A40B

Precision AC Current Shunt Set

Инструкция по эксплуатации

July 2008 Rev. 2, 11/15 (Russian)
© 2008-2015 Fluke Corporation. All rights reserved. Specifications are subject to change without notice.
All product names are trademarks of their respective companies.

ОГРАНИЧЕННАЯ ГАРАНТИЯ И ОГРАНИЧЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Для каждого продукта Fluke гарантируется отсутствие дефектов материалов и изготовления при нормальном использовании и обслуживании. Срок гарантии один год, начиная с даты поставки. На запчасти, ремонт оборудования и услуги предоставляется гарантия 90 дней. Эта гарантия действует только для первоначального покупателя или конечного пользователя, являющегося клиентом авторизованного реселлера Fluke, и не распространяется на предохранители, одноразовые батареи и на любые продукты, которые, по мнению Fluke, неправильно или небрежно использовались, были изменены, загрязнены или повреждены вследствие несчастного случая или ненормальных условий работы или обработки. Fluke гарантирует, что программное обеспечение будет работать в соответствии с его функциональными характеристиками в течение 90 дней, и что оно правильно записано на исправных носителях. Fluke не гарантирует, что программное обеспечение будет работать безошибочно и без остановки.

Авторизованные реселлеры Fluke расширят действие этой гарантии на новые и неиспользованные продукты только для конечных пользователей, но они не уполномочены расширять условия гарантии или вводить новые гарантийные обязательства от имени Fluke. Гарантийная поддержка предоставляется, только если продукт приобретен на авторизованной торговой точке Fluke, или покупатель заплатил соответствующую международную цену. Fluke оставляет за собой право выставить покупателю счет за расходы на ввоз запасных/сменных частей, когда продукт, приобретенный в одной стране, передается в ремонт в другой стране.

Гарантийные обязательства Fluke ограничены по усмотрению Fluke выплатой покупной цены, бесплатным ремонтом или заменой неисправного продукта, который возвращается в авторизованный сервисный центр Fluke в течение гарантийного периода.

Для получения гарантийного сервисного обслуживания обратитесь в ближайший авторизованный сервисный центр Fluke за информацией о праве на возврат, затем отправьте продукт в этот сервисный центр с описанием проблемы, оплатив почтовые расходы и страховку (ФОБ пункт назначения). Fluke не несет ответственности за повреждения при перевозке. После осуществления гарантийного ремонта продукт будет возвращен покупателю с оплаченной перевозкой (ФОБ пункт назначения). Если Fluke определяет, что неисправность вызвана небрежностью, неправильным использованием, загрязнением, изменением, несчастным случаем или ненормальными условиями работы и обработки, включая электрическое перенапряжение из-за несоблюдения указанных допустимых значений, или обычным износом механических компонентов, Fluke определит стоимость ремонта и начнет работу после получения разрешения. После ремонта продукт будет возвращен покупателю с оплаченной перевозкой, и покупателю будет выставлен счет за ремонт и транспортные расходы при возврате (ФОБ пункт отгрузки).

ЭТА ГАРАНТИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ЕДИНСТВЕННОЙ И ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ И ЗАМЕНЯЕТ ВСЕ ОСТАЛЬНЫЕ ГАРАНТИИ, ПРЯМЫЕ ИЛИ СВЯЗАННЫЕ, ВКЛЮЧАЯ, ПОМИМО ПРОЧЕГО, СВЯЗАННЫЕ ГАРАНТИИ ГОДНОСТИ ДЛЯ ПРОДАЖИ ИЛИ ГОДНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЦЕЛИ. FLUKE НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА СПЕЦИАЛЬНЫЕ, СЛУЧАЙНЫЕ ИЛИ КОСВЕННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ИЛИ УЩЕРБ, ВКЛЮЧАЯ ПОТЕРЮ ДАННЫХ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ РЕЗУЛЬТАТОМ КАКИХ-ЛИБО ДЕЙСТВИЙ ИЛИ МЕТОДОВ.

Поскольку некоторые страны не допускают ограничения срока связанной гарантии или исключения и ограничения случайных или косвенных повреждений, ограничения этой гарантии могут относиться не ко всем покупателям. Если какое-либо положение этой гарантии признано судом или другим директивным органом надлежащей юрисдикции недействительным или не имеющим законной силы, такое признание не повлияет на действительность или законную силу других положений.

Fluke Corporation P.O. Box 9090 Everett, WA 98206-9090 США	Fluke Europe B.V. P.O. Box 1186 5602 BD Eindhoven Нидерланды	ООО «Флюк СИАЙЭС» 125167, г. Москва, Ленинградский проспект дом 37, корпус 9, подъезд 4, 1 этаж

Содержание

Название	Страница
Введение и характеристики	1
Информация о Руководстве	1
Меры безопасности	1
Краткое изложение общих правил техники безопасности	1
Символы	3
Описание прибора	4
Электрические характеристики	5
Основные характеристики Токовых шунтов	5
Характеристики сопротивления	6
Максимальная разница переменного-постоянного тока во время изготовления	7
Максимальный ток перегрузки	7
Типичное смещение фазы	7
Общие характеристики	8
Размеры (максимум)	8
Физические/механические параметры	8
Условия эксплуатации	8
Безопасность	8
Условия хранения и транспортировки (для моделей помимо Токового шунта на 1 мА)	8
Дополнительные характеристики Токового шунта на 1 мА	8
Подготовка к эксплуатации	9
Распаковка и осмотр Шунтов	9
Принадлежности	9
Таблица	9
Контактные координаты Fluke Calibration	10
Информация об отправке	10
Информация о хранении	10
Приемочные испытания	10
Общее техническое обслуживание/Очистка	11
Рабочая информация	11
Описание функций	11
Разъемы входа/выхода	13
Максимальный ток	14
Условия эксплуатации	14
Корректировка вкладов погрешностей, вносимых	

Токовыми шунтами 14
Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 5790B 15
Измерение выходного напряжения - Эффект нагрузки 15
Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 5790A 16
Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 8508A 17
Инструкции по эксплуатации 18
Введение..... 18
Измерение силы тока 18
Прямое считывание показаний при измерении силы тока..... 20
Теоретические основы работы..... 20
Коаксиальные шунты 21
Шунты в корпусе..... 22
Введение..... 22
Обзор методов калибровки 22
Потенциальные устройства измерения напряжения 23
Что нужно учитывать для постоянного тока 24
Что нужно учитывать для переменного тока 25
Метод Fluke Calibration 26
Рекомендуемые инструменты и оборудование..... 27
Калибровка системы для разности переменного-постоянного тока..... 27
Характеристика чувствительности TVC..... 28
Последовательность измерений и расчеты разности переменного-постоянного тока проверяемого оборудования .. 29
Шум по постоянному току для источника тока 30
Измерение сопротивления по постоянному току для проверяемого оборудования 30
Процедуры ремонта, включая разборку и сборку 31
Ограничения на выполнение ремонта..... 31
Список инструментов, необходимых для ремонта 32
Замена концевых пластин и винтовой клеммы защиты (коаксиальные шунты) 32
Замена входного разъема N-типа (коаксиальные шунты)..... 33
Замена выходного разъема N-типа (коаксиальные шунты)..... 35
Проверка работоспособности после ремонта 35
Список запасных деталей 36

Введение и характеристики

Информация о Руководстве

В настоящем руководстве содержатся инструкции по эксплуатации Прибора A40B Precision AC Current Shunt Set (далее именуемого Токовым шунтом или Прибором). Здесь представлена вся информация, которая необходима специалисту по калибровке для эксплуатации и обслуживания Токовых шунтов. Руководство разделено на следующие разделы:

- Введение и характеристики
- Подготовка к эксплуатации
- Инструкции по эксплуатации
- Теоретические основы работы
- Инструкции по обслуживанию

Меры безопасности

В данном разделе рассматриваются правила техники безопасности и описываются те символы, которые могут присутствовать в этом руководстве или на Токовых шунтах.

Предупреждение обозначает условия и действия, которые опасны для пользователя. **Предостережение** обозначает условия и действия, которые могут привести к повреждению Прибора или проверяемого оборудования.

⚠⚠ Предупреждение

Во избежание поражения электрическим током, травм или смерти внимательно прочитайте материалы под заголовком *Краткое изложение общих правил техники безопасности*, прежде чем пытаться установить, использовать или обслуживать Токовые шунты.

Краткое изложение общих правил техники безопасности

В настоящем руководстве содержатся сведения и предупреждения, необходимые для обеспечения безопасности работы и сохранности Токовых шунтов. Эксплуатация Токовых шунтов в условиях, отличных от указанных в Руководстве по эксплуатации, может понизить уровень безопасности.

Чтобы правильно и безопасно использовать Токовые шунты, ознакомьтесь с мерами предосторожности, которые указаны на следующих нескольких страницах, а также с инструкциями по безопасности или предупреждениями, которые представлены во всем руководстве. Кроме того, соблюдайте необходимую технику безопасности при работе с электричеством.

⚠⚠ Предупреждение

Во избежание поражения электрическим током, возникновения пожара, травм или смерти следуйте данным инструкциям:

- **Перед использованием Прибора прочитайте всю информацию, касающуюся безопасности.**
- **Используйте Токовые шунты только в соответствии с инструкциями, указанными в данном руководстве.**
- **Во избежание поражения глаз, кожи и дыхательной системы запрещается значительно превышать максимальный номинальный ток шунта. Это может привести к испарению дорожек на печатных платах. (См. максимальный ток перегрузки в электрических характеристиках.)**
- **Не используйте Прибор в среде взрывоопасного газа, пара или во влажной среде.**
- **Осмотрите корпус перед использованием Прибора. Обратите внимание на возможные трещины или сколы на пластмассовом корпусе. Внимательно осмотрите изоляцию около разъемов.**
- **Не используйте устройство, если оно повреждено.**
- **Не используйте Прибор, если в его работе возникли неполадки.**
- **Не используйте измерительные провода, если они повреждены. Осмотрите измерительные провода на предмет повреждения изоляции и измеряйте известное напряжение.**
- **При выполнении любых измерений используйте только принадлежности, одобренные для Прибора и имеющие соответствующую категорию измерений (CAT), номинальное значение напряжения и силы тока (щупы, измерительные провода и переходники).**
- **Не подключать напрямую к электрической сети.**
- **Ограничьте измерения определенной категорией измерения, номинальными значениями напряжения или силы тока.**
- **Техническое обслуживание Токовых шунтов должно проводиться только квалифицированными специалистами.**
- **При обслуживании Токовых шунтов используйте только указанные запасные части.**
- **Не дотрагивайтесь до токонесущих частей с напряжением > 30 В перем. тока (среднеквадратичное значение), 42 В перем. тока (пиковое значение) или 60 В пост. тока.**
- **Используйте щупы, измерительные провода и дополнительные принадлежности, имеющие ту же категорию измерений, номинальное значение напряжения и силы тока, что и Прибор.**
- **Не помещайте элементы питания и блоки батарей вблизи от источника тепла или огня. Избегайте прямого попадания солнечных лучей.**

- **Извлеките батареи, если Прибор не используется длительное время или если температура хранения превышает 50 °C. Если не извлечь батареи, они могут потечь и повредить Прибор.**
- **Если батареи были удалены из Шунта, при повторной вставке убедитесь в том, что они вставлены на место с учетом надлежащей полярности.**
- **Используйте только зарядное устройство батареи, позволяющее заряжать активный шунт на 1 мА.**
- **Зарядное устройство батареи/сетевой адаптер следует подключать сначала к сетевой розетке, а затем — к шунту.**
- **При замене батарей заменяйте их все вместе. Используйте только никель-металлгидридные (NiMH) батареи.**
- **Не используйте батареи вместе с другими типами батарей или с батареями с разными уровнями заряда.**
- **Батареи в Токовом шунте на 1 мА всегда подключаются к гнезду зарядки, даже если Токовый шунт выключен.**

Символы

Ниже представлены условные обозначения, которые могут использоваться на Токовом шунте или в этом руководстве.

Символ	Описание	Символ	Описание
⚠	ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. ОПАСНОСТЬ.		См. пользовательскую документацию.
	ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. ОПАСНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. Опасность поражения электрическим током.	⎓	DC (постоянный ток)
O	Настройка отключения питания		ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. ГОРЯЧАЯ ПОВЕРХНОСТЬ. Риск ожогов.
I	Настройка включения питания	⏚	Заземление
CE	Соответствует требованиям директив Европейского союза.		Заземление на массу
	Данный прибор соответствует требованиям к маркировке директивы WEEE. Данная метка указывает, что данный электрический/электронный прибор нельзя выбрасывать вместе с бытовыми отходами. Категория прибора: Согласно типам оборудования, перечисленным в Дополнении I директивы WEEE, данное устройство имеет категорию 9 "Контрольно измерительная аппаратура". Не утилизируйте данный прибор вместе с неотсортированными бытовыми отходами.		Утилизировать

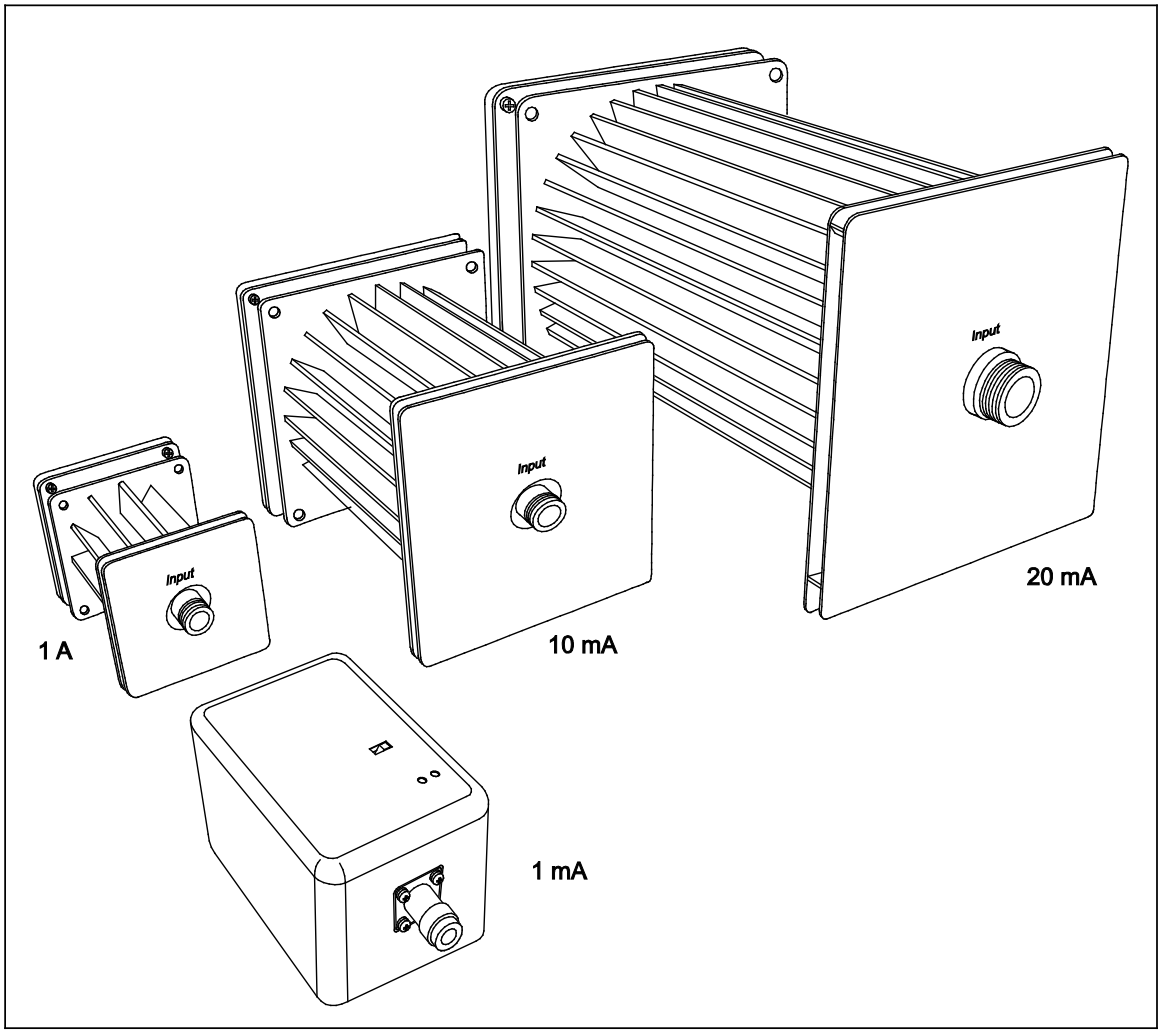
Описание прибора

В комплект поставки A40B Precision AC Current Shunt Set входят 14 токовых шунтов, адаптеры и прочный корпус для транспортировки/хранения. Токовые шунты предназначены для лабораторного использования при измерении переменного-постоянного тока или при изменении абсолютного переменного или постоянного тока. Эти приборы отличаются крайне высокой стабильностью величины сопротивления, отличным коэффициентом мощности саморазогрева и низкотемпературным коэффициентом. В набор входит пять конфигураций Токовых шунтов. К ним относятся:

- Один *активный* шунт в корпусе — 1 мА
- Три пассивных шунта в корпусе — 10, 20, 50 мА
- Пять малогабаритных коаксиальных шунтов — 100, 200, 500 мА, 1, 2 А
- Три коаксиальных шунта среднего размера — 5, 10, 20 А
- Два коаксиальных шунта большого размера — 50, 100 А

Физическая конструкция и компоненты, используемые в Токовых шунтах, гарантируют, что смещение амплитуды (ошибка относительно сопротивления постоянного тока) и смещение фаз на частоте 100 кГц будут достаточно малыми, чтобы ими можно было пренебречь при выполнении любых измерений, кроме самых высокоточных.

Номинальное значение выходного напряжения для входного сигнала полной шкалы равно 0,8 В. Размеры Токовых шунтов варьируются в зависимости от токового диапазона. На Рисунке 1 показано несколько примеров различных токовых шунтов.



fim002.eps

Рисунок 1. Конфигурации Токовых шунтов

Электрические характеристики

Основные характеристики Токовых шунтов

Эти устройства представляют собой точные эталоны калибровки. Для того чтобы обеспечить максимальную производительность прибора, конечный пользователь должен выполнить анализ неопределенностей, основанный на конкретном использовании прибора. При анализе неопределенностей необходимо проанализировать стабильность устройства в течение определенного времени (обычно намного больше, чем время, указанное в характеристиках), влияние влажности и температуры в лабораторных условиях, неопределенность измерения калиброванного значения при постоянном токе и неопределенность коррекции разности переменного/постоянного тока

Если необходимость в максимально высокой производительности отсутствует, то можно использовать следующую таблицу, где приведена приблизительная неопределенность, указанная при k = 2, представляя приблизительно 95 %-ную достоверность калиброванного значения. Приблизительная неопределенность включает стабильность в течение 1 года, воздействие температуры в диапазоне TCal ±1 °C и неопределенность измерения калиброванного значения.

Номинальный ток шунта	**Номинальное сопротивление (омы)**	**Основные характеристики ±μA/A, TCal ±1 °C, ≤50 % RH** [1][2][3][5]				
		Постоянный ток	**1 мВ**	**10 кГц**	**30 кГц**	**100 кГц**
1 мА [4]	800	20	55	75	75	150
10 мА	80	20	26	26	26	26
20 мА	40	20	26	26	26	26
50 мА	16	20	23	23	23	23
100 мА	8	20	24	24	24	24
200 мА	4	20	26	26	26	26
500 мА	1,6	21	27	27	27	28
1 А	0,8	21	27	28	28	31
2 А	0,4	21	27	30	30	48
5 А	0,16	21	31	32	40	71
10 А	0,08	26	37	60	61	92
20 А	0,04	26	43	52	70	113
50 А	0,016	32	55	80	81	144
100 А	0,008	35	65	90	98	174

[1] Измеренный ток определяется по формуле:
$I = (V / R_{калиброванное}) \times (1 + (AC\text{-}DC_{калиброванное} / 1\,000\,000))$; где значение $AC\text{-}DC_{калиброванное}$ выражено в μA/A

[2] При частоте свыше 1 кГц интерполируйте характеристику (s) в диапазоне частот от $f_{верхнее}$ до $f_{нижнее}$, используя:

$$s_i = s_{lower} + (f_i - f_{lower}) \times (s_{upper} - s_{lower}) \div (f_{upper} - f_{lower})$$

[3] Прибавьте 20 μA/A, если относительная влажность находится за границами предельных характеристик.

[4] Характеристики для 1 мА применяются при отключенном зарядном устройстве.

[5] Характеристики не учитывают каких-либо эффектов нагрузки, вызванных воздействием датчика напряжения. См. раздел *Измерение выходного напряжения - Эффекты нагрузки* в рабочей информации.

Характеристики сопротивления

Номинальный ток шунта	Номинальное сопротивление (омы)	Максимальное отклонение от номинального сопротивления (±μΩ/Ω) [2]	Приблизительная неопределенность калиброванного значения при 95 %-й достоверности (±μΩ/Ω) TCal ±1°C	12-месячная стабильность (±μΩ/Ω) [1][2]	Температурный коэффициент (±μΩ/Ω/°C) [2]	Множитель коэффициента мощности (±μΩ/Ω) [2][3]
1 мА	800	250	8,2	18	5	1
10 мА	80	250	6,8	18	2,5	1
20 мА	40	250	8,2	18	4,5	1
50 мА	16	250	8,3	18	4,5	1
100 мА	8	250	8,3	18	2,5	2
200 мА	4	250	8,6	18	3,5	4
500 мА	1,6	250	9,6	18	4,5	13
1 А	0,8	250	9,3	18	4,5	26
2 А	0,4	250	9,4	18	4,5	26
5 А	0,16	250	9,9	18	4,5	30
10 А	0,08	250	15	18	4,5	65
20 А	0,04	250	14	18	4,5	78
50 А	0,016	250	24	18	4,5	105
100 А	0,008	250	28	18	4,5	105

[1] Характеристика стабильности сочетает в себе долгосрочное изменение, вызванное старением (постоянное), и кратковременное колебание показателя, вызванное изменениями влажности при использовании шунтов и их хранении в определенных пределах влажности. Прибавьте 20 (±μΩ/Ω), если влажность составляет >50 % относ. влажн.).

[2] При объединении с другими вкладами неопределенности предположите прямоугольное распределение.

[3] Калиброванные значения сопротивления включают влияние коэффициента мощности при номинальном токе. Для токов, отличных от номинальных, примените дополнительную неопределенность для коэффициента мощности:

$$Adder = Power_Coefficient_Multiplier \times \left[1 - \left(\frac{I_{Applied}}{I_{Nominal}} \right)^2 \right]$$

Максимальная разница переменного-постоянного тока во время изготовления

Номинальный ток шунта	Максимальная разница переменного-постоянного тока (±µA/A) [1][2]			
	1 мВ	10 кГц	30 кГц	100 кГц
1 мА [3]	53	72	72	150
10 мА	20	20	20	40
20 мА	18	18	19	30
50 мА	13	13	14	25
100 мА	14	15	17	37
200 мА	17	17	18	35
500 мА	17	17	17	25
1 А	17	19	19	23
2 А	17	22	22	47
5 А	23	24	34	69
10 А	28	55	58	110
20 А	37	51	80	170
50 А	47	75	79	180
100 А	60	90	120	300

[1] Характеристики показывают максимальное отклонение неравномерности от постоянного тока и включают измеренную разницу переменного-постоянного тока и неопределенность измерения. Показатели приведены при k = 2, примерно 95 %-ной достоверности.
[2] Включает 1-летнюю стабильность разницы переменного-постоянного тока.
[3] Характеристики для Токового шунта на 1 мА представлены для окружающей температуры, равной Tcal ±1 °C.

Максимальный ток перегрузки

Номинальный ток шунта	Максимальный ток <5 секунд [1]	Максимальный установившийся ток [2]
1 мА	3 мА	2 мА [3]
10 мА	150 мА	20 мА
20 мА	250 мА	40 мА
50 мА	450 мА	100 мА
100 мА	1,2 А	200 мА
200 мА	1,7 А	400 мА
500 мА	2,7 А	1 А

Номинальный ток шунта	Максимальный ток <5 секунд [1]	Максимальный установившийся ток [2]
1 А	3,9 А	1,3 А
2 А	5,5 А	2,2 А
5 А	17 А	5,5 А
10 А	24 А	11 А
20 А	42 А	22 А
50 А	95 А	55 А
100 А	190 А	110 А

[1] Воздействие дольше 5 секунд может привести к необратимому повреждению шунта. Выходное напряжение может значительно превышать 0,8 В.
[2] Превышение максимального установившегося тока может привести к изменению шага значения сопротивления.
[3] Батареи шунта на 1 мА должны быть полностью заряжены, чтобы обеспечить производительность при 2 мА.

Типичное смещение фазы

Типичное смещение фазы			
Номинальный ток шунта	1 мВ	10 кГц	100 кГц
1 мА — 200 мА	< 0,001 °	< 0,006 °	< 0,060 °
500 мА — 2 А	< 0,003 °	< 0,030 °	< 0,300 °
2 А — 20 А	< 0,008 °	< 0,075 °	< 0,750 °
20 А — 100 А	< 0,013 °	< 0,125 °	< 1,250 °

Общие характеристики

Размеры (максимум)

Значение шунта	Высота мм (дюймы)	Ширина мм (дюймы)	Полная длина [1] мм (дюймы)
1 мА — 2 А	70 (2,75)	70 (2,75)	124 (4,9)
5 А — 20 А	130 (5)	130 (5)	210 (8,25)
50А и 100А	200 (7,9)	200 (7,9)	343 (13,5)
[1] Включает длину входного и выходного разъемов; характеристики могут быть изменены поставщиком компонентов.			

Физические/механические параметры

Значение шунта	Масса (максимум) кг (фунты)	Входной разъем	Выходной разъем
1 мА — 20 А	0,7 (1,6)	Тип N (гнездо)	Тип N (гнездо)
50А и 100А	3,4 (7,5)	Тип-LC (гнездо)	Тип N (гнездо)

Условия эксплуатации

Температура ..... от 13 °C до 33 °C
Диапазон температуры калибровки (TCal) ..... от 18 °C до 28 °C
Диапазон влажности для достижения
наилучшей производительности [1][2] ..... ≤50 % относ. влажн.
Высота ..... от 0 до 3000 м

[1] Устойчивость сопротивления зависит от влажности, однако изменения являются обратимыми.

[2] Если шунты откалиброваны за пределами этого диапазона относительной влажности, характеристики стабильности будут соответствовать требованиям до тех пор, пока шунты хранятся и используются при одинаковой относительной влажности ± 10% относ. влажн.

Безопасность

Общая ..... IEC 61010-1: Степень загрязнения 2

Условия хранения и транспортировки (для моделей помимо Токового шунта на 1 мА)

Температура для предотвращения повреждения ..... от -20 °C до 140 °C

Температура и влажность для поддержания
производительности [1] ..... от 5 °C до 45 °C; от 15 % до 80 % относ. влажн.

Нерабочая высота ..... от 0 м до 12 000 м

[1] Хранение при экстремальных температурах или влажности приведет к временному изменению сопротивления шунта на величину до ±20 ppm. При последующем хранении или использовании в рабочей среде с допустимыми характеристиками шунты восстанавливаются до своего первоначального значения сопротивления в течение 30 дней.

Дополнительные характеристики Токового шунта на 1 мА

Характеристики зарядного устройства
Вход ..... от 100 до 240 В, частота 50 / 60 Гц. Выход от 4,8 до 12 В постоянного тока, 800 мА
Выходное сопротивление ..... 8 мΩ
Максимальный безопасный ток на выходе ..... 11 мА (например, выход 1 В на 90 Ω)
Максимальная емкостная нагрузка ..... 800 пФ
Регулировка выходного напряжения ..... 15 ppm / 100 пФ
Максимальное выходное смещение DCV..... ±100 μВ (типично ± 25 μВ)
Стандартная погрешность при 1 МГц ..... <2 %

Характеристики батареи
Размер батареи ..... AAA (44,5 x 10,5 мм)
Технология батареи ..... никель-металлгидридная (NiMH)
Требуемое количество батарей ..... 8 (2 группы по 4)
Номинальное напряжение
аккумуляторной батареи ..... 1,2 В (4,8 В на группу из 4)
Типичная емкость батареи ..... 800 мАч
Условия хранения и транспортировки для обеспечения работоспособности батарей
Менее 90 дней ..... от -20 °C до 40 °C
Менее 1 года ..... от -20 °C до 30 °C
Время зарядки (от полной разрядки) ..... 100 минут

Максимальное время работы между зарядками:

Максимальная выходная

нагрузка (11 мА) ..... 18 часов

Высокая импедансная нагрузка ..... 24 часа

Рекомендуемый период охлаждения ..... 100 минут

Во избежание снижения емкости батареи перезаряжайте ее как минимум два раза в год.

Подготовка к эксплуатации

В данном разделе руководства описано, как распаковать и подготовить Токовые шунты для работы.

Распаковка и осмотр Шунтов

Примечание

Коаксиальные Токовые шунты обеспечивают надежное функционирование при условии правильного обращения с их концами. Следите за тем, чтобы не повредить горизонтальные стойки коаксиальных шунтов.

После получения Токовых шунтов от перевозчика аккуратно распакуйте их и осмотрите на предмет повреждений. В случае обнаружения любых признаков повреждений немедленно уведомите перевозчика.

В процессе проверки проконтролируйте соответствие содержимого упаковки списку, представленному в Таблице 1. Сообщите о любых недостатках в ближайший технический сервисный центр Fluke Calibration. *См. раздел «Как связаться с Fluke Calibration».*

Сохраните контейнер и любой упаковочный материал для будущего использования при хранении или отправке Токовых шунтов

Таблица 1. Содержимое упаковки набора токовых шунтов

Описание	Количество
Футляр A40B .....Футляр для транспортировки/хранения Токовых шунтов A40B	1
Упаковочный лист .....Содержит серийный номер Токовых шунтов	1
Токовые шунты один *активный* шунт в корпусе, с зарядным устройством .. 1 мА три пассивных шунта в корпусе..... 10 мА, 20 мА, 50 мА пять малогабаритных коаксиальных шунтов..... 100 мА, 200 мА, 500 мА, 1 А, 2 А три коаксиальных шунта среднего размера..... 5 А, 10 А, 20 А два коаксиальных шунта большого размера..... 50 А, 100 А	14
Переходники для разъемов A40B-ADAPT/LC.....Переходник со штекера LC на штекер LC A40B-ADAPT/LCN .....Внутрисерийный переходник с гнезда LC на штекер N A40B-LEAD/N .....Провод со штекера N на штекер N A40B-LEAD/4mm .....Двойной разъем типа «банан» с типа N на 4 мм	 1 1 1 2
Зарядное устройство для активного шунта на 1 мА Компакт-диск с Руководством по эксплуатации (формат PDF)	1 1

Принадлежности

Переходники LC и N, описанные в Таблице 2, доступны в качестве принадлежностей:

Таблица 2. Принадлежности A40B

Принадлежность	Описание
A40B-CAL/LC	Переходник для высокой силы тока для последовательного подключения двух шунтов с целью выполнения измерений (LC-LC)
A40B-CAL/N	Переходник для низкой силы тока для последовательного подключения двух шунтов с целью выполнения измерений (N-N)

Контактные координаты Fluke Calibration

Чтобы связаться с компанией Fluke Calibration, позвоните по одному из указанных ниже телефонов:

- Служба технической поддержки в США: 1-877-355-3225
- Служба калибровки/ремонта в США: 1-877-355-3225
- Канада: 1-800-36-FLUKE (1-800-363-5853)
- Европа: +31-40-2675-200
- Япония: +81-3-6714-3114
- Сингапур: +65-6799-5566
- Китай: +86-400-810-3435
- Бразилия: +55-11-3759-7600
- В других странах мира: +1-425-446-6110

Ознакомиться с данными о приборе и загрузить последние обновления можно на веб-сайте компании Fluke Calibration по адресу www.flukecal.com.

Прибор можно зарегистрировать по адресу http://flukecal.com/register-product.

Информация об отправке

Чтобы подготовить набор Токовых шунтов для транспортировки, поместите его в соответствующие пенопластовые вставки в футляре для транспортировки/хранения и закрепите крышку.

При отгрузке отдельных Токовых шунтов полностью уложите их в подушку из полиуретановой пены толщиной не менее 5 см (2 дюйма) и упакуйте в контейнер, защищающий от сминания.

Информация о хранении

Чтобы подготовить Токовые шунты для хранения, поместите их в футляр для транспортировки/хранения и закройте крышку. Затем поместите контейнер на хранение в месте, характеристики которого соответствуют требованиям к окружающим условиям, описанным ранее в *Общих характеристиках*. Хранение в условиях, выходящих за указанные пределы, может сократить ресурс батареи шунта на 1 мА или вызвать временное изменение сопротивления Токовых шунтов на величину до ±20 ppm. После возвращения в допустимые рабочие условия характеристики Токовых шунтов восстанавливаются до своего первоначального значения сопротивления в течение 30 дней.

Приемочные испытания

При первоначальной приемке Токовых шунтов выполните следующие приемочные испытания для проверки их функциональности:

1. Осмотрите физическое состояние Токовых шунтов на наличие признаков очевидных физических повреждений, включая повреждение разъема, как описано в разделе *Общее техническое обслуживание/Очистка*. Перед продолжением работ устраните все повреждения.

   Инструкции по обращению в компанию Fluke Calibration приведены ранее в этом руководстве.

2. Выполните функциональную проверку каждого Токового шунта, подавая номинальный ток на его вход. Выходное напряжение каждого токового шунта при номинальной силе тока должно составлять примерно 0,8 В.

Примечание

При подаче номинального рабочего тока на вход каждый Токовый шунт выдает выходное напряжение 0,8 В. Во время работы при полном токе токовые шунты с максимальными характеристиками (10 А и выше) нагреваются. Прикосновение к шунтам на 50 А и 100 А может причинить дискомфорт; их рабочая температура может достигать 70 ºC (158 ºF).

Общее техническое обслуживание/Очистка

Для выполнения общей очистки протрите переносной футляр и Токовые шунты влажной тканью и мягким моющим средством. Не используйте абразивные чистящие средства, изопропиловый спирт или растворители.

⚠ Предостережение

Чтобы предотвратить повреждение прибора:

- **Не применяйте при очистке Токовых шунтов ароматические углеводороды или хлорированные растворители.**
- **Не распыляйте жидкость и не погружайте Токовые шунты.**

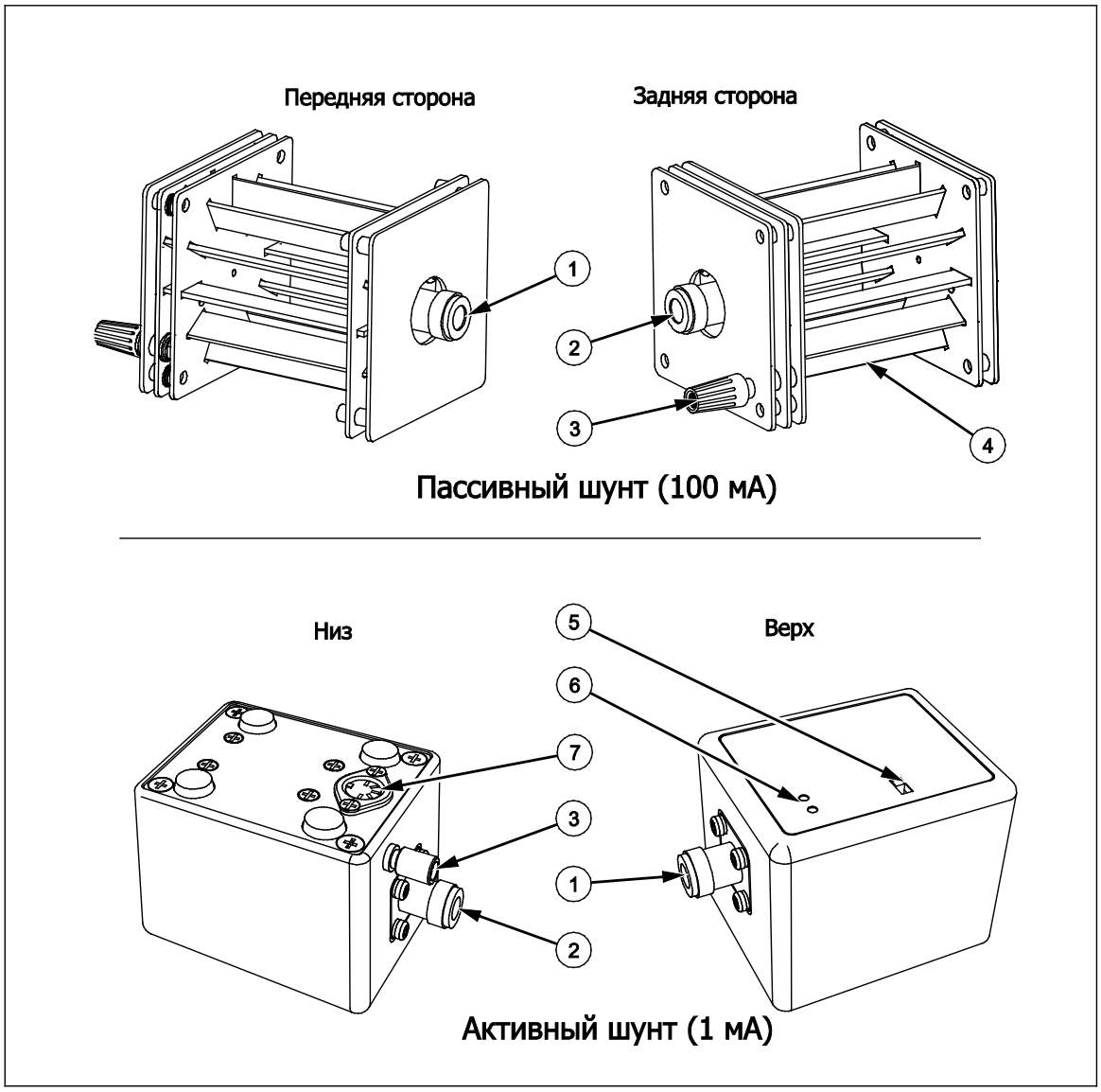
Помимо калибровки, единственное техническое обслуживание, которое требуется для Токовых шунтов — это осмотр входных и выходных разъемов на предмет износа или повреждения. Входные разъемы LC-типа шунтов на 50 А и 100 А являются достаточно прочными, однако разъемы N-типа на средних и малых шунтах могут быть легко повреждены при неправильном использовании или сопряжении с разъемами N-типа, выходящими за пределы погрешности. Центральные штифты штекерных разъемов N-типа могут смещаться, особенно когда они собраны на кабелях. Если центральный штифт на разъеме N-типа выступает слишком сильно, то гнездовой разъем на шунте будет поврежден при перекосе внутреннего разъема. При наличии сомнений относительно состояния разъема измерьте размер разъемов (подробнее см. в MIL-C-39012). Неисправные разъемы можно заменить, однако рекомендуется выполнить эту работу в сервисном центре Fluke Calibration.

Рабочая информация

В этом разделе руководства содержится практическая информация, которая будет полезна пользователю до и после проведения измерения тока. Руководство предназначено для того, чтобы оказать пользователю поддержку при выполнении высококачественных точных измерений.

Описание функций

Функции и разъемы Токовых шунтов показаны на Рисунке 2 и описаны в Таблице 3.



fim005.eps

Рисунок 2. Функции и разъемы

Таблица 3. Функции и разъемы

Элемент	Наименование	Описание
①	Разъем входа тока	Разъем для подачи тока на шунт. На всех шунтах используются гнездовые разъемы N-типа, кроме шунтов 50 A и 100 A, на которых используются гнездовые разъемы типа LC.
②	Разъем выхода напряжения	Разъем для измерения падения напряжения на шунте. В качестве выходных разъемов используются гнездовые разъемы N-типа.
③	Подключение ограничителя	Винтовая клемма для создания защитного соединения с шунтом Lo.
④	Стойки печатной платы	Соединения с низкой индуктивностью, передающие ток к шунтирующим резисторам и от них.
⑤	Переключатель вкл./выкл. питания	Включает или выключает питание Токового шунта.
⑥	Светодиодные индикаторы	Зеленый указывает на включение питания. Красный обозначает низкий заряд батареи.
⑦	Разъем для зарядного устройства батареи	Входной разъем для внешнего зарядного устройства.

Разъемы входа/выхода

⚠⚠Предупреждение

Чтобы избежать ожогов кожи и возможного повреждения Токовых шунтов на 50 A и 100 A, перед подачей тока на шунты убедитесь в том, что токонесущие входные разъемы не имеют повреждений и полностью затянуты.

Входные разъемы шунтов 50 A и 100 A относятся к типу LC. При подаче полного тока разъемы будут горячими на ощупь. Это нормально из-за сопротивления контактов. Если разъемы затянуты не до конца, они будут достаточно горячими, чтобы обжечь кожу и повредить шунт.

⚠ Предостережение

Чтобы избежать повреждения штифтов разъемов N-типа на Токовых шунтах, убедитесь в том, что штекерный штифт сопрягаемого разъема находится в допуске и не выступает.

Все остальные коаксиальные разъемы на токовых шунтах имеют сопротивление 50 Ω и представляют собой гнездовые разъемы N-типа. Эти разъемы особенно подвержены повреждениям при подключении к штекерному разъему N-типа. Если штекерный разъем находится вне допуска или его центральный штифт выступает слишком далеко, это приведет к перекосу центрального контакта гнездового разъема и станет причиной плохого соединения. При наличии сомнений относительно состояния центрального контакта в гнездовом разъеме N-типа измерьте размер разъема (см. MIL-C-39012).

При наличии очень сильных повреждений разъема сопротивление соединения может быть достаточно высоким, чтобы некоторые источники тока не выдавали дополнительное выходное напряжение блока питания, особенно на более высоких частотах.

Другая потенциальная проблема с выходным напряжением блока питания возникает тогда, когда Токовый шунт включен последовательно с индуктивностью. Кроме того, индуктивность может создавать дополнительную нагрузку на источники тока, которая будет выходить за рамки их производительности. Чтобы не допустить такого воздействия, убедитесь в том, что токовые соединения являются коаксиальными и имеют минимальную длину.

Неисправный разъем на токовом шунте можно заменить. Однако Fluke Calibration рекомендует, чтобы замена осуществлялась в сервисном центре Fluke Calibration.

Максимальный ток

На каждом входном разъеме Токового шунта промаркирована его номинальная сила тока. Аналогичным образом маркировка на выходном разъеме указывает номинальное напряжение для номинального входного тока. Таблица в разделе характеристик представляет максимальные токи, обеспечивающие поддержание производительности и предотвращение необратимого повреждения.

⚠⚠Предупреждение

Во избежание поражения электрическим током, возникновения пожара или травм не прикасайтесь к токонесущим частям с напряжением >30 В перем. тока (среднеквадратичное значение), 42 В пикового напряжения перем. тока или 60 В пост. тока.

⚠⚠Предупреждение

Во избежание получения травм не допускайте значительного превышения максимального номинального тока перегрузки Токового шунта. Это может привести к испарению дорожек на печатных платах. (См. максимальный ток перегрузки в электрических характеристиках.)

⚠ Предостережение

Чтобы избежать необратимого повреждения измерительных шунтирующих резисторов, не допускайте превышения максимального установившегося тока для Токового шунта, как указано ранее в электрических характеристиках. (См. Максимальный ток перегрузки).

Условия эксплуатации

Токовые шунты предназначены для работы в контролируемой среде, такой как лаборатории, выполняющие калибровку и измерения. Воздействие температуры и влажности, выходящих за определенные пределы условий хранения и транспортировки, может повлиять на их производительность и, в крайнем случае, повредить Токовые шунты.

Для охлаждения *открытых* коаксиальных шунтов применяется естественная конвекция. Ограничение потока воздуха может привести к ухудшению рабочих характеристик.

Корректировка вкладов погрешностей, вносимых Токовыми шунтами

Токовые шунты предназначены для использования с устройством, измеряющим напряжение, для измерения силы тока. В процессе измерения оба прибора вносят определенные ошибки измерения и для достижения максимальной точности, как правило, необходимо выполнить корректировку измерений. Токовый шунт может использоваться для непосредственного измерения тока без необходимости сравнения разницы переменного-постоянного тока с опорным значением постоянного тока. В таблице «Характеристики измерения силы тока» приведены характеристики измерения, в которых скорректированы калиброванное значение сопротивления постоянного тока и разница переменного-постоянного тока, а также учтена 12-месячная стабильность шунта.

Используйте следующую формулу для определения измеренных значений силы тока, *I*, исходя из данных напряжения, калиброванного сопротивления ($R_{калиброванное}$) и разности переменного/постоянного тока ($AC\text{-}DC_{калиброванное}$):

Где: значение $AC\text{-}DC_{калиброванное}$ выражено в ppm.

$$I = \left(\frac{V}{R_{calibrated}}\right) \times \left(1 + \frac{AC\text{-}DC_{calibrated}}{1\,000\,000}\right)$$

Формула, показанная выше, основана на том предположении, что вольтметр имеет бесконечный входной импеданс на интересующей частоте.

Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 5790B

Типичный входной импеданс Прибора 5790B (вход 1 или 2) составляет 10 MΩ параллельно с 100 пФ. Для шунтов с меньшим значением погрешность нагрузки сравнима с ошибкой шунта или превышает ее, если шунт используется для непосредственного измерения тока.

В Таблице 4 показаны эффекты воздействия нагрузки Прибора 5790B на Токовые шунты в диапазоне тока от 1 мА до 200 мА.

Таблица 4. Типичный эффект загрузки 5790B, диапазон 2,2 В

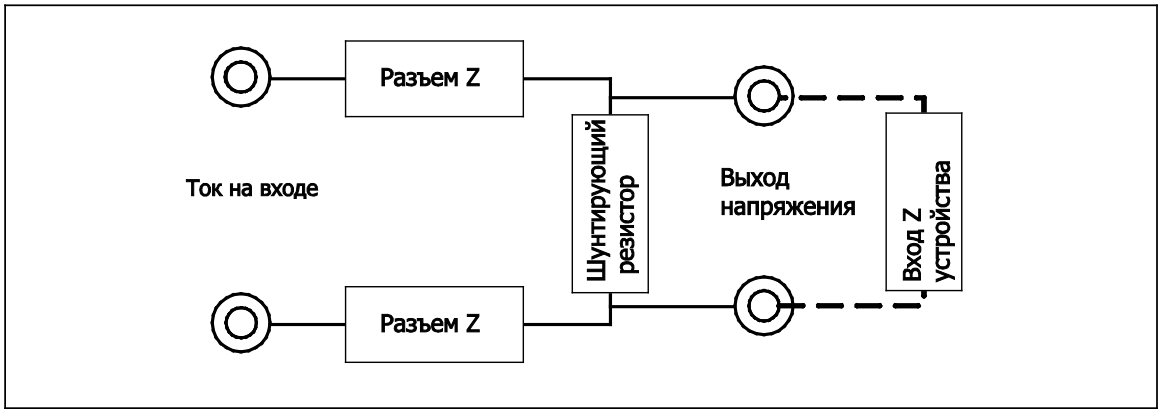
Сила тока (мА)	Постоянный ток	1 мВ		10 кГц		30 кГц		100 кГц	
	Ошибка нагрузки (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного /постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/ постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/ постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/ постоянного тока (ppm)
1	0	0	0	-1	+1	-4	+3	-16	+11
10	-8	-8	0	-8	+2	-9	+10	-21	+49
20	-4	-4	0	-4	+1	-4	+5	-7	+23
50	-2	-2	0	-2	0	-2	+2	-2	+9
100	-1	-1	0	-1	0	-1	+1	-1	+4
200	0	0	0	0	0	0	0	0	+2

Примечание

Прибор 5790B оптимизирован для использования с шунтами A40B. Для удобства эти значения нагрузки предварительно запрограммированы в таблицах «Ошибка нагрузки» в свойствах шунта. Дополнительные сведения приведены в Руководстве по эксплуатации 5790B.

Измерение выходного напряжения - Эффект нагрузки

Опубликованные характеристики Токового шунта представляют его производительность в идеальных условиях. При практическом использовании размещение входа устройства для измерения напряжения параллельно с Токовым шунтом вводит дополнительный импеданс (эффект нагрузки), который приведет к появлению ошибки измерения. См. Рисунок 3. Токовый шунт 1 мА в корпусе имеет выходное сопротивление менее 8 mΩ, поэтому резистивные нагрузки незначительны. Эффект емкостной нагрузки составляет менее 15 ppm на 100 пФ при частоте 100 кГц. Для неактивных Токовых шунтов влияние эффекта нагрузки возрастает по мере увеличения значения сопротивления Токового шунта, т.е. при уменьшении номинального значения силы тока. Для получения наиболее точных измерений необходимо вычислить погрешность, связанную с этим эффектом нагрузки, и использовать ее для коррекции измерения.



feh004.eps

Рисунок 3. Эффект нагрузки измерительного устройства

Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 5790A

Типичный входной импеданс Прибора 5790A (вход 1 или 2) составляет >10 MΩ (по постоянному току) параллельно с 70 пФ. Сопротивление 10 MΩ параллельно с шунтирующим сопротивлением оказывает небольшое влияние на самое низкое значение силы тока Токового шунта при постоянном токе. Как правило, импеданс 5790A уменьшается примерно до 1,5 MΩ параллельно с емкостью 70 пФ при 100 кГц, и на этой частоте эффект нагрузки выражен более отчетливо. Для шунтов с меньшим значением погрешность нагрузки сравнима с ошибкой шунта или превышает ее, если шунт используется для непосредственного измерения тока.

В Таблице 5 показан эффект воздействия нагрузки Прибора 5790A на Токовые шунты в диапазоне тока от 10 мА до 200 мА.

Таблица 5. Типичный эффект нагрузки 5790A, диапазон 2,2 В

Сила тока (мА)	Постоянный ток	1 мВ		10 кГц		30 кГц		100 кГц	
	Ошибка нагрузки (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)
1	0	0	0	-1	+1	-3	+3	-11	+11
10	-6	-6	0	-8	+2	-16	+10	-56	+49
20	-3	-3	0	-4	+1	-8	+5	-26	+23
50	-1	-1	0	-2	0	-3	+2	-10	+9
100	-1	-1	0	-1	0	-2	+1	-5	+4
200	0	0	0	0	0	-1	0	-2	+2

Измерение выходного напряжения с использованием Прибора Fluke Calibration 8508A

Входной импеданс 8508A для его функции постоянного тока составляет> 10 GΩ, а эффект нагрузки для измерения постоянного тока с любым токовым шунтом пренебрежимо мал. Типичный низкочастотный входной импеданс функции переменного тока (связь по постоянному току) для прибора 8508A равен 1 MΩ параллельно с 135 пФ. Как правило, импеданс уменьшается с частотой до стандартного значения 550 кΩ || 135 пФ при 100 кГц. Для Токовых шунтов с меньшим значением тока погрешность нагрузки сравнима с ошибкой шунта или превышает ее, если шунт используется для непосредственного измерения тока.

В Таблице 6 показан эффект воздействия нагрузки Прибора 8508A на Токовые шунты в диапазоне тока от 1 мА до 1000 мА.

Таблица 6. Типичное влияние нагрузки 8508A диапазона 2В ACV

Сила тока (мА)	Постоянный ток	1 мВ		10 кГц		30 кГц		100 кГц	
	Ошибка нагрузки (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разница переменного/постоянного тока (ppm)
1	0	0	0	-2	+2	-6	+6	-20	+20
10	-80	-80	0	-82	+2	-92	+12	-172	+92
20	-40	-40	0	-41	+1	-45	+5	-80	+40
50	-16	-16	0	-16	0	-18	+2	-31	+15
100	-8	-8	0	-8	0	-9	+1	-15	+7
200	-4	-4	0	-4	0	-4	0	-8	+4
500	-2	-2	0	-2	0	-2	0	-3	+1
1000	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0

Используйте следующую формулу для расчета эффекта нагрузки:

Где: Разница переменного/постоянного тока$_{\text{калиброванное}}$ и ошибка нагрузки выражены в ppm.

$$I = \left(\frac{V}{R_{\text{calibrated}}}\right) \times \left(1 + \frac{\text{AC - DC}_{\text{calibrated}}}{1\,000\,000}\right) \times \left(1 - \frac{\text{Loading error}}{1\,000\,000}\right)$$

Инструкции по эксплуатации

⚠⚠ Предупреждение

Чтобы предотвратить возможность поражения электрическим током, возгорания или получения травмы, при измерении силы тока отключите питание цепи перед подключением Прибора в цепь. Подключите Прибор последовательно к цепи.

Введение

В этом разделе руководства описано, как измерять переменный и постоянный ток с использованием любого из Токовых шунтов. Процедуры основаны на том предположении, что пользователь знаком с содержанием разделов *Рабочая информация* и *Характеристики*, представленных ранее в этом руководстве.

Измерение силы тока

Используйте следующую процедуру для измерения силы тока с помощью одного из Токовых шунтов:

1. Проанализируйте тестируемую цепь и определите следующее:
   a. Примерное значение силы тока, протекающего в цепи.
   b. Частоту измеряемого тока (от постоянного тока до 100 кГц).
2. Выберите Токовый шунт, способный безопасно работать с расчетным током.
3. При использовании Токового шунта на 1 мА переключите его в положение «Вкл.» и убедитесь, что индикатор низкого заряда батареи (красный) выключен. После зарядки Токового шунта на 1 мА отсоедините зарядное устройство. Процесс зарядки создает тепло в батарее, поэтому для обеспечения максимальной точности необходимо дождаться стабилизации температуры шунта в течение 100 минут после завершения зарядки.
4. Отключите питание от проверяемой цепи и последовательно подключите к цепи вход Токового шунта.
5. Подключите соответствующее устройство измерения напряжения к выходу Токового шунта и выберите подходящий диапазон. Выходное напряжение токового шунта пропорционально входному току; 0,8 В для номинального тока.

   Как правило, необходимо установить измерительное устройство на дистанционное ограждение и подключить клемму его ограждения к ограждению Токового шунта. См. документацию для измерительного устройства.
6. Подайте ток в цепь и измерьте результирующее выходное напряжение. Это выходное напряжение прямо пропорционально току, протекающему в цепи.
7. Используйте измерение напряжения и *Рабочую информацию* в предыдущем разделе данного руководства, чтобы точно определить уровень тока.

   Определите силу тока, используя следующую формулу:

   Где: калиброванная разница переменного/постоянного тока и ошибка нагрузки выражены в ppm.

$$I = \left(\frac{V}{\mathrm{R}_{\mathrm{calibrated}}}\right) \times \left(1 + \frac{\mathrm{AC - DC}_{\mathrm{calibrated}}}{1\,000\,000}\right) \times \left(1 - \frac{\mathrm{Loading\ error}}{1\,000\,000}\right)$$

Например: Оценка неопределенности измерения 5790B

В следующем примере показано, как оценить неопределенность калибровочного измерения (при окружающей температуре 23 °C). Он иллюстрирует один из тестов проверки работоспособности калибратора Fluke Calibration 5730A. В частности, здесь проверяется ток 200 мА на частоте 1 кГц, как описано в полной процедуре проверки 5730A.

Источник: Fluke Calibration 5730A - выход 200 мА на частоте 1 кГц.

Измерительное оборудование: Токовый шунт Fluke Calibration, на 200 мА (калиброван при 23 °C) и Fluke Calibration 5790B.

Выполните измерение и оцените неопределенность, используя информацию, приведенную в Таблице 7. Пример расчета измеряемого тока с использованием произвольных значений приведен в Таблице 8.

Как описано в полной процедуре проверки 5730A, при оценке измеряемого тока используются пределы, основанные на характеристиках при 200 мА, при частоте 1 кГц ±135 ppm; рассчитанные на 1 год, с 99 % достоверностью для 5730A ±(120 ppm выходного значения + 3 μA). Как показано в расчете, расширенная неопределенность измерений является достаточно адекватной для того, чтобы надежно подтвердить этот уровень характеристик.

Примечание

Кабели, используемые на пути прохождения измерительного сигнала, могут добавлять ошибку к измерению тока. В приведенном выше примере ошибка кабеля не включена в анализ. Для обеспечения наилучшей производительности используйте кабель A40B-Lead/4 мм или кабель A40B-Lead/N.

Таблица 7. Оценка неопределенности измерения 5790B

Компонент ошибки	Значение (ppm)	Распределение	Делитель	Значение при k=1	Значение квадрата величины
Стандартное отклонение шума измерения [1]	5	нормальное	1	5	25
Показатель измерения тока шунта (95%)	26	нормальное	2	13	169
Температурный коэффициент шунта	0	прямоугольное	1,73	0	0
Коэффициент мощности шунта [2]	0	прямоугольное	1,73	0	0
Неопределенность эффекта нагрузки 5790B [3]	1	нормальное	2	0,5	0,25
Характеристика 5790B (диапазон 2,2 В)	22	нормальное	2,58	8,53	72,71
				Сумма квадратов	266,96
				Стандартная неопределенность = квадратный корень из суммы	16,34
				Расширенная, округленная неопределенность в ppm (k = 2)	**33**
				Расширенная неопределенность	**±0,0000066 A**

Примечания:
[1] Значение, произвольно выбранное для этого примера
[2] Коэффициент мощности = 0, поскольку шунт используется при номинальном значении силы тока
[3] Типичная неопределенность на частоте 1 кГц

Таблица 8. Пример расчета измеряемого тока (произвольные значения)

Имеющиеся данные/Расчеты	Значения	Единицы
Показания 5790B	0,799977	В
Калиброванное значение сопротивления	3,999770	Ω
Нескорректированный расчетный ток на выходе 5730A (V/R)	0,2000058	А
Прибавить разницу переменного-постоянного тока A40B (ppm)	+1	ppm
Вычесть ошибку нагрузки 5790B (ppm)	0	ppm
Общая погрешность измерения	+1	ppm
Откорректированный результат измерения	**0,2000060**	А
Неопределенность измерений, в амперах	±**0,0000066**	А

Прямое считывание показаний при измерении силы тока

При использовании токового шунта с измерителем, который позволяет обрабатывать отображаемое значение с помощью математических функций, измерительный прибор может быть сконфигурирован таким образом, чтобы выдавать прямое показание тока. Например:

В следующем сценарии выполняется измерение источника тока, работающего на заданной частоте, с использованием Токового шунта на 100 мА и Fluke Calibration 8508A.

Предположения:

- Калиброванное сопротивление постоянного тока Токового шунта (*z*) = 7,999600
- Калиброванная разница переменного-постоянного тока для Токового шунта на этой частоте = +7 ppm
- Эффект нагрузки на этой частоте = -9 ppm

1. Сложите значения разности переменного-постоянного тока и эффектов нагрузки:
   Суммированная ошибка в ppm = - (+7) -9 = -16 ppm

Примечание

Ошибка разности переменного-постоянного тока представляет собой величину, на которую должно измениться значение переменного тока, чтобы оно стало равным величине постоянного тока. Чтобы получить из этого значения ошибку неравномерности частоты, измените знак.

2. Преобразуйте суммированные ошибки в ppm в множитель (*m*)

$$m = 1 - \left(\frac{-16}{1\,000\,000} \right) = 1{,}000016$$

3. Введите значение *z* (7,99960) в *поле для сохранения z* для 8508A
4. Введите значение *m* (1,000016) в *поле для сохранения m* для 8508
5. Активируйте функции **разделить на z** и **умножить на m** в 8508A
   Теперь 8508A выдает прямое показание измеряемого тока.

Для измерения того же уровня тока на другой частоте вычислите новое значение для *m* и введите новое значение в поле для сохранения *m* в 8508A. Значение *z* остается неизменным.

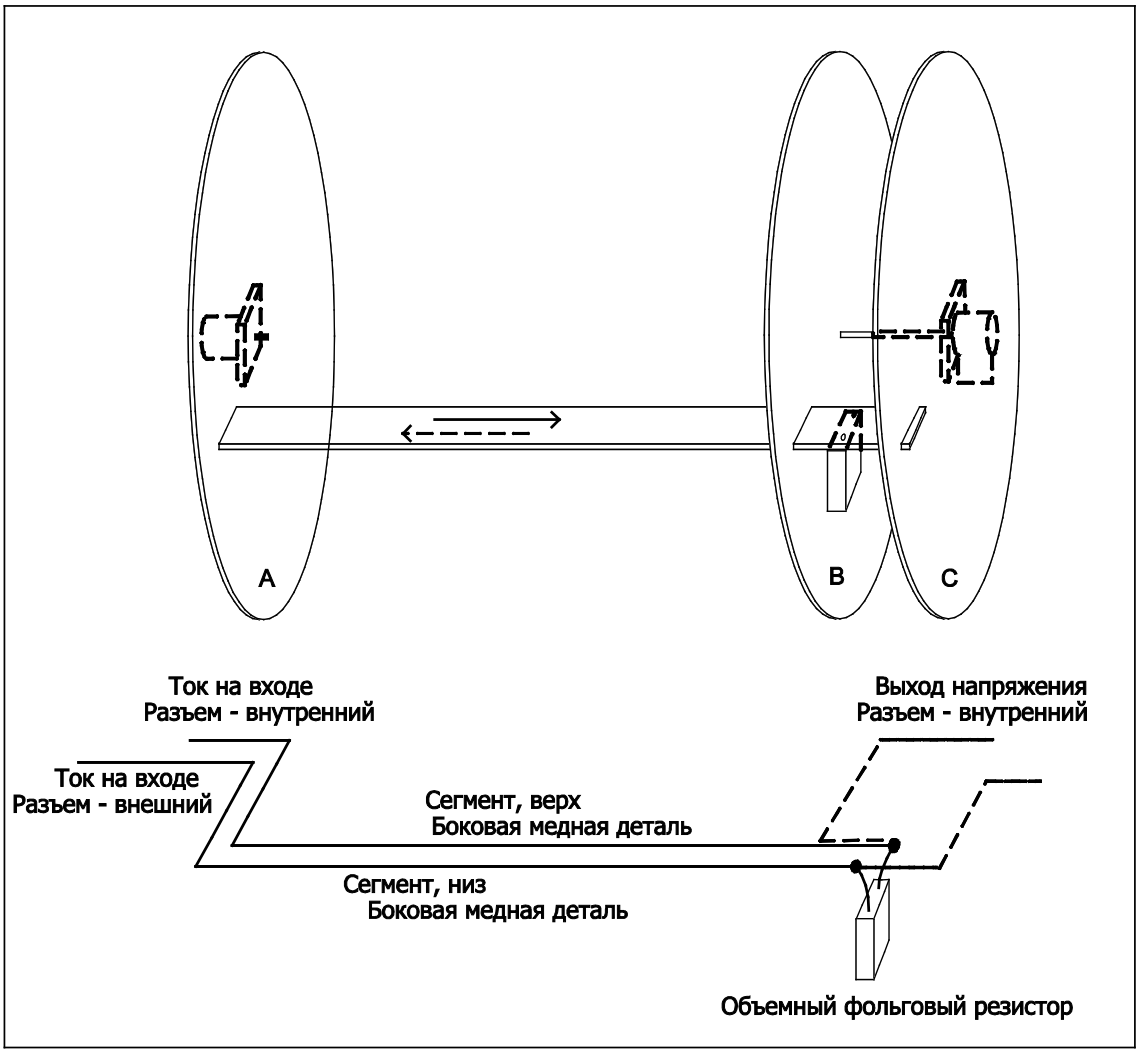
Теоретические основы работы

Токовые шунты обеспечивают идеальное активное сопротивление, через которое проходит ток для создания напряжения. Они предназначены для точных измерений постоянного и переменного тока в диапазоне от 1 мА до 100 А при частотах от постоянного тока до 100 кГц. Как правило, индуктивность способна затруднять точное измерение по мере увеличения силы тока и частоты.

Коаксиальные шунты

Коаксиальные шунты специально разработаны для обеспечения низкой индуктивности. Конструкция аналогична конструкции, разработанной Институтом им. Менделеева, г. Санкт-Петербург. Основными компонентами коаксиальных шунтов являются конструкции печатной платы (PCB) и прецизионные резистивные элементы. Такая конструкция предоставляет несколько параллельных токовых дорожек (стоек), каждая из которых оснащена собственным резистивным элементом. Каждый путь тока является симметричным, чтобы минимизировать взаимную индуктивность. Резистивные элементы содержат от 1 до 8 дискретных высокоточных объемных фольговых резисторов на стойку в зависимости от номинального тока Токового шунта.

Отдельные стойки печатных плат, собранные в цилиндрической конструкции для уменьшения внешних магнитных полей, образуют путь через шунт. На Рисунке 4 показан путь тока через один из элементов стойки/резистора.



feh006.png

Рисунок 4. Токовый шунт - упрощенная электрическая схема

Обе стороны печатной платы, обозначенной **A** на Рисунке 4, фольгированы медью. Печатные платы **B** и **C** являются односторонними. Ток протекает в шунт через входной разъем по одной стороне печатной платы **A** вдоль одной стороны стоек к резистору. Возврат тока осуществляется через резистор, вдоль другой стороны стоек, и через конец печатной платы на входной разъем. Напряжение на резисторе переносится стойкой к концу двойной печатной платы (**B** и **C** на Рисунке 4) и к выходному разъему.

Параллельные пути тока, обеспечиваемые стойками и концами печатной платы, сводят к минимуму взаимную индуктивность. Использование многочисленных объемных фольговых резисторов уменьшает скин-эффект в резистивном элементе и обеспечивает отличную стабильность.

Шунты в корпусе

За исключением Токового шунта на 1 мА, Токовые шунты в корпусе имеют более простую электрическую конструкцию, чем коаксиальные версии. Индуктивность и саморазогрев представляют меньшую проблему, поэтому резистивные элементы могут быть закрыты для уменьшения внешних воздействий. В состав Токового шунта на 1 мА входит усилитель с питанием от батареи, чтобы буферизовать сопротивление шунта от эффектов нагрузки.

Калибровка

Введение

В данном разделе руководства описан процесс калибровки Токовых шунтов. Описание представлено в двух частях:

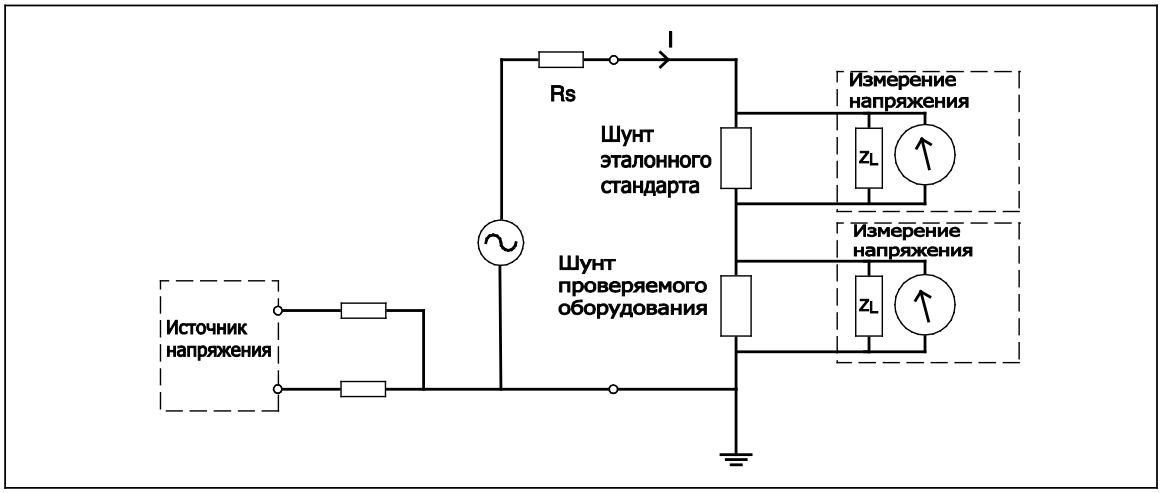
1. Обзор/обсуждение соображений по калибровке Токовых шунтов.
2. Описание метода, применяемого Fluke Calibration.

Данные описания не содержат подробных пошаговых процедур калибровки Токовых шунтов. Эти описания скорее предназначены для того, чтобы создать основу для работы опытного специалиста по калибровке и использования метода Fluke Calibration для калибровки Токовых шунтов.

Обзор методов калибровки

Токовые шунты могут использоваться для измерения разности переменного-постоянного тока или абсолютных измерений переменного или постоянного тока. Для этого необходимо откалибровать характеристики неравномерности переменного тока и сопротивления постоянному току. Калибровка переменного и постоянного тока предусматривает пропускание тока известной силы через калибруемое устройство (проверяемое оборудование) и измерение выходного напряжения.

Метод калибровки для Токовых шунтов основан на переносе калибровки по сравнению с эталонными шунтами. Это устраняет необходимость в калиброванном источнике тока. Тем не менее, ток источника должен быть стабильным и обеспечивать необходимые уровни соответствия напряжения. На Рисунке 5 показана базовая конфигурация.



feh014.eps

Рисунок 5. Схема с использованием эталонного резистора шунта, чтобы определить источник тока

Потенциальные устройства измерения напряжения

TVC

Для измерения выходного напряжения Токового шунта система может использовать преобразователи теплового напряжения (TVC) в сочетании с вольтметром постоянного тока. TVC производит выходное напряжение постоянного тока, пропорциональное подаваемому напряжению переменного или постоянного тока, которое является равномерным по своей природе во всем диапазоне частот, требуемом для данного применения. TVC может использоваться только для сравнения двух сигналов, он не выдает значения абсолютного измерения; поэтому он в основном применяется для измерения разности переменного-постоянного тока. Существуют различные формы TVC; в Таблице 9 перечислены преимущества и недостатки самого простого устройства: TVC с одним переходом (SJTVC).

Таблица 9. Преобразователи теплового напряжения с одним переходом

Преимущества	Недостатки
Ошибки неравномерности частоты, как правило, очень малы.	Медленное достижение тепловой стабильности
Входной импеданс является в основном резистивным	Низкое входное сопротивление (90 Ω)
Очень хорошая выходная / входная изоляция. Незначительные ошибки из-за синфазного тока	Максимальное входное напряжение составляет 0,45 В. Для увеличения входного напряжения необходим соответствующий последовательный резистор
	Квадратичная характеристика обеспечивает низкую амплитудную линейность
	Для разрешения выходных уровней мВ необходимо использовать нановольтметр или потенциометр/нулевой детектор
	Прибор чувствителен к небольшим изменениям в местной окружающей среде (сквозняки, источник тепла)

Эталон передачи переменного-постоянного тока Fluke Calibration 792A

Прибор Fluke Calibration 792A может использоваться для измерения разности переменного-постоянного тока, он обладает различными преимуществами по сравнению с SJTVC. См. Таблицу 10. Однако у него есть один недостаток, который снижает его применимость для данного варианта использования. В отличие от TVC с одним переходом Прибор 792A подвергается воздействию синфазных помех, особенно при использовании в качестве измерительного устройства для эталонного стандартного шунта.

Таблица 10. Эталон передачи переменного-постоянного тока Fluke Calibration 792A

Преимущества	Недостатки
Ошибки неравномерности частоты, как правило, очень малы.	Ошибки в синфазном режиме [1]
Полупроводниковый TVC с выходом 2 В.	Для разрешения выходного сигнала необходим вольтметр постоянного тока
Ускоренная стабилизация по сравнению с SJTVC	Входной импеданс изменяется вместе с частотой
Сниженная ошибка изменения направления постоянного тока	
Линейный отклик	
Высокий входной импеданс	
[1] Ошибки в синфазном режиме являются основным источником ошибок для устройств с питанием от сети.	

DMM / стандарт измерения

Номинальное значение выходного напряжения Токовых шунтов равно 0,8 В, благодаря этому они идеально подходят для использования с такими приборами, как Fluke Calibration 5790A/B и Fluke Calibration 8508A. Очевидными преимуществами этого типа приборов являются быстрое время стабилизации и возможность выполнения абсолютных измерений. См. Таблицу 11. Прибор 5790A/B обеспечивает возможность измерения разности переменного-постоянного тока, хотя Токовые шунты позволяют выполнять прямые измерения переменного тока с точностью, достаточной для многих ситуаций применения. Такие приборы, как Fluke Calibration 5790B и 8508A, используют математические функции, которые позволяют вводить в память значение сопротивления Токового шунта, чтобы отображаемое показание представляло собой измеренный ток.

Таблица 11. Стандарт измерения Fluke Calibration 5790A/B

Преимущества	Недостатки
Быстрая стабилизация	Ошибки в синфазном режиме [1]
Выполнение абсолютных (не сравнительных) измерений	Общая точность ниже, чем показания TVC/DC
Быстрое считывание показаний	Входной импеданс изменяется вместе с частотой
Хорошая точность в широком диапазоне частот	Необходимо устранять ошибки неравномерности частоты
Никакого дополнительного оборудования не требуется	
Два входа; измерения соотношения	
Очень хорошая линейность	
Сниженная чувствительность к местной окружающей среде по сравнению с TVC	
Может выполнять передачу разности переменного-постоянного тока	
[1] Ошибки в синфазном режиме являются основным источником ошибок для устройств с питанием от сети.	

Что нужно учитывать для постоянного тока

Обратите внимание, что импеданс измерительного устройства расположен в цепи параллельно шунту, что вызывает эффект нагрузки. Как правило, влияние эффекта нагрузки возрастает по мере увеличения значения сопротивления Токового шунта, т.е. при уменьшении номинального значения силы тока.

Пример

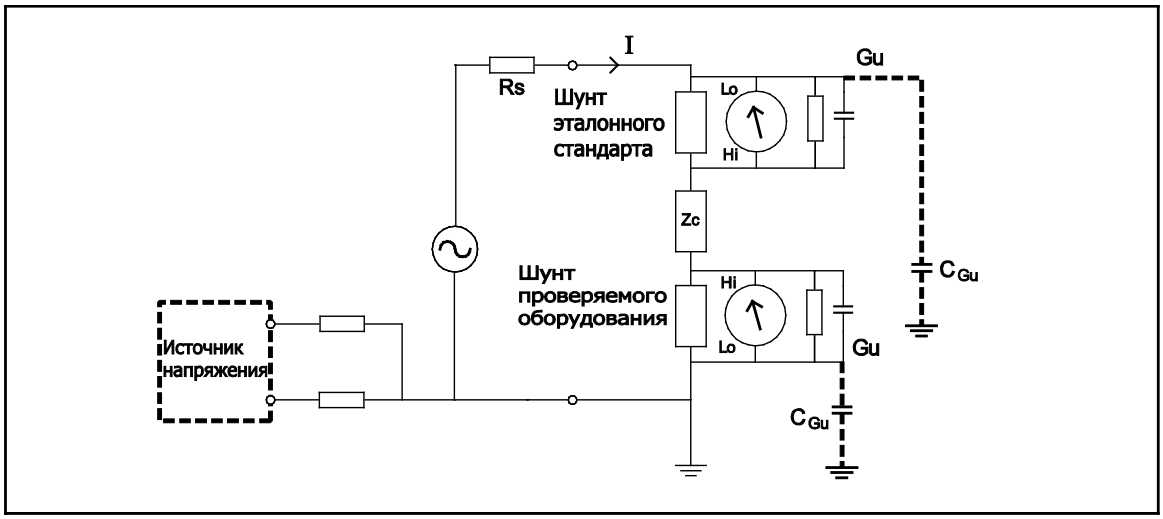
Предположим, что проверяемое оборудование представляет собой Токовый шунт на 10 мА с сопротивлением 80 Ω. К проверяемому оборудованию подключено измерительное устройство SJTVC с напряжением 0,8 В, на 5 мА. Его входной импеданс обычно составляет 160 Ω. Эталонный шунт также представляет собой Токовый шунт на 10 мА, однако его напряжение измеряется с помощью Прибора Fluke Calibration 792A, с диапазоном на 700 мВ и входным импедансом более 10 MΩ. Весь ток 10 мА, генерируемый источником, проходит через эталонный шунт. Из-за шунтирующего эффекта SJTVC через проверяемое оборудование протекает ток 6,7 мА и ток 3,3 мА — через SJTVC; Токовый шунт проверяемого оборудования работает на уровне 66 % от номинального значения. Это считается неприемлемым для измерения абсолютного уровня постоянного тока (или переменного тока). Однако для измерения разности переменного-постоянного тока полуток уже давно является нормой, поскольку соответствует стандартному методу использования шунтов. В Таблице 12 перечислены прочие потенциальные источники ошибок и рекомендуемые способы устранения.

Таблица 12. Прочие источники ошибок и способы устранения

Источник потенциальной ошибки	Решение
Ток является стабильным, т.е. одинаковым для обоих измерений?	Тщательный подбор оборудования.
Эффект нагрузки измерительного устройства является одинаковым для каждого измерения? Это невозможно обеспечить, если значения сопротивления эталонного шунта и проверяемого оборудования сильно различаются, что приводит к изменению тока в цепи между измерениями. Значение сопротивления источника (Rs на Рисунке 5) влияет на величину ошибки.	
Насколько велика разница между различными измерительными приборами? Переключение позволит одному и тому же прибору измерять характеристики как проверяемого оборудования, так и эталонного шунта, однако повторяемость импеданса переключателя может создавать больше проблем, чем позволяет решить такой вариант.	
Все Токовые шунты в некоторой степени самонагреваются в зависимости I^2R. Температурный коэффициент Токового шунта вызывает изменение его значения сопротивления.	Тщательный подбор оборудования. Все элементы системы должны стабилизироваться при нормальной рабочей температуре до начала измерений.
Как будут компенсироваться ошибки нуля постоянного тока?	Возьмите среднее значение положительных и отрицательных измерений постоянного тока (изменение направления постоянного тока).
Каким образом измерения будут преодолевать термо-ЭДС?	

Что нужно учитывать для переменного тока

Большинство особенностей работы с постоянным током также применимы и к измерениям переменного тока. На Рисунке 6 показан входной импеданс измерительного устройства в виде сопротивления и емкости, чтобы показать, что импеданс изменяется вместе с частотой. В этом отношении очень выгодным является низкое значение входного сопротивления SJTVC (160 Ω); оно сглаживает влияние емкости. Как правило, устройства с активными входными цепями имеют высокое входное сопротивление, и емкость оказывает большее влияние на неравномерность частоты. В Таблицах 5, 6 и 7 приведены типичные значения и ошибки для приборов Fluke Calibration 5790A, 5790B и 8508A.



feh016.eps

Рисунок 6. Источники ошибок при измерении переменного тока

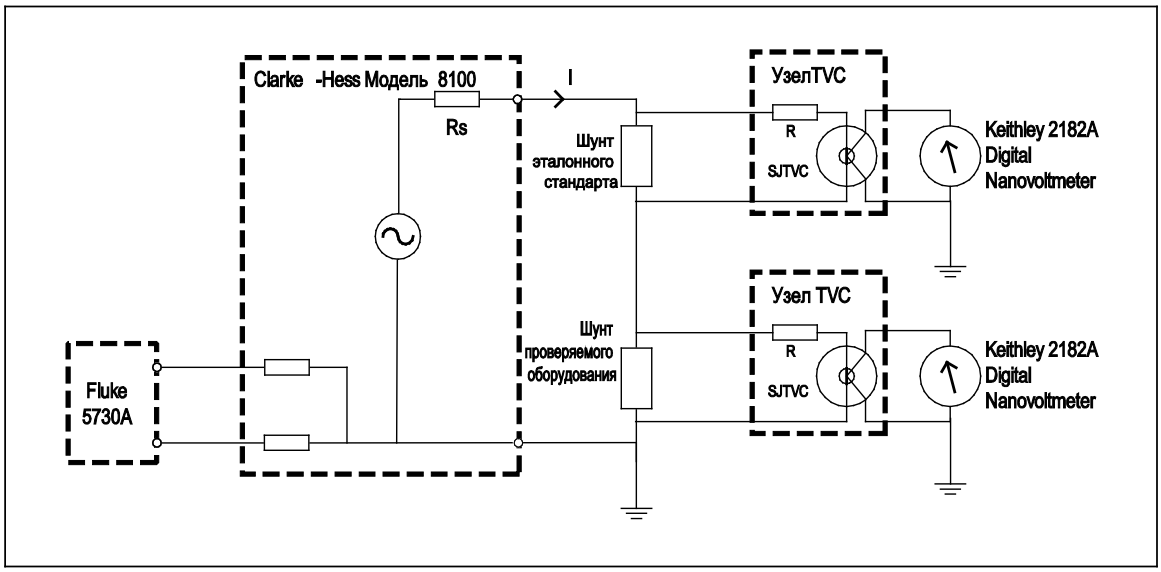
При измерениях Токового шунта синфазный ток может иметь большую величину, особенно когда одно или несколько устройств измерения напряжения получает питание от сети. Основной причиной возникновения синфазного тока является емкость между измерительными цепями и заземлением. Тщательная защита может уменьшить эффект, но не устранить его полностью. На Рисунке 6. Gu представляет собой защиту прибора, а C_{Gu} — емкость на землю. Обратите внимание, что C_{Gu} в нижней цепи измерения почти закорочена соединениями Gu / заземления. Падение напряжения, вызванное импедансом соединения, означает, что Gu в нижней цепи неточно подключена к заземлению, и эта разница изменяется вместе с частотой. В результате ток в синфазном режиме приведет к возникновению небольших ошибок измерения проверяемого оборудования. Как правило, ошибки синфазного тока увеличиваются вместе с частотой.

Потенциально ошибки, вызванные синфазным током в цепи измерения эталонного стандарта, будут намного выше. Zc на Рисунке 6 представляет импеданс между шунтами. Можно сразу увидеть, что разность потенциалов между Gu и заземлением в верхней цепи выше, поэтому в цепи измерения C_{Gu} эталонного стандарта протекает синфазный ток большей величины, чем в цепи проверяемого оборудования. Обратите внимание на подключение детектора в верхней цепи. В этой конфигурации C_{Gu} определяется током источника, что снижает влияние ошибок синфазного режима, связанных с эталонным стандартным шунтом. Напряжение на проверяемом оборудовании, Zc и эталонном стандарте будет увеличиваться вместе с частотой из-за наличия индуктивности. Это определяет частотную зависимость ошибок синфазного тока. Для минимизации индуктивности необходимо уделить большое внимание проектированию данного соединения.

На входе измерительных устройств часто используются синфазные дроссели, чтобы уменьшить эффекты синфазного режима. Однако следует проявлять осторожность, чтобы избежать резонансов с C_{Gu} в интересующем частотном диапазоне.

Метод Fluke Calibration

Этот метод калибровки обеспечивает автоматическое определение разницы переменного-постоянного тока и измерение сопротивления при постоянном токе. См. Рисунок 7. Выходные сигналы напряжения от эталонных шунтов и шунтов проверяемого оборудования обнаруживаются с помощью прибора SJTVC на 0,8 В, 5 мА, и нановольтметра Keithley 2182A. Одного ручного вмешательства во время калибровки достаточно, чтобы отключить узлы TVC и соединить выходы шунта со вторичными входами нановольтметра. Для калибровки сопротивления при номинальном токе проводятся сравнительные измерения.



feh018.eps

Рисунок 7. Система Fluke Calibration

Блок TVC содержит Прибор SJTVC на 5 мА и высокоточный последовательный резистор на 70 Ω для снижения выходного сигнала 0,8 В шунта эталонного стандарта максимум до 0,45 В SJTVC. Компоненты узла TVC упакованы в пенополистирол и помещены в металлическую коробку для обеспечения термической стабильности. Конструкция является коаксиальной. Входной разъем узла TVC представляет собой штекер N-типа, который соединяется непосредственно с выходным разъемом эталонного стандарта.

Рекомендуемые инструменты и оборудование

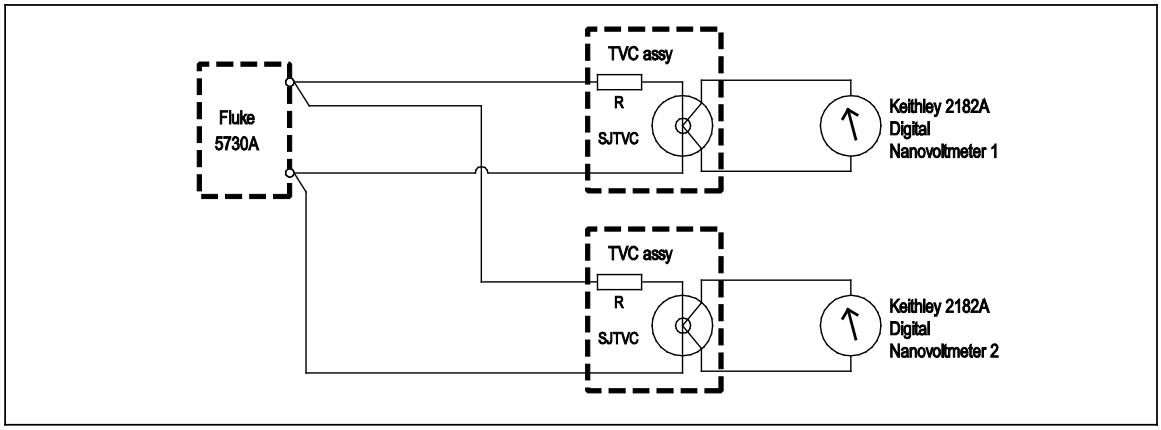
В Таблице 13 приведен список рекомендованного оборудования для использования метода Fluke Calibration для калибровки Токовых шунтов. При использовании заменителей рекомендуемых моделей убедитесь в том, что они соответствуют или превосходят минимальные характеристики, указанные в таблице.

Таблица 13. Список рекомендуемого оборудования

Система обозначений	Рекомендуемая модель	Минимальные характеристики
Multifunction Calibrator	Fluke Calibration 5730A	От 0 до 10 вольт, от постоянного тока до 100 кГц
Транскондуктивный усилитель	Clarke–Hess 8100	100 А, 100 кГц
Precision AC Current Shunt Set	A40B	Откалиброван в Национальном институте измерений или в сервисном центре Fluke Calibration
Узел TVC (необходимо два)	UHF, термопара с одним переходом на 5 мА или термопреобразователь, например, Fluke модели A55, Ballantine 1394A или Measuretech EL1200; резистор на 70 Ω.	0,8 В, 5 мА, от постоянного тока до 100 кГц
Нановольтметр (необходимо два)	Keithley 2182A	10 мВ постоянного тока, разрешение 1 нВ

Калибровка системы для разности переменного-постоянного тока

Для компенсации разности коэффициентов усиления между двумя устройствами TVC необходима периодическая калибровка системы. Этот процесс показан на Рисунке 8.



feh020.eps

Рисунок 8. Калибровка разницы в коэффициенте усиления

Прибор Fluke Calibration 5730A обеспечивает выходной сигнал 0,8 В. Здесь выполняется измерение относительной разницы переменного-постоянного тока в

устройствах SJTC, которое затем применяется в качестве коррекции.

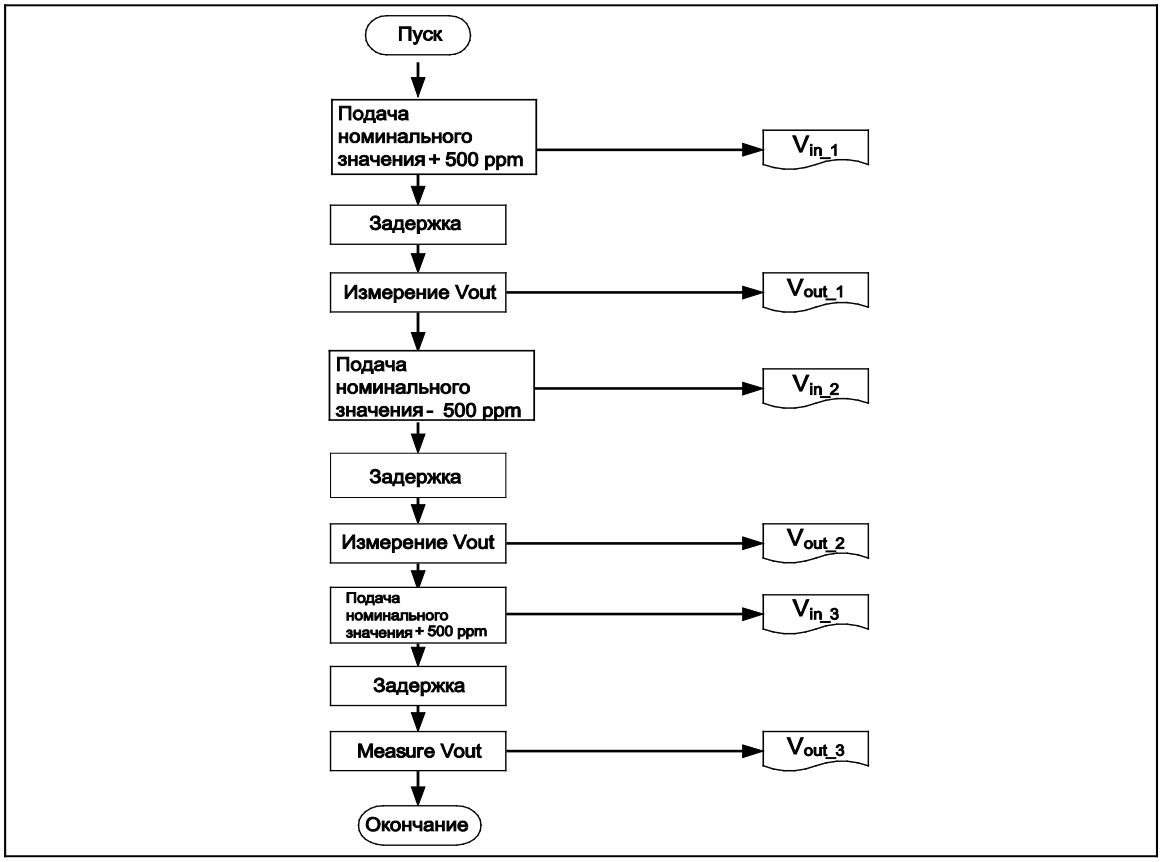
Характеристика чувствительности TVC

Выходное напряжение на выходе SJTVC пропорционально квадрату подаваемого напряжения. Таким образом, устройство по своей сути является нелинейным, а коэффициент усиления активной составляющей полного взаимного сопротивления или чувствительность изменяется вместе с входным током. Характеристика чувствительности минимизирует возникающие ошибки, определяя среднюю чувствительность в узкой полосе ±500 ppm от номинального тока. Эта характеристика чувствительности определяется до калибровки проверяемого оборудования с использованием системы, сконфигурированной аналогично измерению проверяемого оборудования (Рисунок 7). На Рисунке 9 показана последовательность определения характеристик, где:

Vin — настройка на 5730A
- Vin_1 = номинальное значение + 500 ppm
- Vin_2 = номинальное значение - 500 ppm
- Vin_3 = номинальное значение + 500 ppm

Vout_1, 2 и 3 — напряжения, сообщаемые измерительными устройствами.

Коэффициент усиления η является мерой чувствительности устройства, используемого для измерения выходного напряжения



feh022.eps

Рисунок 9. Характеристика чувствительности

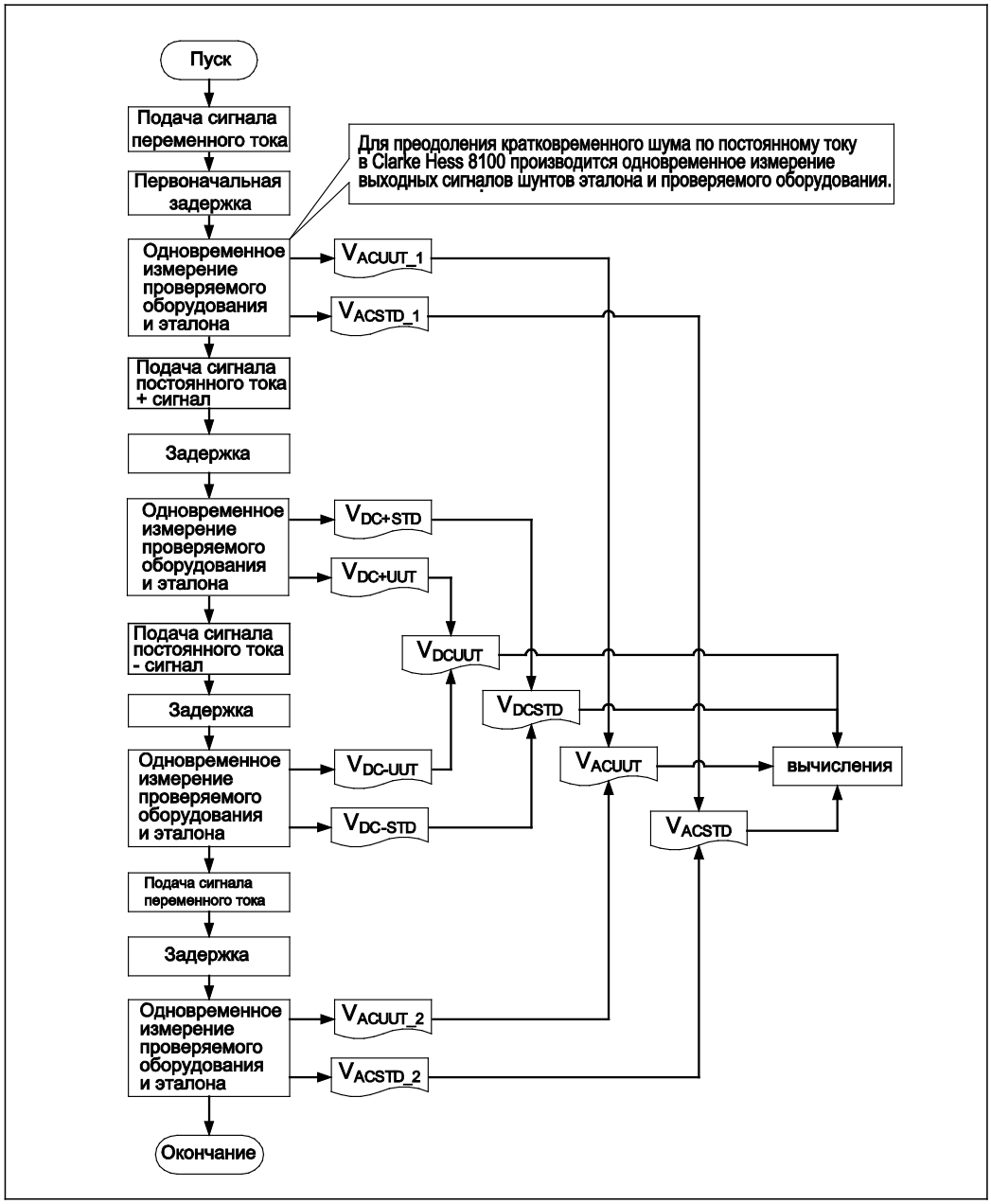
$$\text{Gain factor } \eta = \frac{\Delta Vout(\text{in ppm})}{\Delta Vin(\text{in ppm})} = \frac{\dfrac{V_{OUT_1} + V_{OUT_3}}{2 \times V_{OUT_2}} - 1}{\dfrac{V_{IN_1} + V_{IN_3}}{2 \times V_{IN_2}} - 1}$$

Измерение +500 ppm выполняется дважды для компенсации дрейфа измерения.

Последовательность измерений и расчеты разности переменного-постоянного тока проверяемого оборудования

Чтобы минимизировать влияние дрейфа, последовательность измерений является симметричной в виде AC1, +DC, -DC, AC2. Измерения ±DC компенсируют термо-ЭДС и смещение нуля. Два измерения переменного тока компенсируют дрейф во время измерения. На Рисунке 10 показана последовательность, в которой:

V_{DCUUT} = среднее значение VDC_{+UUT} и V_{DC-UUT}
V_{DCSTD} = среднее значение VDC_{+STD} и V_{DC-STD}
V_{ACUUT} = среднее значение $V_{ACUUT\ -1}$ и $V_{ACUUT\ -2}$
V_{ACSTD} = среднее значение $V_{ASTDT\ -1}$ и $V_{ACSTD\ -2}$



feh024.eps

Рисунок 10. Последовательность разницы переменного-постоянного тока

Разница переменного-постоянного тока шунта проверяемого оборудования в ppm определяется из формулы:

$$\delta_{UUT} = \delta_{STD} + \frac{(V_{ACSTD} - V_{DCSTD}) * 10^6}{\eta_{STD} \times V_{DCSTD}} - \frac{(V_{ACUUT} - V_{DCUUT}) * 10^6}{\eta_{UUT} \times V_{DCUUT}} + \delta_{USTD:TVC} - \delta_{UUT:TVC}$$

Где:

δ_{UUT} = разница переменного-постоянного тока UUT в ppm
$\delta_{UUT:TVC}$ = разница переменного-постоянного тока UUT SJTVC на частоте тестирования в ppm
δ_{STD} = разница переменного-постоянного тока эталонного шунта в ppm
$\delta_{STD:TVC}$ = разница переменного-постоянного тока STD SJTVC на частоте тестирования в ppm
V_{ACSTD} = эталонное напряжение шунта при переменном токе
V_{DCSTD} = напряжение эталонного шунта, среднее значение прямого и обратного постоянного тока
V_{ACUUT} = напряжение шунта проверяемого оборудования при переменном токе
V_{DCUUT} = напряжение шунта проверяемого оборудования, среднее значение прямого и обратного постоянного тока
η_{UUT} = Чувствительность коэффициента усиления измерительной системы проверяемого оборудования
η_{UUT} = Чувствительность коэффициента усиления измерительной системы эталонного стандарта

Шум по постоянному току для источника тока

При использовании некоторых транскондуктивных усилителей могут возникать проблемы с шумом на постоянном токе. Система Fluke Calibration решает эту проблему, одновременно запуская два нановольтметра, чтобы они могли выполнять одновременное интегрирование для обеспечения максимальной помехоустойчивости.

Измерение сопротивления по постоянному току для проверяемого оборудования

Сопротивление по постоянному току для проверяемого оборудования определяется измерением соотношения относительно шунта эталонного стандарта. См. Рисунок 7. Блоки TVC отсоединены, а выходы шунтов эталонного стандарта и проверяемого оборудования соединены со вторым входом их нановольтметра. Изменение направления постоянного тока используется для минимизации термо-ЭДС и ошибок смещения нуля постоянного тока.

Процедуры ремонта, включая разборку и сборку

⚠⚠ Предупреждение

Для безопасной эксплуатации и обслуживания прибора:

- **В случае протекания батареи необходимо отремонтировать Прибор перед использованием.**
- **Элементы питания содержат опасные химические вещества, которые могут привести к ожогам. При попадании химических веществ на кожу промойте ее водой и обратитесь за медицинской помощью.**
- **Не разбирайте и не ломайте элементы питания и блоки батарей.**
- **Не помещайте элементы питания и блоки батарей вблизи от источника тепла или огня. Избегайте прямого попадания солнечных лучей.**
- **Не замыкайте клеммы элемента питания.**
- **Не храните элементы и батареи в контейнерах, где клеммы батарей могут замкнуться.**
- **Отключайте входные сигналы перед очисткой Прибора.**
- **Используйте только одобренные сменные предохранители.**
- **Отключите питание цепи перед подключением Прибора к цепи при измерении тока. Подключите Прибор последовательно к цепи.**
- **Не помещайте металлические предметы в разъемы.**

Ограничения на выполнение ремонта

В этом разделе руководства представлены процедуры незначительного ремонта Токовых шунтов. Эти процедуры ограничиваются заменой следующих частей, как показано в Таблице 12 и на Рисунке 14:

- Винтовая клемма защиты коаксиального шунта
- Концевые пластины коаксиального шунта
- Разъемы N-типа

Разъемы N-типа для Токовых шунтов на 10 мА , 20 мА и 50 мА можно заменить после снятия крышки с обратной стороны, однако рекомендуется вернуть Токовые шунты в сервисный центр Fluke Calibration для ремонта. Не пытайтесь выполнять какие-либо операции обслуживания Токового шунта на 1 мА, кроме замены батареи.

В качестве сменных батарей для Токового шунта на 1 мА следует использовать NiMH-батареи. См. п. *Характеристики батареи* ранее в главе *Общие характеристики* в данном руководстве. Комплект для замены никель-металлгидридных батарей можно приобрести в компании Fluke Calibration; см. Таблицу 14. Перед началом замены батарей ознакомьтесь с информацией о безопасности, представленной ранее в этом руководстве.

Все остальные операции по ремонту и/или замене деталей должны выполняться в сервисном центре Fluke Calibration. Местонахождение ближайшего центра см. в разделе *Как связаться с Fluke Calibration* ранее в этом руководстве.

Примечание

Процедура замены разъемов N-типа описана в данном руководстве. Однако Fluke Calibration настоятельно рекомендует выполнить эту работу в сервисном центре Fluke Calibration.

Разъемы LC-типа (шунты на 50 А и 100 А) не рассчитаны на ремонт или замену в условиях эксплуатации. Эти разъемы очень надежны и не требуют замены, если только они не повреждены и не изношены. (Чрезмерный разогрев под нагрузкой может указывать на повреждение или износ.) Если необходимо заменить разъем LC-типа, обратитесь в сервисный центр Fluke Calibration.

Список инструментов, необходимых для ремонта

Далее представлен список инструментов, необходимых для разборки, ремонта и повторной сборки:

- 2,5-миллиметровый шестигранный торцевой ключ для Токовых шунтов номиналом 20 А или менее
- Ключ T25 Torx для Токовых шунтов номиналом 50 А и 100 А
- Ключ на 7 мм (только концевая выходная пластина)
- Ключ Torx № 10
- Ключ на 5,5 мм с намагниченной узкой полосой
- Паяльник на 50 Вт, достаточно тонкий для работы между стойками печатной платы
- Медная оплетка для снятия при пайке
- Инструмент для всасывания припоя
- Ключ Torx T20 для замены батарей в Токовом шунте на 1 мА

Замена концевых пластин и винтовой клеммы защиты (коаксиальные шунты)

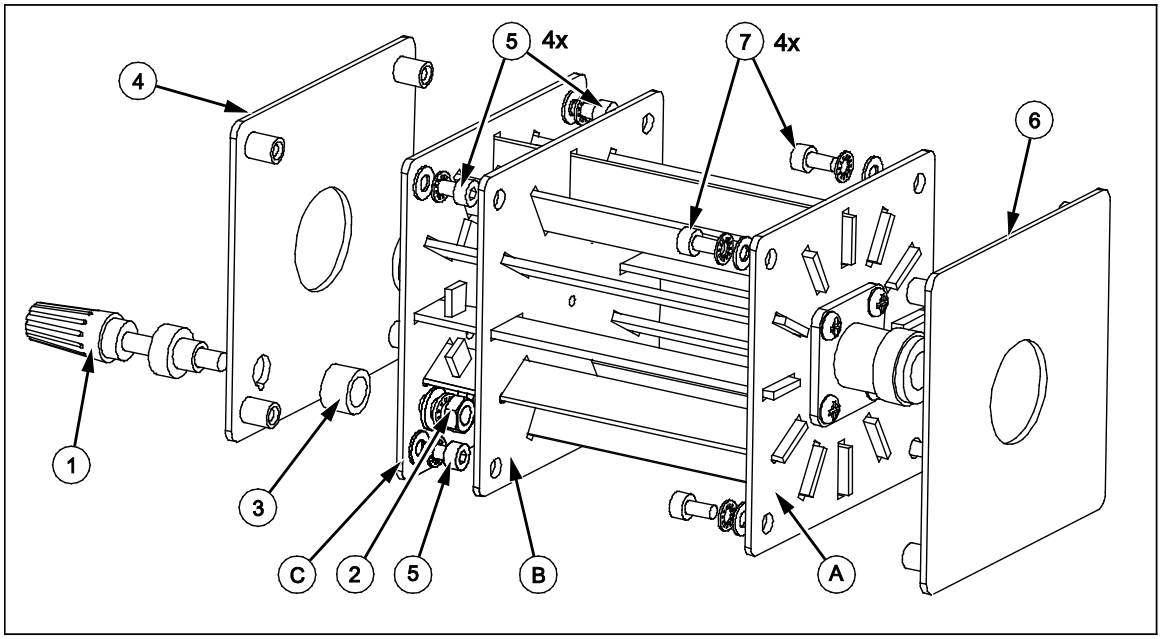
Примечание

Концевые пластины оказывают небольшое влияние на магнитные поля в Токовом шунте и во время его работы всегда должны быть установлены. Магнитный эффект увеличивается с ростом номинального тока Токового шунта и может изменять разницу переменного-постоянного тока примерно на 80 ppm при 100 А, 100 кГц.

Используйте следующую процедуру для замены винтовой клеммы и алюминиевых концевых пластин; см. Рисунок 11.

1. Снятие винтовой клеммы ①:
   a. Снимите гайку и шайбы с обратной стороны стойки ②, и
   b. Вытяните клемму из концевой пластины.
   c. При снятии клеммы поймайте и отложите в сторону прокладку ③.
2. Для снятия выходной концевой пластины ④:
   a. Снимите винтовую клемму, как описано в шаге 1.
   b. Выверните четыре винта с шестигранной головкой ⑤.
   c. Вытяните концевую пластину и вытащите ее из корпуса Токового шунта.
3. Для снятия входной концевой пластины ⑥:
   a. Выверните четыре винта с шестигранной головкой ⑦.
   b. Вытяните концевую пластину и вытащите ее из корпуса Токового шунта.

Для повторной установки или замены снятых компонентов логически выполните процедуру снятия в обратном порядке.



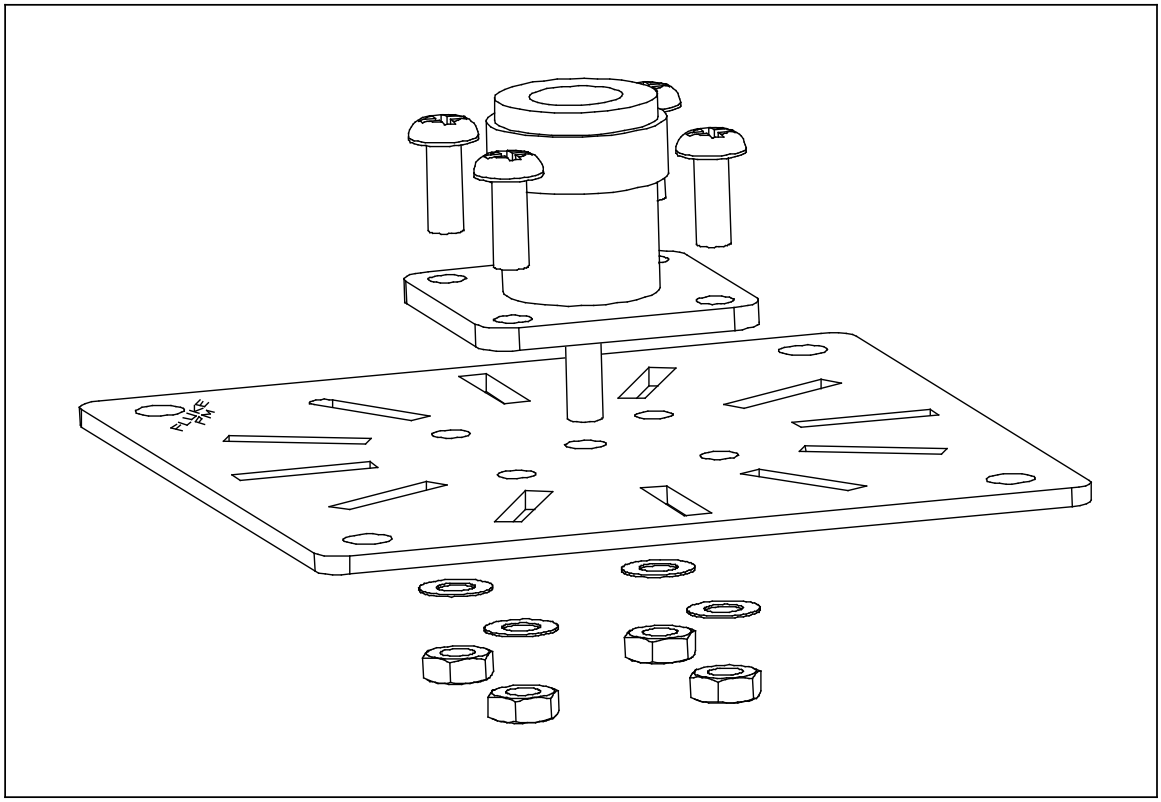
feh008.eps

Рисунок 11. Вид шунта в разобранном виде

Замена входного разъема N-типа (коаксиальные шунты)

Для замены входного разъема N-типа выполните следующую процедуру:

1. Снимите входную концевую пластину (Рисунок 11- ⑥).
2. Снимите винты на 3 мм, гайки и шайбы, показанные на Рисунке 11.
3. Используя припойную оплетку и инструмент для всасывания припоя, удалите припой с пластины основания разъема N-типа/соединения печатной платы.
4. Работая между стойками печатной платы и стараясь их не повредить, расплавьте припой, соединяющий центральный штифт разъема N-типа с задней стороны печатной платы **A** и отсоедините разъем N-типа. Возможно, потребуется повторить оба этапа удаления припоя до тех пор, пока не будут отсоединены основание и центральный штифт.
5. Удалите лишний припой с контактной площадки на печатной плате **A**.
6. Установите новый разъем на Токовый шунт с помощью оригинальных винтов и шайб.
7. Установите гайки с помощью намагниченного гаечного ключа и затягивайте винты до тех пор, пока разъем не будет надежно закреплен. Не затягивайте винты до конца, поскольку разъем N-типа может осесть после расплавления остаточного припоя.
8. Припаяйте основание разъема N-типа к печатной плате **B**.
9. Работая между стойками печатной платы, припаяйте центральный контакт разъема N-типа к задней части печатной платы.
10. Полностью затяните винты на 3 мм, которые закрепляют разъем.
11. Очистите остатки флюса с участков пайки. Будьте осторожны, чтобы чистящие жидкости не попали на резисторы шунта.
12. Замените концевую пластину.



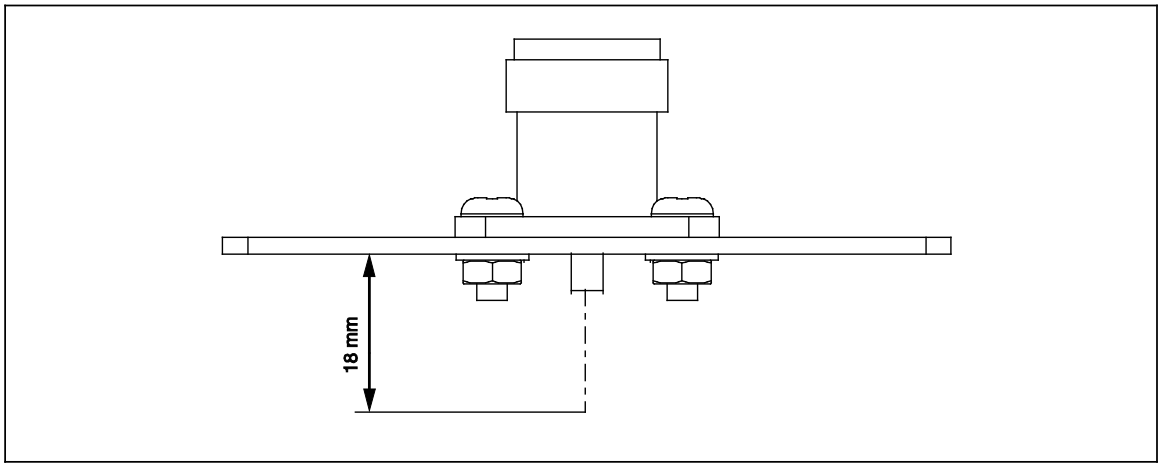
feh010f.eps

Рисунок 12. Входной токовый разъем N-типа

Замена выходного разъема N-типа (коаксиальные шунты)

Для замены выходного разъема N-типа выполните следующую процедуру:

1. Снимите выходную концевую пластину (Рисунок 11- ④).
2. Снимите винты на 3 мм, гайки и шайбы с разъема N-типа.
3. Используя припойную оплетку и инструмент для всасывания припоя, удалите припой с пластины основания разъема N-типа, печатной платы **C**.
4. Внутренний контакт разъема N-типа соединен с печатной платой **B** с помощью луженой медной проволоки 20 SWG размером 18 мм (0,71 дюйма). См. Рисунок 13. Работая между стойками печатной платы и стараясь их не повредить, расплавьте припой, соединяющий провод с задней стороной печатной платы **B**, и отсоедините разъем N-типа. Возможно, потребуется повторить оба этапа удаления припоя до тех пор, пока не будут отсоединены основание и центральный штифт.
5. Удалите лишний припой с контактной площадки на печатной плате **B** и **C**.
6. Установите новый разъем на Токовый шунт с помощью оригинальных винтов и шайб. Позаботьтесь о том, чтобы провод 20 SWD был правильно проложен по печатной плате **B**.
7. Установите гайки с помощью намагниченного гаечного ключа и затягивайте винты до тех пор, пока разъем не будет надежно закреплен. Не затягивайте винты до конца, поскольку разъем N-типа может осесть после расплавления остаточного припоя.
8. Припаяйте основание разъема N-типа к концевой печатной плате. Затем, работая между стойками печатной платы, припаяйте провод разъема к печатной плате **B**.
9. Полностью затяните винты на 3 мм, которые закрепляют разъем.
10. Удалите любые остатки флюса с участков пайки, позаботьтесь о том, чтобы чистящие жидкости не попали на резисторы шунта.
11. Замените концевую пластину и винтовую клемму.



feh012.eps

Рисунок 13. Разъем выходного напряжения

Проверка работоспособности после ремонта

Подайте ограниченный входной ток в пределах технических характеристик прибора и проверьте правильность выходного сигнала.

Измерьте сопротивление и убедитесь в том, что соединение заземления по-прежнему подключено к шасси.

Список запасных деталей

Обслуживание, выполняемое пользователем, ограничено заменой частей, указанных на Рисунке 14 и перечисленных в Таблице 14. Порядок заказа запасных частей см. в п. *Как связаться с Fluke Calibration* ранее в этом руководстве.

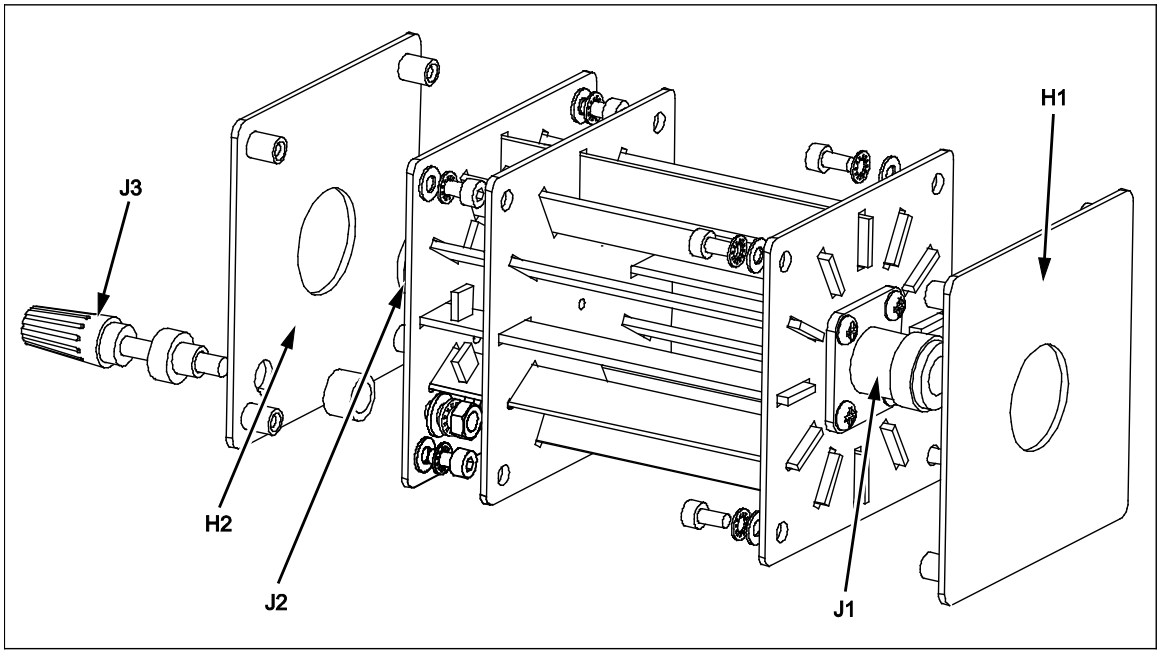


Рисунок 14. Окончательная сборка - типичный Токовый шунт из набора

Таблица 14. Окончательная сборка - Набор Токового шунта

Стандартный целеуказатель	Описание	Номер по каталогу Fluke Calibration	Кол-во
H1	Концевая пластина, передняя Шунт на 100 мА Шунт на 200 мА Шунт на 500 мА Шунт на 1 А Шунт на 2 А Шунт на 5 А Шунт на 10 А Шунт на 20 А Шунт на 50 А Шунт на 100 А	 3275992 3276007 3276018 3276029 3276034 3276041 3276052 3276065 3276076 3276083	 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
H2	Концевая пластина, задняя Шунты для токов 100 мА, 200 мА, 500 мА, 1 А, 2 А Шунты для токов 5 А, 10 А, 20 А Шунты для токов 50 А, 100 А	 3276090 3276104 3276119	 1 1 1
J1,J2	Разъем N-типа, гнездовой *(J2 на шунтах для токов 50 А и 100 А использует разъем LC-типа, который не подлежит замене на месте эксплуатации)*	875435	2
J3	Винтовая клемма, черная (коаксиальные шунты)	3276128	1
--	Зарядное устройство для токового шунта на 1 мА (не показано)	3359506	1
--	Сменный комплект батарей (не показан)	3359499	1
--	Компакт-диск с инструкциями для Токового шунта A40B Precision AC Current Shunt Set (не показан)	3356284	1