

# Высокоточные датчики тока для гибридных и электромобилей серии SAA

Олег ГНЕУШЕВ  
Oleg.Gneushev@epcos.com

**Проблемы окружающей среды, такие как глобальное потепление, загрязнение воздуха и проч., находятся под пристальным вниманием ученых. Разработаны гибридные автомобили, позволяющие снизить нагрузку на экологию благодаря уменьшенному выбросу отработанных газов и потребляющие меньше топлива. По мере снижения стоимости производства гибридных автомобилей спрос на них неуклонно растет. Помимо этого осуществляются попытки популяризировать электромобили и автомобили на топливных элементах, которые имеют нулевые выбросы вредных веществ в атмосферу.**



## Требования к автомобильным датчикам тока

Для гибридов, электромобилей и авто на топливных элементах, вносящих ощутимый вклад в борьбу за чистоту окружающей среды, а также для двигателей со встроенным источником питания необходима такая функция, как способность системы отслеживать и точно контролировать ток электромотора в режиме движения и токи заряда/разряда аккумуляторной батареи. Количество датчиков как ключевых компонентов, служащих «глазами» системы мониторинга, на борту таких автомобилей значительно выросло.

В таблице 1 представлено сравнение самых распространенных на рынке датчиков тока. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки в точности, изоляционных свойствах, типе измеряемого тока, количестве компонентов, потреблении тока и стоимости. Выбор типа датчика обусловлен кон-

кретным применением и специфическими требованиями.

## Требования, предъявляемые к автомобильным датчикам

### Возможность измерять как постоянный, так и переменный ток

Аккумуляторные батареи автомобиля обеспечивают питание постоянным током, но в транспортных средствах также используется и переменный ток. Поэтому есть необходимость измерять оба типа тока и, следовательно, токовый трансформатор, который не может измерять постоянный ток, не пригоден для использования.

### Высокая точность

Контроль токов инвертора и ЭД гибридного автомобиля, особенно токов заряда/разряда аккумулятора, производится методом расчета на основании данных от нескольких датчиков. Погрешности измерений всех датчиков суммируются, а это значит, что в данном применении к точности показаний предъявляются высокие требования. Более того, датчик тока должен обладать высокой точностью измерения в широком температурном диапазоне. Это требование делает непригодными в данных условиях токовый трансформатор и резисторный шунт.

### Высокие изоляционные свойства

В большинстве случаев на автомобилях используются высоковольтные аккумуляторные батареи (АБ) напряжением в несколько сотен вольт. Это означает, что есть необходимость полностью изолировать АБ от низковольтных электрических цепей и блоков управления, а значит, датчик тока, который разделяет высоко- и низковольтную часть, должен быть бесконтактным и низкоиндуктивным. Неизолированный резисторный шунт в таких случаях можно использовать, только если его дополнить трансформатором или оптопарой, а это приведет к ненужному усложнению схемы.

### Высокая надежность

Автомобильные стандарты устанавливают жесткие требования к оборудованию в условиях воздействия электростатического электричества, импульсных помех, резких перепадов температуры, вибрации и ударных нагрузок.

Японская компания TDK разработала датчик тока SAA-200, первый в одноименной серии. Он был установлен на многие автомобили и получил высокую оценку за свою стабильную работу в составе системы.

### Особенности датчика SAA-200

Для достижения необходимой точности наиболее подходящими являются магнито-пропорциональный метод и метод магнитного баланса. Компания TDK в своих датчиках (рис. 1) использовала метод магнитного баланса, так как он позволяет достичь максимальной точности. Принцип работы (рис. 2) данного метода заключается в следующем.

В воздушный зазор сердечника из магнетомягкого материала с высокой проницаемостью помещается датчик Холла. Магнитный

Таблица 1. Основные типы датчиков тока

Метод измерения	Метод резисторного шунта	Метод токового трансформатора	Магнито-пропорциональный метод	Метод магнитного баланса
Чувствительный элемент	Резисторный шунт	—	Датчик Холла	Датчик Холла
Точность	Низкая	Очень низкая	Высокая	Очень высокая
Изоляция	Очень низкая	Высокая	Высокая	Высокая
Измеряемый ток	АС/DC	АС	АС/DC	АС/DC
Количество компонентов	Большое	Среднее	Среднее	Низкое
Потребление тока	Среднее	Низкое	Низкое	Среднее
Стоимость	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая



Рис. 1. Внутреннее устройство датчика SAA-200

поток  $B_1$ , пронизывающий датчик Холла, увеличивается или уменьшается пропорционально измеряемому току (кабеля, токовой шины и т. д.), проходящему сквозь сердечник. Сигнал от датчика Холла подается на операционный усилитель, выход которого соединен с катушкой обратной связи, по которой течет ток обратной связи, вызывающий встречный магнитный поток  $B_2$ . Обмотка обратной связи сделана так, чтобы магнитный поток  $B_2$  был равен  $B_1$ .

**Пример**

$$I_1 \times N_1 = I_2 \times N_2.$$

Если  $I_1 = 200 \text{ A}$ ,  $N_1 = 1$  виток,  $N_2 = 4000$  витков, то имеем:  $200 \times 1 = I_2 \times 4000 = 200 \text{ A}$ . Отсюда получаем  $I_2 = 0,05 \text{ A}$ .

Этот означает, что через измерительный резистор протекает ток 0,05 А. Таким образом, измеряемый ток  $I_1$  определяется путем измерения напряжения на резисторе. Этот общепринятый метод обеспечивает отличную стабильность и точность.

**Линейность выходной характеристики**

При использовании магнито-пропорционального метода магнитный поток в сердечнике возрастает пропорционально увеличению измеряемого тока, и предел измерения тока определяется уровнем, при котором происходит насыщение сердечника (рис. 3). В отличие

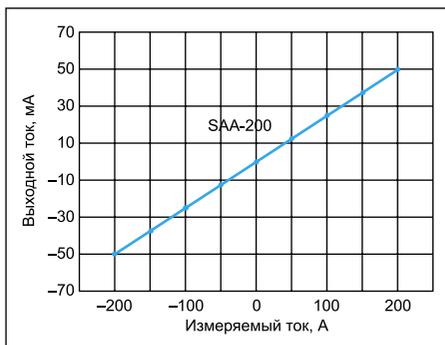


Рис. 3. Пример выходной характеристики

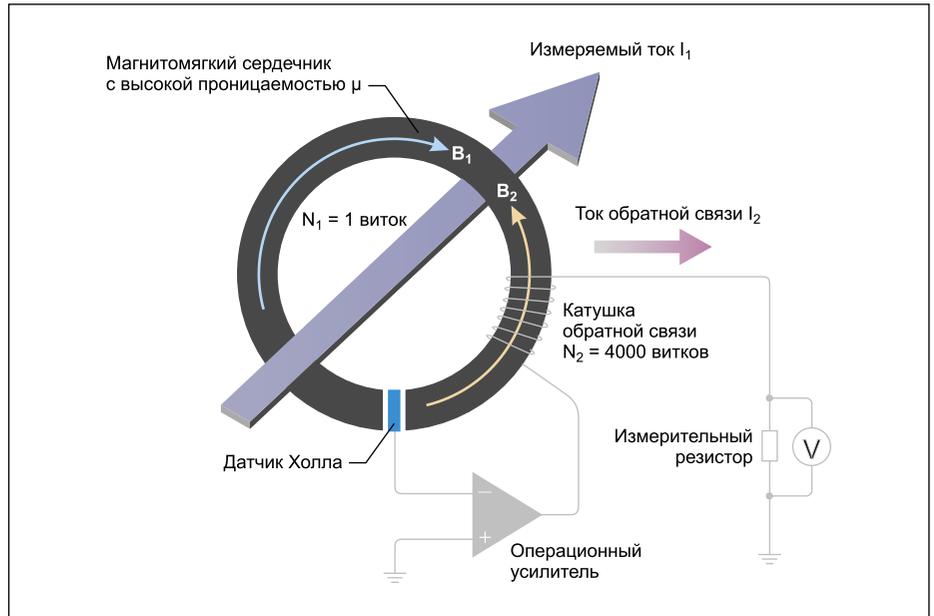


Рис. 2. Принцип работы высокоточного датчика SAA-200:  $I_1$  (А) — измеряемый ток;  $N_1$  (виток) — количество витков проводника с измеряемым током;  $I_2$  (А) — ток катушки обратной связи;  $N_2$  (виток) — количество витков катушки обратной связи в соответствии с уравнением

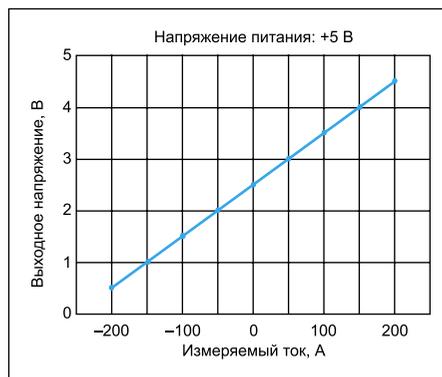


Рис. 4. Выходная характеристика датчика нового поколения

Таблица 2. Сравнение датчиков текущего и нового поколений

Параметры	Текущее поколение датчиков	Новое поколение датчиков тока
Метод	Магнитный баланс	Магнитный баланс
Напряжение ИП	$\pm 12 \text{ В}$	$+5 \text{ В}$
Выходной параметр	Выходной ток	Выходное напряжение
Примеры	$+200 \text{ A} \rightarrow +50 \text{ mA}$	$+200 \text{ A} \rightarrow +4,5 \text{ В}$
	$0 \text{ A} \rightarrow 0 \text{ mA}$	$0 \text{ A} \rightarrow +2,5 \text{ В}$
	$-200 \text{ A} \rightarrow -50 \text{ mA}$	$-200 \text{ A} \rightarrow +0,5 \text{ В}$

от этого при использовании метода магнитного баланса магнитный поток внутри сердечника равен нулю — благодаря уравнивающему магнитному потоку, вызванному действием катушки обратной связи, как описано выше. Магнитное насыщение отсутствует даже при измерении больших токов, и линейность выходной характеристики всегда очень хорошая и не зависит от линейности характеристики датчика Холла (теоретически выходная характеристика абсолютно линейна).

**Температурная стабильность**

Коэффициент усиления датчика Холла в сильном магнитном поле зависит от окружающей температуры, поэтому и точность измерения тока также зависит от температуры. Однако на датчик тока, сделанный

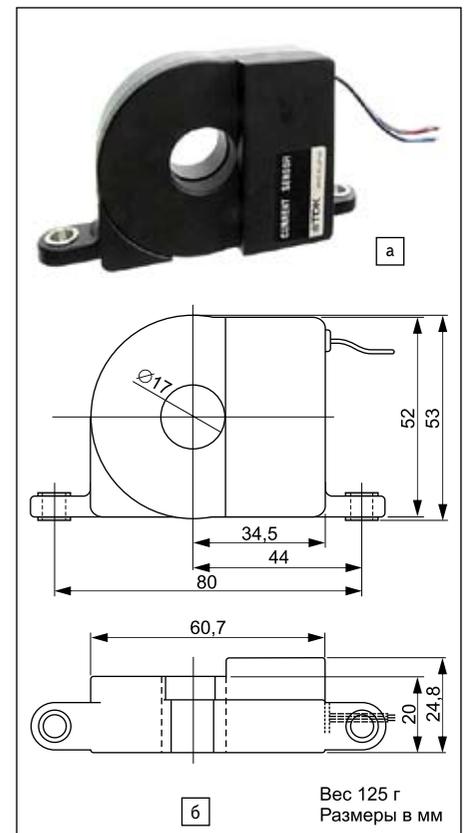


Рис. 5. а) Внешний вид датчика; б) форма и размеры

Таблица 3. Основные характеристики датчика SAA-200

Характеристика	Диапазон
Измеряемый ток, А	-200...+200
Рабочее напряжение, В	$\pm 12 \pm 5\%$
Рабочий диапазон температуры, °С	-40...+80
Коэффициент трансформации тока	4000/1
Точность измерения, А	$\pm 0,8$ (max)
Погрешность усиления, %	$\pm 0,4$ (max)
Суммарная погрешность, А	+0,8 (max) при температурах -30...-80 °С $\pm 1,1$ (max) при температурах -40...-30 °С
Потребляемый ток, мА (не включает выходной ток)	25 (max)
Время срабатывания, мкс	10 (max)
Сопротивление изоляции, МОм	100 (min)

по методу магнитного баланса, влияет только температурный сдвиг, а в целом температурная характеристика близка к идеальной и обеспечивает высокую точность измерения в широком температурном диапазоне.

### Дальнейшее развитие

Напряжение источников питания в 5 В (рис. 4) становится общепринятым для последнего поколения электронных блоков управления (табл. 2). Кроме того, дабы соответствовать требованиям рынка, вместо источников тока все чаще используют источники напряжения — из-за простоты их использования. В то же время диапазон измерения тока планируется расширить с  $\pm 200$  до  $\pm 300$  А.

Особенности датчиков SAA-200 (рис. 5, табл. 3):

- выходная характеристика с отличной помехоустойчивостью;

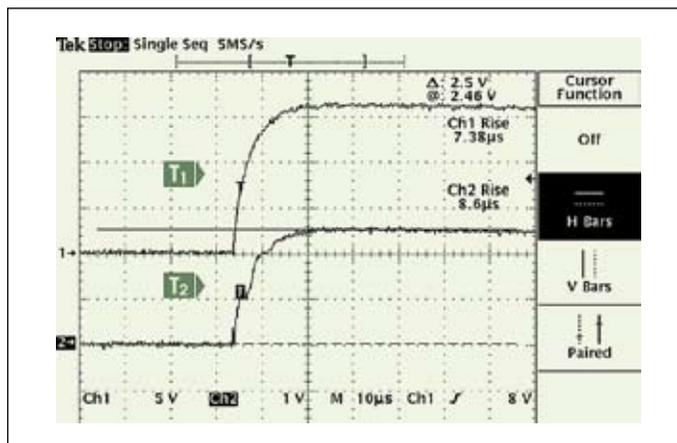


Рис. 6. Осциллограмма времени отклика:

T1 — диаграмма измеряемого тока:  
время нарастания от 10 до 90% (200 А) составляет 7,38 мкс;  
T2 — диаграмма выходного тока датчика: время нарастания от 10 до 90% — 8,6 мкс;  
T3 — время отклика:  $T3 = T2 - T1 = 8,6 - 7,38 = 1,22$  мкс

- высокая точность измерений, не зависящая от величины измеряемого тока и окружающей температуры;
- бесконтактный метод, обеспечивающий полную изоляцию от токоведущих шин (электрических проводов).

Будучи установленным на транспортные средства, датчик успешно прошел тесты на надежность. На рис. 6 представлен пример работы датчика.