

**ТЕСТЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
СИЛОВЫХ МОДУЛЕЙ НА ОСНОВЕ БВД И БТИЗ**

Техническое описание
и инструкция по эксплуатации

СОДЕРЖАНИЕ

1. Наименование и область применения	3
2. Устройство тестера	3
3. Технические данные основного блока	8
4. Технические данные АЦП	9
5. Указание по мерам безопасности	10
6. Подготовка к работе	10
7. Проверка работоспособности основного блока	12
8. Инструкция по калибровке	13
9. Инструкция оператору	17
Приложение 1. Схемы электрические принципиальные	
Приложение 2. ЛА-н1USB. Руководство по эксплуатации	

1. НАИМЕНОВАНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Тестер для измерения динамических параметров силовых модулей на основе быстросстанавливающихся диодов (БВД) и биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ) (далее по тексту тестер) применяется в качестве технологического оборудования при межоперационном и выходном контроле следующих параметров:

- времени обратного восстановления диода;
- времени задержки включения транзистора;
- времени нарастания;
- времени задержки выключения транзистора;
- времени спада.

Тестер обеспечивает автоматизированные измерения указанных параметров и вычисление времени включения, времени выключения, энергии включения, энергии выключения и заряда обратного восстановления при подключении внешней ЭВМ класса IBM PC.

Дополнительно тестер обеспечивает измерение времени обратного восстановления диода в фиксированном маломощном режиме.

2. УСТРОЙСТВО ТЕСТЕРА

2.1. В состав тестера входят основной блок, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и преобразователь интерфейсов (ПИ) (рис. 1). Работа тестера обеспечивается подключением к основному блоку и к АЦП внешней ЭВМ. (В комплект поставки ПИ и ЭВМ не входят).

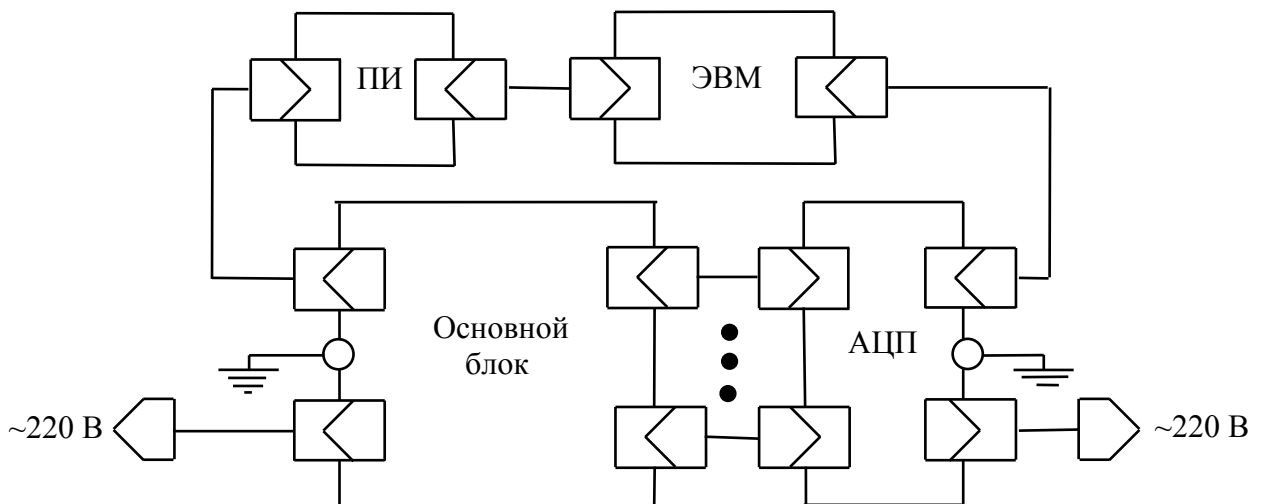


Рис. 1

ЭВМ класса IBM-PC подключается стандартными кабелями связи через последовательные интерфейсы USB-2.0 к АЦП и к ПИ. Порт RS485 ПИ специальным кабелем соединяется с разъемом, расположенным на передней панели основного блока. АЦП подключается к основному блоку тремя или двумя (в зависимости от режима испытания) коаксиальными кабелями.

2.2. Основной блок реализует типовую схему измерения динамических параметров БТИЗ и БВД (рис. 2).

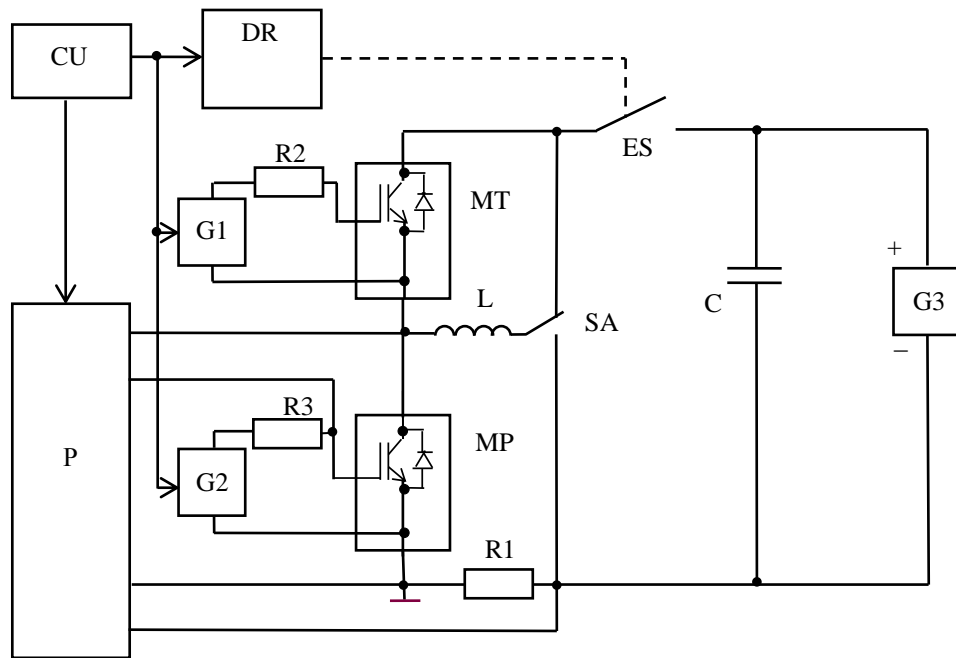


Рис. 2

Схема содержит испытуемый MP и технологический MT модули, формирователи G1 и G2 напряжений управления соответственно БТИЗ технологического и испытуемого модулей, режимные резисторы R2 и R3, индуктивную нагрузку L, переключатель режима испытания SA, измерительный токовый шунт R1, ключ с электронной защитой ES и драйвером DR, накопительный конденсатор C, источник испытательного напряжения G3, устройство управления CU и запоминающий осциллограф P.

Схема измерения времени обратного восстановления диода в фиксированном маломощном режиме (рис. 3) соответствует ГОСТ 24461. Здесь VD1 –

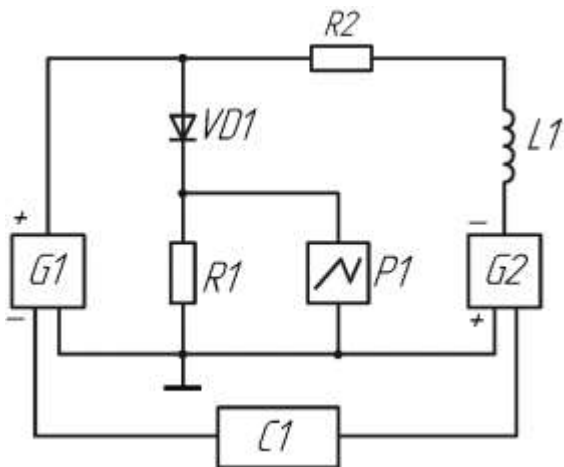


Рис. 3

испытуемый диод, G1 – источник прямого тока, G2 – источник обратного напряжения, R1 – измерительный токовый шунт, C1 – устройство управления и синхронизации, P1 – осциллограф, L1, R2 – элементы коррекции.

Согласно схемы рис. 2 основной блок тестера включает следующие элементы и функциональные модули:

- программируемый источник испытательного напряжения **VS900**;
- батарею накопительных конденсаторов;
- индуктивную катушку;
- электромагнитный переключатель режима испытания;

- электронный ключ с функцией защиты;
- драйвер электронного ключа **Driver_ES**;
- драйвер технологического модуля **Driver_MT**;
- драйвер испытуемого модуля **Driver_MP**;
- токоизмерительный шунт;
- контроллер **Controller**;
- устройство разряда накопительных конденсаторов **Discharger**;
- устройство адаптации измерительных сигналов к АЦП **Adapter**;
- элементы индикации.

Схема рис. 3 реализуется функциональным модулем **Addblock** с использованием модуля **Controller**.

Дополнительно в состав основного блока входят сетевой фильтр подавления помех и **AC/DC**-конвертер.

Взаимосвязи элементов и функциональных модулей основного блока представлены принципиальной электрической схемой **Dynamic_main** (Приложение 1).

Управление процессами испытаний БВД и БТИЗ реализуется функциональным модулем **Controller** на базе отладочного устройства STM32F4DISCOVERY с 32-разрядным микроконтроллером семейства STM32.

С помощью встроенного ЦАП контроллер задаёт испытательное напряжение, формируемое источником **VS900** (сигнал U_z , $0...2,5\text{ В}$), а с помощью АЦП контролирует его текущее значение (сигнал V_{fb}).

Управляющие логические сигналы контроллера:

#GES – вкл./выкл. электронного ключа **V1** с функцией защиты, то есть подключение источника **VS900** к испытательной цепи (рис. 2) и его отключение;

#GTM – вкл./выкл. БТИЗ технологического модуля;

#GPM – вкл./выкл. БТИЗ испытуемого модуля;

VD – переключение электромагнитного переключателя **KM1-KM2** для испытания БВД;

VT – переключение электромагнитного переключателя **KM1-KM2** для испытания БТИЗ (сигналы **VD** и **VT** взаимно инверсны);

DVon – размыкание цепи «затвор–эмиттер» БТИЗ испытуемого модуля (дублирует сигнал **VT**);

Vce/I – переключение измерительного сигнала по каналу **CH1** (напряжение «коллектор–эмиттер» БТИЗ при $V_{ce}/I=1$, ток БВД или БТИЗ при $V_{ce}/I=0$);

Dsch – вкл./выкл. разрядного ключа ёмкостного накопителя;

IFP – задание импульса прямого тока при испытании БВД в фиксированном маломощном режиме (рис. 3);

VRP – задание импульса обратного напряжения при испытании в маломощном режиме.

Входные логические сигналы контроллера:

UNLVO – сигнал, диагностирующий отказ драйвера электронного ключа **V1** с функцией защиты;

FAULT – флаг перегрузки по току в испытательной цепи.

Для связи с внешней ЭВМ контроллер содержит преобразователь UART/RS485 с гальванической развязкой, что требует подключения к разъёму ХРЗ внешнего источника напряжения +5 В.

Программируемый источник испытательного напряжения **VS900** заряжает батарею накопительных конденсаторов **C1, C2...C10** общей ёмкостью около 5 мФ до установленного напряжения. Полипропиленовый конденсатор **C1** обеспечивает протекание в испытательной цепи значительных импульсных токов. Для быстрого разряда накопительных конденсаторов применён модуль **Discharger** на базе МДП-транзистора, подключающего к батарее резистор сопротивлением 440 Ом.

Модули **Driver_ES, Driver_MT, Driver_MP** имеют идентичную схемотехнику на базе микросхемы ACPL-337J с оптронной развязкой. Дополнительный усилитель тока обеспечивает пиковые токи затвора соответствующих БТИЗ свыше 10 А.

Токоизмерительный шунт реализован в виде 10-и параллельно соединённых резисторов типа С2-33Н-2-1 Ом (**RS1...RS10**), что обеспечивает его практическую безындуктивность и требуемую нагрузочную способность.

Модуль **Adapter** формирует сигнал внешней для АЦП синхронизации при испытаниях по схеме рис. 2, а также коммутацию измерительных сигналов с резистивных делителей (**R1, R2**) и (**R3...R6**).

Модуль **Addblock** полностью реализует алгоритм испытания БВД по схеме рис. 3, формируя согласованный со входом АЦП измерительный сигнал и сигнал внешней для АЦП синхронизации.

Электропитание системы управления модуля **VS900** и остальных модулей выполнено по децентрализованной схеме с применением набора миниатюрных DC/DC-преобразователей с гальванической развязкой. При этом опорным является стабилизированное напряжение 24 В, получаемое с помощью AC/DC-конвертора **U1** типа PS-25-24.

Основной блок содержит следующие элементы индикации:

- светодиодный индикатор **VD2** включения сетевого электропитания;
- светодиодный индикатор **VD1** наличия опасного напряжения на клеммах *CMT, EMT-CMP*;
- вольтметр **PV1** для визуального контроля за испытательным напряжением (по схеме рис. 2).

2.3. Конструктивно основной блок тестера выполнен в виде комплектного настольного устройства, состоящего из верхнего и нижнего субблоков.

На передней панели верхнего субблока расположены разъём интерфейса RS485, коаксиальные разъёмы «CH0», «CH1», «SYNC1» для подключения АЦП при измерении динамических параметров с использованием типовой схемы (рис. 2) и индикатор сетевого электропитания «Power».

На передней панели нижнего субблока расположены коаксиальные разъёмы «CH2», «SYNC2» для подключения АЦП при измерении времени обратного восстановления диода в фиксированном маломощном режиме (рис. 3), разъём «С-А» для подключения диода, вольтметр для контроля испытательного

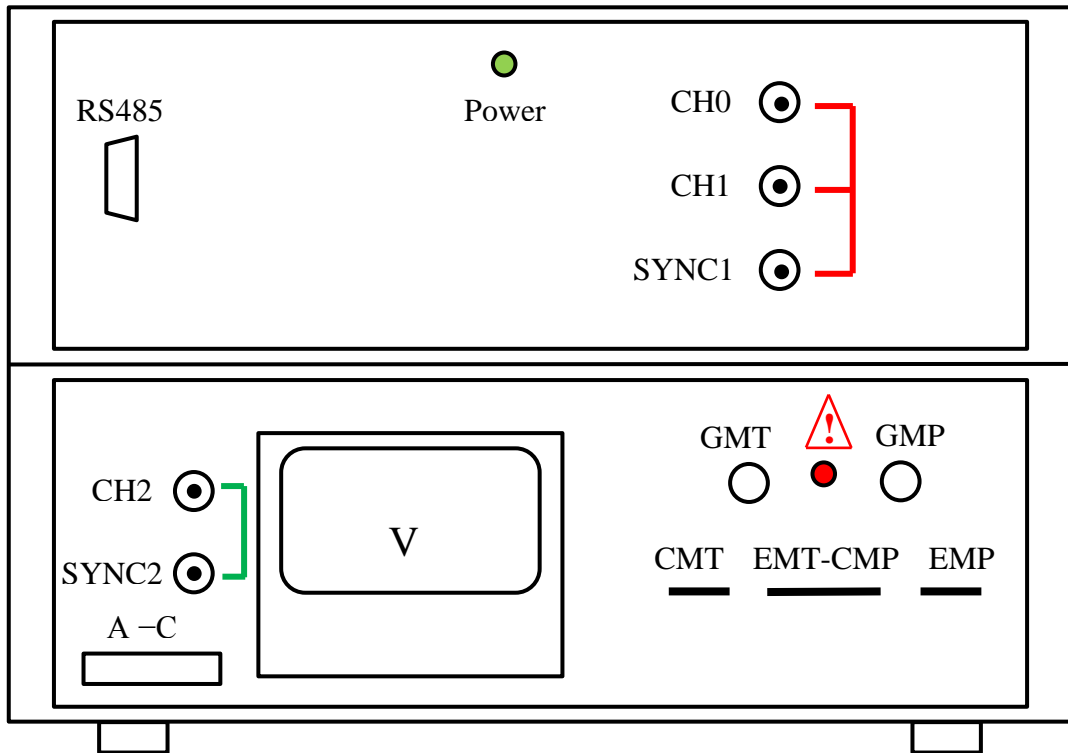




Рис. 4

напряжения по типовой схеме, плоские контакты «СМТ», «ЕМТ-СМР», «ЕМР» для подключения силовых выводов технологического и испытуемого модулей, разъёмы «GMT», «GMP» для подключения цепей управления транзисторами технологического и испытуемого модулей и индикатор наличия опасного для оператора напряжения на плоских контактах .

На задней панели верхнего субблока расположены разъём для сетевого шнура электропитания «Power» с встроенным плавким предохранителем, выключатель электропитания и клемма для заземления основного блока .

2.4. Назначение контактов разъёмов, установленных на передней панели, указано в табл. 2.

Таблица 2

Разъём	Контакт		Назначение контакта
	№	Обозн.	
А – С	1	А	Анод испытуемого БВД
	2	С	Катод испытуемого БВД
RS485	2	А	Линия А
	3	В	Линия В
	5	GND	Общий
	7	+5VC	Выводы внешнего источника питания = 5 В
8	GND		

Разъём	Контакт		Назначение контакта
	№	Обозн.	
GMT	1	RG	Резистор в цепи затвора БТИЗ технолог. модуля
	2	E	Эмиттер БТИЗ технологического модуля
GMP	1	RG	Резистор в цепи затвора БТИЗ испытуемого модуля
	2	Ec	Эмиттер БТИЗ испытуемого модуля (токовый)
	3	G	Затвор БТИЗ испытуемого модуля
	4	Ep	Эмиттер БТИЗ испытуемого модуля (потенциальный)

2.5. В качестве АЦП в составе тестера применено внешнее устройство аналого-цифрового преобразования для IBM PC/AT-совместимых компьютеров «ЛА-н1USB» производства ЗАО «Руднев-Шиляев». Описание его устройства и принципов работы изложено в соответствующем руководстве по эксплуатации (Приложение 2).

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОСНОВНОГО БЛОКА

3.1. Параметры режима измерения времени обратного восстановления БВД по типовой схеме рис.2:

- рабочий диапазон задаваемого обратного напряжения – (300...900) В;
- дискретность задания обратного напряжения – не более 1 В;
- погрешность задания напряжения в рабочем диапазоне при отсутствии нагрузки – не более 5%;
- снижение заданного в рабочем диапазоне напряжения при нагрузке в виде импульса тока амплитудой 400 А длительностью 150 мкс – не более 15 В;
- диапазон задаваемого прямого тока I_F – (10...400) А;
- погрешность задания тока I_F – не более $\pm(0,05I_F+1)$ А;
- индуктивность нагрузки – 250 мкГн $\pm 5\%$;
- сопротивление токоизмерительного шунта – 0,1 Ом $\pm 5\%$;
- скорость спада тока (обеспечивается выбором технологического модуля и сопротивления резистора в цепи затвора) – 1100 А/мкс $\pm 20\%$.

3.2. Параметры режима измерения динамических параметров БТИЗ по типовой схеме рис.2:

- рабочий диапазон задаваемого напряжения коллектор–эмиттер – (300...900) В;
- дискретность задания напряжения коллектор–эмиттер – не более 1 В;
- погрешность задания напряжения в рабочем диапазоне при отсутствии нагрузки – не более 5%;
- снижение заданного в рабочем диапазоне напряжения при нагрузке в виде импульса тока амплитудой 400 А длительностью 150 мкс – не более 15 В;
- диапазон задаваемого тока коллектора I_C – (10...400) А;
- погрешность задания тока I_C – не более $\pm(0,05I_F+1)$ А;
- амплитуда импульса напряжения затвор–эмиттер при включении БТИЗ – 15 В $\pm 5\%$;

- амплитуда импульса напряжения затвор–эмиттер при выключении БТИЗ – минус $10 \text{ В} \pm 5\%$;

- длительность фронта (спада) импульсов напряжения, формируемых источником напряжения затвор–эмиттер на RC-нагрузке ($R=10 \text{ Ом}$, $C=10 \text{ нФ}$), – не более 50 нс ;

- индуктивность нагрузки – $250 \text{ мкГн} \pm 5\%$;

- сопротивление токоизмерительного шунта – $0,1 \text{ Ом} \pm 5\%$.

3.3. Параметры режима измерения времени обратного восстановления БВД в фиксированном маломощном режиме по схеме рис. 3:

- задаваемое обратное напряжение – 30 В ;

- погрешность задания обратного напряжения – не более $\pm 5\%$;

- задаваемый прямой ток – 1 А ;

- погрешность задания прямого тока – не более $\pm 5\%$;

- скорость спада тока – $200 \text{ А/мкс} \pm 20\%$;

- сопротивление токоизмерительного шунта – $0,5 \text{ Ом} \pm 1\%$.

3.4. Параметры измерительных сигналов и сигналов синхронизации представлены в табл. 3.

Таблица 3

Выход	Измеряемая величина	Коэффициент преобразования	Амплитуда	Сопротивление нагрузки
СН0	ток БВД	$(50 \pm 1) \text{ мВ/А}$	–	1 МОм
	ток коллектора БТИЗ	$-(50 \pm 1) \text{ мВ/А}$	–	1 МОм
	напряжение коллектор–эмиттер БТИЗ	$(26,3 \pm 0,5) \text{ мВ/В}$	–	1 МОм
СН1	напряжение затвор–эмиттер БТИЗ	1 В/В	–	1 МОм
SYNC1	–	–	$(5 \pm 0,5) \text{ В}$	1 МОм
СН2	ток БВД	$(0,25 \pm 0,005) \text{ В/А}$	–	50 Ом
SYNC2	–	–	$(0,45 \pm 0,1) \text{ В}$	50 Ом

3.5. Электропитание основного блока осуществляется от сети переменного напряжения $220 \pm 22 \text{ В}$, частотой $50 \pm 1 \text{ Гц}$. Потребляемая мощность – не более 400 ВА .

Климатическое исполнение – УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69.


4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АЦП

Технические данные АЦП приведены в руководстве по эксплуатации внешнего устройства аналого-цифрового преобразования для IBM PC/AT-совместимых компьютеров «ЛА-н1USB» (Приложение 2).


5. УКАЗАНИЕ ПО МЕРАМ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1. К техническому обслуживанию тестера (профилактике, ремонту, настройке и калибровке) допускаются лица, изучившие техническое описание и инструкцию по эксплуатации, прошедшие инструктаж по безопасности труда, имеющие соответствующую группу допуска по электробезопасности.


5.2. К работе на тестере допускаются лица, изучившие разделы «Подготовка к работе» и «Работа с тестером» настоящего ТУ, прошедшие инструктаж по безопасности труда, имеющие соответствующую группу допуска по электробезопасности.

5.3. Перед эксплуатацией тестера подключить основной блок к контуру заземления с помощью клеммы .

5.4. После установки основного блока проверить сопротивление изоляции питающих линий между заземлённым корпусом и закороченными выводами сетевого кабеля. При этом основной блок должен быть отключён от питающей сети. Контроль сопротивления изоляции необходимо произвести в соответствии с указаниями ГОСТ 26104-89, при этом сопротивление изоляции должно быть не менее 2 МОм.

5.5. По степени защиты от поражения электрическим током устройство «ЛА-n1USB» относится к классу III, но для повышения помехозащищённости целесообразно клемму заземления устройства соединить с клеммой  основного блока.

5.6. Соблюдать требования безопасности из руководства пользователя ЭВМ, применяемой в составе тестера.

5.7. Особые меры предосторожности следует соблюдать при присоединении к клеммам основного блока технологического и испытываемого модулей. Предварительно **необходимо убедиться в отсутствии на клеммах опасного напряжения** по показанию встроенного вольтметра и отсутствию свечения индикатора .

6. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

6.1. Проверить защитное заземление основного блока, АЦП и внешней ЭВМ.

6.2. Соединить соответствующими сигнальными кабелями ЭВМ с ПИ и ПИ с основным блоком для организации связи ЭВМ с контроллером основного блока. Включить ЭВМ с предварительно установленной программой **Modbus Poll**.

6.3. Подключить основной блок с помощью сетевого шнура и выключателя к питающей сети. При этом на передней панели должен светиться индикатор «Power».

6.4. Запустить программу **Modbus Poll**. Отсутствие в верхней ячейке программного окна (рис. 5) сообщения **Timeout Error** или другого сообщения ука-

зывает на установленную связь ЭВМ с контроллером основного блока и на готовность тестера к проверке работоспособности или к работе.

6.5. Усвоить назначение регистровых переменных, представленных в программном окне **Modbus Poll**, и их формат.

Tx = 31: Err = 31: ID = 10: F = 03: SR = 1000ms
Timeout Error

	Alias	40000	Alias	40010
0	ANOUT_DAC_OUT	0	IN_PB10[UNLVO]	0
1	OUT_PB0[GES]	0	IN_PB11[FAULT]	0
2	OUT_PB1[GTM]	0	Number_functions	0
3	OUT_PB2[GPM]	0	Function1_is_executed	0
4	OUT_PB3[VT/VD]	0	Function2_is_executed	0
5	OUT_PB4[Vce/I]	0	Function3_is_executed	0
6	OUT_PB5[Dsch]	0	delta_t	0
7	OUT_PB6[IFP]	0	U_CE_internal_adc	0
8	OUT_PB7[VRP]	0	Charge_Time	0
9	ExternalADCReady	0	MODE(FUNK/BIT)	0

For Help, press F1. Port 7: 9600-8-N-1

Рис. 5

ANOUT_DAC_OUT – целочисленный код $Z=(4095/900)U_Z$ задаваемого напряжения U_Z (В) программируемого источника **VS900**.

OUT_PB0[GES] – бит управления электронным ключом **V1** с функцией защиты: 0 – выключить, 1 – включить.

OUT_PB1[GTM] – бит управления БТИЗ технологического модуля: 0 – выключить, 1 – включить.

OUT_PB2[GPM] – бит управления БТИЗ испытываемого модуля: 0 – выключить, 1 – включить.

OUT_PB3[VT/VD] – бит управления электромагнитным переключателем **KM1-KM2**: 0 – схема испытания БВД, 1 – схема испытания БТИЗ.

OUT_PB4[Vce/I] – бит управления переключателем измерительного сигнала по каналу **CH0**: 0 – измерение тока БВД или БТИЗ, 1 – измерение напряжения «коллектор – эмиттер» БТИЗ.

OUT_PB5[Dsch] – бит управления ключом устройства разряда накопительных конденсаторов **Discharger**: 0 – выключить, 1 – включить цепь разряда.

OUT_PB6[IFP] – бит управления источником импульсного прямого тока в составе модуля **Addblock**: 0 – выключить, 1 – включить.

OUT_PB7[VRP] – бит управления источником импульсного обратного напряжения в составе модуля **Addblock**: 0 – выключить, 1 – включить.

ExternalADCReady – флаг готовности внешнего АЦП, устанавливается (=1) автоматически (по сигналу верхнего уровня управления или по таймеру), сбрасывается (=0) автоматически или вручную (записью 0 в данный регистр).

IN_PB10[UNLVO] – флаг нормального электропитания драйвера электронного ключа **V1**, устанавливается (=1) и сбрасывается (=0) модулем **Driver_ES**.

IN_PB11[FAULT] – флаг срабатывания токовой защиты электронного ключа **V1**, устанавливается (=0) и сбрасывается (=1) (после установки в 0 бита **OUT_PB0[GES]**) модулем **Driver_ES**.

Number_function – задаваемый номер автоматически реализуемой функции (вида теста): 1 – испытание БВД по схеме рис. 2 с программированием режима, 2 – испытание БТИЗ по схеме рис. 2 с программированием режима, 3 – испытание БВД по схеме рис. 3 в фиксированном маломощном режиме.

Function1_is_executed – флаг процесса реализации функции номер 1, устанавливается (=1) в момент начала процесса и сбрасывается (=0) по его завершению.

Function2_is_executed – флаг процесса реализации функции номер 2, устанавливается (=1) в момент начала процесса и сбрасывается (=0) по его завершению.

Function3_is_executed – флаг процесса реализации функции номер 3, устанавливается (=1) в момент начала процесса и сбрасывается (=0) по его завершению.

delta_t – целочисленная величина интервала времени Δt (мкс), косвенно задающая прямой ток БВД при реализации функции 1 или ток коллектора БТИЗ при реализации функции 2, вычисляется по формуле: $\Delta t = 250 \cdot I/U$, где I – задаваемый ток (А), U – испытательное напряжение (В).

U_CE_internal_adc – результат (В) автоматического контроля выходного напряжения программируемого источника **VS900**.

MODE[FUNK/BIT] – бит задания режима программного управления испытанием: 0 – автоматическая реализация алгоритма испытания при заданных напряжении, токе (для функций номер 1, 2) и номере функции; 1 – покомандная реализация алгоритма.

7. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНОГО БЛОКА

7.1. Проверка работоспособности функциональных модулей основного блока тестера производится после выполнения этапа подготовки к работе (раздел 6) переводом программы **Modbus Poll** в режим покомандного выполнения. Для этого в регистр с именем **MODE(FUNK/BIT)** следует записать 1 (рис. 5).

В исходном состоянии в регистрах **IN_PB10[UNLVO]** и **IN_PB11[FAULT]** должна отображаться 1.

7.2. Для проверки работоспособности программируемого источника **VS900** и электронного ключа **V1** в регистр с именем **OUT_PB0[GES]** следует

записать 1, а в регистр **ANOUT_DAC_OUT** – целочисленный код напряжения $Z=(4095/900)U_z$, где $U_z, В$ – задаваемое напряжение. Вольтметр, установленный на передней панели основного блока, должен отображать нарастание напряжения до заданного уровня. При записи 0 в регистр **OUT_PB0[GES]** показание вольтметра должно упасть до 0.

7.3. Для проверки работоспособности модуля **Discharger** необходимо зарядить батарею конденсаторов до заданного уровня напряжения (п. 7.2) и, не выключая **V1**, записать 0 в регистр **ANOUT_DAC_OUT**, затем 1 в регистр **OUT_PB5[Dsch]**. Показание вольтметра должно плавно снизиться до 0.

7.4. Проверку работоспособности модуля **Driver_MT** осуществляют измерением постоянного напряжения на контактах 1 – 2 разъёма GMT, установленного на передней панели. В исходном состоянии это напряжение должно составлять минус $(10\pm 0,5)$ В, а после записи 1 в регистр **OUT_PB1[GTM]** – $(15\pm 0,75)$ В.

7.5. Проверку работоспособности модуля **Driver_MP** осуществляют измерением постоянного напряжения на контактах 1 – 2 разъёма GMP, установленного на передней панели. В исходном состоянии это напряжение должно составлять минус $(10\pm 0,5)$ В, а после записи 1 в регистр **OUT_PB1[GPM]** – $(15\pm 0,75)$ В.

7.6. Для проверки работоспособности электромагнитного переключателя **KM1-KM2** в исходном состоянии основного блока следует измерить сопротивление между выводами EMT-CMP и EMP. Оно не должно превышать 1 Ом. После записи 1 в регистр **OUT_PB3[VT/VD]** указанное сопротивление должно резко возрасти, а сопротивление между выводами EMT-CMP и CMP должно быть не более 1 Ом.

7.7. Для предварительной оценки работоспособности модуля **Adapter** следует в исходном состоянии основного блока измерить сопротивления между контактами разъёма СН0. Оно должно составлять 235 Ом $\pm 5\%$. После записи 1 в регистр **OUT_PB4[Vce/I]** сопротивление между контактами разъёма СН0 должно составлять 750 Ом $\pm 5\%$.

7.8. Для предварительной оценки работоспособности модуля **Addblock** следует в исходном состоянии основного блока записать 1 в регистр **OUT_PB6[IFP]** и измерить напряжение между контактами 1и 2 разъёма «А – С». Оно должно составлять 9 В $\pm 5\%$. После записи 1 в регистр **OUT_PB7[VRP]** напряжение между контактами 1и 2 разъёма «А – С» должно составлять минус 30 В $\pm 5\%$.

8. ИНСТРУКЦИЯ ПО КАЛИБРОВКЕ

8.1. Метрологические характеристики основного блока, подлежащие калибровке, с указанием соответствующих пунктов инструкции приведены в табл. 4.

8.2. При проведении калибровки должны применяться средства, перечисленные в табл. 5. Допускается применение других средств, имеющих аналогичные технические характеристики.

Таблица 4

№ п/п	Наименование калибруемой величины	Диапазон контролируемых значений	Допускаемая погрешность	Номер подраздела инструкции
1	Напряжение источника VS900	(300...900) В	±5%	8.5
2	Задаваемый прямой ток I_F БВД	(10...400) А	$\pm(0,05I_F+1)$ А	8.5; 8.6
3	Задаваемый ток коллектора I_C БТИЗ	(10...400) А	$\pm(0,05I_C+1)$ А	8.7
4	Амплитуда напряжения затвор-эмиттер U_{GE} БТИЗ	(-10/+15) В	±5%	8.8
5	Длительность фронта и спада импульсов напряжения управления БТИЗ	не более 50 нс		8.8
6	Прямой ток БВД в маломощном режиме	1 А	±5%	8.9
7	Обратное напряжение на БВД в маломощном режиме	30 В	±5%	8.10
8	Скорость спада тока БВД в маломощном режиме	200 А/мкс	±20%	8.9

8.3. Условия проведения калибровки должны соответствовать условиям эксплуатации, указанным в разделе 3 настоящего ТО.

8.4. Для проведения калибровки необходимо подготовить блок к работе согласно разделу 6 настоящего ТО. Требования к технике безопасности при проведении калибровки соответствуют требованиям раздела 5 настоящего ТО.

8.5. Калибровка напряжения источника **VS900** и задаваемого прямого тока I_F БВД проводится в режиме измерений по программе **Test1** (подразделы 9.4; 9.5) при включении в цепь токоизмерительного шунта R_S с нормированным сопротивлением и цифрового осциллографа **P** (рис. 6).

Напряжение источника **VS900** (обратное напряжение) и тока I_F БВД задают из рабочего диапазона (табл. 4) с учётом допустимых для БВД значений.

По осциллограмме обратного напряжения определяют напряжение источника **VS900** и проверяют его соответствие заданному (подраздел 9.5) с учётом допускаемой погрешности.

8.6. По осциллограмме тока БВД (рис. 7) определяют напряжение V_F , рассчитывают прямой ток по формуле $I_F = V_F/R_S$, где R_S – измеренное сопротивление шунта, и проверяют соответствие из-

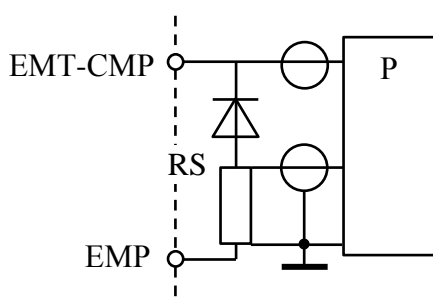


Рис. 6

меренного тока заданному с учётом допускаемой погрешности.

Таблица 5

Наименование средств калибровки	Основные технические характеристики		Рекомендуемый тип
	Диапазон	Погрешность	
Осциллограф цифровой			АКИП-4115/5А
Шунт токоизмерительный	0,01 Ом ±5%	Сопротивление шунта подлежит измерению с погрешностью не более ±2%	10 параллельно соединённых резисторов WSL2816-0,1 Ом ±1%

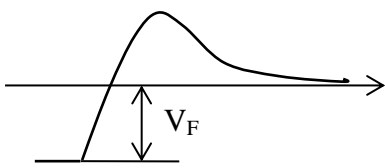


Рис. 7

8.6. По осциллограмме тока БВД (рис. 7) определяют напряжение V_F , рассчитывают прямой ток по формуле $I_F = V_F/R_S$, где R_S – измеренное сопротивление шунта, и проверяют соответствие измеренного тока заданному с учётом допускаемой погрешности.

8.7. Калибровка задаваемого тока коллектора I_C БТИЗ проводится при выполнении измерений по программе **Test2** (подраздел 9.7). Токоизмерительный шунт с нормированным сопротивлением включается в цепь эмиттера БТИЗ (рис. 8). По осциллограмме тока БТИЗ (рис. 9) определяют напряжение V_C , рассчитывают ток коллектора по формуле $I_C = V_C/R_S$, где R_S – измеренное сопротивление шунта, и проверяют соответствие измеренного тока заданному с учётом допускаемой погрешности.

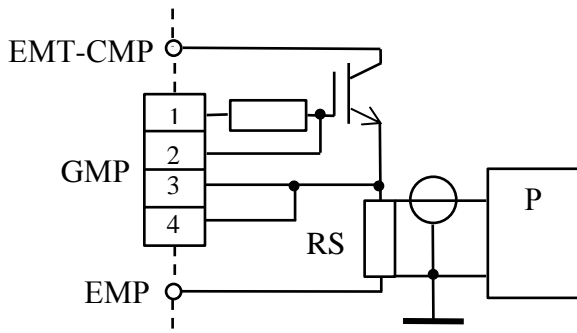


Рис. 8

8.8. Проверка амплитуды и длительности фронта и спада напряжения затвор-эмиттер U_{GE} БТИЗ проводится в режиме измерений по программе **Test2** (подраздел 9.7) при подключении осциллографа к затвору БТИЗ.

По осциллограмме определяют отрицательную и положительную амплитуды и длительности фронта и спада им-

пульсов напряжения управления БТИЗ и их соответствие норме.

8.9. Калибровку прямого тока и скорости спада тока БВД в маломощном режиме проводят при выполнении измерений по программе **Test3** (см. подраздел 9.9) при подключении к разъёму CH2 цифрового осциллографа. Предварительно измеряют сопротивление R_S встроенного токоизмерительного шунта между корпусом контакта CH2 и контактом 2 разъёма «А – С».

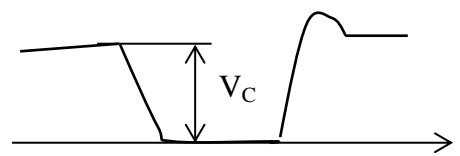


Рис. 9

По осциллограмме с учётом R_S определяют прямой ток БВД и скорость спада тока в маломощном режиме и проверяют их соответствие указанным в табл. 4.

8.10. Обратное напряжение на БВД в маломощном режиме проверяют в режиме выполнения измерений по программе **Test3** при подключении к БВД цифрового осциллографа.

8.11. К метрологическим характеристикам тестера, подлежащим проверке, относятся результаты измерения времени обратного восстановления БВД; времени задержки включения, нарастания, задержки выключения и спада БТИЗ; времени обратного восстановления БВД в маломощном режиме. Диапазон контролируемых значений – (10 нс – 10 мкс). Допускаемая погрешность: в диапазоне (10 – 400) нс – не более $\pm(0,05t_x + 1 \text{ нс})$; в диапазоне (0,4 – 10) мкс – не более $\pm(0,05t_x + 10 \text{ нс})$.

8.12. При проведении проверки должны применяться средства, перечисленные в табл. 5, или другие средства с аналогичными техническими характеристиками.

8.13. Проверка результата измерения тестером времени обратного восстановления БВД проводится по схеме рис. 6 в режиме измерений по программе **Test1** (подразделы 9.4; 9.5). По осциллограмме тока БВД, полученной с помощью образцового осциллографа, определяют время обратного восстановления (см. ТЗ, рис.3) и устанавливают соответствие этому значению результата измерения тестером (рис. 15).

8.14. Проверка результата измерения тестером времени задержки включения, нарастания, задержки выключения и спада БТИЗ проводится по схеме

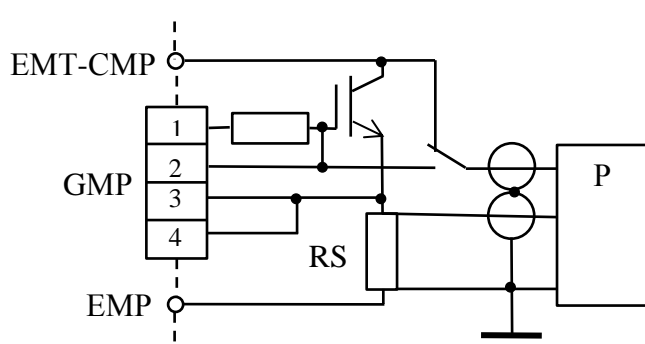


Рис. 10

рис. 10 в режиме измерений по программе **Test2** (подраздел 9.7). Проводят два эксперимента.

Вначале получают осциллограммы напряжения на шунте V_{RS} , напряжения на затворе V_G и напряжения затвор-эмиттер $V_{GE} = V_G - V_E$.

Затем получают осциллограммы напряжения на шунте V_{RS} и напряжения коллектор-эмиттер (падением напряжения на шунте можно пренебречь).

При совместной обработке полученных осциллограмм (см. ТЗ, рис. 5) определяют времена задержки включения, нарастания, задержки выключения и спада БТИЗ. Устанавливают соответствие полученных значений результатам измерения тестером (рис. 16).

8.15. Проверка результата измерения тестером времени обратного восстановления БВД в маломощном режиме проводят при выполнении измерений по программе **Test3** (подразделы 8.9; 9.9). По осциллограмме тока определяют время обратного восстановления (см. ТЗ, рис. 8) и устанавливают соответствие полученного значения результату измерения тестером (рис. 18).

9. ИНСТРУКЦИЯ ОПЕРАТОРУ

9.1. Перед проведением измерений параметров БТИЗ и БВД в составе силовых модулей необходимо присоединить испытуемый и технологический модули к соответствующим контактам и разъёмам (см. раздел 2) или испытуемый БВД к разъёму А – С, подключить входы АЦП соответственно к разъёмам СНО, СН1, SYNC1 или СН2, SYNC2 и выполнить п. 6.1 – 6.3 раздела «Подготовка к работе».

Управляющая ЭВМ должна содержать программное обеспечение (MatLab) и папку **МОРИОН** (возможно другое имя) с размещением этой папки или её ярлыка на рабочем столе.

9.2. Открываем папку **МОРИОН**. В ней находятся папки с названиями рабочих тестов (рис. 11).

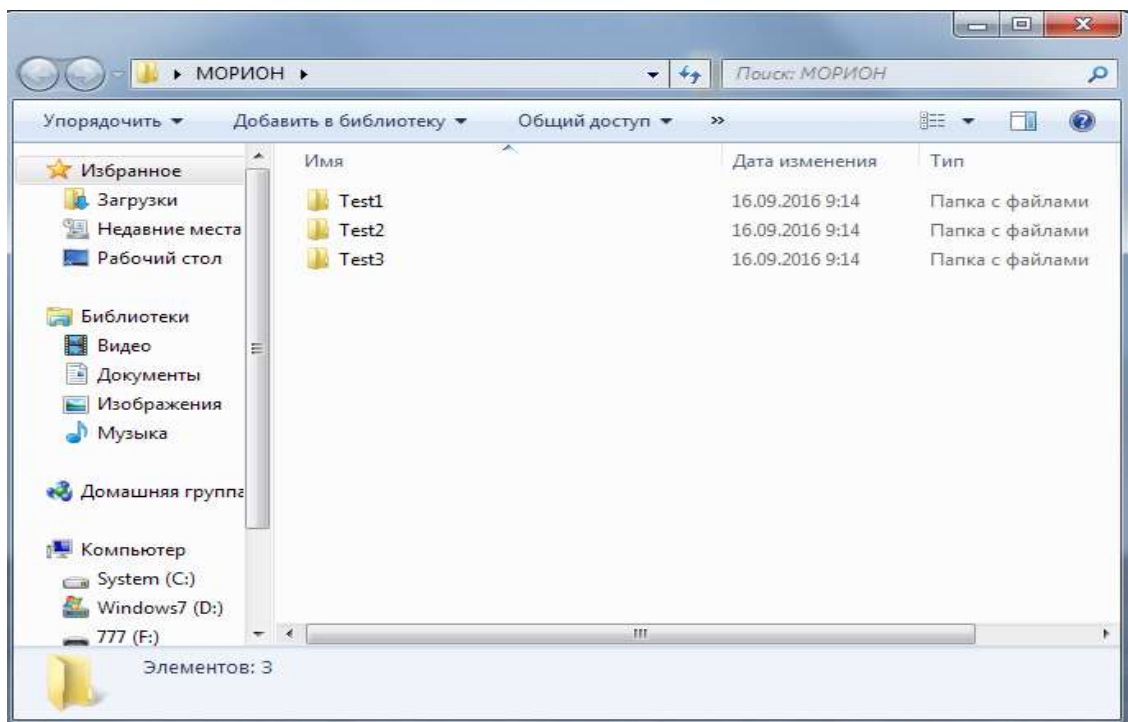


Рис. 11

Test1 – измерение динамических параметров БВД по схеме рис. 2, **Test2** – измерение динамических параметров БТИЗ, **Test3** – измерение динамических параметров БВД по схеме рис. 3.

9.3. Открываем папку выполняемого теста, например **Test2**. Папка содержит файлы **GetParamTest2**, **Test2**, **test2qui**. Запускаем по очереди все файлы и ждём появления на экране монитора окна, представленного на рис. 12.

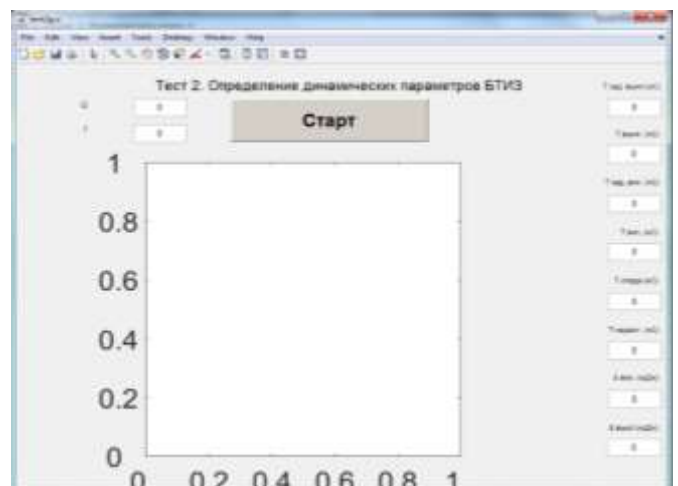


Рис. 12

9.4. При выполнении измерений по программе **Test1** открываем соответствующую папку, запускаем по очереди все файлы и ждём появления на экране монитора окна с заглавием «Тест 1. Определение времени восстановления БВД» (рис. 13).

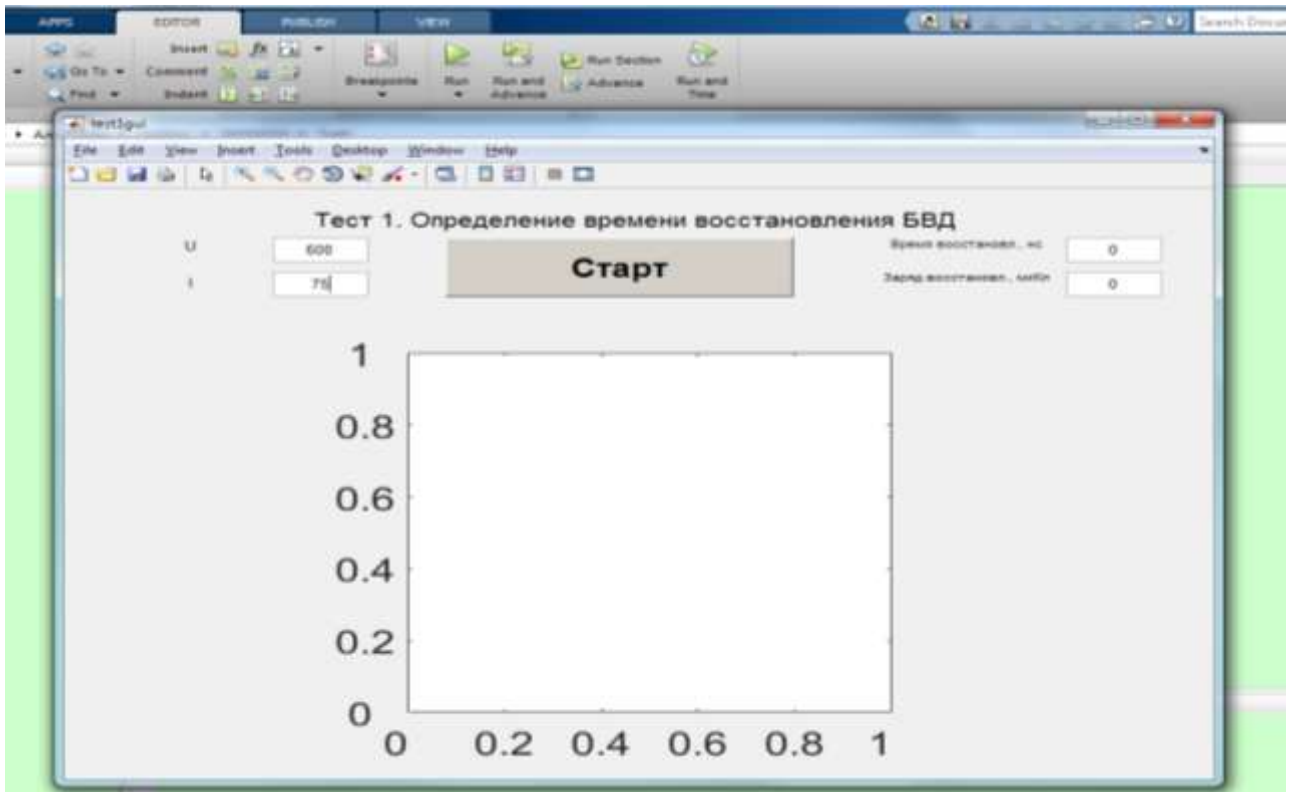


Рис. 13

9.5. В окна, поименованные как U и I (рис. 13), следует ввести значения параметров эксперимента: обратного напряжения (в вольтах) и прямого тока (в амперах). Нажатие с помощью курсора кнопки «Старт» инициирует процесс измерения, выполнение которого сопровождается подсветкой соответствующей кнопки (см. рис. 14).

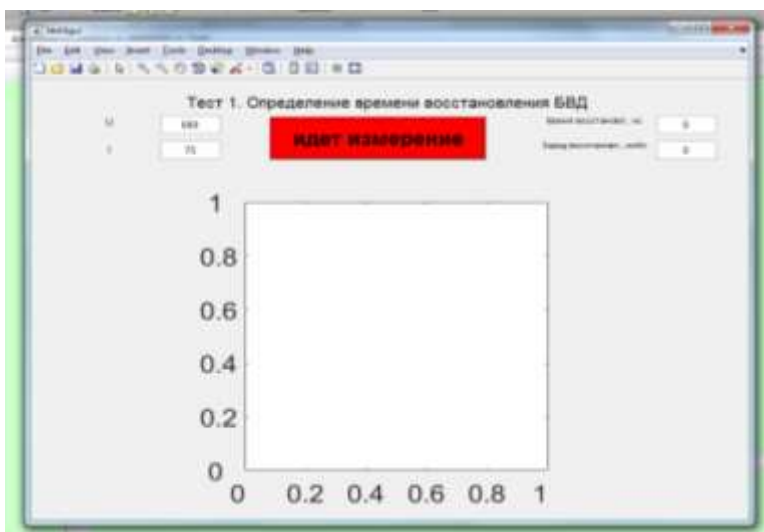


Рис. 14

По завершению процесса в окна с названиями «Время восстановления, нс» и «Заряд восстановления, мкКл», выведутся результаты измерения, а в центре окна появится график тока БВД (рис. 15).

Если не установить параметры U и I, то после нажатия кнопки «Старт», в этих окнах появятся минимальные значения напряжения и тока и эксперимент пройдет с этими параметрами.

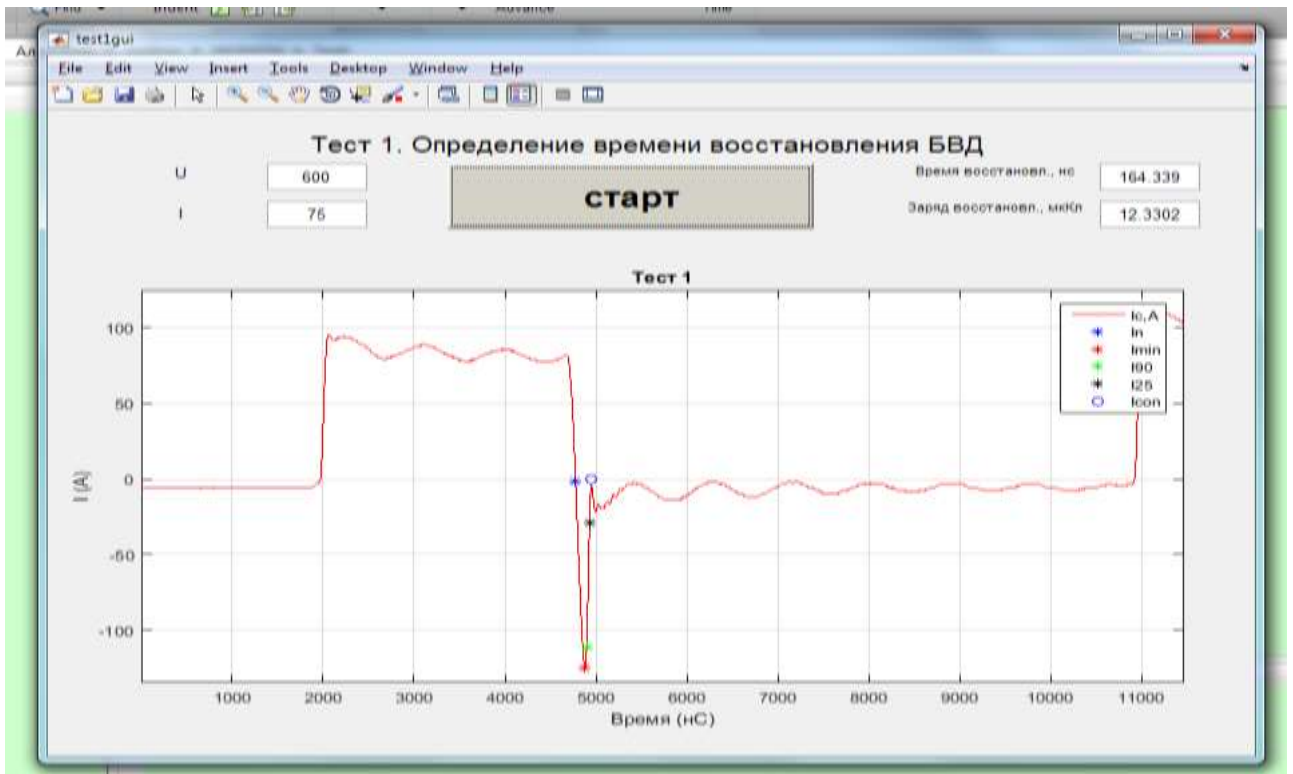


Рис. 15

Отметки на графике тока фиксируют координаты опорных точек, на основании которых рассчитываются параметры: время обратного восстановления и заряд восстановления.

9.6. Если параметры эксперимента U и I остаются теми же, то после замены испытуемого БВД (модуля) нажатием кнопки «Старт» иницируется новый процесс измерения.

Для проведения эксперимента с другими параметрами U и I необходимо занести их в соответствующие окна и нажать кнопку «Старт».

9.7. При выполнении измерений по программе **Test2** открываем соответствующую папку, запускаем по очереди все файлы и ждём появления на экране монитора окна с заглавием «Тест 2. Определение динамических параметров БТИЗ». В окна, поименованные как U и I , следует ввести значения параметров эксперимента: напряжения коллектор-эмиттер (в вольтах) и тока коллектора (в амперах). Нажатие с помощью курсора кнопки «Старт» иницирует процесс измерения, выполнение которого сопровождается подсветкой соответствующей кнопки.

9.8. При отсутствии сбоя в ходе эксперимента после его окончания на мониторе отображаются его результаты (рис. 16). В окнах справа – значения динамических параметров БТИЗ: времени задержки выключения, времени выключения, времени задержки включения, времени включения, времени спада, времени нарастания, энергии включения и энергии выключения, в центре – графики тока коллектора, напряжения затвор-эмиттер, напряжения коллектор-эмиттер.

Отметки на графиках фиксируют координаты опорных точек, на основании которых рассчитываются параметры.

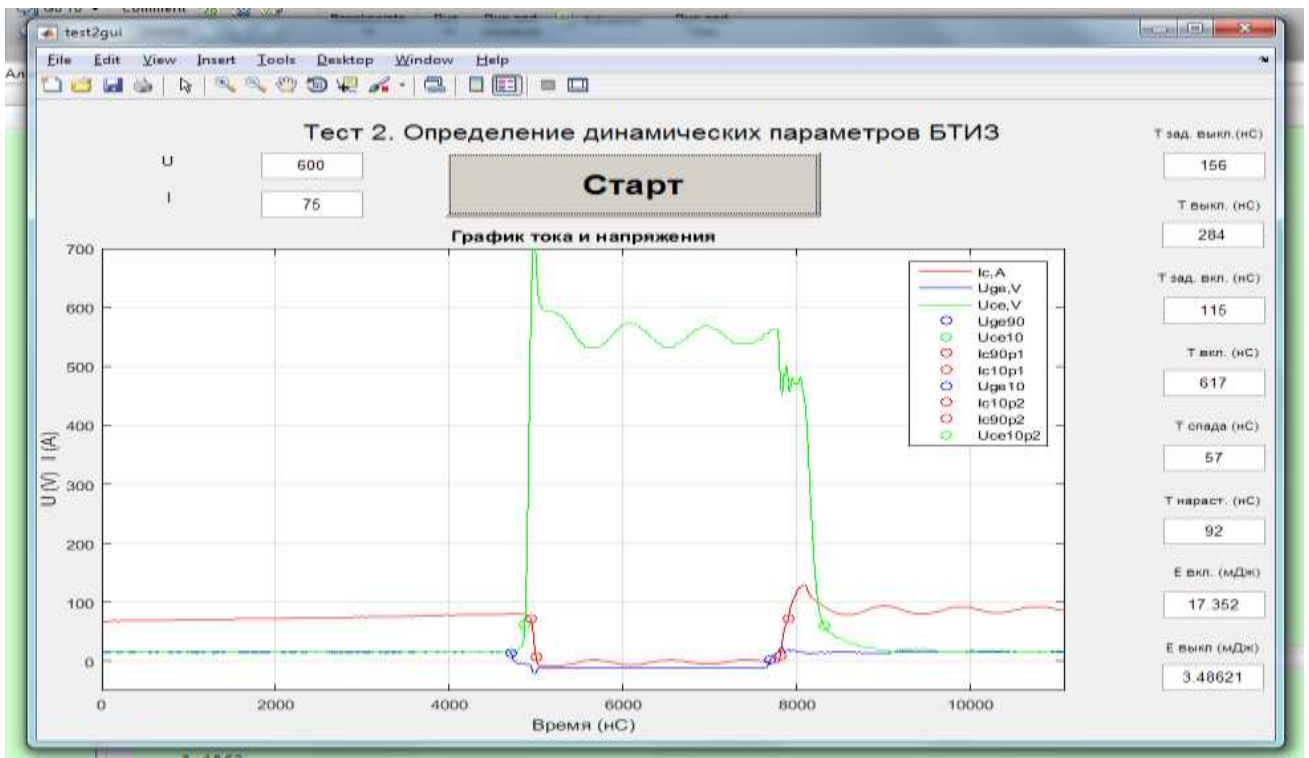


Рис. 16

Для повторения измерения нужно нажать кнопку «Старт». Для нового испытания следует установить новый БТИЗ (модуль), задать новые параметры U и I (или оставить прежние) и нажать кнопку «Старт».

Если не установить параметры U и I , то после нажатия кнопки «Старт», в этих окнах появятся минимальные значения напряжения и тока и эксперимент пройдет с этими параметрами.

9.9. При выполнении измерений по программе **Test3** открываем соответствующую папку, запускаем по очереди все файлы и ждём появления на экране монитора окна с заглавием «Тест 3. Определение времени восстановления БВД» (рис. 17).

Нажатие кнопки «Старт» инициирует процесс измерения, по завершению которого в окне справа выводится результат, а в центре – график тока с отметками координат опорных точек для расчёта измеряемого параметра.

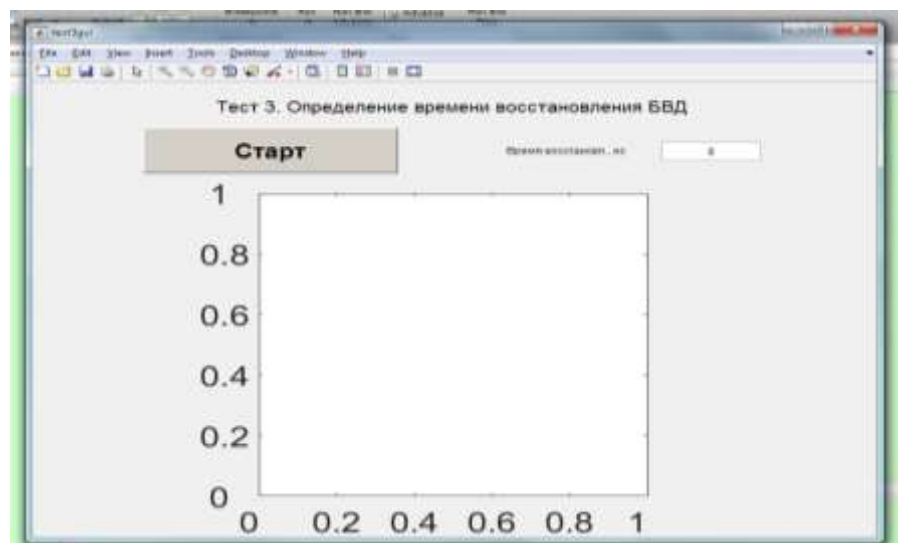



Рис. 17

9.10. Далее на примере результатов, полученных при выполнении измерений по программе **Test1** описываются возможности детализации графиков.

Если «щёлкнуть» по кнопке , расположенной на панели инструментов, то по окну графика вместо курсора начнёт двигаться изображение этой иконки. Эта иконка выделяет область и разворачивает её в окне графика. В развёрнутой области можно выделить ещё одну область и повторно увеличить её. И так многократно. На рис. 18 показано выделение области, а на рис. 19 ре-

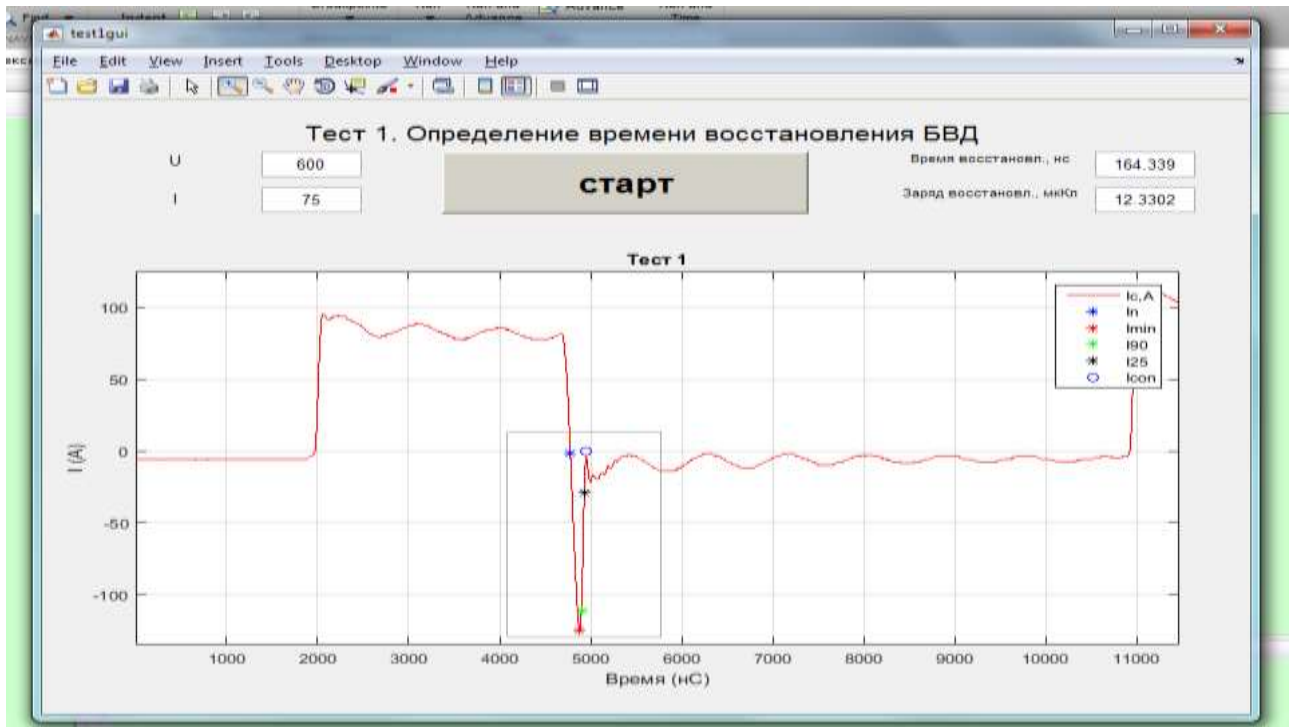


Рис. 18

зультат увеличения масштаба изображения.

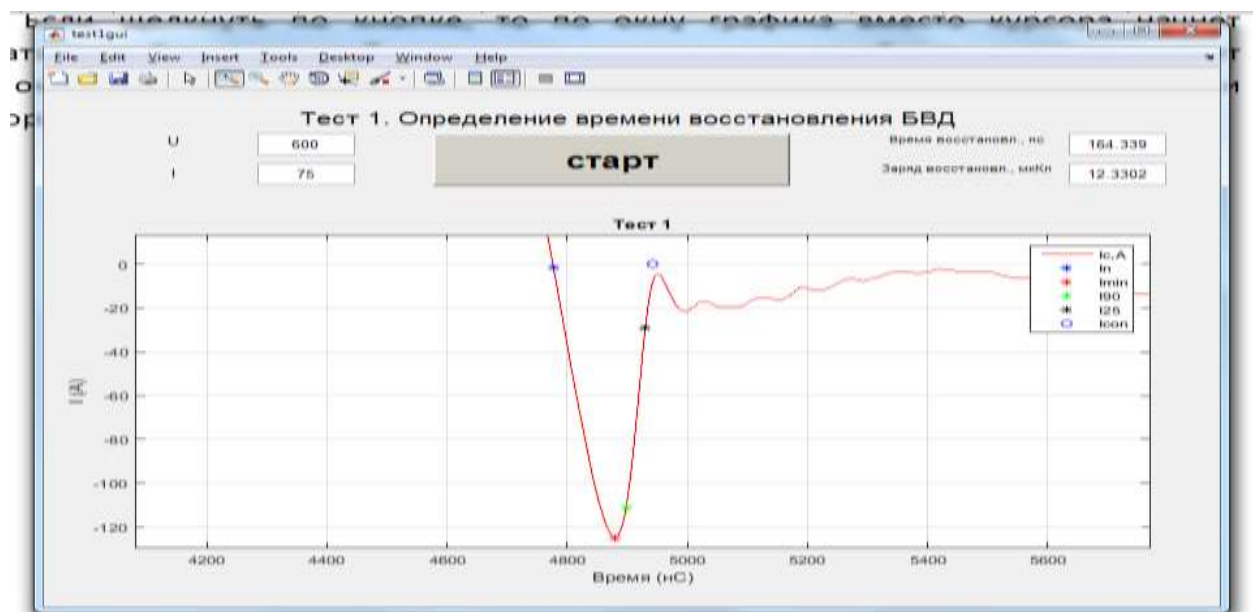


Рис. 19

Назначение других кнопок на панели инструментов:



– уменьшение масштаба изображения;



– перемещение изображения в окне графика;



– индикация координат точки графика при наведении на неё курсора (см. рис. 20).

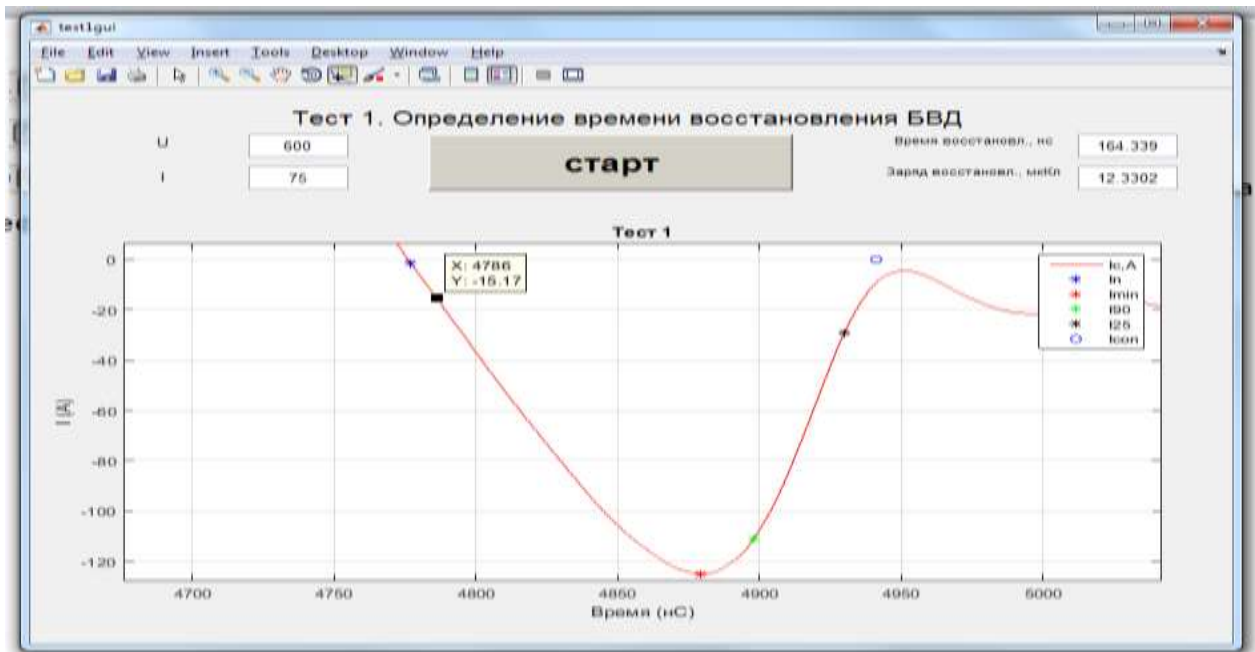


Рис. 20

Во вкладке Insert в открывающемся списке можно выбрать Line. С её помощью можно (как в данном примере) проверить построение точки I_{con}, которая должна находиться на одной прямой с точками I₉₀ и I₂₅. Рис. 21 показывает, что точка I_{con} найдена верно.

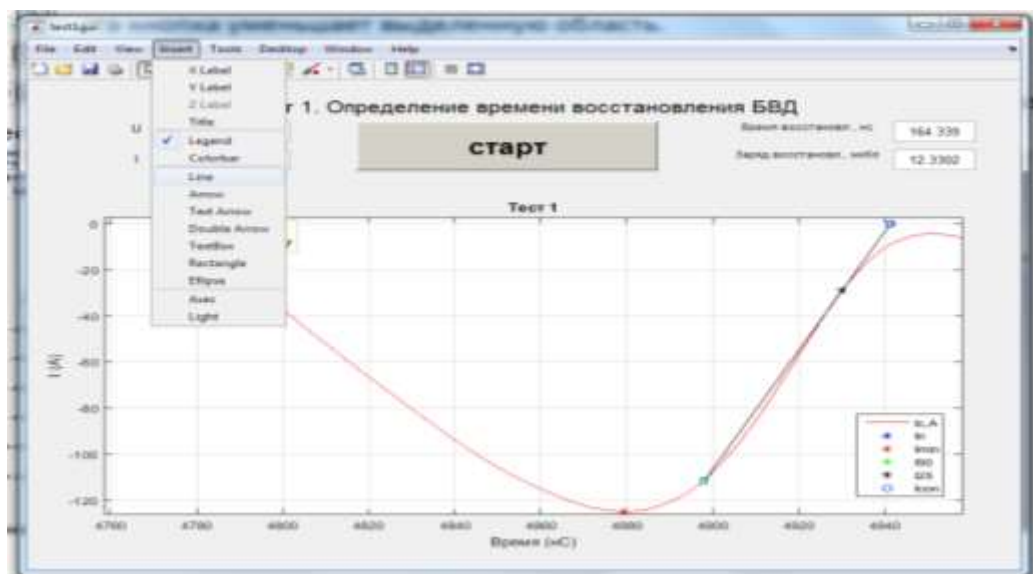


Рис. 21