

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Б. И. Авдоченко,  
С. А. Подлиннов,  
С. Ю. Рябцунов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ**

Методические указания к лабораторной работе для студентов технических  
направлений подготовки и специальностей

Томск  
2023

УДК 621.3  
ББК 32.85  
А18

**Рецензент:**

**Задорин А. С.**, профессор, каф. радиотехники и систем связи ТУСУР, д.ф-м.н.

**Б. И. Авдоченко, С. А. Подлиннов, С. Ю. Рябцунов**

А18 Исследование быстродействия операционного усилителя: методические указания к лабораторной работе/ Б. И. Авдоченко, С. А. Подлиннов, С. Ю. Рябцунов. - Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. - 32 с.

Настоящие методические указания к лабораторной работе для студентов составлены с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО).

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 11.03.01 «Радиотехника» по дисциплине «Схемотехника аналоговых устройств».

Одобрено на заседании каф. РСС протокол № 04 от 23.11.2023

УДК 621.3

ББК 32.85

©Б. И. Авдоченко, С. А.Подлиннов,

С. Ю. Рябцунов, 2023

© Томск, гос. ун-т систем упр. и

радиоэлектроники.2023 г.

## Оглавление

1 Введение.....	4
2 Сведения, необходимые для выполнения работ .....	5
2.1 Операционный усилитель. Устройство, структурная схема, принцип действия.....	5
2.2 Основные характеристики ОУ .....	6
2.3 Схемы с ОУ, охваченным обратной связью .....	7
2.4 Инвертирующий усилитель.....	7
3 Исследование быстродействия операционного усилителя .....	8
3.1 Цель работы .....	8
3.2 Схема исследуемого макета .....	8
3.3 Расчетное задание .....	9
3.3.1 Диаграмма Боде.....	9
3.3.2 Построение диаграммы Боде для ОУ по результатам экспериментальных исследований .....	10
3.3.3 Методика проведения эксперимента.....	10
3.3.4 Расчет времени нарастания переднего фронта при заданном коэффициенте усиления .....	11
3.3.5 Экспериментальное исследование быстродействия усилителя на ОУ .....	11
3.4 Требования к оформлению отчета.....	11
3.5 Контрольные вопросы .....	12
Список использованных источников .....	13
Приложение А (справочное) Основы работы с осциллографом Keysight 1000X.....	14
Приложение Б (справочное) Порядок подключения питания лабораторного макета .....	21

## 1 Введение

Среди интегральных микросхем, предназначенных для обработки аналоговых электрических сигналов, важнейшее место занимает операционный усилитель (ОУ) – полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления напряжения и обеспечивающий выполнение различных операций по преобразованию аналоговых электрических сигналов: усиление, сложение, вычитание, интегрирование, дифференцирование и т.д. Функции, выполняемые ОУ, в основном определяются глубокими отрицательными обратными связями (ОС). ОУ выпускаются как в виде отдельных интегральных микросхем, так и могут являться составной частью многих специализированных аналоговых микросхем.

## 2 Сведения, необходимые для выполнения работ

### 2.1 Операционный усилитель. Устройство, структурная схема, принцип действия

*Операционным усилителем (ОУ) называют усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и однотактным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления [1].*

*Усилитель постоянного тока (УПТ) – электронный усилитель, рабочий диапазон частот которого включает нулевую частоту (постоянный ток). На верхнюю границу частотного диапазона усилителя никаких особых ограничений не накладывается, то есть она может находиться в области высоких частот. Таким образом, термин УПТ можно применять к *любому* усилителю, способному работать на постоянном токе. В подавляющем большинстве случаев УПТ является усилителем не только тока, но и напряжения [2].*

ОУ предназначен для выполнения различных операций с аналоговыми сигналами: усиление и ослабление, сложение и вычитание, интегрирование и дифференцирование, логарифмирование и потенцирование, фильтрация и другие. ОУ в цифровой электронике используется реже.

Операции ОУ выполняет за счет вариации *цепей положительной и отрицательной обратной связи*. Данные цепи могут включать сопротивления, емкости и другие элементы. На элементы накладывается требование приближать параметры ОУ к идеальному источнику напряжения.

Идеальный ОУ обладает следующими свойствами:

1. коэффициент передачи ОУ без обратной связи равен бесконечности;
2. входной ток равен нулю;
3. напряжение смещения и ток смещения нуля на входе ОУ равны нулю;
4. входное сопротивление ОУ равно бесконечности;
5. выходное сопротивление ОУ равно нулю.

Структурная схема ОУ приведена на рисунке 2.1.

Первый блок (Рисунок 2.1, поз. 1) – дифференциальный усилительный каскад, у ОУ имеются два входа: инвертирующий, обозначается знаком (о) или знаком (-), и неинвертирующий, не отмечается или около него ставят (+). Входные сигналы можно подавать на любой из двух входов

Второй блок ОУ (Рисунок 2.1, поз. 2) – усилительный каскад с большим коэффициентом усиления, охваченный емкостной отрицательной обратной связью с целью коррекции частотной характеристики ОУ. На выходе используется усилительный каскад с малым выходным сопротивлением (Рисунок 2.1, поз. 3) [1]. При подаче на инвертирующий и неинвертирующий входы одинаковых сигналов сигнал на выходе будет близок к нулю (в этом состоит смысл подавления синфазной составляющей). Разность сигналов, подаваемых на входы (дифференциальная составляющая) будет усиливаться в десятки и сотни тысяч раз.

Каждый из блоков имеет комплексную характеристику, зависящую от частоты. Как правило, модуль коэффициента передачи всех трех блоков уменьшается с ростом частоты, на граничной частоте уменьшается в  $\sqrt{}$  раз, фаза изменяется на  $45^\circ$  [1].

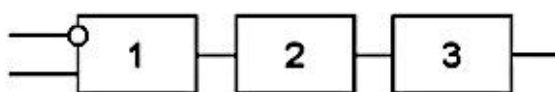


Рисунок 2.1 Структурная схема операционного усилителя

На рисунке 2.2 показаны основные применяемые условные графические обозначения ОУ. Здесь показаны два дополнительных вывода ОУ, которые используются для подачи напряжения питания  $U_{П+}$  и  $U_{П-}$ , иногда эти выводы обозначаются как  $E_{П+}$  и  $E_{П-}$ .

Двухполярное напряжение питания используется для обеспечения работы ОУ как с положительными, так и с отрицательными сигналами. Оба напряжения обычно имеют одинаковые по модулю значения, а их общий вывод одновременно является общим выводом для входных и выходных сигналов.

Модель идеального ОУ может успешно применяться для вывода математических соотношений, описывающих работу реальных ОУ в различных режимах.

Выходное напряжение ОУ определяется выражением:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -A (U_{(-)} - U_{(+)} ) = -A(\Delta U), \quad (2.1)$$

где  $A$  – коэффициент передачи по напряжению усилителя, не охваченного обратной связью;

$U_{(-)}$  - напряжение на инвертирующем входе;

$U_{(+)}$  - напряжение на неинвертирующем входе.

Следует отметить, что  $A$  зависит от частоты, как правило, уменьшается с ростом частоты.

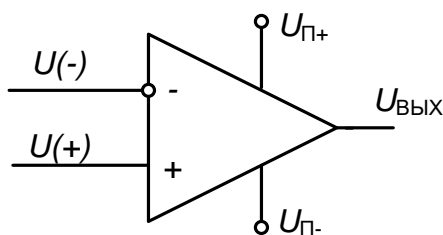


Рисунок 2.2 – Условное обозначение ОУ: (–) – инвертирующий вход ОУ;

(+) – неинвертирующий вход ОУ;  $U_{(-)}$  – напряжение на инвертирующем входе;

$U_{(+)}$  – напряжение на неинвертирующем входе;  $U_{\text{ВЫХ}}$  – выходное напряжение ОУ;

$U_{П+}$  – положительное напряжение питания ОУ;  $U_{П-}$  – отрицательное напряжение питания

Знак минус перед коэффициентом передачи  $A$  показывает, что выходное напряжение отрицательно для  $U > 0$ . Коэффициент передачи  $A$  можно определить как отношение величины выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  к разности значений входных напряжений  $U$ . Коэффициент передачи реальных ОУ на постоянном токе колеблется в пределах от 10 000 до 2 000 000.

Большинство ОУ имеют биполярный выход. Это означает, что выходной сигнал может иметь как положительную, так и отрицательную полярность. Поэтому для нормальной работы ОУ требуются два источника питания.

Выходное напряжение никогда не может превысить напряжение питания ( $U_{П-} < U_{\text{ВЫХ}} < U_{П+}$ ).

Как правило, максимальное выходное напряжение ОУ на доли вольта меньше напряжения питания. Это ограничение известно, как напряжение ограничения (положительное  $U_{огр+}$  и отрицательное  $U_{огр-}$ ).

## 2.2 Основные характеристики ОУ

К основным характеристикам ОУ относят:

- коэффициент усиления дифференциальной составляющей входного сигнала –  $K_U \geq 5 \cdot 10^4$

- коэффициент ослабления синфазной составляющей входного сигнала –  $K_{ос}$  не менее 65 дБ
- входной средний ток –  $I_{вх\ ср} < 0,15$  нА
- ток, потребляемый от источников питания –  $I_{п} \leq 3,5$  мА
- максимальная рабочая частота – не менее 1 МГц
- напряжение питания –  $U_{п} = \pm 15$  В
- максимальный выходной сигнал –  $U_{вых.мах} = \pm 10$  В
- ток смещения менее 50 пА

### 2.3 Схемы с ОУ, охваченным обратной связью

При высоком значении коэффициента передачи достаточно трудно управлять усилителем и удерживать его от насыщения. С помощью определенных внешних цепей часть выходного сигнала можно направить обратно на вход, т.е. организовать обратную связь. Применяя *отрицательную обратную связь*, когда сигнал с выхода усилителя приходит на вход в противофазе с входным сигналом, можно сделать усилитель более стабильным. Обычно схемы включения ОУ с замкнутой цепью ОС имеют коэффициент передачи от 10 до 1 000, т.е. меньше, чем коэффициент передачи ОУ, не охваченного ОС, более чем в тысячу раз. Если обратная связь положительна, усилитель переходит в режим генерирования колебаний, т.е. становится автогенератором.

### 2.4 Инвертирующий усилитель

Схема включения ОУ, показанная на рис. 3, применяется на практике чаще всего. Цепь обратной связи в этом случае представляет собой единственный резистор  $R_{ос}$ , который служит для передачи части выходного сигнала обратно на вход. Тот факт, что резистор соединен с инвертирующим входом, указывает на отрицательный характер обратной связи. Входное напряжение ( $U_1$ ) вызывает протекание входного тока  $i_1$  через резистор  $R_1$ . Обратите внимание на то, что входное напряжение ОУ ( $U$ ) имеет дифференциальный характер, т.к. фактически это разность напряжений на неинвертирующем (+) и инвертирующем (-) входах усилителя. Положительный вход ОУ чаще всего заземляют, соединяют с общей точкой источников питания.

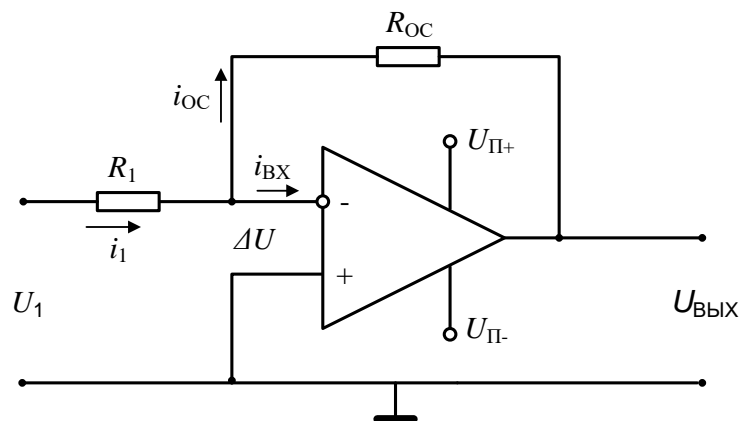


Рисунок 3 – Принципиальная схема инвертирующего усилителя на ОУ

Применяя правила Кирхгофа, для схемы рис. 4 можно составить следующие уравнения:

$$U_1 = i_1 R_1 + \Delta U, \quad (2.2)$$

$$U_{ВЫХ} = -i_{ос} R_{ос} + \Delta U, \quad (2.3)$$

$$i_1 - i_{ос} - i_{ВХ} = 0, \quad (2.4)$$

$$U_{ВЫХ} = -K_U \Delta U. \quad (2.5)$$

Решая эти уравнения совместно, можно получить следующее выражение:

$$U_{ВЫХ} = \left( i_{ВХ} - \frac{U_1}{R_1} \right) Z_1 \quad (2.6)$$

где  $Z$  – полное сопротивление цепи обратной связи:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_{OC}} + \frac{1}{K_U R_1} + \frac{1}{K_U R_{OC}} \quad (2.7)$$

Сопротивления входного резистора и резистора цепи обратной связи обычно одного порядка и составляют десятки кОм, а коэффициент передачи ОУ очень высокий ( $A > 100\ 000$ ), таким образом, полное сопротивление цепи обратной связи с высокой точностью можно считать равным  $Z = R_{OC}$ .

Кроме того, величина  $\Delta U$  обычно очень мала (несколько мкВ) и если значение входного сопротивления ОУ ( $Z_{ВХ}$ ) высокое (обычно около 10 МОм), тогда входной ток ( $i_{ВХ} = \Delta U / Z_{ВХ}$ ) чрезвычайно мал и им можно пренебречь.  $\Delta U$  иногда называют «виртуальным нулем». Этим понятием широко пользуются при анализе схем, с так называемым, идеальным ОУ. С учетом сказанного, выходное напряжение будет равно:

$$U_{ВЫХ} = - (R_{OC} / R_1) U_1 = -K_U \Delta U_1, \quad (2.8)$$

где  $K_U$  – коэффициент усиления дифференциальной составляющей усилителя, охваченного обратной связью;  $K_U = R_{OC} / R_1$ .

Знак минус в выражении (8) означает, что выходной сигнал имеет полярность противоположную входному сигналу, т.е. инвертирован относительно него, поэтому такой усилитель называют инвертирующим усилителем. Следует обратить внимание, что коэффициент передачи ОУ, охваченного обратной связью, можно регулировать посредством выбора сопротивлений двух резисторов,  $R_1$  и  $R_{OC}$  и он не зависит от параметров ОУ.

### 3 Исследование быстродействия операционного усилителя

#### 3.1 Цель работы

Целью работы является исследование быстродействия ОУ, расчетным и экспериментальными методами.

#### 3.2 Схема исследуемого макета

Макетная плата без нанесенных на нее элементов приведена на рисунке 3.1, принципиальная схема представлена на рисунке 3.2



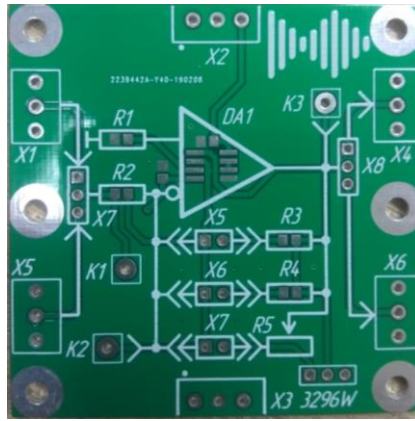


Рисунок 3.1 – Печатная плата исследуемого макета

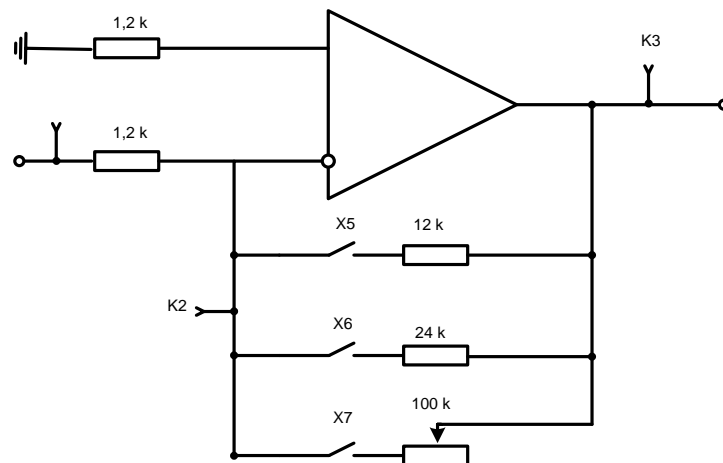


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема исследуемого макета

### 3.3 Расчетное задание

#### 3.3.1 Диаграмма Боде

Диаграмма Боде представляет собой амплитудно-частотную характеристику операционного усилителя

$$K_{uOY} = \frac{K_{uOY0}}{\sqrt{1+(w\tau_B)^2}} \quad (3.1)$$

где  $\tau_B$  - постоянная времени ОУ, которая определяет частоту сопряжения ломаных линий ЛАЧХ  $f_c$ ,

$K_{uOY}$  - коэффициент усиления операционного усилителя охваченного обратной связью;

$K_{uOY0}$  - коэффициент усиления операционного усилителя без обратной связи;

$w$  – частота, ГГц.

Вид диаграммы Боде представлен на рис. 1.

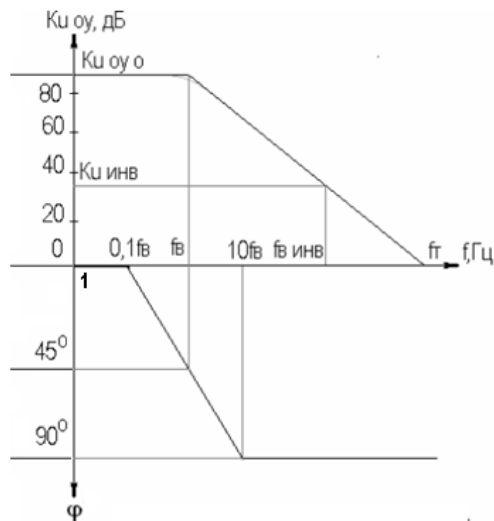


Рисунок 3.3 - Диаграмма Бode

### 3.3.2 Построение диаграммы Бode для ОУ по результатам экспериментальных исследований

Максимальное значение коэффициента усиления определяется следующими выражениями:

$$K_{uOУ} = \frac{R_{OC}}{R_1} + 1 \quad (3.2)$$

$$K_{oc1} = \frac{R_{OC1}}{R_1} + 1, \quad K_{oc2} = \frac{R_{OC2}}{R_1} + 1. \quad (3.3)$$

Значения  $R_{oc1}$ ,  $R_{oc2}$  и  $R_1$  нужно взять из схемы, значения соответствующих верхних частот определяются экспериментально при спаде коэффициента усиления на уровень 0,707 от максимального коэффициента усиления.

Значение коэффициента усиления берется из справочных данных ОУ.

### 3.3.3 Методика проведения эксперимента

1. Собрать схему включения исследуемого устройства (макет №1)
2. Включить два источника питания ОУ  $\pm 12В$ , соблюдая полярность (Приложение А).
3. С внутреннего, встроенного в осциллограф генератора, на вход ОУ подать гармонический входной сигнал амплитудой 10мВ частотой 1 кГц.
4. Измерить амплитуду выходного сигнала и определить экспериментальное значение коэффициента усиления  $K_{з1}$ . Сравнить с расчетным значением по формулам 3.2, 3.3.
5. Увеличивая частоту входного сигнала, определить частоту  $f_{в1}$ , на которой коэффициент передачи уменьшится на 3 дБ (уровень 0,707 от значения на частоте 1 кГц).
6. Повторить пункты 4, 5, изменив значения глубины ОС, установкой резистора  $R_{oc2}$ .
7. По результатам эксперимента построить диаграмму Бode. значение коэффициента усиления ОУ на низких частотах равняется справочному значению коэффициента усиления ОУ без обратной связи,  $K_0 = 60$  дБ.
8. Из диаграммы Бode определить частоту единичного усиления  $f_1$ , и верхнюю частоту ОУ,.

### 3.3.4 Расчет времени нарастания переднего фронта при заданном коэффициенте усиления

Значение коэффициента усиления нужно взять из таблицы соответственно варианту задания

Таблица 3.1 - Значения коэффициента усиления

№ задания	1	2	3	4	5	6	7
К, дБ	10	15	20	25	30	35	40

По частоте единичного усиления из диаграммы Боде и заданному коэффициенту усиления определить:

1. Значение верхней частоты усилителя
- 2.

$$f_v = f_1 / K_0, \quad (3.4)$$

где  $f_1$  - частота, при которой коэффициент усиления равен один раз, или ноль децибел;

$K_0$  – коэффициент усиления ОУ без обратной связи

3. Значение постоянной времени усилителя
- 4.

$$\tau_v = 1 / 2\pi f_v \quad (3.5)$$

5. Время нарастания переходной характеристики,
- 6.

$$t_{фр} = 2,2 \tau_v \quad (3.6)$$

### 3.3.5 Экспериментальное исследование быстродействия усилителя на ОУ

1. Собрать схему включения ОУ с переменным резистором  $R_{ос3}$
2. С внутреннего, встроенного в осциллограф генератора на вход ОУ подать гармонический входной сигнал амплитудой 10мВ частотой 1 кГц.
3. Измерить амплитуду выходного сигнала и установить регулировкой переменного резистора  $R_{ос3}$  заданное значение коэффициента усиления  $K_{э3}$ .
4. Увеличивая частоту входного сигнала, определить частоту  $f_{в3}$ , на которой коэффициент передачи изменится на 3 дБ (уровень 0,707 от значения на частоте 1 кГц).
5. Подать на вход усилителя прямоугольный импульс частотой 1 кГц и амплитудой 10 мВ
6. Измерить время переднего фронта усилителя и сравнить с результатами расчетов

### 3.4 Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Постановку задачи исследований.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты расчетов.
4. Экспериментальные результаты.
5. Диаграмму Боде.

6. Выводы по работе с сопоставлением теории и эксперимента

Отчет оформляется в электронном виде и помещается в месте, указанном преподавателем.

### **3.5 Контрольные вопросы**

1. Назовите частоту единичного усиления.
2. Как определить верхнюю частоту при работе ОУ.
3. От чего зависит максимальное значение коэффициента усиления ОУ с обратной связью.
4. От чего зависит максимальное значение коэффициента усиления ОУ без обратной связи.
5. Как изменяется угол наклона частотной характеристики ОУ при изменении напряжения питания.
6. Как изменяется угол наклона частотной характеристики ОУ при изменении коэффициента усиления
7. Дайте определение диаграммы Боде.
8. Дайте определение термина «операционный усилитель».
9. Поясните к какому входу ОУ включается резистор обратной связи для устойчивой работы ОУ .
10. Как рассчитать полное сопротивление обратной связи в ОУ.
11. Опишите порядок включения питания лабораторного стенда.
12. Как проверить целостность кабелей с BNC разъемами для подачи сигнала генератора в лабораторный макет.
13. Опишите порядок изменения величины резистора обратной связи в лабораторном макете.
14. Опишите порядок измерения выходного сигнала ОУ в лабораторном макете.
15. Опишите порядок действий для ручной калибровки осциллографа, и автокалибровки.

## **Список использованных источников**

1. Красько А.С. Аналоговые электронные устройства: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2000. – 196 с.
2. Титов А. А. Схемотехника сверхширокополосных и полосовых усилителей мощности: Учебное пособие. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/743>, 2007. – 197 с, свободный.
3. Keysight Technologies, Осциллографы InfiniiVision 1000 серии X: Техническое описание. Режим доступа: <http://www.amerit.nnov.ru/uploads/lib/5992-1965RURU.PDF>. – 27 с., свободный.

## Приложение А (справочное) Основы работы с осциллографом Keysight 1000X

### Начало работы:

Нажмите кнопку включения/выключения питания

Кнопка включения/выключения питания находится в левом нижнем углу на передней панели устройства. Осциллограф выполнит процедуру самодиагностики и через несколько секунд будет готов к работе.

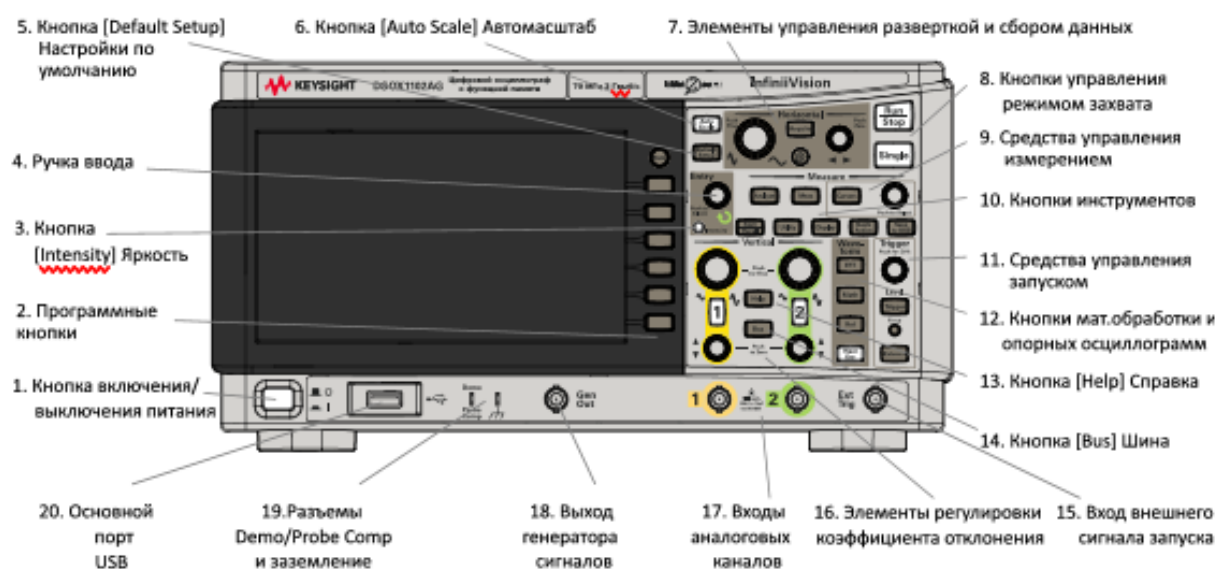


Рисунок А.1 – Органы управления осциллографом

Под кнопкой, находящейся на передней панели, подразумевается любая кнопка (клавиша), которую можно нажать.

Программные кнопки – это шесть кнопок, расположенных непосредственно рядом с дисплеем. Меню и метки программных кнопок отображаются на дисплее при нажатии других кнопок на передней панели. Функции программных кнопок меняются при навигации по разным меню осциллографа.

Описание элементов, обозначенных на данном рисунке с помощью цифр, см. в приведенной далее таблице 1.

Таблица А.1 – Органы управления осциллографом

№ кнопки	Название кнопки	Описание
1	Кнопка вкл/выкл	Чтобы включить питание, нажмите один раз; нажмите еще раз, чтобы отключить питание
2	Программные кнопки	Функции этих кнопок зависят от меню, отображаемых на дисплее рядом с ними. Кнопка Back (Назад) выполняет перемещение назад в иерархии меню программных кнопок. На вершине иерархии кнопка Back (Назад) отключает меню. Вместо него на экране отображаются сведения об осциллографе.
3	Кнопка [Intensity] (Яркость)	Нажмите эту кнопку, чтобы включить её подсветку. После поверните ручку ввода, чтобы отрегулировать яркость отображаемого сигнала.

		Вы можете изменять яркость для выявления подробностей формы сигнала, как и при работе с аналоговым осциллографом.
4	Ручка ввода	Ручка ввода используется для выбора элементов меню и изменения значений параметров. Функция ручки ввода меняется в зависимости от выбранных меню и программной кнопки. Учтите, что когда символ ручки ввода отображается на одной из программных кнопок, также можно выбрать значение с помощью ручки ввода. Часто для осуществления выбора достаточно поворота ручки ввода. Иногда ручку ввода можно нажать, чтобы подтвердить или отменить выбор. Кроме того, нажатием ручки ввода с экрана убираются всплывающие меню.
5	Кнопка [Default Setup] (Настр. по умолчанию)	Нажмите эту кнопку, чтобы восстановить настройки осциллографа по умолчанию
6	Кнопка [Auto Scale] (Автомасштаб)	При нажатии кнопки [AutoScale] (Автомасштаб) осциллограф быстро определяет активные каналы, включает их и масштабирует для отображения входных сигналов на экране.

Для удобства изучения приведем увеличенный вид панели управления смотри рисунок А.2.



Рис. А.2 – Органы управления осциллографом

Продолжение А.1.

7	Элементы управления разверткой и сбором данных	<p>Управление разверткой и сбором данных включает следующие элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ручка масштаба развертки – поверните ручку в секции развертки с меткой для настройки значения времени/деления. Знаки под этой ручкой означают, что с ее помощью можно развернуть или уменьшить сигнал за счет масштабирования по горизонтали. Нажмите ручку масштаба развертки для переключения между точной и грубой регулировкой.</li> <li>• Ручка положения коэффициента развертки – поверните ручку, обозначенную как для горизонтального перемещения по сигналу. При этом можно отобразить полученный сигнал до момента запуска (поворот ручки по часовой стрелке) или после (поворот ручки против часовой стрелки). Если перемещение по сигналу происходит при остановленном захвате осциллографа (по нажатию кнопки STOP), то отображаются данные сигнала, полученного последним.</li> <li>• Кнопка [Acquire] Сбор – нажмите эту кнопку, чтобы открыть меню сбора данных, в котором можно выбрать временной режим "Нормальный", "XY" или "Прокрутки", включить или выключить масштабирование и выбрать точку отсчета времени запуска. Кроме того, можно выбрать режим сбора данных "Нормальный", "Обнаружение пиков", "Усреднение" или "Высокое разрешение",</li> <li>• Кнопка "Масштаб" нажмите кнопку масштаба, чтобы разделить дисплей осциллографа на экраны "Нормальный" и "Масштаб", не открывая меню "Сбор"</li> </ul>
8	Кнопки управления режимом захвата	<p>Когда кнопка [Run/Stop] (Пуск/Стоп) светится зеленым светом, осциллограф работает, то есть, при соблюдении условий запуска выполняется сбор данных. Для останова сбора данных нажмите кнопку [Run/Stop] (Пуск/Стоп).</p> <p>Когда кнопка [Run/Stop] (Пуск/Стоп) светится красным светом, сбор данных остановлен. Для запуска сбора данных нажмите кнопку [Run/Stop] (Пуск/Стоп).</p> <p>Для однократного запуска и отображения данных (вне зависимости, работает осциллограф или остановлен) нажмите кнопку [Single] (Однократный запуск). Пока идет запуск осциллографа, кнопка [Single] (Однократный запуск) светится желтым светом.</p>
9	Средства управления измерением	<p>К средствам управления измерением относятся следующие.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [Analyze] Анализ – нажмите эту кнопку, чтобы обратиться к функциям анализа, таким как установка уровня запуска, установка измерительных порогов, автоматическая настройка запуска по видеосигналам и их отображение или цифровой вольтметр</li> <li>• Кнопка [Meas] Измерения – нажмите эту кнопку для доступа к предварительно заданным измерениям.</li> <li>• Кнопка [Cursors] Курсоры – нажмите эту кнопку, чтобы открыть меню, с помощью которого можно выбрать режим курсоров и источник.</li> <li>• Ручка курсоров – нажмите эту ручку, чтобы выбрать во всплывающем меню курсоры. Затем, когда всплывающее меню</li> </ul>



		закроется (по истечении времени отображения или после повторного нажатия данной ручки), отрегулируйте с ее помощью положение выбранного курсора.
1 0	Клавиши Tools	<p>Сюда относятся следующие кнопки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [Save/Recall] Сохранение/вызов – нажмите эту кнопку, чтобы сохранить настройки осциллографа, изображения экрана, данные сигналов или файлы маски, либо восстановить настройки, файлы маски или опорные сигналы.</li> <li>• Кнопка [Utility] Утилиты – нажмите эту кнопку, чтобы обратиться к меню "Утилиты", в котором можно настроить параметры ввода-вывода осциллографа, пользоваться файловым обозревателем, задавать значения параметров, обращаться к меню обслуживания и выбирать другие функции.</li> </ul> <p>Кнопка [Display] Дисплей – нажмите эту кнопку, чтобы открыть меню, в котором можно включить послесвечение, настроить яркость сетки (координатной), метки сигналов, добавить аннотацию и очистить дисплей</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [Quick Action] Быстрое действие – нажмите эту кнопку, чтобы выполнить выбранное быстрое действие: общий снимок измерений, печать, сохранение, вызов, остановка изображения и другие.</li> <li>• Кнопка [Save to USB] Сохр на устр-ве USB – нажмите эту кнопку, чтобы выполнить быстрое сохранение на USB-накопителе.</li> </ul>
1	Средства управления запуском	<p>С помощью элементов управления запуском задаются параметры запуска осциллографа для сбора данных. Управление включает следующие элементы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ручка уровня – поверните ручку уровня, чтобы настроить уровень запуска для выбранного аналогового канала.</li> </ul> <p>Нажмите ручку, чтобы установить уровень на 50% сигнала. Если используется связь по переменному току, то при нажатии этой ручки уровень запуска будет установлен на 0 В. Положение уровня запуска для аналогового канала показано соответствующим значком 5 в крайней левой части экрана (если аналоговый канал включен). Значение уровня запуска для аналогового канала отображается в верхнем правом углу экрана.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [Trig] Зап. – нажмите эту кнопку, чтобы выбрать тип запуска (по фронту, по длительности импульса, по видеосигналу и т.д.). Можно также настроить параметры, оказывающие влияние на все типы запуска.</li> <li>• Кнопка [Force] Принуд. – инициирует запуск (какого-либо действия) и отображает сбор данных.</li> </ul> <p>Эту кнопку можно использовать в режиме запуска "Нормальный", когда сбор данных осуществляется только при выполнении условия запуска. В этом режиме, если запуск не выполняется (то есть отображается индикатор "Запуц.?"), можно нажать кнопку [Force] Принуд., чтобы принудительно выполнить запуск и проверить поступающие сигналы.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [External] Внешн. – нажмите эту кнопку, чтобы настроить параметры входа внешнего запуска.</li> </ul>
1 2	Мат.обработка и опорные осциллограммы	<p>К дополнительным средствам управления сигналом относятся следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [FFT] БПФ – доступ к функции анализа спектра БПФ.</li> </ul>

	ы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопка [Math] (Математика) — доступ к сигналам математических функций (сложение, вычитание, и т.д.).</li> <li>• Кнопка [Ref] (Опорн.) — доступ к функциям опорного сигнала. Опорный сигнал – это сохраненный сигнал, который можно отобразить и сравнить с сигналом другого аналогового канала или математической функции.</li> <li>• Кнопка [Wave Gen] Генер.сигналов – в моделях осциллографов с индексом G в конце номера, имеющих встроенный генератор сигналов, нажмите эту кнопку, чтобы получить доступ к функциям генератора сигналов.</li> </ul>
1 3	Кнопка [Help] (Справка)	Открывает меню справки, в котором можно просматривать темы справки и выбрать язык отображения.
1 4	Кнопка [Bus] Шина	Открывается меню шины, в котором доступны следующие действия. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отображение шины, состоящей из входов аналоговых каналов и входа внешнего запуска, где канал 1 представляет младший бит, а вход внешнего запуска – старший бит.</li> <li>• Включение декодеров последовательной шины.</li> </ul>
1 5	Вход сигнала внешнего запуска	Внешний разъем входного сигнала запуска BNC.
1 6	Средства регулировки по вертикали	<p>К средствам регулировки по вертикали относятся следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Кнопки включения/выключения аналоговых каналов — эти кнопки используются для включения или выключения канала или для доступа к меню каналов, присвоенных программным кнопкам. Для каждого аналогового канала имеется своя кнопка включения/выключения.</li> <li>• Ручка масштаба коэффициента отклонения – для каждого канала имеются ручки, обозначенные как. Эти ручки используются для изменения чувствительности по вертикали (усиление) каждого из аналоговых каналов.</li> </ul> <p>Нажмите ручку масштаба коэффициента отклонения канала для переключения между точной и грубой регулировкой.</p> <p>По умолчанию устанавливается режим расширения сигнала относительно уровня заземления канала, однако этот режим можно изменить на расширение относительно центра экрана.</p> <p>Ручки положения по вертикали – эти ручки используются для изменения положения канала по вертикали. Для каждого аналогового канала имеется свой регулятор положения по вертикали.</p> <p>Значение напряжения, которое мгновенно отображается в правом верхнем углу дисплея, соответствует разности напряжений между центром экрана по вертикали и уровнем заземления. Оно также может соответствовать напряжению в центре экрана по вертикали, если вертикальное расширение задано относительно заземления.</p>
1 7	Входы аналоговых каналов	<p>Подключите к этим разъемам BNC пробники осциллографа или кабели BNC. Импеданс на входе аналогового канала осциллографа InfiniiVision 1000 серии X составляет 1МОм.</p> <p>Кроме того, в них не предусмотрено автоматического определения пробника, поэтому для обеспечения точности измерений следует должным образом настроить коэффициент затухания пробника.</p>
1 8	Выход генератора	В моделях осциллографов, оканчивающихся на G, встроенный генератор сигналов может выводить на разъем Gen Out BNC

	сигналов	синусоидальный, прямоугольный, пилообразный, импульсный сигналы, постоянное напряжение или шум. Нажмите кнопку [Wave Gen] (Генер.сигналов), чтобы настроить генератор сигналов. Можно также отправить выходной сигнал запуска или сигнал сбоя теста по маске на разъем Gen Out BNC.
1 9	Разъемы Demo/Probe Comp, Ground	<p>Разъем Demo – на этот разъем выводится сигнал компенсации пробника, с помощью которого можно сопоставить входное емкостное сопротивление пробника с каналом осциллографа, к которому тот подключен.</p> <p>При наличии определенных лицензированных функций на этот контакт осциллографа могут также выводиться демонстрационные и учебные сигналы.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Разъем заземления – этот разъем используется для заземления пробников, подключенных к разьему Demo/Probe Comp.</li> </ul>
2 0	Основной порт USB	<p>Этот порт предназначен для подключения к осциллографу USB-накопителей или принтеров.</p> <p>Подключите совместимый с USB накопитель (флеш-память, жесткий диск и т.д.) для сохранения или восстановления файлов настроек осциллографа и опорных сигналов или сохранения данных и изображений экрана. Для выполнения печати подключите совместимый USB-принтер.</p> <p>При наличии доступных обновлений порт USB можно использовать и для обновления системного ПО осциллографа.</p> <p>Перед отключением USB-накопителя "извлекать" его не требуется. Просто убедитесь, что все запущенные операции с файлами выполнены, и отключите устройство от порта USB осциллографа.</p> <p><b>ВНИМАНИЕ!</b> Не следует подключать основной компьютер к основному порту USB осциллографа. Основной компьютер распознает осциллограф как устройство, поэтому его следует подключать к порту осциллографа для устройств (расположен на задней панели).</p>

## 1.2 Экран осциллографа

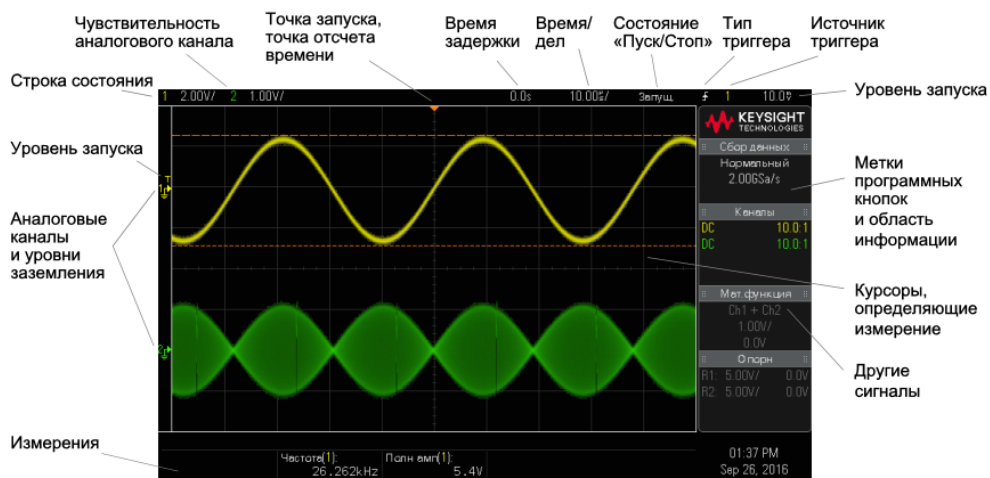


Рисунок А.3 – Графический интерфейс осциллографа

Таблица А.2 Описание функциональных полей экрана осциллографа

Строка состояния	Верхняя строка экрана содержит сведения о настройках по вертикали, горизонтали и настройках запуска.
Область отображения	Область отображения содержит полученные сигналы, идентификаторы каналов, а также индикаторы аналогового запуска и уровня заземления. Сведения о каждом аналоговом канале отображаются разным цветом. Для отображения деталей сигналов используется 256 уровней яркости.
Метки программных кнопок и область информации	При нажатии большинства кнопок передней панели в этой области отображаются краткие названия пунктов меню и метки программных кнопок. Метки описывают функции программных кнопок. Обычно с помощью программных кнопок настраиваются дополнительные параметры выбранного режима или меню. При нажатии кнопки "Назад" выполняется возврат к предыдущему меню иерархии, пока не будут убраны все метки программных кнопок и не отобразится область информации. Область информации содержит сведения о сборе данных, аналоговом канале, математической функции и опорном сигнале. Можно также задать автоматическое выключение меню программных кнопок по истечении указанного периода времени ([Utility] Утилиты > Параметры > Menu Timeout). При нажатии кнопки "Назад", когда отображается область информации, выполняется возврат к последнему открытому меню.
Область измерений	Когда измерения или курсоры включены, эта область содержит результаты автоматических измерений и использования курсоров. Когда измерения выключены, в этой области отображается дополнительная информация о состоянии, описывающая смещение канала и другие параметры конфигурации

## **Приложение Б (справочное)**

### **Порядок подключения питания лабораторного макета**

Включение питания лабораторного макета осуществляется в несколько этапов:

Включить источники питания (ИП), выставить напряжение 12 вольт на двух источниках питания.

Черный провод включаем в клемму плюс верхнего источника питания, второй черный провод включаем в минус нижнего источника питания.

Красный провод включаем в плюс нижнего источника питания.

Синий провод в минус верхнего источника питания. В итоге у нас получается сдвоенный черный провод это нейтраль, синий провод это минус, красный провод это плюс.

Необходимо включить ИП для этого одновременно на обоих ИП нажимаем кнопку OUTPUT. На индикаторах ИП питания должна появиться надпись OUTPUT ON. На дисплеях ИП мы также видим потребляемый ток и мощность, которую потребляет лабораторный стенд.

Перед подключением коаксиальных кабелей стандарта BNC необходимо произвести их проверку, которую можно разделить на следующие этапы:

1. Включить осциллограф со встроенным генератором;
2. Подключить выход генератора ко входу осциллографа через тестируемый кабель;
3. Выставить необходимые параметры, запустить измерения и наблюдать осциллограмму, которая должна соответствовать предустановкам генератора.