

# Токовые клещи как дополнение к выпускаемой линейке датчиков измерения тока



В статье приводятся основные технические характеристики и конструктивные особенности разработанных токовых клещей-адаптеров. Описаны свойства клещей для измерения больших (до 5000 А) токов и электронный вариант высоковольтных (до 10 кВ) клещей. Разработанные приборы дополнили линейку выпускаемых ОАО «НИИЭМ» датчиков тока, напряжения и датчиков измерения активной мощности.

ОАО «НИИЭМ», г. Истра, МО

Широкое распространение магниточувствительных датчиков Холла, их дешевизна и простота использования (в том числе с интегральными схемами обработки сигнала) привели к созданию целого ряда современных миниатюрных приборов и устройств. Число таких устройств исчисляется многими сотнями. Например, доля доходности только в автомобильной промышленности, где эти устройства очень востребованы и получили большое развитие, составляет более 52% [1, 2]. В измерительной технике также используются бесконтактные датчики угла вращения, датчики прецизионных перемещений и другие приборы на основе эффекта Холла. В этой номенклатуре важный класс приборов составляют современные датчики измерения постоянного и переменного токов, датчики напряжения и датчики измерения активной мощности [3, 4]. Возможность бесконтактного измерения любого вида тока с гальванической развязкой входных и выходных цепей обусловила популярность таких устройств. Необходимо подчеркнуть, что отечественные приборы этого класса также присутствуют на рынке и давно используются разработчиками аппаратуры для решения различных задач автоматизации [5, 6].

Кроме стационарных датчиков тока, которыми комплектуются преобразователи для приводов, источники бесперебойного питания, источники для сварочных агрегатов, генераторы, телемеханические устройства и т.д., также приобрели популярность разъемные датчики тока [7]. Их основное преимущество – возможность монтажа на токовые шины без разрыва последних. Отдельным подклассом раз-

ъемных датчиков являются токовые клещи, предназначенные прежде всего для мобильных разовых измерений. Ниже описаны конструктивные и технологические особенности этого класса датчиков, разрабатываемых в ОАО «НИИЭМ».

### Клещи-адаптеры («прищепки»)

Клещи этого типа получили такое название, поскольку крепятся на токовой шине как обычная



Рис. 1. Клещи-адаптеры на токи до 400 А (а) и 1500 А (б)

Таблица 1. Основные технические характеристики токовых клещей-адаптеров

Характеристика	КЭИ-м	КЭИ-ПЭ					КЭИ-0,5Т					КЭИ-0,5П		КЭИ-1,0Т		КЭИ-1,0Т RMS
		0...20, 0...50, 0...100, 0...200, 0...400	0...300	0...500	0...750	0...1000	0...1500	0...20	0...50	0...100	0...200	0...500	0...500	0...1000	0...10	
Диапазон измеряемых токов, А	0...20, 0...50, 0...100, 0...200, 0...400	0...300	0...500	0...750	0...1000	0...1500	0...20	0...50	0...100	0...200	0...500	0...500	0...1000	0...10	0...100	0...1000
Допустимая перегрузка по измеряемому току, разы	2	1,7	1,5	1,5	1,5	1,2	1,5							1,3		
Выходной сигнал при номинальном измеряемом токе, В	1	1,5		1,5		1,5	2,0					2,5		4–20 мА		
Нелинейность выходной характеристики, не более, %	1	0,5					0,2					0,2		1,0		
Основная приведенная погрешность, не более, %	3,0	3,0					0,5					1,0		1,0		
АЧХ в пределах 2 %, не хуже, Гц	0–10000	0–1000					20–20000							20–1000		
Ток потребления в режиме холостого хода, не более, мА	5	5					-					5		-		
Источник питания, В	+6...+15	1 элемент типа «Крона»					-					+6...+15		+12...+36		
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+50	-40...+50					-40...+70					-40...+70		-40...+70	-20...+70	
Диаметр отверстия под токовую шину, мм	19	35		35 (65)			54					54		54		
Габаритные размеры, мм	130 × 60 × 30	215 × 83 × 30		215 × 83 × 30 (245 × 105 × 30)			220 × 105 × 41					220 × 105 × 41		220 × 105 × 43		
Масса, г	120	300		300 (380)			700					700		700		

прищепка. Отсутствие индикатора и упрощенная схема измерений делают такие устройства значительно дешевле стандартных токовых клещей. В табл. 1 приведены типы и основные характеристики разработанных адаптеров.

Клещи КЭИ-м, например, предназначены для измерения постоянного, переменного и импульсного токов до 400 А. Диаметр охвата губок клещей составляет 19 мм. Малые габариты и масса прибора обеспечивают удобство работы (рис. 1а). Форма выходного сигнала полностью повторяет форму измеряемого тока; полярность выходного сигнала изменяется при изменении направления протекания измеряемого тока. Недостатком же этого адаптера является потребность во внешнем источнике питания 7...15 В.

В конструкции клещей КЭИ-ПЭ (рис. 1б) этот недостаток устранен за счет использования в качестве источника питания одного элемента типа «Крона». Диапазон измерения токов КЭИ-ПЭ расширен до 1500 А благодаря наличию в конструкции датчика разъемных губок увеличенного диаметра – 35 или 64 мм.

Стандартные клещи КЭИ-ПЭ преобразуют измеряемый ток в выходное напряжение, пропорциональное мгновенному значению тока («линейный выход»). По требованию заказчиков можно также обеспечить выход, пропорциональный средне-

квадратичному значению измеряемого тока. Для этого стандартная схема КЭИ-ПЭ дополняется детектором истинных среднеквадратичных значений (true RMS). Дополнительное расширение схемы за счет интерфейса «токовая петля» позволяет получить на выходе КЭИ-ПЭ токовый сигнал (4–20 мА или 0–20 мА), пропорциональный истинному среднеквадратичному значению измеряемого тока.

Если необходимо повысить точность измерений, целесообразно использовать адаптер типа КЭИ-0,5П (постоянный, переменный и импульсный токи) с диаметром ох-

вата губок 54 мм. Чтобы добиться необходимой точности и повторяемости в этих клещах, используется специальная конструкция губок, которая позволяет свести к минимуму влияние температуры окружающей среды на механическое напряжение в магнитопроводе губок. Кроме того, в КЭИ-0,5П и КЭИ-0,5Т (рис. 2) используется так называемая «плавающая» конструкция губок, что обеспечивает линейную и повторяемую зависимость влияния механической системы губок на результаты измерений. Снижение погрешности измерений до 0,5% обеспечивается также специальной электрической

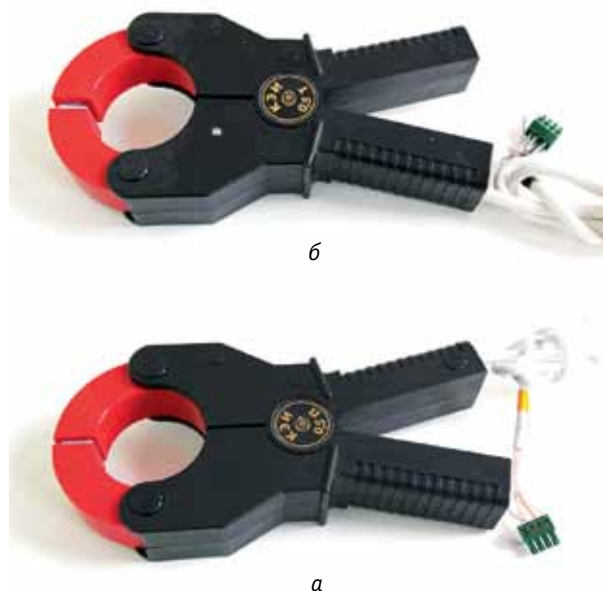


Рис. 2. Многофункциональные клещи-адаптеры КЭИ-0,5П (а) и КЭИ-0,5Т (б) с «плавающими» губками

Таблица 2. Характеристики токовых клещей-мультиметров

Характеристика	Тип клещей	
	КЭИ-0,6м	КЭИ-1м
Диапазон измеряемых токов, А	0...200; 0...600	0...200; 0...1000
Диапазон измеряемых напряжений, В	0...200; 0...600	
Диапазон измеряемых сопротивлений, Ом	0...200; 0...2000	
Диаметр отверстия под токовую шину, мм	35	65
Основная приведенная погрешность, не более, %	2	
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+50	
Габаритные размеры, мм	215 × 83 × 30	245 × 105 × 30
Масса, г	370	400

схемой, включающей термокоррекцию по показаниям датчика Холла. Наличие в схеме микроконтроллера позволяет программно, при технологической калибровке адаптера, проводить коррекцию усиления и регулировку смещения входного каскада схемы.

Очередная модификация этих клещей КЭИ-1,0Т и КЭИ-1,0Т RMS (табл. 1) предназначена для измерения, соответственно, переменного и импульсного токов до 1000 А. У таких адаптеров предусмотрено трехпозиционное переключение диапазонов измеряемого тока: на 0...10, 0...100 и 0...1000 А. Питание датчиков обеспечивается по токовой петле, а выходной сигнал сделан удобным для дальнейшей обработки (0–20 мА или 4–20 мА).

**Клещи-мультиметры**

Это наиболее широко представленная на рынке разновидность токовых клещей, снабженных индикатором, на котором высвечивается значение измеряемого тока. Разнообразие этих приборов и их ценовой диапазон очень широки: начиная от простейших клещей только для измерения переменного тока и до сложных приборов, которые позволяют кроме величины тока проводить анализ гармоник

(до 50-й гармоники), регистрируют пиковые значения, измеряют емкость, частоту, тестируют р-п-переходы, измеряют фазовый угол и индицируют последовательность фаз.

Из числа разработок ОАО «НИИЭМ» можно выделить клещи-мультиметры КЭИ-0,6м и КЭИ-1м (табл. 2). Это цифровые программируемые многофункциональные устройства, предназначенные для измерения:

- ▶ действующего (RMS) значения постоянного, переменного и импульсного токов в диапазонах, соответственно, 0...200 или 0...600 А и 0...200 или 0...1000 А;
- ▶ действующего (RMS) значения напряжения постоянного, переменного и импульсного токов в диапазонах 0...200 и 0...600 В;
- ▶ сопротивления в диапазонах 0...200 и 0...2000 Ом.

Отличительными особенностями таких клещей являются калибровка каждого диапазона измерения по двум точкам и хранение констант калибровки в энергонезависимом запоминающем устройстве с защитой от случайного изменения. В конструкции клещей применена удобная пленочная клавиатура с прямым выбором измеряемого параметра и звуковым подтверждением нажатия.

Таблица 3. Характеристики клещей для больших токов

Характеристика	Тип клещей		
	КЭИ-3КА	КЭИ-5КА	КЭИ-1 (10 кВ)
Диапазон измеряемых токов, А	0...200 0...2000 0...3000	0...200 0...2000 0...5000	0...100 0...1000
Основная приведенная погрешность, %	3	3	2
Диапазон рабочих температур, °С	минус 10...+ 40		
Ток потребления, мА не более	7		60 90
Источник питания, В	1 элемент типа «Крона»		4 элемента «АА»
Напряжение в измеряемой цепи, не более, кВ	0,3	0,3	10
Разрядность индикатора	3,5		
Диаметр отверстия под токовую шину, мм	90	160	54
Габаритные размеры, мм	325 × 130 × 35,5	500 × 261 × 55	705 × 370 × 80
Масса, г	800	2000	1900



Рис. 3. Многофункциональные клещи КЭИ-0,6м (а) и КЭИ-1м (б)

Внешний вид клещей представлен на рис. 3. Клещи являются интеллектуальным прибором, поэтому род измеряемого тока или напряжения, пределы измерения и обнуление шкалы производятся автоматически. Благодаря наличию в конструкции клещей-мультиметров микроконтроллера, эти приборы обладают рядом дополнительных функций, которые позволяют:

- ▶ снизить до минимума собственное энергопотребление (функция «сон»);
- ▶ запомнить максимальное и минимальное значение измеряемого параметра (функция «память»);
- ▶ озвучивать нажатия кнопок;
- ▶ осуществлять звуковую «прозвонку» электрических цепей;
- ▶ сообщать о необходимости замены источника питания.

**Клещи больших токов**

Описанные выше модели токовых клещей являются приборами массового применения, чем в первую очередь и обусловлена их широкая номенклатура. В то же время найти клещи для мобильного контроля токов выше 3000 А уже не так просто.

В ОАО «НИИЭМ» разработана конструкция и освоен мелкосерийный выпуск клещей для измерения постоянного и переменного токов до 3000 и 5000 А. Из табл. 3 видно, что при диаметре губок, соответственно, 90 и 160 мм, клещи КЭИ-3КА и КЭИ-5КА позволяют измерять ток в диапазонах от 0 до 200, 2000, 3000 А и от 0 до 200, 2000, 5000 А. При малом собственном потреблении для пита-

ния электрической схемы клещей достаточно одного элемента типа «Крона». Измеренное значение тока высвечивается на жидкокристаллическом индикаторе с разрядностью 3,5. Относительно небольшая масса клещей и широкий температурный диапазон обеспечивают удобство работы с этими приборами. Клещи КЭИ-3КА и КЭИ-5КА сертифицированы и введены в Госреестр средств измерений РФ.

Сертифицированы также клещи КЭИ-1 (10 кВ), которые являются многофункциональным индикаторным датчиком, предназначенным для измерения средневывпрямленного значения переменного тока в диапазонах от 0 до 100 или 1000 А без разрыва силовой цепи при потенциале на токовой шине относительно земли до 10 кВ (рис. 4). Разрабатывались эти клещи в рамках импортозамещения для замены морально устаревших, но все еще используемых клещей Ц4502 (изготовлены в Республике Армения).

Электронные клещи КЭИ-1 (10 кВ) состоят из корпуса, включающего в себя разъемный трансформатор тока, печатную плату с электронной схемой обработки сигнала и цифровой светодиодный индикатор, а также ручек, монтируемых к корпусу.

Основой электронной схемы клещей является 8-разрядный микроконтроллер со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). При протекании переменного измеряемого тока по силовой шине, охватываемой магнитопроводом, на нагрузке трансформатора тока индуцируется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная измеряемому току. Выходной сигнал с нагрузки поступает на де-



Рис. 4. Внешний вид высоковольтных токовых клещей КЭИ-1 (10 кВ)

тектор, который формирует на выходе напряжение, пропорциональное средневывпрямленному значению измеряемого тока.

Микроконтроллер преобразует его в цифровой сигнал и индицирует на 3-разрядном светодиодном индикаторе в виде действующего значения измеряемого тока. В обоих рабочих диапазонах (0...100 А и 0...1000 А) обеспечивается высокая точность измерений: основная приведенная погрешность составляет менее 1%.

Клещи оснащены светодиодным индикатором высокой яркости, что позволяет безошибочно считывать показания даже при слепящем солнечном свете. При работе в условиях недостаточной освещенности можно воспользоваться функцией подсветки зоны измерения, которая предусмотрена в клещах.

Клещи КЭИ-1 (10 кВ) оснащены интеллектуальной функцией сбережения заряда батарей. Если измеряемый ток менее 5 А, то по истечении

примерно 5 минут клещи переходят в режим энергосбережения — «сон». Электронная схема, светодиодный индикатор и светодиод подсветки в этом режиме отключаются. Таким образом, в процессе работы клещи внезапно не «заснут» в самый неподходящий момент. При отсутствии измерений клещи «заснут» и перейдут в режим энергосбережения.

При разрядке элементов питания клещей измерения могут стать недостоверными. Клещи сигнализируют об этом, попеременно отображая показания измеряемого тока и специальный мнемосимвол.

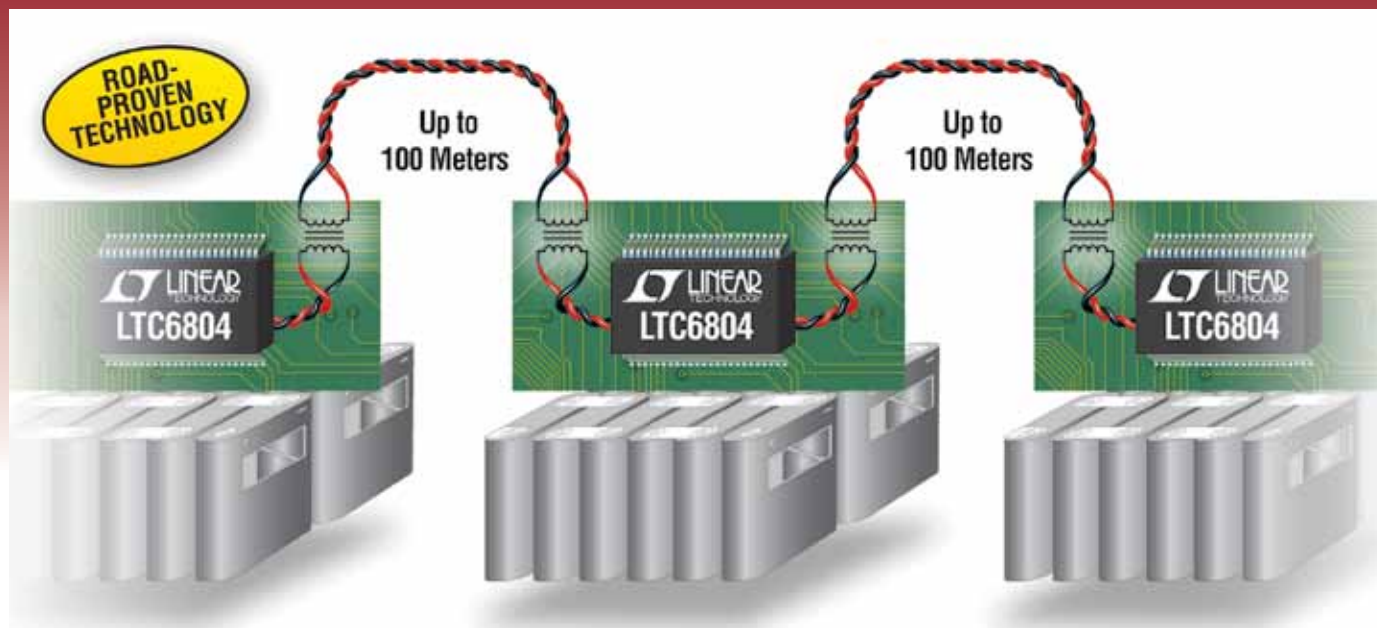
Важной функцией клещей является возможность передачи результатов измерений по беспроводному интерфейсу Bluetooth (в процессе разработки) на смартфон, планшет или компьютер.

#### Источники

1. Сысоева С. С. Датчики магнитного поля: ключевые технологии и новые перспективы. Датчики Холла // Компоненты и технологии. 2014. № 1.
2. Сысоева С. С. Автомобильный сегмент — ведущая отрасль для датчиков магнитного поля // Innovations Insight Magazine. 2003. № 1.
3. Данилов А. А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. 2004. № 10.
4. Производители датчиков и преобразователей физических величин (таблица) // Электронные компоненты. 2005. № 11.
5. Портной Г. Я. Датчики для систем автоматизации и контроля // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
6. Федеральное космическое агентство. НИИЭМ [сайт]. URL: www.niiem46.ru (дата обращения: 26.03.2015).
7. Портной Г. Я. Разъемные датчики тока — актуальный сегмент на рынке датчиков // Компоненты и технологии. 2014. № 1.

Г.Я. Портной, к. т. н., зам. гл. конструктора,  
О.А. Болотин, научный сотрудник,  
К.П. Разумовский, ведущий инженер,  
С.А. Старков, инженер-технолог,  
О.Е. Яценко, инженер-конструктор,  
ОАО «НИИЭМ», г. Истра, МО,  
тел.: (495) 994-5188,  
e-mail: sensor@niiem46.ru,  
www.niiem46.ru

# Устойчивое к шумам слежение за блоком батарей с точностью 1,2 мВ



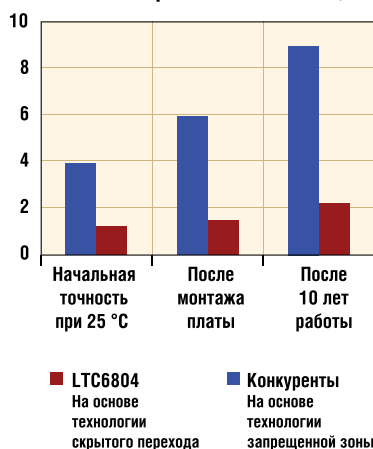
## Увеличение жизненного цикла, безопасной работы, емкости и возможностей управления

Полная и безопасная реализация потенциала большого блока батареи через прецизионное слежение за каждой ячейкой. Схема слежения за батареями LTC®6804 гарантированно измеряет напряжение на каждой ячейке с точностью не хуже 0,04%. Стабильность работы во времени, температуре и в рабочем режиме достигается с источником опорного напряжения на стабилизаторе со скрытым переходом, подобным тем, которые используются в прецизионных приборах. Программируемый фильтр 3-го порядка устраняет шумы, возникающие на плохих блоках батареи, а 2-проводный интерфейс isoSPI™ обеспечивает недорогое, устойчивое к шумам соединение нескольких LTC6804 на расстояние до 100 метров.

### Особенности

- Общая ошибка измерения <math>< 1,2 \text{ мВ}</math>
- Долговременная температурная стабильность с источником опорного напряжения эталонного уровня
- isoSPI обеспечивает изолированное 2-проводное соединение с дальностью до 100 метров
- Измерение всех ячеек за 290 мкс
- Пассивная балансировка ячеек
- 4 мкА потребление в режиме ожидания
- AEC-Q100
- Удовлетворяет требованиям ISO26262

### Ошибка измерения на ячейке 3,3 В



### Погрешности и бесплатные образцы

[www.linear.com/product/LTC6804](http://www.linear.com/product/LTC6804)



[video.linear.com/139](http://video.linear.com/139)

LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks and isoSPI is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.