



Силовые кабели

SmartTwist

Для подключения мощных приборов SmartStat

Руководство по эксплуатации

2025

www.smart-stat.ru

Уважаемый пользователь! Мы благодарим Вас за приобретение и использование научного оборудования SmartStat. В этом руководстве приведены подробные характеристики силовых кабелей SmartTwist, предназначенных для подключения исследуемых объектов к мощным потенциостатам SmartStat.

К одному потенциостату подключается один силовой кабель SmartTwist, так как он имеет сразу два провода. Преимущество этих кабелей по сравнению с обычными отдельными проводами состоит в существенно меньшей зависимости их индуктивности от расположения проводов в пространстве. В результате на низкоомных спектрах импеданса, при прочих равных условиях, получается меньшее значение индуктивности, которая ведет себя более предсказуемо и легче поддается компенсации, что приводит к более качественной регистрации высокочастотной части спектра.

Кабели SmartTwist обладают хорошей гибкостью и обеспечивают более высокое удобство работы по сравнению с традиционными проводами с аналогичной нагрузочной способностью.

Для каждой модели мощного потенциостата SmartStat предлагается свой кабель SmartTwist. Для большинства моделей приборов имеется возможность заказа кабеля увеличенной длины до 1 метра, а также предусмотрен выбор типа разъема на стороне образца – силовые клеммы или зажимы крокодил.



Описание кабелей SmartTwist

При работе с низкими импедансами (менее 1 Ом) на высоких частотах возникает такое явление, как индуктивность. Она компенсируется реактивными калибровками потенциостата, но из-за определенных явлений, которые будут описаны далее, в полной мере ее скомпенсировать программно невозможно. Кабели SmartTwist обладают специальной конструкцией, позволяющей сделать поведение этой индуктивности существенно более прогнозируемым и тем самым облегчить процесс компенсации индуктивности программными средствами или вовсе его избежать.



Рис.1. Внешний вид кабелей SmartTwist.

У приборов индустриальной серии CS кабель имеет избыточное сечение и уменьшенную длину, что связано с необходимостью минимизации потерь выходного напряжения для этих приборов, так как оно и так у них невелико. Пожалуйста, учитываете это обстоятельство при замене штатных кабелей SmartTwist на неоригинальные или при их удлинении. Сечение кабеля может быть более чем достаточно для протекания рабочего тока 60-70 А, но может иметь место заметное падение поляризующего напряжения на них (100 мВ и выше). Это может вызвать нештатное снижение рабочего тока. Кабели SmartTwist обеспечивают заметно меньшее падение напряжения.

Ниже приведены характеристики кабелей SmartTwist в зависимости от используемой модели мощного потенциостата SmartStat. С токами выше 30 ампер можно использовать только винтовое соединения, поэтому для прибора CS-40-8 (для работы всех каналов в параллельном режиме) нет варианта кабеля с зажимом крокодил, а возможны только О-клеммы под винт.

| Характеристика | PS-250 | BS-150 | PS-80 | CS-40-8 CS-400 | CS-40-8 CS-400 |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| Максимальный расчетный рабочий ток | 25 А | 25 А | 10 А | 70 А | 40 А |
| Стандартная длина | 0.5 м | 0.5 м | 0.5 м | 0.3 м | 0.3 м |
| Максимальная возможная длина | 1 м | 1 м | 1 м | 0.5 м | 0.5 м |
| Калибр проводов каждой полярности | 3x2.5 мм ² | 3x2.5 мм ² | 2x1.5 мм ² | 4x4 мм ² | 3x4 мм ² |
| Терминалы на стороне прибора | О-клемма | О-клемма | О-клемма | О-клемма | О-клемма |
| Штатный терминал на стороне образца | Зажим крокодил | Зажим крокодил | Зажим крокодил | О-клемма | О-клемма |
| Альтернативный терминал на стороне образца | О-клемма | О-клемма | О-клемма | нет | нет |

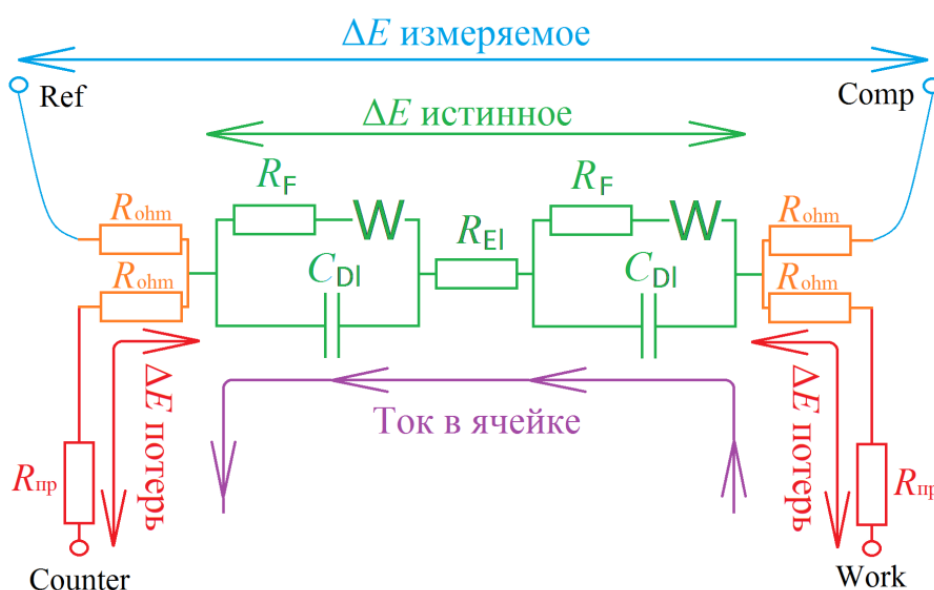


Рис. 2. Схема электрохимической ячейки с омическими сопротивлениями токовых коллекторов и контактов R_{ohm} , а также сопротивлением проводов $R_{пр}$.

При работе с большими токами необходимо использовать четырехточечное подключение. При исследовании низкоомных ячеек на качество измерения может существенно сказаться то, как подключены измерительные провода. Двухэлектродная ячейка может быть подключена к потенциостату четырьмя проводами. В этом случае два потенциальных провода служат для компенсации сопротивления контактов токовых электродов, а также токовых проводов прибора. Потенциальные электроды при этом подключаются к токосъемникам исследуемого объекта и измеряют потенциалы непосредственно на них, а не на зажимах прибора, как это имеет место в двухпроводной схеме подключения. Такое подключение к двухэлектродной ячейке даст гораздо более точные результаты. Например, если исследуется химический источник тока с омическим сопротивлением равным 10 мОм, то сопротивление контактов само по себе может достигать величин 10-100 мОм. Нетрудно представить, что неправильное подключение даст искажения в сотни процентов. Помимо этого, оно также будет нестабильным, то есть сопротивление контактов может

меняться от нагрева или случайного перемещения ячейки в пространстве. При этом могут иметь место несколько видов искажений: зашумление вольтамперной кривой или годографа импеданса, скачки и разрывы на них, а также дополнительный невоспроизводимый сдвиг по действительной оси спектра импеданса вследствие увеличения омического сопротивления из-за сопротивления контактов.

Помимо проблем с омической составляющей, для измерительных кабелей существует два паразитных индуктивных высокочастотных явления. Перове из них, это действительная индуктивность. Она составляет обычно 5-100 нГн для кабеля длиной 0.5 м, в зависимости от того, на сколько сильно он изогнут или свернут (например, индуктивностью 450 нГн будет обладать катушка, диаметром 20 см, содержащая один виток провода). Она компенсируется четырехточечным подключением.

Также существует вторая составляющая, которая происходит из такого явления, как взаимная индуктивность проводов. По сути, два провода, расположенные параллельно в пространстве, представляют собой трансформатор с воздушным сердечником. В случае измерений, связанных с потенциостатами, токовые провода наводят свои сигналы на потенциальные. Чем выше переменные ток, текущий по токовым проводам, тем более сильные искажения будут наведены в потенциальном проводе. По своим значениям взаимная индуктивность может достигать значений от единиц до сотен наногенри (индуктивность 1 микрогенри обладает импедансом около 6.3 мОм на частоте 1 кГц). Она не компенсируется четырехточечным подключением. Можно даже сказать, что на практике она им усиливается, так как зачастую при этом потенциальные провода приходится вести параллельно с токовыми до места подключения к тестируемому объекту. Экранирование потенциальных проводов не защищает их от взаимной индуктивности.

Эту составляющую можно скомпенсировать программно. Но стоит хоть немного изменить конфигурацию проводов в пространстве, и калибровка сбивается, так как какие-то провода окажутся более изогнутыми, какие-то пойдут ближе друг к другу (или наоборот дальше), под другим углом и так далее. Есть два основных способа снизить взаимную индуктивность. Первый, это по возможности трассировать измерительные провода так, чтобы токовые шли как можно ближе друг к другу и как можно дальше от потенциальных. Но опять же, все будет сильно зависеть от конкретного случая.

Вторым способом является специальная конструкция токовых проводов, при которой поле, создаваемое текущими в них токами, было бы минимальным. Для этого они должны идти вместе и быть определенным образом скручены. Токовые кабели SmartTwist сделаны по такой технологии. Они обладают более чем в 10 раз меньшей взаимной индуктивностью, чем обычные парные провода.

Важно понимать, что работая с импедансами менее 50 мОм, почти в любом случае придется компенсировать индуктивность, так как индуктивность в 16 нГн на частоте 10 кГц обладает

реактивным сопротивлением около 1 мОм, то есть будет заметна, при высокочастотной отсечке на годографе импеданса ниже 50 мОм. Поэтому ее в любом случае придется компенсировать и частично удалять. Важно же то, что провода типа SmartTwist будут в 10 с лишним раз меньше подвержены влиянию того, как поменялось расположение кабелей в пространстве по сравнению с обычными двумя проводами. Изменения их взаимной индуктивности будут оставаться в пределах 13 нГн при различных здоровых пространственных конфигурациях измерительных проводов. Здоровыми пространственными конфигурациями при этом считаются (для кабеля длиной 0.5м): изгиб всех проводов до 90 градусов; приближение или удаление потенциальных проводов к токовому кабелю SmartTwist. Однако если вы хотите максимально снизить взаимную индуктивность, этих действий также необходимо избегать.

Чрезмерное удлинение практически нивелирует все преимущества кабеля SmartTwist и создало бы совсем неконтролируемые условия для обычных одиночных проводов. Поэтому, для обеспечения максимального качества работы, их стандартная длина составляет 0.5 м. Но также, для тех случаев, когда это действительно необходимо, а качеством высокочастотной части спектра импеданса можно слегка пожертвовать, существует модификация длиной 1 м. Потенциальные провода соответствующей длины входят при этом в комплект. Ограничение есть только для кабеля силового потенциостата-циклера RS-300. В его случае, из-за очень больших токов, удлинение не только вызывает совсем большие индуктивные эффекты, но и ощутимые для этого прибора потери напряжения на сопротивлении проводов. Для него длина 0.5 м выбрана как оптимальный компромисс между этими явлениями, приемлемой жесткостью кабеля и удобством работы при токах более 50 ампер.

Удлинение кабелей SmartTwist дополнительными одиночными кабелями сведет на нет их преимущества. Поэтому рекомендуется подключать их как можно ближе к исследуемому объекту в идеале прямо на него самого. Также, рекомендуется максимально разносить в пространстве токовый кабель SmartTwist и потенциальные кабели, и не класть их рядом. Скручивание пары экранированных потенциальных кабелей также улучшает ситуацию.

Резюмируя, перечислим рекомендации, которые стоит сделать, чтобы снизить индуктивность:

- Потенциальные провода должны идти как можно ближе друг к другу.
- Лучше всего каждую потенциальную пару проводов (Ref+Comp) переплести.
- Потенциальные провода должны идти как можно дальше от токовых.
- Нельзя переплетать токовые провода с потенциальными.
- Не изгибайте все провода в стороны или в бок. Ведите их прямо, а гибкость кабелей используйте для достижения предыдущих пунктов рекомендаций.
- Чем короче провода, тем ниже индуктивность и меньше потерь напряжения.

Высокоточное оборудование для электрохимических исследований

SmartStat®

Изготовитель: SmartStat

Россия, Московская область, г. Черноголовка

Телефон: 8(495)720-31-57

Адрес тех. поддержки: potentiostat@mail.ru

www.smart-stat.ru