

Александр Медник | alexm@supertex.com  
 Леонид Краснополянский | leonid-k@galant-e.ru

## Взаимозаменяемость и функциональные различия

между импульсными драйверами светодиодов HV9910B и HV9961  
производства Supertex Inc.

Организованная в 1976 г. Supertex Inc. (USA) успешно занимается разработкой высококачественных комплементарных металло-оксидных полупроводников (CMOS) и металло-оксидных полупроводников с двойной диффузией (DMOS). Еще 20 лет назад Supertex была пионером в изготовлении совмещенных высоковольтных структур HVCMOS с низковольтными CMOS и DMOS. Компания имеет собственные линии по производству полупроводниковых структур для высоких напряжений, что определяет ее лидирующее положение в областях, использующих полупроводники в диапазоне напряжений от 70 до 700 В.

Микросхемы, изготовленные по технологии Supertex HVCMOS, отличаются низким энергопотреблением и имеют свойства структур CMOS, сочетающиеся с высоковольтными качествами DMOSFET выходных структур. Именно это достоинство HVCMOS-микросхем Supertex дает возможность создавать компактные конкурентоспособные изделия в областях, где требуется управление высоковольтными высокочастотными нагрузками и низковольтными сигналами или преобразование напряжения высоковольтных источников в низковольтные управляющие сигналы.

### История вопроса

Микросхема HV9910, в которой используется управление ключевым понижающим преобразователем по пиковому току, выпускается компанией Supertex с 2004 г. и является очень эффективным по стоимости вариантом высоковольтного бестрансформаторного источника тока для мощных светодиодов и светодиодных цепочек с выходным током более 1 А. Микросхема имеет простую схематехнику и используется практически всеми российскими и зарубежными компаниями, работающими на рынке светодиодных драйверов. В 2008 г. Supertex модернизировала HV9910 и стала выпускать ее под номенклатурным наименованием HV9910B. Эта микросхема не отличалась от своей предшественницы по параметрам и возможностям применения, поэтому данная модернизация прошла практически незамеченной для разработчиков и производителей светодиодной техники. Совсем другое со-

бытие произошло в 2009 г. Совершенствуя схематехнику подобного класса драйверов, Supertex разработала принципиально новую микросхему этого направления — HV9961. Она совместима с HV9910 по выводам и схеме использования (рис. 1), но имеет совершенно иной принцип работы — регулировка путем управления усредненным током индуктора. Новая технология позволила значительно повысить точность стабилизации тока светодиодов и регулировочные характеристики. Мы рассмотрим микросхемы HV9910B и HV9961 в сравнительном контексте, что, по замыслу авторов, должно помочь разработчикам более дифференцированно подойти к выбору как самих микросхем регуляторов тока, так и све-

диодов, использующихся в светодиодных лампах и другой светодиодной технике.

### Управление усредненным током индуктора в сравнении с управлением по пиковому току

Управление ключевым понижающим преобразователем по пиковому току, используемое в принципе действия микросхемы HV9910B, являясь наиболее экономичным и простым способом управления током светодиодной нагрузки, в то же время не всегда обеспечивает желаемый уровень стабилизации тока и независимости этого тока от входного и выходного напряжения. Зачастую следует ожидать 20–25% разброса уровня стабилизации тока светодиодов. У тех, кто удовлетворен HV9910B, нет причины для перехода на HV9961. С другой стороны, точность регулировки тока светодиодов с использованием HV9910B должна приниматься в расчет при выборе типа и количества светодиодов. Это означает, что HV9961 может «светить» ярче или сократить количество светодиодов, необходимых для получения той же яркости.

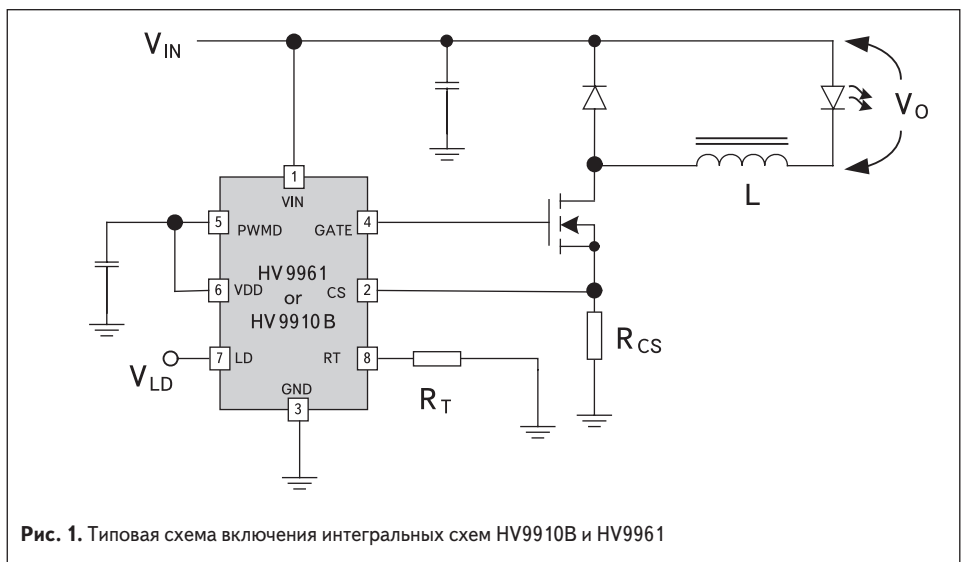
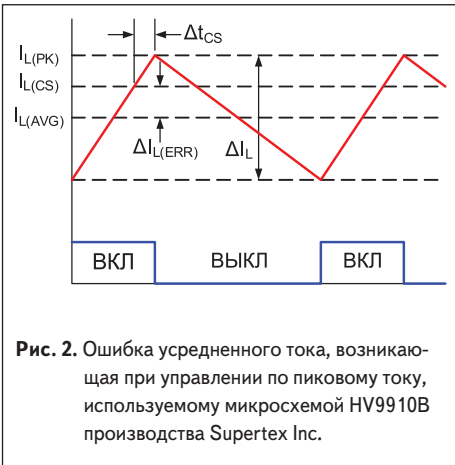


Рис. 1. Типовая схема включения интегральных схем HV9910B и HV9961



**Рис. 2.** Ошибка усредненного тока, возникающая при управлении по пиковому току, используемому микросхемой HV9910B производства Supertex Inc.

Проблемы возникают в связи с разницей между пиковым и средним значениями тока, зависящей от величины пульсации тока индуктора и задержки срабатывания компаратора обратной связи (рис. 2).

Ошибка усредненного тока  $\Delta I_{L(ERR)}$  присуща любому стабилизатору пикового тока, в том числе и HV9910B, поскольку микросхема управляет пиковым током катушки индуктивности  $I_{L(PK)}$  в то время как задача состоит в управлении постоянным током светодиодов  $I_{L(AVG)}$ . Разница между этими двумя токами равна амплитуде тока пульсаций  $0,5\Delta I_L$ , которая может быть выражена следующей формулой:

$$0,5\Delta I_L = (V_0 t_{OFF})/2L, \quad (1)$$

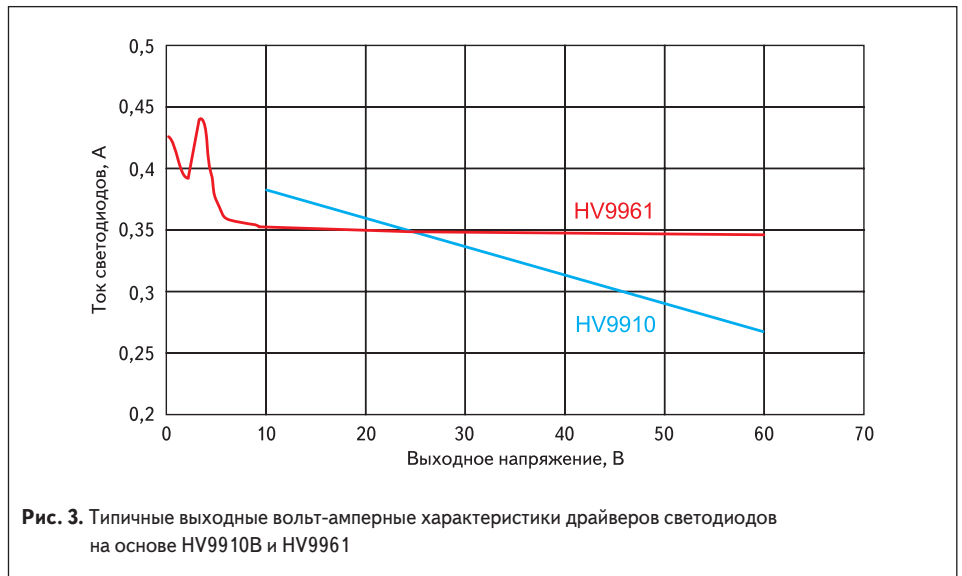
В этой формуле  $V_0$  — напряжение на светодиодах,  $t_{OFF}$  — продолжительность выключенного состояния выхода GATE микросхемы HV9910B (см. нижнюю эпюру на рис. 2), а  $L$  — величина индуктивности. Следует заметить, что все параметры в правой части уравнения (1) могут иметь разброс от одной детали (катушки индуктивности, светодиода или микросхемы HV9910B) к другой и зависеть от рабочей температуры.

Еще один источник ошибки, допускаемой схемой управления по пиковому току подобно HV9910B, связан с задержкой распространения компаратора  $\Delta t_{CS}$ . По вине этой задержки реальный пиковый ток  $I_{L(PK)}$  выше порогового опорного сигнала компаратора  $I_{L(CS)}$ . Поэтому ошибка усредненного тока может быть выражена как

$$\Delta I_{L(ERR)} = (V_0 t_{OFF} - 2V_{IN} \Delta t_{CS})/2L, \quad (2)$$

где  $V_{IN}$  — напряжение входного источника питания. Из формулы (2) следует, что усредненный ток катушки индуктивности  $I_{L(AVG)}$  подвержен зависимости от входного напряжения  $V_{IN}$  и выходного напряжения  $V_0$ .

И, наконец, существует значительный разброс тока светодиода между образцами HV9910B по вине напряжения смещения  $V_{OS}$  на входе CS. Несмотря на то, что это напряжение смещения составляет всего  $\pm 25$  мВ при  $-40 < T_A < +85$  °C, его вклад в сигнал пикового тока приводит к разбросу тока светодиодов  $\pm 10\%$  даже при максимальном для HV9910B пороге срабатывания CS-компаратора в 250 мВ.



**Рис. 3.** Типичные выходные вольт-амперные характеристики драйверов светодиодов на основе HV9910B и HV9961

Драйвер светодиодов HV9961 лишен вышеназванных недостатков благодаря использованию метода управления по усредненному току, разработанного Supertex Inc. Эта микросхема управляет усредненным током катушки индуктивности  $I_{L(AVG)}$  непосредственно, достигая при этом точности регулировки  $\pm 3\%$  в широком диапазоне скважности сигнала GATE, по меньшей мере  $0,1 < D < 0,75$ . В микросхему также включена схема автоматической калибровки входа CS, позволяющая устранить влияние входного напряжения смещения и задержки распространения.

### Линейная регулировка яркости

Если напряжение на входе LD превышает  $V_{LD} = 1,5$  В, при использовании HV9961 ток светодиодов устанавливается просто как

$$I_{L(AVG)} = (272 \pm 3\%)/R_{CS}, \quad (3)$$

где 272 мВ — внутренне заданное опорное напряжение. В противном случае,

$$I_{L(AVG)} = (V_{LD} \pm 3\%)/5,5R_{CS}. \quad (4)$$

В отличие от микросхемы HV9910B, в которой диапазон рабочего напряжения на LD определен от нуля до 0,25 В, активный диапазон  $V_{LD}$  в HV9961 задан от нуля до 1,5 В. Более того, при использовании HV9910B подключение  $V_{LD} = GND$  не приводит к  $I_{LED} = 0$  из-за ограничения на минимальную скважность  $D_{min}$  на выходе GATE. В результате, несмотря на равенство потенциалов между LD и GND, неизбежен некоторый остаточный ток светодиодов. В микросхеме HV9961 удалось избавиться от этого недостатка, запретив сигнал на выходе GATE, когда  $V_{LD} < 150$  мВ. Переключающий сигнал на GATE восстанавливается при  $V_{LD} > 200$  мВ.

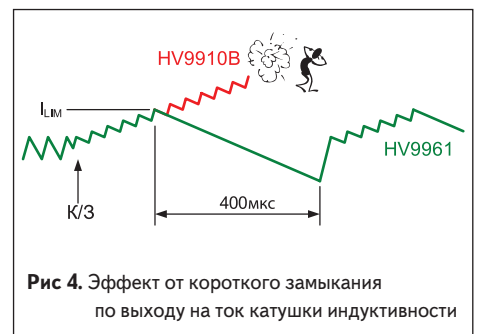
Следует отметить, что последняя характеристика HV9961 позволяет регулировать яркость в смешанном режиме, линейно и путем ШИМ. Один и тот же входной сигнал прямоугольной формы может быть подан на LD, причем как

скважность, так и амплитуда этого сигнала могут варьироваться с целью расширения диапазона регулировки яркости.

### Защита от короткого замыкания по выходу

Как для HV9910B, так и для HV9961 характерна определенная минимальная продолжительность включенного состояния выхода GATE. Эта минимальная длительность включает задержку blankирования переднего фронта и задержку срабатывания компаратора сигнала тока и составляет  $t_{ON(min)} = 0,47$  мкс (max) для HV9910B и  $t_{ON(min)} = 1$  мкс (max) для HV9961. При возникновении короткого замыкания по выходу ключевого понижающего преобразователя, напряжение на индукторе, необходимое для восстановления в нем начального магнитного потока во время  $t_{OFF}$ , падает до уровня напряжения на диоде. Однако этого напряжения может оказаться недостаточно, если преобразователь продолжит переключение на той же частоте. Поэтому ток катушки индуктивности будет увеличиваться с каждым периодом переключения (рис. 4).

Микросхема HV9961 защищает драйвер светодиодов от такого «ступенчатого» насыщения катушки индуктивности путем введения дополнительного порога  $I_{LIM} = 0,44V/R_{CS}$ . Поступает запрещение на выход GATE, которое продолжается в течение 400 мкс от момента достижения этого порога, таким образом позволяя току катушки снизиться до безопасного уровня.



**Рис. 4.** Эффект от короткого замыкания по выходу на ток катушки индуктивности

### Режимы с постоянной частотой переключения и с фиксированной продолжительностью выключенного состояния

Микросхема HV9910B может быть включена в любом из этих двух режимов переключения. Когда сопротивление  $R_T$  соединено между  $R_T$  и GND, микросхема поддерживает постоянную частоту переключения. Присоединение  $R_T$  к GATE дает фиксированную продолжительность выключенного состояния. Соответствующие выражения времен переключения:

$$t_{OSC} = 40\text{пФ} \times R_T + 0,88, \quad (5a)$$

$$t_{OFF} = 40\text{пФ} \times R_T + 0,88, \quad (5б)$$

где  $t_{OSC}$  (мкс) — это период переключения при подключении  $R_T$  к GND, а  $t_{OFF}$  (мкс) — это продолжительность выключенного состояния при соединении  $R_T$  и GATE.

В отличие от HV9910B микросхема HV9961 не поддерживает режим с постоянной частотой. Более того, подключение сопротивления  $R_T$  к GND обязательно во всех случаях. Поэтому HV9961 не может служить прямой заменой HV9910B в схемах, включенных в режиме с постоянным  $t_{OFF}$ , и требуется изменение разводки печатной платы. При использовании HV9961  $t_{OFF}$  (мкс) задается как:

$$t_{OFF} = 40\text{пФ} \times R_T + 0,3. \quad (5в)$$

Если HV9910B включена в режиме с постоянной частотой, замена на HV9961 сводится к установке резистора  $R_T$  с другим номиналом. Поскольку  $t_{OFF} = (1 - V_0/V_{IN})t_{OSC}$ , уравнения (5a) и (5в) могут быть решены для требуемого нового сопротивления резистора  $R_T$  (кОм):

$$R_{T(HV9961)} = (1 - V_0/V_{IN}) \times (R_{T(HV9910B)} + 22) - 7,5. \quad (6)$$

### Диапазон скажности

Скажность ключевого понижающего преобразователя задается формулой

$$D = t_{ON}/t_{OSC} = t_{ON}/(t_{OFF} + t_{ON}).$$

Как для HV9910B, так и для HV9961 минимальная скажность  $D_{min}$  ограничена минимальной продолжительностью включенного состояния  $t_{ON(min)}$ . Однако при использовании микросхемы HV9961 гарантированная точность стабилизации тока светодиодов достижима только при минимальной скажности  $D_{min} > 0,08-0,1$ . Максимальная скажность HV9910B в режиме постоянной частоты ограничена пределом  $D_{max} = 0,5$ . Превышение этого предела в таком режиме переключения приводит к субгармоническим колебаниям на 0,5 частоты переключения. Если же HV9910B работает в режиме с постоянным  $t_{OFF}$ , теоретическим пределом скажности является  $D_{max} \rightarrow 1$ . Однако ввиду паразитного последовательного сопротивления в цепи и существенного снижения частоты в таком режиме

Таблица. Функциональное сравнение HV9910B и HV9961

Характеристика	HV9910B	HV9961
Режим с постоянной частотой	Резистор между $R_T$ и GND	Нет
Режим с постоянным $t_{OFF}$	Резистор между $R_T$ и GATE	Резистор между $R_T$ и GND (корректировка номинала при переходе к HV9961)
Пороговое опорное напряжение, мВ	250 или $V_{LD}$ (пиковое)	272 или $V_{LD}/5,5$ (усредненное)
Разброс опорного напряжения	10%	Автокалибровка
Разброс тока светодиодов	Зависит от разброса индуктивности и частоты	Не зависит от разброса индуктивности и частоты
Стабилизация тока светодиодов	Неудовлетворительная во многих случаях, ток светодиодов зависит от входного и выходного напряжений	Отличная
Диапазон напряжения на LD	0–250 мВ	0,2(0,15)–1,5 В
Остаточный ток светодиодов при $V_{LD} = \text{GND}$ , мВ	5% (тип.) от $I_{LED}$ при $V_{LD} = 250$	0
Порог защиты от короткого замыкания, мВ	Не предусмотрен	440
Пауза после срабатывания защиты, мкс	Не предусмотрена	400
Min длительность $t_{ON}$ , нс	465	1000
Мах скажность	0,5 (пост. част.), 0,8 (пост. $t_{OFF}$ )	0,75

переключения не рекомендуется превышать скажность  $D_{max} = 0,8$ .

При использовании HV9961 стабилизация усредненного тока катушки ограничена пределом  $D_{max} < 0,75$ . Превышение этой скажности  $D = 0,75$  (125 °C) или  $D = 0,8$  (105 °C) приводит к снижению выходного тока светодиодов.

**Резюме:** Микросхемой HV9961 компания Supertex демонстрирует улучшение потребительских свойств своей продукции практически по всем направлениям. У разработчиков появилась дополнительная возможность создавать более качественные, более долговечные, оптимизированные по количеству комплектующих светодиодные конструкции, использующие технологию прямого питания от сетевого напряжения.

### Номенклатура микросхем для источников питания светодиодов

#### Линейные регуляторы тока

- CL2 — входное напряжение 5–90 В, ток стабилизации 20 мА. Устройство имеет два вывода: вход и выход. Силовой MOSFET-транзистор встроен в микросхему CL2. Параллельное включение обеспечивает стабилизацию тока 40, 60, 80 мА и т. д.
- CL25 — версия CL2 на ток 25 мА.
- CL6 — входное напряжение 5–90 В, ток стабилизации 100 мА. Устройство имеет два вывода: вход и выход. Силовой MOSFET-транзистор встроен в микросхему. Параллельное включение обеспечивает стабилизацию тока 200, 300 мА и т. д.
- CL7 — входное напряжение 5–90 В, ток стабилизации 100 мА. Устройство имеет два вывода: вход и выход. Силовой MOSFET-транзистор встроен в микросхему.

Имеет вход регулировки выходного тока. Параллельное включение обеспечивает стабилизацию тока 200, 300 мА и т. д.

- CL320 — трехканальный, входное напряжение питания 6,5–90 В. Обеспечивает точность стабилизации тока 6% в диапазоне выходных напряжений 4–15 В, ток стабилизации канала 20 мА, возможно объединение трех каналов в один с суммированием выходного тока, ШИМ или аналоговая регулировка яркости. Предназначен для светодиодной подсветки ЖКИ или для подсветки индикаторов.
- CL325 — трехканальный, входное напряжение питания 6,5–90 В. Обеспечивает точность стабилизации тока 6% в диапазоне выходных напряжений 4–15 В, ток стабилизации канала 25 мА, возможно объединение трех каналов в один с суммированием выходного тока, ШИМ или аналоговая регулировка яркости. Предназначен для светодиодной подсветки ЖКИ или для подсветки индикаторов.
- CL330 — трехканальный, входное напряжение питания 6,5–90 В. Обеспечивает точность стабилизации тока 6% в диапазоне выходных напряжений 4–15 В, ток стабилизации канала 25 мА, возможно объединение трех каналов в один с суммированием выходного тока, ШИМ или аналоговая регулировка яркости. Предназначен для светодиодной подсветки ЖКИ или для подсветки индикаторов.
- CL520 — входное напряжение 4,75–90 В, ток стабилизации 20 мА. Низкое падение напряжения на приборе 1 В обеспечивает минимизацию потребления тока. Встроенный силовой MOSFET-транзистор.
- CL525 — входное напряжение 4,75–90 В, ток стабилизации 25 мА. Низкое падение напряжения на приборе 1 В обеспечивает минимизацию потребления тока. Встроенный силовой MOSFET-транзистор.

**Импульсные регуляторы тока**

- HV9910B — входное напряжение 8–450 В постоянного тока или 85–265 В переменного тока, цепи установки и коррекции обеспечивают стабилизацию тока светодиодов более 1 А. Управление выходным током осуществляется ШИМ или линейным регулятором.
- HV9911 — универсальный ШИМ-стабилизатор тока для светодиодных RGB-матриц со встроенным входом синхронизации, входное напряжение от 9 В до 250 В постоянного тока (может быть расширено до 450 В путем добавления в схему одного стабилитрона), типовой ток стабилизации 350 мА, ШИМ в диапазоне 1:3000 или линейная регулировка выходного тока, защита от короткого замыкания и перенапряжения по выходу. Высокая точность стабилизации тока, мягкий старт.
- HV9912 — универсальный ШИМ-стабилизатор тока для светодиодных RGB-матриц со встроенным входом синхронизации, входное напряжение до 100 В постоянного тока (может быть расширено путем добавления в схему одного стабилитрона), типовой ток стабилизации 350 мА, ШИМ или линейная регулировка выходного тока, защита от обрыва и короткого замыкания. Может быть использован для управления светодиодами от батарейного питания. Совместим по выходам с HV9911.
- HV9919 — высокочастотный ШИМ-стабилизатор тока для светодиодов на входные

напряжения 4,5–40 В. Высокий КПД, схема применения с компактными недорогими индуктивностями. Защита от перегрева, ШИМ и аналоговая регулировка яркости.

- HV9921/HV9922/HV9923 — трехвыводной ШИМ-стабилизатор тока для светодиодов со встроенным MOSFET-транзистором на 500 В, входное напряжение 20–400 В постоянного тока или 85–264 В переменного тока, встроенные цепи установки и коррекции обеспечивают стабилизацию тока светодиодов 20 (HV9921), 50 (HV9922) и 30 мА (HV9923).
- HV9925 — идеально подходит для управления цепочками светодиодов для схем декоративной светодиодной подсветки и маломощных осветительных приборов. Выходной программируемый ток 20–50 мА, установка выходного тока осуществляется одним резистором, встроенный MOSFET-транзистор на 500 В, термозащита, входные напряжения 85–264 В переменного тока и 20–400 В постоянного тока.
- HV9931 — предназначен для мощных светодиодных ламп и светодиодных информационных модулей, в том числе светофоров с возможностью управления яркостью как от стандартных настенных регуляторов, так и ШИМ-регуляровкой. Приборы, включающие HV9931, могут обеспечивать ток 700 мА через светодиоды при напряжении на выходе 25 В.
- HV9961 — входное напряжение 8–450 В постоянного тока или 85–265 В переменного

тока. Благодаря использованию метода управления по усредненному току, разработанному Supertex, микросхема обеспечивает высокую точность стабилизации тока до 3%, выходной ток более 1 А. Управление выходным током осуществляется ШИМ и линейным регулятором.

- HV9980 — трехканальный ШИМ-стабилизатор тока для RGB светодиодной подсветки дисплеев со встроенными MOSFET-транзисторами, рассчитанный на входные напряжения до 200 В. Аналоговая или ШИМ-регулировка яркости. Защита от короткого замыкания по выходу, защита от перегрева.
- HV9982 — трехканальный ШИМ-стабилизатор тока для RGB светодиодной подсветки дисплеев, рассчитанный на входные напряжения до 45 В. Аналоговая или ШИМ-регулировка яркости. Защита от перенапряжений по выходу, от короткого замыкания по выходу.
- AT9933 — ШИМ-регулятор тока для автомобильной светодиодной техники, способный работать на различных рабочих частотах, например 300–500 кГц. Использует малошумящую, чистую от помех и выбросов повышающе-понижающую напряжения (boost-buck) топологию Чука (Cuk) и защищенную патентом Supertex гистерезисную схему управления током как по входу, так и по выходу. Ограничения тока по входу при включении, ограничение напряжение по входу и защита выхода от перегрузок, в том числе и при коротком замыкании. Ток стабилизации порядка 350 мА и выше. ●