Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Радиофизический факультет
Кафедра радиоэлектроники

**Отчет по лабораторной работе:**

# Генератор гармонических колебаний

студенты 430 группы

Выполнили: **Воробьев Артем**
**Зайцев Юрий**

Проверил: **Клюев Виктор Федорович**

Нижний Новгород
2006 год

# Содержание

**1 Введение** **3**

**2 Теоретическая часть** **3**

**3 Практическая часть** **5**

3.1 Задание 1. Измерение частоты генерируемых колебаний . . . . . 5

3.2 Задание 2. Измерение зависимости амплитуды выходного напряжения от величины обратной связи . . . . . 5

3.3 Задание 3. Измерение колебательных характеристик автогенератора . . . . . 6

3.4 Задание 4. Изучение зависимости напряжения на контуре от частоты подаваемого на усилитель напряжения . . . . . 7

**4 Общий вывод** **8**

# 1 Введение

**Цель работы:** ознакомиться с принципами работы автогенератора, а также некоторых усилительных устройств. Научиться работать со схемой автогенератора и измерительными приборами. Провести исследование различных режимов работы автогенератора и сравнить полученные практически зависимости с теорией.

**Приборы и оборудование:**

- Лабораторный макет автогенератора
- Осциллограф универсальный С1-68
- Вольтметр универсальный В7-26
- Генератор высокочастотных сигналов
- Частотомер

# 2 Теоретическая часть

Автогенератор служит источником незатухающих гармонических колебаний с управляемой частотой. Любой автогенератор представляет собой нелинейное устройство, преобразующее энергию источника питания (источника постоянного напряжения) в энергию колебаний. Всякая схема автогенератора должна содержать усилитель и цепь обратной связи .В обобщенном виде схема автогенератора представлена на Рис. 1 (четырехполюсник в прямой цепи соответствует резонансному усилителю). На Рис. 2 приведена простейшая схема автогенератора (пунктиром выделен четырехполюсник обратной связи).

Рис. 1: Принципиальная схема автогенератора

**Самовозбуждение автогенератора.** В схеме Рис. 2 могут происходить автоколебания. Скачок напряжения на коллекторе приведет к быстрому изменению выходного тока транзистора, что вызовет ударное возбуждение резонансного контура. Возникшие в контуре колебания через трансформаторную связь проникают на базу транзистора и вызовут переменную составляющую выходного тока. Если этот ток будет в фазе с током в резонансном контуре, то в результате возникшие за счет скачка напряжения питания собственные колебания в контуре могут со временем усиливаться. По мере увеличения уровня колебаний все в большей степени будут проявляться нелинейные характеристики транзистора, что приведет к приобретению колебаниями стационарного характера.

При возникновении автоколебаний их уровень на некотором начальном интервале времени остается весьма малым. Поэтому при обсуждении условий самовозбуждения можно пользоваться линейной

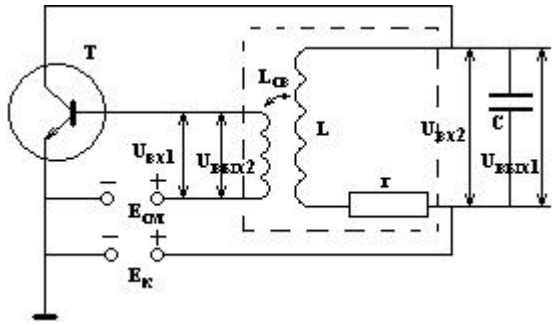



Рис. 2: Простейшая схема автогенератора

моделью по схеме Рис. 1. Обозначим $\dot{K}_1(\omega) = \dfrac{\dot{U}_{вых1}}{\dot{U}_{вх1}}$, $\dot{K}_2(\omega) = \dfrac{\dot{U}_{вых2}}{\dot{U}_{вх2}}$, где $\dot{U}$ – комплексная амплитуда колебания. Для линейного четырехполюсника

$$\dot{U}_{вых} = \dot{U}_{вых1} = \dot{U}_{вх1} \cdot \dot{K}_1(\omega) = \left[\dot{U}_{вх} + \dot{K}_2(\omega)\dot{U}_{вых1}\right] \dot{K}_1(\omega)$$

то

$$\dot{K}(\omega) = \frac{\dot{K}_1(\omega)}{1 - \dot{K}_1(\omega)\dot{K}_2(\omega)}$$

. При выполнении условия $1 - \dot{K}_1(\omega)\dot{K}_2(\omega) = 0$ схема Рис. 1 выдает на выходе колебание с ненулевой амплитудой при бесконечно малой амплитуде колебания на входе. Схема Рис. 1 при таких условиях называется автогенератором.

Из условия самовозбуждения получаем баланс амплитуд:

$$\left|\dot{K}_1\right| \left|\dot{K}_2\right| = 1 \tag{1}$$

и баланс фаз:

$$\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) = 2\pi n. \tag{2}$$

Частота генерации - корень системы уравнений (1), (2). Выполнение условий самовозбуждения, по существу, означает, что возникшие колебания схемой автогенератора будут поддерживаться на неизменном уровне; неизбежные потери в кольце обратной связи полностью скомпенсированы.

В частности:

1. $\left|\dot{K}_1\right| \left|\dot{K}_2\right| = 0$ при $\dot{K}_2(\omega) = 0$ – резонансный усилитель;

2. $\left|\dot{K}_1\right| \left|\dot{K}_2\right| < 1$ при $\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) = 2\pi n$ – регенеративный усилитель;

3. $\left|\dot{K}_1\right| \left|\dot{K}_2\right| > 1$ при $\varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) = 2\pi n$ – генератор нарастающих колебаний.

Как правило, генератор питают не от двух источников, как показано на Рис. 2, а от одного. Поэтому экспериментально в данной лабораторной работе будет исследоваться генератор, показанный на Рис. 3.

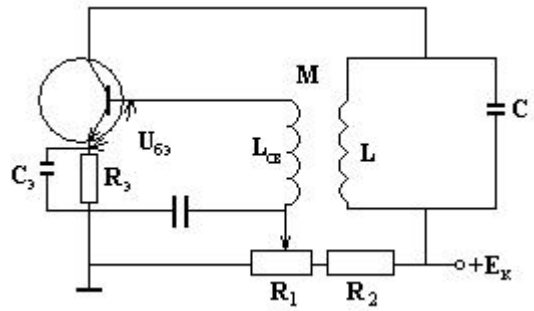



Рис. 3: Схема экспериментального автогенератора

# 3 Практическая часть

## 3.1 Задание 1. Измерение частоты генерируемых колебаний

В этом задании необходимо было измерить частоту генерируемых колебаний. Для этого:

1. Мы поставили переключатель “генератор - усилитель” в положение “генератор”;
2. Включили емкость в цепи эмиттера;
3. При минимальной связи на переходе база - эмиттер транзистора было установили максимальное напряжение смещения $E_{см} = 0.7$ В. Отсчет производился по стрелочному индикатору на передней панели макета.
4. При увеличении связи мы достигли возбуждение генератора. Наличие автоколебаний регистрировалось с помощью осциллографа и вольтметра, подключаемых соответственно к гнездам Г4 и Г2;
5. Отключив осциллограф и подключив к гнезду Г4 частотомер, мы измерили частоту автоколебаний при включенной и выключенной емкости контура:
   (a) Емкость в цепи контура выключена: $M = 55, V = 0.32$ В, $f_1 = 252.36$ кГц;
   (b) Емкость в цепи контура включена: $M = 65, V = 0.45$ В, $f_2 = 209.11$ кГц.
6. После выполнения измерений дополнительная емкость была отключена от цепи контура.

Вывод: из условия баланса амплитуд следует, что при увеличении емкости контура растет и средняя крутизна, а это, в свою очередь, влечет рост амплитуды напряжения. Так объясняется возрастание амплитуды напряжения на контуре. $f_2 < f_1$ по следующей причине: $f = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{1}{2L}\left(r + \frac{L}{Cr_к} - \frac{S_0 M}{C}\right)\right)^2} \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, т.к. у нас $Q \gg 1$ и $\omega_{св} \approx \omega_0$. Отсюда видно, что при увеличении емкости контура частота колебаний должна падать.

## 3.2 Задание 2. Измерение зависимости амплитуды выходного напряжения от величины обратной связи

В этом задании необходимо было снять зависимость амплитуды выходного напряжения от величины обратной связи для двух значений напряжения смещения: $E_{см1}$ соответствует положению начальной рабочей точки на участке с максимальной крутизной, а $E_{см2}$ – вблизи напряжения отсечки.

1. Напряжение смещения максимальное ($E_{см} = 0.7$ В):
   (a) К гнезду Г2 был подключен вольтметр, а к гнезду Г3 – осциллограф.
   (b) Было установлено максимальное напряжение $E_{см} = 0.7$ В.
   (c) Варьируя M, были сняты зависимости амплитуды напряжения на контуре $U_к = U_к(M)$ и постоянного напряжения между базой и эмиттером $U_{бэ} = U_{бэ}(M)$. Как видно, полученные зависимости полностью согласуются с теорией. После этого все эти измерения были повторены при отключенной емкости в цепи эмиттера.
   (d) Графики получившихся зависимостей приведены на Рис. 4.
2. Напряжение смещения $E_{см} = 0$ В:
   (a) Было установлено напряжение смещения $E_{см} = 0$ В и максимальная обратная связь;
   (b) После этого была включена емкость в цепи эмиттера;
   (c) Плавно увеличивая $E_{см}$ мы достигли возбуждения генератора. Изменяя $M$, мы сняли зависимости $U_к = U_к(M)$ и $U_{бэ} = U_{бэ}(M)$ (см. Рис. 6). Как видно, в данном случае присутствует гистерезис, как и было предсказано теоретически.
3. Также были зафиксированы характерные осциллограммы импульсов тока коллектора для различных значений M (см. Рис. 5 и Рис. 7).

Вывод: в пункте 3.2 продемонстрировано, что из-за нелинейности автогенератора на выходе контура получается сигнал формы, заметно отличающейся от синусоидальной. Кроме того, было показано, что после возникновения колебаний, условия их поддержания сохраняются даже там, где ранее они не возбуждались, поэтому зависимости $U_к(M)$ и $U_{бэ}(M)$ носят гистерезисный характер.

## 3.3 Задание 3. Измерение колебательных характеристик автогенератора

В данном задании необходимо было снять колебательные характеристики при напряжениях смещения $E_{см1}$ и $E_{см2}$.

1. Начальное смещение $E_{см1}$:
   (a) Включили емкость в цепи эмиттера и переключили “генератор - усилитель” в положение “усилитель”;
   (b) К гнезду Г1 был подключен внешний генератор синусоидальных колебаний;
   (c) Частота внешнего генератора была подобрана такой, что контур был настроен в резонанс. Для этого при $E_{вх} = 0.05$ В, изменяя частоту внешнего генератора были получены максимальное отклонение стрелки вольтметра и максимальная амплитуда изображения на экране осциллографа, подключенного к гнезду Г4. Частота $f$ при этом составила $f = 250$ кГц.
   (d) При изменении $U_{вх}$ от 0.01 В до 0.3 В были сняты зависимости $U_к = U_к(U_{вх})$ и $U_{бэ} = U_{бэ}(U_{вх})$.
2. Начальное смещение $E_{см2}$:
   (a) Не изменяя частоты внешнего генератора было установлено $E_{см} = E_{см2}$ . Для этого переключатель “генератор - усилитель” был установлен в положение “генератор”; были выполнены пункты (a) – (c) раздела 2 задания 2 при включенной емкости в цепи эмиттера; переключатель “генератор - усилитель” был вновь установлен в положение “усилитель”;
   (b) Изменяя $U_{вх}$ от 0.01 В до 0.3 В были сняты зависимости $U_к = U_к(U_{вх})$ и $U_{бэ} = U_{бэ}(U_{вх})$.

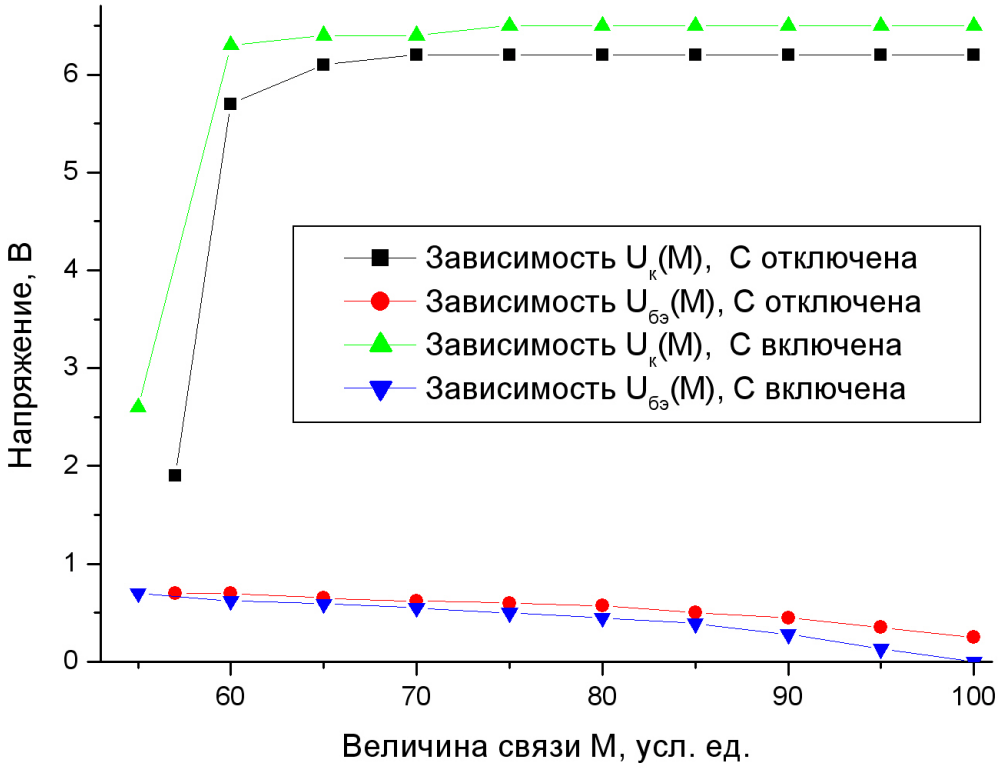



Рис. 4: Напряжение на контуре, а также напряжение между базой и эмиттером в зависимости от величины связи $M$ при отключенной и включенной емкости в цепи эмиттера ($E_{см} = 0.7$ В)

3. Графики получившихся зависимостей приведены ниже на Рис. 8.

4. Характерную осциллограмму тока коллектора и изменений в его форме см. на Рис. 9.

Вывод: в этом задании мы удостоверились, что генерируется частота, близкая к резонансной частоте контура. В условиях близости к резонансу легче достигнуть выполнения условий генерации.

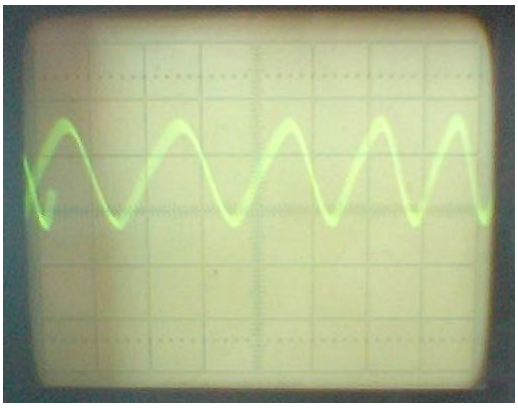
## 3.4 Задание 4. Изучение зависимости напряжения на контуре от частоты подаваемого на усилитель напряжения

Для выполнения данного задания необходимо было снять зависимость напряжения на контуре от частоты подаваемого на усилитель напряжения.

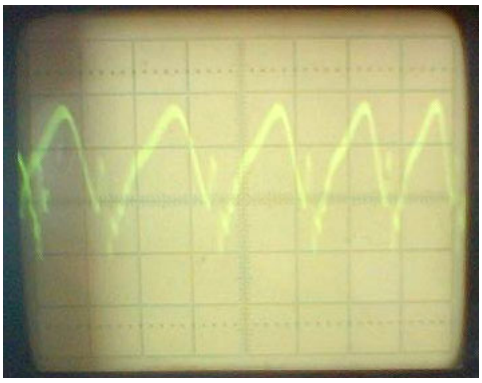
1. Установили $E_{см} = E_{см2}$.

2. Переключатель “генератор - усилитель” был установлен в положение “усилитель”;

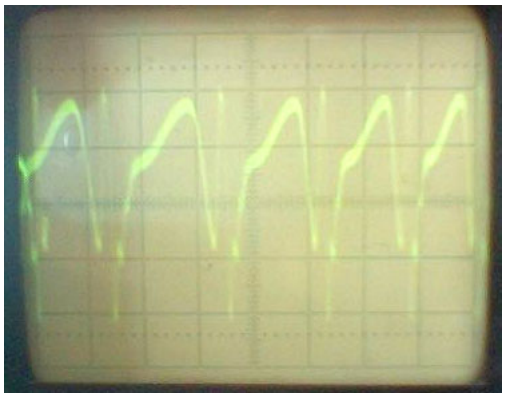
3. Изменяя частоту входного напряжения $f$ в пределах от 20 кГц до значения $f$, несколько превышающего частоту генерации была измерена зависимость $U_к = U_к(f)$.



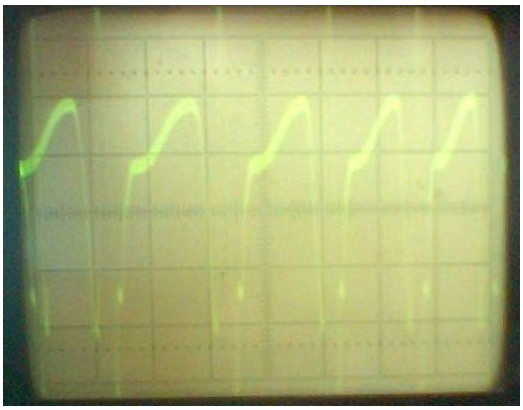
$M = 65$



$M = 75$



$M = 85$



$M = 95$

Рис. 5: Характерные осциллограммы к заданию 2.1

4. Полученная зависимость представления в виде графика на Рис. 10.

Вывод: в этом задании мы убедились, что главный пик зависимости приходится на резонансную частоту ( 250 кГц). Кроме того, присутствуют небольшие пики на $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ резонансной частоты $f_{рез}$. Это свидетельствует о том, что на нелинейности характеристики автогенератора частота умножалась на 2 и на 3 соответственно и происходила раскачка, пусть и не такая эффективная, как на резонансной частоте.

# 4 Общий вывод

В данной работе была исследована схема автогенератора, мягкий и жесткий режимы самовозбуждения. Также были получены колебательные характеристики в усилительном режиме и зависимость напряжения на контуре от частоты.

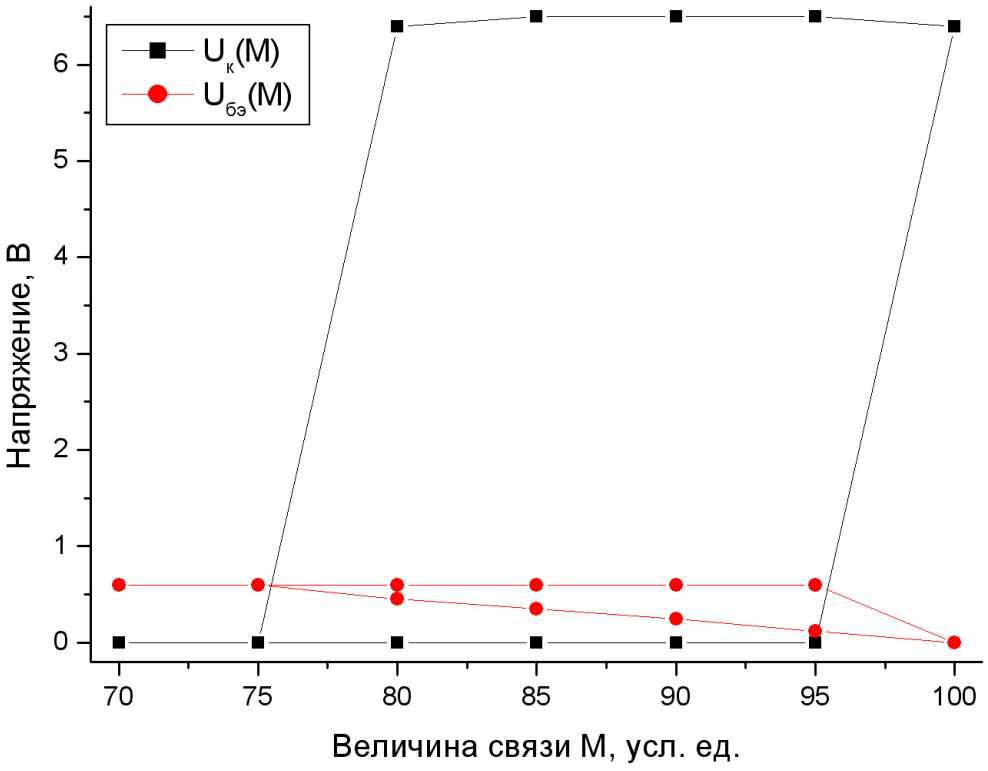
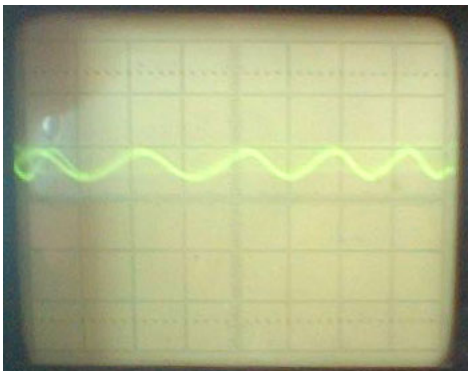
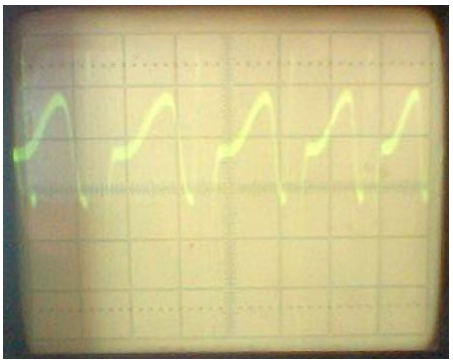


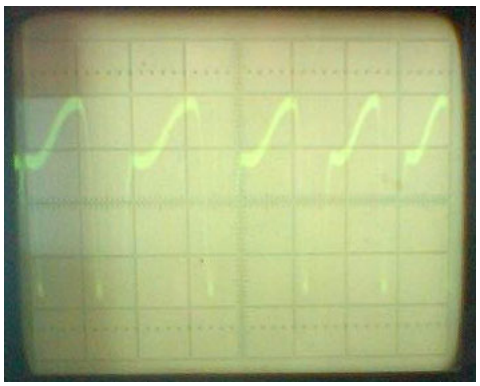

Рис. 6: Напряжение на контуре, а также напряжение между базой и эмиттером в зависимости от величины связи $M$ ($E_{см} = 0$ В)



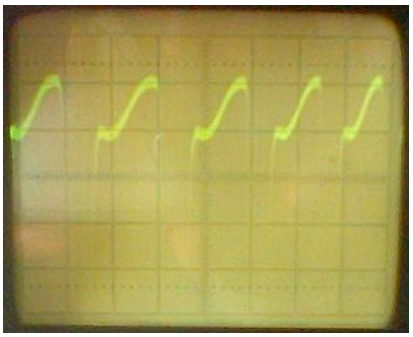
$M = 65$



$M = 75$



$M = 85$



$M = 95$

Рис. 7: Характерные осциллограммы к заданию 2.2

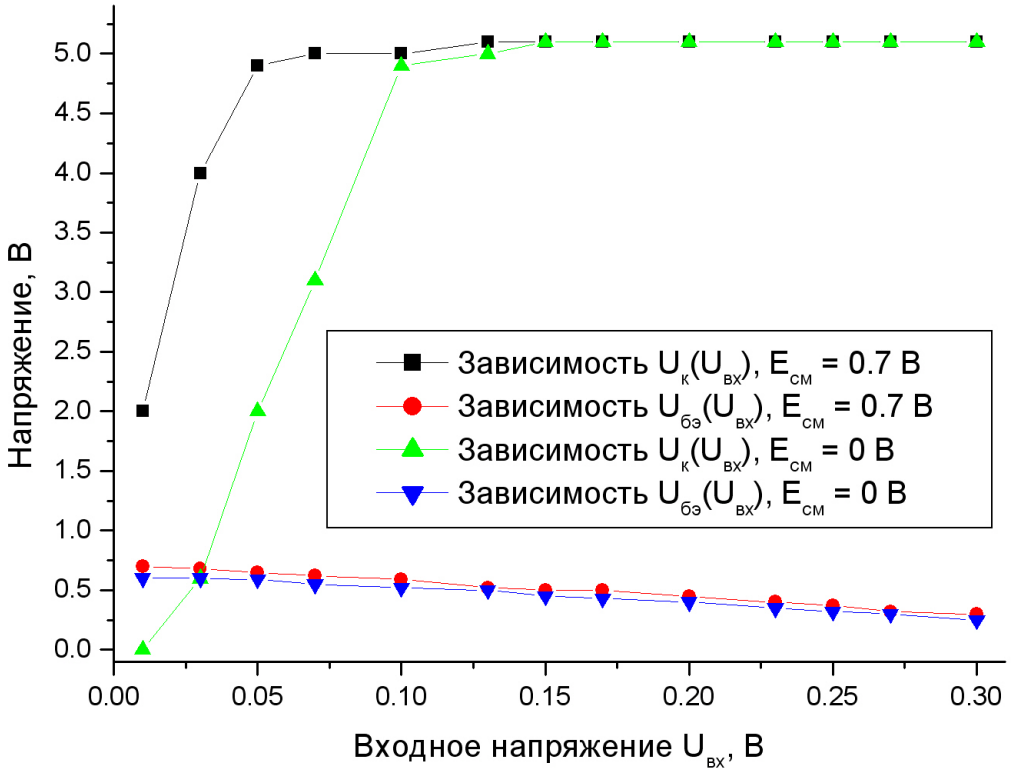



Рис. 8: Напряжение на контуре, а также напряжение между базой и эмиттером в зависимости от амплитуды входного напряжения при $E_{см1} = 0.7$ В и $E_{см2} = 0$ В

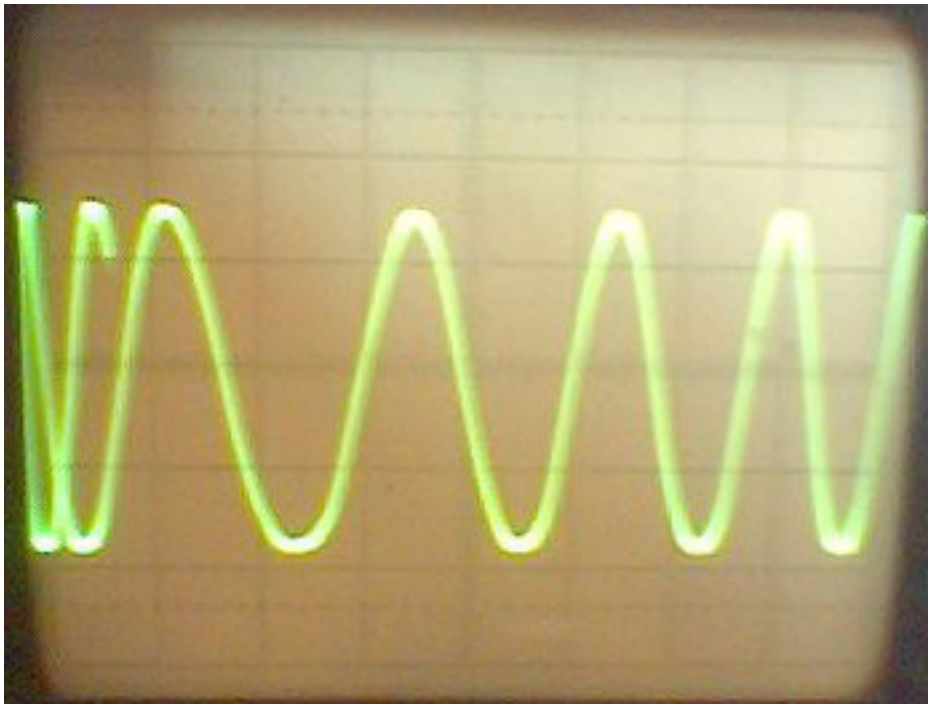


Рис. 9: Характерная осциллограмма к заданию 3

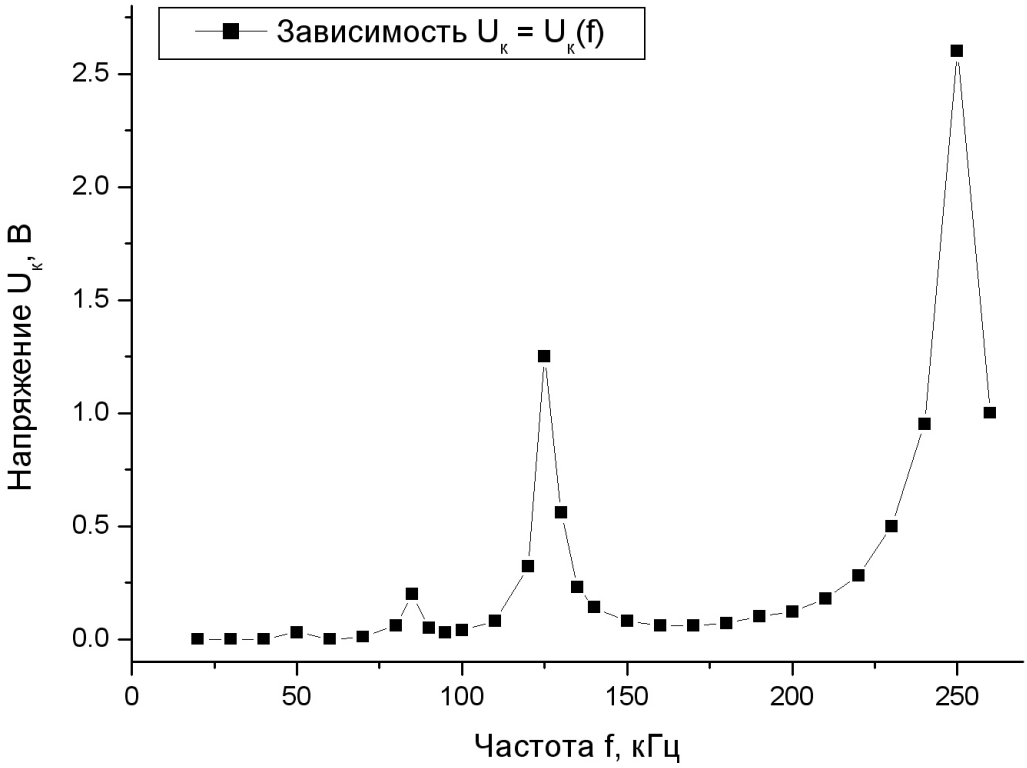



Рис. 10: Напряжение на контуре в зависимости от частоты входного сигнала