

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО
РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Отчет по лабораторной работе №1

Вынужденная синхронизация

Работу выполнили студенты
430 группы радиофизического факультата
Сарафанов Ф.Г., Платонова М.В.

Нижний Новгород, 23 апреля – 29 апреля 2019 г.

Содержание

Введение	2
1. Мягкий режим возбуждения	2
1.1. Модель генератора и анализ в мягком режиме	2
1.2. Экспериментальные результаты	3
1.2.1. Резонансные кривые	3
1.2.2. Ширина полосы захвата и удержания	4
1.2.3. Амплитуда на правой границе полосы синхронизации	5
2. Жёсткий режим возбуждения	7
2.1. Экспериментальные результаты	7
2.1.1. Резонансные кривые	7
2.1.2. Биения в окрестности синхронизации	8
Список литературы	9

Введение

В данной работе изучается явление *вынужденной синхронизации* автогенератора под воздействием внешней гармонической силы с частотой ω , достаточно близкой к его собственной частоте ω_0 . При этом можно наблюдать явление *захвата частоты*: в определенном диапазоне расстройки $\omega - \omega_0$ и амплитуды внешней силы ρ автогенератор совершил колебания на частоте внешнего воздействия.

1. Мягкий режим возбуждения

1.1. Модель генератора и анализ в мягком режиме

Для простого лампового генератора с гармоническим воздействием уравнения, описывающие его динамику, при пренебрежении сеточным током (его можно сделать малым) будут следующими [1, 2]:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + u = M \frac{di_a(u)}{dt} + E_0 + E \cos \omega t, \quad i = C \frac{du}{dt} + \cancel{i_e(u)} \quad (1)$$

Нелинейность $i_a(u)$ аппроксимируется полиномом третьей или пятой степени. При этом третья степень всегда дает мягкий режим возбуждения колебаний, в отличии от пятой. В реальном генераторе выбор режима обуславливается напряжением смещения E_0 . В данной работе будут использованы и мягкий, и жесткий режим возбуждения.

В мягком режиме анодно-сеточная характеристика лампы имеет вид

$$i(u) = i_0 + S_0 u - \gamma u^3$$

Причем рабочая точка выбрана так, что $S(u_0) = 0$ и отсюда $\gamma = S_0/(3u_0^2)$. Введем новые безразмерные переменные:

$$\begin{aligned} \omega_0^2 &= \frac{1}{LC}, \quad \mu = \frac{\omega_0^2(MS_0 - RC)}{\omega}, \quad \varepsilon_0 = \frac{E\omega_0^2}{u_0\omega^2} \sqrt{\frac{MS_0}{MS_0 - RC}}, \\ x &= \frac{u}{u_0} \sqrt{\frac{MS_0}{MS_0 - RC}}, \quad \varepsilon = \frac{\varepsilon}{\mu}, \quad \xi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\mu\omega^2}, \quad \tau_1 = \mu\omega t, \tau = \mu\tau_1 \end{aligned}$$

Здесь ε – амплитуда внешнего воздействия, ξ – относительная расстройка частот, а $\mu, \varepsilon_0 \ll 1$ – малые параметры. В этих переменных уравнение (1) перепишется в виде

$$\ddot{x} + x = \mu [(1 - x^2)\dot{x} + \varepsilon \cos \tau + \xi x], \quad \text{где } \mu \ll 1$$

Из этого уравнения можно методом Ван-дер-Поля получить систему автономных укороченных уравнений [3]:

$$\begin{cases} \dot{\rho} = \rho(1 - \rho^2) + \varepsilon \sin \varphi \\ \dot{\varphi} = -\xi + \frac{\varepsilon}{\rho} \cos \varphi \end{cases}$$

Из системы можно выразить биквадратное уравнение резонансных кривых, отвечающих состоянию равновесия укороченной системы (а значит, периодическим движениям исходной системы):

$$\rho^2(1 - \rho^2)^2 + \xi^2 \rho^2 = \varepsilon^2$$

Несложный анализ состояний равновесия даст разбиение на области устойчивости резонансных кривых [2].

1.2. Экспериментальные результаты

1.2.1. Резонансные кривые

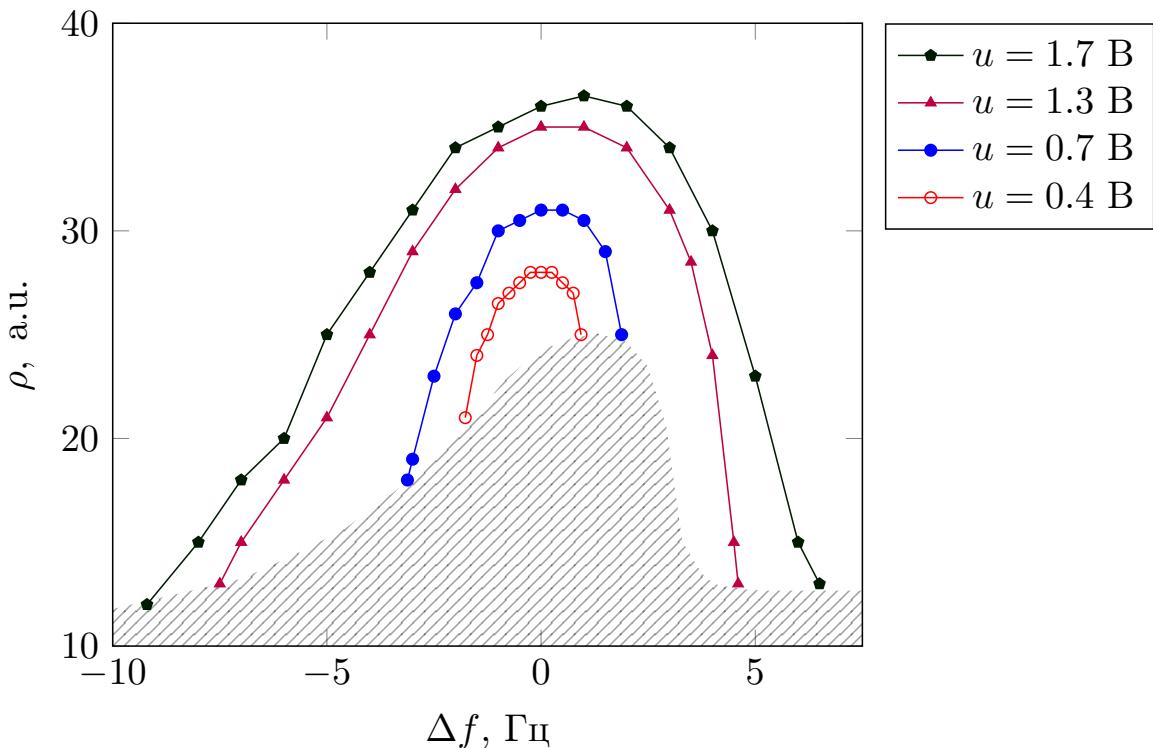


Рис. 1. Экспериментальные кривые в мягком режиме

Мы подобрали напряжение смещения так, чтобы автогенератор работал в мягком режиме. При этом частота автогенератора составила $f_0 = 424.67$ кГц, а амплитуда колебаний $\rho = 25$ а.и.

Затем мы подали внешнее воздействие, и изменяя частоту внешнего воздействия f , сняли зависимость амплитуды колебаний автогенератора от частоты f . График же был построен от расстройки $\Delta f = f - f_0$.

Штрихованная область на графике отвечает окончанию синхронизации и переходу в режим биений. Это неустойчивая область резонансных кривых, она появилась, как и предсказывает анализ состояний равновесия укороченной системы.

В случае напряжений $u = 0.4$ В, $u = 0.7$ В реализовался сценарий рождения колебаний скачком, и их можно классифицировать как *слабые сигналы*. При напряжениях $u = 1.3$ В, $u = 1.7$ В колебания при изменении расстройки рождались мягко, и следовательно, это – *сильные сигналы*.

1.2.2. Ширина полосы захвата и удержания

Мы обозначили следующим образом (см. рис. 2, стр. 4) частоты, при которых наблюдается гистерезис на границе полосы синхронизации и провели измерения этих частот в диапазоне амплитуд внешнего воздействия $u = 0.5 \dots 1.5$ В. По полученным результатом мы построили графики зави-

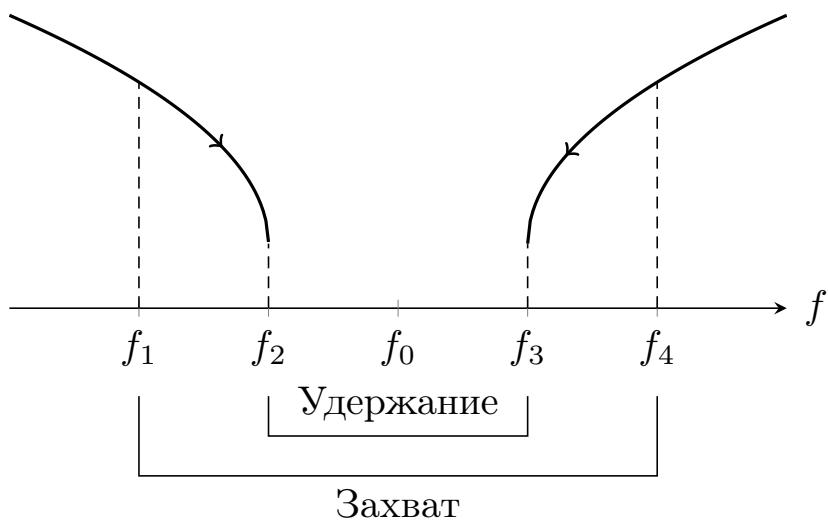


Рис. 2. Обозначение частот при гистерезисе

симости полосы удержания синхронизации и полосы захвата синхронизации от амплитуды внешнего воздействия (см. рис. 3, стр. 5).

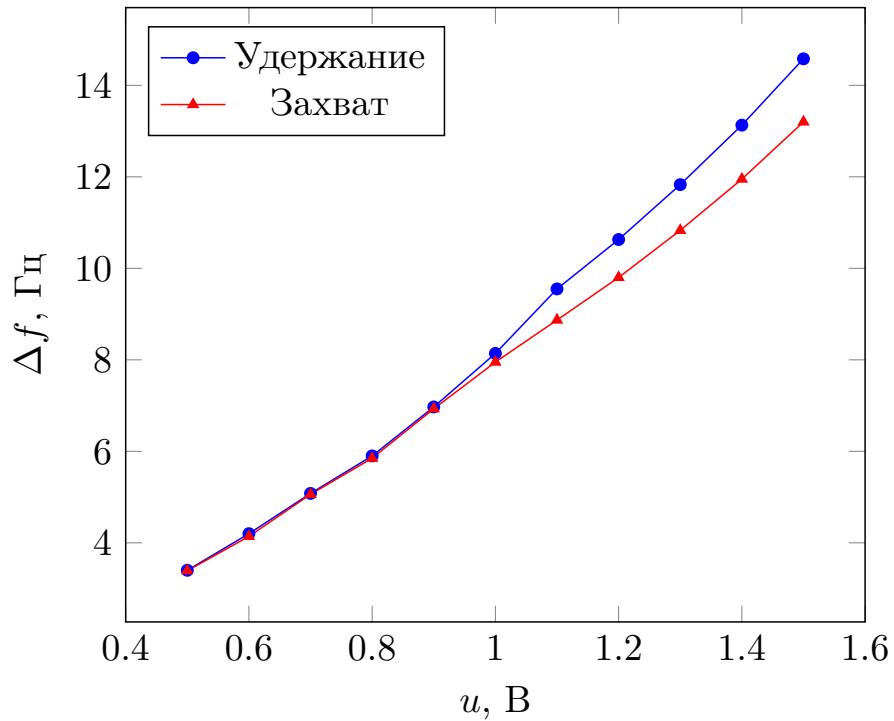


Рис. 3. Экспериментальные результаты полос синхронизации

1.2.3. Амплитуда на правой границе полосы синхронизации

Мы провели эксперимент по определению амплитуды колебаний автогенератора на границе полосы удержания синхронизации (по введенным обозначениям – на частоте f_4), и построили полученную зависимость (см. рис. 4, стр. 6).

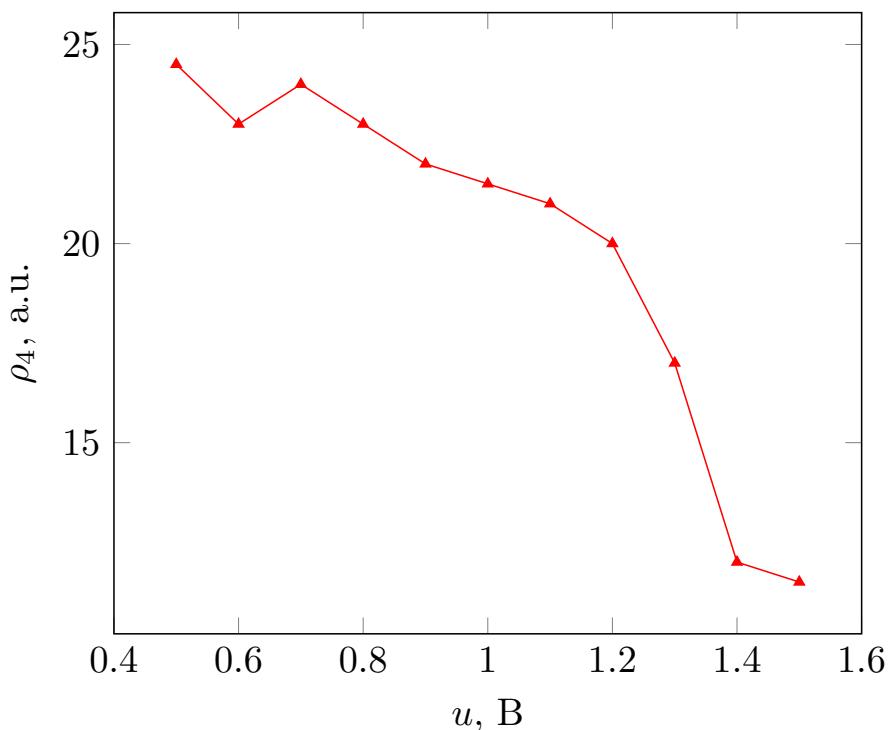


Рис. 4. Экспериментальная зависимость амплитуды на границе

2. Жёсткий режим возбуждения

2.1. Экспериментальные результаты

2.1.1. Резонансные кривые

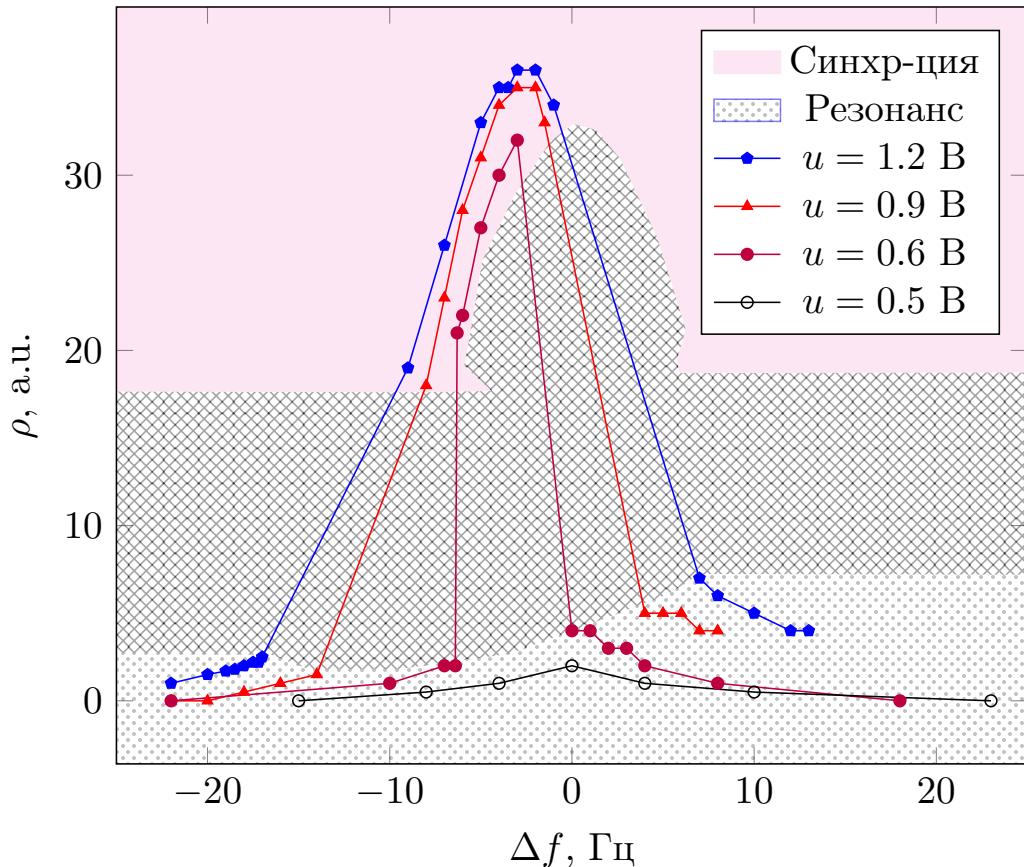
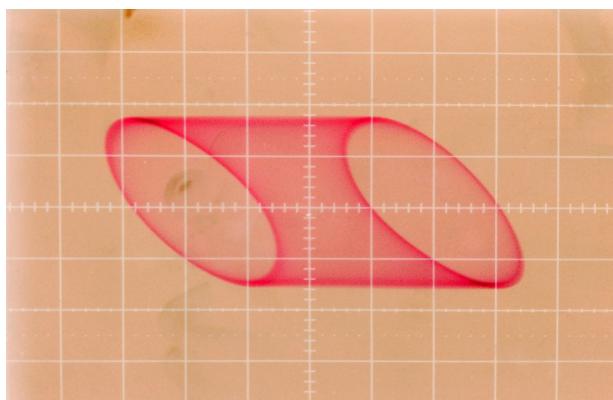
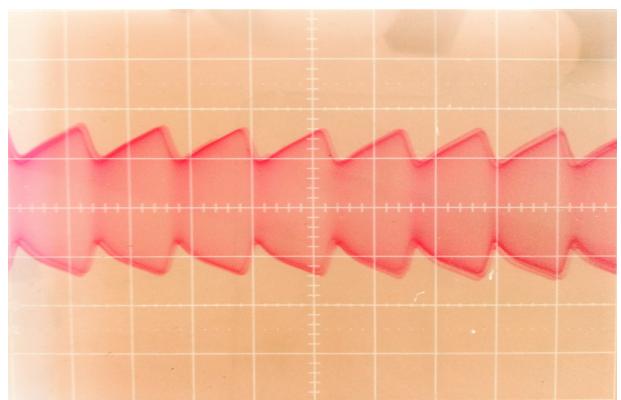


Рис. 5. Резонансные кривые в жёстком режиме (эксперимент)

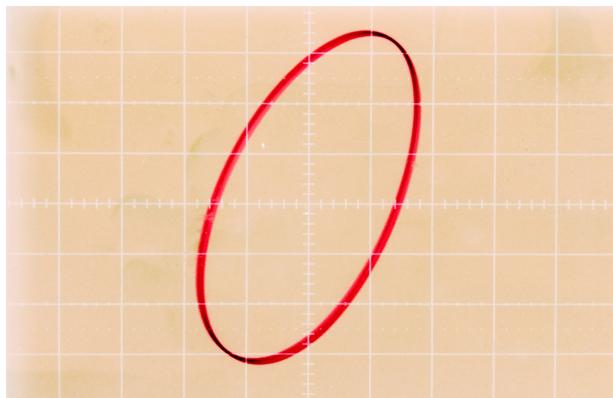
2.1.2. Биения в окрестности синхронизации



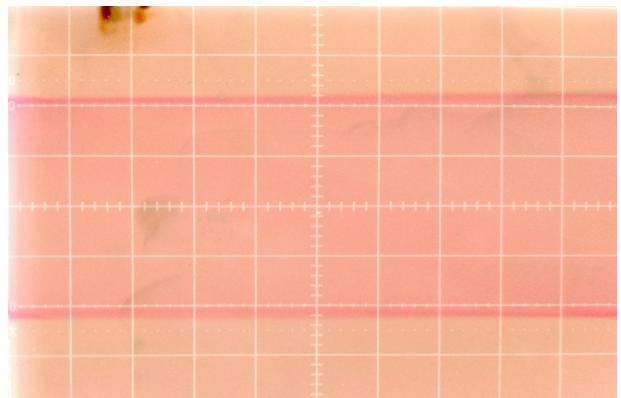
(а)



(в)

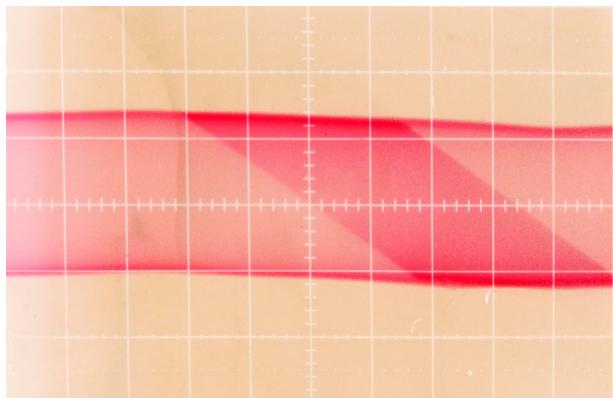


(б)

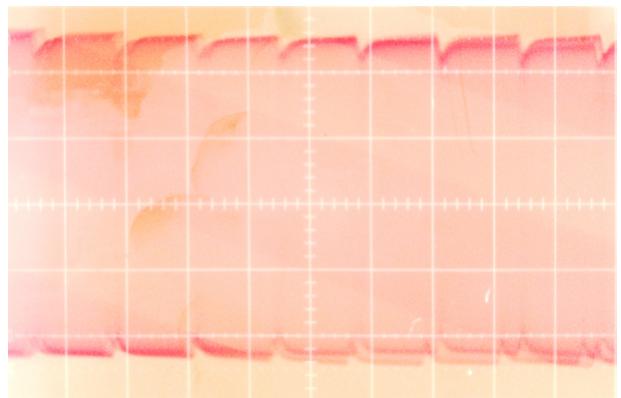


(г)

Рис. 6. Фигура Лиссажу и осциллограмма в режиме биений (а), (в), в режиме синхронизации (б), (г)



Сильный сигнал



Слабый сигнал

Рис. 7. Осциллограммы режима биений в окрестности синхронизации

Список литературы

- [1] Орлов И. Я., Односевцев В. А. и др. Основы радиоэлектроники: учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 169 с.
- [2] Матросов В. В. Вынужденная синхронизация: учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2013. – 40 с.
- [3] Некоркин В. И. Лекции по основам теории колебаний: учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, 2011. – 233 с.