

## МАТРИЧНЫЙ СВЕТОДИОДНЫЙ ДИММЕР LT3967 С АВТОМАТИЧЕСКИМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

В статье приведена краткая информация о матричном светодиодном диммере для систем освещения. Система автоматического распознавания короткого замыкания или обрыва цепочки или одного светодиода шунтирует поврежденные участки линейки светодиодов и формирует сигнал неисправности с указанием места неисправности. Применение такого диммера позволяет не только регулировать яркость свечения в широком диапазоне, но и повысить надежность работы таких светильников.

В. Макаренко

### LT3967 MATRIX LED DIMMER WITH AUTO FAULT DETECTION

**Abstract** – This article provides a brief introduction to LED matrix dimmer for lighting systems. The system of automatic recognition of a short circuit or an open circuit or one LED failure, bypasses the damaged sections of the LED line and generates a fault signal indicating the location of the fault. The use of such a dimmer allows not only to regulate the brightness of the glow in a wide range, but also to increase the reliability of such lamps.

V. Makarenko

Новая ИМС от компании Analog Devices LT3967 – это матрица коммутирующих транзисторных ключей с низким сопротивлением открытого ключа и независимой регулировкой порога срабатывания каждого ключа. ИМС предназначена для дискретной и плавной регулировки яркости светодиодной линейки в широком диапазоне. Восемь переключателей могут быть включены параллельно или последовательно для формирования цепочки подключенных светодиодов. Управление режимами работы ИМС осуществляется через последовательный интерфейс связи с микроконтроллером I2C. Каждый из восьми ключей можно запрограммировать независимо для отключения цепочки светодиодов или ШИМ-регулировки яркости. ИМС обеспечивает экспоненциальное изменение яркости свечения светодиодов с программируемым временем этого процесса.

В узел управления каждым ключом встроена система обнаружения короткого замыкания или обрыва цепочки светодиодов, которая информирует о неисправности и ее характере. Четыре адресных вывода позволяют осуществлять по одной шине I2C управления 16 устройствами.

Основные параметры ИМС LT3967 [1]:

- восемь независимых ключей с сопротивлением открытого канала 110 мОм
- ток утечки закрытого ключа не более 1 мкА
- время открытия/закрытия ключей не более 2.2 мкс
- напряжение срабатывания системы защиты от перенапряжения не более 17 В при токе через ключ 1.3 А
- программируемый порог срабатывания ключа

от 6.1 до 10.1 В

- программируемый порог запираения ключа от 1 до 4 В
- управление линейками светодиодов с напряжением до 54 В
- последовательный интерфейс I2C с программируемым адресом
- проверка ошибок пакетов данных I2C с помощью CRC-8
- программируемое ШИМ-регулирование яркости 256:1 (8-бит)
- настраиваемая частота ШИМ-сигнала
- независимое включение / выключение каждого ключа
- экспоненциальное изменение яркости свечения с программируемым временем (11-битное разрешение)
- программируемое пороговое значение определения короткого замыкания или обрыва цепочки светодиодов
- защита от перегрева
- внутренний генератор сигналов ШИМ
- программируемый сторожевой таймер
- определяемое пользователем состояние включения / выключения ключей
- диапазон рабочих температур –40...125 °C (LT3967E), –40...150 °C (LT3967J)
- габаритные размеры 9.6×6.4×1.2 мм
- термоусиленный корпус TSSOP-28.

Функциональная схема ИМС LT3967 приведена на рис. 1.

LT3967 сохраняет работоспособность при изменении напряжения питания  $V_{DD}$  в диапазоне от 2.7 до

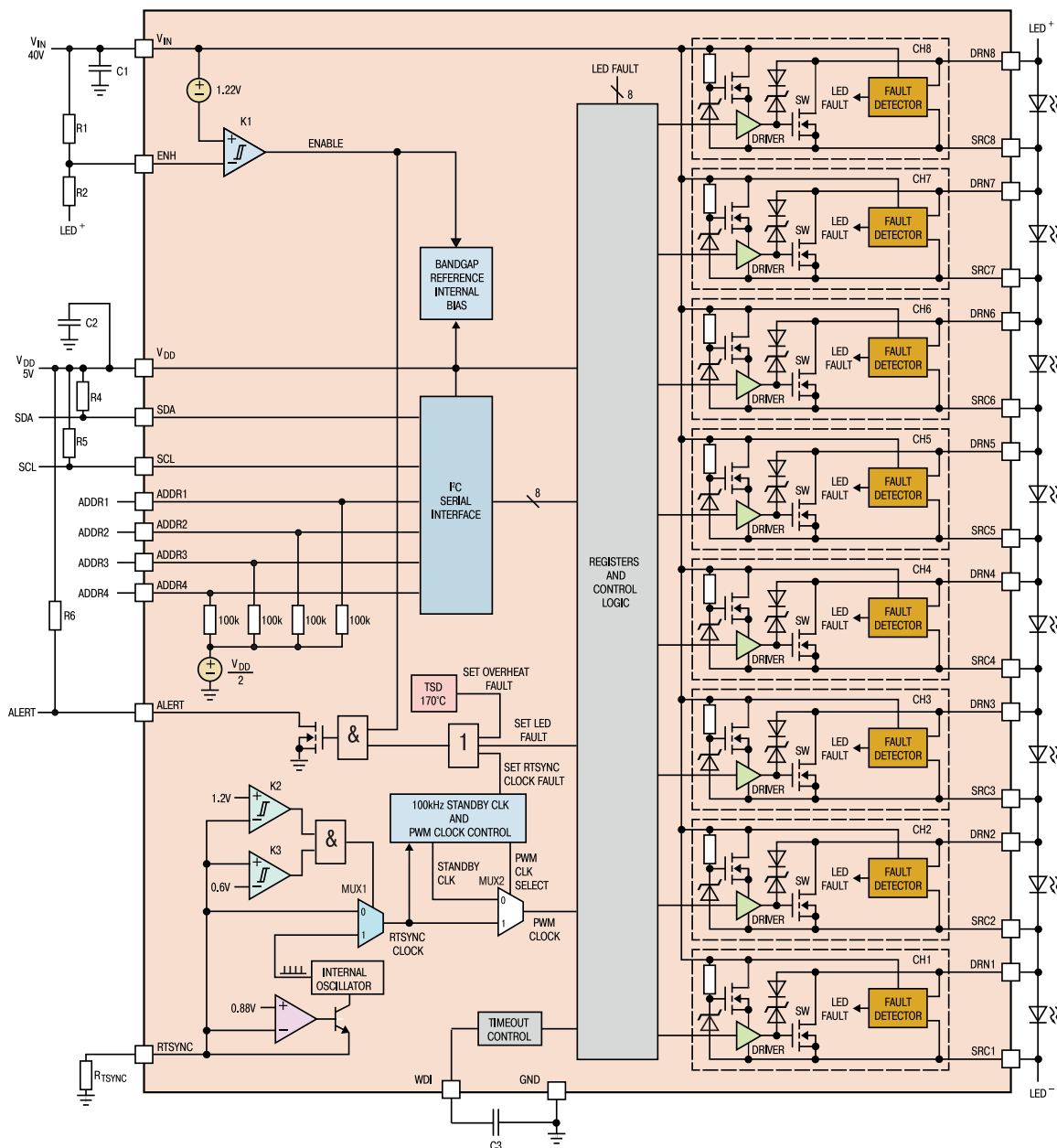


Рис. 1. Функциональная схема ИМС LT3967

5.5 В. Питание на схеме управления ключами подается со входа  $V_{IN}$ . Ключи могут быть подключены как последовательно, так и параллельно.

Между выводами каждого из восьми переключателей каналов можно включить один или несколько последовательно соединенных светодиодов с суммарным падением напряжения до 10.1 В. Каждый канал содержит детектор неисправности светодиодов (FAULT DETECTOR), который можно запрограммировать для обнаружения обрыва светодиода при одном из двух пороговых уровней: 5.5...6.1 В и 10.8...11.4 В (настройка по умолчанию). При обнаружении обрыва светодиода переключатель канала

сформирует путь обхода неисправного светодиода (или цепочки светодиодов) для сохранения тока через линейку светодиодов. Путь обхода формируется путем замыкания ключа, подключенного параллельно неисправной цепочке светодиодов.

Регулировка яркости свечения светодиодов (диммирование) с помощью ШИМ сигналов управления для этого канала прерывается. Детектор также можно запрограммировать на обнаружение короткого замыкания светодиода. Для этого можно задать один из двух пороговых уровней – 1 В (настройка по умолчанию) и 4 В. Пороговые уровни 1 В и 4 В могут использоваться, чтобы отличить 2 корот-

козамкнутых светодиода от 1 короткозамкнутого светодиода в цепочке с несколько включенными светодиодами. При обнаружении короткого замыкания регулирование яркости в этом канале с помощью ШИМ-модуляции сохраняется.

Кроме контроля неисправностей светодиодов и часов реального времени RTSYNC в ИМС предусмотрен контроль температуры и защита от перегрева (температура кристалла более 170 °С). При обнаружении одной из неисправностей на входе ALERT формируется низкий уровень для прерывания мастер-шины. При появлении предупреждения (ARA – Alert Response Address) можно определить, какое устройство отправило сообщение о неисправности.

По интерфейсу I2C можно передать девять команд в регистры ИМС для настройки переключателей каналов, проверки данных детекторов неисправности светодиодов, формирования времени изменения яркости свечения.

LT3967 содержит два регистра статуса неисправности (только для чтения сообщения о неисправностях светодиодов и перегреве). Последовательный интерфейс I2C поддерживает произвольную адресацию любого регистра. Контакты выбора адреса ADDR4, ADDR3, ADDR2 и ADDR1 позволяют использовать до 16 устройств LT3967 при подключении к одной шине I2C.

При подключении резистора между выводом RTSYNC и общим проводом используется внутренний генератор тактовых импульсов. Можно использовать внешний генератор, сигнал которого подается на вход RTSYNC. Несущая частота ШИМ-сигнала при управлении от внешнего генератора в 2048 раз меньше частоты поданного сигнала.

После включения питания при достижении напряжением  $V_{DD}$  величины 2.5 В формируется внутренний сигнал сброса (POR – Power-On Reset) для

сброса всех регистров LT3967 до значений по умолчанию. Значения сопротивлений резисторов на выводах ADDR используются для определения состояния по умолчанию регистра ACMREG.

Сигнал POR также инициализирует затемнение каждого канала сигналом ШИМ. Сигналы управления ключами формируются со сдвигом на 1/8 периода, что позволяет избежать одновременного переключения каналов в начале цикла диммирования для уменьшения скачков тока во время переходного процесса (рис. 2).

Вывод ENH используется для включения ИМС. При нулевом напряжении на выводе ENH LT3967 находится в выключенном состоянии. В этом режиме ШИМ-регулирование яркости, сигнал подтверждения на выводе ALERT, обнаружение обрыва светодиодов и сообщения об ошибках отключены.

Однако при увеличении напряжения между выводами DRN и SRC свыше 13 В детектор неисправности срабатывает и открывает транзисторный ключ, что приводит к закорачиванию неисправных светодиодов. Ключ останется открытым пока не будет закрыт при включении питания (при отсутствии неисправности).

Независимо от того, включена ли ИС или находится в состоянии выключения, пока подается напряжение  $V_{DD}$  последовательный интерфейс активен, но изменить любые данные в регистрах невозможно. Когда на вывод ENH подано высокое напряжение, ИМС включается и все биты регистров OL-FREG и SLFREG устанавливаются в ноль и включаются ШИМ-регулирование яркости, сигнал подтверждения на выводе ALERT и сообщения о неисправностях.

Для нормальной работы ИМС необходимо, чтобы напряжение  $V_{IN}$  было как минимум на 6 В выше, чем напряжение  $V_{LED+}$ . Поэтому рекомендуется включать ИМС только после выполнения условия

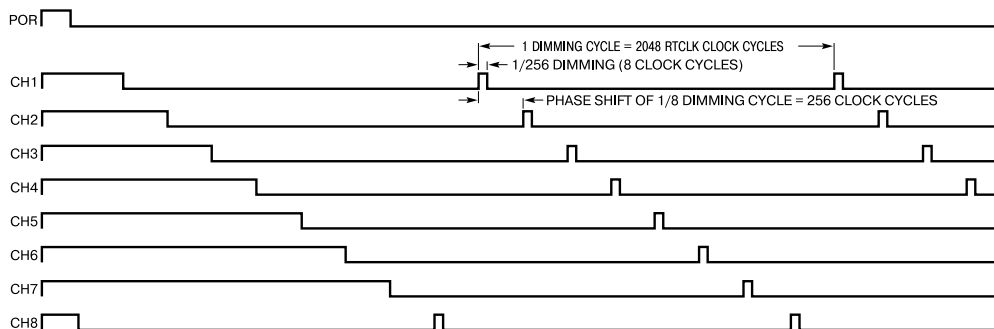


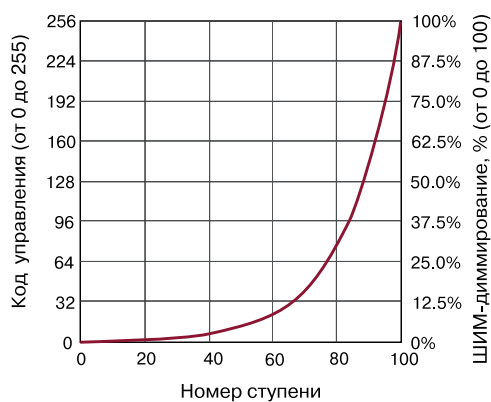
Рис. 2. Временные диаграммы сигналов управления ключами после формирования сигнала POR

$$V_{IN} + 6 \geq V_{LED+}$$

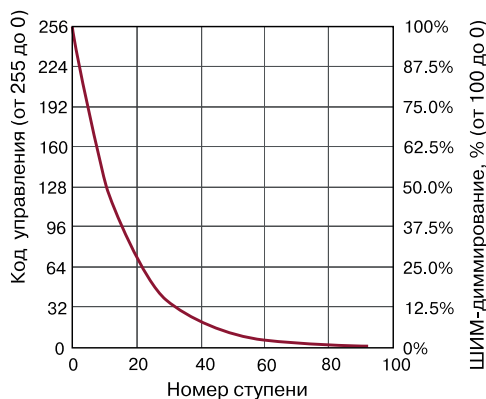
Резистивный делитель R1, R2, показанный на рис. 1, используется для формирования входного сигнала ENH.

Каждый канал LT3967 можно программировать независимо без выполнения диммирования с плавным переходом. Изменение яркости от начального значения до целевого значения осуществляется за один цикл диммирования. Постепенное изменение яркости от начального до целевого значения осуществляется дискретно в несколько циклов диммирования в соответствии с заданной экспоненциальной кривой. Начальное значение яркости задается 8-разрядным кодом, записанным в регистр SCMREG.

Максимальное количество ступеней при изменении яркости от максимальной до минимальной и наоборот равно 96 (рис. 3).



а)



б)

**Рис. 3. Переходная кривая затемнения при увеличении яркости свечения светодиодов (а) и при уменьшении (б)**

В [1] приведена информация о структуре данных регистров команд, схема управления каналами, подробное описание особенностей работы после-

довательного интерфейса I2C и приведены фрагменты кода для контроля ошибок передачи данных.

Программирование порогового значения напряжения открытия канала (VOTH) при обрыве в цепи светодиода осуществляется короткой командой записи SCMODE. Можно запрограммировать VOTH равным 6.1-5.5 В или оставить значение 11.4-10.8 В, устанавливаемое по умолчанию.

Программирование порогового значения напряжения, фиксирующего короткое замыкание в цепи светодиода, осуществляется короткой командой записи SCMODE. Можно запрограммировать VSTH равным 1 В или оставить значение 4 В, устанавливаемое по умолчанию.

Рекомендуется регулировать напряжения VOTH и VSTH от установленного значения по умолчанию до требуемого значения пороговых уровней, основываясь на падении напряжения на светодиоде или цепочке светодиодов, используемых в светильнике.

Используя длинный формат команды записи SCMODE, можно запрограммировать время полного регулирования затемнения (FTM – Fade Time Programming). Для этого используется коэффициент умножения времени процесса. Значения коэффициента можно установить равным 1, 2, 4, 8, 16, 24 и 31.

Время затемнения можно рассчитать по формуле

$$T_{FADE} = N \cdot T_{STEP} = N \cdot M \cdot T_{PWM} = 2048N \cdot M \cdot T_{RTSYNC}$$

где  $N$  – число ступеней регулирования,  $M$  – запрограммированный коэффициент умножения времени процесса,  $T_{STEP}$ ,  $T_{PWM}$  и  $T_{RTSYNC}$  – время выполнения одной ступени регулирования, время одного цикла ШИМ-диммирования и один период сигнала RTSYNC, соответственно.

Если  $M = 0$ , затемнение осуществляется практически мгновенно (без цикла плавного изменения яркости).

Для синхронизации работы нескольких ИМС LT3967 необходимо использовать один общий генератор тактовой частоты, сигнал которого необходимо подать на входы внешней синхронизации RTSYNC всех используемых микросхем.

LT3967 имеет программируемый сторожевой таймер для мониторинга связи по шине I2C. Вывод WDI предназначен для установки времени начала мониторинга сторожевого таймера, используя для этого процесс заряда конденсатора, включенного между выводом WDI и общим проводом.

Как только напряжение на конденсаторе превы-

сит значение 2.5 В, включается мониторинг последовательного интерфейса и формируется сигнал тайм-аут. Все регистры устанавливаются в значения по умолчанию и включается синхронизация от внешнего источника, сигнал которого подается на вход RTSYNC. Т.е. осуществляется начальная инициализация ИМС.

При включении ИМС включается синхронизация либо от внешнего источника, либо от внутреннего генератора RTSYNC. Кроме внутреннего генератора RTSYNC LT3967 содержит резервный генератор, формирующий сигнал с частотой 100 кГц. При отказе внутреннего генератора RTSYNC или сбоя в его работе синхронизация ШИМ-модулятора включается от резервного генератора.

При потере соединения с внешним источником синхронизирующих импульсов (при работе с внешним сигналом) автоматически осуществляется переход на работу с внутренним генератором. ИМС работает с внутренним генератором при включении, если между выводом RTSYNC и общим проводом включен резистор (рис. 1).

Если ИМС LT3967 обнаруживает обрыв или короткое замыкание светодиодов и перегрев кристалла свыше 160 °С, через последовательный интерфейс передается сигнал предупреждения о неисправности. Одновременно такой сигнал (нулевой уровень) формируется на выводе ALERT.

Лучше всего разместить LT3967 и управляемые им светодиоды на одной печатной плате и сделать провода подключения светодиодов как можно короче. Длинные провода (больше 10 см) между LT3967 и светодиодами создают паразитную индуктивность. Это может привести к недостаточному демпфированию RLC-цепи, образующей колебательный

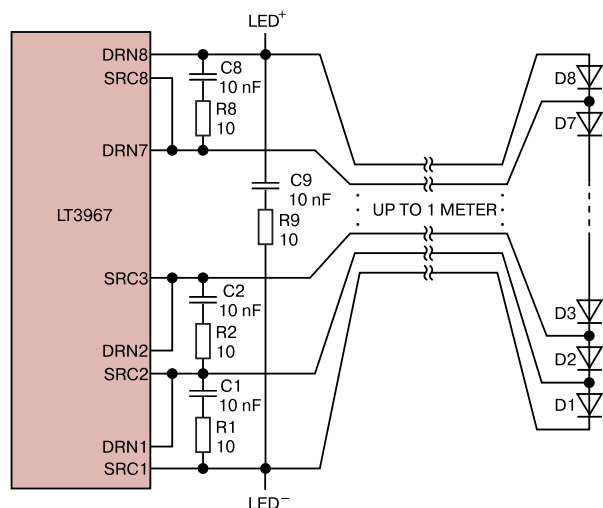


Рис. 4. Включение демпфирующих цепочек для уменьшения выбросов при переходных процессах

контур из паразитных емкости и индуктивности. При включении и выключении ключа канала скачки напряжения на его выводах приводят к возбуждению колебаний в контуре. Метр провода может внести паразитную индуктивность около 1 мкГн. В результате переходной процесс будет иметь вид гармонического сигнала, амплитуда которого будет спадать по экспоненциальному закону. При этом выброс напряжения может превысить установленный порог срабатывания защиты и привести к отключению исправных светодиодов.

Для уменьшения выбросов рекомендуется между выводами ключей включать демпфирующие цепи, как показано на рис. 4.

При использовании таких цепочек длина соединительных проводов может быть увеличена до 1 м при токе до 1.3 А без ложных срабатываний узлов

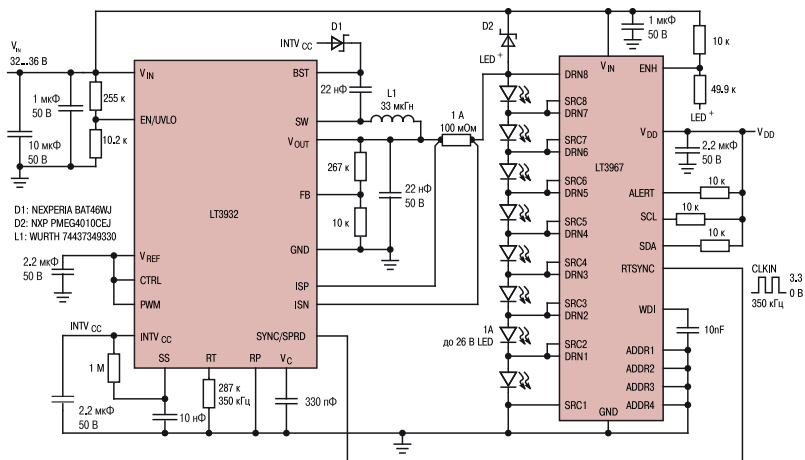


Рис. 5. Схема включения одной ИМС LT3967

определения неисправностей. Демпфирующие цепи следует размещать рядом с ИМС. Для цепочки из 8 ключей необходимо 9 демпфирующих цепочек (дополнительная демпфирующая цепь R9C9 между выводами питания цепочки светодиодов).

Схема включения одной ИМС LT3967 приведена на рис. 5, а двух – на рис. 6.

Даже краткий обзор возможностей новой ИМС свидетельствует о перспективности ее использования в системах светодиодного освещения. Система обнаружения обрывов и короткого замыкания в цепочках светодиодов, позволяющая создавать об-

ходные пути, дает возможность сохранить работоспособность светильника даже при выходе из строя нескольких светодиодов в линейке. Информация о виде неисправности и ее локализации передается по интерфейсу I2C на микроконтроллер, что позволяет легко обнаруживать неисправные элементы и ускорить работы по устранению неисправностей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/lt3967.pdf>.

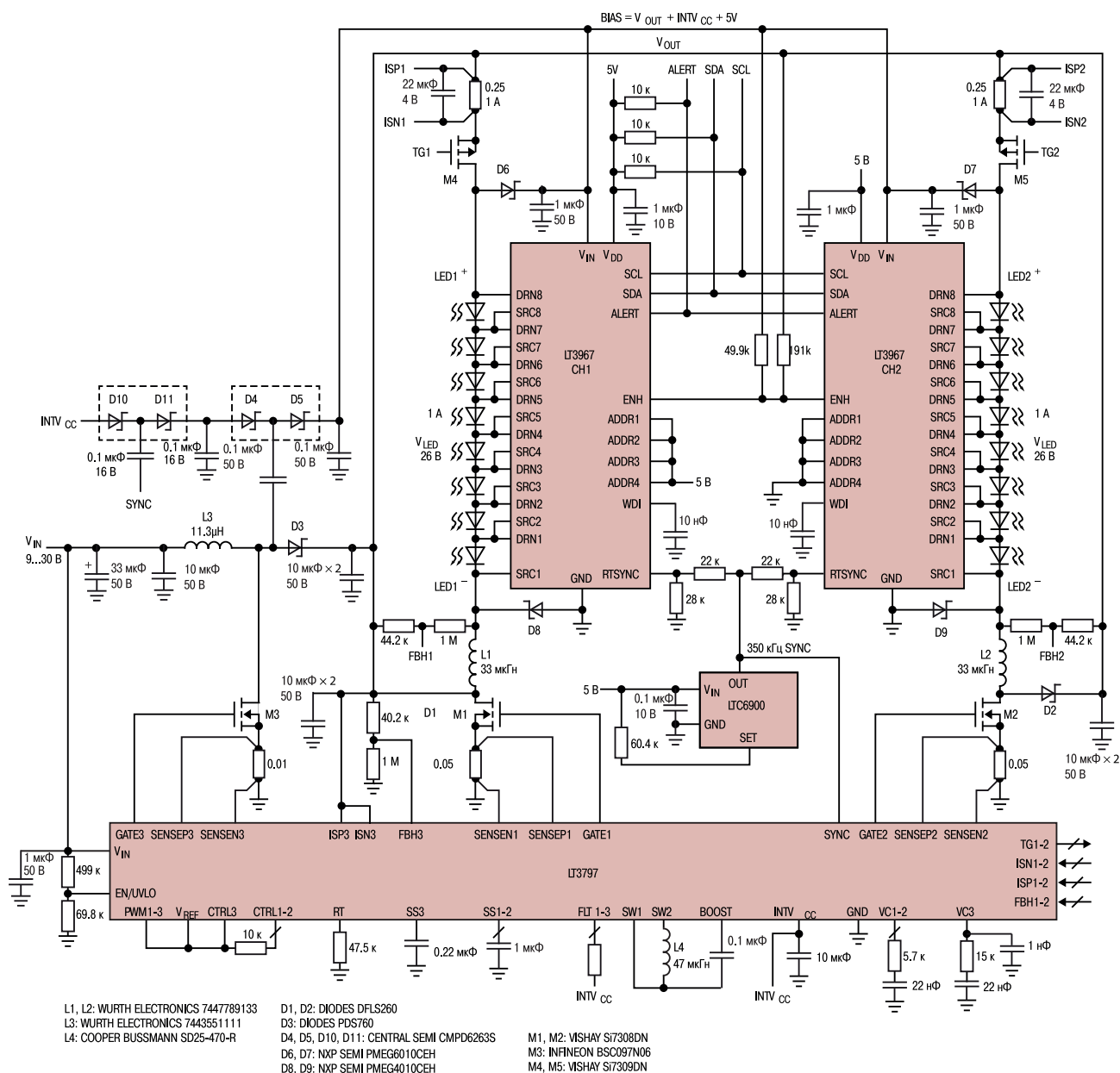


Рис. 6. Схема включения двух ИМС LT3967