Бесплатно

Зак. 4350

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ХАРЬКОВСКИЙ
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
им. академика М. К. ЯНГЕЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО КУРСУ „ВАКУУМНЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА“

ХАРЬКОВ 1990

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ им. академика М.К.ЯНГЕЛЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО КУРСУ
"ВАКУУМНЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА"

для студентов дневной и вечерней форм обучения
специальности 20.04 "Электронные приборы и устройства"

Утверждено
кафедрой ЭП.
Протокол № 9 от 23.03.90.

Харьков ХИРЭ 1990

Составители Ю.Я.Волколупов
В.И.Булах
А.В.Грицунов

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Реконструкция и техническое перевооружение производства требуют не только создания эффективных приборов и устройств, реализующих новейшие достижения науки и техники, но и совершенствования самих методов их разработки и проектирования.

Разработчик электронных приборов и устройств должен обладать комплексом знаний, включающих физику процессов в разрабатываемых объектах, методы численного моделирования их важнейших узлов, приемы конструирования, технологию изготовления приборов и устройств, а также методику контроля их важнейших параметров.

Согласно учебному плану курс "Вакуумные и плазменные приборы и устройства" изучается перед дисциплинами "Математические модели САПР ЭП и У" и "Технология и автоматизация производства ЭП и У", поэтому предполагается самостоятельная проработка отдельных вопросов из указанных дисциплин в объеме, достаточном для выполнения технического задания (ТЗ) к проекту. Допускается использование так называемого аналитического метода расчета (без создания математических моделей приборов и численного анализа моделей), традиционных методов конструирования и технологических разработок (без использования машинных методов оптимизации).

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовое проектирование - это самостоятельная работа студентов, цель которой - закрепить, углубить и расширить знания, получаемые при изучении теоретического курса, приобрести практические навыки разработки, конструирования и технологии приборов и устройств с заданными параметрами.

2. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Тематика проектов обусловлена учебной программой дисципли-

ны, которая отражает современные тенденции в технике вакуумных и плазменных приборов и устройств.

В соответствии с индивидуальными заданиями на курсовое проектирование разработке могут подлежать:

мощные генераторные и модуляторные лампы;

вакуумные люминесцентные индикаторы для отображения информации и знакосинтезирующие устройства;

электронные распылительные устройства;

газоразрядные индикаторные панели, включая самосканирующиеся;

плазменные источники электронов;

плазменные источники ионов;

плазменные распылительные системы и т.п.

Курсовые проекты по разработке электроннолучевых приборов студенты выполняют при изучении отдельного курса "Электроннолучевые и фотоэлектронные приборы" и используют для этого специальные методические разработки [I].

Задания на проект могут быть выданы на основании заказов научных подразделений института, кафедр, конструкторского бюро, а также других организаций. Проект может быть логическим продолжением или частью научно-исследовательской работы (НИРС), выполняемой студентом на предприятии или на кафедре.

В задании на проект должно быть оговорено обязательное использование ЭВМ.

Техническое задание к проекту оформляется на бланке, который подписывает руководитель проекта и утверждает заведующий кафедрой. В задании указывается срок защиты проекта, могут быть определены и сроки выполнения его отдельных этапов.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части - чертежей.

Структура и оформление записки должны соответствовать действующему ГОСТ 7.32-8I [2].

Записка включает (в указанной ниже последовательности): титульный лист; задание на курсовой проект;реферат; содержание; перечень сокращений и символов с их определением; введение; основную часть; заключение; список литературы; приложения.

Общий объем записки не должен превышать 25 страниц (без

приложений), включая рисунки, графики и список литературы.

Реферат включает: сведения об объеме записки, количестве и характере иллюстраций, таблиц; перечень ключевых слов (от 5 до I0); текст, кратко раскрывающий содержание и методы выполнения работы.

Во введении (не более двух страниц) раскрываются актуальность темы, основные задачи и цель проекта.

В основной части отражается методика, содержание и результаты выполненной работы; приводятся результаты расчетов, описываются особенности конструкций и технологии, приводятся расчетные параметры и характеристики прибора. Излагается также метод расчета на ЭВМ с подробным описанием алгоритма и его графическим изображением в виде блок-схемы, описывается составленная программа и назначение использованных операторов. Машинная распечатка программы прилагается к записке, а результаты расчета должны быть обработаны и представлены в графическом виде.

Заключение содержит оценку полученных результатов с точки зрения их соответствия поставленному заданию. Объем - не более двух страниц.

За принятые решения и правильность результатов, представленных в работе, ответственность несет студент - автор проекта.

4. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЕКТА

Исходный документ выполнения проекта - ТЗ, в котором дано минимально необходимое число технических характеристик разрабатываемого прибора или устройства. Другие характеристики и параметры при необходимости определяют расчетом по заданным параметрам либо используют принятые стандарты и типовые значения величин [3, 4].

Например, при расчете конструкции многосеточной генераторной лампы необходимое значение потенциала экранирующей сетки можно выбрать по аналогии с существующими типами сопоставимых по характеристикам приборов [3]. Так,в высокочастотных генераторных пентодах и лучевых тетродах напряжение экранирующей сетки составляет 40-50 % анодного напряжения (что обеспечивает высокую полезную мощность прибора).

В начале проектирования объекта, не являющегося типовым, необходимо представить себе его схематическое устройство, которое может быть реализовано заведомо не единственным способом. Неудачный выбор конструкции требует в дальнейшем ее изменения, что

2-4350

сопряжено с потерями времени, в противном случае будет подвергаться оптимизации далеко не оптимальный вариант конструктивного решения прибора или устройства. Поэтому важно перед проектированием расширить и углубить свои знания об объекте проектирования, подобрав и изучив литературу по теме проекта и ознакомившись с существующими разновидностями проектируемых устройств, а также с известными методами их расчета и конструирования.

В конце данного издания приведен список рекомендуемой литературы по общим вопросам проектирования рассматриваемого класса приборов и устройств [5-9, II, I7]. При разработке нетиповых изделий, очевидно, потребуется самостоятельный поиск литературных и патентных материалов; для этого следует получить дополнительные консультации у руководителя проекта.

Пример расчета генераторного триода аналитическим методом с использованием ЭВМ дан в прил. I. В соответствии с рекомендуемой методикой [5] составлена программа расчета основных электрических параметров и конструктивных элементов прибора (прил. 2).

Разработка подобных программ для расчета других приборов и устройств может быть самостоятельной темой курсового проекта. ЭВМ можно применять на любом этапе проектирования. Например, расчет геометрии прибора может быть выполнен "вручную", а ЭВМ использована для расчета характеристик прибора, исходя из его геометрии.

Расчетную часть курсовых проектов, связанных с выявлением путей оптимизации конструкций и углубленным анализом физических процессов, протекающих в проектируемых электровакуумных приборах, можно выполнять в соответствии с указаниями [8, 9], в которых приведены описания некоторых задач и даны методы их решения с помощью ЭВМ. Проекты такого рода могут рассматриваться как НИРС.

Методика расчета электрических режимов зажигания разряда в плазменных приборах, а также деионизационных характеристик тиратронов и других газонаполненных устройств, которые определяют конструктивные, вентильные и частотные параметры, приведены в прил. 3.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРОЕКТА

5.I. Пояснительная записка

Титульный лист записки выполняют в соответствии с прил. 4.

Записка должна быть в плотной обложке, написана четко и аккуратно чернилами (пастой) или напечатана через I,5 межстрочных интервала на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Текст записки следует писать, соблюдая следующие размеры полей: левое - 30, правое - I0, верхнее - I5, нижнее - 20 мм.

В пояснительной записке необходимо пользоваться обозначением физических величин по ГОСТ 8.4I7-8I.

Текст записки делится на разделы, подразделы, пункты и подпункты. Каждый раздел следует начинать с новой страницы.

Заголовки разделов пишут симметрично тексту прописными буквами, а заголовки подразделов - с абзаца строчными буквами (кроме первой прописной). Переносы слов в заголовках не допускаются. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Расстояние между заголовками и текстом должно быть I5 мм. Подчеркивать заголовки не следует.

5.2. Нумерация

На титульном листе номер не ставят, на последующих страницах записки его проставляют арабскими цифрами в правом углу (без точки).

Разделы должны иметь порядковую нумерацию в пределах пояснительной записки и обозначаться арабскими цифрами с точкой в конце. Введение и заключение не нумеруют.

Подразделы нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и подраздела, разделенных точкой (должна быть точка и в конце номера подраздела).

Пункты нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. В конце номера должна быть точка, например: 3.I.2. (второй пункт первого подраздела третьего раздела).

Содержащиеся в тексте пункта или подпункта перечисления требований, указаний, положений обозначают арабскими цифрами со скобкой.

Иллюстрации, чертежи, схемы, графики, а также таблицы, расположенные на отдельных страницах записки, включают в общую нумерацию страниц. Таблицу, рисунок или чертеж, размеры которого

2*

больше формата А4, учитывают как одну страницу. Иллюстрации обозначают словом "Рис." и нумеруют последовательно арабскими цифрами в пределах раздела.

Номер иллюстрации должен состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например: рис. I.2 (второй рисунок первого раздела). Номер иллюстрации помещают ниже поясняющей подписи.

Таблицы нумеруют последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. В правом верхнем углу таблицы над соответствующим заголовком помещают надпись "Таблица" с указанием ее номера, который состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой: Таблица I.2 (вторая таблица первого раздела). Если таблица размещается на нескольких страницах, то слово "Таблица" и ее номер указывают один раз справа над первой частью таблицы, на других страницах пишут слово "Продолжение". Если в записке несколько таблиц, то после "Продолжение" указывают номер таблицы: Продолжение табл. I.2.

Формулы в записке нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например: (3.I) (первая формула третьего раздела).

5.3. Иллюстрации

Иллюстрации должны быть четкими и выполнены по правилам, указанным в ЕСКД. Они могут иметь поясняющий текст, который располагают под ними или на свободном поле.

Иллюстрации должны быть помещены после первой ссылки на них и расположены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота записки или с поворотом ее по часовой стрелке. Если иллюстрации выполнены на листах формата больше А4, их помещают после заключения.

Иллюстрации должны иметь наименования, которые пишут над ними, как правило, теми же чернилами, что и текстовую часть записки.

5.4. Таблицы

Каждая таблица должна иметь заголовок, начинающийся с про-

писной буквы. Заголовок не подчеркивается.

Заголовки граф таблиц должны начинаться с прописных букв, подзаголовки - со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописных, если они самостоятельные. Делить головки таблиц по диагонали не допускается. Графу "№ п.п." в таблицу включать не следует.

5.5. Формулы

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов приводят непосредственно под формулой в той последовательности, в какой они даны в формуле. Значение каждого символа и числового коэффициента следует давать с новой строки. Первую строку объяснения начинают со слов "где" без двоеточия.

Громоздкие уравнения и формулы выделяют из текста свободными строками. Перенос в формулах делается только на математических знаках действий.

5.6. Ссылки

Ссылки на источники приводят в порядке появления их в тексте записки, указывая порядковый номер, выделенный двумя косыми чертами.

Ссылки на иллюстрации указывают порядковым номером иллюстрации, например рис. I.2, а ссылки на формулы - порядковым номером формулы в скобках, например: в формуле (2.I).

В тексте должны быть ссылки и на таблицы. Слово "таблица" в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно - если имеет номер, например: в табл. I.2. В повторных ссылках на таблицы и иллюстрации следует указывать сокращенно слово "смотри", например: см. табл. I.3.

5.7. Содержание

В содержание включают наименование всех разделов, подразделов и пунктов (если они имеют наименование) с указанием номеров страниц, на которых начинается раздел (подраздел, пункт).

3-4350

5.8. Перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов

Если в записке принята специфическая терминология, а также употребляются мало распространенные сокращения, новые символы, обозначения и т.п., то их перечень должен быть представлен в записке в виде отдельного списка. Перечень должен располагаться столбцом, в котором, например, слева (в алфавитном порядке) приводят сокращение, справа - его детальную расшифровку.

Если в записке специальные термины, сокращения, символы, обозначения и т.п. повторяются менее трех раз, их перечень не составляют, а расшифровку приводят в тексте при первом упоминании.

5.9. Список использованных источников

Список должен содержать перечень источников, использованных в тексте записки, в порядке появления ссылок на них и оформляется по ГОСТ 7.1-84.

5.10. Приложения

Приложения оформляют как продолжение записки на последующих ее страницах, располагая их в порядке появления ссылок в тексте. Каждое приложение должно иметь содержательный заголовок и начинаться с новой страницы с указанием в правом верхнем углу слова "ПРИЛОЖЕНИЕ", написанного прописными буквами. Если в записке более одного приложения, их нумеруют последовательно арабскими цифрами, например: ПРИЛОЖЕНИЕ 1, ПРИЛОЖЕНИЕ 2 и т.д.

Текст каждого приложения при необходимости может быть разделен на подразделы и пункты, нумеруемые арабскими цифрами в пределах каждого приложения. Перед ними ставится буква "П", например: П. 1.2.3. (третий пункт второго подраздела первого приложения).

Рисунки, таблицы и формулы, помещаемые в приложении, нумеруют арабскими цифрами в пределах каждого приложения, например: рис. П.1.1. (первый рисунок первого приложения).

5.11. Стиль изложения

В научно-технической литературе приняты неопределенно-личная и безличная формы изложения, подчеркивающие объективный характер явлений и процессов, общепринятый характер действий и решений. Например, не рекомендуется писать: "выбираю в качестве...", "принимаем равным... ". Правильно писать в зависимости от времени свершения действия: "выбирается в качестве... ", "принято равным... ".

Предложение с формулой нужно строить так, чтобы слова, символы и знаки составляли грамматически правильную законченную смысловую конструкцию. Например, не следует писать: "Определяется мощность рассеивания на аноде $P_a : P_a = U_a \cdot I_a$". Правильным будет выражение: "Мощность рассеивания на аноде $P_a = U_a I_a$".

Недопустимо употреблять номерные ссылки на источники как слова для построения фраз. Например, нельзя писать: "В [5] показано, что... ". Правильно следует написать: "Показано [5], что... ".

Среди других стилистических погрешностей, допускаемых студентами, можно отметить злоупотребление страдательным залогом (например: "Таунсендом было выведено... " вместо "Таунсенд вывел... "), неосмотрительное использование возвратных глаголов при описании технологических процессов (например: выражение "Анод нагревается" допускает двузначность в понимании причины явления в отличие от фразы "Анод нагревают") и т.п.

5.12. Графический материал

Чертежная документация должна выполняться карандашом на листах формата А1 в соответствии со стандартами Единой системы конструкторской документации. Присвоение обозначений конструкторским документам (заполнение графы основной надписи ГОСТ 2.104-68) следует производить согласно требованиям ГОСТ 2.210-80, используя буквенный код ГЮИК и код классификационной характеристики по классификатору ЕСКД.

Чертежи включают электрическую принципиальную схему применения разрабатываемого прибора и сборочный чертеж, а также основные детали и узлы. Если конструкции нескольких деталей или узлов подобны, то целесообразно выполнить один чертеж с приложением таблицы размеров для каждого элемента.

Допускается выполнение чертежей на листах формата А3 и А4, которые подшивают к пояснительной записке.

Спецификация к сборочному чертежу выполняется на отдельном листе формата А4.

Следует иметь в виду, что в рекомендованной литературе иллюстративный графический материал не всегда соответствует существующим требованиям ЕСКД.

6. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЗАЩИТА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

Проектирование должно производиться по этапам, указанным руководителем в задании. После очередной проверки руководитель визирует черновики и эскизы и разрешает переходить к следующему этапу.

Готовый проект должен быть подписан студентом. Если проект допущен к защите, руководитель делает соответствующую запись на чертежах и в пояснительной записке.

Защита производится в сроки, указанные в задании, перед комиссией из 2-3 человек при участии руководителя проекта и студентов группы. В своем докладе в течение 5 мин автор проекта должен охарактеризовать задание, цель проекта, методику расчета, особенности конструкции прибора, сравнить полученные результаты с заданием, сделать выводы. В докладе необходимо объяснить весь представленный графический материал.

Проектант должен знать назначение всех использованных элементов конструкции, уметь обосновать их форму, выбор материала, технологию изготовления деталей и процесса сборки прибора; ответить на вопросы, связанные с работой электрической принципиальной схемы применения прибора или устройства, знать назначение всех элементов схемы.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА

Описана методика конструирования генераторного триода с использованием элементов автоматизированного проектирования. Триоды широко применяются в качестве генераторных ламп, особенно при больших уровнях мощности и в диапазоне сверхвысоких частот [I0]. Объясняется это тем, что у многосеточных ламп трудно обеспечить эффективный теплоотвод от электродов, а также выдержать малое расстояние между катодом и анодом (малый угол пролета электронов). Освоив методику проектирования триода, можно без особого труда применить полученные знания при конструировании других типов ламп.

П.I.I. Режим работы генераторной лампы

Проектирование генераторной лампы, как правило, осуществляют, ориентируясь на телеграфный режим ее работы (т.е. непрерывную генерацию немодулированных колебаний). В качестве такового обычно используют граничный (критический) режим класса С. Как известно [5], режимом класса С называется работа лампы при постоянном смещении на сетке U_{c0}, большем по модулю, чем напряжение запирания (рис. П.I.I). При этом анодный ток протекает только в течение части положительного подупериода входного сигнала. Граничный режим имеет место при такой амплитуде переменного напряжения на сетке U_{c1}, когда анодный ток на вершине импульса достигает максимально возможного значения. На анодно-сеточной характеристике триода имеется максимум в области положительных напряжений на сетке, после которого ток анода I_a уменьшается за счет возрастания сеточного тока.

Важным параметром, характеризующим режим работы генератора, является угол отсечки анодного тока θ. Это выраженная в угловом измерении половина той части периода сигнала, в течение которой через лампу протекает анодный ток. Очевидно, что угол отсечки может принимать значения от 0 до 180°. В режиме класса С $\theta < 90^{\circ}$.

П.I.2. Программа для проектирования генераторного триода

Программа **GENTUB** является элементом простейшей системы автоматизированного проектирования электронных ламп. Она облегчает работу по вычислению ряда параметров разрабатываемого при-

4-4250

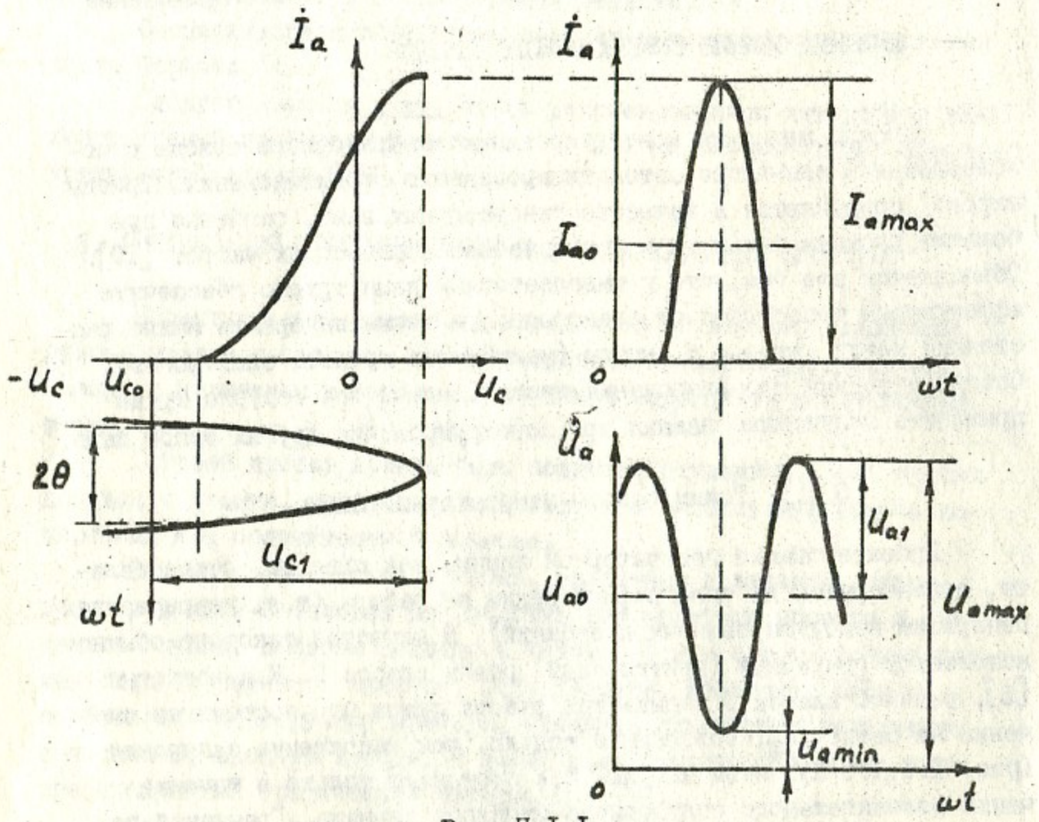

Рис. П.I.I

бора. Однако эта программа, как и любая САПР, не освобождает от необходимости принятия конструкторских решений. Более того, ввиду многообразия возможных конструкций генераторных ламп, в программу *GENTUB* включены только наиболее общие параметры, в частности не учтены особенности геометрической формы катода, сетки и анода.

Программа *GENTUB* написана на фортране операционной системы диалогового вычислительного комплекса (ДВК). Она работает в диалоговом режиме, как правило, по фиксированной схеме счета (вопрос - ответ). Иногда используется режим меню - выбор одного варианта из ряда предлагаемых, например при определении типа катода. Запуск программы осуществляется командой

. RUN GENTUB .

Проектирование прибора выполняется в несколько этапов (на

экран дисплея выводится информация о начале очередного этапа). Сообщения о необходимости ввести те или иные исходные данные начинаются знаком вопроса в первой позиции, например:

? ТРЕБУЕМАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ

В ответ необходимо ввести значение запрашиваемой величины, например:

50.0

Результаты вычислений выводятся на экран в виде:

ПОДВОДИМАЯ МОЩНОСТЬ 66.7 КВТ

При работе с программой особое внимание следует обращать на размерности вводимых и выводимых величин.

Текст программы *GENTUB* приведен в прил. 2. Программа непрерывно модифицируется, поэтому интерфейс ее с пользователем может отличаться от описанного в данных методических указаниях (в основном в сторону расширения функциональных и эксплуатационных возможностей).

П.I.3. Расчет электрических параметров

Проектирование лампы целесообразно начинать с расчета ее электрических параметров. В качестве исходных данных для генераторных ламп обычно задаются требуемая колебательная мощность $P_к$, напряжение источника анодного питания U_{a0} (среднее напряжение на аноде в течение периода сигнала) и угол отсечки анодного тока θ. Для расчета необходим также коэффициент полезного действия лампы η (так называемый электронный КПД) - отношение колебательной мощности к мощности P_0, подводимой от источника анодного питания. Если КПД не указан в задании на проектирование, то он выбирается в пределах 65-75 % (для класса С в телеграфном режиме). Аналогично можно самостоятельно выбрать угол θ в пределах 70-80 ^{o}.

При работе с программой *GENTUB* пользователь на этапе расчета электрических параметров вводит значения $P_к$ и η. В результате рассчитывается подводимая мощность

$$P_0 = P_к / \eta$$

и мощность, рассеиваемая на аноде,

$$P_a = P_0 - P_к .$$

Затем после ввода среднего анодного напряжения вычисляется среднее значение анодного тока за период сигнала:

$$\dot{I}_{a0} = P_0 / U_{a0} .$$

Следующая стадия вычислений начинается после ввода угла отсечки анодного тока. Рассчитывается отношение максимального значения анодного тока $\dot{I}_{a\,max}$ к его среднему значению $\dot{I}_{a0}$ за период сигнала и отсюда находится [5]

$$\dot{I}_{a\,max} = \dot{I}_{a0} \cdot \pi(1-\cos\theta)/(\sin\theta - \theta\cos\theta) .$$

Вычисляется отношение амплитуды первой гармоники анодного тока $\dot{I}_{a1}$ к $\dot{I}_{a0}$:

$$\dot{I}_{a1}/\dot{I}_{a0} = (\theta - \sin\theta\cos\theta)/(\sin\theta - \theta\cos\theta)$$

и сама амплитуда $\dot{I}_{a1}$. Затем находится отношение амплитуды первой гармоники анодного напряжения U_{a1} к его среднему значению U_{a0} (так называемый коэффициент использования анодного напряжения):

$$\xi = 2\eta \dot{I}_{a0}/\dot{I}_{a1}$$

и сама амплитуда

$$U_{a1} = U_{a0}\xi .$$

Зная последнюю, можно определить минимальное значение анодного напряжения

$$U_{a\,min} = U_{a0} - U_{a1} .$$

После этого программа запрашивает амплитуду входного (сеточного) переменного напряжения U_{c1} и вычисляет требуемую проницаемость лампы по формуле

$$D = K_\theta U_{c1}/(\xi K_\theta + 4)U_{a0} ,$$

где

$$K_\theta = (1-2\cos\theta)\cdot[4(1-\eta)(\sin\theta-\theta\cos\theta):$$
$$:(1-\cos\theta)\pi + 1] .$$

Для триода проницаемость обычно лежит в пределах 0,01-0,02.

Затем рассчитывается требуемая крутизна анодно-сеточной характеристики:

$$S = \dot{I}_{a\,max}/(1-2\cos\theta)(U_{c1} - D\xi U_{a0}).$$

Если требуемые проницаемость (коэффициент усиления) и крутизна анодно-сеточной характеристики лампы указаны в задании на проектирование, вычислять их нет необходимости. При этом вместо U_{c1} вводится произвольное положительное число, например единица.

Этап расчета электрических параметров заканчивается нахождением максимального значения катодного тока (в предположении, что ток сетки достигает 30 % от $\dot{I}_{a\,max}$):

$$\dot{I}_{k\,max} = 1.3\,\dot{I}_{a\,max}$$

и минимального необходимого первеанса лампы

$$G_{min} = \dot{I}_{k\,max}/U_{a\,min}^{3/2} .$$

Эти величины понадобятся на этапах проектирования катода и сетки.

П.I.4. Проектирование катода

В мощных генераторных лампах, работающих при высоких анодных напряжениях, наиболее часто используются прямонакальные чисто вольфрамовые и карбидно-ториевые вольфрамовые катоды [5,6]. Это объясняется их устойчивостью к "отравлению" и бомбардировке ускоренными положительными ионами, образующимися из остатков газов в лампе.

В программе *GENTUB* имеется возможность рассчитать геометрические размеры обоих типов катодов. Выбор типа катода производится пользователем в режиме меню:

```
?   ТИП КАТОДА
    I - ЧИСТО ВОЛЬФРАМОВЫЙ
    2 - КАРБИДНО-ТОРИЕВЫЙ ВОЛЬФРАМОВЫЙ
```

Ниже описана методика проектирования каждого из этих катодов.

П.I.4.I. Чисто вольфрамовый катод

В качестве исходных данных для проектирования катода задаются требуемые ток эмиссии $\dot{I}_э$ и напряжение накала $U_н$, а также ожидаемая эффективность катода H. Напомним, что эффективностью катода называется отношение тока эмиссии к мощности, затрачиваемой на нагрев катода (мощности накала $P_н$).

5-4350

Кроме того, потребуются так называемые ток накала единичного цилиндра $\dot{I}_1$ и напряжение накала единичного цилиндра U_1. Это напряжение и ток, необходимые для разогрева вольфрамового цилиндра длиной и диаметром I см до требуемой температуры. Значения $\dot{I}_1$ и U_1 можно взять из справочных пособий (например [5, табл. I.4], задавшись рабочей температурой катода. Обычно вольфрамовый катод работает при температурах 2400-2600 К. Эффективность при этом находится в пределах 3-I0 мА/Вт в зависимости от диаметра нити [5, п. I.7. I] .

Проектирование с использованием программы *GENTUB* начинается с ввода значений $\dot{I}_э$ и H . В качестве требуемого тока эмиссии берется вычисленный на этапе расчета электрических параметров максимальный ток катода, увеличенный на 30-50 %. В результате рассчитывается ориентировочная мощность накала

$$P_{н0} = \dot{I}_э / H .$$

Затем вводится требуемое напряжение накала $U_н$. Как правило, оно указывается в задании на проектирование, однако можно выбрать $U_н$ самостоятельно из ряда типовых значений, просмотрев каталог серийно выпускаемых генераторных ламп [3]. Следует иметь в виду, что в программе *GENTUB* рассчитываются размеры так называемого идеального катода, в котором не учитывается охлаждение нити держателями. Для достаточно тонких и длинных нитей результаты расчета мало отличаются от аналогичных результатов для реального катода. Однако при необходимости можно учесть охлаждение катода держателями, если в качестве напряжения накала ввести не реально подаваемое на катод напряжение $U_н$, а величину $U_н + n\Delta U_н$, где n – число держателей, а $\Delta U_н$ – поправка к напряжению накала ([5, табл. I.5]).

После расчета ориентировочного тока накала по формуле

$$I_{н0} = P_{н0} / U_н$$

программой запрашивается ток накала единичного цилиндра и рассчитывается рекомендуемый диаметр катода, см :

$$D_{к0} = (\dot{I}_{н0} / \dot{I}_1)^{2/3} .$$

Эта величина является ориентиром при выборе требуемого диаметра вольфрамовой проволоки из выпускаемого промышленностью сортамента .

Для увеличения долговечности катода рекомендуется брать ближайшее большее значение толщины нити. После ввода выбранного диаметра катода $D_к$, см, рассчитывается скорректированный ток накала

$$I_н = I_1 D_к^{3/2}$$

и скорректированная мощность накала

$$P_н = \dot{I}_н U_н .$$

Расчет этапа по программе *GENTUB* заканчивается вводом напряжения накала единичного цилиндра и вычислением длины нити катода, см:

$$L_к = U_н D_к^{1/2} / U_1 .$$

Далее необходимо самостоятельно (уже без помощи программы) выбрать форму нити накала, выполнить чертеж катода и определить длину заготовки вольфрамовой проволоки. В качестве справочных пособий для этой цели можно рекомендовать источники [5, 6].

П. I.4.2. Карбидно-ториевый вольфрамовый катод

Карбидно-ториевым называется катод из науглероженной (карбидированной) вольфрамовой проволоки, покрытой пленкой тория. Эти катоды более эффективны, чем чисто вольфрамовые и широко применяются в мощных генераторных лампах, где использование оксидных катодов затруднено по указанным ранее причинам.

Для проектирования карбидно-ториевого катода необходимо знать величины требуемого тока эмиссии $\dot{I}_э$, требуемого напряжения накала $U_н$, ожидаемой эффективности катода H и сопротивления единичного цилиндра из карбидированного вольфрама R_1. Значение R_1 зависит от степени карбидирования (табл. П. I. I). Эффективность карбидно-ториевого катода при обычно используемой рабочей температуре 2000 К лежит в пределах 40-70 мА/Вт.

Таблица П.I.I

Степень карбидирования, %	I0	20	30	40	50
R_1, мкОм	77,8	82,5	88,0	94,I	I0I,0

Расчет параметров катода по программе *GENTUB* начинается с ввода значений $\dot{I}_э$, H, $U_н$ и R_1 (см. замечания в П.I.4.I). В ре-

5*

зультате рассчитывается рекомендуемый диаметр катода, см:

$$D_{ko} = 0{,}22\,(R_1 \dot{I}_э^2 / U_н^2 H^2)^{1/3},$$

ток накала

$$\dot{I}_н = \dot{I}_э / H U_н$$

и мощность накала

$$P_н = \dot{I}_э / H .$$

Расчет этапа по программе *GENTUB* заканчивается вычислением длины нити катода, см:

$$L_к = 0{,}049\,(U_н^2 \dot{I}_э / R_1 H)^{1/3}.$$

Затем, как и для чисто вольфрамового катода, необходимо самостоятельно выбрать форму нити накала, начертить катод и определить длину заготовки проволоки.

П.I.5. Проектирование сетки и анода

Алгоритм проектирования сетки и анода электронной лампы в значительной мере зависит от выбранной геометрии этих электродов, а также формы катода. Большое разнообразие возможных конструкций генераторных ламп приводит к необходимости иметь соответствующее число расчетных формул, например для определения расстояния от катода до сетки. В связи с этим решено не включать на первых порах в программу *GENTUB* алгоритм для проектирования сетки и анода. Следует самостоятельно с помощью соответствующей литературы [5, 6] выбрать конструкцию сетки и анода, найти для них необходимые расчетные формулы и вычислить требуемые величины. Ниже кратко рассмотрены параметры для расчета.

Вначале, как правило, рассчитывается расстояние катод - сетка $\mathcal{Z}_c$ [5, табл. 9.I, формулы (9.3) - (9,8)]. Большинство входящих в них величин, в частности конфигурация катода, максимальный анодный ток, проницаемость, крутизна анодно-сеточной характеристики, определены на предыдущих этапах проектирования либо указаны в задании. Для прямонакальных катодов высота анода берется равной высоте катода (не путать с длиной нити катода $L_к$, вычисленной при проектировании катода). Коэффициент токопрохождения для генераторных ламп равен 0,7. Необходимо самостоятельно выбрать только отношение расстояния катод - анод $\mathcal{Z}_a$ к расстоянию катод - сетка. Обычно оно лежит в пределах 2-6.

Определив расстояние от катода до сетки и анода, вычисляют шаг намотки витков сетки. Эта величина может быть получена, например, из уравнения (9.9) [5]. Данное уравнение можно решить графически по описанной там же методике, предварительно выбрав диаметр проволоки сетки d_c из выпускаемого промышленностью сортамента. Следует придерживаться $d_c \ll \mathcal{Z}_c$.

Рассчитав таким образом геометрические размеры сетки и анода, выбрать затем конкретную конструкцию этих электродов, материал для них и выполнить чертежи соответствующих деталей. Однако предварительно следует провести тепловой расчет анода и при необходимости спроектировать систему принудительного охлаждения [5,6].

Для проектирования генераторного тетрода или пентода может быть использована значительная часть вышеописанных рекомендаций. В частности, этапы расчета электрических параметров и проектирования катода остаются без изменений, поэтому программа *GENTUB* также применима. Дополнительно к вышеизложенному возникает необходимость проектирования второй и третьей сеток, а также возможно, камерного анода в тетроде.

Приложение 2

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА

```
      PROGRAM GENTUB     GENMAI
C
C     ------------------------------------------------------------------
C     ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА
C     ------------------------------------------------------------------
C        А.В.ГРИЦУНОВ   ХАРЬКОВ, ТЕЛ. 40-94-34                  05/04/90
C
         TYPE 00300
00300    FORMAT ( /1X,71('-')/' GENTUB   05/04/90',19X,
     1           'ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА'/1X,71('-') )
C
C      --РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА :
C
         CALL ELPARM
C
C      --ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАТОДА :
C
         TYPE 00201
00201    FORMAT ( /' ?    ТИП КАТОДА'/
     1           '          1 - ЧИСТО ВОЛЬФРАМОВЫЙ'/
     2           '          2 - КАРБИДНО-ТОРИЕВЫЙ ВОЛЬФРАМОВЫЙ' )
         ACCEPT *, NCTTYP
```

```
C
C     --ЧИСТО ВОЛЬФРАМОВЫЙ КАТОД :
C
      IF ( NCTTYP .EQ. 1 )  CALL CATHD1
C
C     --КАРБИДНО-ТОРИЕВЫЙ ВОЛЬФРАМОВЫЙ КАТОД :
C
      IF ( NCTTYP .EQ. 2 )  CALL CATHD2
C
      STOP
C
      END
      SUBROUTINE ELPARM                                  GENELP
C
C     ------------------------------------------------------------------
C     РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА
C     ------------------------------------------------------------------
C
C       А.В.ГРИДУНОВ   ХАРЬКОВ, ТЕЛ. 40-94-34                  05/04/90
C
      TYPE 00300
00300 FORMAT ( /' ---- РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ',
     1          'ГЕНЕРАТОРНОГО ТРИОДА' )
C
      TYPE 00201
00201 FORMAT ( /' ?    ТРЕБУЕМАЯ КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, КВТ' )
      ACCEPT *, X1                                          ! КВТ
      PWOSC = X1 * 1000.                                    ! ВТ
C
      TYPE 00202
00202 FORMAT ( /' ?    ОЖИДАЕМЫЙ КПД ЛАМПЫ, ПРОЦЕНТЫ' )
      ACCEPT *, X1                                          ! ПРОЦ
      EFF = X1 / 100.                                       ! ОТН. ЕД.
C
      PWS = PWOSC / EFF
      TYPE 00301, PWS/1000.                                 ! КВТ
00301 FORMAT ( '       ПОДВОДИМАЯ МОЩНОСТЬ ',F5.1,' КВТ' )
C
      PWA = PWS - PWOSC
      TYPE 00302, PWA/1000.                                 ! КВТ
00302 FORMAT ( '       МОЩНОСТЬ РАССЕИВАЕМАЯ НА АНОДЕ ',F5.1,' КВТ' )
C
      TYPE 00203
00203 FORMAT ( /' ?    СРЕДНЕЕ АНОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, КВ' )
      ACCEPT *, X1                                          ! КВ
      VLA0 = X1 * 1000.                                     ! В
C
      CUA0 = PWS / VLA0
      TYPE 00303, CUA0                                      ! А
00303 FORMAT ( '       СРЕДНИЙ АНОДНЫЙ ТОК ',F4.1,' А' )
C
      TYPE 00204
00204 FORMAT ( /' ?    УГОЛ ОТСЕЧКИ АНОДНОГО ТОКА, ГРАД' )
      ACCEPT *, X1                                          ! ГРАД
      THET = 3.141592 * X1 / 180.                           ! РАД
```



```
C
C     --ОТНОШЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО АНОДНОГО ТОКА К ЕГО СРЕДНЕМУ ЗНАЧЕНИЮ:
C
      CUMXM0 = 3.141592*(1.-COS(THET))/(SIN(THET)-THET*COS(THET))
C
      CUAMAX = CUA0 * CUMXM0
      TYPE 00304, CUAMAX                                    ! А
00304 FORMAT ( '       МАКСИМАЛЬНЫЙ АНОДНЫЙ ТОК ',F5.1,' А' )
C
C     --ОТНОШЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ АНОДНОГО ТОКА К ЕГО СРЕД-
C     --НЕМУ ЗНАЧЕНИЮ :
C
      CUM1M0 = (THET-SIN(THET)*COS(THET))/(SIN(THET)-THET*COS(THET))
C     CUA1 = CUA0 * CUM1M0
      TYPE 00305, CUA1                                      ! А
00305 FORMAT ( '       АМПЛИТУДА ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ АНОДНОГО ТОКА ',
     1          F5.1,' А' )
C
C     --ОТНОШЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ АНОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ К ЕГО
C     --СРЕДНЕМУ ЗНАЧЕНИЮ :
C
      VLM1M0 = 2. * EFF / CUM1M0
C
      VLA1 = VLA0 * VLM1M0
      TYPE 00306, VLA1/1000.                                ! КВ
00306 FORMAT ( '       АМПЛИТУДА ПЕРВОЙ ГАРМОНИКИ АНОДНОГО ',
     1          'НАПРЯЖЕНИЯ ',F4.1,' КВ' )
C
      VLAMIN = VLA0 - VLA1
      TYPE 00307, VLAMIN/1000.                              ! КВ
00307 FORMAT ( '       МИНИМАЛЬНОЕ АНОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ',F4.1,' КВ' )
C
      TYPE 00205
00205 FORMAT ( /' ?    АМПЛИТУДА ВХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ, В' )
      ACCEPT *, VLG1                                        ! В
C
      COEF1 = (1.-2.*COS(THET)) * ( 4. * (1.-EFF) * (SIN(THET)-
     1        THET*COS(THET)) / (3.141592*(1.-COS(THET))) + 1. )
C
      PERM = COEF1 * VLG1 / ( (VLM1M0*COEF1+4.) * VLA0 )
      TYPE 00308, PERM
00308 FORMAT ( '       НЕОБХОДИМАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЛАМПЫ ', F6.4 )
C
      STEEP = CUAMAX / ( (1.-2.*COS(THET))*(VLG1-PERM*VLM1M0*VLA0) )
      TYPE 00309, STEEP*1000.                               ! МА/В
00309 FORMAT ( '       НЕОБХОДИМАЯ КРУТИЗНА А-С ХАРАКТЕРИСТИКИ ',
     1          F5.1,' МА/В' )
C
      CUCMAX = 1.3 * CUAMAX
      TYPE 00310, CUCMAX                                    ! А
00310 FORMAT ( '       МАКСИМАЛЬНЫЙ КАТОДНЫЙ ТОК ',F5.1,' А' )
C     PRVMIN = CUCMAX / VLAMIN ** 1.5
      TYPE 00311, PRVMIN*1000.                              ! МА/В**1.5
00311 FORMAT ( '       МИНИМАЛЬНЫЙ НЕОБХОДИМЫЙ ПЕРВЕАНС ',G9.2,
     1          ' МА/В**1.5' )
C
      RETURN
C
      END
```

```
      SUBROUTINE CATHD1
C
C     ------------------------------------------------------------------
C     ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧИСТО ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА
C     ------------------------------------------------------------------
C        А.В.ГРИЦУНОВ   ХАРЬКОВ, ТЕЛ. 40-94-34                  02/04/90
C
         TYPE 00300
00300    FORMAT ( /' ---- ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЧИСТО ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА' )
C
         TYPE 00201
00201    FORMAT ( /' ?    ТРЕБУЕМЫЙ ТОК ЭМИССИИ КАТОДА, А' )
         ACCEPT *, CUEMS                                    ! A
C
         TYPE 00202
00202    FORMAT ( /' ?    ОЖИДАЕМАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАТОДА, МА/ВТ' )
         ACCEPT *, X1                                       ! MA/BT
         CTEFF = X1 / 1000.                                 ! A/BT
C
         PWC = CUEMS / CTEFF
         TYPE 00301, PWC                                    ! BT
00301    FORMAT ( '       ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ МОЩНОСТЬ НАКАЛА ',F5.0,' ВТ' )
C
         TYPE 00203
00203    FORMAT ( /' ?    ТРЕБУЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА, В' )
         ACCEPT *, VLC                                      ! B
C
         CUC = PWC / VLC
         TYPE 00302, CUC                                    ! A
00302    FORMAT ( '       ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ ТОК НАКАЛА ',F5.1,' А' )
C
         TYPE 00204
00204    FORMAT ( /' ?    ТОК НАКАЛА ЕДИНИЧНОГО ЦИЛИНДРА, А/СМ''1.5' )
         ACCEPT *, CU1                                      ! A/CM'1.5
C
         CTDIA = ( CUC / CU1 ) ** 0.667
         TYPE 00303, CTDIA*10.                              ! MM
00303    FORMAT ( '       РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ДИАМЕТР КАТОДА ',F5.3,' ММ' )
C
         TYPE 00205
00205    FORMAT ( /' ?    ВЫБРАННЫЙ ДИАМЕТР КАТОДА, ММ' )
         ACCEPT *, X1                                       ! MM
         CTDIA = X1 / 10.                                   ! CM
C
         CUC = CU1 * CTDIA ** 1.5
         TYPE 00304, CUC                                    ! A
00304    FORMAT ( '       СКОРРЕКТИРОВАННЫЙ ТОК НАКАЛА ', F5.1,' А' )
C
         PWC = CUC * VLC
         TYPE 00305, PWC                                    ! BT
00305    FORMAT ( '       СКОРРЕКТИРОВАННАЯ МОЩНОСТЬ НАКАЛА ',F5.0,
     1           ' ВТ' )
C
         TYPE 00206
00206    FORMAT ( /' ?    НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА ЕДИНИЧНОГО ЦИЛИНДРА, ',
     1           'МВ/СМ''0.5' )
```



```
         ACCEPT *, X1
         VL1 = X1 / 1000.                                   ! MB/CM'0.5
C                                                           ! B/CM'0.5
         CTLEN = VLC * ( CTDIA**0.5 ) / VL1
         TYPE 00306, CTLEN
00306    FORMAT ( '       ДЛИНА КАТОДА ',F5.1,' СМ' )       ! CM
C
         RETURN
C
      END
      SUBROUTINE CATHD2
C
C     ------------------------------------------------------------------
C     ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРБИДНО-ТОРИЕВОГО ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА
C     ------------------------------------------------------------------
C        А.В.ГРИЦУНОВ   ХАРЬКОВ, ТЕЛ. 40-94-34                  02/04/90
C
         TYPE 00300
00300    FORMAT ( /' ---- ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАРБИДНО-ТОРИЕВОГО ',
     1           'ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА' )
C
         TYPE 00201
00201    FORMAT ( /' ?    ТРЕБУЕМЫЙ ТОК ЭМИССИИ КАТОДА, А' )
         ACCEPT *, CUEMS                                    ! A
C
         TYPE 00202
00202    FORMAT ( /' ?    ОЖИДАЕМАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАТОДА, МА/ВТ' )
         ACCEPT *, X1                                       ! MA/BT
         CTEFF = X1 / 1000.                                 ! A/BT
C
         TYPE 00203
00203    FORMAT ( /' ?    ТРЕБУЕМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НАКАЛА, В' )
         ACCEPT *, VLC                                      ! B
C
         TYPE 00204
00204    FORMAT ( /' ?    СОПРОТИВЛЕНИЕ ЕДИНИЧНОГО ЦИЛИНДРА, МКОМ' )
         ACCEPT *, X1                                       ! MKOM
         RS1 = X1 * 1.0E-6                                  ! OM
C
         CTDIA = 0.22 * ( RS1*CUEMS**2/(VLC**2*CTEFF**2) ) ** 0.333
         TYPE 00301, CTDIA*10.                              ! MM
00301    FORMAT ( '       РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ДИАМЕТР КАТОДА ',F5.3,' ММ' )
C
         CUC = CUEMS / ( CTEFF * VLC )
         TYPE 00302, CUC                                    ! A
00302    FORMAT ( '       ТОК НАКАЛА ', F5.1,' А' )
C
         PWC = CUEMS / CTEFF
         TYPE 00303, PWC                                    ! BT
00303    FORMAT ( '       МОЩНОСТЬ НАКАЛА ',F5.0,' ВТ' )
C
         CTLEN = 0.049 * ( VLC**2*CUEMS/(RS1*CTEFF) ) ** 0.333
         TYPE 00304, CTLEN                                  ! CM
00304    FORMAT ( '       ДЛИНА КАТОДА ',F5.1,' СМ' )
C
         RETURN
C
      END
```

Приложение 3

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ ПЛАЗМЕННЫХ ПРИБОРОВ

П.3.I. Расчет электрической прочности и выбор конструкции газонаполненного прибора

Прохождение тока через газообразную среду называют электрическим разрядом в газе или газовым разрядом. Это связано с тем, что в ряде случаев (но далеко не всегда) ток возникает в результате разряда через газовый промежуток емкости.

Электрические разряды в газе подразделяют на несамостоятельные и самостоятельные. Несамостоятельным разрядом называется электрический разряд, требующий для его поддержания эмиссии электронов из катода или образования заряженных частиц в разрядном промежутке под действием внешних факторов (нагревание катода или газа в разрядном промежутке светом, рентгеновским или радиоактивным излучением и др.).

Самостоятельным называют электрический разряд, не требующий для его поддержания образования заряженных частиц за счет действия внешних факторов. При самостоятельном разряде генерация зарядов и их движение в разрядном промежутке осуществляется только за счет энергии электрического поля, действующего между электродами. Исследование процесса прохождения тока в вакуумном приборе при изменении давления в нем привело к обнаружению эффекта увеличения тока при наполнении прибора газом. Это явление названо газовым усилением. Газовое усиление зависит от рода и давления газа в приборе, от напряжения и расстояния между электродами.

Пусть с катода под действием внешних факторов каждую секунду выходит N_e электронов. Двигаясь в электрическом поле, они накапливают энергию и, сталкиваясь с атомами газа, ионизируют их. Появившиеся при этом ионы двигаются к катоду, а электроны и вновь образуемые электроны снова накапливают в электрическом поле энергию и снова ионизируют газ. Так развивается электронная лавина. Этот процесс характеризуется коэффициентом объемной ионизации α, показывающим, сколько ионизаций осуществляет электрон на единице длины пути.

Коэффициент объемной ионизации зависит от напряженности электрического поля E, средней длины свободного пробега электрона λ_e, определяемой родом и давлением газа p, находящимся в пространстве между электродами. Выражение для α можно записать в виде

$$\alpha = Ape^{-\frac{Bp}{E}}, \qquad (П.3.I)$$

где A и B константы, их можно рассчитать по известным формулам [I2, I6], или используя значения, полученные из опыта. В табл. П.3.I. приведены значения A и B для некоторых наиболее употребительных газов.

Таблица П.3.I

Газ	H_2	He	Ne	Ar	Kr	Hg
A, см·мм рт. ст.$^{-I}$	5	2,8	I3,2	I3,6	5 , I	20
B, см·мм рт. ст.$^{-I}$	I30	34	245	235	I32	370

В газонаполненном приборе большую роль играет не только взаимодействие электронов с рабочим газом, но и присутствие положительных ионов, образуемых в объеме вследствие ионизации.

Влияние ионов на процесс газового усиления сказывается при их попадании на отрицательный электрод. Двигаясь в электрическом поле большой напряженности, положительные ионы приобретают значительную энергию и интенсивно бомбардируют катод, вызывая эмиссию электронов. Вторичная эмиссия электронов под действием ионной бомбардировки катода может характеризоваться коэффициентом γ, который представляет собой отношение вторичного тока I_e к ионному току на катод I_i. Он зависит от материала катода, рода бомбардирующих катод ионов, напряженности поля и давления, т.е. от кинетической энергии. Коэффициент γ тем больше, чем больше напряженность электрического поля и чем меньше давление рабочего газа. Можно показать, что γ является некоторой функцией E/p, т.е. $\gamma = f(E/p)$. При энергиях ионов порядка десятков и сотен электроновольт значения коэффициента γ лежат в пределах $I0^{-3}$-$I0^{-I}$. С увеличением энергии ионов этот коэффициент возрастает и при энергиях в несколько тысяч электроновольт может стать больше единицы.

Коэффициент γ зависит от энергии ионов при бомбардировке поверхности меди ионами инертных газов, лития и цезия (рис.П.3.I).

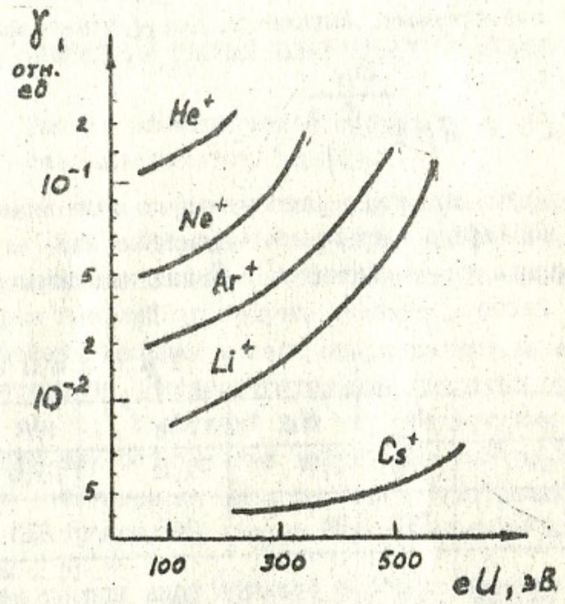

Рис. П.3.I

Таким образом, с катода под воздействием ионной бомбардировки поступает дополнительный поток электронов. В результате получим уравнение газового усиления:

$$I_{ea} = \frac{I_{ek}\, e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)}, \qquad (П.3.2)$$

где I_{ea} и I_{ek} - анодный и катодный токи, а d - длина разрядного промежутка. Следует подчеркнуть, что величина I_{ek} представляет собой не полный ток на катоде, а его электронную компоненту, вызванную внешними факторами. Полный ток на катоде равен анодному току I_{ea}, т.е. значительно больше тока I_{ek} за счет электронов, покидающих катод в результате γ-процессов и за счет значительной ионной компоненты тока.

При увеличении напряженности электрического поля между электродами прибора увеличиваются оба коэффициента α и γ, а выражение $\gamma(e^{\alpha d} - 1)$ приближается к единице. Физически это означает, что анодный ток будет наблюдаться даже в отсутствие эмиссии электронов из катода за счет внешних факторов. Электронно-ионные лавины становятся настолько мощными, что эмиссия электронов из катода под действием ионной бомбардировки обеспечивает разряд.

Таким образом, математическое выражение $\gamma(e^{\alpha d} - 1) = 1$ (П.3.3) характеризует условия, при которых разряд превращается из несамостоятельного в самостоятельный, т.е. уравнение П.3.3 определяет электрическую прочность и условия зажигания разряда в газонаполненном приборе.

Преобразование выражения (П.3.2) позволяет получить уравнение, определяющее напряжение зажигания разряда $U_з$ как функцию произведения газокинетического давления p и расстояния между электродами d, называемого обобщенным параметром pd:

$$U_з = B \frac{pd}{\ln \frac{Apd}{\ln(1 - 1/\gamma)}} \qquad (П.3.4)$$

или

$$U_з = f(pd). \qquad (П.3.5)$$

Зависимость (П.3.4) была впервые получена экспериментально Пашеном и получила название закона Пашена. Закон Пашена выполняется для всех газов в некотором интервале давлений и расстояний между электродами.

П.3.2. Расчет деионизационных параметров тиратрона

Тиратрон - это газонаполненный прибор, в котором имеются три основных электрода: анод, катод и сетка. Третий электрод - сетка, размещается между анодом и катодом и предназначен для управления. Сетка в тиратроне выполнена в виде металлического или графитового электрода с ячейками или отверстиями, расположенными с определенной плотностью. При таком устройстве сетка экранирует собой в большей или меньшей степени поле анода. В результате этого поле в пространстве катод - сетка ослабляется настолько, что зажигание разряда при данном анодном напряжении становится невозможным. Таким образом, можно использовать сетку в тиратроне для управления напряжением зажигания.

Управляемость тиратрона на повышенных частотах и импульсных нагрузках ограничена кривой восстановления его электрической прочности.

Кривая I рис. П.3.2 определяет изменение во времени величины прикладываемого к аноду (вслед за прерыванием разряда) напряжения U_a, при котором в тиратроне повторно зажигается разряд вне зависимости от потенциала сетки.

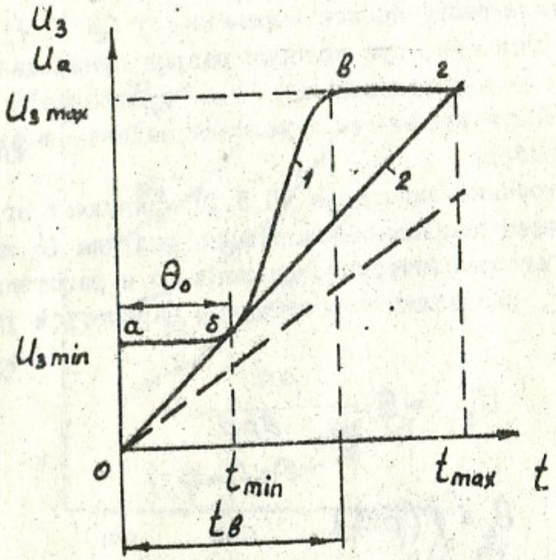

Рис. П.3.2

Для сохранения свойств управляемости тиратрона необходимо, чтобы в каждый данный момент в период восстановления электрической прочности $t_в$ выполнялось неравенство $U_а < U_з$, в котором величина $U_з$ соответствует точкам кривой восстановления пробивной прочности. Если на одном графике совместить зависимости $U_з = f(t)$ и $U_а = f(t)$, то для выполнения устойчивой работы тиратрона необходимо, чтобы график анодного напряжения 2 проходил ниже кривой пробивной прочности I. Предельный режим работы тиратрона определится точкой касания кривых $U_а = f(t)$ и $U_з = f(t)$.

Из анализа рис. П.3.3 следует, что в кривой восстановления электрической прочности тиратрона имеются три характерных участка. Первый начальный пологий участок (а, б) протяженностью θ_0 характерен почти постоянным и очень низким значением напряжения повторного зажигания порядка величины падения напряжения на разряде. Этот участок получил название деионизационной площадки. Чем меньше деионизационная площадка, тем шире частотный диапазон прибора. Далее наблюдается крутой подъем кривой $U_з = f(t)$ (участок б, в), соответствующий быстрому восстановлению электрической прочности тиратрона. Крутизна этого участка изменяется десятками и даже сотнями вольт на микросекунду. Чем больше крутизна участка восстановления электрической прочности тиратрона, тем качественнее его динамические характеристики.

Третий участок кривой (в,г), так же как и первый,- пологий. Он отвечает условиям полного восстановления управляемости тиратрона. Следовательно, значение напряжения повторного зажигания на этом участке должно соответствовать одной из точек статической пусковой характеристики тиратрона.

В зависимости от условий работы тиратрона его предельный режим по частоте и напряжению может определяться либо первым, либо вторым участком кривой $U_з = f(t)$, либо обоими участками.

Деионизационные параметры тиратрона зависят как от характеристики электрической цепи, в которой он работает, так и от его конструкции. К категории электрических величин относятся анодный ток к моменту прерывания разряда, скорость нарастания анодного напряжения, потенциал сеточного электрода, сопротивление в цепи сетки. К категории конструктивных параметров следует отнести давление и род газа, наполняющего тиратрон, форму и конструкцию электродов, число и диаметр отверстий сетки, ее высоту и межэлектродные расстояния.

Процесс восстановления свойств управляемости тиратрона связан с состоянием послеразрядной плазмы в пространствах сетка - анод, сетка - катод прибора и непосредственно у его электродов и, в первую очередь, у сетки.

У поверхности сетки в горящем приборе образуется положительный объемный заряд, толщина которого X определяется по формуле

$$X = \frac{2{,}34 \cdot 10^{-4} U_c^{\frac{3}{4}}}{\sqrt[4]{M_i}\, j^{\frac{1}{2}}}, \qquad (П.3.6)$$

где U_c - падение напряжения в оболочке сетки, которое определяется разностью напряжения смещения, действующего в сеточной цепи, и падением напряжения от сеточных токов на резисторе, включенном в эту цепь; M_i - атомная или молекулярная масса газа, заполняющего прибор; j_c - плотность ионного тока из плазмы в слой, примыкающий к сеточному электроду.

Положительный объемный заряд нейтрализует сетку, поле которой перестает влиять на разряд. В период горения разряда при большой концентрации зарядов в плазме плотность ионного тока из плазмы в слой j_c велика, что в соответствии с формулой (П.3.6) определяет малую толщину ионной оболочки, которая обычно не превышает десятых долей миллиметра. Это приводит к тому, что отверстия

сетки заняты плазмой; она обусловливает проникновение разряда через сетку.

Начиная с момента прерывания разряда, концентрация зарядов убывает по экспоненциальному закону:

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau_d}}, \qquad (П.3.7)$$

аналогично изменяется и плотность ионного тока на сетку. Тогда

$$j_c = j_{c0} e^{-\frac{t}{\tau_d}}, \qquad (П.3.8)$$

где n_0 и j_{c0} - плотность зарядов и плотность тока на сетку в момент прерывания разряда; τ_d - постоянная времени деионизации.

Если в период времени роста ионной оболочки на аноде появится положительный потенциал порядка величины падения напряжения на разряде, то это приводит к развитию повторных зажиганий в приборе и возрастанию анодного тока до величины, ограниченной нагрузкой. В кривой восстановления электрической прочности тиратрона этот процесс соответствует деионизационной площадке.

Величина деионизационной площадки определяется условием

$$t = \tau_0; \quad X = X_г, \qquad (П.3.9)$$

где $X_г$ - геометрический параметр сетки, определяющий толщину ионной оболочки, при которой в данной конфигурации сетки происходит перекрытие его сеточного отверстия.

Учитывая это условие и подставляя выражение (П.3.9) в формулу (П.3.6), получаем

$$X_г = \frac{2{,}34 \cdot 10^{-4} (U_c')^{\frac{3}{4}}}{\sqrt[4]{M_i} \left(j_{oc} e^{-\frac{\tau_0}{\tau_0}}\right)^{\frac{1}{2}}}, \qquad (П.3.10)$$

откуда

$$\tau_0 = \tau_d \ln j_{oc} \cdot \frac{\sqrt{M_i}\, X_г^2}{5{,}45 \cdot 10^{-8} (U_c')^{\frac{1}{4}}}, \qquad (П.3.11)$$

где U_c' - падение напряжения в слое у сетки. Для расчета величины τ_0 по формуле (П.3.11) необходимо знать величину $X_г$, которая зависит от конфигурации и типа сетки. Так, для щелевых сеток $X_г = b$, где b - полуширина щели. Для цилиндрических и многодырочных се-

ток радиусом R_c в первом приближении можно принять $X_г = R_c$.

Постоянную времени деионизации можно определить из уравнения

$$\tau_d = \frac{1}{\beta D_a}, \qquad (П.3.12)$$

где β - коэффициент, зависящий от геометрии сеточного электрода (для щелевых сеток $\beta = \pi^2/b^2$; для цилиндрических - $\beta = 5{,}76/R_c^2$); D_a - коэффициент амбиполярной диффузии.

Этот коэффициент может быть определен из выражения

$$D_a = \frac{1}{3} \frac{\lambda_i V_i}{T_i} (T_e + T_i), \qquad (П.3.13)$$

где λ_i, V_i - длина свободного пробега и средняя арифметическая скорость хаотического движения ионов соответственно; T_e и T_i - температуры электронов и ионов.

При вычислении величины D_a необходимо иметь в виду, что температуры T_e и T_i в процессе деионизации изменяются с уменьшением концентрации плазмы, уменьшается и электронная температура. Ошибка в определении $n_i = f(t)$, если принять $D_a = const$, зависит от соотношения между скоростью деионизации и скоростью снижения электронной температуры. Как показывает эксперимент, для подавляющего большинства плазменных приборов в области средних и малых давлений эта ошибка становится заметной лишь к концу процесса деионизации. Таким образом, при расчете можно принять $D_a = const$.

При вычислении коэффициента амбиполярной диффузии длина свободного пробега ионов в газе λ_i может быть определена исходя из допущения $\lambda_i \approx \lambda_a$, где λ - длина свободного пробега атомов газа.

Длина свободного пробега молекул λ, см, зависит от их концентрации N, диаметра молекул d_m и определяется в первом приближении как

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\, \pi d_м^2 N}. \qquad (П.3.14)$$

Подставляя вместо N его значение $p/kT_г$, получим

$$\lambda = \frac{0{,}23 \cdot T_г}{d_м^2 \, p} \cdot 10^{-19}, \qquad (П.3.15)$$

где $T_г$ – температура газа; p – газокинетическое давление.

Длина свободного пробега иона λ_i в газе примерно равна λ, т.е. $\lambda_i \approx \lambda$, а длина свободного пробега электрона $\lambda_e \approx 4\sqrt{2}\,\lambda$. В табл. П.3.2 приведены значения диаметров молекулы и длин свободного пробега электронов для газов, применяемых в газоразрядных приборах

Таблица П.3.2

Газ	d_m x 10^8, см	λ_e x 10^2, см
H_2	2,75	4,7
He	2,I8	7,6
Ne	2,6	5,4
Ar	3,67	2,7
Kr	4,I5	2,I
Xe	4,9I	I,5
Hg	5,I	I,26

При расчете величины $V_i = \sqrt{8kT_i/\pi M_i}$ необходимо знать ионную температуру, которую для разряда газонаполненных приборов низкого давления с достаточной степенью приближения можно принять равной

$$T_i = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{4}\right) T_e .$$

Температура электронов T_e является функцией давления, рода газа и потенциала U. Ее величина может быть рассчитана из соотношения

$$T_e = \frac{eU}{k \ln\left(2{,}94 \cdot a_1 p R \sqrt{\frac{M_i}{M_e}}\right)},$$

где K – постоянная Больцмана; a_1 – коэффициент, примерные значения которого для некоторых газов приведены в табл. П.3.3; R – радиус столба разряда;

Таблица П.3.3

Газ	H_2	He	Ne	Ar	Hg	Cs
$a_1 \cdot 10^{-2}$, отн. ед.	2I	4,6	5,6	7I	83	280

Начальную плотность тока на сетку можно рассчитать, приняв ее равной плотности тока плазмы. В этом случае можно записать

$$j_{c0} = \frac{\mathcal{F} n_0 e D_a}{\ell_{кс}}, \qquad (П.3.18)$$

где n_0 – концентрация зарядов в плазме, $n_0 = f(I_a)$; $\ell_{кс}$ – расстояние между катодом и сеткой.

Концентрация зарядов n_0 зависит от давления рабочего газа, разрядного тока и диаметра разрядного промежутка и растет с увеличением этих параметров. Концентрация зарядов связана с концентрацией зарядов в одном погонном сантиметре столба разряда N_s соотношением: $N_s = n_0 D_0^2$, где D_0 – диаметр столба, ограниченный разрядным пространством. Для определения линейной концентрации зарядов N_s можно воспользоваться выражением:

$$N_s \approx \frac{\sqrt{D_0 \sqrt{M_e M_i}}}{e^{\frac{3}{2}} \sqrt{\lambda_e \left[U_i + \left(2{,}7 + \ln \sqrt{\frac{M_i}{2M_e}}\right) \frac{kT_e}{e}\right]}}, \qquad (П.3.19)$$

где U_i – потенциал ионизации.

Потенциалы ионизации некоторых газов приведены в табл. П.3.4.

Таблица П.3.4

Газ	H	H_2	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Hg	Cs	Ba	
U_i, В	I3,6	I5,4	24,5	2I,47	I5,69	I3,94	I2,I	I0,38	5,37	3,89	5,I9

Таким образом, выше приведена методика детального расчета времени существования деионизационной площадки, характеризующегося очень низким потенциалом обратного зажигания разряда в газонаполненном приборе.

Расчет полного времени восстановления электрической прочности прибора можно провести по формуле

$$t_б = \tau_d \ln j_{oc} \frac{\sqrt{M}\ X_r^2}{5{,}45\cdot 10^{-8}(U_c)^{\frac{3}{2}}}; \qquad (П.3.20)$$

принимаем $X_r = \ell_{кс}$.

Следовательно, полное время восстановления электрической прочности и управляемости тиратрона соответствует условию, когда ионная оболочка у сетки достигает катода.

Электрическая прочность связана с толщиной ионной оболочки у сетки X и давлением газа в приборе соотношением

$$U_з = a p X . \qquad (П.3.21)$$

Рассматривая рост ионной оболочки у сетки в сторону катода, можно найти необходимую зависимость между j_c, U_c, p и $\ell_{кс}$, решив для этого уравнения Пуассона:

$$j_c = 1{,}8\cdot 10^{-7} \frac{U\ U_i}{(\sqrt{p}\,X)^{\frac{5}{2}}\sqrt{M_i}}. \qquad (П.3.22)$$

Решая уравнение (П.3.22) совместно с выражением (П.3.20), для X получаем:

$$X = (1{,}8\cdot 10^{-7})^{\frac{2}{5}} \frac{U_i^{\frac{2}{5}}\ M^{-\frac{2}{10}}\ U^{\frac{3}{5}}}{p^{\frac{1}{5}}\ j_{co}^{\frac{2}{5}}} e^{\frac{2t}{5\tau_d}}. \qquad (П.3.23)$$

Совместным решением уравнений (П.3.21), (П.3.23), (П.3.18) и (П.3.8) можно получить

$$U_з = U_a e^{\frac{2t}{5\tau_d}}. \qquad (П.3.24)$$

При расчете тиратронов величина $U_{аз}$ обычно входит в число параметров, задаваемых техническими условиями.

В этих случаях уравнение (П.3.24) следует рассматривать как расчетное для определения величины обратного зажигания $U_{аз}$. Отсюда

$$U_з = U_{a\,max} e^{\frac{2t}{5\tau_d}}.$$

Это выражение может быть использовано для расчета кривой восстановления электрической прочности прибора в зависимости от времени.

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ им. М.К.ЯНГЕЛЯ

Кафедра "Электронные приборы"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО КУРСУ
"ВАКУУМНЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА"
НА ТЕМУ "РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОНОВ"

Проект выполнил:
ст.гр. ЭПУ 90-I
Иванов В.И.

Зачетная книжка
№ 8I740I
" " I99I г.

К защите допущен
" " I99I г.
Руководитель проекта
Петров Б.А.

" " I99I г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Лачашвили Р.А., Траубе Л.В. Проектирование электронно-лучевых приборов. - М.: Радио и связь, I988. - 2I6 с.

2. ГОСТ 7.32-8I. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления. - М.: Госстандарт СССР, I98I. - I4 с.

3. Кацнельсон Б.В., Калугин А.М., Ларионов А.С. Электровакуумные и газоразрядные приборы: Справочник /Под ред. А.С.Ларионова. - М.: Радио и связь, I985. - 864 с.

4. Кацнельсон Б.В., Ларионов А.С. Отечественные приемноусилительные лампы и их зарубежные аналоги: Справочник. 3-е изд. - М.: Радио и связь, I98I. - 454 с.

5. Кацман Ю.А. Электронные лампы. - М.: Высш. шк., I979. - 304 с.

6. Царев Б.М. Расчет и конструирование электронных ламп. - М.: Энергия, I967. - 67I с.

7. Денбновецкий С.В., Писаренко В.М., Редниченко В.К. Основы автоматизированного проектирования электронных приборов. - Киев: Выща шк. ,I989. - 335 с.

8. Методические указания по курсовому проектированию по курсу "Электронные лампы" для студентов специальности "Электронные приборы" (Машинные методы проектирования). - Харьков: ХИРЭ, I98I. - 32 с.

9. Шеин А.Г. Машинные методы проектирования электронных приборов: Учеб. пособие. - Харьков: ХПИ, I984. - 96 с.

I0. Линде Д.П. Радиопередающие устройства: Ламповые генераторы. - М.: Сов. радио, I969. - 496 с.

II. Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений /Под ред. Б.Кейзана. Т.3 - М.: Мир, I980. - 3II с.

I2. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники. - М.: Высш. шк., I978. - 448 с.

I3. Еркин А.М. Лампы с холодным катодом. - М.: Энергия, I972. - 97 с.

I4. Фогельсон Т.Б. Импульсные тиратроны. - М.: Сов. радио, I974. - 2I2 с.

I5. Елецкий А.В. Газовый разряд. - М.: Знание, I98I. - 63 с.

I6. Смирнов Б.М. Физика слабоионизированного газа в задачах с решениями. - М.: Наука, I978. - 4I6 с.

I7. Каганов И.Л. Ионные приборы. - М.: Энергия, I972. - 525 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения 3
I. Цели и задачи курсового проектирования 3
2. Тематика курсовых проектов 3
3. Структура и содержание курсового проекта 3
4. Указания к выполнению проекта 5
5. Требования к оформлению проекта 6
5.I. Пояснительная записка 6
5.2. Нумерация 7
5.3. Иллюстрации 8
5.4. Таблицы 8
5.5. Формулы 9
5.6. Ссылки 9
5.7. Содержание 9
5.8. Перечень условных обозначений, символов, единиц и терминов I0
5.9. Список использованных источников I0
5.I0. Приложения I0
5.II. Стиль изложения II
5.I2. Графический материал II
6. Организация проектирования и защита курсовых проектов ... I2
Приложение I I3
Приложение 2 ..... 2I
Приложение 3 26
Приложение 4 37
Список литературы 38

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПО КУРСУ
"ВАКУУМНЫЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА"

для студентов дневной и вечерней форм обучения
специальности 20.04 "Электронные приборы и устройства"

Составители: ВОЛКОЛУПОВ Юрий Яковлевич
БУЛАХ Вячеслав Иванович
ГРИЦУНОВ Александр Валентинович

Ответственный за выпуск В.М.Ванцан

Редактор С.И.Божко
Технический редактор Л.К.Меренкова
Корректор Т.Г.Попова

План 1990, поз. 85

Подп. к печ. 11.12.90. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №2.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 2,32. Усл.кр.-отт. 2,55. Уч.-изд.л. 2,1.
Изд. № 1930. Тираж 200 экз. Зак № 4350. Бесплатно.

ХИРЭ. 310726, Харьков, просп. Ленина, 14.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.