

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

(ТУСУР)

Кафедра телевидения и управления

(ТУ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ТУ, профессор

_____ И.Н. Пустынский

« _____ » _____ 2012 г.

РУКОВОДСТВО

Для выполнения лабораторных работ по курсу «УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И
ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ»

для специальностей 210302 «Радиотехника», 210402 «Средства связи с подвижными
объектами», 210403 «Защищенные системы связи», 210304 «Радиоэлектронные системы»,
075400 «Комплексная защита объектов информации», 210303 «Бытовая радиоэлектронная
аппаратура», 210312 «Аудивизуальная техника», 100101 «Сервис».

РАЗРАБОТАЛ

_____ А.Д. Бордус

_____ Г.Д. Казанцев

_____ А.Г. Ильин

« _____ » _____ 2012 г.

2012

А.Д. Бордус. Руководство для выполнения лабораторных работ по курсу «УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ». – Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. – 46 с.

Настоящее «Руководство» содержит описание лабораторных работ по курсу «Радиопередающие устройства», выполняемых студентами радиотехнических специальностей ТУСУРа. Лабораторные работы охватывают основные разделы курса и служат для закрепления у студентов теоретических знаний, полученных при слушании курса, и привития им навыков практической и экспериментальной работы. Работы выполняются фронтальным методом на универсальных установках.

© А.Д. Бордус, Г.Д. Казанцев, А.Г. Ильин, 2012

© Кафедра Телевидения и управления, ТУСУР, 2012

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Подготовка к лабораторным работам

До начала занятий в лаборатории следует подробно ознакомиться с описанием лабораторной работы и литературой, указанной в описании. Проверить свои знания по вопросам, приведенным в конце описания каждой лабораторной работы.

Выполнение работы в лаборатории

- 1.Лабораторные работы выполняются в часы, предусмотренные расписанием. Каждую работу выполняет бригада, состоящая из 2-3 человек.
- 2.Особенностью лаборатории РПУ является использование высоковольтных источников питания и достаточно мощных генераторов электромагнитной энергии. Поэтому перед выполнением работ каждый студент обязан пройти инструктаж по технике безопасности и в дальнейшем выполнять необходимые требования.
- 3.Перед выполнением работы студенты должны тщательно ознакомиться с лабораторной установкой.
- 4.Включение установки производится только после разрешения преподавателя или лаборанта.
- 5.В лаборатории необходимо соблюдать тишину.
- 6.По окончании работы следует отключить все источники и приборы, уложить съёмные детали и соединительные шланги и сдать установку преподавателю или лаборанту.
- 7.Оформление результатов работы производится в лаборатории.
- 8.Работа считается законченной после просмотра и утверждения полученных результатов.

Оформление отчета

- 1.Отчет по лабораторной работе оформляется в соответствии с требованиями, действующими на данный момент времени. Инструкция по оформлению отчетов вывешивается в лаборатории.
- 2.Первый лист отчета должен содержать название работы, номер группы и фамилию студента, дату выполнения работы и фамилию преподавателя.

3. В отчете должны содержаться схема, краткое содержание работы, таблицы с экспериментальными и расчетными данными, графики и выводы по работе.

4. Графики и схемы вычерчиваются на листах отчета или на миллиметровой бумаге, которая подклеивается к отчету. Координатные оси и кривые должны иметь необходимые обозначения и изображаться в удобном масштабе. Экспериментальные результаты наносятся на графики в виде точек, крестиков, треугольников, которые должны быть хорошо видны. При выпадении отдельных экспериментальных точек из общего хода кривой их можно не учитывать, полагая их положение ошибочным.

5. Выводы должны содержать объяснения полученных результатов с точки зрения теории, объяснения отклонения экспериментальных данных от теоритических, оценку погрешности измерения и т.д.

Анализ результатов и выводы являются важнейшей частью работы.

6. Защита отчетов производится индивидуально каждым студентом и оценивается по пятибалльной системе. Результаты защиты отчетов и качество выполнения работ учитываются при сдаче экзамена по теоритическому курсу.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторные работы по радиопередающим устройствам проводятся на универсальной лабораторной установке, состоящей из двух макетов. Каждый макет представляет собой передатчик, выполненный в форме, удобной для проведения лабораторных исследований, и снабженный необходимыми приборами и органами управления.

Установка позволяет выполнить следующие работы:

Работа №1. Исследование форм импульсов генератора с внешним возбуждением.

Работа №2. Исследование режима генератора при изменении питающих напряжений.

Работа №3. Исследование нагрузочных и резонансных характеристик генератора.

Работа №4. Исследование зависимости режима генератора от угла отсечки.

Работа №5. Исследование трехточечных автогенераторов.

.....

Работы 2,3,4 – выполняются на макете №1 а 1,5 – на макете №2.

В верхней части каждого макета размещены измерительные приборы, а в нижней – радиопередатчик, на передней панели которого приведена его принципиальная схема, совмещенная с органами управления. На принципиальной схеме показаны также места включения измерительных приборов, размещенных на верхней панели. Обозначения приборов на схеме и панели совпадают между собой.

Установка укомплектована следующими стандартными приборами:

1. Вольтметром.
2. Звуковым генератором.
3. Осциллографом.
4. Частотомером.

Следует иметь в виду, что установка является достаточно сложным устройством, поэтому приступать к проведению лабораторных исследований следует только после тщательного изучения схемы, назначения органов управления и знакомства с инструкциями по использованию приборов.

МАКЕТ №1

Упрощенная принципиальная схема установки изображена на рис. 1. Она представляет собой радиопередатчик, состоящий из трех каскадов высокой частоты, модулятора и источников питания.

Каскады высокой частоты. Задающий генератор выполнен на лампе 6Ж4П по трехточечной схеме с последовательным питанием анодной цепи. Частота задающего генератора, равная одному мегагерцу, стабилизируется кварцем. В зависимости от положения тумблера ТП-4 кварц может быть подключен к промежутку сетка-катод или сетка-анод лампы. В соответствии с этим генератор будет работать по схеме индуктивной емкостной трехточки.

Колебания, развиваемые генератором, выделяются в анодном контуре, который в широких пределах перестраивается с помощью конденсатора переменной емкости $C_{аг}$. Ручка управления конденсатором выведена на переднюю панель передатчика. Переменное напряжение на анодном контуре может быть измерено на клемме « $U_{та}$ ».

Работа задающего генератора контролируется с помощью трех приборов, два из которых измеряют постоянные составляющие тока управляющей сетки $I_{г0}$ и анодного тока $I_{а0}$, а третий – высокочастотный ток в контуре I_k .

Включение питания анода и экранной сетки задающего генератора производится тумблером ТП-2.

Колебания с анодного контура задающего генератора через переходную емкость поступают на управляющую сетку промежуточного каскада, выполненного на лампе 6П15П. Регулировка выходного напряжения на анодном контуре лампы 6П15П производится изменением напряжения на пентодной сетке лампы с помощью потенциометра $E_{гз}$, который питается от источника отрицательного напряжения – 150 В.

В схеме каскада предусмотрена также возможность амплитудной модуляции на пентодную сетку. Модулирующий сигнал в этом случае поступает от внешнего звукового генератора (клеммы З.Г.) через переключатель рода модуляции П-1.

Наблюдение за работой каскада производится с помощью двух приборов: прибора, измеряющего переменное напряжение, подаваемое от промежуточного каскада на выходной U_{mg} , и прибора, измеряющего напряжение звуковой частоты на клемме $3Г - U_{\Omega}$.

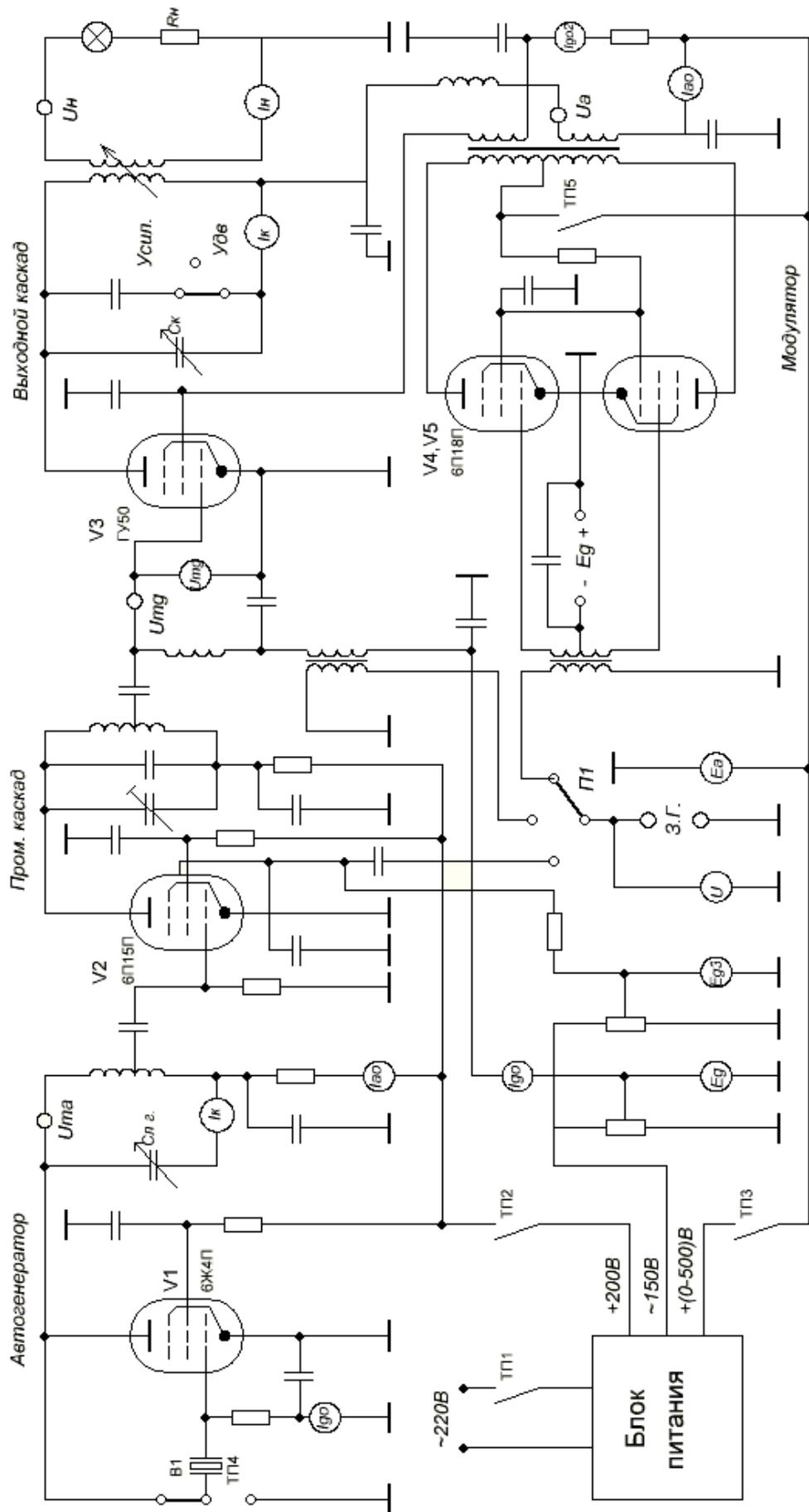


Рис. 1

Включение анодного питания промежуточного каскада производится тумблером ТП-2 одновременно с подачей питания на задающий генератор.

Выходной каскад передатчика выполнен на лучевом тетраде ГУ-50 по схеме с последовательным питанием анодной цепи. В анодном контуре ГУ-50 имеется переменный конденсатор C_k , который служит для настройки контура в резонанс.

Кроме этого, анодный контур переключением дополнительной емкости может настраиваться на первую или вторую гармонику анодного тока – «Усил» - «Удв». Связь с нагрузкой производится вариометром и регулируется в широких пределах. Нагрузкой генератора является цепь, состоящая из последовательно включенных активного сопротивления R_m и индикаторной лампочки накаливания, которая вынесена на переднюю панель. Суммарное сопротивление нагрузки составляет 500 Ом.

Смещение на управляющую сетку подается через высокочастотный дроссель от источника – 150 В и регулируется потенциометром E_g от нуля до максимальной величины.

Как уже отмечалось ранее, регулировка напряжения возбуждения на сетке выходного каскада производится потенциометром E_{g3} в цепи третьей сетки промежуточного каскада.

Анодное напряжение на выходной каскад включается тумблером ТП-3.

Управление работой каскада осуществляется с помощью ручек, выведенных на переднюю панель.

Выходной каскад может работать:

А) в режиме усиления немодулированных колебаний;

Б) в режиме удвоения частоты;

В) в режиме модуляции.

Наблюдение за работой выходного каскада осуществляется с помощью измерения следующих величин:

I_{a0} - постоянной составляющей тока анода выходного каскада;

E_a - напряжения анодного питания;

U_{mG} - напряжения возбуждения;

I_{g01} - постоянной составляющей тока первой сетки;

I_{g02} - постоянной составляющей тока экранной сетки;

I_k - тока в анодном контуре;

I_n - тока в цепи нагрузки (эквиваленте антенны).

Приборы для измерения I_{a0} и E_a расположены на передней панели блока питания, остальные - в верхнем ряду приборной панели.

Кроме этого, к клемме U_n могут подключаться приборы для измерения напряжения или просмотра формы сигнала на нагрузке выходного каскада.

Модуляция.

В установке предусмотрена возможность осуществления сеточной, анодно-экранной и пентодной модуляции, а также работа в режиме усиления модулированных колебаний.

Напряжение модуляции от внешнего генератора подается на клеммы З.Г. и далее, в зависимости от положения переключателя вида модуляции 2-1:

А) на пентодную сетку лампы 6П15П (пентодная модуляция и усиление модулированных колебаний), или

Б) на первичную обмотку трансформатора, включенного в цепь управляющей сетки выходного каскада (сеточная модуляция), или

В) на первичную обмотку входного трансформатора модулятора (анодно-экранная модуляция).

Переключателем П-1 производится также подключение к выходному контуру дополнительной емкости, служащей для пропускания звуковой составляющей анодного тока при сеточной модуляции и в режиме У.М.К. При анодно-экранной модуляции звуковая составляющая проходит через модулятор, а дополнительная емкость отключается.

Напряжение на клеммах З.Г. измеряется прибором U_{Γ} , расположенным на панели приборов.

При анодно-экранной модуляции модулирующее напряжение усиливается двухтактным модулятором на лампах 6П18П и с выхода модуляционного трансформатора поступает на анод и экранную сетку выходного каскада.

Включается модулятор тумблером ТП-5.

Источник питания.

Питание генератора осуществляется от трех выпрямителей, размещенных в блоке питания. Они вырабатывают напряжение + 200 В для питания задающего генератора и промежуточного каскада, - 150 В для создания смещения и регулировки напряжения возбуждения на управляющей сетке выходного каскада, регулируемое напряжение

0 + 500 В для питания выходного каскада и модулятора и напряжение для питания накалов ламп. Изменение напряжения питания выходного каскада и модулятора производится регулятором, ручка которого расположена в центре блока питания.

Включение установки осуществляется с помощью четырех тумблеров:

ТП-1 – сеть, минус 150 В и накал ламп;

ТП-2 - + 200 В для питания задающего генератора и промежуточного каскада;

ТП-3 – 0 + 500 В для выходного каскада;

ТП-5 – включение модулятора.

Тумблер ТП-1 расположен в блоке питания, а остальные – на панели блока передатчика.

МАКЕТ №2

Принципиальная схема макета изображена на рис. 2. Схема состоит из автогенератора, собранного на лампе V2, генератора с внешним возбуждением на лампе V3, а также реактивной лампы V1 и варикапа V4, служащих для осуществления частотной модуляции.

Автогенератор может быть включен по схеме индуктивной или емкостной трехточки с параллельным питанием цепи анода. Вид обратной связи и её величина устанавливаются с помощью переключателя П1, а частота автогенератора плавно изменяется конденсатором С1. Смещение на управляющую сетку подается автоматическое, за счет сеточного тока, или внешнее, с потенциометра – 50 В. Для наблюдения за формой напряжения на контуре автогенератора его катушка индуктивно связана с дополнительной обмоткой, выводы которой присоединены к клеммам $U_{дг}$. К этой же обмотке может быть подключена нагрузка, величина которой регулируется переключателем «Нагрузка А.Г.» от 10 Ом до 1.6 кОм.

Работа автогенератора контролируется шестью приборами, которые измеряют переменные напряжения на аноде - $U_{та}$, на сетке - $U_{тг}$, высокочастотный ток в контуре - I_k , постоянную составляющую тока сетки $I_{г01}$, постоянную составляющую анодного тока - $I_{а0}$ и напряжение смещения - E_g .

Колебания от автогенератора через катушку связи поступают на управляющую сетку лампы генератора с внешним возбуждением V3. Генератор может быть в режиме усиления, удвоения и утроения частоты. Вид режима устанавливается переключателем П2, который одновременно изменяет величину связи с автогенератором, сопротивление автосмещения и емкость в анодном контуре. Плавное изменение частоты контура производится емкостью С2, а изменение связи контура с анодной цепью V3 – переключателем $P_{св}$.

На лицевой панели макета имеется 6 пар контрольных гнезд для снятия осциллограмм:

I_{mg1} - тока управляющей сетки;

U_{mg} - напряжения возбуждения;

$I_{кат}$ - катодного тока;

I_{mg2} - тока экранной сетки;

$U_{m\alpha}$ - переменного напряжения на аноде;

$I_{m\alpha}$ - анодного тока.

Постоянные составляющие анодного и экранного токов измеряются приборами $I_{\alpha 0}$ и I_{g02} , а ток в контуре – прибором I_k .

Схема содержит 2 частотных модулятора. Один из них – реактивная лампа $V1$, которая тумблером $L_3 - C_3$ ставится в соответствующий режим, второй – варикап $V4$.

Присоединение модуляторов к контуру автогенератора производится переключателем «Способ ЧМ».

Напряжение смещения на частотные модуляторы подается от источника – 50 В через дроссели высокой частоты L и регулируется истенциометром E_g . На модуляторы может быть также подано напряжение звуковой частоты - U_{Ω} .

Заключение установки производится с помощью четырех тумблеров:

ТП-1 – сеть 220 В, минус 50 В и накал ламп,

ТП-2 - + 200 В для питания автогенератора,

ТП-3 - + 200 В для питания генератора с внешним возбуждением,

ТП-4 - + 200 В для питания второй сетки реактивной лампы.

ГЕНЕРАТОР С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

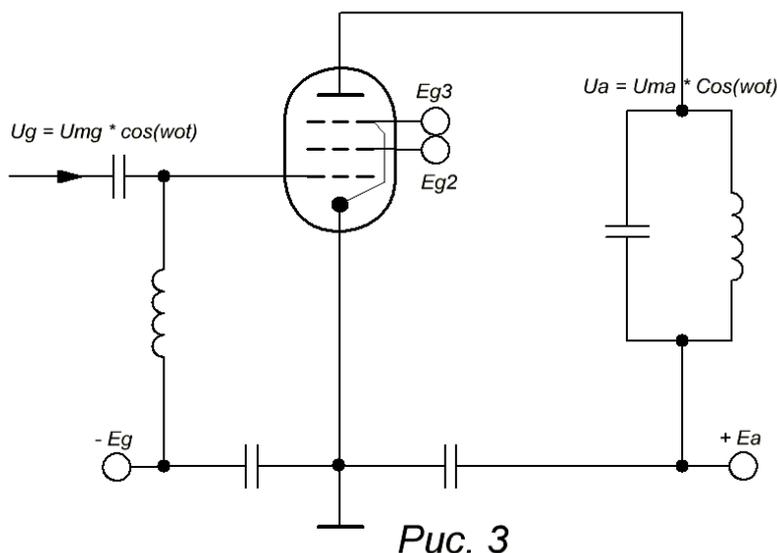


Схема генератора с внешним возбуждением приведена на рис. 3. На управляющую сетку лампы от источника возбуждения подается переменное напряжение U_g , изменяющееся по гармоническому закону с амплитудой U_{mg} .

Кроме переменного напряжения на сетку подается постоянное напряжение - E_g , служащее для выбора рабочей точки. Переменное и постоянное напряжение в сумме определяют мгновенное напряжение на сетке

$$e_g = E_g + U_{mg} \cos \omega_0 t$$

В анодную цепь генератора включены колебательный контур, на котором выделяется напряжение $U_\alpha = U_{m\alpha} \cos \omega_0 t$, создаваемое первой гармоникой анодного тока, и источник питания анодной цепи E_α . Мгновенное напряжение на аноде определяется выражением

$$e_\alpha = E_\alpha - U_{m\alpha} \cos \omega_0 t,$$

в котором знак минус учитывает противофазность переменных напряжений на сетке и аноде лампы.

На рис. 4 построены диаграммы мгновенных напряжений на сетке и аноде, а также графики анодного и сеточного тока с амплитудами $I_{m\alpha}$ и I_{mg} . Анодный ток протекает через лампу не все время, а лишь тогда, когда мгновенное напряжение на сетке превышает напряжение запирающей лампы E'_g , т.е. в интервал времени $t_1 + t_2$, причем наибольшего значения анодный ток достигает когда напряжение на сетке максимально $e_{g \max}$, а на аноде минимально $e_{\alpha \min}$:

$$e_{g \max} = E_g + U_{mg},$$

$$e_{\alpha \min} = E_\alpha - U_{m\alpha}.$$

Ток управляющей сетки течет через лампу, когда мгновенное значение напряжения на сетке $e_g > 0$, ($t_3 + t_4$).

Ток экранной сетки начинается одновременно с анодным и имеет одинаковый с ним угол отсечки $\theta_{g2} = \theta_\alpha$. На диаграмме этот ток не изображен.

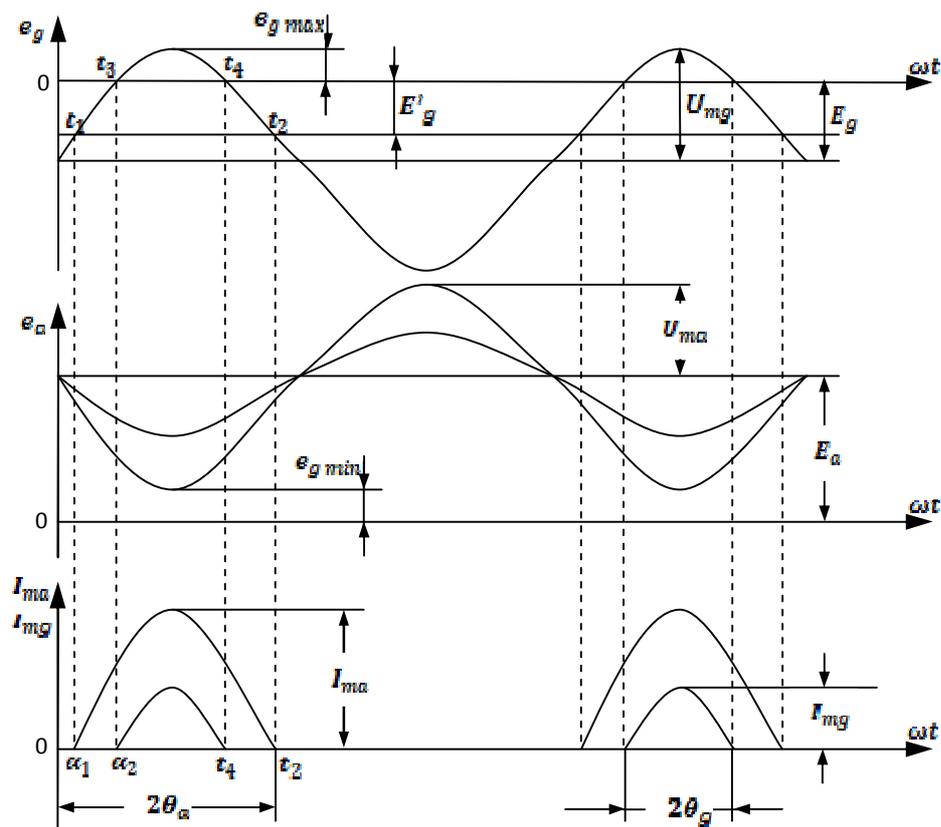


Рис. 4

В зависимости от величины сеточного тока режимы генератора с внешним возбуждением подразделяются на недонапряженный, критический и перенапряженный. Режим называется недонапряженным, если ток в цепи сетки мал по сравнению с анодным, и перенапряженным – если сеточный ток составляет значительную часть анодного тока. Режим, промежуточный между ними, называется критическим. В триодных генераторах напряженность режима устанавливается по току управляющей сетки, а в тетродных и пентодных – по току экранной сетки. В критическом режиме сеточный ток составляет 10-15% от анодного.

Наибольшего значения сеточный ток достигает в момент, когда напряжение на аноде равняется остаточному $e_{a\min}$, а напряжение на управляющей сетке максимально $e_{g\max}$. Следовательно, о напряженности режима можно судить по соотношению $e_{a\min}$ и $e_{g\max}$, а при постоянном $e_{g\max}$ по остаточному напряжению $e_{a\min}$.

Так как $e_{a\min} = E_a - U_{ma} = E_a - I_{a1} * R_{0a}$,

Где I_{a1} - первая гармоника анодного тока,

R_{0a} - сопротивление анодной нагрузки,

То при $I_{a1} = \text{const}$ остаточное напряжение, а следовательно, и напряженность режима будут определяться сопротивлением нагрузки.

При малом сопротивлении R_{0e} остаточное напряжение на аноде $e_{\alpha \min}$ велико, следовательно, сеточный ток мал, и режим является недонапряженным; при большом сопротивлении R_{0e} режим будет перенапряженным.

Форма импульса анодного тока существенно зависит от напряженности режима. В недонапряженном режиме импульсы анодного тока имеют косинусоидальную форму. В перенапряженном режиме, когда остаточное напряжение становится малым, сеточный ток достигает большой величины, и в вершине импульса анодного тока наблюдается характерный провал. Режим промежуточный между недонапряженным и перенапряженным называется критическим. В критическом режиме вершина импульса анодного тока имеет небольшое уплощение; сопротивление анодной нагрузки, соответствующее этому режиму, обозначается $R_{0e \text{кр}}$.

Отношение $\xi = \frac{U_{ма}}{E_{\alpha}}$ называется коэффициентом использования анодного напряжения.

В критическом режиме $\xi = \xi_{\text{кр}} = \frac{U_{ма \text{кр}}}{E_{\alpha}}$. Обычными значениями для $\xi_{\text{кр}}$ являются 0,8+0,9. Режим будет недонапряженным, если $\xi < \xi_{\text{кр}}$, и перенапряженным, если $\xi > \xi_{\text{кр}}$.

Характер изменения режима генератора при изменении сопротивления анодной нагрузки можно пронаблюдать с помощью построения динамических характеристик анодного тока.

При работе генератора происходит одновременное изменение напряжения на сетке и на аноде. Кривая, отображающая изменения анодного тока при одновременном изменении напряжения на сетке и аноде, называется динамической характеристикой.

Динамические характеристики могут быть построены как в сеточной $i_{\alpha} = f(e_g)$, так и в анодной $i_{\alpha} = f(e_{\alpha})$, системе координат.

Идеализированные динамические характеристики анодного тока в сеточной системе координат изображены толстыми линиями в правой верхней части рис.5. Их наклон всегда меньше, чем наклон статистических ламповых характеристик, т.к. увеличение напряжения на сетке сопровождается уменьшением анодного напряжения. Исключение составляет случай, когда анодная нагрузка $R_{0e}=0$. При этом динамическая характеристика совпадает со статической при $e_{\alpha} = E_{\alpha}$.

Вид динамической характеристики существенно зависит от напряженности режима генератора. В недонапряженном или критическом режиме, т.е. при $0 \leq R_{0e} \leq R_{0e \text{кр}}$, динамическая характеристика представляется прямой линией, для построения которой достаточно знать две точки. Из выражений 1 и 2 имеем:

$$\text{Точка } A \cos \omega_0 t = 1, e_g = e_{g \max}, e_{\alpha} = e_{\alpha \min}.$$

Точка Б $\cos \omega_0 t = 0, e_g = E_g, e_a = E_a$.

Участок динамической характеристики, лежащей в области $i_a < 0$, является недействительным. Действительный анодный ток начинается с точки $i_a = 0$. Значение анодного тока, соответствующее точке Б, называется током покоя i_n .

Ток покоя может быть мнимым при $\theta < 90^\circ$; как на рис.5, действительным при $\theta > 90^\circ$ или равным нулю при $\theta = 90^\circ$.

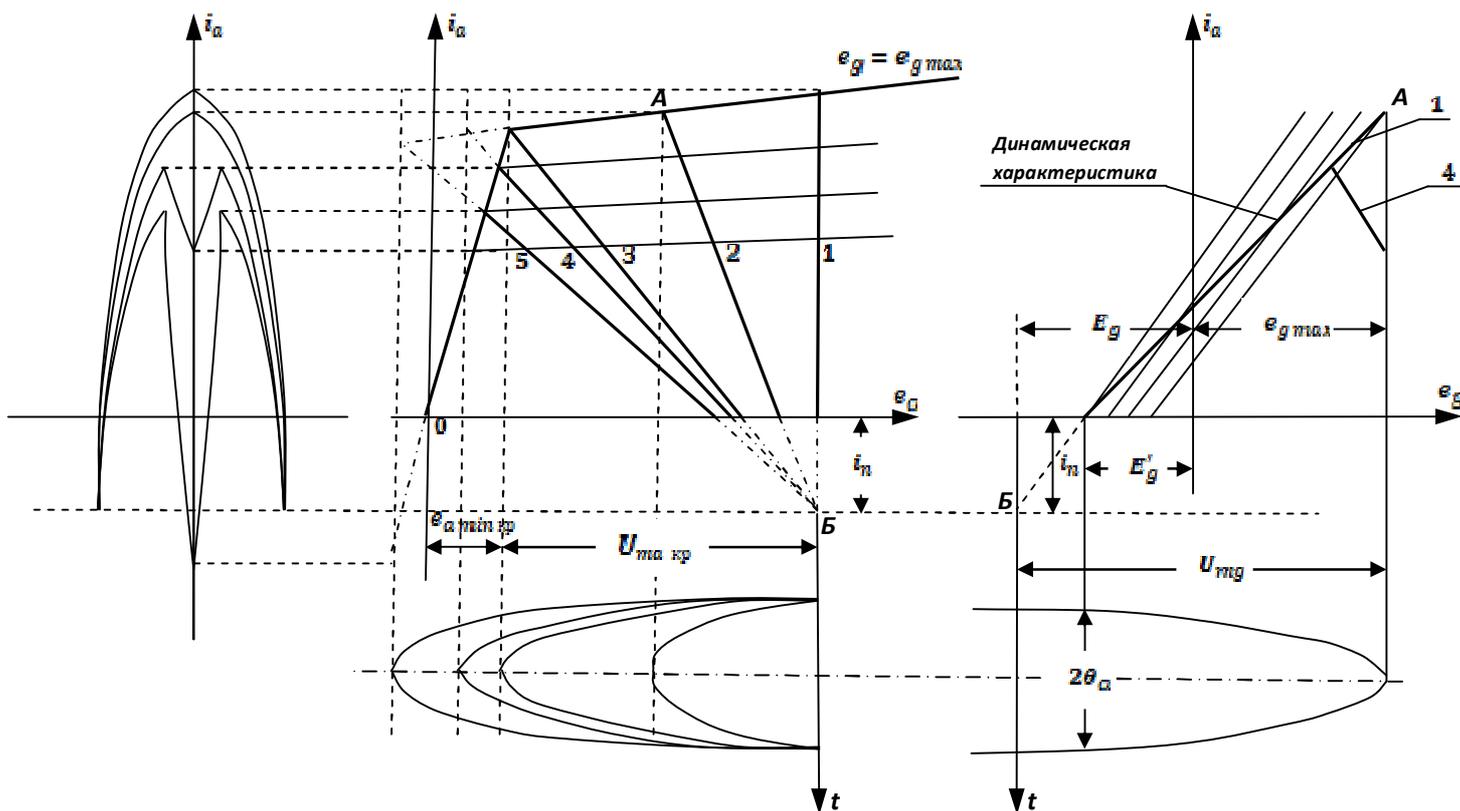


Рис. 5

Построение динамических характеристик в анодной системе координат для $\theta < 90^\circ$ и равных напряженностей режима показано в средней части рис.5. Координаты точки Б определяются значениями E_a и E_g . Её положение фиксировано для всех динамических характеристик. Точка А, которой заканчивается динамическая характеристика, лежит на статической характеристике для $e_g = e_{g \max}$. Её положение меняется при изменении остаточного напряжения $e_{a \min}$.

Динамическая характеристика 1 соответствует короткому замыканию нагрузки $U_{ма} = 0$, характеристика 2 – недонапряженному режиму при $U_{ма} < U_{ма \text{кр}}$ и нагрузке в анодной цепи $R_{0e} \leq R_{0e \text{кр}}$. Характеристика 3 соответствует критическому режиму, при котором $R_{0e} = R_{0e \text{кр}}, e_{a \min} = e_{a \min \text{кр}}$. Динамические характеристики 4 и 5 относятся к перенапряженному режиму. Для первой из них остаточное напряжение

$e_{\alpha \min} < e_{\alpha \min \text{кр}}$ и $1 > \xi > \xi_{\text{кр}}$, а для второй $e_{\alpha \min} < 0$ и $1 > \xi$. В случае 1, 2, и 3 импульс анодного тока имеет косинусоидальную форму, а его амплитуда $I_{\text{ма}}$ уменьшается незначительно. В случае 4 импульс имеет провал, а при 5 разделяется на две части.

Динамическая характеристика в сеточной системе координат для импульса с провалом (случай 4) изображена в правой части рис.5.

РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ ИМПУЛЬСОВ ГЕНЕРАТОРА С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

1. Наглядно изучить деформации импульсов тока генераторной лампы от изменения её режима.
2. Выяснить изменения составляющих токов импульса при его деформации.
3. Определить пути циркуляции токов в цепях ступени.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Углы отсечки анодного тока θ_a и тока управляющей сетки θ_g лампы определяются по формулам: $\cos \theta_a = \frac{E'_g - E_g}{U_{\text{mg}}}$, $\cos \theta_g = \frac{E_g}{U_{\text{mg}}}$,

где E'_g - напряжение запираения лампы,

E_g - напряжение смещения,

U_{mg} - амплитуда напряжения возбуждения.

Напряжения E'_g и E_g должны подставляться в формулы со своим знаком.

При $E'_g = E_g$, $\theta_a = 90^\circ$.

При $|E_g| > |E'_g|$, $\theta_a < 90^\circ$.

При $|E_g| < |E'_g|$, $\theta_a > 90^\circ$.

Режим с углом отсечки $\theta_a > 90^\circ$ в радиопередающих устройствах применяется редко.

Эквивалентное резонансное сопротивление параллельного контура при его неполном включении (рис.6) создает в анодной цепи лампы сопротивление

$$R_{\text{вс}} = \frac{(\omega L_a)^2}{r_k} = \left(\frac{\omega L_a}{\omega L_k}\right)^2 * \frac{(\omega L_k)^2}{r_k} = P_{\text{св}}^2 \frac{P^2}{r_k} = P_{\text{св}}^2 * R_{\text{вс}},$$

Где L_a и L_k - индуктивности катушек связи и контура,

$P_{св} = \frac{L_a}{L_k} < 1$ - коэффициент включения контура в анодную цепь лампы,

$\rho = \omega L_k = \frac{1}{\omega C_k}$ - волновое сопротивление,

r_k - сопротивление потерь контура.

Коэффициент включения также может быть записан в виде

$$P_{св} = \frac{U_{ма}}{U_{mk}} \approx \frac{\Pi_a}{\Pi_k},$$

Где Π_a и Π_k - число витков соответственно катушек L_a и L_k .

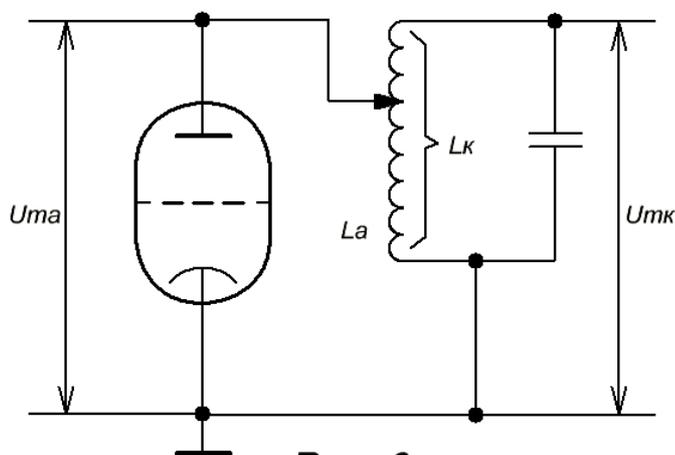


Рис. 6

Изменяя коэффициент включения $P_{св}$, можно менять нагрузку в анодной цепи и напряженность режима генератора.

Процесс формирования импульсов анодного тока при разных значениях $R_{0св}$ показан на рис.5.

С ростом $R_{0св}$ увеличивается напряженность режима, уменьшается анодный ток, а сеточный ток нарастает.

В перенапряженном режиме из-за чрезмерного нагрева могут выйти из строя сетки лампы, а в недонапряженном режиме – анод, из-за возрастания анодного тока.

На практике применяется критический или слегка перенапряженный режим, характеризующиеся наибольшей полезной мощностью и к.п.д.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить схему.
2. Включить автоматическое смещение автогенератора и установить движок сопротивления автосмещения в среднее положение.
3. Ручку переключателя обратной связи автогенератора поставить в положение, соответствующее максимальной связи, а ручку переменного конденсатора контура автогенератора в среднее положение.
4. Переключатель «Способ ЧМ» поставить в положение «Выкл.».
5. Установить переключатель рода работы в положение «Усил», а переключатель анодной связи – в положение максимальной связи.
6. Подключить к гнездам $I_{ма}$ осциллограф.
7. Включить установку и подать напряжения на автогенератор и исследуемую ступень (Ручка «Способ ЧМ» должна находиться в положении «Выкл.»).
8. Получить на экране осциллографа отчетливое изображение не менее двух импульсов анодного тока и подстроить контур выходной ступени в резонанс.
9. Момент наступления резонанса можно отметить:
 - А) по максимуму тока в контуре I_k или в цепи сетки I_{g02} ,
 - Б) по минимальному току анода I_{a0} ,
 - В) по симметрии провала импульса анодного тока на экране осциллографа.

Операции, перечисленные в пунктах 1 + 8, являются подготовительными. После их выполнения приступить непосредственно к выполнению работы.

1. Переключателем анодной связи P_{ce} и подстройкой контура в резонанс добиться режима близкого к критическому, что определяется по уплощению вершины импульса анодного тока.

Записать значение токов I_{g01} , I_{g02} , I_{a0} по показаниям приборов, и с помощью осциллографа пронаблюдать и зарисовать эпюры напряжений и токов U_{mg} , U_{ma} , I_{mg1} , I_{ma} , I_{mg2} , I_{ka-m} и одновременно измерить углы отсечки и амплитуды указанных токов. Результаты свести в таблицу.

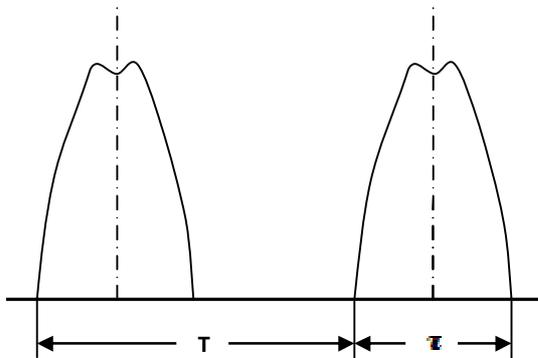


Рис. 7

Частота развертки осциллографа подбирается такой, чтобы на экране наблюдалось два-три исследуемых импульсов. Искажения осциллограмм, вызванные наводками, при зарисовке не воспроизводить.

При определении амплитуд импульсов токов $I_{mg1}, I_{ma}, I_{mg2}, I_{kam}$ учитывать, что осциллограммы этих токов они – снимаются с измерительных резисторов $R_1 - R_4$, причем $R_1 = 50 \text{ Ом}$, остальные – по 10 Ом .

Углы отсечки токов определяются по осциллограммам (см. рис.7) по формуле

$$\theta = \frac{360^\circ}{2} * \frac{\tau}{T},$$

Где τ – длительность импульса,

T - период следования.

2. Изменением $P_{св}$ установить перенапряженный режим генератора, пронаблюдать и зарисовать форму токов и напряжений. Особое внимание обратить на форму импульса анодного тока.
3. Пронаблюдать и зарисовать эпюры U_{mg}, U_{ma}, I_{ma} для режимов удвоения и утроения. Обратить внимание на соотношение частот этих токов и напряжений.
4. Для критического режима усиления по измерительным амплитудам и углам отсечки вычислить постоянные составляющие токов I_{g01}, I_{g02}, I_{a0} и сравнить полученные величины с записанными ранее показаниями соответствующих приборов.

В отчете представить:

- А) краткое содержание и схему работы,
- Б) для критического режима усиления – эпюры всех напряжений и токов, согласованные по фазе, как это сделано на рис.4,
- В) для режимов умножения эпюры U_{mg}, U_{ma}, I_{ma} также согласованные по фазе,
- Г) анализ полученных результатов и выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Начертите диаграммы работы генератора с внешним возбуждением (эпюры токов и напряжений) при усилении в недонапряженном режиме.
2. То же в перенапряженном.
3. То же при утроении, удвоении.
4. Почему в перенапряженном режиме при усилении импульс анодного тока имеет провал? Объясните это с помощью построения анодной характеристике.
5. Что изменится в построении рис.5, если принять $\theta_a = 120^\circ$?
6. Какие Вам известны способы изменения анодной нагрузки? Выразите это математически.

7. Напишите, как выражается колебательная мощность через $I_{\alpha 1}, U_{m\alpha}, I_{m\alpha}, I_k, R_{0e}$.
8. В какие точки схемы следует включать приборы для измерения $I_{g01}, I_{g02}, I_{\alpha 0}, I_k, I_n$? Куда включать не следует и почему?

РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование зависимости режима генератора от напряжений возбуждения и смещения.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Зависимость режима генератора от напряжения возбуждения U_{mg} называется колебательной характеристикой. При её исследовании предполагается, что остальные питающие напряжения E_g, E_{g2}, E_a , а также сопротивление нагрузки не меняются. Ход колебательных характеристик зависит от выбора рабочей точки. На рис.8 приведена идеализированная сеточная характеристика лампы, поясняющая работу генератора для трех случаев $|E_g| > |E'_g|$, $E_g = E'_g$ и $|E_g| < |E'_g|$.

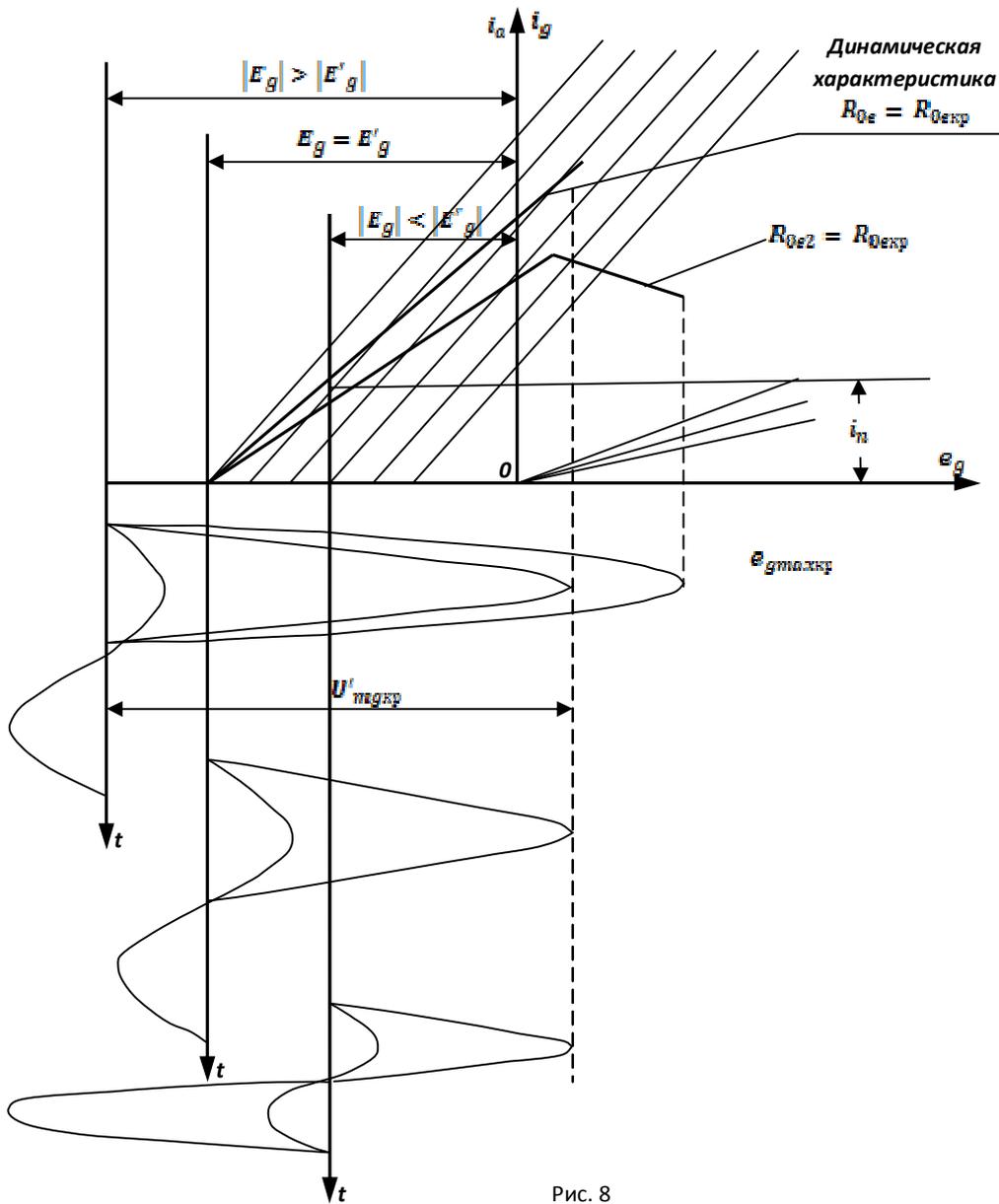


Рис. 8

В случае $|E_g| > |E'_g|$ при малых амплитудах возбуждения лампа закрыта. При некоторой амплитуде U_{mg} появляются импульсы анодного тока, их амплитуда и угол отсечки возрастают с увеличением U_{mg} .

Соответственно возрастают $I_{a0} = \alpha_0 * I_{ма}$ и $I_{a1} = \alpha_1 * I_{ма}$ см. рис.9.

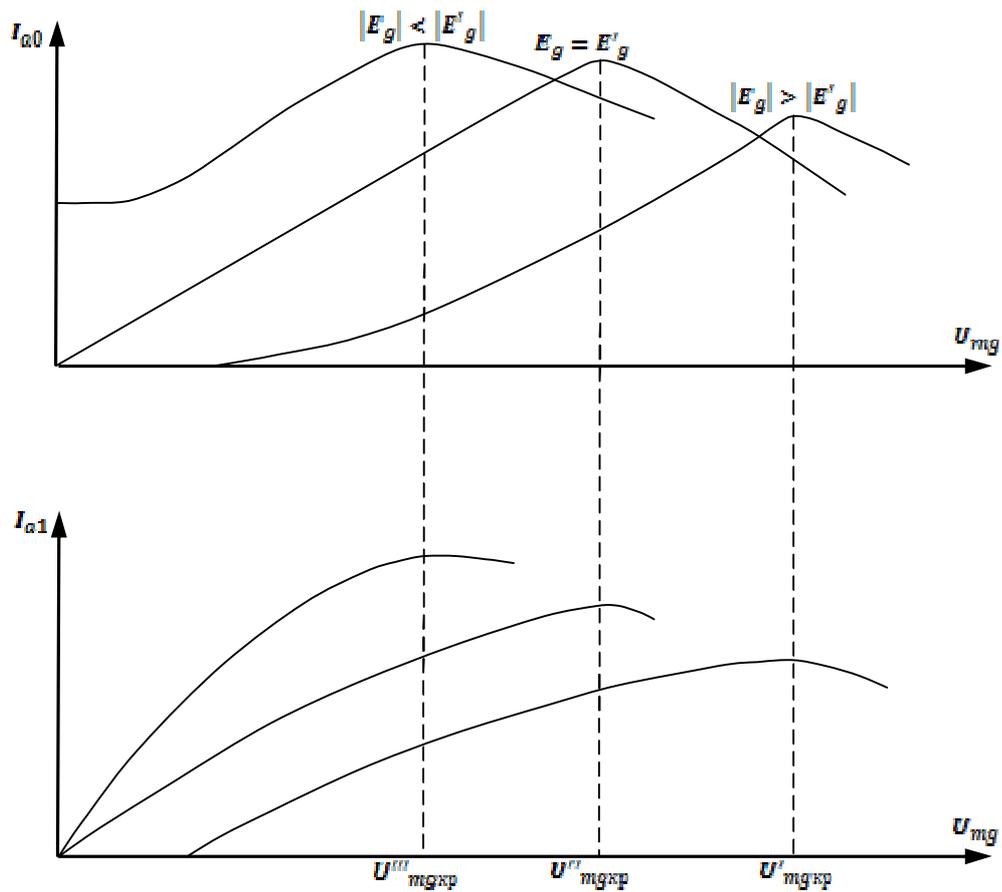


Рис. 9

Дальнейшее увеличение U_{mg} сопровождается появлением сеточного тока и увеличением напряженности режима, который вначале становится критическим, а затем переходит в перенапряженный. Динамическая характеристика анодного тока приобретает перегиб, характерный для перенапряженного режима.

Импульс анодного тока из косинусоидального превращается в уплощенный, а затем в нем появляется провал, приводящий к уменьшению I_{a0} и I_{a1} . Характерно, что угол отсечки для данного случая увеличивается от 0° , но не достигает 90° .

При $E_g = E'_g$ угол отсечки равен 90° и остается постоянным при любом U_{mg} . Импульсы анодного тока появляются практически с нулевой амплитуды U_{mg} , растут с возрастанием U_{mg} , а при заходе в перенапряженный режим начинают уменьшаться.

Если $|E_g| < |E'_g|$, то при $U_{mg} = 0$ через лампу протекает ток покоя $i_n > 0$, который фиксируется прибором как I_{a0} , переменная же составляющая анодного тока, т.е. I_{a1} , отсутствует. При малых амплитудах U_{mg} пока нет отсечки анодного тока, последний имеет форму полной косинусоиды, и амплитуда его нарастает пропорционально U_{mg} . Постоянная же составляющая I_{a0} не меняется, оставаясь равной току покоя i_n . С некоторой амплитуды U_{mg} начинается, отсечка анодного тока, и с этого момента

растут уже обе составляющих тока $I_{\alpha 0}$ и $I_{\alpha 1}$, а дальше ведут себя аналогично предыдущим случаям. Характерно, что угол отсечки убывает здесь от 180° , но не становится ниже 90° .

Сравнивая эти три случая, необходимо отметить, что чем меньше $|E_g|$, тем при меньшем U_{mg} наступает критический режим. Это можно понять из рис. 8, откуда видно, что критический режим (для заданного R_{0e}) наступает при определенном $e_{g \max}$, а

$$e_{g \max} = E_g + U_{mg}.$$

Колебательные характеристики для различных R_{0e} при прочих равных условиях можно объяснить, исходя из того, что при увеличении R_{0e} динамическая характеристика анодного тока в сеточных координатах опускается вниз, и критический режим наступает при меньшем $e_{g \max}$.

Это в свою очередь связано с тем, что с ростом R_{0e} растет U_{ma} и, соответственно, уменьшается $e_{\alpha \min}$, что приводит к уменьшению анодного и возрастанию сеточных токов.

Зависимость режима генератора от напряжения смещения E_g во многом подобна зависимости от напряжения возбуждения U_{mg} .

Действительно, как было показано ранее, режим генератора в сильной степени определяется величиной $e_{g \max} = E_g + U_{mg}$. Отсюда видно, что приблизительно равный эффект можно получить изменением U_{mg} или E_g . При $U_{mg} = \text{const}$ изменением E_g можно получить $e_{g \max} < E'_g$, что соответствует запиранию лампы, или $e_{g \max} = e_{g \max \text{кр}}$.

Процессы, происходящие в лампе при изменении E_g и $U_{mg} = \text{const}$, отображаются на рис. 10а.

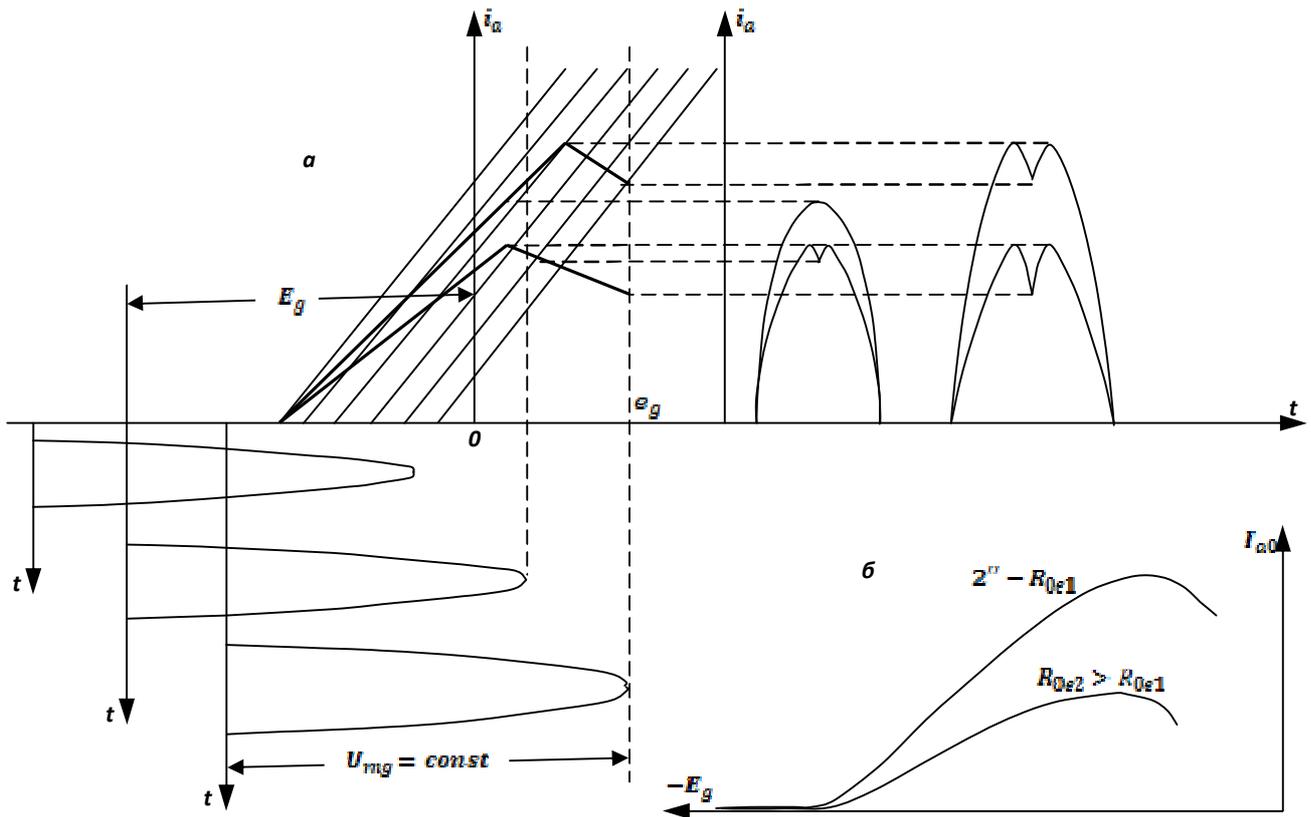


Рис. 10

С уменьшением $|E_g|$ увеличивается высота импульса анодного тока и его угол отсечки, а следовательно, первая гармоника и постоянная составляющая анодного тока, т.к.

$I_{a0} = \alpha_0 * I_{ма}$ и $I_{a1} = \alpha_1 * I_{ма}$. При малых значениях $|E_g|$ появляется сеточный ток, увеличивается напряженность режима, а затем в импульсе анодного тока появляется провал, и I_{a0} и I_{a1} уменьшаются. График для I_{a0} приведен на рис. 10б. Нелинейность в нижней части графика объясняется криволинейностью нижнего участка реальной характеристики лампы, а в верхней части перегиб происходит за счет наступления перенапряженного режима.

Увеличение эквивалентного сопротивления анодной нагрузки приводит к более раннему наступлению перенапряженного режима, и протяженность линейного участка I_{a0} уменьшается ($R_{0e2} > R_{0e1}$ на рис. 10б).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Изучить схему.
2. Включить источники смещения и накала ламп (тумблер ТП-1).
3. Подать напряжение на задающий генератор и промежуточный каскад (тумблер ТП-1).

4. Поворотом ротора конденсатора $C_{дг}$ в анодной цепи задающего генератора добиться его устойчивой работы с амплитудой тока в контуре 70+80% от максимальной (схема включения кварца может быть любой).
 5. Подать напряжение на выходной каскад (ТИ-3) и поворотом ручки регулятора на блоке питания установить $E_{\alpha} = 24C + 250B$.
 6. Установить напряжение смещения E_{σ} в выходном каскаде, соответствующее углу отсечки анодного тока 90° .
- Примечание: при $E'_{\sigma} = E_{\sigma}$, $\theta_{\alpha} = 90^{\circ}$ (рис.11).

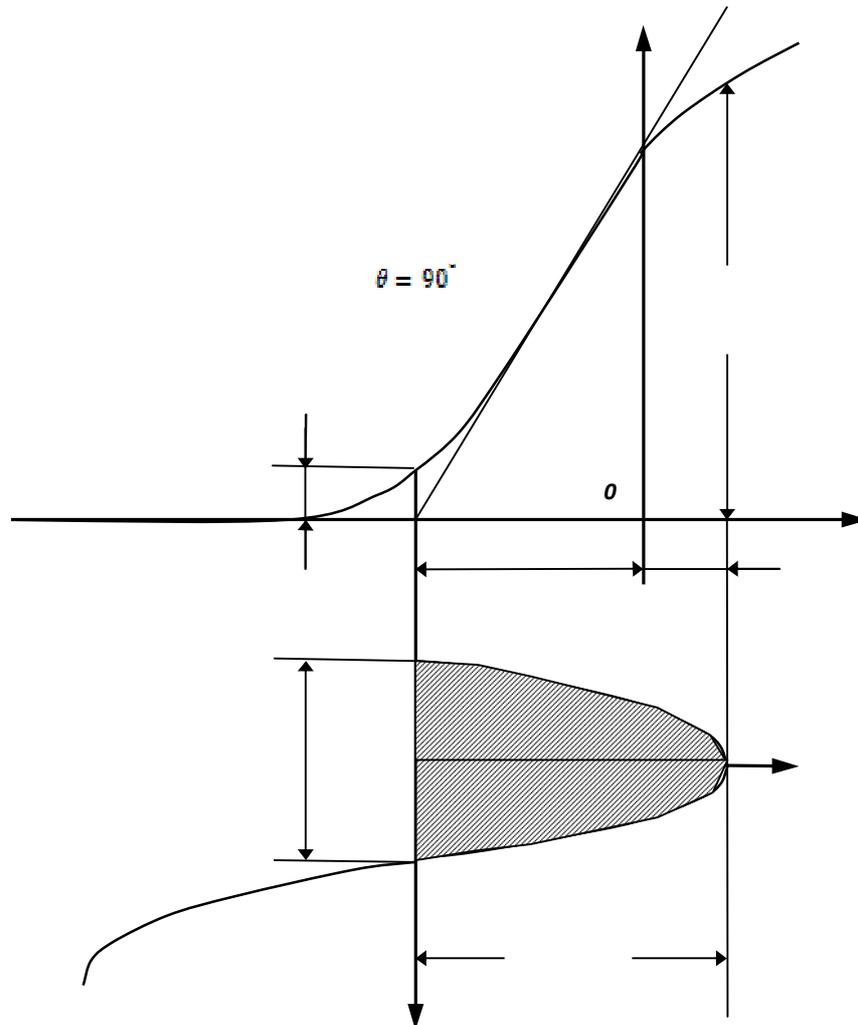


Рис. 11

Экспериментально определить E'_{σ} можно следующим образом:

- А) снять напряжение возбуждения,
- Б) изменяя напряжение смещения, установить $I'_{\alpha 0} = 5mA$, поддерживая $E_{\alpha} = const$.

Найденное значение смещения будет соответствовать напряжению запирания для идеализированной характеристики ГУ 50.

7. Вариметр выходного каскада поставить в положение средней связи с нагрузкой ($X_{св}=3+4$) и настроить анодный контур в резонанс.
8. Снять колебательные характеристики $I_{\alpha 0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n = f(U_{mg})$ для трех случаев:

А) $E_g = E'_g$

Б) ($\theta_\alpha < 90^\circ$), $|E_g| = |E'_g| + 30$ В,

В) ($\theta_\alpha > 90^\circ$), $|E_g| = |E'_g| - 30$ В.

Кроме этого, при $E_g = E'_g$ снять колебательные характеристики для связи $X_{св}$, отличающейся от установленной ранее на 2+3 деления по шкале связи.

Напряжение возбуждения изменять от нуля до максимального значения через 10 вольт. После каждого изменения U_{mg} проверять установку E_g и E_α .

В каждом случае особо отметить значения $U_{mg} = U_{mgкр}$, при котором ток в нагрузке максимален (режим максимальной мощности).

Полученные данные занести в таблицу.

U_{mg} В	0	10	20			Примечание
$I_{\alpha 0}$ мА						$E_g =$
I_{g01} мА						$E_\alpha =$
I_{g02} мА						$X_{св} =$
I_k дел						$E'_g =$
I_n дел						

По полученным данным построить графики. Провести анализ полученных результатов.

9. Исследовать зависимость режима генератора от напряжения смещения $I_{\alpha 0}, I_{\alpha 1}, I_{g02},$

$I_k, I_n = f(E_g)$ (при $U_{mg} = 70$ В и $E_\alpha = const$) для $X_{св} = 3$ и $X_{св} = 1$.

Напряжения смещения изменять в максимально возможных пределах через 10 вольт.

После каждого изменения E_g производить проверку начальных значений U_{mg} и E_α .

Полученные данные занести в таблицу.

E_g (В)	0	10			Примечание
$I_{\alpha 0}$ мА					$U_{mg} =$
I_{g01} мА					$E_\alpha =$
I_{g02} мА					$X_{св} =$
I_k дел					$E'_g =$
I_n дел					

По полученным данным построить графики. Провести анализ полученных результатов.

В отчете представить:

- А) краткое содержание и схему работы,
- Б) таблицы и графики наблюдений,
- В) выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОТРОЛЬНЫЕ ВОРОСЫ.

1. Покажите пути постоянных и переменных составляющих токов сетки и анода в генераторе с внешним возбуждением. Расскажите назначение элементов схемы.
2. Каковы причины перегиба колебательных характеристик?
3. Как определить E'_g по показаниям приборов установки?
4. Каким путем можно увеличить протяженность линейного участка характеристики $I_n = f(E_g)$ при $U_{mg} = const$?
5. Изобразите на сеточной характеристике лампы угол отсечки анодного тока.
6. Каким способом можно увеличить (уменьшить) напряженность режима?
7. Каково обычно бывает соотношение между i_a и i_g генератора, работающего в критическом режиме?
8. В какие точки схемы следует включить приборы для измерения $I_{a0}, I_{a1}, I_{g02}, I_k, I_n$? Куда включать не следует и почему?

РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ И РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование зависимости режима генератора от величины анодной нагрузки.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Нагрузочные характеристики показывают изменение токов, напряжений и энергетического баланса генератора от сопротивления нагрузки при постоянных E_g, U_{mg}, E_{g2} и E_a .

Из рис. 5 видно, что пока режим генератора остаётся недонапряженным, высота импульса анодного тока уменьшается незначительно при существенном увеличении сопротивления нагрузки. С переходом в перенапряженный режим в импульсе анодного тока появляется и расширяется провал и одновременно резко падает высота импульса при малом увеличении R_{0e} .

Т.е. в недонапряженном режиме:

$$I_{a1} = \alpha_1 * I_{ma} = \text{const},$$

$$I_{a0} = \alpha_0 * I_{ma} = \text{const},$$

а, $U_{ma} = I_{a1} * R_{0e}$ растет пропорционально R_{0e} :

В перенапряженном режиме:

$$I_{a1} = (\alpha_1 - \alpha_1 b) I_{ma},$$

$$I_{a0} = (\alpha_0 - \alpha_0 b) I_{ma},$$

Где α_1 и α_0 - коэффициенты разложения косинусоидального импульса анодного тока для «нижнего» угла отсечки, $\alpha_1 b$ и $\alpha_0 b$ - то же для «верхнего» угла отсечки, следовательно, I_{a1} и I_{a0} резко уменьшается, т.к. растут $\alpha_1 b$ и $\alpha_0 b$ и уменьшается I_{ma} .

Переменное напряжение на аноде в перенапряженном режиме остаётся почти без изменения, т.к. рост R_{0e} компенсируется уменьшением I_{a1} :

$$U_{ma} = I_{a1} * R_{0e} = \text{const}.$$

Сеточный ток недонапряженном режиме мал, т.к. остаточное напряжение $e_{a \text{ min}}$ велико и большинство электронов с катода, минуя сетку, попадают на анод. В перенапряженном режиме остаточное напряжение уменьшается, происходит перераспределение тока, и в результате сеточный ток возрастает. Нагрузочные характеристики изображены на рис. 12.

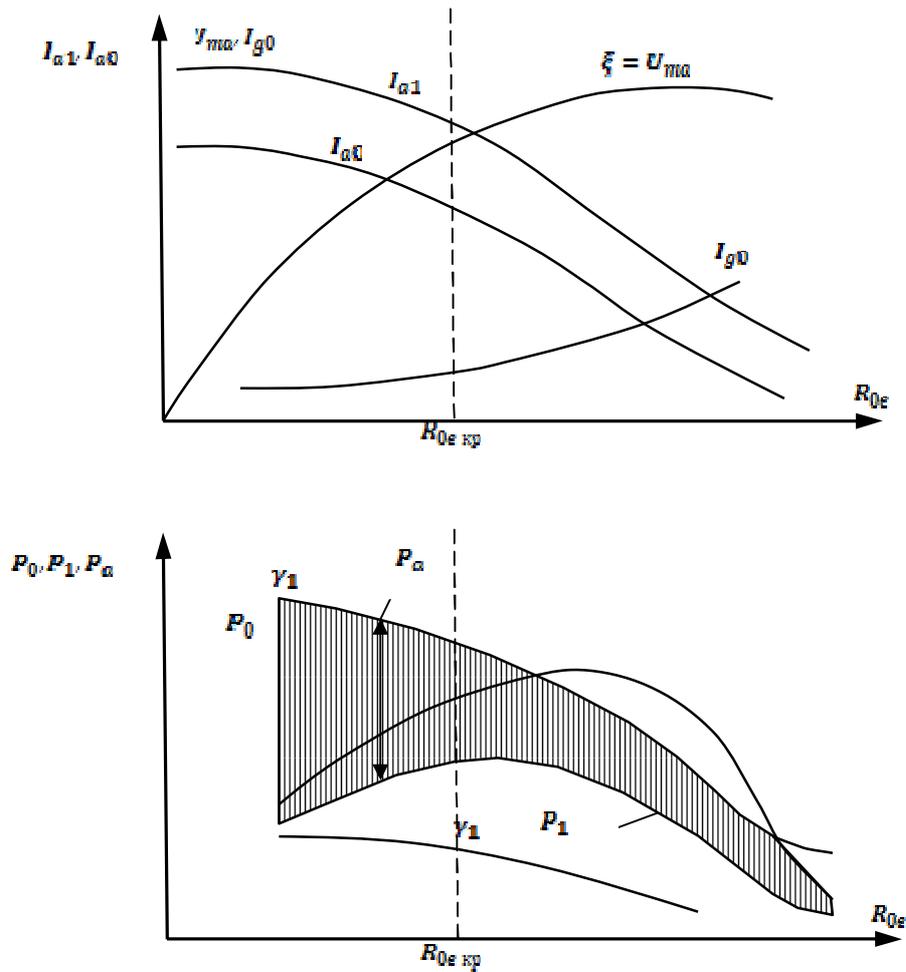


Рис. 12

Они разделены линией критического режима на две области: недонапряженного и перенапряженного режима. Верхний график показывает зависимость I_{a0} , I_{a1} , U_{ma} и постоянной составляющей сеточного тока I_{g0} от сопротивления нагрузки.

На нижнем графике показано изменение от сопротивления нагрузки трех мощностей: подводимой к аноду от источника питания P_0 , полезной P_1 и теряемой на аноде P_a . График для P_0 повторяет кривую I_{a0} , т.к. $P_0 = I_{a0} * E_a$.

В недонапряженном режиме полезная мощность возрастает с ростом нагрузки т.к.

$$P_1 = 0.5 I_{a1} * U_{ma} = 0.5 I_{a1}^2 * R_{0E},$$

а $I_{a1} = \text{const}$, а в области перенапряженного режима падает, т.к.

$$P_1 = 0.5 I_{a1} * U_{ma} = 0.5 I_{a1}^2 / R_{0E}, \text{ а } U_{ma} = \text{const}.$$

Максимального значения P_1 достигает в критическом или слегка перенапряженном режиме.

График для мощности потерь на аноде определится в соответствии с выражением

$P_a = P_0 - P_1$. С увеличением напряженности режима она сначала резко падает, а с переходом в перенапряженный режим падение замедляется. Очевидно, что наиболее тяжелым для анода является недонапряженный режим. Такой режим генератора получается, например: когда анодный контур расстроен. Поэтому во избежание выхода генератора из строя настройку следует производить при пониженном анодном напряжении.

Ход графика для ξ объясняется выражением $\xi = \frac{U_{ma}}{E_a}$ и повторяет ход кривой U_{ma} , т.к. $E_a = \text{const}$. В недонапряженном режиме форма импульса анодного тока и, следовательно, коэффициент формы $\gamma_1 = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$ почти не меняется. В перенапряженном режиме в импульсе анодного тока появляется провал, и коэффициент формы уменьшается. Объяснение характера графика для к.п.д. вытекает из формулы.

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{0.5 I_{a1} \cdot U_{ma}}{I_{a0} \cdot E_a} = 0.5 \gamma_1 \xi$$

При переходе от недонапряженного режима к критическому к.п.д. увеличивается пропорционально ξ , происходит через тупой максимум в слегка перенапряженном режиме и затем падает.

Изменение эквивалентного сопротивления $R_{0\epsilon}$ можно получить, например, изменением связи с нагрузкой.

Схема трансформаторной связи с нагрузкой приведена на рис. 13.

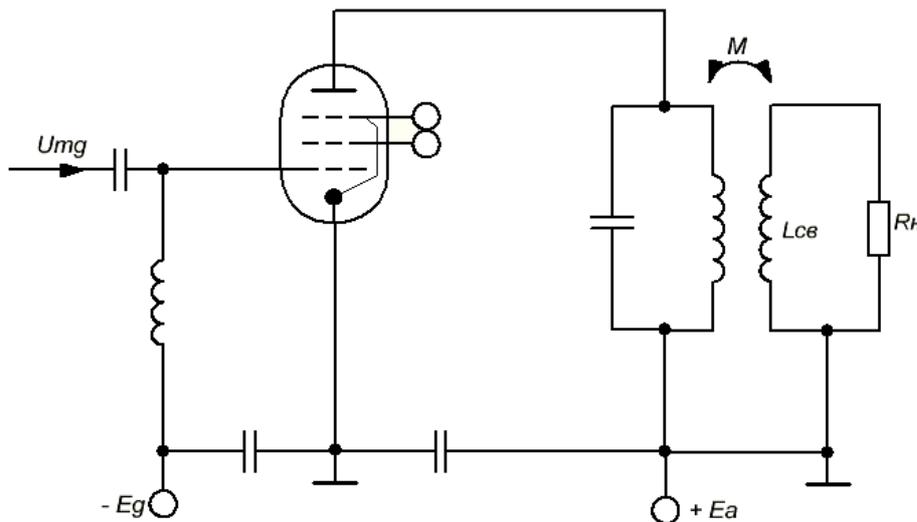


Рис. 13

Из общей теории связанных контуров для сопротивления, вносимого в анодный контур, можно написать $Z_{вн} = \frac{X_{св}^2}{Z_H} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_H}$,

Где $X_{св}^2 = \omega M$ - сопротивление связи,

M - коэффициент взаимоиндукции,

Z_H - сопротивление вторичной цепи при разомкнутой первичной.

В нашем случае $Z_H = \omega L_{св} + R_H$, где $\omega L_{св}$ - сопротивление катушки связи.

Обычно $\omega L_{св} \ll R_H$ и $Z_H \approx R_H$.

При этом вносимое сопротивление становится чисто активным $Z_{вн} = \frac{X_{св}^2}{R_H}$.

Фактически при изменении связи происходит некоторая расстройка контура, поэтому нужно подстраивать контур в резонанс конденсатором после каждого изменения связи.

Эквивалентное сопротивление анодного контура с учетом вносимого сопротивления $Z_{вн}$ будет равно

$$R_{0ан} = \frac{R^2}{l_{свб} + Z_{вн}}$$

где $l_{свб}$ - сопротивление собственных потерь контура.

Из изложенного следует, что с увеличением связи увеличивается вносимое сопротивление, а напряженность режима падает и наоборот.

Зависимость режима генератора от настройки анодного контура называется настроечной или резонансной характеристикой. Резонансная характеристика может быть объяснена на основании только что рассмотренных нагрузочных характеристик.

Действительно, прирезонансе сопротивление контура максимально и чисто активно, что соответствует наиболее напряженному режиму работы генератора. При всякой расстройке контура его сопротивление уменьшается по модулю, благодаря чему режим становится недонапряженным: $I_{а0}$ увеличивается, а $I_{г01}$, $I_{г02}$, $U_{та}$, I_k уменьшаются. Следует также учесть, что сопротивление контура становится комплексным, и, отсюда, появляется фазовый сдвиг φ между $I_{а1}$ и $U_{та}$. Все это приводит к резкому снижению полезной мощности

$$P_1 = \frac{1}{2} I_{а1} * U_{та} * \cos \varphi.$$

Потребляемая же от источника питания мощность $P_0 = I_{a0} * E_a$ возрастает, соответственно мощность, рассеиваемая анодом $P_a = P_0 - P_1$, резко увеличивается, и лампа может выйти из строя. Поэтому, если контур расстроен, следует уменьшить анодное напряжение E_a .

Одновременно оказывается, что напряжение U_a уже не противофазно U_g , из-за чего наблюдается несимметрия импульса анодного тока, которая особенно заметна для импульсов с провалом – провал получается не посередине импульса. Таким образом, по несимметрии импульса анодного тока можно судить о наличии и характере расстройки контура. Рисунок 14 иллюстрирует изложенное.

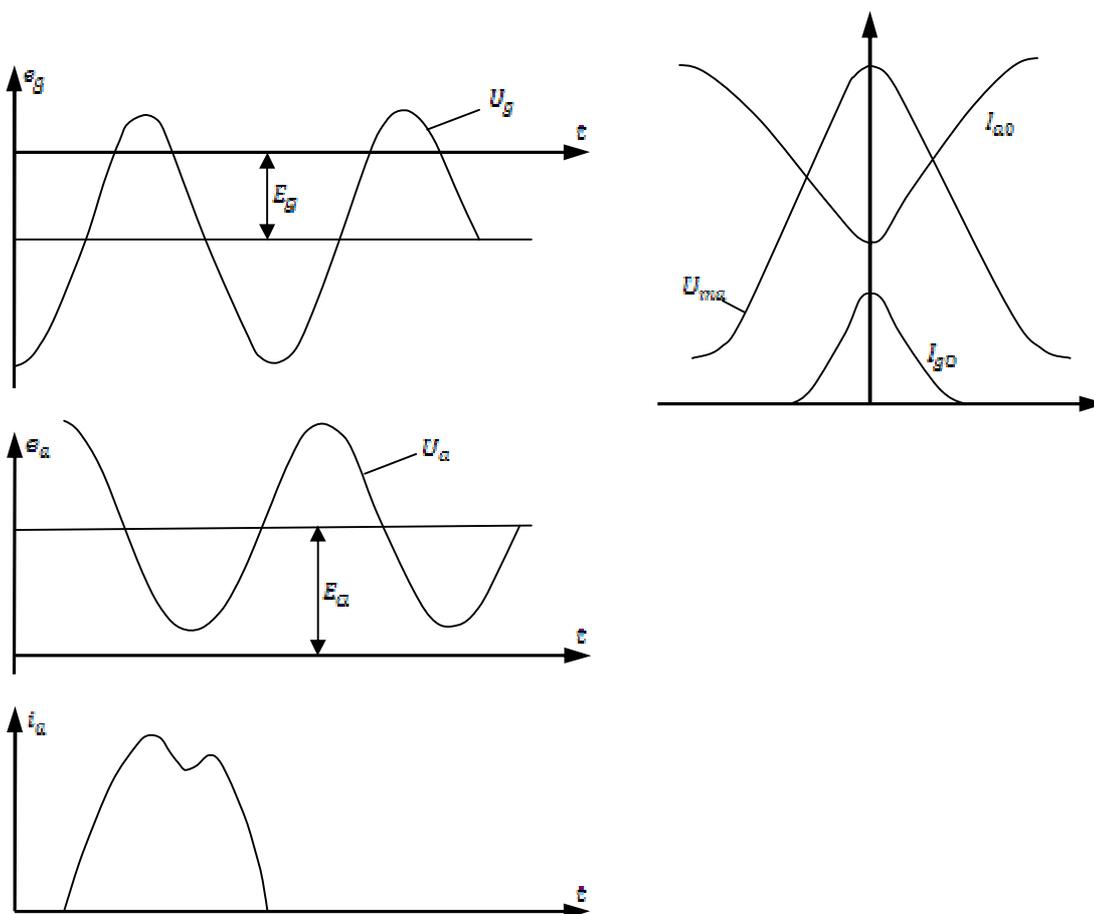


Рис. 14

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Повторить операции, предусмотренные пунктами 1+5 предыдущей работы.
2. Подать на сетку выходного каскада смещение $E_g = E'_g$ и напряжение возбуждения, соответствующее полному использованию лампы по току - $e_{g\max} = 20 В$.

3. Вариометр выходного каскада установить в положение минимальной связи с нагрузкой $X_{св}=0$, и настроить контур в резонанс. Проверить установку исходных значений E_g, U_{mg}, E_a .
4. Изменяя связь от минимальной до максимальной, снять зависимости $I_{\alpha 0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n, U_n = f(X_{св})$. После каждого изменения связи производить подстройку контура в резонанс и поддерживать E_g, U_{mg}, E_a постоянными.

Полученные данные занести в таблицу.

$X_{св}$	0	1	2	3	4	5	6	Примечание
$I_{\alpha 0}$								$E_g = C$ $E_a = C$ $U_{mg} = C$
I_{g01}								
I_{g02}								
I_k								
I_n								
U_n								

5. Снять те же зависимости при $\epsilon_{g \max} = 0$.
6. Используя полученные экспериментальные данные, определить P_{α}, P_0, P_1 и η для каждого значения связи.

Данные свести в таблицу.

$X_{св}$	0	1	2	3	4	5	6	Примечание
$P_0 = I_{\alpha 0} * E_a$								$E_g =$ $U_{mg} =$ $E_a =$ $R_k =$
$P_1 = U_n^2 / R_n$								
$P_{\alpha} = P_0 - P_1$								
$\eta \%$								

7. Снять резонансные характеристики $I_{\alpha 0}, I_{g01}, I_{g02}, I_k, I_n = \varphi$ (ск) при $E_g = E'_g, \epsilon_{g \max} = 20$ В для двух значений связи с нагрузкой $X_{св}=3$ и $X_{св}=1$. Контролировать постоянство E_g, U_{mg}, E_a .

Данные измерений свести в таблицу.

C_k дел	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Прим.
I_{a0} мА												$E_a =$ $E_g =$ $e_{g\max} =$ $X_{св} =$
I_{g01} мА												
I_{g02} мА												
I_k дел												
I_n дел												

В отчете представить:

- краткое содержание и схему работы,
- таблицы и графики наблюдений,
- выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- Какими способами можно изменять нагрузку анодной цепи генератора?
- Объясните ход кривых $I_{a0}, I_{g0}, I_n = f(R_{0Э})$.
- Как изменяются P_a, P_0, P_1 при изменении $R_{0Э}$?
- Каков характер графика $I_k = f(X_{св})$?
- Почему после изменения связи с нагрузкой приходится подстраивать анодный контур?
- В каком порядке Вы бы стали настраивать генератор в режиме максимальной мощности?
- Объясните ход надстроечных характеристик.
- Почему опасно настраивать в резонанс анодный контур при полном анодном напряжении?
- Как настроить анодный контур в резонанс, если приборов, измеряющих токи и напряжения высокой частоты, не имеется?
- Каким образом по форме импульса анодного тока в перенапряженном режиме и расстроенном анодном контуре можно установить характер реактивного сопротивления контура?

РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА ОТ УГЛА ОТСЕЧКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование зависимости режима генератора с внешним возбуждением от угла отсечки анодного тока при усилении и умножении частоты.

Зависимость режима генератора от угла отсечки анодного тока легко пояснить, используя выражение для гармонических составляющих анодного тока

$I_{an} = \alpha_n * I_{ma}$. Если $I_{ma} = \text{const}$, то очевидно, что зависимости $I_{a0}, I_{a1}, I_{a2} = f(\theta)$ будут повторять зависимости соответствующих коэффициентов Берга $\alpha_0, \alpha_1,$

$\alpha_2 = f(\theta)$ - рис. 15.

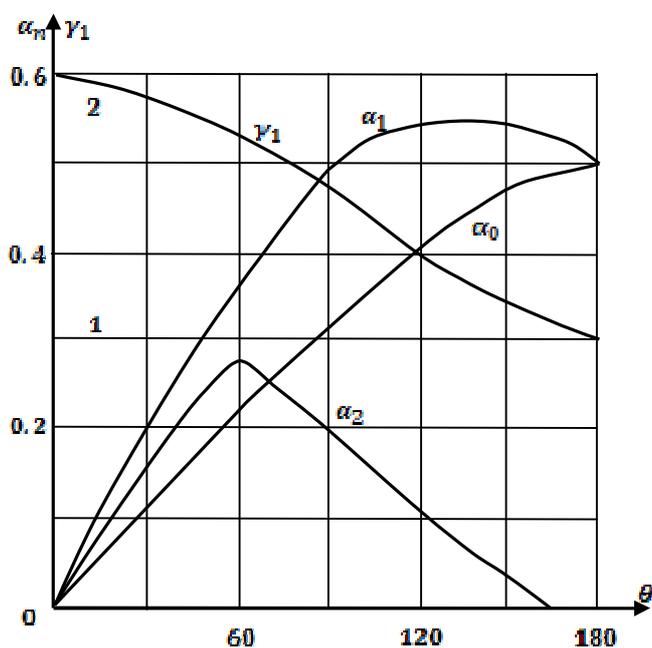


Рис. 15

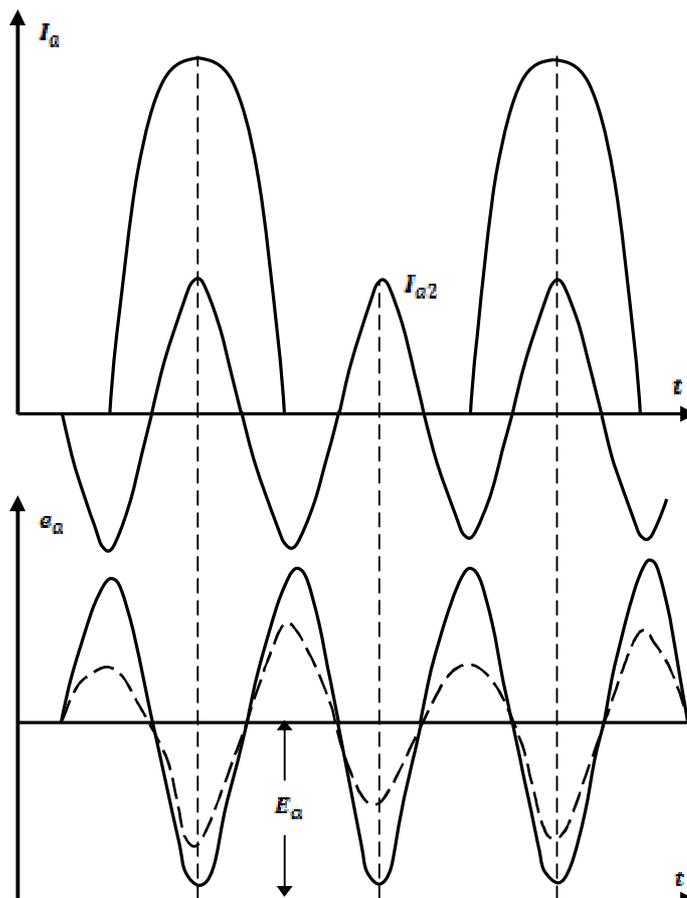


Рис. 16

Условие $I_{ma} = \text{const}$ можно выполнить, если поддерживать постоянной величину $e_{g \max}$ (см. рис.8), изменяя для этого одновременно напряжения E_g и U_{mg} на одинаковую величину.

Необходимо помнить, что коэффициенты Берга справедливы для импульсов тока косинусоидальной формы. Поэтому при исследованиях необходимо поддерживать в генераторе недонапряженный режим, для чего установить соответствующую связь с нагрузкой. Одновременно с уменьшением напряженности режима уменьшается U_{ma} , таким образом уменьшается реакция анода, что способствует постоянству I_{ma} .

В соответствии с рис. 15 следует ожидать, что в режиме усиления и умножения с ростом угла отсечки будет монотонно возрастать I_{a0} . Высокочастотные составляющие будут вести себя по разному. В режиме усиления I_k, I_n, U_{ma}, U_n с ростом угла отсечки до 120° будут нарастать, а затем начнут убывать, т.к. все эти величины связаны с $I_{a1}(\alpha_1)$.

В режиме удвоения контур настраивается на вторую гармонику анодного тока I_{a2} , см. эпюры на рис. 16, поэтому указанные токи и напряжения будут вести себя в соответствии с изменением коэффициента α_2 .

Максимум этих величин должен наблюдаться при $\theta=60^\circ$.

Полезная мощность генератора $P_1 = 0.5 I_{a1} * U_{ma1}$ - при усилении, и

$P_2 = 0.5 I_{a2} * U_{ma2}$ - при удвоении, определяется при прочих равных условиях величиной I_{a1} и I_{a2} , которые достигают максимума соответственно при $\theta=120^\circ$ и $\theta=60^\circ$.

Из сравнения графиков для α_1 и α_2 следует, что при постоянном импульсе тока I_{ma} мощность при оптимальных углах отсечки в режиме усиления в $\alpha_{1\max}/\alpha_{2\max} = 2,2$ раза больше, чем при удвоении частоты.

Большинство современных генераторных ламп имеют высокоэффективные катоды, предел использования которых определяется не высотой импульса, а средним значением тока катода. С учетом этого импульс при удвоении обычно выбирают большим, чем в режиме усиления. Полезная мощность при этом уменьшается лишь на 20-30%, а не в два раза, как в случае постоянной величины импульса анодного тока. Увеличение высоты импульса легко получить увеличением величины $e_{g\max}$ по сравнению с её значением в режиме усиления.

Зависимость η генератора от угла отсечки определяется выражением

$$\eta = \frac{P_n}{P_0} = 0.5 \frac{I_{an} * U_{ma}}{I_{a0} * E_{ra}} = 0.5 Y_n * \xi,$$

Где P_n - мощность полезной гармоники,

P_0 - мощность, потребляемая от источника питания,

$Y_n = \frac{\alpha_n}{\alpha_0}$ - коэффициент формы импульсов.

Если бы сделать $\xi = \text{const}$, то зависимость $I_{ma} = \text{const}$ повторяла бы зависимость

$\eta = f(\theta)$. Фактически при $R_{0e} = const$, $I_{ма} = const$, $U_{ма} = R_{0e} * I_{ма} * \alpha_n$ меняется с изменением θ , и меняется ξ . Поэтому зависимость η от угла θ приобретает более сложный вид

$$\eta = 0.5 \frac{I_{ан} * I_{ан} * R_{0e} = \frac{\alpha_n^2}{\alpha_0}}{I_{а0} * E_a} = \gamma_n * \alpha_n.$$

Анализ показывает, что при таких условиях максимальный η должен достигаться в режиме усиления при $\theta \approx 90^\circ$, а в режиме удвоения – при $\theta \approx 45^\circ$.

На работу умножителя частоты существенное влияние оказывает добротность анодного контура $Q = \omega L/l$. Действительно, т.к. анодный ток проходит через контур один раз в течение n - периодов колебаний на контуре, то только один из периодов оказывается «активным», а остальное время на аноде существуют свободные колебания

$$U_a = U_{ма} e^{-\alpha t} * \sin \omega_0 t,$$

причем коэффициент затухания $\alpha \equiv 1/Q$, определяется добротностью колебательного контура. При сильной связи с нагрузкой в анодный контур вносится большое сопротивление потерь, добротность контура уменьшается, соответственно увеличивается α , и к концу свободных колебаний (к приходу следующего импульса анодного тока) амплитуда колебаний на контуре значительно уменьшается по сравнению с начальной. Для поддержания колебаний на контуре с малым затуханием добротность анодного контура под нагрузкой должна быть достаточно велика. Эюра напряжения на аноде удвоителя при малой добротности колебательного контура изображена пунктиром на нижнем графике рис. 16.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Повторить операции 1+5, предусмотренные порядком выполнения работы №2.
2. Подать на сетку выходного каскада смещение $E_g = E'_g$ и установить напряжение возбуждения такой величины, чтобы $e_{gmax} = 20 В$.
3. Переключить анодный контур для работы в режиме усиления, установить связь с нагрузкой $X_{св} = 3 + 4$ и настроить контур в резонанс.
4. Снять зависимость режима генератора от угла отсечки анодного тока $I_{а0}$, I_{g01} , I_{g02} , $U_n = f(\theta)$ при $E_a = const$, $X_{св} = const$, $e_{gmax} = 20 В = const$. Напряжение на нагрузке U_n измерять вольтметром, подключенным к клемме U_n выходной цепи ($R_n = 500 \text{ Ом}$).

Для изменения угла отсечки при $e_{gmax} = const$ необходимо одновременно изменять U_{mg} и E_g . Изменение производить через 10 В в максимально допустимых пределах, поддерживать E_a постоянным.

Данные измерений свести в таблицу.

Опытные							Расчетные				Примечание
E_g В	U_{mg} В	I_{a0} мА	I_{g01} мА	I_{g02} мА	I_k дел	$U_k B /$ эф]	θ^a 2рад	P_1 Вт	P_0 Вт	η %	
											$E'_g =$ $E_\alpha =$ $X_{ce} =$ $P_1 = U_k^2 / R_H$ $P_0 = I_{a0} * E_\alpha$ $\eta = \frac{P_1}{P_0}$ $R_H = 500$ Ом

5. Переключить генератор в режим удвоения, настроить контур в резонанс на вторую гармонику и убедиться в этом с помощью осциллографа. Снять зависимость режима генератора от угла отсечки аналогично пункту 4, но при $X_{ce} = 2$ и

$$e_{g \max} = 25 B = const.$$

6. По данным предыдущего пункта установить смещение и возбуждение, соответствующие максимальной мощности в нагрузке. Подключить к клемме U_k - осциллограф. Меняя связь с нагрузкой через 2 деления, снять осциллограммы напряжения на нагрузке. После каждого изменения связи подстраивать анодный контур в резонанс по экстремумам анодного и сеточного токов.

Полученные осциллограммы привести в отчете и объяснить результаты.

В отчете представить:

- краткое содержание и схему работы.
- таблицы и графики наблюдений.
- выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- Почему мощность и к.п.д. лампового умножителя частоты ниже, чем усилителя?
- Почему в ламповых умножителях не применяют умножение более чем в 3 раза?
- Какие углы отсечки нужно выбирать для удвоителя? Для утроителя?
- Почему умножение применяется в маломощных каскадах?
- Какие требования предъявляются к анодному контуру умножителя?
- Какие каскады на Ваш взгляд менее склонны к самовозбуждению – усилительные или умножительные?

РАБОТА №5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХТОЧЕЧНЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучение основных схем трехточечных автогенераторов и исследование их режимов при автоматическом смещении в цепи сетки.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

Для возникновения автоколебаний в генераторе с самовозбуждением необходимо, чтобы энергия, поступающая в контур, была не менее энергии, затрачиваемой в колебательной системе (баланс амплитуд), а переменные напряжения на сетке и аноде должны быть в противофазе. Последнее условие в одноконтурных автогенераторах легко выполняется путем перекрещивания катодного и сеточного проводников (рис. 17).

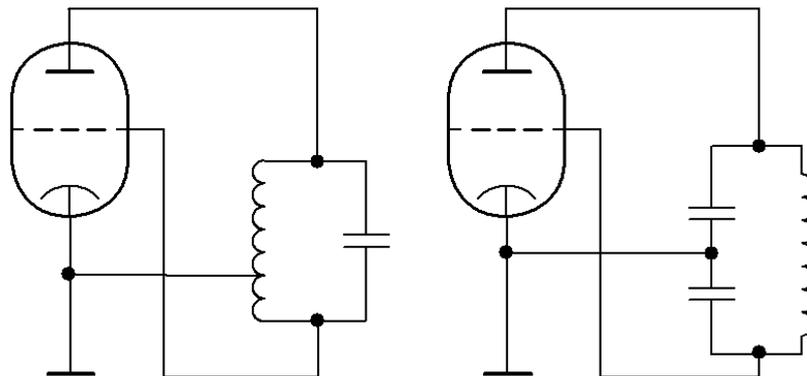


Рис. 17

Условия баланса амплитуд и фаз обычно записываются в следующем виде:

$S_0(K-D)R_{0e} > 1$ - баланс амплитуд,

$\varphi_\alpha + \varphi_k + \varphi_s = 0$ - баланс фаз.

Здесь φ_α - фазовый угол анодной нагрузки,

φ_k - фазовый угол коэффициента обратной связи,

φ_s - фазовый угол крутизны лампы,

R_{0e} - эквивалентное сопротивление анодного контура,

S_0 - крутизна характеристики в рабочей точке,

D - проницаемость лампы,

K - коэффициент обратной связи.

Если условия самовозбуждения выполнены, то в автогенераторе самопроизвольно начинаются и развиваются колебания. Однако колебания не могут нарастать неограниченно. Дело в том, что по мере нарастания колебаний режим может стать перенапряженным, или может начаться работа с отсечкой анодного тока. В том и другом случае уменьшается средняя за период колебания крутизна $S_{cp} = I_{a1}/U_{mg}$, и при достижении условия $S_{cp}(K-D)R_{0e} = 1$ - нарастание колебаний прекращается.

Теория автогенераторов решает три основных вопроса:

1. Как выполнить условия самовозбуждения.
2. Как определить амплитуду колебаний в стационарном режиме.
3. Как идет процесс нарастания колебаний по времени.

Условие самовозбуждения может быть выполнено соответствующим выбором S_0 , K , D и R_{0e} .

При этом K определяется элементами цепи обратной связи, R_{0e} - параметрами контура и его связью с нагрузкой, D - выбранной лампой и, наконец, S_0 определяется лампой и выбором рабочей точки. Из сказанного ясно, что наиболее просто и гибко можно воздействовать на величину S_0 , а также ясно, что при прочих равных условиях условие самовозбуждения можно выполнить, увеличивая S_0 , т.е. выбирая рабочую точку на участке с большой крутизной.

Стационарным или установившимся режимом автогенератора называется такое состояние, когда закончились переходные процессы, и амплитуда колебаний не меняется. Отсутствие колебаний является частным случаем стационарного режима. Анализ возможных стационарных режимов можно провести, используя прием совмещения на одном графике колебательной характеристики и линии обратной связи.

Колебательной характеристикой называется зависимость амплитуды первой гармоники анодного тока от напряжения возбуждения $I_{a1} = f(U_{mg})$.

Форма колебательной характеристики существенно зависит от положения рабочей точки. Если рабочая точка лежит на участке с большой крутизной S_0 , то колебательная характеристика имеет форму кривой с выпуклостью вверх рис. 18.

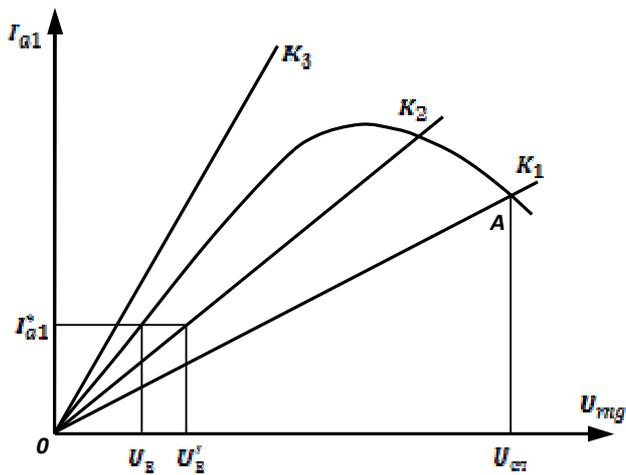


Рис. 18

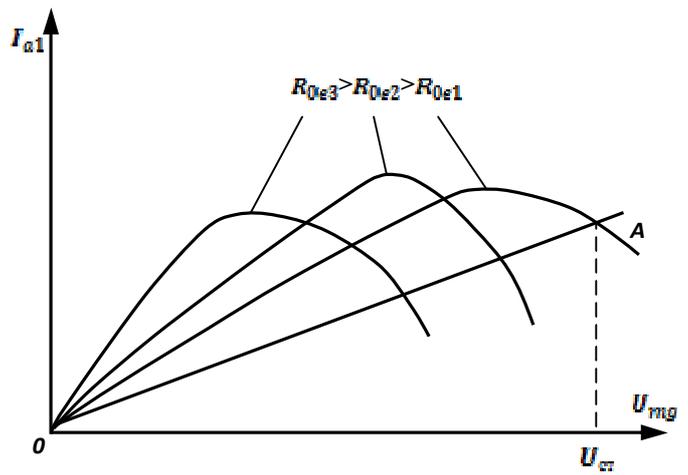


Рис. 19

С ростом возбуждения сначала происходит плавное увеличение тока I_{a1} , затем с увеличением напряженности режима его рост замедляется, а с заходом в перенапряженный режим ток I_{a1} начинает уменьшаться.

Линией обратной связи называется зависимость напряжения обратной связи U'_{mg} от амплитуды первой гармоники анодного тока I_{a1} .

Так как по определению $U'_{mg} = kU_{ma} = k * R_{0e} * I_{a1}$, то при постоянных k и R_{0e} линия обратной связи имеет вид прямой, наклон которой определяется произведением $k * R_{0e}$.

В стационарном режиме U_{mg} тождественно равно U'_{mg} так как нет внешних воздействий на автогенератор, а переходные процессы уже закончены. Поэтому стационарным может быть лишь режим, соответствующий точкам пересечения колебательной характеристики и линии обратной связи, где и наблюдается равенство $U_{mg} = U'_{mg}$.

На рис. 18 произведено совмещение колебательной характеристики и линии обратной связи, откуда видно, что в данном случае возможны две точки пересечения – 0 и А. Точка 0 соответствует отсутствию колебаний, а точка А – стационарному режиму с амплитудой $U_{ст}$. Чтобы определить, в какой из этих точек будет находиться процесс, нужно исследовать эти точки на устойчивость. Применим для этого метод малых возмущений. Пусть процесс находится в точке 0, и на сетку воздействует малое возмущение U_E (за счет тепловых флуктуаций, случайных наводок, и т.д.). Это возмущение вызывает появление в анодной цепи соответствующего тока I_{a1}^* , а этот ток, в свою очередь, вызывает напряжение обратной связи U'_E . Так как $U'_E > U_E$, то будет происходить лавинообразное нарастание этого возмущения, т.е. начнется генерация. Таким образом, в данном случае точка 0 неустойчива. Точка А, наоборот, является устойчивой, так как при воздействии малых возмущений в любую сторону

процесс вновь возвращается в неё же. Это согласуется с тем, что при больших S_0 колебания начинаются самопроизвольно. Чтобы каждый раз не производить исследование точек на устойчивость, вводится формальный критерий неустойчивости, а именно: точка является неустойчивой, если колебательная характеристика в этой точке идет круче, чем линия обратной связи.

Основываясь на вышеизложенном легко проследить влияние на режим автогенератора таких параметров схемы, как k и $R_{0\varepsilon}$.

При $R_{0\varepsilon} = \text{const}$ наклон линии обратной связи будет определяться только коэффициентом k . Как следует из рис. 18, при его уменьшении от величины k_1 до k_3 стационарная амплитуда колебаний в автогенераторе плавно уменьшится до нуля. Если производить увеличение связи от k_3 до k_1 , то так же плавно стационарная амплитуда нарастает от 0 до некоторого значения. Такой режим возбуждения автогенератора называется мягким.

Если $k = \text{const}$, то при изменении сопротивления нагрузки $R_{0\varepsilon}$ будет меняться напряженность режима генератора, а колебательная характеристика будет деформироваться. На рис. 19 приведено семейство колебательных характеристик для $R_{0\varepsilon 3} > R_{0\varepsilon 2} > R_{0\varepsilon 1}$.

Характеристика для $R_{0\varepsilon 1}$, соответствует работе генератора в слабонапряженном режиме, а для $R_{0\varepsilon 3}$ в перенапряженном.

Изменение коэффициента k можно осуществить изменением числа витков катушки (или емкостей делителя):

$$k = \frac{U_{mg}}{U_{ma}} = \frac{P_g}{P_a} \frac{C_a}{C_g},$$

Где P_g и C_g - число витков катушки и емкость, включенные между катодом и сеткой,

P_a и C_a - то же, но включенные между анодом и сеткой.

Изменение величины анодной нагрузки можно получить путем изменения коэффициента включения P колебательного контура в анодную цепь лампы или подключением к контуру сопротивления нагрузки.

Отметим в заключении, что выбор рабочей точки на участке с высокой крутизной $S_0(|E_g| \ll |E'_g|)$ приводит к тому, что в стационарном режиме лампа работает либо без отсечки, либо с углом отсечки $\theta > 90^\circ$, что энергетически невыгодно. Для того, чтобы облегчить условия самовозбуждения и в то же время повысить к.п.д., в стационарном режиме в автогенераторах применяют автосмещение за счет сеточного тока

$$E_g = -I_{g0} * R_g.$$

При этом, в момент включения колебания в автогенераторе отсутствуют, сеточный ток I_{g0} вместе с ним E_g равны нулю, т.е. рабочая точка находится на участке с большой крутизной S_0 . По мере развития колебательного процесса появляется и растет сеточный ток и, соответственно, $|E_g|$ растет, обеспечивая работу с малым углом отсечки.

Процессы, происходящие при этом, иллюстрируются рис. 20.

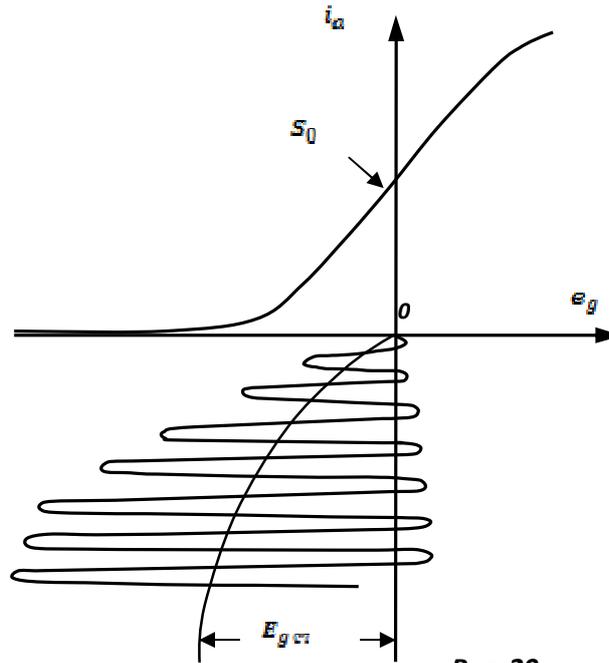


Рис. 20

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Привести макет в рабочее состояние, для чего установить максимальную обратную связь в схеме индуктивной или емкостной трехточки и автоматическое смещение. Ручку регулировки автосмещения установить в среднее положение. Переключатели «Нагрузка АГ» и «Способ ЧМ» поставить в положение «Выкл».
2. Подать напряжение на автогенератор и проверить устойчивость автоколебаний, для чего покрутить контурную емкость автогенератора. Если происходит срыв автоколебаний, уменьшить сопротивление автосмещения так, чтобы прибор, измеряющий I_{g01} автогенератора, показывал не более 3+5 мА.
3. Снять зависимость режима автогенератора от величины обратной связи $U_{mg}, U_{ma}, I_{a0}, I_{g01}, I_k = f(k)$. Величину связи менять в максимально возможных пределах. Исследовать обе схемы (с индуктивной и емкостной обратной связью). Данные свести в таблицу.

N/N n/n	U_{mg}	U_{ma}	I_{a0}	I_{g01}	I_{k1}	$K = \frac{U_{mg}}{U_{ma}}$	Примечание

								A) $U_{\text{индукт}}$ B) $E_{\text{емкост}}$ $R_{\text{н}} = \infty$
--	--	--	--	--	--	--	--	---

4. Включить нагрузку автогенератора. Величину сопротивления нагрузки выбрать самостоятельно, но так, чтобы токи существенно изменились. Снять зависимости $U_{\text{тг}}, U_{\text{та}}, I_{\text{г0}}, I_{\text{г01}}, I_{\text{к}} = f(k)$ для одной из схем (по выбору). Данные свести в таблицу, аналогичную приведенной выше.
5. Снять нагрузочные характеристики одной из схемы автогенератора $I_{\text{г0}}, I_{\text{к}} = f(R_{\text{н}})$ для двух положений переключателя обратной связи. Данные свести в таблицу.

$R_{\text{н}}$ Ом	∞	1800	680	200	51	10	Примечание
$I_{\text{г0}}$							$K =$
$I_{\text{к}}$							

В отчете представить:

- A) краткое содержание и схема работы.
 Б) таблицы и графики наблюдений.
 В) выводы по работе с объяснением хода кривых.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Начертите схему автогенератора с индуктивной обратной связью и автосмещением за счет тока управляющей сетки при последовательном питании анода.
2. То же с параллельным питанием анода.
3. То же с емкостной обратной связью.
4. Нужен ли разделительный конденсатор в цепи управляющей сетки автогенератора, собранного по схеме с емкостной обратной связью и параллельным питанием анода?
5. Что произойдет, если в цепь катода лампы автогенератора включить сопротивление смещения и не шунтировать емкостью?
6. Что такое «мягкое» самовозбуждение? Нарисуйте линию обратной связи и колебательную характеристику для этого случая.
7. Напишите, чему равен коэффициент обратной связи в трехточечных автогенераторах через напряжение и через параметры схемы. Докажите их тождественность.
8. Начертите схему автогенератора по емкостной трехточке с заземленной сеткой. Сделайте то же для индуктивной трехточки.
9. Начертите схему индуктивной и емкостной трехточки с заземленным анодом.
10. Как изменяется ток в контуре автогенератора при изменении $K, R_{\text{н}}$?

ЛИТЕРАТУРА.

1. Ильин А. Г. Устройства формирования сигналов. Часть1.-Томск.: ТУСУР, 2010.-92с.
2. Бордус А. Д. Устройства формирования сигналов. Часть2.-Томск.: ТУСУР,2011.-102с.