

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Электроника СВЧ»

(осень 1999)

Авторы: Д.И. Трубецков
А.Е. Храмов

Введение.

Основные особенности сверхвысокочастотной электроники. Пять идей, которые создали СВЧ электронику. Индивидуальное излучение заряженных частиц (спонтанное излучение классических осцилляторов). Механизм группировки и индуцированное излучение. Линейная и квадратичная группировка. Фазовая селекция и излучение при линейной группировке. Пространственная неоднородность высокочастотного поля и пространственная группировка. Возбуждение резонаторов и волноводов заданными токами.

Раздел 1. Приборы с дискретным взаимодействием (временной резонанс в СВЧ электронике).

Модуляция электронов по скорости и группирование электронов в пространстве дрейфа. «Инерционная группировка»; ее особенности. 100\$ идея братьев Вариян и Хансена. Физические процессы в двухрезонаторном клистроне–усилителе (кинематическое приближение). Трехрезонаторный клистрон (качественное описание). Многорезонаторные клистроны–усилители (телевизионные клистроны). Теория резонансных автогенераторов. Элементарная теория отражательного клистрона: пусковой режим, выходная мощность и к.п.д., зоны колебаний и электронная перестройка частоты. Элементарная теория клистрона–генератора с обратной запаздывающей связью: от режимов монохроматических колебаний до режимов динамического хаоса.

Раздел 2. Гидродинамическое описание электронного потока. Волны пространственного заряда.

Гидродинамическое описание электронного потока. Вывод гидродинамических уравнений электроники. Волны пространственного заряда и группирование в пространстве дрейфа. Волны с положительной и отрицательной энергией. Учет влияния пространственного заряда в теории пролетных клистронов. Двухлучевая неустойчивость (абсолютная и конвективная неустойчивость; глобальная неустойчивость). Резистивный усилитель. Неизлучательная неустойчивость Пирса. Диод Пирса (схема численного моделирования, нестационарная динамика и сценарий перехода к хаосу, переход от гидродинамических уравнений к системе интегральных уравнений Годфри, вывод логистического отображения). Нелинейные волны пространственного заряда. Циклотронные волны. Связанные волны. Теорема Чу о кинетической мощности.

Раздел 3. Взаимодействие высокочастотных полей с электронами в скрещенных электрическом и магнитном полях.

Элементарная теория магнетрона. Кинематическая дрейфовая теория группирования электронов в скрещенных статических электрическом и магнитном полях и в поле бегущей волны. Пространственный резонанс. Силовая группировка. Расчет мощности взаимодействия и к.п.д. применительно к плоского магнетрона. Качественное описание и характеристики современных магнетронов. Что вносит цилиндричность в физику магнетрона. Амплитрон.

Пространственный заряд в скрещенных полях. Пространственный заряд в скрещенных полях и три загадки магнетрона (свойства магнетрона при магнитном поле больше критического, когда генерации нет; начало генерации в магнетроне; есть ли вообще стационарный режим генерации в магнетроне). Вычислительная физика и магнетрон. Неустойчивость электронного потока в скрещенных полях.

Раздел 4: Лампы с бегущей волной типа О.

Взаимодействие электронного потока с бегущей прямой электромагнитной волной. Взаимодействие электронного потока с бегущей электромагнитной волной. Лампа бегущей волны (ЛБВ). Применение метода последовательных приближений к анализу взаимодействия электронного потока с электромагнитными волнами. Качественное описание процесса группирования электронов в бегущей волне. Квадратичная группировка. Принципы подобия для приборов с длительным взаимодействием (нерелятивистские и ультрарелятивистские пучки).

Нелинейная теория ЛБВО. Вывод нелинейных уравнений ЛБВО. Линеаризация нелинейных уравнений ЛБВ. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Законы сохранения энергии. Механизм фазировки и ограничения мощности в ЛБВО. Особенности и результаты решения задачи на ЭВМ. Спиральная ЛБВ. Способы повышения к.п.д. ЛБВО.

ЛБВО с цепочкой связанных резонаторов. Особенности физических процессов в ЛБВО с цепочкой связанных резонаторов (ЦСР). О дискретном и волновом подходе к анализу взаимодействия в ЛБВО с ЦСР. Об особенностях физических процессов вблизи границ пропускания замедляющей системы. Линейные ускорители заряженных частиц.

Раздел 5: Лампы с обратной волной.

Взаимодействие электронного потока с обратной электромагнитной волной. Карсинотрон. Теория пускового режима ЛОВ в приближении заданного поля. Результаты нелинейной стационарной теории. Лампа обратной волны магнетронного типа.

ЛОВ как эталонная модель распределенной автоколебательной системы. Нестационарная теория возбуждения волновода (вывод уравнений, законы сохранения, линеаризация уравнений). Нестационарная теория ЛОВ: от монохроматических автоколебаний через автомодуляцию к динамическому хаосу. Релятивистский карсинотрон: нестационарная теория. Роль пространственного заряда (численный эксперимент). РЛОВ и миллиметровая радиолокация.

Методы численного исследования приборов О типа. Метод "частиц в ячейке". Учет влияния пространственного заряда. Методы расчета полей в замедляющей системе: метод эквивалентных схем и уравнение возбуждения. Математическое моделирование электронных приборов с помощью самосогласованной системы уравнений Максвелла-Власова.

Оротрон. Взаимодействие электронного потока с полями открытых резонаторов. Излучение Смитта–Парселла. Оротрон. Основные уравнения оротрона. Некоторые результаты теории оротрона. Модификации оротрона.

Раздел 6: Взаимодействие криволинейных электронных потоков с электромагнитными волнами.

Взаимодействие криволинейных электронных потоков с незамедленными электромагнитными волнами. Гиросприборы. Краткое описание конструкции. Резонаторы гиросприборов: свободные колебания, вынужденные колебания. Уравнения стационарных колебаний. Укороченные уравнения автоколебаний в гиросприборе. Интегрирование укороченных уравнений автоколебаний в гиросприборе (слаборелятивистское приближение). Пусковой режим гиросприбора. Пениотрон – эталонная модель распределенной системы с силовой группировкой электронов.

Раздел 7: Лазер на свободных электронах или параметрический способ управления электронным потоком.

Нерелятивистские предшественники ЛСЭ – параметрические усилители на волнах пространственного заряда, лампа Адлера и др. Линейная теория ЛСЭ. Семейство ЛСЭ: от микротрона до накопительных колец.

Раздел 8: Вакуумная СВЧ микроэлектроника.

Автоэлектронная эмиссия и катоды Спиндта. Закон Фаулера–Нордгейма. Триоды возвращаются? Распределенный усилитель с автоэмиссионными катодами. Гигатрон. О возможностях вакуумной СВЧ микроэлектроники.

Перечень литературы

1. *Шевчик В.Н.* Основы электроники сверхвысоких частот. М.: Сов. радио, 1959.
2. *Шевчик В.Н., Шведов Г.Н., Соболева А.В.* Волновые и колебательные явления в электронных потоках на сверхвысоких частотах. Саратов: Изд.-во СГУ. 1963.
3. *Шевчик В.Н.* Взаимодействие электронных пучков с электромагнитными полями. Саратов: Изд.-во СГУ. 1963.
4. *Шевчик В.Н., Трубецков Д.И.* Аналитические методы расчета в электронике СВЧ. М.: Сов. радио, 1970.
5. *Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А.* Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: Сов. радио, 1973.
6. Электроника ламп обратной волны / под ред. В.Н. Шевчика и Д.И. Трубецкова. Саратов: Изд.-во СГУ. 1975.
7. *Рухадзе А.А. и др.* Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1980.
8. Электронные приборы сверхвысоких частот / Под. ред. В.Н. Шевчика и М.А. Григорьева. Саратов: изд.-во СГУ, 1983.
9. *Бедселл Ч., Ленгдон А.* Физика плазмы и численное моделирование. М.: Атомиздат, 1985.
10. *Цимринг Ш.Е.* Мазеры на циклотронном резонансе. Горький: изд.-во Горьк. ун.-та, 1988.
11. *Рабинович М.И., Трубецков Д.И.* Введение в теорию колебаний и волн. 2-е издание, М.: Наука, 1991.
12. *Трубецков Д.И., Рожнев А.Г., Соколов Д.В.* Лекции по сверхвысокочастотной вакуумной микроэлектронике. Саратов: Изд.-во ГосУНЦ «Колледж», 1996.