

Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации.

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА

Кафедра Теоретической радиотехники и электроники

ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИОДА, ТЕТРОДА, ПЕНТОДА.

Методические указания к лабораторной работе

№ 201

Казань-2005

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИОДА, ТЕТРОДА, ПЕНТОДА.

Цель работы: ознакомление с физическими принципами работы триода, тетрода, пентода и изучение их основных характеристик и параметров.

Триод - это электронно-управляемая лампа, содержащая три электрода: катод, анод и между ними третий электрод, называемый сеткой.

Процесс выхода электронов из тела называют электронной эмиссией. А для того, чтобы электрон вышел из тела ему необходимо сообщить дополнительную энергию. И в зависимости от вида дополнительной энергии различают термоэлектронную, вторичную электронную эмиссию и др. В лампах наиболее распространение получила термоэлектронная эмиссия.

Катод – это электрод, который при подогреве испускает электроны. По конструктивному признаку катоды можно разделить на две группы: катоды прямого накала и косвенного. В первом случае ток накала I_n протекает непосредственно по телу катода. В катодах косвенного накала подогреватель и собственно катод разделены. Преимущество подогревных катодов (т.е. косвенного накала) перед катодами прямого накала заключается в возможности их питания переменным током. Это значительно упрощает схемы источников напряжения накала.

Анод – является коллектором т.е. электродом, который собирает электроны. Анод в соответствии с формой катода выполняется либо в виде цилиндра, либо в виде короба.

Сетка - позволяет осуществлять управление анодным током триода, поэтому ее называют управляющей сеткой. Она выполняется в виде спирали из тонкой проволоки, располагается она между катодом и анодом, ближе к поверхности катода, (рис.1,а).

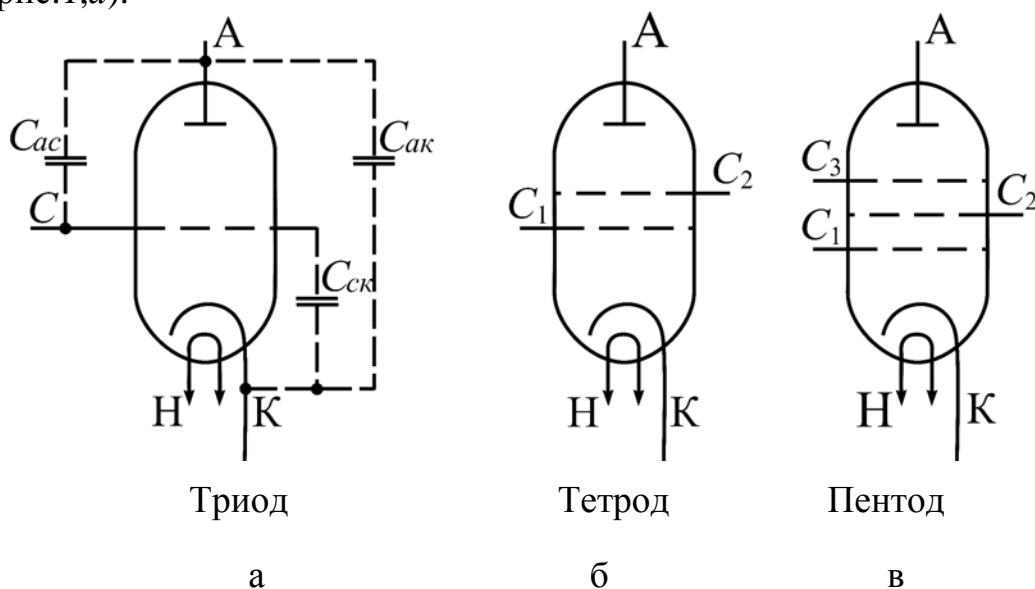


Рис.1

Принцип действия. Потенциал катода обычно принимают равным нулю

($U_k=0$), на анод подается положительное напряжение, а к сетке может быть подведено как положительное, так и отрицательное напряжение. При подогреве катода током накала I_n возникает термоэлектронная эмиссия. Электроны скапливаются у катода в виде электронного облачка и под влиянием положительного напряжения устремляются к аноду. При этом появляется анодный ток I_a , направленный во внешней цепи от катода к аноду. Изменение напряжения на сетке сильно влияет на электрическое поле в пространстве катод-сетка и слабее на поле между сеткой и анодом. При достаточно большом отрицательном напряжении на сетке в пространстве катод – сетка тормозящее поле создается не только вблизи витков сетки, но и между ними. Поэтому электроны, покидающие катод не могут преодолеть действие тормозящего поля и возвращаются к катоду. В результате объемный отрицательный заряд и потенциал в пространстве между катодом и сеткой становится еще более отрицательным. Электроны не достигают анода, и анодный ток $I_a=0$. Напряжение управляющей сетки при котором $I_a=0$ называется напряжением запирающей лампы $U_{зап}$. Уменьшение отрицательного напряжения на сетке приводит к уменьшению тормозящего поля и тогда все большее число электронов устремляется к аноду. При подаче положительного напряжения большая часть электронов устремляется к аноду и создает анодный ток, но электроны, движущиеся вблизи витков сетки, притягиваются к ней и образуют сеточный ток I_c . Таким образом при $U_c>0$ поток электронов, движущихся от катода и образующий катодный ток I_k , разветвляется на два потока, создающих сеточный и анодный токи.

$$I_k = I_c + I_a$$

А так как площадь витков намного меньше площади анода, то $I_c \ll I_a$.

В триоде имеется три емкости $C_{ск}$ – создает реактивную проводимость во входной цепи – называют входной емкостью, $C_{ак}$ – создает реактивную проводимость в выходной цепи – выходной емкостью, емкость анод-сетка $C_{ас}$ создает связь между входными и выходными цепями лампы – поэтому ее называют проходной емкостью. Она оказывает наиболее сильное влияние на свойства триода на высоких частотах. Через нее протекает ток из выходной цепи во входную, т.е. имеет место обратная связь ОС. В диапазоне ВЧ сопротивление емкости $C_{ас}$ становится малым и в результате прохождения ВЧ сигнала усилитель может превратиться в генератор незатухающих колебаний (режим самовозбуждения). Для устойчивой работы усилительной схемы на ВЧ необходимо уменьшить емкость $C_{ас}$. С этой целью в лампу ввели еще одну – экранирующую сетку.

Так был создан тетрод.

В этой (четырёхэлектродной) лампе экранирующая сетка располагается между управляющей сеткой и анодом. Экранирующая сетка по своей конструкции аналогична управляющей сетке в триоде, но шаг ее спирали обычно меньше.

На экранирующую сетку подается положительное напряжение, равное

обычно 60-100% анодного. Т.к. в этой лампе положительный потенциал имеет не только анод, но и экранирующая сетка, то электронный поток от катода к аноду всегда разветвляется на два: поток, направляющийся к аноду, и поток, попадающий на сетку.

На рис. 2, 3 и 4 приведены статические характеристики: анодно-сеточные $I_A = f(U_{C1})$ и анодные $I_A = f(U_A)$ для триода и пентода и анодные для тетрода.

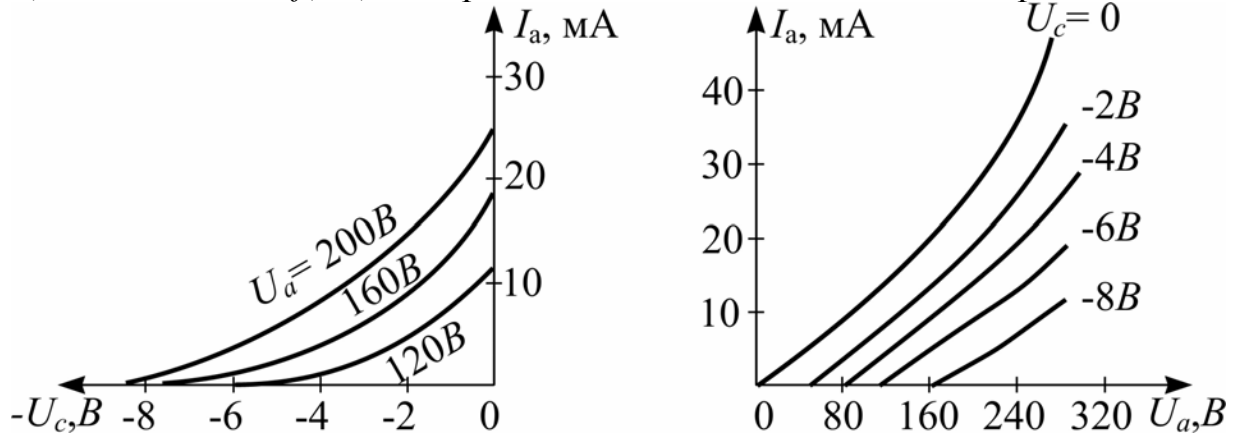


Рис.2

Анодные и анодно-сеточные характеристики тетрода отличаются от триодных вследствие большого внутреннего сопротивления тетрода, связанного с наличием второй экранирующей сетки, влияние потенциала которой сильнее, чем потенциал анода.

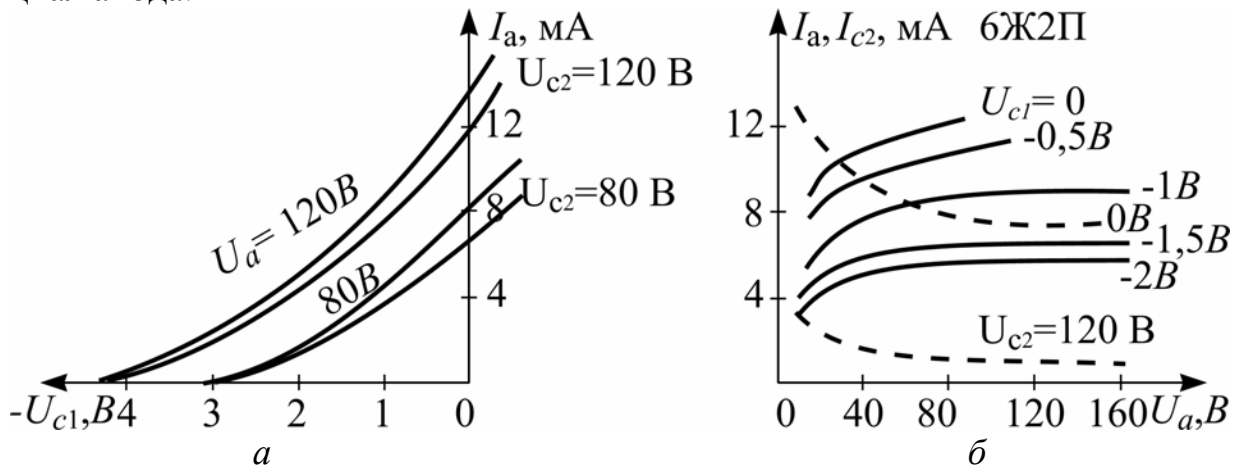


Рис.3

Аномальный вид анодной характеристики тетрода (рис.4) объясняется возникновением вторичной эмиссии с поверхности анода при $U_A \geq 20V$. Энергия электронов, достигающих анода, оказывается достаточной для выбивания с его поверхности вторичных электронов. Эти электроны под действием более высокого напряжения U_{C2} попадают на экранирующую сетку и вызывает увеличение тока I_{C2} . Анодный ток уменьшается, образуется падающий участок характеристики, соответствующий отрицательному дифференциальному увеличению анодного напряжения U_a . Анодный ток I_a снова начинает расти, а сеточный I_{C2} уменьшаться т.к. все большая часть электронов возвращается обратно на анод. Это влияние

вторичной электронной эмиссии получило название динатронного эффекта. Как видно из графиков из-за этого эффекта тетрод нельзя использовать при малых анодных напряжениях. Это обстоятельство помешало тетродам найти широкое применение.

Зависимость тока второй сетки $I_{C2} = f(U_A)$ приведена на рис.4 (пунктир).

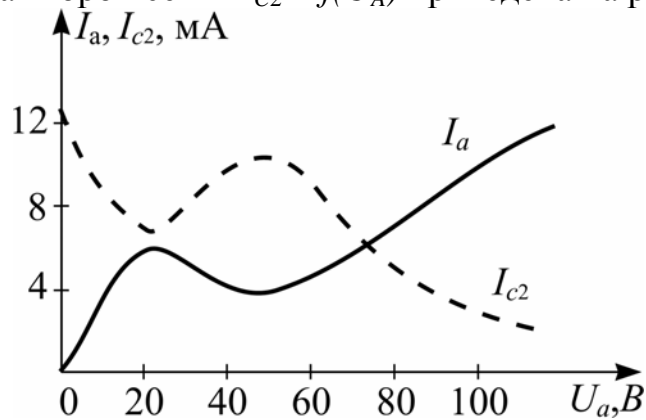


Рис.4

Для устранения динатронного эффекта между анодом и второй сеткой установили третью защитную (антидинатронную) сетку. Это довольно редкая сетка, соединенная с катодом, имеет относительно нулевой потенциал. Она создает потенциальный барьер между анодом и экранирующей сеткой, препятствующий движению вторичных электронов с анода. Введение защитной сетки в лампу значительно улучшает статические параметры по сравнению с триодом и тетродом. Такая лампа получила название – пентод.

Пентоды обладают очень большим коэффициентом усиления, (до нескольких тысяч), большим внутренним сопротивлением и малой проходной емкостью.

Для анодных характеристик пентода типичны два участка: крутой начальный участок, соответствующий режиму возврата электронов, и пологий рабочий участок режима прямого перехвата.

Для оценки качества лампы и ее пригодности для данного устройства используются статические параметры лампы. Статические параметры отражают интересующую зависимость обычно в одной (рабочей) точке при заданном режиме работы лампы.

Статические параметры, общие для триода, тетрода и пентода: крутизна характеристики по первой сетке

$$S = \left. \frac{dI_a}{dU_{C1}} \right|_{U_a = const} ; \quad (1)$$

внутреннее сопротивление лампы по переменному току

$$R_i = \left. \frac{dU_a}{dI_a} \right|_{U_{C1} = const} ; \quad (2)$$

сопротивление лампы по постоянному току

$$R_0 = U_a / I_a \quad (3)$$

Статический коэффициент усиления по напряжению при условии постоянства всех других напряжений и токов определяются выражением

$$\mu = \frac{dU_A}{dU_{C1}} \quad (4)$$

$$\text{Произведение } SR_i = \mu \quad (5)$$

называется внутренним уравнением лампы.

При определении статических параметров по характеристикам лампы пользуются методом треугольников. В табл.1 дана сравнительная оценка параметров ламп.

Таблица 1.

Лампа	Статические параметры		
	$S, \text{ мА/В}$	$R_i, \text{ кОм}$	μ
Триод	от 1 до 8	1-80	4 – 100
Тетрод	от 10 до 20	100 – 800	100 – 700
Пентод	от 10 до 20	до 1000	до неск.тысяч

Одним из важнейших применений ламп является усиление колебаний. Простейшая схема усилителя на триоде дана на рис.5,а

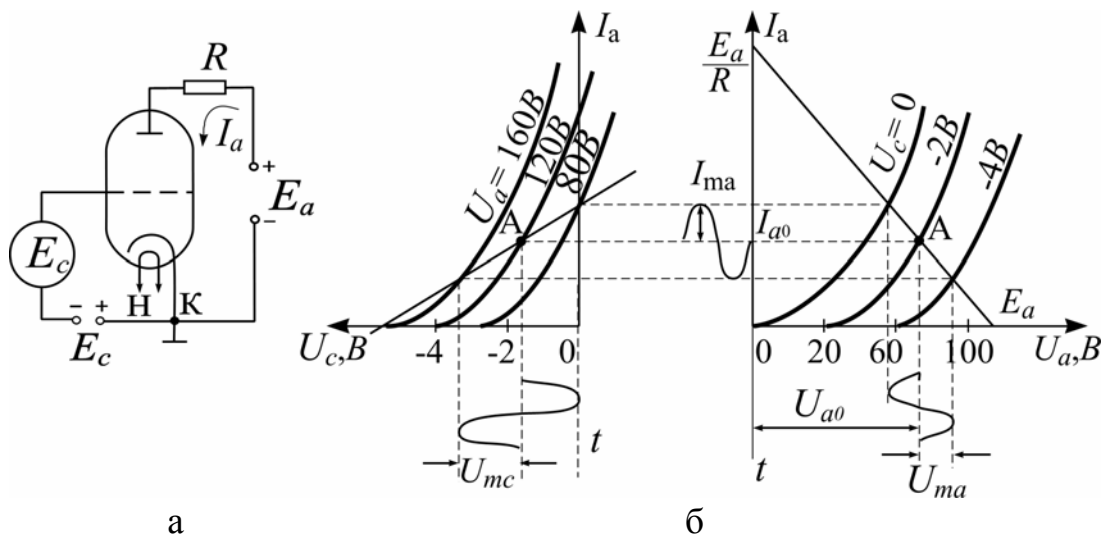


Рис.5

Напряжение анода при наличии нагрузки R в анодной цепи

$$U_A = E_A - I_A R \quad (6)$$

Эта зависимость называется нагрузочной характеристикой лампы (рис.5,б). Работа ламп в режиме усиления оценивается с помощью коэффициента усиления по напряжению:

$$K_U = \frac{U_{ma}}{U_{mc}} = - \frac{\mu}{1 + \frac{R_i}{R}} \quad (7)$$

(U_{ma} - выходное переменное напряжение $U_{вых}$; U_{mc} - переменное напряжение на первой сетке $U_{вх}$), а также с выходной мощностью

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{2} R I_{ma}^2 = \frac{1}{2} U_{ma} I_{ma}, \quad (8)$$

где I_{ma} – переменная составляющая анодного тока.

Динамические свойства ламп отражают их эквивалентные схемы (рис.6).

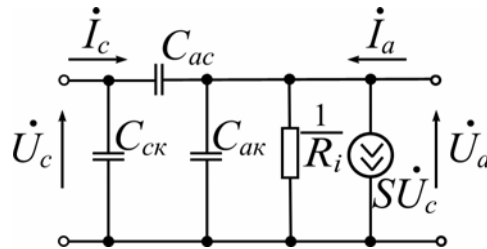


Рис.6

Описание лабораторной установки.

Блок-схема лабораторной установки дана на рис.7.

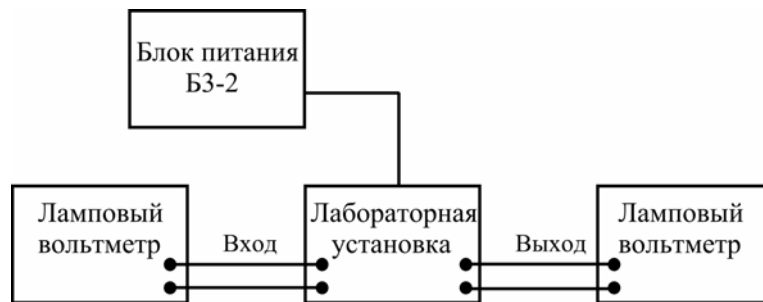


Рис.7.

На рис.8 приведена передняя панель макета. В схеме используются для исследования триод 6СП1 и пентод 6Ж2П, который работает также в тетродном включении. С помощью переключателей SA1 и SA2 подключается к схеме та или иная лампа. Напряжение на управляющей сетке триода регулируется с помощью потенциометра $R4$, а напряжение на управляющей сетке пентода - с помощью потенциометра $R3$. Анодные цепи ламп питаются от источника I выпрямителя БЗ-2, цепь экранной сетки – от источника II выпрямителя БЗ-2, цепи управляющих сеток питаются выпрямленным напряжением 6,3 В.

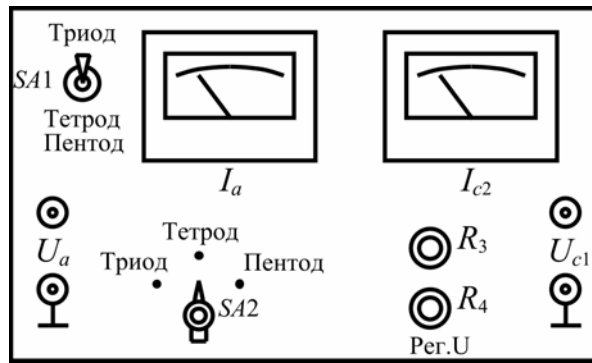


Рис.8

Лабораторное задание.

Исследование триода

1) Снять анодно-сеточные характеристики триода $I_A = f(U_c)$ при $U_A = 160 В$ и $U_A = 120 В$. Напряжение, на управляющей сетке менять от напряжения запирающего ($-U_{c1 \text{ зап}}$) до $+U_{c1}$.

Примечание. Величина анодного тока не должна превышать пределов шкалы миллиамперметра.

Таблица 2.

$U_{c1, \text{ зап.}}$	$I_a, \text{ mA}$	
	$U_a=160В$	$U_a=120В$
$- U_c \text{ зап.}$		
:		
:		
:		
$+U_c$		

Таблица 3 .

$U_a, \text{ ЗАП}$	$I_a, \text{ mA}$	
	$U_{c1}=-1В$	$U_{c1}=-2В$
0		
50		
100		
150		
200		

Полученные данные занести в табл.2. Построить анодно-сеточные характеристики по данным табл.2.

Методом характеристического треугольника определить в рабочей точке с координатами $U_{c1} = -2 В$, $U_a = 120 В$, статические параметры исследуемого триода S, R_i, μ .

2) Снять статические анодные характеристики триода для двух значений потенциала управляющей сетки: $-1 В$, $-2 В$.

Полученные данные занести в табл.3. Построить анодные характеристики по данным табл.3.

Для снятия указанных характеристик на блоке питания включить только источник I.

3) Построить характеристику нагруженного режима при $E_A=160 В$ для $R = 15 \text{ кОм}$; 30 кОм и нанести на анодные и анодно-сеточные статические характеристики. Пользуясь анодными характеристиками нагруженного режима, определить

графически коэффициент усиления K_U в рабочей точке $U_{c1} = -2 В$ при $30 кОм$ и $E_a = 160 В$.

Сравнить с расчетными значениями K_U , вычисленными по формуле (7).

Исследование тетрода

Включить оба источника на БЗ-2 и установить напряжение источника П, равное $80 В$.

Снять статическую анодную $I_A = f(U_a)$ и сеточно-анодную $I_{c2} = f(U_a)$ характеристики лампы в тетродном включении для $U_{c2} = 80В$, $U_{c1} = -0,6В$. Данные занести в табл.4. Построить график. Объяснить ход характеристик.

Таблица 4.

$U_a, В$	0	15	30	50	75	100	150	200
I_a								
I_{c2}, mA								

Исследование пентода

1) Снять статическую анодную $I_A = f(U_A)$ и сеточно-анодную $I_{c2} = f(U_A)$ характеристики исследуемой лампы в пентодном включении при $U_{c2} = 80В$, $U_{c1} = -0,6В$ и $U_{c1} = -0,8В$. Данные занести в табл.5. Построить характеристики. По характеристикам методом характеристических треугольников определить статические параметры S , R , μ по формулам (1÷5);

2) Построить характеристику нагруженного режима пентода при $E_A = 160 В$, $U_{c2} = 80В$, $R = 15 кОм$; $R = 30 кОм$ и нанести на анодные статические характеристики.

Таблица 5.

$U_a, В$	$U_{c1} = -0,6$		$U_{c1} = -0,8$	
	I_a	I_{c2}	I_a	I_{c2}
0				
50				
100				
150				
200				

Графически определить коэффициент усиления лампы K_U с нагрузкой $R = 30 кОм$ и по формуле $K_U = S_n R_i$, где S_n – крутизна характеристики в нагруженном режиме.

Содержание отчета.

Отчет по лабораторной работе должен содержать: рисунки, поясняющие принцип измерения характеристик, таблицы, графики, расчетные данные, анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Назначение управляющей сетки.
2. Статические характеристики триода. Причины отклонения от закона степени $3/2$.
3. Статические параметры триода. Зависимость статических параметров от положения рабочей точки. Определение их по характеристикам.
4. Параметры нагруженного триода, их связь со статическими и зависимость от сопротивления нагрузки.
5. Эквивалентные схемы триода для области низких и высоких частот. Недостатки трехэлектродных ламп.
6. Назначение второй сетки. Анодные характеристики тетрода.
7. Динатронный эффект. Способы его устранения.
8. Статические характеристики пентода.
9. Статические параметры пентодов и определение их по характеристикам.
10. Характеристики и параметры пентода в режиме с нагрузкой.
11. Широкополосные высокочастотные пентоды. Их применение.
12. Эквивалентные схемы тетродов и пентодов.

Список литературы.

1. Батушев В.А. Электронные приборы. М.: Высшая школа, 1980
2. Дулин В.Н. Электронные приборы. М.: Энергия, 1977г.
3. Кацнельсон Б.В. и Ларионов А.С. Отечественные приемно - усилительные радиолампы и их зарубежные аналоги. М.: Энергия, 1968.