

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ Государственное образовательное
учреждение высшего и профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой – руководитель
ОАР ИШИТР

_____ А. А. Филипас

« ____ » _____ 2021 г.

ИЗМЕРЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Микропроцессорная техника и средства автоматизации»
для бакалавров по направлению
15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Издательство
Томского политехнического университета
Томск 2021

УДК 681.3

ИЗМЕРЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ.

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Микропроцессорная техника и средства автоматизации» для бакалавров по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» / Составитель В. В. Курганов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. - 24 с.

Рецензент доцент ОАР ИШИТР, к.т.н. М. В. Скороспешкин

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изучению методическим семинаром ОАР ИШИТР

Протокол № « » от «____»_____2021 г.

Зав. кафедрой – руководитель ОАР ИШИТР _____

А. А. Филипас

Содержание

	стр.
1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
2 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ.	4
3 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА	9
4 АППАРАТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ	13
5 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ	14
6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА	16
7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	16
8 ЛИТЕРАТУРА	16
Приложение 1	
Приложение 2	

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение методов и средств измерения давления.

2 ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

2.1 Определения

Процесс измерения – это совокупность операций, целью которых является определение численного значения физической величины, характеризующей объект измерения [1]. В современных системах управления, как правило, используются сигналы электрической природы (например: напряжение или ток). Однако не следует исключать и сигналы другой природы, например: пневматические или гидравлические.

Датчик – это устройство, которое под воздействием измеряемой физической величины формирует на выходе эквивалентный сигнал, чаще всего электрической природы, являющийся функцией измеряемой величины

$$s = F(m)$$

где s – значение эквивалентной величины на выходе датчика;
 m – значение измеряемой физической величины на входе датчика.

Чаще всего функция преобразования $s = F(m)$ в численной форме определяется экспериментально в процессе градуировки, когда для некоторого числа известных значений величины измеряются соответствующие им значения s , что позволяет построить градуировочную кривую.

В процессе разработки датчика стремятся добиться линейной зависимости s от m , что автоматически обеспечит одинаковую чувствительность (коэффициент усиления) датчика во всём диапазоне изменения измеряемой величины. Одним из условий достижения линейности является использование только линейных элементов при разработке.

Все используемые в практических измерениях датчики можно разделить на две группы:

- генераторные (активные);
- параметрические (пассивные).

Первая группа датчиков обеспечивает на выходе изменяющийся электрический сигнал в виде электрического заряда, напряжения или тока при измерении изменяемой физической величины.

Вторая группа датчиков изменяет свои электрические свойства (параметры – сопротивление, индуктивность, емкость) при измерении изменяемой физической величины.

Различия в характере выходного сигнала предопределяются схемами включения датчиков: активный датчик непосредственно является источником электрического сигнала, в то время как пассивный датчик для формирования такого сигнала требует внешнего источника напряжения или тока.

На практике распространение получили как генераторные, так и параметрические датчики. Но пассивные датчики получили большее распространение ввиду своей универсальности. Рассмотрим один из наиболее универсальных пассивных датчиков - резистивный датчик.

2.2 Основные схемы измерения. Достоинства и недостатки

Изменения сопротивления пассивного датчика R_c , связанного с изменением измеряемой величины m , может быть преобразовано в электрический сигнал путём включения датчика в измерительную цепь с источником напряжения e_s .

Если измерительная схема характеризуется собственным сопротивлением R_k , а измеряемая величина преобразуется в напряжение U_m , то для выходного сигнала можно записать следующее выражение:

$$U_m = e_s F(R_k, R_c).$$

На практике применяются два основных способа измерения сопротивлений:

- потенциометрический;
- мостовой.

Потенциометрический способ

На рисунке 2.1 показана потенциометрическая схема с резистивным датчиком.

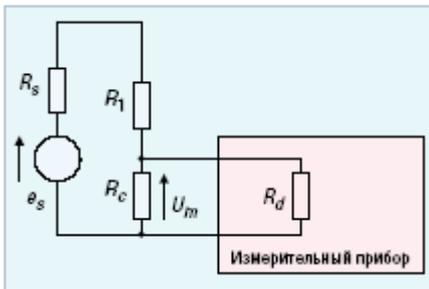


Рисунок 2.1 – Потенциометрический способ измерения

Датчик с изменяющимся сопротивлением R_c , включенный последовательно с постоянным резистором R_1 (эквивалентное сопротивление линий связи), подключен к источнику постоянного напряжения e_s с внутренним сопротивлением R_s .

Напряжение U_m , измеренное на выходе датчика прибором с входным сопротивлением R_d , равно

$$U_m = e_s \frac{R_c \cdot R_d}{R_c (R_1 + R_s) + R_d (R_s + R_1 + R_c)}.$$

Напряжение на выходе датчика, согласно полученному выше выражению, является сложной нелинейной функцией всех элементов схемы. Предположим, что $R_d \gg R_c$, что в практических измерениях именно так, тогда получим:

$$U_m = e_s \frac{R_c}{R_s + R_1 + R_c}$$

Но и в этом случае зависимость выходного сигнала датчика U_m от сопротивления R_c является нелинейной. Очевидно, что для получения линейной статической характеристики необходимо выполнить условие $R_c \gg (R_s + R_1)$, что не всегда возможно.

Другой способ заключается в линеаризации характеристики датчика при работе на её малом участке. Однако ни первый ни второй способы не дают хороших совокупных результатов.

Мостовой способ

В основе многих контрольно-измерительных приборов для измерения сопротивления используется мостовая схема (мост Уитстона) на постоянном токе, разработанная в 1843 году. На рисунке 2.2 представлен мост Уитстона.

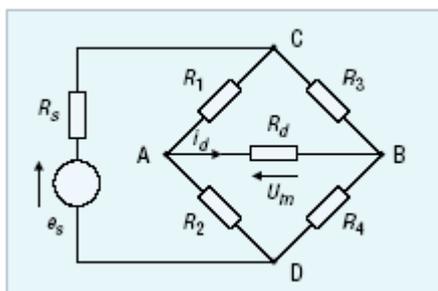


Рисунок 2.2 – Мост Уитстона

На этом рисунке R_s, e_s – внутреннее сопротивление и напряжение источника соответственно, R_d – входное сопротивление измерительного прибора.

Если мост находится в равновесии $U_A = U_B$, то $i_d = 0$.

В соответствии с законом Киргофа и при условии $i_d = 0$ получим **условие равновесия**, выраженное через сопротивления включенные в плечи моста:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3.$$

Важным результатом является то, что условие равновесия моста не зависит от R_s, e_s и R_d .

Основной метод определения величины сопротивления неизвестного резистора в мостовой схеме основан на расчете по известным величинам сопротивлений трех остальных резисторов. Например, резистор с неизвестным сопротивлением подсоединяется вместо резистора R_4 , величины сопротивлений резисторов R_1 и R_3 известны, а резистор R_2 представляет собой проградуированный в Омах потенциометр.

Выполнив нулевое условие при помощи потенциометра R_2 (стрелка вольтметра включенного в диагональ моста показывает ноль) и считав значение сопротивления потенциометра, можно вычислить величину сопротивления резистора R_4 по формуле:

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

Описанный выше метод называется «нулевым методом».

Мостовая схема, в которой измерение неизвестного сопротивления выполняется «нулевым методом» называется уравновешенной и, следовательно, уравновешенный мост. Если мерой сопротивления является напряжение в диагонали моста, то мост называется неуравновешенным.

Рассмотрим случай, когда резистивный датчик находится на значительном расстоянии от мостовой измерительной схемы и подключается к ней соединительными проводами с одинаковым сопротивлением R_f . Тогда условие равновесия будет следующим

$$R_1(R_4 + 2R_f) = R_2R_3.$$

Неприятным моментом является и то, что сопротивление соединительных проводов может изменяться с изменением температуры окружающей среды и вносить дополнительную погрешность.

Для достижения независимости измерения полезного сопротивления от изменения сопротивления измерительных проводов датчик к мостовой схеме подключается по трёхпроводной схеме. Два провода включают в смежные ветви моста, для того чтобы составляющие напряжения разбаланса на них были противоположны по знаку и компенсировали друг друга. В трёхпроводной схеме подключения датчика третий провод подключают либо к источнику питания (см. рисунок 2.3) либо в измерительную диагональ (см. рисунок 2.4)

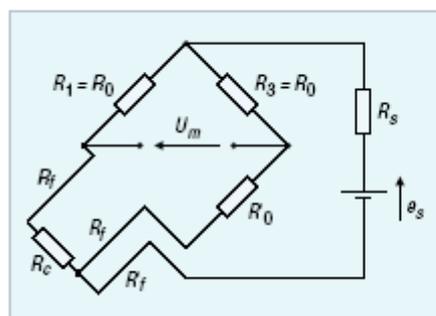


Рисунок 2.3 – Схема трехпроводного подключения датчика (третий провод к источнику)

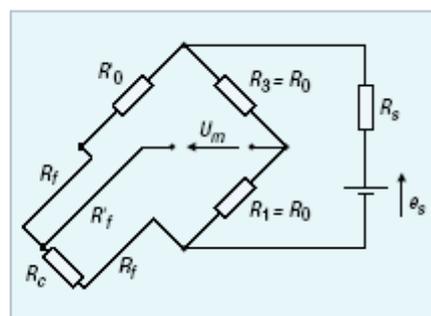


Рисунок 2.4 – Схема трехпроводного подключения датчика (третий провод к измерителю)

Для достижение высокой точности измерения полезного сопротивления, кроме всего прочего, необходимо обеспечить равенство сопротивлений линий связи R_f . Достичь этого позволяют технические и организационные решения.

В случае если достичь равенства сопротивлений линий связи проблематично ($R_{f1} \neq R_{f2}$), то скомпенсировать влияние соединительных проводов на измерения независимо от их параметров можно «нулевым методом» при четырёхпроводном подключении датчика (см. рисунок 2.5)

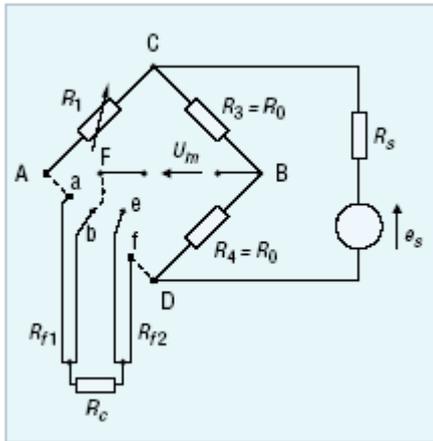


Рисунок 2.5 – Схема четырёхпроводного подключения датчика в мост

В этом случае значение сопротивления определяется R_c определяется по двум последовательным уравниваниям моста при двух различных вариантах коммутации соединительных проводов датчика.

При первом уравнивании концы проводов соединяются следующим образом:

$$A \rightarrow a, D \rightarrow f, F \rightarrow b.$$

Мост уравнивается переменным резистором R_1 , сопротивление которого в положении равновесия равно R_1' , так что

$$(R_1' + R_{f1})R_0 = (R_c + R_{f2})R_0.$$

При втором уравнивании моста концы подключают следующим образом:

$$A \rightarrow f, D \rightarrow a, F \rightarrow e.$$

Равновесие измерительного моста устанавливается при значении сопротивления R_1'' , при этом

$$(R_1'' + R_{f2})R_0 = (R_c + R_{f1})R_0.$$

Сопротивление датчика вычисляют по результатам двух уравниваний:

$$R_c = (R_1' + R_1'') / 2.$$

На практике данный метод применим только в рамках лабораторных измерений.

3 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

Вид сигнала определяется видом передаваемой энергии. В связи с этим можно выделить:

- электрические сигналы (энергия электрического поля);
- пневматические сигналы (энергия сжатого воздуха);
- гидравлические сигналы (энергия сжатой жидкости).

В системах автоматизации применяются электрические и пневматические сигналы. Гидравлические сигналы применяются крайне редко.

Наибольшее распространение в системах автоматизации получили электрические сигналы, обладающие такими преимуществами, как:

- высокая скорость передачи;
- простота прокладки линий связи;
- возможность передачи сигналов на большие расстояния;
- универсальность и доступность источников энергии.

Факторами, ограничивающими использование электрических сигналов, в ряде случаев могут быть взрыво- и пожароопасные условия эксплуатации оборудования и низкая помехозащищенность электрических линий связи. Электрическая энергия в данном случае выступает как возможный источник воспламенения

Факторы, ограничивающие использование электрических сигналов, не действуют на пневматические сигналы. Энергия, сосредоточенная в сжатом воздухе под давлением 4-6 кгс/см² не является возможным источником воспламенения. Область применения пневматических сигналов: нефтяная, химическая, нефтехимическая промышленность и т.д.

Недостатками пневматических сигналов являются:

- низкая скорость передачи и сильное затухание сигналов в линиях связи;
- сложность прокладки линий связи;
- необходимость промежуточных усилителей при передаче сигналов на большие расстояния;
- серьёзные требования к качеству сжатого воздуха (отсутствие механических примесей, влажность)
- энергоёмкость и специфичность источников энергии.

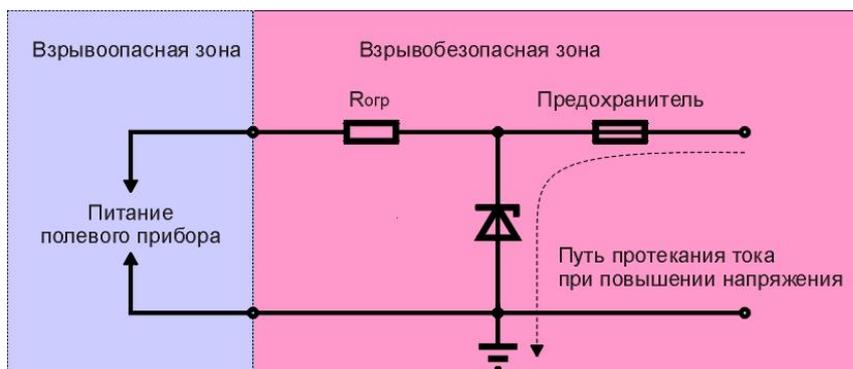
Несмотря на серьёзные недостатки пневматические сигналы и, соответственно, пневматические средства автоматизации вплоть до 90-х годов прошлого столетия преобладали при проектировании систем автоматизации взрыво- и пожароопасными объектами.

Однако в последнее время практически во всех областях промышленности наметился отказ от пневматических средств автоматизации с переходом на электрические. Это стало возможным благодаря специальным устройствам: барьерам и изоляторам (активным барьерам) искробезопасности. Основное назначение этих устройств заключается в ограничении передаваемой во взрыво- и (или) пожароопасную зону энергии на уровне, который не способен привести к возникновению искры (пламени) в этой зоне. Барьеры и изоляторы это устоявшаяся терминология. Под ба-

рьером понимают пассивное (без источника питания) устройство одноразового использования.

Под изолятором понимают активное устройство (с внутренним источником питания) с функцией восстановления после возможной аварии.

Ограничение энергии, передаваемой в во взрыво- и (или) пожароопасную зону, в обоих устройствах выполняется ограничением передаваемого во взрывоопасную зону тока и напряжения. Передаваемое напряжение и обоих случаях ограничивается с помощью стабилитронов. Передаваемый ток в первом случае ограничивается плавким одноразовым предохранителем (см. рисунок 3.1), во втором случае функцию ограничения более сложным электронным путём, включая гальваническую изоляцию входа от выхода.



3.1 – Пассивный барьер

Для организации взаимодействия между различными устройствами автоматизации выполнена унификация сигналов, основной целью которой является, во-первых, сокращение количества сигналов, а во-вторых, определения общих правил построения этих устройств, обеспечивающих энергетическую совместимость.

В таблице 3.1 приведён перечень унифицированных сигналов. Перечень сигналов соответствует ГОСТ 26.011.

Таблица 3.1 – Унифицированные сигналы

Электрические сигналы				Пневматические сигналы, кПа	Гидравлические сигналы, МПа
Постоянный ток, мА	Напряжение постоянного тока, мВ	Напряжение переменного тока, В	Частота, кГц		
0÷5 (-5) ÷ 0 ÷ 5	0÷10 (-10) ÷ 0 ÷ 10	0÷2,0 (-1,0) ÷ 0 ÷ 1,0	0÷8 2÷4	20÷100	0,1÷6,4
0÷20 (-20) ÷ 0 ÷ 20	0÷20 0÷50		4÷8 0÷100		
4÷20	0÷1,0 (-1,0)				

	0÷1,0			
	0÷5			
	0÷10			

Из электрических сигналов наибольшее распространение получили сигналы постоянного тока и напряжения: 0÷5 мА, 4÷20 мА, 0÷10 В.

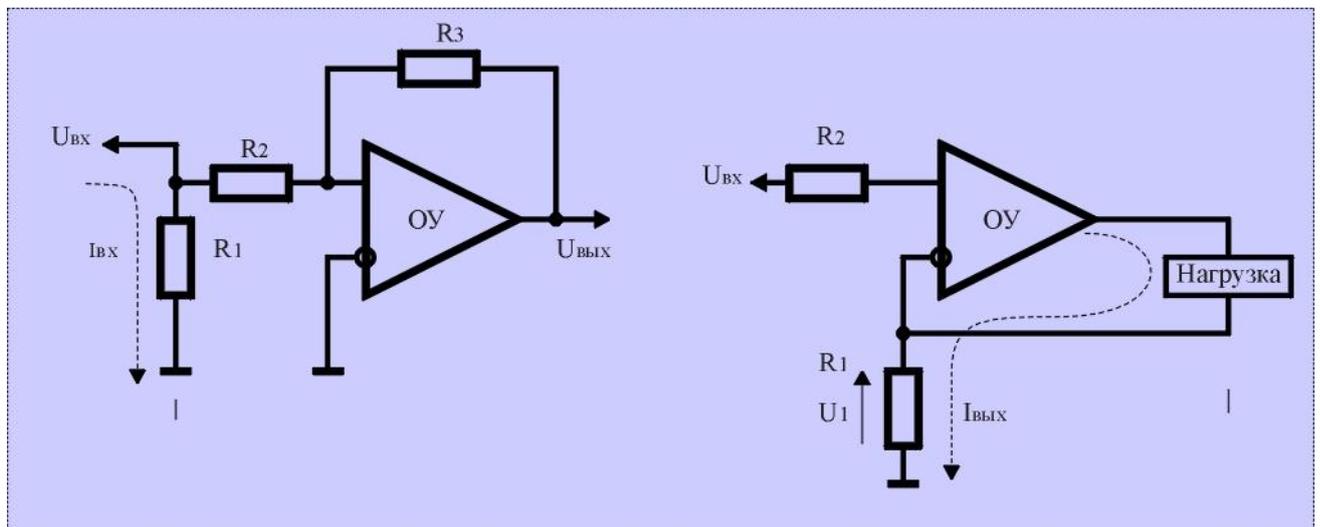
В зарубежных приборах автоматизации, а в настоящее время и в отечественных приборах, основным унифицированным сигналом является сигнал тока 4÷20 мА. Выбор сигнала с уровнем 4÷20 мА позволяет идентифицировать неисправность прибора (0 мА) и нулевой измеряемый сигнал (4 мА).

В процессе передачи и использования сигнала часто возникает необходимость его преобразования из токового сигнала в сигнал напряжения и наоборот. Например, для передачи сигнала на значительные расстояния предпочтительнее работать с токовыми сигналами, которые менее чувствительны к всевозможным помехам и сопротивлениям линий связи. Однако при обработке сигнала удобнее работать с сигналом напряжения. Поэтому, неудивительно, что в одном измерительном канале сигнал может несколько раз преобразовываться. Каждое преобразование вносит свою погрешность в измерения и поэтому желательно сократить количество таких преобразований в одном измерительном канале.

На рисунке 3.2а представлена типовая схема преобразования ток – напряжение, выполненная на дифференциальном операционном усилителе ОУ. Если выполнить условие $R1 \gg R$, с высокой точностью можно считать

$$U_{ВХ} = I_{ВХ} \cdot R_1,$$

где $I_{ВХ}$ – преобразуемый ток.



а)

б)

Рисунок 3.2 – Преобразование сигналов
а – ток - напряжение; б – напряжение - ток

Выходное напряжение ОУ:

$$U_{\text{ВЫХ}} = k \cdot U_{\text{ВХ}} = k \cdot I_{\text{ВХ}} \cdot R_1; \quad k = R_3 / R_2,$$

где k – коэффициент усиления ОУ.

Из выражения следует, что величина выходное напряжение ОУ зависит от входного тока и величины коэффициента усиления.

Чтобы преобразовать сигнал напряжения в токовый сигнал, применяется схема, представленная на рисунке 3.2б. Для дифференциального усилителя с большим коэффициентом усиления можно записать

$$U_{\text{ВХ}} = U_1 = I_{\text{ВЫХ}} \cdot R_1.$$

Из выражения следует, что величина выходного тока не зависит от величины нагрузки при условии, что выход усилителя не находится в насыщении.

4 АППАРАТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний вид лабораторной установки приведен на рисунке 4.1.

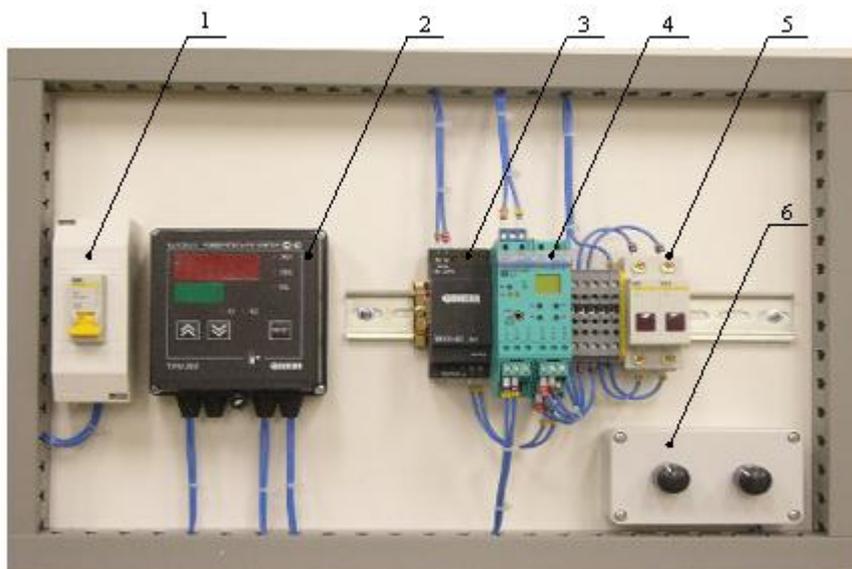


Рисунок 4.1 - Внешний вид лабораторной установки

1 – автоматический выключатель SF1/3А; 2 – измеритель TPM202;
3 – источник питания БП15Б-Д2 (24В, 15Вт); 4 – преобразователя KFD2-CRG-Ex1,
5 – световые индикаторы; 6 – датчики тока (грубо/плавно)

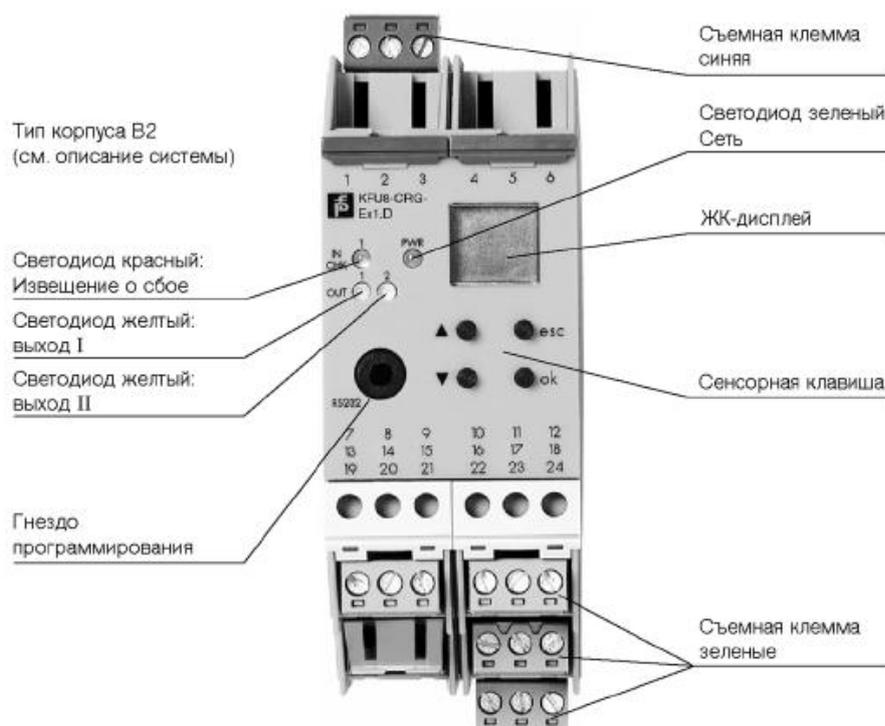


Рисунок 4.2 - Внешний вид и назначение органов сигнализации и управления преобразователя KFD2-CRG-Ex1

5 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

- 1 Изучите настоящие методические указания к выполнению лабораторной работы.
- 2 Ознакомьтесь с электрической схемой установки.
- 3 Изучите расположение элементов системы на стенде.
- 4 Ознакомьтесь с техническими характеристиками приборов и органами управления, расположенными на стенде.
- 5 Убедитесь в том, что переключатель «ЗАДАТЧИК» / «ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» находится в положение «ЗАДАТЧИК». Если это не так, переведите его в положение «ЗАДАТЧИК».
- 6 Включите стенд автоматическим выключателем, расположенным слева сверху.
- 7 Убедитесь в работоспособности установки. Если стенд исправен и все органы управления находятся в требуемом положении, то сразу после подачи напряжения на лицевых табло преобразователя KFD2-CRG-Ex1 и измерителя ТРМ202 появятся цифровые значения входного тока.
- 8 Установите задатчики тока в крайнее левое положение. Убедитесь в том, что задатчики «грубо» и «плавно» соответствуют быстрому и плавному изменению тока соответственно.

Работа с PACTware

- 9 В соответствии с Приложением 2 запустите программу **PACTware** на персональном компьютере.
- 10 Убедитесь в наличии связи между преобразователем KFD2-CRG-Ex1 и персональным компьютером.
- 11 Создайте проект в **PACTware** для преобразователя KFD2-CRG-Ex1 (без сохранения).
- 12 Настройте границы срабатывания преобразователя в соответствии с заданным вариантом. Вариант задания выберите из таблицы 5.1 «Варианты заданий», предварительно согласовав выбор с преподавателем.
- 13 Настройте выходы преобразователя.
- 14 Проконтролируйте наличие показаний (ток в диапазоне 4-20 мА) на приборе ТРМ202.

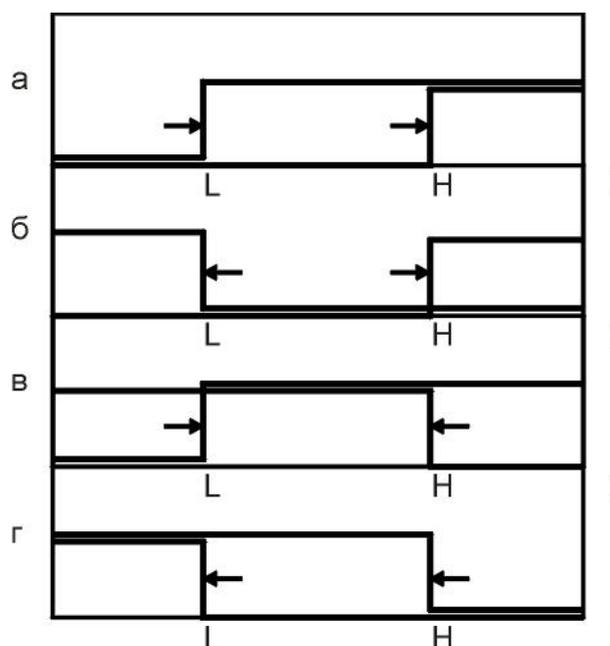


Рисунок 5.1 – Варианты настройки границ срабатывания преобразователя

16 Задайте и измерьте ток в 9 точках диапазона 4-20 мА, включая границы. Результаты измерения контролируйте по первому каналу измерителя ТРМ202, а задания - по второму каналу.

17 Рассчитайте приведённую погрешность (класс точности) преобразователя, принимая за истинные значения показания входного токового сигнала, измеренные по второму каналу измерителя ТРМ202.

Погрешность вычисляется по формуле

$$\delta_x = \frac{X_{\text{ист}} - X_{\text{изм}}}{X_n}$$

где $X_{\text{ист}}$ - истинное значение (канал 2 ТРМ 202);

$X_{\text{изм}}$ - измеренное значение (канал1 ТРМ201);

X_n - нормирующее значение (20 мА).

18 Сделайте выводы о соответствии заявленного класса точности преобразователя его реальным метрологическим характеристикам.

Таблица 5.1 – Варианты заданий

Вариант	L	H	Номер рисунка
1	6,5	18,3	а
2	7,8	16,5	в
3	5,4	14,3	г
4	4,8	15,9	б

19 Выводы о проделанной работе.

20 Ответы на контрольные вопросы.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с установленными правилами и содержать следующее.

- 1 Титульный лист с указанием номера и названия работы, фамилии студентов, выполнивших работу, дату выполнения.
- 2 Цель работы.
- 3 Электрическую схему стенда и вариант настройки границ срабатывания преобразователя.
- 4 Необходимые расчёты и выводы по работе.
- 5 Ответы на контрольные вопросы.

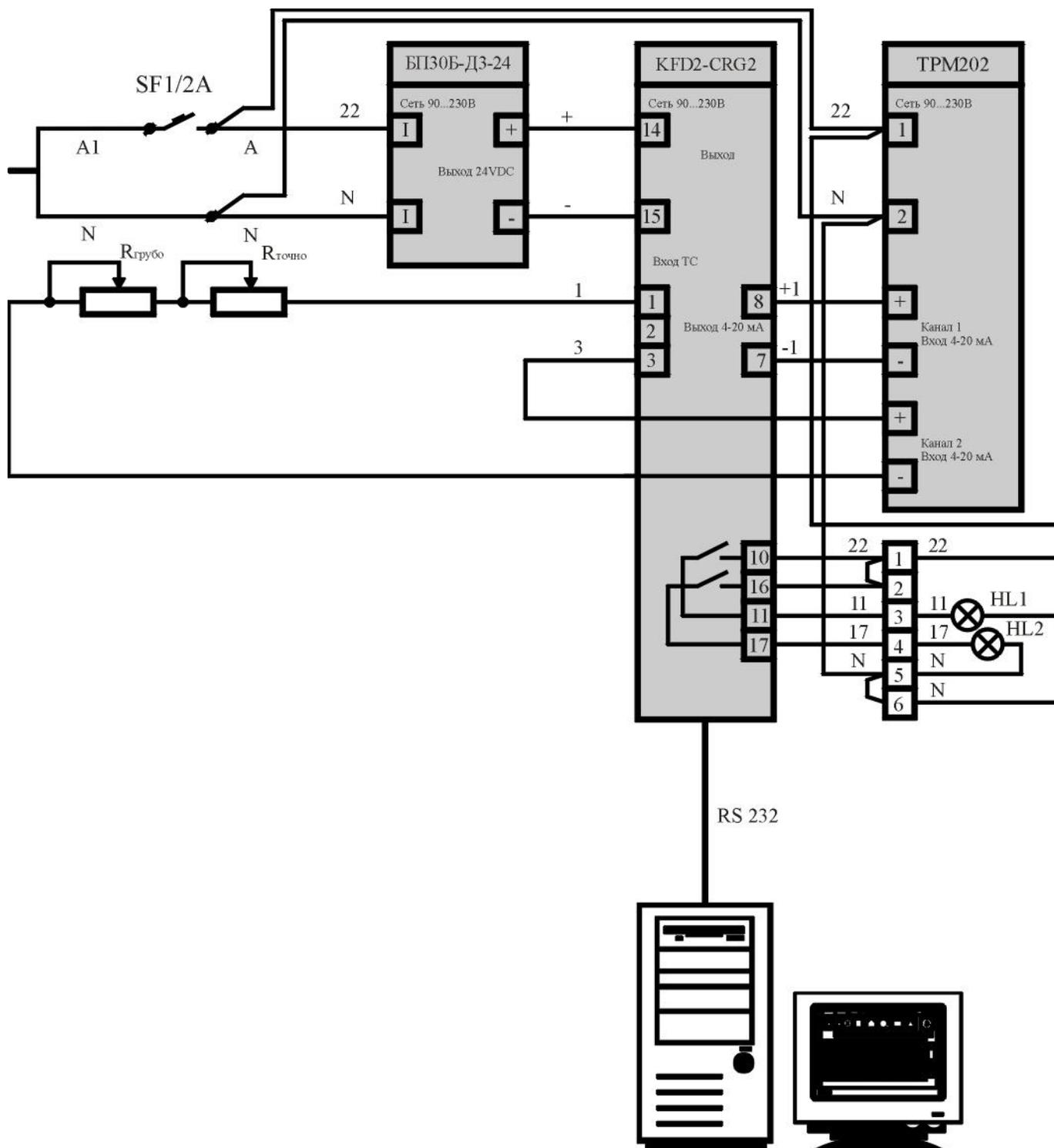
7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите технические и организационные методы, позволяющие достичь равенства сопротивлений соединительных линий.
2. Поясните, как выполняется измерение сопротивления «нулевым методом» и что является мерой.

8 ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев В. Структура измерительной системы на базе пассивных датчиков: Журнал «Современные технологии автоматизации» № 1, 2002 г.
2. Фарзанае Н. Г., Илясов Л. В., Азим-заде А. Ю. Технологические измерения и приборы: Учебник для студентов вузов по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с.: ил.

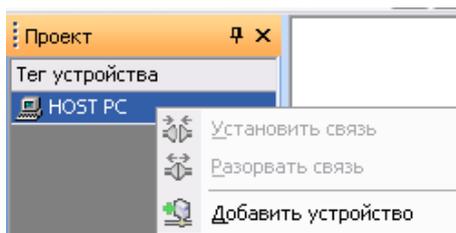
Схема электрическая лабораторной установки



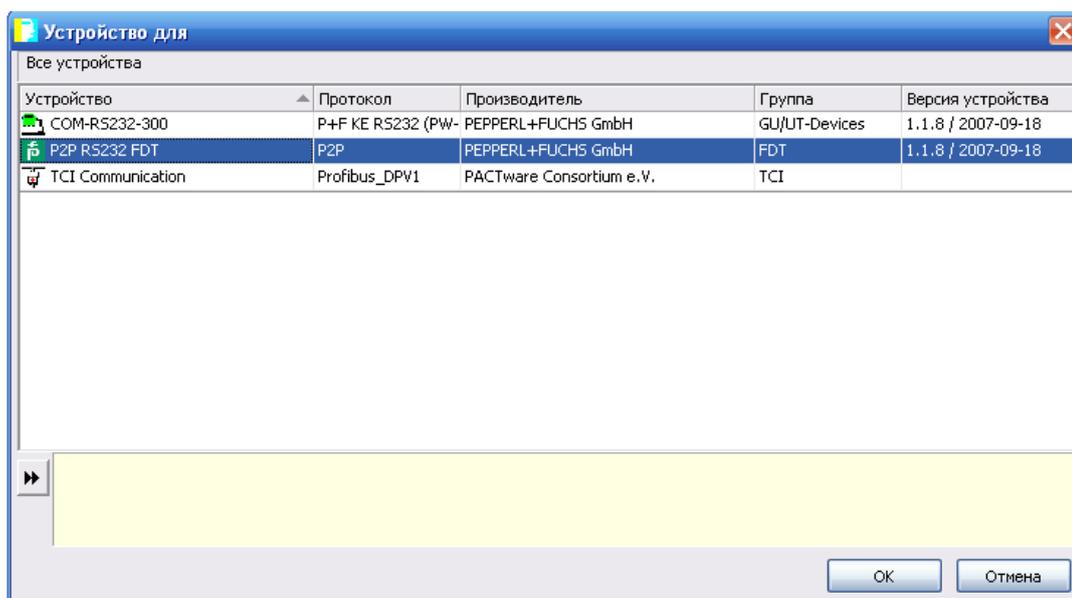
Создание проекта в PACTware

Запустите программу **PACTware**, установленную на компьютере. Ярлык для запуска **PACTware** находится на рабочем столе.

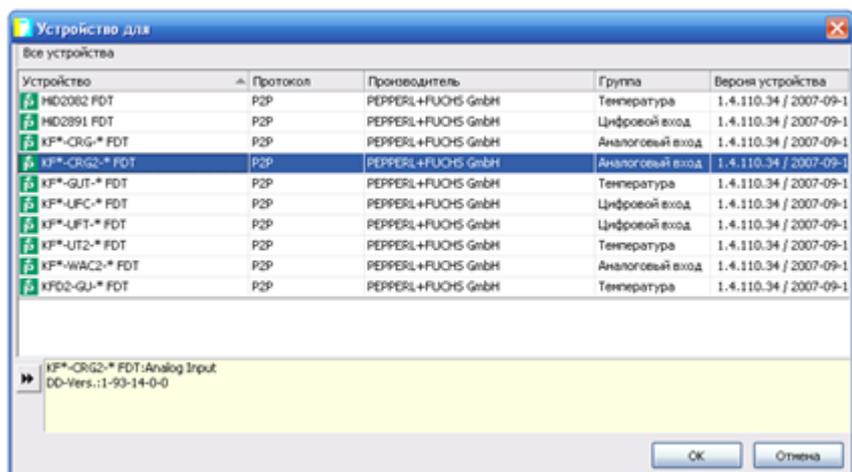
В группе меню **Устройство** в **Панели навигации** выбрать команду **Добавить устройство**.



В открывшемся списке устройств выбрать связь с приборами – P2P RS232 FDT.



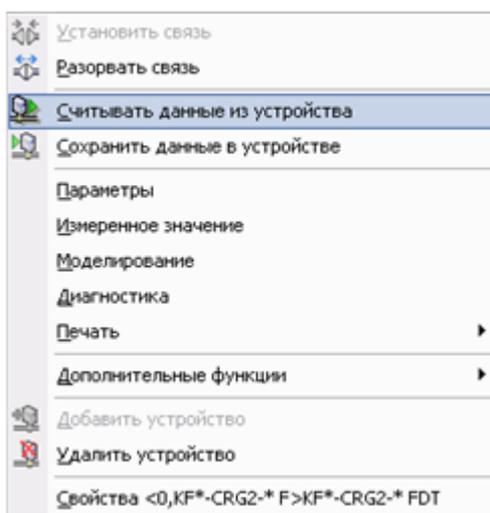
Вновь вызвать группу меню **Устройство**, выбрать **Добавить устройство** и в открывшемся окне выбрать тип барьера **KF*-CRG-*FDT**:



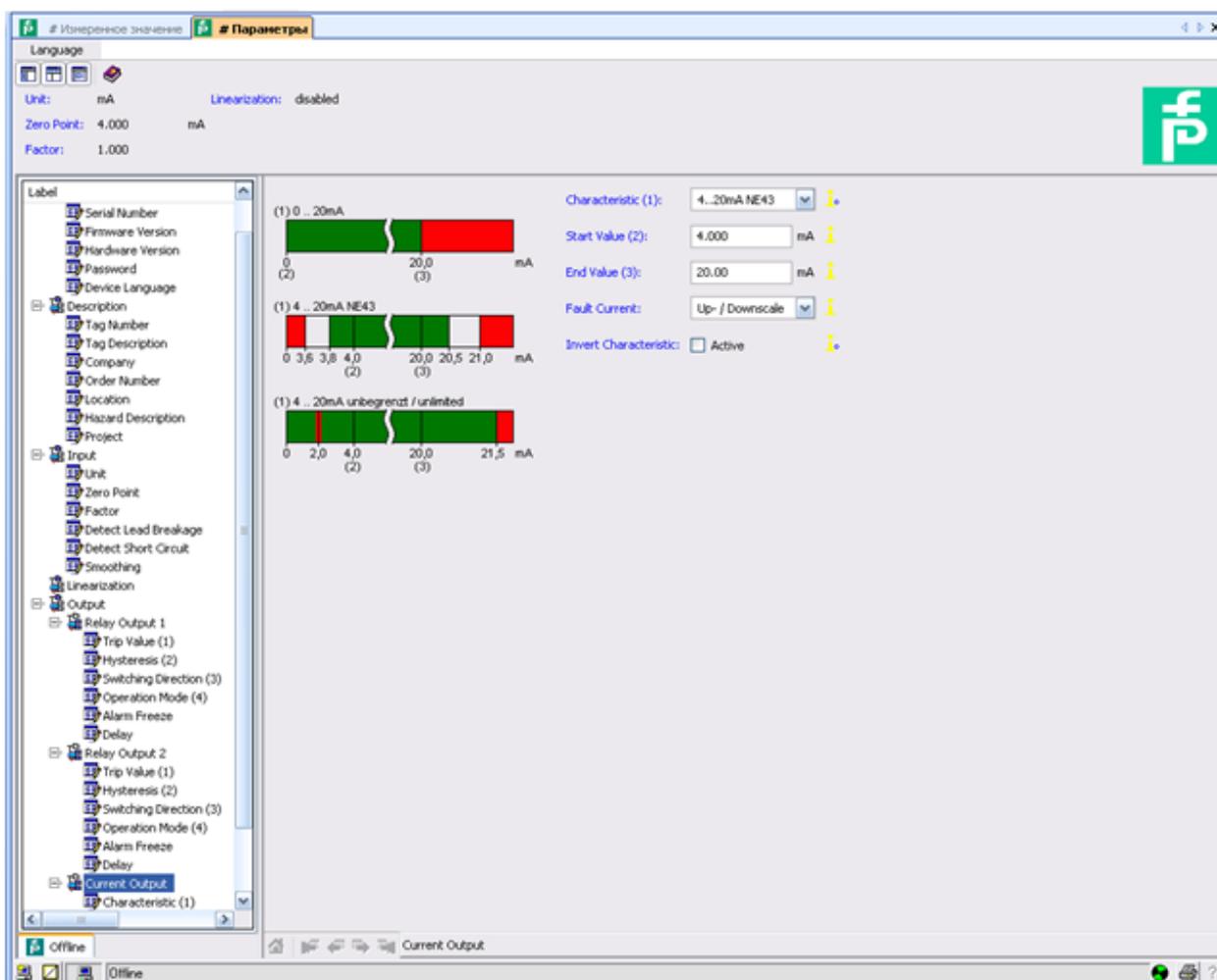
Перед тем как перейти к выполнению лабораторной работы убедитесь в подключении преобразователя к компьютеру.

Правой кнопкой мыши на каталоге устройств откройте контекстное меню и выберите команду **Установить связь**.

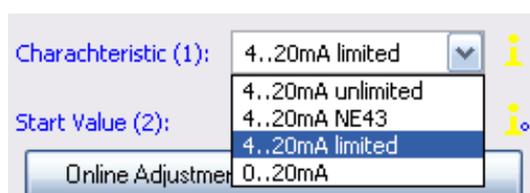
После успешного установления связи в меню **Устройство** выберите команду **Считывать данные из устройства**.



После считывания данных из устройства становятся доступными все параметры, запрограммированные в устройстве. Переключаясь между вкладками, запрограммируйте преобразователь для решения Вашей конкретной задачи.



На вкладке **Output** установите необходимые параметры тока 4..20 mA limited (выходной сигнал барьера будет изменяться в данном токовом диапазоне).

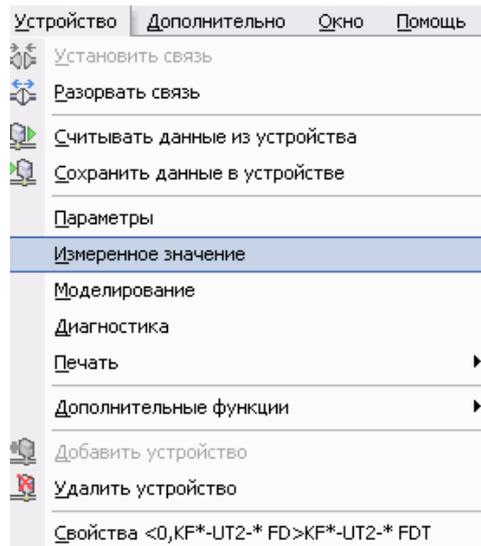


Установите пределы выходного токового сигнала, чтобы исключить возможность превышения сигналом заданных границ.

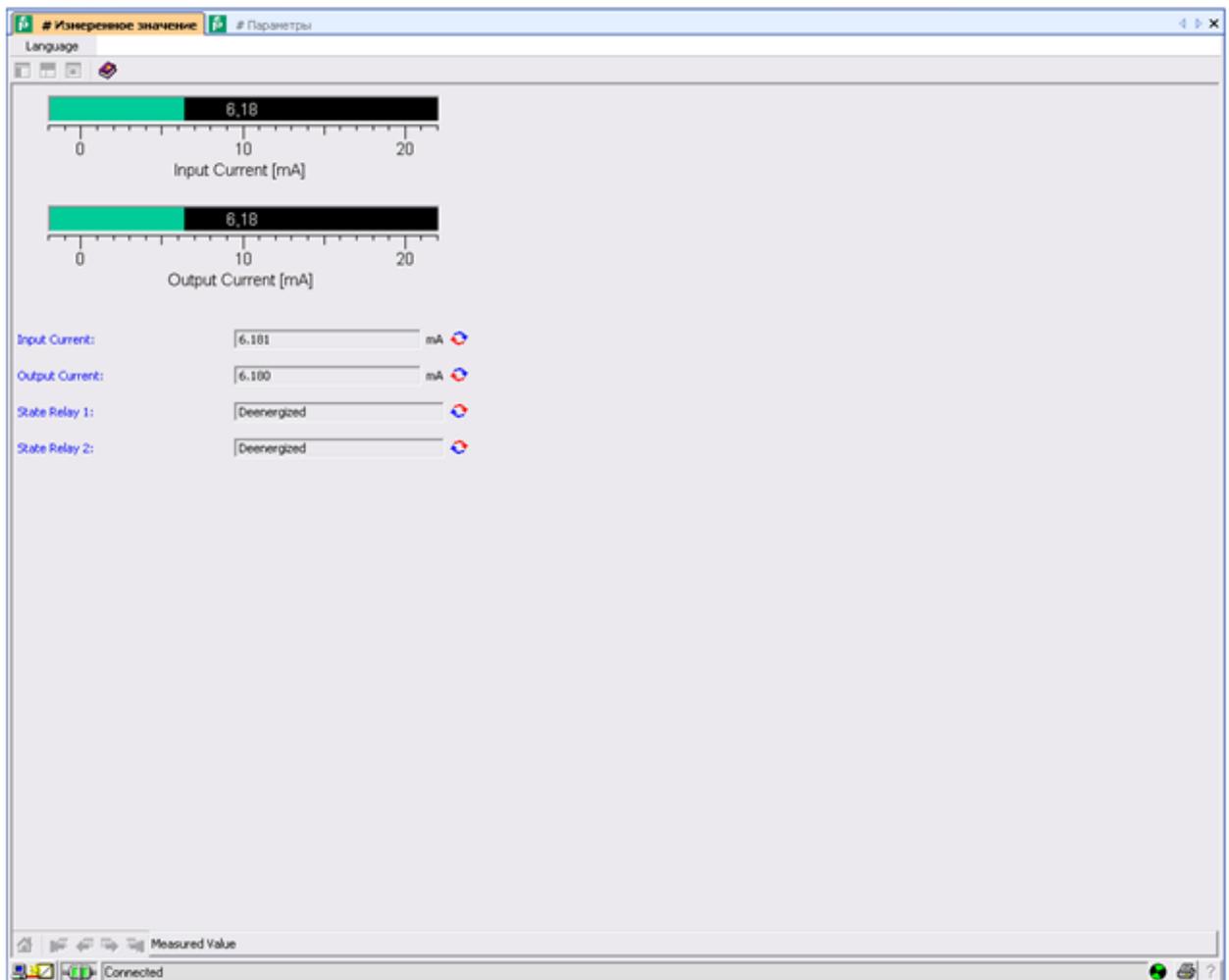


Измерение

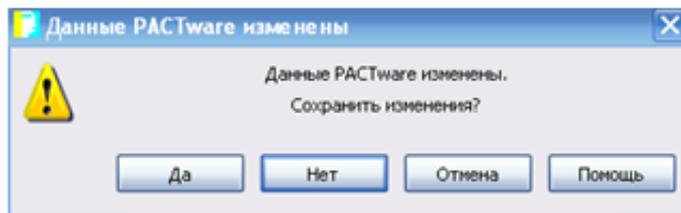
Войдите в режим **Измеренное значение**



На экране появится окно с результатами измерений



Перед выходом из программы никаких изменений не сохранять!!!



Для замечаний

ИЗМЕРЕНИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

Методические
указания

Составитель Курганов Василий
Васильевич

Подписано к печати «___»_____2021 г.

Формат 60x84-16. Бумага

«Классика»

Печать RISO. Усл. печ. л. 1.16. Уч. – изд. л. 1.05.

Заказ № _____ . Тираж 20 экз.

	<p>Томский политехнический университет Система менеджмента качества Томского политехнического университета сертифици- рована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000 ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ</p>	
<p>. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.</p>		