

# Современная силовая электроника:

## разворот на Восток и «доступная функциональность».

### Часть 2. NOVOSENSE Microelectronics

**Денис Новоторженцев**

denis\_n@npkexpert.ru

**Андрей Колпаков**

akolpakov@npkexpert.ru

#### Знакомьтесь: NOVOSENSE

Компания NOVOSENSE Microelectronics, основанная в 2013 году, занимается разработкой и производством интегральных цифровых и аналоговых микросхем, предназначенных для применения в силовых преобразователях различного назначения. Основные направления деятельности компании — обработка сигналов сенсоров, системные интерфейсы, управление силовым приводом.

NOVIOSENSE предоставляет широкую гамму интегральных схем и готовых решений, включая датчики, сигнальные изоляторы, драйверы затворов, контроллеры управления источниками питания, которые широко используются на рынках автомобилестроения, промышленного контроля, информационных коммуникаций и бытовой электроники. Многие продукты компании являются аналогами популярных IC Power Integration, Infineon и Texas Instruments.

Со всей линейкой интегральных микросхем, выпускаемых Novosense, можно ознакомиться на сайте [2]. В рамках данной статьи мы подробно расскажем о компонентах, предназначенных для применения в электроприводе (рис. 1).

#### NOVOSENSE: компоненты для промышленного привода

Электропривод является одним из самых ответственных узлов современных промышленных и транспортных систем. Его эффективность, быстродействие и точность напрямую определяют характеристики всего изделия. Поскольку большинство реальных сценариев работы силового конвертора предполагает взаимодействие человека и компьютера в условиях высокого сетевого напряжения, к его изоляционным характеристикам, безопасности и надежности предъявляются очень жесткие требования.

Компания NOVIOSENSE предоставляет широкий спектр изолированных интегральных схем для построения цифрового электропривода, структура которого показана на рис. 1 (соответствующие блоки выделены синим цветом). В рамках статьи рассмотрим следующие компоненты:

- Драйверы затворов серии NSi66\*1.
- Интерфейсы RS-485 NSi83085.
- Изолирующие усилители с дискретизацией напряжения/тока NSi131\*.
- Датчики тока NSM201x.

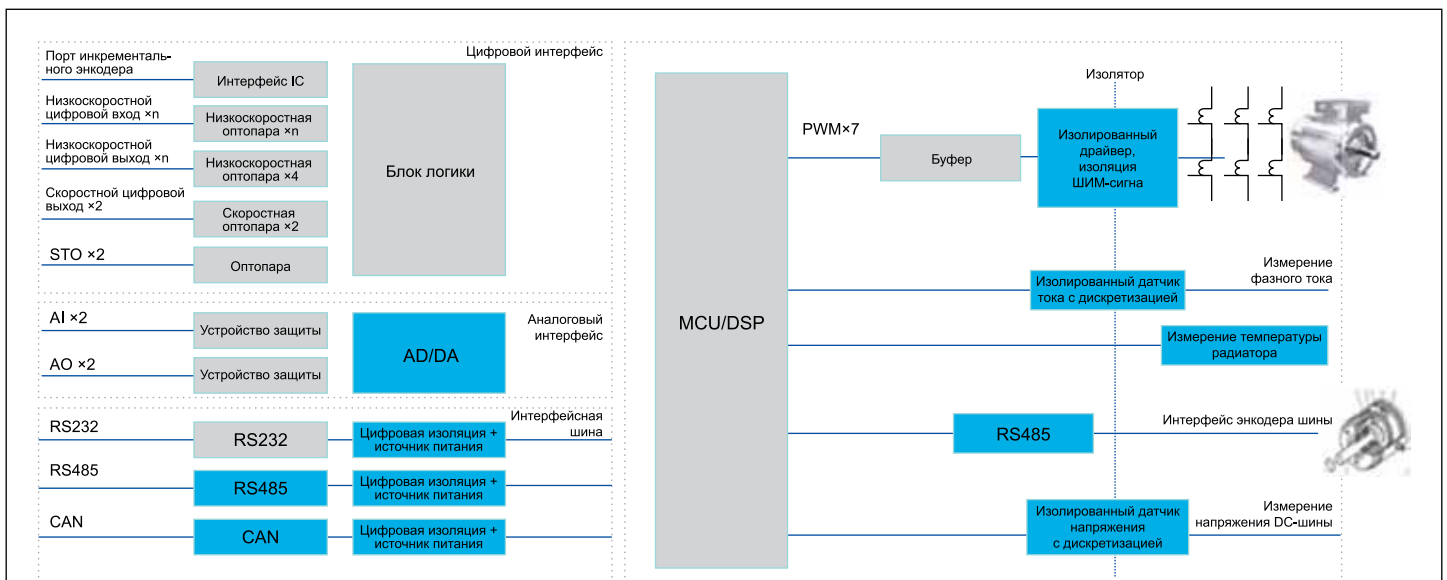


Рис. 1. Состав промышленного привода, компоненты NOVOSENSE выделены синим цветом

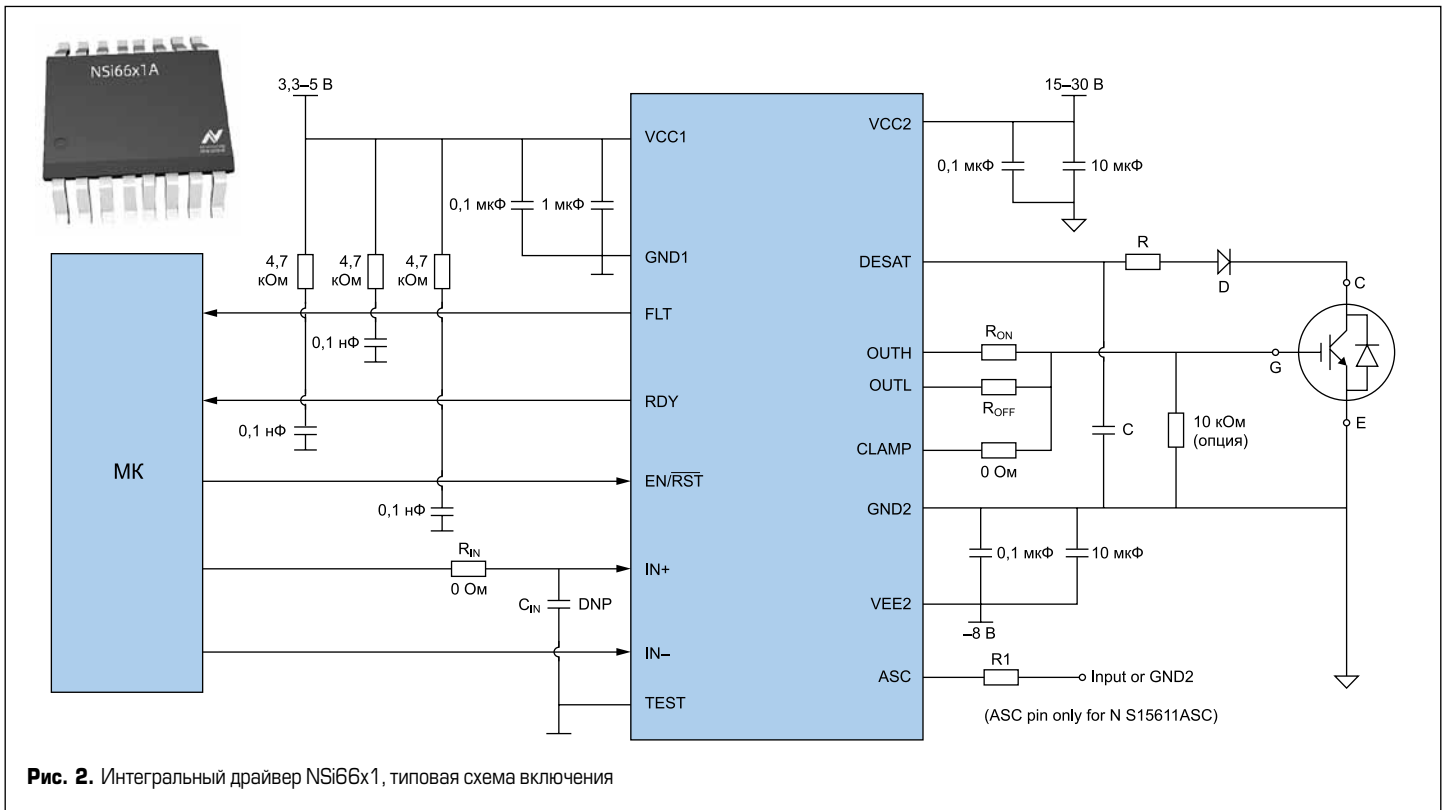


Рис. 2. Интегральный драйвер NSi66x1, типовая схема включения

### Устройства управления изолированными затворами

#### Одноканальный изолированный драйвер NSi66x1

Микросхема NSi6611 является аналогом SID11x2K от Power Integration и 1ED2x (серия EiceDRIVER 1ED) от Infineon Technologies. Это одноканальный изолированный драйвер затвора, предназначенный для управления IGBT, MOSFET и SiC MOSFET в широком спектре применений и поддерживающий все необходимые сервисные функции.

Типовая схема включения NSi6611 приведена на рис. 2. Устройство имеет отдельные выходы, что позволяет контролировать длительность нарастания и спада сигнала, поддерживает режим выходного напряжения rail-to-rail, максимальный ток включения и выключения затвора составляет 10 А. Микросхема NSi6611 обеспечивает защиту от падения напряжения питания UVLO, активное ограничение эффекта Миллера, защиту от перегрузки по току DESAT в режиме плавного отключения. При обнаружении аварийной ситуации (короткое замыкание, снижение сигнала питания) сигнал неисправности формируется на отдельном выводе.

Основные характеристики NSi6611:

- Напряжение питания (входной каскад): 3–5,5 В.
- Напряжение питания (выходной каскад): до 32 В.
- Пиковый ток включения/выключения затвора: 10 А/10 А.
- CMTI: 150 кВ/мкс.
- Типовое время прохождения сигнала: 80 нс.
- Максимальная погрешность длительности выходного сигнала: 30 нс.
- Минимальная длительность сигнала управления: 40 нс.

• Функции защиты:

- активное ограничение «плато Миллера»;
- защита от перегрузки по току DESAT;
- защита от падения напряжения UVLO;
- режим плавного отключения;
- отдельный выход сигнала ошибки и сброса.

• Диапазон рабочих температур: –40...+125 °С.

• Напряжение изоляции: 1500 В(rms) или 2120 В (DC).

Многие из описанных опций хорошо известны специалистам, тем не менее, напомним в чем состоит функция активного ограничения эффекта Миллера (Active Miller Clamp). Она предназначена для исключения ложных срабатываний при высоких скоростях коммутации и достаточно редко включается в стандартные устройства управления затворами. Схема NSi6611 содержит отдельный MOSFET-транзистор, замыкающий цепь «затвор-эмиттер» после достижения порогового напряжения  $V_{Gth}$ . Этот ключ шунтирует ток, наводимый через паразитную емкость Миллера  $C_{CG}$  который в противном случае поступал бы на выход драйвера  $V_{OUT}$ .

Модуль ограничения (Miller Clamp Module) с компаратором и шунтирующим MOSFET показан на функциональной схеме (рис. 3). После выключения внешнего силового транзистора открывается опозитный ключ в полумостовой схеме. Это приводит к мгновенному повышению напряжения коллектор-эмиттер IGBT (или сток-исток MOSFET), а образующийся крутой фронт  $dv/dt$  наводит большой ток смещения через паразитную емкость  $C_{CG}$  (емкость Миллера). Этот ток создает падение напряжения на резисторе затвора  $R_G$  что может вызвать ложное включение транзистора, возникновение сквозного тока и отказ силового модуля.

Компаратор контролирует напряжение на затворе (вывод CLAMP), цепь активного

ограничения активируется, когда  $V_{GE}$  опускается ниже порогового уровня  $V_{CLAMP\_TH}$  (2 В относительно VEE2). Отметим, что для гарантированного исключения ложного срабатывания, особенно при высокой скорости коммутации, необходим дополнительный источник питания, формирующий отрицательное напряжение выключения  $V_{G\_off}$ .

Драйвер NSi6611 обеспечивает необходимый уровень иммунитета к синфазным переходным помехам (CMTI) — 150 кВ/мкс, такое значение считается достаточным для устойчивой работы преобразовательной системы. Для гальванической развязки низковольтных и высоковольтных каскадов в NSi6611 использован емкостный изолирующий барьер. Преобразование управляющих импульсов в пакеты радиочастотных (RF) сигналов блоком MOD производится с помощью технологии модуляции OOK (On/Off Keying), ключевыми преимуществами которой является высокая помехозащищенность и низкий уровень EMI. После передачи через изолирующий барьер RF пакеты демодулируются узлом DEMOD и преобразуются в импульсы управления затвором.

Драйвер имеет два входа (неинвертирующий IN+ и инвертирующий IN–), соединенных с логическим блоком Input Logic, поддерживающим функцию блокировки INTERLOCK и нормирующим входные импульсы по форме и амплитуде.

В выходном каскаде драйвера использованы транзисторы MOSFET с низким сопротивлением канала, поэтому устройство имеет большую нагрузочную способность и минимальные потери. Выходы включения/выключения затвора разделены (OUTH/OUTL), что делает независимым управление временем нарастания и спада. Для формирования обобщенного сигнала неисправности и связи с другими эле-

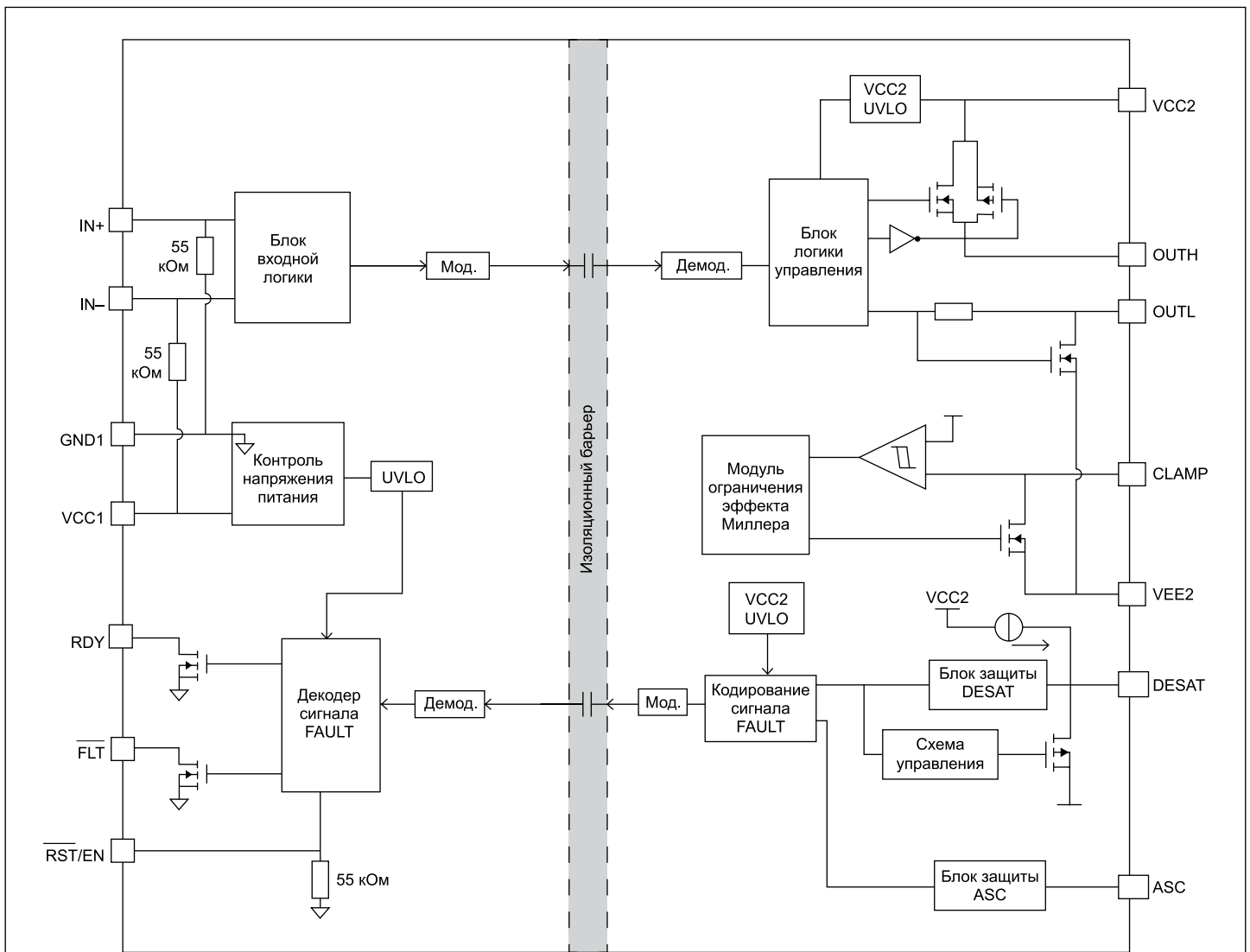


Рис. 3. Функциональная схема NSi6611

ментами системы предусмотрен двунаправленный вывод ASC.

Драйвер NSi6611 может быть использован в инверторах приводов, импульсных источниках питания и других устройствах, от которых требуются высокая надежность, большая плотность мощности и эффективность.

**Полумостовой изолированный драйвер NSi6602**

Изолированные двухканальные драйверы серии NSi6602 предназначены для управления IGBT/MOSFET-транзисторами на частотах до 2 МГц. Типовая схема включения показана на рис. 4. Максимальный выходной ток включения/выключения составляет 4 А/6 А, задержка распространения сигнала не превышает 25 нс при допуске 5 нс. Микросхема NSi6602 обеспечивает емкостную изоляцию 2500 В(rms) в корпусе 5×5 мм LGA13 в соответствии со стандартом UL1577, 3000 В(rms) в узком корпусе SOIC16 или 5700 В(rms) в широких корпусах SOIC16 и SOIC14.

Устройство имеет достаточный иммунитет к синфазным переходных помехам (СМТИ) — 100 кВ/мкс, что поддерживает стабильную работу системы. Максимальное напряжение питания драйвера по выходу составляет 28 В,

диапазон напряжения питания входных каскадов 2,7–5 В. По этим выводам имеется защита от понижения напряжения (UVLO).

Основные характеристики NSi6602:

- Напряжение питания (входной каскад): 2,7–5,5 В.
- Напряжение питания (выходной каскад): до 28 В.
- Пиковый ток включения/выключения затвора: 4 А/6 А.
- СМТИ: 100 кВ/мкс.
- Типовое время задержки прохождения сигнала: 19 нс.
- Максимальная погрешность длительности выходного сигнала: 6 нс.
- Минимальная длительность сигнала управления: 20 нс.
- Защита от падения напряжения UVLO по всем выводам питания.
- Программируемое «мертвое время».
- Диапазон рабочих температур: –40...+125 °С.
- Напряжение изоляции: 1000 В(rms) или 1400 В (DC).
- Типы корпусов: LGA13, SOIC14, SOIC16.

В серию интегральных устройств управления затворами NOVOSENSE также входят неизолированные одиночные и полумостовые драйверы NDSi025 и NDSi624, с харак-

теристиками которых можно ознакомиться на сайте компании [2].

**Интерфейсы**

**Высоконадежный изолированный полудуплексный/полнодуплексный приемопередатчик RS-485**

Серия изолированных UART RS-485 NSi8308xE разработана с применением технологии цифровой изоляции NOVOSENSE, IC NSi83085E представляет собой полудуплексный, а NSi83086E — полнодуплексный приемопередатчик RS-485. Типовая схема подключения к микроконтроллеру показана на рис. 5. Обе микросхемы соответствуют стандарту UL1577, имеют напряжение изоляции 5 кВ(rms) и отличаются малым энергопотреблением и высокой устойчивостью к электромагнитным помехам. Выводы устройства на стороне шины NIRS485 поддерживают защиту от электростатического разряда (ESD) ±10 кВ (относительно заземления на системном уровне).

Отказоустойчивая схема приемопередатчиков NSi8308xE формирует высокий логический уровень на выходе приемника при отключении или коротком замыкании его входа.

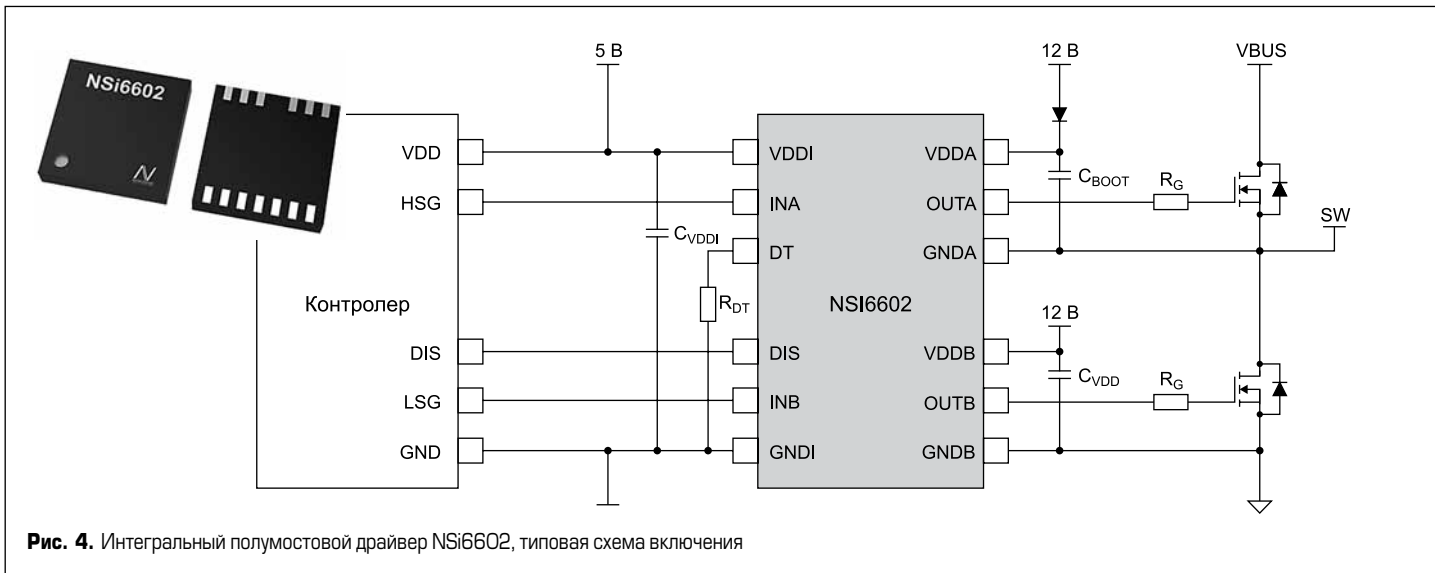


Рис. 4. Интегральный полумостовой драйвер NSi6602, типовая схема включения

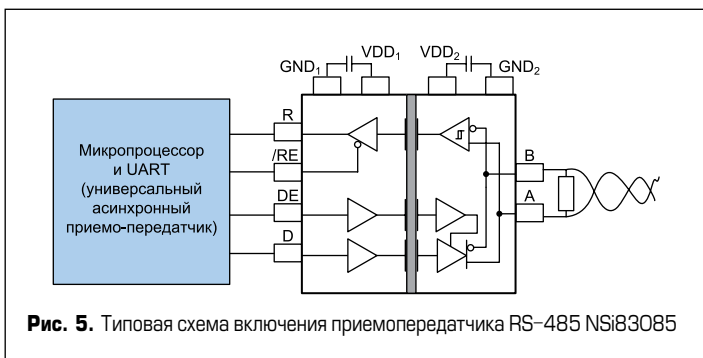


Рис. 5. Типовая схема включения приемопередатчика RS-485 NSi83085

Входной импеданс приемника равен 1/8 единичной нагрузки, что позволяет подключать к шине до 256 передатчиков. Скорость передачи данных NSi83085E составляет 12 Мбит/с, а NSi83086E — 16 Мбит/с.

Основные характеристики NSi8308хE:

- Напряжение изоляции: 5 кВ(rms).
- Питание логики: 3–5,5 В.
- Напряжение питания VDD1: 2,5–5,5 В.
- CMTI: ±150 кВ/мкс.
- Высокая электромагнитная совместимость (EMC) на системном уровне.
- Устойчивость к ESD: соответствие IEC61000-4-2 (±10 кВ ESD).
- Отказоустойчивый приемник.
- Поддержка до 256 передатчиков.
- Ресурс изолированного затвора: >60 лет.
- Диапазон рабочих температур: –40...+105 °С.
- Корпус: SOW16.

Кроме UART RS-485, компания NOVOSENSE выпускает широкую гамму интерфейсных IC, включая CAN/LIN, I<sup>2</sup>C, LVDS. С подробными характеристиками микросхем можно ознакомиться на сайте компании [2].

### Изолирующие усилители

#### Изолирующий усилитель с дискретизацией напряжения NSi1311 (аналог AMC1311x от Texas Instruments)

Функциональная схема прецизионного изолирующего усилителя NSi1311 показана на рис. 6. Для гальванической развязки входа и выхода использована технология емкостной изоляции NOVOSENSE, диапазон изменения входного сигнала составляет 0,1–2 В. Высокое входное сопротивление NSi1311 позволяет использовать его для подключения к высоковольтным резистивным делителям или другим источникам напряжения с большим выходным импедансом.

Устройство имеет фиксированный коэффициент усиления 1, доступно исполнение с дифференциальным аналоговым входом. Низкое смещение и малый дрейф коэффициента передачи обеспечивают точную трансляцию данных во всем диапазоне рабочих температур. Большая устойчивость к синфазным переходным помехам (CMTI) гарантирует, что усилитель будет выдавать точные и надежные результаты измерений даже при работе в мощных импульсных системах, таких как силовые инверторы привода двигателя. Функция отказоустойчивости (обнаружение пропадания питания в высоковольтных каскадах) упрощает проектирование и диагностику системы.

Основные характеристики NSi1311:

- Напряжение изоляции: до 5000 В(rms).

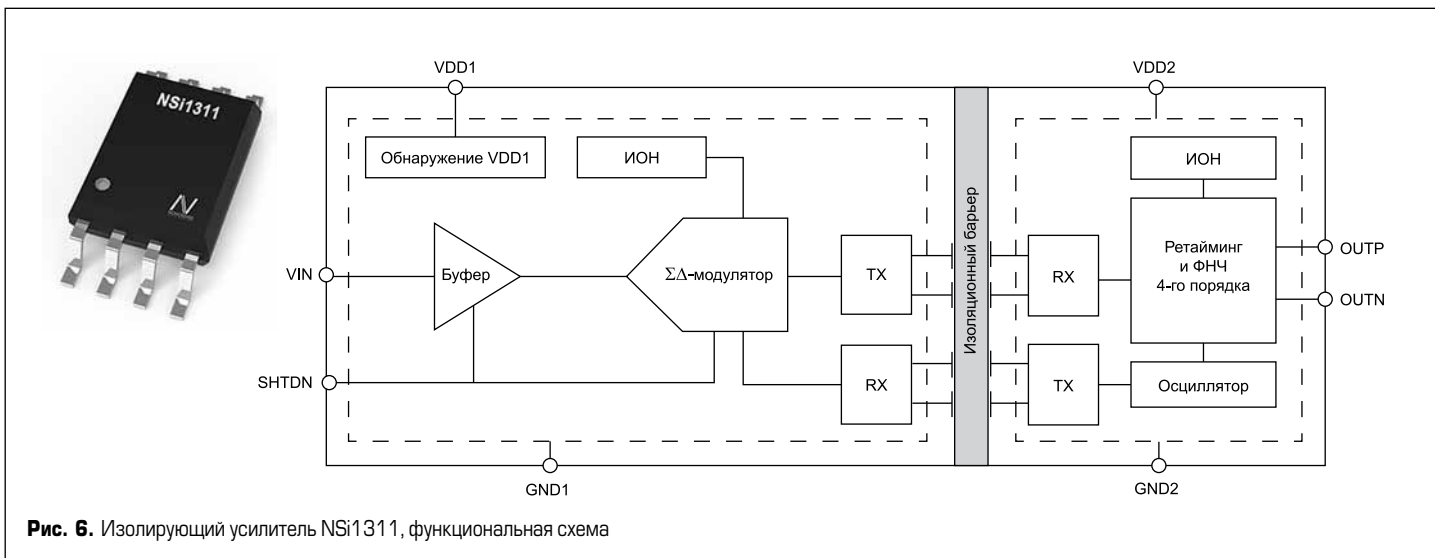


Рис. 6. Изолирующий усилитель NSi1311, функциональная схема

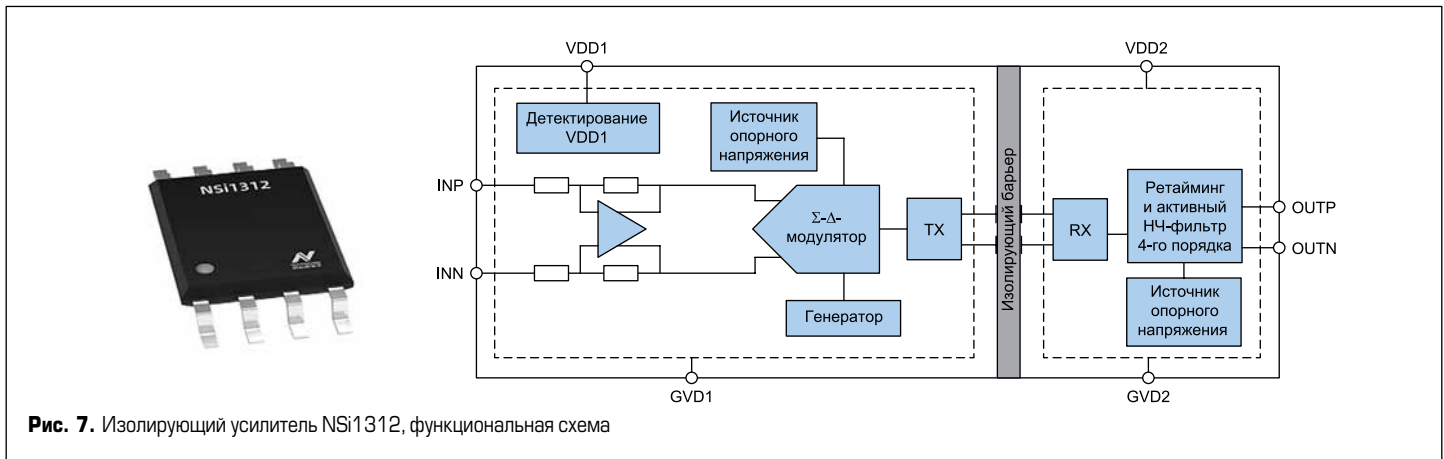


Рис. 7. Изолирующий усилитель NSi1312, функциональная схема

- Линейный диапазон входных сигналов: 0,1–2 В.
- Коэффициент передачи: 1 (фиксированный).
- Низкое напряжение смещения и температурный дрейф:  $\pm 1,5$  мВ (макс.),  $-5...+30$  мкВ/°С (макс.).
- Малая погрешность коэффициента передачи и температурный дрейф:  $\pm 0,3\%$  (макс.),  $\pm 45$  ppm/°С (макс.).
- Малая нелинейность и температурный дрейф:  $\pm 0,04\%$  (макс.),  $\pm 1$  ppm/°С (тип).
- Отношение сигнал/шум (SNR):
  - 82 дБ (типичное значение в полосе частот 10 кГц),
  - 70 дБ (типичное значение в полосе частот 100 кГц).
- Диапазон частот: 400 кГц.
- СМТИ: 150 кВ/мкс.
- Функции диагностики на системном уровне: мониторинг VDD1.
- Диапазон рабочих температур:  $-40...+125$  °С.
- Корпус: SOP8 (300 mil).

**Изолирующий усилитель с дискретизацией напряжения NSi1312**

Изолирующие усилители напряжения с высокоимпедансным входом NSi1312x поддерживают положительное и отрицательное входное напряжение, обеспечивают дифференциальный или однополюсный аналоговый выход. Функциональная схема устройства показана на рис. 7. Микросхемы серии NSi1312x используются в различных автомобильных и промышленных системах высокой мощности для изолированного измерения AC- и DC-сигналов.

Применение инновационной технологии емкостной изоляции и прецизионной обработки сигнала NOVOSENSE гарантирует гальваническую развязку с напряжением до 5000 В(rms), что необходимо для соответствия жестким требованиям современной индустрии. Высокий иммунитет к синфазным помехам СМТИ до 150 кВ/мкс поддерживает высокую точность обработки сигнала и низкий температурный дрейф.

**Основные особенности NSi1312:**

- Напряжение изоляции:
  - 5000 В(rms) корпус SOW8,
  - 3000 В(rms) корпус SOP8.
- Линейный диапазон входных сигналов:  $\pm 1,2$  В.
- Высокий входной импеданс: 1 МОм.
- Коэффициент передачи: 1 (фиксированный).
- Напряжение смещения и температурный дрейф:  $\pm 5$  мВ (макс.),  $-20$  мкВ/°С (тип.).
- Погрешность коэффициента передачи и температурный дрейф:  $\pm 1\%$  (макс.),  $\pm 30$  ppm/°С (тип.).
- Малая нелинейность и температурный дрейф:  $\pm 0,3\%$  (макс.),  $\pm 10$  ppm/°С (тип.).
- Отношение сигнал/шум (SNR): 78 дБ (тип. в полосе частот 50 кГц).
- Диапазон частот: 100 кГц.
- СМТИ: 150 кВ/мкс.
- Функции диагностики на системном уровне: мониторинг VDD1.
- Диапазон рабочих температур:  $-40...+125$  °С.

**Зачем нужен изолирующий усилитель в силовом конвертере?**

На рис. 8 показана типовая схема трехфазного входного выпрямителя с звеном постоянного тока и схемой измерения напряжения на DC-шине. Как правило, для этого используется высокоомный делитель с неизолированным операционным усилителем (ОУ) и контроллер с встроенным АЦП. Это самое простое и дешевое решение, однако отсутствие изоляции может привести к возникновению низковольтных и высоковольтных помех и даже отказу системы.

Основные недостатки измерительной схемы без гальванической развязки:

- Токи в силовых шинах генерируют помехи в цепи сигнального заземления, которые могут влиять на работу управляющего контроллера или даже повредить его.

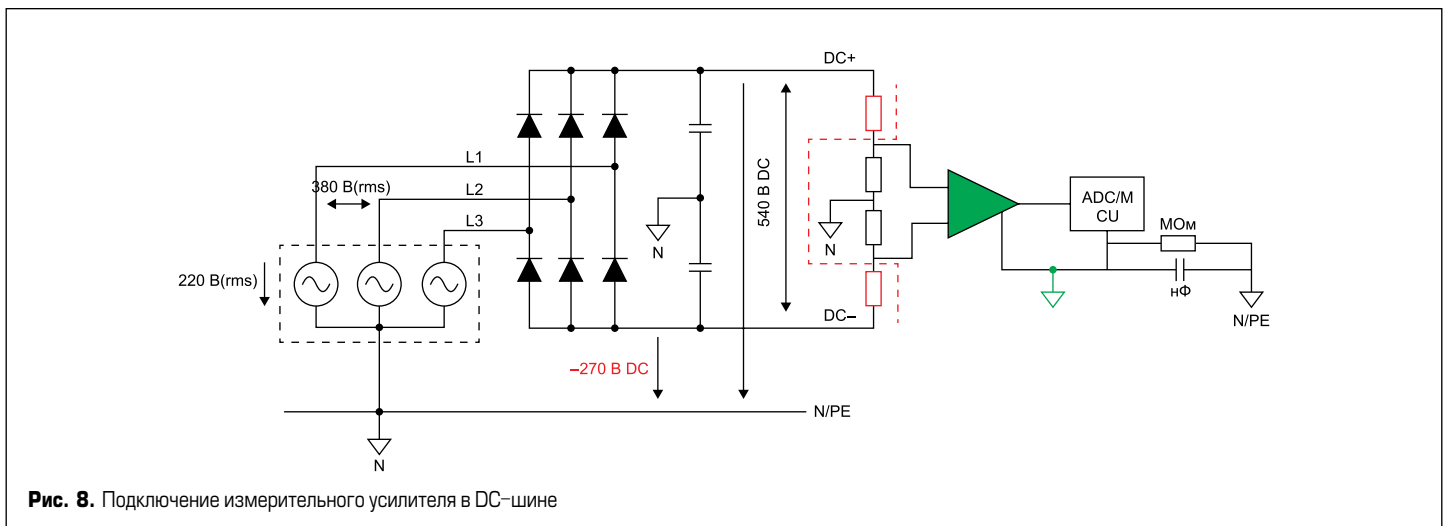


Рис. 8. Подключение измерительного усилителя в DC-шине

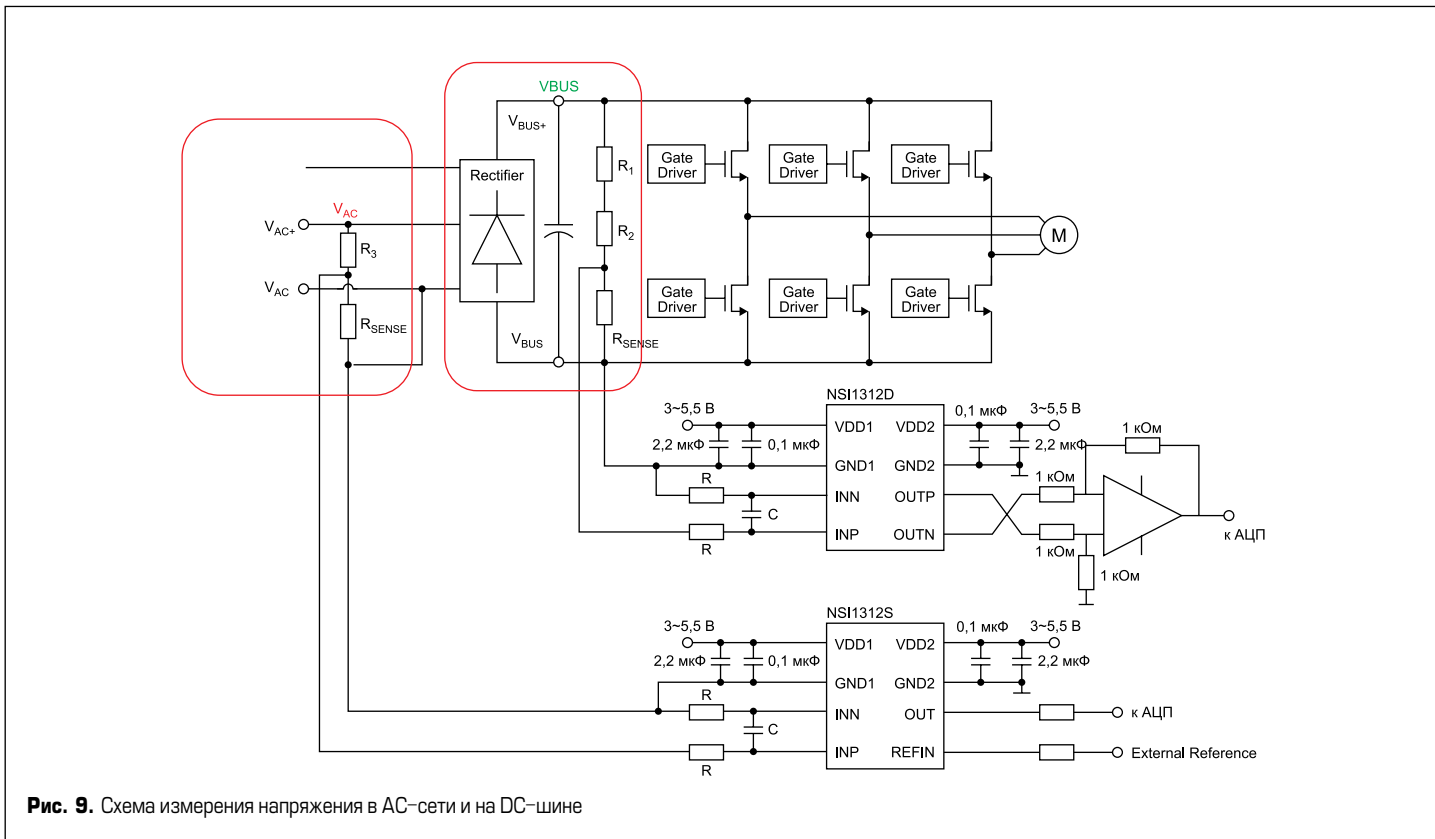


Рис. 9. Схема измерения напряжения в AC-сети и на DC-шине

- Разница емкостей, расположенных между шинами DC+ и DC-, создает небаланс напряжений в этих цепях относительно средней точки (N), в результате чего синфазный вход операционного усилителя будет иметь отрицательный потенциал. Таким образом, ОУ нуждается в дополнительном отрицательном источнике питания, что усложняет схему.
- Отказ (перенапряжение или пробой) силовой цепи неизбежно приведет к повреждению схемы управления.
- Использование многоканальной схемы измерения выборки напряжения аналогично многоканальному параллельному измерению изоляции. В этом случае снижается эквивалентное сопротивление изоляции, растет ток утечки, и система не будет соответствовать требованиям безопасности.

Общий изолирующий усилитель с дискретизацией может решить указанные проблемы, однако его высокая стоимость не устраивает многих заказчиков. Более того, подобные интегральные схемы, как правило, не допускают отрицательного напряжения на входе, что не позволяет использовать их для измерения AC-сигналов.

Применение недорогих изолирующих усилителей NSI1312x от NOVONSENSE повышает конкурентоспособность системы. Компоненты серии способны работать при двуполярном входном напряжении  $\pm 1,2$  В в AC- и DC-цепях, они обнаруживают пропадание фазы при измерении сигнала переменного тока. Более того, IC NSI1312S поддерживает режим однопроводного несимметричного выхода, который может быть напрямую подключен к I/O-порту АЦП микроконтроллера. Это исключает необходимость в дополнительном операционном усилителе для преобразования дифференциального

напряжения в однополярное и решает проблему двунаправленной передачи сигнала как по стоимости, так и по производительности.

На рис. 9 показана схема измерения напряжения в AC-сети и на DC-шине силового инвертора, ее основные особенности:

- Гальваническая изоляция между высоковольтными и низковольтными каскадами гарантирует надежную и безопасную работу системы.
- Большой коэффициент подавления синфазных помех, высокая устойчивость к зашумленным средам.
- Измерение напряжения выборки является более точным. Погрешность NSI1312D составляет  $\pm 0,5\%$  при  $+25$  °C и  $\pm 1,5\%$  при  $-40...+125$  °C во всем диапазоне входных сигналов.

- Измерение положительного и отрицательного напряжения, обнаружение потери фазы питающей сети.

### Интегральные сенсоры

#### NSM201x — токовые чип-сенсоры с встроенной измерительной шиной

Интегральный датчик тока NSM2011 (рис. 10) отличается сверхмалым сопротивлением встроенной измерительной шины (0,85 мОм), что минимизирует уровень тепловыделения в кристалле. Инновационная технология изоляции и формирования сигнала NOVONSENSE обеспечивает необходимую гальваническую развязку при измерении тока, протекающего через внутренний проводник. Использование встроенной дифференциальной

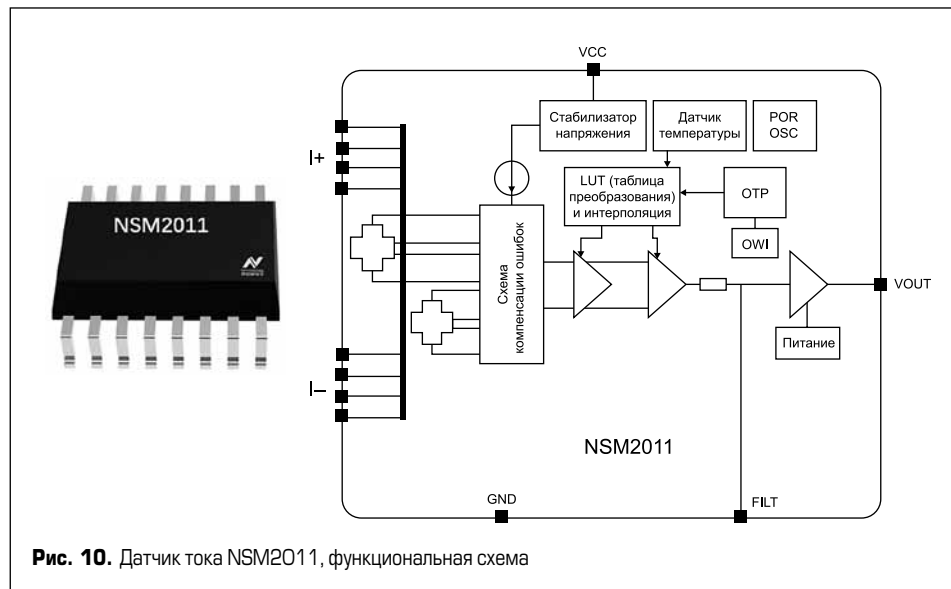


Рис. 10. Датчик тока NSM2011, функциональная схема

ной пары Холла гарантирует высокую устойчивость к внешним паразитным магнитным полям.

Принцип работы NSM 2011 состоит в измерении поля, генерируемого током, проходящим через встроенную в микросхему первичную шину. В отличие от стандартной схемы с резистивным шунтом и изолированным ОУ, сенсор NSM 2011 не нуждается в дополнительном источнике питания и очень прост в применении. В то же время он обладает высоким напряжением изоляции и хорошей стабильностью характеристик в течение всего срока службы. При контроле тока в высоковольтных каскадах NSM2011 способен работать при напряжении 1550 В (пиковое значение), он выдерживает перенапряжение до 10 кВ и ток перегрузки до 13 кА без каких-либо дополнительных элементов защиты.

Используемый алгоритм температурной компенсации NSM2011 и заводская калибровка позволяют датчику тока NSM2011 поддерживать высокую точность во всем диапазоне рабочих температур, при этом повторное программирование или калибровка не требуются.

Основные характеристики сенсоров NSM201x:

- Диапазон измеряемых токов (AC/DC-вход): 5–100 А.

- Сопротивление измерительной шины: 0,85 мОм.
- Погрешность измерения:  $\pm 2\%$ .
- Ток перегрузки: до 13 кА (8 мкс/20 мкс).
- Выходы: однонаправленный пропорциональный и «псевдодифференциальный» фиксированный.
- Типы корпусов:
  - узкий SOIC 8 (напряжение изоляции 600 В (DC)/3000 В(rms) @ 1 мин — NSM2012/NSM2016);
  - широкий SOIC 16: (напряжение изоляции 1550 В (DC)/5000 В(rms) @ 1 мин — NSM2011/NSM2013/NSM2015).
- Защита от перегрузки по току OCD с настраиваемым порогом срабатывания (NSM2015/NSM2016).

Кроме сенсоров тока, NOVOSENSE выпускает датчики положения, давления, температуры/влажности, характеристики которых представлены на сайте компании [2].

### Заключение

Предложенный материал посвящен интегральным схемам, необходимым для построения высокопроизводительных цифровых

приводов и энергетических систем. В рамках одной статьи невозможно охватить всю гамму продуктов компании NOVIOSENSE, выпускающей микросхемы для рынков автомобилестроения, промышленного контроля, информационных коммуникаций и бытовой электроники. Это сигнальные изоляторы, интерфейсы (CAN/LIN, I<sup>2</sup>C, LVDS, 485), драйверы затворов, контроллеры управления источниками питания, LED-драйверы, датчики и многое другое.

Девиз NOVIOSENSE: «Чувствовать будущее и управлять им, строить зеленый и умный мир с помощью полупроводников». Следуя ему, компания предоставляет заказчикам современные и всеобъемлющие интегральные решения, способные соединить цифровой и реальный мир.

*Продолжение следует*

### Литература

1. Колпаков А., Новоторженцев Д. Современная силовая электроника: разворот на Восток. Часть 1 // Силовая электроника. 2023. № 1.
2. Материалы сайта [www.novosns.com/en](http://www.novosns.com/en)
3. Материалы сайта [www.power.com/](http://www.power.com/)