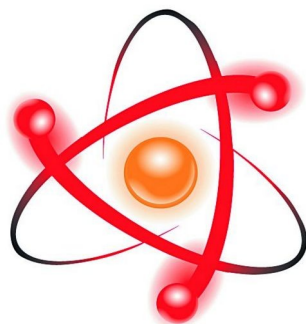


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ



РТЦУЛ-17К

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ СИММЕТРИЧНЫХ
МУЛЬТИВИБРАТОРОВ.
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С
ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)**

Тула, 2011 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ СИММЕТРИЧНЫХ МУЛЬТИВИБРАТОРОВ.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)

Цель работы: изучить назначение, принципы построения и структуру схем мультивибраторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Мультивибраторы.

Мультивибраторы относятся к классу релаксационных генераторов и используются для получения прямоугольных импульсов с крутыми фронтами.

Мультивибратор содержит один или несколько ключевых и реактивных элементов и источников питания. В качестве ключевых элементов используются транзисторы или полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением, в качестве реактивных элементов— конденсатор либо катушка индуктивности. При включении и выключении ключевых элементов происходят накопление и отдача энергии реактивными элементами.

Используют автоколебательный и ждущий режимы работы мультивибраторов. Длительность импульсов, формируемых ждущим мультивибратором, и период повторения импульсов автоколебательного мультивибратора определяются параметрами схемы, режимом работы ключевого каскада и напряжением источников питания. Стабильность длительности импульсов и периода зависит от диапазона изменения температуры окружающей среды, от стабильности напряжений источников питания и многих других факторов.

Мультивибраторы на двух транзисторах с коллекторно -базовыми ёмкостными связями в автоколебательном режиме.

Схема мультивибратора с коллекторно-базовыми связями на транзисторах р-п-р изображена на рис. 1.1,а. На рис. 1.1,б даны временные диаграммы, поясняющие работу схемы. Начнем рассмотрение с момента времени, когда транзистор Т2 открыт и насыщен, а транзистор Т1 закрыт.

Закрытое состояние транзистора Т1 поддерживается за счет напряжения на заряженном конденсаторе С1 которое приложено между базой и эмиттером Т1 плюсом к базе (открытый насыщенный транзистор Т2 можно считать замкнутым ключом). Напряжение на коллекторе закрытого транзистора:

$$u_{K1} = - (E_K - I_{KB0} R_{K1}) \approx - E_K,$$

напряжение на коллекторе насыщенного транзистора:

$$U_{K2} = U_{K_{нас}} \approx 0$$

Положительное напряжение на базе Т1 $u_{Б1}$ уменьшается по экспоненциальному закону вследствие разряда конденсатора С1 с постоянной времени R_1C_1 . В момент достижения напряжением $u_{Б1}$ нулевого значения (момент t_1 на рис. 1.1,б) первый транзистор открывается, и ток коллектора $i_{К1}$ создает на сопротивлении $R_{К1}$ падение напряжения. Потенциал коллектора транзистора Т1, равный $u_{К1} = -(E_K - i_{К1}R_{К1})$, повышается. Часть тока коллектора $i_{К1}$ через конденсатор C_2 ответвляется в базовую цепь транзистора Т2 при этом уменьшается ток базы $i_{Б2}$, и транзистор Т2 входит в активный режим. Напряжение на коллекторе Т2 понижается. Развивается лавинообразный процесс изменения токов и напряжений, приводящий к опрокидыванию схемы: транзистор Т2 закрывается, транзистор Т1 насыщается.

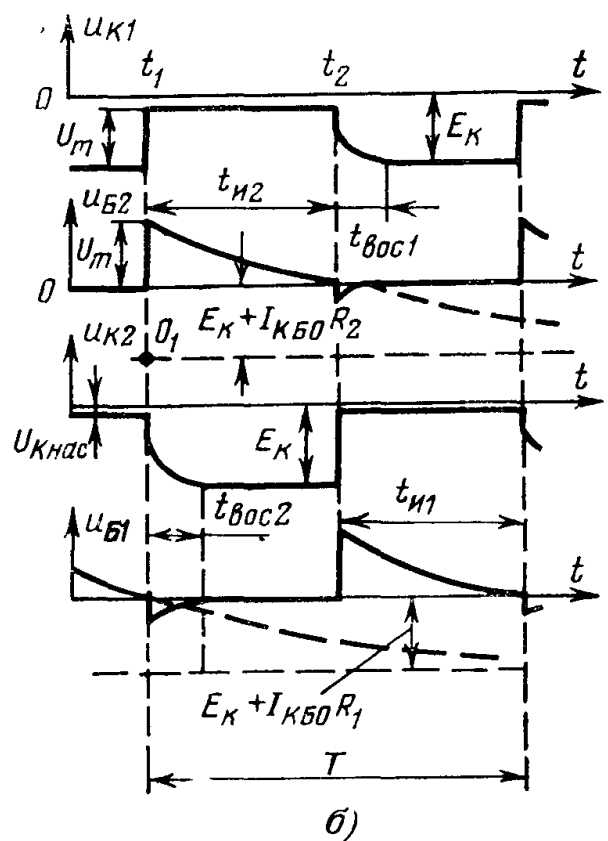
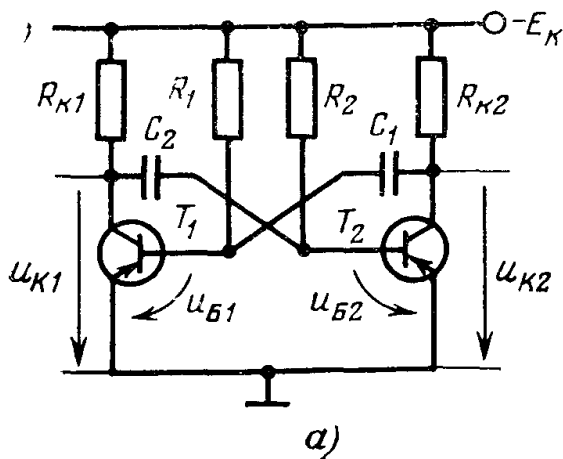


Рис. 1.1 Мультивибратор с коллекторно-базовыми емкостными связями в автоколебательном режиме.

Как только транзистор T_2 закроется и потенциал его коллектора, т. е. потенциал правой обкладки конденсатора C_1 , понизится, начнется заряд конденсатора C_1 по цепи: плюс источника питания E_K (нулевая точка схемы), участок эмиттер — база транзистора T_1 , конденсатор C_1 , резистор R_{K2} , минус источника питания E_K . При протекании зарядного тока по резистору R_{K2} потенциал коллектора транзистора T_2 определяется выражением $u_{K2} = -(E_K - i_{зар} R_{K2})$. По истечении времени $t_{вос2}$ зарядный ток $i_{зар} \approx 0$; потенциал коллектора закрытого транзистора T_2 становится равным $-E_K$ (см. временную диаграмму u_{K2} на Рис. 1.1, б); напряжение на конденсаторе C_1 устанавливается равным E_K . Время восстановления

$$t_{вос2} \approx 3\tau_{зар} = 3(R_{K2} + h_{11Э\text{нас}}) C_1 \approx 3R_{K2} C_1. \quad (26)$$

В течение времени $t_{вос2}$ ток базы транзистора T_1 определяется выражением:

$$i_{Б1} = E_K/R_1 + i_{зар}. \quad (27)$$

Так как ток базы согласно выражению (27) при протекании зарядного тока через конденсатор C_1 больше значения E_K/R_1 , определяющего режим работы транзистора после окончания заряда конденсатора C_1 , то в течение протекания зарядного тока транзистор T_1 насыщен в большей степени, чем по истечении времени $t_{вос2}$. Поэтому длительность фронта положительного перепада мультивибратора t_{ϕ}^+ значительно меньше, чем для ключевого каскада, и определяется формулой:

$$t_{\phi}^+ \approx 3\tau_{\phi}/h_{21Э} \approx 3\tau_{\beta}/h_{21Э}. \quad (28)$$

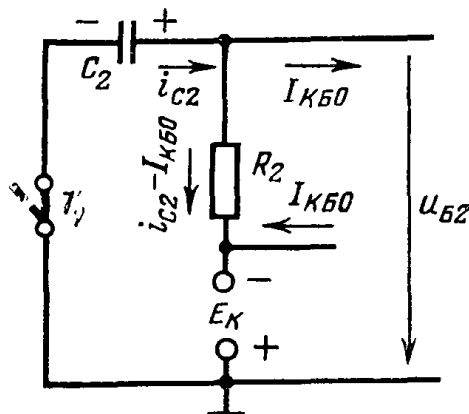


Рис. 1.2 . Эквивалентная схема перезаряда конденсатора C_2 .

Одновременно с зарядом конденсатора C_1 осуществляется более медленный разряд конденсатора C_2 через резистор R_2 , источник E_k и открытый насыщенный транзистор T_1 в соответствии с эквивалентной схемой, изображенной на рис. 1.2. Здесь открытый транзистор T_1 представлен замкнутым ключом; ток перезаряда конденсатора C_2 обозначен через i_{C_2} индексом I_{KB0} обозначен обратный ток коллекторного перехода транзистора T_2 . Если бы перезаряд конденсатора C_2 существовал бесконечно долго, то при $t \rightarrow \infty$

$$i_{C_2}(\infty) = 0$$

и $u_{B_2}(\infty) = -(E_k + I_{KB0}R_2)$.

К этому значению стремится напряжение на базе транзистора T_2 при перезаряде конденсатора (см. пунктирную линию на временной диаграмме рис. 1.1, б). Однако в реальной схеме конденсатор C_2 не перезаряжается, так как в момент t_2 , когда напряжение на базе u_{B_2} становится равным нулю, транзистор T_2 открывается, и цепь перезаряда конденсатора C_2 перестает существовать.

Длительность закрытого состояния транзистора T_2 определяет длительность импульса $t_{и2}$. Для определения $t_{и2}$ перенесем начало координат на временной диаграмме u_{B_2} (рис. 1.1, б) из точки O в точку O_1 . С учетом переноса начала координат закон изменения напряжения на базе T_2 имеет вид:

$$u_{B_2}(t)_{O_1} = (U_m + E_k + I_{KB0}R_2) e^{-t/\tau_2},$$

где $\tau_2 = R_2C_2$. При $t = t_{и2}$ (см. u_{B_2} на Рис. 1.1, б) $u_{B_2}(t_{и2}) = E_k + I_{KB0}R_2$.

Подставляя это выражение в левую часть уравнения, а в правую — значение $t=t_{и2}$, получаем:

$$E_k + I_{KB0}R_2 = (U_m + E_k + I_{KB0}R_2) e^{-t_{и2}/\tau_2}$$

и после логарифмирования

$$t_{и2} = \tau_2 \ln \left(1 + \frac{U_m}{E_k + I_{KB0}R_2} \right). \quad (29)$$

Аналогично может быть получена формула, определяющая длительность импульса:

$$t_{и1} = R_1C_1 \ln \left(1 + \frac{U_m}{E_k + I_{KB0}R_1} \right).$$

Длительность периода автоколебаний

$$T = t_{и1} + t_{и2}. \quad (30)$$

Если режим транзисторов выбран насыщенным, то $U_m \approx E_K - I_{КБ0}R_{К1}$. Учитывая неравенство $I_{КБ0}R_2 \ll E_K$, формулу (29) перепишем в виде

$$t_{н2} = R_2 C_2 \ln 2 \left[1 - \frac{I_{КБ0} (R_2 + R_{К1})}{2E_K} \right].$$

При $I_{КБ0} (R_2 + R_{К1}) / 2E_K \ll 1$ формула для определения длительности импульса принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} t_{н2} &\approx R_2 C_2 \left[0,71 - \frac{I_{КБ0} (R_2 + R_{К1})}{2E_K} \right]; \\ t_{н1} &\approx R_1 C_1 \left[0,7 - \frac{I_{КБ0} (R_1 + R_{К2})}{2E_K} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Формулой (31) следует пользоваться при определении температурной стабильности схемы. При расчете параметров схемы вторым членом в квадратных скобках можно пренебречь и считать

$$t_{н1} = 0,7 R_1 C_1; \quad t_{н2} = 0,7 R_2 C_2, \quad (32)$$

а в симметричном мультивибраторе при $C_1 = C_2 = C$; $R_1 = R_2 = R$

$$T = 2t_{н1} = 2t_{н2} = 1,4RC. \quad (33)$$

$$t = \tau \cdot \ln 2 = RC \ln 2$$

Обычно значения величины R и C выбираются такими, что время, в течение которого один транзистор поддерживается открытым, а другой закрытым (t), значительно превосходит длительность переходного процесса, т. е. процесса отпирания одного транзистора и запираания другого. Поэтому графическое изображение зависимости величины напряжения на коллекторе от времени представляет собой чередование кратковременных скачков напряжения с длительными периодами, в течение которых напряжение остается постоянным (рис. 1.3).

Простейший симметричный мультивибратор на двух транзисторах можно рассчитать следующим образом: по условиям

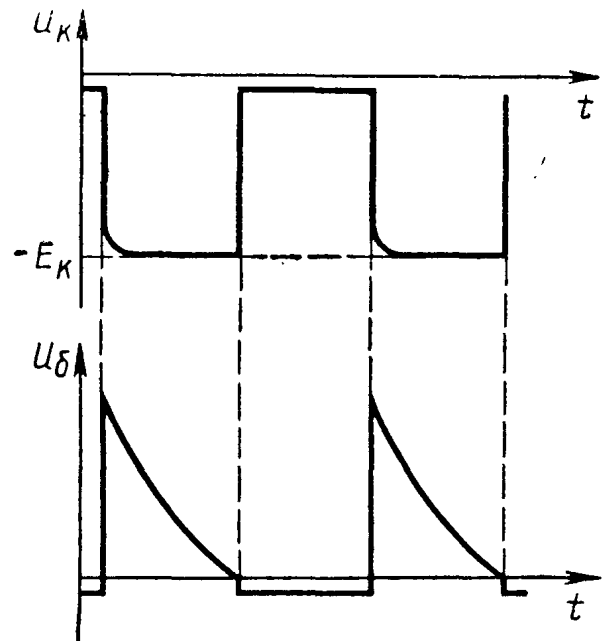


Рис. 1.3 Временные диаграммы изменений напряжения на коллекторе и базе транзистора в схеме симметричного транзисторного мультивибратора.

задачи (амплитуда и частота следования импульсов) выбирается тип транзистора. При возможности выбора лучше воспользоваться транзисторами, предназначенными для работы в импульсных и переключающих схемах. Для расчета элементов схемы мультивибратора необходимо измерить величину параметра β (интегральный статический коэффициент передачи базового тока) транзисторов. Если есть возможность, то из нескольких транзисторов отбираются два с наиболее близкими значениями параметра β . Если же возможности выбора нет, то в дальнейших расчетах для обеспечения режима насыщения обоих транзисторов используют меньшее из двух полученных значений параметра β . Первой можно выбрать величину коллекторной нагрузки $R_{\text{К}}$. Для этого по справочнику определяют максимальное значение коллекторного тока для выбранного типа транзистора. Так как в состоянии насыщения транзистора открыты и эмиттер-ный, и коллекторный переходы, ток в цепи коллектора определяется величиной напряжения питания $E_{\text{К}}$ и сопротивления в цепи коллектора $R_{\text{К}}$:

$$I_{\text{К}} = \frac{E_{\text{К}}}{R_{\text{К}}} .$$

Отсюда можно определить минимальное из допустимых значений коллекторной нагрузки:

$$R_{\text{К. мин}} = \frac{E_{\text{К}}}{I_{\text{К. макс. доп}}}$$

и минимальное допустимое значение величины сопротивления в цепи базы:

$$R_{\text{б. мин}} = \beta R_{\text{К. мин}} .$$

Полученные значения $R_{\text{К}}$ и $R_{\text{б}}$ неприемлемы для выполнения практической схемы, так как весь расчет произведен для предельного значения коллекторного тока. Для уменьшения величины коллекторного тока нужно использовать коллекторную нагрузку большей величины, чем значение $R_{\text{К. мин}}$.

Далее по заданной частоте и выбранному значению сопротивления $R_{\text{б}}$ можно определить величину емкости C . Из выражения (33) частота мультивибратора и постоянная времени $\tau = R_{\text{б}} C$, $R_{\text{б}} = R_1 = R_2 = R$ (согласно обозначениям рис. 1.1, а) связаны соотношением:

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{0,71}{R_{\text{б}} C} ,$$

откуда

$$C = \frac{0,71}{f R_{\text{б}}} .$$

Мультивибратор на логических элементах.

Выходным каскадом цифровой интегральной схемы И—НЕ, а также ИЛИ—НЕ является усилитель (инвертор). Это дает возможность построить на таких элементах мультивибратор, аналогичный мультивибратору на транзисторах. За счет положительной обратной связи в схеме развивается лавинообразный процесс, благодаря чему переход выходного напряжения с одного уровня на другой происходит с большой скоростью.

Вариант простейшего генератора (мультивибратора) показан на рис. 2.1 а. Схема имеет два динамических состояния. В первом из них, когда на выходе D1.1 состояние лог. "1" (выход D1.2 лог. "0"), конденсатор C1 заряжается. В процессе заряда напряжение на входе инвертора D1.1 возрастает, и при достижении значения $U_{пор}=0,5U_{пит}$ происходит скачкообразный переход во второе динамическое состояние, в котором на выходах D1.1 лог. "0", D1.2 — "1". В этом состоянии происходит перезаряд емкости (разряд) током обратного направления. При достижении напряжения на C1 $U_{пор}$ происходит возврат схемы в первое динамическое состояние. Диаграмма напряжений поясняет работу. Резистор R2 является ограничительным, и его сопротивление не должно быть меньше 1 кОм, а чтобы он не влиял на расчетную частоту, номинал резистора R1 выбираем значительно больше R2 ($R2 < 0,01R1$). Ограничительный резистор (R2) иногда устанавливают последовательно с конденсатором. При использовании неполярного конденсатора C1 длительность импульсов (t_i) и пауза (t_o) будут почти одинаковыми: $t_i=t_o=0,7R1C1$. Полный период $T=1,4R1C1$. Резистор R1 и конденсатор C1 могут находиться в диапазоне 20 кОм...10 МОм; 300 пф...100 мкФ.

При использовании в схеме (рис. 2.1 б) двух инверторов микросхемы K561ЛН2 (они имеют на входе только один защитный диод) перезаряд конденсатора будет происходить от уровня $U_{пит}+U_{пор}$. В результате чего симметричность импульсов нарушается $t_i=1,1R1C1$, $t_o=0,5R1C1$, период $T=1,6R1C1$.

Так как порог переключения логических элементов не соответствует точно половине напряжения питания, чтобы получить симметричность импульсов, в традиционную схему генератора можно добавить цепь из R2 и VD1, рис. 2.1, в. Резистор R2 позволяет подстройкой получить меандр ($t_i=t_o$) на выходе генератора.

Схема на рис. 2.2 дает возможность отдельно регулировать длительность и паузу между импульсами: $t_i=0,8C1R1$, $t_o=0,8C1R2$. При номиналах элементов, указанных на схеме, длительность импульсов около 0,1 с, период повторения 1 с.

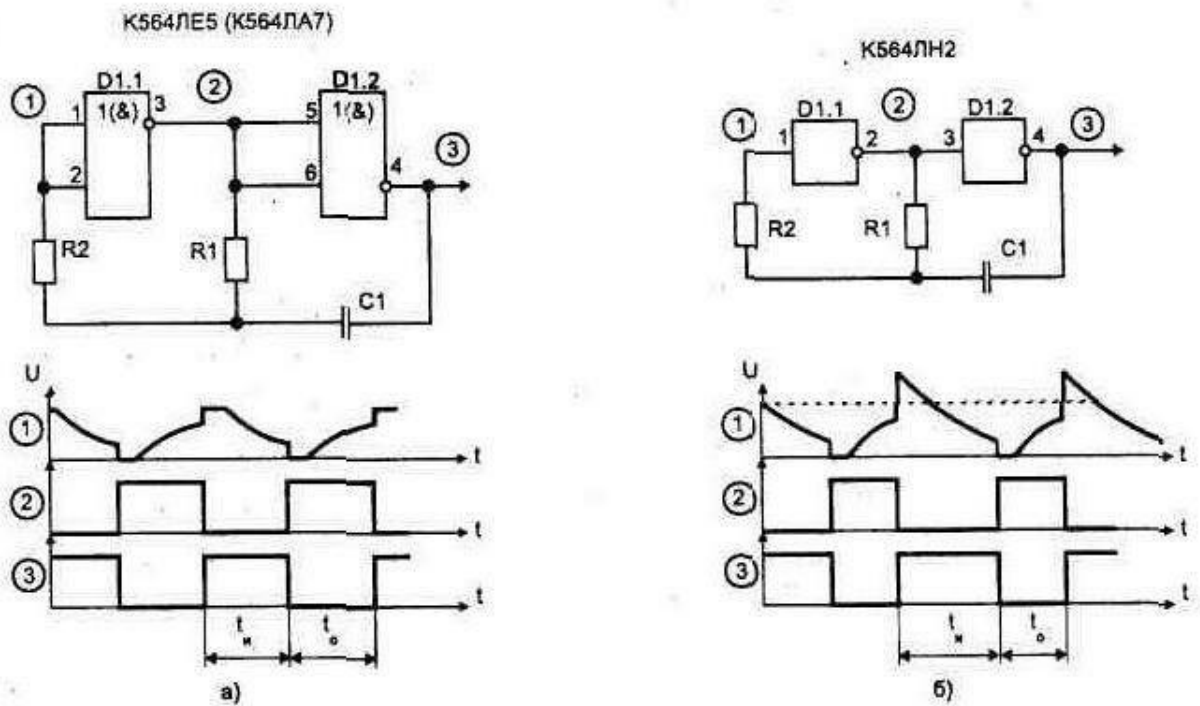


Рис. 2.1. Мультивибратор на двух инверторах.

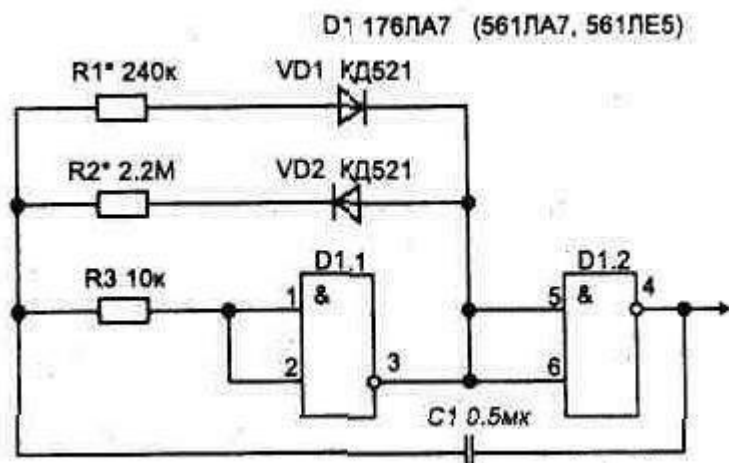


Рис. 2.2. Генератор импульсов с отдельной установкой длительности импульса и паузы между ними

Мультивибратор на операционном усилителе.

Схема автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе показана на рис. 2.3. Активным элементом является инвертирующий триггер Шмитта, реализованный на ОУ и резисторах R_1 , R_2 . Резистор R и конденсатор C формируют времязадающую цепь, определяющую длительность формируемых импульсов. Т. о., инвертирующий триггера Шмитта, охвачен обратной связью с помощью интегрирующей RC-цепочки.

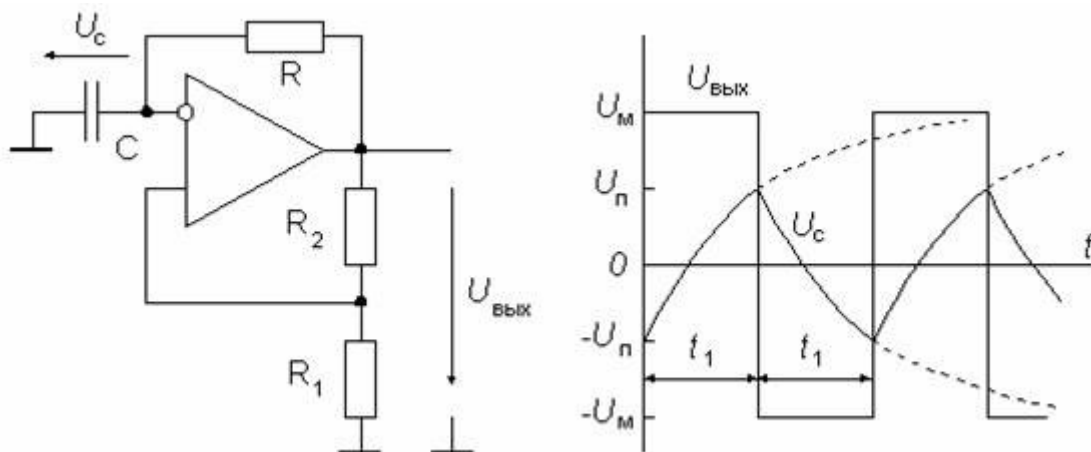


Рис. 2.3. Принципиальная схема мультивибратора, выполненного на базе операционного усилителя. Здесь обозначено $U_M = U_{нас}$ — напряжение насыщения.

Операционный усилитель охвачен положительной обратной связью (цепь $R_1 - R_2$) и находится в режиме насыщения, поэтому напряжение на выходе $U_{ВЫХ} = \pm U_{нас}$. Переключение ОУ из положительного насыщения в отрицательное и обратно происходит, когда напряжение на инвертирующем входе достигает положительного и отрицательного порогов срабатывания, равных $+\beta U_{нас}$ и $-\beta U_{нас}$ соответственно. Здесь β — коэффициент обратной связи:
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Передаточная характеристика триггера Шмитта показана на рис. 2.4.

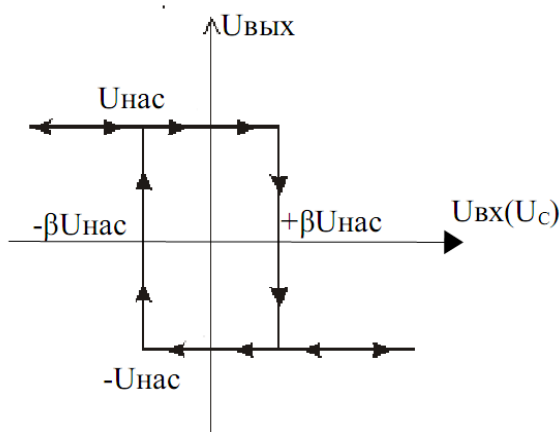


Рис. 2.4. Передаточная характеристика триггера Шмитта.

Когда напряжение на конденсаторе U_C достигает порога срабатывания триггера Шмитта, схема переключается и ее выходное напряжение скачком принимает противоположное значение. При этом конденсатор начинает перезаряжаться в противоположном направлении, пока его напряжение не достигнет другого порога срабатывания. Схема переключается в первоначальное состояние (рис. 2.3, б).

Рассмотрим работу мультивибратора, предположив, что в момент $t=0$ напряжение на выходе схемы $U_{\text{вых}}=+U_{\text{нас}}$, а напряжение конденсатора $U_C(0) < \beta U_{\text{нас}}$. Напряжение $U_C(t)$ изменяется по закону:

$$U_C(t) = [U_C(0) - U_{\text{нас}}] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + U_{\text{нас}}$$

Постоянная времени $\tau = RC$. В момент t_1 напряжение $U_C(t)$ достигает величины $\beta U_{\text{нас}}$, ОУ переключается в состояние отрицательного насыщения. Выходное напряжение скачком принимает значение, равное $-U_{\text{нас}}$. Начинается перезарядка конденсатора. Напряжение $U_C(t)$ изменяется по закону:

$$U_C(t) = [U_C(t_1) + U_{\text{нас}}] \cdot e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}} - U_{\text{нас}}$$

В момент t_2 напряжение $U_C(t)$ становится равным $-\beta U_{\text{нас}}$ и ОУ переключается в состояние положительного насыщения. Далее процесс периодически повторяется. Временные диаграммы напряжений $U_C(t)$ и $U_{\text{вых}}(t)$ показаны на рис. 2.5, 2.3 б.

На выходе мультивибратора наблюдаются прямоугольные импульсы амплитудой $\pm U_{\text{нас}}$. Период повторения импульсов:

$$T = 2RC \ln \left[1 + 2 \frac{R1}{R2} \right]$$

При $R1=R2$ период колебаний:

$$T \approx 2,2 RC.$$

Как видно из последней формулы, период колебаний мультивибратора не зависит от напряжения $U_{\text{нас}}=U_M$, которое, в свою очередь определяется

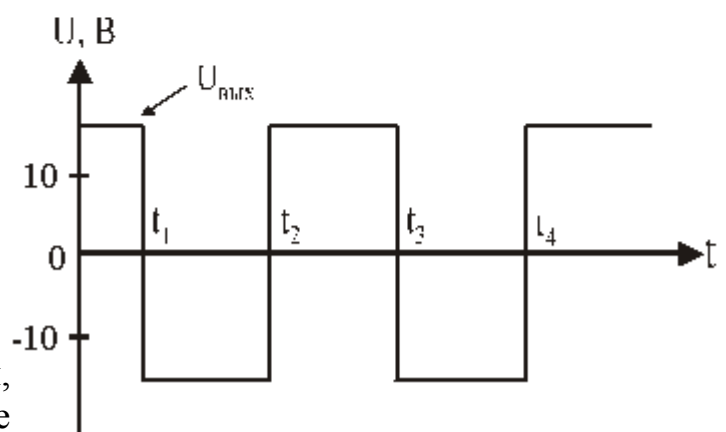
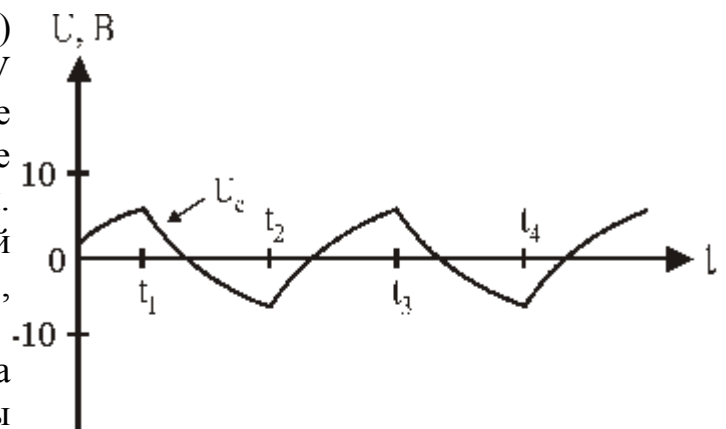


Рис. 2.5

напряжением питания $U_{\text{пит}}$. Поэтому частота колебаний мультивибратора на ОУ мало зависит от питающего напряжения.

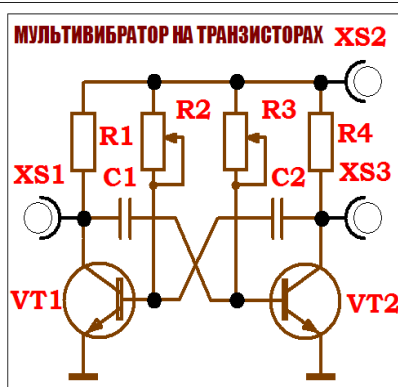
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Аппаратная часть. Приборы и оборудование.

Эксперимент выполняется на комбинированном лабораторном комплексе РТЦУЛ-17К, имеющим сопряжение с ПЭВМ. В данном варианте учебной установки ПЭВМ используется в качестве источника сигнала гармонического напряжения (генератора), регистратора переменных сигналов (осциллографа) и частотомера.

Стенд представляет из себя набор схем мультивибраторов, подключение которых к источнику питания осуществляется переключкой типа «тюльпан — тюльпан» рис 3.1. Для этого следует соединить выход +5 В источника питания со входом питания соответствующей схемы (XS2 для изучения мультивибратора на транзисторе; XS6 для изучения мультивибратора на логических элементах; либо XS4 для изучения работы мультивибратора на операционном усилителе.

Для соединения учебной установки с компьютером используется экранированный провод типа «тюльпан»- «jack». Для наблюдения сигналов в режиме реального времени ПЭВМ используется в роли осциллографа. При этом, выход каждой из схем рис. 3.1 XS1, XS3, XS5 либо XS7 подключается к линейному входу LINE IN либо микрофонному входу MIC ПЭВМ с помощью провода типа «тюльпан — jack» (вывод тюльпан подключается к выходу «XS9» усилителя ФОЭЛ-6К, другой конец провода, имеющий штекер типа «jack» подключается к LINE IN либо MIC входу звуковой карты ПЭВМ).



Установка учебная РТЦУЛ-17. ИЗУЧЕНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРОВ.

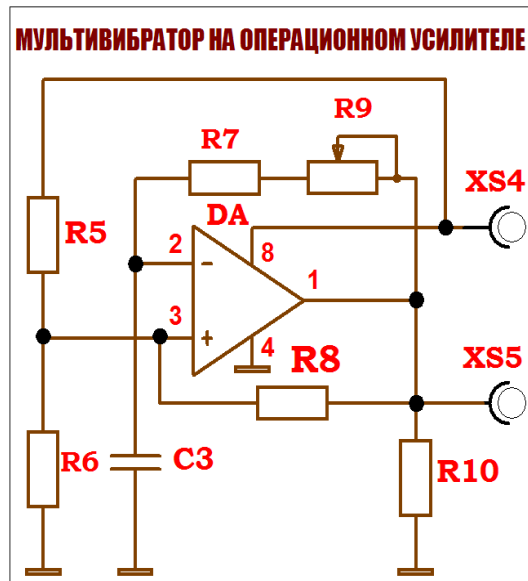
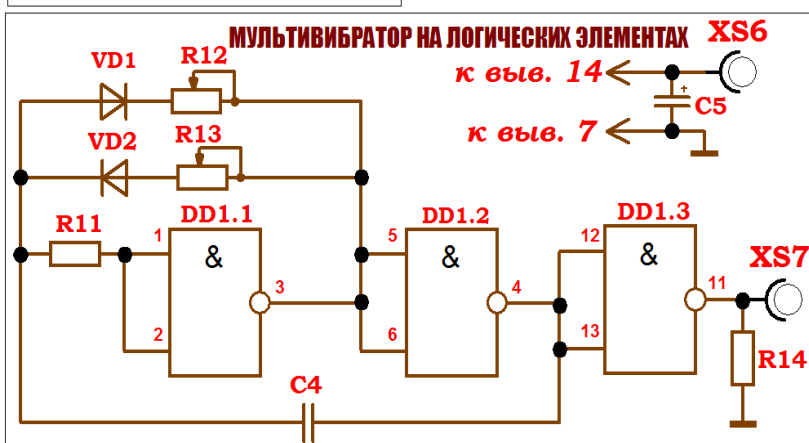


Рис. 3.1. Принципиальная электрическая схема учебной лабораторной установки РТЦУЛ-17К для исследования мультивибраторов.

Учебная установка представляет собой три распространенные принципиальные электрические схемы мультивибраторов.

Схема «МУЛЬТИВИБРАТОР НА ТРАНЗИСТОРЕ» представляет собой классическую реализацию мультивибратора на двух биполярных транзисторах, принцип работы которой подробно изложен в разделе «**Мультивибраторы на двух транзисторах с коллекторно - базовыми ёмкостными связями в автоколебательном режиме**» методического руководства.

Мультивибратор на операционном усилителе представляет собой реализацию схемы рис. 2.2, дополнительный логический элемент DD1.3 используется в качестве усилителя тока, благодаря внутренним транзисторам. Микросхема DD1.3 введена в том числе и для развязки выхода по сопротивлению, для того чтобы выходная частота меньше зависела от сопротивления нагрузки.

Мультивибратор на операционном усилителе реализован аналогично схеме рис. 2.3, работа которой разъясняется в разделе «**Мультивибратор на операционном усилителе**».

Программная часть. Подготовка к работе.

Перед началом работы следует настроить линейный вход компьютера. При этом следует включить линейный выход LINE OUT, линейный вход LINE IN (либо микрофонный вход MIC) звуковой карты в системе и настроить усиление LINE IN (MIC), LINE OUT средствами операционной системы. Процедура настройки зависит от звуковой карты, в общем случае следует два раза щелкнуть правой кнопкой мыши на значок «ЗВУК», обычно располагающийся в системной области уведомлений и выбрать ПАРАМЕТРЫ → СВОЙСТВА → Устройства Записи (Устройства Воспроизведения). Для некоторых моделей звуковых карт регулировка входов и выходов возможна с помощью программ, поставляемых в комплекте с драйверами для звуковой карты (например встроенные звуковые карты Realtek).

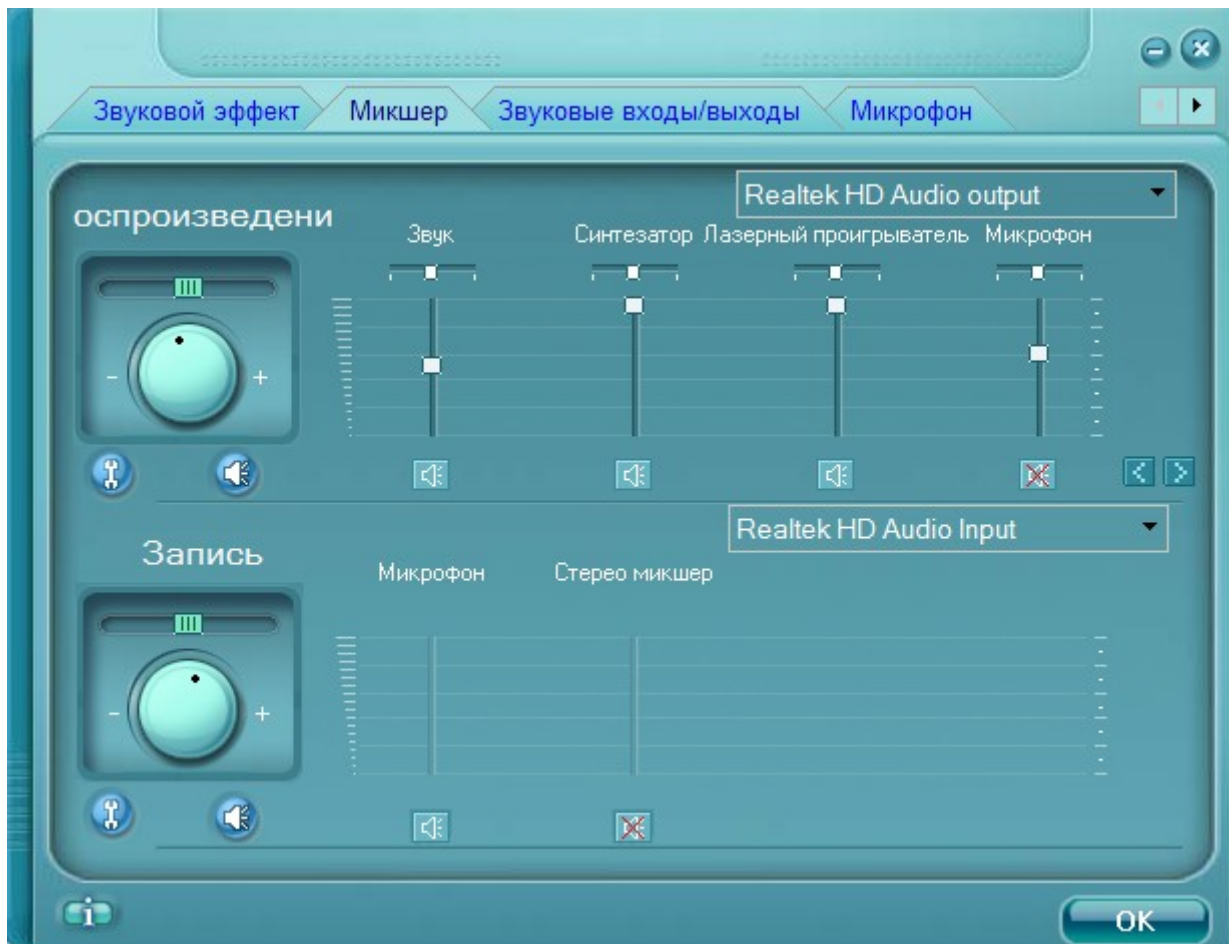


Рис. 3.2. Оптимальные настройки звуковой карты на чипсете RealTek. Обратите внимание, следует отключить «стереомикшер» (встроенный микшер для автоматической программной записи сигналов), в устройствах воспроизведения отключить «МИКРОФОН» и установить все регуляторы воспроизведения и записи в среднее положение. **Обратите внимание, что в настройках на вкладке «МИКРОФОН» следует отключить все эффекты («ЭХО», «ПОДАВЛЕНИЕ ШУМА» и т. д.), иначе возможна некорректная работа компонентов LabVisual.**

Для получения гармонического сигнала используется свободно распространяемый компонент LabVisual Генератор рис. 3.3, представляющий из себя низкочастотный комбинированный генератор функций. Выходные сигналы генератора могут поступать на два канала стерео выхода звуковой карты компьютера.

Генератор вырабатывает сигналы следующего вида:..

- синусоидальный,
- прямоугольный (меандр),
- треугольный симметричный,
- пилообразный нарастающий,
- пилообразный спадающий.

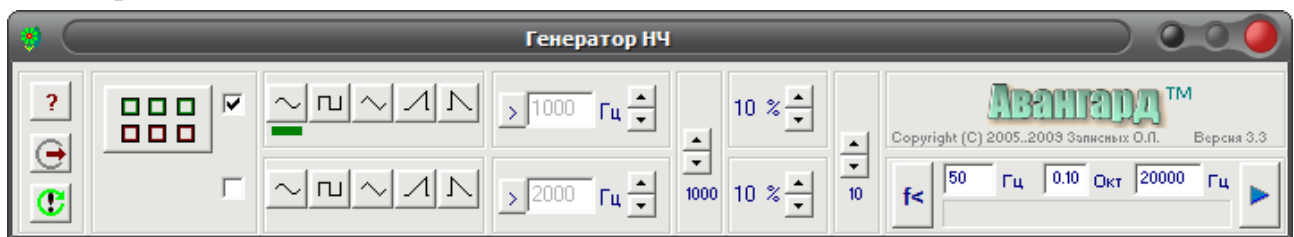



Рис. 3.3. Компонент «ГЕНЕРАТОР НЧ» для получения гармонических сигналов. Оптимальные настройки.

Компонент может работать в различных режимах. В постоянном независимом режиме форма, частота и амплитуда сигналов по двум каналам устанавливаются отдельно. В постоянном зависимом режиме форма, частота и амплитуда сигналов по обоим каналам одинаковые, сигнал второго (правого) канала может быть произвольно сдвинут по фазе относительно сигнала первого (левого) канала. В режиме нарастания частоты сигнал по первому (левому) каналу меняется по частоте в заданных пределах с установленной скоростью. Сигнал второго канала выключен. В режиме нарастания амплитуды сигнал по первому (левому) каналу меняется по амплитуде в заданных пределах с установленной скоростью. Сигнал второго канала выключен. [Экранные органы управления снабжены всплывающими комментариями.](#)

Частота сигналов может устанавливаться двумя способами. Установка [прямым вводом](#) производится в окне вида . Для редактирования следует нажать кнопку слева от окна, ввести новое значение, затем нажать клавишу **Enter**. Второй способ - [ступенчатое изменение](#) частоты с заданным шагом. Для этого имеются переключатели "выше-ниже". Двумя изменяется частота, третьим переключается шаг этого изменения. Дискретность установки частоты 1 Гц.

Амплитуда задается ступенчатым изменением с заданным шагом. Для этого имеются переключатели "выше-ниже". Двумя изменяется частота, третьим переключается шаг этого изменения. Дискретность установки амплитуды 1 % от максимальной.

Сдвиг фаз между сигналами [в зависимом режиме](#) устанавливается пря-

мым вводом значений в градусах. Для редактирования нажмите кнопку слева от окна, введите новое значение, затем нажмите клавишу **Enter**. Дискретность установки сдвига 1 градус.

Ввиду большого размера буферов обмена звуковой карты управление прибором несколько замедленно. Реакция на переключения составляет примерно 1 секунду.

В случае возникновения пауз выходных сигналов воспользуйтесь экранной кнопкой перезапуска (🔄).

Программа запоминает установки и настройки, и восстанавливает их при следующем включении.

Для визуальной регистрации сигналов используется многофункциональный компонент LabVisual Visual Analyser рис. 3.4.

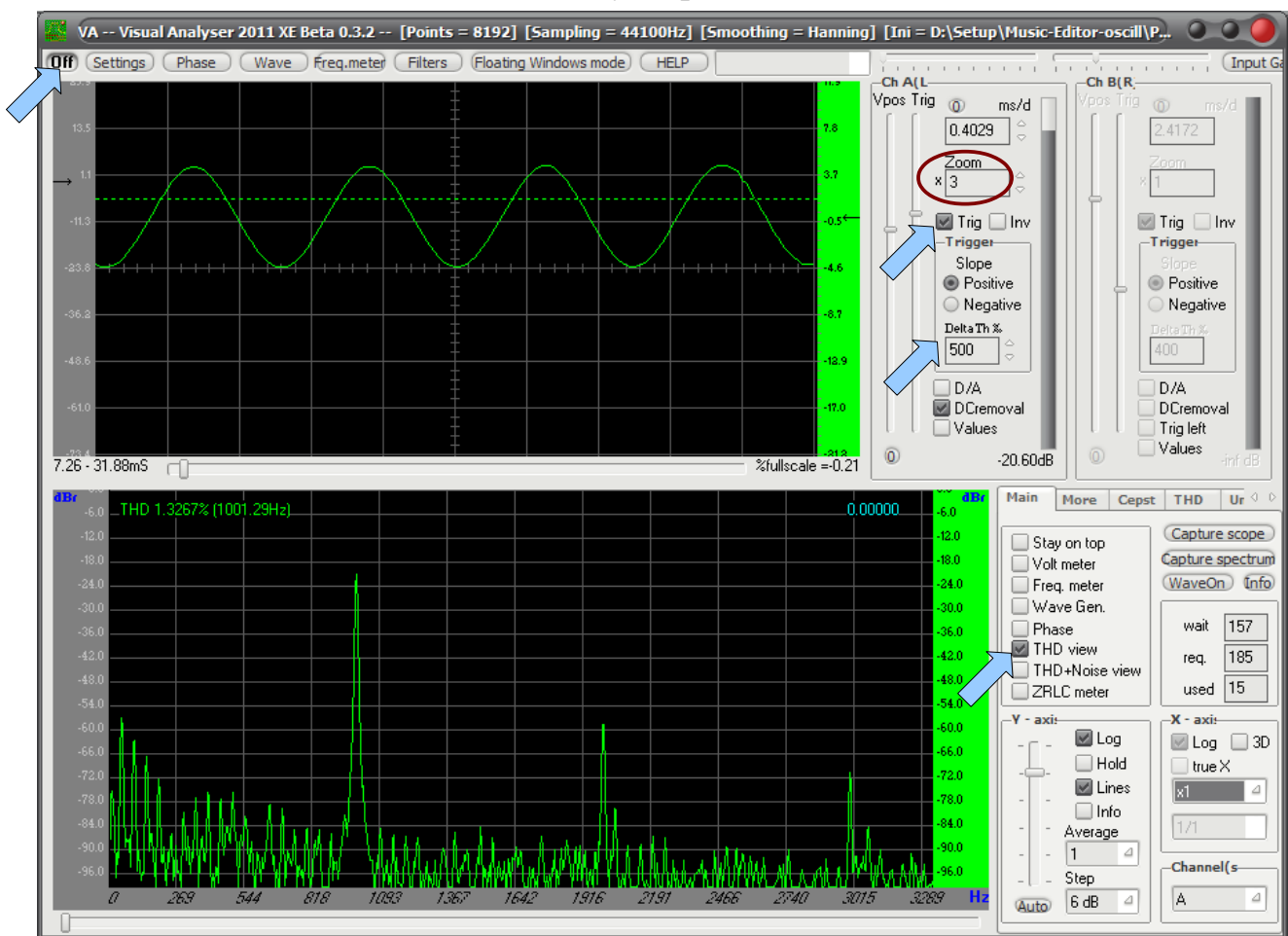


Рис. 3.4. Многофункциональный компонент-осциллограф «LabVisual Visual Analyser» для регистрации и анализа сигналов.

Для настройки компонента нажмите в главном меню кнопку **SETTINGS**. В появившемся окне рис. 3.5 перейдите на вкладку «**DEVICE**» и выберите в качестве устройства входа и выхода вашу звуковую карту (в примере рис. 3.5 используется встроенная звуковая карта RealTek).

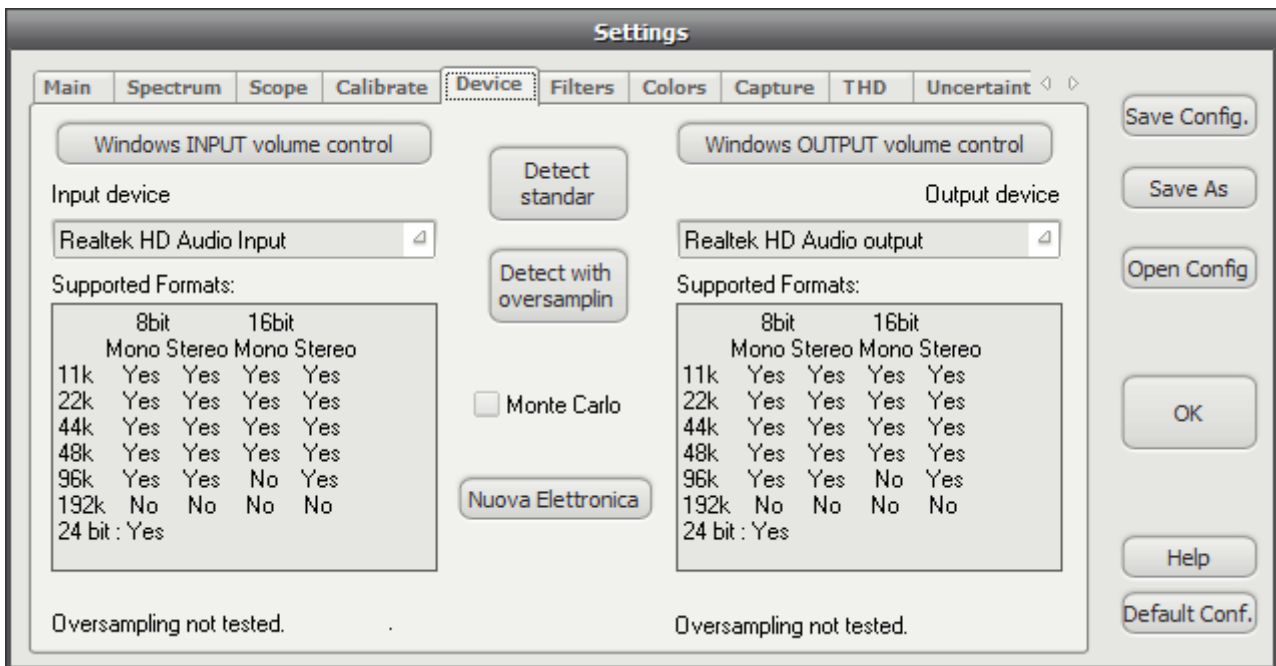


Рис. 3.5. Настройка используемых устройств компонента «LabVisual Visual Analyser»

Перейдите на вкладку Main рис. 3.6 и установите частоту дискретизации Frequency Sample и размер буфера FFT Size. Наиболее оптимальные значения для большинства устройств Frequency Sample=44100 Hz; FFT Size=8192. Так как вы используете только один канал устройства, установите режим в выпадающем списке Channels A.

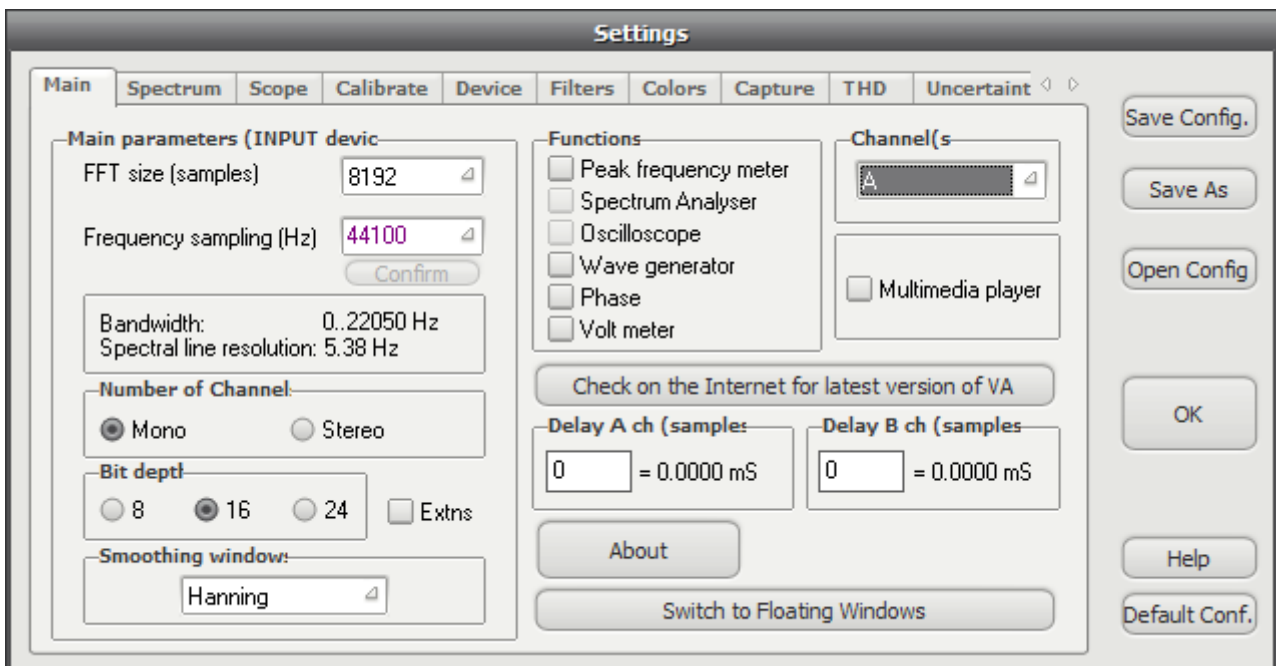


Рис. 3.6. Настройка частоты дискретизации и размера буфера данных компонента «LabVisual Visual Analyser»

Программа запоминает установки и настройки, и восстанавливает их при следующем включении.

Компонент «LabVisual Visual Analyser» может использоваться не только как осциллограф, но и в качестве частотомера, анализатора спектра и нелинейных искажений в области звуковых частот.

Для запуска частотомера нажмите кнопку «Freq Meter» в главном меню компонента. При этом в программе отобразится всплывающее окно с текущими значениями частоты сигнала рис. 3.7. Для точной регистрации частоты установите Resolut.=1,3 Hz, а Power of peak=1 % для слабых сигналов.

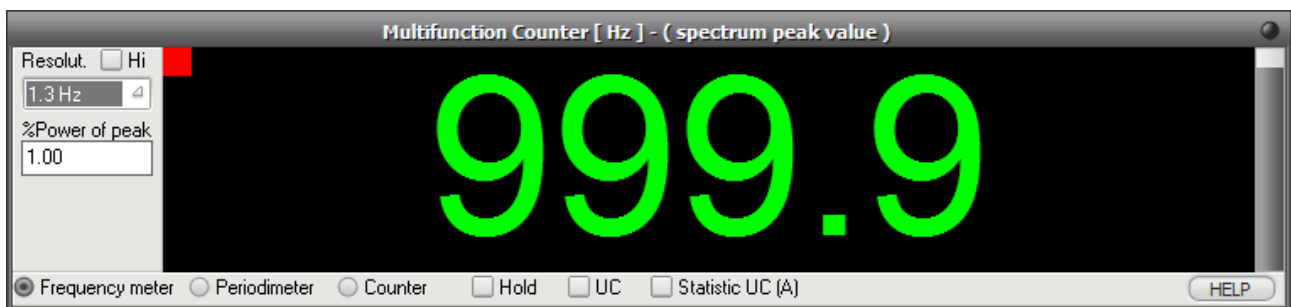


Рис. 3.7. Подпрограмма «ЧАСТОТОМЕР» компонента «LabVisual Visual Analyser»

Область осциллографа представляет собой верхнюю часть компонента, область анализатора спектра отображается в нижней части компонента. При установленном флажке THD View также автоматически вычисляется и отображается коэффициент гармоник:

$$K_{н.и.} = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots}}{U_{m1}},$$

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Все работы по подключению комплекса к компьютеру следует выполнять только при отключенных от сети приборах. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора.
2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.
3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.
4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно прилагаемому руководству к среде LabVisual.
5. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА.

6. Перед началом работы ознакомится с принципиальной схемой учебной установки, разобраться в назначении кнопок и измерительных приборов. Проверить целостность сетевого провода.
7. Подать питание на мультивибратор на биполярных транзисторах, соединив выводы XS8 – XS2 перемычкой типа «тюльпан — тюльпан».
8. Подключить выход мультивибратора на транзисторах XS1 к линейному входу LINE IN либо микрофонному входу MIC звуковой карты ПЭВМ с помощью провода типа «тюльпан — jack» (вывод тюльпан подключается к выходу «XS1» учебной установке РТЦУЛ-17К, другой конец провода, имеющий штекер типа «jack» подключается к LINE IN либо MIC входу звуковой карты ПЭВМ).
9. Запустить компонент-осциллограф «LabVisual Visual Analyser». При необходимости настроить компонент для данного экземпляра звуковой карты.
10. Установить ручки управления переменными резисторами R2, R3 в среднее положение.
11. Переключатель ms/d компонента установить таким образом, чтобы наблюдались 3-4 периода выходного сигнала. Установить флажок «THD View» для автоматического вычисления и наблюдения за значением коэффициента гармоник. Синхронизировать сигнал, для этого включить триггер, поставив флажок «Trig» в окне управления компонентом, установить «Delta Trig»=25 % и, зацепив левой кнопкой мыши бегунок «Trigger Level» переместить уровень синхронизации таким образом, чтобы полоса синхронизации (прерывистая горизонтальная линия) попадала в середину сигнала.
12. Установить бегунком Vertical Position “Vpos” расположение осцилло-

граммы симметрично относительно оси Оу. Управляя значением Zoom в компоненте, а также уровнем усиления «ЗАПИСЬ» посредством драйвера звуковой карты рис. 3.2, добиться чтобы размер осциллограммы занимал примерно $\frac{3}{4}$ экрана компонента.

13. Включить встроенный частотомер рис. 3.7. для измерения частоты выходного сигнала.
14. Измерить установленные значения сопротивления R2, R3 мультиметром, подключив его к клеммам измерения сопротивления. Гнезда для измерения сопротивлений находятся слева и справа от соответствующей ручки управления.
15. Зарисовать форму сигнала с коллектора транзистора VT1, по показаниям частотомера зарегистрировать частоту импульсов. Наблюдать спектральную характеристику сигнала с помощью встроенного спектроанализатора.
16. Зафиксировать сопротивление R2. При фиксированном значении сопротивления R2 исследовать зависимость частоты, формы и спектра сигнала от значения сопротивления R3. Для каждого установленного значения R3, определять длительность импульсов $t_{и2}$ согласно рис. 1.1 б. В данном случае длительностью $t_{и2}$ будет та длительность, которая изменяется при вращении резистора R3.
17. Построить график зависимости частоты импульсов от сопротивления R3 и длительности импульсов $t_{и2}$ от R3: $\nu = \nu(R3)$; $t_{и2} = t_{и2}(R3)$.
18. По графику зависимости $t_{и2} = t_{и2}(R3)$ определить ёмкость конденсатора C2 для 4 — 5 значений сопротивления R3 по формуле (32), которая для нашей схемы запишется как: $t_{и2} = 0,7 R_3 C_2$. По результатам расчетов определите среднее значение ёмкости.
19. Подключить коллектор транзистора VT2 XS3 к линейному входу LINE IN либо микрофонному входу MIC звуковой карты ПЭВМ с помощью провода типа «тюльпан — jack» (вывод тюльпан подключается к выходу «XS3» учебной установке РТЦУЛ-17К, другой конец провода, имеющий штекер типа «jack» подключается к LINE IN либо MIC входу звуковой карты ПЭВМ).
20. Установить ручки регулировки сопротивлений R2, R3 в среднее положение и замерить это значение сопротивлений.
21. Зарисовать форму сигнала с коллектора транзистора VT2, по показаниям частотомера зарегистрировать частоту импульсов. Наблюдать спектральную характеристику сигнала с помощью встроенного спектроанализатора.
22. Зафиксировать сопротивление R3. При фиксированном значении сопротивления R3 исследовать зависимость частоты, формы и спектра сигнала от значения сопротивления R2. Для каждого установленного значения R2, определять длительность импульсов $t_{и1}$ согласно рис. 1.1 б. В данном случае длительностью $t_{и1}$ будет та длительность, которая

изменяется при вращении резистора R2.

23. Построить график зависимости частоты импульсов от сопротивления R2 и длительности импульсов $t_{и1}$ от R2: $\nu = \nu(R2)$; $t_{и1} = t_{и1}(R2)$.
24. По графику зависимости $t_{и1} = t_{и1}(R2)$ определить ёмкость конденсатора C1 для 4 — 5 значений сопротивления R2 по формуле (32), которая для нашей схемы запишется как: $t_{и1} = 0,7 R_2 C_1$. По результатам расчетов определите среднее значение ёмкости.
25. Подать питание на мультивибратор на операционном усилителе, соединив выводы XS8 – XS4 перемычкой типа «тюльпан — тюльпан».
26. Подключить выход XS5 мультивибратора к линейному входу LINE IN либо микрофонному входу MIC звуковой карты ПЭВМ с помощью провода типа «тюльпан — jack» (вывод тюльпан подключается к выходу «XS5» учебной установке РТЦУЛ-17К, другой конец провода, имеющий штекер типа «jack» подключается к LINE IN либо MIC входу звуковой карты ПЭВМ).
27. Установить ручку управления переменным резистором R9 в среднее положение.
28. Переключатель ms/d компонента установить таким образом, чтобы наблюдались 3-4 периода выходного сигнала. Установить флажок «THD View» для автоматического вычисления и наблюдения за значением коэффициента гармоник. Синхронизировать сигнал, для этого включить триггер, поставив флажок «Trig» в окне управления компонентом, установить «Delta Trig»=25 % и, зацепив левой кнопкой мыши бегунок «Trigger Level» переместить уровень синхронизации таким образом, чтобы полоса синхронизации (прерывистая горизонтальная линия) попадала в середину сигнала.
29. Установить бегунком Vertical Position “Vpos” расположение осциллограммы симметрично относительно оси Oy. Управляя значением Zoom в компоненте, а также уровнем усиления «ЗАПИСЬ» посредством драйвера звуковой карты рис. 3.2, добиться чтобы размер осциллограммы занимал примерно $\frac{3}{4}$ экрана компонента.
30. Вращая ручку R9, снять зависимость частоты генерируемого сигнала от сопротивления R9 и построить график зависимости $\nu = \nu(R9)$ и график зависимости периода импульсов от R9 $T = T(R9)$, при этом $\frac{1}{T} = \nu$.
31. По графику зависимости $T = T(R9)$ рассчитать ёмкость конденсатора C3 для 4 — 5 значений сопротивления R9 по формуле $T \approx 2,2 R_9 C_3$. По результатам расчетов определите среднее значение ёмкости.
32. Подать питание на мультивибратор на логических элементах, соединив выводы XS8 – XS6 перемычкой типа «тюльпан — тюльпан».
33. Подключить выход XS7 мультивибратора к линейному входу LINE IN либо микрофонному входу MIC звуковой карты ПЭВМ с помощью провода типа «тюльпан — jack» (вывод тюльпан подключается к выходу «XS7»

- учебной установке РТЦУЛ-17К, другой конец провода, имеющий штекер типа «jack» подключается к LINE IN либо MIC входу звуковой карты ПЭВМ).
34. Установить ручки управления переменными резисторами R12, R13 в среднее положение.
 35. Переключатель ms/d компонента установить таким образом, чтобы наблюдались 3-4 периода выходного сигнала. Установить флажок «THD View» для автоматического вычисления и наблюдения за значением коэффициента гармоник. Синхронизировать сигнал, для этого включить триггер, поставив флажок «Trig» в окне управления компонентом, установить «Delta Trig»=25 % и, зацепив левой кнопкой мыши бегунок «Trigger Level» переместить уровень синхронизации таким образом, чтобы полоса синхронизации (прерывистая горизонтальная линия) попадала в середину сигнала.
 36. Установить бегунком Vertical Position “Vpos” расположение осциллограммы симметрично относительно оси Oy. Управляя значением Zoom в компоненте, а также уровнем усиления «ЗАПИСЬ» посредством драйвера звуковой карты рис. 3.2, добиться чтобы размер осциллограммы занимал примерно $\frac{3}{4}$ экрана компонента.
 37. Зафиксировать сопротивление R12. При фиксированном значении сопротивления R12 исследовать зависимость частоты, формы и спектра сигнала от значения сопротивления R13. Для каждого установленного значения R13, определять длительность паузы t_0 согласно рис. 2.1 б.
 38. Построив график зависимости длительности паузы t_0 от сопротивления R13 $t_0=t_0(R13)$, рассчитать емкость C4 используя приближенную формулу $t_0=0,8C4R13$ для 4 -5 значений R13.
 39. Зафиксировать сопротивление R13. При фиксированном значении сопротивления R13 исследовать зависимость частоты, формы и спектра сигнала от значения сопротивления R12. Для каждого установленного значения R12, определять длительность импульсов t_i согласно рис. 2.1 б.
 40. Построив график зависимости длительности t_i от сопротивления R12 $t_i=t_i(R12)$, рассчитать емкость C4 используя приближенную формулу $t_0=0,8C4R12$ для 4 -5 значений R12. По результатам расчетов определите среднее значение ёмкости.
 41. По окончании работы следует закрыть программу-оболочку LabVisual и все открытые подпрограммы, закрыть виртуальную среду VirtualBox (при работе в среде Linux).
 42. Выключить компьютер, нажав на кнопку, находящуюся в крайнем нижнем левом углу экрана. Из доступных действий выбрать «ВЫХОД»--> «ВЫКЛЮЧИТЬ КОМПЬЮТЕР».
 43. Отключить установку от сети, поставив переключатели «СЕТЬ» на панели установки в положение «выкл» и вынуть сетевые вилки из розеток.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. М.: Высш.шк., 1982. 496 с.; ил.
2. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высш. шк., 1988. 464 с.; ил.
2. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем / Пер. с англ. И. Влаха, К. Сингхал. М.: Радио и связь, 1988. 560 с.; ил.
3. Основы радиоэлектроники: Учебное пособие / Ю. И. Волощенко, Ю. Ю. Мартюшев и др./ Под ред. Г.Д. Петрухина. М.: Изд-во МАИ, 1993. 416 с.; ил.
4. Радиотехника: Учебное пособие для студентов вузов /Е.М. Гершензон, Г.Д. Полянина, Н.В. Соина. М.: Просвещение, 1986. 319 с.; ил.
5. Элементы информационных систем: Учеб. для вузов / В.П. Миловзоров. М.: Высш.шк., 1989. 440 с.; ил.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**