

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Радиофизический факультет  
Кафедра теории колебаний

**Отчет по лабораторной работе:**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА**

Выполнили: студенты 430 группы  
**Воробьёв Артём**  
**Зайцев Юрий**

Проверил: **Мотова Марина Ильинична**

Нижний Новгород  
2006 год

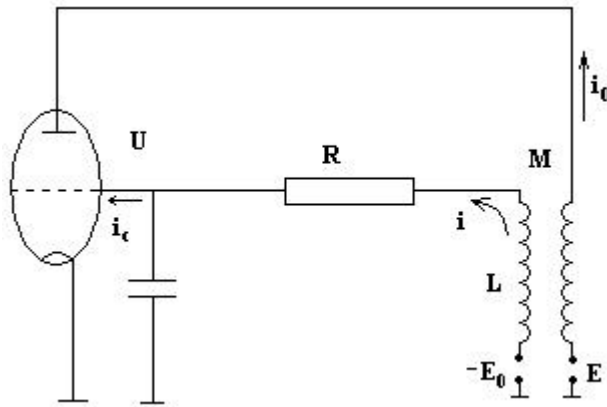


Рис. 1: Генератор гармонических колебаний

## Введение

**Цель работы:** Изучение динамики лампового генератора, ознакомление с различными режимами возбуждения, выяснение зависимости амплитуды от частоты колебаний от параметров системы. Аппарат теоретического рассмотрения – метод Ван-дер-Поля, экспериментального рассморения – исследование фазовой плоскости.

**Приборы и оборудование:**

- стенд экспериментальный
- осциллограф ЭО-7

## Теоретическая часть

### Исходные и укороченные уравнения

В качестве исследуемого в работе контура взят LC-генератор с контуром в цепи сетки (рис. 1). В теории колебаний для генераторных систем введён термин “автоколебательная система”. Данный генератор – пример квазисинусоидальной автоколебательной системы. Остановимся на некоторых элементах теоретического исследования. Используя обозначения, принятые на рис. 1, запишем уравнения схемы в форме уравнений Кирхгофа:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + U = M \frac{di_a}{dt} - E_0, \quad i = C \frac{dU}{dt} + i_c, \quad (1)$$

где  $i_a$  и  $i_c$  - анодные и сеточные токи лампы, зависящие в общем случае от анодного и сеточного напряжений. Будем учитывать их зависимость только от сеточных напряжений (пренебрежём реакцией анода). Качественный вид анодно-сеточной и сеточной характеристик приведён на рис. 2.

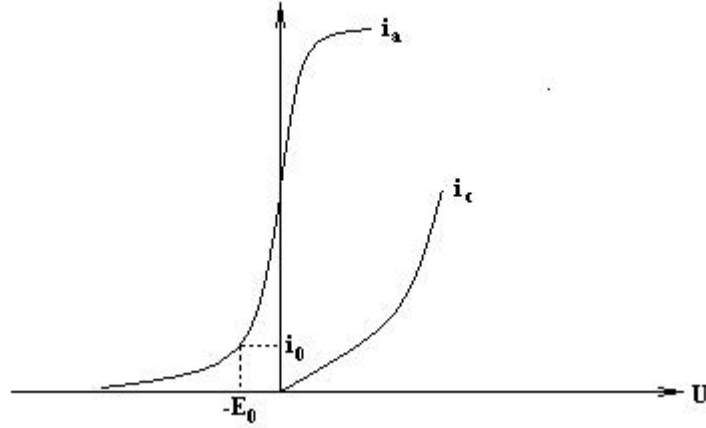


Рис. 2: Качественные анодно-сеточная и сеточная характеристики лампы

Запишем исходную систему (1) в виде одного уравнения, близкого к уравнению гармонического осциллятора. Исключив из системы (1) ток и введя новые переменные и параметры

$$x = U + E_0, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}, \quad \sigma = \frac{M}{\sqrt{LC}} > 0,$$

$$a = \frac{L}{M}, \quad \delta = \frac{R\sqrt{C}}{\sqrt{L}}, \quad f_1 = (i_a - ai_c), \quad f_2 = Ri_c;$$

получим уравнение следующего вида

$$\ddot{x} + x = \frac{d}{dt}[-\delta x + \sigma f_1(x)] - f_2(x) \quad (2)$$

Для нахождения решений уравнения (2) воспользуемся методом медленно меняющихся амплитуд. Решение будем искать в виде

$$x = ze^{j\tau} + z^*e^{-j\tau}$$

$$\dot{x} = j(ze^{j\tau} - z^*e^{-j\tau})$$

Подставляя решение в уравнение (2) и усредняя на периоде, получаем укороченные уравнения:

$$2j\dot{z} = -j\delta z + j\sigma\chi_1(zz^*) - \chi_2(zz^*),$$

где

$$\chi_1(zz^*) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_1 e^{-j\tau} d\tau,$$

$$\chi_2(zz^*) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_2 e^{-j\tau} d\tau$$

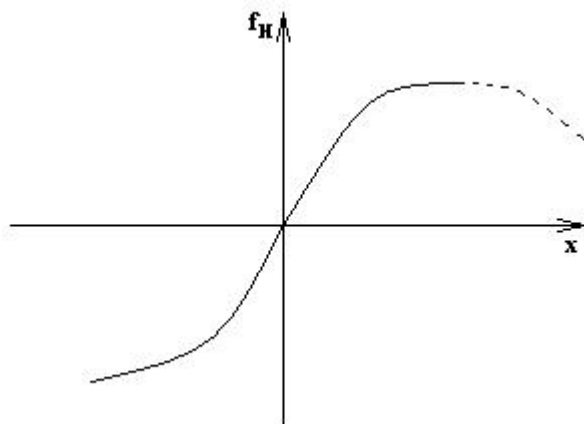


Рис. 3: Точка максимальной крутизны характеристики

## Стационарные режимы работы генератора

1. Напряжение смещения  $E_0$  на управляющей сетке лампы (рабочая точка) выбрано так, что нечётная часть анодно-сеточной характеристики имеет вид, приведённый на рис. 3. Это возможно в том случае, когда напряжение смещения задано в точке максимальной крутизны характеристики.  $x = 0$  при  $U = -E_0$ , в этом случае нелинейность достаточно точно можно записать в виде полинома третьей степени.
2. Рабочая точка выбрана так, что нечётная часть характеристики имеет вид, приведённый на рис. 5. Чаще всего это наблюдается при напряжениях, близких к напряжению отсечки лампы. В данном случае характеристику лампы необходимо аппроксимировать полиномом не ниже пятой степени.
3. Если рабочая точка выбрана при положительных напряжениях на сетке лампы, то график нечётной части нелинейной характеристики для такого случая имеет вид, приведённый на рис. 7. Здесь для аппроксимации характеристики лампы необходимо использовать полином седьмой степени.

## Практическая часть

1. Мягкий режим возбуждения генератора.
  - (а) Мы сняли бифуркационную диаграмму. Она приведена на рис. 10.
  - (б) В таблице приведены фазовые траектории для различных начальных условий и величин связи:

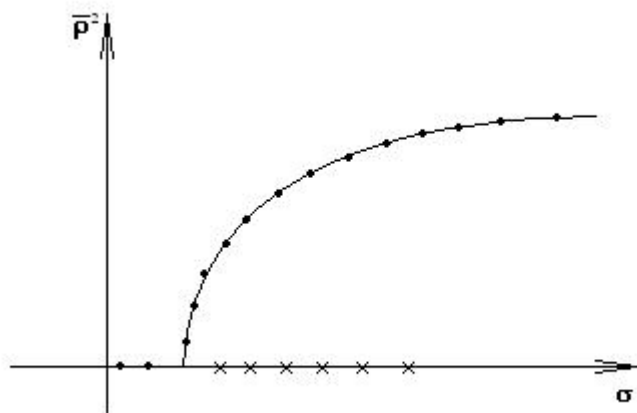


Рис. 4: Бифуркационная диаграмма мягкого режима возбуждения

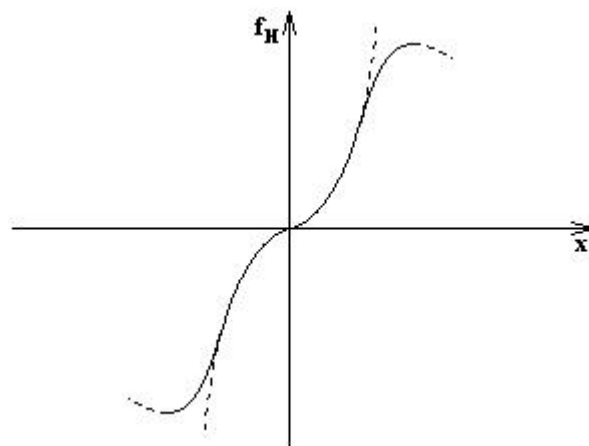


Рис. 5: Точка вблизи напряжения отсечки лампы

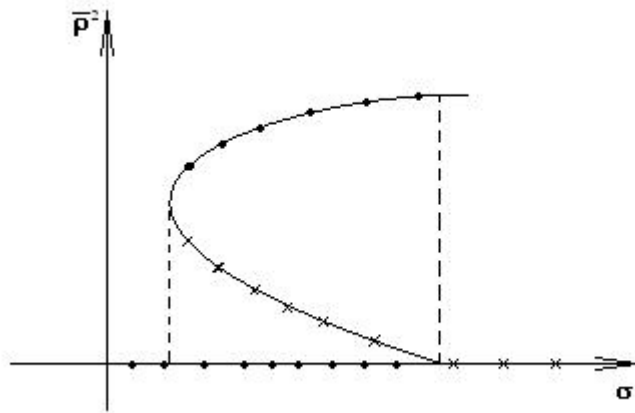


Рис. 6: Бифуркационная диаграмма жёсткого режима возбуждения

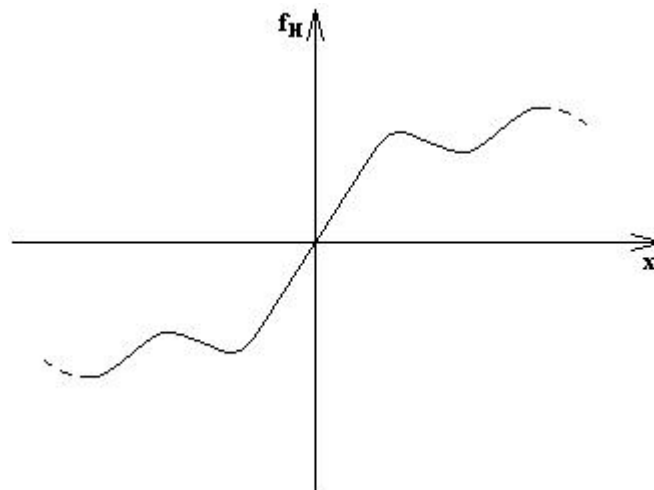


Рис. 7: Сложно-жёсткий режим

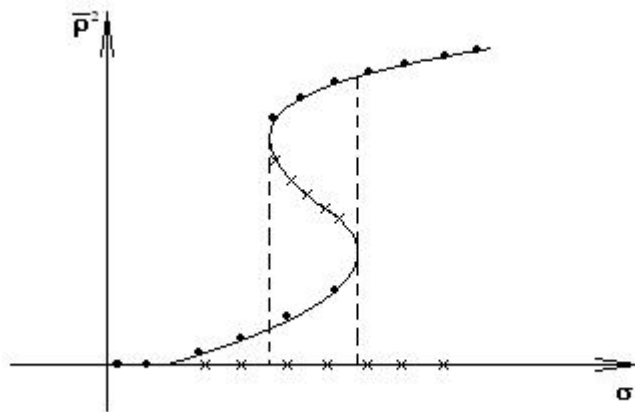


Рис. 8: Бифуркационная диаграмма сложно-жѐсткого режима возбуждения

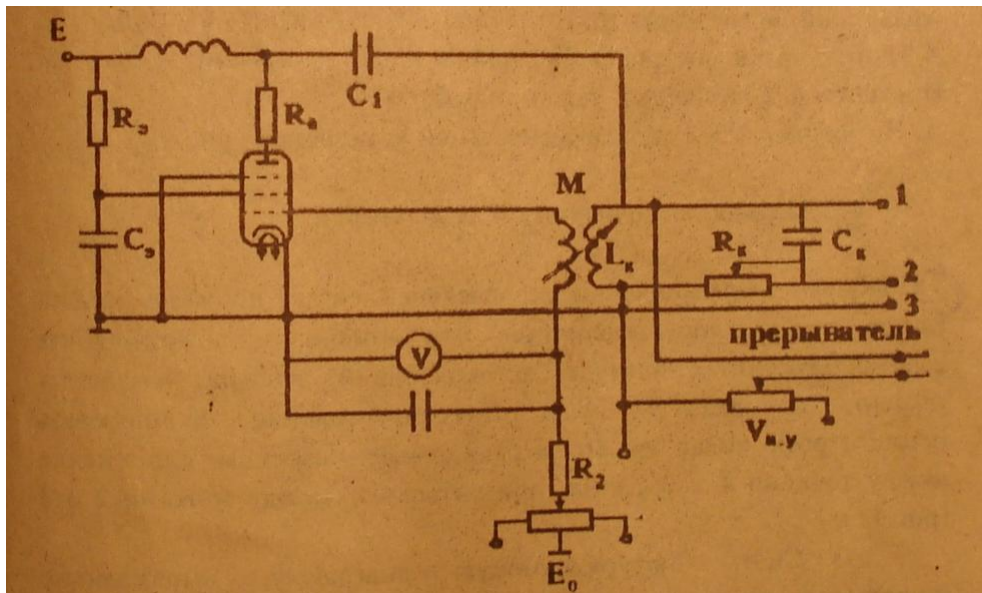


Рис. 9: Схема установки

|                             | Левее точки бифуркации   | Правее точки бифуркации   |
|-----------------------------|--|---|
| Нулевые начальные условия   | Нет колебаний  |  |
| Ненулевые начальные условия |  |  |

- (с) По осциллограмме затухающего колебательного процесса мы определили декремент затухания для двух различных значений связи:

$$M = 1 \text{ усл.ед.}, \delta = \frac{3}{4}$$

$$M = 2 \text{ усл.ед.}, \delta = 0.8$$

- (d) Мы получили затухающий аperiodический процесс. Фазовая траектория и осциллограмма для затухающего процесса приведены на рис. 11 и рис. 12.

## 2. Жёсткий режим возбуждения.

- (a) Бифуркационная диаграмма для этого режима возбуждения приведена на рис. 13.  $M' = 2.2$  для  $\sigma'$  и  $M'' = 4.5$  для  $\sigma''$ .
- (b) Радиус неустойчивого предельного цикла при  $M = 2.8$ :  $R \approx 6.5$ .
- (с) Здесь приведены фазовые траектории для жёсткого режима возбуждения.

|           |                |
|-----------|----------------|
| $M < M'$  | $M' < M < M''$ |
| $M > M''$ |                |

3. Сложно-жесткий режим возбуждения.

- (a) Бифуркационная диаграмма для сложно-жесткого режима возбуждения приведена на рис. 14.
- (b) Здесь приведены фазовые траектории для сложно-жесткого режима возбуждения.

|           |                |
|-----------|----------------|
| $M < M'$  | $M' < M < M''$ |
| $M > M''$ |                |

## **Вывод**

В данной работе нами был исследован ламповый генератор. Для трёх режимов возбуждения построены бифуркационные диаграммы, а также получены фазовые траектории. Во всех экспериментах полученные результаты хорошо согласуются с теорией.

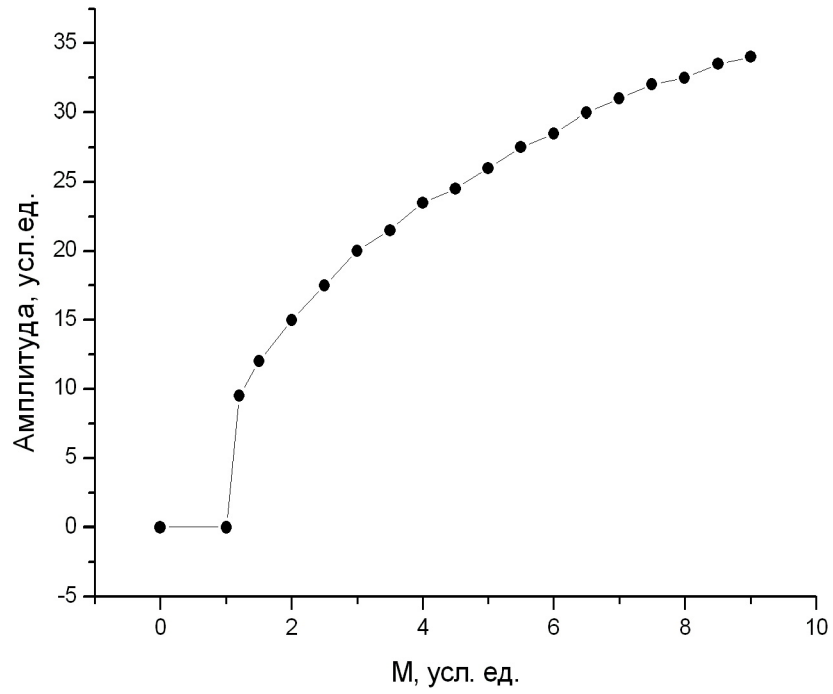


Рис. 10: Бифуркационная диаграмма для мягкого режима возбуждения

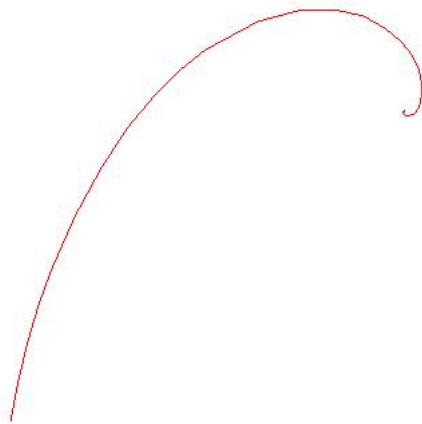


Рис. 11: Фазовая траектория для затухающего процесса

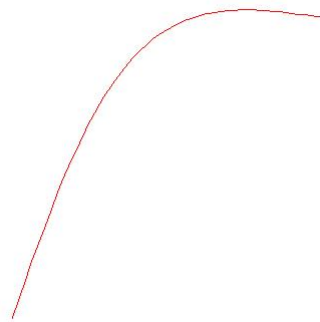


Рис. 12: Осциллограмма затухающего процесса

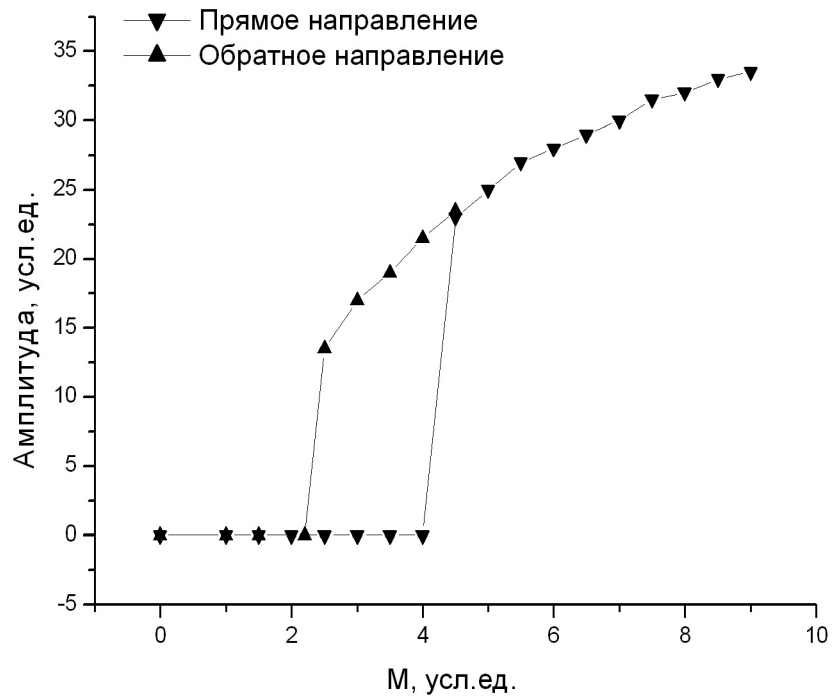


Рис. 13: Бифуркационная диаграмма для жёсткого режима возбуждения

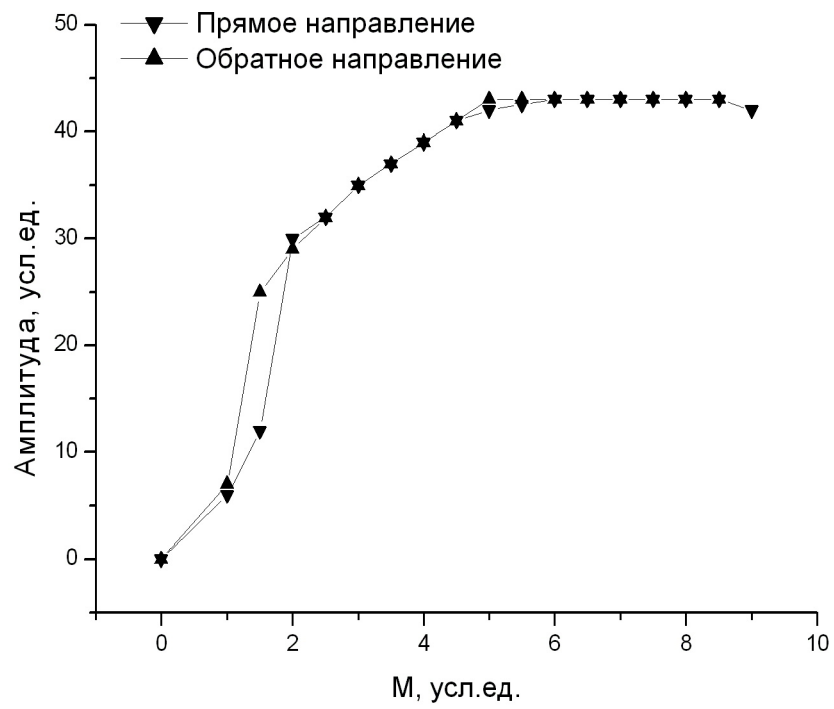


Рис. 14: Бифуркационная диаграмма для сложно-жесткого режима возбуждения