



Четырехканальный усилитель малых сигналов  
SmartStat® SDE-4

Руководство по эксплуатации

2026

[www.smartstat.ru](http://www.smartstat.ru)



Уважаемый пользователь! Мы благодарим Вас за приобретение и использование научного оборудования SmartStat. В этом руководстве приведены подробные характеристики четырехканального предварительного усилителя (предусилителя) SDE-4.

Четырехканальный предварительный усилитель SDE-4 предназначен для усиления четырех независимых сигналов малой амплитуды. Эти сигналы могут подаваться на предусилитель SDE-4 как дифференциально, то есть с положительным и отрицательным входом в каждом канале, так и приведенными к земле. Предусилитель может быть сконфигурирован разными вариантами, например:

- Дифференциальное усиление малых сигналов в 10 или 100 раз (вычитание двух сигналов и последующее усиление).
- Усиление сигнала, приведенного к земле, с установкой опционального фильтра постоянной составляющей или без него.

Предусилитель питается от прилагаемого адаптера по USB Type-C или от потенциостата-носителя SmartStat, к которому он подключен. В зависимости от серии используемого потенциостата SmartStat, один канал потенциостата может оцифровывать от одного до трех выходных сигналов (каналов) предусилителя. Многоканальные потенциостаты могут оцифровывать все выходы предусилителя. Конфигурирование предусилителя осуществляется при помощи джамперов, индивидуально для каждого канала. В программном обеспечении управления потенциостатом SmartSoft, предусилитель SDE-4 не отображается и не настраивается. В нем пользователь может задать нормировочные коэффициенты усиления для Aux входов АЦП, равными выбранным коэффициентам усиления предусилителя.

При работе с потенциостатом, его электрохимический интерфейс (входы Counter, Ref, Comp, Work) при необходимости может быть использован для задания рабочей точки исследуемого образца (в любом его штатном режиме работы - стационарно, развертки, хроно), а предусилитель используется при этом для усиления и измерения каких-либо падений напряжения на этом образце (при помощи токосъемников или электродов сравнения).

Предусилитель может быть использован для решения, например, следующих задач:

- Измерение электрохимических шумов.
- Измерение малых сигналов, когда штатного разрешения потенциостата не хватает.

Уважаемый коллега! Если у Вас возникли вопросы или Вы не нашли, как решить Вашу задачу с использованием потенциостата SmartStat или одного из его модулей, напишите нам. Может оказаться, что задача решается уже имеющимися возможностями прибора. Возможно, она будет решена в ближайшем обновлении прибора или SmartSoft, или ожидает своего воплощения. Также мы готовы рассмотреть объективные, то есть востребованные и детализованные пожелания заказчика. Платформа SmartStat является перспективной и в ней будет еще много программных и аппаратных обновлений и дополнений, значительно расширяющих функциональность.

## Содержание

1.	Характеристики	4
2.	Комплектность поставки	6
3.	Устройство и принцип работы	7
4.	Описание исполнения ECN-Edition	16

## 1. Характеристики

Ниже приведены характеристики предусилителя SDE-4.

Таблица 1. Характеристики предусилителя SDE-4 в базовом исполнении.

Характеристика	Значение
Количество каналов предусилителя	4
Тип входа каждого канала	Высокоомный дифференциальный по напряжению <sup>(1)</sup>
Тип выхода каждого канала	Приведенный к земле выход ОУ, по напряжению
Максимальное входное напряжение	$\pm 5$ В <sup>(2)</sup>
Максимальное выходное напряжение	$\pm 5$ В
Входное сопротивление не менее	$10^9$ Ом
Коэффициент усиления	10.09 или 101
Размеры модуля	168x90x23 мм
Модели поддерживаемых потенциостатов	SmartStat профессиональной серии: PS-50, PS-250, PS-20, PS-10, PS-10-4. Высоковольтной: PS-60, PS-65. RS-серии: RS-10-4, RS-20-4, RS-25-4 <sup>(3)</sup> . Допустима с ограничениями лабораторная серия: PS-1, PS-30, PS-80 <sup>(4)</sup> . Допустима индустриальная или технологическая серии <sup>(5)</sup> .

(1) - измеряется разница потенциалов между положительным входом и отрицательным, опция настраивается пользователем при помощи джамперов.

(2) - приведен абсолютный размах напряжений. Фактические величины допустимых входных напряжений, не приводящие к насыщению выходов модуля, определяются выбранным коэффициентом усиления и индивидуальной конфигурацией канала модуля.

(3) - у четырехканальных моделей потенциостатов, для питания модуля может использоваться один из каналов потенциостата, а выходы модуля могут идти каждый на свой канал потенциостата и могут быть сконфигурированы индивидуально (используя один из АЦП прямоугольного интерфейсного разъема канала потенциостата, или основной потенциальный вход канала потенциостата Ref-Comp).

(4) - у лабораторной серии SmartStat нет Aux входов АЦП на прямоугольном интерфейсном разъеме, поэтому выход предусилителя можно подключить только к потенциальному входу потенциостата Ref или Comp. Второй из них (Comp или Ref), не используемый, в этом случае подключается к земле. Потенциостат может работать в режиме вольтметра или гальваностата. В потенциостатическом режиме работа запрещена. Это обстоятельство сказывается на количестве одновременно оцифровываемых каналов (у профессиональной серии до трех: два Aux АЦП и основной потенциальный канал потенциостата, а у лабораторной только один - основной потенциальный канал потенциостата). У лабораторной серии SmartStat интерфейсный разъем потенциостата

используется только для подачи питания на предусилитель, что предпочтительнее (надежнее) использования адаптера. Прилагаемый адаптер рекомендуется использовать при работе предусилителя без приборов SmartStat или «черных» серий SmartStat (см далее).

(5) - у циклеров индустриальной и технологической («черных») серий нет дополнительных входов АЦП, а разъем интерфейса несовместим с предусилителем и есть не у всех исполнений циклеров. Поэтому единственный вариант работы - каждый канал циклера (потенциостата) оцифровывает выходной сигнал с одного канала предусилителя. Предусилителей при этом потребуется два, чтобы заполнить все каналы циклера, каждый питается от прилагаемого адаптера. В остальном все как у лабораторной серии SmartStat. Модель циклера SmartStat не имеет значения - они различаются выходными токами, но все могут измерять-оцифровывать потенциалы размахом  $\pm 5$  В (в обеих полярностях) в режиме вольтметра.

Наибольшую точность, разрешение и минимальную шумность с модулем SDE-4 обеспечит профессиональная серия SmartStat благодаря АЦП разрядностью 20 бит. Практически такую же точность, но меньшее удобство (из-за меньшего количества входов АЦП и каналов) - лабораторная серия (то же АЦП). Индустриальная и технологическая серии используют АЦП разрядностью 16 бит и обеспечат наименьшую прецизионность, но максимальное количество каналов при минимальной стоимости всей установки.

Входы предусилителя можно подключать к низкоомным электродам сравнения (если их собственный импеданс составляет не более 20 кОм). Этому условию обычно удовлетворяют современные электроды с разделителями на основе фритта. При этом электрод сравнения должен быть в хорошем состоянии. Использование дополнительных мостиков, ключей и разделителей может вызвать заметный рост сопротивления цепи электрода сравнения и негативно сказаться на точности регистрации данных на нем. Также относительно низкими импедансами обычно (но не всегда) обладают твердоэлектродные или проволочные электроды сравнения.

Сигналы, измеряемые предусилителем, не рекомендуется использовать для регистрации электрохимического импеданса из-за невозможности создания реактивных калибровок для каждого рабочего режима каждого канала предусилителя. Также не рекомендуется использовать режимы с быстрой регистрацией данных - импульсную развертку и универсальный импульсный режим, так как частотная полоса предусилителя определяется выбранным для него коэффициентом усиления и пропорционально ему сужается сверху.

Рекомендуется использовать потоковые режимы работы потенциостата со скоростями регистрации данных до 2 кГц (стационарные, развертки, универсальный хроно-режим).

Предусилитель не имеет специальных калибровок. Коэффициенты усиления определяются номиналами используемых в нем прецизионных резисторов, обладающих точностью 0.1%.

## 2. Комплектность поставки

Ниже приведена комплектность базовой поставки сканирующего вольтметра SDE-4.

Таблица 2. Комплектность поставки сканирующего вольтметра SDE-4.

Наименование	Количество
Предусилитель – основной блок	1
Измерительный кабель с зажимом типа «крокодил» для подключения исследуемых объектов	8 одинарных или 4 сдвоенных
Двухконтактный клеммник для подключения измерительных кабелей к предусилителю	8
Четырехконтактный клеммник для подключения сигналов земли к предусилителю	1
Интерфейсный шнур для подключения к потенциостату	1
Адаптер питания с выходом USB Type-C на 12 В при токе не менее 500 мА	1
Кабель USB Type-C для подключения предусилителя к адаптеру	1
Руководство по эксплуатации	1
Коробка упаковочная	1

Комплектность поставки и внешний вид модуля могут быть изменены производителем и не отражены в настоящем руководстве.

Серийный номер модуля нанесен на его нижней части.

Измерительные кабели имеют длину по 20 см и подключаются группами по 2 штуки в специальный клеммник для каждого канала предусилителя. Эти кабели можно удлинять и при необходимости заменять.

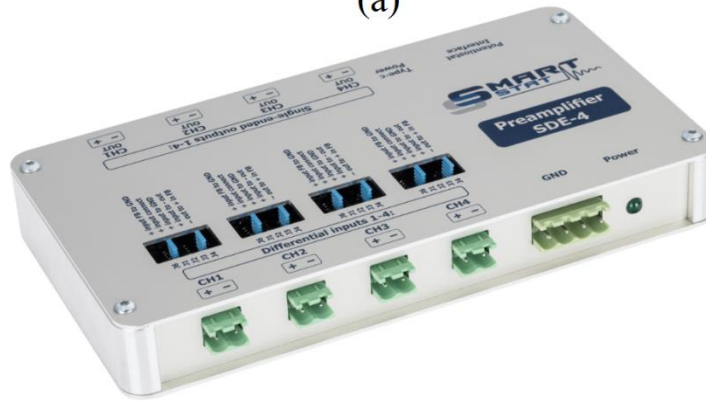
При работе с экраном, в него помещается исследуемый образец и сам предусилитель, так как он подключается к исследуемому объекту незранированными кабелями. Наружу из экрана выводится кабель, подключающий предусилитель к потенциостату. При работе с нагревательной печью, предусилитель должен находиться вне ее, а для съема с образцов электрических сигналов должны использоваться специальные проводники горячей зоны (обычно они тоже незранированы, и для них и входов предусилителя применяется групповой экран).

Интерфейсный шнур для подключения предусилителя к цифро-аналоговому интерфейсу потенциостата представляет собой экранированный удлинитель 0.5 м с разъемами типа D-SUB-9. Использование более длинного кабеля не допускается. Использование именно экранированного кабеля в качестве интерфейсного строго обязательно.

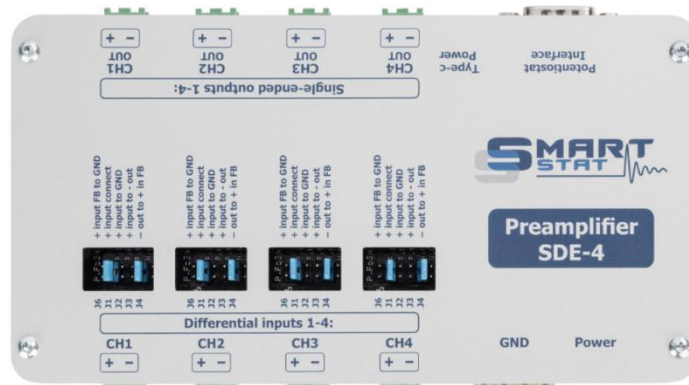
**Пожалуйста, не используйте сторонние кабели.** Обратитесь в отдел продаж SmartStat для решения вопросов о специфических кабелях и по вопросам подключения оборудования.

### 3. Устройство и принцип работы

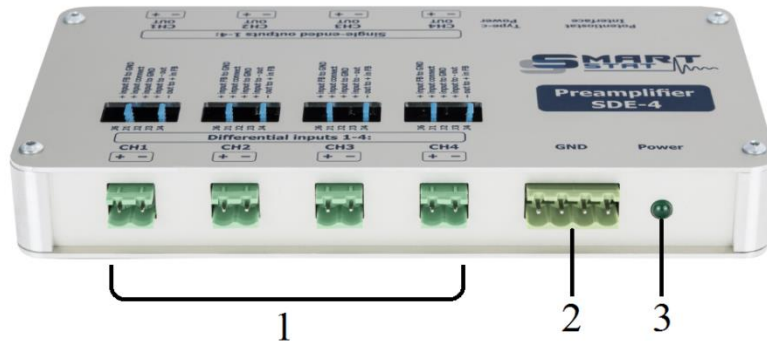
(а)



(б)



(В)



(г)

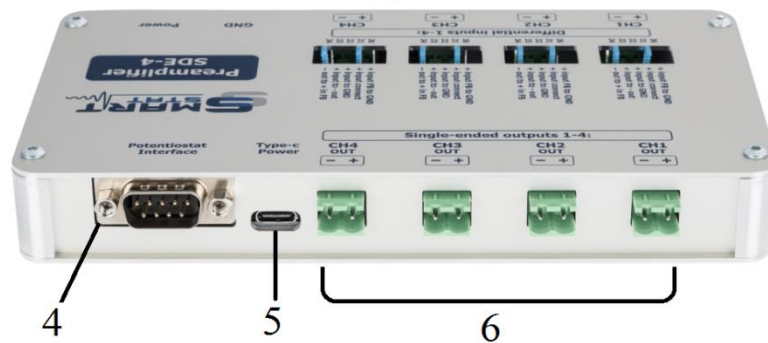


Рис. 1. Внешний вид предусилителя SDE-4. 1 - дифференциальные входы, 2 - разъем подключения сигналов земли, 3 - индикатор питания, 4 - интерфейсный разъем подключения потенциостата - носителя, 5 - разъем подключения питания от адаптера Type-C, 6 - выходы модуля.

Перед работой с предусилителем, пожалуйста, **изучите базовое руководство** по эксплуатации потенциостата. Это снимет ряд потенциальных вопросов по подключению дополнительного оборудования. Рекомендуется сначала освоить потенциостат без предусилителя, а уже после этого подключать его и работать с ним.

Предусилитель SDE-4 является дополнительным внешним узлом для потенциостата, к которому он подключен. В обычном режиме работы поляризацию (режимы работы по постоянному, переменному или импульсному току) исследуемого образца определяет потенциостат своим рабочим режимом (потенциостатически или гальваностатически, согласно программе поляризации, созданной при помощи редактора простых режимов или программатора SmartSoft). Предусилитель SDE-4 при этом является дополнительным средством измерения напряжения и сбора информации, которую он передает в потенциостат через его аналоговые входы дополнительных Aux-АЦП или в основной канал регистрации потенциала Ref-Comp.

Если потенциостат работает в гальваностатическом режиме или режиме вольтметра (его сигналы Ref-Comp не используются в качестве обратной связи), то входы Ref-Comp можно подключить к одному из выходов (каналов) предусилителя (в любой желаемой полярности).

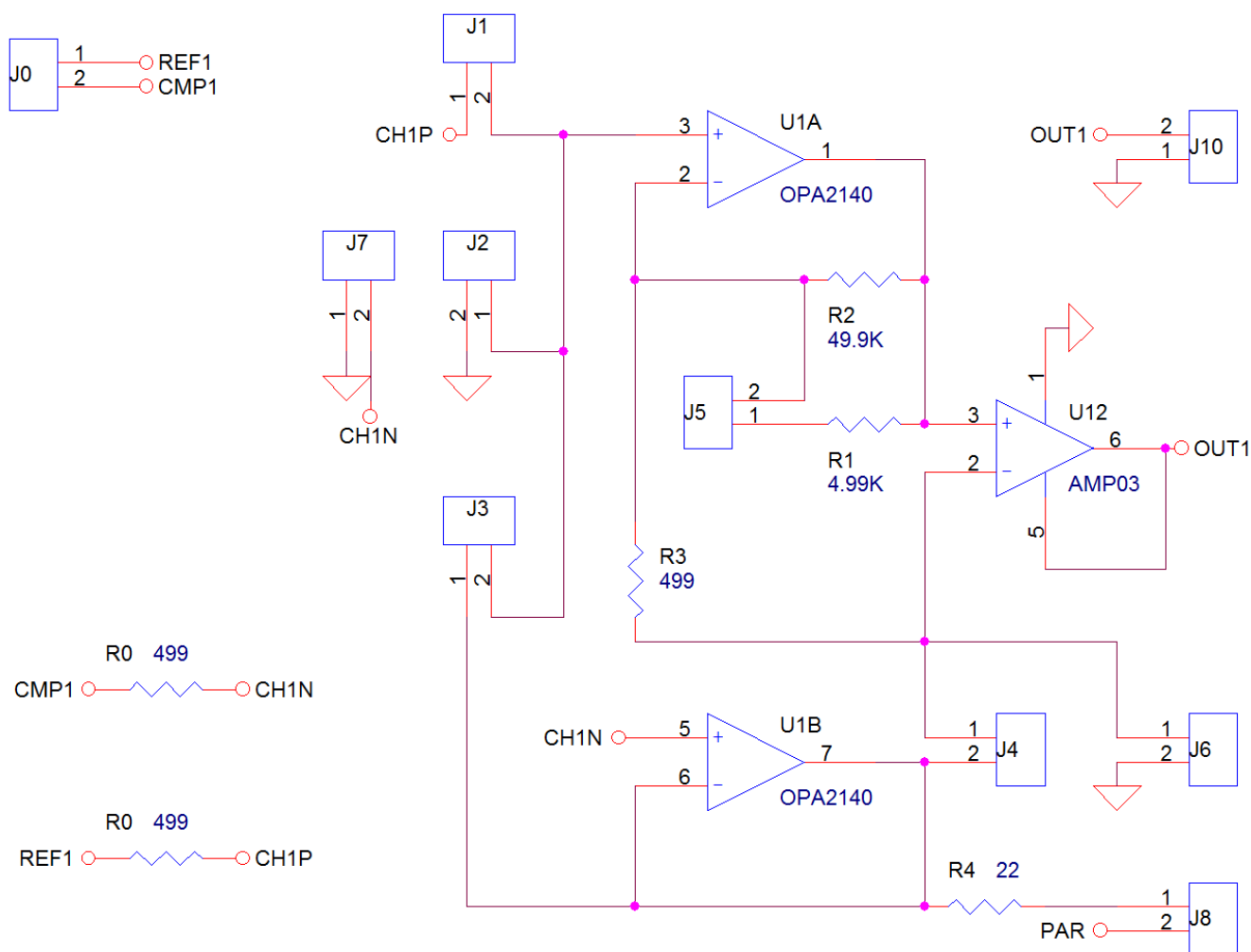


Рис. 2. Схема одного канала предусилителя SDE-4 (не показаны схемы питания и защиты).

Схема одного канала предусилителя SDE-4 оказана на рис. 2. Она полностью соответствует реальной схемотехнике изделия без цепей питания и защит. В каждом канале используется один сдвоенный малошумящий операционный усилитель (ОУ) OPA2140 с полевыми (CMOS) транзисторами на входах, что обеспечивает предусилителю SDE-4 возможность работы с высокоомными исследуемыми объектами, в частности позволяет подключать его к электродам сравнения, так как только ОУ с подобными входами способны обеспечить малый входной шум по току и малый входной ток. Использование еще более малошумящих ОУ с биполярными транзисторами нежелательно, так как в этом случае будет неизбежно иметься большой шум по току, что создаст дополнительный входной шум предусилителя по напряжению (его амплитуда или СПМ рассчитываются по закону Ома, в качестве сопротивления при этом будет выступать сумма сопротивлений защитных балластов R0 предусилителя, собственный импеданс исследуемого объекта, импеданс электродов сравнения).

Для CMOS входного каскада модуля SDE-4, спектральная плотность мощности шумов по току составляет  $0.8 \text{ фА/Гц}^{1/2}$ , что эквивалентно шуму по напряжению  $0.4 \text{ пВ/Гц}^{1/2}$ , генерируемому на одном балластно-защитном резисторе (R0) сопротивлением 499 Ом. То есть пренебрежимо мало для частоты 1 кГц. Оно окажется примерно в 4 раза выше для частоты 100 Гц, по аналогии с шумами по напряжению из-за фликкер-шумового характера шумов любого ОУ на низких частотах (подробности приведены на рис. 3), но все равно будет очень мало.

ОУ OPA2156 обладает следующими электрошумовыми характеристиками (приведен скриншот из его документации):

<b>NOISE</b>				
$E_n$	Input voltage noise	$f = 0.1 \text{ Hz to } 10 \text{ Hz}$	250	$\text{nV}_{PP}$
		$f = 0.1 \text{ Hz to } 10 \text{ Hz}$	42	$\text{nV}_{RMS}$
$e_n$	Input voltage noise density	$f = 10 \text{ Hz}$	8	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 100 \text{ Hz}$	5.8	
		$f = 1 \text{ kHz}$	5.1	
$i_n$	Input current noise density	$f = 1 \text{ kHz}$	0.8	$\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$

Рис. 3. Скриншот с электрошумовыми характеристиками ОУ типа OPA2140 из документации производителя.

Входные сигналы (+Input и -Input) подаются на входной разъем-клеммник J0 дифференциально, или приведенными к земле. Для подключения сигналов земли, у предусилителя предусмотрен отдельный четырехконтактный разъем-клеммник GND для всех каналов. Первыми на

входах предусилителя установлены защитные балласты R0 (по 499 Ом). К ним подключены защитные диоды, которые не показаны на схеме. Они нужны для предотвращения пробоя ОУ электростатикой. Номинал балластов выбран как компромисс между эффективной работой защиты (чем выше сопротивление балласта, тем эффективнее защита) и низкими шумами (тепловое сопротивление балласта прямо складывается с собственными шумами ОУ, и например, для 499 Ом, оно составляет  $2.88 \text{ нВ/Гц}^{1/2}$ , то есть сопоставимо с собственным шумом ОУ).

За усиление положительного входного сигнала «+Input» отвечает ОУ U1A. Для отрицательного сигнала «-Input» используется ОУ U1B. На вход «положительного усилителя» U1A можно подключить:

- 1) Сигнал с внешнего разъема J0: «+Input», замкнув джампер J1.
- 2) Отключить положительный усилитель, замкнув его вход на землю с помощью джампера J2.
- 3) Выход «отрицательного усилителя» U1B, замкнув джампер J3.
- 4) Выход отрицательного усилителя U1B через фильтр, установив конденсатор на J3 и резистор на J2 (в этом случае, вход CH1N «отрицательного» усилителя U1B трактуется как «положительный» вход, а усилители U1A и U1B устанавливаются каскадно, то есть последовательно и их шумы суммируются).

Усилитель U1B всегда работает повторителем (его коэффициент усиления по напряжению равен 1). Усилитель U1A может работать в двух вариантах коэффициентов усиления:

- 1) Усиление составляет величину 101, если джампер J5 разомкнут (разрешение Aux АЦП SmartStat составит в этом случае 0.1 мкВ, что эквивалентно тепловому шуму сопротивления 6 кОм среднеквадратичного значения, или 120 Ом от пика до пика в полосе 100 Гц). Сигнал обратной связи должен быть подключен (J6 замкнут, если J4 разомкнут. Альтернативно: замкнут J4, а J6 разомкнут - определяется выбранным вариантом использования предусилителя, они сведены в таблице 3).
- 2) Усиление составляет 10.09, если джампер J5 замкнут (разрешение Aux АЦП SmartStat составит 1 мкВ, что эквивалентно тепловому шуму сопротивления 600 кОм среднеквадратичного значения, или 12 кОм от пика до пика в полосе 100 Гц). Сигнал обратной связи должен быть подключен аналогично предыдущему пункту.

Выходы с усилителей U1A и U1B подаются на вычитающий усилитель U12, который приводит дифференциальную пару их выходов к земле. К его выходу OUT1 может быть подключен АЦП с обычным аналоговым входом, измеряющий сигнал относительно земли (например, Aux входы АЦП интерфейсного разъема SmartStat профессиональной серии).

Выходы всех каналов OUT1 - OUT4 сведены на 2 колодки джамперов. Первая из них позволяет выбрать - выход какого из каналов предусилителя подать на вход АЦП Aux1 (прямоугольного интерфейсного разъема SmartStat). Вторая колодка позволяет сделать то же самое

для второго АЦП Aux2. Выбор осуществляется при помощи джамперов. На один вход АЦП можно подать только один выход (с одного канала). Но при необходимости, можно подать на оба входа АЦП один и тот же сигнал (с одного канала).

При использовании лабораторной серии SmartStat, как уже говорилось в разделе «Характеристики», подключение получается менее удобным, так как нет Aux входов АЦП, на интерфейсном разъеме, и как следствие подключить можно только один канал предусилителя, а не три. Также, потенциостат не сможет при этом работать в потенциостатическом режиме (возможна работа в режиме вольтметра или гальваностата, это справедливо для всех серий SmartStat).

Таблица 3. Варианты использования предварительного усилителя SDE-4 и настройки джамперов для них. Джамперы J7 и J8 открыты.

№	Режим предусилителя	Положения джамперов	Описание работы	Примеры применения
1	Дифференциальное усиление малых сигналов	J1 - short J2 - open J3 - open J4 - short J5 - short x10.09 J5 - open x101 J6 - open	U1A активно усиливает сигнал относительно выхода U1B, U1B является повторителем, U2 вычитает полученные сигналы	Измерение малых напряжений (DC+AC) с поляризацией потенциостатом или без нее
2	Усиление сигнала, приведенного к земле, без DC-фильтра	J1 - short J2 - open J3 - short J4 - open J5 - short x10.09 J5 - open x101 J6 - short	U1A активно усиливает сигнал относительно земли, U1B отключен (но его вход подключен к +input, чтобы U1B не осциллировал от наводок), U2 работает повторителем (драйвером выхода)	Измерение малых напряжений (DC+AC) без поляризации потенциостатом. ЭХ шум симметричных ячеек, RC-цепей
3	Усиление сигнала приведенного к земле с мягкой установкой DC-фильтра постоянной составляющей (внутри)	J1 - open J2 - фильтр (R) J3 - фильтр (C) J4 - open J5 - short x10.09 J5 - open x101 J6 - short	U1A активно усиливает AC сигнал с выхода RC-фильтра, U1B является входным AC+DC повторителем (чтобы фильтр не перезаряжался токами от образца), U2 вычитает полученные сигналы	Измерение малых AC напряжений без поляризации потенциостатом. ЭХ шум ХИТ с напряжением до 5 В
4	Усиление сигнала приведенного к земле с жесткой установкой DC-фильтра постоянной составляющей (на входе)	J1 - фильтр (C) J2 - фильтр (R) J3 - short J4 - open J5 - short x10.09 J5 - open x101 J6 - short	U1A активно усиливает AC сигнал с выхода RC-фильтра (который перезаряжается образцом!), U1B не используется. U2 работает повторителем (драйвером выхода)	Измерение малых AC напряжений без поляризации потенциостатом. ЭХ шум ХИТ с напряжениями выше 5 В
5	Дифференциальное усиление малых AC-сигналов	J1 - фильтр (C) J2 - фильтр (R) J3 - open J4 - short J5 - short x10.09 J5 - open x101 J6 - open	U1A активно усиливает AC сигнал с выхода RC-фильтра (который перезаряжается образцом!), U1B является повторителем, U2 вычитает полученные сигналы	Измерение малых AC-напряжений с поляризацией потенциостатом или без нее

Часть конфигурационных джамперов доступна в каждом канале через окно в крышке модуля для быстрой настройки (без снятия крышки модуля). Другая часть джамперов находится внутри модуля и для доступа к ним необходимо снять крышку.

Таблица 4. Примеры подключения предусилителя SDE-4 к потенциостатам **SmartStat** разных серий:

Серый цвет - канал предусилителя не используется;

**Красный цвет** - используется основной АЦП Ref-Comp потенциостата;

**Синий цвет** - используется Aux АЦП потенциостата интерфейсного разъема DSUB-9.

№	Серия потенциостата SmartStat	1 канал SDE-4	2 канал SDE-4	3 канал SDE-4	4 канал SDE-4
1	Профессиональная одноканальная, питание от интерфейса потенциостата	Любой Aux АЦП интерфейсного разъема потенциостата	Любой Aux АЦП интерфейсного разъема потенциостата	Не используются (закоротить джампер J2 и соединить оба входа клеммника J0 в каналах 3-4)	
2	Профессиональная одноканальная, питание от интерфейса потенциостата	Основной канал регистрации Ref-Comp потенциостата. Ref вручную соединить с OUT1, а Comp с землей или наоборот	Любой Aux АЦП интерфейсного разъема потенциостата	Не используется (закоротить джампер J2 и соединить оба входа клеммника J0 в 4-м канале)	
3	Профессиональная многоканальная, питание от интерфейса потенциостата	Любой Aux АЦП интерфейсного разъема потенциостата, Канал 1	То же, но с 2, 3, 4-м каналом потенциостата. Эти каналы подключаются к выходам каналов предусилителя вручную. Aux входы находятся на выводах 3 и 7 интерфейса потенциостата (разъема DSUB-9)		
4	Профессиональная многоканальная, питание от интерфейса потенциостата	Основной канал регистрации Ref-Comp 1 канала потенциостата. Ref вручную соединить с OUT1, а Comp с землей или наоборот	То же, но с 2, 3, 4-м каналами потенциостата.		
5	Лабораторная, питание от интерфейса потенциостата	Основной канал регистрации Ref-Comp потенциостата. Ref вручную соединить с OUT1, а Comp с землей или наоборот	Не используются (закоротить джампер J2 и соединить оба входа клеммника J0 в каждом канале предусилителя). Или подключить индивидуальный одноканальный потенциостат на каждый канал предусилителя тем же способом, что и для 1-го канала предусилителя		
6	Индустриальная или технологическая, питание от адаптера	Основной канал регистрации Ref-Comp 1 канала потенциостата. Ref вручную соединить с OUT1, а Comp с землей или наоборот	То же, но со 2, 3, 4 (или иными) каналами потенциостата		

При использовании потенциостата, в качестве источника поляризации исследуемого образца нужно понимать, что его выходной сигнал не свободен от наличия шумов. Например, при работе в постоянноточковом гальваностатическом режиме, при отработке заданного постоянного тока в нем будет содержаться очень незначительная часть переменной шумовой составляющей (по уровню ниже разрешения ЦАП потенциостата, то есть  $1/500000$  от максимума используемого диапазона тока для 20-бит ЦАП профессиональной серии SmartStat). Она может оказаться заметной, если усилить ее предусилителем, отфильтровав постоянную составляющую. Рекомендуется выполнить холостой эксперимент с эквивалентном на RC-цепях, чтобы зарегистрировать собственные шумы всей установки (как по каналу регистрации предусилителем, так и по задатчику - потенциостату), прежде чем переходить к электрохимическим объектам.

Работа с малыми сигналами требует тщательного экранирования. Предусилитель должен быть помещен в тот же экранирующий шкаф или бокс, в котором находится исследуемый образец. Корпус экрана должен быть заземлен на соответствующий разъем потенциостата, либо предусилителя.

При использовании фильтра, сначала необходимо рассчитать емкость проходного конденсатора. Она вычисляется таким образом, чтобы его импеданс на минимальной интересующей частоте был пренебрежимо мал, если пересчитать интересующий уровень шумов по формуле Найквиста в эквивалентное шумовое сопротивление (вольты в Омы). Минимальный уровень собственных шумов предусилителя в значительной степени определяется тепловым шумом входных балластных резисторов сопротивлением 499 Ом. Логично, что если импеданс конденсатора окажется сильно меньше этой величины (например, 10 Ом) на минимальной интересующей частоте, то он не скажется заметно на шумовых характеристиках всей установки. Затем рассчитывают сопротивление заземляющего резистора фильтра так, чтобы частота среза оказалась сильно ниже минимально интересующей частоты (по крайней мере в 20 раз, что обеспечит искажение частотной характеристики в пределах 5%. Лучше в 100 раз, для получения искажений ниже 1% на минимальной интересующей частоте). Для быстрого запуска установки в работу и снижения дрейфа, рекомендуется, собрав ее, включив, подключив к вышедшему на режим тестируемому объекту и настроив, на несколько секунд параллельно с заземляющим резистором фильтра подключить резистор в 30-100 (ориентировочно) раз меньшего номинала. Это во столько же раз снизит постоянную времени RC-фильтра и позволит относительно быстро перезарядить конденсатор фильтра выходным током первого каскада предусилителя. Через несколько секунд низкоомный резистор можно отключить. После этого можно запускать оцифровку данных (работу потенциостата) Для безопасной работы ОУ предусилителя, его номинал не должен быть ниже 50 Ом. Присутствие дрейфа постоянной составляющей на выходе фильтра можно отслеживать по измеряемым потенциостатом данным. Если выход тестируемого объекта на рабочий режим требует приложения постоянного тока, то его нужно задать до запуска работы потенциостата в окне ручного управления прибором в SmartSoft (выбрав диапазон тока, введя значение тока, выбрав внешнюю ячейку).

Рядом с входными (зелеными) клеммниками модуля установлены разъемы JSh, позволяющие объединить (при помощи надетых на них джамперов) входы «отрицательных усилителей» например, для их параллельной работы.

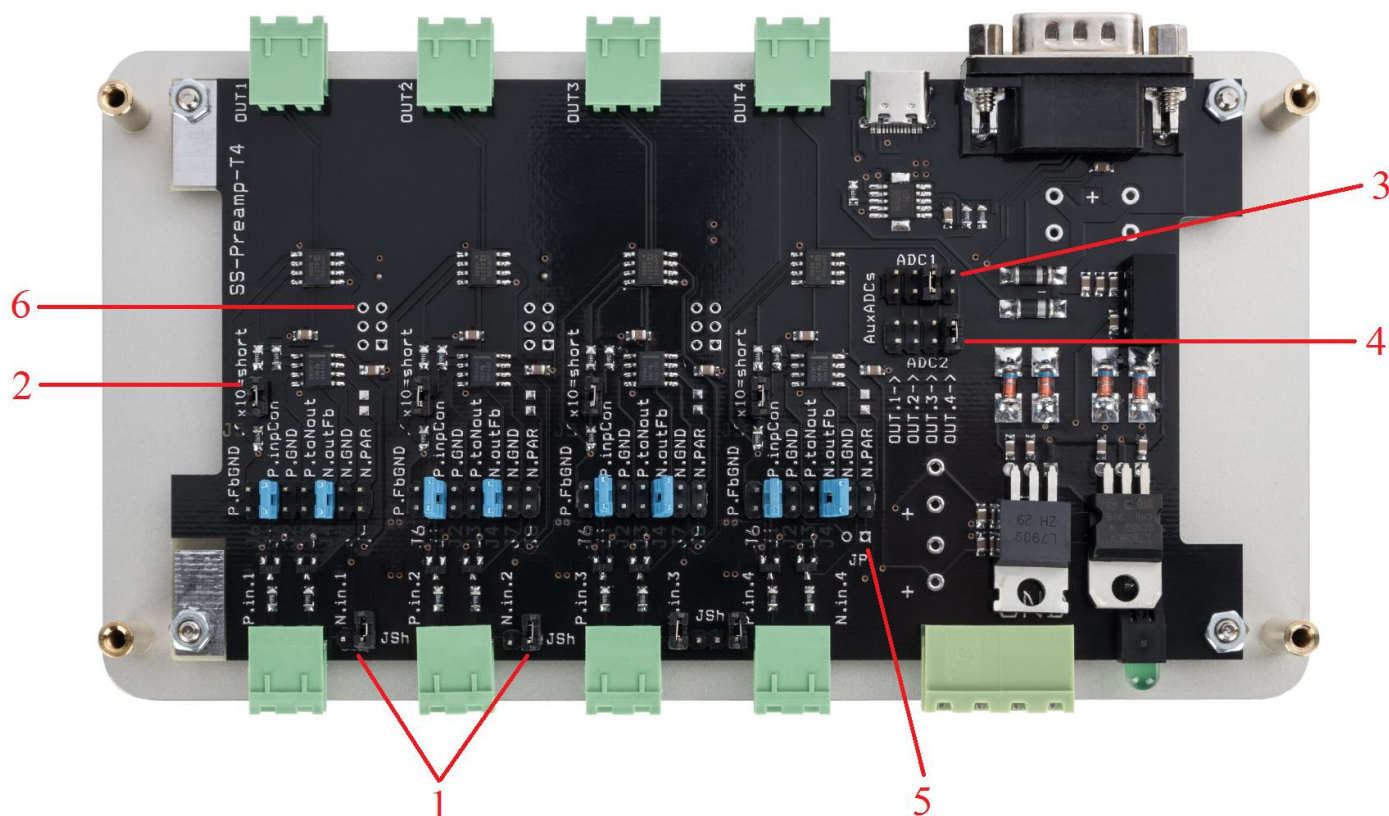


Рис. 4. Основные элементы предусилителя со снятой крышкой:

- 1) Джамперы объединения отрицательных входов всех каналов (4 штуки). Удобно использовать, чтобы подать на отрицательные входы всех каналов один и тот же сигнал.
- 2) Джампер выбора усиления. Открыт - большее усиление, закрыт - меньшее.
- 3) Колодка джамперов для выбора канала, подключаемого к Aux-1 АЦП потенциостата.
- 4) Колодка джамперов для выбора канала, подключаемого к Aux-2 АЦП потенциостата.
- 5) Джампер подключения параллельного выхода «отрицательных» усилителей каналов 1-3 к «положительному» входу 4-го канала (обозначен как GP, присутствует только в ECN-Edition).
- 6) Колодка дополнительных сигналов заземления (только в ECN-Edition).

... (см. рис. 5).

14) Микросхема OPA2140 основных усилителей U1 и U2.

15) Микросхема AMP03 вычитающего усилителя U12.

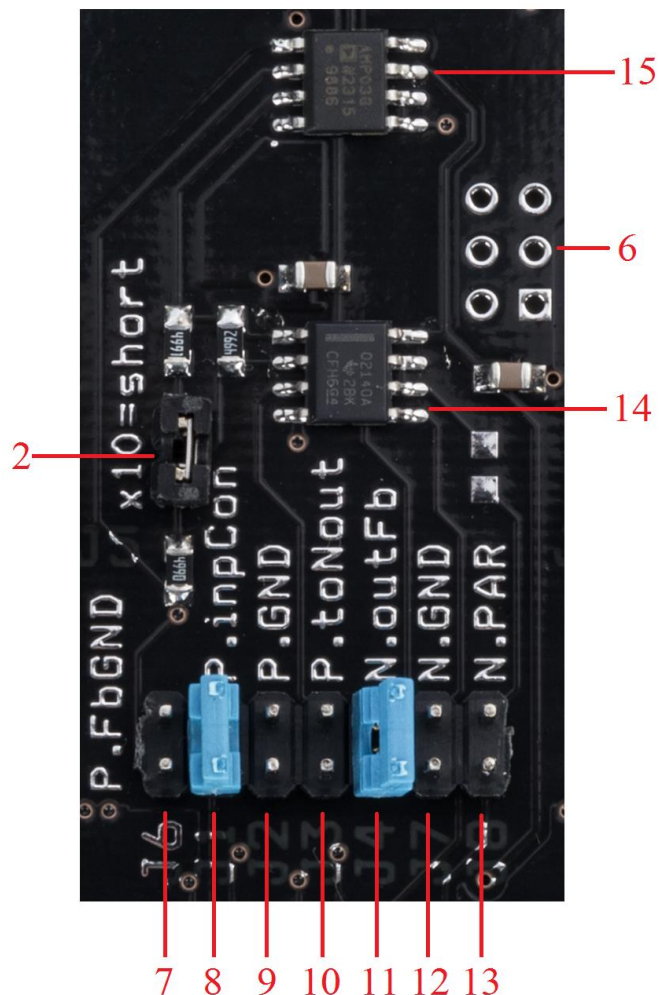


Рис. 5. Основные элементы предусилителя со снятой крышкой (продолжение рис. 4):

- 7) Дампер подключения обратной связи «положительного» усилителя к земле (J6), сигнал земли расположены ближе к ОУ.
- 8) Дампер подключения входа «положительного» усилителя к внешнему (зеленому) входному разъему (J1), сигнал входа ОУ расположен ближе к ОУ.
- 9) Дампер заземления входа «положительного» усилителя (J2), сигнал земли расположен ближе к ОУ.
- 10) Дампер подключения выхода «отрицательного» усилителя к входу «положительного» усилителя (J3), вход «положительного» усилителя расположен ближе к ОУ.
- 11) Дампер подключения выхода «отрицательного» усилителя к входу вычитающего каскада U12 (J4), сигнал выхода расположен ближе к ОУ.
- 12) Дампер заземления входа «отрицательного» усилителя (J7), сигнал земли расположен ближе к входу модуля (дальше от ОУ).
- 13) Дампер параллельного включения каналов 1-3 (J8). Позволяет соединить выходы «отрицательных» усилителей каналов 1-3 через резисторы на общий выход, который потом можно подать на вход «положительного» усилителя 4-го канала при помощи дампера 5 на рис. 4.

#### 4. Описание исполнения ECN-Edition

Для исследования электрохимических шумов предусмотрено специализированное малошумящее исполнение модуля SDE4 - «ECN-Edition». В этом исполнении имеются следующие отличия от базового исполнения:

1. ОУ 4-го канала заменен на малошумящий ADA4898-2: с шумом (на частоте 1 кГц) по напряжению 0.9 нВ/Гц<sup>1/2</sup>, по току 2.4 пА/Гц<sup>1/2</sup> (сгенерирует на сопротивлении 100 Ом шум в 0.24 нВ/Гц<sup>1/2</sup>), с биполярными транзисторами, что заметно снижает шумы усилителя, но не позволяет подключать к 4-му каналу объекты с импедансами выше нескольких Ом из-за входных шумов ОУ по току.
2. Входные резисторы R0 закорочены (что заметно ослабляет действие защиты, но позволяет существенно снизить собственный уровень шумов модуля).
3. Резисторы цепей обратной связи заменены на следующие: R1=20 кОм, R2=2499 Ом, R3=22 Ом. Это обеспечивает меньший тепловой шум элементов обратной связи более чем на порядок, а также дает более высокие коэффициенты усиления: 909.1 или 114.64 (если джампер J5 закрыт).
4. Модуль устанавливается в алюминиевом псевдогерметичном корпусе, обеспечивающем лучшее экранирование, а также экранирование исследуемого образца с обязательным его расположением в непосредственной близости от входов модуля.

Исполнение «ECN-Edition» ориентировано на то, что входные каскады первых трех каналов используются всегда как электрометрические повторители с малым входным током и малыми шумами по входному току и напряжению. 4-й канал используется только в качестве активного усилителя с большим коэффициентом усиления (больше 100). Фактически это отвечает режиму 3 таблицы 3. При этом в зависимости от решаемой задачи рекомендуются следующие варианты включения первых трех каналов:

1. Первые три канала могут работать независимо. При этом выход каждого канала оцифровывается своим АЦП потенциостата - основным Ref-Comp (подключаются вручную), а также двумя Aux-входами непосредственно подключенных к модулю через разъем D-SUB-9. Можно использовать от одного до трех каналов АЦП. В каждом канале «отрицательный усилитель» - это входной повторитель. «Положительный усилитель» выполняет активное усиление более чем в 100 раз. Этот вариант позволяет использовать несколько каналов оцифровки (например, в режиме кросс-корреляции при исследовании одного сигнала; или для регистрации отдельно шумов катода и анода химического источника тока для Aux-АЦП, когда основной канал Ref-Comp записывает рабочее напряжение на ХИТ).
2. Первые три канала своими «отрицательными усилителями» работают параллельно, что позволяет снизить их шум по напряжению в корень из трех раз. Далее их выходы объединяются джамперами J8, и вводятся на вход «положительного усилителя» 4-го канала через специальный разъем-джампер GP, на который может быть установлен закорачивающий джампер, или конденсатор фильтра. При этом положительный усилитель 4-го канала активно усиливает сигнал

в более чем 100 раз. Этот вариант позволяет получить низкий уровень собственных шумов установки, так как относительно сильно шумящие повторители (отрицательные усилители на полевых транзисторах, что обеспечивает малый входной ток и малый шум по току на объектах с импедансами выше 100 Ом) работают параллельно и их шум снижен, а активное усиление выполняется малошумящим ОУ на биполярных транзисторах. Нивелирование его шумов по току осуществляется малым импедансом проходного джампера GP, или проходного конденсатора фильтра (установленного на разъем GP) на минимальной интересующей частоте.

3. Для обеспечения самых низких шумов, можно использовать 4-й канал в режиме активного усиления без применения повторителей. Это возможно если импеданс исследуемого объекта в интересующей полосе частот не превышает величины 10-20 Ом. Он не рекомендуется ввиду необходимости вычитания еще и шумов по току для более высоких импедансов исследуемого объекта. Также он потребует еще более тщательного экранирования и выбора места для расположения установки. Входной сигнал при этом можно подавать на вход активного «положительного усилителя» через фильтр сразу от исследуемого объекта. Электроды сравнения использовать нельзя. Ток перезаряда фильтра будет браться с исследуемого объекта, что нельзя не учитывать.

*Для исследования ультрамалых по уровню сигналов, например, электрохимических предусмотрен режим параллельного включения входных каскадов «отрицательных усилителей» U1B. Для этого используются джамперы J8. Они позволяют, через выравнивающие резисторы R4 объединить выходы всех «отрицательных усилителей» в один общий. Шум этого каскада по напряжению при этом снижается в корень из количества параллельных усилителей. Возле 4-го канала усилителя имеется индивидуальный джампер JP, отсутствующий в остальных каналах. Он позволяет на вход положительного усилителя 4-го канала подать суммированный параллельный сигнал. В этом случае, этот дополнительный джампер служит для установки на него проходного конденсатора фильтра, если необходимо отсечь постоянную составляющую перед усилением. Либо он закорачивается джампером, если это не требуется.*

*Резисторы и конденсаторы фильтров удобно распаять на разъемах-джамперах (например, DS1023-1x2S21).*

Высокоточное оборудование для электрохимических исследований

SmartStat®

Изготовитель: Electrochemical Instruments

Россия, Московская область, г. Черноголовка

Телефон: 8(495)720-31-57

Адрес тех. поддержки: [potentiostat@mail.ru](mailto:potentiostat@mail.ru)

[www.smartstat.ru](http://www.smartstat.ru)