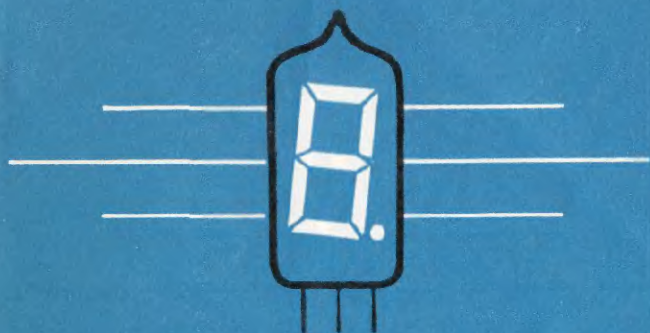




Б. Л. ЛИСИЦЫН

ЭЛЕМЕНТЫ МИКРОФИИ



МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 952

Б. Л. ЛИСИЦЫН

ЭЛЕМЕНТЫ ИНДИКАЦИИ



МОСКВА · «ЭНЕРГИЯ» · 1978

6Ф0.3

Л 63

УДК 621.398:654.94

Редакционная коллегия:

Берг А. И., Белкин Б. Г., Борисов В. Г., Ванеев В. И.,
Геништа Е. Н., Гороховский А. В., Демьянов И. А., Ельяшке-
вич С. А., Жеребцов И. П., Корольков В. Г., Смирнов А. Д.,
Тарасов Ф. И., Чистяков Н. И., Шамшур В. И.

Лисицын Б. Л.

Л 63 Элементы индикации. М., «Энергия», 1978.

120 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 952).

В книге рассмотрены вопросы применения элементов индикации для отображения информации. Приведены классификация элементов и их основные справочные данные.

Книга рассчитана на радиолюбителей-конструкторов.

Л 30404-011
051(01)-78 202-77

6Ф0.3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автоматизация производственных процессов во всех отраслях промышленности, создание разнообразных автоматизированных систем управления (АСУ) и широкое внедрение их в народное хозяйство потребовали применения самых различных типов индикаторов для отображения информации — обязательных элементов связи человека с управляемыми объектами. И это понятно. Пока еще невозможно эффективное и надежное использование автоматических систем без участия человека-оператора в контуре управления. Элементы индикации, выдающие информацию, оптимально пригодную для визуального восприятия, обеспечивают оператору возможность активно участвовать в процессе управления.

В настоящее время отечественная промышленность освоила широкую номенклатуру приборов и изделий, использование которых позволяет создать практически любую систему отображения информации коллективного и индивидуального пользования. В качестве элементов индикации в таких системах применяются разнообразные лампы накаливания и знаковые накальные приборы, газоразрядные индикаторы (от неоновой лампы, индикаторных тиратронов, знаковых и цифровых приборов до линейных газоразрядных индикаторов), электролюминесцентные индикаторы, разнообразные светоизлучающие диоды, электронно-лучевые трубки, лазерные источники света и жидкокристаллические приборы. Несмотря на значительный ассортимент элементов индикации, оптимальное их использование наталкивается на ряд трудностей технического и инженерно-психологического характера.

Неэлектрические типы индикаторов, электронно-лучевые трубки, лазерные источники света в данной работе не рассматриваются.

Для правильного выбора того или иного индикатора в книге приведены рекомендации по инженерной психологии, применимые к конкретной аппаратуре, в том числе и любительской. Читатель найдет описание выпускаемых промышленностью газоразрядных и электролюминесцентных элементов индикации и их характеристики. Более подробно описаны два наиболее широко распространенных вида индикаторов: электролюминесцентные и газоразрядные, показаны возможности их применения и перспективы развития.

Отзывы о книге просим присылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

Глава первая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НЕКОТОРЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ ИНДИКАЦИИ

Общие сведения об элементах индикации

Каждый вечер проспект Калинина в столице превращается в огромный зрительный зал. Здесь на торце одного из зданий установлена цветная система электрической информации «Элин». Так сокращенно называется сложная электронная система отображения информации, экран которой занимает площадь 235 м².

Новинка привлекает к себе внимание москвичей и гостей столицы. Это подарок Москве от специалистов предприятий Министерства электронной промышленности СССР.

Чем же привлекает зрителей новая установка? Что она собой представляет?

Световое табло, о котором идет речь, насчитывает 102 950 ламп накаливания (300 строк по 343 лампы в строке). Чтобы изображение на всем табло было цветным, собирают триады, каждая из которых состоит из трех отдельных ламп разного цвета свечения (синего, зеленого и красного). В зависимости от программы коммутации, схема которой находится в шкафах управления рядом с табло, все табло можно сделать только красным, синим или зеленым. При показе мультфильмов используется раздельное управление триадами и тем самым создается цветная картина в динамике.

Конструкторы «Элина» использовали способность человеческого зрения как бы усреднять воспринимаемый глазом свет. Благодаря этому лампочки, горящие длительное время, кажутся более яркими в отличие от тех, которые зажигаются на мгновение. За 1 с на экране сменяются 25 кадров по 40 мс каждый. А ведь лампочки светятся малую часть этого времени. Чтобы создать видимость яркого свечения лампочке достаточно светиться всего 400 мкс.

Уличные большие экраны (табло) дают возможность смотреть фильм одновременно сотням людей. Табло, отображающее результаты хоккея или фигурного катания во Дворце спорта в Лужниках, одновременно смотрят до 15 тыс. чел., не считая миллионов телезрителей. Кстати, в последнем примере табло не излучает свет, а изображение становится видимым только за счет контраста между основным полем табло и повернувшимися на петлях легкими алюминиевыми кружками (блинкерами). Поворот осуществляется под действием импульса тока, протекающего по катушке реле. Такие информационные системы установлены на аэрожелезнодорожных вокзалах, пристанях, в крупных магазинах, ателье и т. д. — одним словом, там, где необходимо дать цифро-буквенную информацию.

Эти табло экономичны, ибо потребляют ток только в момент коммутации, т. е. большую часть времени они обесточены.

Диаметр блинкерных кружков может быть 9, 16, 21, 50 мм. Окраска подбирается наиболее контрастная (например, в венгерских информационных устройствах «Визинформ» применяется сочетание черного и желтого цветов, а во многих отечественных устройствах черного и красного).

Установленные на вокзалах и аэропортах, на площадях и стадионах, т. е. в местах наибольшего скопления людей, элементы индикации работают в условиях большого внешнего освещения. Поэтому главное для таких элементов — это максимальный контраст между двумя цветами. Если блинкерные табло расположены в местах с малым освещением, их необходимо подсвечивать.

Конструктивно эти табло представляют собой набор отдельных взаимозаменяемых ячеек. Ячейка — одно знакоместо, которое в зависимости от назначения позволяет отобразить любое число, букву или знак.

Обычно цифро-буквенные табло представляют собой набор матриц с количеством точек (блинкеров) 3×5 , 5×7 , 9×11 . В принципе количество точек в матрице определяется той информацией, которую необходимо будет отображать на табло (например, цифра или буква).

Более простыми являются сигнальные индикаторы. Стоя на остановке в ожидании такси, вы всегда стараетесь рассмотреть вдали «зеленый» огонек едущей машины. И для вас сразу становится ясно, что машина свободна. В данном случае зеленый огонек несет визуальную информацию. Здесь одна лампочка — один элемент индикации. Таких отдельных элементов визуальной информации в современном городе, на производстве и в быту человек видит очень много. В первом приближении эти индикаторы несут в себе простейшую информацию типа «включено-выключено», «да-нет», «свободно-занято» и т. д.

Примеров здесь может быть очень много: светофор на транспорте, лампочка у входа, индикатор на утюге. Их объединяет одно — все они представляют отдельный элемент индикации, который, воздействуя на глаз человека, сообщает ему необходимую первичную информацию.

В качестве такого дискретного одиночного элемента индикации в большинстве случаев служит лампа накаливания, бесспорно занимающая первое место по своему распространению на производстве и в быту. Часто применяются газоразрядные, газосветные, электролюминесцентные и другие типы индикаторных приборов.

Накальные индикаторные приборы. Лампы накаливания — это тепловые источники света, использующие излучение нагретого до температуры 2500—3000°C вольфрамового тела накала, помещенного в стеклянную колбу, наполненную инертным газом или откачанную до глубокого вакуума. Лампы накаливания различаются по мощности, напряжению, световому потоку, конструктивным особенностям, габаритам, газовому наполнению и т. д. Специальные лампы накаливания отличаются от ламп общего назначения конструктивным исполнением, повышенной стабильностью световых и электрических параметров, определяемых особенностями их применения. К ним предъявляются такие специфические требования, как вибро- и ударопрочность, тепло- и холодоустойчивость и т. д.

Лампы накаливания широко используются в качестве элементов индикации в различных сигнализационных устройствах и системах отображения информации. Они дешевы, просты в эксплуатации, имеют большой срок службы, устойчивы к климатическим и механическим воздействиям.

Большой ассортимент ламп накаливания по конструкции, геометрическим размерам, а также по электрическим характеристикам позволяет конструктору создавать разные по габаритам информационные устройства.

В последнее время начали выпускаться вакуумные накаливаемые индикаторные лампы (серии ИВ), которые находят широкое применение при большой внешней освещенности (вплоть до прямого солнечного света) в различных устройствах отображения знаковой информации, вычислительных устройствах и измерительных приборах.

Конструктивно эти индикаторы представляют собой вакуумный стеклянный прибор с несколькими нитями накаливания (в виде спирали), изготовленными из специального вольфрамового сплава. Вольфрамовая спираль крепится между опорными штырями, расположенными на черной изоляционной пластине. Все нити накаливания имеют общий и индивидуальный выводы. В табл. 1-1 приведены основные характеристики серийно выпускаемых вакуумных накаливаемых знаковых и цифровых индикаторов. Режим работы этих ламп такой, что температура нагрева нитей не превышает 1250°C вместо $2000\text{--}2500^{\circ}\text{C}$ в обычных осветительных лампах накаливания. Применение такого режима позволило также резко увеличить долговечность этих приборов при достаточной величине яркости. При температуре нагрева около 1250°C скорость испарения нити вольфрама пренебрежительно мала, что обеспечивает долговечность прибора 10 000 ч и выше.

На рис. 1-1 показаны внешний вид, конструкция и расположение нитей накаливания у вакуумного накаливаемого индикатора. Изображение в индикаторах образуется из отрезков спиралей накаливания в виде прямых линий. Диаметр спирали около 60 мкм. При нагреве спираль за счет малых расстояний между опорами не теряет форму прямой, а возникающее провисание визуально не воспринимается. В местах крепления нити накаливания к опоре (за счет локального охлаждения) возникает почти незаметное для человеческого глаза потемнение раскаленной спирали.

Наряду с индикаторными лампами цилиндрической формы выпускаются индикаторные приборы с прямоугольной формой баллона, что позволяет создавать компактные многоразрядные индикаторы.

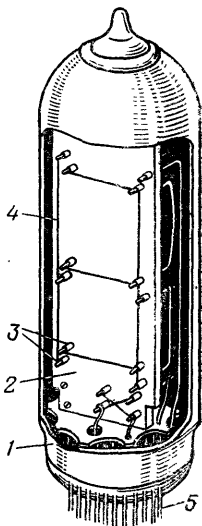
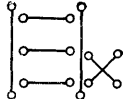


Рис. 1-1. Внешний вид и конструкция вакуумного накаливаемого индикатора типа ИВ-13.

1 — стеклянный баллон; 2 — черная изоляционная пластинка; 3 — опорные штыри; 4 — нить накала (сегмент); 5 — выводы.

Основные параметры серийно выпускаемых вакуумных накаливаемых индикаторов

Тип и назначение индикатора	Основные параметры						
	Вид светящихся сегментов	Яркость, кд/м²	Размер светящегося знака, мм	Габариты баллона, мм	Электрические параметры в режиме постоянного тока для одного сегмента		Масса, Г
					Напряжение, В	Ток, мА	
ИВ-9 цифровой		20 000	12,0×6,0	Ø10,8 H 35	3,15	19,5	6
ИВ-10 знаковый		20 000	12,0×5,8	Ø10,8 H 35	3,15	19,5	6
ИВ-13 цифровой		20 000	20,0×12,0	Ø22,5 H 56,5	6,3	36,0	17
ИВ-14 знаковый		20 000	22,0×10,0	Ø22,5 H 56,5	6,3	36,0	17
ИВ-16 цифровой		20 000	12,0×6,0	Ø10,8 H 29,0	3,15	19,5	6

Светящееся синтезированное изображение знака внутри баллона лампы образуется с помощью четырех — семи прямолинейных участков нитей накаливания (сегментов). В зависимости от конструкции индикатора свечение можно наблюдать с торца или боковой поверхности баллона лампы.

Выпускаемые в настоящее время цифровые накальные индикаторы типов ИВ-9, ИВ-13 и ИВ-16 позволяют на одном индикаторе с помощью семи сегментов высветить арабские цифры от 0 до 9 и буквы русского алфавита А, Б, В, Г, Е, З, Н, О, П, Р, С, У, И.

Знаковые индикаторы типа ИВ-10 и ИВ-14 дают возможность высветить знаки «+» и «—», а также цифру 1. В комплекте с другими накальными индикаторами они позволяют отобразить информацию, для которой необходимо перед числовым значением иметь знак «+» или «—».

Накальные индикаторы отличаются от газоразрядных, люминесцентных, светодиодных и других не только принципом работы, но и спектральной характеристикой излучения.

Так как в них источником света служит раскаленная вольфрамовая спираль, то видимое излучение занимает широкий непрерывный участок спектра. Цвет свечения всех накальных индикаторов — соломенно-желтый. Это цвет спирали вольфрама, разогретой до сравнительно низкой по сравнению с осветительными лампами накаливания температуры. Применяя различные внешние цветные фильтры, отсекающие спектральные компоненты, можно создать практически любой цвет свечения индикаторов.

Индикаторы накаливания имеют следующие достоинства:

- 1) высококонтрастное, устойчивое к внешним помехам изображение цифр и знаков с легко изменяемой в широких пределах (от нескольких сот до десятков тысяч кандел на 1 м² яркостью), позволяющее считывать показания с индикаторов при самом сильном внешнем освещении приборов;

- 2) низкое рабочее напряжение питания от 2,5 до 6 В;

- 3) широкий угол наблюдения до 120—140°;

- 4) большую долговечность при нормальной, пониженной или повышенной температуре окружающей среды, с практически неизменной величиной яркости.

Высокая яркость и чрезвычайная цветовая гибкость — два замечательных свойства накальных индикаторов. Большой ток потребления, выделение тепла, блики на стекле при работе, связанные с круглой формой баллона, — основные недостатки накальных индикаторов.

Одной из разновидностей индикаторов накаливания являются индикаторы, использующие подсветку с торца прозрачной пластины (светопровода) с выгравированными на ней символами. Такие пластины собирают одну за другой в пакет, с подсветкой каждой из них отдельной лампочкой.

Лампы накаливания используются также для составления «мозаики». Матрица из таких ламп дает возможность получить изображение символов (цифр, букв) в одной плоскости. Примером таких индикаторов являются однолинзовые (многолинзовые) проекционные оптические устройства с проекцией знака на общем матовом экране (например, проекционные ячейки типов ПП-2М, ПТ-30М, ЦТ и т. д.), содержащие лампы накаливания, пленочные диапозитивы и оптические системы с проекцией на общий матовый экран.

За счет высокой яркости ламп и хорошей конфигурации знака (символа) ячейки обладают лучшей читаемостью по сравнению со многими другими индикаторными элементами, на которых знаки (цифра, символ) образуются из отдельных сегментов.

Инерционность всех индикаторов, использующих лампы накаливания, определяется тепловой инерцией нити накала. Обычно скорость смены информации не выше 15—17 знаков в минуту.

Лампы накаливания широко используются в качестве сигнальных ламп для указания условий работы («нормальный режим», «авария», «пуск», «стоп» и т. д.). Известно, что яркость свечения является основной характеристикой сигнальных ламп. Лампы, служащие для немедленного привлечения внимания, должны быть в 2 раза ярче окружающего их фона. Фон должен быть темным и контрастным (в том числе и по цвету) по отношению к лампе. Сигнальные лампы достаточно эффективны даже при небольших размерах. Рекомендуется их размещать в затемненном месте или защищать от общего внешнего освещения козырьком, экраном.

Для быстрого привлечения внимания к сигналу рекомендуется использовать режим мигания с частотой 3—10 Гц при продолжительности вспышки не менее 0,05 с. Особо важные сигнальные лампы необходимо размещать в пределах 30° от нормали к оси зрения наблюдателя.

Не следует перегружать панель и пульты управления излишне большим числом сигнальных ламп. В ответственных случаях для обеспечения высокой надежности необходимо использовать систему спаренных ламп или ставить лампы с двумя раздельными телами накала. Скорость смены символов (цифр, букв, знаков) зависит от способа включения ламп и их инерционности. Срок службы таких ламп теперь приблизился к 5000 ч, что соизмеримо с другими элементами индикации.

Электролюминесцентные индикаторы. Другим распространенным видом элементов индикации являются электролюминесцентные приборы. Имея плоскую конструкцию, хорошую читаемость, многоцветность, они удобны при компоновке пультов и табло самого различного назначения.

В то же время такие индикаторы имеют рабочее напряжение около 170—220 В при частоте 400—1500 Гц, что не позволяет непосредственно согласовывать их с широко распространенными интегральными схемами.

Информационные табло на люминесцентных индикаторах (ЭЛИ) позволяют отображать информацию несколькими цветами. Они не нагреваются, могут иметь конфигурацию любого вида. Такие табло должны работать в затемненном помещении, ибо существующая яркость свечения ЭЛИ не дает возможности применять их при высокой внешней освещенности.

Особенность электролюминесцентных индикаторов заключается в том, что с их помощью можно индицировать информацию, соответствующую по конфигурации трафарету металлического электрода, т. е. изображение может быть любого вида.

Под мнемоническим табло понимаются устройства отображения информации, где в закодированном или картинном виде отображается реальное устройство. Если необходимо создать такое табло, то здесь ЭЛИ просто незаменимы, ибо позволяют отобразить различные картины (любую геометрическую фигуру, цифры, буквы, условный символ). Например, чтобы отобразить какой-либо про-

изводительный химический процесс, создают табло, где в закодированной форме в виде условных квадратов, кругов и других геометрических фигур показываются взаимосвязь и взаимодействие всего определенного технологического цикла.

Табло подобного вида может также показывать расположение объектов на большом участке местности, энергетические связи — одним словом, то, что помогает оператору ориентироваться в происходящем процессе. Немаловажно, что на мнемосхеме указывается место возникшей неисправности и дается информация о возможных путях ее устранения.

В соответствии с условиями эксплуатации восприятие информации от индикаторов, предназначенных для применения в устройствах коллективного пользования, определяется целым рядом параметров. К числу основных параметров, обеспечивающих максимальные условия восприятия, относятся: яркость знака и его размеры; контраст знака; внешняя освещенность; дистанция наблюдения; значения паразитного свечения нерабочих сегментов индикатора; равномерность свечения отдельных элементов в пределах одного индикатора и отдельных индикаторов в пределах всего информационного поля табло; цвет свечения индикатора.

ЭЛИ могут использоваться при различных условиях внешней освещенности: в затемненном помещении — при внешней засветке до 1 лк; в полутемном — при внешней засветке 10—20 лк и при освещенности в плоскости индикатора до 50 лк. По экспериментальным данным видимость символа на ЭЛИ с высотой знака 40 мм удовлетворительна при наблюдении на расстоянии до 8—12 м, на ЭЛИ с высотой знака 20 мм — на расстоянии до 2—3 м.

Рекомендуемый контраст между знаком и фоном табло должен быть не менее 50%. Его значение определяется по формуле:

$$K = \frac{(B_{\text{зн}} - B_{\text{ф}})}{B_{\text{зн}}} \cdot 100,$$

где K — контраст; $B_{\text{зн}}$ — интегральная яркость свечения знака, кд/м² (в нее входят яркость свечения индикатора и яркость внешней освещенности); $B_{\text{ф}}$ — интегральная яркость фона, кд/м² (в нее входят яркость ореольной засветки знака и яркость внешней освещенности).

Согласно рекомендациям по инженерной психологии яркость знака должна быть не менее 20—30 кд/м²; внешняя освещенность в плоскости индикатора — не более 50—75 лк; в пределах индикаторного зала — не более 150—225 лк. Так, индикатор с яркостью свечения 20 кд/м² при освещенности в его плоскости не более 75 лк, с коэффициентом отражения лицевой панели 0,30 и индикатор с яркостью свечения 30 кд/м², коэффициентом отражения 0,6 при внешней освещенности не более 50 лк обеспечивают контраст знака не менее 50%.

При внешней освещенности, превышающей 20—30 лк, необходимо принимать меры по увеличению яркостного контраста на ЭЛИ.

В качестве примера укажем, что оценка читаемости восьми-сегментного ЭЛИ, позволяющего однозначно отобразить 23 знака (цифры и буквы русского алфавита), показала:

1) оптимальное значение яркости для такого ЭЛИ размером 40 × 25 мм равно 20—30 кд/м² при внешней освещенности в плоскости индикатора, равной 20 лк;

2) при наблюдении на расстоянии до 16 м, яркости в 20—30 кд/м² и внешней освещенности 20 лк ошибки различимости знака (натренированный наблюдатель) достигают 5—10%;

3) увеличение яркости знаков выше оптимальной ухудшает их читаемость в 1,5 раза;

4) уменьшение дистанции наблюдателя с 16 м до 12 м повышает различимость знаков в 1,4 раза;

5) скорость считывания информации в среднем равна 2,5—3 с на один знак.

Таблица 1-2

Значения оптимальных условий восприятия информации, отображаемой на ЭЛИ

Дистанция наблюдения, м	Угловые размеры цифр (по высоте), мин	Допустимый угол обзора, град	Линейные размеры знака (по высоте), мм
3—6	46—23	±50—45	40
6—9	23—15	±45—40	40
9—12	15—12	±40—30	40
12—18	46—23	±50—45	80
18—24	23—15	±45—40	80
18—24	15—12	±40—30	80

Для обеспечения оптимальных условий восприятия информации (приведенных в табл. 1-2), отображаемой на электролюминесцентных индикаторах, рекомендуют яркость знака 20—30 кд/м² и максимальную освещенность в плоскости индикатора в 50—75 лк.

При конструировании и эксплуатации аппаратуры с ЭЛИ индикаторы с синим, зеленым, красным и желтым цветами свечения считаются равноценными при равном значении яркости и яркостно-контраста.

Газоразрядные индикаторные приборы. Свечение разреженного газа при приложении к нему электрического поля наблюдал еще Роберт Бойль во второй половине XVII в. М. В. Ломоносов обратил внимание на сходство северного сияния со свечением паров ртути в откачанной трубке и впервые дал правильное объяснение этому явлению как свечению разреженных газов под влиянием электрического поля. Однако подробное и систематическое исследование свечения газов в разрядных трубках было проведено лишь во второй половине прошлого века.

В 30-х годах XIX в. были открыты и выделены в чистом виде инертные газы: неон, аргон, криптон, ксенон. Под воздействием электрического разряда в этих газах возникает свечение следующих цветов: в гелии — бледно-розовое; в неоне оранжево-красное; в аргоне, криптоне и ксене — сине-фиолетовое. Баллоны ламп могут наполняться одним из перечисленных инертных газов в чистом виде или смесями инертных газов в определенных пропорциях.

В качестве газоразрядных индикаторов чаще всего используются газоразрядные приборы с холодным катодом, в которых тлеющий разряд сопровождается свечением. Цвет его зависит от состава наполняющего баллон лампы газа. Газоразрядные индика-

торные приборы по их использованию занимают одно из первых мест, так как они просты в эксплуатации, потребляют малую мощность, экономичны, имеют четкую индикацию и высокую яркость свечения разряда при нормальном комнатном освещении, могут включаться непосредственно в электросеть.

Газоразрядные элементы индикации весьма разнообразны по конструкции и назначению, поэтому в данной работе рассматриваются лишь некоторые группы этих приборов, нашедшие наиболее широкое применение, такие как сигнальные неоновые и цветные люминесцентные лампы, сигнальные индикаторные тиратроны тлеющего разряда, знаковые и линейные индикаторы.

В настоящее время широкое распространение получили индикаторы тлеющего разряда: знаковые индикаторы, индикаторные тиратроны, линейные дискретные и аналоговые индикаторы. Однако все они требуют рабочего напряжения порядка 140—190 В. Это значение слишком велико для непосредственного применения интегральных микросхем и требует специальных переходных схем коммутации. Резкого снижения рабочих напряжений в газоразрядных приборах не ожидается, и, следовательно, с точки зрения рабочих напряжений эти индикаторы не являются перспективными.

Газоразрядные знаковые индикаторные лампы типа ИН применяются в отсчетных устройствах измерительных приборов, ЭВМ и т. д. Конфигурация цифр и букв подобрана так, что их показания могут читаться на расстоянии до 8—9 м. Угол обзора за счет конструкции ограничен 120°. Частота смены показаний может достигать 80—100 за 1 с. Рекомендуется экранировать лампу от внешнего освещения, чтобы не допускать бликов на поверхности баллона лампы.

Другие важные положительные характеристики (высокая яркость, хорошая читаемость и т. д.) позволяют говорить, что эти приборы еще долгое время будут применяться разработчиками.

Жидкокристаллические индикаторы. Первые сведения о жидких кристаллах (ЖК) появились еще в конце прошлого века. В 1888 г. ученый Рейниер получил эфиры холестерина, которые показали специфические электрооптические свойства при изменении температуры, что послужило началом изучения ЖК.

В настоящее время ЖК привлекают все больший интерес отечественных и зарубежных специалистов, так как на основе полученных свойств позволяют создавать индикаторы, обладающие целым рядом преимуществ перед аналогичными устройствами, выполненными на другой физической основе. Электрические, оптические и индикаторные свойства, присущие только ЖК, дают возможность конструировать принципиально новые устройства отображения, основанные не на активном излучении света, а на пассивной регулировке его отображения или преломления.

В 1972 г. на выставке «Машиностроение-72», проходившей на ВДНХ в Москве, экспонировались электронные часы с индикатором на жидких кристаллах, жидкокристаллические индикаторы температуры, цифро-буквенные ЖКИ.

На международных выставках в московском парке Сокольники в 1972—1977 гг. часто демонстрировались различные радиоэлектронные и вычислительные устройства с индикаторами на ЖК.

Разработчиков электронной аппаратуры особенно привлекает возможность применения ЖК индикаторов при самом ярком внешнем освещении (вплоть до прямого солнечного света), причем чем

ярче свет, тем отчетливее изображение (в противоположность всем светоизлучающим индикаторам, требующим ограничения внешней освещенности). Можно подобрать ЖК материалы так, что индикаторы будут реагировать почти на любые возбудители — тепло, ультрафиолетовое излучение, магнитное и электрическое поле, ультразвук, механическое воздействие. Энергия, расходуемая ЖК ячейкой при работе, весьма незначительна и обычно измеряется в микроваттах на 1 см^2 поверхности индикатора.

Хотя в настоящее время решены далеко не все проблемы, связанные с практическим применением жидкокристаллических устройств первые партии индикаторов на ЖК уже выпускаются серийно и по праву считаются серьезным конкурентом для других элементов индикации.

При выборе индикаторных элементов для отображения информации следует исходить из необходимости наглядного представления наиболее важного параметра или характеристики управляемой системы, стремясь при этом к максимальной надежности и простоте технической реализации системы управления. Так, для отображения состояния системы «работает», «не работает», «включено», «выключено», «стоп», а также для опознавания объекта, предостережения, предупреждения и т. д. часто в качестве индикатора применяют лампы накаливания.

Для отображения словесной информации (последовательности операций) наиболее подходит сигнальные оптические табло или электролюминесцентные индикаторы. Разумеется, эти соображения весьма относительны и выбор оптимального элемента индикации зависит от конкретного назначения всей системы отображения информации.

Для отображения количественных показателей широко используются цифровые индикаторы (газоразрядные, электролюминесцентные, вакуумные, люминесцентные, светодиодные, а в последнее время — накаливающиеся знаковые индикаторы).

Выбор типа элемента индикации следует обязательно осуществлять с учетом инженерно-психологических факторов. Ведь индикаторный элемент — это то, что человек непосредственно видит, и ему далеко не безразличен внешний вид прибора и степень удобства работы с ним. Если добавить к требованиям инженерной психологии экономические и технические характеристики, такие как стоимость, габариты, цвет, потребляемая мощность, срок службы и т. д., то становится понятно, что рациональный выбор элемента индикации является куда более сложной задачей, чем поначалу кажется.

Некоторые инженерно-психологические требования к элементам индикации

Как уже говорилось, рассмотрение элемента индикации нельзя производить в отрыве от инженерно-психологических аспектов, которые играют не менее важную роль, чем электрические и конструктивные параметры.

Поэтому представляется целесообразным привести некоторые рекомендации инженерно-психологического характера, которые в достаточной полной мере относятся к любым индикаторам.

При оценке элементов индикации следует учитывать, что необходимый уровень яркости изображения может меняться в зависимости от требований, предъявляемых к эффективности работы

оператора, и от условий восприятия изображения, освещенности в помещении, других внешних источников света и т. д.

Для оценки размеров объектов удобно пользоваться относительной величиной, связывающей линейный размер объекта с расстоянием до него. Относительные размеры объекта выражают в угловых величинах. Угловым размером объекта называют угол между лучами, направленными от глаза наблюдателя к крайним точкам наблюдаемого объекта. Угловые размеры объекта определяют по формуле

$$\alpha = 2 \arctg \frac{S}{2l},$$

где α — угловой размер объекта; S — линейный размер объекта; l — расстояние до объекта по линии наблюдения.

При оценке пространственных характеристик элементов индикации необходимо выделить следующие группы факторов: пространственное размещение в поле зрения наблюдателя и оптимальные размеры знаков и их элементов.

Размещение средств отображения следует производить с учетом размеров оптимальных углов обзора. При рассмотрении объектов сложной конфигурации, а также при восприятии объемного и перспективного изображения оптимальный угол обзора в горизонтальной плоскости составляет 30—40°.

Точность восприятия изображения зависит от угла, под которым оно рассматривается. Для восприятия плоского изображения со сравнительно простой знаковой индикацией рекомендуется угол обзора 50—60° (в пределах этого угла наблюдатель замечает происходящие изменения периферическим зрением, а для точного рассмотрения определенного объекта переводит на него взгляд). Допустимый угол обзора составляет 90°. В вертикальной плоскости оптимальный угол обзора составляет 30—60°, допустимый угол обзора — 70°.

Размещение элементов индикации должно производиться с учетом диаграммы направленности излучения яркости индикаторов, в сильной степени влияющей на уровень воспринимаемой яркости. Наиболее острые диаграммы направленности излучения света имеют индикаторные элементы со встроенными линзами (например, индикаторные тиратроны, светоизлучающие диоды, некоторые неоновые индикаторы и т. д.).

Оптимальные размеры знаков соответствуют условиям, при которых обеспечиваются максимальная точность и скорость восприятия и опознания человеком поступающей информации.

В справочниках по инженерной психологии рекомендуется минимально допустимый угловой размер знаков буквенно-цифрового алфавита от 8 до 14'. На практике с учетом компоновки знаков допустимый размер составляет 18—20'. Для обеспечения точного и быстрого опознания букв и цифр оптимальный размер знаков должен составлять 35—40'.

Для лучшей читаемости необходимо выдерживать оптимальные соотношения основных параметров знаков: высоты, ширины и толщины обводки. Ширина знака должна составлять $\frac{2}{3} - \frac{3}{5}$ высоты знака. Толщина обводки зависит от освещенности и контраста. При

диффузном освещении белых знаков на черном фоне (обратный контраст) толщина обводки должна составлять $\frac{1}{3} - \frac{3}{5}$ высоты знака. Толщина обводки зависит от освещенности и контраста. При диффузном освещении белых знаков на черном фоне (обратный контраст) толщина обводки должна составлять $\frac{1}{8} - \frac{1}{13}$ высоты знака. При использовании шрифта высотой менее 3 мм рекомендуется увеличивать толщину обводки до $\frac{1}{6}$ высоты знака. Толщина линий

для знаков обратного контраста составляет $\frac{1}{10}$ высоты знака. Знаки, рассматриваемые на просвет, могут иметь меньшую толщину обводки ($\frac{1}{30}$ и $\frac{1}{40}$ высоты). Эти значения намного меньше тех, которые рекомендованы для знаков прямого контраста (темное изображение на светлом фоне).

Лучшими шрифтами по начертанию считаются шрифт Макворта, в котором наклонные линии в знаках расположены под углом 45° , и шрифт Бергера, в котором буквы и цифры образованы прямыми линиями.

В алфавите условных знаков оптимальные размеры, обеспечивающие наиболее быстрое и точное восприятие, зависят от сложности конфигурации. Исследования показали, что для знаков простой конфигурации, представляющих собой треугольник, квадрат, трапецию, овал, круг и т. д., угловой размер должен составлять $18 \pm 1'$ для наибольшей грани контура. При знаках средней сложности, например с деталями внутри и снаружи контура, угловой размер знака должен составлять $21 \pm 1'$, а размер наименьшей детали — $4-5'$. Если знак сложный и его опознание затруднено, то безошибочная работа осуществляется при больших размерах знаков ($35 \pm 2'$). Размер наименьших деталей в этом случае должен составлять $6'$. Оптимальное отношение размера условного знака к цифровому составляет 1:2 или 1:1,8. При определении размера сложных знаков следует учитывать как размер знака в целом, так и наименьшее расстояние между его деталями.

В ряде случаев необходимым и желательным является введение в знаковой символике кодирования цветом. При этом необходимо учитывать следующее: для буквенно-цифровой информации, передающей точные количественные характеристики, рекомендуется применять только желтый, желто-зеленый и белый цвета.

При введении цвета в знаковую символику приходится одновременно решать две задачи. Первая — выбор таких цветов, которые обеспечивают высокий уровень остроты различения для знаков сложной конфигурации. Вторая — определение минимальных размеров цветовых полей, обеспечивающих правильную идентификацию цвета. Следует учитывать также, что на больших экранах знаки предъявляются на фонах различной цветности. Различение цветовых знаков на цветных фонах определяется как яркостным, так и цветовым контрастом.

Под яркостным контрастом понимают отношения разности яркости объекта и фона к яркости фона. При этом если объект темнее

фона, то контраст называют прямым, а если объект ярче фона, — обратным.

Значение яркостного контраста рассчитывают по формуле

$$K = \frac{B_{\Phi} - B_0}{B_{\Phi}} 100\%,$$

где B_{Φ} — яркость фона; B_0 — яркость объекта.

Значение контраста до 20% является малым, до 50% — средним и свыше 50% — высоким. Контраст свыше 90% рекомендуется использовать в случае, когда требуется наибольшая четкость изображения, а общее время работы будет небольшим.

Рекомендуемый размер условных знаков 35—40' обеспечивает различимость их конфигураций с введением основных цветов (рекомендуемых для кодирования) при контрасте 60% и более.

Определение минимальных размеров цветовых полей при условии правильной их идентификации особенно важно при отображении знаков контурными линиями. С уменьшением угловых размеров поверхностей цвет их искажается. При $\alpha=15'$ желтый, зеленый и пурпурный цвета меняют свой оттенок соответственно на сине-зеленый, темно-серый и коричневый. Наибольшему изменению подвержены желтый и синий цвета. Однако изменение цвета с уменьшением размера можно компенсировать увеличением яркости.

При угловых размерах $\alpha \leq 3'$ поверхность становится практически бесцветной. Поэтому минимальная толщина цветовых линий на проекционных экранах должна быть не менее указанного выше значения.

В ряде случаев знаки формируются из дискретных элементов — точек или сегментов. Количество сегментов в индикаторе также может быть различным. Изображения цифр и букв, которые можно высветить на 16-сегментном индикаторе, показаны на рис. 1-2.

Важное значение имеет надежность считывания показаний прибора оператором. Оказывается, что оператор может правильно считать значения и в том случае, когда в индикаторе происходит отказ в отображении одного или нескольких элементов (сегментов). Поэтому при расчете надежности работы индикатора учитывают не вероятность безотказной работы сегментного индикатора, а его эффективность, т. е. вероятность выполнения прибором возложенных на него функций.

Анализ эффективности цифросинтезирующих индикаторов показывает:

1) эффективность индикатора увеличивается с повышением надежности коммутации сегментов;

2) меньшую эффективность при одинаковых условиях имеют индикаторы, у которых отказ сегментов происходит как при зажигании, так и при гашении;

3) эффективность индикаторов с одинаковым числом сегментов зависит от структуры и начертания цифр, т. е. от сегментов, участвующих в синтезе тех или иных цифр;

4) большую эффективность из индикаторов с одинаковым числом сегментов имеют те, у которых в начертании цифр содержится большее число специфических (отличительных) признаков;

5) эффективность цифровых индикаторов повышается с увеличением числа сегментов при рациональном использовании их при отображении цифр.

Таким образом, результаты анализа показывают, что при одной и той же избыточности можно обеспечить значительный выигрыш надежности индикаторов за счет рационального использования сегментов при синтезировании цифр.

Временные закономерности функционирования зрительного аппарата человека существенным образом влияют на качественные характеристики восприятия. Время восприятия объектов складывается из периода получения и сохранения зрительного впечатления и времени работы зрительной системы, в том числе и двигательной системы глаз, связанной с анализом поступающего сигнала и его опознания.

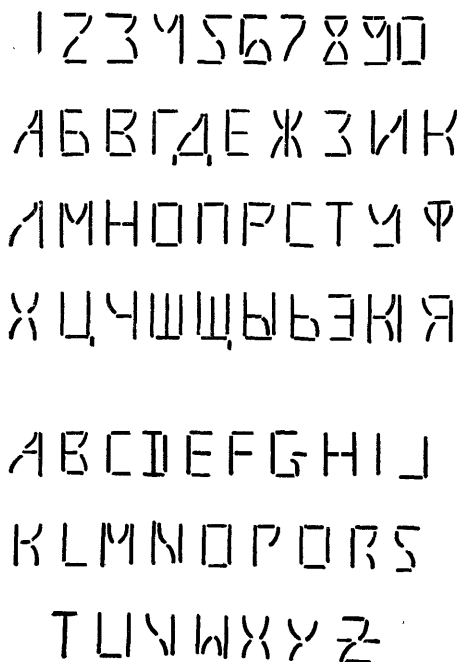


Рис. 1-2. Возможные варианты изображения цифр и букв, получаемых на 16-сегментном индикаторе.

Основная особенность зрительного восприятия — инерционность глаза. Это означает, что зрительное ощущение развивается со сдвигом во времени по отношению ко времени действия зрительного раздражителя.

Эти чрезвычайно скудные сведения по инженерной психологии, конечно, не дают полного представления о сложнейших взаимосвязях между человеком-оператором и элементами отображения информации. Но даже и это показывает, что практически любые устройства с участием человека-оператора должны обязательно оцениваться не только техническими, но и инженерно-психологическими показателями.

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Общие сведения

Под воздействием различных факторов некоторые вещества (люминофоры) начинают светиться: электролюминофоры возбуждаются электрическим полем, катодоллюминофоры — пучком электронов, фотоллюминофоры — ультрафиолетовым и видимым светом.

Индикаторные свойства электролюминесцентных индикаторов (ЭЛИ) основаны на использовании явления электролюминесценции — свечения некоторых кристаллических веществ (электролюминофоров) при возбуждении их электрическим полем.

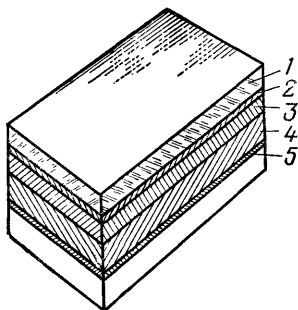


Рис. 2-1. Устройство ЭЛИ.

1 — стеклянная пластина;
2 — прозрачный электрод;
3 — слой диэлектрика; 4 —
защитный слой; 5 — непро-
зрачный электрод.

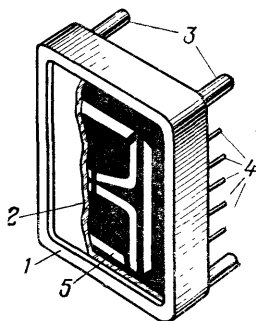


Рис. 2-2. Знаковый сегментный ЭЛИ.

1 — пластмассовый корпус индикатора; 2 —
стекло с нанесенными
прозрачными электродами
(в виде сегментов);
3 — крепежные втулки;
4 — выводы от сегмен-
тов; 5 — непрозрачные
электроды (в виде сег-
ментов).

Электролюминесцентные индикаторные приборы характеризуются рядом специфических свойств, присущих твердотельным приборам. К этим свойствам относятся: малое потребление мощности; большой угол обзора; возможность получения различного цвета свечения за счет применения электролюминофоров разных типов; плоская конструкция и возможность вариаций конструктивных размеров, плотности расположения и форм светящихся знаков; большой срок службы; высокая надежность.

Конструкция и принцип действия. Любой электролюминесцентный индикатор представляет собой плоский конденсатор (рис. 2-1), у которого одна обкладка выполнена в виде стеклянной пластины или пленки с нанесенным на нее прозрачным электродом, а другая обкладка — в виде непрозрачного электрода. Прозрачный электрод (слой диэлектрика состоит из органической смолы с распределен-

ными в ней кристаллами электролюминофора) обычно наносится методом напыления окиси олова.

Переменное напряжение, приложенное к электродам, создает необходимую для возникновения свечения напряженность электрического поля.

По виду и характеру высвечиваемого изображения ЭЛИ подразделяются на буквенно-цифровые, мнемонические, индикаторы с видимым изображением, индикаторы с изменением цвета свечения, матричные и мозаичные индикаторы. Эти индикаторы могут быть выполнены в высококонтрастном исполнении.

Вид ЭЛИ определяется исполнением первого электрода — в виде сегментов, раstra или мнемосхемы и т. д. Второй электрод делается, как правило, сплошным.

Стекло, сквозь которое наблюдается свечение, предохраняет электролюминесцентный слой от внешних механических и климатических воздействий.

Буквенно-цифровые индикаторы. Для отображения буквенно-цифровой информации широкое применение нашли электролюминесцентные знаковые индикаторы (ЭЛЗИ). Они представляют собой плоские панели с металлическими электродами, выполненными в виде отдельных, независимых друг от друга участков, называемых сегментами (рис. 2-2).

К сегментам (электродам) припаиваются или приклеиваются токопроводящим клеем выводы, затем всю конструкцию герметизируют. Качество герметизации во многом определяет долговечность ЭЛИ, ибо при проникновении влаги происходят необратимые изменения электрохимических свойств люминофорного вещества, обуславливающие резкий спад яркости и даже полный выход из строя индикатора (например, за счет пробоя конденсатора).

Конструктивные исполнения ЭЛЗИ самые разнообразные: от одиночных цифровых индикаторов до больших панелей, содержащих десятки цифр, выполненных на одной подложке. ЭЛЗИ широко применяются в цифровых измерительных приборах, пультах управления для отображения различной информации на всевозможных табло, для отображения выходных данных ЭВМ, для передачи буквенной и цифровой информации в системах управления и контроля и т. д.

Кроме общих достоинств, присущих всем ЭЛИ, нужно отметить сравнительно низкую стоимость ЭЛЗИ, что дает им известное преимущество перед другими знаковыми индикаторами.

Основным недостатком ЭЛЗИ является высокое рабочее напряжение, около 220—250 В.

В знакосинтезирующих ЭЛЗИ алфавит символов формируется сочетанием элементов из постоянного набора сегментов. Элементы ЭЛЗИ имеют во времени два основных состояния: «входят в набор данного символа» или «не входят в набор данного символа». Чем меньше потребуется элементов, из которых можно скомпоновать все символы требуемого алфавита, тем, очевидно, более экономичной будет аппаратура отображения.

Появившийся первым из знакосинтезирующих приборов семи-сегментный индикатор позволяет высветить все арабские цифры от 0 до 9, а также ряд букв русского и латинского алфавитов (при хорошем качестве знаков и привычной их форме). Однако наиболее вероятный сбой — случайное погасание или зажигание одного сегмента — приводит к ошибочному чтению информации, вы-

свечиваемой таким индикатором. Так, например, цифра 7 при погашенном верхнем сегменте читается как 1; 9 при погашенном верхнем правом сегменте — как цифра 5, а при погашенном верхнем левом — как 3 и т. д. В результате наблюдатель не только не имеет возможности установить ошибочность информации — индицировать ошибку, но и более того, может принять ошибочную информацию за правильную.

В 1968 г. был предложен ЭЛЗИ, в котором воспроизведение 10 арабских цифр и нескольких букв русского и латинского алфавита осуществлялось коммутацией пяти элементов. Это позволило на 28,5% уменьшить объем аппаратуры коммутации ЭЛЗИ, существенно снизить мощность и повысить качество аппаратуры отображения в целом.

В отличие от описанных, индикаторы, обнаруживающие помехи, позволяют наблюдателю зафиксировать ее и принять необходимые меры для исправления информации. Первым таким ЭЛЗИ был предложенный в 1961 г. восьмисегментный индикатор. Главным достоинством восьмисегментного индикатора является то, что при пропадании свечения любого сегмента появляется знак, не входящий в алфавит отображения символов. Это достоинство настолько важно, что можно мириться с ухудшением качества формы знака и некоторым уменьшением ширины сегмента при тех же размерах знака. Кроме того, оказалось, что при вывечивании большинства цифр или букв число одновременно засвечиваемых сегментов восьмисегментного индикатора не увеличивается по сравнению с семисегментным знаком, а уменьшается (например, цифры 0, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2).

Благодаря этому мощность, потребляемая системой для запоминания информации, уменьшается, а мощность, расходуемая непосредственно для возбуждения ЭЛЗИ, остается примерно той же.

На восьмисегментном индикаторе можно отобразить в 1,4—2 раза больше однозначно воспринимаемых разновидностей цифр и букв русского алфавита (до 23) по сравнению с семисегментным.

Следует отметить, что несмотря на преимущество восьмисегментного знака, позволяющего распознать ошибку (сбой в системе) и общее повышение надежности элементов аппаратуры, в большинстве устройств применяются семисегментные индикаторы. Это особенно относится к индикаторам с небольшим объемом буквенно-цифровой индикации, а также к индикаторной аппаратуре с редко сменяемой информацией, где контроль правильности высвечивания данных не представляет больших трудностей.

Существуют также ЭЛЗИ, обеспечивающие при минимуме управляемых элементов восстановление оператором ошибки, возникающей за счет одиночного сбоя в канале управления. В 1967 г. был создан первый такой индикатор, содержащий 10 коммутируемых элементов.

Мнемонические индикаторы представляют собой приборы, у которых светящееся изображение сделано в виде специальных знаков, символов, геометрических фигур и т. д.

Мнемонические знаковые индикаторы (рис. 2-3) разработаны и применяются для построения разнообразных мнемосхем—устройств, позволяющих в закодированном виде показать реакции взаимодействия при химических процессах, технологический путь изделий, порядок включения и выключения различных радиоэлектронных устройств и т. д.

При построении конкретной аппаратуры отображения применяются наборы знаков и символов, принятые для данного производства.

Конструктивно мнемосхема — это многоэлементное устройство, где каждый входящий в него ЭЛИ включается самостоятельно и несет собственный смысл. Мнемосхема может быть выполнена на одном стекле или состоять из набора отдельных элементов. Из отдельных индикаторов, как правило, составляют большие мнемонические табло для визуального наблюдения за различными производственными процессами, водяными или воздушными магистралями и т. д. В этом случае при ремонте и эксплуатации аппаратуры отображения можно произвести замену только вышедших из строя приборов и после смены подстроить их по яркости под общее одинаковое свечение.

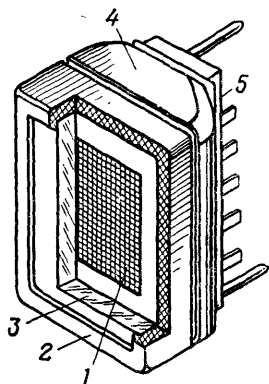


Рис. 2-3. Внешний вид и конструкция мнемонического ЭЛИ.

1 — изображение знака; 2 — пластмассовый корпус; 3 — стекло с нанесенным прозрачным электродом; 4 — металлическая крышка, закрывающая монтаж; 5 — разъем.

Чаще всего отображение информации производится в закодированном виде, и тогда применяются следующие способы кодирования: кодирование цветом, при этом число градаций равно шести (белый, красный, желтый, синий, голубой, зеленый); кодирование частотой мелькания (вспышек); знаковое кодирование (цифрами, буквами, символами и т. д.).

Мнемонические электролюминесцентные индикаторы позволяют также отображать светящиеся картины с тонами и полутонами, например портреты, картины, виды зданий и т. д.

На рис. 2-4 изображен индикатор, имеющий два отдельно включаемых рисунка: контур и середину.

Такой индикатор позволяет высветить до четырех состояний, каждое из которых соответствует своему режиму аппаратуры.

Такой индикатор позволяет высветить до четырех состояний, каждое из которых соответствует своему режиму аппаратуры.

На рис. 2-5 показан вариант индикатора, применяемого в виде кнопки в клавиатуре управления. Лицевая панель выполнена с закруглением, удобным для соприкосновения с пальцем руки. Индикатор состоит из двух прозрачных электродов, нанесенных на стекло, и непрозрачного электрода, между которыми находится люминофор двух цветов (зеленого и желтого). Трафарет может быть выполнен в виде любых слов, цифр или знаков (например, «стоп», «откл.», «вкл.» и т. д.). Все это заключено в герметичный пластмассовый корпус с тремя выводами от электродов для соединения с контактной группой клавиатуры.

При работе узкая полоса люминофора одного цвета начнет светиться при посылке команды, а основная площадь индикатора с люминофором другого цвета засветится при получении сигнала об исполнении команды. Одновременно узкая полоса на лицевом стекле индикатора погаснет. Цвет свечения обеих полос мо-

жет быть одинаковым или различным, в зависимости от назначения индикатора и самой аппаратуры.

Индикаторы с видимым изображением — это индикаторы, у которых контур изображения постоянно нарисован на стекле и виден без подачи напряжения. С поступлением напряжения возникает цветное изображение, имеющее большую наглядность. Показанный на рис. 2-6 ЭЛИ с видимым изображением состоит из двух электродов, между которыми помещен цветной электролюминофор. Прозрачный электрод имеет форму знака (фигуры), которую необ-

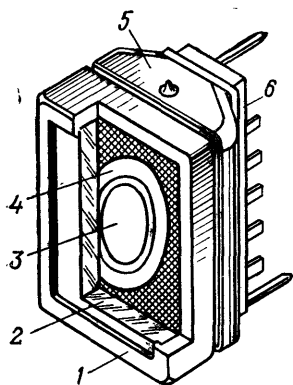


Рис. 2-4. ЭЛИ с отдельно коммутируемыми изображениями (серединой и контуром).

1 — пластмассовый корпус; 2 — защитное стекло с нанесенным прозрачным электродом; 3 — электрод «середины»; 4 — электрод «контур»; 5 — металлический корпус; 6 — разъем типа РП-10.

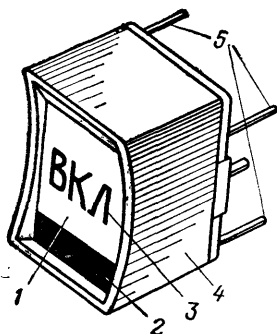


Рис. 2-5. ЭЛИ в виде кнопки.

1 — стекло с нанесенным прозрачным электродом (при включении светится зеленым цветом); 2 — часть стекла (при включении светится желтым цветом); 3 — постоянный трафарет; 4 — пластмассовый корпус; 5 — три вывода от электродов.

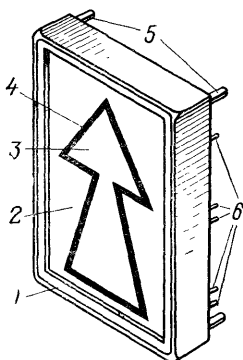
ходимо высветить. Для удобства эксплуатации выводы от электродов индикатора могут быть сведены в один типовый разъем.

Применение ЭЛИ с видимым изображением при построении больших информационных панелей позволяет оператору удобнее и быстрее сориентироваться в происходящих на мнемосхеме изменениях. Например, в мнемосхеме работы электростанции применяются ЭЛИ с видимым изображением, показывающие в условном коде моторы, насосы, различные переключатели, одним словом, все то, что участвует в процессе выработки электроэнергии. Дежурный оператор в зависимости от происходящих на мнемосхеме изменений делает необходимые для соблюдения нормального технологического процесса переключения.

Конструктивные размеры ЭЛИ могут быть самые различные и выбираются для каждого конкретного случая. Например, ЭЛИ для табло больших размеров, предназначенные для изображения сложной информации, могут иметь размер стекла 200×300 ; 300×300 мм и больше.

Рис. 2-6. Индикатор с видимым изображением.

1 — пластмассовый корпус; 2 — неподсвечиваемая часть стекла; 3 — подсвечиваемая часть стекла; 4 — видимый контур изображения на несветящемся индикаторе; 5 — крепежные втулки; 6 — выводы от электродов.



Недостатком индикаторов большого размера является то, что в случае ремонта их необходимо заменять полностью, даже если из строя выйдет только часть изображенных на них элементов информации.

Индикаторы с изменением цвета свечения. Одним из способов изменения цвета свечения ЭЛИ является использование раstra.

Растровый ЭЛИ — это электролюминесцентный прибор, в котором слой электролюминофора нанесен в виде узких параллельных полос. За счет высокой плотности нанесения (около 1 мм) полосы становятся отдельно неразличимы с расстояния свыше 2—3 м и визуально воспринимаются как сплошное цветное изображение. Для смены цвета свечения в таком индикаторе через полосу наносятся два разных по цвету электролюминофора (например, синий и желтый). Таким образом, индикатор может светиться только синим, желтым или сочетанием из этих цветов.

Растровый индикатор по своему внешнему виду выглядит, как и обычный ЭЛИ. На рис. 2-7 показаны внешний вид и конструкция типового растрового ЭЛИ. Для обеспечения раздельной коммутации сделаны выводы от всех четырех электродов, из которых два прозрачных выполнены в виде вложенных друг в друга гребенок, под каждой из которых нанесен свой электролюминофор. Такое расположение электродов и электролюминофоров двух цветов позволяет производить раздельную коммутацию каждого цвета в отдельности.

Особенностью растрового индикатора является также то, что он позволяет отобразить несколько видов закодированной информации. Для этого два непрозрачных электрода выполняют в виде концентрических фигур различной формы (например, кругов, квадратов, ромбов и т. д.). Используя возможность независимого вклю-

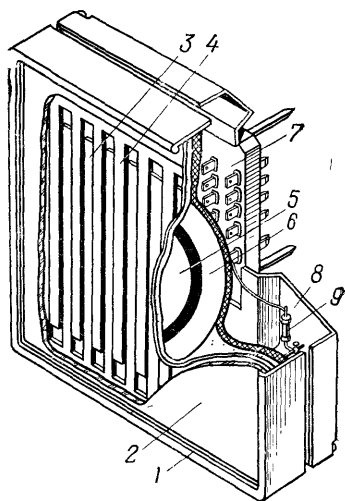


Рис. 2-7. Внешний вид и конструкция растрового ЭЛИ.

1 — пластмассовый корпус; 2 — стекло с нанесенными на нем в виде двух гребенок прозрачными электродами; 3 — первый растр; 4 — второй, встречный растр; 5 — центральный электрод «круг»; 6 — электрод «контур»; 7 — разъем типа РП-10; 8 — металлический корпус; 9 — ограничительный резистор.

чения прозрачных и непрозрачных электродов, можно получить различные сочетания фигур и цветов свечения. Количество выводов у такого растрового индикатора — четыре (по количеству электродов). Коммутацией рабочего напряжения на выводах получают до 11 различных по цвету и конфигурации состояний в одном ЭЛИ.

Обычно все возможные состояния растрового индикатора не используются для отображения информации в закодированном виде, поскольку это сложно для восприятия оператора. Как правило, форма светящегося знака (круг, квадрат, треугольник) определяет саму систему (приемник, передатчик), а цвет свечения знака показывает состояние аппаратуры (включено, выключено, горячее, холодное и т. д.).

Растровый индикатор работает от источника синусоидального напряжения 220 В частотой 1200 Гц. При приложении такого напряжения между одним из прозрачных растровых электродов и металлическим непрозрачным электродом люминофор в индикаторе начнет светиться каким-либо одним цветом (например, желтым). Соответственно при подаче такого же напряжения на другую аналогичную пару электродов возникает свечение другой фигуры с иным цветом. При одновременном высвечивании двух цветов получается третий суммарный цвет свечения, который в случае применения электролюминофоров желтого и синего цветов выглядит, как белый.

Другим, менее распространенным способом изменения цвета свечения ЭЛИ может быть изменение частоты питающего напряжения. Индикатор, в котором использован этот метод, изображен на рис. 2-8. Сущность метода заключается в том, что на индикатор, имеющий знак с отдельно управляемыми контуром и серединой, подаются два питающих напряжения с резко различной частотой, например $f=400$ Гц и $f=10\,000$ Гц. При таком режиме питания цвет свечения у контура будет один, а у середины совершенно другой (например, желтый и фиолетовый). Коммутируя напряжения разных частот на середину и контур ЭЛИ, можно получить новые цветовые сочетания на одном индикаторе.

Яркость свечения ЭЛИ растрового типа вполне достаточна для однозначного восприятия отображаемой информации при внешней освещенности в плоскости табло до 10 лк.

Матричные и мозаичные ЭЛИ. Эти универсальные типы индикаторов позволяют отображать на одном знакоместе знаки и символы любой формы. Матричные индикаторы построены по принципу возбуждения светящейся точки на перпендикулярном пересечении вертикальных и горизонтальных электродов. Мозаичные индикаторы собираются из большого числа автономных элементов индикации. Таким образом, принципиальное отличие мозаичных индикаторов

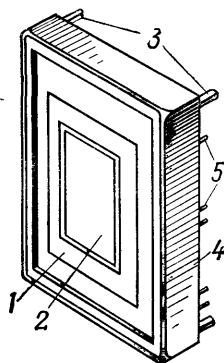


Рис. 2-8. Внешний вид ЭЛИ с питанием двумя напряжениями с разными частотами.

1 — высвечиваемая фигура «контур»; 2 — внутренняя часть фигуры «середина»; 3 — крепежные винты; 4 — пластмассовый корпус; 5 — выводы от электродов.

от матричных заключается в том, что первые состоят из независимо управляемых элементов, тогда как в матричном индикаторе управление происходит одновременно по столбцам и строкам, т. е. светозлучающие элементы связаны друг с другом.

Конструктивно простейший электролюминесцентный матричный индикатор представляет собой конденсатор, у которого обкладки выполнены в виде узких параллельных шин — электродов; расположены они взаимно перпендикулярно и между ними помещен слой электролюминофора.

Возбуждение свечения необходимой ячейки матричного экрана производится одновременной подачей напряжения на взаимно перпендикулярные шины (электроды). Так как на матричном экране изображение высвечивается не одновременно по всей плоскости, а поэлементно или построчно, то возникает необходимость повышения максимальной яркости по сравнению с сегментными ЭЛИ.

Существующие в настоящее время типы электролюминофоров при оптимальных режимах их возбуждения в матричных экранах позволяют добиться яркости и контрастности изображения, достаточных для визуального наблюдения только в слегка затемненном помещении.

Для того чтобы матричные экраны оказались пригодными для широкого применения в условиях нормального и повышенного комнатного освещения, требуются электролюминофоры со значительно более высокой яркостью свечения и повышенным контрастом изображения. Во избежание видимого для глаза мелькания изображения необходимо, чтобы частота смены кадров была не менее 30.

Последовательное по времени возбуждение элементов или строк приводит к тому, что при больших площадях матричного экрана время включения одного элемента становится очень малым и для обеспечения необходимого уровня яркости приходится значительно повышать величину рабочего напряжения. Высокое рабочее напряжение (300—500 В) в свою очередь резко усложняет схемы управления. Поэтому в настоящее время схемы управления матричными экранами занимают значительно больший объем в аппаратуре отображения информации, чем сами экраны.

В литературе описан макет низковольтного цифро-буквенного индикатора на основе электролюминесцентного матричного экрана (ЭЛМЭ). Такой ЭЛМЭ создан на люминесцирующих в постоянном электрическом поле пленках, полученных сублимацией в вакууме Cu_2S и ZnS легированных Cu , Mn и Cl . Экран содержит 5×5 элементов по $0,45 \text{ мм}^2$ каждый. Поле изображения $6 \times 7,7 \text{ мм}$. При одновременном возбуждении всех элементов экрана импульсами напряжения около 25—30 В длительностью 50—10 мкс, при скважности, равной 5, средняя потребляемая мощность составляет 20—50 мВт.

Представленная на рис. 2-9 схема управления осуществляет построчный режим возбуждения элементов экрана, что обеспечивает эффективную яркость экрана около 10 Кд/м^2 . В схему входит генератор строчных импульсов, выдающий импульсы с периодом T на сдвигающий регистр строк (РС), который последовательно и поочередно открывает на время T строчные транзисторы $T_1—T_5$ и подключает, таким образом, строки экрана по одной к отрицательному полюсу источника питания.

Формирование изображения осуществляется схемой коммутации столбцов, которая имеет на входе шесть шин; каждая из них

может быть в двух состояниях: подключенном к минусу источника ($-E_c$) или неподключенном. Выбор знака, цифры или буквы определяется соответствующим входным двоичным кодом, который представляет комбинацию состояний. Число комбинаций ($2^6=64$) определяет максимальное количество символов, изображение которых можно получить с помощью данной схемы.

Блок удвоения имеет на выходе 12 шин, соединенных с дешифратором. Каждый входной код соответствует подаче напряжения из дешифратора только на одну из 64 шин, заведенных в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ).

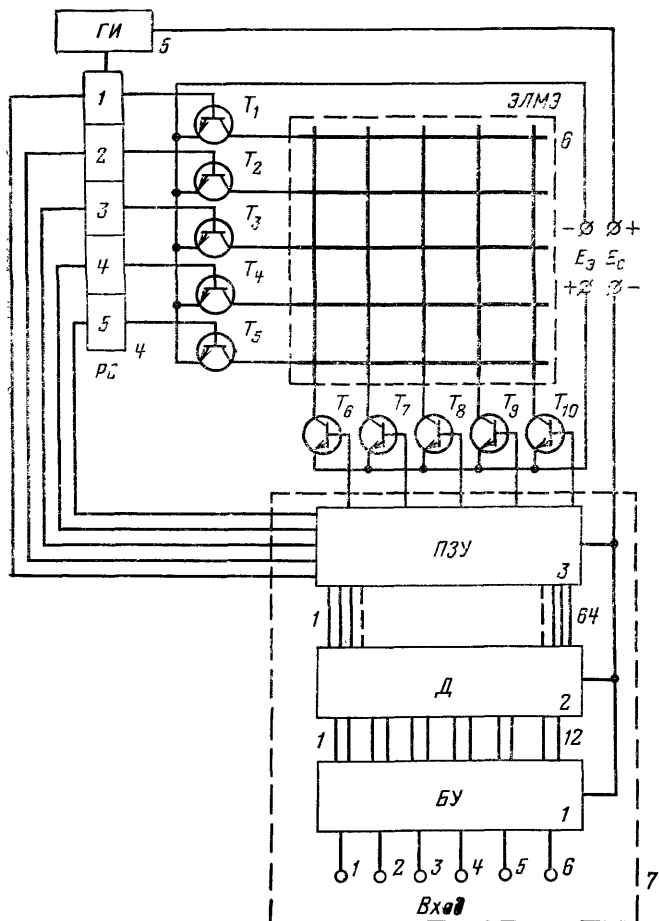


Рис. 2.9. Схема управления матричным экраном.

1 — блок удвоения; 2 — дешифратор; 3 — постоянное запоминающее устройство; 4 — сдвигающий регистр строк; 6 — генератор строчных импульсов; 6 — матричный экран; 7 — схема коммутации столбцов.

Кроме того, в ПЗУ поступает из РС та же серия импульсов, которая используется для управления строчными транзисторами $T_1—T_5$. ПЗУ выдает на транзисторы $T_6—T_{10}$ последовательность отпирающих импульсов длительностью T , соответствующую введенному коду символов.

Описанное устройство индикации имеет следующие достоинства:

1) низковольтное питание (напряжение схемы управления 4 В, потребляемая мощность 20—50 мВт);

2) возможность выполнения всей схемы управления по твердотельной технологии на двух монокристаллах (в этом случае общие габариты устройства определяются размерами требуемого экрана);

3) возможность ввода информации двоичным кодом (что позволяет соединить такой индикатор с любым дискретным устройством);

4) минимальное количество входов десять (четыре из них для цепей питания, а шесть для управления изображением). Это дает возможность отобразить до 64 символов.

Одним из существенных недостатков обычных матричных экранов с высоким импедансом является низкая контрастность, обусловленная возникновением перекрестных помех.

Помехи возникают ввиду того, что на ячейках, соединенных хотя бы по одной шине с индицируемой, создается напряжение, достигающее половины рабочего. Это напряжение возрастает из-за наличия емкостных связей между шинами, что вызывает паразитную

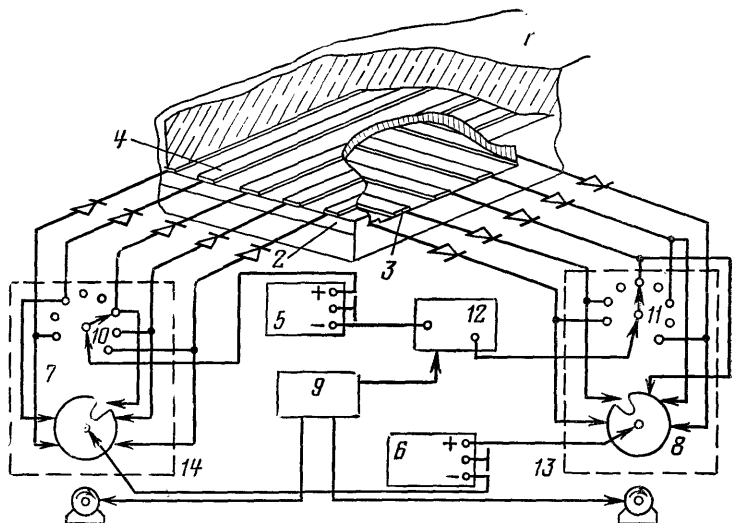


Рис. 2-10. Схема, устраняющая явление «креста».

1 — матричная панель; 2 — слой люминофора; 3, 4 — взаимно перпендикулярные электроды; 5, 6 — источники питания; 7 — коммутатор строки; 8 — кулачковый механизм; 9 — синхронное питание двигателей; 10, 11 — контактные рычаги; 12 — модулятор; 13, 14 — коммутрующие ключи.

засветку экрана, т. е. снижает контрастность. Такое явление получило название «кросс-эффекта», «светящегося креста», «эффекта плавающего электрода». Используя фиксацию напряжения на невыбранных шинах, можно получить вместо «креста» равномерную засветку всего экрана; однако полностью устранить засветку не удастся.

На рис. 2-10 показана схема, позволяющая устранить явление «креста» в электролюминесцентной матричной панели. На панели нанесен слой электролюминофора, заключенного между двумя взаимно перпендикулярными системами электродов. Сопротивление между соседними проводниками должно по крайней мере в 100 раз превышать сопротивление одного проводника. Для питания панели применяются два источника напряжения. Один ключ коммутирует столбцы, второй коммутирующий ключ производит переключение строк и работает с меньшей скоростью, чем первый ключ. Тем самым создается развертка изображения. При работе по мере вращения контактных рычагов напряжение селективно прикладывается к элементам панели, которые при этом излучают свет. Прикладываемым напряжением управляет модулятор.

Одновременно с управляющим напряжением ко всем неработающим электродам прикладывается запирающее напряжение для подавления фоновой освещенности панели.

Запирающее напряжение создается током, проходящим через диод в обратном направлении, в котором его сопротивление составляет 1—2 мОм. В результате запираания негорящих ячеек удается увеличить максимально допустимое значение управляющего напряжения, при этом рабочий выход световых ячеек возрастает в 100 раз.

Для уменьшения крест-эффекта используется также дополнительный слой. Его называют коммутирующим, а элемент слоя, включенного последовательно с элементарной электролюминесцентной ячейкой, — коммутирующим элементом.

В большинстве разработанных к настоящему времени конструкций электролюминесцентных панелей в качестве коммутирующего слоя применяется фотослой или слой нелинейного сопротивления, который уменьшает сопротивление только в месте пересечения возбужденных электродов.

В качестве примера подобного устройства рассмотрим изображенную на рис. 2-11 электролюминесцентную панель с пьезоэлектрическим управлением. Панель содержит слой с нелинейным сопротивлением из порошка сульфида кадмия, соединенный проводящей пленкой с пьезоэлектрической пластиной. Электролюминесцентный слой соединен с другой поверхностью слоя нелинейного сопротивления при помощи промежуточной матрицы.

Приложение импульсного напряжения к электродам пьезоэлектрической пластины вызывает распространение в ней упругих волн. Когда импульсы напряжения приложены к четырем электродам, четыре упругих волны встречаются одновременно в центре пластины.

Прикладывая импульсы напряжения U к электродам пластин в различной временной последовательности, можно получить сложение волн напряжения в любой точке. В такой точке напряжение на электролюминесцентном слое и слое нелинейного сопротивления составляет $4U$. Это напряжение понижает сопротивление нелинейного слоя в точке пересечения волн и все напряжение оказывается

приложенным к электролюминесцентному слою, начинающему излучать свет. Свет, излучаемый в точках пересечения двух волн, образует фон, но в этом случае он практически не заметен.

Одним из основных параметров любых экранов является разрешающая способность. Для порошковых экранов ее значение около 2—3 линии на 1 мм, для пленочных — 15—20 линий на 1 мм.

Для электролюминесцентных панелей с большой разрешающей способностью возникает проблема, связанная с большим количеством коммутирующих элементов. При X—Y-системе адресации информации для панелей с числом световых элементов N^2 необходимо $2N$ переключателей. Существует вариант адресации, в которой число коммутирующих элементов сокращено с $2N$ до $\log_2(N^2)$.

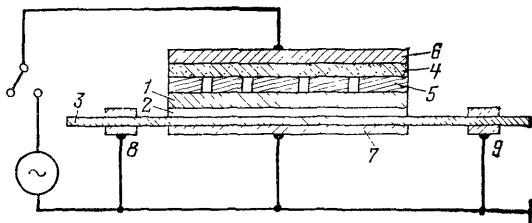


Рис. 2-11. Электролюминесцентная панель с пьезоэлектрическим управлением.

1 — слой нелинейного сопротивления; 2 — пленка проводящего материала; 3 — пьезоэлектрическая пластина; 4 — электролюминесцентный слой; 5 — промежуточная матрица; 6, 7 — электроды панели; 8, 9 — электроды пьезоэлектрической пластины.

Хотя промышленность серийного выпуска ЭЛИ матричного типа в настоящее время не производит, существует много лабораторных и опытных образцов, позволяющих говорить о перспективности этого вида индикаторов. Они смогут найти применение на лицевых панелях различных пультов, измерительных стендах и приборах, там где необходимо одновременно отобразить буквенную, звуковую и графическую информацию.

Мозаичный индикатор представляет собой мозаику из расположенных в одной плоскости электролюминесцентных ячеек в форме квадратов, кругов, многоугольников и др. В отличие от матрицы в мозаичных экранах паразитная засветка не возникает, благодаря чему они обладают высокой контрастностью.

Мозаичные экраны конструктивно выполняются в двух вариантах. В первом слой цинкосульфидного электролюминофора наносится на стеклянную пластину со сплошным прозрачным проводящим покрытием, затем на слое формируют мозаику из отдельных металлических электродов. Во втором варианте для построения мозаичного экрана используются отдельные малогабаритные ЭЛИ различных цветов (красный, зеленый, желтый), из которых собирается многоцветный индикатор.

Хотя матричные и мозаичные экраны потенциально являются конкурентами ЭЛТ, однако стоимость их вместе со схемами управления высока, а яркость и долговечность недостаточны. Для воспроизведения на матричном экране сложных, быстроменяющихся полутоновых изображений, как, например, в телевидении, необходи-

ма поочередная коммутация всехячеек, т. е. развертка типа телевизионной. При этом яркость воспроизводимых на матричном экране изображений весьма мала.

Для повышения яркости высвечивания на матричном экране более простых, медленно изменяющихся изображений без полутонов (при выводе информации из цифровых вычислительных машин) можно высвечивать лишь те ячейки, которые принимают участие в формировании выводимого изображения. При этом яркость свечения изображения находится в зависимости от количества одновременно высвечиваемых точек.

Мозаичный экран имеет достаточно высокую яркость свечения каждого отдельного элемента, у него отсутствует явление «креста» (недостаток матричного экрана), но более громоздкие и сложные схемы управления и коммутации существенно ограничивают его применение.

Однако в тех случаях, когда необходимо иметь плоские экраны большой площади, допускающие селективное запоминание и стирание информации, например при отображении больших количеств разнообразной графической и знаковой информации на различных диспетчерских пунктах, в вычислительных центрах, на табло и пультах оперативного и сетевого планирования и т. д., достоинства матричных и мозаичных ЭЛИ становятся неоспоримыми.

Характеристики и параметры ЭЛИ. Электролюминесцентные индикаторы по цвету свечения подразделяются на одноцветные, обозначаемые буквой О, многоцветные — М и растровые — Р. По характеру отображаемой информации ЭЛИ делятся на буквенно-цифровые и мнемонические.

По виду изображения ЭЛИ подразделяются на:

индикаторы с прямым контрастом (светящееся изображение на несветящемся фоне) и индикаторы с обратным контрастом, когда фон светлый, а изображение темное.

По характеру изображения ЭЛИ подразделяются на:

индикаторы со скрытым изображением (изображение видно только при подаче питающего напряжения);

индикаторы с видимым изображением (контуры изображения видны без подачи питающего напряжения).

По коэффициенту отражений лицевой (знаковой) панели ЭЛЗИ делятся на:

индикаторы с коэффициентом отражения 0,6—0,3; 0,3—0,2; 0,2—0,1; 0,1—0,06; 0,06—0,03; 0,03—0,01.

По количеству возможных цветов свечения индикаторы могут быть одноцветные, двухцветные, трехцветные и четырехцветные.

По типу исполнения ЭЛИ могут быть сегментными, растровыми, матричными, мозаичными, с внутренним или внешним трафаретом и без него.

По назначению ЭЛИ могут выполнять следующие функции: светового поля, используемого как элемент встроенного освещения или подсветки;

сигнального информационного поля, построенного из дискретных элементов, или выполнено на едином основании, такое поле может иметь внутренний или внешний трафарет;

шкальных индикаторов с постоянной или переменной оцифровкой;

мозаичных мнемосхем, выполняемых как из отдельных элементов, так и на одном основании;

Основные конструктивные данные электролюминесцентных индикаторов

Обозначение	Габариты, мм		Масса, г		Размер видимой части стекла, мм	Высота знака, мм	Размер стекла, мм
	без разъема	с разъемом типа РП-14	без разъема	с разъемом			
ИЭЛ-I	15×20×18,5	—	6	—	11×14,8	—	13×18
ИЭЛ-II	17×40×18,5	17×40×40,2	20	55	13×35	—	15×38
ИЭЛ-III	21×29×18,5	21×29×41	20	50	14×22	19	18×26
ИЭЛ-IV	22×42×17,5	—	20	—	15,5×23,5	19	18×26
ИЭЛ-V	33×33×18,5	33×33×40,2	25	65	25×25	22	30×30
ИЭЛ-VI	43×59×25,3	43×59×55,9	80	120	34×40	40	38×54
ИЭЛ-VII	45×85×25,3	—	120	—	36×76	70	40×80
ИЭЛ-VIII	65×65×25,3	65×65×55,9	120	180	56×56	45	60×60
ИЭЛ-IX	65×95×25,3	65×95×55,9	160	230	55×85	74	60×90
ИЭЛ-X	105×105×25,3	105×105×55,9	280	370	96×96	80	100×100
ИЭЛ-XI	125×185×25,3	—	600	—	116×176	160	120×180
ИЭЛ-XII	155×155×25,3	155×155×55,9	620	780	146×146	136	150×150
ИЭЛ-XIII	Свыше 150×150	—	—	—	—	—	Свыше 150×150

Примечание. Начертание буквенного алфавита и цифр выполняется по ГОСТ 2930-62. Размер сплошного светового поля равен по размеру видимой части стекла в миллиметрах.

экранов, которые подразделяются на специализированные (предназначенные для одного из методов индикации — картинного, планкарты, графиков и диаграмм), а также универсальные матричные экраны, на которых можно воспроизводить любое изображение).

По субъективной оценке качества начертания цифр ЭЛЗИ подразделяются: с привычным начертанием; с удовлетворительной привычностью восприятия начертания; с непривычным начертанием, рассчитанным на обученных и специально подготовленных операторов.

По характеру помехозащищенности все типы электролюминесцентных индикаторов делятся на три класса:

к первому относятся 5—10-элементные индикаторы, исключающие возможность обнаружения помехи и восстановления оператора исходного знака при единичном сбое в цепях коммутации;

ко второму относятся 6—10-элементные индикаторы, дающие возможность обнаружения помехи, но исключающие возможность восстановления исходного знака;

к третьему относятся 7—10-элементные индикаторы с возможностью обнаружения помехи и восстановления исходного знака.

При наличии десятичного знака (точки, запятой) он не входит в число элементов.

Габариты и конструктивные данные основных типов электролюминесцентных индикаторов приведены в табл. 2-1.

Для унификации исполнения и удобства эксплуатации ЭЛИ подразделяются на 13 типоразмеров, при этом за основу берется размер индикатора в плане (по стеклу). В последний тип ЭЛИ входят индикаторы с размером стекол 200×300, 300×300 мм и более. Они имеют свои специальные разъемы.

Сокращенное обозначение ЭЛИ (например, ИЭЛ-М-1) расшифровываются так: И — индикатор, ЭЛ — электролюминесцентный, М — цветное исполнение, 1 — типоразмер индикатора.

Для питания одноцветных и многоцветных индикаторов необходимы источники синусоидальных напряжений со следующими параметрами:

Для приборов с зеленым, голубым и желтым цветом свечения	220 В, 400 Гц
Для приборов красного цвета свечения	220 В, 1200 Гц
Допустимые отклонения напряжения и частоты	±5%

Начальная яркость индикаторов при таких режимах питания в соответствии с ТУ приведена в табл. 2-2.

Таблица 2-2

Гарантированные начальные яркости одноцветных и многоцветных индикаторов

Номер группы яркости	Начальная яркость, кд/м²			
	Зеленый	Голубой	Желтый	Красный
1	15—20	6—8	3—5	3—6
2	20—30	8—10	5—7	6—12
3	30—40	10—20	7—15	—
4	40—60	—	—	—

Гарантированная начальная яркость растровых индикаторов

Номер группы яркости	Начальная яркость, кд/м²	
	Голубой	Желтый
1	10—18	8—12
2	18—35	12—20

Растровые ЭЛИ работают от источника синусоидального напряжения при частоте 1200 Гц, причем для поддержания постоянной яркости значение питающего напряжения изменяется в течение срока службы от 180 до 250 В.

Гарантированная начальная яркость растровых индикаторов, оговоренная в ТУ, в режиме 220 В, 1200 Гц приведена в табл. 2-3.

При питании индикаторов от источника с внутренним сопротивлением менее 1 кОм в цепь питания индикатора необходимо вводить балластный резистор R_b , сопротивление которого определяется из условия

$$R_b \approx \frac{(0,1 \div 0,4) U_{\text{возб}}}{I_n},$$

где $U_{\text{возб}}$ — питающее напряжение, I_n — ток индикатора.

Балластный резистор включается последовательно с общим электродом индикатора (для растрового ЭЛИ — последовательно с каждым прозрачным электродом). Практически на индикаторах, выпускаемых с разъемными, балластные резисторы устанавливаются под крышкой корпуса при изготовлении на заводе.

Электролюминесцентные индикаторы могут работать при воздействии вибрационных нагрузок в диапазоне 5—8 Гц с ускорением 2,5 g и при воздействии ударных нагрузок с ускорением до 15 g.

Диапазон рабочих температур индикаторов от -40 до $+50^\circ\text{C}$. Долговечность ЭЛИ зависит от режима эксплуатации. Индикаторы зеленого, голубого и желтого цветов свечения работают при режиме питания переменным напряжением постоянной величины 220 В с частотой 400 Гц. При этом гарантированная долговечность равна 1000 ч, а остаточная яркость — не менее 35% начальной. При работе тех же индикаторов в режиме поддержания постоянной яркости за счет увеличения питающего напряжения (со 180 и до 250 В) срок службы ЭЛИ возрастает до 5000 ч.

Индикаторы с красным цветом свечения, работающие в режиме питания с напряжением 220 В с частотой 1200 Гц, имеют гарантированную долговечность 1000 ч работы, при этом остаточная яркость индикаторов будет не менее 35% от начальной.

Растровые ЭЛИ работают только в режиме с поддержанием постоянной яркости за счет изменения питающего напряжения от 180 до 250 В и имеют гарантированную долговечность 1000 ч. Индикаторы могут выдерживать до 10^6 циклов включений и отключений на протяжении всего гарантийного срока работы.

Все вышеприведенные характеристики являются усредненными, и в каждом конкретном типе ЭЛИ могут отличаться от приведенных в соответствии с различными ТУ и нормами.

Схемы управления электролюминесцентными индикаторами. Большое количество видов выпускаемых ЭЛИ привело разработчиков аппаратуры отображения информации к созданию разнообразных схем управления и коммутации ЭЛИ.

Одним из примеров является схема, основанная на применении трехстабильного индуктивного параметрона. Индуктивный параметрон представляет собой резонансный контур, в котором под действием поля периодически изменяется реактивный параметр (индуктивность). За счет этого в контуре возникают гармонические колебания, позволяющие кодировать двоичные переменные — нуль и единицу, уровнем амплитуды или фазами этих колебаний, отличающимися друг от друга на π радиан.

Трехстабильный параметрон имеет три устойчивых состояния: отсутствие колебания в контуре, наличие устойчивых колебаний в одной из фаз.

На рис. 2-12 показана схема управления электролюминесцентной ячейкой. В обмотку возбуждения трехстабильного параметрона последовательно включен трансформатор связи. Управление возбуждением параметрона осуществляется с помощью обмоток трансформатора, на одной из которых постоянно действует переменное напряжение определенной фазы. Две другие обмотки являются обмотками выборки, к которым может быть приложено переменное напряжение одной из двух фаз. Параметрон возбуждается при совпадении фаз напряжений на двух управляющих обмотках и на обмотке постоянной фазы. Напряжение параметрона повышается трансформатором и поступает непосредственно на ЭЛИ.

Достоинством схемы является то, что параметрон хранит информацию до следующего цикла записи.

Одна из схем управления ЭЛИ с использованием управляемого дросселя приведена на рис. 2-13. Управляемый дроссель, которым служит обмотка W_1 трансформатора Tr , подключается последовательно с индикатором к генератору с параметрами $U_{вых} = 60$ В, $f = 4$ кГц, $R_{внутр} = 500$ Ом. Дроссель выполнен на ферритовом сердечнике типа ФМ-2000. Ток управления проходит по обмотке подмагничивания W_2 через ключевой транзистор T (типа МП25). При этом сопротивление дросселя резко падает, а падение напряжения на индикаторе возрастает, вследствие чего возникает свечение электролюминофора.

В первичной цепи схемы возникает резонанс напряжения на индуктивности первичной обмотки W_1 и емкости индикатора. При резонансе к емкости контура (ЭЛИ) оказывается приложено повышенное напряжение, обеспечивающее достаточную яркость свечения. Отсюда и реализуется возможность снижения амплитуды выходного напряжения до 60 В.

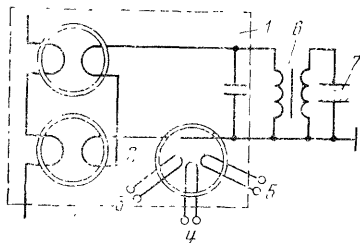


Рис. 2-12. Схема управления ЭЛИ на трехстабильном индуктивном параметроне.

1 — параметрон; 2 — трансформатор связи; 3—5 — обмотки трансформатора связи; 6 — повышающий трансформатор; 7 — индикатор.

Гашение свечения индикатора производится повышением частоты, т. е. уходом от резонанса или уменьшением выходного напряжения. Возможно и полное отключение генератора.

На рис. 2-14 представлена схема устройства для управления ЭЛИ, которая отличается от предыдущих использованием двух последовательно включенных дросселей насыщения, что значительно повышает надежность схемы.

Рабочие обмотки дросселей соединены последовательно с источником, параллельно одной из обмоток включен ЭЛИ. Обмотки

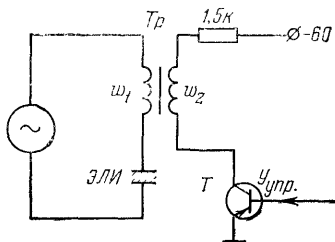


Рис. 2-13. Схема управления ЭЛИ на дросселе.

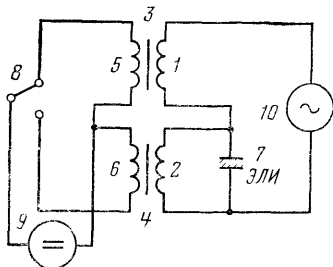


Рис. 2-14. Схема управления ЭЛИ на двух дросселях насыщения.

управления дросселей через переключатель подключены к источнику постоянного напряжения. В положении переключателя, показанном на рис. 2-14, постоянный ток протекает по обмотке 5 верхнего дросселя. Он насыщается и практически все напряжение источника прикладывается к дросселю и емкости

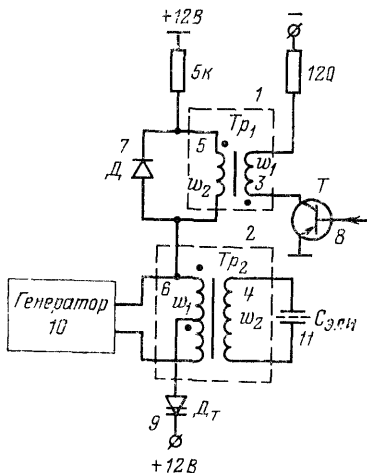
1, 2 — вторичные обмотки дросселей; 3, 4 — дроссели; 5, 6 — обмотки управления дросселей; 7 — индикатор; 8 — переключатель; 9 — источник постоянного тока; 10 — источник переменного тока.

ЭЛИ. Электролюминесцентный индикатор начинает светиться.

Если перевести переключатель во второе положение, то насыщается другой дроссель. Это вызывает перераспределение напряжений таким образом, что на первом дросселе падает большая часть напряжений источника питания, а к ЭЛИ прикладывается напряжение меньше, чем пороговое

Рис. 2-15. Схема управления свечением индикатора с применением дросселя и тиристора.

1, 2 — трансформаторы; 3, 4 — первичные обмотки трансформаторов; 5, 6 — вторичные обмотки трансформаторов; 7 — диодный тиристор; 8 — транзисторный ключ; 9 — демпфирующий диод; 10 — генератор ($U_{\text{вых}}=10$ В, $f=8$ кГц); 11 — индикатор.



напряжение свечения. Переключатель может быть выполнен в виде контактного или бесконтактного переключающего устройства, например, на транзисторах, тиристорах и т. д.

Другой вариант схемы с применением управляемого дросселя приведен на рис. 2-15. В качестве дросселя используется первичная обмотка трансформатора Tr_2 . Ток управления протекает при открытом динисторе D_T через половину первичной обмотки Tr_2 . Ин-

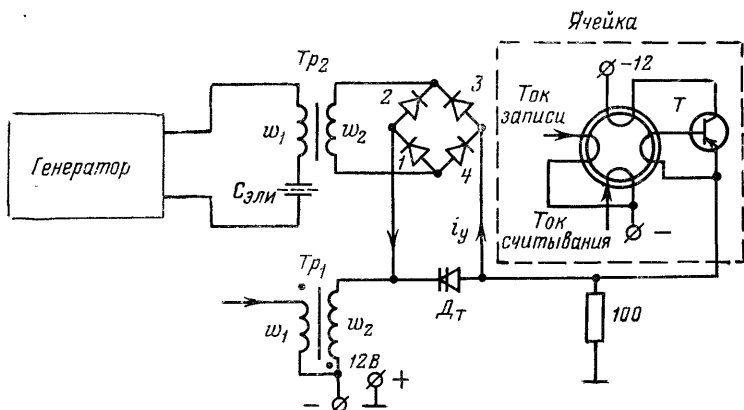


Рис. 2-16. Схема управления свечением ЭЛИ с применением дросселя, тиристора и ферриттранзисторной ячейки.

дикатор включен во вторичную (повышающую) обмотку этого трансформатора. В исходном положении динистор закрыт и ток управления отсутствует. К динистору прикладывается постоянное опорное напряжение, составляющее около половины напряжения прямого переключения диода $U_{пер}$. Чтобы перевести динистор в открытое состояние, необходимо подать на его анод, хотя бы кратковременно напряжение, превосходящее напряжение $U_{пер}$. В нужный момент к опорному добавляется импульсное напряжение той же полярности, так что общая разность потенциалов на диоде превышает $U_{пер}$. Для этой цели используется малогабаритный импульсный трансформатор Tr_1 . При прохождении тока через открытый транзисторный ключ T во вторичной обмотке импульсного трансформатора Tr_1 индицируется импульсное напряжение нужной полярности.

При прохождении тока по первичной обмотке Tr_2 происходит возбуждение ЭЛИ. Свечение индикатора продолжается до тех пор, пока включен динистор. Прекращение свечения достигается кратковременным снятием питающего напряжения или подачей импульса обратной полярности на динистор.

На схеме рис. 2-16 динистор D_T включается коллекторным импульсом феррит-транзисторной ячейки. При включенном динисторе ток через обмотку w_2 трансформатора Tr_2 не проходит. При выключении ток протекает через диоды D_1 и D_3 и обмотку w_2 . Свечение ЭЛИ начинается сразу же после выключения динистора, для чего предназначен трансформатор Tr_1 , с вторичной обмотки которого подается на динистор импульс обратной полярности.

В рассматриваемых схемах иногда целесообразно применять тиристоры, управляемые маломощными импульсами, подаваемыми на управляющий электрод. Однако и в этом случае необходимы дополнительные схемные устройства для выключения. Использование тиристоров, позволяющих производить включение и выключение разнополярными импульсами, подаваемыми на управляющий электрод, дает возможность значительно упростить эти схемы.

К магнитным материалам управляемого дросселя в рассмотренных выше схемах предъявляются специфические требования: хорошая прямоугольность петли гистерезиса, малые потери, высокая стабильность магнитных характеристик. Этим требованиям удовлетворяют ферриты типов Ф-1000 (ФМ-1000), Ф-2000 (ФМ-2000), Ф-3000 (ФМ-3000), сталь ХВП, пермаллой марки 50НП.

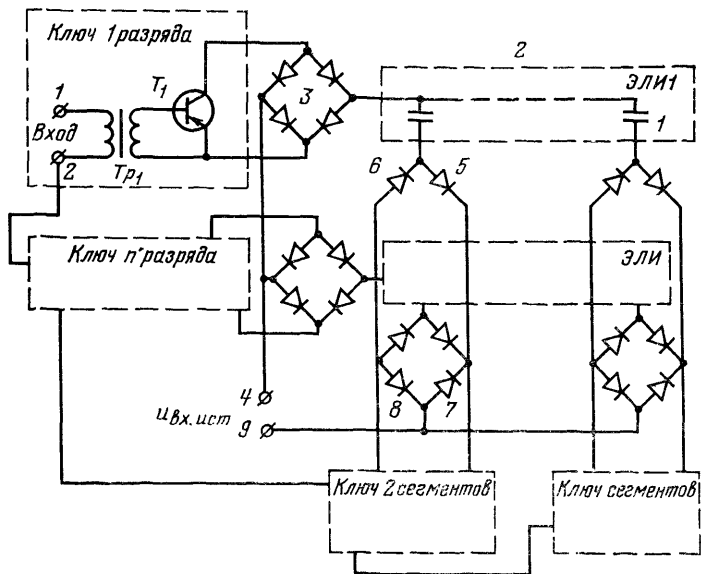


Рис. 2-17. Схема управления многосегментным ЭЛИ.

1 — сегмент; 2 — индикатор; 3 — выпрямительный мост; 4, 9 — клеммы входного источника питания ЭЛИ; 5, 6 — диоды, подключаемые к свободному концу сегмента; 7, 8 — диоды, общие для всех одноименных сегментов табло.

В практике разработок информационных устройств часто встречается необходимость управления большим количеством цифр, расположенных на табло. Вариант схемы управления для такого случая приведен на рис. 2-17. Схема отличается тем, что каждый сегмент электролюминесцентного индикатора подключен к общей точке двух последовательно соединенных диодов, другие концы которых соединены с транзисторным ключом выбора сегментов и дополнительной парой последовательно соединенных диодов, общая точка которых подключена к источнику питания. Общая точка сегментов подсоединена к другому полюсу источника питания через

выпрямительный мост с включенным в его диагональ транзисторным ключом выбора разряда.

Работа схемы заключается в последовательном открывании одного из разрядных ключей и сегментных ключей, соответствующих цифре данного разряда. При этом ЭЛИ различных разрядов последовательно заряжаются в течение одного полупериода ($0,5T_r$) до напряжения $U_{\text{ч}}$. В следующем полупериоде осуществляется перезаряд ЭЛИ до напряжения $U_{\text{ч}}$ обратной полярности. Ключи управляются тактовым коммутатором, синхронизированным с генератором $U_{\text{ч}}$. Период работы тактового коммутатора $T_{\text{т}}$ равен:

$$T_{\text{т}} = \frac{0,5T_r}{m},$$

где m — число разрядов.

Период $T_{\text{т}}$ содержит два такта: $I_{\text{т}}$ — подготовка ключей и $2_{\text{т}}$ — считывание ключей. В первом такте импульсом тока на входе 1 по обмотке трансформатора Tr_1 взводится ключ первого разряда (условно намагничивается «вверх»), и подготавливаются сердечники ключей 2 сегментов, соответствующих высвечиваемой в первом разряде цифры.

Во втором такте на вход 2 поступает импульс считывания ключей. При этом открываются транзисторы ключей, сердечники которых были подготовлены в первом такте.

Ток заряда сегментов ЭЛИ1 первого знакового разряда проходит от контакта 4 источника входного напряжения $U_{\text{вх.ист}}$, имеющего в рассматриваемый условно момент положительную полярность, через выпрямительный мост 3 и транзистор T_1 ключа первого разряда, далее через диоды 5, транзисторы ключей 2 сегментов, диоды 8 — на контакт 9 $U_{\text{вх.ист}}$.

Через сегменты ЭЛИ, соответствующие закрытым ключам 2 сегментов, а также ЭЛИ других разрядов и закрытые ключи 1 разряда, ток протекать не будет.

После полного перемагничивания сердечников трансформаторов Tr_1 через время, равное времени рассасывания заряда неосновных носителей в базе, транзисторы закрываются. Сегменты ЭЛИ первого разряда, зарядившиеся до амплитудного значения $U_{\text{ч}}$, начинают постепенно разряжаться через сопротивление утечки и обратные сопротивления диодов.

В третьем такте готовятся сердечник ключа 1 второго разряда и сердечники ключей 2, соответствующие сегментам ЭЛИ второго разряда. В четвертом такте подготовленные ключи считываются и происходит заряд выбранных сегментов ЭЛИ2 второго разряда и т. д.

При приведенном выше соотношении между $T_{\text{т}}$ и T_r в следующем полупериоде при заряде ЭЛИ любого из m разрядов напряжение $U_{\text{ч}}$ на зажимах $U_{\text{ч}}$ источника напряжения будет иметь полярность, противоположную полярности $U_{\text{ч}}$ в этом же такте предыдущего полупериода. В результате напряжение на выбираемых с помощью ключей сегментах ЭЛИ имеет форму экспоненциальных импульсов чередующейся полярности с амплитудой $U_{\text{ч}}$ и периодом $T_{\text{ч}}$.

Специфичность конструкции растрового индикатора (ЭЛИ) для устранения явления подсвета на неработающих электродах потре-

бывала особых схем управления. Высвечивание отдельно середины и контура, разные цвета свечения и комбинации всех возможных состояний требует обязательной коммутации двух фаз напряжения. Наиболее просто оно осуществляется с помощью релейных схем, но в последнее время появились и бесконтактные устройства управления растровыми ЭЛИ.

На рис. 2-18 представлена бесконтактная схема коммутации электродов растрового ЭЛИ. Устройство управления состоит из че-

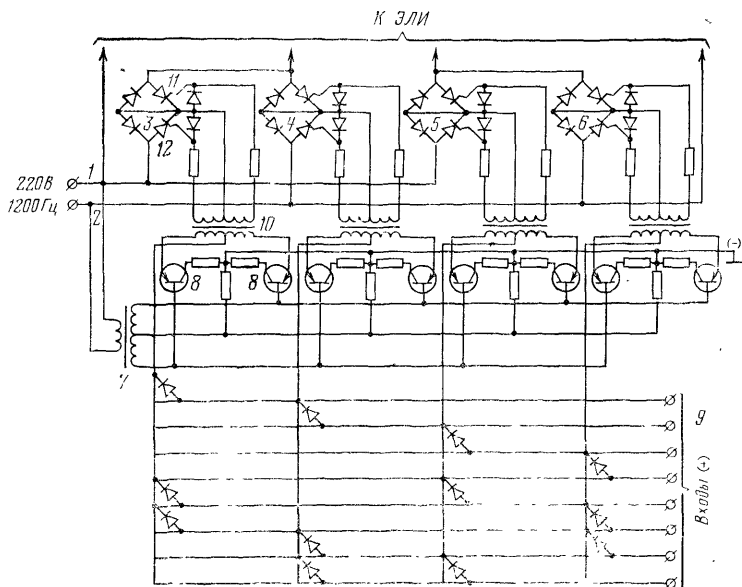


Рис. 2-18. Бесконтактная схема коммутации электродов растрового ЭЛИ.

тырех одинаковых мостовых схем на диодах и тиристорах, четырех одинаковых двухтактных транзисторных ключевых схем с трансформаторным выходом, диодного дешифратора и понижающего трансформатора со средней точкой во вторичной обмотке.

Работа всех четырех мостовых схем одинакова, поэтому для уяснения принципа работы устройства управления достаточно рассмотреть работу лишь одной из них.

Питающим напряжением для растрового ЭЛИ служит переменное напряжение 220 В с частотой 1200 Гц, которое поступает с генератора на зажимы 1 и 2. С зажима 1 питающее напряжение подается на две мостовые схемы 3 и 4 и на ЭЛИ. С зажима 2 питающее напряжение подается на две другие мостовые схемы 5 и 6 и на ЭЛИ. Схема работает следующим образом: когда на управляющие входы тиристоров ничего не поступает, мостовые схемы закрыты и индикатор не светится (при этом наблюдается паразитная подсветка всего поля ЭЛИ, которая может быть использована для контроля наличия питающего напряжения).

Питающее напряжение подается на первичную обмотку понижающего трансформатора 7, который в принципе может быть использован для работы нескольких схем управления. Напряжение поступает на базы полупроводниковых триодов 8. Так как цепи коллекторного питания транзисторов разорваны, то последние не «пропускают» управляющее напряжение к тиристорам.

При появлении на одном из четырех верхних входов 9 устройства положительного постоянного напряжения открывается диод дешифратора и коллекторное питание транзисторов 8 восстанавливается по цепи: входы 9, дешифраторные диоды, средний вывод трансформатора 10, выходы трансформатора 10, транзисторы 8, резисторы, общая шина (корпус). После этого левый транзистор 8 открывается положительной полуволной напряжения, соответствующей питающему напряжению с зажима 1, а правый транзистор 8 — отрицательной полуволной того же напряжения, поступающего на зажим 2.

Напряжение, «пропускаемое» транзисторами 8 через вторичную обмотку трансформатора 10 и резисторы, подается на управляющие выводы тиристоров 11 и 12. При этом на управляющие выводы тиристоров это напряжение поступает синфазно с питающим напряжением, т. е. если на аноде тиристора 12 напряжение имеет знак «+», то и управляющее напряжение на этом тиристоре также имеет знак «+».

Таким образом, мостовая схема при подаче управляющего напряжения на один из четырех верхних входов 9 устройства полностью пропускает к нагрузке питающее переменное напряжение. При этом на растровом ЭЛИ засвечивается одним из двух цветов индикаторного поля середина или контур. В случае подачи управляющего напряжения на один из четырех нижних входов 9 устройства «открываются» две другие мостовые схемы и на индикаторе высвечиваются контур и середина. Аналогичным образом можно получить другие состояния растрового ЭЛИ.

В другой схеме, приведенной на рис. 2-19, используется явление феррорезонанса. При прохождении через обмотку управления трансформатора постоянного тока подмагничивания возникает феррорезонанс. Напряжение на индикаторе возрастает, и он светится. Когда нет управляющего сигнала (ток подмагничивания отсутствует), индикатор не светится. В качестве источника напряжения возбуждения используется генератор с частотой 1200 Гц.

Отметим следующие достоинства схем с нелинейной индуктивностью:

1) если трансформаторы имеют несколько обмоток управления, то применяя специальное соединение этих обмоток, можно производить некоторые из логических преобразований (например, перевод из десятичной системы в код знакоинтегрирующего цифрового индикатора);

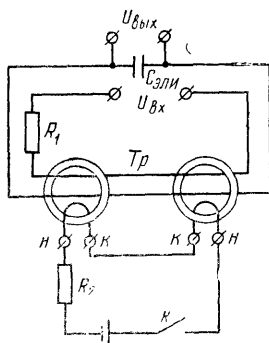


Рис. 2-19. Схема включения ЭЛИ с применением явления феррорезонанса.

2) схемы обычно имеют низкоомные выходы, и это позволяет расположить их от ЭЛИ на некотором расстоянии, что бывает удобно конструктивно.

В аппаратуре, где смена информации происходит не часто, целесообразно применять схемы управления включением ЭЛИ на реле и герконах. С помощью герконов возможно создание схем управления ЭЛИ с памятью. Такая схема состоит из геркона, постоянного магнита (запоминающего феррита) и рабочей катушки. При подаче импульса на обмотку контакт геркона замыкается. Постоянный магнит, расположенный рядом с герконом, подбирается таким образом, чтобы его магнитный поток мог удерживать контакты геркона в замкнутом состоянии без дополнительного расхода энергии. При прохождении через обмотку импульса тока противоположной полярности происходит перемагничивание пружины контакта и геркон размыкается.

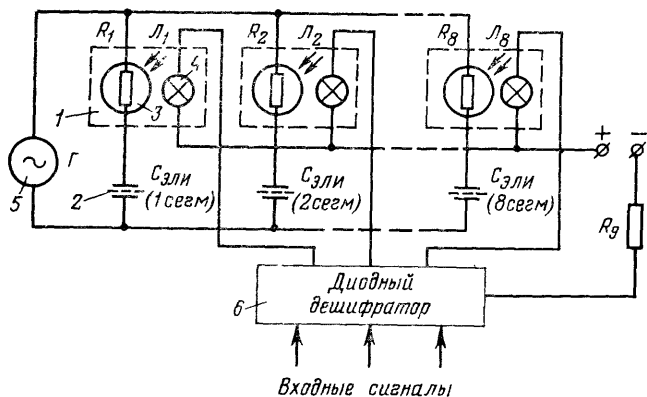


Рис. 2-20. Схема включения ЭЛИ с помощью оптронов на лампах накаливания.

1 — оптрон; 2 — сегмент индикатора; 3 — фоторезистор; 4 — лампа накаливания; 5 — генератор; 6 — диодный дешифратор.

На рис. 2-20 приведена схема индикации ЭЛИ с помощью оптронов. В данном типе оптрона используется фоторезистор (могут быть схемы с применением фототиристора).

Фоторезисторы представляют собой полупроводниковые резисторы, в которых происходит изменение электропроводимости под воздействием света. Они могут включаться в цепи постоянного и переменного токов. В качестве фоторезисторов для применения в подобных схемах рекомендуются С-093 и С-92. Коммутация индикаторов здесь сведена к выбору очередности включения ламп накаливания (рис. 2-20), что осуществляется диодным дешифратором, с выхода которого подается необходимый потенциал на выбранные лампы. Включение ламп накаливания ведет к засвечиванию определенного сегмента ЭЛИ. Во избежание влияния внешнего света фоторезистор и лампа накаливания помещаются в один герметичный корпус.

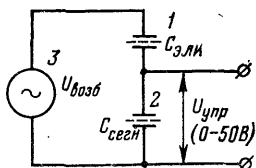
Электролюминесцентные устройства в комбинации с фоторезисторами дают возможность создать надежный и малогабаритный индикатор. Плотность размещения деталей составляет всего $0,16 \text{ см}^2$ на одну согласованную пару.

К недостаткам рассмотренной схемы коммутации следует отнести сравнительно большую мощность потребления ламп накаливания и их низкую надежность. За счет этого значительно снижаются достоинства всего индикаторного устройства.

В оптронах при замене ламп накаливания более экономичными и надежными источниками света, например светодиодами, характеристики всего устройства значительно улучшаются. В схеме, изображенной на рис. 2-20, дешифратор нагружается на светодиоды, каждый из которых объединен с фоторезистором. Для освещения фоторезисторов достаточно обеспечить яркость свечения светодиодов около 10 Кд/м^2 , для чего достаточно напряжение питания около $3,5\text{--}4 \text{ В}$.

Рис. 2-21. Схема управления ЭЛИ с помощью вариконда.

1 — индикатор; 2 — вариконд; 3 — генератор.



Для управления в ЭЛИ можно использовать сегнетоэлектрические конденсаторы, т. е. конденсаторы, в качестве диэлектрика у которых используется сегнетокерамика. Сегнетоэлектрические конденсаторы с резко выраженной зависимостью диэлектрической проницаемости от напряженности приложенного электрического поля называются варикондами. Принцип управления свечением ЭЛИ при использовании варикондов основывается на зависимости их емкости от приложенного к ним управляющего напряжения.

Упрощенная схема управления свечением ЭЛИ с помощью варикондов приведена на рис. 2-21. Основная цепь представляет собой последовательно включенные ЭЛИ и вариконд, питаемые от источника переменного возбуждающего напряжения. Кроме того, на вариконд подается постоянное управляющее напряжение, которое может изменяться от 0 до 50 В.

При отсутствии управляющего напряжения емкость вариконда велика и большая часть возбуждающего напряжения падает на индикаторе, вызывая его свечение с определенной яркостью. При подаче управляющего напряжения емкость вариконда уменьшается, что приводит к увеличению падения напряжения на нем. Этим самым уменьшаются напряжение возбуждения на ЭЛИ, а следовательно, и яркость его свечения. При плавном изменении управляющего напряжения можно получить плавную регулировку яркости. Определенное состояние свечения электролюминесцентного индикатора будет поддерживаться до тех пор, пока не изменится значение управляющего напряжения.

Приведенные примеры схем управления ЭЛИ применялись в связи с их относительно высоким рабочим напряжением

(175—250 В). При снижении рабочего напряжения увеличивается возможность широкого применения интегральных схем в устройствах управления ЭЛИ, что позволяет сделать аппаратуру отображения информации на ЭЛИ более компактной, надежной и дешевой.

Применение ЭЛИ в аппаратуре отображения информации. Плоская конструкция, достаточная величина яркости, высокая контрастность ЭЛИ обеспечивают возможность их применения в различных областях техники.

Разработаны электролюминесцентные устройства для приборных досок автомобилей, самолетов, для освещения шкал в телевизионных и радиовещательных приемниках, шкал в измерительных приборах, для подсветки шкал приборов, статических надписей, трафаретов и т. п.

Широко применяются ЭЛИ в различных диспетчерских комплексах для отображения состояния и режимов определенных систем.

Применение ЭЛИ со сплошным полем свечения позволяет конструировать достаточно компактные, экономичные и надежные информационные табло. Необходимо отметить, что электролюминесцентные устройства отображения наиболее полно удовлетворяют требованиям инженерной психологии, обеспечивая прием информации оператором без особого напряжения, достаточную наглядность, уверенное восприятие, большой угол обзора.

Широко применяются ЭЛИ в устройствах автоматики при передаче команд. Системы автоматики могут иметь на лицевой панели блоков, пультов, табло специальные мнемосхемы, на которых условно изображены все контролируемые объекты и соединяющие их трассы.

Выходные данные телеизмерений, телесигнализации воспроизводятся в виде светящихся цифр или символов на электролюминесцентной мнемосхеме.

В аппаратуре передачи данных производится индикация передаваемых команд на цифровых ЭЛИ. За счет выбора удачных конфигураций высвечиваемых цифр и букв, высокой яркости и контрастности в таких устройствах отображения информации создается малая вероятность ошибки при считывании показаний оператором. В выпускаемых промышленностью знаковых сегментных ЭЛИ разработчики, с одной стороны, стремились к уменьшению количества сегментов для сокращения объема схем управления, а с другой — к хорошей читаемости и универсальности при использовании в различных цифро-буквенных информационных табло.

Появление двух- и трехцветных ЭЛИ позволило конструировать многоцветные системы отображения буквенно-цифровой информации и увеличить наглядность мнемосхем. Выбор цвета свечения электролюминесцентных индикаторов зависит от конкретных требований, определяющих назначение устройства отображения. В одном случае необходимо выбрать цвета, обеспечивающие наиболее точное и быстрое восприятие информации, в другом — цвета, резко отличающиеся друг от друга, что существенно при цветовом кодировании.

Электролюминесцентные индикаторы нашли широкое применение в освещении номерных знаков домов (например, в Ленинграде, в Москве), в качестве различных трафаретов на лифтах («вверх», «вниз», «стоп», «перегрузка» и т. д.), особенно там, где общая освещенность помещения низкая.

Одним из таких мест являются рентгенодиагностические и радиологические кабинеты медицинских клиник, для которых разработаны следующие индикаторы: адаптационный — световой индикатор для ориентирования пациентов; сигнальный — высвечивающий предупредительные надписи при входе в рентген-кабинет; светильник «радиация» — формирующий двухцветный световой знак радиационной опасности.

Габариты всех приборов таких типов в корпусах $265 \times 172 \times 14$ мм, масса 1100 г.

Номинальный режим возбуждения индикаторов-светильников: напряжение не более 280 В, частота 1000 Гц. В этом режиме яркость адаптационного светильника и индикатора «радиация» равна $60\text{--}70$ кд/м², сигнального — $25\text{--}30$ кд/м², фотофонаря — $5\text{--}10$ кд/м².

Светоизлучающие диоды

Быстрое развитие современной радиоэлектроники привело к созданию элементов индикации, совместимых по электрическим характеристикам с низковольтными транзисторами и с интегральными микросхемами.

Одним из приборов индикации, удовлетворяющим этим требованиям, оказался полупроводниковый источник света — светоизлучающий диод (СИД).

Светодиоды, создающие излучение света в видимой части спектра, — приборы, способные эффективно преобразовывать электрическую энергию в световую.

Светодиоды имеют следующие достоинства:

1) совместимость по электрическим, конструктивным и эксплуатационным параметрам с современными интегральными микросхемами (ИС);

2) различные цвета свечения (красный, зеленый, желтый);

3) низкие рабочие напряжения — небольшую потребляемую мощность;

4) долговечность (10^6 ч) при высокой надежности и ударной и вибрационной стойкости;

5) компактность.

В то же время выпускаемые в настоящее время СИД по сравнению с другими индикаторами относительно дороги.

Принцип работы, конструкция и основные параметры. Механизм электролюминесценции *p-n*-перехода, включенного в прямом направлении, существенно отличается от других видов люминесценции. При прямом смещении потенциальный барьер *p-n*-перехода понижается и происходит инжекция электронов в *p*-область и дырок в *n*-область. В процессе рекомбинации неосновных носителей в *p-n*-переходе энергия выделяется в виде фотонов, т. е. процесс рекомбинации сопровождается световым излучением, частота которого пропорциональна ширине запрещенной зоны полупроводникового материала. Если ширина запрещенной зоны больше 1,8 эВ, то излучение видимое (длина волны меньше 700 нм), если меньше, то излучение невидимое и находится в инфракрасной зоне спектра.

Светодиодные индикаторы характеризуются:

1) малым значением (от одного до нескольких вольт) рабочего напряжения, необходимого для создания смещения *p-n*-перехода в прямом направлении;

2) малой инерционностью, обеспечивающей высокое быстродействие индикаторных устройств (инерционность излучения при пропуске тока в прямом направлении 50—200 нс);

3) широким диапазоном рабочих температур;

4) простотой модуляции и возможностью питания постоянным, переменным и импульсным напряжениями;

5) устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям внешней среды.

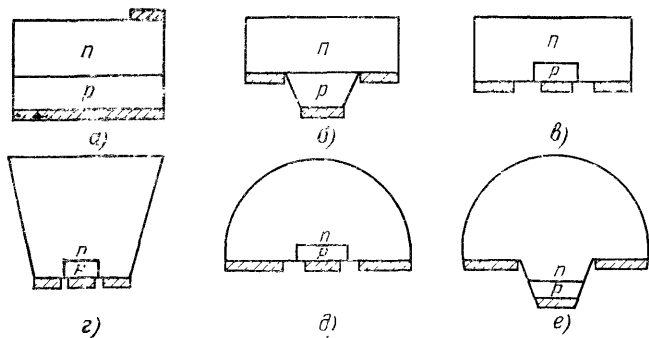


Рис. 2-22. Конструктивные варианты изготовления кристаллов СИД.

а — плоская конструкция с *p-n*-переходом по всей поверхности; *б* — мезаструктура; *в* — планарная; *г* — конусная; *д*, *е* — полусферическая.

Светодиоды могут выпускаться в бескорпусном исполнении или в металлическом (пластмассовом) корпусе.

На рис. 2-22 представлены различные варианты конструкций кристаллов СИД. Особенно часто применяют три вида конструкций СИД (рис. 2-22, *а*, *в*, *е*).

Наибольшее распространение получили кристаллы светодиодов, изготовленные на основе полупроводниковых соединений типа A^3B^5 . Одним из основных материалов является арсенид-фосфид галлия ($GaAsP$). Достоинством этого материала является отсутствие насыщения излучения при высоких плотностях токов, что является важным условием, обеспечивающим работу светодиодов в импульсном режиме.

Другим полупроводниковым материалом, широко применяемым для изготовления светодиодов, является фосфид галлия GaP — материал с непрямыми переходами. Способом вытягивания из раствора можно изготовлять кристаллы этого материала достаточно больших размеров. Используя фосфид галлия с различными присадками, получают светодиоды с разными цветами свечения. Например, при легировании Zn и O_2 имеем светодиод с красным цветом свечения, а при легировании только N — с зеленым.

Еще один применяемый для СИД материал — карбид кремния (SiC) дает желтое свечение, но не обеспечивает высокую яркость. СИД из карбида кремния, получаемые диффузионным или сплав-

ным методом, обладают хорошей температурной стабильностью, позволяющей работать им до 300—400°C.

Разработчики СИД встречаются с трудностями при создании больших по размерам индикаторов, ибо увеличение светящейся площади сегмента за счет увеличения кристалла СИД или увеличения количества самих кристаллов в одном сегменте приводит к резкому удорожанию всего прибора.

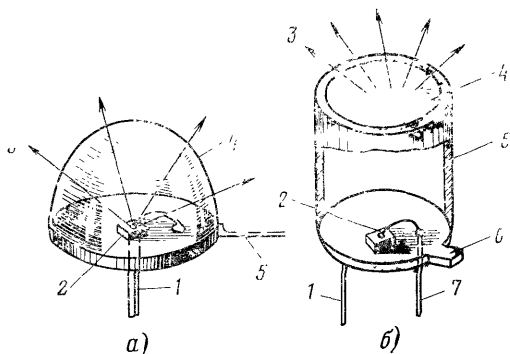


Рис. 2-23. Конструкция одиночных СИД.

а — СИД в пластмассовом корпусе: 1 — вывод «—», 2 — светоизлучающий кристалл; 3 — излучение; 4 — пластмассовый купол-линза; 5 — вывод «+»; *б* — СИД в металлическом корпусе: 1 — вывод «—», 2 — светоизлучающий кристалл, 3 — излучение, 4 — оптическая линза, 5 — металлический корпус, 6 — ключ для установки, 7 — вывод «+».

Если разнести кристаллы СИД на большие расстояния друг от друга, то теряется равномерность свечения длины одного сегмента.

Практически, при разработке конструкций СИД всегда стремятся иметь малый кристалл и различные отражающие и линзовые приспособления для увеличения размера светового изображения. Применение линзы увеличивает яркость светодиода. Например, линза, дающая увеличение $M=1,41$, позволяет снизить необходимое количество материала в $M^2=2$ раза, при этом увеличивается кажущаяся яркость при неизменном токе через СИД.

На рис. 2-23, *а*, *б* показаны типичные сферические и цилиндрические конструкции СИД, используемые в качестве дискретного источника света.

В сферической конструкции пластмассовый прозрачный корпус играет роль линзы, а в цилиндрической линза вмонтирована в торец.

Конструкция прибора с линзой, расположенной непосредственно на кристалле (рис. 2-23, *а*), имеет преимущество перед конструкциями приборов, где линзы установлены на некотором расстоянии (рис. 2-23, *б*), ибо последняя существенно повышает потери на отражение и не обеспечивает большие углы наблюдения.

Пластмассовую линзу можно сделать цветной, что повышает контрастность изображения. Могут применяться нейтральные или поляризованные фильтры.

Из нескольких способов получения СИД разного цвета свечения метод нанесения люминофорного покрытия непосредственно на кристалл считается наиболее перспективным.

Этому в значительной мере способствовали успехи в разработке так называемых антистоксовых люминофоров — преобразователей инфракрасного излучения в видимое, синтезированных на основе бария и лантана. При этом два атома, поглотившие кванты возбуждающего излучения, передают свою энергию атому активатора, испускающего квант большой энергии. Трехвалентные редкоземельные ионы в слое люминофора возбуждаются и излучают видимый свет благодаря последовательному

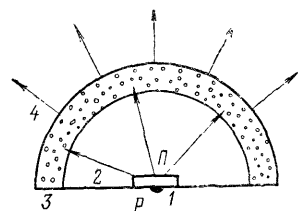


Рис. 2-24. Конструкция СИД с люминесцентным покрытием.

1 — СИД; 2 — инфракрасные лучи; 3 — слой люминофора; 4 — видимый свет от люминофора.

поглощению двух или более фотонов, эмиттируемых p - n -переходом при подаче на СИД напряжения от источника питания. Такое явление сложения возбуждений нескольких атомов позволяет преобразовать инфракрасное излучение СИД в видимый свет цветного люминофора, что существенно расширяет возможности практического применения СИД в технике и быту.

Люминофорное покрытие может иметь различный цвет, и цветовая гамма СИД оказывается достаточно широкой, что дополнительно расширяет возможности создания и применения многоцветных твердотельных индикаторных устройств.

Согласование спектров возбуждения люминофоров со спектрами инфракрасного излучения СИД позволило создать малогабаритные конструкции, значительно превосходящие по параметрам ранее выпускаемые СИД. Такие СИД имеют яркость свечения, достаточную для применения их в устройствах отображения информации при большой внешней освещенности. На рис. 2-24 показана подобная конструкция.

С позиции инженерной психологии, изображение, создаваемое СИД с высотой знака 2,5 мм, вполне приемлемо для применения в миниатюрной измерительной аппаратуре. Знак высотой 6,3 мм хорошо воспринимается человеком с нормальным зрением с расстояния до 2,4 м. За счет линзы высота светящегося СИД кажется по крайней мере в 1,5—2 раза больше фактической. При этом кажущийся размер СИД зависит от формы сегмента, отношения высоты к ширине сегмента, его конфигурации (сплошной или из отдельных кристаллов) и, наконец, от угла наклона знака.

Кроме применения линз созданы конструкции СИД, использующие рефлекторы. Например, в конструкции цифрового семисегментного индикатора с металлизированным рефлектором в пластмассовой крышке свет от одного кристалла GaP распространяется по всему сегменту. Конструкция и форма отражателя в данном случае таковы, что каждая полоска-сегмент создается из трех светящихся источников. Период чередования темных и светлых участ-

ков внутри сегмента настолько мал, что переход между отдельными сегментами скрадывается и на расстоянии от прибора создается иллюзия непрерывной линии.

Площадь полупроводниковых пластин (кристаллов) при этом может быть примерно на два порядка меньше площади рефлектора.

В другом варианте СИД каждый сегмент цифрового индикатора состоит из квадратного кристалла со стороной 0,36 мм. Сами кристаллы монтируются на керамической плате, которая сверху покрывается черной пластиной с вырезами по контуру цифры 8.

Излучаемый кристаллом свет распространяется в сторону наблюдателя. Боковое излучение отражается от стенок и также направляется к наблюдателю, сливаясь для глаза в одно изображение большого размера. При этом кажущиеся размеры светящегося сегмента равны $3,8 \times 0,63$ мм, т. е. значительно больше действительных.

Свойство гибких стеклянных волоконных световодов без потерь и искажений передавать свет также нашло применение при создании СИД. К небольшому по размерам светоизлучающему кристаллу подсоединены своими торцами несколько (4—6) волоконных световодов. За счет гибкости этих световодов из их вторых концов (торцов) составляется нужная фигура знака (сегмент, круг, линия). Таким образом, из точечного СИД с помощью волоконных световодов можно получить увеличенное изображение нужной формы исходного кристалла.

Коэффициент передачи световода составляет около 99,5%, а угол обзора изображения может доходить до 160° .

С использованием этого способа сделан цифровой индикатор с высотой знака 21,6 мм, в котором с помощью волоконной оптики достигается увеличение светящейся точки в 6—8 раз.

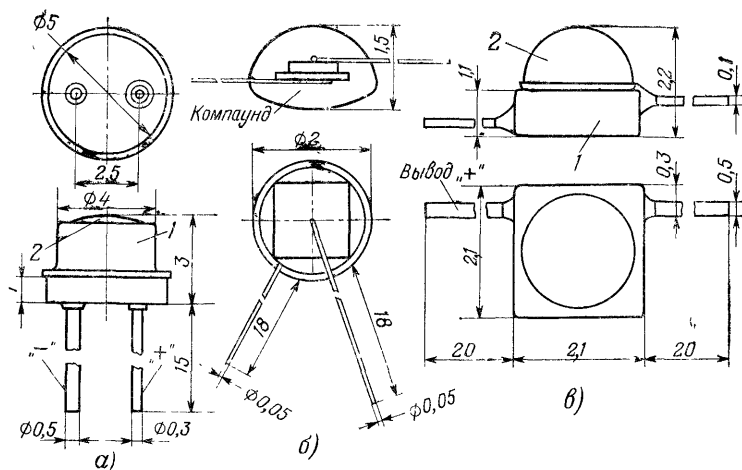


Рис. 2-25. Внешний вид и габариты некоторых типов.

а — СИД — АЛ102А-Г; б — АЛ3301А-Б; в — КЛ101А-В; 1 — металлический корпус; 2 — оптическая линза.

Основные эксплуатационные характеристики СИД

Тип светодиода	Цвет свечения	Яркость, кд/м²	Размер светового излучения, мм	Число сегментов	Габариты, мм	Прямое падение напряжения, В, не более	Предельно допустимые значения		Диапазон рабочих температур, °С	Масса, г, не более	Исходный полупроводниковый материал
							Прямой ток, мА	Выброс обратного напряжения, В			
АЛ102А	Красный	5	3	1	∅5, НЗ	3,2	5	6,0	От -60 до +70	0,25	Фосфид галлия
АЛ102Б	"	40	3	1	∅5, НЗ	4,5	20	6,0	От -60 до +70	0,25	То же
АЛ102В	"	20	3	1	∅5, НЗ	4,5	30	6,0	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ102Г	"	10	3	2	∅5, НЗ	3,0	20	6,0	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ103А	"	1	—	7	∅1,5, Н2,5	1,6	50	2,0	От -60 до +70	—	Карбид кремния
АЛ103Б	"	1	—	7	∅1,5, Н2,5	1,6	50	2,0	От -60 до +70	—	То же
АЛ301А	"	10	∅1	1	∅2, Н1,5	3,0	10	—	От -60 до +70	—	Фосфид галлия
АЛ301Б	"	20	∅1	1	∅2, Н1,5	3,8	10	—	От -60 до +70	—	То же
АЛ304А	"	350	2×3	8	6,3×5,3×2	2,0	5,5	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304Б	"	200	2×3	8	6,3×5,3×2	2,0	5,5	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304Г	"	350	2×3	8	6,3×5,3×2	3,0	11	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304В	Зеленый	60	2×3	8	6,3×5,3×2	3,0	11	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304Д	Красный	200	2×3	8	6,3×5,3×2	3,0	11	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304Е	"	120	2×3	8	6,3×5,3×2	3,0	11	—	От -60 до +70	0,25	" "
АЛ304Ж	"	60	2×3	8	6,3×5,3×2	3,0	11	—	От -60 до +70	0,25	" "

Тип светодиода	Цвет свечения	Яркость, кд/м²	Размер светового излучения, мм	Число сегментов	Габариты, мм	Прямое падение напряжения, В, не более	Предельно допустимые значения		Диапазон рабочих температур, °С	Масса, г, не более	Исходный полупроводниковый материал
							Прямой ток, мА	Выброс обратного напряжения, В			
КЛ101А	Желтый	10	2,0	1	2,1×2,1	5,5	10	—	От —10 до +70	0,05	Карбид кремния
КЛ101Б	„	15	2,0	1	2,1×2,1	5,5	20	—	От —10 до +70	0,05	То же
КЛ101В	„	20	2,0	1	2,1×2,1	5,5	40	—	От —10 до +70	0,05	„ „
КЛ104А	„	15	7×12	7	∅16, Н22	6,0	10	10	От —10 до +70	7	„ „
КЛ105	„	20	3×5	7	6×12	2,3—6	10	10	От —60 до +85	—	„ „
КЛ114	„	30	1,2×2	7	2,5×4×1,5	2,3—4	5,0	—	От —60 до +85	0,5	„ „
2Л101А	„	10	3	1	2,1×2,1	5,0	10	—	От —10 до +70	0,25	„ „
2Л101Б	„	15	3	1	2,1×2,1	5,0	20	—	От —10 до +70	0,25	„ „
3Л102А	Красный	5	2	1	∅5, Н3	3,2	12	2,0	От —60 до +70	0,25	Фосфид галлия
3Л102Б	„	30	2	1	∅5, Н3	3,8	12	2,0	От —60 до +70	0,25	То же
3Л102Г	„	10	2	1	∅5, Н3	3,0	12	2,0	От —60 до +70	0,25	„ „

Серийно выпускаемые СИД можно разделить на точечные источники света (видимого и инфракрасного диапазона излучения), цифровые, цифро-буквенные, знаковые сегментные индикаторы; многогоразрядные цифровые индикаторы; матричные индикаторы.

Отечественной промышленностью серийно выпускается целый ряд полупроводниковых точечных источников света. Например, индикатор типа АЛ102А-Г, изготавливаемый из фосфида галлия, имеет зеленый или красный цвет свечения. На рис. 2-25,а показаны его внешний вид и габариты. Конструктивно он оформлен в металлическом цилиндрическом корпусе с линзой. Инерционность излучения светодиода при пропускании тока в прямом направлении составляет 50—200 нс.

Также из фосфида галлия, но в бескорпусном исполнении выпускаются миниатюрные светодиоды типа АЛ301-А, Б. Общий вид и габариты этих светодиодов показаны на рис. 2-25,б.

Точечные источники света — светодиоды типа КЛ101А-В изготавливаются из карбида кремния в корпусе с линзой. На рис. 2-25,в показаны внешний вид светодиода такого типа и его габариты.

Основные электрические параметры вышеперечисленных светодиодов приведены в табл. 2-4, все они имеют гарантированную долговечность 10 000 ч.

В настоящее время серийно выпускается достаточно большое количество типов цифровых СИД. Широко распространенная семи-сегментная конфигурация позволяет на одном знакоместе отобразить арабские цифры от 0 до 9 и буквы русского алфавита А, Б, Г, Е, З, Н, О, П, Р, С, У, И. К таким приборам можно отнести: индикаторы типа АЛ113А-С, имеющие красный, зеленый и синий цвета свечения; АЛ304А-Ж — только красного цвета; АЛ305А — красного и зеленого цветов и т. д. Для индикации цифр желтого цвета можно рекомендовать индикаторы типа КЛ104А, КЛ105А-В или КЛ114.

Кроме вышеперечисленных серийно выпускаемых промышленностью светодиодов типов АЛ и КЛ существует небольшая серия

Таблица 2-5

Основные характеристики цифровых индикаторов

Тип индикатора	Яркость свечения, кд/м²	Постоянный прямой ток через сегмент, мА	Постоянное прямое напряжение, В, не более
ЭЛЦИЖ-7А-08×6-05	10	15	5,0
ЭЛЦИЖ-7Б-08×6-05	20	15	5,0
ЭЛЦИЖ-7В-08×6-05	30	15	5,0
ЭЛЦИЖ-7А-06×6-05	10	12	5,0
ЭЛЦИЖ-7А-08×5-05	10	13	5,0
ЭЛЦИЖ-7А-06×6-05	10	10	5,0

Примечания: 1. Все вышеперечисленные индикаторы имеют срок службы не менее 5000 ч.

2. Обозначение индикаторов последней группы расшифровывается следующим образом: ЭЛЦИЖ — электролюминесцентный цифровой индикатор желтый; 7 — семисегментный; А — 10 кд/м²; Б — 20 кд/м²; В — 30 кд/м²; 08×6 — размер светящихся сегментов в квадратных миллиметрах; 0 — климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70; 5 — категория жесткости по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70.

плоских цифровых индикаторов на основе карбида кремния. Такие индикаторы имеют желтый цвет свечения и работают в диапазоне температур от -30 до $+70^{\circ}\text{C}$. Основные параметры этих индикаторов приведены в табл. 2-5.

Необходимость в знаковых индикаторах не только по электрическим параметрам, но и конструктивно согласующихся с интегральными микросхемами, привела к созданию цифрового и цифробуквенного индикаторов, изображенных на рис. 2-26. Эти индикаторы имеют плоскую конструкцию, позволяющую располагать их вместе с интегральными микросхемами на печатном монтаже, на лицевых панелях блоков и приборов. Кроме того, плоская конструкция обеспечивает больший угол обзора, что является важным достоинством элемента индикации.

Цифровой индикатор (рис. 2-26,а) содержит 14 отдельных плосковых светоизлучающих диодов, индикатор (рис. 2-26,б) состоит из 8 отдельных полосковых светодиодов, позволяющих высвечивать цифры от 0 до 9 и точку.

Основные электрические и конструктивные характеристики этих индикаторов приведены в табл. 2-6. Все приведенные индикаторы имеют красный цвет свечения и работают при температуре от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$.

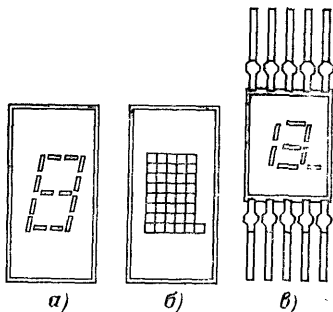


Рис. 2-26. Внешний вид плоского СИД.

а — 14-сегментный индикатор; б — матрица из 5×7 отдельных СИД; в — 8-сегментный СИД.

Таблица 2-6

Основные параметры плоских знаковых индикаторов

Параметры	Цифровой индикатор	Цифро-алфавитный индикатор	Малогоабаритный цифровой индикатор
Яркость, кд/м^2	250	250	350
Максимальный разброс яркости, %	± 50	± 50	± 50
Размер цифры, мм	$4,8 \times 6,9$	$6,4 \times 8,9$	2×3
Размер корпуса, мм	$18,5 \times 10,5 \times 3,2$	$18,5 \times 10,5 \times 3,2$	$6,3 \times 5 \times 3$
Число сегментов в цифре	14 ± 1	35 ± 1	7 ± 1
Ток через сегмент, мА	20	10	5,0
Прямое напряжение, В	4,0	2,0	2,0
Плотность тока, А/см^2	18	11	16
Частота излучения, мкМ	$0,63-0,69$	$0,63-0,69$	$0,63-0,69$
Ширина полосы излучения, мкМ	0,040	0,040	0,040
Инерционность, нс	30	30	30

Компактная конструкция, дающая изображение нескольких рядом стоящих цифр, привела к разработке и выпуску индикаторов, имеющих в одном корпусе несколько разрядов цифр. Например, СИД типа АЛ308А-Б имеет 4 разряда семисегментных цифр красного цвета.

В уже упоминавшихся матричных СИД для создания изображения букв и цифр используется, как правило, матрица, содержащая 5×7 точек. Пример такого индикатора показан на рис. 2-26,б. Матричные индикаторы, изображение на которых создается избирательным возбуждением отдельных элементов, обладают большей универсальностью, чем сегментные, ибо позволяют создавать изображение цифр, букв и ряда других символов и, кроме того, обеспечивают лучшее качество знаков.

За счет избыточности элементов матричные индикаторы обеспечивают большую надежность, потому что при единичных сбоях в схеме управления вероятность неправильного считывания знаков у них значительно меньше, чем у сегментных. При невысвечивании одной-двух точек в матрице человек зрительно «дорисует» знак, который в действительности должен быть изображен.

Специфика схем управления матричными индикаторами привела к разработке гибридных приборов — матричных индикаторов со встроенными схемами управления. В таких конструкциях СИД и управляющие интегральные микросхемы смонтированы совместно на единой подложке с металлизированными проводящими дорожками, помещены в общий металлический корпус и герметически закрыты стеклянной крышкой. Хотя типовая матрица пересечений состоит из 5×7 точек, светодиоды расположены только в местах, где это необходимо для воспроизведения цифр, букв или точки, что позволило уменьшить их количество до 28.

С точки зрения конструкции матричные индикаторы могут изготавливаться из отдельных СИД или иметь монолитную структуру. Светодиоды индивидуально монтируются на плате, а затем все их аноды объединяются в один общий вывод. Управление свечением происходит в этом случае по катодным цепям. Угол обзора такого индикатора около 60° , размер цифр около 6 мм, расстояние чтения до 2 м.

Инженерно-психологическими исследованиями установлено, что размеры и конфигурация знаков, создаваемых в такой матрице из отдельных светодиодов, вполне удовлетворительны. Для увеличения яркости в отдельных местах используется больше одного светодиода на сегмент.

В настоящее время отечественной промышленностью серийно выпускаются несколько видов матричных СИД. Например, индикатор типа «Модуль-1» представляет собой матрицу 5×7 из отдельных квадратного вида СИД со стороной 1 мм. Конструкция приборов «Модуль-1» позволяет располагать их в ряд для образования многоразрядного числа.

Другим серийно выпускаемым матричным СИД является прибор типа «Модуль-2». Конструктивно он выполнен в виде набора пяти отдельных прямоугольных полупроводниковых пластин размером 1×3 мм.

Цифро-буквенный индикатор «Модуль-1» предназначен для воспроизведения цифр и букв прямоугольного шрифта № 10, а также специальных знаков и символов. Индикатор «Модуль-2» предна-

значен для создания профильных индикаторных шкал произвольной длины с числом элементов кратным пяти.

Основные характеристики этих приборов:

Яркость свечения элемента, кд/м ²	200
Номинальный ток через светодиод, мА:	
„Модуль-1“	10
„Модуль-2“	20
Напряжение прямого смещения при номинальном то- ке, В	3
Длина волны в максимуме спектра излучения, мм	700

Матричные СИД типов «Модуль-1» и «Модуль-2» выпускаются только одного цвета — красного. Очень часто бывает необходимо иметь в одном устройстве цифры (знаки) одного размера, но разных цветов. Для этой цели можно использовать выпускаемый в настоящее время серийно матричный СИД типа АЛ306А-И. В этом приборе матрица образована из 36 отдельных кристаллов, из которых 35 служат для образования знака (5 × 7), а один — для высвечивания десятичной запятой.

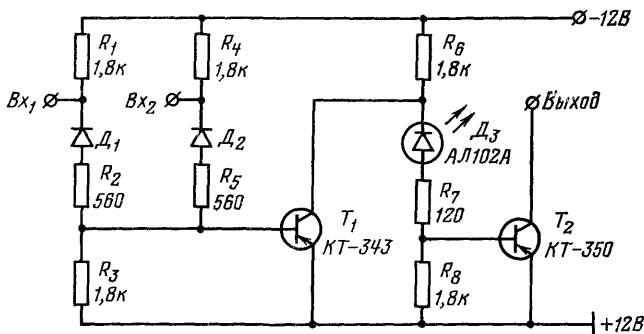


Рис. 2-27. Схема логического элемента с СИД типа АЛ102А в качестве индикатора наличия сигнала.

Прибор выпускается в следующих модификациях: индикатор типа АЛ306А-Е с красным цветом свечения из GaAsP; индикатор типа АЛ306Ж-И с зеленым цветом свечения из GaP. Эти приборы можно расположить в одном многоразрядном ряду, что позволяет высвечивать цифры, буквы или другие знаки разных цветов.

Применение светодиодов в различных электронных схемах. Эксплуатационные достоинства светодиодов способствовали достаточно быстрому и широкому распространению их в разнообразной радиоэлектронной, вычислительной и другой аппаратуре, особенно построенной с применением интегральных микросхем.

Конкретное применение светодиодов в значительной степени определяется их конструктивным исполнением. Одиночные светодиоды типов АЛ102А-Г, КЛ101А-В могут использоваться как дисперсные световые индикаторы в цепях контроля, как элемент мозаичной панели и, наконец, из них можно сделать трехцветную триаду (КЛ101А — желтый цвет, АЛ102А — красный и АЛ102В — зеленый),

используемую как элемент в многоцветной панели. Учитывая, что габариты всех светодиодов относительно малы, конструктивно они должны располагаться на расстоянии не более 2—3 м от наблюдателя.

В схеме логического элемента (рис. 2-27) светодиод типа АЛ102А используется в качестве индикатора наличия сигнала. Элемент состоит из двухвходовой диодно-транзисторной логической схемы совпадения на диодах D_1 , D_2 и транзисторе T_1 и выходного усилителя мощности на транзисторе T_2 , в базовой цепи которого стоит светодиод типа АЛ102. Схема работает следующим образом: при отсутствии сигналов на Bx_1 и Bx_2 суммарный ток, протекающий через R_1 , D_1 и R_2 (R_4 , D_2 и R_5) поддерживает транзистор T_1

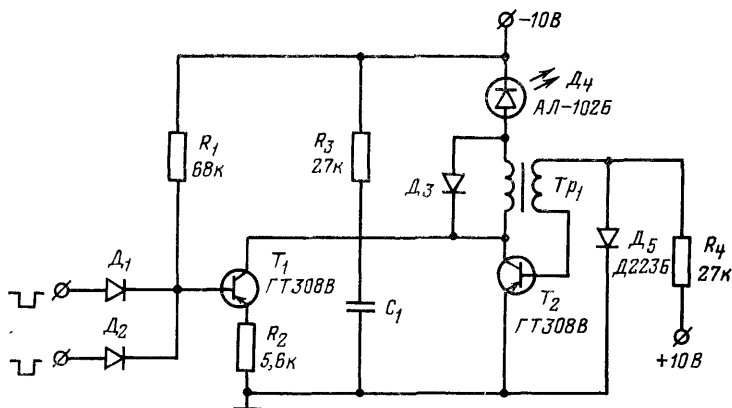


Рис. 2-28. Схема включения СИД типа АЛ102Б в импульсном режиме.

в открытом состоянии. При этом транзистор T_1 шунтирует базовую цепь транзистора T_2 и последний закрывается. При совпадении входных сигналов (Bx_1 и Bx_2) взаимодействием двух цепей R_1 , D_1 и R_2 (R_4 , D_2 и R_5) оказывается нейтрализованным, напряжение на базе T_1 становится близким к нулю, и транзистор T_1 переходит в состояние отсечки. В результате по цепи R_6 , D_3 , R_7 и R_8 потечет ток, о чем свидетельствует свечение светодиода D_3 . Одновременно открывается транзистор T_2 .

Визуальная индикация состояния логических и коммутирующих элементов значительно облегчает эксплуатацию и ремонт отдельных электронных ячеек и блоков.

Работа светодиода типа АЛ102Б в импульсном режиме в схеме ждущего блокинг-генератора иллюстрируется рис. 2-28. Устройство состоит из двухвходовой диодно-транзисторной схемы И и ждущего блокинг-генератора, собранного на трансформаторе Tr_1 и транзисторе T_2 , в коллекторную цепь которого включен светодиод D_4 (в качестве элемента индикации).

Схема работает следующим образом. В исходном состоянии транзисторы T_1 и T_2 закрыты. При одновременном приходе на оба входа сигналов отрицательной полярности диоды D_1 и D_2 закрыв-

ваются и ток, протекающий через цепь базы транзистора T_1 , открывает его. После отпирания транзистора T_1 по первичной обмотке трансформатора Tr_1 течет ток. Этот ток вызовет кратковременное открывание транзистора T_2 , на время которого возникает свечение светодиода D_4 .

Одним из примеров использования СИД в бытовых устройствах может служить схема контроля разряда аккумуляторных батарей. Условия эксплуатации аккумуляторов типа 7Д-0,1 не допускают их разряда до напряжения менее 7 В. На рис. 2-29 показана принципиальная схема визуального индикатора, показывающего условия нормальной работы или необходимость нового заряда аккумулятора.

Схема работает следующим образом: при подаче питания ток заряда конденсатора C_1 проходит через туннельный диод D_1 , и если $U_{пит} = 7$ В, то рабочая точка тока этого диода располагается на второй восходящей ветви характеристики. При этом напряжение на диоде D_1 достаточно для того, чтобы транзистор T_1 открылся. Светодиод D_2 (КЛ 102А), включенный в его коллекторную цепь, при этом светится. Эмиттерный ток транзистора T_1 создает на резисторе R_2 падение напряжения, закрывающее транзистор T_2 , в результате чего ток через светодиод D_3 (КЛ101А) не проходит.

При падении напряжения на аккумуляторе ниже 7 В напряжение на туннельном диоде и на резисторе R_2 резко уменьшится, транзистор T_1 закроется, T_2 откроется и светодиод D_3 начнет светиться, сигнализируя о необходимости зарядки аккумуляторной батареи.

Из светодиодов можно компоновать цифровой сегментный индикатор. Примером такого применения является декада, использующая светодиоды типа АЛ301А. Каждый сегмент цифрового индикатора составлен из трех светодиодов, соединенных между собой последовательно. Эти СИД расположены настолько близко друг к другу, что визуально наблюдаются как одна прямая линия (сегмент).

Для правильной эксплуатации светодиодов необходимо контролировать прямой постоянный ток или среднее значение импульсного тока, наибольшую амплитуду тока и длительность импульса, наибольшую амплитуду обратного напряжения.

Нарушение предельно допустимых значений приводит к резкому снижению срока службы светодиодов и к их выходу из строя.

На рис. 2-30 приведена схема, обеспечивающая защиту светодиода от превышения предельно допустимого значения прямого тока. Она состоит из кремниевого стабилитрона (типа КС156А) с напряжением стабилизации 5,6 В и ограничительного резистора сопротивлением 1,2 кОм. Параллельно стабилитрону включен светодиод типа АЛ102Б. Данная схема стабилизирует ток и яркость свечения диода в пределах, зависящих от параметров стабилитрона.

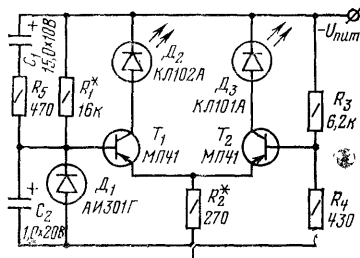


Рис. 2-29. Схема индикации разряда аккумуляторных батарей на СИД типов КЛ101А—КЛ102Б.

Достаточно надежной защитой светодиода от обратного напряжения может служить обычный выпрямительный диод с большим обратным сопротивлением (рис. 2-31). В приведенной схеме последовательно со светодиодом типа АЛ102Б и ограничительным резистором включен диод в прямом направлении, защищающем светодиод от случайных обратных напряжений.

Перспективы применения СИД. Благодаря малым напряжениям СИД нашли широкое применение в самых разнообразных устройствах.

Диапазон использования СИД непрерывно расширяется. Например, дискретные диоды и матрицы из них применяют на приборных щитах самолетов и космических кораблей, в качестве индикаторов в защитных устройствах сигнализации и охраны помещений, средств визуального контроля при дистанционном управлении.

В последнее время часовая промышленность начала выпуск электронных часов с цифровой индикацией отсчета времени. В таких часах вместо привычных стрелочных циферблатов применены семисегментные малогабаритные СИД. Циферблат электронных часов состоит из четырех—шести знакомест для высвечивания значений часов, минут и секунд. В некоторых вариантах часов секунды могут отображаться в виде отдельной точки с частотой «мигания», равной 1 с. Как правило, для экономии расхода энергии аккумулятора отображение текущего времени на таких часах производится не непрерывно, а по запросу специальным нажатием отдельной кнопки.

Возникающее при этом на циферблате изображение часов и минут сохраняется видимым в течение 1,4 с, т. е. времени, достаточного для считывания. При необходимости высвечивания секунд кнопку нужно держать нажатой дольше. Время гарантированного непрерывного действия электронных часов не менее года.

Применение СИД в карманных калькуляторах, малогабаритных счетных машинах, миниатюрных ЭВМ и т. д. оказалось возможным только после организации выпуска многоразрядных цифровых индикаторов. Такие приборы имеют плоскую конструкцию и занимают в малогабаритной аппаратуре минимальное место, не дают искажения знаков при считывании, как это имеет место у других индикаторов с цилиндрическим баллоном.

Карманные ЭВМ и калькуляторы выполняются обычно на больших интегральных микросхемах с МДП-структурой (металл—диэлектрик—полупроводник) и питаются от сменного перезаряжаемого аккумулятора.

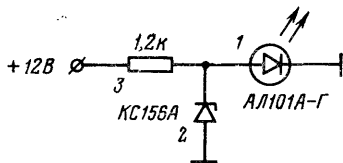


Рис. 2-30. Схема защиты СИД от превышения предельно-допустимого значения по прямому току.

1 — СИД типа АЛ101А-Г; 2 — стабилитрон типа КС156А; 3 — ограничительный резистор.

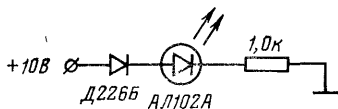


Рис. 2-31. Схема защиты СИД при наличии выбросов обратного напряжения.

Результаты вычислений высвечиваются на многоразрядных СИД, у которых один разряд используется для отображения знака «+» или «—», 10—12 разрядов — для отображения семисегментных цифр, один разряд — для десятичной запятой и, наконец, может быть еще разряд — для отображения показателя степени.

Таким образом, СИД являются достаточно перспективными индикаторами, применяемыми в малогабаритных изделиях и особенно в аппаратуре, построенной на интегральных микросхемах.

Вакуумные люминесцентные индикаторы

Одним из видов низковольтных индикаторных приборов являются вакуумные люминесцентные индикаторы. Эти элементы индикации, основанные на катодолюминесценции, имеют рабочее напряжение 25 В, достаточно высокую яркость и приятный зеленый цвет свечения. Работа люминесцентных вакуумных индикаторов основана на способности некоторых кристаллических веществ — катодолуминофоров трансформировать кинетическую энергию электронов в световую энергию.

С точки зрения кристаллохимии катодолуминофор представляет собой твердый раствор определенных примесных центров, т. е. центров люминесценции в кристаллической матрице основы. Матрица основы воспринимает кинетическую энергию бомбардирующих электронов, дробит ее на отдельные части и передает к центрам люминесценции, которые, принимая энергию от решетки, возбуждаются и, возвращаясь в основное состояние, испускают кванты световой энергии — фотоны.

Зависимость яркости катодолюминесценции B от плотности тока J и напряжения ускорения электронов U наиболее часто описывается формулой

$$B = kJ(U - U_0)^n,$$

где k — постоянный коэффициент; U_0 — пороговое напряжение возбуждения люминофора; n — в пределах 1—3.

В низковольтных люминофорах кинетическая энергия бомбардирующих электронов мала, поэтому такие электроны проникают в твердое тело лишь на глубину нескольких атомных слоев. Это требует от кристаллов люминофора совершенной кристаллической решетки в поверхностных слоях.

У обычных люминофоров такой совершенной кристаллической решетки нет, и они имеют высокий потенциал возбуждения (не менее 50—100 В). Однако добавление малого количества окиси цинка (с небольшим напряжением возбуждения 3,5—4 эВ) позволило получить низковольтные люминофоры. Особенностью работы низковольтных катодолуминофоров является и то, что у них коэффициент вторичной эмиссии практически меньше единицы. Поэтому электроны, попавшие на экран, не исчезают за счет вторичной эмиссии, как это имеет место в ЭЛТ. В результате ток может проходить только через катодолуминофор, поэтому от него требуется высокая электропроводность. С этой целью в кристаллы катодолуминофора вводят различные присадки (кондукторы), увеличивающие электропроводность материала. Например, в случае применения в качестве катодолуминофора кристаллов окиси цинка для присадки используются алюминий и галлий.

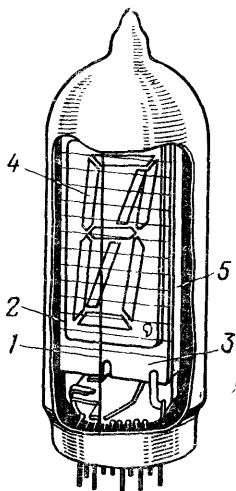


Рис. 2-32. Конструкция вакуумной люминесцентной лампы.

1 — катод прямого накала; 2 — сетка; 3 — металлический экран; 4 — аноды-сегменты; 5 — токопроводящая пластина.

Принцип работы и конструкции. Вакуумный люминесцентный индикатор представляет собой триод с положительной управляющей сеткой. При прохождении тока по нити накала последняя нагревается и начинает испускать электроны. Сетка и включенные аноды (количество последних зависит от вида знака) имеют одинаковый положительный потенциал. Электроны, приобретая некоторую скорость, пролетают по инерции прозрачную сетку и достигают анода. На анод нанесен слой низковольтного катодолюминофора, который под воздействием бомбардировки потоком электронов начинает светиться. Если на анод не подано положительное напряжение, то поток электронов тормозится, его энергия и количество электронов мало, и люминофор не светится. Поэтому свечение нанесенного на анод люминофора будет происходить только на том аноде-сегменте, на который в данный момент подано напряжение. Все другие аноды сегменты в это время не светятся.

Конструктивно лампа (рис. 2-32) выполнена в стеклянном баллоне, из которого удален воздух. Внутри стеклянного цилиндрического баллона последовательно один за другим располагаются: оксидный гермокотод прямого канала, выполненный в виде прямой нити вдоль всего знака.

Для лучшей равномерности свечения при широком знаке делаются две нити накала. Диаметр нити накала вания около 60 мкм. Управляющая сетка натянута так, чтобы прикрыть все изображения знака. Она имеет широкие ячейки и изготовлена из проволоки диаметром около 30 мкм. Нить накала и сетка не мешают визуальному наблюдению при считывании цифр с индикатора. Под сеткой на плоской токопроводящей пластине расположены аноды-сегменты. Угол обзора у таких индикаторов доходит до 120—140°. Цвет свечения зависит от типа нанесенного люминофора, а яркость свечения около 500 кд/м².

Это достаточно экономичные приборы: при анодном и сеточном напряжении 20 В ток потребления составляет не более 15 мА. Высота знака в приборах составляет от 8,2 до 12—15 мм.

В последние годы отечественной промышленностью вакуумные люминесцентные индикаторы стали выпускаться серийно. В табл. 2-7 приведены основные характеристики, а в табл. 2-8 — предельно-допустимые значения параметров для серийно выпускаемых индикаторов.

Лампы выпускаются в миниатюрном бесцокольном исполнении. Цифровые индикаторы (ИВ-3, ИВ-6, ИВ-7, ИВ-11, ИВ-12) выпускаются нескольких типоразмеров. Все они имеют зеленый цвет свечения, индикация происходит через боковую поверхность баллона. В перспективных разработках предусматривается индикация через купол баллона. Цифро-буквенные индикаторы ИВ-4, ИВ-5 и но-

Основные характеристики серийно выпускаемых вакуумных люминесцентных индикаторов

Параметры	Тип лампы						
	ИВ-1	ИВ-1А	ИВ-2	ИВ-3	ИВ-3А	ИВ-4	ИВ-5
Вид индикатора	Знаковый	Знаковый	Цифровой	Цифровой	Цифровой	Буквенно-цифровой	Буквенно-цифровой
Размер светящегося знака, мм	1,0×4,0	1,0×4,0	8,6×5,9	8,6×4,5	8,6×4,6	16×10	11×9
Габариты баллона, мм: диаметр высота	10,8 36,0	10,8 36,0	10,8 36,0	10,8 36,0	10,8 36,0	19,0 50,0	26,0 22,0
Яркость свечения, кд/м²: в статическом режиме в импульсном режиме	— 500	— 500	— 500	— 500	— 500	— —	— —
Способ индикации	Через боковую поверхность баллона						Через торец баллона
В режиме постоянного тока:							
напряжение анода, В	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	25,0	25,0
напряжение сетки, В	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	25,0	25,0
напряжение накала, В	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	2,6	0,8
ток анода суммарный, мА	0,4	0,4	0,5	0,8	0,8	2,5	2,0
ток сетки, мА	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	6,0	5,0

Параметры	Тип лампы						
	ИВ-6	ИВ-7	ИВ-8	ИВ-11	ИВ-12	ИВ-17	ИВ-17
Вид индикатора	Цифровой	Цифровой	Цифровой, повышенной надежности	Цифровой	Цифровой	Буквенно-цифровой, повышенной надежности	Цифровой, повышенной надежности
Размер светящегося знака, мм	11,2×6,9	8,6×5,9	8,6×4,5	12,3	12,3	18×12	18×12,2
Габариты баллона, мм: диаметр высота	13,0 40,0	10,8 36,0	16,0 36,0	22,5 67,0	22,5 67,0	19,0 50,10	27×22×32
Яркость свечения, кд/м ² : в статическом режиме в импульсном режиме	500 —	— 500	— 500	500 —	500 —	500 —	600 —
Способ индикации	Через боковую поверхность баллона						Через торец баллона
В режиме постоянного тока:							
напряжение анода, В	25,0	20,0	20,0	25,0	25,0	25,0	27,0
напряжение сетки, В	25,0	20,0	20,0	25,0	25,0	25,0	27,0
напряжение накала, В	1,0	0,85	0,85	1,5	1,5	2,4	1,2
ток анода суммарный, мА	1,2	1,2	0,8	3,5	3,5	2,7	0,7
ток сетки, мА	10,0	6,0	3,0	12,0	12,0	6,5	7,0

Параметры	Тип лампы						
	ИВ-1	ИВ-1А	ИВ-2	ИВ-3	ИВ-3А	ИВ-4	ИВ-5
В импульсном режиме:							
напряжение анода, В	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
напряжение сетки, В	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0	70,0
ток анода суммарный, мА	2,0	2,0	—	5,0	5,0	—	—
Ток сетки, мА, не более	15,0	15,0	—	15,0	10	40,0	30,0
Ток накала, мА	50,0	50,0	50,0	50,0	30,0	50,0	100,0
Масса индикатора наибольшая, г	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	16,0	13,0
Гарантированная долговечность, ч, не менее	1500	1500	1500	3000	3000	1000	1000
Вид выводов	мягкие						

вая лампа ИВ-17 имеют одинаковую конфигурацию знака и отличаются друг от друга только габаритами баллона. Лампы ИВ-1, ИВ-1А позволяют получить изображение точки и тире.

В табл. 2-9 приведены данные по индикаторам типов ИВ-2, ИВ-3, ИВ-3А, ИВ-6, ИВ-7, ИВ-8, ИВ-11, ИВ-12, показывающие, на какие электроды необходимо подать напряжение для синтеза определенной цифры от 0 до 9. В табл. 2-10 дан порядок соединения электродов с выводами.

Индикаторы типов ИВ-4, ИВ-5, ИВ-17 являются приборами универсального применения. В одном баллоне (на одном знакоместе) можно отобразить арабские цифры от 0 до 9, ряд римских цифр, полный алфавит русских букв и некоторые буквы латинского алфавита. Поэтому данные по этим приборам не включены в табл. 2-9. В зависимости от конкретного применения таблицу, аналогичную табл. 2-9, должен составить сам радиолюбитель. Ряд знаков эти индикаторы позволяют высвечивать в «широком» и «узком» начертании шрифта, можно получить сочетания некоторых букв и цифры.

Многоразрядные индикаторы. Создание устройств отображения информации с большим количеством знаков, например, в ЭВМ, цифровых приборах, различных пультах управления и табло отображения технического состояния изделий требует применения большого числа одинаковых индикаторных ламп. Конструктивно и экономически значительно выгоднее в данном случае иметь один многоразрядный индикатор с большим количеством знаков.

Многоразрядный люминесцентный индикатор имеет общие нити накала, отдельные управляющие сетки в каждом из разрядов и аноды-сегменты. Выводы анодов-сегментов сделаны иначе, чем в конструкции одnorазрядного индикатора, в котором все электроды имеют самостоятельные выводы. Однако в этом случае в трех-четырёхразрядном индикаторе количество выводов анодов становится настолько большим, что конструктивно их сложно осуществить. В многоразрядных индикаторах управляющую сетку выполняют из отдельных самостоятельных частей, расположенных над каждым из знаков. Наличие вывода от каждой из сеток позволяет подавать управляющее напряжение на них независимо друг от друга. Все одноименные аноды-сегменты различных знаков соединены между собой и имеют один общий вывод.

Такая конструкция позволила резко сократить количество выводов из индикатора, необходимых для обеспечения управления свечения. Например, если в девятиразрядном индикаторе делать выводы от всех электродов самостоятельно, то их было бы 99 шт. (от 9 цепей накалов — 18 выводов, от 9 управляющих сеток — 9 выводов, 9 синтезированных 7 сегментных цифр — 63 вывода и 9 общих выводов).

По сравнению с этим расчетом многоразрядный вакуумный люминесцентный индикатор реально имеет меньшее количество выводов: от общего накала — 2 вывода, от 9 отдельных управляющих сеток — 9, от 7 сегментов — 7 и 1 общий вывод, всего 19 выводов. Такое количество проводов можно конструктивно расположить с одного или двух торцов цилиндрического баллона многоразрядного индикатора.

Своеобразие конструкции многоразрядного индикатора определило для образования свечения знака другой принцип управления путем временного совпадения напряжений управляющих сеток и

Предельно допустимые значения параметров

Параметры	Тип				
	ИБ-1 ИБ-1А	ИБ-2	ИБ-3	ИБ-3А	ИБ-4
Напряжение анода, В	25	25	30	30	27
Напряжение анода, импульс- ное, В	50	70	70	70	70
Напряжение сетки, В	25	25	30	30	27
Напряжение сетки импульсное, В	50	70	70	70	70
Напряжение накала, В (при $U_a=U_g=30$ В)	—	—	0,7—1,0	0,7—1,0	2,45—2,75
Ток одного сегмента, мА (при $U_a=U_g=30$ В)	—	—	0,3	0,3	0,45
Ток одного сегмента, мА (при $U_a=U_g=70$ В)	—	—	1,6	1,6	—
Ток сетки, мА (при $U_a=U_g=$ $=30$ В)	—	—	12	12	8,0
Ток сетки, мА	—	—	35	35	—
Ток накала, мА	50	53	50	33	53

анодов-сегментов. При этом, если подано напряжение на анод-сегмент, но отсутствует напряжение на управляющей сетке данного разряда, индикации знака не будет. Свечение на аноде-сегменте возникает только при одновременном поступлении напряжений на анод-сегмент и управляющую сетку.

В настоящее время многоразрядные вакуумные люминесцентные индикаторы широко применяются в малогабаритных счетных машинах, калькуляторах и в других вычислительных приборах, где при небольших габаритах необходимо разместить много знаков.

Шкальные (линейные) индикаторы. Отображение информации в виде знаков, цифр или символов оказывается не всегда удобным при непрерывном слежении за состоянием нескольких параметров. В этих случаях более эффективным оказывается графический способ представления информации в виде отрезков прямых линий или отдельных точек. Такую информацию можно отобразить с помощью шкальных (линейных) индикаторов.

Конструктивно шкальный индикатор также представляет собой многоанодный триод. Аноды выполнены в виде отдельных полюсов. Нить накала может состоять из секций, соединенных последовательно внутри баллона. Управляющие сетки также выполнены в виде отдельных секций, имеющих свой вывод. Под сетками расположены группы анодов-сегментов из 5—10 рисок. Все аноды-сегменты (риски с цифрами) представляют собой одну шкалу измерительного прибора. Цвет свечения индикатора зеленый.

Принцип управления шкальным индикатором аналогичен принципу управления, принятому в многоразрядных люминесцентных индикаторах. Коммутация в таком индикаторе происходит по цепям сеток и анодов-сегментов одновременно. Для высвечивания отдельной риски необходимо подать напряжение именно на этот

ров, определяющих режим эксплуатации

лампы

ИВ-5	ИВ-6	ИВ-7	ИВ-8	ИВ-11	ИВ-12	ИВ-17
27	30	30	30	30	30	30
70	70	70	70	70	70	70
27	30	30	30	30	30	30
70	70	70	70	70	70	70
0,75—0,85	1,05—1,35	0,7—1,0	0,76—0,9	1,35—1,65	1,35—1,65	1,35—1,65
0,3	0,5	0,3	—	—	—	—
—	2,0	1,6	—	—	—	—
8,0	15	12	7,0	14	14	7,5
—	45	35	—	—	—	—
15	13	10	18	20	21	15

анод-сегмент и одновременно на управляющую сетку данной секции.

Матричные и мозаичные индикаторы. Первые мозаичные вакуумные люминесцентные индикаторы были разработаны в виде индикаторов на один знак и панелей. Мозаичный индикатор, как правило, состоит из матрицы (5×7 точек), а мозаичная панель, на которой высвечивается 27×27 световых индикаторных элементов (т. е. 729 световых точек), может иметь габариты 100×100 мм с видимой частью 80×80 мм. Размер светового пятна $1,5 \times 1,5$ мм; шаг по горизонтали и по вертикали 1,5 мм. Управление происходит по цепям сетки и анодов. Световой элемент можно выполнить в виде круга, квадрата или многоугольника. Такая мозаичная панель с рабочим напряжением 25—30 В может применяться при конструировании пультов для отображения цифровой и буквенной информации измерительных и стендовых приборов.

С помощью двухцветных мозаичных панелей отображают информацию зеленого и красного цветов. В таком приборе вначале наносят зеленую мозаику, а потом рядом — красную. Управляющие сетки для раздельной коммутации располагаются: одна над всеми зелеными, а вторая над всеми красными мозаиками и каждая имеет отдельный вывод. Производя необходимые коммутации по цепям анодов и сеток, можно получить отображение информации в одном из трех цветов (зеленом, красном и зелено-красном). Возможность смены цвета и низкое рабочее напряжение делают мозаичные вакуумные люминесцентные индикаторы достаточно перспективными элементами визуального отображения данных.

В настоящее время созданы индикаторы, имеющие один из четырех цветов свечения: зеленый, красный, синий или желтый (определяется типом напыляемого люминофора). При смене цвета в индикаторе (при изменении рабочего напряжения) меняется

Соединение электродов в знаковых вакуумных индикаторах для образования высвечиваемых цифр от 0 до 9, точки и запятой

Цифра	Тип лампы								
	ИВ-2	ИВ-3	ИВ-3А	ИВ-6	ИВ-7	ИВ-8	ИВ-11	ИВ-12	ИВ-22
0	3, 6, 13	2, 3, 5, 9, 10, 13	1, 2, 4, 5, 6, 10	1, 2, 4, 5, 6, 10	1, 2, 4, 5, 6, 10	2, 3, 5, 9, 10, 13	3, 5, 6, 8, 9, 10	1, 5, 6, 7, 8, 10	2, 4, 7, 8, 10 11
1	4, 12	5, 9, 11	1, 10	1, 10	1, 10	5, 9	3, 5	6, 7	2, 4
2	3, 10, 11, 13	3, 4, 10, 11, 13	1, 2, 3, 5, 6	1, 2, 3, 5, 6	1, 2, 3, 5, 6	2, 3, 9, 10, 12	5, 6, 7, 9, 10	1, 5, 7, 8, 9	3, 4, 7, 10, 11
3	6, 10, 11, 13	3, 5, 9, 10, 12	1, 2, 3, 6, 10	1, 2, 3, 6, 10	1, 2, 3, 6, 10	3, 5, 9, 10, 12	3, 5, 6, 7, 10	5, 6, 7, 8, 9	2, 3, 4, 7, 11
4	2, 4, 12	5, 9, 12, 13	1, 3, 4, 10	1, 3, 4, 10	1, 3, 4, 10	5, 9, 12, 13	3, 5, 7, 8	6, 7, 9, 10	2, 3, 4, 8
5	2, 6, 11, 13	3, 5, 10, 12, 13	2, 3, 4, 6, 10	2, 3, 4, 6, 10	2, 3, 4, 6, 10	3, 5, 10, 12, 13	6, 7, 8, 10	5, 6, 8, 9, 10	2, 3, 7, 8, 11
6	3, 6, 10, 13	2, 3, 5, 10, 12, 13	2, 3, 5, 6, 4, 10	2, 3, 4, 5, 6, 10	2, 3, 4, 5, 6, 10	2, 3, 5, 10, 12, 13	3, 6, 7, 8, 9, 10	1, 5, 6, 8, 9, 10	2, 3, 7, 8, 10, 11
7	4, 10, 11	4, 10, 11	1, 2, 10	1, 2, 10	1, 2, 10	5, 9, 10	3, 5, 6	6, 7, 8	2, 4, 7
8	2, 3, 6, 10, 11, 13	2, 3, 5, 9, 10, 12, 13	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10	2, 3, 5, 9, 10, 12, 13	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10	1, 5, 6, 7, 8, 9, 10	2, 3, 4, 7, 8, 10, 11
9	2, 4, 10, 11	3, 5, 9, 10, 12, 13	1, 2, 3, 4, 6, 10	1, 2, 3, 4, 6, 10	1, 2, 3, 4, 6, 10	3, 5, 9, 10, 12, 13	3, 5, 6, 7, 8, 10	5, 6, 7, 8, 9, 10	2, 3, 4, 7, 8, 11
Точка	—	—	11	11	11	—	4	—	1
Запятая	9	6	—	—	—	6	—	—	—

Соединение электродов с выводами у вакуумных люминесцентных индикаторов

Тип инди- катора	Номера выводов в индикаторах				
	аноды-сегменты	сетка	катод	свободные	ключ для отсчета вы- водов
ИБ-1, ИБ-1А	10—, тире“, 13—, точ- ка	7	1,8	2—6, 9, 11, 12, 14	14
ИБ-2	2—6, 9—13	7	1,8	14	14
ИБ-3	2—6, 9—13	7	1,8	14	14
ИБ-3А	1—6, 10—11	9	7,8	12	12
ИБ-4	2—10, 13—21	12	1,11	22	22
ИБ-5	2—10, 13—21	12	1,11	22	22
ИБ-6	1—6, 10, 11	9	7,8	12	12
ИБ-8	2, 3, 5, 6, 9, 10, 12, 13	7	1,8	4, 11, 14	14
ИБ-11	3—10	2	1,11	12	
ИБ-12	1,5—10	4	2,3		
ИБ-17	2—10, 13—21	12	1,11		
ИБ-22	1—4, 7, 8, 10, 11	6	5,12	9	9

только характер информации. Для оператора, ведущего непрерывное наблюдение, смена цвета на табло является сигналом изменения режима работы аппаратуры (питающих напряжений, уровня шумов, появления сигнала «Авария» и т. д.).

Одним из вариантов многоцветных индикаторов является трехцветный индикатор — триада. Такой индикатор может иметь несколько конструктивных решений. Например, три отдельных индикатора представляют собой три сектора (каждый 120°) одного круга. Каждая третья часть торца баллона имеет свечение одного цвета — красного, желтого или синего. Так как все три части совершенно одинаковы, то создаются разнообразные цветовые варианты. В другом случае два сектора могут быть красными или синими, а третий — желтым. При наличии других светящихся люминофоров количество цветовых гамм в наборе может быть увеличено. Если индикатор имеет все три цвета свечения, то такой прибор применяется как дискретный элемент многоцветной мозаики. Сочетанием этих цветов можно получить практически все остальные цвета. Несмотря на определенные конструктивные достоинства отдельного индикатора, имеющего один цвет свечения (триада тогда состоит из трех отдельных приборов), для уменьшения геометрических размеров триады целесообразно все три цвета расположить в одном баллоне.

Управление вакуумными люминесцентными индикаторами. В аппаратуре отображения информации в настоящее время происходит процесс «смены поколений»: ячейки и блоки, собранные на навесных компонентах, активно вытесняются интегральными микросхемами (ИМС). В связи с этим к знаковым элементам индикации предъявляется ряд дополнительных требований, главными из которых являются обязательная согласованность с интегральными микросхемами и минимальное количество выводов и соединений.

Электрическое согласование достигается за счет увеличения допустимых значений напряжений, токов и мощностей коммутирующих элементов с одной стороны, и создания индикаторов с малыми рабочими токами и напряжениями, с другой.

Для управления низковольтными вакуумными люминесцентными индикаторами применяются серийные ИМС, что позволяет использовать эти индикаторы в любой малогабаритной аппаратуре. Для управления вакуумными люминесцентными индикаторами применяется несколько методов.

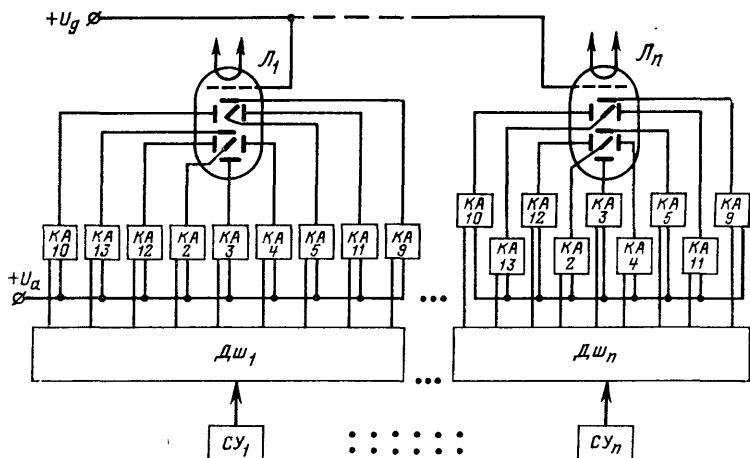


Рис. 2-33. Схема управления индикатором ИВ-3 с помощью статического метода.

Статический метод. Этот метод управления характеризуется наличием постоянной индикации с непрерывным выводом информации в каждом разряде. На рис. 2-33 показан пример схемы управления цифровым индикатором ИВ-3 с использованием статического метода индикации. Схема работает следующим образом: число в какой-либо системе исчисления с выхода счетных устройств СУ поступает на вход соответствующих дешифраторов ДШ. Дешифраторы преобразуют код числа СУ в код индикатора, соответствующий набору сегментов, необходимых для высвечивания какой-либо цифры, знака или символа на индикаторе данного типа. С выходов дешифратора информация в коде индикатора подается на соответствующие аноды-сегменты через анодные ключи КА в виде коммутируемого напряжения питания $+U_a$. Так как по техническим условиям на индикаторе напряжение U_a равно U_g , управляющие сетки всех индикаторов можно подключить к источнику $+U_g$ и объединить эти источники.

Достоинством статического метода является малое питающее напряжение, а недостатком — необходимость применения в каждом знаковом разряде полного комплекта элементов управления, т. е. дешифратора и ключей. Применение статического метода для управления монодисплеями невозможно.

Динамический метод. Одним из способов упрощения устройств вывода и, в частности, сокращения количества межсхемных соединений является применение динамических методов знаковой индикации.

Принцип действия таких устройств заключается в стробоскопическом питании индикатора и замене пространственного разделения каналов при выводе информации временным разделением. Существует два основных метода динамической индикации: импульсная индикация с разрядным опросом и фазоимпульсная индикация.

В устройствах отображения с поразрядным опросом индикация осуществляется последовательно, т. е. разряд за разрядом. В каждый момент времени светится только один индикатор, и поэтому скважность тока через него тем больше, чем больше число индицируемых разрядов.

При числе разрядов n цикл (период) повторения опроса $T = n\tau_{\text{и}}$. Следовательно, скважность $Q = T/\tau_{\text{и}} = n$, где n — число индицируемых разрядов; Q — скважность импульсного режима индикатора.

Частота повторения $f = 1/T$ должна быть не менее 50 Гц для исключения заметного мелькания изображения, а частота коммутации — не менее 50 Гц. Верхняя граница частоты коммутации определяется длительностью переходных процессов в схеме и в индикаторе, а главное, падением яркости изображения, связанного с увеличением числа разрядов.

Схема с поразрядным опросом приведена на рис. 2-34.

Устройство управления отображением содержит индикаторные декады, каждая из которых имеет выходные триггеры A, B, C, D коммутатор разрядов, ключи опроса KO , инвертор, дешифратор с формирователем $\Phi A_1 - \Phi A_9$ и вакуумные люминесцентные индикаторы L_1, L_2, L_3 . В качестве коммутатора разрядов использован распределитель импульсов, число выходов которого равно числу индицируемых десятичных разрядов. Дешифратор служит для преобразования двоично-десятичного кода опрашиваемых декад в код управления сегментами индикаторов и состоит из двух частей: инвертора и собственно преобразователя кодов, выполненных на интегральных микросхемах серии К155. В качестве ключей опроса для каждой индицируемой декады использован модуль 1ЛБ558, представляющий собой четыре двухвходовых схемы И — НЕ с открытым коллекторным выходом, что позволяет соединять выходы одноименных кодовых ключей во всех декадах.

Схема работает следующим образом. Сигнал с первого выхода коммутатора разрядов поступает на входы схем совпадения ключей опроса первой декады, а на вторые входы тех же схем совпадения поступает информация о состоянии триггеров A_1, B_1, C_1, D_1 . Сигналы со всех четырех триггеров инвертируются и на преобразователь поступает полный восьмизначный двоично-десятичный код. В дешифраторе $Dш$ этот код преобразуется в код управления зажиганием сегментов люминесцентных индикаторов.

Одновременно на управляющую сетку индикатора L_1 приходит разрешающий сигнал с формирователя сигналов ΦC_1 , управляемого первым выходом коммутатора разрядов, и на индикаторе L_1 высвечивается цифра, соответствующая состоянию первой декады. Так как остальные индикаторы заперты по управляющим сеткам, то будет светиться только индикатор L_1 , хотя сигналы

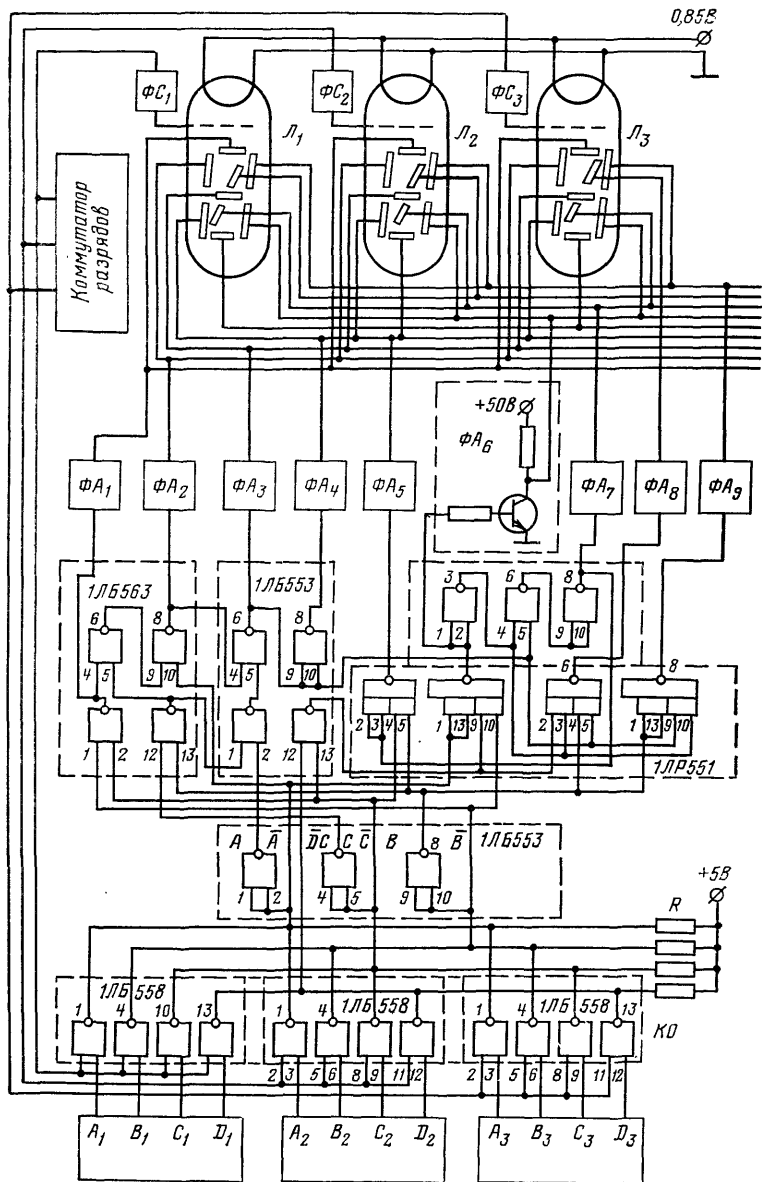


Рис. 2-34. Схема управления индикатором ИВ-3 на основе динамического метода в режиме с поразрядным опросом.

с выходов дешифратора поступают параллельно на все индикаторы.

Как только коммутатор разрядов переходит в следующее состояние, опрашивается вторая декада и на индикаторе $\mathcal{L}_2$ высвечивается цифра, соответствующая состоянию триггеров A_2, B_2, C_2, D_2 . Индикация остальных декад происходит аналогичным образом. Анодные ($\Phi A_1—\Phi A_9$) и сеточные ($\Phi C_1—\Phi C_3$) формирователи выполнены на транзисторах КТ315Б, обеспечивающих коммутацию напряжений $+50$ В при импульсном токе 100 мА, что позволяет индцировать до 25 десятичных разрядов, обеспечивая яркость свечения каждого из них до 250 кд/м².

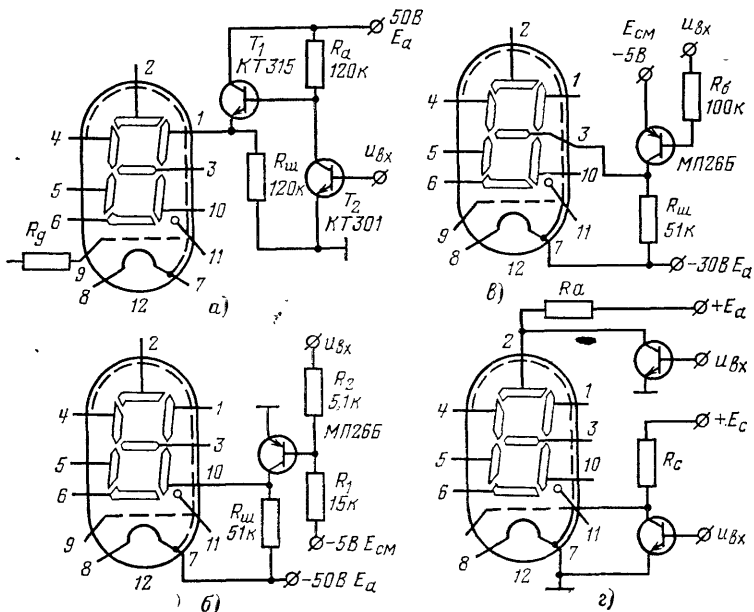


Рис. 2-35. Ключевые схемы управления индикаторами.

а — схема согласующего ключа для индикатора серии К155 с эмиттерным повторителем на выходе; б — схема ключа для согласования с интегральными микросхемами серии К155; в — схема ключа для согласования с индикаторными микросхемами серии К120; К172; г — схема параллельного ключа для управления индикаторами.

Ключевые схемы управления индикаторами. На рис. 2-35,а представлена схема одного из видов коммутаторного ключа с выходом в виде эмиттерного повторителя. Ключ предназначен для работы с интегральными микросхемами серий К155.

Состояние «включено», T_1 открыт. Условие насыщения T_1

$$I_{БЭ \text{ мин}} \geq \frac{I_{Э \text{ макс}}}{1 + h_{21Э}},$$

поскольку $I_{Э \text{ макс}} \cong 0,5 \text{ мА}$, значением тока (в миллиамперах) через $R_{ш}$ можно пренебречь, так как сопротивление резистора $R_{ш}$ велико, то

$$I_{БЭ \text{ мин}} \cong \frac{0,5}{1 + h_{21Э}}.$$

Значения E_a и R_a должны удовлетворять условию

$$I_{БЭ \text{ мин}} = \frac{E_a}{R_{вх} + R_a},$$

где $R_{вх} \approx h_{21Э} R_1$ — выходные сопротивления эмиттерного повторителя.

Состояние „выключено“. Условие насыщения

$$I_{БЭ} \geq \frac{T_{К \text{ макс}}}{h_{22Э}}, \text{ где } I_{К \text{ макс}} = \frac{E_a}{R_a}.$$

Для работы в этой схеме могут быть применены транзисторы КТ315В, КТ315И, КТ301 (последний с любым буквенным индексом).

Примерные значения параметров схемы для коммутации:

анодный ключ: $E_a = 50 \text{ В}$; $R_a = 120 \text{ кОм}$; $R_{ш} = 120 \text{ кОм}$;

сеточный ключ: $E_c = 50 \text{ В}$; $R_c = 3 \text{ кОм}$.

Ключ для согласования ИМС серии К155, изображенный на рис. 2-35,б, отличается от предыдущего ключа только полярностью (или местом) включения $E_{см}$, и поэтому все энергетические соотношения, приведенные выше, остаются в силе и для него.

Ориентировочные параметры схем ключей:

анодный ключ: $R_1 = 15 \text{ кОм}$; $R_2 = 5,1 \text{ кОм}$, $R_{ш} = 51 \text{ кОм}$, $E_a = -50 \text{ В}$, $E_{см} = -5 \text{ В}$;

сеточный ключ: $R_1 = 5,1 \text{ кОм}$; $R_2 = 8,2 \text{ кОм}$; $R_{ш} = 51 \text{ кОм}$; $E_c = -50 \text{ В}$, $E_{см} = -5 \text{ В}$.

Ключ для согласования МОП ИМС серии К120, К172 изображен на рис. 2-35,в.

Условия насыщения

$$I_{БЭ \text{ мин}} \geq \frac{I_{К \text{ макс}}}{h_{21Э}}.$$

Уравнение Кирхгофа для выходной цепи

$$U_{(1)} - E_{см} - U_{вн} - U_{БЭ} - I_B R_B = 0,$$

где $U_{(1)}$ — напряжение, соответствующее логической единице управляющей схемы; $E_{см}$ — напряжение смещения; $U_{вн}$ — падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника сигнала; $U_{БЭ}$ — падение напряжения на участке база-эмиттер.

Отсюда находим:

$$R_B = \frac{U_{(1)} - E_{см} - U_{вн} - U_{БЭ}}{I_B}.$$

Ориентировочные параметры схемы:

Анодный ключ:

$E_a = -30 \text{ В}$; $E_{см} = -5 \text{ В}$; $R_B = 100 \text{ кОм}$; $I_{БЭ \text{ мин}} = 20 \text{ мА}$.

Сеточный ключ:

$$E_c = -30 \text{ В}; E_{CM} = -5 \text{ В}; R_6 = 13 \text{ кОм}; I_{\sigma \text{ мин}} = 200 \text{ мкА}.$$

Ключ параллельного типа (рис. 2-35,з) имеет существенные недостатки по сравнению с вышеприведенными схемами последовательного типа.

Так как основным для такого ключа является состояние «включено», то отсюда вытекает более высокий расход потребляемой мощности. В состоянии «включено» часть питающего напряжения падает на нагрузке. При больших токах в цепи сетки это приводит к тому, что яркость свечения существенно уменьшается. Если при этом применить МОП интегральные микросхемы серии К-120, то для управления сеточными ключами необходимо применить повторители типа К1У3201 этой же серии.

Кроме вышеописанных ключевых схем существуют микросхемы, разработанные специально для работы с вакуумными люминесцентными индикаторами. К ним в первую очередь относятся полупроводниковые интегральные микросхемы К161ПР1 и К161ПР2. Они предназначены для преобразования двоично-десятичного кода потенциальных сигналов в позиционный код сегментных цифровых индикаторов и могут использоваться в различных радиоэлектронных устройствах широкого применения.

Глава третья

ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИНДИКАЦИИ

Газоразрядные неоновые индикаторы

Среди газоразрядных приборов сигнальные индикаторы (неоновые лампы) являются простейшими по своему устройству. Они имеют анод и катод, при приложении к которым напряжения возникает тлеющий разряд, свечение которого можно визуально наблюдать. Таким образом, поступающий электрический сигнал непосредственно преобразуется в видимое свечение.

Неоновые индикаторы предназначаются для использования в качестве датчиков световых сигналов в самых разнообразных электротехнических и радиотехнических устройствах широкого применения. Благодаря простоте конструкции и схем управления, высокой долговечности и надежности сигнальные приборы тлеющего разряда широко используются в качестве самых различных индикаторов сигнализации (напряжения в электрической цепи).

Конструкция. У неоновых ламп, предназначенных для включения в цепь постоянного тока, анод имеет меньшую поверхность, чем катод. У приборов, включаемых в цепь переменного тока, электроды одинаковой формы и размеров, поскольку в процессе работы они попеременно становятся то анодом, то катодом.

Неоновая лампа тлеющего разряда оформляется в виде стеклянного баллона, заполненного смесью инертных газов, чаще всего неона с примесью аргона и гелия. Добавление к чистому неону 0,5—1% аргона (для снижения напряжения зажигания) позволяет получить требуемые электрические характеристики, но приводит к некоторому уменьшению интенсивности свечения (примерно в 1,5—2 раза).

В баллон лампы впаяны два электрода, расположенные на

близком расстоянии друг от друга. Форма и размеры электродов могут быть различными и определяются назначением лампы. В зависимости от рода питающего тока и нужной направленности светового излучения, электроды неоновых индикаторов делают плоской, цилиндрической, кольцевой и другой формы. На рис. 3-1 изображено устройство индикаторных ламп типов ТН-0,2 и ТН-30.

Электроды изготавливают из никеля, молибдена, алюминия или чистого железа. У большинства ламп размер катода и режим разряда подбирают так, чтобы свечение покрывало всю рабочую поверхность электрода. Для снижения напряжения зажигания тлеющего разряда и уменьшения падения потенциала на электродах поверхность катода покрывают тонким слоем активирующего вещества. Форма и размеры самого баллона также зависят от условий применения ламп, размеров электродов, продолжительности горения и окружающего теплового режима.

Основными электрическими параметрами неоновых ламп являются напряжение зажигания, напряжения горения и погасания, рабочий ток.

К световым параметрам ламп относятся: сила света, исчисляемая обычно в милликанделах, и ее пространственное распределение; яркость свечения, определяемая отношением силы света в заданном направлении к единице излучаемой площади, расположенной нормально к данному направлению.

К числу важных показателей неоновых индикаторов относится световая отдача, характеризующаяся отношением мощности потока излучения к электрической мощности, потребляемой индикатором. Чем выше световая отдача индикатора, тем он экономичнее.

В настоящее время разработано около 80 типов неоновых индикаторов, что позволяет конструкторам различной электротехнической аппаратуры широко их использовать. Электрические и световые параметры основных типов сигнальных индикаторов сведены в табл. 3-1.

Для присоединения к установочным панелям неоновые лампы могут выполняться без цоколя с гибкими выводами, с резьбовым и со штыревым цоколем.

Для нормальной эксплуатации неоновые индикаторы должны включаться в сеть последовательно с балластным резистором. У приборов, имеющих достаточно большие размеры (ТН-20, ТН-30, ТН-30-2 и ТН-30-2М), балластные резисторы размещаются непосредственно в цоколе лампы. Для лампы малых размеров схемой должно обязательно предусматриваться последовательное включение этого резистора.

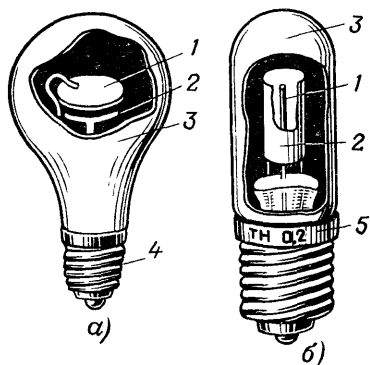


Рис. 3-1. Внешний вид и конструкция неоновых ламп.

a — типа ТН-30; *б* — типа ТН-0,2; 1 — баллон; 2 — катод; 3 — стеклянный баллон; 4 — цоколь типа Р27-1 с размещенным в нем ограничительным резистором; 5 — винтовой цоколь типа 1Ш9-1.

Электрические и световые параметры сигнальных газоразрядных ламп

Тип лампы	Максимальное напряжение зажигания, В	Максимальная яркость, кд/м²	Диаметр светового пятна, мм	Угол наблюдения, град	Рабочий ток, мА	Габариты, мм		Средняя продолжительность горения, час	Тип цоколя	Род тока	Направление излучения
						Диаметр	Длина				
МН-4	80	730	15	—	2,0	16,0	37,0	500	Специальный	Постоянный	Торцевое
ИН-3	60—90	—	—	—	0,8	7,3	27,0	500	Гибкие выводы	—	—
ТН-0,95	80	—	10	—	1,0	15,5	44,0	2000	Специальный	—	—
ТН-30	82	150	18	—	3,0	56,0	94,0	1000	P27-1	Переменный	Торцевое
ТН-30-3	82	—	18	—	3,0	56,0	94,0	1000	P27-1	•	—
ТН-02-2	85	120	7,0	40	0,25	9,5	34,5	200	1Ш9-1	Постоянный	Торцевое
ТН-0,2-1	85	—	7,0	100	0,25	9,5	34,5	1000	1Ш9-1	•	—
МН-11	85	950	12	50	5,0	14,5	42,0	100	1Ш15-1	Постоянный, импульсный	Боковое
МН-7	87	280	5,0	280	2,0	15,0	40,0	200	2Ш15-1	Постоянный	Торцевое
МН-6	90	590	4,0	360	0,8	6,8	28,9	100	Без цоколя	•	Боковое
ТН-0,5	90	110	10	—	0,5	15,5	45,0	300	1Ш15-1	•	Торцевое
95СГ-9	95	—	8,0	—	3,0	12,0	36,0	500	Специальный	•	—
ИНС-1	95	—	6,0	—	0,2—1	7,0	30,0	1000	Гибкие выводы	Постоян. Перемен. Повыш. частоты	—
77 ТН-30-2	105	—	18	—	30	56,0	94,0	1500	P27-2	—	Торцевое

Тип лампы	Максимальное напряжение зажигания, В	Максимальная яркость, кд/м ²	Диаметр свето- вого пятна, мм	Угол наблюде- ния, град	Рабочий ток, мА	Габариты, мм		Средняя про- должитель- ность горения, час	Тип цоколя	Род тока	Направление излучения
						Диам- метр	Длина				
ТН-30-2М	105	—	18	—	30	56,0	94,0	2500	P27-2	—	Торцевое
ИН-21	110	100	10	—	0,5—1,5	12,5	40	3000	P10/20-2	Переменный	Торцевое
ТН-0,8	110	—	4,0	—	0,8	8,0	32,0	1000	Без цоколя	—	—
ТН-0,25	120	—	9,0	—	0,25	9,5	34,5	2000	1Ш9-1	—	—
ИН-6	140	—	9,0	—	1,0	19	35	1000	Гибкие выводы		
ТН-0,15	150	265	2,0	—	0,15	3,0	20,0	100	Без цоколя	Постоянный	Боковое
ТНИ-1,5Д	150	—	8,0	—	1,0	10,2	33	10 000	Гибкие выводы	Переменный Постоянный	—
ТН-0,3	150	410	5,0	40	0,3	9,5	34,5	200	P10-1	Постоянный	Торцевое
ТН-20	150	93	18	—	20	56,0	94,0	1000	P27-1	Переменный	Торцевое
ТН-0,31	170	—	5,0	—	0,3	9,5	34,5	2000	1Ш9-1	—	—
ИН-3А	190	—	—	—	2	8	32	1000	Гибкие выводы	—	—
ИФ-1	198	—	25	—	2,0	29	40	1000	PШ23	Переменный	—
ИН-0,9	200	350	10	—	0,9	15,5	45,0	300	1Ш15-1	Постоянный	Торцевое
ТМН-2	200	—	25	—	1,5	30,5	77,0	150	Специальный	—	
ИН-25	230	500	25	—	13	31	53	5000	PШ5-1	Постоянный Постоянный	Торцевое
МН-15	235	1000	6,0	120	0,45	9,5	38,0	50	P10-1	Постоянный	Торцевое

Сопротивление балластного резистора определяется по формуле

$$R = \frac{E - U_a}{I}.$$

где E — напряжение источника питания; U_a — напряжение горения; I — рабочий ток. Значения U_a и I приводятся в паспорте лампы.

Обозначение новых типов ламп составляется из букв и цифр, которые имеют следующие значения: буквы обозначают вид разряда или заполнения газом, цифры — наибольшее значение тока (в миллиамперах) и порядковый номер разработки. Например, лампа ТН-20-2 — это неоновая лампа тлеющего разряда с током потребления до 20 мА.

Перспективы развития газоразрядных неоновых ламп. Неоновые лампы нашли широкое применение в самой разнообразной аппаратуре в промышленности и в быту. В литературе достаточно полно рассмотрены лампы типов МН-3, МН-6, МН-6а, МН-8, МН-11, МН-15, ТН-0,2, ТН-0,3 и т. д.

Разработка рекомендаций и требований инженерной психологии к рабочим местам операторов к обеспечению необходимых углов обзора для индикаторов, диапазону яркостей и т. д. заставила внести ряд конструктивных изменений. В лампе МН-6 в торец баллона была установлена линза, что сузило световую диаграмму направленности и увеличило силу света лампы в осевом направлении. Аналогичное действие оказывают линзы, установленные в торцах баллонов индикаторов типов ТН-0,2-2, ТНИ-1,5 и ИН-6. Форма электродов изменилась так, что излучение стало проходить в основном в осевом направлении, что улучшило различимость и повысило яркость свечения индикатора. Применение защитных сеток, предотвращающих запыление внутренней поверхности баллона, значительно повысило гарантийную долговечность неоновых ламп.

Одним из недостатков сигнальных ламп (как индикаторов) считалось наличие только одного цвета свечения — оранжево-красного. Вновь разработанные люминофорные составы позволили получить цветные индикаторы. Конструктивно у таких индикаторов между двумя электродами имеется керамическое основание с нанесенным на нем слоем люминофора. Один электрод выполнен в виде редкой сетки. Наблюдение ведется с торца баллона лампы. В качестве примера такого индикатора можно привести лампу типа ИН-25.

Принцип работы цветной сигнальной лампы заключается в следующем: при подаче напряжения между анодом и катодом возникает разряд, генерирующий ультрафиолетовое излучение, которое возбуждает слой люминофора, нанесенный на специальную подложку, и люминофор начинает светиться присущим ему цветом (зеленым, синим, красным и т. д.). Такие индикаторы имеют яркое ровное свечение. Яркость свечения находится в пределах 200—500 кд/м², что достаточно для различных условий эксплуатации.

Цветные индикаторы резко расширили диапазон применения сигнальных ламп. Цветные индикаторы нашли широкое применение в самых разнообразных информационных табло, световых часах, в световых газетах и т. д. Появилась возможность создания в ближайшем будущем мозаичного многоцветного экрана на разноцветных газоразрядных лампах. Для создания в одном баллоне двух-трех различных цветов свечения на подложке делаются сек-

тора (два или три), на которые наносятся люминофоры разного цвета. Катод в таком индикаторе может быть общим, а все аноды имеют отдельные выводы для обеспечения самостоятельного включения. Конструктивно эти индикаторы могут иметь октальный цо-
 коль, или гибкие выводы, а свечение люминофора наблюдается через торец стеклянного баллона.

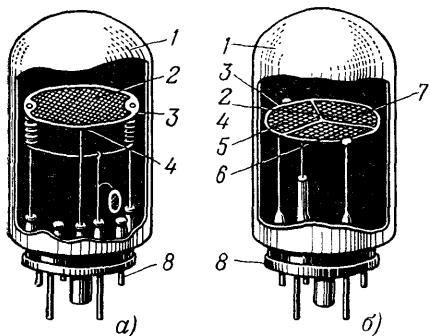


Рис. 3-2. Неоновый индикатор.

а — одноцветный; *б* — трехцветный; 1 — стеклянный баллон; 2 — катод; 3 — анод; 4 — фарфоровое основание с нанесенным слоем люминофора; 5 — зеленый цвет; 6 — синий цвет; 7 — красный цвет; 8 — октальный цоколь.

коль, или гибкие выводы, а свечение люминофора наблюдается через торец стеклянного баллона.

На рис. 3-2 показаны общий вид одноцветного и возможный вариант трехцветного индикатора. Как правило, используются три основных цвета: синий, красный и зеленый. Намечается создание индикаторов с изменяющимся цветом свечения. В таком индикаторе при преобладании в баллоне ультрафиолетового излучения будет светиться люминофор, а с увеличением тока начнет доминировать свечение самого разряда. При таких режимах работы в элементе индикации появится возможность управлять цветом свечения путем изменения питающего напряжения.

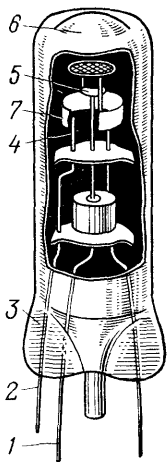


Рис. 3-3. Внешний вид и конструкция индикатора ИИ-6.

1 — вывод индикаторного катода; 2 — вывод вспомогательного катода; 3 — стеклянный баллон; 4 — вспомогательный катод; 5 — индикаторный катод; 6 — линза; 7 — анод.

Из газоразрядных индикаторов, разработанных за последнее время, можно подобрать ряд ламп с таким диаметром светового пятна, который позволяет применить их в различных конструкциях мозаичных экранов.

Среди сигнальных индикаторов тлеющего разряда в последнее время появились индикаторы с низковольтным управлением. Примером такого индикатора может служить индикаторная лампа ИИ-6, внешний вид и конструкция которой приведены на рис. 3-3. Это трехэлектродный индикатор с переносом разряда, имеющий два молибденовых катода, из которых один выполнен в виде диска, а второй — цилиндра, общий анод — в виде колпачка из титана с отверстием в центре.

Дисковый катод считается основным, индикаторным, ибо излучает свет, видимый через линзу купола колбы, когда на него возникает разряд. Второй катод, цилиндрический, считается вспомогательным, так как, когда на него происходит разряд, свечения не видно, ибо оно экранируется индикаторным катодом.

Разряд может гореть попеременно между анодом и одним из катодов.

Переброс разряда с одного катода на другой осуществляется низковольтным сигналом управления, подаваемым на индикаторный катод. Вспомогательный катод обычно заземляется. Уровень напряжения управляющих сигналов изменяется при переключении от -2 до -6 В.

Процесс переброса разряда происходит следующим образом. При верхнем уровне отрицательного управляющего сигнала (-2 В) разряд светится на вспомогательный катод, так как индикаторный катод приобретает в это время результирующий положительный потенциал за счет падения напряжения на включенном в его цепи резисторе за счет проходящего через него зондового тока. Зондовый ток создается ионами, диффундирующими из плазмы разряда к отрицательному по отношению к плазме индикаторному катоду. При изменении управляющего сигнала до $1-6$ В разряд переходит от вспомогательного катода к индикаторному (прямой перенос).

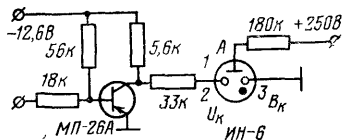


Рис. 3-4. Схема включения индикатора ИН-6.

1 — анод; 2 — U_k ; 3 — B_k (U_k — индикаторный катод, B_k — вспомогательный катод).

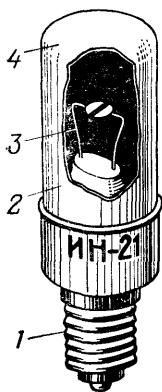


Рис. 3-5. Внешний вид и конструкция индикатора ИН-21.

1 — винтовой цоколь; 2 — стеклянный цилиндрический баллон; 3 — электроды (анод-катод); 4 — выпаянная линза.

После того, как разряд перешел на катод с более низким потенциалом, для его удержания достаточно сохранять разность потенциалов в несколько десятых долей вольта. Время переноса разряда, исчисляемое с начала переключения до перехода разряда в устойчивый режим, в индикаторе ИН-6 находится в пределах от $0,1$ до $0,3$ мс, уменьшаясь с возрастанием напряжения переключения.

При снятии управляющего сигнала индикатор возвращается в исходное состояние, но не гаснет, ибо разряд переходит на вспомогательный катод. Таким образом, прибор ИН-6 может индцировать наличие или отсутствие электрического сигнала в цепях контроля различных полупроводниковых схем, срабатывая от малого уровня напряжения. Схема включения индикатора ИН-6 приведена на рис. 3-4.

Все выпускаемые неоновые сигнальные индикаторы имеют диапазон рабочих температур примерно от -40 до $+70^\circ\text{C}$. Такой диапазон оказал-

ся явно недостаточным для установки индикаторов в нагревательных бытовых и промышленных устройствах (электроплитах, сушильных шкафах, утюгах и т. д.), где температура окружающей среды может достигать $150-200^{\circ}\text{C}$. В связи с этим отечественной промышленностью освоен выпуск индикаторов типа ИН-21, которые предназначены для визуальной индикации переменного напряжения в электрических цепях 127 В и выше, в электротехнической и радиоэлектронной аппаратуре широкого применения в условиях повышенной рабочей температуры.

Внешний вид и конструкция индикатора ИН-21 приведены на рис. 3-5. Ток индикации составляет не менее 0,5 мА, а предельно допустимая температура окружающей среды до $+200^{\circ}\text{C}$. Индикатор имеет удобную форму баллона. Применение ИН-21 вместо устаревших сигнальных приборов (МН-3, ТН-0,3 и т. д.) может значительно повысить надежность и долговечность вновь разрабатываемой аппаратуры.

Газоразрядные цветные сигнальные индикаторы

Сигнальные люминесцентные лампы представляют собой газоразрядные приборы тлеющего разряда с нанесенным на внутренней поверхности стеклянного баллона слоем цветного люминофора.

Принцип работы и конструкция. Лампа наполнена инертным газом и имеет два электрода: катод и анод, между которыми при приложении электрического напряжения возникает тлеющий разряд. На внутренней поверхности баллона лампы нанесен слой люминофора. При возникновении тлеющего разряда между электродами лампы происходит ионизация газа, и невидимое ультрафиолетовое излучение, воздействуя на люминофорное покрытие лампы, преобразуется в видимое свечение люминофора. По законам физики такое преобразование, как правило, происходит в случае, когда коротковолновые излучения превращаются в длинноволновые. Поэтому люминофоры испускают видимый свет в диапазоне от фиолетовых до красных (относительно длинноволновых) излучений под воздействием более коротковолнового (невидимых ультрафиолетовых лучей).

Цвет свечения лампы зависит от сочетаний типа люминофора с родом газа, наполняющего лампу. Тлеющий разряд в аргоне создает зеленое свечение лампы, внутренняя поверхность которой покрыта виллемитом, оранжевый цвет при нанесении силиката цинка бериллия и голубой при нанесении галофосфата кальция Л-35 и при наполнении лампы неоном.

Обозначение ламп состоит из букв и цифр, которые имеют следующее значение: первая буква характеризует вид разряда (Т — тлеющий), вторая — вид светящегося покрытия (Л — люминофорное), третья — цвет свечения (О — оранжевое, Ж — желтое, Г — голубое и З — зеленое). Первая цифра, стоящая после буквенного обозначения, показывает номинальное значение тока лампы (1—1,3 мА, 3—3 мА), следующая цифра обозначает напряжение зажигания (1—145 В, 2—185 В). Например лампа ТЛО-1-1 является сигнальной лампой тлеющего разряда, имеет люминофорное покрытие для создания оранжевого цвета свечения с током потребления 1, 3 мА и напряжением зажигания, равным 145 В. Лампа ТЛЖ-3-2 расшифровывается как сигнальная лампа тлеющего разряда, имеющая люминофорное покрытие, образующее желтый цвет

свечения с током потребления 3 мА и напряжением зажигания, равным 185 В.

На рис. 3-6 показаны конструкция, внешний вид, габариты и межосевые расстояния сигнальных люминесцентных ламп. Конструкция люминесцентных ламп во многом схожа с неоновыми. Катод представляет собой никелевую шайбу, через отверстие которой проходит опора, поддерживающая никелевое кольцо, служащее анодом. На катод перед монтажом наносятся соли карбонатов щелочно-земельных металлов, которые после создания вакуума в лампе разлагаются при нагревании катода токами высокой частоты. После завершения откачки воздуха из лампы образовавшийся слой оксида обрабатывается импульсным разрядом, приводящим к активировке катода. Лампы под давлением наполняются аргоном или неоном.

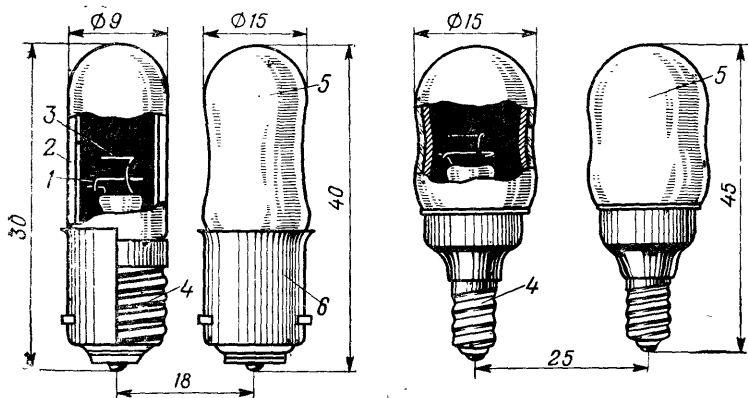


Рис. 3-6. Внешний вид, конструкция и межосевые расстояния сигнальных люминесцентных ламп.

1 — катод; 2 — слой цветного люминофора; 3 — анод; 4 — винтовой цоколь; 5 — стеклянный баллон; 6 — штыревой цоколь.

Люминесцентные сигнальные лампы выпускаются для работы непосредственно в сетях 127 В переменного, 220 и 380 В переменного и постоянного токов. При работе ламп типов ТЛ-1 и ТЛ-3 на частотах выше 50 Гц их гарантийный срок службы уменьшается. Например, при работе ламп на частоте 400 Гц срок службы уменьшается примерно на 20% по сравнению со сроком службы ламп, работающих на частоте 50 Гц.

Серийно лампы выпускаются с оранжевым, зеленым, желтым и голубым цветами свечения. К концу гарантийного срока службы яркость ламп может падать до 30% первоначальной. Во избежание выхода из строя люминесцентные сигнальные лампы должны так же, как и неоновые, включаться в сеть только последовательно, с балластным сопротивлением, в качестве которого могут быть использованы резисторы типов МЛТ, ВС и др. Учитывая небольшие размеры приборов, ограничительные резисторы, в них, как правило, не монтируются.

На рис. 3-7 приведены схемы включения ламп, работающих на постоянном и переменном токе и при наличии паразитных наводок. За счет наводок из-за большой паразитной емкости подводящих проводов даже в отсутствие сигнала лампы могут самопроизвольно светиться. Для предотвращения этого явления необходимо шунтировать их резисторами с сопротивлением от 0,3 до 1 мОм. Обычно импульсы управления подаются на люминесцентные лампы не непосредственно, а через усилители мощности. Люминесцентная лампа включается в эмиттерную или анодную цепи усилителя. Балластное сопротивление (R_1) для ограничения тока в той цепи является обязательным.

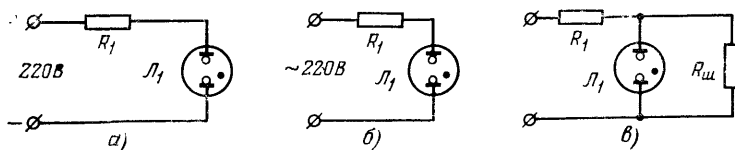


Рис. 3-7. Схемы включения люминесцентных сигнальных ламп.
а — при работе на постоянном токе; б — при работе на переменном токе;
в — при наличии наводок.

Основные параметры. Максимальная мощность, потребляемая собственно лампой, не превышает 0,3 Вт. Чем выше рабочее напряжение сети, тем большее по величине требуется балластное сопротивление. Необходимое балластное сопротивление для эксплуатации ламп при каком-либо нестандартном напряжении сети может быть определено приблизительно по формуле

$$R = \frac{U_c - U_r}{I_{\lambda}}, \text{ кОм},$$

где U_c — напряжение сети, В; U_r — напряжение горения лампы (можно полагать равным 80 В); I_{λ} — ток лампы (можно принять равным 3 мА).

При питании всех типов ламп от сети напряжением 220 В или 380 В они могут надежно работать при колебаниях сетевого напряжения в пределах $\pm 10\%$ номинального. При питании ламп от сети переменного тока напряжением 127 В надежная работа обеспечивается при колебаниях сетевого напряжения, не превышающих $\pm 5\%$ номинального. Кратковременные повышения напряжения сети на 50—100% номинального не действуют на лампы разрушающе, но вызывают «ложное» зажигание. Лампы типов ТЛ-1, ТЛ-3 могут работать в диапазоне температур от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности 95—98%. Вибропрочность обеспечивается в диапазоне частот от 20 до 80 Гц с ускорением до 4 g. Допускаются многократные ударные нагрузки с ускорением до 15 g и одиночные удары с ускорением 500 g.

В табл. 3-2 приведены основные световые и электрические параметры люминесцентных сигнальных ламп.

Достоинствами люминесцентных сигнальных индикаторов являются: возможность изготовления разных по цвету свечения ламп; малая потребляемая мощность; однотипное конструктивное исполнение; равномерность свечения по всему баллону; большой угол

Основные электрические и световые параметры люминесцентных сигнальных ламп

Тип лампы	Яркость наимень- шая, кд/м ²	Средняя яркость ламп в конце сро- ка службы наимень- шая, кд/м ²	Напряже- ние сети, В	Род тока	Напряже- ние зажига- ния на постоян- ном токе, наибольш- шее, В	Напряже- ние номи- нальное (горения), В	Сила тока номиналь- ная, мА	Балластное сопротив- ление, кОм	Средний срок служ- бы, ч
ТЛГ-1-1	2,5	1,7	127	Переменный	145	80	1,3	33	2000
ТЛГ-1-1	2,5	1,7	220	Переменный, постоян- ный	145	80	1,3	100	2000
ТЛГ-1-2	2,5	1,7	220	То же	185	80	1,3	100	2000
ТЛГ-3-1	2	14	127	" "	145	80	3,0	20	4000
ТЛГ-3-1	2	14	220	Постоянный	145	80	3,0	47	4000
ТЛГ-3-1	2	14	380	Переменный, постоян- ный	145	80	3,0	100	4000
ТЛГ-3-2	2	1,4	220	То же	185	80	3,0	47	4000
ТЛГ-3-2	2	1,4	380	" "	185	80	3,0	100	4000
ТЛЖ-1-1	20	14	127	Переменный	145	80	1,3	33	2000
ТЛЖ-1-1	20	14	220	Переменный, постоян- ный	145	80	1,3	100	2000
ТЛЖ-1-2	20	14	220	То же	185	80	1,3	100	2000
ТЛЖ-3-1	20	14	127	Переменный	145	80	3,0	20	4000
ТЛЖ-3-1	20	14	220	Переменный, постоян- ный	145	80	3,0	47	4000
ТЛЖ-3-1	20	14	380	То же	145	80	3,0	100	4000
ТЛЖ-3-2	20	14	220	" "	185	80	3,0	47	4000
ТЛЖ-3-2	20	14	380	" "	185	80	3,0	100	4000
ТЛЗ-1-1	20	14	127	Переменный	145	80	1,3	33	2000

Тип лампы	Яркость наимень- шая, кд/м ²	Средняя яркость ламп в конце сро- ка службы наимень- шая, кд/м ²	Напряже- ние сети, В	Род тока	Напряже- ние зажи- гания на постоянном токе, на- ибольшее, В	Напряже- ние номи- нальное (горения), В	Сила тока номиналь- ная, мА	Балластное сопротив- ление, кОм	Средний срок службы, ч
ТЛЗ-1-1	20	14	220	Переменный, постоян- ный	145	80	1,3	100	2000
ТЛЗ-1-2	20	14	220	То же	185	80	1,3	100	2000
ТЛЗ-3-1	20	14	127	Переменный	145	80	3,0	20	4000
ТЛЗ-3-1	20	14	220	Переменный, постоян- ный	145	80	3,0	47	4000
ТЛЗ-3-1	20	14	380	Перем. Постоян.	145	80	3,0	100	4000
ТЛЗ-3-2	20	14	220	То же	185	80	3,0	47	4000
ТЛЗ-3-2	20	14	380	" "	185	80	3,0	100	4000
ТЛО-1-1	50	35	127	Перем.	145	80	1,3	33	2000
ТЛО-1-1	50	35	220	Перем. Постоян.	145	80	1,3	100	2000
ТЛО-1-2	50	35	220	То же	185	80	1,3	100	2000
ТЛО-3-1	50	35	127	Перем.	145	80	3,0	20	4000
ТЛО-3-1	50	35	220	Перем. Постоян.	145	80	3,0	47	4000
ТЛО-3-1	50	35	380	То же	145	80	3,0	100	4000
ТЛО-3-2	50	35	220	" "	185	80	3,0	47	4000
ТЛО-3-2	50	35	380	" "	185	80	3,0	100	4000

Примечание. Лампы люминесцентные типа ТЛО-1-1, ТЛО-1-2, ТЛЗ-1-1, ТЛЗ-1-2, ТЛЖ-1-1, ТЛЖ-1-2 имеют цоколь типа ПШ9/14-1; остальные лампы имеют цоколь типа ПШ15/17-2 или Р10/20-2

обзора; удобство построения схем управления, обусловленное наличием одного источника питания; возможность построения различных мнемосхем (мнемотабло) в виде многоцветных (одноцветных) светящихся линий, цепочек из отдельных точек, сегментов цифр, мозаики. Применение светофильтров расширяет области и возможности применения люминесцентных сигнальных ламп.

Схемы управления такими индикаторами, как правило, построены на реле, тиристорах и оптронах.

К недостаткам можно отнести: высокое рабочее напряжение (127—380 В); относительно малый срок службы (2000—4000 ч); хрупкость конструкции (стеклянный баллон); высокая стойкость схемы управления, обусловленная большими рабочими напряжениями; достаточно высокая инерционность; уменьшение срока службы при повышении частоты питающего напряжения; большое различие в яркости ламп с разными цветами свечения.

Индикаторные тиратроны тлеющего разряда

Принцип действия и устройство. В последнее время из общего класса тиратронов тлеющего разряда выделился ряд приборов, практическое применение которых носит чисто индикаторный характер — индикаторные тиратроны тлеющего разряда (ИТТР). ИТТР могут быть использованы для работы в различных устройствах отображения информации, в качестве выходных элементов визуального контроля, для создания одно- и многоцветных мозаичных табло, элементов цифро-буквенных модулей и т. д.

В отличие от других индикаторов ИТТР позволяют применять их в схемах, выполняющих элементарные логические операции, и одновременно преобразовать электрический сигнал в визуальную информацию за счет свечения, возникающего при разряде в наполняющем тиратрон инертном газе. По принципу работы ИТТР не отличаются от тиратронов общего назначения, используемых при выполнении логических операций, поэтому кроме чисто индикаторных функций на этих приборах можно собирать различные логические схемы.

ИТТР имеют «внутреннюю память». Для возникновения разряда на лампу необходимо подать низковольтный управляющий сигнал, после возникновения разряда управляющий сигнал может отсутствовать, а тиратрон будет продолжать светиться, т. е. он «запоминает» команду. Наличие «внутренней памяти» оказывается очень ценным свойством при построении аппаратуры отображения информации, так как отпадает необходимость в специальных устройствах, «хранящих» сигналы управления.

Для ИТТР характерны следующие свойства: они могут находиться в одном из двух устойчивых состояний — проводящем и непроводящем; использоваться в режиме «с памятью» и «без памяти» (в первом случае индикаторный тиратрон продолжает светиться при снятии управляющего сигнала, во втором — свечение прекращается при отсутствии управляющего сигнала или сигналов); могут выполнять функции «логического элемента» на несколько входов.

Конструктивно индикаторный тиратрон тлеющего разряда выполняется в виде миниатюрной или сверхминиатюрной многоэлектродной лампы со стеклянным баллоном и гибкими выводами.

В торец баллона у тиратронов типов МТХ-90, ТХ-16Б, ТХ-17А, ТХ-19А впаиваются усиливающие линзы.

Индикаторное свечение, сфокусированное линзой, наблюдается через купол (торец) баллона. На рис. 3-8 показана конструкция индикаторного тиратрона типа МТХ-90.

Катод выполняется в виде металлического цилиндра, активированного цезием, анод представляет собой молибденовый стержень, помещенный в стеклянную трубку с выступающим из стекла свободным концом. Сетка изготовлена из никеля и имеет форму диска с центральным отверстием (расположена между анодом и катодом). Наполнителем индикаторных тиратронов служат инертные газы (неон, смесь неона с аргоном и др.).

Чтобы вызвать разряд между анодом и катодом в тиратронах типов МТХ-90, ТХ-5Б при наличии рабочих потенциалов на электродах, на сетку необходимо подать управляющий сигнал. Управляющая сетка только открывает тиратрон, давая возможность для развития в нем разряда, но прекращать разряд она не может. В исходном состоянии прямое напряжение приложено между анодом и катодом, но тиратрон находится в запертом состоянии. Это происходит потому, что напряжение питания выбирается таким, при котором самостоятельное развитие разряда в основном промежутке не произойдет. Только после подачи положительного потенциала на сетку

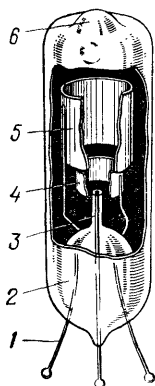


Рис. 3-8. Внешний вид и конструкция тиратрона МТХ-90.

1 — выводы от электродов; 2 — стеклянный баллон; 3 — анод; 4 — сетка; 5 — катод; 6 — линза.

ку (по отношению к катоду) в сеточной цепи возникает сеточный ток, а напряжение зажигания основного разряда несколько снижается. Это снижение напряжения зажигания объясняется тем, что заряды, диффундирующие из плазмы сеточного разряда, через отверстие в сетке проникают в прианодную область, где создаются облегченные условия для развития основного разряда, возникающего во всем промежутке между анодом и катодом.

С возникновением основного разряда и тем самым анодного тока в тиратроне напряжение на его электродах падает до напряжения горения. Разницу между напряжением питания и напряжением горения разряда берет на себя анодное нагрузочное сопротивление тиратрона. С момента зажигания разряда в тиратроне ток в анодной цепи тиратрона остается постоянным. Разряд погаснет только после снижения анодного напряжения до значения, меньшего, чем напряжение горения.

Время запаздывания зажигания является весьма важным параметром, так как в системах отображения информации оно определяет время готовности аппаратуры и влияет на условие восприятия информации оператором. Для стабилизации времени запаздывания зажигания в тиратронах типов ТХ-16Б, ТХ-17А и ТХ-19А применяется специальный электрод (подкатод), с помощью которого создается так называемый подготовительный разряд. Этот подго-

готовительный разряд служит источником начальных ионов и позволяет уменьшить запаздывание зажигания разряда в промежутке анод — катод.

Индикаторные тиратроны (ТХ-5Б, МТХ-90) с токовым управлением зажигания характеризуются тем, что зажигание тиратрона осуществляется увеличением сеточного тока. Входной импульсный сигнал при этом подается на одну сетку, которая одновременно служит и для создания подготовительного разряда.

В рабочих режимах индикаторных тиратронов время запаздывания уменьшается с ростом амплитуды входного сигнала. Для индикаторных тиратронов очень важно, чтобы свечение, вызываемое подготовительным разрядом, не просматривалось, ибо при построении больших табло даже слабое свечение снижает контраст между горящими и негорящими индикаторами.

В двухсеточном индикаторном тиратроне нижняя сетка является анодом для подготовительного разряда, а вторая (верхняя) сетка — управляющей. На нее подается отрицательное по отношению к первой сетке напряжение смещения, поэтому основной разряд не возникает. С приходом на вторую сетку положительного напряжения тиратрон открывается.

Способ открывания индикаторного тиратрона заменой отрицательного поля в промежутке между двумя сетками положительным называется электростатическим методом управления. Индикаторные тиратроны типов ТХ-16Б, ТХ-17А, ТХ-19А с электростатическим управлением включают подачей определенного положительного импульсного или постоянного напряжения на вторую управляющую сетку.

В качестве примера рассмотрим принцип работы тиратрона типа ТХ-17А с отрицательной характеристикой зажигания, конструкция которого приведена на рис. 3-9. На подкатод через ограничительный резистор подается отрицательное напряжение, под действием которого между катодом и подкатодом возникает и поддерживается подготовительный разряд. Катод основного разряда служит анодом для подготовительного разряда. На сетку подается отрицательное напряжение, предельное значение которого оговорено в технических условиях. На анод памяти и анод свечения подается положительное напряжение.

Через отверстие в катоде электроны из плазмы подготовительного разряда поступают в область отрицательного тормозящего поля сетки. При уменьшении отрицательного напряжения сетки электроны проникают сквозь отверстие управляющей сетки и вы-

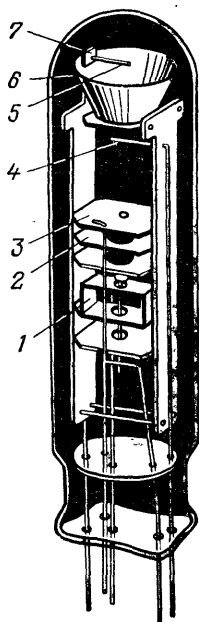


Рис. 3-9. Внешний вид и конструкция тиратрона ТХ-17А.

1 — подкатод; 2 — катод;
3 — сетка; 4 — анод памяти;
5 — анод свечения; 6 — экран; 7 — анод свечения.

зывают зажигание разряда на анод памяти. Возникший там разряд, почти не видный через купол баллона, приводит к появлению разряда на аноде свечения. При этом через линзу в стеклянном куполе хорошо видно свечение красного цвета. Яркость свечения при горении анодного разряда во много раз превышает яркость свечения подготовительного разряда.

Принцип работы тиратрона ТХ-16Б не отличается от описанного выше для ТХ-17А. Но у тиратрона ТХ-16Б видимое красное свечение создается разрядом в инертном газе (неоне), имеющем спектр излучения в видимой части, а в тиратроне ТХ-17А спектр излучения разряда находится в ультрафиолетовой части за счет состава газа (смесь неона с аргоном).

Видимое излучение в ТХ-17А возникает из конусной поверхности экрана, покрытого люминоформ, создающим зеленый цвет свечения. Нанося разные люминофоры на поверхность экрана, можно получить ИТТР с различным цветом свечения.

В качестве примера индикаторного тиратрона с положительной характеристикой зажигания рассмотрим тиратрон ТХ-19А (рис. 5-10), также имеющий две управляющие сетки.

На подкатод через ограничительный резистор подается отрицательное напряжение источника питания цепи подготовительного разряда. Катод заземляется, а на анод памяти и анод свечения поступают положительные напряжения. При положительном напряжении на одной или двух управляющих сетках тиратрон закрыт. Подготовительный разряд горит между управляющими сетками и подкатодом. Сетка, имеющая наибольший потенциал, служит анодом подготовительного разряда. Ее потенциалом определяется потенциал источника начальных электронов. Катод находится под более низким потенциалом и тормозит движение электронов к аноду памяти. При уменьшении положительного напряжения на обеих сетках тормозящее поле катода ослабевает и все большее количество электронов проникает в область анода памяти. Разряд, образующийся на аноде памяти, приводит к зажиганию разряда на аноде свечения. Возникающее при этом ультрафиолетовое излучение вызы-

вает свечение люминофора, нанесенного на конический экран, помещенный между анодом памяти и анодом свечения и находящийся под свободным потенциалом. Уменьшение положительного напряжения только на одной сетке не вызывает зажигания тиратрона.

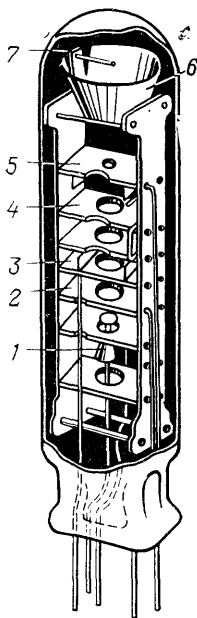


Рис. 3-10. Внешний вид и конструкция тиратрона типа ТХ-19А.

1 — подкатод; 2 — сетка первая; 3 — сетка вторая; 4 — катод; 5 — анод памяти; 6 — экран; 7 — анод свечения.

Анодный ток тиратрона и, следовательно, параметры выходного сигнала не зависят ни от способа управления зажиганием, ни от параметров входного сигнала. После зажигания между анодом и катодом тиратрона устанавливается определенное напряжение горения, которое незначительно изменяется с изменением тока в анодной цепи.

В зажженном состоянии индикаторный тиратрон может находиться в течение сколь угодно длительного времени (до прихода гасящего импульса) и, следовательно, выполняет функции элемента памяти. Так как управляющие сетки могут быть использованы лишь для зажигания тиратрона, то его гашение можно осуществить только уменьшением напряжения между анодом и катодом. Для этого необходимо приложить либо отрицательный импульс к аноду, либо положительный к катоду.

При работе тиратрона в режимах, предусмотренных техническими условиями, долговечность их может составлять десятки тысяч часов. Такой большой срок службы обусловлен тем, что процессы, приводящие к изменению параметров, протекают с малой скоростью.

Условное обозначение ИТТР согласно ГОСТ 13393-67 состоит из следующих элементов: букв ТХ, обозначающих тиратрон с холодным катодом; цифр, указывающих на номер, присвоенный данному типу тиратронов (например, ТХ-5Б, ТХ-16А); буквы в конце обозначения, определяющей конструкцию баллона (Б — сверхминипатронное стеклянное оформление с диаметром баллона до 10 мм, Г — то же с диаметром баллона свыше 10 мм), а также буквы, характеризующей цвет свечения тиратрона (например, ТХ-19АЖ — желтый, ТХ-19АК — красный, ТХ-19АЗ — зеленый).

Отечественной промышленностью выпускаются ИТТР следующих цветов свечения: оранжево-красный, красный, желтый и зеленый. Выбор цвета свечения индикаторных тиратронов дает разработчикам аппаратуры отображения широкие возможности. К числу других достоинств индикаторных тиратронов следует отнести их малые габариты и массу, способность пропускать в импульсном режиме большие токи, относительную стабильность установившихся параметров, долговечность, высокую виброустойчивость и т. п.

Применение индикаторных тиратронов. В последнее время стали широко изготавливаться одно- и многоцветные табло для отображения различной графической, знаковой и буквенной информации. При создании больших мозаичных экранов (с числом тиратронов до 10—60 тыс. шт.) тиратроны обычно собираются в плоские ячейки, позволяющие производить удобную их смену или ремонт, не нарушая межосевых расстояний между ними.

Для отображения на табло знаковой или буквенной информации применяется модульная конструкция, обеспечивающая удобство изготовления, эксплуатации, а также предусматривающая возможность охлаждения. Основные параметры ИТТР представлены в табл. 3-3.

На основе описанных выше ИТТР выпускаются цифровые и знаковые модули, из которых можно набирать различные устройства отображения информации, например во Внуковском аэропорту в Москве для отображения номеров рейсов прибывающих самолетов используется табло, собранное на модулях с тиратронами типа ТХ-16Б. Цифры светятся красным светом, хорошо читаются и различимы, несмотря на высокий уровень внешнего освещения.

Основные параметры индикаторных

Тип индикатора	Яркость свечения, кд/м²	Цвет свечения	Габариты, мм	
			Диаметр	Длина без выводов
MTX-90	—	Оранжево-красный	13	37
TX-5Б	—	То же	7,2	25
TX-16Б	90	Красный	7,2	40
TX-17А	80	Зеленый	7,2	40
TX-19АЗ	50	„	7,2	40
TX-19АЖ	70	Желтый	7,2	40
TX-19АК	40	Красный	7,2	40

* В числителе напряжение на первом аноде A_1 , в знаменателе — на A_2 .

** Падение напряжения второй анод-катод (A_2-K) при токе анода A_1 , равном 1 мА.

В Москве на проспекте Калинина, в вестибюле Министерства цветной металлургии СССР установлены электронные часы с индикацией времени на тиратронных модулях МИ-1.

Обычно тиратронные индикаторные модули изготавливаются с применением тиратронов типов МТХ-90, ТХ-16Б, тогда они светятся оранжево-красным цветом или на ТХ-17А — цвет свечения

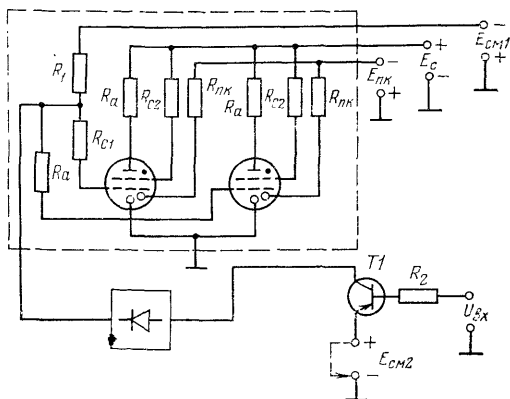


Рис. 3-11. Цифровая индикаторная ячейка на тиратроне типа ТХ-16Б или ТХ-17А.

тиратронов тлеющего разряда

Напряже- ние анода, В	Падение на- пряжения меж- ду анодом и катодом, В	Ток анода, мА	Срок служ- бы, ч	Температура окружающей среды, °С	Масса нап- большая, г	Примечания
82—200	8—65	2,0	5000	От —60 до +85	4	С линзой, жесткие выводы
175	150	0,25	5000	От —60 до +100	1,5	Гибкие выводы
180—200		1,0	5000	От —60 до +85	3	С линзой в ку- поле баллона, без цоколя, гибкие выводы длиной 40 мм
260	130—160	1,0	5000	От —60 до +70	3	
50/260*	115—150**	1,0	5000	От —60 до +70	3	
50/260*	115—150**	1,0	5000	От —60 до +70	3	
50/260*	115—150**	1,0	5000	От —60 до +70	3	

зеленый. Перед модулем можно установить светофильтр, это по-
зволяет разнообразить цвета свечения отображаемой информации.

Модуль представляет собой конструкцию, в которой в одном
корпусе размещены тиратроны, схема управления и коммутации,
разъем, соединяющий модуль со всеми остальными элементами
устройства. Примером тиратронного модуля может служить инди-
каторный модуль типа МИ-1, собранный на тиратронах ТХ-16Б
по схеме, показанной на рис. 3-11. Вместо ТХ-16Б могут быть при-
менены тиратроны типа ТХ-17А, но тогда цвет свечения будет зе-
леный.

Достоинством модульной конструкции следует считать ее уни-
версальность, позволяющую набирать различные информационные
табло из одинаковых узлов. Так как применяемые тиратроны имеют
в торце своего баллона впаивную линзу, такие модули имеют угол
обзора около $\pm 45^\circ$.

Сравнение с устройствами на лампах накаливания, электро-
люминесцентных индикаторах или на других элементах индикации
показывает, что в ряде случаев аппаратура отображения на ИТТР
наиболее выгодна. Примером этого может служить приводимое
ниже универсальное табло.

Световое динамическое табло на ИТТР типа МТХ-90 представ-
ляет собой конструкцию, собранную из одинаковых модулей. Схем-
но каждый модуль является частью сдвигового регистра, собран-
ного на том же ИТТР типа МТХ-90. Схема табло построена для
отображения знаков на базе ячеек, содержащих 7×5 индикаторов.
Описанное табло имеет следующие технические данные:

1) световое поле содержит 72 индикатора в длину и 7 в ши-
рину при расстоянии между соседними индикаторами 24 мм;

- 2) статическая емкость табло 12 знаков;
- 3) скорость перемещения — регулируемая от полной остановки до 8—10 знаков в секунду;
- 4) управление возможно от клавишного пульта, электронного программного устройства, восьмидорожечной перфоленты и теле-тайла (такой выбор видов управления определяет достаточно широкий диапазон применения данного табло);
- 5) напряжение питания $\pm 150 \pm 10$ В;
- 6) максимальная потребляемая мощность 500 Вт.

Модульная конструкция позволяет набирать табло самых различных размеров. Помимо того, что на ИТТР можно собирать различные системы отображения, отдельный ИТТР может служить хорошим сигнальным устройством для визуальной регистрации отклонения параметров от заданных значений в различных блоках, ячейках, для отображения состояния производственного оборудования, в автоматизированных системах управления производственными процессами и т. д.

Диаметр существующих сверхминиатюрных тиратронов типов ТХ-17А и ТХ-19А позволяет создавать трехцветные триады для мозаичных табло отображения различной информации. До последнего времени подобные табло создавались на тиратронах типа МТХ-90 или ТХ-16Б и имели оранжево-красный цвет свечения.

В корпусе трехцветной триады для цветных ИТТР в одно гнездо входят три тиратрона с тремя разными цветами свечения: красным, синим и зеленым. Мозаичное табло, составленное из цветных тиратронов, позволяет отобразить многоцветную динамическую информацию.

Принципиально возможно расположить элементы схемы управления внутри баллона тиратрона, и тогда можно будет иметь интегральный элемент индикации со схемой управления. Это вопрос ближайшего будущего.

Таким образом, применение ИТТР в устройствах отображения обусловлено следующими их достоинствами: долговечностью до 5000 ч; разными цветами свечения (зеленым, желтым, красным); миниатюрностью (диаметр баллона около 7 мм и меньше); наличием внутренней памяти; простотой схем управления ИТТР; возможностью выполнения логических функций.

В то же время ИТТР имеют ряд недостатков: высокое анодное напряжение; необходимость охлаждения (в случае одновременного применения большого количества ИТТР в крупных табло); перепайка при смене вышедшего из строя ИТТР; цилиндрическая форма баллона ИТТР.

Для обеспечения гарантированной долговечности работы индикаторных тиратронов следует соблюдать перечисленные ниже рекомендации: условия эксплуатации тиратронов должны быть оптимальными и соответствовать рекомендуемому с учетом возможного разброса характеристик зажигания в частности, режим питания должен быть таким, чтобы тиратроны не зажигались, если входной сигнал меньше установленного значения.

При первом включении схемы с ИТТР рекомендуется следующий порядок подачи напряжения на электроды: сначала подается напряжение смещения на управляющие сетки, затем напряжение подготавливающего разряда и потом анода.

При несоблюдении порядка подачи напряжений при включении и отключении тиратрона нормальная его работа нарушается.

Чтобы гашение основного разряда было надежным, время снижения напряжения анода должно быть больше, чем время восстановления электрической прочности тиратрона.

После длительного перерыва в работе тиратрона рекомендуется проводить предварительную кратковременную (около одной минуты) тренировку — выдержку прибора в рабочем режиме.

Линейные газоразрядные индикаторы

Если требуется снимать непрерывные показания, а точные цифровые данные иметь не обязательно, то могут оказаться полезными линейные газоразрядные индикаторы (ЛГИ), дающие возможность представить визуальную информацию в виде изменяющегося числа светящихся точек или длины линий в прямой зависимости от приложенного тока или напряжения.

Отечественной промышленностью серийно выпускаются два вида ЛГИ: аналоговые, у которых свечение разряда имеет вид светящегося сплошного столба, длина которого пропорциональна приложенному напряжению или току; дискретные, у которых свечение имеет вид отдельной точки или столбика, состоящего из группы точек. Удаление световой точки относительно начала отсчета или высоты столбика пропорционально числу импульсов, поступающих на вход схемы управления.

В табл. 3-4 представлены основные характеристики серийных ЛГИ.

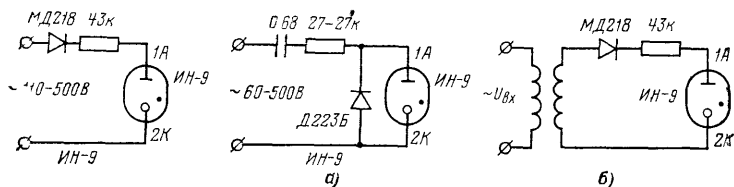


Рис. 3-12. Схемы включения ИН-9.

а — прямое включение; б — включение через переходный трансформатор.

Устройство и принцип действия прибора типа ИН-9. Конструктивно он представляет собой круглую стеклянную колбу с длинным цилиндрическим анодом и катодом. Катод расположен внутри анода, вдоль его оси и изготовлен из молибденовой проволоки. Свечение наблюдается сквозь прорези в аноде, которые сделаны по всей длине последнего. В таких приборах изменение длины свечения в зависимости от проходящего тока происходит линейно, поэтому они называются линейными.

В вольтметрах переменного напряжения зажигание разряда у начала катода достигается за счет сближения в торцевой части прибора анода и катода. Количество выводов у прибора ИН-9 всего два (анод и катод).

Схемы управления приборами типа ИН-9. На рис. 3-12 показаны схемы включения индикаторов ИН-9. У этого прибора фиксация места начала разряда не осуществляется. Поэтому в последующих разработках ЛГИ принимаются специальные меры для

Основные характеристики линейных газоразрядных индикаторов

Параметры	Тип прибора			
	ИН-9	ИН-13	ИН-20	ИН-26
Яркость свечения, кл/м ²	40	30	—	3500
Цвет свечения	Оранжево-крас- ный	Оранжево-крас- ный	Розовато-фиоле- товый	Розовато-фиоле- товый
Длина светящегося столба, мм . . .	95	112	140	100
Количество единиц счета, шт. . . .	—	—	100	133
Напряжение зажигания, В	100	140	400	360
Напряжение горения, В	—	105	270	160—180
Рабочий ток, мА	12	0,3—4,4	1,5—2,5	1,7—2,3
Угол наблюдения, град	±120	±120	±40	±45
Длина прибора (без выводов), мм . .	140	160	188	145
Диаметр (сечение) прибора, мм . . .	10	10	25×16	20×11×16
Форма сечения баллона	Круглая	Круглая	Прямоугольная	Прямоугольная
Время готовности, с	1	1	1	1
Диапазон рабочих температур, °С . .	От —60 до +70	От —60 до +60	От —60 до +85	От —60 до +85
Гарантированная долговечность, ч . .	2000	1000	1000	1000
Масса, г, наибольшая	15	15	80	35

фиксация места возникновения тлеющего разряда в любом режиме.

У прибора ИН-13 фиксация начального положения разряда у края катода достигается специальным поджигающим электродом вспомогательного катода. Вспомогательный катод изготавливается из циркония или ниобия и обладает меньшим напряжением зажигания и горения, чем основной катод. Вначале разряд возникает между анодом и вспомогательным катодом, а затем с последующим повышением напряжения — между основным катодом и анодом, причем место возникновения основного разряда предопределено ранее возникшим разрядом на вспомогательном катоде, что повышает точность отсчета прибора.

Схема управления индикатором типа ИН-13 (рис. 3-13) работает следующим образом. Напряжение сигнала подается на базу транзистора 1Т308В, включенного по схеме с общим коллектором. Эмиттерной нагрузкой транзистора служит делитель из резисторов R_1 и R_2 . Нагрузкой транзистора П307А является прибор ИН-13. С помощью потенциометра «Уст. нуля», можно установить светящийся столбик на нулевую отметку. Для ограничения коллекторного тока транзистора П307А в его эмиттерную цепь введены резисторы R_3 и R_4 , причем с помощью R_4 устанавливают максимальную длину светящегося столбика ИН-13 (регулировка «макс»). Данная схема рассчитана на входное напряжение от 0 до +10 В. Схема может быть использована в интервале напряжений от 0 до +15 В, при этом достаточно замкнуть контакты 1 и 2.

Для компенсации температурных погрешностей индикаторного прибора вся схема имеет положительный температурный коэффициент.

Устройства отображения информации, выполненные на основе аналоговых газоразрядных индикаторов типов ИН-9 и ИН-13, обладают следующими достоинствами: удобством восприятия (информация представляется в виде светящегося столбика изменяющейся длины); малыми габаритами и массой; независимостью показаний от рабочего положения прибора в пространстве; малым временем установления показаний.

Аналоговые ЛГИ в настоящее время применяются в серийно выпускаемых промышленностью измерительных и контрольных приборах, для индикации и измерений постоянного, переменного токов и напряжений (в том числе в одно- и многоканальных приборах с аналоговым входом).

Измерительные приборы с ЛГИ индицируют динамику измерения контролируемых параметров при работе в комплекте с дискретными устройствами, например с цифровыми электроизмерительными приборами, имеющими кодовый выход. При использовании ЛГИ в многоканальных приборах они отображают графиче-

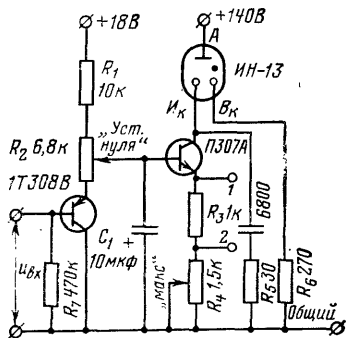


Рис. 3-13. Схема управления индикатором ИН-13.

скую информацию. Погрешность таких приборов на постоянном токе до 3%, а на переменном до 5%.

Одноканальный прибор («Рубин-1») — модуль для контроля унифицированных входных сигналов. Прибор предназначен для измерения входных сигналов постоянного тока в диапазоне от 0,5 до 5 и от 2 до 20 мА и напряжения постоянного тока от 1 до 10 В, с относительной погрешностью, не превышающей 5% в диапазоне температур 10—50°C.

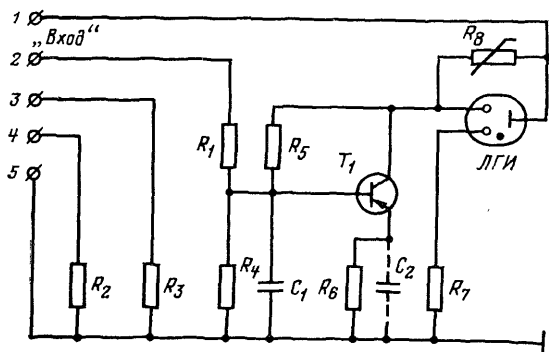


Рис. 3-14. Схема прибора «Рубин-1».

Схема прибора, представленная на рис. 3-14, состоит из эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе T_1 , изменяющего свое сопротивление под воздействием управляющего сигнала, поступающего через входную цепь на базу T_1 . В коллекторную цепь T_1 включен ЛГИ типа ИН-13.

Конструктивно модуль выполнен в одном корпусе, где размещены ЛГИ, шкала и плата печатного монтажа со схемой управления. На задней стенке корпуса находятся шпильки для крепления прибора в месте установки. Конструкция прибора «Рубин-1» дает возможность расположить на метровой длине свыше 70 шт. таких модулей, расширить угол обзора, улучшить теплообмен и снизить общую стоимость. На основе модуля «Рубин-1» строятся многоканальные устройства контроля, в которых располагаются 4, 6, 18 или 25 модулей.

В основу конструкции многоканальных приборов положено блочно-модульное исполнение с применением унифицированных типовых конструкций. Расположение линейных индикаторов в модулях может быть вертикальным или горизонтальным, это определяется только условиями будущей эксплуатации. Измерительные устройства с применением аналоговых ЛГИ типов ИН-9 и ИН-13 обладают большой надежностью и компактностью, в значительной мере выдерживают токовые перегрузки при критических ситуациях.

Ниже описывается устройство для измерения напряжения в цепях от 0,5 В без ограничения верхнего предела (рис. 3-15), построенное без согласующих транзисторов. При подключении источника питания происходит зажигание газового разряда в промежутке анод — катод и через ЛГИ начинает протекать ток по

цепи: клемма B — лампа L_1 — резистор R_2 — диод D_2 и клемма 2. Сопротивление резистора R_2 подбирается так, чтобы при отсутствии измеряемого напряжения по индикаторному катоду протекал минимальный ток, необходимый для свечения начального рабочего участка ЛГИ. Ток вспомогательного катода определяется сопротивлением резистора R_3 .

При подключении измеряемого напряжения происходит сложение напряжений на участке анод — индикаторный катод и увеличение длины светящегося столба индикатора. Изменяя сопротивление резистора R_1 , можно устанавливать необходимый верхний предел измерения напряжения. Минимальное значение измеряемого напряжения определяется характеристиками диодов D_1 , D_2 . Погрешность такого измерительного устройства в диапазоне напряжений 0,5—10 В не превышает 5%.

Таким образом, можно с достаточной степенью точности измерить напряжения от единиц до сотен вольт. При этом, чем выше диапазон измеряемого напряжения, тем выше точность измерений.

Для радиолубительской практики могут оказаться полезными различные схемы включения прибора ИН-13. Схема, изображенная на рис. 3-16,а, работает следующим образом. Напряжение, превышающее напряжение зажигания ИН-13, поступает через регулируемый резистор. При этом ЛГИ зажигается. Изменением приложенного напряжения или сопротивления переменного резистора увеличивают проходящий через индикатор ток. Размер светящегося столбика в ИН-13 изменяется при этом пропорционально проходящему через индикатор току. Подобную схему рекомендуется применять там, где требуется фиксировать изменения больших напряжений (например, в качестве индикатора постоянного или переменного тока в цепи регулирования напряжения от источника питания).

Схема включения ИН-13, приведенная на рис. 3-16,б, имеет температурную погрешность около 2% по всей шкале. В данной схеме изменение размера светящегося столба в ЛГИ происходит в зависимости от падения напряжения на базе транзистора T . Регулировка чувствительности осуществляется переменным резистором $R=1$ кОм. Схема имеет компенсацию температурной погрешности ЛГИ при помощи терморезистора R_2 (МЛП-9).

Схема включения ЛГИ ИН-13, показанная на рис. 3-16,в, так же как и первые две, предназначена для преобразования сигналов постоянного тока. Входное сопротивление схемы составляет около 40—50 кОм. Для того чтобы транзисторы T_1 (МП16Б) и T_2 (МП114) находились в нормальном режиме по постоянному току, T_2 выбран более мощным, чем T_1 . Температурная компенсация создается диодом Д7Ж.

Схема на рис. 3-16,г имеет более высокую стабильность при изменении питающего напряжения. Это достигается применением параллельно-балансного преобразователя, собранного на транзисто-

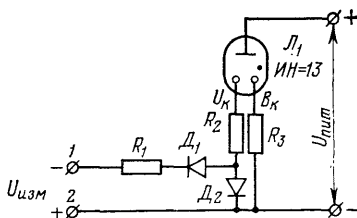


Рис. 3-15. Схема измерительного устройства на ИН-13.

рах T_1 — T_3 (МП114). Благодаря дифференциальной схеме включения транзисторов T_1 и T_2 , а также включению в их эмиттерную цепь транзистора T_3 достигается достаточно высокая стабильность длины светящегося столба индикатора.

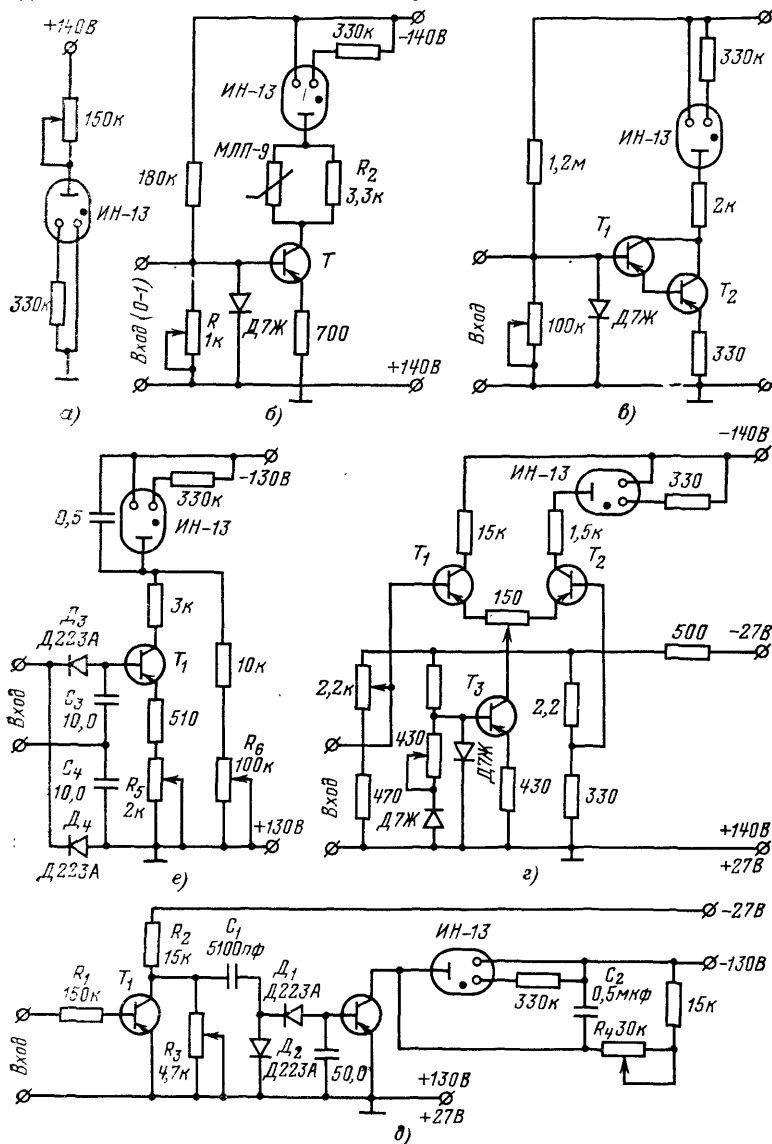


Рис. 3-16. Схемы включения прибора ИН-13.

В случае, если входные сигналы подаются в виде импульсов, пропорциональных измеряемому параметру, применяется схема (рис. 3-16, *д*), имеющая преобразователь входного сигнала. Она работает следующим образом. На транзистор T_1 (МП420) через ограничивающий резистор R_1 поступает сигнал с частотой, пропорциональной измеряемому параметру. Транзистор работает в ключевом режиме и за счет управляющих входных сигналов переключает конденсатор C_1 с заряда на разряд. В исходном состоянии схемы конденсатор C_1 заряжен. За время действия отрицательного полупериода напряжения входного сигнала T_1 открывается и C_1 разряжается через диод D_1 .

При поступлении на базу T_1 положительной полуволны напряжения входного сигнала происходит закрытие транзистора T_1 и конденсатор C_1 заряжается через переход база-эмиттер транзистора T_2 , диод D_1 и резистор R_2 . Протекающий через C_1 зарядный ток служит управляющим током для прибора ИН-13. Резисторами R_3 и R_4 устанавливают верхнюю и нижнюю границы рабочего тока для ЛГИ. Для исключения возможности возникновения в ЛГИ разрывов светящегося столба в схеме установлен конденсатор C_2 .

Схема рис. 3-16, *е* работает по принципу удвоения входного напряжения. Выпрямитель-удвоитель состоит из диодов D_3 , D_4 и конденсаторов C_3 , C_4 . Постоянная составляющая этого напряжения управляет коллекторным током транзистора T_1 (МП114), а нагрузкой является прибор ИН-13. Резистор R_5 служит для ограничения максимального тока индикатора, а R_6 — для установления нижней границы рабочей характеристики.

На омском ордена Ленина заводе «Электроточприбор» выпускаются одноканальные щитовые аналоговые электроизмерительные приборы типов Ф212 и Ф213 с применением ЛГИ. Для измерения постоянного тока используется прибор Ф212, а для переменного тока и напряжения — Ф213. Основные эксплуатационные данные этих приборов приведены в табл. 3-5.

Принцип работы и устройство дискретных ЛГИ типа ИН-20 и ИН-26. Аналоговые индикаторы, обладая относительно низкой точностью, имеют значительные температурные погрешности, кроме того, у них отсутствует внутренняя память и цифровой вход. Дискретные ЛГИ имеют более высокую точность.

Линейный дискретный счетно-индикаторный прибор типа ИН-20 представляет собой индикаторную лампу с линейным расположением электродов, в которой используется принцип направленного переноса разряда.

Конструктивно индикатор ИН-20 имеет экран с продольной щелью, внутри которого находится проволочный катод. Вдоль экрана расположен 101 анод, что определяет емкость счета прибора. Все аноды, за исключением 1-го и 101-го, объединены внутри прибора в три группы A_1 , A_2 , A_3 . Индикация осуществляется по свечению в анодной области у штыревого анода в виде светящейся точки. По принципу действия дискретные ЛГИ аналогичны декадонам, электроды которых из окружности развернуты в прямую линию. Под действием импульсов напряжения, поступающих на вход управления схемы, светящийся разряд перемещается вдоль линейного катода. При поступлении очередного импульса напряжения разряда возникает между катодом и одним из анодов.

По положению светящегося пятна у анода и по отметке на цифровой шкале внутри индикатора ИН-20 можно судить о числен-

Основные характеристики измерительных приборов с ЛГИ

Параметр	Ф212	Ф213
Класс точности	4,0	4,0
Пределы измерения:		
по току, мкА	50, 100, 300, 500	100, 300, 500
мА	1, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 300, 500	1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500
А	1, 3, 5, 10, 30*, 50*, 100*, 300*, 500*	1, 3, 5
по напряжению, мВ	50, 75, 100, 300, 500	100, 300, 500
В	1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500	1, 2, 3, 30, 50, 300, 500
кВ	1*, 3*, 5*, 10*, 30*	—
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)	220 (50 Гц)
Потребляемая мощность, В·А, не более	8	8
Время установления показаний, с, не более	1	1
Область рабочих частот, Гц	—	40—40 000
Рабочая длина шкалы, мм	100	100
Температура окружающей среды, °С	От —40 до +50	От —40 до +50
Масса, кг, не более	1,3	1,3
Габаритные размеры, мм	200×300×185	200×300×185

* При измерениях подключать дополнительно добавочное сопротивление.

ном значении измеряемого напряжения в данный момент. На рис. 3-17 показана схема включения ИН-20.

Имеющийся юстировочный штырь служит только для фиксации положения анода, но не может выполнять роль крепежного элемента прибора.

Рекомендуется следующая очередность подачи питания на электроды: сначала напряжение поступает на катод, экран и нулевой анод; затем подаются управляющие сигналы на аноды.

Принцип работы дискретного ЛГИ поясняется на рис. 3-18.

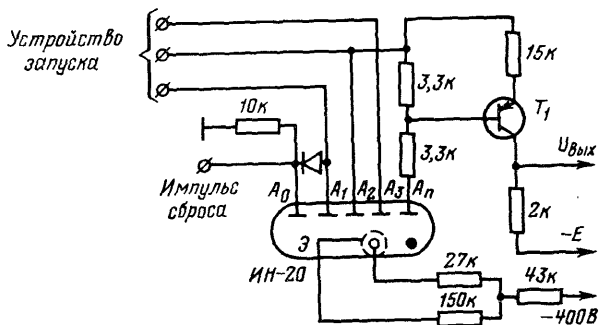


Рис. 3-17. Схема включения прибора ИН-20.

При подаче питающего напряжения разряд зажигается между катодом и одним из анодов A_1 , принадлежащим к группе, потенциал которой в этот момент оказался выше, чем на других группах. С приходом счетного импульса на вход схемы управления она переходит из состояния 001 в состояние 010 и потенциал анода A_2 оказывается выше, чем потенциал анода A_1 .

В результате разряд с анода группы A_1 переходит на анод второй группы, ближайшей к горящему промежутку. Разряд на аноде группы A_2 горит до тех пор, пока следующий импульс не переведет схему в состояние 100, а разряд не перейдет на анод третьей группы A_3 .

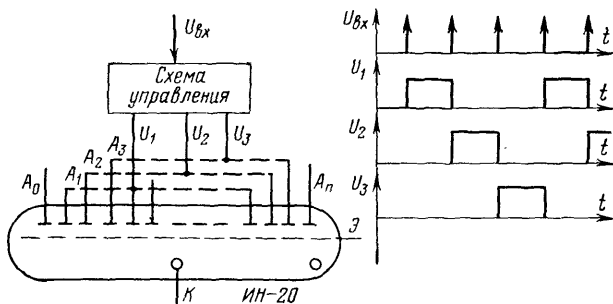


Рис. 3-18. Принцип работы дискретного ЛГИ.

Одной из последующих разработок ЛГИ дискретного типа является прибор типа ИН-26, отличающийся от прибора ИН-20 возможностью осуществлять фиксацию начала светящегося столба с обоих концов индикаторной шкалы прибора. Для обеспечения этого прибор ИН-26 подключается следующим образом: на первую группу анодов подается первый выход со схемы управления, на вторую — второй, на третью — третий, на четвертую — четвертый, на нулевой анод — выход «сброс» и на вспомогательный катод B_v — отрицательное смещение.

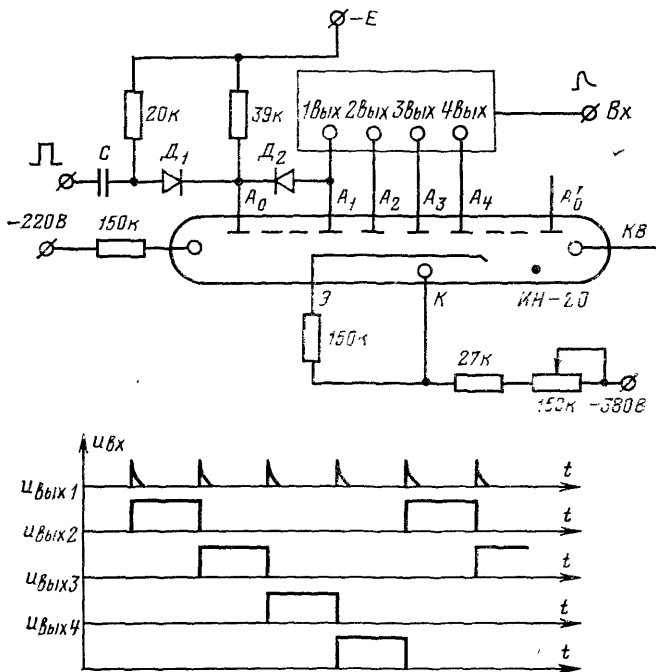


Рис. 3-19. Схема включения и временная диаграмма работы прибора ИН-26.

Схема включения прибора ИН-26 и временная диаграмма, иллюстрирующая его работу, показаны на рис. 3-19. Прибор ИН-26 работает следующим образом: при подаче питающего напряжения не менее 380 В на катод разряд зажигается между катодом и одним из анодов, например A_1 , принадлежащим ко второй группе анодов, потенциал которой в этот момент выше, чем у трех других групп (соответствующее состояние схемы управления — 0100, где 1 — высокий уровень, а 0 — низкий уровень напряжения на соответствующих выходах схемы).

С приходом первого счетного импульса кольцевая схема управления переходит в следующее устойчивое состояние 0010 и потенциал анодов, относящихся к третьей группе, оказывается выше по-

тенциала анодов второй группы. В результате разряд с анода A_1 переходит на анод третьей группы, ближайшей к горящему промежутку A_2 . Разряд на аноде A_2 горит, пока следующий счетный импульс не переводит схему в устойчивое состояние 0001 и разряд не переместится на соседний анод группы A_3 и т. д.

Таким образом, разряд последовательно проходит все аноды. Сброс разряда на A_0 осуществляется следующим образом. Импульс сброса поступает на анод A_0 . При этом одновременно схема управления должна перейти в состояние 1000, в результате чего высокий потенциал первой группы через диод передается на A_0 и компенсирует отрицательное напряжение смещения. После окончания импульса разряд остается на аноде A_0 до тех пор, пока управляющая схема не перейдет в состояние 0100.

Для получения светящегося столбика, длина которого несет информацию об измеряемой величине, необходим специальный режим управления. В этом случае на схему управления прибором должны подаваться пачки импульсов с частотой следования 50 Гц. Частота импульсов в самой пачке равна 15 кГц. Число импульсов в пачке n характеризует длину столба и должно определяться соответствующим значением измеряемой величины.

При поступлении первой пачки разряд последовательно перемещается от нулевого до n -го анода. Затем на нулевой анод приходит импульс сброса, который сбрасывает разряд на нулевой анод. После прохождения импульса сброса разряд остается гореть на нулевом аноде до тех пор, пока не придет следующая пачка импульсов. Далее процесс повторяется, и поскольку частота повторения пачек выше критической частоты мигания, наблюдаемое свечение столбика не мерцает.

Обновление информации на приборе происходит с частотой 50—60 Гц, что позволяет сформировать вдоль шкалы светящийся столбик, длина которого при определенной частоте заполнения будет пропорциональна измеряемому напряжению.

Знаковые индикаторы

Отечественной промышленностью освоен выпуск газоразрядных индикаторов тлеющего разряда с широким ассортиментом знаков, символов и цифр. Наибольшее применение в промышленности и быту нашли знаковые индикаторы, имеющие обозначение ИН (индикаторы неоновые). Отдельные типы приборов различаются цифрой, обозначающей порядковый номер разработки.

Принцип работы и конструкция. Знаковые индикаторы тлеющего разряда — приборы, позволяющие не только высветить цифры от 0 до 9, но и имеющие наиболее удобную конфигурацию цифр для чтения, которая определяется самой конструкцией лампы, где отображаемые цифры, являясь катодами прибора, выполняются целиком (а не из отдельных сегментов, отрезков) в соответствии с ГОСТ на наиболее удобном для считывания виде шрифтов. Другие типы индикаторов тоже могут создавать изображение цифры целиком, но при этом на одном знакоместе (например, электролюминесцентном индикаторе) будет высвечиваться только один знак или цифра. В индикаторах других типов используется синтезированное (состоящее из отдельных сегментов) изображение цифр от 0 до 9.

Газоразрядные знаковые индикаторы имеют пакетную конструкцию. Недостатком такой конструкции является видимое различие при визуальном восприятии цифр, расположенных на разной глубине. Особенно ощутимым это становится при расположении нескольких индикаторов в ряд, когда информация поступает на каждый отдельный индикатор, и воспринимаются человеком как единое число, но с расположенными на различной глубине цифрами.

Принцип работы и конструкция у всех индикаторов серии ИН одинаковы и их можно рассмотреть на примере лампы ИН-7, изображенной на рис. 3-20. Знаковые индикаторы представляют собой

приборы, имеющие один общий анод, выполненный в виде тонкой, редкой сетки, и несколько катодов, с конфигурацией в форме цифр и знаков. Они расположены стопкой в глубину один за другим. В ряде конструкций для улучшения характеристик анод лампы выполняется из двух частей, электрически соединенных между собой.

При подаче рабочего напряжения на анод и один из индикаторных катодов между ними в газовой среде возникает разряд. Катод, в данном случае, фигурный и выполнен в форме знака. Вид свечения тлеющего разряда внутри баллона имеет форму катода. Коммутируя напряжения

Рис. 3-20. Внешний вид и конструкция индикатора ИН-7.

1 — анод; 2 — катоды.

на разные катоды, можно получить смену изображений цифр на одном знакоместе (в одном баллоне лампы). Форма катодов, их взаиморасположение выбирается такими, чтобы создать лишь минимальное перекрытие (экранирование) цифр, букв, расположенных в глубине пакета. В одной лампе располагаются пакетом (один за другим) до 10 знаков (букв).

Свечение тлеющего разряда у работающего катода имеет ширину до 2 мм, остальные (негорящие) катоды экранируют при этом на себя не более 20% светового потока.

Цвет свечения знаков в индикаторах зависит от наполняющего их газа. В настоящее время большинство знаковых индикаторов имеют оранжево-красный цвет свечения. После откачки газов из баллона его наполняют смесью инертных газов (неон — 99%, аргон — 0,5% и гелий — 0,5%). В конкретных конструкциях цифровых индикаторных устройств для изменения цветности могут применяться наружные светофильтры или покрытия баллона индикатора цветным лаком.

Аноды индикаторов изготавливаются из никелевой проволоки, а катоды — из нихрома или титана. Иногда в знаковых индикаторах для уменьшения распыляемости материала катода и повышения долговечности в состав наполняющих баллон газов дополнительно вводят пары ртути. Это увеличивает долговечность индикаторов до тысяч часов.

В процессе эксплуатации рабочий ток не должен выходить за пределы, указанные в справочных данных. При больших значениях

тока возможен такой уход в области аномального тлеющего разряда, при котором значительно возрастает распыление материала катода и сокращается долговечность прибора. С другой стороны, снижение рабочего тока также недопустимо, так как в процессе работы поверхности катодов загрязняются и для обеспечения полного свечения всей поверхности потребуются несколько большее напряжение горения. Поэтому рабочий ток должен превышать значение тока индикации — ток через прибор, при котором разрядное свечение полностью покрывает катоды (цифры, символы, буквы, знаки).

В ряде случаев питание анода производят импульсным напряжением. В таком режиме длительность импульса должна быть не менее 100 мкс при среднем токе 1—2 мА и амплитуде не более 15 мА. С уменьшением длительности импульса (менее 100 мкс) резко возрастает ток индикации, что требует соответствующего увеличения амплитудного значения рабочего тока.

Для нормальной работы знакового индикатора тлеющего разряда необходима определенная начальная ионизация, снижающая время запаздывания зажигания разряда. Такая ионизация обычно создается за счет внешнего освещения. В темноте время запаздывания зажигания увеличивается и может составлять до 1 с.

Основные характеристики серийно выпускаемых знаковых газоразрядных индикаторов приведены в табл. 3-6. Все приведенные в таблице цифровые приборы имеют катоды в форме арабских цифр от 0 до 9. С римскими цифрами газоразрядные индикаторы не выпускаются. Индикаторы с торцевой индикацией, в которых минимальное расстояние между осями расположенных рядом приборов велико по отношению к размеру цифровых электродов, целесообразно применять в аппаратуре с небольшим количеством цифровых разрядов, а также в многоразрядных (когда индикаторная панель набирается из нескольких отдельных знаковых приборов) индикационных системах.

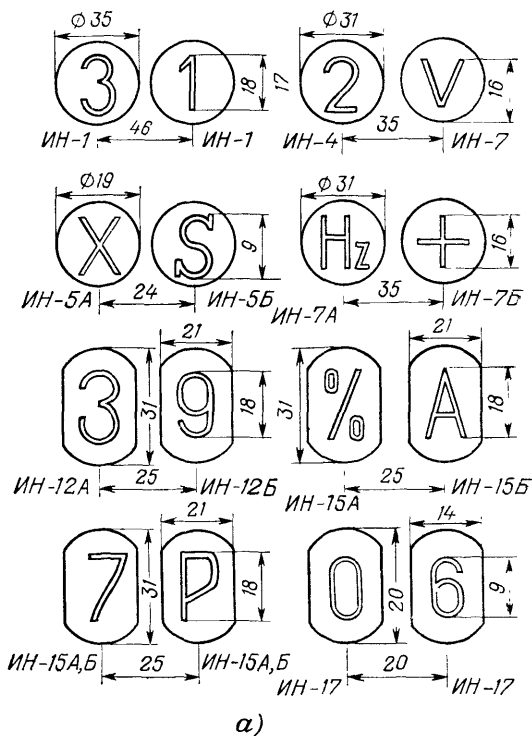
Единый по форме прямоугольный баллон у индикаторов типов ИН-11, ИН-12А, ИН-12Б, ИН-15А, ИН-15Б позволяет более удобно производить компоновку многоразрядных индикаторных приборов, создать сочетание из рядом стоящих букв и цифр отображение физических и электрических величин, улучшить читаемость информации. Группа приборов с «боковой индикацией» — ИН-8, ИН-8-2, ИН-14, ИН-16, ИН-18 — широко используется в многоразрядной аппаратуре, например в настольных электронных счетно-клавишных машинках, где из этих ламп набирается ряд цифр до 12—16 разрядов.

В связи с большим расширением выпуска различных счетно-вычислительных устройств возникла необходимость индикации не только чисто цифровых данных, но и отображения при этом знаков «+», «—», «%», а также сокращенных обозначений основных электрических и физических величин. Поэтому выпуск знаковых индикаторов типов ИН-5А, ИН-5Б, ИН-7, ИН-7А, ИН-7Б, ИН-11, ИН-15А, ИН-15Б и особенности ламп ИН-19А, ИН-19Б и ИН-19В значительно расширил диапазон применения газоразрядных индикаторов. В сочетании с цифровыми эти буквенные и знаковые индикаторы позволяют отобразить практически всю необходимую информацию. Наличие дополнительного электрода — «запятая» — в индикаторах типов ИН-8-2, ИН-12Б, ИН-14 позволяет упростить

Основные параметры знаковых газоразрядных индикаторов

Тип прибора	Индигируемые знаки	Наибольшее напряжение зажигания, В	Рабочий ток, мА	Габариты (длина и диаметр), мм	Высота знака, мм	Угол наблюдения, град	Вид индикации	Форма колбы
ИН-1	0, 1, 2, ..., 9	200	2,5—3,0	$l = 65$ $\varnothing = 30,5$	18	± 30	Торцевая	Круглая с цоколем
ИН-2	0, 1, 2, ..., 9	200	1,5—2,0	$l = 35,5$ $\varnothing = 17$	9	± 25	"	Круглая бесцокольная с жесткими выводами
ИН-4	0, 1, 2, ..., 9	170	2,5—3,0	$l = 46$ $\varnothing = 31$	17	± 30	"	То же
ИН-5А	X, x, 0, a, Z	220	1,5	$l = 35$ $\varnothing = 19$	9	—	"	" "
ИН-5Б	B, 0, Y, y, S	200	1,5	$l = 35$ $\varnothing = 19$	9	—	"	" "
ИН-7	+, —, %, n, K, m M, A, Q, V	170	2,5—4,0	$l = 46$ $\varnothing = 31$	18	—	"	" "
ИН-7А	+, —, П, K, M, μ, m	170	2,5—4,0	$l = 46$ $\varnothing = 31$	18	—	"	" "
ИН-7Б	H _Z S, Q, V	170	2,5—4,0	$l = 46$ $\varnothing = 31$	18	—	"	" "
ИН-8	0, 1, 2, ..., 9	170	2,5—3,5	$l = 55$ $\varnothing = 17$	18	± 30	Боковая	" "
ИН-8-2	0, 1, 2...9 и „запятая“	170	0,3—3,5	$l = 55$ $\varnothing = 17$	18	± 30	"	Круглая бесцокольная гибкими выводами
ИН-11	n, m, K, μ, H _Z H, S, A, V	170	3—3,5	$31 \times 36 \times 28$	9×14	± 25	Торцевая	Прямоугольная

Тип прибора	Индцируемые знаки	Наибольшее напряжение зажигания, В	Рабочий ток, мА	Габариты (длина и диаметр), мм	Высота знака, мм	Угол наблюдения, град	Вид индикации	Форма колбы
ИН-12А	0, 1, 2, ..., 9	170	2,5—3,0	35×31×21	18	±30	Торцевая	Прямоугольная с жесткими выводами
ИН-12Б	0, 1, 2, ..., 9 и „запятая“	170	0,3—0,5 2,5—3,0	35×31×21	18	±30	„	То же
ИН-14	0, 1, 2, ..., 9 и две „запятые“	170	0,3—2,5	$l = 54,5$ $\varnothing = 19$	18	±30	Боковая	Круглая бесцокольная с гибкими выводами
ИН-15А	р, Р, —, +, м, К, М, П, %, п	170	2,5—3,5	28×21×31	18	—	Торцевая	Прямоугольная с жесткими выводами
ИН-15Б	W, F, H ₂ , V, S, A, Q, H	170	2,5—3,5	26×21×31	18	—	Торцевая	Прямоугольная с жесткими выводами
ИН-16	0, 1, 2, ..., 9 и две „запятые“	170	0,3—2,0	$l = 41,5$ $\varnothing = 12,5$	13	±30	Боковая	Круглая бесцокольная с гибкими выводами
ИН-17	0, 1, 2, ..., 9	170	1,5	20×14×22	9	±25	Торцевая	Круглая с гибкими выводами
ИН-18	0, 1, 2...9	170	2,5—4	$l = 72$ $\varnothing = 30$	45	±30	Боковая	Круглая с плоскими выводами
ИН-19А	п, м, р, °С, %, К, М, Р,	170	2,5	$l = 52$ $\varnothing = 18$	18	±30	„	Круглая с гибкими выводами
ИН-19Б	Н, А, Q, H ₂ , S F, T, V	170	2,5	$l = 52$ $\varnothing = 18$	18	±30	„	То же
ИН-19В	∞—, +, А/В, %, dB, П, <	170	2,5	$l = 52$ $\varnothing = 18$	18	±30	„	„ „



а)

Рис. 3-21. Изображение индикаторов и
а — с торцевым свечением; б — свечение

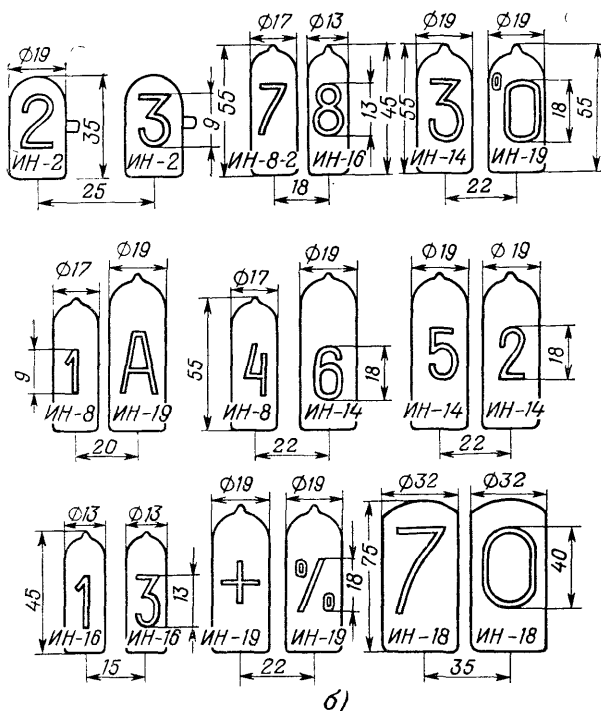
индикационный блок, ибо отпадает необходимость в использовании отдельных приборов для индикации «запятой».

Особенностью прибора ИН-14 являются две «запятые», одна из которых может быть использована для уменьшения времени запаздывания зажигания разряда. Для устройств, работающих в условиях повышенных климатических и механических нагрузок, можно рекомендовать приборы типов ИН-8, ИН-8-2, ИН-12А, ИН-12Б, ИН-14.

Практически в измерительной аппаратуре знаковые индикаторы располагаются по несколько штук в ряд. При этом для конструктора миниатюрного цифрового прибора важен размер межсоевого расстояния между двумя рядом стоящими индикаторами. На рис. 3-21 показаны внешние виды и межсоевые расстояния двух рядом стоящих знаковых индикаторов.

На рис. 3-21,а приведены приборы с торцевой индикацией, а на рис. 3-21,б — с боковой, позволяющей высвечивать более крупные цифры и символы.

Соединение электродов индикаторных ламп с выводами приводится в табл. 3-7.



б)

межосевые расстояния между ними.
через боковую поверхность.

Одним из путей усовершенствования знаковых газоразрядных индикаторов является создание многоразрядных индикаторов, у которых в одном баллоне располагаются до 9—16 разрядов цифр или букв. При этом изображение знака состоит из отдельных сегментов и находится в одной плоскости по отношению к глазу наблюдателя.

Схемы управления знаковыми индикаторами. В зависимости от конструкции данного типа изделия схема управления индикаторами может быть контактной или бесконтактной.

Например, в серийно выпускаемом вольтметре типа ВК2-17 для коммутации знаковыми индикаторами применяются реле типа РЭС-32. Вообще применение релейных схем управления оправдано для устранения возможности возникновения паразитного свечения.

Вариант схемы кольцевого счетчика, выполненного на тиратронах типа ТХ-18А и управляющего цифровым индикатором ИН-14, приведен на рис. 3-22,а.

Особенностью подобных схем является то, что тиратроны являются не только ключами схемы, но и позволяют визуально контролировать работоспособность схемы. Достоинством схемы яв-

Номер вывода	Тип инди										
	ИН-1	ИН-2	ИН-4		ИН-5А	ИН-5Б	ИН-7	ИН-7А	ИН-7Б	ИН-8	ИН-8-2
			одно-анодное	двух-анодное							
1	1	1	4	4	Z	S	%	M	—	1	—
2	2	2	6	6	a	B	Анод	Анод	Анод	2	1
3	3	3	8	8	X	У	—	—	—	3	2
4	4	4	—	Экран	Анод	Анод	+	+	—	4	3
5	5	5	9	9	0	0	m	m	H _Z	5	4
6	6	6	7	7	—	—	A	%	—	6	5
7	7	7	—	—	x	y	—	—	—	7	6
8	8	8	0	0	—	—	—	—	—	8	7
9	9	9	2	2	—	—	M ₂	μ	V	9	8
10	0	0	—	Анод II	—	—	—	—	—	0	8
11	Анод	Анод	3	3	—	—	Ω	—	—	Анод	9
12	—	—	5	5	—	—	п	К _п	Ω	—	0
13	—	—	Анод I	Анод I	—	—	K	п	—	—	Анод
14	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—

ляются использование внутренней «памяти», тиратронов, значительное снижение статистического времени запаздывания зажигания разряда в индикаторе за счет высокого напряжения питания. Наличие сравнительно большого количества элементов, потребление более высокой, чем в полупроводниковых схемах мощности и низкая скорость счета являются параметрами, существенно ограничивающими широкое применение схем управления индикаторами на

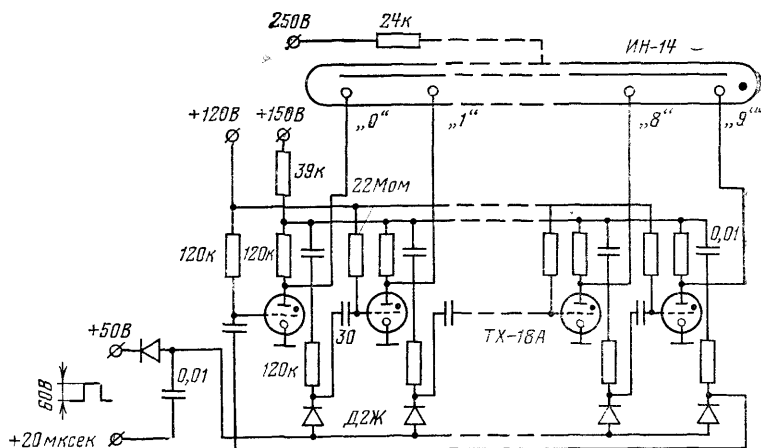


Рис. 3-22. Кольцевые
а — на тиратронах TX18A для управления индикатором ИН-14;

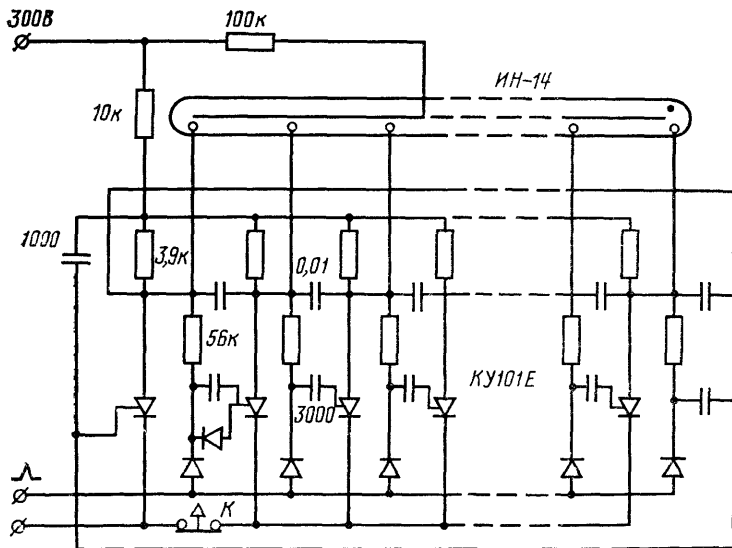
газоразрядных индикаторов с выводами

катора

ИН-12А	ИН-12Б	ИН-14	ИН-15А	ИН-15Б	ИН-16	ИН-17	ИН-18	ИН-19А	ИН-19Б	ИН-19В
Анод 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 — —	Анод 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1 — —	Анод 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 —	Анод P F H Z M V K П % n — —	Анод W F H Z H V S — A — —	Анод 1 7 3 4 5 6 2 8 9 0 —	Анод 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 — —	7 8 9 Анод 0 1 2 3 4 5 Анод 6	Анод — п — К — C % M P — m —	Анод — H — A — H Z S F T — —	Анод — — — — — — — — — — — — —

тиратронах. Поэтому подобные схемы не нашли широкого применения.

На рис. 3-22,б дана схема кольцевого счетчика, непосредственно управляющего цифровыми индикаторами, построенная на тиристо-



счетчики.

б — на тиристорах КУ101Е с индикацией на ИН-14.

рах типа КУ101Е. В схемах управления индикаторами на тиратронах и тиристорах скорость счета не превышает 1 кГц.

Современное состояние полупроводниковых элементов позволяет широко применять транзисторные и интегральные микросхемы для управления цифровыми индикаторами. Перспективным для газоразрядных знаковых индикаторов следует считать создание и выпуск многоразрядных (в одном баллоне) приборов и ламп с синтезированным, состоящим из многих отдельных сегментов-катодов символов.

Несмотря на некоторые конструктивные и эксплуатационные недостатки, знаковые газоразрядные индикаторы в настоящее время получили весьма широкое распространение за счет небольших размеров, высокой яркости свечения и контрастности изображения, удобного вида цифр и знаков, большой скорости срабатывания и малого потребления энергии.

Глава четвертая

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ

Общие свойства жидких кристаллов. Все рассматриваемые до сих пор индикаторные приборы преобразовывали поступающий электрический сигнал в видимое визуальное свечение. В настоящее время появился новый вид индикаторных устройств, не излучающих собственный свет, а преломляющих падающий или проходящий сквозь них свет. Изображение образуется за счет контраста между участками с приложенным напряжением и теми, где оно отсутствует.

Основой для создания таких индикаторов послужили так называемые жидкокристаллические вещества. Это некоторые классы химических веществ, которые в границах определенного температурного режима имеют физические свойства жидкости (текучесть, каплеобразование) и в то же время обладают свойствами правильной молекулярной структуры кристаллов, т. е. имеют правильную геометрическую структуру решетки молекулы. Короче, можно сказать, что они обладают текучестью воды и оптическими свойствами кристаллов.

Жидкие кристаллы встречаются в природе довольно часто (примерно каждое 200-е органическое вещество — это ЖК). Известно свыше 3 тыс. соединений, образующих ЖК.

Структура жидкокристаллического вещества достаточно подвижна, легко изменяется под воздействием электрического и магнитного полей, механических воздействий, ультразвука. Следовательно, можно создать индикаторные приборы, которые будут легко изменять свои параметры под воздействием слабых управляющих полей.

Жидкокристаллическое или мезофазное состояние наблюдается у этих веществ только в определенном диапазоне рабочих температур, ниже которой они переходят в твердое, кристаллическое состояние, а выше становятся изотропными жидкостями. Молекулы ЖК, имея удлинненную форму, обладают дипольным моментом (положительные и отрицательные заряды сосредоточены на противоположных концах молекулы), который образует некоторый угол с осью молекулы. Ориентация дипольного момента изменяется в зависимости от приложенного напряжения.

Жидкокристаллические вещества подразделяются на: смектические, нематические и холестерические. Практически только последние находят применение в индикаторах.

Центры тяжести молекул нематических ЖК расположены хаотично, так же как у изотропных жидкостей, но молекулы стремятся ориентироваться параллельно друг другу своими длинными осями. При этом тонкий слой нематического ЖК прозрачен, поскольку в нем почти отсутствует изменение направления ориентации молекул.

В нематических ЖК при постоянном или переменном электрическом поле, направленном перпендикулярно поверхности электродов, между которыми заключен тонкий слой ЖК, возникает система параллельных светлых и темных полос или какой-либо другой формы. Такие участки называют доменами. Причина образования доменов заключается в том, что нематическая фаза в электрическом поле теряет механическое равновесие и в ней возникают гидродинамические течения. Дальнейшее повышение приложенного напряжения ведет к разрушению доменов, вещество становится неоднородным и рассеивает свет во всех направлениях. Это состояние названо динамическим рассеиванием.

Холестерические ЖК имеют молекулярную структуру, аналогичную нематическим ЖК, но у веществ этого типа оси молекул каждого слоя повернуты относительно предыдущего на определенный угол, т. е. вся структура дополнительно закручена вокруг оси, перпендикулярной длинным осям молекул.

Холестерические ЖК также нашли практическое применение в индикаторных приборах, так как при освещении белым светом они будут казаться окрашенными в отраженном свете, цвет и окраски будут меняться в зависимости от изменения угла наблюдения. Кроме того, они позволяют непосредственно превращать ультрафиолетовое и инфракрасное излучение в видимое.

Конструкция жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ). По конструкции индикатор с ЖК веществом подобен конденсатору, в котором между двумя стеклянными пластинами, внутренняя поверхность которых покрыта электропроводящим слоем (электродами), находится слой жидких кристаллов толщиной около 10—20 мкм.

Поскольку толщина слоя ЖК мала, в индикаторах предъявляются очень жесткие требования к плоскопараллельности стекол.

В качестве электропроводящего покрытия (электродов) наносится пленка из окиси олова. Один электрод должен быть достаточно прозрачным, чтобы сквозь него на поверхности стекла можно было наблюдать изображение. Второй электрод может пропускать или отражать свет. Нанесенный слой никеля или алюминия используется для отражения света. В связи с тем, что толщина слоя ЖК равна нескольким мкм, он удерживается между стеклянными пластинами за счет капиллярных сил. Сами пластины помещаются в герметичный корпус, а все выводы от коммутируемых электродов выводятся на разъем.

Обычно ЖКИ работают по принципу пропускания света (рис. 4-1,а). В этом случае раствор ЖКИ заливается между двумя прозрачными электродами, расположенными на расстоянии около 10 мкм один от другого. К электродам подводится напряжение около 10—15 В. На электрические свойства ЖКИ влияют различные загрязнения, поэтому ЖКИ должен быть герметичен. Прокладки

между пластинами изготавливаются из тефлона, майлара или каких-либо других аналогичных изоляционных материалов.

Индикатор, изображенный на рис. 4-1,б, является прибором отражательного типа. Один из двух электродов является отражающим, на другом формируются цифры или различные знаки. Изображение может состояться из отдельных сегментов. Подвергающиеся воздействию напряжения участки раствора ЖК становятся непрозрачными и отражают внешний свет, остальные участки остаются прозрачными.

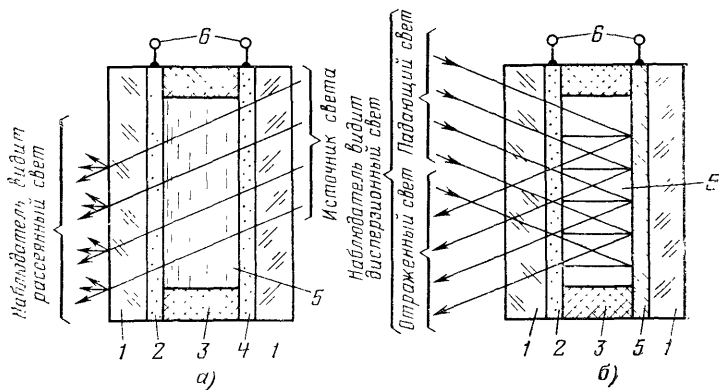


Рис. 4-1. ЖКИ, работающий по принципу.

а — пропускания света; б — отражения света; 1 — стекленная пластина; 2 — прозрачный электрод; 3 — изоляционная прокладка; 4 — прозрачный электрод; 5 — слой ЖК; б — выводы.

Динамическое рассеяние ЖК объясняется колебаниями значения показателя преломления. Диаметр отдельных областей равен примерно 5 мк. Основная часть падающего света (около 95%) рассеивается вперед. За критерий способности рассеяния ЖК принимают диапазон контрастности. В благоприятных условиях он составляет 1:20. Видимость показаний индикатора на ЖК зависит от условий внешней освещенности. Наиболее удобно смотреть на экран индикатора под углом от 0 до $\pm 45^\circ$ (от перпендикуляра, мысленно опущенного на экран).

Время возбуждения и время затухания ЖКИ зависит от состава ЖК, окружающей температуры, толщины слоя, электрической проводимости, напряженности приложенного поля и качества поверхности пластин, покрытых пленкой на основе окиси олова. Как правило, время нарастания контраста составляет 20—90 мс, время затухания значительно больше 5—200 мс.

Для практического применения ЖКИ большую роль играет долговечность ЖК. Полагают, что долговечность составляет не менее 10^3 ч и около 10^6 включений.

Схемы управления ЖКИ. В электронных и особенно микроминиатюрных устройствах в последнее время очень широко применяются различные интегральные микросхемы (ИМС), позволяющие резко сократить объем аппаратуры. Отдельные индикаторы на ЖК могут управляться от обычных полупроводниковых схем, ибо их

рабочее напряжение лежит в пределах 20—30 В. ЖКИ, так же как и светодиоды, полностью согласуются по электрическим параметрам с ИМС, что позволяет создавать компактные приборы.

На международных выставках «Полимеры-74», «Связь-75», проведенных в Москве, многие фирмы демонстрировали карманные ЭВМ, различные малогабаритные счетные машинки и калькуляторы. Устанавливаемые там ЖКИ имеют, как правило, до 12—19 цифровых разрядов.

Управление таким количеством цифр, учитывая, что каждая из них состоит из 7—8 отдельных сегментов, сводится к коммутации 100—140 отдельных сегментов, что становится соизмеримым по сложности со схемой управления матрицей. Обычно при коммутации сигналов в матрице (матричном экране) используется поэлементная или построчная схема управления.

В первом случае на каждый элемент матрицы информация поступает один раз за период кадровой развертки, во втором — информация для всей строки записывается в регистр, а затем параллельно выдается на все элементы строки. Для построчного вида управления необходимы более сложные схемы коммутации, однако время адресации для каждого элемента матрицы значительно больше, чем при поэлементной адресации, что особенно важно, если принять во внимание инерционность ЖКИ. При возбуждении элементов ЖК индикатора короткими импульсами их длительность может оказаться недостаточной для установления режима. С этим и связаны определенные трудности построения динамических схем управления ЖКИ.

Конструктивно схемы управления небольших индикаторов можно сделать отдельно, соединяя затем с ЖКИ через разъем или проводами.

Большой индикаторный экран желательно изготавливать совместно со схемой управления, применяя методы интегральной технологии. При этом одним из возможных технологических решений может быть использование нижней пластины индикатора в качестве подложки для напыления тонких полупроводниковых пленок. Проведенные эксперименты не позволяют говорить пока о практическом применении такого метода, ибо тонкопленочные схемы не обеспечивают требуемых характеристик экрана.

Другим решением, при котором возможно максимальное объединение ЖК индикатора со схемами управления, является нанесение ЖК поверх интегральных микросхем на МОП-транзисторах. В результате был создан индикаторный элемент, имеющий меньшие размеры, чем типовое устройство отображения на ЖК.

Достоинства и недостатки жидкокристаллических приборов.
К основным достоинствам ЖКИ относятся:

1) малая потребляемая мощность (эффект возникновения доменов происходит при воздействии напряжений около 5—7 В, динамического рассеяния — при напряжениях 10—20 В);

2) возможность считывания показаний при высокой внешней освещенности (вплоть до яркого солнечного освещения);

3) простота изготовления одноцветных ЖКИ;

4) малая потребляемая мощность;

5) отсутствие механических движущихся элементов, нагревательных и высоковольтных цепей, что обеспечивает высокую надежность;

6) малый конструктивный объем, позволяющий значительно сократить массу и габариты индикатора;

- 7) возможность автономного питания;
- 8) совместимость с интегральными микросхемами за счет низкого рабочего напряжения.

К недостаткам ЖКИ можно отнести:

- 1) большое время включения и выключения, не позволяющее эффективно отображать динамическую информацию;
- 2) ограниченный диапазон рабочих температур.

Перспективы применения жидкокристаллических индикаторов.

По мнению специалистов ЖКИ применяются и будут еще шире использоваться в самой различной аппаратуре отображения информации, главным образом, благодаря малой мощности, низкому напряжению и возможности индикации при высоком уровне внешнего освещения. Технология изготовления ЖКИ не сложнее технологии производства электролюминесцентных индикаторов. Поэтому ЖКИ могут значительно потеснить светонезлучающие диоды, газоразрядные лампы и другие элементы индикации.

Выпускаемые в настоящее время ЖКИ (типов ЦИЖ-2 и ЦИЖ-6) нашли широкое применение в часовой промышленности. Современные электронные часы состоят из следующих основных узлов: источника питания, как правило, аккумулятора со сроком действия не менее одного года; источника частоты — кварцевого генератора с точностью около нескольких секунд в год; электронной схемы регистрации времени (секунд, минут, часов, дней), вырабатывающей сигналы напряжения для возбуждения индикаторов.

Характерной особенностью электронных часов с использованием ЖКИ является новый вид индикации времени — цифровой. За последнее время часы с обычной циферблатной системой (12 отметок для часов и минут, две-три стрелки, дата и т. д.) постепенно стали вытесняться часами с цифровым отсчетом. Отображение происходит на четырех- или шестиразрядном цифровом индикаторе, на котором первые две цифры соответствуют значению часов, две другие — минут. Секунды могут отображаться еще двумя разрядами или просто мигающей точкой.

Есть варианты часов, где циферблат с ЖКИ работает на «проект» и поэтому выполняется с задней подсветкой от микроминиа-турной лампочки, которая с целью экономии энергии включается только по запросу.

В различных литературных источниках имеются краткие описания электронных часов с индикацией на ЖКИ.

Например, описывается опытный образец часов, в котором вместо круглого циферблата со стрелками имеется прямоугольный индикатор с четырьмя «окнами» для отображения цифр: две для часов и две для минут. Высота цифр около 6,25 мм, а ширина 4 мм. Цифры, хорошо различимые на темном фоне, образуются из семи сегментов, омическое сопротивление каждого от 500 до 700 Ом. Мощность, потребляемая цифрой, около 20 мВт. В электронной схеме управления использованы интегральные микросхемы на МОП-транзисторах. Гарантированный срок службы аккумулятора питания около 1 года. Точность хода примерно 1 мин в год.

В ручных электронных часах «Электроника» индикатор на ЖК также управляется логическими ИМС на МОП-транзисторах. Индикатор имеет четыре разряда: первый и второй показывают минуты, третий — часы от 0 до 9, четвертый — десятки часов при индикации 10, 11, 12. Длина индикатора 28 мм, высота цифр 5,8 мм. Питается он от 1,5 В аккумулятора с преобразователем, повышаю-

щим напряжение до 15 В (уровень, необходимый для возбуждения данной жидкокристаллической нематической структуры). Индикатор может работать без смены аккумулятора в течение 1 года.

В Японии выпускают опытные партии электронных часов с индикаторами на ЖК. Эти часы имеют кварцевый генератор, частота которого (16 384 Гц) длится до получения импульсов с частотой следования в 1 с. Четырнадцатикаскадный делитель выполнен на интегральных микросхемах. Кроме того, в электронную схему входят два счетчика с пересчетом на 60 (минутный и секундный), счетчик часов с пересчетом на 12 или 24, дешифратор, формирователь сигналов для ЖКИ, схема повышения напряжения двух серебряно-окисных батарей с 3 до 15 В.

Всего используется около 16 схем на МОП-транзисторах, важным достоинством которых является то, что они потребляют энергию только при переключении. При включении ЖКИ на каждый знак ответвляется ток 0,1 мкА. Ток, потребляемый кварцевым генератором, составляет около 1 мкА, делителем — 0,5 мкА. Общее потребление тока приблизительно равно 20 мкА. Индикатор может эксплуатироваться в течение нескольких лет. Рабочий диапазон температур ЖК составляет от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$. Вся электронная схема часов может быть размещена на одной-двух больших ИМС.

В электронных часах первого поколения интегральные микросхемы монтировались на корпусе, в часах второго поколения предполагается монтировать их на самом индикаторе.

Широкому распространению электронных часов с циферблатом на ЖКИ способствовала возможность работать при постоянной температуре, определяемой постоянством температуры руки человека.

В настоящее время производство ручных электронных часов в нашей стране и за рубежом интенсивно увеличивается.

В недалеком будущем ЖК найдут широкое применение в измерительных приборах с батарейным питанием в рекламных щитах и световых табло, устанавливаемых в магазинах, в дорожных знаках, на бензоколонках.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава первая. Общие сведения и некоторые инженерно-психологические рекомендации по применению элементов индикации	5
Общие сведения об элементах индикации	5
Некоторые инженерно-психологические требования к элементам индикации	14
Глава вторая. Электролюминесцентные индикаторы	19
Общие сведения	19
Светоизлучающие диоды	45
Вакуумные люминесцентные индикаторы	59
Глава третья. Газоразрядные элементы индикации	75
Газоразрядные неоновые индикаторы	75
Газоразрядные цветные сигнальные индикаторы	82
Индикаторные тиратроны тлеющего разряда	87
Линейные газоразрядные индикаторы	95
Знаковые индикаторы	105
Глава четвертая. Жидкокристаллические индикаторы	114

Борис Львович Лисицын

Элементы индикации

Редактор *Ф. М. Яблонский*

Редактор издательства *Н. В. Ефимова*

Обложка художника *А. А. Иванова*

Технический редактор *О. Д. Кузнецова*

Корректор *Н. И. Курдюкова*

ИБ № 1391

Сдано в набор 25/VII 1977 г. Подписано к печати 15/XII 1977 г.

Т-20347 Формат 84×108^{1/32} Бумага типографская № 1

Усл. печ. л. 6,3 Уч.-изд. л. 8,39

Тираж 45 000 экз. Зак. 243 Цена 65 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.