

A40B

Комплект прецизионных шунтов переменного тока

Руководство по эксплуатации

ОГРАНИЧЕННАЯ ГАРАНТИЯ И ПРЕДЕЛЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Для каждого изделия компании Fluke гарантируется отсутствие дефектов материалов и изготовления при правильной эксплуатации и обслуживании. Срок гарантии один год, начинается от даты поставки. На запасные части, ремонтные работы и обслуживание срок гарантии 90 дней. Гарантии распространяются только на непосредственных покупателей или клиентов полномочных торговых представителей компании Fluke. Гарантии не распространяются на предохранители, батареи разового использования, а также на любое изделие, которое, по мнению Fluke, использовалось неправильно, было заменено, не имело надлежащего ухода, было испорчено, или повреждено случайно или из-за недопустимых условий эксплуатации или неправильного обращения. Компания Fluke дает гарантию на срок 90 дней, что программное обеспечение, в основном, будет работать в соответствии с функциональным описанием, при условии, что оно записано без ошибок на бездефектный носитель. Fluke не гарантирует отсутствие ошибок и сбоев в работе программного обеспечения.

Полномочный торговый представитель компании Fluke может расширить эти гарантии на новые не использовавшиеся ранее изделия для конечных пользователей, но не имеет право давать большие или другие гарантии от имени Fluke. Гарантийное обслуживание доступно, только если продукт был приобретен через авторизованный канал сбыта компании Fluke, или если Покупателем была оплачен соответствующий международный тариф. Fluke оставляет за собой право выставить счет Покупателю за расходы на импорт ремонтируемых или заменяемых деталей, если изделие, приобретенное в одной стране, передается для ремонта в другую страну.

Гарантийные обязательства Fluke ограничиваются, по выбору Fluke, возвратом цены фактической продажи, бесплатным ремонтом или заменой дефектного изделия, которое было возвращено в авторизованный сервисный центр Fluke в течение гарантийного периода.

По поводу гарантийного обслуживания обратитесь в ближайший авторизованный сервисный центр Fluke для подтверждения права на возврат, а затем отправьте изделие в этот сервисный центр, с описанием проблемы, предварительно оплатив почтовые и страховые расходы (FOB по месту назначения). Компания Fluke предполагает отсутствие риска повреждения изделия при транспортировке. После гарантийного ремонта, изделие возвращается Покупателю с предоплатой транспортных расходов (FOB по месту назначения). Если Fluke установит, что неисправность была вызвана небрежным обращением, неправильным использованием изделия, переделками, случайным повреждением, недопустимыми условиями эксплуатации или неправильным обращением, включая превышение напряжений из-за использования изделия за пределами допустимых параметров, или в результате нормального износа механических узлов, то, перед выполнением работ, Fluke даст оценку стоимости ремонта и запросит подтверждение. После ремонта изделие будет возвращено Покупателю с предварительной оплатой транспортных расходов. Покупателю будет выставлен счет на оплату ремонта и расходов на транспортировку (FOB по месту отгрузки).

ЭТА ГАРАНТИЯ ЯВЛЯЕТСЯ ЕДИНСТВЕННЫМ И ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫМ СРЕДСТВОМ ПРАВОВОЙ ЗАЩИТЫ И ЗАМЕНЯЕТ СОБОЙ ВСЕ ДРУГИЕ ГАРАНТИИ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ, ВКЛЮЧАЯ ПОДРАЗУМЕВАЕМУЮ ГАРАНТИЮ РЫНОЧНЫХ КАЧЕСТВ ИЛИ ГАРАНТИЮ ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ. КОМПАНИЯ FLUKE НЕ НЕСЕТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ЛЮБЫЕ ЧАСТНЫЕ, КОСВЕННЫЕ, СЛУЧАЙНЫЕ ИЛИ ЯВЛЯЮЩИЕСЯ СЛЕДСТВИЕМ УБЫТКИ ИЛИ ПОТЕРИ, ВКЛЮЧАЯ ПОТЕРИ ДАННЫХ, ВСЛЕДСТВИЕ КАКИХ-ЛИБО ПРИЧИН ИЛИ ТОЛКОВАНИЙ.

Так как в некоторых странах и штатах не разрешено ограничение условий подразумеваемых гарантий, исключение или ограничение случайных или являющихся следствием убытков, то ограничения и исключения этой гарантии применимы не ко всем покупателям. Признание судом или другим компетентным органом власти, принимающим решения, какого-либо положения настоящей Гарантии недопустимым или не имеющим силы не влияет на правомочность и законность любых других положений.

Fluke Corporation
P.O. Box 9090
Everett, WA 98206-9090
U.S.A.

Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1186
5602 BD Eindhoven
The Netherlands
Fluke Europe B.V.
P.O. Box 1186

Оглавление

Введение и характеристики	1
Об этом руководстве	1
Сведения по технике безопасности	1
Общие требования техники безопасности	1
Символические обозначения	2
Описание изделия	3
Электрические характеристики	4
Абсолютная погрешность Токовых шунтов	4
Спецификации сопротивления	5
Максимум разности между переменным и постоянным током	6
Максимальная перегрузка по току	6
Типовой фазовый сдвиг	6
Общие характеристики	7
Габаритные размеры	7
Конструктивные параметры	7
Условия эксплуатации	7
Условия хранения и транспортировки (кроме Токового шунта 1 мА)	7
Дополнительные характеристики для токового шунта 1 мА	7
Подготовка к работе	9
Распаковка и осмотр	9
Принадлежности	9
Как связаться с компанией Fluke	10
Пересылка	10
Хранение	10
Проверка работоспособности	10
Общее обслуживание и очистка от загрязнений	11
Сведения, необходимые для работы	11
Конструктивные особенности	11
Входные и выходные разъемы	13
Максимальный ток	14
Условия эксплуатации	14
Корректировка погрешностей Токового шунта	14
Измерение выходного напряжения – влияние нагрузки	15
Измерение выходного напряжения прибором Fluke 5790A	16
Измерение выходного напряжения прибором Fluke 8508A	17
Указания по использованию	18
Введение	18
Измерение тока	18
Непосредственное считывание результата измерения тока	20
Принцип работы	21
Коаксиальные шунты	21
Корпусные шунты	23
Калибровка	23
Введение	23
Обзор методов калибровки	23
Приборы, которые могут использоваться для измерения напряжения	24
Измерение на постоянном токе	25

Измерения на переменном токе	26
Методика калибровки Fluke	27
Рекомендуемые инструменты и оборудование	28
Система калибровки разности постоянного и переменного тока	29
Определение чувствительности TVC.....	29
Порядок измерения и вычисление разности AC-DC проверяемого шунта	31
Шумы источника постоянного тока.....	32
Измерение сопротивления проверяемого шунта на постоянном токе	32
Порядок ремонта, разборка и сборка	33
Ограничения	33
Перечень инструментов для ремонта.....	33
Замена концевых пластин и клемм защитного подключения (коаксиальные шунты)	34
Замена входного разъема N-типа (коаксиальные шунты)	35
Замена выходного разъема N-типа (коаксиальные шунты)	36
Перечень запасных частей	37

Список таблиц

Таблица 1. Комплект поставки Токовых шунтов	9
Таблица 2. Принадлежности А40В	9
Таблица 3. Элементы конструкции и разъемы	12
Таблица 4. Типичное влияние нагрузки прибора 5790А для диапазона 2,2 В.....	16
Таблица 5. Типичное влияние нагрузки 8508А для диапазона 2 В переменного напряжения	17
Таблица 6. Оценка погрешности измерения прибором 5790А	19
Таблица 7. Пример расчета измеренного значения тока (произвольные значения)	19
Таблица 8. Тепловой преобразователь напряжения SJTVC	24
Таблица 9. Эталон сравнения переменного и постоянного тока Fluke 792А	24
Таблица 10. Эталонный измеритель Fluke 5790А	25
Таблица 11. Другие источники ошибок	26
Таблица 12. Перечень рекомендуемого оборудования	28
Таблица 13. Общая сборка – комплект Токовых шунтов	37

Список рисунков

Рисунок 1. Конфигурации токовых шунтов	3
Рисунок 2. Элементы конструкции и разъемы.....	12
Рисунок 3. Влияние нагрузки при подключении измерительного прибора.....	15
Рисунок 4. Токовый шунт – упрощенная электрическая схема.....	22
Рисунок 5. Цепь, использующая эталонный шунт для определения величины тока.....	23
Рисунок 6. Источники ошибок при измерении на переменном токе	27
Рисунок 7. Система Fluke для калибровки	28
Рисунок 8. Калибровка, позволяющая учитывать различия коэффициентов усиления	29
Рисунок 9. Определение чувствительности.....	30
Рисунок 10. Порядок измерения разности постоянного и переменного тока (AC-DC).....	32
Рисунок 11. Токовый шунт в разобранном виде	34
Рисунок 12. Входной разъем N-типа	35
Рисунок 13. Разъем выходного напряжения.....	36
Рисунок 14. Общая сборка – типичный Токовый шунт, входящий в набор.....	37

Введение и характеристики


Об этом руководстве



Настоящий документ представляет собой Руководство по эксплуатации комплекта прецизионных шунтов переменного тока А40В (здесь и далее именуемых Токовые шунты или Токовый шунт). Он содержит все сведения, необходимые техническим специалистам по калибровке для работы и обслуживания Токовых шунтов. Руководство содержит следующие разделы:

- Введение и характеристики
- Подготовка к работе
- Указания по применению
- Принцип работы
- Указания по обслуживанию

Сведения по технике безопасности

В этом разделе рассматриваются вопросы безопасной работы и описываются символические обозначения, которые используются в Руководстве или нанесены на Токовые шунты.

 **Предупреждение** – обозначает условия или действия, которые могут привести к повреждению Токовых шунтов или оборудования, к которому они подключены.

  **Опасно** - характеризует смертельно опасные условия или действия, или такие, которые могут привести к несчастным случаям.

  **Опасно**

Чтобы избежать поражения электрическим током, несчастных случаев или гибели персонала, внимательно прочтите раздел «Общие требования техники безопасности», прежде, чем пытаться вести в эксплуатацию, использовать или проводить техническое обслуживание Токовых шунтов.

Общие требования техники безопасности

Настоящее руководство содержит указания и предупреждения, которые необходимо выполнять, чтобы поддерживать Токовые шунты в исправном состоянии и обеспечить безопасность работы с ними. Использование или обслуживание Токовых шунтов в условиях, отличающихся от указанных в Руководстве по эксплуатации, может поставить под угрозу вашу безопасность.

Для правильного и безопасного использования Токовых шунтов прочтите следующие несколько страниц Руководства и ознакомьтесь с приведенными там мерами предосторожности. Следуйте этим указаниям, а также рекомендациям по безопасной работе и предупреждениям, помещенным в других разделах настоящего Руководства. Кроме того, следуйте всем общепринятым практическим правилам и приемам работы с электроустановками.









⚠ ⚠ Опасно

Во избежание поражения электрическим током, несчастных случаев, возгорания или гибели персонала, прочтите следующие предупреждения до ввода Токовых шунтов в эксплуатацию:

- Используйте Токовые шунты только в соответствии с настоящим руководством.
- Чтобы избежать поражения глаз, кожи или органов дыхания, не допускайте существенного превышения максимального тока шунта. Это может привести к испарению проводников печатной платы. (Смотрите максимальные токи перегрузки в спецификации электрических параметров.)
- Не используйте Токовые шунты в условиях повышенной влажности.
- Осматривайте каждый Токовый шунт перед его использованием. Не пользуйтесь Токовым шунтом при наличии видимых повреждений.
- Не пользуйтесь Токовым шунтом при отклонении от нормальной работы. Если возникают сомнения, передайте Токовый шунт для проведения технического обслуживания.
- Техническим обслуживанием Токовых шунтов должен заниматься только подготовленный обслуживающий персонал.
- Не используйте Токовые шунты при переменном напряжении более 30 В (действующее значение), при переменном напряжении с амплитудой более 42 В и при постоянном напряжении более 42 В. Эти напряжения представляют опасность поражения электрическим током.
- При техническом обслуживании Токовых шунтов для замены используйте только указанные в настоящем Руководстве детали.
- Не подвергайте батареи воздействию открытого огня. Не нагревайте, не деформируйте, не паяйте, не разбирайте и не модифицируйте батареи.
- При установке батарей убедитесь в правильной полярности.
- Для зарядки батарей используйте зарядное устройство активного шунта 1 мА.
- Всегда подключайте зарядное устройство/ адаптер питания к розетке переменного тока прежде, чем подключать его к шунту.
- Заменяйте все батареи одновременно. Используйте только никель-металл-гидридные (NiMH) батареи.
- Не используйте вместе батареи разного типа или батареи с разным уровнем заряда.
- Батареи Токового шунта 1 мА всегда подключены к разъему для зарядки, даже если Токовый шунт выключен.

Символические обозначения

Следующие символические обозначения могут присутствовать на Токовом шунте или использоваться в настоящем руководстве.

	Опасность аварии. Важная информация. Смотрите Руководство.		Утилизация продукта в виде обычных бытовых отходов не разрешена. Информацию по утилизации можно найти на веб-сайте Fluke.
	Постоянный ток.		Опасно. Горячая поверхность или опасность ожога.
	Питание выключено		Переработка для вторичного использования.
	Питание включено		Заземление

Описание изделия

Комплект прецизионных шунтов переменного тока А40В состоит из 14 токовых шунтов, набора адаптеров и прочного футляра для хранения и переноски. Токовые шунты рассчитаны на применение в лабораторных условиях, для измерения разности АС-DC между постоянным и переменным током, или для проведения абсолютных измерений на постоянном или переменном токе. Они характеризуются высокой стабильностью сопротивления, низким коэффициентом саморазогрева за счет выделяющейся мощности, и низким температурным коэффициентом. Комплект Токовых шунтов включает шунты следующих пяти видов:

- Один *активный* шунт в корпусе 1 мА
- Три пассивных шунта в корпусе 10 мА, 20 мА 50 мА
- Пять малых 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

Конструкция и используемые комплектующие изделия гарантируют, что изменение амплитуды сигнала Токовых шунтов (ошибка по отношению к сопротивлению на постоянном токе) и фазовый сдвиг на частоте 100 кГц достаточно малы, чтобы ими можно было пренебречь даже при самых точных измерениях.

Номинальное выходное напряжение при номинальном входном токе равно 0,8 В. Активный токовый шунт 1 мА в корпусе показан на рисунке 1.

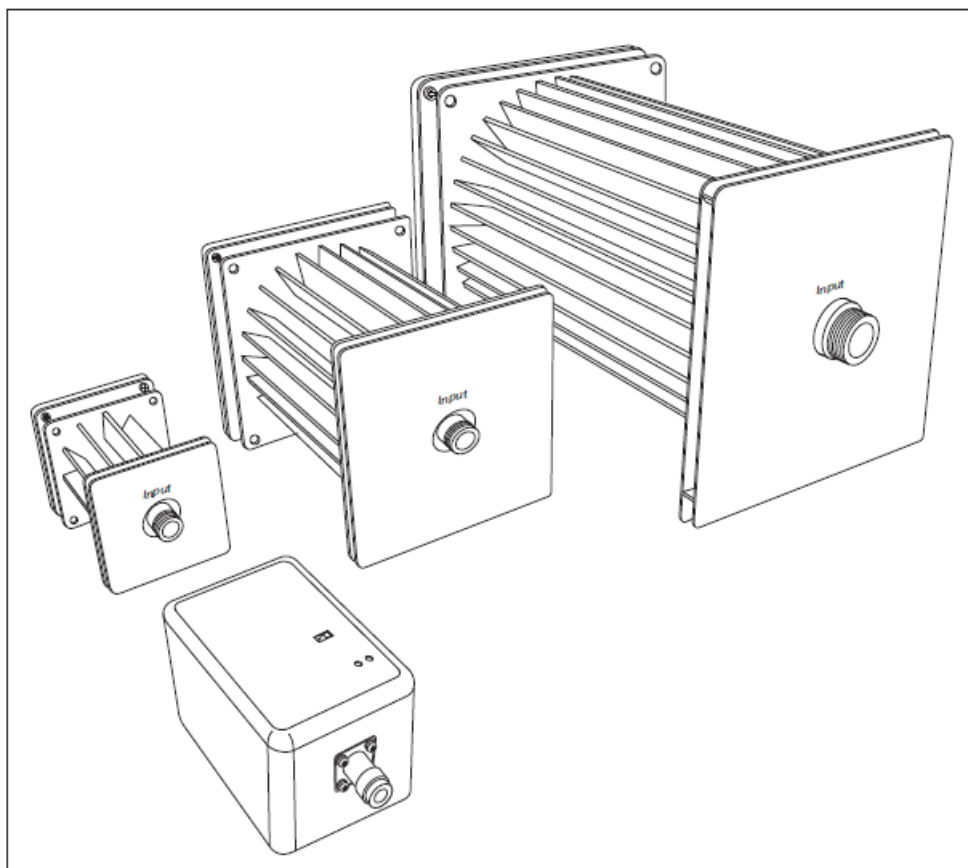


Рисунок 1. Конфигурации токовых шунтов

Электрические характеристики

Абсолютная погрешность Токовых шунтов

В следующей таблице представлены данные по абсолютной погрешности в течение 1 года, при $k=2$, с доверительным интервалом для калибровочного значения приблизительно 95%. Спецификации включают стабильность за 1 год, влияние изменения температуры в пределах $T_{Cal} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, а также погрешность измерения калибровочного значения.

Номинальный ток шунта	Номинальное сопротивление (Ом)	Значение $\pm\text{мкА/А}$, при $T_{Cal} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, $\leq 50\% \text{ RH}$ [1][2][3][5]				
		Постоянный ток	1 кГц	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:
 $I = (V / R_{\text{calibrated}}) \times (1 + (\text{AC-DC}_{\text{calibrated}} / 1\ 000\ 000))$; где значение AC-DC_{calibrated} выражено в ppm

[2] На частотах выше 1 кГц интерполяция характеристики (s_i) между частотами f_{upper} и f_{lower} проводится с использованием выражения:

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

[3] При выходе относительной влажности за указанные пределы необходимо добавить 20 мкА/А.

[4] Характеристики для шунта 1 мА указаны с отключенным зарядным устройством.

[5] Характеристики предполагают отсутствие шунтирующего эффекта, вызванного измерителем напряжения. См. Измерение выходного напряжения – Эффект шунтирования в разделе Указания по применению.

Спецификации сопротивления

Номинальный ток шунта	Номинальное сопротивление (Ом)	Максимальное отклонение от номинального сопротивления (\pm мкОм/Ом) ^[2]	Погрешность калибровочного значения с 95% доверительным интервалом (\pm мкОм/Ом) Tcal $\pm 1^\circ\text{C}$	Стабильность в течение 12-ти месяцев (\pm мкОм/Ом) ^{[1][2]}	Температурный коэффициент (\pm ppm/ $^\circ\text{C}$) ^[2]	Множитель коэффициента мощности, (\pm ppm) ^{[2][3]}
1 mA	800	250	8.2	18	5	1
10 mA	80	250	6.8	18	2.5	1
20 mA	40	250	8.2	18	4.5	1
50 mA	16	250	8.3	18	4.5	1
100 mA	8	250	8.3	18	2.5	2
200 mA	4	250	8.6	18	3.5	4
500 mA	1.6	250	9.6	18	4.5	13
1 A	0.8	250	9.3	18	4.5	26
2 A	0.4	250	9.4	18	4.5	26
5 A	0.16	250	9.9	18	4.5	30
10 A	0.08	250	15	18	4.5	65
20 A	0.04	250	14	18	4.5	78
50 A	0.016	250	24	18	4.5	105
100 A	0.008	250	28	18	4.5	105

[1] Стабильность включает долговременные (необратимые) изменения вследствие старения и кратковременные флуктуаций за счет изменения влажности, при использовании и хранении шунта в указанных пределах изменения влажности. Добавьте 20 ppm при относительной влажности >50 % RH

[2] При совместном учете вкладов различных погрешностей предполагается прямоугольное распределение.

[3] Калибровочные значения сопротивления учитывают коэффициент мощности при номинальном токе. Для токов, отличных от номинального, используйте коррекцию коэффициента мощности:

$$\text{Correction} = \text{Power_Coefficient_Multiplier} \times \left[1 - \left(\frac{I_{\text{Applied}}}{I_{\text{No min al}}} \right)^2 \right]$$

[4] TCal = температура окружающего воздуха при калибровке.

Максимум разности между переменным и постоянным током

Номинальный ток шунта	Максимум разности AC-DC переменного и постоянного тока (\pm ppm) ^{[1][2]}			
	1 кГц	10 кГц	30 кГц	100 кГц
1 mA ^[3]	53	72	72	150
10 mA	20	20	20	40
20 mA	18	18	19	30
50 mA	13	13	14	16
100 mA	14	15	17	27
200 mA	17	17	18	28
500 mA	17	17	17	21
1 A	17	19	19	23
2 A	17	22	22	44
5 A	23	24	34	69
10 A	28	55	58	98
20 A	37	51	80	150
50 A	47	75	79	180
100 A	60	90	120	300

[1] Спецификации показывают максимальную неравномерность частотной характеристики по отношению к постоянному току, и включают как измеренное значение разности переменного и постоянного токов, так и погрешность измерения. Данные относятся к значению $k=2$ и соответствуют доверительному интервалу приблизительно 95 %

[2] Включая нестабильность разности переменного и постоянного тока в течение 1 года

[3] Характеристики Токового шунта 1 mA приведены для TCal ± 1 °C

Максимальная перегрузка по току

Номинальный ток шунта	Максимальный ток < 5 секунд ^[1]	Максимальный длительный ток ^[2]	Номинальный ток шунта	Максимальный ток < 5 секунд ^[1]	Максимальный длительный ток ^[2]
1 mA	3 mA	2 mA ^[3]	1 A	3.9 A	1.3 A
10 mA	150 mA	20 mA	2 A	5.5 A	2.2 A
20 mA	250 mA	40 mA	5 A	17 A	5.5 A
50 mA	450 mA	100 mA	10 A	24 A	11 A
100 mA	1.2 A	200 mA	20 A	42 A	22 A
200 mA	1.7 A	400 mA	50 A	95 A	55 A
500 mA	2.7 A	1 A	100 A	190 A	110 A

[1] Воздействие тока в течение времени более 5 секунд может привести к необратимому повреждению. Выходное напряжение может быть существенно больше 0,8 В.

[2] Превышение максимально допустимого тока может вызвать резкое изменение сопротивления.

[3] Характеристики шунта 1 mA при токе 2 mA достижимы при полном заряде батарей.

Типовой фазовый сдвиг

Типовой фазовый сдвиг			
Номинальный ток шунта	1 кГц	10 кГц	100 кГц
1 mA to 200 mA	< 0.001 °	< 0.006 °	< 0.060 °
500 mA to 2 A	< 0.003 °	< 0.030 °	< 0.300 °
2 A to 20 A	< 0.008 °	< 0.075 °	< 0.750 °
20 A to 100 A	< 0.013 °	< 0.125 °	< 1.250 °

Общие характеристики

Габаритные размеры

Шунт	Высота мм (дюймы)	Ширина мм (дюймы)	Полная длина ^[1] мм (дюймы)
1 mA to 2 A	70 (2.75)	70 (2.75)	124 (4.9)
5 A to 20 A	130 (5)	130 (5)	210 (8.25)
50 A and 100 A	200 (7.9)	200 (7.9)	343 (13.5)

[1] с учетом входного и выходного разъемов; может изменяться при замене комплектующих.

Конструктивные параметры

Номинальный ток шунта	Вес, не более кг (фунт)	Входной разъем	Выходной разъем
От 1 mA до 20 A	0,7 (1,6)	Тип N (гнездо)	Тип N (гнездо)
50 A и 100 A	3,4 (7,5)	Тип LC (гнездо)	Тип N (гнездо)

Условия эксплуатации

Температура от 13 °C до 33 °C

Диапазон температур калибровки (Tcal)..... от 18 °C до 28 °C

Пределы изменения влажности, для достижения наилучших характеристик^{[1][2]} ≤50 % RH

Высота над уровнем моря..... от 0 м до 3 000 м

[1] Стабильность сопротивления зависит от влажности, но изменения обратимы.

[2] Если шунты калибровались за пределами указанного диапазона относительной влажности (RH), стабильность в соответствии со спецификацией будет обеспечиваться при хранении и использовании шунта при той же влажности ±10% RH.

Условия хранения и транспортировки (кроме Токового шунта 1 mA)

Диапазон температур, исключающий повреждение..... от -20 °C до 140 °C

Температура и влажность, обеспечивающие соответствие спецификациям^[1] от 5 °C до 45 °C; от 15% до 80 % RH

Высота над уровнем моря..... от 0 м до 12 000 м

[1] Хранение при максимальных значениях температуры или влажности приводит к временному изменению сопротивления шунта на ±20 ppm. При последующем хранении и использовании в условиях, соответствующих условиям эксплуатации, сопротивление шунта восстанавливается в течение 30 дней.

Дополнительные характеристики для токового шунта 1 mA

Выходное сопротивление 8 мОм

Максимальная величина безопасного выходного тока..... 11 mA (напр., 1 В на нагрузке 90 Ом)

Максимальная емкость нагрузки 800 пФ

Нестабильность выходного напряжения 15 ppm / 100 пФ

Максимальное постоянное напряжение смещение ±100 мкВ (типичное значение ± 25 мкВ)

Типовая ошибка на частоте 1 МГц..... <2%

Характеристики батареи

Размеры..... AAA (44,5 x 10,5 мм)

Тип батареи..... Никель-металл-гидридная (NiMH)

Необходимое количество батарей 8 (2 группы по 4 штуки)

Номинальное напряжение батареи 1,2 В (4,8 В на группу из 4 штук)

Типовая емкость 800 mA-час

Время зарядки (от полного разряда) 100 минут

Максимальное время работы между зарядками:

При наибольшей нагрузке..... 18 часов

При высокоомной нагрузке 24 часа

Рекомендуемое время охлаждения после зарядки..... 100 минут

Условия транспортировки и хранения батарей:

Менее 90 дней от -20 °С до 40 °С

Менее 1 года от -20 °С до 30 °С

Чтобы предотвратить снижение емкости, перезаряжайте батареи не реже двух раз в год.

Подготовка к работе

В настоящем разделе Руководства описано, как распаковать и подготовить к работе Токовые шунты.

Распаковка и осмотр

Замечание

Коаксиальные Токовые шунты надежны в эксплуатации, если их брать за жесткие концы. Не повредите горизонтальные планки коаксиальных шунтов.

После получения Токовых шунтов, аккуратно распакуйте их и проверьте отсутствие повреждений. При наличии признаков механических повреждений, немедленно сообщите об этом транспортному агентству.

В процессе осмотра проверьте комплектность на соответствие перечню, приведенному в Таблице 1. При обнаружении недостающих позиций сообщите в ближайший центр технического обслуживания Fluke. См. *Как связаться с Fluke*.

Сохраните упаковку и упаковочные материалы для последующего хранения и транспортировки Токовых шунтов.

Таблица 1. Комплект поставки Токовых шунтов

Описание	Количество
Футляр A40B..... для хранения и перевозки Токовых шунтов A40B	1
Упаковочный лист.....с указанием заводских номеров Токовых шунтов	1
Токовые шунты один <i>активный</i> шунт в корпусе с зарядным устройством для батарей 1 мА три пассивных шунта в корпусе 10 мА, 20 мА, 50 мА пять малых коаксиальных шунтов 100 мА, 200 мА, 500 мА, 1 А, 2 А три средних коаксиальных шунта 5А, 10 А, 20 А два больших коаксиальных шунта 50 А, 100 А	14
Адаптеры разъемов A40B-ADAPT/LC.....Адаптер вилка LC - вилка LC A40B-ADAPT/LCNАдаптер LC-розетка – N-вилка A40B-LEAD/N Кабель N-вилка – N-вилка A40B-LEAD/4mm..... Адаптер разъем N-типа – двойной разъем «банан» 4 мм	1 1 1 2
Зарядное устройство для батарей активного шунта 1 мА	1
Компакт-диск с Руководством по эксплуатации (PDF)	1

Принадлежности

Адаптеры LC и N, перечисленные в Таблице 2, доступны как принадлежности:

Таблица 2. Принадлежности A40B

Принадлежность	Описание
A40B-CAL/LC	Адаптер большого тока для последовательного соединения двух шунтов при измерениях (LC – LC)
A40B-CAL/N	Адаптер малого тока для последовательного соединения двух шунтов при измерениях (N – N)

Как связаться с компанией Fluke

- Техническая поддержка США: 1-800-44-FLUKE (1-800-993-5853)
- Калибровка/ремонт США: 1-888-99-FLUKE (1-888-993-5853)
- Канада: 1-800-36-FLUKE (1-800-363-5853)
- Европа: +31 402-675-200
- Япония: +81-3-3434-0181
- Сингапур: +65-738-5655
- Другие страны: +1-425-446-5500

Можно получить необходимую информацию, посетив веб-сайт компании Fluke по адресу www.fluke.com.

Чтобы зарегистрировать изделие, перейдите по ссылке <http://register.fluke.com>

Посмотреть, распечатать или загрузить последние дополнения к руководствам можно по адресу <http://us.fluke.com/usen/support/manuals>.

Пересылка

Чтобы подготовить Токовые шунты к отправке, поместите их в соответствующие отделения пенопластовой прокладки в футляре для хранения и перевозки и закройте крышку.

При пересылке отдельных токовых шунтов, полностью заверните каждый в амортизирующую пенополиуретановую упаковку толщиной не менее 5 см (2 дюйма), и поместите в твердую коробку.

Хранение

Чтобы подготовить Токовые шунты для хранения, поместите их в футляр для хранения/перевозки, и закройте крышку. Храните Токовые шунты в условиях согласно спецификациям, приведенным ранее в разделе *Общие характеристики*. Хранение в условиях, не соответствующих указанным, может привести к уменьшению срока службы батареи, используемой в шунте 1 мА, или вызвать временное изменение сопротивления Токовых шунтов на величину ± 20 ppm. При температуре и влажности, соответствующей рабочим условиям, сопротивление Токовых шунтов восстанавливает исходное значение в течение 30 дней.

Проверка работоспособности

После получения Токовых шунтов, проведите следующие проверки, чтобы убедиться в их работоспособности:

1. Проведите внешний осмотр Токовых шунтов, проверив отсутствие явных механических повреждений, в том числе повреждений разъемов, как описано в разделе *Общее обслуживание и очистка от загрязнений*. Перед выполнением последующих проверок устраните все дефекты.

При необходимости, связаться с Fluke можно, как описано выше в этом Руководстве.

2. Проверьте функционирование Токовых шунтов, подавая на вход номинальный ток. При номинальном токе выходное напряжение каждого токового шунта должно быть приблизительно 0,8 Вольт.

Замечание

Токовые шунты дают выходное напряжение 0,8 В при номинальном входном токе. Шунты с большим номинальным током (10 А и более) нагреваются при работе на полной нагрузке. Шунты 50 А и 100 А могут быть достаточно горячими; для них рабочая температура может достигать 70 °C (158 °F).

Общее обслуживание и очистка от загрязнений

Для общей очистки от загрязнений, протрите футляр для переноски и хранения и Токовые шунты мягкой тканью смоченной в слабом моющем средстве. Не используйте абразивы, изопропиловый спирт или растворители.

Предупреждение

Чтобы не допустить повреждений прибора:

- **Не используйте ароматические углеводороды или хлорсодержащие растворители для очистки Токовых шунтов.**
- **Не наносите жидкость на поверхность Токовых шунтов, и не погружайте их в жидкость.**

Кроме калибровки, единственной процедурой технического обслуживания Токовых шунтов является осмотр входных и выходных разъемов на предмет износа и повреждений. Входные разъемы типа LC шунтов 50 А и 100 А надежны, но разъемы N-типа средних и малых шунтов легко повреждаются при неправильном использовании или при соединении со штыревыми разъемами N-типа, выходящими за пределы допуска. Центральный вывод штыревого разъема N-типа может смещаться, особенно если разъем смонтирован на кабеле. Если центральный вывод штыревого разъема N-типа выступает слишком сильно, гнездовой разъем шунта будет поврежден за счет расширения внутреннего проводника. Когда состояние разъема вызывает сомнения, его необходимо проверить (подробнее см. MIL-C-39012). Дефектные разъемы могут быть заменены, однако рекомендуется, чтобы замена разъемов была выполнена в сервисном центре Fluke.

Сведения, необходимые для работы

Этот раздел Руководства содержит практические сведения, которые необходимы пользователю до и после проведения измерений. Рассмотрение имеет целью помочь пользователю в проведении точных высококачественных измерений.

Конструктивные особенности

Элементы конструкции токовых шунтов и разъемы показаны на Рисунке 2 и описаны в Таблице 3.

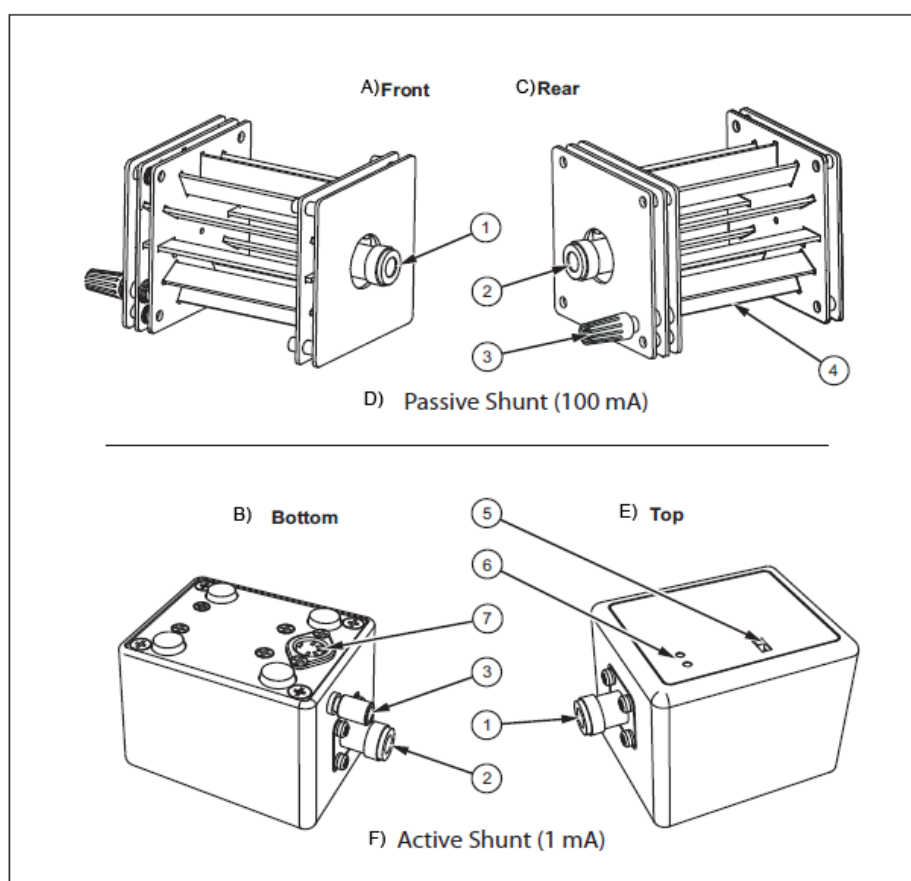


Рисунок 2. Элементы конструкции и разъемы

A)	Вид спереди
B)	Вид снизу
C)	Вид сзади
D)	Пассивный шунт (100мА)
E)	Вид сверху
F)	Активный шунт (1 мА)

Таблица 3. Элементы конструкции и разъемы

Позиция	Элемент	Описание
①	Входной токовый разъем	Разъем для подачи тока в шунт. Все шунты имеют гнезда N-типа, кроме исполнений 50 А и 100 А, которые используют гнезда LC-типа.
②	Выходной разъем напряжения	Разъем для измерения падения напряжения на шунте. Все выходные разъемы - розетки N-типа.
③	Защитное подключение	Клемма для провода защитного подключения Шунта.
④	Планки - печатные платы	Проводники с малой индуктивностью, которые подводят ток к резисторам шунта.
⑤	Выключатель питания	Включение и выключение питания шунта.
⑥	Светодиодные индикаторы	Зеленый показывает, что питание включено; красный -

		что батарея разряжена.
⑦	Разъем для зарядки батарей	Входной разъем для подключения внешнего зарядного устройства.

Входные и выходные разъемы



Опасно

**Чтобы избежать ожогов и возможных повреждений
Токовых шунтов 50 А и 100 А, убедитесь перед подачей
тока, что входные разъемы, пропускающие ток, не имеют
повреждений и плотно вставлены.**

Входные разъемы шунтов 50 А и 100 А имеют тип LC. При прохождении номинального тока разъемы становятся горячими на ощупь. Это нормально, поскольку в месте контакта имеется ненулевое сопротивление. Если разъем подключен неплотно, разогрев может быть достаточным, чтобы оставить ожоги на коже и повредить шунт.



Предупреждение

**Чтобы избежать повреждения разъемов N-типа,
расположенных на Токовых Шунтах, убедитесь, что штырь
ответного разъема соответствует допуску и не выступает.**

Все остальные коаксиальные разъемы Токовых шунтов – гнезда N-типа, 50 Ом. Эти разъемы особенно чувствительны к повреждениям в процессе подключения к ним ответных разъемов. Подключение штыревого разъема, который не соответствует допускам или имеет сильно выступающий центральный контакт, приводит к расширению центрального контакта гнездового разъема и к плохому соединению. Если состояние центрального контакта гнезда N-типа вызывает сомнения, проверьте разъем (подробнее см. MIL-C-39012).

При сильном повреждении разъема сопротивление в месте контакта может быть настолько большим, что источник тока не сможет генерировать достаточное для согласования дополнительное напряжение, особенно на высоких частотах.

Другая возможная проблема согласования возникает при наличии индуктивности, включенной последовательно с Токовым шунтом. Индуктивность также может привести к тому, что от источника тока потребуются работа за пределами его возможностей. Чтобы уменьшить этот эффект, убедитесь, что токовое подключение осуществляется через коаксиал, и что оно имеет минимально возможную длину.

Дефектный разъем Токового шунта может быть заменен. Однако, компания Fluke рекомендует проводить замену в сервисном центре Fluke.

Максимальный ток

Каждый Токовый шунт имеет маркировку входного разъема, показывающую его номинальный (расчетный) ток. Аналогично, маркировка выходного разъема указывает номинальное выходное напряжение, соответствующее номинальному току на входе. Таблица в разделе спецификаций показывает максимальный ток, при котором обеспечивается соответствие характеристикам, и максимальный ток, не вызывающий необратимых повреждений.



Чтобы избежать поражения электрическим током, используйте общепринятые практические приемы безопасной работы при включении Токового шунта в цепь, в которой присутствует переменное напряжение более 30 В (действующее значение), переменное напряжения с амплитудой более 42 В, или постоянного напряжения более 42 В. Напряжения выше указанных представляют опасность поражения электрическим током.



Чтобы избежать повреждения глаз, кожи и органов дыхания, не допускайте значительного превышения максимального тока перегрузки Токового шунта. Это может привести к испарению проводников печатной платы. (Смотрите максимальные токи перегрузки в спецификации электрических параметров.)



Чтобы исключить необратимое изменение сопротивления измерительного резисторов шунта, не превышайте максимально допустимый ток Токового шунта, указанный ранее в электрических спецификациях. (См. Максимальная перегрузка по току.)

Условия эксплуатации

Токовые шунты проектировались для работы в условиях контролируемой внешней среды, которые обеспечиваются в измерительных лабораториях и лабораториях, выполняющих калибровку. Температура и влажность, выходящие за допустимые пределы хранения и транспортирования, могут ухудшить характеристики шунтов, а в отдельных случаях привести к их повреждению.

Охлаждение открытых коаксиальных шунтов осуществляется благодаря естественной конвекции. Препятствия для охлаждающих потоков воздуха отрицательно скажутся на характеристиках.

Корректировка погрешностей Токового шунта

Токовые шунты спроектированы для использования совместно с устройством для измерения напряжения, чтобы обеспечить измерение тока. При проведении измерений, оба прибора дают определенные вклады в погрешность. Обычно, для достижения наилучшей точности, требуется корректировка результатов. Токовый шунт может использоваться для непосредственных измерений, без необходимости сравнивать разность между постоянным и переменным током с эталоном. Таблица спецификации токовых измерений дает

характеристики, для которых калибровочное значение сопротивления по постоянному току и разность между переменным и постоянным током скорректированы, а допуск учитывает нестабильность шунта за 12 месяцев.

Пользуйтесь следующей формулой для определения измеряемого тока I по напряжению, калиброванному сопротивлению ($R_{\text{calibrated}}$) и разности между переменным и постоянным током ($AC-DC_{\text{calibrated}}$),

где разность $AC-DC_{\text{calibrated}}$ выражена в ppm:

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

Приведенная формула основана на предположении, что вольтметр имеет бесконечный входной импеданс на частоте измерений.

Измерение выходного напряжения – влияние нагрузки

Приведенные спецификации Токового шунта представляют характеристики для идеальных условий. Практически, подключение входа прибора для измерения напряжения параллельно Токовому шунту вводит дополнительный импеданс (эффект нагрузки), приводящий к погрешности измерения. См. Рисунок 3. Корпусной токовый шунт 1 мА имеет выходное сопротивление менее 8 мОм, так что влияние сопротивления нагрузки пренебрежимо мало. Влияние емкостной нагрузки не превышает 15 ppm на каждые 100 пФ на частоте 100 кГц. Для неактивных Токовых шунтов влияние нагрузки становится более существенным при увеличении сопротивления Токового шунта, то есть, при уменьшении номинального тока. Для наиболее точных измерений, ошибка, вызванная влиянием нагрузки, должна рассчитываться и использоваться при коррекции результата измерения.

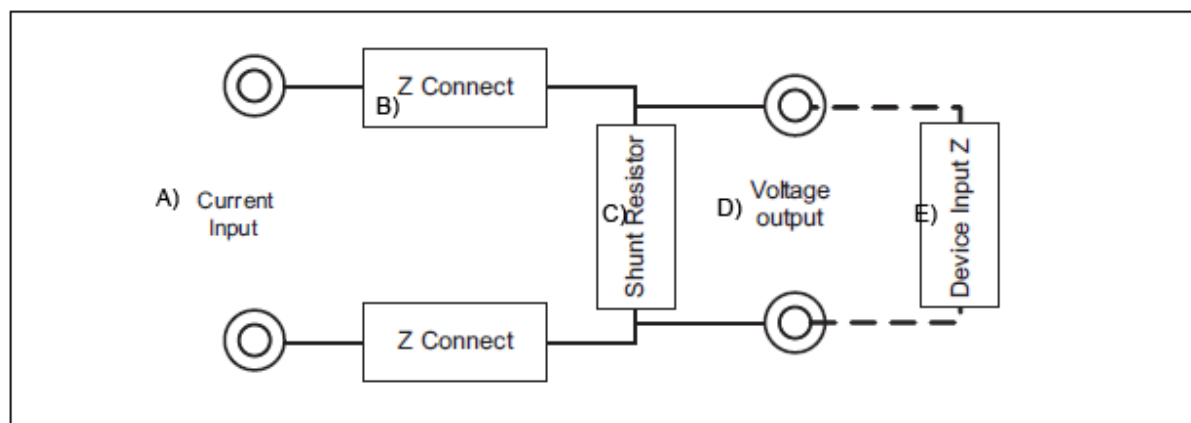


Рисунок 3. Влияние нагрузки при подключении измерительного прибора

A)	Токовый вход
B)	Z подключения
C)	Резистор шунта

D)	Выход напряжения
E)	Z входа прибора

Измерение выходного напряжения прибором Fluke 5790A

Типовой импеданс прибора 5790A (вход1 или 2) составляет более 10 МОм на постоянном токе, с параллельной емкостью 70 пФ. Влияние сопротивления 10 Мом, включенного параллельно сопротивлению шунта, мало на постоянном токе даже для Токовых шунтов с самым маленьким номинальным током. Типовое значение импеданса прибора 5790A уменьшается примерно до 1,5 МОм с параллельно включенным конденсатором 70 пФ на частоте 100 кГц, на этой частоте влияние нагрузки более выражено. Для шунтов с малым значением тока ошибка, вызванная нагрузкой, сравнима или превышает погрешность шунта при прямом измерении тока.

Таблица 4 показывает влияние нагрузки прибора 5790A на Токовые шунты для диапазона токов от 10 мА до 200 мА.

Таблица 4. Типичное влияние нагрузки прибора 5790A для диапазона 2,2 В

Ток (мА)	Постоянный ток	1 кГц		10 кГц		30 кГц		100 кГц	
	Ошибка нагрузки (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. 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 прибором Fluke 8508A

Прибор 8508A при измерении на постоянном токе имеет входной импеданс более 10 ГОм, поэтому влияние нагрузки на постоянном токе для любого Токового шунта пренебрежимо мало. Для измерений на переменном токе (при связи по постоянному току) низкочастотный входной импеданс прибора 8508A равен 1 МОм с включенной параллельно емкостью 135 пФ. Импеданс уменьшается с частотой до типового значения 550 кОм || 135 пФ на частоте 100 кГц. Для шунтов с малым значением тока ошибка, вызванная нагрузкой, сравнима или превышает погрешность шунта при прямом измерении тока.

Таблица 5 показывает влияние нагрузки прибора 8508A на Токовые шунты для диапазона токов от 1 мА до 1000 мА.

Таблица 5. Типичное влияние нагрузки 8508A для диапазона 2 В переменного напряжения

Ток (мА)	Постоянный ток	1 кГц		10 кГц		30 кГц		100 кГц	
		Ошибка нагрузки (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (ppm)	Разность пост. и перем. тока (ppm)	Ошибка нагрузки (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

Для корректировки влияния нагрузки используйте следующую формулу:

Здесь: AC-DC_{calibrated} и ошибка нагрузки выражены в ppm.

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

Указания по использованию

Введение

В настоящем разделе Руководства описано, как измерить переменный и постоянный ток, пользуясь одним из Токовых шунтов. Описание процедур предполагает знакомство пользователя с представленными ранее в настоящем Руководстве *Сведениями, необходимыми для работы* и *Характеристиками*.

Измерение тока

Измерения тока с использованием Токовых шунтов проводятся в следующем порядке:

1. Проанализируйте цепь, в которой будут проводиться измерения, и определите следующее:
 - a. Приблизительную величину тока, протекающего в цепи.
 - b. Частоту тока, подлежащего измерению (от 0 до 100 кГц).
2. Выберите Токовый шунт, который способен пропускать требуемый ток.
3. При использовании Токового шунта 1 мА, включите его и убедитесь, что индикатор разряда батарей (красный светодиод) не горит. Если Токовый шунт 1 мА заряжается, отключите его от зарядного устройства. Процесс заряда приводит к выделению тепла в батареях, поэтому для достижения наилучшей точности дайте стабилизироваться температуре шунта в течение 100 минут после завершения процесса зарядки.
4. Отключите питание цепи, подлежащей тестированию, и включите Токовый шунт в цепь последовательно.
5. Подключите подходящий измерительный прибор к выходу Токового шунта, и выберите необходимый диапазон измерения. Выходное напряжение Токового шунта пропорционально входному току и равно 0,8 В для номинального тока.

Как правило, целесообразно установить измерительный прибор в режим внешнего подключения экрана и подключить его защитную клемму к защитной клемме Токового шунта. Обратитесь к документации на измерительный прибор.

6. Включите питание проверяемой цепи и измерьте выходное напряжение шунта. Выходное напряжение прямо пропорционально протекающему в цепи току.
7. Для точного определения величины тока по измеренному напряжению, воспользуйтесь сведениями из предыдущего раздела настоящего Руководства.

Определите ток, пользуясь следующей формулой:

Здесь: величина AC-DC_{calibrated} и ошибка от подключения нагрузки выражены в ppm.

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

Пример: Оценка погрешности измерения прибором 5790A

Следующий пример показывает, как определить погрешность измерения при калибровке (температура окружающего воздуха 23 °C). Он иллюстрирует одно из проверочных испытаний калибратора Fluke 5720A. Именно, выполняется проверка тока 200 мА на частоте 1 кГц, как описано в инструкции по полной проверке прибора 5720A.

Источник: Калибратор Fluke 5720A – выходной ток 200 мА на частоте 1 кГц

Измерительное оборудование: Токовый шунт Fluke, 200 мА (откалиброван при температуре 23 °C) и прибор Fluke 5790A

Проведите измерения и определите погрешность, пользуясь информацией из Таблицы 6. Пример расчета с произвольно взятыми значениями показан в Таблице 7.

Согласно инструкции по полной проверке калибратора 5720A, измеренный ток должен быть 200 мА, 1 кГц, ±145 ppm. Это значение для прибора 5720A вычислено по указанной в спецификации величине ±(130 ppm выходного тока + 3 μA), учитывающей стабильность в течение 1 года и доверительный интервал 99 %. Как показано, расширенная погрешность измерения позволяет адекватно подтвердить указанные характеристики.

Таблица 6. Оценка погрешности измерения прибором 5790A

Составляющая погрешности	Значение (ppm)	Распределение	Делитель	Значение при k=1	Квадрат величины
Стандартное отклонение шума измерения ^[1]	5	нормальное	1	5	25
Погрешность токового шунта согласно спецификации (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
Погрешность влияние нагрузки 5790A ^[3]	1	нормальное	2	0.5	
Погрешность 5790A согласно спецификации (диапазон 2,2 В)	22	нормальное	2.58	8.53	72.71
Сумма квадратов					266.96
Стандартное отклонение = корень квадратный из суммы					16.34
Расширенная, округленная погрешность в ppm (k = 2)					33
Расширенная погрешность					±0.0000066 А
Замечания:					
[1] Значение выбрано произвольно в качестве примера					
[2] Коэффициент мощности = 0, так как шунт используется при номинальном токе					
[3] Типовая погрешность на частоте 1 кГц					

Таблица 7. Пример расчета измеренного значения тока (произвольные значения)

Данные/ Результаты расчета	Значения	Единица измерения
Считанное значение 5790A	0,799977	В
Калибровочное сопротивление	3,999770	Ом

Некорректированное вычисленное значение выходного тока 5720A (V/R)	0,2000058	A
Добавляемая ошибка A40B за счет разности постоянного и переменного тока (ppm)	+1	ppm
Вычитаемая ошибка нагрузки 5790A (ppm)	0	ppm
Суммарная коррекция результата измерения	+1	ppm
Откорректированный результат измерения	0,2000060	A
Погрешность измерения в Амперах	±0,0000066	A

Непосредственное считывание результата измерения тока

При использовании Токового шунта с измерительным прибором, позволяющим манипулировать выводимым на дисплей значением с помощью математических функций, измерительный прибор можно настроить так, чтобы он показывал непосредственно значение тока. Рассмотрим пример.

Следующий сценарий предполагает измерение тока с помощью Токового шунта 100 мА прибором Fluke 8508A.

Допущения:

- Калибровочное сопротивление Токового шунта на постоянном токе (z) = 7.999600
- Калибровочная разность переменного и постоянного тока для Токового шунта на выбранной частоте = +7 ppm
- Влияние нагрузки на выбранной частоте = -9 ppm

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

Замечание

Ошибка разности переменного и постоянного тока – это величина, на которую необходимо изменить значение переменного тока, чтобы сделать его равным, значению постоянного тока. Чтобы представить это в виде ошибки неравномерности частотной характеристики, нужно изменить знак.

2. Преобразуйте суммарную ошибку, выраженную в ppm, в множитель (m)

$$m = 1 - \left(\frac{-16}{1,000,000} \right) = 1.000016$$

3. Введите значение импеданса z (7.99960) в ячейку z прибора 8508A

4. Введите значение m (1,000016) в ячейку m прибора 8508A

5. В приборе 8508A запрограммируйте деление на z и умножение на m

Теперь 8508A будет показывать непосредственно значение измеренного тока.

Для измерения такого же тока на другой частоте вычислите новое значение m и введите его в

ячейку m прибора 8508А. Импеданс z не изменяется.

Принцип работы

Токовые шунты, по существу, представляют собой сопротивления, на которых протекающий ток создает падение напряжения. Они предназначены для точных измерений на постоянном и переменном токе в диапазоне от 1 мА до 100 А, на частотах от 0 до 100 кГц. При увеличении тока и частоты индуктивности затрудняют точные измерения.

Коаксиальные шунты

Коаксиальные шунты спроектированы так, чтобы уменьшить индуктивность. Их конструкция подобна разработанной в Менделеевском институте, в Петербурге. Основным элементом коаксиальных шунтов является узел из печатных плат и прецизионных резистивных элементов. Конструкция обеспечивает несколько параллельных путей прохождения тока по планкам, каждая из которых имеет свой резистивный элемент. Пути прохождения тока расположены симметрично для уменьшения взаимной индуктивности. Резистивные элементы включают от 1 до 8 дискретных высокоточных объемных фольговых резисторов на каждую планку, в зависимости от номинального тока Токового шунта.

Отдельные планки – печатные платы объединяются в цилиндрическую конструкцию для уменьшения внешних магнитных полей и формируют путь прохождения тока через шунт. На Рисунке 4 показан путь прохождения тока через одну из планок (с одним резистивным элементом).

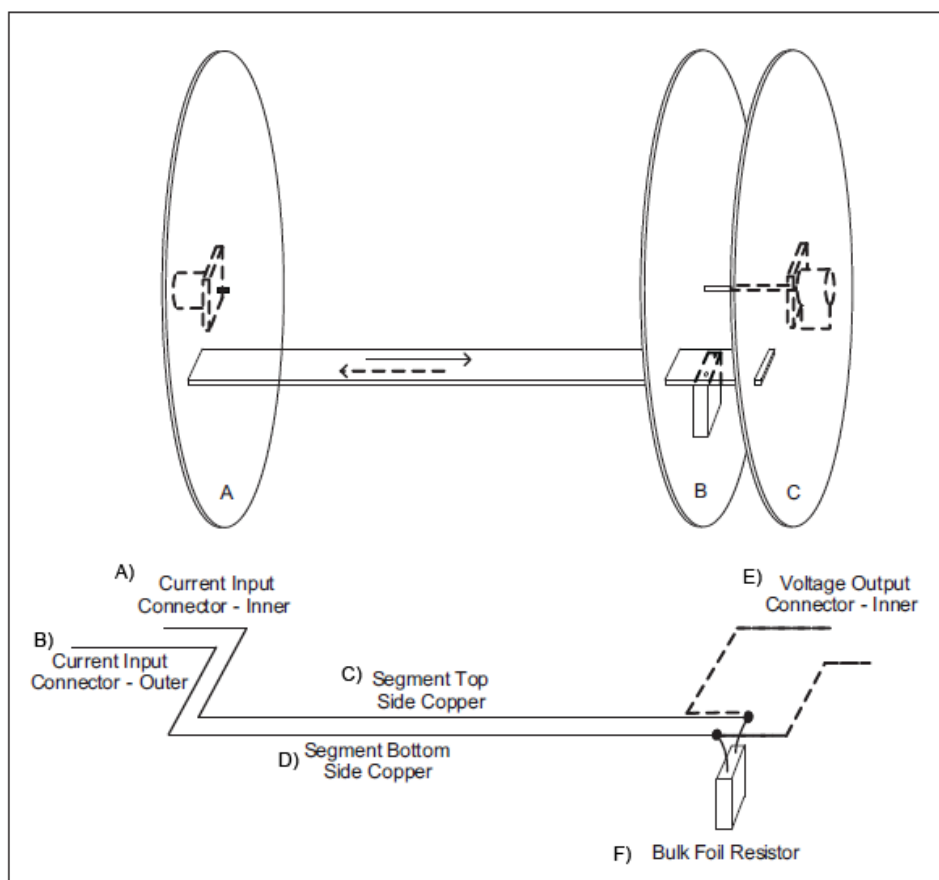


Рисунок 4. Токовый шунт – упрощенная электрическая схема

A)	Входной токовый разъем – внутренний проводник
B)	Входной токовый разъем – внешний проводник
C)	Сегмент верхнего слоя меди
D)	Сегмент нижнего слоя меди
E)	Выходной разъем напряжения – внутренний проводник
F)	Объемный фольговый резистор

Печатная плата, обозначенная буквой **A** на Рисунке 4, имеет слой меди на обеих сторонах. Печатные платы **B** и **C** -- односторонние. Ток поступает в шунт через входной разъем, протекает по одной стороне платы **A**, и далее по одной стороне планки входит в резистор. Пройдя через резистор, ток возвращается в разъем по другой стороне планки и по другой стороне концевой печатной платы. Напряжение снимается с резистора через планку и две печатные платы (**B** и **C** на Рисунке 4), и выводится на выходной разъем.

Параллельные пути прохождения тока, которые обеспечиваются печатной платой планки и концевыми платами, минимизируют взаимную индуктивность. Использование нескольких объемных фольговых резисторов уменьшает скин-эффект в резистивном элементе и обеспечивает высокую стабильность.

Корпусные шунты

За исключением Токового шунта 1 мА, электрическая схема корпусных токовых шунтов проще. Индуктивность и саморазогрев для них не имеют такого большого значения, поэтому резистивные элементы могут быть заключены в корпус. Токовый шунт 1 мА имеет усилитель, питающийся от батареи, который обеспечивает буферирование резистора, предотвращая влияние нагрузки.

Калибровка

Введение

Этот раздел Руководства описывает калибровку Токовых шунтов. Изложение поделено на две части:

1. Обзор и обсуждение принципов калибровки Токовых шунтов.
2. Описание методики калибровки Fluke.

Ни одно из описаний не содержит детальных пошаговых инструкций по калибровке Токовых шунтов. Вместо этого, описания имеют целью изложение основ, необходимых опытным техническим специалистам по калибровке для использования метода калибровки Fluke.

Обзор методов калибровки

Токовые шунты могут использоваться для измерения разности переменного и постоянного токов или для абсолютных измерений на переменном или постоянном токе. Для этого необходима калибровка, как неравномерности частотной характеристики, так и величины сопротивления. Калибровка на постоянном и переменном токе предполагает пропускание известного тока через тестируемое устройство (UUT) и измерение выходного напряжения.

Метод калибровки Токовых шунтов Fluke предполагает проведение калибровки с применением эталонного шунта. Это исключает необходимость использования калиброванного источника тока. Тем не менее, источник тока должен быть стабильным и обеспечивать необходимое напряжение. Базовая конфигурация показана на Рисунке 5.

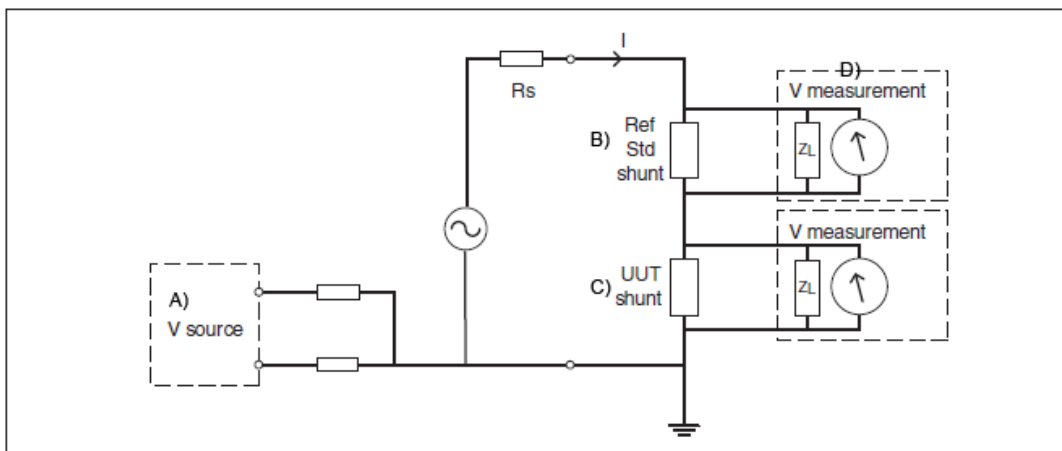


Рисунок 5. Цепь, использующая эталонный шунт для определения величины тока.

A)	Источник напряжения
B)	Стандартный эталонный шунт
C)	Проверяемый шунт
D)	Измеритель напряжения

Приборы, которые могут использоваться для измерения напряжения

Тепловой преобразователь напряжения

Тепловой преобразователь напряжения (TVC - thermal voltage converter) можно использовать в системе совместно с вольтметром постоянного тока для измерения выходного напряжения Токового шунта. TVC вырабатывает постоянное выходное напряжение, пропорциональное приложенному постоянному или переменному напряжению, обеспечивая благодаря своей природе плоскую частотную характеристику во всем диапазоне частот. Тепловой преобразователь напряжения пригоден только для сравнения двух сигналов; он не позволяет проводить абсолютные измерения, поэтому его основное назначение - измерение разности переменного и постоянного токов. Тепловые преобразователи напряжения бывают разных видов; в Таблице 8 перечислены достоинства и недостатки наиболее простого из них: одноконтантного TVC (SJTVС - single junction TVC).

Таблица 8. Тепловой преобразователь напряжения SJTVС

Преимущества	Недостатки
Очень малая неравномерность частотной характеристики в большинстве случаев	Низкая скорость стабилизации температуры
Входной импеданс в основном резистивный	Низкое входное сопротивление (90 Ом)
Очень хорошая изоляция между входом и выходом. Пренебрежимо малые ошибки от синфазной составляющей тока.	Максимальное входное напряжение 0,45 В. Для расширения диапазона входного напряжения необходим последовательный резистор.
	Плохая линейность по амплитуде из-за квадратичной передаточной характеристики
	Для измерения в диапазоне милливольт необходим нановольтметр или потенциометр/детектор нуля.
	Чувствителен к небольшим внешним условиям (сквозняки, источники тепла)

Эталон сравнения переменного и постоянного тока Fluke 792A

Прибор Fluke 792A может использоваться для измерения разности переменного и постоянного тока; он имеет много преимуществ по сравнению с SJTVС. См. Таблицу 9. Тем не менее, у него есть один недостаток, снижающий его ценность для рассматриваемой задачи. В отличие от SJTVС, прибор 792A чувствителен к синфазным помехам, которые имеют место, в частности, при измерении напряжения на Стандартном эталонном шунте.

Таблица 9. Эталон сравнения переменного и постоянного тока Fluke 792A

Преимущества	Недостатки
--------------	------------

Очень малая неравномерность частотной характеристики в большинстве случаев	Ошибки синфазного сигнала ^[1]
Твердотельный TVC с выходом 2 В.	Для измерения выходного напряжения нужен вольтметр постоянного напряжения
Показания устанавливаются быстрее, чем у SJTVC	Входной импеданс зависит от частоты
Ошибка при изменении полярности меньше	
Линейная передаточная характеристика	
Высокий входной импеданс	
[1] Влияние синфазного сигнала - основной источник ошибок для приборов, питающихся от сети	

Цифровые мультиметры и эталонные измерители

Номинальное выходное напряжение Токовых шунтов составляет 0,8 В, что делает идеальным их использование совместно с такими приборами, как Fluke 5790A и Fluke 8508A. Очевидное преимущество таких приборов – быстрое установление показаний и возможность проведения абсолютных измерений. См. Таблицу 10. Прибор 5790A дает возможность измерения разности переменного и постоянного тока, хотя Токовые шунты позволяют проводить непосредственное измерение на переменном токе с точностью, достаточной для большинства приложений. Такие приборы, как Fluke 8508A, имеют встроенные математические функции, дающие возможность ввести в память прибора значение сопротивления Токового шунта, так, чтобы на дисплей выводилась непосредственно величина измеряемого тока.

Таблица 10. Эталонный измеритель Fluke 5790A

Преимущества	Недостатки
Быстрое установление	Ошибки синфазного сигнала ^[1]
Абсолютные (не относительные) измерения	Результирующая погрешность выше, чем для TVC с вольтметром постоянного тока
Быстрое считывание результатов	Входной импеданс зависит от частоты
Высокая точность в широком диапазоне частот	Необходима коррекция неравномерности частотной характеристики
Не требуется дополнительное оборудование	
Два входа; возможность измерения отношения	
Очень хорошая линейность	
Не так чувствителен к окружающим условиям, как TVC	
Может выполнять сравнение переменного и постоянного тока	
[1] Влияние синфазного сигнала - основной источник ошибок для приборов, питающихся от сети	

Измерение на постоянном токе

Следует иметь в виду, что входной импеданс измерительного прибора включен параллельно шунту (эффект нагрузки). Как правило, влияние нагрузки становится более существенным при увеличении сопротивления Токового шунта, то есть, при уменьшении номинального тока.

Пример

Предположим, что тестируемое устройство (UUT) представляет собой Токовый шунт 10 мА с сопротивлением 80 Ом. Для измерения напряжения на шунте используется тепловой преобразователь SJTVC 0,8 В, 5 мА. Его типовой входной импеданс равен 160 Ом. Эталонным шунтом служит также Токовый шунт 10 мА, но напряжение на нем измеряется прибором Fluke 792A, в диапазоне 700 мВ с входным импедансом более 10 МОм. Ток 10 мА, создаваемый источником, проходит через Эталонный шунт. Шунтирующий эффект SJTVC приводит к тому, что через проверяемый шунт течет ток 6.7 мА, а через SJTVC – 3,3 мА. Таким образом, проверяемый Токовый шунт работает при токе 66 % от номинала. Это было бы неприемлемым при проведении абсолютных измерений на постоянном или переменном токе. Однако, при измерении разности постоянного и переменного тока, половина номинального тока вполне допустима, и именно в таком режиме шунты обычно используются. В Таблице 11 перечислены возможные источники ошибок и даны рекомендации по их устранению.

Таблица 11. Другие источники ошибок

Возможный источник ошибки	Способ устранения
Стабилен ли ток, одинаков ли он для двух измерений?	Тщательный выбор приборов.
Одинаков ли эффект нагрузки при подключении измерительного прибора для каждого измерения? Он будет разным, если сопротивления эталонного и тестируемого шунтов сильно отличаются, что приведет к изменению тока в цепи между измерениями. Сопротивления источника (R_s на Рисунке 5) влияет на величину ошибки.	
Насколько велики различия между разными измерительными приборами? Переключение позволит проводить измерения тестируемого и эталонного шунтов одним и тем же прибором. Однако из-за плохой повторяемости импеданса переключателя можно создать больше проблем, чем решить.	
Все токовые шунты нагреваются в определенной степени за счет выделяющейся мощности I^2R . Температурный коэффициент Токового шунта приводит к изменению его сопротивления.	Тщательный выбор приборов. Дайте всем элементам системы стабилизировать температуру перед проведением измерений.
Как компенсировать ошибку смещения нуля на постоянном токе?	Возьмите среднее измерений при положительном и отрицательном токе (переключение полярности)
Как решить проблему влияния термо-э.д.с.?	

Измерения на переменном токе

Большинство принципов для постоянного тока применимо к измерениям на переменном токе. На рисунке 6 входной импеданс измерительного прибора представлен в виде сопротивления и конденсатора, чтобы показать, что он зависит от частоты. Низкое входное сопротивление SJTVC (160 Ω) в этом смысле является преимуществом, так как оно подавляет влияние емкости. Приборы с активными входными цепями обычно имеют высокое входное сопротивление; для них емкость оказывает большее влияние на неравномерность частотной характеристики. В таблицах 4, 5 и 6 представлены типовые характеристики и погрешности приборов Fluke 5790A и 792A.

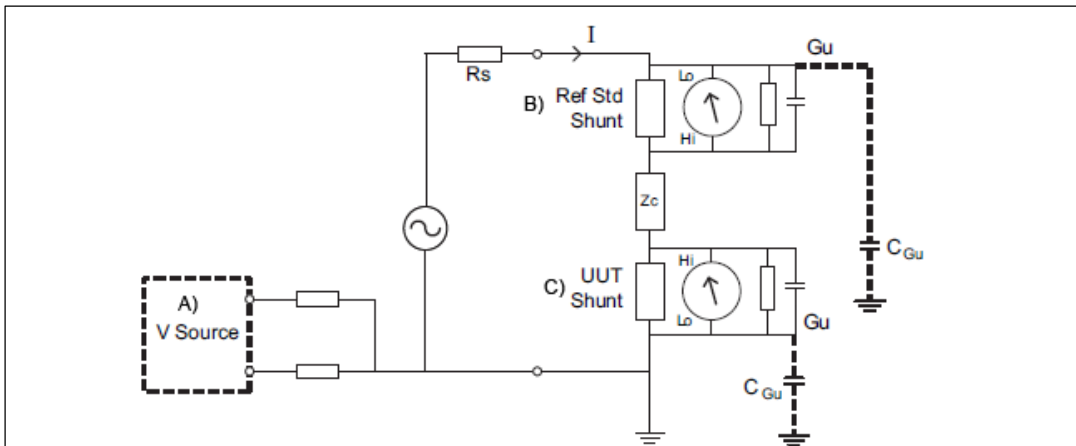


Рисунок 6. Источники ошибок при измерении на переменном токе

A)	Источник напряжения V
B)	Стандартный эталонный шунт
C)	Проверяемый шунт

Влияние синфазного тока может быть весьма существенным при измерениях с Токовыми шунтами, в особенности, когда один или несколько приборов для измерения напряжения питаются от сети. Основная причина появления синфазного тока - емкость между измерительными цепями и «землей». Тщательное экранирование может уменьшить, но не исключить этот эффект. На Рисунке 6. G_u обозначает точку защитного подключения, а C_{Gu} - емкость на «землю». Обратите внимание, что емкость C_{Gu} нижней части измерительной цепи почти накоротко замкнута соединением между G_u и «землей». Падение напряжения, обусловленное импедансом подключения, означает, что G_u в нижней части схемы не соединено с «землей» накоротко, и что эта разность потенциалов зависит от частоты. В результате, синфазный ток приведет к небольшим ошибкам при измерении тестируемого шунта. Обычно ошибки, связанные с синфазным током, растут с увеличением частоты.

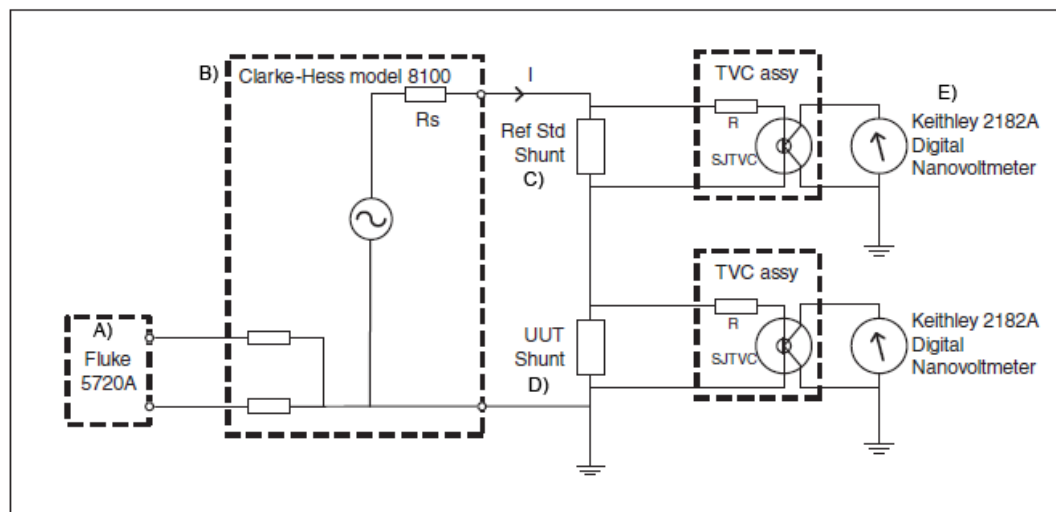
Ошибки синфазного тока в измерительной цепи эталонного стандарта потенциально намного больше. Z_c на Рисунке 6 – импеданс соединения между шунтами. Можно сразу заметить, что разность потенциалов между G_u и «землей» для верхней части измерительной схемы больше, поэтому через емкость C_{Gu} в цепи Стандартного эталона течет больший ток, чем через емкость C_{Gu} в цепи тестируемого шунта. Обратите внимание на подключение измерительного прибора в верхней цепи. В этой конфигурации ток через C_{Gu} создается источником тока, снижая ошибки за счет синфазного тока в цепи Стандартного эталонного шунта. Напряжение на тестируемом шунте, Z_c и Стандартном эталоне будет возрастать с увеличением частоты из-за индуктивностей. Это приводит к частотной зависимости ошибок, вызванных синфазным током. Важно тщательно продумывать подключения, чтобы минимизировать индуктивности.

Часто на входе измерительных приборов используются дроссели синфазной помехи, уменьшающие ее влияние. Однако, необходимо принять меры, чтобы исключить резонанс с емкостью C_{Gu} в интересующем диапазоне частот.

Методика калибровки Fluke

Метод калибровки Fluke позволяет проводить автоматизированные измерения разности переменного и постоянного токов (AC-DC) и сопротивления по постоянному току. См. Рисунок 7. Выходное напряжение эталонного и тестируемого шунтов измеряется тепловым

преобразователем SJTVC 0,8 В, 5 мА и нановольтметром Keithley 2182А. Вмешательство оператора в процессе калибровки требуется только для отключения модулей TVC и подключения выходов шунтов ко вторым входам нановольтметров. Для калибровки сопротивления при номинальном токе выполняются относительные измерения.



A)	Калибратор Fluke 5720A
B)	Усилитель Clarke-Hess, модель 8100
C)	Стандартный эталонный шунт
D)	Проверяемый шунт
E)	Цифровой нановольтметр Keithley 2182A

Рисунок 7. Система Fluke для калибровки

Модуль TVC состоит из теплового преобразователя SJTVC 5 мА и последовательного прецизионного резистора 70 Ом, уменьшающего выходное напряжение 0,8 В Стандартного эталонного шунта до максимального напряжения 0,45 В преобразователя SJTVC. Компоненты модуля TVC закрыты пенополистиролом и помещены в металлический корпус, для обеспечения температурной стабильности. Конструкция коаксиальная. Входной разъем модуля TVC – штыревой N-типа, который соединяется непосредственно с выходным разъемом Стандартного эталона.

Рекомендуемые инструменты и оборудование

В Таблице 12 приведен список рекомендуемого оборудования для использования в методике калибровки Токовых шунтов Fluke. При замене рекомендуемого оборудования убедитесь в соответствии минимальным требованиям, указанным в Таблице.

Таблица 12. Перечень рекомендуемого оборудования

Наименование	Рекомендуемая модель	Минимальные требования
Многофункциональный калибратор	Fluke 5720A	От 0 до 10 Вольт, от 0 до 100 кГц
Усилитель тока, управляемый напряжением	Clarke-Hess 8100	100 А, 100 кГц
Комплект прецизионных шунтов	A40B	Калиброван в Национальном

переменного тока		метрологическом институте или в сервисном центре Fluke
Модуль TVC (требуется два модуля)	Одноконтактный термопарный прибор UHF, 5 мА, или тепловой преобразователь напряжения, такой, как Fluke A55, Ballantine 1394A, или Measuretech EL1200; резистор 70 Ом.	0,8 В, 5 мА, от 0 до 100 кГц
Нановольтметр (требуется два прибора)	Keithley 2182A	10 мВ постоянного тока, разрешение 1 нВ

Система калибровки разности постоянного и переменного тока

Требуется проводить периодическую калибровку системы для компенсации различия коэффициентов усиления между двумя модулями TVC. Рисунок 8 показывает, как это достигается.

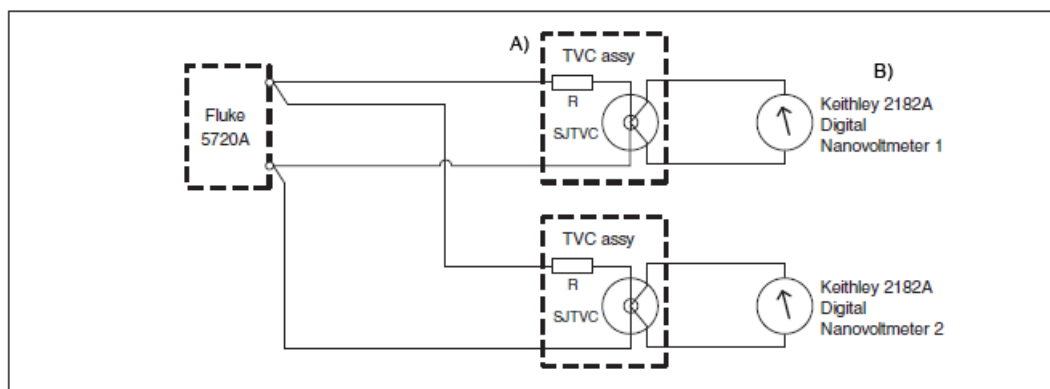


Рисунок 8. Калибровка, позволяющая учитывать различия коэффициентов усиления

A)	Модуль TVC
B)	Цифровой нановольтметр Keithley 2182A

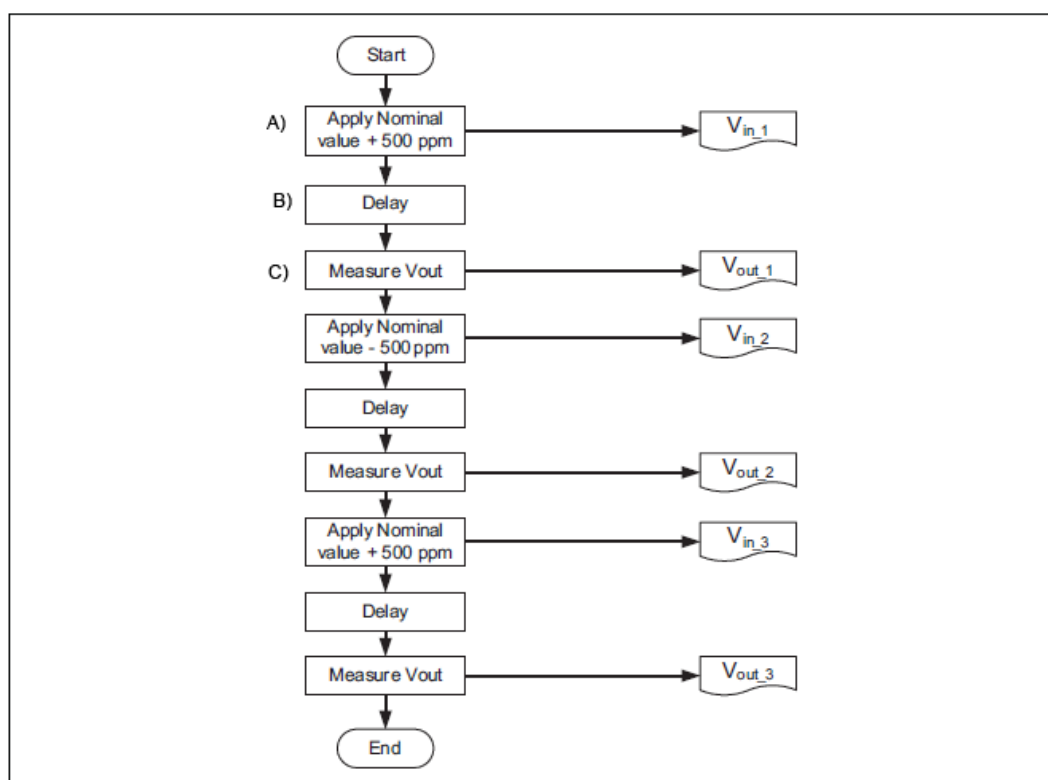
Калибратор 5720A формирует выходное напряжение 0,8 В. Относительная разность постоянного и переменного напряжений SJTC измеряется и используется для коррекции.

Определение чувствительности TVC

Выходное напряжение SJTVC пропорционально квадрату приложенного напряжения. Это значит, что прибор нелинеен по своей природе, и его трансрезистивное усиление или чувствительность меняется при изменении входного тока. Минимизировать результирующие ошибки можно, выполнив измерения средней чувствительности в узком диапазоне ± 500 ppm от номинального тока. Чувствительность измеряется перед калибровкой тестируемого шунта, при той же конфигурации системы (Рисунок 7). Порядок калибровки показан на Рисунке 9, где используются следующие обозначения:

- Vin – установленное напряжение 5720A
- Vin_1 = номинал + 500 ppm
- Vin_2 = номинал - 500 ppm
- Vin_3 = номинал + 500 ppm
- Vout_1, 2 и 3 - показания измерительного прибора.

Коэффициент усиления η характеризует чувствительность прибора, измеряющего выходное напряжение.



A)	Подать номинальное значение + 500ppm
B)	Пауза
C)	Измерить Vout

Рисунок 9. Определение чувствительности

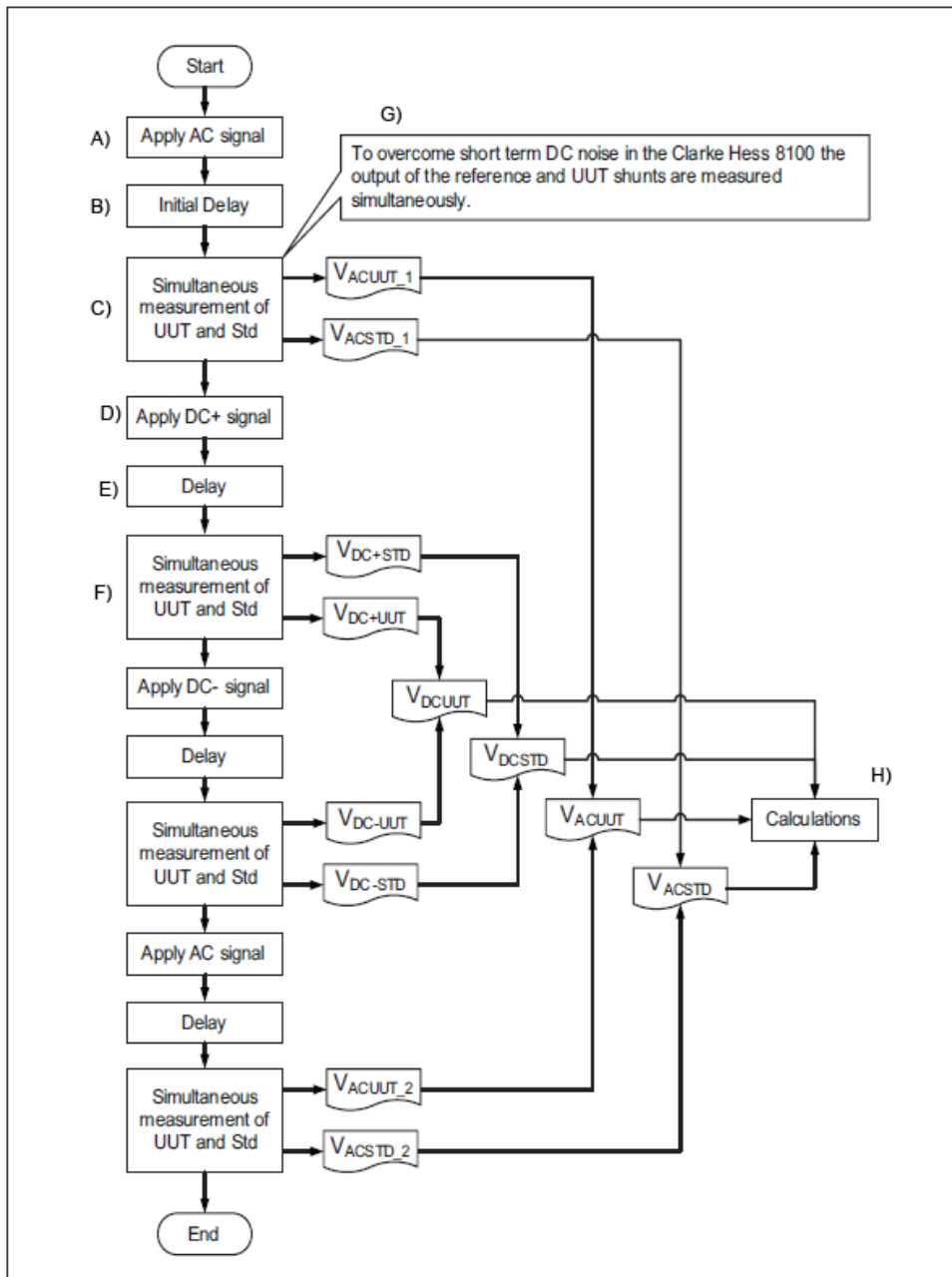
$$\text{Коэффициент усиления } \eta = \frac{\Delta V_{out}(\text{inppm})}{\Delta V_{in}(\text{inppm})} = \frac{\frac{V_{OUT_1} + V_{OUT_3}}{2} - 1}{\frac{V_{IN_1} + V_{IN_3}}{2} - 1}$$

Измерение +500 ppm выполняется дважды, чтобы исключить влияние дрейфа в процессе измерений.

Порядок измерения и вычисление разности AC-DC проверяемого шунта

Чтобы минимизировать влияние дрейфа, последовательность измерений симметрична и имеет вид AC1, +DC, -DC, AC2. Измерения на постоянном токе с переменной полярности ($\pm DC$) исключают термо-э.д.с. и смещение «нуля». Два измерения на переменном токе (AC) компенсируют дрейф в процессе измерений. Рисунок 10 показывает порядок проведения измерений, где:

- V_{DCUUT} = среднее величин V_{DC+UUT} и V_{DC-UUT}
- V_{DCSTD} = среднее величин V_{DC+STD} и V_{DC-STD}
- V_{ACUUT} = среднее $V_{ACUUT-1}$ и $V_{ACUUT-2}$
- V_{ACSTD} = среднее $V_{ACSTD-1}$ и $V_{ACSTD-2}$



A)	Подать сигнал AC переменного тока
----	-----------------------------------

B)	Начальная пауза
C)	Одновременное измерение напряжений на эталонном и проверяемом шунтах
D)	Подать сигнал постоянного тока положительной полярности DC+
E)	Пауза
F)	Одновременное измерение напряжений на эталонном и проверяемом шунтах
G)	Чтобы устранить влияние кратковременных шумов постоянного тока усилителя Clarke Hess 8100, выходные напряжения эталонного и проверяемого шунтов измеряются одновременно.

Рисунок 10. Порядок измерения разности постоянного и переменного тока (AC-DC)

Разность постоянного и переменного токов AC-DC тестируемого шунта (UUT) определяется в ppm по формуле:

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

Здесь:

δ_{UUT} = AC-DC для проверяемого шунта в ppm

$\delta_{UUT:TVC}$ = AC-DC для SJTVC проверяемого шунта в ppm на частоте измерения

δ_{STD} = AC-DC для эталонного шунта в ppm

$\delta_{STD:TVC}$ = AC-DC для SJTVC эталонного шунта в ppm на частоте измерения

V_{ACSTD} = Напряжение на эталонном шунте при переменном токе

V_{DCSTD} = Напряжение на эталонном шунте, среднее для прямого и обратного постоянного тока

V_{ACUUT} = Напряжение на проверяемом шунте при переменном токе

V_{DCUUT} = Напряжение на проверяемом шунте, среднее для прямого и обратного постоянного тока

η_{UUT} = Чувствительность усиления измерительной системы проверяемого шунта

η_{STD} = Чувствительность усиления измерительной системы эталонного шунта

Шумы источника постоянного тока

Для некоторых усилителей тока, управляемых напряжением, уровень шума на постоянном токе может представлять создавать трудности. Система калибровки Fluke решает эту проблему, запуская оба нановольтметра одновременно, так, что они выполняют усреднение синхронно, обеспечивая высокую помехоустойчивость.

Измерение сопротивления проверяемого шунта на постоянном токе

Сопротивление проверяемого шунта на постоянном токе определяется измерением отношения напряжения к напряжению на Стандартном эталонном шунте. См. Рисунок 7. Модули TVC отключаются, и выходы Стандартного эталонного шунта и проверяемого шунта подключаются ко вторым входам своих нановольтметров. Для уменьшения влияния термо-э.д.с. и смещения «нуля» используется изменение полярности.

Порядок ремонта, разборка и сборка

Ограничения

Данный раздел Руководства описывает порядок проведения мелкого ремонта Токовых шунтов. Этот ремонт ограничивается заменой следующих сменных деталей, согласно Таблице 11 и Рисунку 14:

- Клемма защитного подключения коаксиального шунта
- Концевые пластины коаксиальных шунтов
- Разъемы N-типа

Разъемы N-типа корпусных Токовых шунтов 10 мА, 20 мА и 50 мА можно заменить после снятия плоской крышки с нижней стороны, но рекомендуется вернуть Токовые шунты в сервисный центр Fluke для ремонта. Для Токового шунта 1 мА никакое обслуживание, кроме замены батареей, проводить не следует.

Для Токового шунта 1 мА должны использоваться батареи NiMH. Смотрите выше *Характеристики батарей* в разделе *Общие характеристики* настоящего Руководства. Комплект батарей NiMH для замены можно приобрести у Fluke, см. Таблицу 13. Перед заменой батареей прочтите Сведения о безопасной работе в этом Руководстве.

Все другие ремонтные работы и/или замены должны проводиться в сервисном центре Fluke. Чтобы узнать, где расположен ближайший сервисный центр, см. подраздел *Как связаться с Fluke* выше в настоящем Руководстве.

Замечание

Процедура замены разъемов N-типа включена в это Руководство. Тем не менее, Fluke настоятельно рекомендует проводить эту замену в сервисном центре.

Разъемы LC-типа (шунтов 50 А и 100 А) не могут быть отремонтированы или заменены на месте. Эти разъемы очень надежны и не требуют замены, если они не повреждены или не изношены. (Выделяющееся тепло может привести к их повреждению или износу.) Если замена разъемов LC-типа необходима, то эта работа должна выполняться в сервисном центре Fluke.

Перечень инструментов для ремонта

Для разборки, ремонта и сборки необходимы следующие инструменты:

- Торцовый шестигранный ключ 2,5 мм для Токовых шунтов 20 А и менее
- Отвертка Torx T25 для токовых шунтов 50 А и 100 А
- Ключ 7 мм (только для выходной концевой пластины)
- Отвертка Torx № 10
- Тонкий магнитный ключ 5,5 мм
- Паяльник 50 Вт с тонким жалом, проходящим между печатными платами - планками.
- Медная оплетка для удаления припоя
- Отсос для припоя
- Отвертка Torx T20 для замены батареей в Токовом шунте 1 мА

Замена концевых пластин и клемм защитного подключения (коаксиальные шунты)

Замечание

Концевые пластины оказывают небольшое влияние на магнитное поле в Токовом шунте. Они всегда должны находиться на своем месте при измерениях. Влияние магнитного поля растет с увеличением номинала Токового шунта. Разность переменного и постоянного тока AC-DC за счет этого эффекта может измениться примерно на 80 ppm при токе 100 А на частоте 100 кГц.

Замена клеммы и алюминиевых концевых пластин (см. Рисунок 11) выполняется в следующем порядке:

1. Чтобы снять клемму **1**:
 - a. Открутите гайку и снимите шайбу с обратной стороны клеммы **2**, и
 - b. Снимите клемму с концевой пластины.
 - c. Удерживайте и втулку **3** при снятии клеммы.
 2. Для снятия выходной концевой пластины **4**:
 - a. Снимите клемму, как описано в пункте 1.
 - b. Выкрутите четыре винта с шестигранным углублением **5**.
 - c. Потяните концевую пластину наружу и снимите ее.
 3. Для снятия входной концевой пластины **6**:
 - a. Выкрутите четыре винта с шестигранным углублением **7**.
 - Потяните концевую пластину наружу и снимите ее.
- Установка деталей на свои места выполняется в обратном порядке.

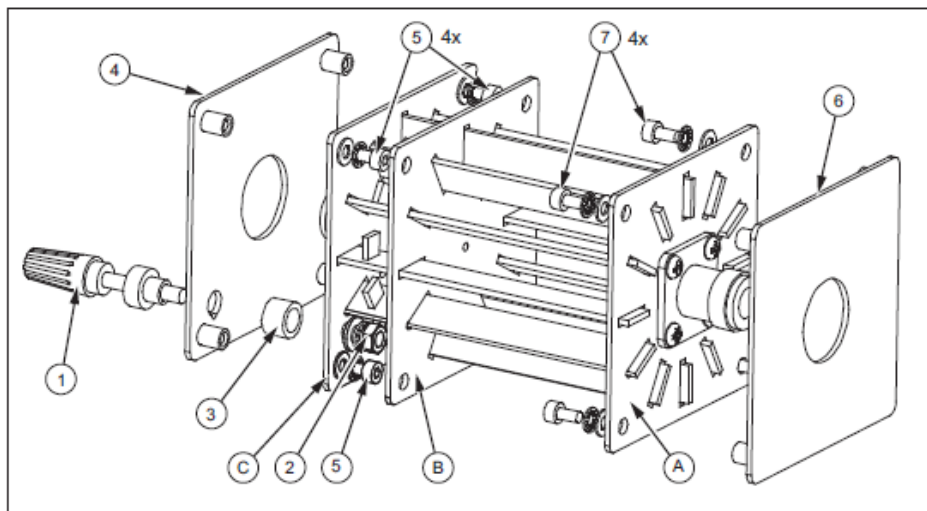


Рисунок 11. Токовый шунт в разобранном виде

Замена входного разъема N-типа (коаксиальные шунты)

Замена входного разъема N-типа выполняется в следующем порядке:

1. Снимите входную концевую пластину (Рисунок 11- ⑥).
2. Снимите винты 3 мм, гайки и шайбы, показанные на Рисунке 11.
3. Пользуясь паяльником, оплеткой и отсосом, удалите припой с основания разъема N-типа в месте соединения с печатной платой.
4. Просунув жало паяльника между планками так, чтобы не повредить их, отпаяйте центральный контакт разъема N-типа от задней стороны печатной платы **A** и снимите разъем. Может потребоваться повторение действий по удалению припоя, прежде чем удастся освободить основание разъема и центральный контакт.
5. Снимите излишек припоя с контактной площадки разъема на печатной плате **A**.
6. Установите новый разъем на Токовый шунт с его винтами и шайбами.
7. Установите гайки с помощью магнитного ключа и закрутите винты, чтобы обеспечить надежное крепление разъема. Не затягивайте их полностью, так как разъем N-типа может сместиться, когда оставшийся припой расплавится.
8. Припаяйте основание разъема N-типа к печатной плате **B**.
9. Просунув жало паяльника между планками, припаяйте центральный вывод разъема N-типа к задней стороне концевой печатной платы.
10. Затяните винты 3 мм, крепящие разъем.
11. Очистите места пайки от остатков флюса. Будьте аккуратны, следите за тем, чтобы промывочная жидкость не попала на резисторы шунта.
12. Установите концевую пластину на место.

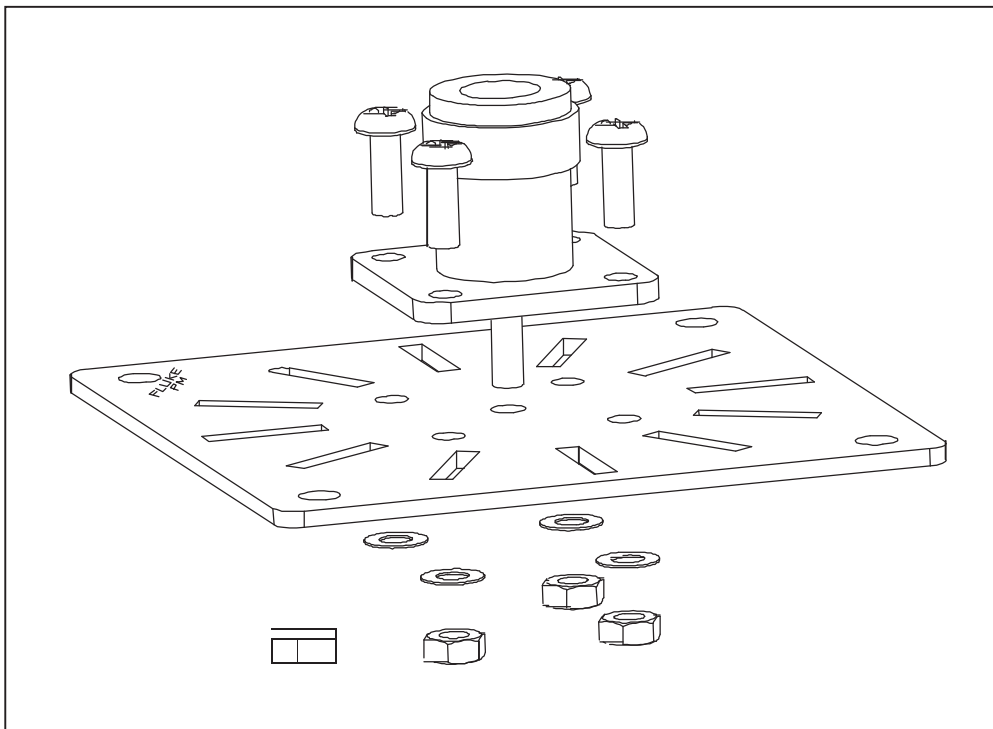


Рисунок 12. Входной разъем N-типа

Замена выходного разъема N-типа (коаксиальные шунты)

Замена выходного разъема N-типа выполняется в следующем порядке:

1. Снимите выходную концевую пластину (Рисунок 11- ⁴).
2. Снимите винты 3 мм, гайки и шайбы, удерживающие разъем N-типа.
3. Пользуясь паяльником, оплеткой и отсосом, удалите припой с основания разъема N-типа в месте его соединения с печатной платой **С**.
4. Внутренний контакт разъема N-типа подключен к печатной плате **В** медным луженым проводом 20 SWG длиной 18 мм (0,71 дюйма). См. Рисунок 13. Просунув жало паяльника, между планками, так, чтобы не повредить их, отпаяйте провод от задней стороны печатной платы **В** и снимите разъем. Может потребоваться повторение действий по удалению припоя, прежде чем удастся освободить основание разъема и центральный контакт.
5. Снимите излишек припоя с контактных площадок разъема печатных плат **В** и **С**.
6. Установите новый разъем на Токовый шунт с его винтами и шайбами. Убедитесь, что провод 20 SWG, идущий к плате **В**, расположен правильно.
7. Установите гайки с помощью магнитного ключа и закрутите винты так, чтобы обеспечить надежное крепление разъема. Не затягивайте их полностью, так как разъем N-типа может сместиться, когда оставшийся припой расплавится.
8. Припаяйте основание разъема N-типа к концевой печатной плате. Затем, просунув жало паяльника между планками, припаяйте провод разъема к печатной плате **В**.
9. Затяните винты 3 мм, крепящие разъем.
10. Очистите места пайки от остатков флюса, следя за тем, чтобы промывочная жидкость не попала на резисторы шунта.
11. Установите на место концевую пластину и клемму.

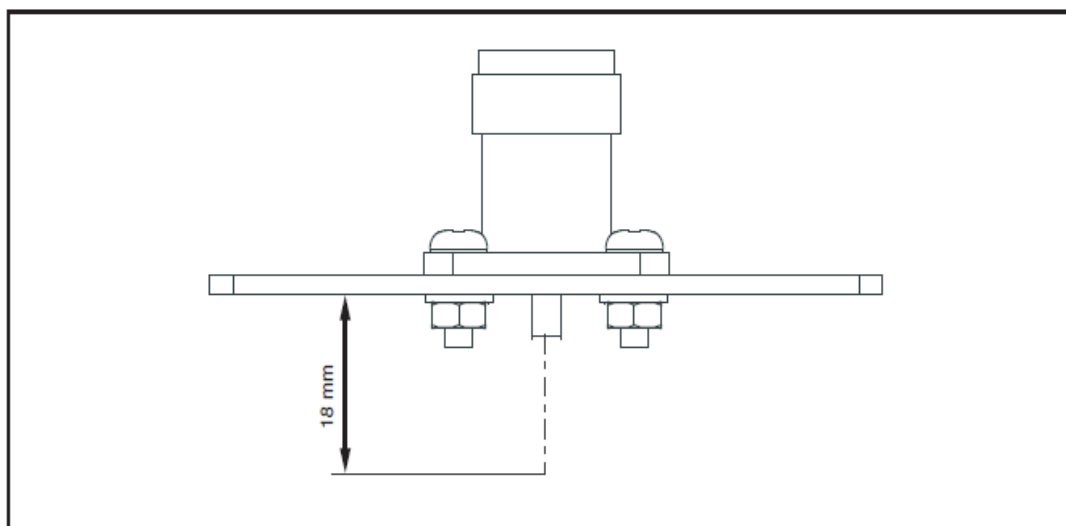


Рисунок 13. Разъем выходного напряжения

Перечень запасных частей

Техническое обслуживание, выполняемое пользователем, ограничивается заменой деталей, показанных на Рисунке 14 и перечисленных в Таблице 13. Для заказа запасных частей обратитесь к подразделу *Как связаться с Fluke* выше.

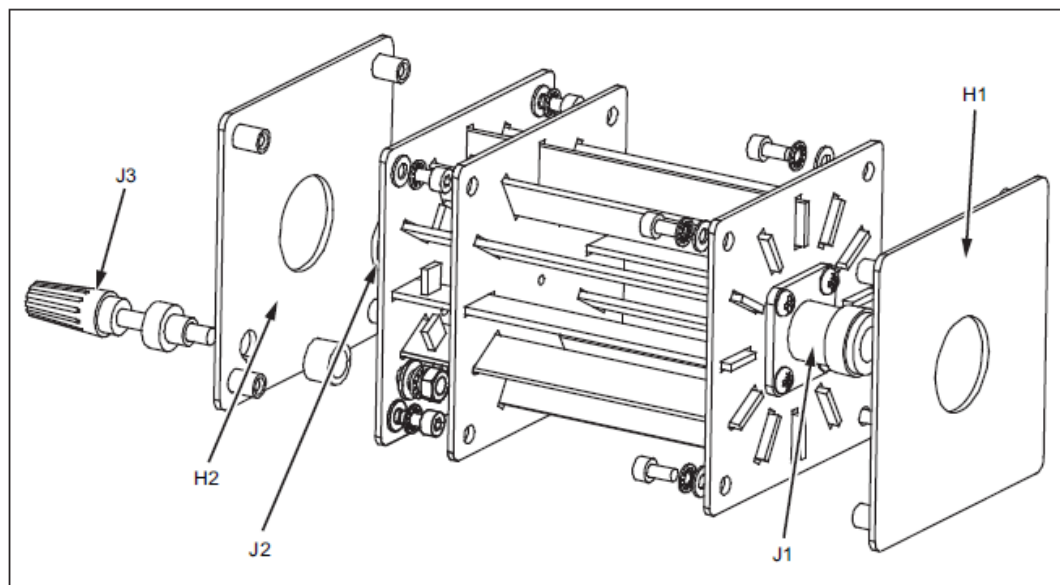


Рисунок 14. Общая сборка – типичный Токовый шунт, входящий в набор.

Таблица 13. Общая сборка – комплект Токовых шунтов

Обозначение	Описание	Номер изделия Fluke	Количество
H1	Концевая пластина, передняя Шунт 100 мА Шунт 200 мА Шунт 500 мА Шунт 1 А Шунт 2 А Шунт 5 А Шунт 10 А Шунт 20 А Шунт 50 А Шунт 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 100 мА, 200 мА, 500 мА, 1 А, 2 А Шунты 5А, 10 А, 20 А Шунты 50 А, 100 А	3276090 3276104 3276119	1 1 1
J1, J2	Разъем N-типа, гнездо (Разъем J2 на шунтах 50 А и 100 А - LC-типа, не подлежит замене на месте)	875435	2
J3	Клемма черная (коаксиальные шунты)	3276128	1
--	Зарядное устройство для Токового шунта 1 мА (не показано)	3359506	1
--	Комплект батарей для замены (не показан)	3359499	1
--	Компакт-диск с руководством «Комплект прецизионных шунтов переменного тока A40B» (не показан)	3356284	1