. Импульс анодного тока триода ГУ-22А.

$$E_a = 10 \text{ кВ, } E_c = -175 \text{ в, } U_{мс} = 325 \text{ в, } U_{та} = 3,9 \text{ кВ.}$$

с общим катодом и табл. 4-13 к схеме с общей сеткой. Все данные справедливы для режима несущей волны. Мощность возбуждения относится к максимальной точке.

Таблица 4-12

Данные	$P, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$U_{\text{та}}, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{\text{тс}}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$R_{0e}, \text{ом}$
Расчетные	8,25	0,403	10	3,82	175	320	2,75	4,32	885
Результаты графо-аналитического исследования	8,14	—	10	3,9	175	325	2,64	4,18	—
Рекомендуемые заводом	8,3	0,37	10	—	175	325	2,73	—	950

Таблица 4-13

Данные	$P_K, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$U_{\text{та}}, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{\text{тс}}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{а}$	$I_{a1}, \text{а}$	$R_{0e}, \text{ом}$
Расчетные	8,94	3,16	10	3,82	175	320	2,75	4,32	960
Рекомендуемые заводом	9	3,1	10	—	175	325	2,73	—	1030

Пример 11. Произвести расчет режима усиления модулированных колебаний для триода ГУ-23А, работающего в классе В с коэффициентом модуляции $m=1$. Дано: $E_a=10 \text{ кв}$, $E'_c \approx -90 \text{ в}$, $P_{aN}=60 \text{ квт}$, $P_N=100 \text{ квт}$, $\mu=40$. Характеристики показаны на рис. 2-42—2-44.

Решение. 1. Произведем расчет режима несущей волны, полагая

$$P_{a.\text{нес}} = 0,9P_{aN} = 0,9 \cdot 60 = 54 \text{ квт}.$$

$$2. P_{\text{нес}} = \frac{P_N}{(1+m)^2} = \frac{100}{(1+1)^2} = 25 \text{ квт}.$$

3. Согласно отношению

$$\frac{P_{\text{нес}}}{P_{a.\text{нес}}} = \frac{25}{54} = 0,455$$

находим из графика на рис. 1-18 значение $\eta_{\text{нес}} \approx 0,31$.

$$4. \xi_{\text{нес}} = \frac{2\eta_{\text{нес}}}{\gamma_{\text{нес}}} = \frac{2 \cdot 0,31}{1,57} = 0,395.$$

$$5. U_{\text{та.нес}} = \xi_{\text{нес}} E_a = 0,395 \cdot 10 = 3,95 \text{ кв},$$

$$6. I_{a1\text{нес}} = \frac{2P_{\text{нес}}}{U_{\text{та.нес}}} = \frac{2 \cdot 25}{3,95} = 12,7 \text{ а}.$$

$$7. I_{a0\text{нес}} = \frac{I_{a1\text{нес}}}{\gamma_{\text{нес}}} = \frac{12,7}{1,57} = 8,1 \text{ а}.$$

$$8. P_{0\text{нес}} = I_{a0\text{нес}} E_a = 8,1 \cdot 10 = 81 \text{ квт}.$$

$$9. R_{0c} = \frac{U_{\text{та.нес}}}{I_{a1\text{нес}}} = \frac{3,95}{12,7} = 0,31 \text{ ом}.$$

10. Руководствуясь импульсом анодного тока

$$I_m = \frac{I_{a1\text{нес}}}{\alpha_{1\text{нес}}} = \frac{12,7}{0,5} = 25,4 \text{ а}$$

и анодным напряжением

$$e_{a.\text{нес}} = E_a - U_{\text{та.нес}} = 10 - 3,95 = 6,05 \text{ кв},$$

находим из характеристик (рис. 2-42) крутизну

$$S = \frac{i_a'' - i_a'}{e_c'' - e_c'} = \frac{30\,000 - 6\,100}{500 - 100} = 59,7 \text{ ма/в}.$$

$$11. U_{\text{мс.нес}} = \frac{I_{a1\text{нес}}}{S\beta_{\text{нес}}} + DU_{\text{та.нес}} = \frac{12\,700}{59,7 \cdot 0,5} + 0,025 \cdot 3\,950 = 525 \text{ в}.$$

$$12. E_c = E_c' = -100 \text{ в}.$$

$$13. U_{\text{мс.макс}} = U_{\text{мс.нес}} (1 + m) = 525 (1 + 1) = 1\,050 \text{ в}.$$

$$14. U_{\text{та.макс}} = U_{\text{та.нес}} (1 + m) = 3,95 (1 + 1) = 7,9 \text{ кв}.$$

15. Для напряжений

$$e_a = E_a - U_{\text{та.макс}} = 10 - 7,9 = 3,1 \text{ кв}.$$

$$e_c = E_c + U_{\text{мс.макс}} = -100 + 1\,050 = 950 \text{ в}.$$

находим из характеристик на рис. 2-44 импульс сеточного тока $I_{\text{мс}} \approx 16,8 \text{ а}$.

$$16. \theta_{c.\text{макс}} = -\frac{E_c}{U_{\text{мс}}} = -\frac{90}{1\,050} = 0,085;$$

$$\theta_{c.\text{макс}} = 85^\circ; \quad \alpha_{c0} = 0,302$$

$$17. I_{с. макс} = 0,8\alpha_{с0} I_{мс} = 0,8 \cdot 0,302 \cdot 16,8 = 4,06 \text{ а.}$$

$$18. P_{возб. макс} = I_{с. макс} U_{мс. макс} = 4,06 \cdot 1,05 = 4,27 \text{ квт.}$$

Полученные данные справедливы для работы лампы в схеме с заземленным катодом. Для схемы с заземленной сеткой необходимо выполнить дополнительные пункты расчета.

$$19. P_{возб. макс} = 0,5 I_{а1 макс} U_{мс. макс} + I_{с. макс} U_{та. макс} = 0,5 \cdot 12,7 (1 + 1) \cdot 1,05 + 4,06 \cdot 1,05 = 17,6 \text{ квт.}$$

$$20. R_{0e} = \frac{U_{та. нес} + U_{мс. нес}}{I_{а1 нес}} = \frac{3950 + 525}{12,7} = 430 \text{ ом.}$$

$$21. P_{к. нес} = P_{нес} + 0,5 I_{а1 нес} U_{мс. нес} = 25 + 0,5 \cdot 12,7 \times \times 0,525 = 28,3 \text{ квт.}$$

Сравним расчетные данные с результатами графоаналитического исследования и с данными, рекомендуемыми электровакуумным заводом, при $m=1$. Импульс анодного тока, полученный при графоаналитическом исследовании, показан на рис. 4-9. Он справедлив для режима несущей волны. Табл. 4-14 относится к схеме с заземленным катодом и табл. 4-15 к схеме с заземленной сеткой. Все данные справедливы для режима несущей волны. Мощность возбуждения относится к максимальной точке.

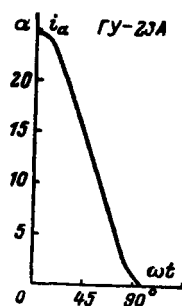


Рис. 4-9. Импульс анодного тока триода ГУ-23А.
 $E_a = 10 \text{ кВ}$, $E_c = -100 \text{ в}$, $U_{мс} = 525 \text{ в}$, $U_{та} = 4 \text{ кВ}$.

Таблица 4-14

Данные	$P, \text{ квт}$	$P_{возб.}, \text{ квт}$	$E_a, \text{ кВ}$	$U_{та}, \text{ кВ}$	$-E_c, \text{ в}$	$U_{мс}, \text{ в}$	$I_{a0}, \text{ а}$	$I_{a1}, \text{ а}$	$R_{0e}, \text{ ом}$
Расчетные	25	4,27	10	3,95	100	525	8,1	12,7	310
Результаты графоаналитического исследования	24,2	—	10	4	100	525	8	12,1	—
Рекомендуемые заводом	25,5	4	10	—	100	525	7,9	—	350

Данные	$P, \text{квт}$	$P_{\text{возб}}, \text{квт}$	$E_a, \text{кв}$	$-E_c, \text{в}$	$U_{\text{тс}}, \text{в}$	$I_{a0}, \text{а}$	$R_{0\text{г}}, \text{ом}$
Расчетные	28,3	17,6	10	100	525	8,1	430
Рекомендуемые за- водом	29	16,5	10	100	525	7,9	390

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мнение автора о своевременности пересмотра ряда устаревших положений теории радиопередающих устройств было поддержано радиотехнической общественностью¹. Оно представляется справедливым для многих специалистов радиопромышленности, преподавателей вузов и техникумов, столкнувшихся с расчетом эксплуатационных режимов новых генераторных ламп.

Многие положения, опубликованные автором в 1954—1955 гг. [Л. 2, 3], нашли отражение в позднее изданных учебниках и монографиях по радиопередающим устройствам и в других трудах.

Подтверждение необходимости обновления теории можно найти в типовых эксплуатационных режимах современных генераторных ламп, публикуемых отечествен-

¹ Автор имел возможность ознакомиться с различными высказываниями специалистов, принимавших участие в обсуждении его книг в 1955 г. на юбилейной сессии в Москве, посвященной 60-летию изобретения радио А. С. Поповым, на совещании членов общества А. С. Попова в Ленинграде осенью 1955 г., на конференциях специалистов: Украины, происходившей в 1956 г. в Киеве, и аналогичной конференции специалистов связи Казахстана, имевшей место в 1958 г. в г. Алма-Ата. Ему известна точка зрения радиоинженеров Новосибирска, Томска, Горького, Рязани и Львова, а также участников ряда собраний радиоспециалистов, семинаров преподавателей по радиопередающим устройствам и электровакуумным приборам, на которых автор делал доклады.

Подавляющее большинство специалистов дало позитивную оценку положений, выдвинутых автором, и согласны с необходимостью серьезного обновления теории.

Предложенная учебная методика отражена в программах советских вузов и получила признание в радиовузах К. Н. Р., где труд был опубликован в 1957—1958 гг

ной электровакуумной промышленностью¹. К их расчету необходимо подходить с новых позиций. В этом случае можно получить отсутствие расхождения между расчетными величинами и данными типового режима.

Степень взаимного совпадения взглядов советских специалистов, развивающих новые идеи, различна, но их общей платформой является отказ от применения гипотез, не соответствующих комплексу явлений в современных генераторных лампах.

Учитывая опыт конструирования и эксплуатации передатчиков с новыми лампами, они стремятся уточнить и развить методику их инженерного расчета. Нет оснований недооценивать эти труды [Л. 4, 7, 10, 14—18], лежащие в фарватере дальнейшего развития отечественной линейной теории расчета.

Некоторые специалисты высказали сомнение в целесообразности изменения указанной учебной методики, на которой воспитаны поколения советских радиоинженеров. Их критика в основном была акцентирована на вопросах методики расчета генераторов, но в ней, к сожалению, обойден основной тезис — невозможность объяснения реальных, эксплуатационных режимов современных ламп с высокоэффективными катодами с позиций прежней теории. Однако нельзя игнорировать стремительное развитие радиоэлектроники, которое вызывает периодическую смену учебных доктрин.

Разовьем эту мысль.

В учебном процессе мы считаем полезной любую расчетную методику, способствующую правильному пониманию физических явлений, имеющих место в ламповых генераторах и позволяющую путем расчета быстро получить результаты, подтверждаемые опытом. Этим требованиям отвечает предлагаемая методика. Но она имеет подчиненное значение и лишь отражает изменившуюся природу генераторных ламп. Свою же основную задачу автор видел в раскрытии особенностей современных генераторных ламп и в показе их применения в раз-

¹ Такое подтверждение можно найти и в типовых эксплуатационных режимах зарубежных ламп. В США опубликовано руководство по расчету радиопередающих устройств (Лэнди, Справочник радиоинженера, гл. 5 и 6, 1957, перевод опубликован в 1961 г. Госэнергоиздатом), содержание которого подтверждает выдвинутые положения.

личных режимах и в частности таких, которые считались недопустимыми или вообще неизвестными.

Приведем несколько примеров.

Не столь существенно, каким способом можно сделать расчет телеграфного режима мощного триода с вольфрамовым катодом, если известны полезная мощность или постоянная составляющая анодного тока, или его максимальный импульс I_m . Но принципиально новым является то, что во многих современных мощных триодах с вольфрамовым катодом этот импульс может быть выбран порядка $(0,3—0,4) I_e$, тогда как согласно прежней теории выбирали $I_m = (0,85—0,9) I_e$.

С 20-х годов считалось правильным мнение о равенстве номинальной мощности лампы и мощности в максимальном пике при всех видах сеточной модуляции; также считалось обязательным двойное и тройное уменьшение полезной мощности в режимах удвоения и утроения частоты. Эти положения уже не подтверждаются эксплуатационными режимами многих современных ламп с высокоэффективными катодами, которые способны создавать в режимах умножения (и радиотелефонных) мощности, значительно большие, чем указывались ранее.

Требование об обязательном выборе перенапряженного режима при анодной модуляции, справедливое для многих прежних триодов с вольфрамовым катодом, не всегда применимо к современным триодам. Многие современные триоды, имеющие карбидированный или оксидный катоды, работают при анодной модуляции неискаженными импульсами анодного тока. Такой режим возможен и в современных мощных триодах с вольфрамовым катодом.

Конструктивные особенности и разнообразный характер использования ламп не позволяют категорически судить об обязательности наличия перенапряженного или недонапряженного режима даже для ламп, применяемых в одном диапазоне.

Например, перенапряженный режим, облегчающий тепловую нагрузку анода, распространен в некоторых среднемошных УКВ триодах и тетродах. Но в мощных УКВ триодах, характеризующихся относительно небольшой мощностью, допустимой к рассеянию сеткой, жела-

тельно работа в несколько недонапряженном режиме¹. Еще более уместен недонапряженный режим в мощных тетрадах, где возникает опасность перегрева обеих своток.

Разнообразное использование ламп исключает абстрактность в выборе угла отсечки. Например, в целях повышения к. п. д. радиоламповый завод рекомендует для 1 квт тетрода типа ГУ-27А выбор $\theta = 55-60^\circ$. Тем более необходимо иметь повышенный к. п. д. в мощных УКВ триодах. Однако необходимость уменьшения возбуждающего напряжения часто заставляет выбирать $\theta = 70-80^\circ$. Если же говорить о маломощных лампах, подобных пентоду типа 4П1Л, используемому в подвижных передатчиках, то в этом случае целесообразно выбрать $\theta = 90-100^\circ$ (чтобы уменьшить возбуждающее напряжение и получить двухкаскадную схему).

По-новому встает вопрос о расчете генераторов дециметровых волн. Существующее мнение об исключительной роли пролетных явлений не подтверждается опытными режимами многих ДЦВ ламп. В подавляющем большинстве случаев их частотные возможности сграничены не электроникой лампы, а внешними колебательными системами. В связи с этим первостепенное значение приобретают вопросы о потерях в конструкции лампы и токораспределения между лампой и нагрузкой. Опытные данные, свидетельствующие о неискаженном прохождении импульса конвекционного тока, позволяют говорить о возможности применить формулы линейной теории. Эти формулы пригодны независимо от частотной категории лампы.

Приходим к выводу о возможности создания общей расчетной методики генераторных УКВ и ДЦВ ламп. Это имеет большое значение, например, при расчете и конструировании телевизионных передатчиков. Трудность создания их теории заключается в необходимости теоретической увязки комплекса смежных вопросов, относящихся к областям телевидения, радиопередающих устройств, широкополосных усилителей, светотехники, импульсной техники и электровакуумных приборов. Рассуждая с позиций имеющейся в учебниках теории

¹ Нельзя согласиться с рекомендациями [Л. 8] выбора перенапряженного режима для мощных триодов, могущего привести к гибели ламп.

[Л. 12], надо принимать во внимание пролетные явления. В действительности необходимость в этом отсутствует¹. Гипотеза об инерции электронов в генераторных ДЦВ лампах базируется на представлении о равномерном электрическом поле, существующем между плоскопараллельными сеткой и катодом. Но идеально гладкий катод не существует. Оксидные катоды, используемые в ДЦВ лампах, имеют шероховатую поверхность. В этих условиях приобретает правдоподобность другая гипотеза о том, что импульс анодного тока создается в основном за счет эмиссии с остриев поверхности катода, близко расположенных к сетке и находящихся под большим электрическим градиентом. Поэтому электроны летят к сетке с увеличенной скоростью и усредненный угол пролета много меньше расчетного.

Необходимость создания новой теории радиопередающих устройств назрела. В ней должны получить отражение вопросы расчета радиолокационных, радиорелейных и телевизионных передатчиков с мощными тетрами, резонатронами, магнетронами и клистронами, а также подвижных передатчиков малой мощности, работающих в широком диапазоне частот.

В новой теории, отвечающей прогрессивным устремлениям текущей семилетки, должно быть сделано правильное обобщение различных взглядов о наиболее эффективном применении генераторных ламп. Она должна содержать расчетную методику блоков и ступеней высокостабильных и надежно действующих передатчиков с повышенным к. п. д. и сроком службы ламп 10—20 тыс. ч. Участие в создании этой теории является благодарной обязанностью специалистов электроники и радиопередающих устройств.

¹ Утверждение о второстепенной роли пролетных явлений в мощных ДЦВ генераторных тетрадах и ДЦВ генераторных триодах, используемых при непрерывных колебаниях и в импульсном режиме, базируется на большом опытном материале. Опытные данные по ДЦВ триодам металло-керамической конструкции [Л. 1] не дает оснований для отказа от расчета их эксплуатационных режимов по формулам линейной теории. Подчиненная роль пролетных явлений во многих ДЦВ ламповых генераторах на триодах была отмечена Л. А. Котоминой в ее докладе, сделанном в 1951 г. на заседании радиосекции АН СССР.

ПРИЛОЖЕНИЯ
ТАБЛИЦЫ РАСЧЕТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Таблица П-1

Расчетные коэффициенты для косинусоидального импульса

θ	α_1	α_0	$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}$	$\cos \theta$	$\beta = \alpha_1 (1 - \cos \theta)$
0	0	0	2	1,0000	0
1	0,0074	0,0034	—	0,9998	0,0000
2	0,0148	0,0068	—	0,9994	0,0000
3	0,0222	0,0102	—	0,9986	0,0000
4	0,0296	0,0136	—	0,9976	0,0000
5	0,037	0,017	—	0,9962	0,0001405
6	0,0444	0,0208	—	0,9945	0,000244
7	0,518	0,0246	—	0,9925	0,000388
8	0,0592	0,0284	—	0,9903	0,000574
9	0,0666	0,0322	—	0,9877	0,00082
10	0,074	0,036	—	0,9848	0,001125
11	0,0812	0,0416	—	0,9816	0,001494
12	0,0884	0,0452	—	0,9781	0,001935
13	0,0956	0,0488	—	0,9744	0,00245
14	0,1028	0,0524	—	0,9703	0,00304
15	0,110	0,056	—	0,9659	0,00375
16	0,1172	0,0596	—	0,9613	0,00454
17	0,1244	0,0632	—	0,9563	0,00544
18	0,1316	0,0668	—	0,9511	0,00644
19	0,1388	0,0704	—	0,9455	0,00756
20	0,146	0,074	—	0,9397	0,0088
21	0,153	0,0776	—	0,9336	0,01016
22	0,160	0,0812	—	0,9272	0,01165
23	0,167	0,0848	—	0,9205	0,0133
24	0,174	0,0884	—	0,9134	0,01504
25	0,181	0,092	1,97	0,9063	0,01695
26	0,1878	0,0956	—	0,8988	0,0190
27	0,1946	0,0992	—	0,8910	0,0212
28	0,2014	0,1028	1,96	0,8829	0,0236
29	0,2082	0,1064	—	0,8746	0,0261
30	0,215	0,110	1,95	0,8660	0,0288
31	0,2216	0,1136	—	0,8572	0,0316
32	0,2282	0,1172	—	0,8480	0,0347

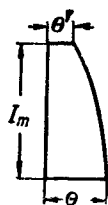
Продолжение табл. П-1

θ	α_1	α_0	$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}$	$\cos \theta$	$\beta = \alpha_1 (1 - \cos \theta)$
33	0,2348	0,1208	—	0,8387	0,0379
34	0,2414	0,1244	—	0,8290	0,0413
35	0,248	0,128	1,94	0,8192	0,0448
36	0,2544	0,1318	1,93	0,8090	0,0486
37	0,2608	0,1356	1,93	0,7986	0,0525
38	0,2672	0,1394	1,93	0,7880	0,0566
39	0,2736	0,1432	1,93	0,7771	0,0609
40	0,280	0,147	1,90	0,7660	0,0655
41	0,2862	0,1506	1,90	0,7547	0,0701
42	0,2924	0,1542	1,895	0,7431	0,0750
43	0,2986	0,1578	1,89	0,7314	0,0802
44	0,3048	0,1614	1,88	0,7193	0,0855
45	0,311	0,165	1,88	0,7071	0,0910
46	0,3166	0,1686	1,87	0,6847	0,0967
47	0,3222	0,1722	1,87	0,6820	0,1025
48	0,3278	0,1758	1,86	0,6691	0,1084
49	0,3334	0,1794	1,86	0,6561	0,1145
50	0,339	0,183	1,85	0,6428	0,1210
51	0,3444	0,1866	1,85	0,6293	0,1277
52	0,3498	0,1902	1,84	0,6157	0,1345
53	0,3552	0,1938	1,83	0,6018	0,1415
54	0,3606	0,1974	1,83	0,5878	0,1485
55	0,366	0,201	1,82	0,5736	0,156
56	0,371	0,2044	1,82	0,5592	0,1635
57	0,376	0,2078	1,81	0,5446	0,1714
58	0,381	0,2112	1,81	0,5299	0,179
59	0,386	0,2146	1,80	0,5150	0,1873
60	0,391	0,218	1,794	0,5000	0,1955
61	0,3956	0,2216	1,7872	0,4848	0,2037
62	0,4002	0,2252	1,7804	0,4605	0,212
63	0,4048	0,2288	1,7736	0,4540	0,221
64	0,4094	0,2324	1,7668	0,4384	0,230
65	0,414	0,236	1,760	0,4226	0,239
66	0,4184	0,2394	1,753	0,4067	0,248
67	0,4228	0,2428	1,746	0,3907	0,257
68	0,4272	0,2462	1,739	0,3746	0,267
69	0,4316	0,2496	1,732	0,3584	0,277
70	0,436	0,253	1,725	0,3420	0,287
71	0,4398	0,2562	1,7176	0,3256	0,296
72	0,4436	0,2594	1,7102	0,3090	0,306
73	0,4474	0,2626	1,7028	0,2924	0,316
74	0,4512	0,2658	1,6954	0,2756	0,326
75	0,455	0,269	1,688	0,2588	0,337
76	0,4586	0,2724	1,6804	0,2419	0,347

θ	α_1	α_0	$\frac{\alpha_1}{\alpha_0}$	$\cos \theta$	$\beta = \alpha_1 (1 - \cos \theta)$
77	0,4622	0,2758	1,6728	0,2250	0,358
78	0,4658	0,2792	1,6652	0,2079	0,369
79	0,4694	0,2826	1,6576	0,1908	0,379
80	0,473	0,286	1,650	0,1736	0,391
81	0,476	0,2892	1,6422	0,1564	0,402
82	0,479	0,2924	1,6344	0,1392	0,413
83	0,482	0,2956	1,6266	0,1219	0,424
84	0,485	0,2988	1,6188	0,1045	0,435
85	0,488	0,302	1,611	0,0872	0,446
86	0,4904	0,3054	1,603	0,0698	0,457
87	0,4928	0,3088	1,595	0,0523	0,467
88	0,4952	0,3122	1,587	0,0349	0,478
89	0,4976	0,3156	1,579	0,0175	0,49
90	0,400	0,319	1,571	0,0000	0,500
91	0,5024	0,3222	1,564	0,0175	0,511
92	0,5048	0,3254	1,558	0,0349	0,522
93	0,5072	0,3286	1,552	0,0523	0,533
94	0,5096	0,3318	1,546	0,0698	0,544
95	0,512	0,335	1,54	0,0872	0,555
96	0,5136	0,338	1,532	0,1045	0,566
97	0,5152	0,341	1,524	0,1219	0,577
98	0,5168	0,344	1,516	0,1392	0,588
99	0,5184	0,347	1,509	0,1564	0,599
100	0,52	0,35	1,5	0,1736	0,610
101	0,5216	0,3528	1,49	0,1908	0,621
102	0,5232	0,3556	1,48	0,2079	0,632
103	0,5248	0,3584	1,47	0,2250	0,643
104	0,5264	0,3612	1,46	0,2419	0,654
105	0,528	0,364	1,45	0,2588	0,665
106	0,5292	0,3668	1,442	0,2756	0,676
107	0,5304	0,3696	1,434	0,2924	0,686
108	0,5316	0,3724	1,426	0,3090	0,696
109	0,5328	0,3752	1,418	0,3256	0,706
110	0,534	0,378	1,41	0,3420	0,716
111	0,5348	0,3803	1,402	0,3584	0,726
112	0,5356	0,3836	1,394	0,3746	0,736
113	0,5364	0,3864	1,386	0,3907	0,746
114	0,5372	0,3892	1,378	0,4067	0,756
115	0,538	0,392	1,37	0,4226	0,765
116	0,5384	0,3946	1,362	0,4384	0,774
117	0,5388	0,3972	1,354	0,4540	0,783
118	0,5392	0,3998	1,346	0,4695	0,792
119	0,5396	0,4024	1,338	0,4848	0,801
120	0,54	0,405	1,33	0,5000	0,810

Коэффициенты первой гармоники для углов θ и θ' от 0

$\theta \backslash \theta'$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	0	0,037	0,074	0,110	0,146	0,181	0,215	0,248	0,280
5		0,055	0,088	0,121	0,154	0,187	0,220	0,253	0,284
10			0,111	0,139	0,170	0,202	0,233	0,264	0,294
15				0,164	0,193	0,222	0,251	0,281	0,309
20					0,218	0,245	0,272	0,299	0,327
25						0,269	0,293	0,320	0,346
30							0,318	0,342	0,366
35								0,366	0,387
40								--	0,410
45									
50									
55									
60									
65									
70									
75									
80									
85									
90									



до 90° (косинусоидальный и уплощенный импульсы)

45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0,311	0,339	0,366	0,391	0,414	0,436	0,455	0,473	0,488	0 500
0,313	0,341	0,368	0,393	0,415	0,437	0,456	0,474	0,489	0,501
0,323	0,350	0,376	0,400	0,422	0,443	0,462	0,480	0,494	0,506
0,336	0,363	0,388	0,412	0,432	0,452	0,471	0,488	0,502	0,513
0,352	0,378	0,401	0,424	0,444	0,464	0,482	0,497	0,511	0,522
0,371	0,395	0,417	0,439	0,458	0,477	0,494	0,509	0,522	0,533
0,391	0,413	0,434	0,455	0,473	0,491	0,506	0,521	0,534	0,545
0,411	0,432	0,452	0,472	0,489	0,506	0,520	0,534	0,546	0,556
0,431	0,451	0,470	0,489	0,505	0,521	0,534	0,547	0,559	0,567
0,451	0,470	0,488	0,506	0,521	0,536	0,548	0,561	0,571	0,578
	0,487	0,505	0,522	0,537	0,551	0,563	0,573	0,582	0,589
		0,522	0,537	0,551	0,564	0,575	0,585	0,592	0,599
			0,551	0,565	0,577	0,587	0,596	0,602	0,608
				0,576	0,588	0,597	0,606	0,612	0,617
					0,598	0,607	0,614	0,620	0,624
						0,615	0,621	0,625	0,630
							0,627	0,632	0,633
								0,635	0,636
									0,637

Коэффициенты постоянной составляющей для углов θ и θ'

$\theta \backslash \theta'$	0	5	10	15	20	25	33	35	40
0	0	0,017	0,038	0,056	0,074	0,092	0,110	0,128	0,147
5		0,028	0,043	0,060	0,078	0,096	0,113	0,131	0,149
10			0,056	0,071	0,087	0,103	0,120	0,138	0,155
15				0,083	0,098	0,114	0,130	0,147	0,163
20					0,111	0,126	0,141	0,157	0,173
25						0,139	0,153	0,167	0,183
30							0,167	0,180	0,195
35								0,195	0,209
40									0,222
45									
50									
55									
60									
65									
70									
75									
80									
85									
90									

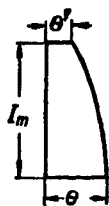


Таблица П-3

от 0 до 90° (косинусоидальный и уплощенный импульсы)

45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
0,165	0,183	0,201	0,218	0,236	0,253	0,269	0,286	0,302	0,319
0,167	0,185	0,202	0,219	0,237	0,254	0,270	0,287	0,303	0,320
0,172	0,190	0,207	0,224	0,241	0,257	0,274	0,290	0,307	0,323
0,179	0,196	0,213	0,230	0,247	0,263	0,280	0,296	0,312	0,328
0,189	0,205	0,221	0,238	0,255	0,271	0,287	0,303	0,318	0,334
0,199	0,215	0,231	0,247	0,263	0,279	0,295	0,311	0,326	0,342
0,210	0,226	0,241	0,258	0,273	0,289	0,304	0,320	0,335	0,350
0,224	0,238	0,253	0,268	0,283	0,299	0,314	0,330	0,345	0,360
0,237	0,251	0,266	0,281	0,296	0,311	0,326	0,341	0,356	0,371
0,250	0,265	0,280	0,295	0,309	0,323	0,338	0,353	0,367	0,382
	0,278	0,298	0,309	0,323	0,337	0,351	0,366	0,379	0,394
		0,306	0,322	0,336	0,349	0,363	0,378	0,391	0,406
			0,334	0,349	0,362	0,377	0,390	0,404	0,418
				0,361	0,376	0,391	0,403	0,418	0,431
					0,389	0,403	0,417	0,432	0,445
						0,416	0,431	0,446	0,458
							0,443	0,459	0,472
								0,472	0,486
									0,500

Таблица П-4

Отношение коэффициентов первой гармоники I_{a1} и
постоянной составляющей I_{a0}

θ° θ''	60	65	70	75	80	85	90
0	1,794	1,760	1,725	1,688	1,650	1,611	1,571
5	1,793	1,759	1,724	1,687	1,649	1,610	1,570
10	1,791	1,757	1,722	1,685	1,647	1,608	1,568
15	1,788	1,754	1,719	1,682	1,644	1,605	1,565
20	1,782	1,749	1,714	1,677	1,639	1,600	1,560
25	1,772	1,739	1,705	1,669	1,631	1,593	1,55
30	1,761	1,728	1,694	1,658	1,621	1,583	1,543
35	1,746	1,714	1,681	1,645	1,608	1,570	1,530
40	1,726	1,697	1,665	1,629	1,592	1,554	1,514
45	1,702	1,674	1,644	1,609	1,573	1,536	1,496
50	1,678	1,651	1,622	1,588	1,552	1,516	1,476
55	1,654	1,627	1,598	1,565	1,529	1,493	1,453
60		1,597	1,569	1,538	1,505	1,469	1,429
65			1,539	1,508	1,476	1,441	1,402
70				1,476	1,445	1,411	1,372
75					1,411	1,379	1,342
80						1,348	1,308
85							1,273
90							

Коэффициенты второй гармоники

θ°	α_2	θ°	α_2	θ°	α_2	θ°	α_2	θ°	α_2	θ°	α_2
1	0,007	16	0,115	31	0,203	46	0,259	61	0,276	76	0,256
2	0,015	17	0,021	32	0,208	47	0,261	62	0,275	77	0,253
3	0,022	18	0,128	33	0,212	48	0,263	63	0,275	78	0,251
4	0,030	19	0,134	34	0,217	49	0,265	64	0,274	79	0,248
5	0,037	20	0,141	35	0,221	50	0,267	65	0,274	80	0,246
6	0,044	21	0,147	36	0,226	51	0,269	66	0,273	81	0,242
7	0,051	22	0,153	37	0,230	52	0,270	67	0,272	82	0,239
8	0,059	23	0,159	38	0,234	53	0,271	68	0,270	83	0,236
9	0,066	24	0,165	39	0,237	54	0,272	69	0,269	84	0,233
10	0,073	25	0,171	40	0,241	55	0,273	70	0,267	85	0,230
11	0,080	26	0,176	41	0,244	56	0,274	71	0,266	86	0,226
12	0,087	27	0,182	42	0,248	57	0,275	72	0,264	87	0,223
13	0,094	28	0,188	43	0,251	58	0,275	73	0,262	88	0,219
14	0,101	29	0,193	44	0,253	59	0,275	74	0,260	89	0,216
15	0,108	30	0,198	45	0,256	60	0,276	75	0,258	90	0,212

Таблица П-6

θ θ'	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0,037	0,078	0,108	0,141	0,171	0,198	0,221	0,241	0,256	0,267
5	0,055	0,085	0,117	0,148	0,177	0,203	0,225	0,244	0,259	0,270
10	—	0,109	0,136	0,164	0,194	0,214	0,235	0,252	0,266	0,276
15	—	—	0,159	0,184	0,207	0,229	0,248	0,264	0,276	0,284
20	—	—	—	0,205	0,226	0,245	0,262	0,276	0,286	0,293
25	—	—	—	—	0,244	0,261	0,276	0,288	0,296	0,301
30	—	—	—	—	—	0,276	0,289	0,298	0,305	0,309
35	—	—	—	—	—	—	0,299	0,307	0,312	0,314
40	—	—	—	—	—	—	—	0,314	0,317	0,317
45	—	—	—	—	—	—	—	—	0,318	0,317
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,314

Таблица П-7

Коэффициенты третьей гармоники

θ°	α_3	θ°	α_3	θ°	α_3	θ°	α_3	θ°	α_3	θ°	α_3
1	0,007	16	0,110	31	0,174	46	0,180	61	0,134	76	0,062
2	0,015	17	0,116	32	0,176	47	0,178	62	0,129	77	0,057
3	0,022	18	0,122	33	0,178	48	0,176	63	0,123	78	0,052
4	0,030	19	0,127	34	0,180	49	0,174	64	0,120	79	0,047
5	0,037	20	0,132	35	0,181	50	0,171	65	0,116	80	0,043
6	0,044	21	0,137	36	0,182	51	0,169	66	0,111	81	0,038
7	0,051	22	0,142	37	0,183	52	0,166	67	0,106	82	0,033
8	0,059	23	0,147	38	0,184	53	0,163	68	0,101	83	0,029
9	0,065	24	0,151	39	0,184	54	0,160	69	0,096	84	0,024
10	0,072	25	0,155	40	0,185	55	0,157	70	0,091	85	0,020
11	0,077	26	0,159	41	0,184	56	0,153	71	0,087	86	0,016
12	0,085	27	0,162	42	0,184	57	0,150	72	0,082	87	0,012
13	0,092	28	0,166	43	0,183	58	0,146	73	0,077	88	0,008
14	0,098	29	0,169	44	0,182	59	0,142	74	0,072	89	0,004
15	0,104	30	0,172	45	0,181	60	0,138	75	0,067	90	0,000

Таблица П-8

Коэффициенты третьей гармоники

θ θ'	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0,037	0,072	0,104	0,132	0,155	0,172	0,181	0,185	0,181	0,171
5	0,055	0,084	0,113	0,139	0,160	0,175	0,184	0,187	0,183	0,173
10	—	0,106	0,130	0,153	0,171	0,184	0,192	0,192	0,187	0,176
15	—	—	0,150	0,169	0,184	0,194	0,199	0,198	0,191	0,179
20	—	—	—	0,184	0,196	0,203	0,206	0,203	0,194	0,180
25	—	—	—	—	0,205	0,210	0,210	0,204	0,194	0,178
30	—	—	—	—	—	0,212	0,210	0,202	0,189	0,172
35	—	—	—	—	—	—	0,205	0,195	0,181	0,162
40	—	—	—	—	—	—	—	0,184	0,168	0,147
45	—	—	—	—	—	—	—	—	0,150	0,129
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,106



СПРАВОЧНЫЕ
Мощные генераторные

Тип лампы	Тип катода	$U_H, \text{ в}$	$I_H, \text{ а}$	$I_{H \text{ пуск}}, \text{ а}$	$I_e, \text{ а}$
ГУ-4А	ТКВ	8,3	145 ± 10	225	30
ГУ-5А	То же	12,6	$23 \begin{smallmatrix} +4 \\ -3 \end{smallmatrix}$	40	7
ГУ-5Б	" "	12,6	$23 \begin{smallmatrix} +4 \\ -3 \end{smallmatrix}$	40	7
ГУ-8	" "	5	6,5		
ГУ-10А	" "	7	75 ± 5	115	15
ГУ-10Б	" "	7	75 ± 5	115	15
ГУ-11А	В	12,7	$240 \begin{smallmatrix} +15 \\ -10 \end{smallmatrix}$	360	20
ГУ-12А	То же	12,6	315 ± 15	480	39
ГУ-16Б	" "	13,5	200 ± 15	300	15
ГУ-21Б	ТКВ	8,3	150 ± 10		30
ГУ-22А	То же	8,3	150 ± 10		30
ГУ-23А	" "	12	210 ± 15	325	60
ГУ-23Б	" "	12	210 ± 15	325	60
ГУ-25Б	" "	8,3	150 ± 10	225	30
ГУ-26А	" "				30
ГУ-30А	" "	10,5	220 ± 15		50
ГУ-37Б	" "	3,4	110		9
ГУ-89А	В	11	124 ± 4	185	12
ГУ-89Б	То же	11	124 ± 4	185	12
ГК-750	ТКВ	5	10,5		
ГК-891	В	11	60		9,5
ГК-1А	То же	31,5	580	720	250
ГК-3А	" "	17	430 ± 30	650	50
ГК-5А	ТКВ	17	580 ± 30	720	300

ТАБЛИЦЫ
триоды

$R_{\text{хол катоды, ом}}$	$E_a, \text{ кв}$	$-E_c', \text{ в}$	$P, \text{ квт}$	$P_{aN}, \text{ квт}$	$P_{cN}, \text{ квт}$	$S, \text{ ма/в}$
0,006	6	50	10	20	800	30
0,06	5	40	3,5	3,5	150	15
0,03	5	40	3,5	2,5	150	15
	3	20	0,41	0,1		
0,01	8	120	15	10	300	20
0,01	6	80	10	7	300	20
0,004	10	180	30	20	600	20
0,003	10	400	40	20	600	23
0,005	8	130	15	10	600	25
0,006	9	100	15	10	600	30 ± 5
0,006	10	175	30	20	600	31 ± 3
0,0064	11	110	100	60	2 600	45
0,0064	12	100	110	50	2 600	45
0,0068	12	180	30	12	600	30
	6	150	4,5	10	300	20
	7,5	160	40	60	2 500	45
	3	50	1,5	3,5	200	25 ± 6
0,0083	8,5	300	10	5	300	10
0,0083	8,5	300	10	5	300	10
	4	60	950	250		
	10	850	10	6		7
0,006	10	50	250	200	10 000	120
0,0035	12	100	100	60	2 600	35
0,003	10	100	250	200	10 000	125

Тип лампы	Тип катода	$S_K, \text{мд/в}$	μ	$C_{ВХ}, \text{пф}$	$C_{ВЫХ}, \text{пф}$
ГУ-4А	ТКВ	22	50	40	1
ГУ-5А	То же	14	80 ± 10	19	0,5
ГУ-5Б	" "	14	80 ± 10	19	0,5
ГУ-8	" "	4,5		3	0,4
ГУ-10А	" "	19	50 ± 5	40	1,5
ГУ-10Б	" "	19	50 ± 5	40	1,5
ГУ-11А	В	18	55 ± 7	55	1,5
ГУ-12А	То же	19	20 ± 3	35 ± 6	2 ± 1
ГУ-16Б	" "	20	47 ± 6	55	1,5
ГУ-21Б	ТКВ	30	48 ± 7	55	1,5
ГУ-22А	То же	28	48 ± 7	55	1,5
ГУ-23А	" "	40	55	100	3
ГУ-23Б	" "	42	55	100	3
ГУ-25Б	" "	27	48	55	1,5
ГУ-26А		15	28	80	2
ГУ-30А	" "	38	28	80	2
ГУ-37Б	" "	13	35 ± 10	34	0,8
ГУ-89А	В	7	20	$23,3 \pm 4,1$	3 ± 1
ГУ-89Б	То же	7	20	23 ± 4	3 ± 1
ГК-750	ТКВ	5	40	5	0,7
ГК-891	В	6	12	18	2
ГК-1А	То же	120	45	220	7
ГК-3А	" "	32	40	100	3
ГК-5А	ТКВ	100	50	220	4

$C_{\text{прох.}} \text{ нф}$	$h, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$\tau, \text{ ч}$	Вес, кг	$f_{\text{макс.}} \text{ Мгц}$
35	320	152	500	5	110
16	210	103	1 000	0,8	110
16	210	106	1 000	2,5	110
2			500		40
34	320	126	1 000	3	25
34	330	126	500	5	25
45	360	145	1 500	4,2	25
24±3	300	180	1 000	4	50
42	334	200	1 500	9	25
45	355	145	1 000	8	26
45	355	145	1 000	4,5	26
65	558	230	1 500		26
65	558	230	1 500	13	26
45	355	147	1 000	5,5	26
60	291	153	1 000	4,5	300
00			1 000		100
19	265	121	1 000		330
17,5±2,3	280	95	1 000	1,2	100
18,5±2,7	300	280	1 000	1,6	100
2,9			500		40
27					
110	880	285	2 000	25	20
65	560	230	2 000	11	25
100	790	225	2 000	19	25

Генераторные тетроды

Тип лампы	Тип катода	Вид лампы	$U_H, \text{ в}$	$I_H, \text{ а}$
2П9М	ОПН	Лучевой тетрод	2	1
2П29Л	То же	Пентод	2,2	0,12
2П29П	" "	То же	2,2	0,11
4Ж1Л	ОКН	" "	4,2	0,225
4П1Л	ОПН	" "	4,2	0,325
6П3С	ОКН	Лучевой тетрод	6,3	0,9
6П6С	То же	То же	6,3	0,45
6П13С	" "	" "	6,3	1,3
12Ж1Л	" "	Пентод	12,6	0,075
12П17Л	" "	"		
ГУ-13	" "	Лучевой тетрод	10	5
ГУ-15	" "	Пентод	4,4	0,68
ГУ-17	" "	Двойной тетрод	6,3	0,8
			12,6	0,4
ГУ-18	" "	То же	6,3	1,25
			12,6	0,62
ГУ-24А	В	Резнатрон	3,3	1700
ГУ-27А	ТКВ	Тетрод	7,5	25
ГУ-27Б	То же	То же	7,5	25
ГУ-28А	" "	" "	6,3	98
ГУ-28Б	" "	" "	6,3	98
ГУ-29	ОКН	Двойной тетрод	6,3	2,25
			12,6	1,25
ГУ-32	То же	То же	6,3	1,6
			12,6	0,8
ГУ-33Б		Данные по лампам ГУ-33Б,		
ГУ-34Б		в табл П 11, П-12 и П-13		
ГУ-35Б				
ГУ-36Б				
ГУ-50	ОКН	Пентод	12,6	0,655
ГУ 80	То же	То же	12,6	10,5
ГУ-81	" "	" "	12,6	10,5

и пентоды

I_e, a	$E_a, в$	$E_{c3}, в$	$E_{c2}, в$	$E'_{c1}, в$	$P_{aN}, вт$	$P_{c2N}, вт$
0,1	300		215	25	8	
0,035	160	15	120	10	2	0,7
0,035	120	0	45		1	0,3
	250	0	200		2	
0,1	200	0	150	12	7,5	1,5
0,3	400		300	18	20,5	2,75
0,15	250	250	250	25	13,2	2,2
0,4	200	0	200	25	14	4
Остальные данные, как у пентода 4Ж1Л						
0,015	200	15	150	12		
1,2	2 000		400	20	100	22
0,3	400	0	200	25	15	4
0,2	300		200	30	6	3
0,2	250		200	25	13,5	4
25					2 500	
5	4 000		1 000	25	2 000	100
5	3 500		1 000	25	800	100
25	10 000		1 000	50	8 000	300
25					14 000	800
0,25	400		225	12	40	7
0,2	400		250	28	15	5

ГУ-34Б, ГУ-35Б и ГУ-36Б указаны

0,7	800	0	250	40	40	5
2	2 000	0	600	170	450	120
2	2 000	0	600	170	450	120

Тип лампы	Тип катода	Вид лампы	$P_{CN}, \text{вт}$	$P, \text{вт}$	$S, \text{ма/с}$	$S_K, \text{ма/с}$	μ_2
2П9М	ОПН	Лучевой тетрод		10	2,5	3	
2П29Л	То же	Пентод		1,4	2	3	
2П29П	" "	То же			1,7		
4Ж1Л	ОКН	" "		1,2	1,5	1	
4П1Л	ОПН	" "		4,6	6	3,5	
6П3С	ОКН	Лучевой тетрод		30	8	5,5	
6П6С	То же	То же		10	4	3	
6П13С	" "	" "	0,2		8,5	1,5	7
12Ж1Л	" "	Пентод					
12П17Л	" "	"		6	7	2,8	12
ГУ-13	" "	Лучевой тетрод		260	7	3,5	7
ГУ-15	" "	Пентод	0,4	13	3,5	3,5	10
ГУ-17	" "	Двойной тетрод	0,25	11	2,8	3	
ГУ-18	" "	То же	0,5	40	2,2	2	
ГУ-24А	В	Резнатрон		10 000	2,5		
ГУ-27А	ТКВ	Тетрод	40	1 000	7	5	17
ГУ-27Б	То же	То же	40	1 000	6		16
ГУ-28А	" "	" "	200	12 000	20		9
ГУ-28Б	" "	" "	400	20 000	20		9
ГУ-29	ОКН	Двойной тетрод		45	8	8	9
ГУ-32	То же	То же					
ГУ-33Б				14	3,5	2	7
ГУ-34Б							
ГУ-35Б							
ГУ-36Б							
ГУ-50	ОКН	Пентод	1	60	4	4	19
ГУ-80	То же	То же	10	675	5,5	4	3
ГУ-81	" "	" "	10	750	5,5	4	3

Продолжение табл. П-10

$C_{вх}, \text{ нф}$	$C_{прох}, \text{ нф}$	$C_{вых}, \text{ нф}$	$h, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$\tau, \text{ ц}$	Вес, кг	$f_{\text{макс}}, \text{ Мгц}$
8,5	1	8,5	109	36	500	0,052	20
4,3	0,055	5,5	65,3	32	1 000	0,045	120
4,85	0,015	2	51	19	1 000	0,012	120
4	0,007	4,2	69	32	2 000	0,035	200
8,5	0,1	9,4	75	32	1 000	0,03	100
11	1	8,2	109	46	500	0,07	50
9,5	0,9	9,5	85	32,3	500	0,038	
18,5	0,5	6,5	110	34	750	0,045	
16,3	0,25	14	191	65	500	0,3	30
10,5	0,16	12,5	93,5	45,3	1 000	0,1	60
6,5	0,1	2,7	80	22,5	400	0,025	250
7		2,6	85	44,5	400	0,06	600
			850	525	250	85	
25	0,21	17			1 000		110
21	0,18	17	168	118	1 000	2,5	110
60	0,55	30	279	126	1 000	3	100
60	0,55	30	279	126		4,5	100
15±2	0,1	7±2	110	61	500	0,125	200
7,8	0,05	3,8	88	61	500	0,1	200
14	0,1	9,15	94	46	1 000	0,1	120
28,5	0,1	22,5	285	110	1 000	1	50
28,5	0,1	23,5	260	120	1 000	1	50

Таблица П-11

Общие данные некоторых тетродов

Название лампы	Катод	$U_H, \text{ в}$	$I_H, \text{ а}$	$h, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$C_{вх}, \text{ пф}$	$C_{вых}, \text{ пф}$	$C_{прот}, \text{ пф}$
ГУ-33Б	Оксидный подогревный	6,3	$5 \pm 0,5$	95	50	30	6,5	0,08
ГУ-34Б	То же	12,6	$3,5 \pm 0,5$	130	94,5	44	9,5	0,15
ГУ-35Б	Карбид. ториров. вольфрам	5	98 ± 10	270	127	50	15	0,5
ГУ-36Б	То же	6,3	200 ± 20	326	183	150	30	0,8

Таблица П-12

Общие данные некоторых тетродов

Название лампы	$S, \text{ ма/в}$	Долговечность, ч	Воздушное принудительное охлаждение, $\text{м}^3/\text{ч}$				$\mu_{с1с2}$	Ток эмиссии катодов, а
			лампы	анода	ножки	баллона		
ГУ-33Б	25 ± 5	1 000	40	—	—	—	—	—
ГУ-34Б	26 ± 7	—	40	—	—	—	—	—
ГУ-35	25	1 000	—	400	100	60	5	15
ГУ-36Б	50	1 000	—	1 500	200	100	5	15

Таблица П-13

Пределные величины и электрические данные некоторых тетродов

Название лампы	$E_a, кВ$	$P_{aN}, кет$	$P_{c2}, вт$	$P_{cl}, вт$	$f, Мгц$	Наибольшая температура стекла и спаев, град	$E_{c2}, в$	$P, кет$	Ширина полосы пропускания, Мгц	$E_a, кВ$	$E_{c2}, в$	Коэффициент усиления по мощности, А
ГУ-33Б	1,5	0,15	10	2	250	150	300	0,12	250	1,5	300	25
ГУ-34Б	4	0,5	20	5	250	150	600	0,4	250	2	400	25
ГУ-35Б	5	3	150	40	250	150	500	2	250	5	500	
ГУ-36Б	10	15	300	100	250	150	750	10	250	7	750	

**Указатель для нахождения параметров, характеристик
и режимов генераторных ламп**

Тип лампы	Рисунки	Таблицы
2П9М	2-1, 2-2	2-2
2П29Л	2-3, 2-4	2-3
4П1Л	2-5, 2-6, 2-7	1-2, 2-1, 2-4
12П17Л	2-8, 2-9, 2-10	2-5
891	1-21, 3-13	1-1, 3-3, 3-4
ГК-1	1-7	1-1
ГК-3А		1-1
ГК-5А	2-16, 2-17, 2-18	2-7
ГУ-4А	1-3, 2-20, 2-21, 2-22	2-8
ГУ-5А и	1-2, 2-23, 2-24, 2-25, 4-6	1-2, 4-8, 4-9
ГУ-5Б		
ГУ-10А и	2-26, 2-27, 2-28, 2-29, 2-30,	2-10, 2-11, 2-12, 2-13, 3-3,
ГУ-10Б	4-7	3-4, 4-6, 4-10, 4-11
ГУ-12А	1-4, 2-31, 2-32, 2-33, 3-13	2-13, 3-3, 3-4, 4-6
ГУ-17	1-10, 2-65, 2-66, 2-67	2-28
ГУ-18	2-34, 2-35, 2-36	2-14
ГУ-21Б	2-37, 2-38, 2-39, 2-40	2-15
ГУ-22А	2-37, 2-38, 2-39, 2-41, 4-8	2-16, 2-17, 2-18, 4-12, 4-13
ГУ-23А	2-42, 2-43, 2-44, 2-45	2-19, 2-30, 4-14, 4-15
ГУ-25Б	2-46, 2-47, 2-48	2-21, 2-22
ГУ-27А и	2-49, 2-50, 2-51, 4-4	1-2, 2-1, 2-23, 4-5
ГУ-27Б		
ГУ-28А и	2-52, 2-53, 2-54, 2-55, 2-56,	2-24, 2-25, 2-26
ГУ-28Б	2-57, 2-58, 2-59, 2-60, 2-61	
ГУ-29	2-62, 2-63, 2-64	2-1, 2-27
ГУ-50	1-9, 1-24, 1-30, 1-31, 1-32	1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-1, 4-3
ГУ-80 и	2-11, 2-12, 2-13, 2-14, 2-15,	1-2, 2-6, 4-1, 4-2, 4-4, 4-7
ГУ-81	4-1, 4-2, 4-5	

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонов Б. С., Генераторные лампы, Воениздат, 1948.
2. Агафонов Б. С., Теория и расчет радиотелеграфных режимов генераторных ламп, «Советское радио», 1954.
3. Агафонов Б. С., Теория и расчет радиотелефонных режимов генераторных ламп, «Советское радио», 1955.
4. Аршинов С. С., Расчет ламповых генераторов, Госэнергоиздат, 1955.
5. Берг А. И., Теория и расчет ламповых генераторов, Госэнергоиздат, 1932.
6. Бесчастнов Н. С. и Сосунов В. Н., Радиопередающие устройства, ВЭТАС, 1941.
7. Бетин Б. М., Радиопередающие устройства, Госэнергоиздат, 1956.
8. Богословский Ю. В., «Радиотехника», 1957, № 8, Расчет перенапряженного режима лампового генератора.
9. Глазман Э. С., «Радиотехника», 1956, № 7, Эффективная выходная цепь телевизионного передатчика.
10. Денисов И. Д., Радиопередающие устройства, Изд Академии имени Жуковского, ч. I, 1954, ч. II, 1956, ч. III, 1957, ч. IV, 1959.
11. Зворыкин В. К. и Мортон Д. А., Телевидение, Изд иностранной литературы, 1956, «Советское радио», 1956.
12. Иванов А. Б. и Сосновкин А. Н., Импульсные передатчики СВЧ, «Советское Радио», 1955.
13. Коваленко В. Ф., Введение в электронику сверхвысоких частот, «Советское радио», 1955.
14. Линде Д. П., Расчет генераторов СВЧ, Госэнергоиздат, 1958.
15. Нейман М. С., Курс радиопередающих устройств, «Советское радио», ч. I, 1957, ч. II, 1958.
16. Педак А. М., Теория и расчет режимов ламповых генераторов, КВ и РТУ, 1954.
17. Тимофеев В. М., Проектирование радиопередающих устройств, Связьиздат, 1960.

18. Терентьев С. Н. и Картавых В. Ф., Генераторы дециметровых волн, ч. I, ХВАИВУ, 1958.

19. Халфин А. М., Основы телевизионной техники, «Советское радио», 1955.

20. Хацкелевич В. А. «Радиотехника», 1959, № 3, Электрический расчет режимов новых генераторных триодов.

21. Справочник по электровакуумным приборам, Энергоиздат, 1956.

22. Справочник по электровакуумным приборам, Госэнергоиздат, 1955.

23. ГОСТ 7845-55.

24. Уртель, Телефункен Цайтунг, № 62, 1933.

25. Лэнди Р., Девис Д. и Албрехт А., Справочник радиоинженера, Госэнергоиздат, 1961.

Цена 51 коп.