

МНОГОПОРТОВЫЙ КОНТРОЛЛЕР ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ POE

MULTI-PORT POWER SUPPLY CONTROLLER FOR POE SYSTEMS

В статье приведена краткая информация о наборе микросхем LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 для создания источников питания совместимых с питанием через Ethernet (PoE). Применение запатентованной технологии гальванической развязки с помощью трансформаторов позволяет значительно снизить стоимость таких источников питания.

В. Макаренко

Abstract – The article provides brief information about the LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 chipset for creating power supplies compatible with power over Ethernet (PoE). The use of patented galvanic isolation technology using transformers can significantly reduce the cost of such power supplies.

V. Makarenko

Набор микросхем LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 представляет собой 48-портовый контроллер оборудования для источников питания (PSE – Power Source Equipment), предназначенный для использования в системах IEEE 802.3af типа 2, 802.3bt типа 3 и 4, совместимых с питанием через Ethernet (PoE).

LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 предназначены для питания совместимых устройств, соответствующих стандартам 802.3af, 802.3at и 802.3bt PDs (Powered Device – питаемые устройства).

Чипсет LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 имеет наименьшее в отрасли тепловыделение за счет использования внешних МОП-транзисторов с низким сопротивлением открытого канала, что обеспечивает внутреннее сопротивление канала питания не более 0.1 Ом.

Для питания устройств с использованием технологий стандарта IEEE 802.3bt. задействованы все восемь проводников кабеля современной витой пары (категории 5 и выше), в то время как для первых двух поколений можно обойтись только четырьмя.

Если говорить о совместимости, то устройства формирования питания PoE обратно совместимы – более мощное питающее устройство стандарта 802.3bt может использоваться для питания более старых потребителей PoE и PoE+ (802.3af, и 802.3at).

Использование гальванической развязки с помощью трансформаторов позволяет заменить дорогостоящие оптические соединители и сложные изолированные источники питания 3,3 В, что приводит к значительному снижению затрат [1,2].

Расширенные функции управления питанием

для каждого порта включают:

- контроль тока/мощности с точностью 14 разрядов
- программируемое значение тока
- программируемое значение ограничения мощности
- быстрое отключение предварительно выбранных портов.

Доступен расширенный программный уровень хоста управления питанием. При обнаружении питаемых устройств используется запатентованный механизм многоточечного обнаружения, обеспечивающий защиту от ложной идентификации. Поддерживается физическая классификация по 5 событиям.

Основные характеристики LTC 9101-1/LTC9102/LTC9103:

- полностью совместим со стандартом IEEE 802.3bt типа 3 и 4
- полностью совместим со стандартом IEEE 802.3at Тип 2 PSE
- программное обеспечение совместимое с LTC4291-1/LTC4292
 - до 48 Портов PSE с одним каналом питания на порт
 - до 24 Портов PSE с двумя каналами питания на порт
 - флэш-память и накопители данных с защитой от ECC
 - малая рассеиваемая мощность
 - сопротивление датчика тока 0.1 Ом
 - сопротивление открытого МОП-транзистора не более 30 мОм
 - гальваническая развязка источника питания

- высокая надежность многоточечного обнаружения питаемых устройств
- проверка подключения (различает одиночные питаемые устройства с подписью и двойной подписью)
 - непрерывный мониторинг мощности и тока по каждому порту
 - 1 МГц последовательный интерфейс управления I2C
 - программируемый источник питания PD
 - диапазон рабочих температур $-40...85\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - LTC9101 1 выпускается в 24-выводном корпусе, габаритные размеры $4\times 4\text{ мм}$
 - LTC9102/LTC9103 выпускаются в корпусе QFN-64, габаритные размеры $7\times 11\text{ мм}$.

Типовая схема подключения набора микросхем LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 приведена на рис. 1.

В стандарте 802.3af мощность, отдаваемая по Ethernet, ограничивалась величиной 13 Вт.

В 2009 году IEEE выпустил новый стандарт, известный как 802.3at или PoE+, повышающий мощность до 25.5 Вт. В 2018 году IEEE выпущен новейший стандарт PoE, известный как 802.3bt или PoE 2, который максимизирует мощность, подаваемую к PD, на уровне 71.3 Вт.

Стандарт IEEE также определяет терминологию PoE. Устройство, которое обеспечивает питание по сети, известно как PSE (или оборудование для ис-

точника питания), в то время как устройство, которое получает питание по сети, известно как PD, или питаемое устройство.

Чипсет LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 реализует запатентованную схему изоляции для связи между ИМС. Эта архитектура существенно снижает стоимость оборудования за счет замены дорогостоящих оптоизоляторов и изолированных источников питания одним недорогим трансформатором. Один LTC9101 1 способен управлять шиной, содержащей до четырех LTC9102s/LTC9103s с подключением через трансформаторы. Кроме того, возможно прямое подключение LTC9101 1 и связанных с ним LTC9102s/LTC9103s.

В LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 предусмотрен настраиваемый сигнал прерывания, запускаемый событиями для каждого порта, контроль включения питания и телеметрия неисправностей для каждого канала, контроль тока каждого порта, мониторинг и усреднение тока, напряжения и мощности порта за одну секунду.

Каждый канал питания LTC9102/LTC9103 позволяет обнаруживать, классифицировать и включать одновременно питание по всем портам, что значительно снижает задержку включения питания на коммутаторе.

LTC 9101-1 включает в себя до 12 групп из четырех идентичных портов. Каждая группа из четырех

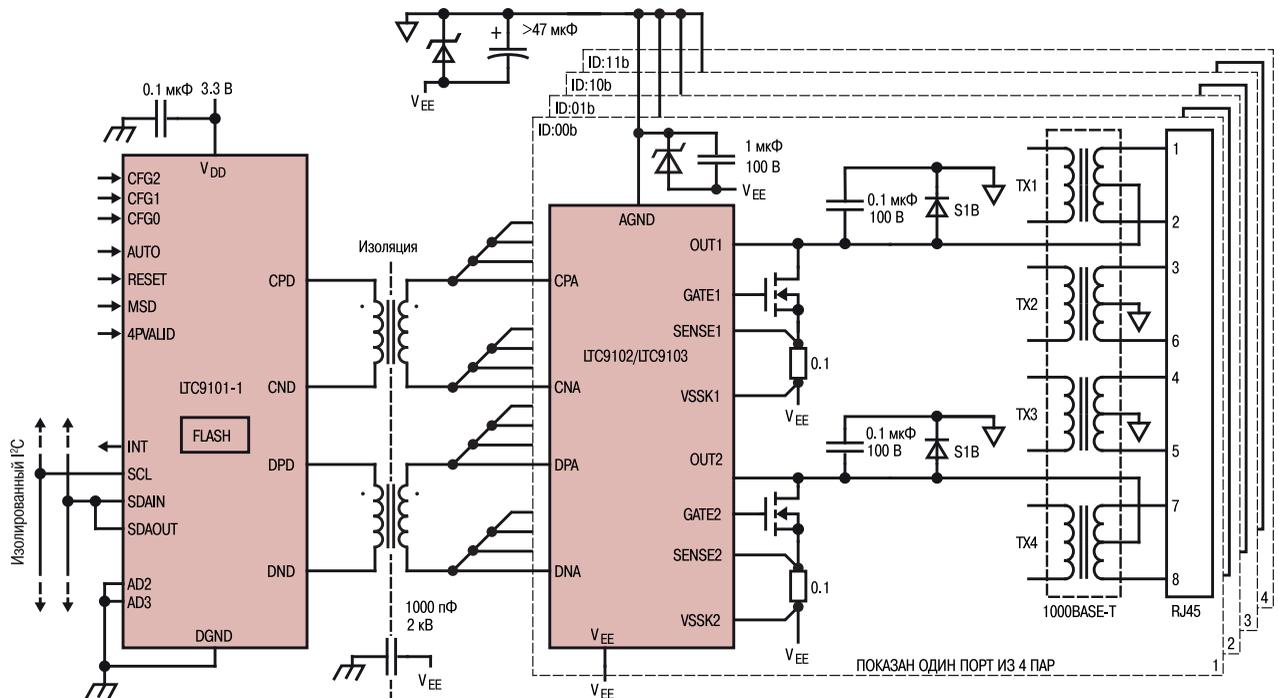


Рис. 1. Схема подключения набора микросхем LTC9101-1/LTC9102/LTC9103

портов называется четырехъядерной. В архитектуре LTC 9101-1 каждый четырехъядерный процессор содержит конфигурацию регистра и статус для четырех портов, независимо от того, находятся ли порты в режиме 2 пары или в режиме 4 пары.

При работе LTC9101-1 с 2 парами только один канал LTC9102/LTC9103 связан с каждым портом. В этом режиме, требуется, чтобы канал питания LTC9102/LTC9103 был подключен либо к альтернативе А, либо к альтернативе В соответствующего разъема RJ45 (рис. 2).

LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 может быть сконфигурирован для работы с двумя парами проводов (802.3at или 802.3bt) или четырьмя парами – 802.3bt PSE. Все PSE, совместимые с 802.3bt, полностью обратно совместимы с существующими PDS 802.3at типа 1 и типа 2, как показано в табл. 1. В дополнение к полной совместимости, PSE 802.3bt поддерживают режим более низкой мощности в режиме ожидания, сокращение времени, необходимого для ограничения тока и динамического управления питанием для всех типов PD.

Чтобы избежать повреждения устаревшего оборудования для передачи данных, которое не поддерживает подачу постоянного напряжения по проводам, стандарт PoE определяет протокол, определяющий, когда PSE может подавать и отключать питание. Устройства, совместимые с PoE, должны иметь синфазное входное сопротивление 25 кОм, так называемую сигнатуру. Когда такое устройство

Таблица 1. Максимальная мощность на выходах PSE

Стандарт	Тип	PSE			
		802.3at		802.3bt	
802.3at	1	13 Вт	13 Вт	13 Вт	13 Вт
	2	13 Вт	25.5 Вт	25.5 Вт	25.5 Вт
802.3bt	3	13 Вт	25.5 Вт	51 Вт	51 Вт
	4	13 Вт	25.5 Вт	51 Вт	71.3 Вт

подключено к кабелю, PSE определяет его сопротивление и подает питание. Если устройство отключается, PSE обнаруживает разомкнутую цепь и отключает питание. PSE также отключает питание в случае скачков тока или короткого замыкания в линии.

Когда PD обнаружен, PSE проверяет классификационную сигнатуру, которая сообщает PSE максимальную мощность, которую будет потреблять PD. Устройство PSE может использовать эту информацию для выделения питания между несколькими портами, чтобы контролировать текущее потребление PD или отклонять PD, который будет потреблять больше энергии, чем доступно PSE.

Спецификация 802.3bt поддерживает несколько новых функций:

1. PSE типа 3 и типа 4 могут обеспечивать питание по всем четырем парам (оба набора пар) в зави-

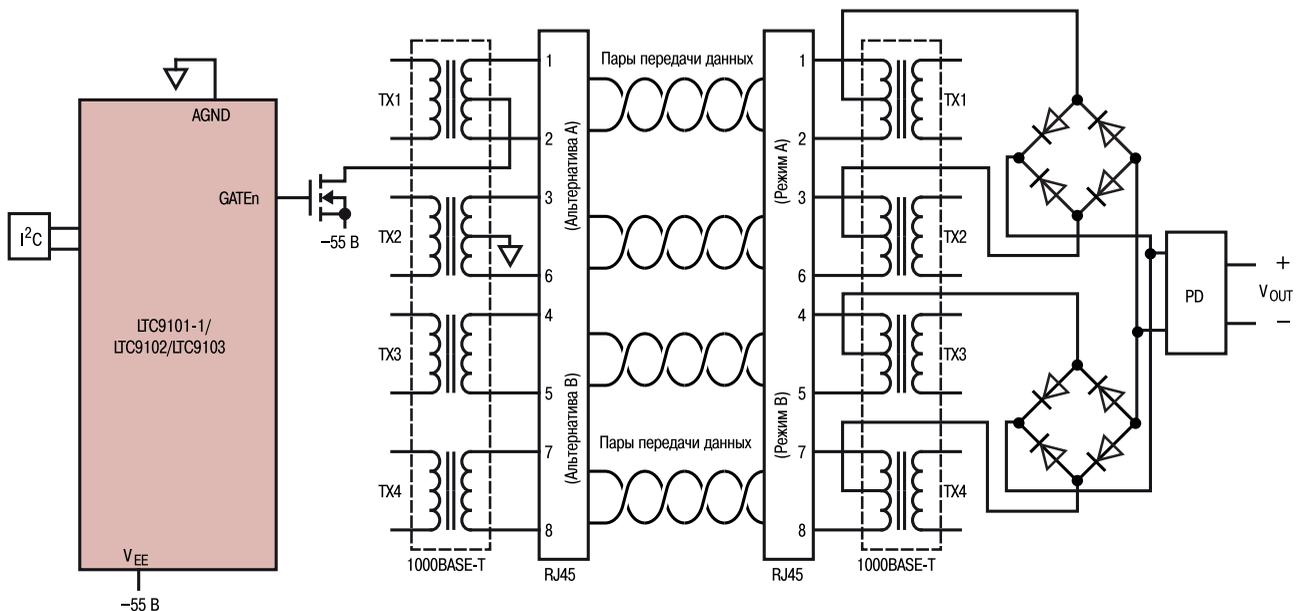


Рис. 2. Подключение PD с одним каналом питания через Ethernet при использовании двух пар проводов

симости от характеристик подключенного PD.

2. PDs типа 3 и 4 могут получать питание по всем четырем парам (оба набора пар).

3. PDs типов 3 и 4 могут быть подключены так, что будут иметь одну сигнатуру PD или PD с двойной сигнатурой. При одной сигнатуре PD используется один сигнатурный резистор для обоих наборов пар одновременно (рис. 3).

При двойной сигнатуре PD формируется питание двух полностью независимых устройств, по од-

ному на каждую пару (рис. 4).

4. PDs с одной подписью типа 3 запрашивает только один из шести возможных уровней мощности: 3.84 Вт, 6.49 Вт, 13 Вт, 25.5 Вт, 40 Вт или 51 Вт.

5. PDs с двойной подписью типа 3 запрашивает только один из четырех возможных уровней мощности для каждой пары: 3.84 Вт, 6.49 Вт, 13 Вт или 25.5 Вт. Общая запрошенная мощность PD – это сумма запрошенной мощности для обоих наборов пар.

6. Классы PD типа 3 перекрываются с классами

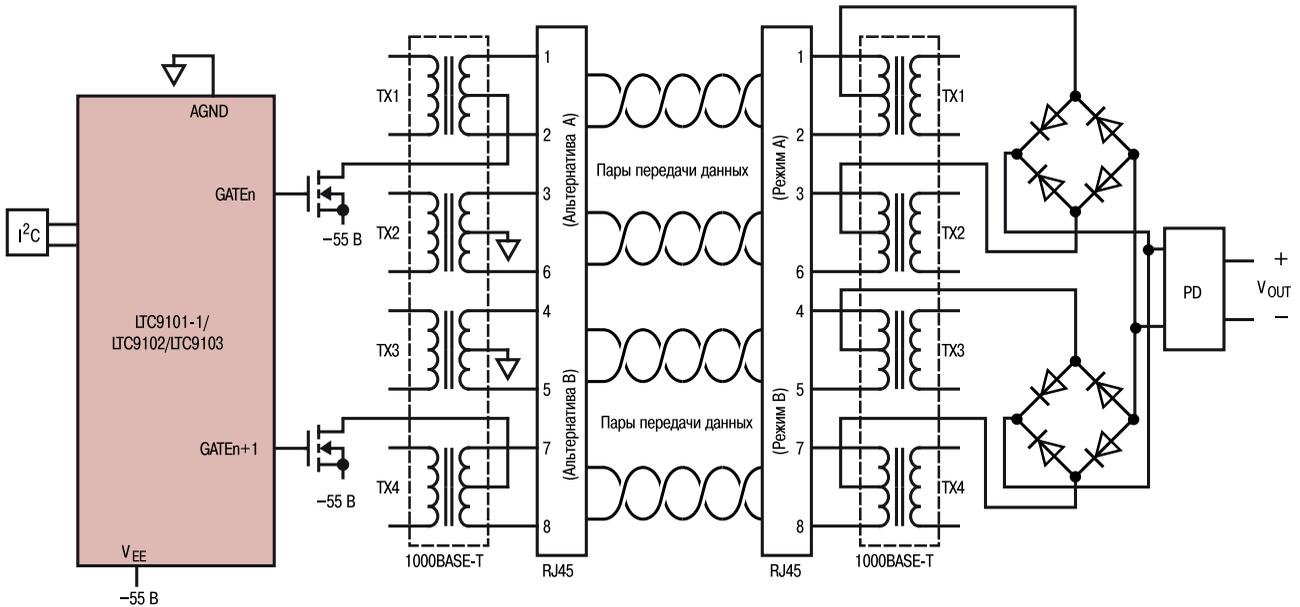


Рис. 3. Питание PD с одной сигнатурой по 4 парам проводов через Ethernet

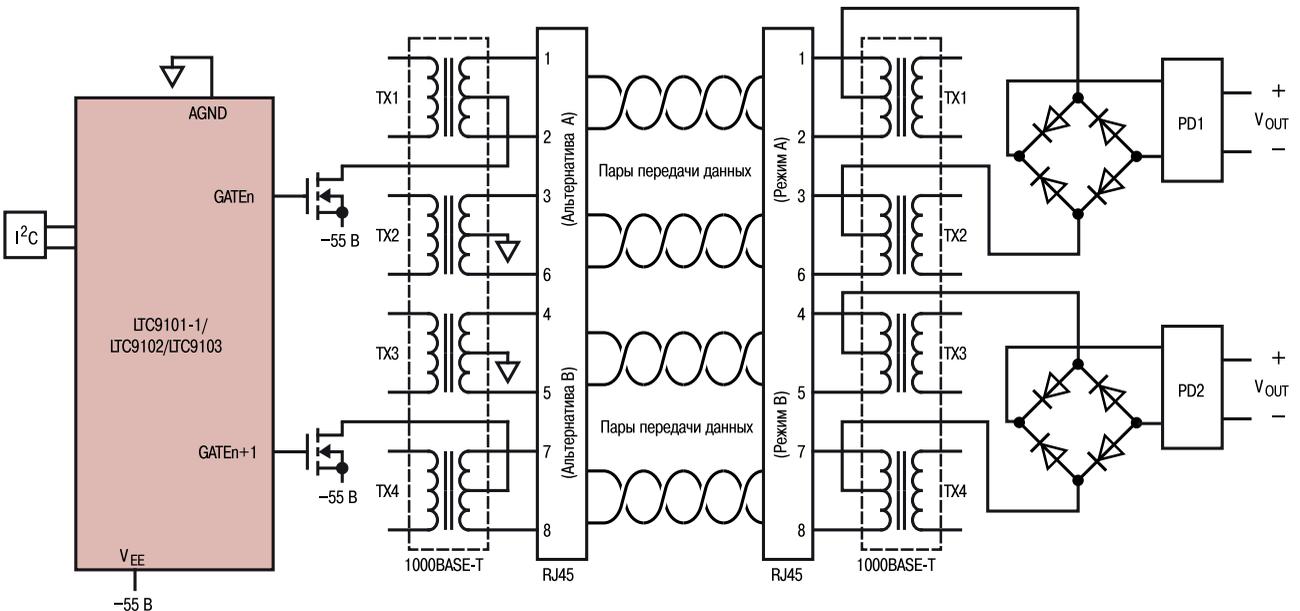


Рис. 4. Питание PD с двумя сигнатурами по 4 парам проводов через Ethernet

типа 1 и 2, чтобы обеспечить дополнительные наборы функций типа 3 при более низких уровнях мощности.

7. PDs с одной подписью типа 4 запрашивает только один из двух возможных уровней мощности – 62 Вт или 71.3 Вт.

8. Тип 4 PDs с двойной подписью запрашивает только 35.6 Вт на одном наборе пар и один из пяти возможных уровней мощности на другом наборе пар – 3.84 Вт, 6.49 Вт, 13 Вт, 25.5 Вт или 35.6 Вт. Общая запрошенная мощность PD – это сумма запрошенной мощности для обоих наборов пар.

9. Снижение мощности в режиме ожидания обеспечивается за счет сокращения длительности импульса для определения сигнатуры. Длительность рабочего цикла PD снижается с ~23% до ~2%.

10. Система автоопределения максимальной мощности PD сообщает хосту PSE информацию, которая позволяет PSE устанавливать выходную мощность с учетом мощности потребляемой PD и потерь в кабелях Ethernet (табл. 2).

LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 обслуживает до 48

независимых портов, каждый из которых может работать в одном из трех режимов: ручном, полуавтоматическом или автоматическом. Четвертый режим, выключение, отключает порт (табл. 3).

В ручном режиме порт ожидает инструкций от хост-системы, прежде чем предпринимать какие-либо действия. Он выполняет один цикл обнаружения или повторяющийся цикл обнаружения и классификации по команде хоста и сообщает о результате. Регистр состояния хост-системы может в любое время дать команду порту включить или отключить питание.

В полуавтоматическом режиме порт неоднократно пытается обнаружить и классифицировать любые подключенные к нему устройства. Он сообщает о состоянии этих попыток хосту и ожидает команды от хоста, прежде чем подавать питание на порт. Хост должен включить обнаружение и классификацию.

В автоматическом режиме работа осуществляется так же, как и в полуавтоматическом, за исключением того, что он автоматически подает питание

Таблица 2. Определенные IEEE распределения мощности, PD с одной подписью

Класс PD	Выходная мощность PSE	Распределенные потери в кабеле	Мощность потребляемая PD
1	4 Вт	0.16 Вт	3.84 Вт
2	6.7 Вт	0.21 Вт	6.49 Вт
3	14 Вт	1 Вт	13 Вт
4	30 Вт	4.5 Вт	25.5 Вт
5	45 Вт	5 Вт	40 Вт
6	60 Вт	9 Вт	51 Вт
7	75 Вт	13 Вт	62 Вт
8	90 Вт	18.7 Вт	71.3 Вт

Таблица 3. Режимы работы LTC9101-1/LTC9102/LTC9103

Режим работы	Уровень на выводе AUTO	OPMD-регистр	Обнаружение	Включение питания	Автоматическое назначение мощности
Авто	1	11b	Включение при сбросе	Автоматически	Да
	0	11b	Хост включен	Автоматически	Да
Полуавтоматический	0	10b	Хост включен	По запросу	Нет
Ручной	0	01b	Один раз по запросу	По запросу	Нет
Выключение	0	00b	Отключение	Отключение	Нет

на порт в случае успешного обнаружения и классификации. Этот режим работы можно включить, установив значение логической "1" на выводе AUTO при сбросе или записав в регистр OPMD (Operation Mode) состояние Авто (11b).

В режиме выключения порт отключен и не будет обнаруживать и включать PD. Независимо от того, в каком режиме он находится, чипсет LTC 9101-1/LTC9102/LTC9103 автоматически отключит питание от любого порта или канала при неисправности.

Автоматически отключается питание от любого порта, который генерирует сигнал отключения, если включено обнаружение отключения. Главный контроллер также может в любое время дать команду порту отключить питание.

Начальная конфигурация LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 зависит от состояния на выводе AUTO во время сброса. Сброс происходит при включении питания. Всякий раз, когда сброс выполняется при низком уровне на выводе AUTO, или когда установлен бит глобального сброса "All". В режиме AUTO после включения питания поведение портов LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 не изменится до тех пор, пока не произойдет сброс.

LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 использует многоточечный метод для обнаружения PD. Ложные обнаружения сводятся к минимуму благодаря проверке сигнатурного сопротивления с помощью измерений как тока, так и напряжения.

Первоначально в канале задаются два тестовых тока (через вывод OUTn) 240 и 160 мкА и измеряются результирующие напряжения. Схема обнаружения вычитает полученные напряжения и определяет наклон резистивной характеристики, вычитая смещение, вызванное диодами, включенными последовательно с питаемыми устройствами, или утечками порта (рис. 5). Если обнаружение с помощью тестовых токов дает значение действительного сопротивления сигнатуры, то затем на входы канала подаются поочередно два испытательных напряжения, а результирующие токи измеряются и вычитаются. Если измеренное напряжение менее 1 В во время любого теста тока, цикл обнаружения прерывается и в регистр состояния записывается информация о коротком замыкании.

Оба метода должны подтверждать действительные сопротивления, что соответствует верному обнаружению. Значение измеренного сопротивления, лежащее в диапазоне между 17 и 29 кОм, соответствуют требованиям сигнатуры. В регистр состояния порта заносится признак исправности. При вы-

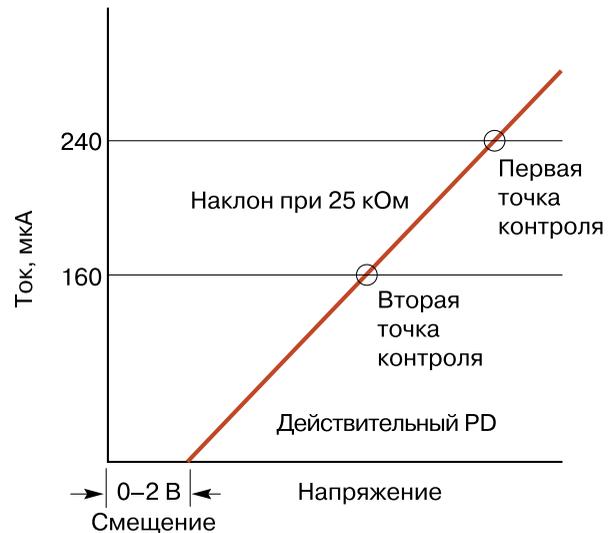


Рис. 5. К определению наклона резистивной характеристики

ходе за этот диапазон при обрыве или коротком замыкании в регистр состояния вносится соответствующая запись.

При подключении PD предоставляет PSE классификационную сигнатуру, чтобы указать максимальную мощность, которую он будет потреблять во время работы. Спецификация IEEE определяет эту сигнатуру по потребляемому постоянному току, когда



Рис. 6. Последовательность событий PSE типов 1 и 2

напряжение порта PSE находится в диапазоне класса V (от 15.5 до 20.5 В), как показано на рис. 6.

На рис. 7 показаны типичные нагрузочные характеристики PD класса 3 и устройства PSE. Значение тока указывает на одну из пяти возможных сигнатур PD.

Более подробно с классификацией устройств и признаками их обнаружения можно ознакомиться в [2].



Рис. 7. Признаки классификации устройств PD

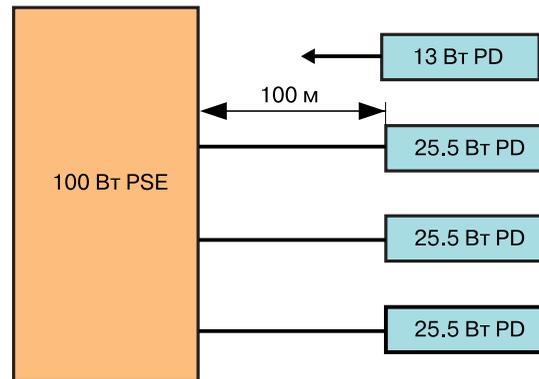
IEEE 802.3bt вводит новую дополнительную функцию – автокласс. Автокласс позволяет PSE формировать энергопотребление для PDS с одной подписью, запрашивающей большую мощность, чем необходимо в наихудших условиях эксплуатации.

В предыдущих версиях стандарта 802.3 PoE указывается минимальная выходная мощность PSE для наибольшего падения напряжения на кабеле Ethernet и минимальном выходном напряжении PSE. При использовании более короткого кабеля Ethernet выходное напряжение PSE может превышать заданный минимум, и минимальная выходная мощность PSE может существенно превышать требуемую PD мощность.

Пример системы PoE показан на рис. 8 – четырехпортовый PSE мощностью 100 Вт, обслуживает три 25.5 Вт PD подключенных 100-метровыми кабелями. Такая система требует, чтобы PSE выделял 25.5 Вт на PD и еще 4.5 Вт на каждый 100-метровый отрезок кабеля. Удельные потери мощности составляют примерно 0.5 Вт на 10 погонных метров кабеля. Эту величину потерь необходимо учитывать при подключении устройств PD.

Для работы LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 требуется два напряжения питания. Для питания цифровой части (VDD) требуется 3.3 В относительно DGND. Для питания по сети (VEE) требуется отрицательное напряжение от – 51 до – 57 В для PSE типа 2 и 3 или от – 53 до – 57 В для типа 4 PSE относительно AGND.

Чипсет LTC9101 1/LTC9102/LTC9103 может либо



Потери мощности ~0.5 Вт на 10 погонных метров кабеля

Рис. 8. Пример системы с четырехпортовым устройством PSE

обеспечивать собственную изоляцию, либо использовать существующую системную изоляцию. Значительное снижение затрат на источники питания для систем PoE может быть достигнуто с помощью запатентованной схемы изоляции.

В запатентованной схеме чипсет использует трансформаторы для изоляции LTC9101 1 от LTC9102s/LTC9103s (от одного до четырех), как показано на рис. 9. В этом случае необходимо использовать трансформаторы 10BASE-T или 10/100BASE-T с коэффициентом трансформации 1:1, обеспечивающие изоляцию 1500 В между LTC9101 1 и LTC9102s/LTC9103s.

Чипсет LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 взаимодействует с другими устройствами через собственный высокоскоростной интерфейс передачи данных, что одной ИМС LTC 9101-1 позволяет управлять четырьмя LTC9102s/LTC9103s.

В [1,2] приведено большое число различных схем включения чипсета LTC9101-1/LTC9102/LTC9103 для питания устройств по сети Ethernet и приведено подробное описание работы чипсета в различных устройствах.

ЛИТЕРАТУРА

- <https://www.analog.com/en/products/ltc9102.html>
- <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc9101-1-9102-9103.pdf>

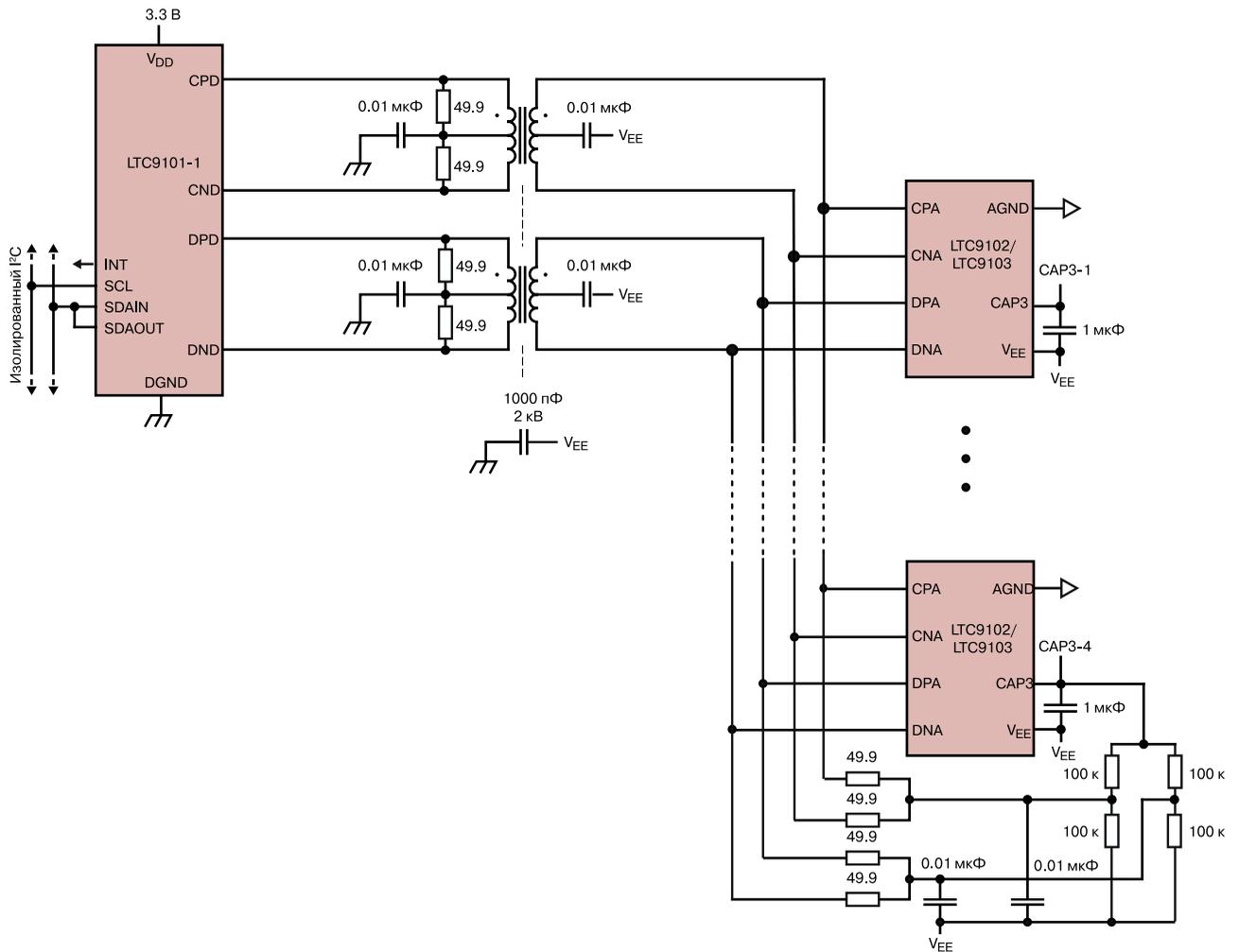


Рис. 9. Запатентованная схема изоляции чипсета LTC9101-1/LTC9102/LTC9103

VD MAIS

Контрактное производство электроники
(по стандарту IPC-A-610)



- автоматизированный монтаж SMD-компонентов (до 2.5 млн в сутки)
 - автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
 - монтаж прототипов печатных плат
 - 100% автоматический оптический контроль качества монтажа
 - изготовление опытных образцов изделий
 - мелко- и крупносерийное производство
 - 10-летний опыт контрактного производства
 - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016
- Цены – оптимальные.**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua

VD MAIS

Разработка и серийное производство электроники



- разработка электрических схем
 - проектирование и изготовление печатных плат
 - комплектация изделий электронными компонентами и конструктивами
 - контрактное производство (по стандарту IPC-A-610G):
 - автоматизированный монтаж SMD-компонентов и автоматизированная селективная пайка компонентов, монтируемых в отверстия
 - изготовление опытных образцов изделий
 - мелко- и крупносерийное производство
 - многолетний опыт разработки и производства
 - гарантия качества
- Сертификация на соответствие требованиям стандартов ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, IATF 16949:2016 и ISO 13485:2016
- Цены – оптимальные.**

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6
тел.: (0-44) 201-0202, 492-8852, факс: (0-44) 202-1110
e-mail: info@vdmmais.ua, www.vdmmais.ua