

# Автоматы лестничного освещения с акустическим датчиком и функцией таймера

Александр Одинец

В статье рассмотрены два автомата, представляющие собой так называемые «трёхполюсник» и «двухполюсник». Первый автомат включает лампу накаливания на время от 15 с до 2 мин при появлении звуковых сигналов. Выдержка времени продлевается по мере поступления новых звуковых сигналов. Второй вариант автомата обеспечивает двухступенчатую задержку выключения освещения. По прошествии половины временного интервала автомат уменьшает яркость лампы накаливания до 50%, а по прошествии всей временной выдержки уменьшает до 10%.

## Общие сведения

Первый автомат «трёхполюсник» имеет три выходных контакта, а второй автомат – «двухполюсник» – два контакта, что позволяет включать его последовательно с лампой накаливания без необходимости дополнительной проводки. Стандартную сетевую разветвительную коробку промышленного производства, в которую устанавливается каждый из автоматов, можно разместить в любом удобном месте, обеспечив хорошую вентиляцию коммутирующим элементам в целях пожарной безопасности.

Значительно увеличить срок службы лампы накаливания можно, только обеспечив наиболее благоприятный режим её работы. Как известно, разрушение нити лампы накаливания происходит в большинстве случаев именно в момент включения, когда сопротивление нити в холодном состоянии почти в 10 раз меньше, чем в разогретом. Разогрев нити происходит в течение нескольких полупериодов сетевого напряжения, поэтому при включении происходит большой бросок тока, достигающий по амплитуде нескольких ампер. Применение тиристорного регулятора яркости с фазоимпульсным управлением в составе автомата лестничного освещения позволяет ограничить максимальное напряжение в вечерние часы, когда оно возрастает по причине уменьшения числа потребителей. Такой автомат можно дополнить акустическим датчиком и функцией таймера, что позволит при появлении звукового сигнала включать лампу накали-

вания с максимальной яркостью на время от 15 секунд до 2 минут. Кроме того, ограничение по времени включения лампы накаливания позволяет достичь дополнительной экономии электроэнергии.

## Схема электрическая и принцип работы первого варианта устройства

Первый вариант автомата с акустическим датчиком (микрофоном), схема электрическая которого показана на рис. 1, при звуке шагов, хлопке закрываемой двери и других достаточно громких звуках автоматически включает свет на лестничной площадке, в арке или где-нибудь в подсобном помещении. После прекращения звуковых сигналов производится выдержка времени (от 15 с до 2 мин), после чего освещение выключается. Автомат обладает высокой чувствительностью, питается непосредственно от осветительной сети и не требует применения дополнительных блоков питания.

Работает автомат следующим образом. При появлении звукового сигнала переменное напряжение амплитудой несколько милливольт с выхода микрофона через разделительный конденсатор С1 поступает на двухкаскадный усилитель, выполненный на транзисторах VT1 и VT2, и после усиления до напряжения 6...7 В через разделительный конденсатор С4 поступает на входы триггера Шмитта DD1.1, который формирует на выходе прямоугольные импульсы положительной полярности. Каждый такой импульс

открывает эмиттерный повторитель VT3, усиливающий сигнал по току, и быстро заряжает конденсатор С5. На входах элемента DD1.2 формируется уровень лог. 1, который, инвертируясь, закрывает ключевой транзистор VT4 и формирует на его коллекторе, благодаря резистору R12, напряжение уровня лог. 1, разрешающее работу схемы управления коммутирующим тиристором VS1.

Для коммутации лампы накаливания используется узел на основе цифрового компаратора, рассмотренный в [1], который реализует наиболее экономичное импульсное управление тиристором в моменты перехода сетевого напряжения, близкие к нулю. Опыт повторения автором данной конструкции показал частичную неработоспособность данного автомата по приведённой в [1] схеме двухполюсника, однако схемотехническое решение управления коммутирующим тиристором заслуживает внимания, так как позволяет значительно повысить экономичность автомата и рассеивание мощности на балластном резисторе за счёт импульсного управления тиристором, а не постоянным током. Рассмотрение причин неработоспособности оригинальной конструкции [1] выходит за рамки данной статьи, но здесь отметим, что автору всё-таки удалось заставить работать оригинальный автомат управления освещением, но только включив его по схеме «трёхполюсника».

В схеме на рис. 1 на элементах DD1.3 и DD1.4 выполнен вышеназванный компаратор, срабатывающий при каждой полуволне сетевого напряжения в момент, когда её значение достигает порога переключения элемента DD1.3 (примерно половина питающего напряжения ИМС). При этом на выходе элемента DD1.4 формируются положительные импульсы, равные по длительности времени открывания тиристора. Каждый такой импульс открывает транзистор VT5. В результате тиристор VS1 также открывает-

ся и подключает лампу накаливания последовательно с диодным мостом. Но после этого напряжение на тиристорном уменьшится примерно до 1,5 В, что приводит компаратор, собранный на элементах DD1.3 и DD1.4, в исходное состояние, напряжение с выхода которого закрывает транзистор VT5. Тиристор же остаётся в открытом состоянии до тех пор, пока сетевое напряжение не достигнет «нулевого» значения. Затем начнётся вторая полуволна сетевого напряжения и описанный процесс повторится.

Ток протекает через транзистор VT5, а значит, и подаётся на управляющий электрод тиристора, только в течение времени, необходимого для открывания тиристора, – несколько десятков микросекунд. Таким образом, тиристор открывается коротким мощным импульсом тока с небольшой задержкой после начала каждой полуволны сетевого напряжения. Это и обеспечивает устройству высокую экономичность, а тиристор – надёжное включение.

После исчезновения звукового сигнала конденсатор C5 начинает постепенно разряжаться, и когда напряжение на нём снизится до порога переключения элемента DD1.2, напряжение на коллекторе транзистора VT4 упадёт до нуля, и лампа накаливания погаснет. При появлении новых звуковых сигналов открывающийся транзистор VT3 будет подзаряжать конденсатор C5, и время выдержки будет продлеваться. Время задержки свечения лампы накаливания определяется ёмкостью конденсатора C5 и величиной введённой части сопротивления подстроечного резистора R9 и может изменяться в пределах от 15 секунд до 2 минут.

**Конструкция и детали.** Данный автомат собран на печатной плате (рис. 2) из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм из квадратной заготовки размерами 78×78 мм. Для установки в стандартную пластмассовую сетевую разветвительную коробку типа КЭМ5-10-7 в квадратной заготовке вырезаются уголки размерами 13×13 мм. В автомате применены постоянные резисторы типа МЛТ-0,125, МЛТ-0,5 (R15), МЛТ-2 (R18), подстроечный – СПЗ-386 в горизонтальном исполнении, электролитические конденсаторы – типа К50-35 или аналогичные импортные, неполярные – К10-17. Микрофон может

быть типа CZN-15E, МКЭ-332, МКЭ-333, МКЭ-389-1 (используются в телефонии). На месте стабилитрона VD1 могут работать Д814В (а также с индексами «Г», «Д»), Д810, Д811, Д812, КС510, КС512 или аналогичные импортные маломощные с напряжением стабилизации 10...12 В – ВZX55С10, ВZX55С12. Диод VD2 – любой маломощный кремниевый из серий КД503, КД521, КД522, 1N4148 – ограничивает напряжение, подводимое к входу элемента DD1.3 с делителя R13–R15 уровнем, чуть превышающим (на величину прямого напряжения диода VD2) напряжение питания микросхемы. Диод VD3 – типа КД105 с индексами «Б», «В», «Г» или Д226 с индексами «Б», «В» или КД209 с индексами «А», «Б», «В». Диоды моста VD4...VD7 могут быть из серии КД226 с индексами «Г», «Д», «Е» или другие с минимально допустимым током не менее 1 А и обратным напряжением не менее 400 В. На месте тиристора VS1 могут работать КУ201 с индексами «К», «Л», «М» (при мощности нагрузки до 300 Вт), а также КУ202М, КУ202Н (при мощности нагрузки до 2 кВт). Во втором случае диоды выпрямительного моста должны быть рассчитаны на ток не менее 10 А и все силовые элементы должны устанавливаться на теплоотводящие радиаторы. Транзисторы VT1, VT2 должны быть из серии КТ3102 с индексом «ЕМ» или импортные BC547C или BC549C, но обязательно со статическим коэффициентом передачи тока не менее 400; VT3...VT5 – из серий КТ3102, КТ503 с любым буквенным индексом. Микросхема К561ТЛ1 (CD4093AN) заменяема на KP1561ТЛ1 (CD4093BN).

Автомат в настройке практически не нуждается, за исключением установки желаемого времени задержки свечения лампы накаливания после исчезновения звукового сигнала с помощью резистора R9. Для получения ещё большей чувствительности (для срабатывания на звук поворота ключа в замочной скважине) в устройство устанавливают резистор R7 сопротивлением 2,2 МОм, показанный на схеме штриховой линией.

### Схема электрическая и принцип работы второго варианта устройства

В качестве базового схемотехнического решения второго варианта автомата лестничного освещения (рис. 4) используется тиристорный регулятор

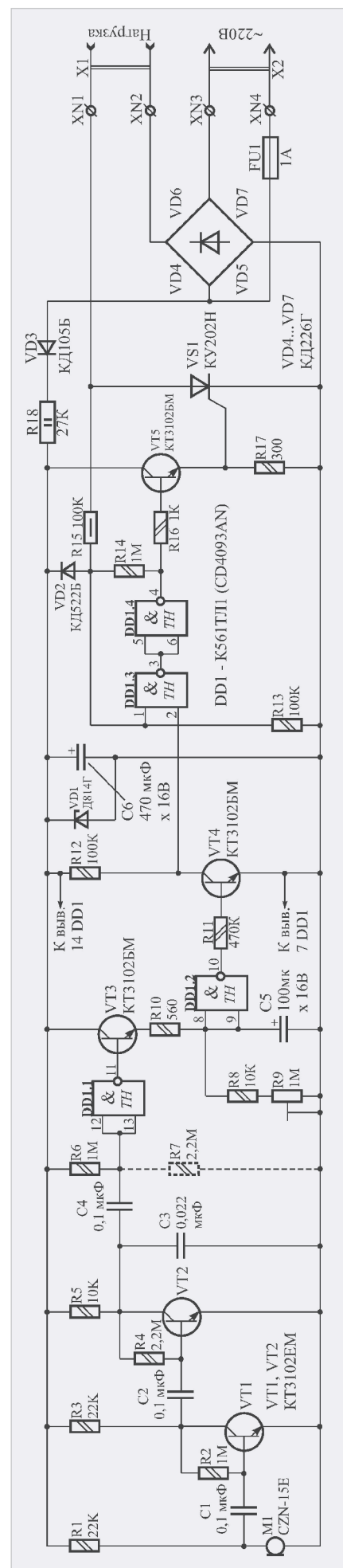


Рис. 1. Автомат лестничного освещения с акустическим датчиком. Схема электрическая принципиальная

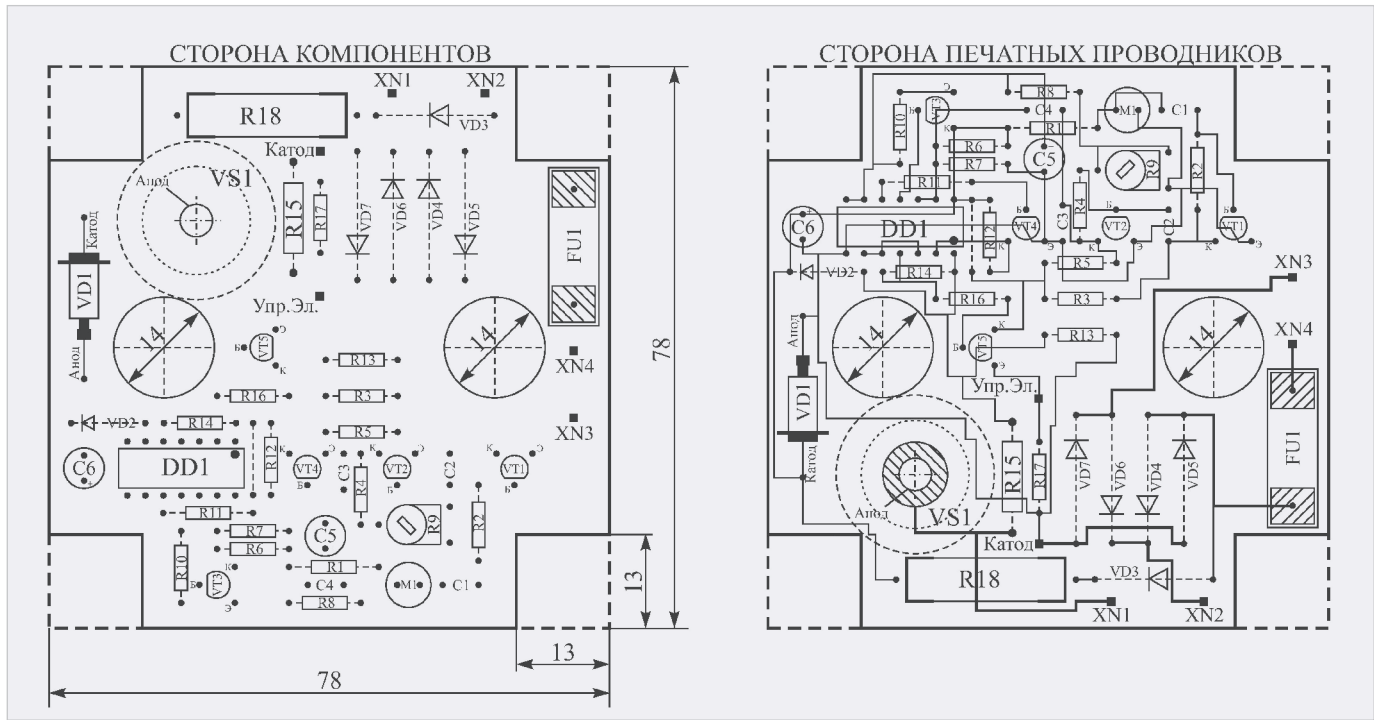


Рис. 2. Автомат лестничного освещения с акустическим датчиком. Рисунок печатной платы

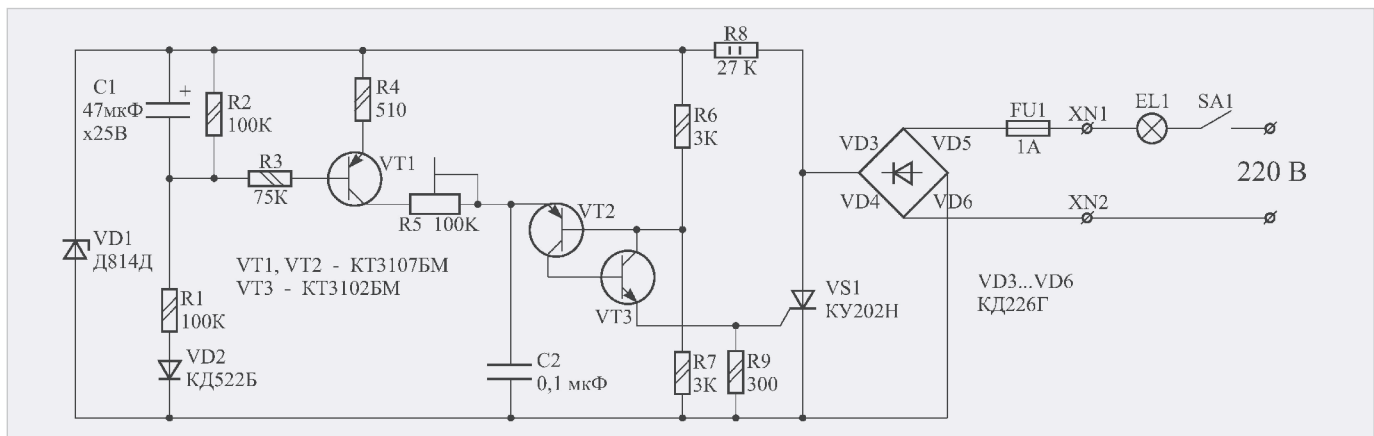


Рис. 3. Автомат защиты ламп накаливания. Схема электрическая принципиальная

яркости [2] с некоторыми изменениями (рис. 3). В частности, два транзистора КТ361, образующие составной, заменены одним из серии КТ3107ЕМ с большим коэффициентом усиления, а для уменьшения времени разрядки конденсатора С1 после выключения питания введён резистор R2.

Автомат (рис. 4) обеспечивает ступенчатое снижение яркости лампы накаливания по прошествии половины выдержки времени, а после полного завершения отсчёта всего временного интервала переходит в режим пониженного энергопотребления с минимальной яркостью лампы. Длительность выдержки может составлять от 1 до 18 часов. Соответственно полупериод отсчёта составляет от 30 минут до 9 часов. По прошествии полупериода отсчёта вре-

мени яркость лампы снижается вдвое, к примеру, до 50% от максимальной, что исключает превышение максимально допустимого напряжения в вечерние часы, когда число потребителей сокращается и напряжение в сети возрастает.

Благодаря применению фазоимпульсного регулятора яркости (рис. 3) в своём составе автомат обеспечивает плавное нарастание тока в момент включения в течение 1 с, что исключает бросок тока благодаря плавному разогреву нити накаливания. Данный автомат (рис. 4) использует фазоимпульсное управление моментом включения тиристора, что определяет мощность, отдаваемую в нагрузку. Сущность фазоимпульсного метода заключается в изменении задержки до момента открывания тиристора,

считая с момента перехода сетевого напряжения через нуль. Чем раньше открывается тиристор, тем больше мощность, отдаваемая в нагрузку, и наоборот – чем позже открывается тиристор, тем меньше мощность, отдаваемая в нагрузку.

В начальный момент времени, когда сетевое напряжение близко к нулю, конденсатор С2 разряжен, транзисторы VT2, VT3 и тиристор VS1 закрыты. После завершения зарядки конденсатора С1 транзистор VT1 полностью открыт, и момент открывания тиристора определяется только постоянной времени цепи R4-R5-C2. По мере заряда конденсатора С2 падение напряжения на эмиттерном переходе транзистора VT2 возрастает. При достижении значения около 0,6 В начинает приоткрываться транзистор VT3, поскольку

в его базовой цепи начинает протекать ток. Это приводит к ещё большему увеличению тока базы транзистора VT2 и лавинообразному включению двух последних и тиристора. Момент появления тока управляющего электрода тиристора VS1 определяет мощность, отдаваемую в нагрузку.

Схема электрическая усовершенствованного варианта автомата лестничного освещения, предназначенного для ступенчатого снижения яркости лампы, приведена на рис. 4. В его составе используется рассмотренный выше тиристорный регулятор яркости с фазоимпульсным управлением, но для нормальной работы автомата и обеспечения питающих напряжений в состав регулятора введена цепочка последовательно включённых резисторов R29–R30, задающая начальную яркость свечения лампы накаливания на уровне 10...15%. Это необходимо для получения стабильного питающего напряжения автомата «+5 В».

В момент замыкания цепи питания (SA1) падение напряжения на лампе накаливания максимально, и, так как в состав параметрического стабилизатора введены балластные конденсаторы C5, C6 относительно небольшой ёмкости, зарядка конденсатора C4 происходит не сразу, а в течение десятых долей секунды. По этой причине постоянная времени интегрирующей цепи R4–C2 выбрана несколько больше времени установления питающего напряжения «+5 В» на выходе интегрального стабилизатора DA1 для обеспечения надёжного обнуления счётчиков DD2 и DD3 в момент включения питания. После установления питающего напряжения «+5 В» на входе инвертирующего элемента DD1.3 с триггером Шмитта ещё некоторое время (определяется номиналами R4, C2) поддерживается уровень лог. 0, который после инвертирования этим элементом обнуляет счётчики DD2 и DD3.

После установки счётчиков DD2 и DD3 в нулевое состояние на выходе «Q12» счётчика DD3 (вывод 1) старшего разряда появляется уровень лог. 0, который, инвертируясь элементом DD1.5, закрывает диод VD8, и, благодаря уровню лог. 1 с выхода элемента DD1.6, открывается ключевой транзистор VT1. Нижний по схеме вывод резистора R18 оказывается подключённым к общему проводу, и происходит зарядка конденсато-

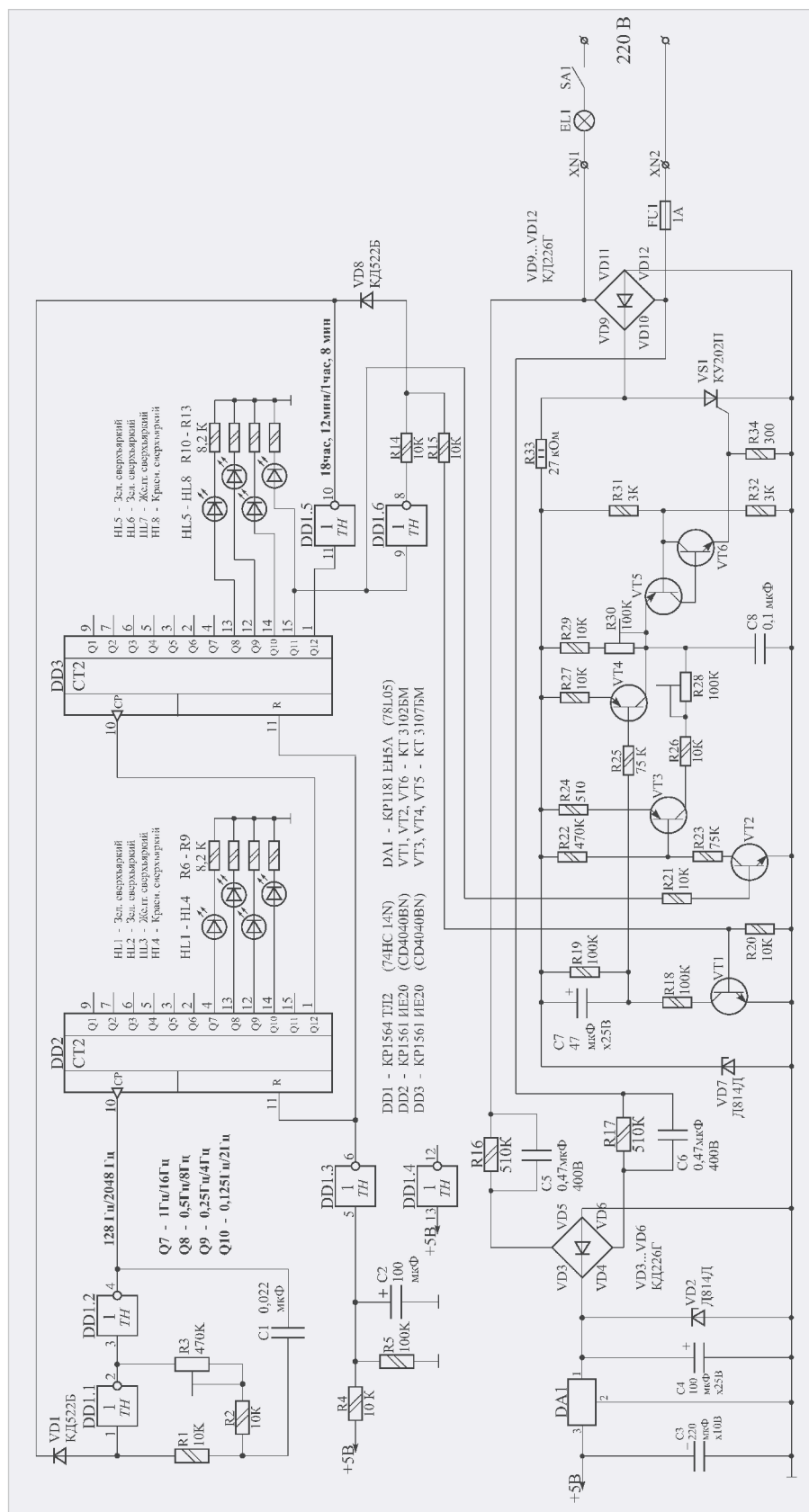


Рис. 4. Автомат лестничного освещения с функцией таймера. Схема электрическая принципиальная

ра C7. Яркость лампы накаливания возрастает в течение 1 с до максимального значения, определяемого сопротивлением резистора R27. Для указанного на схеме номинала R27 максимальное значение яркости составляет около 80%. Таким образом, при первом включении автомата лам-

па накаливания горит с максимальной яркостью 80% в течение полупериода отсчёта временного интервала. Ещё большую яркость лампы (до 95%) можно обеспечить, только включив автомат по схеме «трёхполюсника», как в случае первого варианта автомата (рис. 1). Для автомата лестнич-

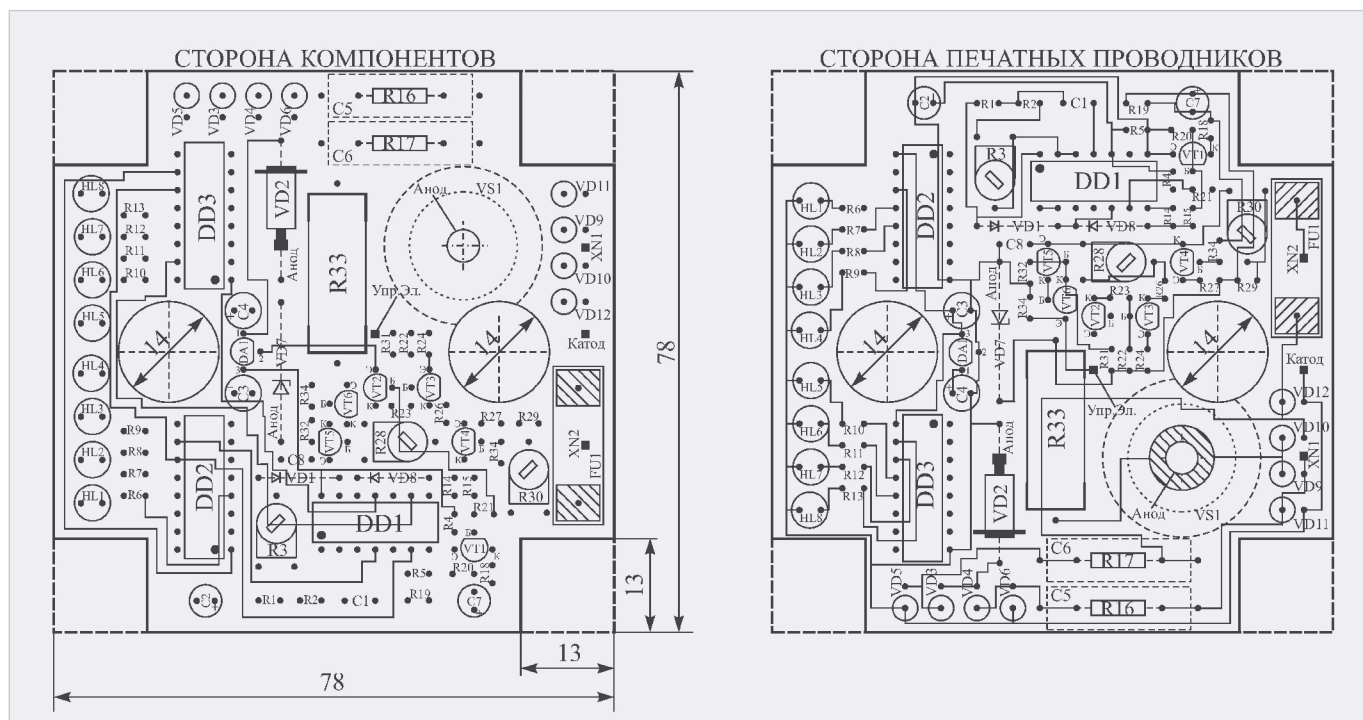


Рис. 5. Автомат лестничного освещения с функцией таймера. Рисунок печатной платы

ного освещения ограничение максимальной яркости непринципиально, поскольку большей яркости освещения обычно не требуется, но в случае необходимости компенсировать потерю яркости можно за счёт установки лампы накаливания большей мощности.

Одновременно уровень лог. 1 с выхода элемента DD1.5 закрывает диод VD1 и разрешает работу генератора, собранного на элементах DD1.1, DD1.2, R1...R3, C1. Импульсы положительной полярности являются счётными для DD2, а импульсы с его выхода – счётными для DD3, который при достижении 1024 состояния формирует на выходе своего предпоследнего разряда «Q11» (вывод 15) уровень лог. 1. Этот уровень открывает транзистор VT2, а вслед за ним – и VT3. Уровень лог. 0 с выхода элемента DD1.6 закрывает транзистор VT1, и яркость лампы теперь определяется введённым сопротивлением резистора R28 и может быть выбрана в диапазоне 10...80%.

При достижении счётчиком DD3 своего 2048 состояния уровень лог. 1 на выходе его разряда «Q11» (вывод 15) сменяется уровнем лог. 0, а на выходе старшего разряда «Q12» (вывод 1) счётчика появляется уровень лог. 1, который, инвертируясь элементом DD1.5, приводит к остановке генератора. Этот же уровень лог. 0 шунтирует правый по схеме вывод резистора

R14 на «землю» и закрывает транзистор VT1. Одновременно уровнем лог. 0 с выхода «Q11» счётчика DD3 закрываются транзисторы VT2 и VT3, и автомат переходит в режим ожидания с минимальной яркостью (устанавливается резистором R30), что необходимо для обеспечения минимального энергопотребления.

Визуальную оценку прошедшего времени выдержки (при настройке таймера) производят по линейкам светодиодов HL1...HL4 и HL5...HL8 (для удобства HL1, HL2, HL5, HL6 выбраны зелёные, HL3, HL7 – жёлтые и HL4, HL8 – красные).

**Конструкция и детали.** Данный автомат собран на печатной плате (рис. 5) из двустороннего стеклотекстолита толщиной 1,5 мм из квадратной заготовки размерами 78×78 мм. Для установки в стандартную сетевую разветвительную коробку типа КЭМ5-10-7 в квадратной заготовке вырезаются уголки размерами 13×13 мм. В автомате применены постоянные резисторы МЛТ-0,125, МЛТ-2 (R33), подстроечные СПЗ-386 в горизонтальном исполнении, балластные конденсаторы C5, C6 типа К73-17 с номинальным напряжением 400 В, остальные неполярные – К10-17, электролитические – К50-35. На месте стабилизаторов VD2, VD7, как и в предыдущем варианте, могут работать Д814В (а также с индексами «Г», «Д»), КС510, КС512, КС515 или аналогичные импортные мало-

мощные ВZX55C10, ВZX55C12, ВZX55C15 с напряжением стабилизации 10...15 В. Транзисторы VT1, VT2, VT6 могут быть из серии КТ3102 с любыми индексами или импортные BC547; VT3...VT5 – КТ3107 или импортные BC557. ИМС DD1 КР1564ТЛ2 (74НС14N), содержащая шесть триггеров Шмитта, заменяема CD40106, счётчик КР1561ИЕ20 (CD4040BN) заменим КР1564ИЕ20 (74НС4040N).

Настройка второго варианта устройства заключается в установке минимальной яркости в режиме ожидания с помощью резистора R30, яркости в режиме пониженного энергопотребления резистором R28 и времени выдержки резистором R3. При мощности лампы накаливания более 75 Вт тиристор необходимо установить на теплоотвод.

**Внимание!** Элементы устройств имеют непосредственный гальванический контакт с сетью 220 В / 50 Гц, поэтому при работе с ними следует соблюдать требования техники безопасности! При настройке следует использовать отвёртку с ручкой из изоляционного материала, а также избегать прикосновения к элементам, находящимся под напряжением сети!

## Литература

1. Нечаев И. Автомат управляет освещением // Радио. 1996. № 5. С. 46–47.
2. Регулируем яркость светильника // Радио. 1992. № 1. С. 22.



## Новый лазерный «гребень» обеспечивает сверхточную идентификацию химических веществ в реальном времени

Учёные из Массачусетского технологического института (MIT) разработали ультракомпактный инфракрасный частотный гребень с рекордной шириной полосы пропускания – прорыв, который может революционизировать портативную и дистанционную спектроскопию. Это устройство способно быстро и с предельной точностью обнаруживать и идентифицировать химические вещества, включая следовые загрязнители в атмосфере, что открывает новые возможности для экологического мониторинга, медицинской диагностики и безопасности.

### Что такое частотный гребень?

Оптический частотный гребень – это специальный тип лазера, генерирующий ряд точно расположенных лазерных линий, напоминающих зубья гребня. Эти «зубцы» служат как высокоточная линейка для измерения частот света. Благодаря своей стабильности и равномерности частотные гребни позволяют с исключительной точностью определять спектральные «отпечатки» молекул – уникальные поглощения света на определённых длинах волн, характерные для каждого химического соединения.

Особенно эффективны гребни в длинноволновом инфракрасном диапазоне (LWIR), где многие молекулы, включая парниковые газы, токсины и летучие органические соединения, имеют сильные и характерные полосы поглощения.

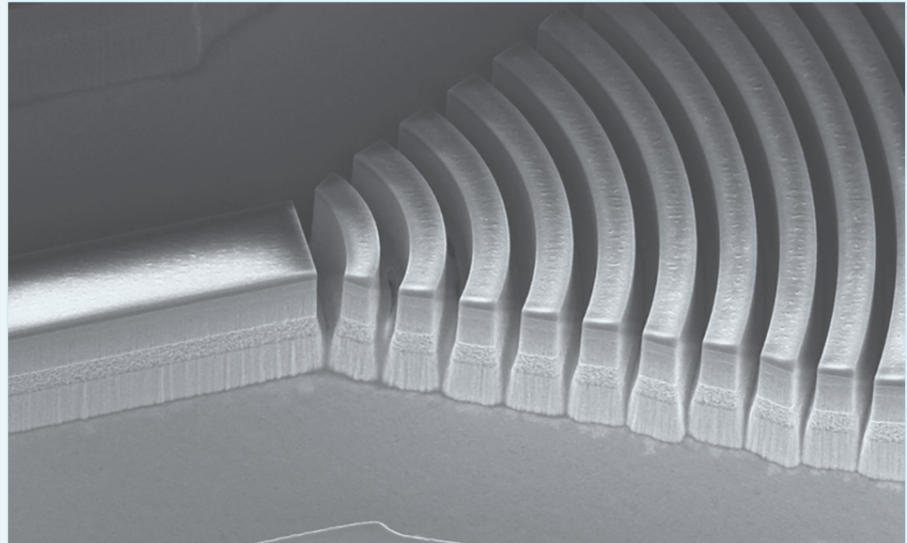
### Почему ширина полосы имеет значение

Чем шире полоса пропускания гребня, тем больше химических веществ он может обнаружить одновременно. Однако расширение полосы наталкивается на серьёзное препятствие – оптическую дисперсию. Когда свет проходит через материал, разные длины волн ведут себя по-разному, что нарушает равномерность «зубьев» гребня и делает его бесполезным.

«Дисперсия – главный враг широкополосных частотных гребней, особенно в инфракрасном диапазоне, где она особенно сильна», – говорит Цин Ху, заслуженный профессор электротехники и компьютерных наук в MIT, руководитель исследования. – Вместо того чтобы её избегать, мы сделали её центральным элементом нашей разработки и научились её контролировать».

### Ключ к успеху: зеркало с двойным чирпированием

Решение нашлось в адаптации технологии, ранее разработанной командой Ху для терагерцовых лазеров: зеркало с двой-



ным чирпированием (DCM – Double-Chirped Mirror). Это многослойное оптическое зеркало, в котором толщина слоёв плавно изменяется по длине, что позволяет компенсировать дисперсию за счёт точной настройки отражения различных длин волн.

Перенести эту технологию на инфракрасный диапазон оказалось непросто. Инфракрасные волны в 10 раз короче, чем терагерцовые, что требует нанометровой точности при изготовлении. Кроме того, зеркало нужно было покрыть толстым слоем золота для отвода тепла, а стандартные методы измерения дисперсии не работали на таких высоких частотах.

Команда разработала новую платформу для измерения дисперсии в инфракрасном диапазоне, не требующую громоздкого внешнего оборудования. Это позволило им точно проектировать и настраивать DCM для конкретных лазеров.

### Интеграция и миниатюризация

Ключевым достижением стало полное интегрирование DCM в сам лазер. Это сделало устройство чрезвычайно компактным – без движущихся частей и внешних компонентов. Устройство стало по-настоящему масштабируемым и пригодным для массового производства.

«Соседние слои зеркала отличаются всего на десятки нанометров», – говорит Тяньи Цзэн, ведущий автор исследования, доктор MIT. – Такой уровень точности недостижим с помощью обычной фотолитографии. Нам пришлось разработать специальные методы травления, чтобы достичь нужной глубины и геометрии в сложных многослойных структурах».

### Как это работает: двухгребенчатая спектроскопия

Новый гребень идеально подходит для метода, называемого двухгребенчатой спек-

троскопией (DCS). В этой технике два идентичных частотных гребня используются одновременно:

- один луч проходит напрямую к детектору (референсный сигнал),
- второй проходит через исследуемый образец, где молекулы поглощают определённые длины волн.

Сравнивая два сигнала, система может с высокой точностью восстановить химический состав образца – даже при крайне низких концентрациях.

Благодаря широкой полосе пропускания новый гребень способен охватить множество химических соединений за один раз, что делает его мощным инструментом для мониторинга воздуха, обнаружения утечек или анализа выдыхаемого воздуха у пациентов.

### Преимущества для реального мира

Технология открывает путь к созданию:

- портативных спектрометров для полевых исследований и экологического контроля,
- дистанционных датчиков, способных обнаруживать опасные вещества на расстоянии (например, в аэропортах или промышленных зонах),
- миниатюрных систем диагностики для медицинского применения.

«Наш подход гибкий, – подчёркивает Ху. – Пока мы можем измерить дисперсию, мы можем спроектировать DCM, который её компенсирует. Это означает, что нашу технологию можно адаптировать под разные лазерные платформы и диапазоны».

### Что дальше?

В перспективе исследователи планируют расширить свою методологию на другие типы лазеров, чтобы создавать гребни с ещё большей полосой пропускания и мощностью – для более сложных и требовательных приложений, включая космические миссии и квантовые технологии.