

Новые датчики LEM:

большие токи в прежних габаритах

Поскольку силовые электронные системы становятся все миниатюрнее, LEM представляет три новых семейства компактных датчиков тока прямого усиления, способных измерять более высокие токи, чем датчики прежних поколений с такими же габаритами, или аналогичные токи при меньшем размере. Высокая производительность достигается благодаря использованию единой специализированной микросхемы ASIC, выполняющей функции обработки сигнала и аналоговой коррекции. В статье описаны новые датчики и их основные электрические характеристики, а также даны некоторые примеры применения.

Дэвид Барбаджелло
(David Barbagallo)

Пьер Турпин
(Pierre Turpin)

Тома Арже
(Thomas Hargé)

Введение

Развитие датчиков для измерения тока, например, в источниках бесперебойного питания (UPS) и в системах возобновляемых источников энергии идет в сторону уменьшения физических размеров, расширения токового диапазона, снижения времени отклика, что обусловлено повышением частот переключения, и, конечно, в сторону снижения стоимости. Простота датчиков прямого усиления делает их привлекательными для решения таких задач.

В статье представлены три новых семейства датчиков, способных измерять номинальные токи до 800 А RMS и детектировать токи перегрузки, семикратно превышающие номинальное значение.

Миниатюрные датчики HLSR xx/SP10 являются расширением существующего семейства HLSR с интегрированным первичным проводником; они монтируются на печатную плату и представляют собой лучший выбор, когда важен малый физический размер. Устройства двух других семейств, HOYS и HOYL, крепятся на токовую шину и имеют новую магнитную систему, оптимизированную с точки зрения веса и габаритов. Датчики прямого усиления

HLSR и HO, представленные LEM пять лет назад, обеспечивают оптимальное соотношение размеров, точности, быстродействия и стоимости, но номинальный первичный ток семейства HLSR был ограничен на уровне 50 А из-за насыщения ферритового магнитопровода [1].

Часто для выполнения требований по точности и быстродействию при измерении больших токов используются датчики компенсационного типа, однако вторичная обмотка, компенсирующая магнитное поле, создаваемое измеряемым током, увеличивает размеры датчика, потребляемый ток, сложность конструкции и цену. Для работы выходных каскадов датчиков на большие токи необходим мощный источник питания. И здесь предпочтительным решением становится использование архитектуры прямого усиления, а присущие ей проблемы устраняются за счет применения сложной специализированной микросхемы ASIC в качестве магниточувствительного элемента. Такая технология ранее уже реализовывалась в слаботочных датчиках: любые погрешности по чувствительности или смещению, включая температурный дрейф, измеряются в ходе производственных тестов ASIC и сохраняются в ее памяти. Необходимые поправки непрерывно вносятся в процессе измерения, и большинство электрических параметров приближается к уровню датчиков компенсационного типа предыдущего поколения.

На рис. 1 показан один из сильноточных сенсоров HLSR xx/SP10. Он имеет такие же малые габариты, как и уже выпускаемые датчики семейства, однако номинальный ток увеличен с 50 до 120 А благодаря применению нового FeSi-магнитопровода. Во всех случаях измеряемое максимальное значение тока превышает номинальное в 2,5 раза. Датчик HLSR имеет встроенный первичный проводник, который монтируется на печатную плату. Еще четыре вывода вторичной цепи предназначены для подключения питания, для выходного напряжения V_{OUT} и опорного напряжения V_{REF} . Разница $V_{OUT} - V_{REF}$ пропорциональна измеряемому току.

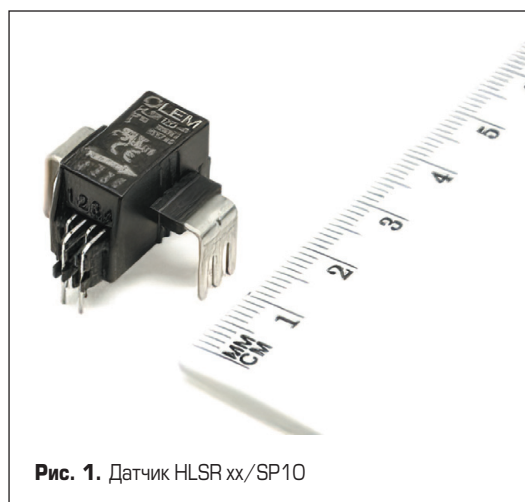


Рис. 1. Датчик HLSR xx/SP10

На рис. 2 показаны новые датчики серий HOYS и HOYL, одни поменьше и другие побольше, для установки на шину до 21×12 мм и 39×12 мм соответственно. Вместе они покрывают токовый диапазон 100–800 А при максимальной измеряемой величине тока 2000 А. Эти датчики имеют пятый вывод детектора тока перегрузки (OCD), предназначенный для индикации состояния перегрузки по измеряемому току. Компактные размеры удалось получить за счет оптимизации магнитопровода и конструкции, а также благодаря отсутствию других электронных компонентов, кроме ASIC с элементами Холла и двух конденсаторов.

Характеристики датчиков

Напряжение питания датчиков составляет 3,3 или 5 В, выходной сигнал формируется относительно половины напряжения питания (также другие значения опорного напряжения могут быть заданы внешним источником напряжения). Кроме размера и способа установки, разница в характеристиках HLSR и HOY обусловлена главным образом особенностями их магнитных цепей.

В реальных применениях скорости переключения повышаются, и поэтому необходимо малое время отклика для быстрого детектирования резких всплесков тока и состояния короткого замыкания. В новых датчиках микросхема CMOS ASIC содержит ячейки Холла в качестве магниточувствительного элемента, а также схему обработки сигналов. Высокая тактовая частота обеспечивает быструю реакцию сенсора (менее 3,5 мкс), а фильтрующие цепи уменьшают шумы на выходе датчика за счет ограничения полосы частот ASIC до величины, достаточной, чтобы получить необходимую форму токового сигнала.

Важнейшими характеристиками сильноточных датчиков являются линейность и (если первичный проводник входит в состав датчика) тепловыделение. Для проверки этих параметров новых датчиков была проведена комплексная серия моделирования и испытаний.

Возможности магнитной цепи HLSR xx/SP10 оценивались на тестовом датчике с током $I_{PN} = 180$ А, что на 50% выше номинального значения, путем измерения линейности. Результат для токов вплоть до $I_{PM} (\pm 450$ А) показан на рис. 3а. Кривая демонстрирует разницу между измеренным выходным значением и идеальным линейным выходом. По максимальной полученной ошибке (0,5% I_{PN}) видно, что справочное значение линейности для датчиков этой серии обеспечивается с хорошим запасом. (Обратите внимание, что для этого теста использовались короткие импульсы тока, поскольку для непрерывного режима ток 450 А недопустимо большой.)

Возможности датчиков HOYS и HOYL оцениваются показателями линейности на рис. 3б и 3в соответственно. В этих тестах первичный ток покрывает диапазон $\pm I_{PM}$, однако нелинейность выражается относительно I_{PN} , то есть требования более жесткие.

Для датчика HLSR xx/SP10, имеющего в своем составе первичный проводник, важно знать

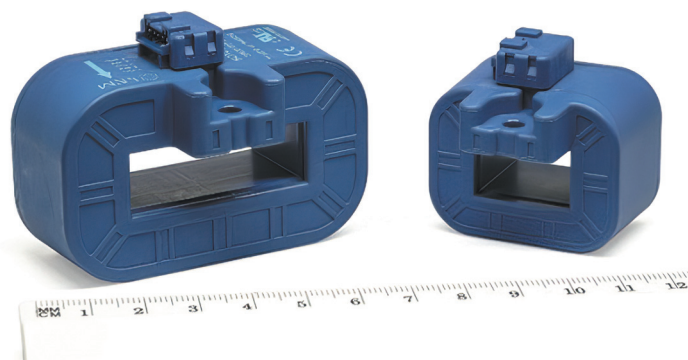


Рис. 2. Датчики HOYL (слева) и HOYS (справа)

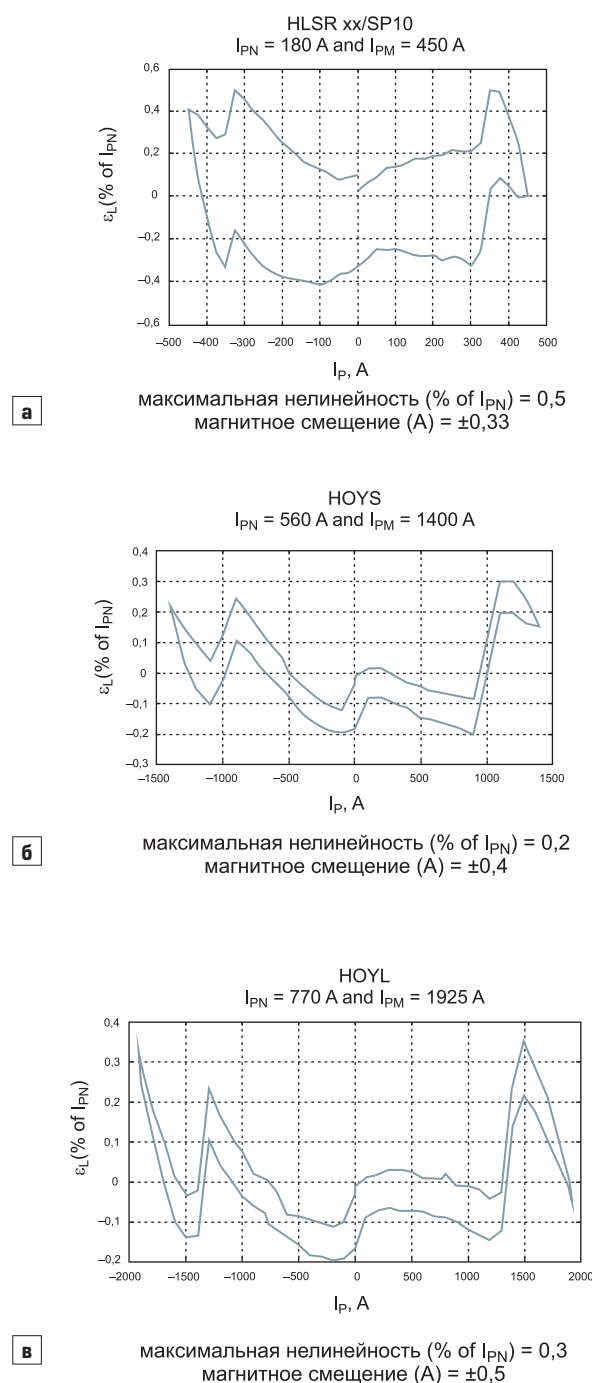


Рис. 3. а) Линейность и магнитное смещение датчика HLSR xx/SP10; б) линейность и магнитное смещение датчика HOYS; в) Линейность и магнитное смещение датчика HOYL

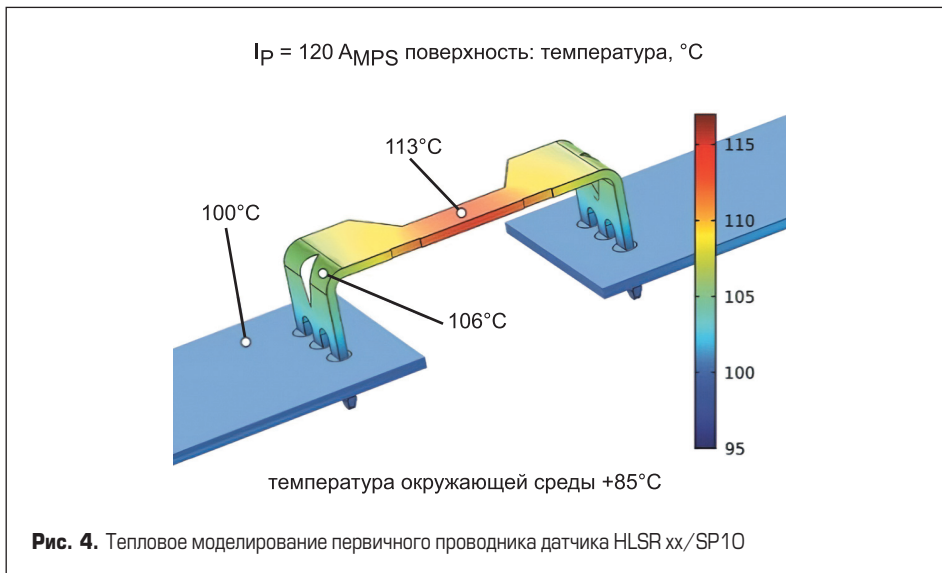


Рис. 4. Тепловое моделирование первичного проводника датчика HLSR xx/SP10

тепловые характеристики при прохождении большого тока. Очевидно, что нагрев в данном случае зависит от характеристик печатной платы, на которой смонтирован датчик, а также от его параметров. Современные технологии производства PCB позволяют пропускать максимальные токи порядка 100 А: в нашем

примере проведено моделирование всех четырех слоев печатной платы; конструкция платы и охлаждение за счет естественной конвекции ограничивают нагрев паяных соединений на уровне +100 °С при окружающей температуре +85 °С. На рис. 4 приведены результаты испытаний — показан только первичный про-

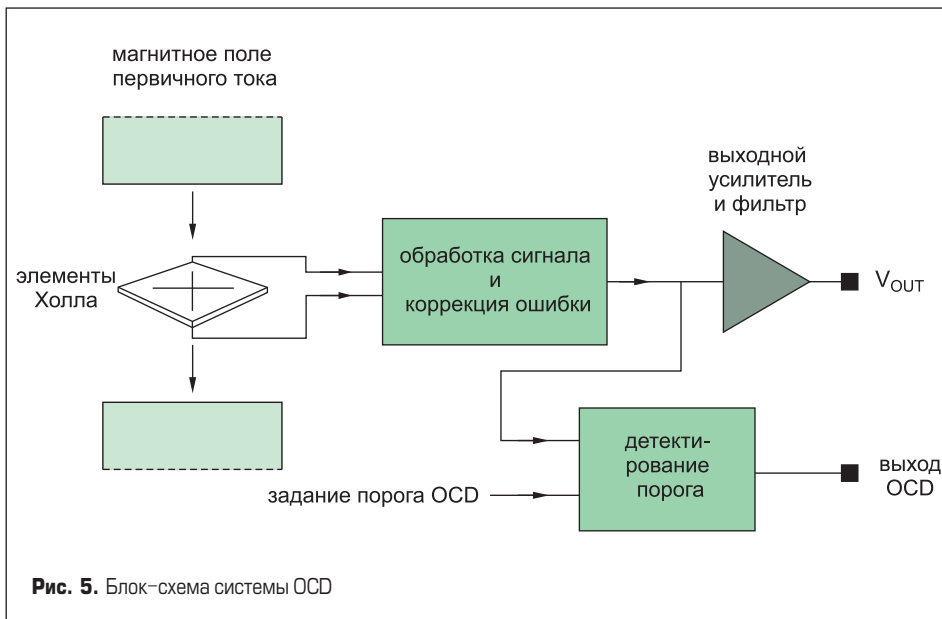


Рис. 5. Блок-схема системы OCD

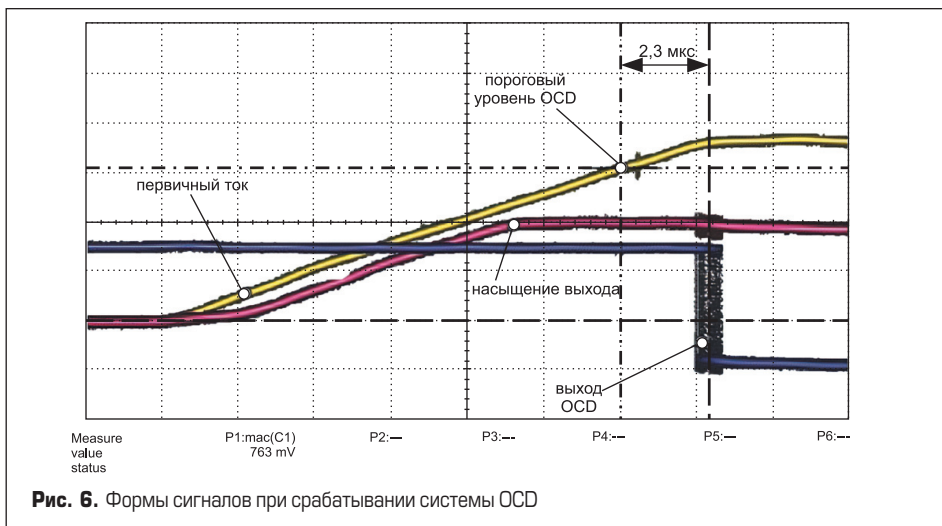


Рис. 6. Формы сигналов при срабатывании системы OCD

водник, однако при моделировании учтено, что он расположен, как обычно, в корпусе датчика. При постоянном токе 120 А максимальный нагрев проводника стабилизируется на уровне +113 °С, что ниже предельного максимума +120 °С.

Полезной особенностью датчиков семейства HOYx является возможность обнаружения перегрузки по току (OCD). Сигнал на вход OCD берется до выходного усилителя и фильтров датчика (упрощенная блок-схема на рис. 5). Это дает два преимущества: сигнал здесь имеет меньшую амплитуду, поэтому можно продетектировать ток, уровень которого превышает величину, насыщающую выходной каскад датчика, кроме того, время реакции на перегрузку меньше, чем на выходе. По умолчанию порог OCD установлен на $2,93 \times I_{PN}$, но при заказе датчиков можно выбрать 15 других кратных значений от $0,68 \times I_{PN}$ до $7,06 \times I_{PN}$. Точные значения кратных величин даются в спецификациях [2]: для версии 800-А датчика HOYL максимальный уровень порога OCD достигает 5,648 А. Отметим, что погрешность срабатывания OCD составляет 10–20% в зависимости от выбранного уровня, но этого более чем достаточно для реализации функции быстрого предупреждения, которую выполняет OCD.

На рис. 6 показаны примеры сигналов на выходе OCD: первичный ток (желтая кривая) поднимается выше уровня, насыщающего выход датчика (красная кривая); спустя 2,3 мкс после пересечения порога OCD его выход (голубая кривая) падает до 0 В. Выход OCD представляет собой открытый сток, несколько таких выходов можно подключить к одной контрольной цепи. Растянутое время отклика OCD обусловлено тем, что первичный ток не синхронизирован с тактовым генератором датчика.

Новые датчики имеют отличные изоляционные характеристики. Во всех сенсорах HLSR и HOY первичная и вторичная цепи полностью гальванически изолированы. Например, импульсный тест «1,2/50 мкс» допускает напряжение изоляции 8 кВ для датчиков HLSR и 9,6 кВ для большего семейства HOYL.

Еще одним важным фактором является надежность: конструкция датчиков прямого усиления достаточно проста, они содержат только один активный компонент (ASIC с элементами Холла) и очень небольшое количество паяных соединений (в серии HLSR их нет вообще). Поэтому надежность данного типа датчиков очень высока: интенсивность отказов FIT = 3,4 соответствует наработке MTTF 294 170 980 ч.

В таблицу сведены основные электрические характеристики датчиков HLSR xx/SP10 и HOY. Полная информация содержится в технических спецификациях.

Пример применения 1: UPS

Источники бесперебойного питания (UPS) развиваются по двум технологическим направлениям: применение более быстрых полупроводниковых ключей позволяет уменьшить размеры реактивных элементов; сокращение

физических размеров электронных компонентов дает возможность устанавливать их на печатной плате — датчики тока должны следовать этой тенденции, чтобы не доминировать на поверхности PCB. При этом большие токи могут передаваться по нескольким или всем слоям многослойных PCB — некоторые слои

для этого могут иметь большую толщину. Датчик HLSR xx/SP10 благодаря малым габаритам, большому измеряемому току и монтажу на плате идеально подходит для решения таких задач. На рис. 7 показана упрощенная схема устройства, в котором HLSR XX/SP10 может быть установлен в контуре управления

силовыми ключами, используемыми как для AC/DC- так и DC/AC-преобразования.

Пример применения 2: широкий диапазон измерения и функция OCD для турбины ветрогенератора

В этих применениях полезными характеристиками датчиков серии HOYx являются большой диапазон измеряемых токов и функция OCD. Генератор, приводимый в движение ветротурбиной, может использовать энергию от сети, на которую он работает, для своих статорных обмоток. Как видно на рис. 8, выход AC/AC-преобразователя при сложении с AC-током от генератора создает необходимую форму сигнала 50 Гц для выдачи в питающую сеть.

Если сетевая нагрузка потребляет слишком большой ток, мощность генератора может оказаться недостаточной, что усугубляет влияние чрезмерной нагрузки, и при отсутствии режима LVRT (прямая подача низковольтного напряжения) выход из строя одного генератора по сети способен привести к отказу остальных. Частью системы LVRT является обнаружение перегрузки по току в сети, здесь важен большой диапазон измерения тока датчика HOYx; функция OCD полезна для принятия решений о корректирующих мерах и подтверждения того, что выбросы тока отсутствуют. Малый физический размер датчиков HOYx упрощает их применение в подобных приложениях.

Заключение

В статье представлены новые датчики, предназначенные для измерения токов до 2000 А и созданные на основе простой и недорогой архитектуры прямого усиления. Во многих случаях их характеристики позволяют использовать эти устройства вместо более сложных датчиков. Компактные размеры, низкое напряжение питания и наличие функции OCD в серии HOYx предоставляют разработчикам новые возможности по проектированию эффективных и экономичных систем.

Литература

1. www.lem.com/en/file/3135/download
2. www.lem.com/en/product-list?keys=HOYL, www.lem.com/en/product-list?keys=HOYS

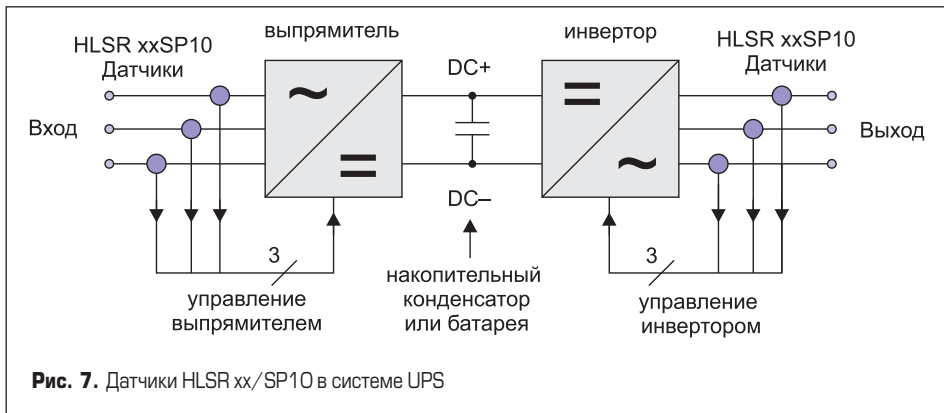


Рис. 7. Датчики HLSR xx/SP10 в системе UPS

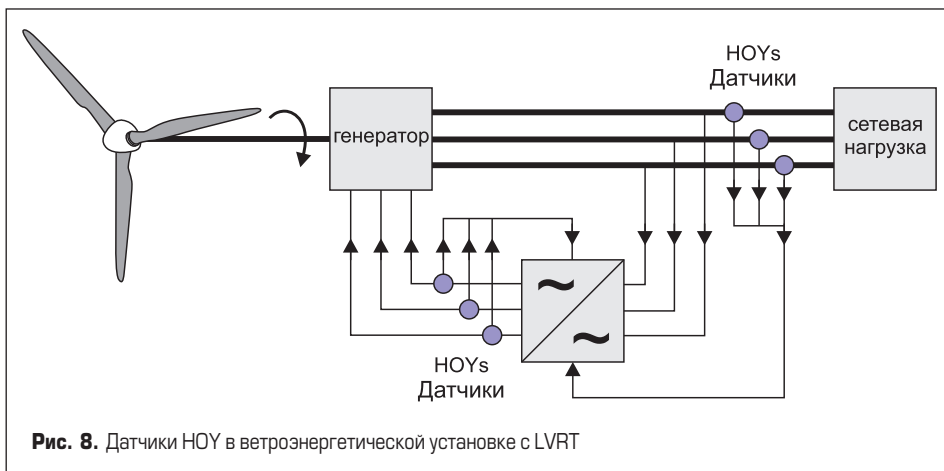


Рис. 8. Датчики HOY в ветроэнергетической установке с LVRT

Таблица. Основные электрические характеристики датчиков HLSR xx/SP10 и HOY

| Параметр | HLSR xx/SP10 | HOYS/HOYL | Примечание |
|---|--------------|------------|--|
| Номинальный ток, I _{PN} , А | 80–120 | 100–800 | |
| Максимальный ток, I _{PN} , А | 200–300 | 250–2000 | |
| V _{OUT} – V _{REF} , мВ | 800 | | Питание 5 В; входной ток = I _{PN} |
| Время отклика, мкс | 2,5 | 3,5 | |
| Полоса частот [–3 дБ], кГц | 250 | 180/140 | Малосигнальный параметр |
| Шум на выходе, мВpp | 8,8 | 5,8–8,6 | В полосе частот до 100 кГц |
| Функция OCD | Нет | Есть | |
| Суммарная погрешность, % от I _{PN} | ±1 | ±1...±1,25 | При +25 °С |
| Суммарная погрешность, % от I _{PN} | ±3,8 | ±3,8...±4 | При +105 °С |
| Импульсное напряжение изоляции, кВ | 8 | 9,6 | 1,2/50 мкс нарастание/спад |
| Площадь основания, см ² | 3,87 | 11/17,8 | |