

Цифровое устройство для температурных 4-х зондовых измерений

Для автоматизации измерений с использованием температурных датчиков и резистивных мостов производятся и широко применяются специализированные микросхемы. Такие микросхемы обычно имеют в своем составе 24-х разрядный сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь (АЦП), коммутаторы входов и программируемый масштабный усилитель. Для уменьшения количества внешних радиокомпонентов и снижения стоимости конечного продукта в микросхемы могут быть встроены дополнительные узлы, такие как источники опорного напряжения, температурный датчик, программируемые источники тока и т.п.

Одним из представителей микросхем АЦП, ориентированных на температурные и мостовые измерения, является ADS1220. Имея невысокую стоимость, эта микросхема содержит все узлы, необходимые для осуществления высокоточных измерений с помощью температурных датчиков разных видов: термопар, терморезисторов, а также термометров сопротивления с 2-х, 3-х или 4-х проводным подключением.

Микросхема ADS1220 имеет в своем составе 24-х разрядный АЦП, аналоговые коммутаторы, программируемый масштабный усилитель, встроенный датчик температуры, источник опорного напряжения и два программируемых источника тока.

Учитывая высокую степень интеграции микросхемы ADS1220, на ее основе можно создать очень компактное устройство, размещаемое в непосредственной близости от измеряемого объекта. Такое размещение позволит до минимума сократить длину соединительных проводов, что, в свою очередь, приведет к существенному снижению уровня электромагнитных наводок во входных измерительных цепях.

Данное устройство разработано для оценки применимости микросхемы ADS1220 для задач измерения зависимости (поверхностного?) сопротивления образцов от температуры. При условии, что в качестве датчика температуры используется термопара, а измерение (поверхностного?) сопротивления осуществляется 4-х зондовым методом.

Устройство является программно-управляемым источником-измерителем. Для проведения измерений оно содержит:

- канал измерения напряжения датчика температуры;
- программируемый источник тока с двумя независимыми выходами;
- канал измерения напряжения на потенциальных контактах;
- коммутатор направления тока через токовые контакты;
- два канала измерения напряжения на выходах источников тока.

На Рис.1 приведена структурная схема устройства. Программируемый контроллер Arduino Nano осуществляет низкоуровневое взаимодействие с ADS1220 и обеспечивает доступ внешних устройств к ресурсам ADS1220 по протоколу RS232 через порт USB.

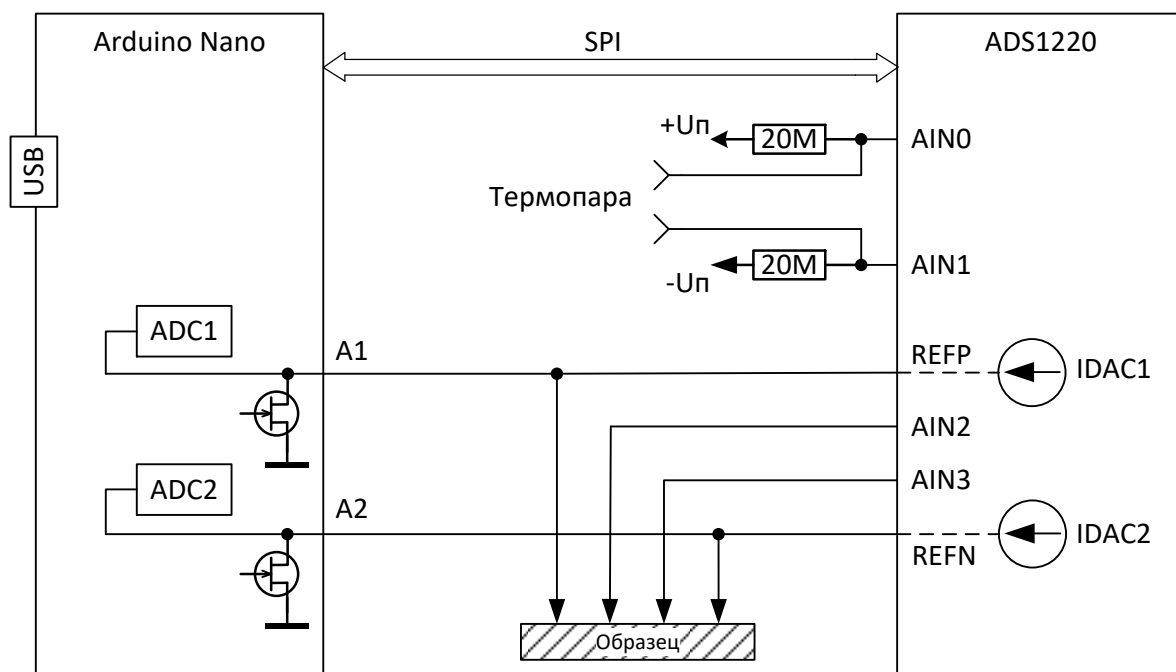


Рис. 1 Структурная схема устройства.

Версии устройства

Последовательно, путем модернизации, были изготовлены две версии устройства – V.1 и V.2.

V.1 – содержал одну микросхему ADS1220 с однополярным питанием. Себестоимость ~ 1000 руб.

V.2 – содержит две микросхемы ADS1220. Одна микросхема питается от биполярного источника напряжения ± 2.5 В и используется только для измерений. Другая микросхема питается от однополярного источника напряжения +5 В и используется только в качестве программируемого источника тока. Себестоимость ~ 1500 руб.

Создание устройства V.2 связано с тем, что при измерении напряжений близких к нулю нужно использовать большие коэффициенты усиления (КУ) встроенного в ADS1220 масштабного усилителя, а при однополярном питании передаточная характеристика этого усилителя при $KY > 4$ становится нелинейной.

В устройстве V.2 остаются не задействованными два дифференциальных канала измерения напряжения и два программируемых источника тока. Эти ресурсы можно использовать для измерения температуры с помощью 4-х проводного термометра сопротивления.

Технические характеристики

- Чувствительность канала измерения напряжения: 0,1 мкВ (для V.2), 2 мкВ (для V.1);
- Тип каналов измерения напряжения: дифференциальный;
- Диапазон предельного измеряемого напряжения: ± 2 В;
- Диапазон установки источников тока: 10 – 1500 мкА;
- Точность установки тока: 1%;
- Максимальное напряжение на выходе источников тока: 3.8 В;

- Предельное сопротивление между токовыми контактами: 370 кОм;
- Время измерения одной точки: 3 секунды;
- Питание: по кабелю USB или от источника постоянного напряжения 7 – 12 В.

Схемно-технические особенности устройства

Подтягивающие резисторы номиналом 20 Мом (Рис.1) обязательны при однополярном питании микросхемы ADS1220 (устройство V.1). В устройстве V.2 они не обязательны, но при их наличии имеется возможность определить обрыв в цепи термопары. При обрыве, напряжение на входе канала AIN0-AIN1 будет равно напряжению питания.

Для переключения направления тока через токовые контакты используется мостовая схема. В качестве нижних ключей использованы внутренние полевые транзисторы выводов микроконтроллера. Используются выводы имеющие возможность подключения к АЦП микроконтроллера. Измеряя напряжение на открытом выводе можно контролировать режим работы соответствующего стабилизатора тока. В режиме стабилизации напряжение на выходе стабилизатора тока не превышает 3.7 В. Большее напряжение указывает на обрыв или слишком большое сопротивление в токовой цепи.

Выходы стабилизаторов тока постоянно подключены к соответствующим токовым контактам. Выбор направления тока через токовые контакты осуществляется только замыканием одного из нижних ключей на общий провод. При замыкании выхода стабилизатора тока на общий провод, соответствующий стабилизатор продолжает работать и не выходит из режима стабилизации.

Специальное программное обеспечение

В состав устройства входит модуль микроконтроллера, работающий под управлением специального программного обеспечения (СПО). Он обеспечивает следующие функции:

- прием и обработку управляющих директив по последовательному интерфейсу по протоколу RS-232;
- управление микросхемами ADS1220;
- предварительную цифровую обработку данных, поступающих от измерительных каналов – накопление с усреднением без экстремальных значений, конвертирование отсчетов АЦП в напряжение (мВ) с учетом коэффициента усиления;
- передачу данных по запросу рабочей станции с прикладным программным обеспечением.

СПО реализуется как прошивка для микроконтроллера. СПО создано и загружено в микроконтроллер в среде разработки Arduino.

Средствами СПО реализована непрерывная автоматическая коррекция внутреннего постоянного смещения ADS1220, а также устраняется дрейф этого смещения в зависимости от температуры. Для этого вместо одного преобразования выполняется два, но с разной полярностью аналоговых входов. Из первого результата преобразования вычитается второй, результат вычитания делится на два.

Общий вид устройства

Устройство имеет габариты 40x50x25 мм. Фотографии устройства с подключенным тестовым набором сопротивлений представлены на Рис.2 и Рис.3. Вместо термопары подключено постоянное сопротивление номиналом 10 кОм.

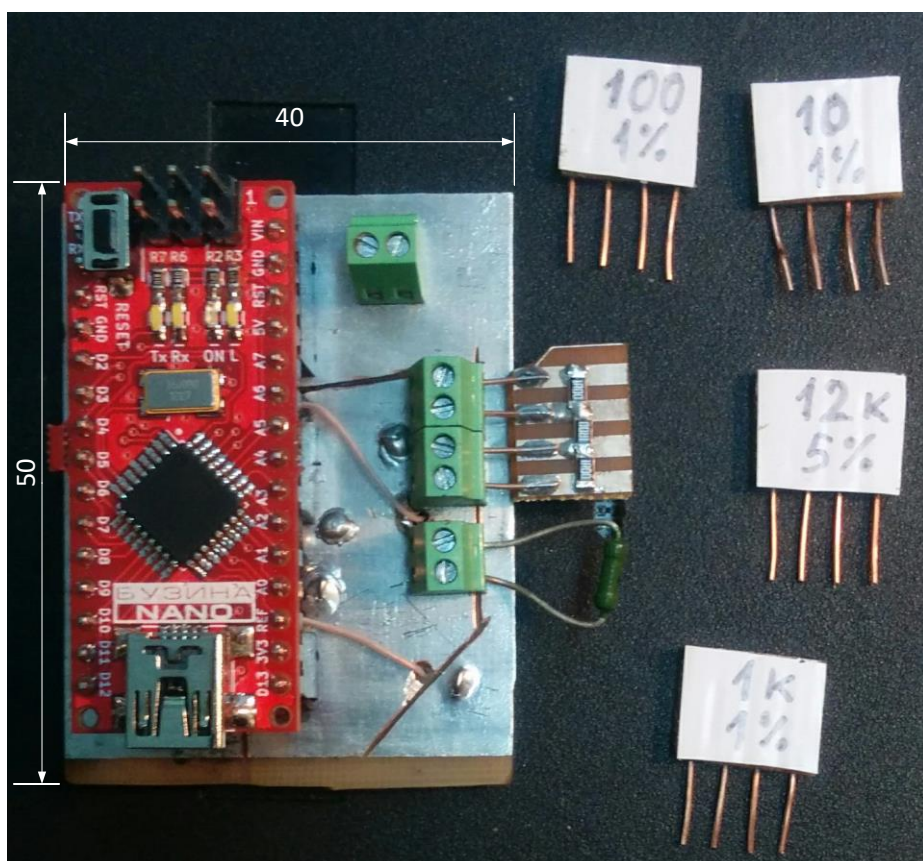


Рис. 2 Вид на устройство со стороны микроконтроллера и наборы тестовых сопротивлений.

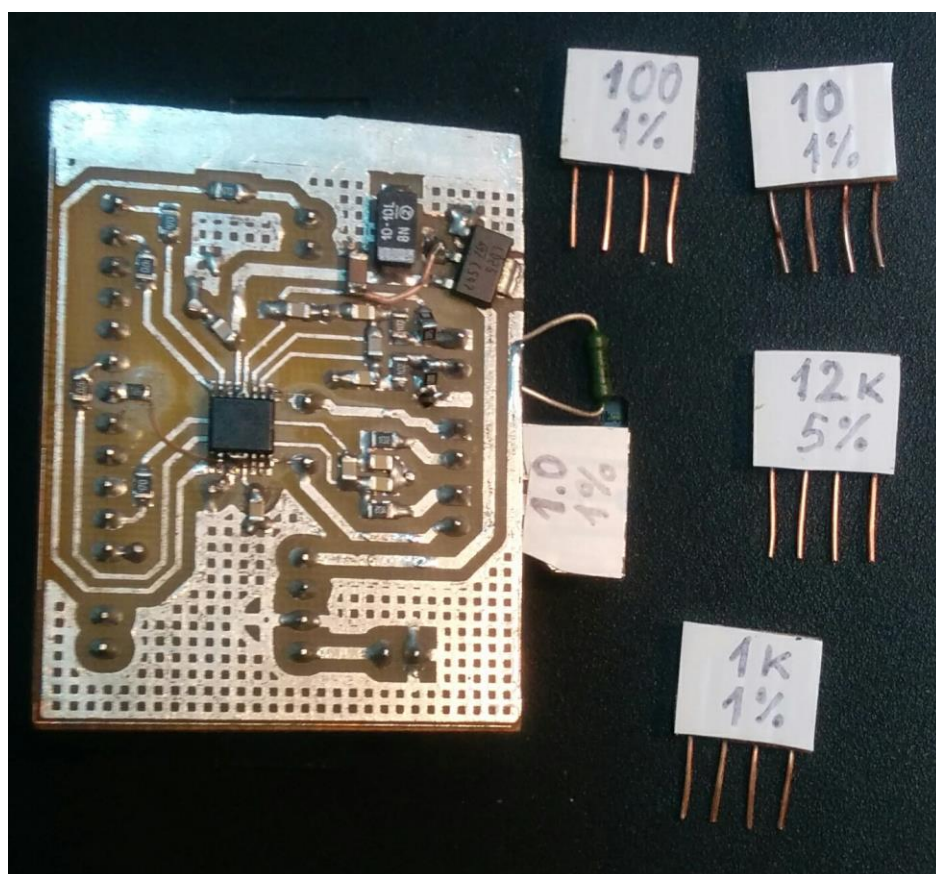
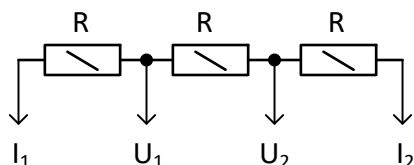


Рис. 3 Вид на устройство со стороны монтажа.

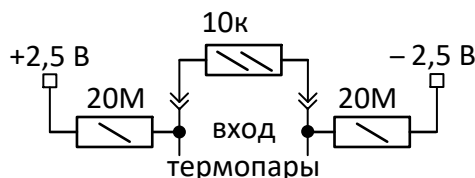
Тестовые измерения

Тестовые измерения производились на рабочем столе при комнатной температуре. Экранирование устройства не осуществлялось.

Каждый набор тестовых сопротивлений состоит из трех последовательно соединенных сопротивлений SMD 1206 одинакового номинала:



Вместо термопары подключено постоянное сопротивление номиналом 10 кОм. Падение напряжения на нем создается за счет подтягивающих сопротивлений номиналом 20 МОм, входящих в состав устройства:



С помощью специальной версии прикладного программного обеспечения (ППО) для каждого набора сопротивлений осуществлялось по 20 измерений для различных значений тока через токовые выводы и КУ масштабного усилителя. Результаты измерений представлены в виде графиков, что позволяет визуально оценить разброс получаемых значений напряжения на потенциальном входе устройства, а также сведены в таблицу.

На графиках по оси Y отложены значения напряжения, а по оси X код КУ масштабного усилителя. КУ вычисляется по формуле $KY=2^X$, т.е. значениям X от 0 до 7 соответствуют значения КУ от 1 до 128.

В таблицах приведена разность между максимальным и минимальным полученными значениями для различных значений тока через токовые выводы и КУ масштабного усилителя.

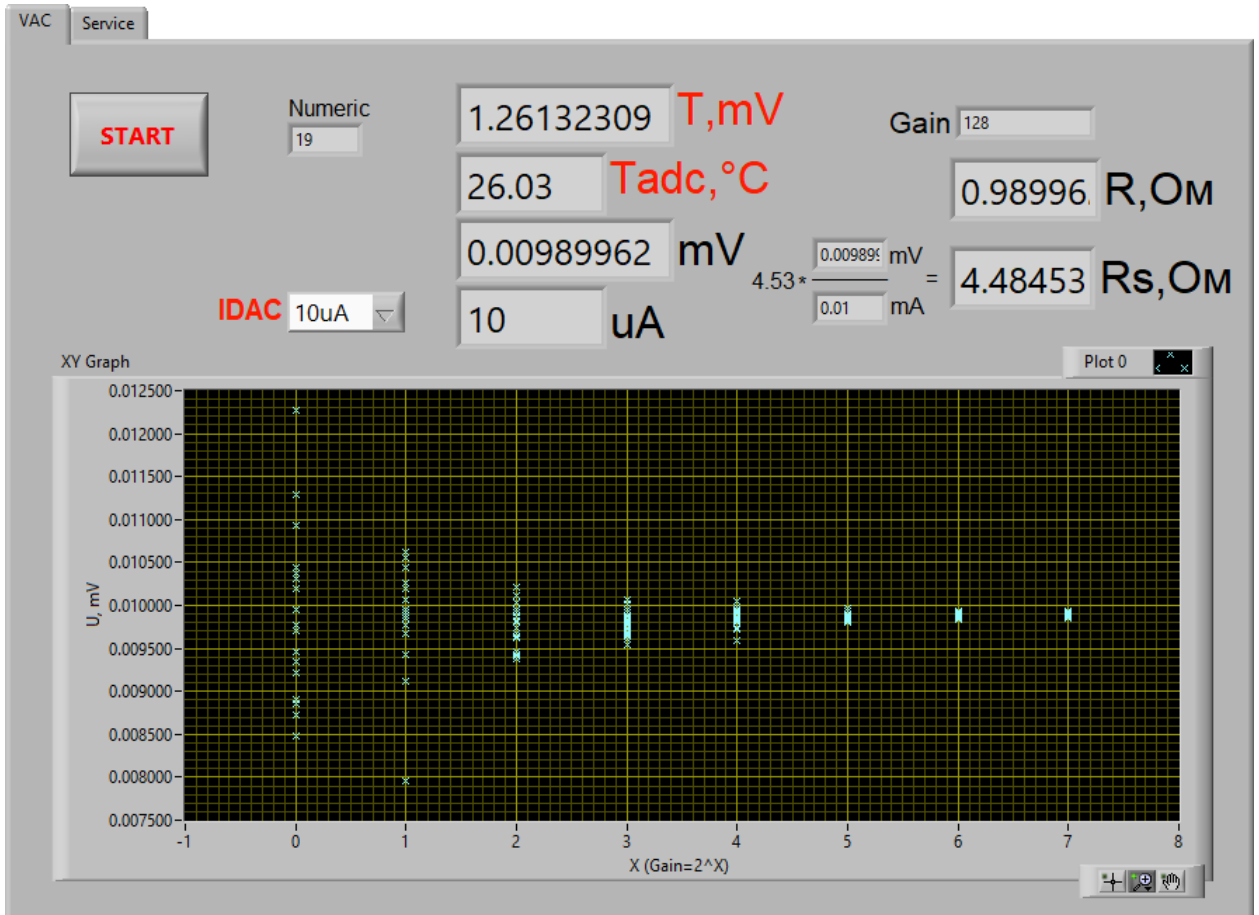
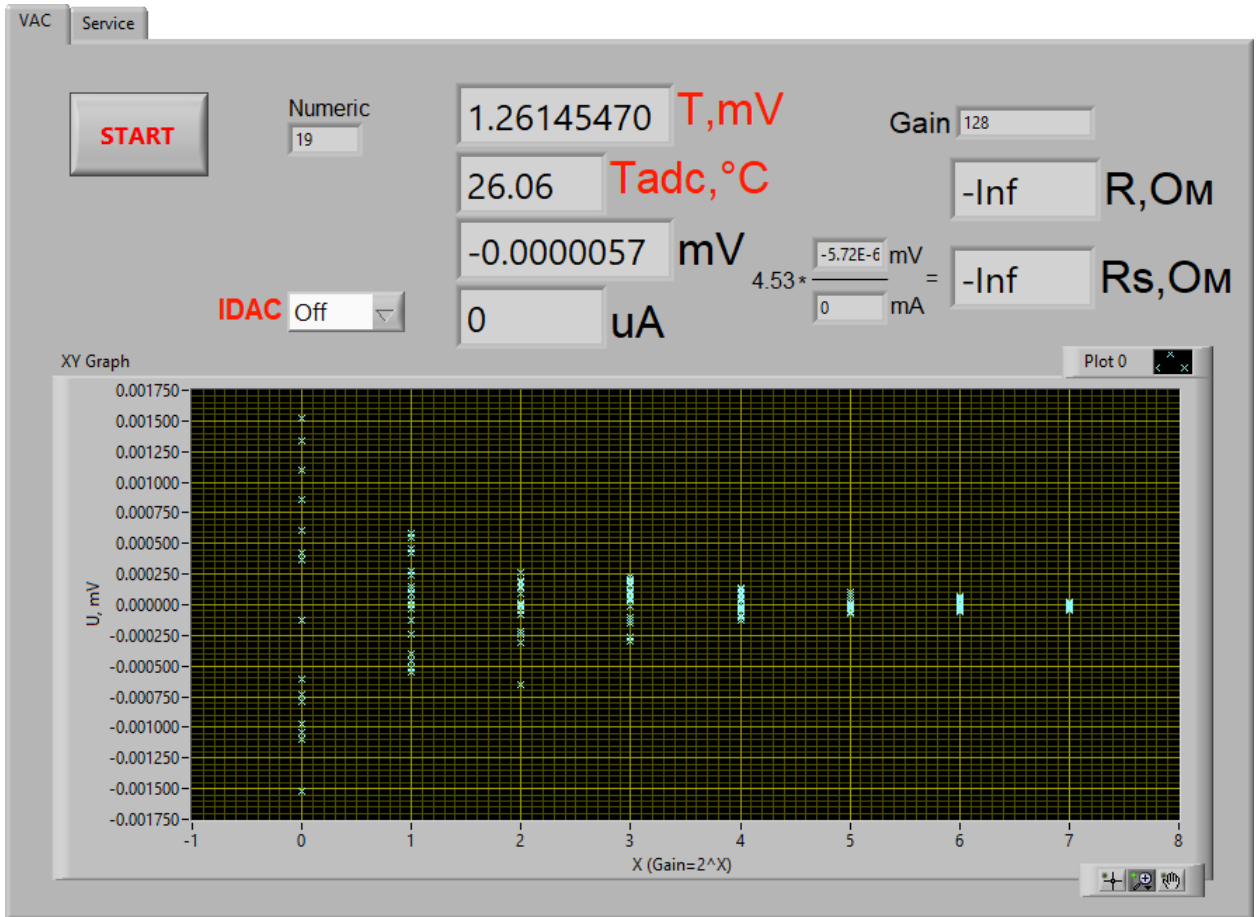
Из приведенных графиков видно, что имеется систематический сдвиг среднего значения напряжения для разных КУ, который возрастает с увеличением значения напряжения на входе устройства. Очевидно, это связано с погрешностью значений КУ, которая, согласно документации на ADS1220, не превышает 0,1%.

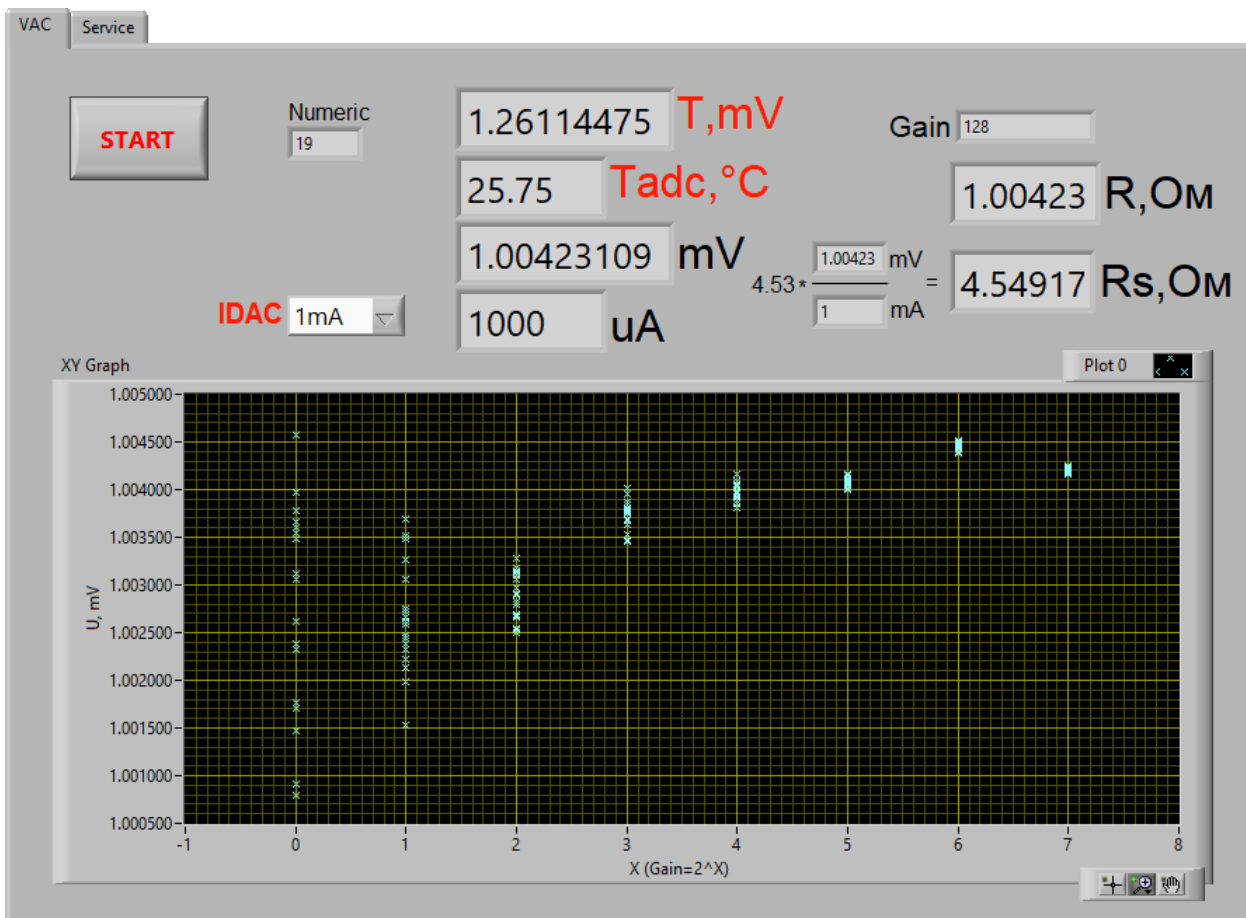
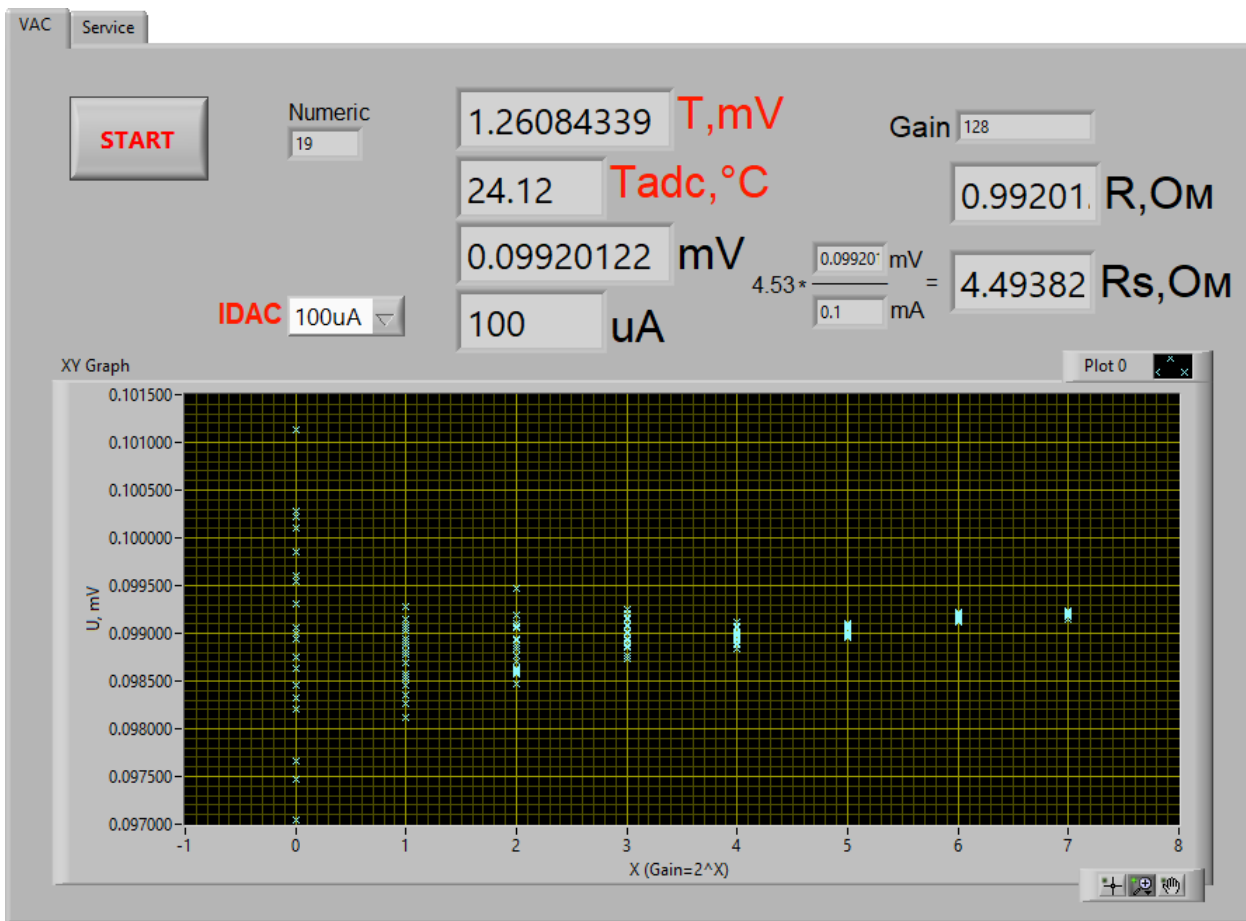
Результаты тестовых измерений 23.12.2020 г.

R=1 Ом 1%:

Таблица 1 Max – Min (мВ)

I (мкА)	KY=1	2	4	8	16	32	64	128
0	0.003052	0.001129	0.000915	0.000527	0.000290	0.000169	0.000121	0.000071
10	0.003784	0.002655	0.000824	0.000527	0.000454	0.000162	0.000098	0.000085
100	0.004089	0.001160	0.001007	0.000503	0.000274	0.000157	0.000097	0.000088
1000	0.003784	0.002167	0.000778	0.000572	0.000347	0.000164	0.000137	0.000095

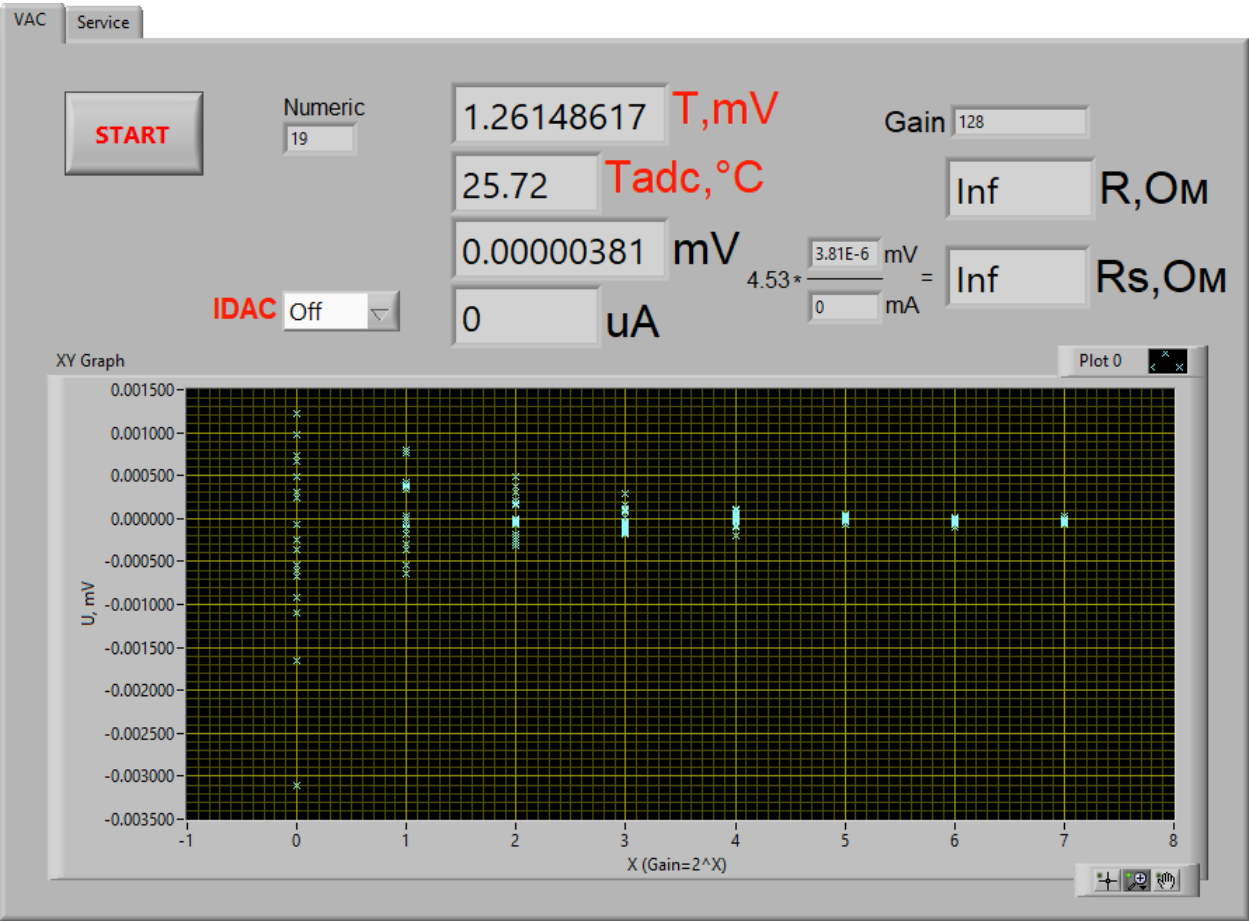


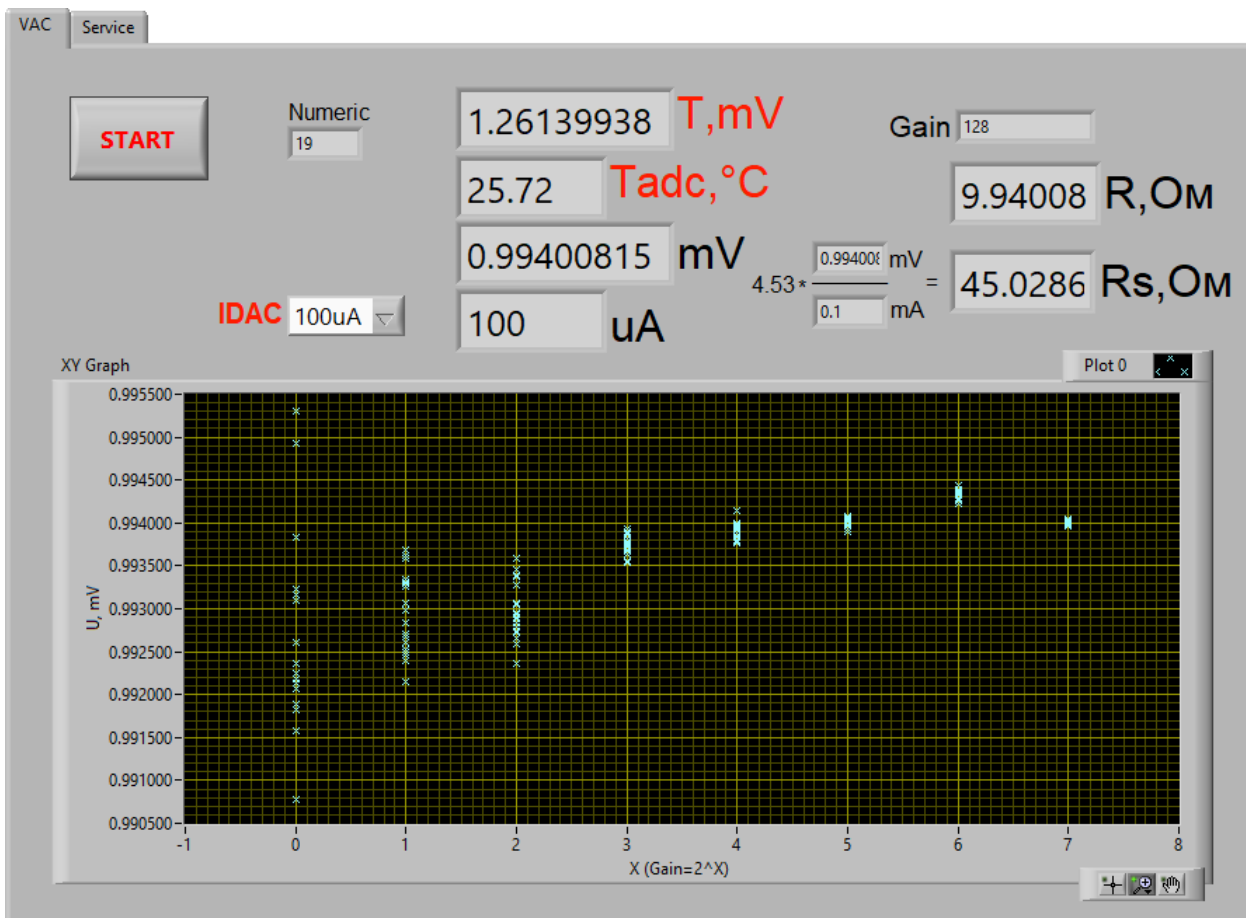
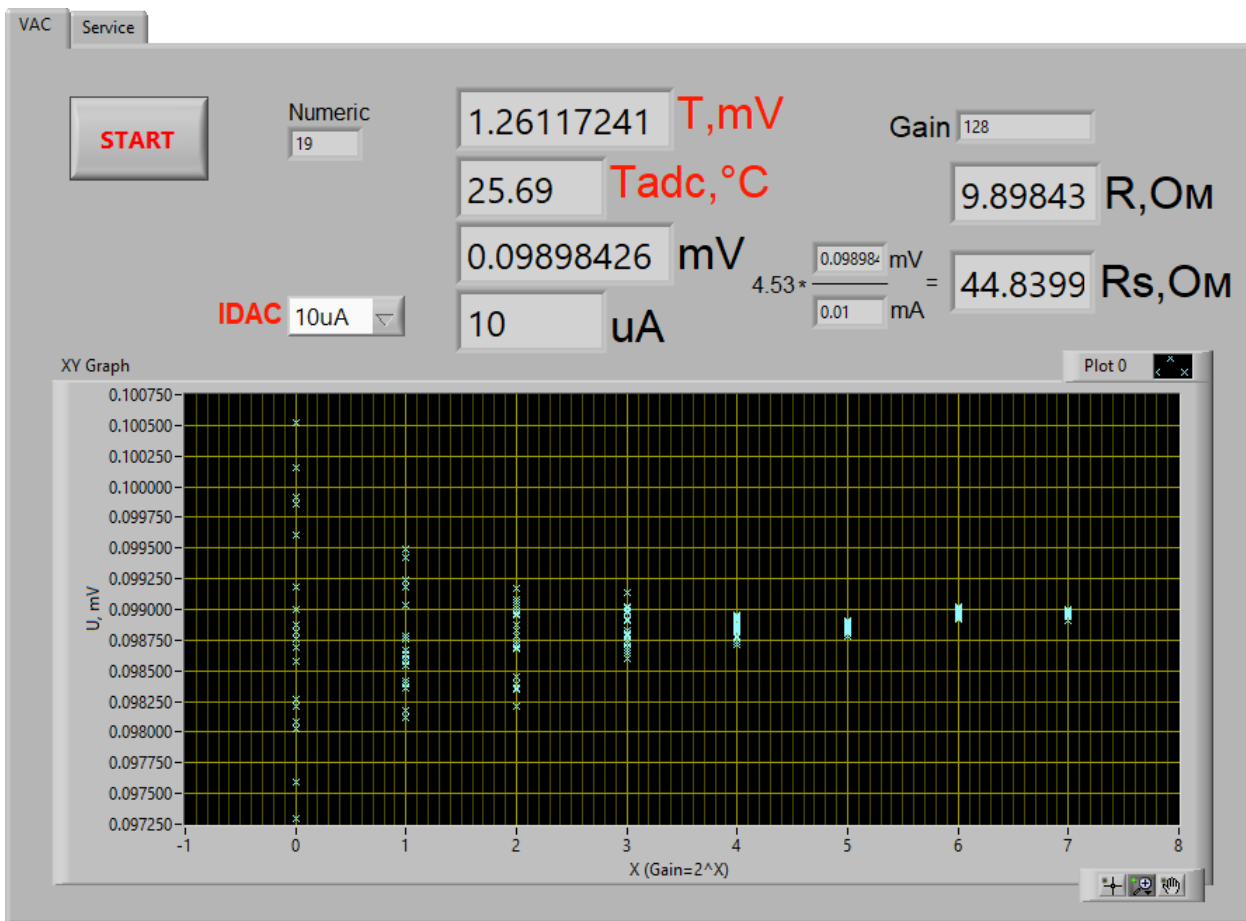


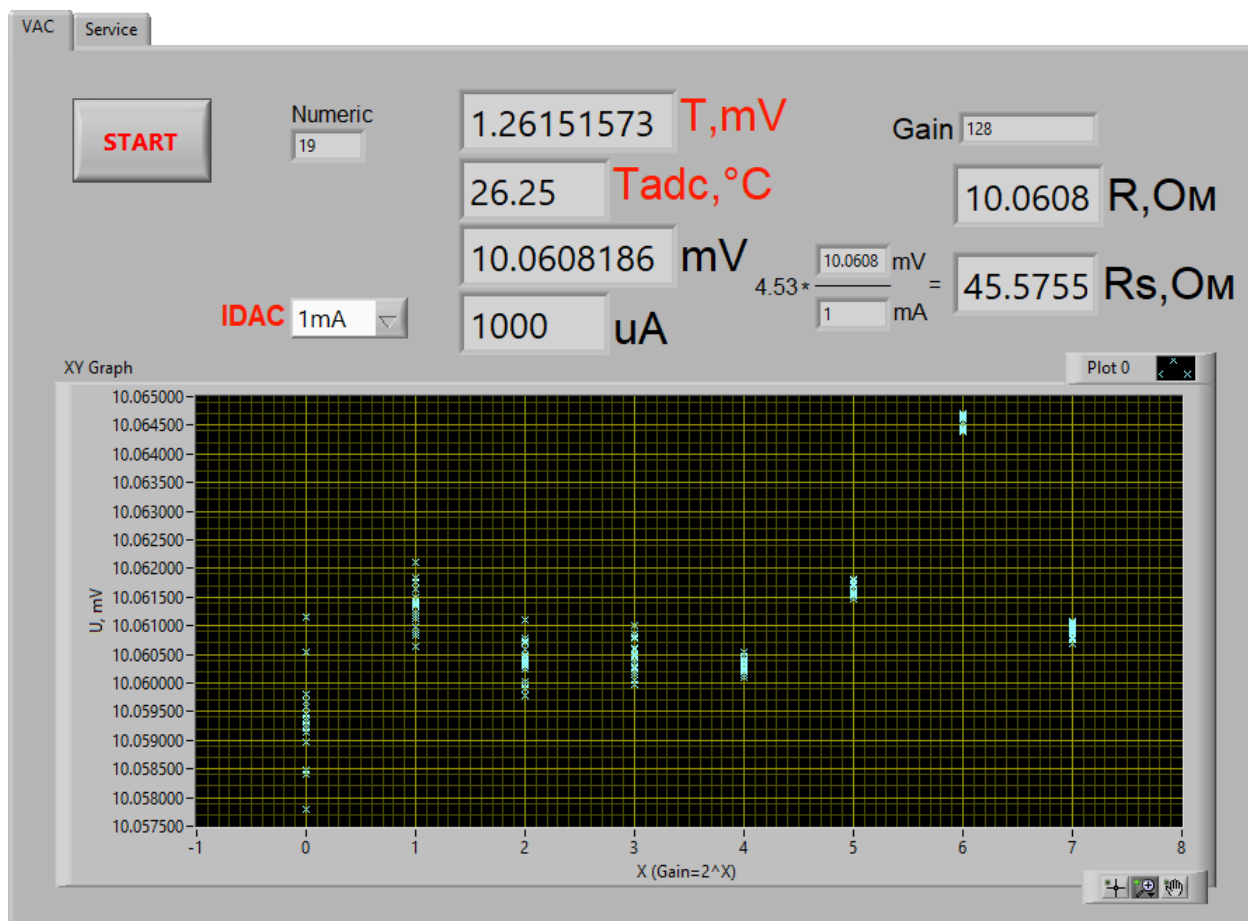
R=10 Ом 1%:

Таблица 2 Max – Min (мВ)

I (мкА)	KY=1	2	4	8	16	32	64	128
0	0.004334	0.001434	0.000808	0.000481	0.000217	0.000119	0.000123	0.000097
10	0.003235	0.001373	0.000961	0.000541	0.000217	0.000129	0.000093	0.000096
100	0.004516	0.001526	0.001220	0.000389	0.000366	0.000172	0.000208	0.000080
1000	0.003357	0.001465	0.001342	0.001037	0.000424	0.000345	0.000337	0.000388



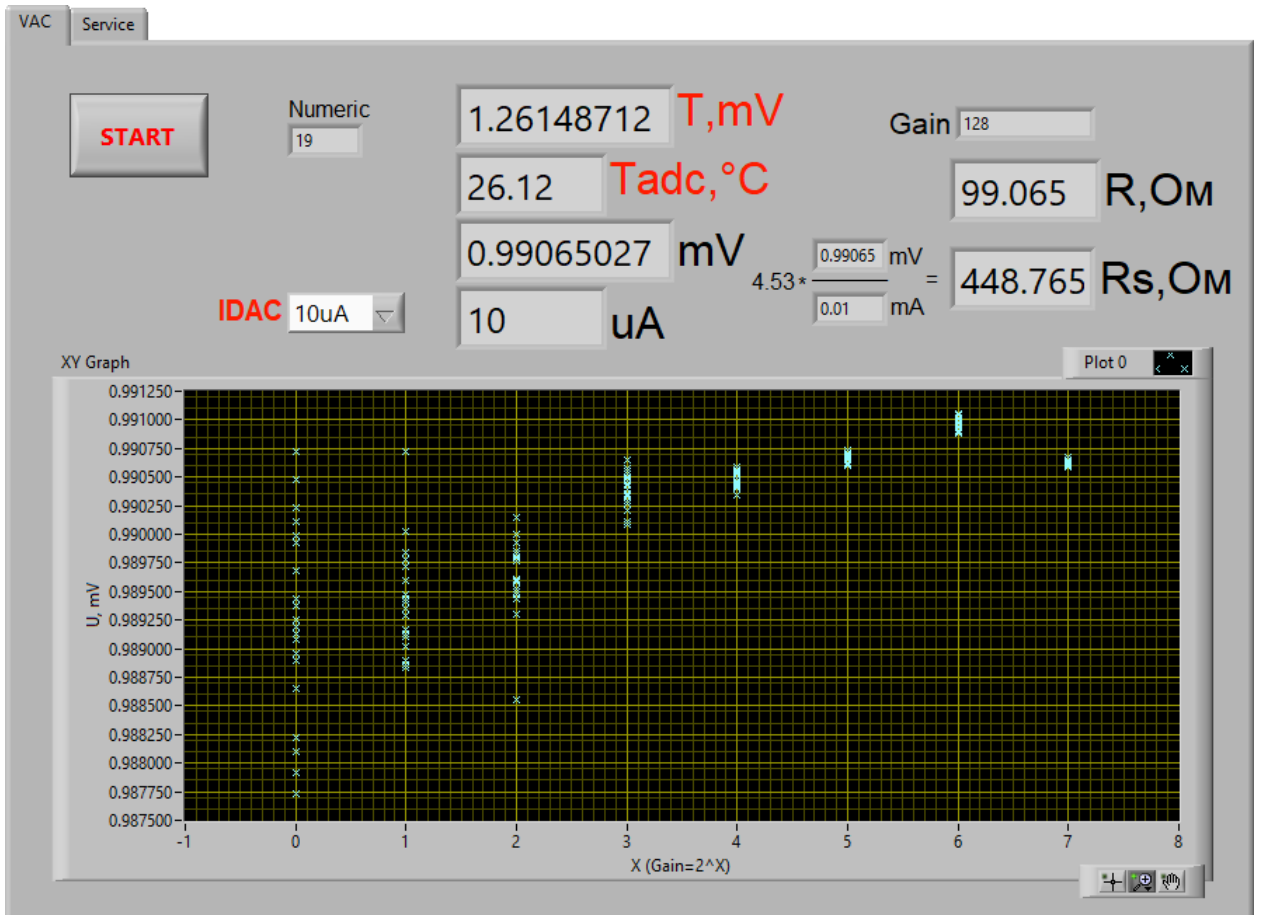
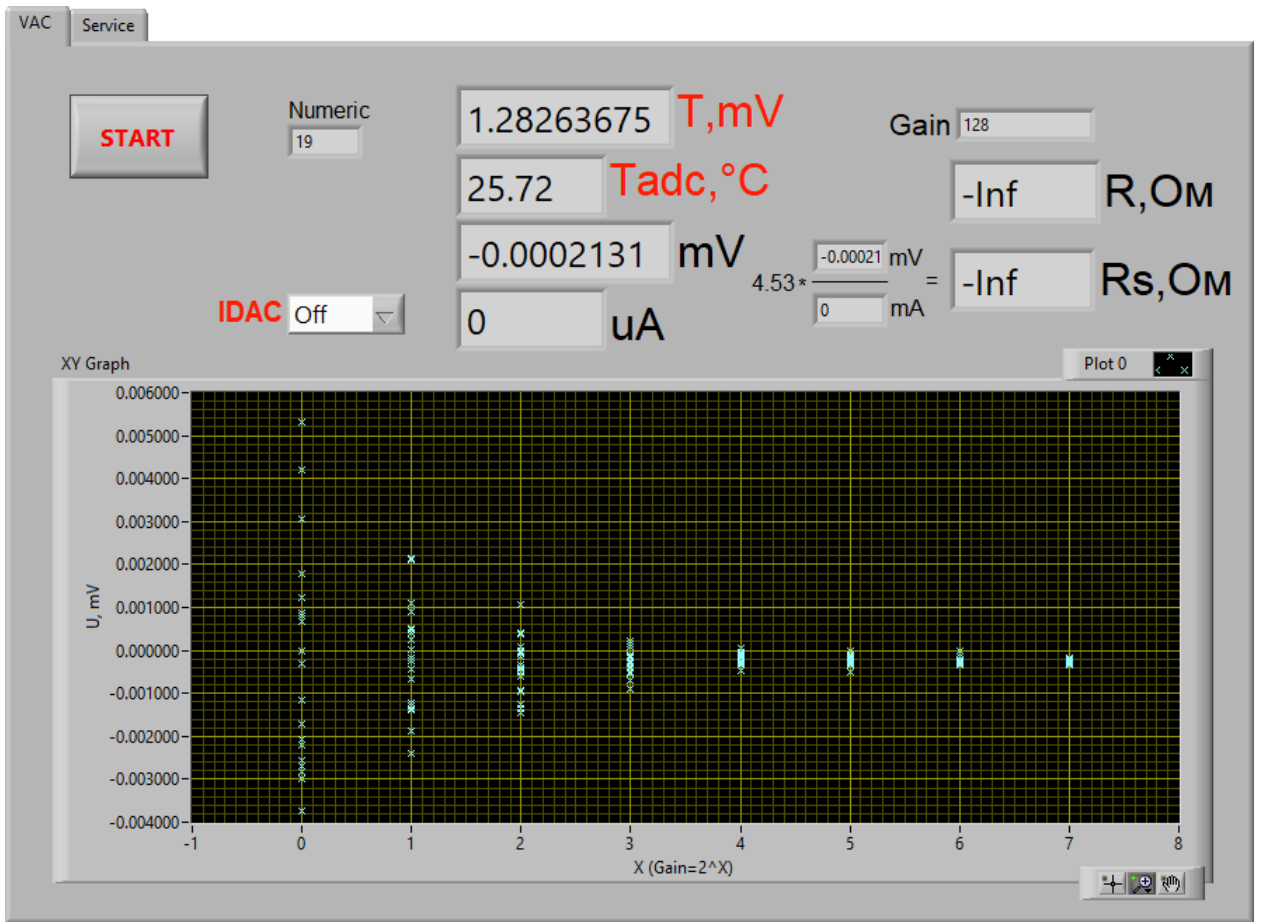


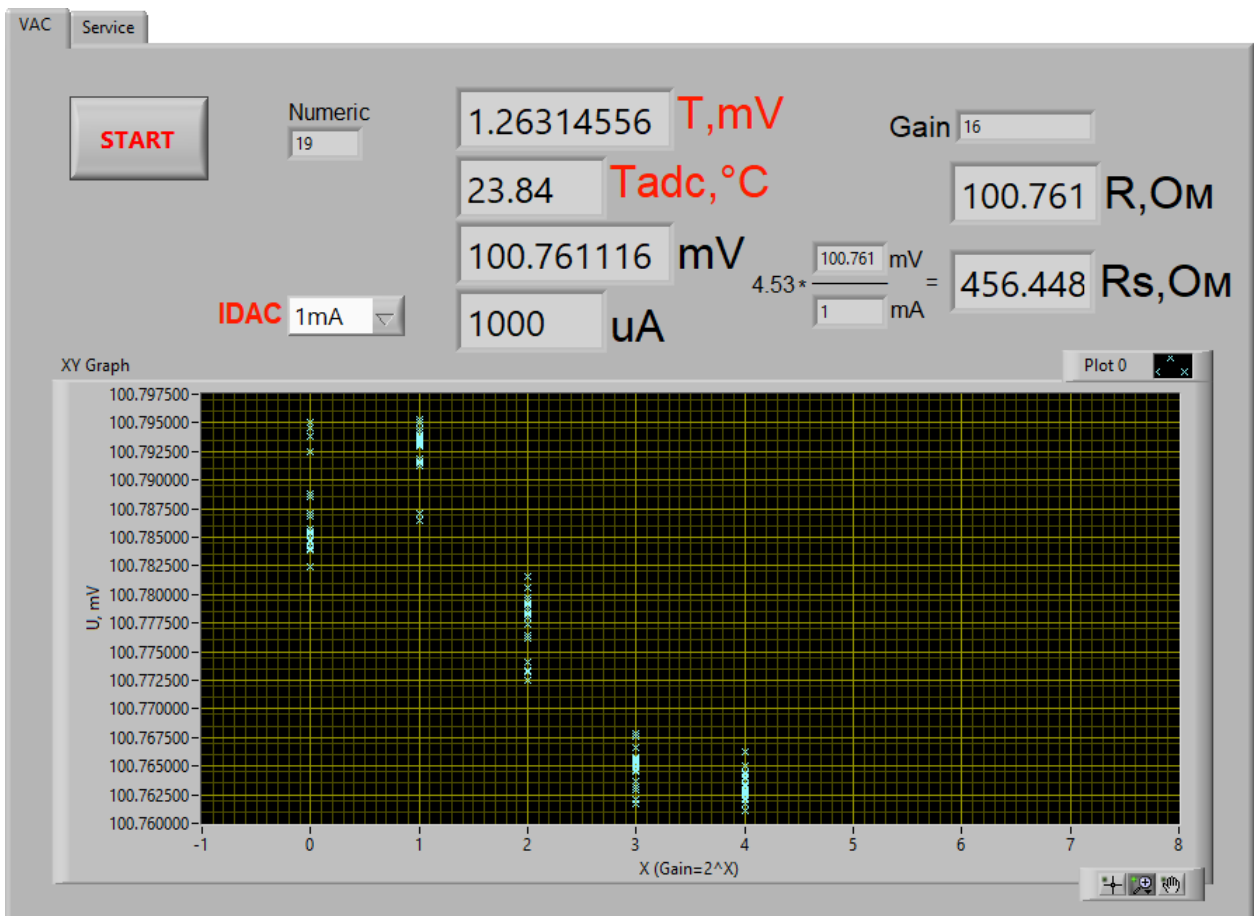
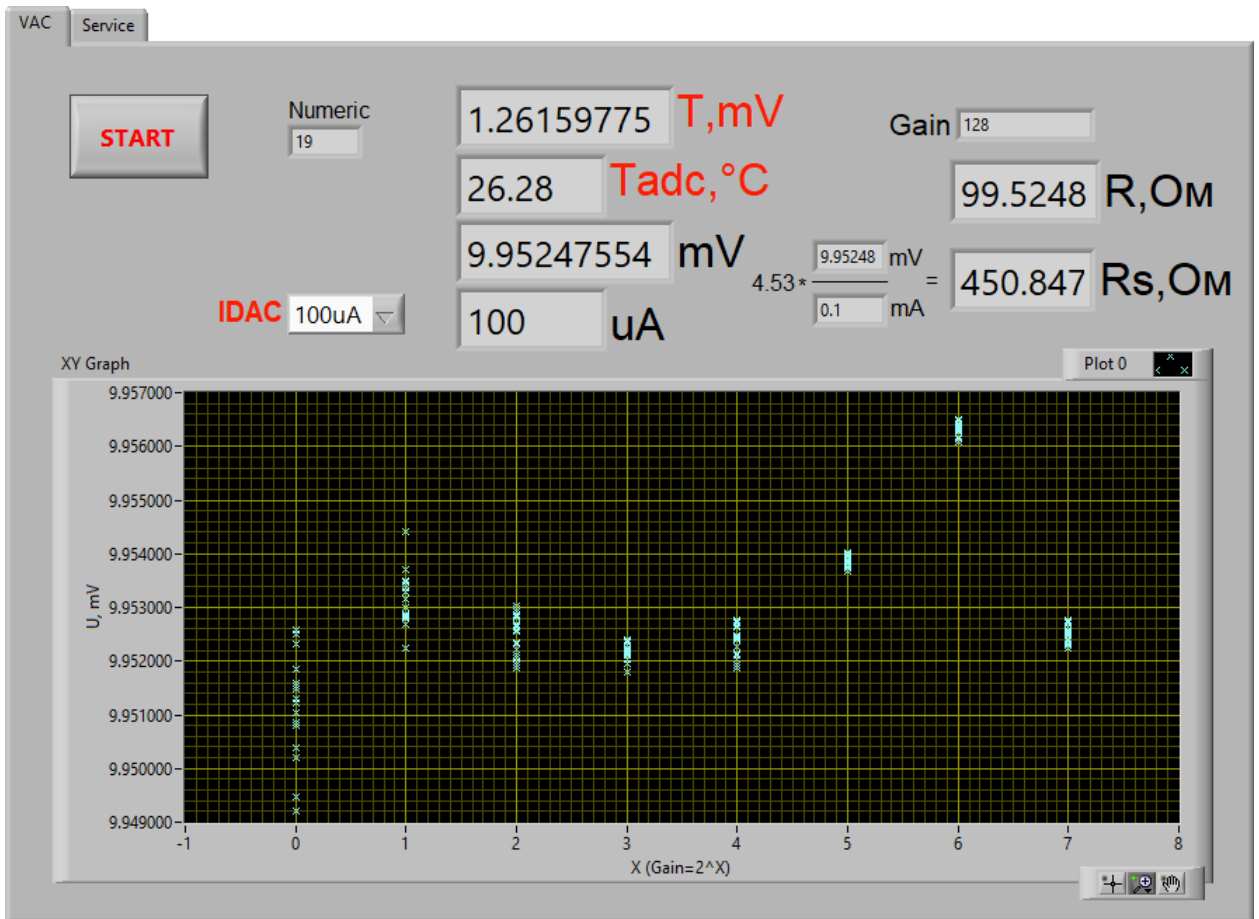


R=100 Ом 1%:

Таблица 3 Max – Min (мВ)

I (мкА)	KY=1	2	4	8	16	32	64	128
0	0.009033	0.004547	0.002518	0.001114	0.000511	0.000502	0.000354	0.000179
10	0.002991	0.001892	0.001587	0.000564	0.000309	0.000141	0.000183	0.000090
100	0.003357	0.002167	0.001144	0.000618	0.000877	0.000347	0.000413	0.000520
1000	0.012512	0.008881	0.009125	0.006080	0.004577	>Range	>Range	>Range





R=1 кОм 1%:

Таблица 4 Max – Min (мВ)

I (мкА)	KY=1	2	4	8	16	32	64	128
0	0.004456	0.002045	0.000839	0.000564	0.000320	0.000181	0.000110	0.000053
10	0.004028	0.001342	0.000915	0.000473	0.000923	0.000592	0.000447	0.000452
100	0.004150	0.002991	0.003464	0.003525	0.003693	>Range	>Range	>Range
1000	0.041626	>Range	>Range	>Range	>Range	>Range	>Range	>Range

