

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Теория колебаний в радиотехнике»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.3

Всего: 108 часов,

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа
84 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 г. № 876 и паспорта специальности 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение колебательных процессов в радиотехнических цепях и системах

Задачами дисциплины являются:

– изучение свойств автоколебательных систем различной физической природы и предпосылок перехода к многокритериальной модели оптимизации совокупности их свойств;

– ознакомление с научными основами построения колебательных систем;

– изучение физических основ формирования типов движений в динамических системах разного порядка и оценки их устойчивости.

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

- Владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2).

-Способность к исследованию новых физических процессов и явлений, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств (ПК-11);

-Способность к теоретическому решению задач синтеза и анализа радиоэлектронных устройств и их исследования методами моделирования (ПК-12).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

уметь:

- - критически анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- исследовать новые физические процессы и явления, позволяющие повысить эффективность радиотехнических устройств (ПК-11);
- решать задачи синтеза и анализа радиоэлектронных устройств и их исследовать методами моделирования (ПК-12).

владеть:

- культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение

Основные определения. История становления и развития теории колебаний. Изоморфизм процессов в колебательных системах различной физической природы. Фундаментальная роль колебательных явлений в радиофизике, радиотехнике, квантовой радиоэлектронике. Понятие колебательной системы. Построение моделей колебательных систем, направления их классификации. Общность математических моделей колебательных систем различной физической природы. Динамические аналогии.

2. Способы составления уравнений и методы описания процессов в колебательных системах

Общие методы составления уравнений движения колебательных систем. Символический метод составления дифференциальных уравнений

движения радиотехнических систем. Общие уравнения Лагранжа-Максвелла для описания динамических систем, содержащих элементы различной физической природы (электрические, механические и т.д.). Примеры составления уравнений систем с одной и несколькими степенями свободы: уравнения осцилляторов Ван-дер Поля, Дуффинга, Рэля, Гельмгольца; уравнения одноконтурных LC-автогенераторов, автогенератора по схеме Чуа, уравнения маятника, системы фазовой синхронизации (СФС) и частотной автоподстройки (ЧАП), уравнения квантового генератора и др.

3. Колебания в линейных системах

Общие уравнения линейных систем с постоянными и переменными параметрами. Колебания в линейных системах с постоянными параметрами в случае одной, полутора и двух степеней свободы. Моды колебаний консервативной системы с 2-мя степенями свободы. Зависимости нормальных частот и коэффициентов распределения от парциальных частот и степени связи между парциальными контурами (графики Вина). Связь и связанность, влияние малых потерь на характер колебаний.

4. Устойчивость движения динамических систем, критерии устойчивости

Виды устойчивости. Определения и понятия локальной и глобальной устойчивости нелинейных систем. Понятие об исследовании устойчивости нелинейных систем в целом прямым методом Ляпунова. Второй метод Ляпунова и уравнения линейного приближения. Алгебраические и частотные критерии локальной устойчивости (Рауса-Гурвица, Михайлова, Найквиста и др.). Примеры исследования устойчивости состояний равновесия систем с сосредоточенными и распределенными параметрами. Абсолютная и орбитальная устойчивость периодических движений. Уравнения линейного приближения. Основы теории Флоке.

5. Исследование нелинейных динамических систем методом фазового пространства

Отображения движений динамических систем в пространствах состояний. Связь технологических свойств фазового пространства с видом уравнения колебательной системы. Фазовые пространства автономных систем с половиной и одной степенями свободы. Основные свойства фазовых траекторий, регулярные и особые точки. Типы особых точек на двумерной фазовой поверхности и в трехмерном фазовом пространстве. Способы построения фазовых траекторий. Приемы качественного исследования

нелинейных динамических систем. Способы обнаружения периодических траекторий, аттракторы и репеллеры. Существование предельных циклов и особых точек. Методы Пуанкаре и Бендиксона локализации предельных циклов. Бассейны притяжения аттракторов. Понятие грубых систем по Андронову. Основы теории бифуркаций. Метод точечных преобразований, диаграммы последования. Примеры построения фазовых портретов нелинейных динамических систем.

6. Приближенные методы анализа нелинейных колебательных систем.

Асимптотические методы анализа нелинейных колебательных систем. Метод малого параметра. Основы теории возмущений. Исследование систем, близких к консервативным. Метод медленно меняющихся амплитуд и его разновидности (метод Ван-дер-Поля, метод осреднения Крылова-Боголюбова-Митропольского, метод символических укороченных уравнений Евтянова и др.). Примеры укороченных уравнений радиотехнических систем с одной и несколькими степенями свободы. Математическое моделирование и алгоритмы численного анализа нелинейных колебательных систем на ЭВМ.

7. Процессы в автономных колебательных системах с одной и полутора степенями свободы

Линейные и нелинейные системы с обратной связью. Принцип действия автогенератора гармонических колебаний. Укороченные дифференциальные уравнения автогенератора одночастотных колебаний и их анализ. Стационарный режим. Баланс амплитуд и фаз. Бифуркации при изменении параметров автогенератора. Мягкое и жесткое самовозбуждение. Автоколебания в системах с инерционной нелинейностью. Фазовые портреты автогенераторов. Переходные процессы в одноконтурном автогенераторе. Флуктуации амплитуды и фазы колебаний одноконтурного автогенератора. Процессы в нелинейных радиотехнических системах управления. Дифференциальные уравнения систем частотной и фазовой автоподстройки колебаний автогенераторов, автоподстройки фазового набега в усилителях и трактах, их фазовые портреты. Синхронный и асинхронный режимы при фазовой автоподстройке частоты. Типы движений на цилиндрической и тороидальной фазовых поверхностях. Решение типовых задач.

8. Внешнее воздействие на автоколебательные системы

Асинхронное и синхронное внешние воздействия на автогенератор. Метод модуляционных характеристик при анализе внешнего воздействия на автогенератор. Асинхронное тушение и возбуждение автоколебаний. Физические процессы при синхронизации автогенераторов. Зоны синхронизма при кратном отношении частот, зависимость их ширины от кратности частот и параметров системы. Деление и умножение частоты при помощи синхронизированных генераторов. Параметрическое воздействие на колебательные системы. Параметрическое усиление и возбуждение колебаний. Одноконтурный параметрический усилитель и автогенератор. Анализ параметрического автогенератора. Соотношения Мэнли-Роу. Умножение и деление частоты в параметрических системах.

9. Системы со многими степенями свободы

Особенности укороченных уравнений для систем со многими степенями свободы. Одночастотный и многочастотный режимы. Взаимодействие многих колебаний в нелинейных системах. Взаимосвязанные автоколебательные системы, их укороченные уравнения. Анализ асинхронного взаимодействия колебаний двух автогенераторов. Условия сосуществования колебаний. Взаимная синхронизация автогенераторов на кратных или равных частотах. Зоны взаимной синхронизации. Режим биений. Взаимодействие автогенераторов при комбинационном соотношении частот. Условия самовозбуждения комбинационных автоколебаний и их свойства. Двухконтурные параметрические автогенераторы, умножители и делители частоты. Укороченные уравнения двухконтурных параметрических систем. Стационарные режимы. Свободные колебания в кольцевых системах. Автогенераторы с кольцевым включением резонаторов. Ансамбли автогенераторов.

10. Колебания и волны в системах с распределенными параметрами

Стационарные волновые процессы в усилителях с распределенными параметрами. Типы распределенных усилителей. Полные уравнения и уравнения стационарного режима при гармоническом входном сигнале. Метод пространственных огибающих для анализа распределенных усилителей. Нелинейные волновые системы. Формирование нелинейных волн и солитонов. Автоколебательные системы с распределенными нелинейностями.

11. Условия возникновения и свойства хаотических колебаний в нелинейных динамических системах

Минимальная размерность систем с непрерывным и дискретным временем, необходимая для возможности возникновения хаотических движений. Хаотические аттракторы и их фрактальная размерность (“странные аттракторы”). Другие количественные характеристики хаотических колебаний. Базовые модели динамического хаоса для систем с непрерывным и дискретным временем. Модели Лоренца, Ресслера, генератор Чуа, системы фазовой синхронизации и частотной автоподстройки. Модели в виде одномерных и двумерных рекуррентных отображений. Бифуркационные механизмы и типовые сценарии перехода к хаосу. Универсальность Фейгенбаума при переходе через каскад бифуркаций удвоения периода. Скейлинговые закономерности для модели с логистическим отображением. Возможность синхронизации хаотических колебаний и управления хаосом.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

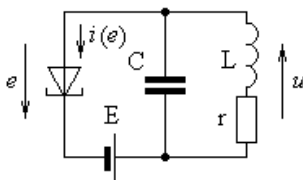
3 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. В теории колебаний под движением системы понимают
 - а) изменение фазовых координат системы, происходящее под воздействием заданной силы;
 - б) периодическое изменение какого-либо ее параметра;
 - в) отклонение величины, характеризующей колебательный процесс в системе, от положения равновесия;
 - г) любое изменение ее состояния во времени.

2. Изоморфизм колебательных процессов в системах различной физической природы выражается в том, что
 - а) теоретические характеристики систем имеют одинаковое графическое представление;
 - б) эти процессы описываются одними и теми же дифференциальными уравнениями;
 - в) форма колебаний во всех системах одна и та же;
 - г) во всех системах колебательные процессы вызываются одинаковыми причинами

3. Составить символическое уравнение колебаний автогенератора на туннельном диоде



4. Укажите уравнения движения системы с n степенями свободы, записанные в канонической форме Коши

- а) $\dot{y}_i = F_i(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_n)$; $\dot{x}_i = y_i$; $i = 1, 2, \dots, n$;
- б) $\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{F}(\mathbf{x}; \mathbf{y})$; $\mathbf{y} = \dot{\mathbf{x}}$; $\mathbf{y}_0 = \mathbf{y}(0)$;
- в) $\ddot{y}_i = F_i(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_n)$; $i = 1, 2, \dots, n$;
- г) $\ddot{\mathbf{y}} = \mathbf{F}(\mathbf{x}; \mathbf{y}, \dot{\mathbf{y}})$; $\mathbf{y}_0 = \mathbf{y}(0)$.

5. В цепи, состоящей из последовательно соединенных конденсатора с емкостью C , катушки с индуктивностью L и резистора с сопротивлением R , в момент времени $t = 0$ конденсатор заряжен. Укажите временную зависимость, описывающую движение в системе, если затухание меньше критического

- а) $x(t) = A \cos \omega t \exp(-tR/L)$;
- б) $x(t) = (A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t) \exp(-tR/2L)$;
- в) $x(t) = \exp(-tR/2L)$;
- г) $x(t) = (A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t) \exp(tR/L)$.

6. В колебательной системе с m степенями свободы коэффициент распределения k_{nl} , $n \leq m$, $l \leq m$ показывает

- а) какую долю в амплитуде n -го парциального колебания составляет колебание l -ой нормальной координаты;
- б) какую долю в амплитуде n -ой нормальной координаты составляет колебание с l -ой резонансной частотой;
- в) какая доля амплитуды n -го парциального колебания вложена в колебание l -ой обобщенной координаты;
- г) какая доля амплитуды n -ой нормальной координаты вложена в колебание l -ой обобщенной координаты.

7. Вопрос об устойчивости невозмущенного движения системы в смысле Ляпунова сводится к влиянию

- а) приложенных внешних сил на обобщенную координату системы;
- б) приложенных внешних сил на параметры системы;
- в) начальных возмущений на свойства движения;
- г) изменения обобщенной координаты на свойства движения.

8. Характеристическое уравнение динамической системы имеет вид

$$2p^3 + ap^2 + 4p + 5 = 0.$$

При каком значении коэффициента a система устойчива?

- а) $a < 0$; б) $a > 3.5$; в) $a > 2.5$; г) $a < 1.5$.

9. Для исследования локального движения системы вблизи состояния равновесия

- а) применяют метод гармонического баланса;
- б) выполняют преобразование уравнений движения к укороченному виду;
- в) применяют критерий Рауса-Гурвица;
- г) выполняют линеаризацию уравнения движения.

10. Инвертирующий усилитель с постоянным коэффициентом передачи $|A| > 1$ замкнут цепью запаздывающей обратной связи с коэффициентом передачи $\exp(-\tau p)$. Если время запаздывания τ уменьшить на 1 мс, то минимальная частота самовозбуждения усилителя изменится на 100 Гц. Определить значение τ .

11. Значение a_0 параметра a колебательной системы называется бифуркационным, если

- движения системы при $a < a_0$ и $a > a_0$ качественно различаются;
- значениям $a < a_0$ и $a > a_0$ соответствуют разные кривые на фазовой плоскости;
- система при $a < a_0$ и $a > a_0$ описывается разными уравнениями;
- при $a < a_0$ система находится в состоянии равновесия, а при $a > a_0$ – неустойчива.

12. При исследовании систем с $1/2$ степенью свободы используется гипотеза скачков, в которой утверждается, что

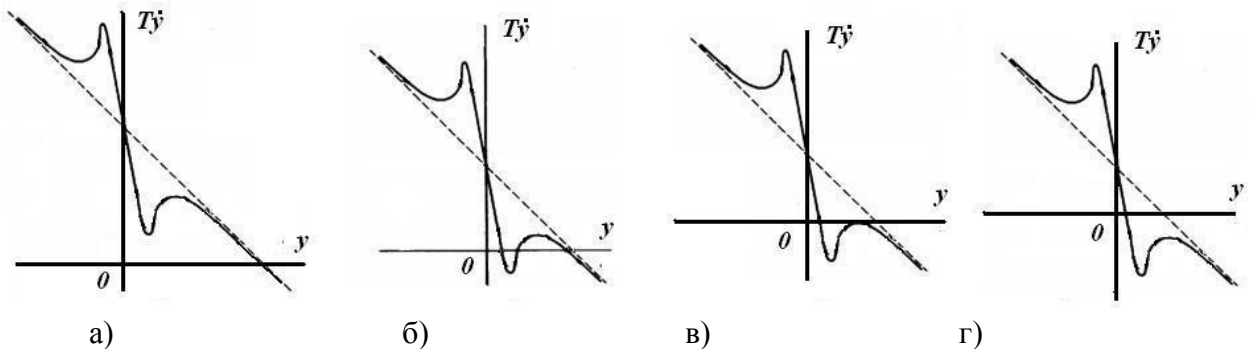
- движение по фазовой траектории системы происходит скачками;
- движение вне фазовой траектории системы происходит по горизонтальным траекториям;
- движение вне фазовой траектории системы происходит по вертикальным траекториям;
- движение по фазовой плоскости системы происходит скачками.

13. Простейшая система стабилизации частоты генератора описывается дифференциальным уравнением

$$T\dot{y} = \gamma^0 - (y - F(y)),$$

где $y(t)$ – нормированное (по отношению к центральной частоте дискриминатора) отклонение текущей частоты от номинальной, γ^0 – нормированное отклонение частоты свободных колебаний от номинальной (начальная расстройка), T – постоянная времени инерционного звена, $F(y)$ – характеристика частотного дискриминатора.

Какой фазовый портрет соответствует значению начальной расстройки, меньшей полосы схватывания?



14. В основе квазилинейного метода анализа нелинейной колебательной системы лежат:

- линейная аппроксимация производных в исходном дифференциальном уравнении системы и квазилинейная аппроксимация функции, описывающей внешнее воздействие;
- предположения о линейном изменении во времени обобщенной координаты и внешнего воздействия;
- допущение о квазигармоничности колебания и учет только первой гармоники обобщенной координаты;
- допущение о гармоническом характере колебания и линейная аппроксимация функции, описывающей внешнее воздействие.

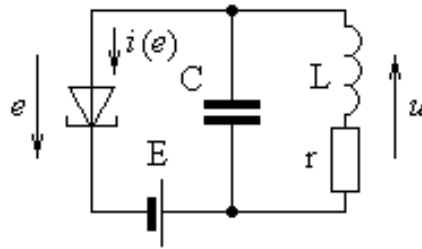
15. Пусть колебательная система описывается уравнением

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \alpha f(x, \dot{x}),$$

где α - малый параметр, ω_0 - частота свободных колебаний при $\alpha = 0$, $f(x, \dot{x})$ - ограниченная регулярная функция. Тогда согласно методу медленно меняющихся амплитуд можно представить решение в виде $x = u(t) \cos(\omega_0 t) + v(t) \sin(\omega_0 t)$, где $u(t)$ и $v(t)$ - медленно меняющиеся за время периода колебания амплитуды, и привести исходное уравнение к укороченным уравнениям вида:

- а) $\dot{u} = \varphi(v)$, $\dot{v} = \psi(u)$; б) $\dot{u} = \varphi(u, v)$, $\dot{v} = \psi(u, v)$;
 в) $\dot{u} = \varphi(u, t)$, $\dot{v} = \psi(v, t)$; г) $\dot{u} = \varphi(v, t)$, $\dot{v} = \psi(u, t)$.

16. Укороченное символическое уравнение автогенератора на туннельном диоде



имеет вид

$$(Tp + 1)U = -RI_1(u_m),$$

где $U = u_m \exp(i\varphi)$, $I_1(u_m) = i_{1m}(u_m) \exp(i\varphi)$, T - постоянная времени контура, R - резонансное сопротивление контура. Укажите эквивалентные уравнения для амплитуды u_m и фазы φ колебаний.

- а) $(Tp + 1)u_m = -Ri_{1m}(u_m)$, $Tu_m p\varphi = 0$;
 б) $Tru_m = -Ri_{1m}(u_m)$, $p\varphi = 0$;
 в) $(Tp + 1)u_m = -Ri_{1m}(u_m)$, $Tru_m \varphi = 0$;
 г) $Tru_m = Ri_{1m}(u_m)$, $p\varphi = 0$.

17. Свободные колебания в консервативной системе с одной степенью свободы описываются

- а) системой уравнений $\dot{x} = f_1(t)$; $\dot{y} = f_2(t)$; б) уравнением $\ddot{x} = \Phi(x, \dot{x}, t)$;
 в) системой уравнений $\dot{x} = y$; $\dot{y} = f(\dot{x})$; г) уравнением $\ddot{x} = f(x)$.

18. Укажите соотношение, являющееся математическим условием консервативности колебательной системы с одной степенью свободы, если возвращающая сила описывается функцией $f(x)$

- а) $\frac{1}{2}y^2 - V(y) = \text{const}$, где $y = \dot{x}$, $V(y)$ - потенциальная функция;
 б) $\frac{1}{2}y^2 + V(y) = \text{const}$, где $y = \dot{x}$, $V(y)$ - потенциальная функция;
 в) $\frac{1}{2}(\dot{x})^2 + \int f(x) dx = \text{const}$;
 г) $\frac{1}{2}(\dot{x})^2 - \int f(x) dx = \text{const}$.

19. Укажите пример консервативной нелинейной системы с одной степенью свободы

- а) резонатор щелевой антенны;

- б) математический маятник с неизменной длиной подвеса;
- в) параллельное соединение индуктивности и емкости обратно смещенного p - n перехода;
- г) математический маятник с изменяющейся длиной подвеса.

20. Свободные колебания в консервативной нелинейной системе с одной степенью свободы неизохронны, что означает зависимость

- а) частоты колебаний от возвращающей силы;
- б) периода колебаний от их амплитуды;
- в) периода колебаний от длительности колебательного процесса;
- г) частоты колебаний от фазового сдвига между колебанием и вынуждающей силой.

21. Колебательная система образована трехкаскадным усилителем, выход которого соединен со входом. Символический коэффициент передачи одного каскада

$$A(p) = \frac{-A}{Tp + 1},$$

где A и T – постоянные. Определите частоту возможных колебаний в системе, если $T = 52$ мкс.

22. Колебательная система образована усилителем с символическим коэффициентом передачи

$$A(p) = \frac{A}{Tp + 1}$$

и избирательным трактом положительной обратной связи (последовательный колебательный контур) с коэффициентом передачи

$$B(p) = \frac{\delta\omega_0 p}{p^2 + \delta\omega_0 p + \omega_0^2},$$

где ω_0 - резонансная частота колебательного контура, δ - его затухание. Считая, что инерционность нагрузки усилителя мала ($\omega_0 T \approx 1$), оцените частоту возможных колебаний в системе.

23. Если активным элементом автогенератора является управляемый источник тока, то колебательная характеристика активного элемента - это

- а) зависимость амплитуды первой гармоники выходного тока от амплитуды первой гармоники входного напряжения;
- б) зависимость амплитуды первой гармоники входного тока от амплитуды первой гармоники выходного напряжения;
- в) зависимость амплитуды первой гармоники входного тока от амплитуды первой гармоники входного напряжения;
- г) зависимость амплитуды первой гармоники выходного тока от амплитуды первой гармоники выходного напряжения.

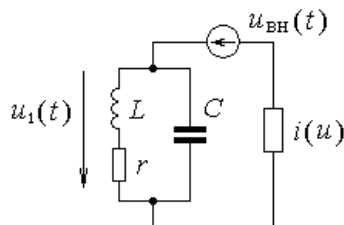
24. Используя укороченное символическое уравнение для автогенератора с одной степенью свободы и положительной средней крутизной активного элемента (управляемый источник тока), получить условие возникновения автоколебаний и уравнение для их амплитуды. Считать, что колебательная характеристика является мягкой.

25. Используя укороченное символическое уравнение для автогенератора с одной степенью свободы и положительной средней крутизной активного элемента (управляемый источник тока), получить условие устойчивости автоколебаний. Считать, что колебательная характеристика является жесткой.

26. Пусть в начальный момент времени $t = t_0$ задана начальная амплитуда $U(t_0)$ колебаний в автогенераторе с одной степенью свободы и положительной средней крутизной активного элемента (управляемый источник тока).

Используя укороченное символическое уравнение для автогенератора получить зависимость $U(t)$, определяющую процесс установления амплитуды автоколебаний. Считать, что колебательная характеристика является мягкой, условия самовозбуждения выполнены, а $U(t_0)$ на несколько порядков меньше амплитуды установившихся колебаний (при этом $I_1(U) \approx SU$).

27. Обобщенная схема автогенератора с внешним воздействием имеет вид

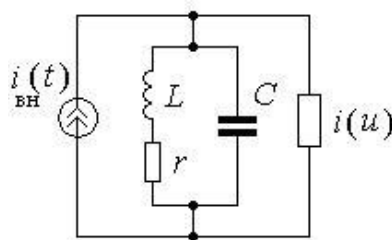


Считая воздействие гармоническим асинхронным, получить укороченные уравнения для амплитуды и фазы автоколебаний.

28. В обобщенной схеме автогенератора с внешним воздействием (см. задание 27) характеристика тока нелинейного элемента аппроксимируется двучленом $i(u) = \alpha u - \gamma u^3$.

Определите амплитуду внешнего асинхронного гармонического воздействия, при которой подавляются автоколебания (явление асинхронного тушения автоколебаний), если известна амплитуда установившихся автоколебаний U_{10} в автономном режиме.

29. В обобщенной схеме автогенератора с внешним синхронным воздействием



амплитуда тока внешнего источника в два раза меньше амплитуды первой гармоники тока активного элемента. Определите ширину полосы синхронизма, если $r = 1$ Ом, $L = 1$ мкГн.

30. В обобщенной схеме автогенератора с внешним синхронным воздействием (см. задание 29) $\omega_{вн} \approx \omega_0/2$, а амплитуда воздействия мала. Какому условию должна удовлетворять характеристика активного элемента $i(u)$, чтобы осуществлялся режим умножения частоты?

31. Какое уравнение описывает параметрический резонанс в линейной системе?

- а) $\ddot{y} + \omega_0^2 y = \psi(t)$;
- б) $\ddot{x} + \psi(t)x = 0$, где $\psi(t)$ – периодическая функция;
- в) $\ddot{x} + \psi(t)\dot{x} = 0$, где $\psi(t)$ – периодическая функция;
- г) $\ddot{y} + \omega_0^2 y = m \cos pt$, где $\omega_0^2/p^2 \approx 1$.

32. Почему в линейной колебательной системе с одной степенью свободы при выполнении условий параметрического резонанса происходит неограниченное нарастание

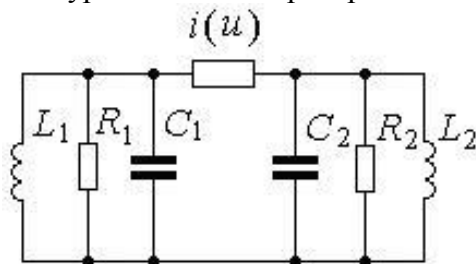
амплитуды возбужденных колебаний, а при силовом воздействии амплитуда вынужденных колебаний конечна?

- а) Генератор накачки имеет вдвое большую частоту, чем вынуждающая сила, поэтому происходит и больший рост амплитуды колебания.
- б) При параметрическом воздействии рост вносимая в контур энергия растет, а потери - уменьшаются.
- в) Вкладываемая в контур энергия при параметрическом воздействии компенсирует потери, а силовое воздействие этим свойством не обладает.
- г) При силовом воздействии вложение энергии пропорционально первой степени амплитуды колебаний, как и потери, а при параметрическом – квадрату амплитуды.

33. Определите коэффициент K_p усиления по мощности нерегенеративного двухконтурного параметрического усилителя с частотой накачки 50 МГц и выходной частотой 55 МГц.

34. На конденсатор без потерь и нелинейной емкостью воздействуют источник накачки с частотой ω_H и мощностью P_H и источник сигнала с частотой ω_C и мощностью P_C . Параллельно конденсатору подключена цепь, содержащая фильтр, настроенный на частоту $\omega_H - \omega_C$, и резистор, на котором рассеивается мощность P_R . Написать соотношения Мэнли-Роу для данной колебательной системы.

35. Обобщенная схема двухконтурного автогенератора имеет вид



Считая, что резонансные частоты контуров не находятся в кратном соотношении, а нелинейность безынерционна, написать укороченные символические уравнения, определяющие амплитуды U_1 и U_2 колебаний в контурах.

36. С колебательным контуром автогенератора, работающим в мягком режиме, слабо связан дополнительный колебательный контур. Если собственные частоты контуров близки, а добротность дополнительного контура высока, то

- а) автоколебания, существующие в контуре, могут быть подавлены;
- б) амплитуда автоколебаний возрастает пропорционально величине связи;
- в) частота автоколебаний уменьшается пропорционально величине связи;
- г) могут возникнуть автоколебания на частоте дополнительного контура.

37. В диапазоне СВЧ к автогенератору подключают высокодобротный объемный резонатор, причем величина связи велика. При таком подключении в автогенераторе наблюдается

- а) возникновение автоколебаний на разностной частоте (биений);
- б) явление параметрического резонанса;
- в) явление затягивания частоты;
- г) стабилизация амплитуды автоколебаний;

38. Отрезок передающей линии закорочен на одном конце и нагружен туннельным диодом с пренебрежимо малой емкостью на другом конце. Что можно сказать о колебаниях такой системы?

- а) колебания невозможны, так как отрезок линии закорочен;

- б) колебания возможны, но они не являются гармоническими;
- в) колебания возможны и они гармонические, так как отрезок линии является резонатором;
- г) колебания невозможны, поскольку бегущие волны полностью гасятся отраженными от замкнутого конца волнами

39. «Странным аттрактором" называют структурный элемент многомерного ($n \geq 3$) фазового пространства, характерной особенностью которого является то, что фазовые траектории

- а) перескакивают из одной плоскости фазового пространства в другую плоскость, через общую особую точку;
- б) проходят по областям двух особых точек, одна из которых является устойчивой, а другая - нет;
- в) перескакивают из области одной неустойчивой особой точки в область другой неустойчивой особой точки;
- г) проходят одновременно в нескольких плоскостях фазового пространства в области неустойчивой особой точки.

40. Особенность хаоса (стохастического поведения) динамических систем – в том, что это явление

- а) есть следствие наличия у некоторых параметров системы неопределенных значений (стохастические параметры);
- б) зависит от множества параметров, определяемых числом степеней свободы динамической системы (многомерное явление);
- в) наблюдается в короткие промежутки времени, вне которых поведение системы детерминировано;
- г) возникает в отсутствие каких-либо случайных факторов (полностью детерминировано)

Ответы

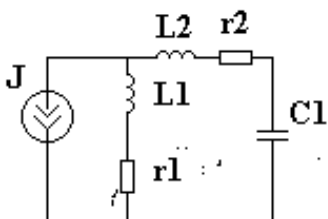
№ п/п	Правильный ответ	№ п/п	Правильный ответ
1	г)	21	$\omega_{\text{гр}} = \sqrt{3}/T = 33300 \text{ рад/с} = 5.30 \text{ кГц}$
2	б)	22	$\omega^2 \approx (1 - \delta\omega_0 T) \omega_0^2$
3	$(p^2 LC + prC + 1)(e - E) + (pL + r)i(e) = 0$	23	а)
4	а)	24	$1/R < [di_1(U)/dU]_{U=0}, U_0 = RI_1(U_0)$
5	б)	25	$[di_1(U)/dU]_{U=U_0} < 1/R$
6	г)	26	$U(t) = U(t_0) \exp[(RS - 1)(t - t_0)/T]$
7	в)	27	$T dU_1/dt = I_{1A}R - U_1, T U_1 d\psi_1/dt = I_{1P}R$
8	в)	28	$U_{10}/\sqrt{2}$
9	г)	29	$2 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$
10	$\tau = 2.79 \text{ мс}$	30	$i(u)$ должна содержать квадратичный член
11	а)	31	б)
12	в)	32	г)
13	г)	33	$K_P = 1.1$
14	в)	34	$\frac{P_H}{\omega_H} + \frac{P_R}{\omega_H - \omega_C} = 0, \frac{P_C}{\omega_C} - \frac{P_R}{\omega_H - \omega_C} = 0$

15	б)	35	$T_1 p U_1 = I_1(U_1, U_2) R_1 - U_1,$ $T_2 p U_2 = I_2(U_1, U_2) R_2 - U_2$
16	а)	36	а)
17	г)	37	в)
18	г)	38	б)
19	в)	39	в)
20	б)	40	г)

Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов

№1.

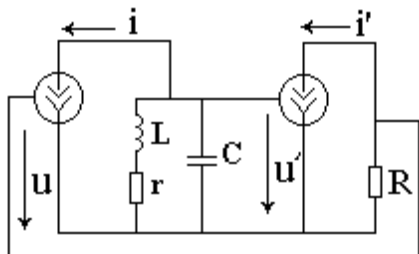
1. Для схемы рис. 1 составить дифференциальное уравнение при характеристике нелинейного элемента: $i = -S_1 u + S_3 u^3$. Исследовать устойчивость состояния равновесия.



2. Критерий Бендиксона.

№2

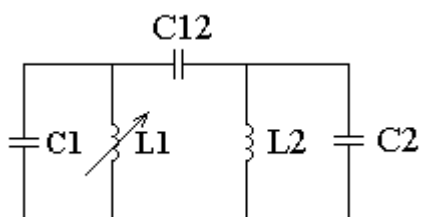
1. Составить дифференциальное уравнение схемы рис. 1, полагая $i(u) = S_1 u + S_3 u^3 - S_5 u^5$, $i'(u') = S_1 u'$. Рассмотреть разбиение плоскости параметров $S_1 R$ и $\delta = \omega_0 C R$, где $\omega_0 = 1/LC$, по характеру особой точки $u = 0$.



2. Метод контактной кривой.

№3

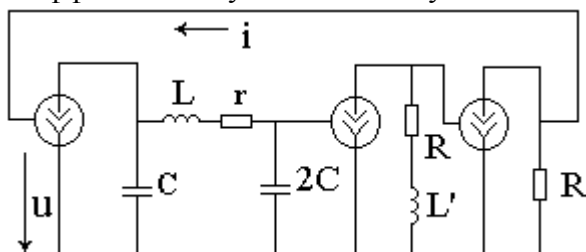
1. Исследовать свободные колебания в схеме рис. 1. Рассмотреть зависимости нормальных частот и коэффициентов распределения от парциальной частоты ω_{11} при изменении последней индуктивностью L_1 .



2. Устойчивость линейных систем. Критерий Рауса.

№4

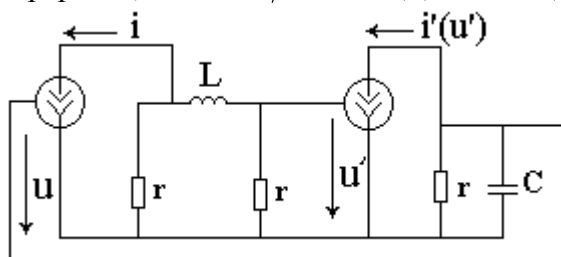
1. Исследовать устойчивость состояния равновесия схемы рис. 1. Найти связь между коэффициентом усиления и затуханием контура на границе устойчивости.



2. Метод медленно меняющихся амплитуд Ван-дер-Поля. Устойчивость. Диаграмма бифуркаций (на примере магкой характеристики автоколебательной системы с одной степенью свободы).

№5

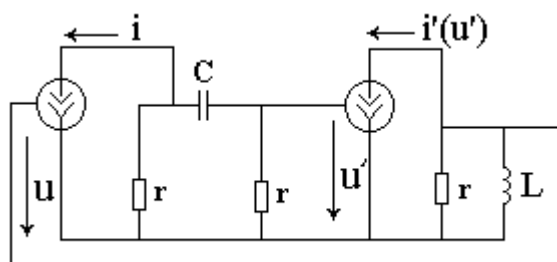
1. Исследовать характер особой точки в схеме рис. 1. Построить примеры фазовых портретов, считая $L/r = rC$, $i(u) = Su$, $i'(u') = S'u'$.



2. Условия, при которых существуют автоколебания в системе с $1/2$ степенью свободы.

№6

1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0$, $u' = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $L/R = RC$, $i(u) = Su$, $i'(u') = S'u'$.



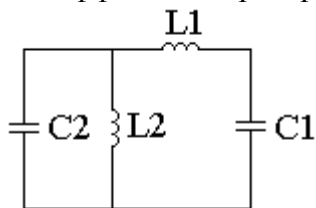
2. Собственные частоты и коэффициенты распределения в линейных системах с двумя степенями свободы.

№7.

1. Исследовать особые точки системы, описываемой дифференциальным уравнением $\ddot{x} + \lambda\dot{x} + \sin x = 0$.
Рассмотреть бифуркации на фазовой плоскости при изменении λ .
2. Критерии Бендиксона и Дюлака.

№8

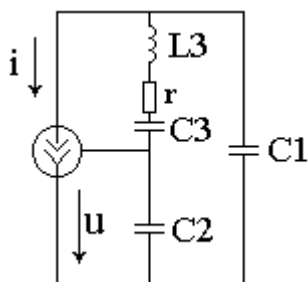
1. Рассмотреть свободные колебания в схеме рис. 1. Как изменятся нормальные частоты и коэффициенты распределения при изменении $C1$.



2. Исследование нелинейных систем методом фазового пространства. Система с $1/2$ степенью свободы.

№9

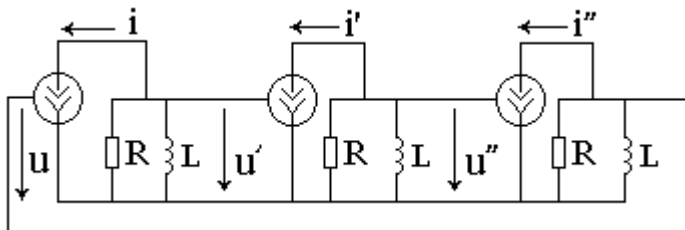
1. Исследовать устойчивость состояния равновесия в схеме рис. 1, полагая $i(u) = Su$.



2. Метод фазовой плоскости для анализа систем с одной степенью свободы. Классификация особых точек.

№10

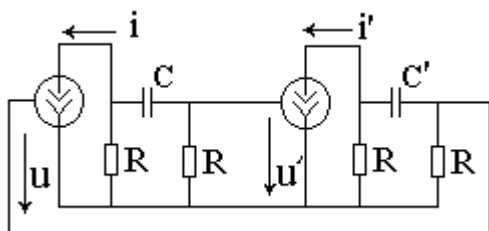
1. Исследовать устойчивость состояния равновесия в схеме рис. 1 при $i(u) = Su$, $i'(u') = S'u'$, $i''(u'') = S''u''$.



2. Бифуркации, связанные с рождением предельного цикла путем смыкания сепаратрисс

№11

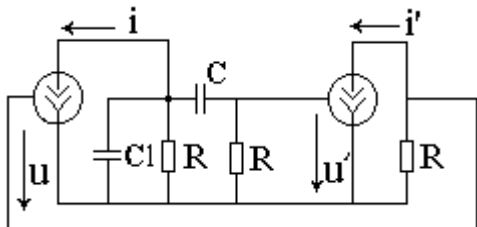
1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0$, $\dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su$, $i'(u') = S'u'$.



2. Устойчивость периодических движений.

№12

1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0$, $\dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su$, $i'(u') = S'u'$.



2. Переходные процессы установления частоты и амплитуды в автоколебательной системе с одной степенью свободы.

№13

1. Исследовать особые точки системы, описываемой дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} + \lambda \dot{x} + \sin x = \gamma,$$

если $\lambda = \sqrt{2}$, $\gamma = \sqrt{3}/2$.

2. Колебания в линейной консервативной системе с двумя степенями свободы при гармоническом внешнем воздействии.

№14

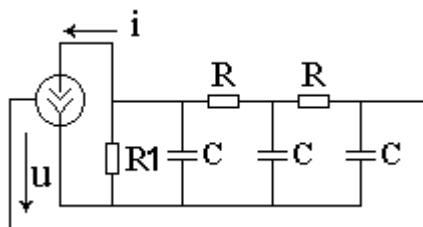
1. Определить характер особых точек системы, описываемой уравнением

$$\ddot{x} + 0.6\dot{x} - 0.45(x - x^3) = 0.$$

2. Свободные колебания в линейных колебательных системах с двумя степенями свободы.

№15

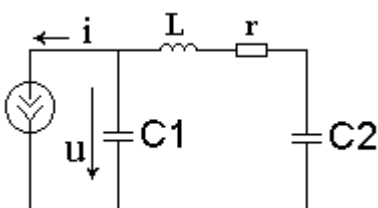
1. Исследовать устойчивость состояния равновесия $u = 0$ в схеме рис. 1 при условии $i(u) = Su$.



2. Исследовать характер особой точки на плоскости (x, \dot{x}) в динамической системе, определяемой уравнением: $\ddot{x} + \lambda \dot{x} - 2x = 0$. Изобразить фазовые траектории в окрестности особой точки.

№16

1. Для схемы рис. 1 составить дифференциальное уравнение при характеристике нелинейного элемента $i(u) = -S_1 u + S_3 u^3$. Исследовать устойчивость состояния равновесия $u = 0$.



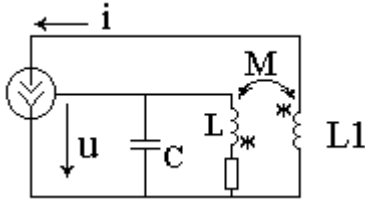
2. Существование особых точек и предельных циклов. Индексы Пуанкаре.

№17

1. Составить дифференциальное уравнение схемы рис. 1, полагая

$$i(u) = S_1 u + S_3 u^3 - S_5 u^5.$$

Рассмотреть разбиение плоскости параметров $\delta = \omega_0 C r$ и $\omega_0 M S_1$ по характеру особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$.



2. Частотные методы исследования устойчивости. Динамическая система с запаздыванием

№18

1. Определить характер особой точки в системе, описываемой уравнениями

$$p x = -x - 3y$$

$$p y = 3x - y$$

Изобразить траектории в ее окрестности.

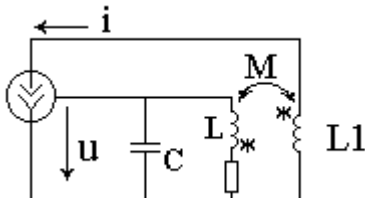
2. Исследование устойчивости точек равновесия частотным методом Михайлова.

№19

1. Составить дифференциальное уравнение схемы рис. 1, полагая

$$i(u) = S_1 u + S_3 u^3 - S_5 u^5.$$

Рассмотреть разбиение плоскости параметров $\delta = \omega_0 C r$ и $\omega_0 M S_1$ по характеру особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$.



2. Полоса синхронизма захваченного автогенератора при малой амплитуде внешнего воздействия.

№20

1. Определить характер особой точки в системе, описываемой уравнениями

$$p x = -x - 3y$$

$$p y = 3x - y$$

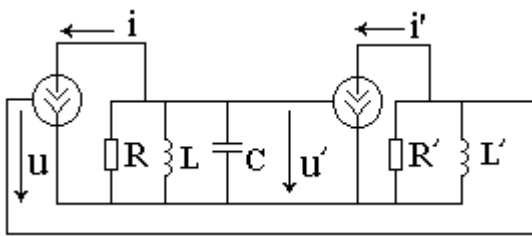
Изобразить траектории в ее окрестности.

2. Исследование устойчивости точек равновесия частотным методом Михайлова.

№21

1. Полагая $i(u) = S_1 u - S_3 u^3$, $i'(u') = S_1 u'$ записать укороченные уравнения схемы рис. 1.

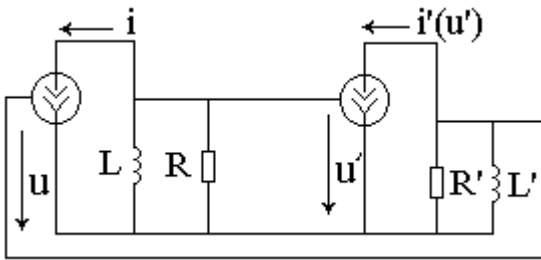
Рассмотреть зависимости амплитуды и частоты колебаний от емкости L' .



2. Понятие о фазовом пространстве. Классификация движений.

№22

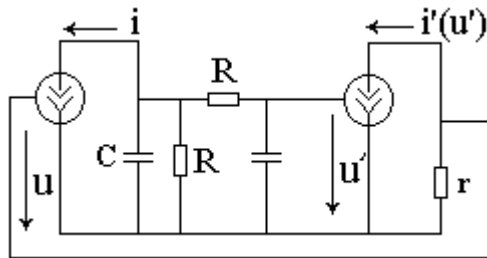
1. Для схемы рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$ при условии $i(u) = Su, i'(u') = S'u'$. Построить примеры фазовых портретов.



2. Уравнение автоподстройки частоты. Стационарные режимы. Бифуркационные диаграммы.

№23

1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su, i'(u') = S'u'$.



2. Устойчивость периодических движений.

№24

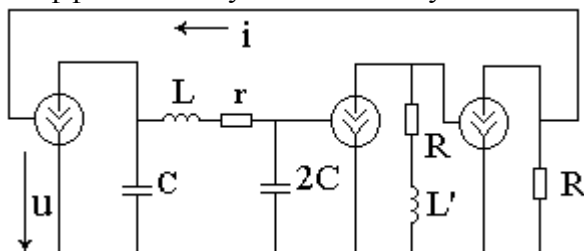
1. Исследовать особые точки системы, описываемой уравнением

$$\ddot{x} + 3\dot{x} - x + x^3 = 0.$$

2. Основные виды бифуркаций, связанные с рождением предельных циклов.

№25

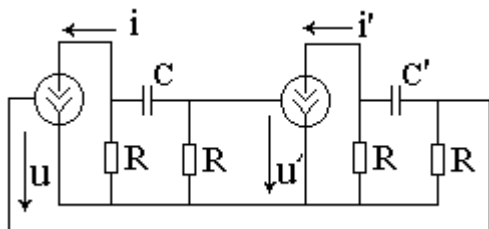
1. Исследовать устойчивость состояния равновесия схемы рис. 1. Найти связь между коэффициентом усиления и затуханием контура на границе устойчивости.



2. Асинхронное воздействие на автогенератор (мягкая характеристика нелинейного элемента).

№26

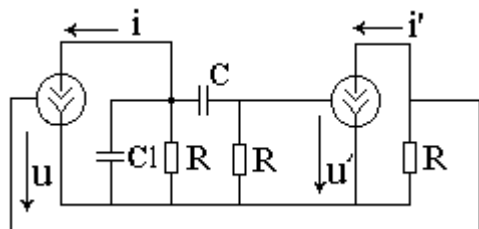
1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su, i'(u') = S'u'$.



2. Асинхронное воздействие на автогенератор (жесткая характеристика нелинейного элемента).

№27

1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su, i'(u') = S'u'$.



2. Синхронное внешнее воздействие на автогенератор.

№28

1. Определить характер особых точек системы, описываемой уравнением
$$\ddot{x} + 0.6\dot{x} - 0.45(x - x^3) = 0.$$
2. Синхронизация автогенератора на гармонике внешнего воздействия (умножение частоты).

№29

1. Определить характер особой точки в системе, описываемой уравнениями
$$\begin{aligned} \dot{p}x &= -x - 3y \\ \dot{p}y &= 3x - y \end{aligned}$$

Изобразить траектории в ее окрестности.

2. Синхронизация автогенератора на субгармонике внешнего воздействия (деление частоты).

№30

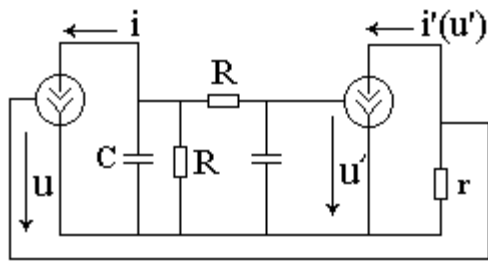
1. Определить характер особой точки в системе, описываемой уравнениями
$$\begin{aligned} \dot{p}x &= -x - 3y \\ \dot{p}y &= 3x - y \end{aligned}$$

Изобразить траектории в ее окрестности.

2. Автогенератор с двумя степенями свободы (асинхронное взаимодействие.)

№31

1. В схеме рис. 1 исследовать характер особой точки $u = 0, \dot{u} = 0$. Построить примеры фазовых портретов, если $i(u) = Su, i'(u') = S'u'$.



2. Синхронизация двух автогенераторов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература:

1. Анищенко В.С., Вадивасова Т.Е. – Лекции по нелинейной динамике: Учеб. пособие. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2011 – 516 с.
2. Кулешов В.Н., Перфильев А.А. Динамика нелинейных резонансных узлов устройств формирования сигналов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 128 с.
3. Перфильев А.А., Хилькевич В.В. Теория колебаний (типовой расчет) – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 32 с.
4. Капранов М.В. Элементы теории систем фазовой синхронизации. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 208 с.
5. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. – М.: Изд-во «Лань», 2005. – 440 с.
6. Евтянов С.И. Избранные статьи. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 304 с.

б) дополнительная литература:

7. Капранов М.В., Кулешов В.Н., Уткин Г.М. Теория колебаний в радиотехнике. М.: "Наука", 1984. – 320с.
8. Капранов М.В., Кулешов В.Н., Уткин Г.М. Теория колебаний в радиотехнике. Задачи и решения. – М.: МЭИ, 1987. – 76 с.
9. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1992. – 454 с.
10. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой.- Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 144 с.
11. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М., "Наука", 1981. – 568 с.

12. Капранов М.В., Снедкова В.К., Удалов Н.Н. Радиотехнические системы с частотным и фазовым управлением. Конспект лекций. М.: Изд-во МЭИ, 1998. - 48с.