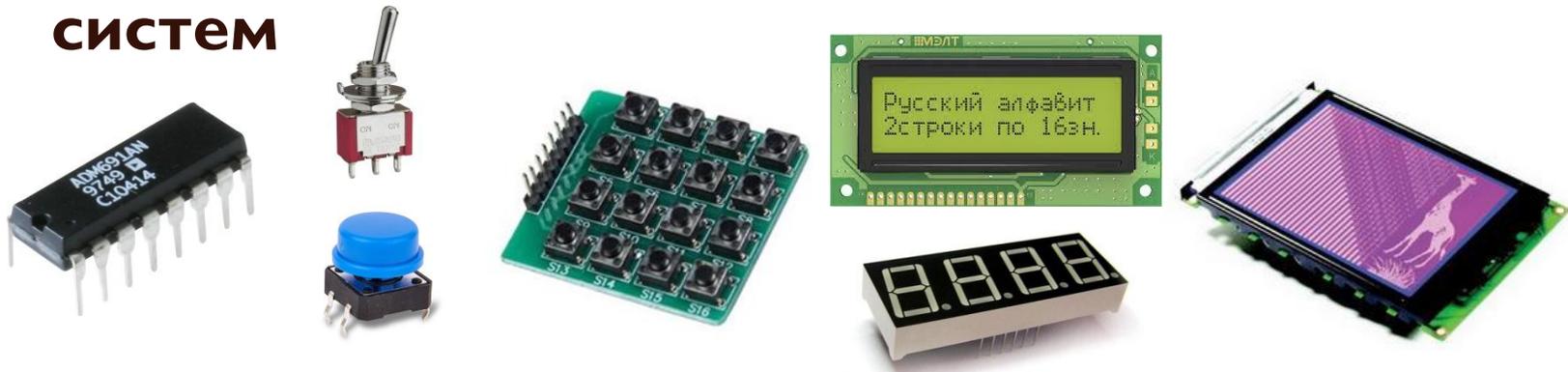


Микропроцессорная техника в приборах, системах и комплексах

Лекция 13

Практические вопросы построения МП систем



Ушаков Андрей Николаевич, старший преподаватель кафедры
303

Рассматриваемые вопросы

- Особенности питания микропроцессорной системы
 - Супервизоры питания
- Системы ввода информации
 - Виды клавиатур
 - Простейшие переключатели
 - Дребезг контактов
 - Матричная клавиатура
- Системы индикации
 - Одиночный светодиод
 - Сегментные индикаторы
 - Матричные индикаторы
 - Жидкокристаллические индикаторы

Особенность микропроцессорной техники

Системам питания микропроцессорных узлов в преобразовательной технике предъявляются особые требования, связанные с тем, что микропроцессорам приходится работать в условиях повышенных электромагнитных помех, создаваемых силовыми преобразователями.

Особенностью микропроцессорной техники является ее склонность к невосстанавливаемым сбоям. Даже единичная помеха на шинах адреса или данных или изменение напряжения питания вне допустимых пределов могут привести к полной потере работоспособности устройства.

Меры

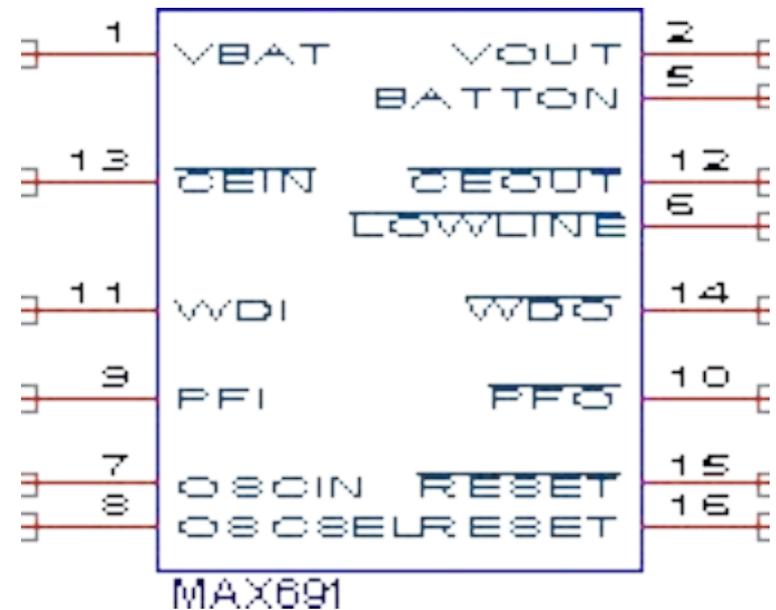
Поэтому необходимо применять дополнительные меры для исключения подобных ситуаций. К этим мерам относятся:

- экранирование микропроцессорной части системы во избежание электромагнитных помех;
- гальваническая развязка и стабилизация цепей питания на плате контроллера во избежание наводок и падения напряжения на длинных линиях кабелей питания;
- резервное питание от аккумуляторов во избежание пропадания питания системы при авариях блока питания;
- контроль напряжений питания во время работы системы и возможность аварийного сброса системы при пропадании питания;
- контроль выполнения программного алгоритма функционирования системы и возможность аварийного сброса системы при нарушении алгоритма функционирования.

Супервизоры питания

Описанные меры реализуются специальными конструктивными и схемотехническими средствами. Для реализации комплексных схемотехнических и программных мер предотвращения сбоев работы МП систем были разработаны специальные микросхемы, называемые микропроцессорными супервизорами.

Например, микросхема MAX691 или её аналог ADM691.



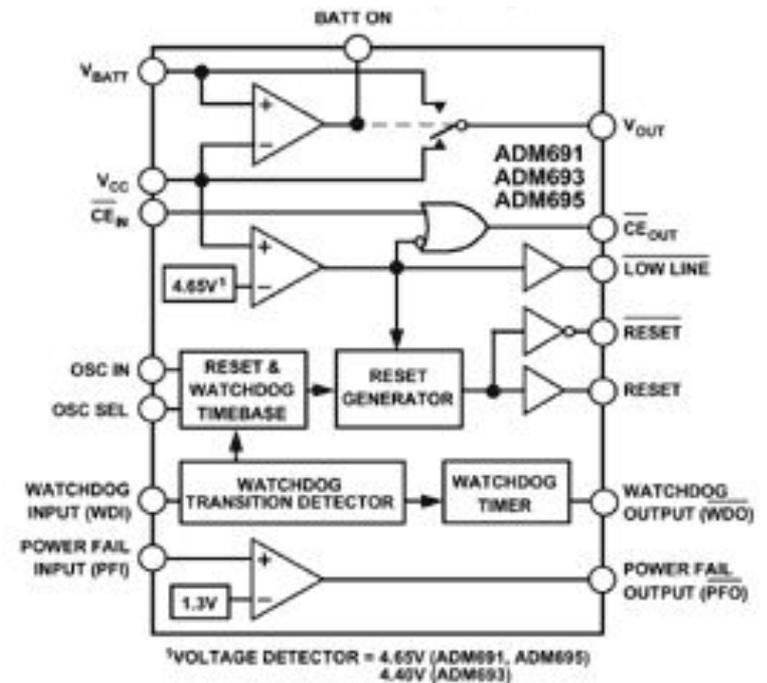
Функции супервизора питания

Микросхема выполняет следующие функции:

- вырабатывает сигнал системного сброса при включении и выключении питания, а также при понижении напряжения питания ниже порогового уровня;
- переключает питание системы на аварийное питание от аккумулятора при понижении уровня основного напряжения питания ниже порогового уровня;
- вырабатывает сигнал системного сброса если внутренний сторожевой таймер микросхемы не был сброшен в течение определенного времени;
- осуществляет блокировку сигнала записи в ОЗУ при понижении напряжения питания ниже порогового уровня;
- вырабатывает сигнал запроса прерывания при понижении напряжения питания ниже номинального уровня.

Вводы основного и резервного источников питания

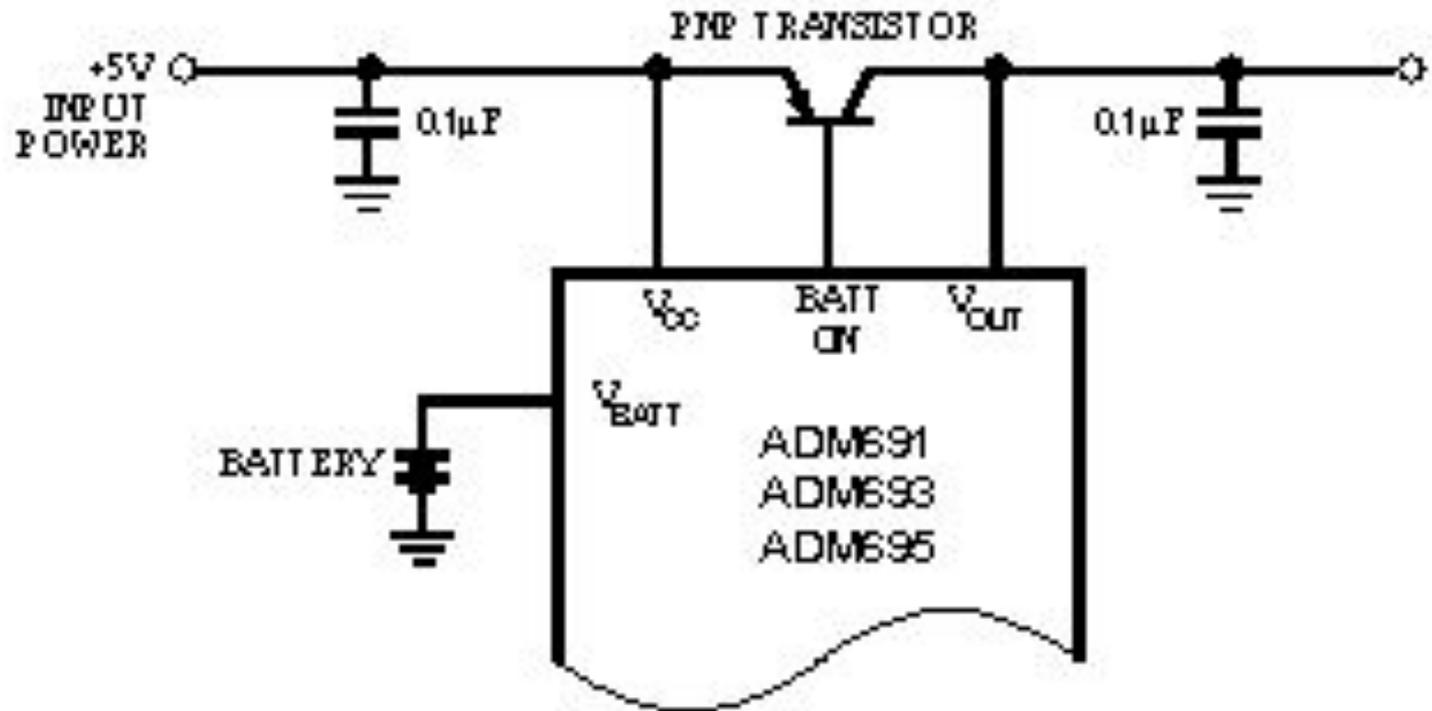
Основной источник питания подключается к входу V_{CC} ИМС. К выводу V_{BATT} подключается резервный аккумуляторный источник питания. ИМС постоянно сравнивает уровни сигналов, подаваемых на эти входы и подключает к выводу V_{OUT} тот, напряжение на котором в данный момент выше. Переключение происходит когда напряжение на выводе V_{CC} снижается до уровня $V_{BATT} + 50$ мВ, или когда оно повышается до уровня $V_{BATT} + 70$ мВ. Гистерезис шириной в 20 мВ предусмотрен для предотвращения колебаний коммутатора в окрестностях точки переключения.



Выводы V_{OUT} и BATT ON

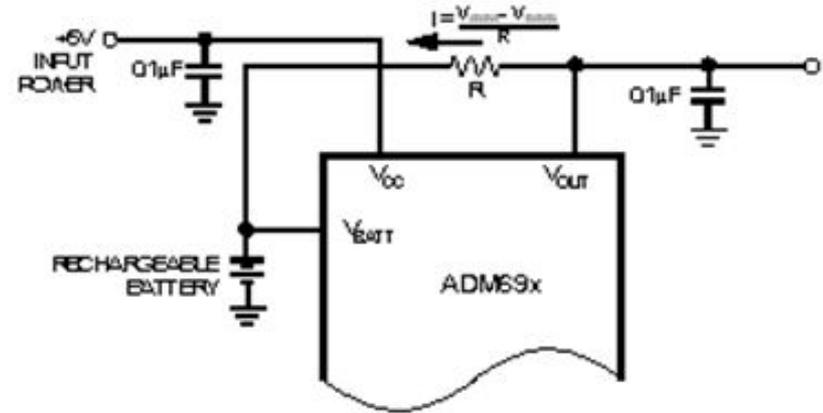
Выводы питания части системы, критичной к уровню $U_{пит}$ должны быть подключены к выводу V_{OUT} , что обеспечит их переключение на резервный источник питания при пропадании основного $U_{пит}$. В нормальном состоянии ИМС способна пропустить через себя ток цепи питания системы (вывод V_{OUT}) величиной не более 100 мА. В случаях, когда питающаяся от вывода V_{OUT} система требует большего тока, необходимо подключить внешний PNP транзистор, который может управляться непосредственно от вывода BATT ON.

Схема для систем с повышенным потреблением тока



Подзаряжаемый резервный источник питания

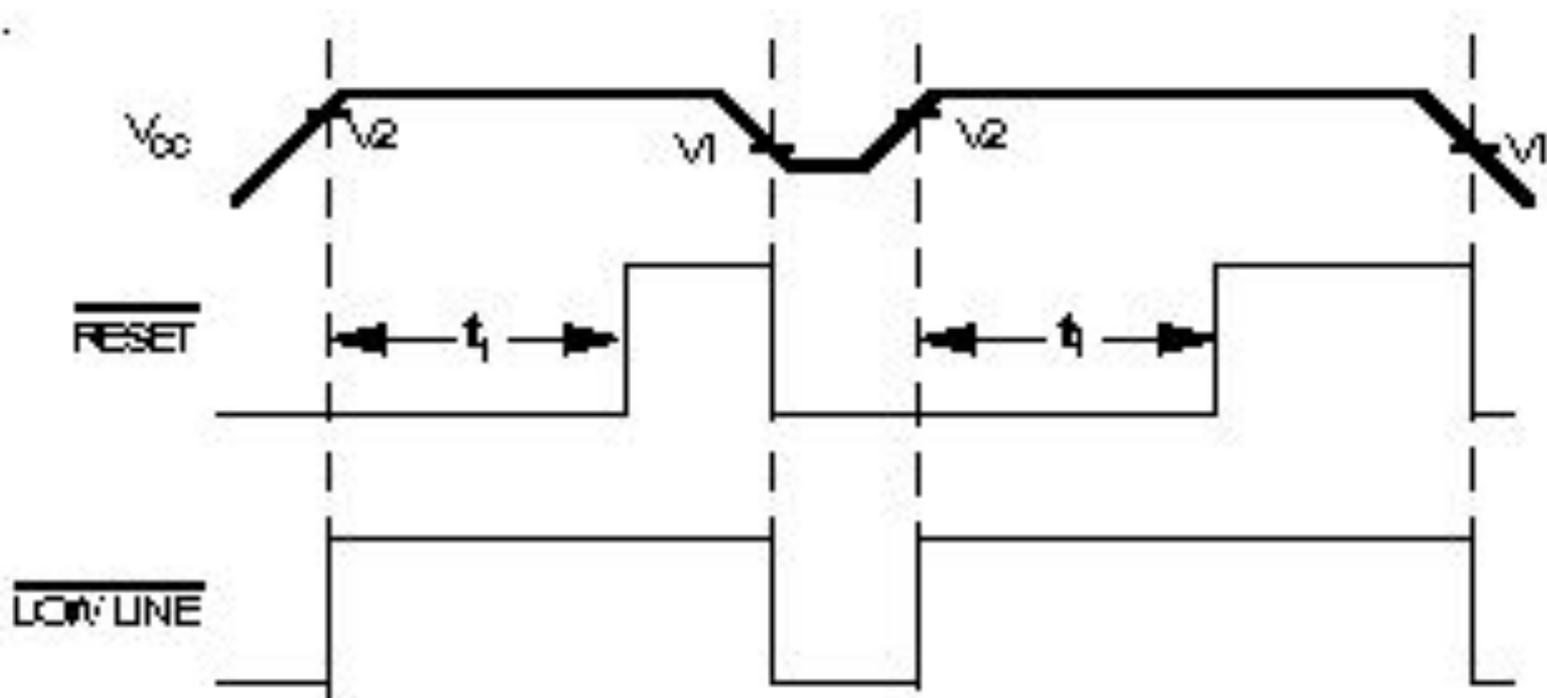
Если в качестве резервного источника питания используется конденсатор большой емкости или перезаряжаемые аккумуляторы, то необходимо обеспечить путь подзаряда накопителя энергии. Это реализуется путем подключения резистора между выводами V_{OUT} и V_{BATT} .



Выводы RESET и LOWLINE

Вывод RESET микросхемы должен быть подключен ко входу системного сброса микропроцессора. На этом выходе формируется сигнал системного сброса с активным низким уровнем при понижении напряжения питания ниже порогового уровня сброса (4.65 В). После превышения напряжением питания порогового уровня сигнал на выводе RESET остается в активном состоянии еще в течение 50 мс, что обеспечивает удержание системы в состоянии сброса до стабилизации напряжения питания. Уровень сигнала на выходе LOWLINE индицирует текущее состояние основного источника питания. Если основное напряжение питания ниже порогового уровня, то выход LOWLINE находится в нулевом состоянии.

Выводы RESET и LOWLINE

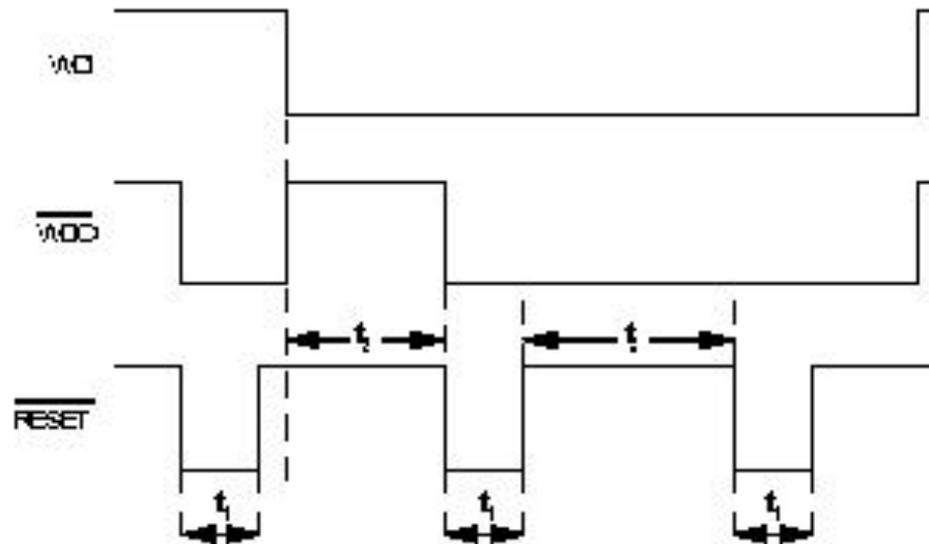


Сторожевой таймер

Выход WDI является входом сторожевого таймера (Watchdog Timer) микросхемы. Сторожевой таймер используется для контроля функционирования программы. Для использования сторожевого таймера в рабочей программе процессора должно быть предусмотрено периодическое инвертирование уровня сигнала, подаваемого на вход WDI. Если в течение определенного периода времени сигнал на входе WDI не будет инвертирован, будет выработан сигнал системного сброса на выводе RESET.

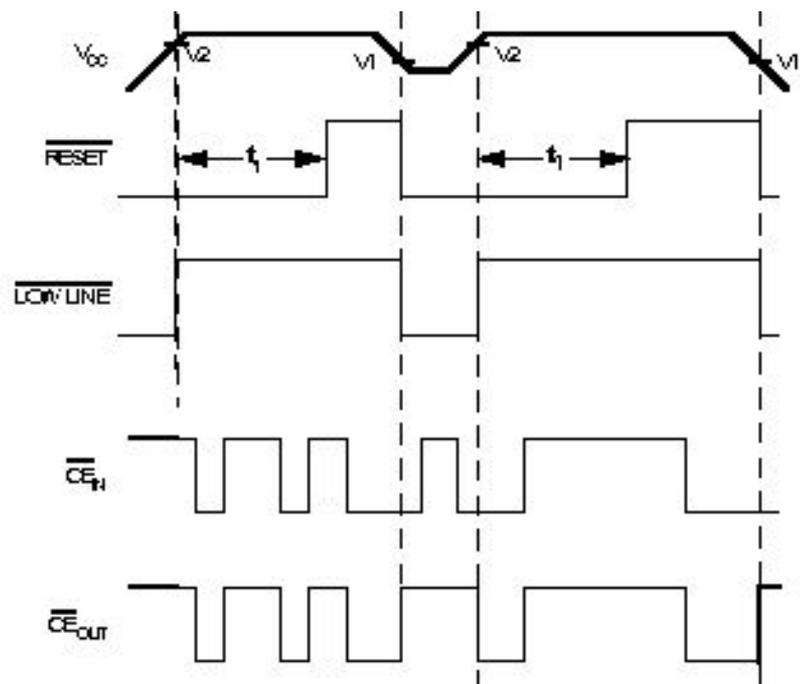
Ввод WDI и вывод WDO

Вывод WDO может быть использован для визуальной индикации состояния сторожевого таймера. При срабатывании сторожевого таймера и вызванном этим импульсом системного сброса на выводе RESET вывод WDO переходит в нулевое состояние и удерживается в нем до инвертирования сигнала на входе WDI.



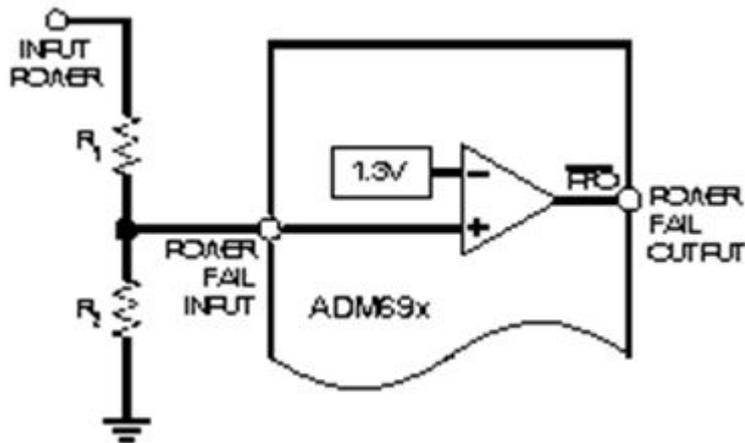
Выводы CE_{IN} и CE_{OUT}

Выводы CE_{IN} и CE_{OUT} используются для блокировки циклов записи при ненормальном уровне $U_{пит}$. К выводу CE_{IN} подключается сигнал выбора кристалла памяти или строб записи, формируемые МП системой при осуществлении циклов записи. При нормальном уровне $U_{пит}$ этот сигнал передается без изменения на вывод CE_{OUT} , к которому подключается соответствующий вывод микросхем памяти. При снижении уровня напряжения на выводе V_{CC} ниже порогового уровня (4.65 В) или уровня на выводе V_{BATT} , вывод CE_{OUT} переводится в единичное состояние независимо от уровня сигнала на выводе CE_{IN} . Тем самым предотвращается повреждение данных, записанных в памяти при снижении $U_{пит}$.



Выводы PFI и PFO

Выводы PFI и PFO используются для предварительного предупреждения микропроцессора о понижении $U_{\text{пит}}$. Напряжение на входе PFI постоянно сравнивается с внутренним источником напряжения 1.3 В. При снижении напряжения на входе PFI ниже уровня 1.3 В вывод PFO переводится в нулевое состояние. Вывод PFO подсоединяется к входу запроса прерывания микропроцессора. По этому прерыванию микропроцессор должен сохранить все оперативные данные и перейти в режим ожидания восстановления $U_{\text{пит}}$. Вход PFI, как правило подключается к делителю напряжения, рассчитанному таким образом, чтобы при снижении $U_{\text{пит}}$ до определенного уровня, выше 4.65 В, напряжения на входе PFI достигало уровня 1.3 В.



Виды клавиатур

В различных по сложности и назначению системах для ввода информации используются разнообразные клавиатуры:

- простейшие, состоящие из нескольких клавиш управления типа ПУСК, СТОП и т.д.;
- матричные, состоящие из большего числа клавиш (как правило больше чем 8-10), предназначенные для ввода цифровой информации о требуемых параметрах и режимах работы системы;
- интеллектуальные, представляющие сами по себе микропроцессорное устройство, связанное с системой индикации, предназначенные для ввода, предварительной обработки и передачи в систему управления различной информации, связанной с работой системы.

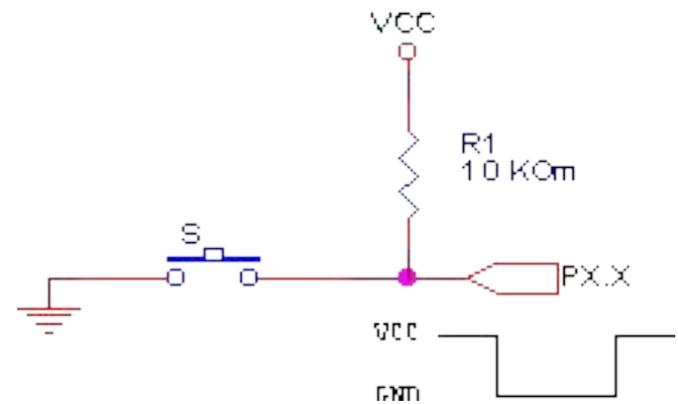
Реализация простейших функций

Для реализации простейших функций могут быть использованы механические кнопки или тумблеры различных конструкций (герконовые, магнитные, пружинные и т.д.), подключенные к портам ввода МК или входам запроса на прерывание.

Функция кнопки, независимо от её конструкции, заключается в замыкании и размыкании электрического контакта при её нажатии и отпускании соответственно (или наоборот). Таким образом, кнопка способна осуществлять коммутацию электрического сигнала, подаваемого на порт ввода МК.

Подключение кнопки к порту ввода/вывода МК

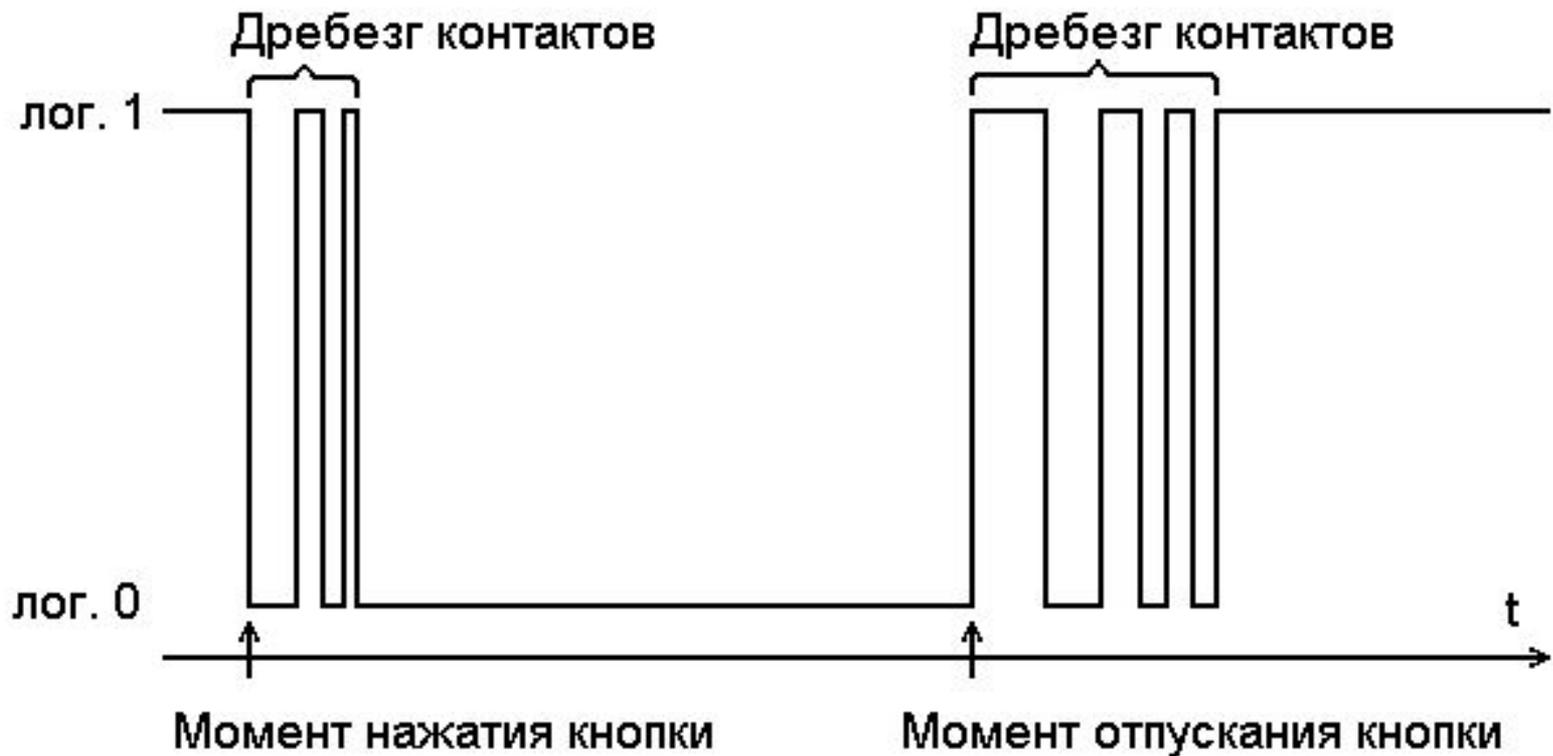
Вывод данного порта может быть опрошен программно либо по прерыванию (если это вход запроса прерывания) для обнаружения нажатия кнопки и выполнения требуемых операций.



Дребезг контактов

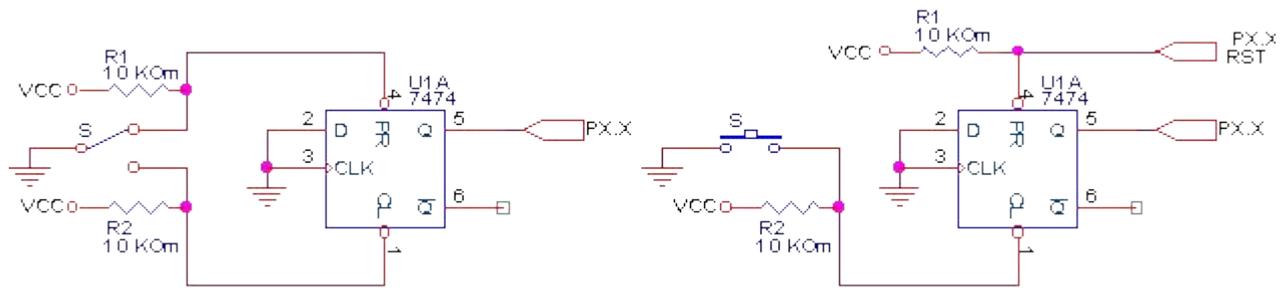
Кнопки и тумблеры из-за своей механической природы имеют недостаток, называемый "дребезгом контактов". Это выражается в наличии помех на фронтах импульсов, формируемых ими. Эти помехи могут быть восприняты системой как ложные нажатия. Для устранения этого недостатка необходимо применять специальные схемотехнические меры.

Диаграмма дребезга контактов



Триггерные схемы устранения дребезга

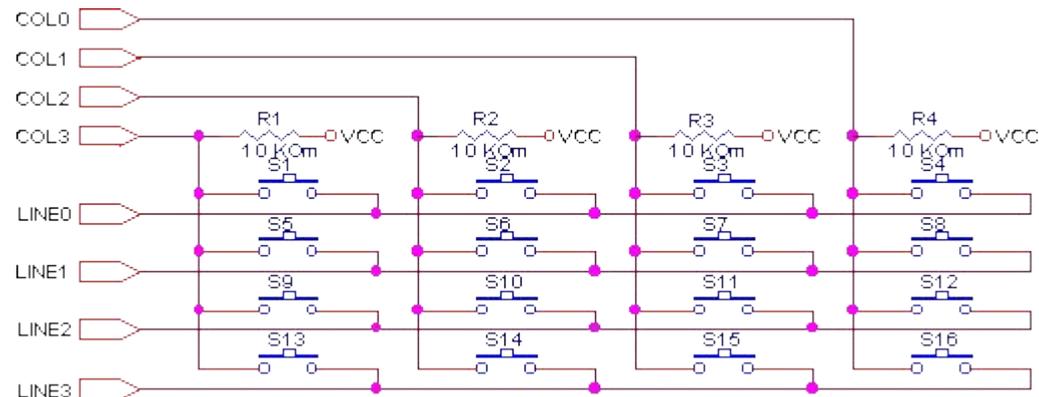
В частности, для этих целей широко используются схемы на триггерах, фиксирующие состояние переключателя по первому спаду формируемого им импульса. В случае двухпозиционного переключателя триггер таким образом фиксирует оба стабильных положения. В случае кнопки триггер фиксирует первый спад импульса, формируемого при ее нажатии. Для возврата триггера в исходное состояние необходим специальный вывод сброса.



Матричная клавиатура

При увеличении количества кнопок (как правило больше 8) появляется дефицит портов ввода для их обслуживания. Для уменьшения количества портов, обслуживающих кнопки ввода данных используют матричную клавиатуру.

Она представляет собой набор кнопок, объединенных в прямоугольную матрицу. Линии, соответствующие строкам и столбцам матрицы подключаются к портам ввода-вывода.



Принцип работы

Для обслуживания матричной клавиатуры используется динамический метод опроса кнопок. Поочередно на линии, соответствующие строкам матрицы (LINE0-LINE3 на рисунке) подается уровень логического нуля (в каждый момент времени только на одну строку). Если в этот момент какая либо кнопка, находящаяся в данной строке была нажата, то в соответствующем столбце установится уровень логического нуля. Читая линии, соответствующие столбцам матрицы каждый раз после активизации новой строки, можно определить номер нажатой кнопки. Т.о., на представленной схеме с помощью 8 портов ввода-вывода могут быть обслужены 16 кнопок. Однако, обслуживание такой клавиатуры требует достаточно большой загрузки процессора, который должен периодически активизировать очередную строку и опрашивать столбцы матрицы. Поэтому в ряде случаев такую клавиатуру реализуют на отдельном микроконтроллере.

Примеры матричных клавиатур



Системы индикации

Реализация системы индикации также зависит от сложности задач, стоящих перед ней.

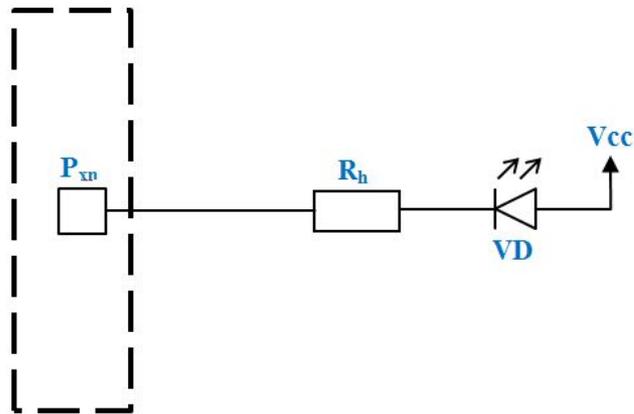
Простейший индикатор может быть реализован с помощью светодиода, подключенного к порту вывода.

Для решения более сложных задач могут потребоваться сегментные, матричные или жидкокристаллические индикаторы.

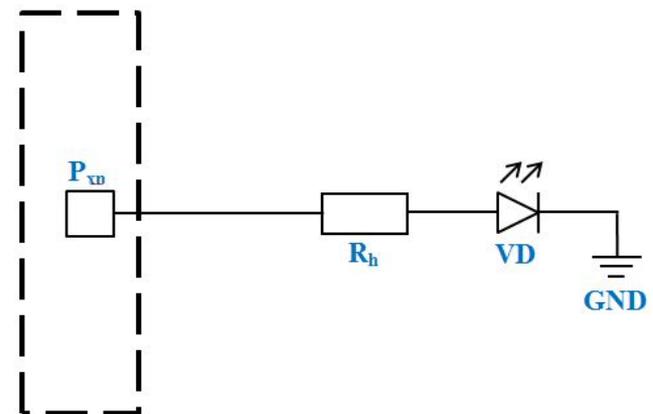
Светодиод – простейший индикатор

Один светодиод можно подключить к ножке МК двумя способами:

Подключение катодом к МК.
Лог. «0» зажигает светодиод.



Подключение анодом к МК.
Лог. «1» зажигает светодиод.



Расчет токоограничительного резистора

Сопrotивление токоограничивающего резистора считается по формуле:

$$R = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{д}} - U_{\text{лп}}}{I_{\text{д}} \cdot K_{\text{н}}},$$

где:

$U_{\text{пит}}$ – напряжение питания (внешнее или от МК в зависимости от схемы);

$U_{\text{д}}$ – прямое напряжение на светодиоде;

$U_{\text{лп}}$ – падение напряжения на линии порта ввода/вывода МК;

$I_{\text{д}}$ – прямой ток через светодиод;

$K_{\text{н}}$ – коэффициент надежности (для светодиода принимается равным 0,75).

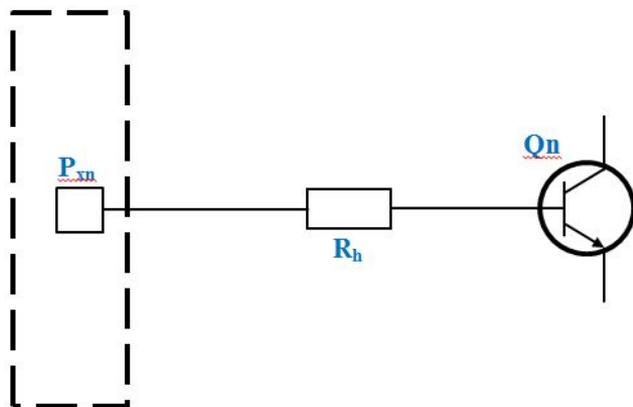
Рассеиваемая мощность резистора:

$$P = I_{\text{д}} \cdot U_{\text{пит}}$$

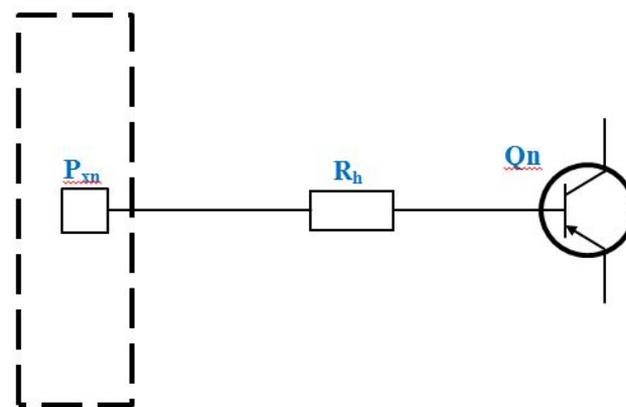
Подключение транзистора к МК

Для подключения к МК мощной нагрузки используют транзисторы как ключи. К МК подключается контакт базы (затвора) транзистора.

Подключение к МК
n-p-n транзистора

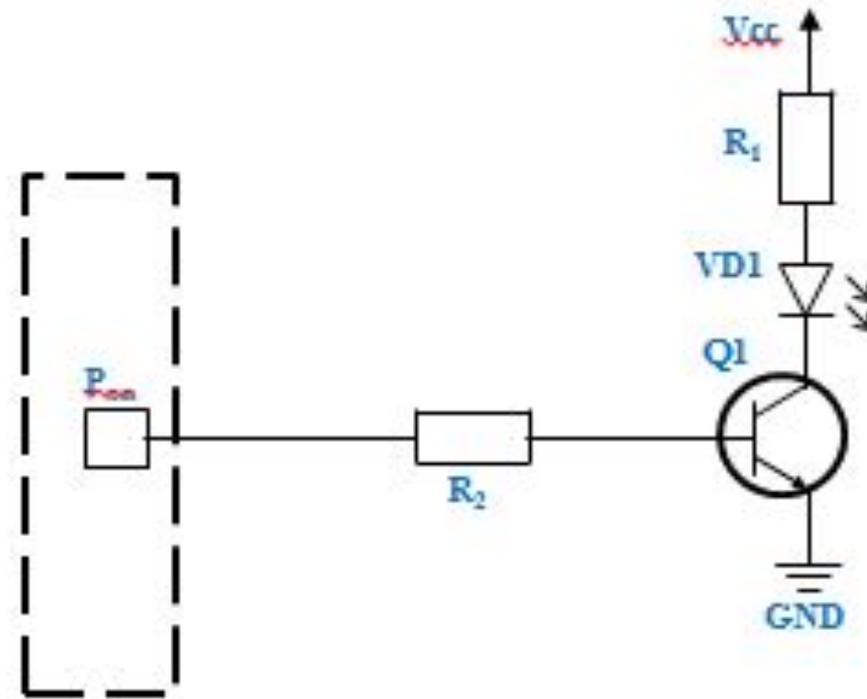


Подключение к МК
р-n-p транзистора



Пример подключения нагрузки (светодиода) через транзистор

Подключение мощного светодиода к МК через транзистор n-p-n типа.



Расчет токоограничивающих резисторов

Сопrotивление R_1 :

$$R_1 = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{д}} - U_{\text{кэ}}}{I_{\text{д}} \cdot K_{\text{н}}},$$

где $U_{\text{кэ}}$ – напряжение коллектор-эмиттер.

Рассеиваемая мощность:

$$P_1 = \frac{(U_{\text{пит}} - U_{\text{д}} - U_{\text{кэ}})^2}{R_1}.$$

Сопrotивление R_2 :

$$R_2 = \frac{(U_{\text{пит}} - U_{\text{лп}} - U_{\text{бэ}}) \cdot R_1 \cdot h_{21}}{U_{\text{пит}} - U_{\text{д}} - U_{\text{кэ}}},$$

где:

$U_{\text{бэ}}$ – напряжение база-эмиттер;

h_{21} – коэффициент усиления по току.

Рассеиваемая мощность:

$$P_2 = \frac{(U_{\text{пит}} - U_{\text{лп}} - U_{\text{бэ}})^2}{R_2}.$$

Последовательное подключение светодиодов

Несколько светодиодов можно подключить к МК последовательно или параллельно.

При последовательном подключении (гирлянда) сопротивление токоограничивающего резистора рассчитывается так:

$$R = \frac{U_{\text{пит}} - U_{\text{д}} \cdot N}{I_{\text{д}} \cdot K_{\text{н}}},$$

Где N – число светодиодов в гирлянде, которое не должно быть больше, чем

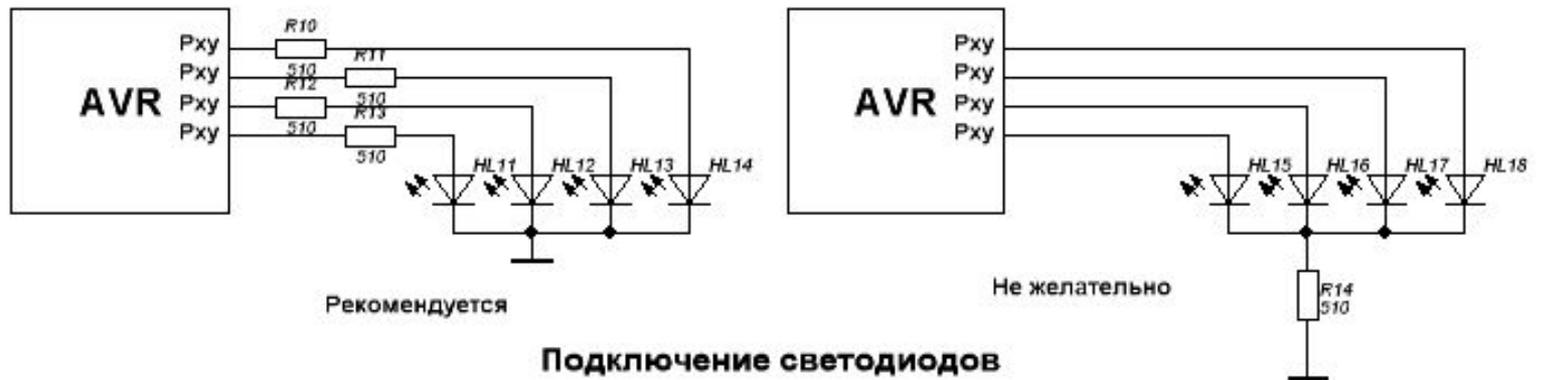
$$N_{\text{max}} = \frac{U_{\text{пит}}}{U_{\text{д}} \cdot 1,5}$$

Параллельное подключение светодиодов

При параллельном включении светодиодов рекомендуется не ставить один общий токоограничивающий резистор, так как это приводит к неравномерному потреблению тока светодиодами, ускоряет его деградацию и снижает срок службы.

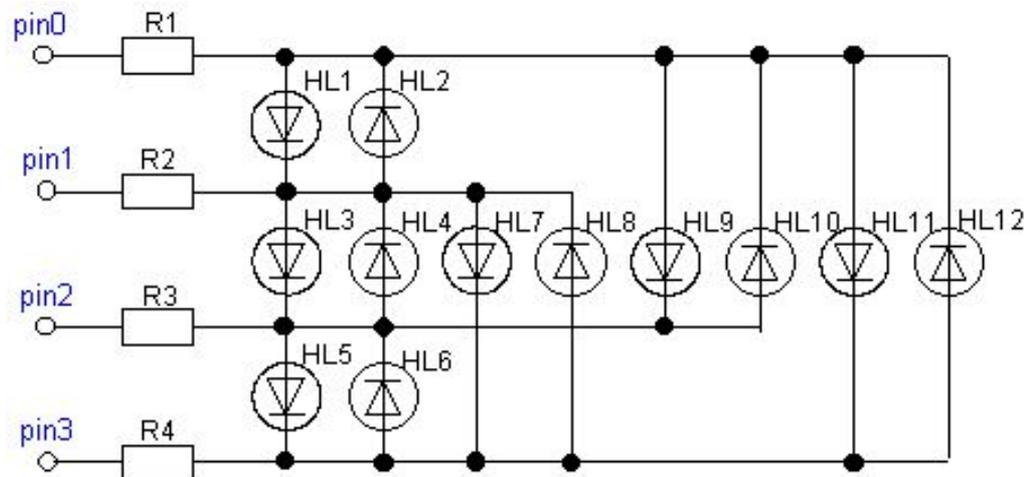
Поэтому каждый из светодиодов, включенных параллельно, должен иметь свой токоограничивающий резистор.

Параллельное подключение СВЕТОДИОДОВ



Чарлиплексинг

Для подключения большого числа отдельных светодиодов к небольшому количеству выводов МК можно использовать встречно-параллельное подключение (чарлиплексинг). При этом диоды загораются по очереди при смене уровней на выводах МК. К n выводам МК можно подключить $n(n-1)$ светодиод.



Недостатки чарлиплексинга

Основные недостатки чарлиплексинга:

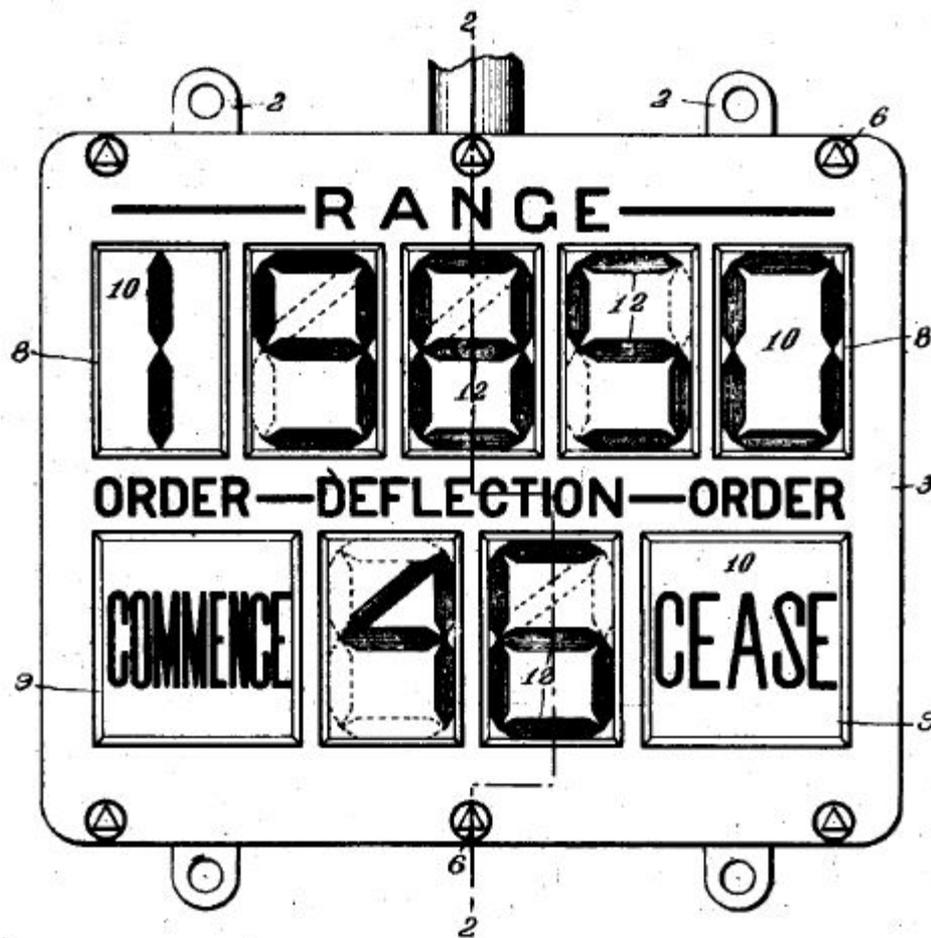
- Высокая частота переключения светодиодов.
- Из-за высокой частоты переключения большие пиковые токи.
- Сложность схемы и для проектирования плат, и для программирования, и для пайки.
- Отказ хотя бы одного светодиода приводит к отказу всей схемы целиком.

Сегментные индикаторы

Для отображения более сложной цифровой или буквенной информации необходимо применять более сложные индикаторы. Примером таких устройств могут служить сегментные индикаторы.

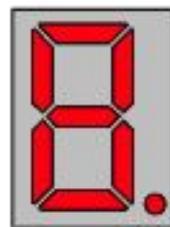
Такой индикатор представляет собой сборку из светодиодов, каждый из которых является одним из сегментов знакоместа. Подавая отпирающую комбинацию сигналов на определенные сегменты можно обеспечить высвечивание различных цифр или букв.

Первый сегментный индикатор (патент 1910 г.)



Виды сегментных индикаторов

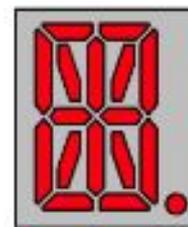
Наиболее распространенными сегментными индикаторами являются 7-сегментные (восьмисегментные при наличии точки) индикаторы. Кроме того, встречаются 14- и 16-сегментные индикаторы, а также матричные индикаторы, по сути являющиеся сегментными.



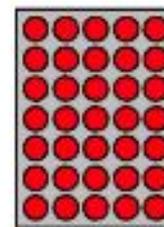
7-сегментов
+ точка



14-сегментов
+ точка



16-сегментов
+ точка

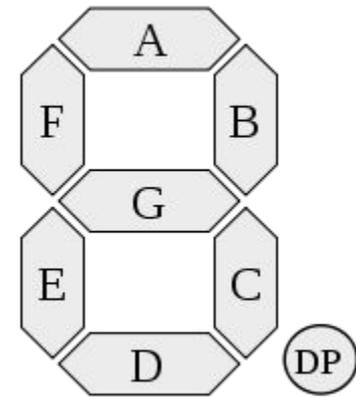


Матрица
5x7

7-сегментный индикатор

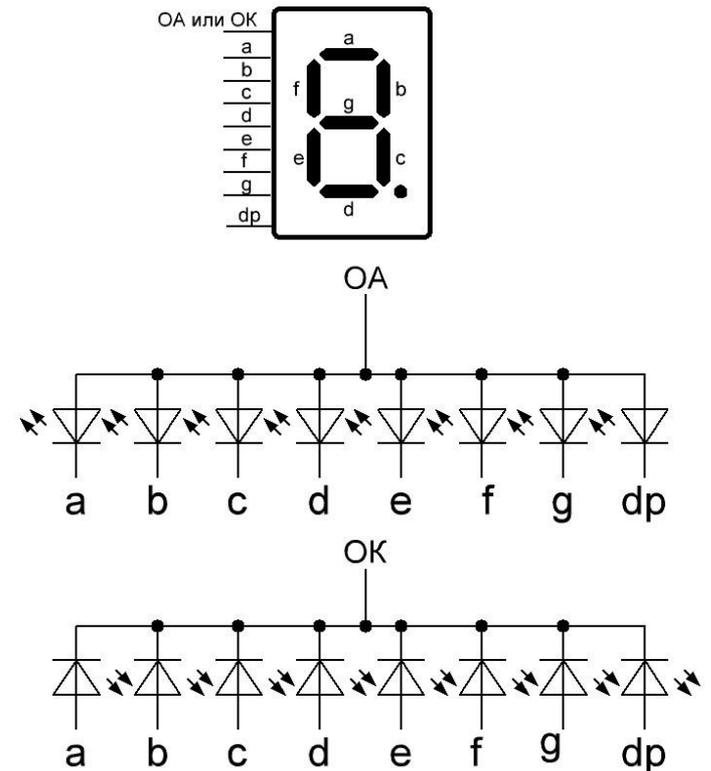
Сегменты индикатора обозначаются латинскими буквами от А до G так, как показано справа. Точка обозначается DP (Decimal Point) или H.

Таким образом, значения всех восьми сегментов индикатора полностью заполняют 8 разрядов регистра МК.



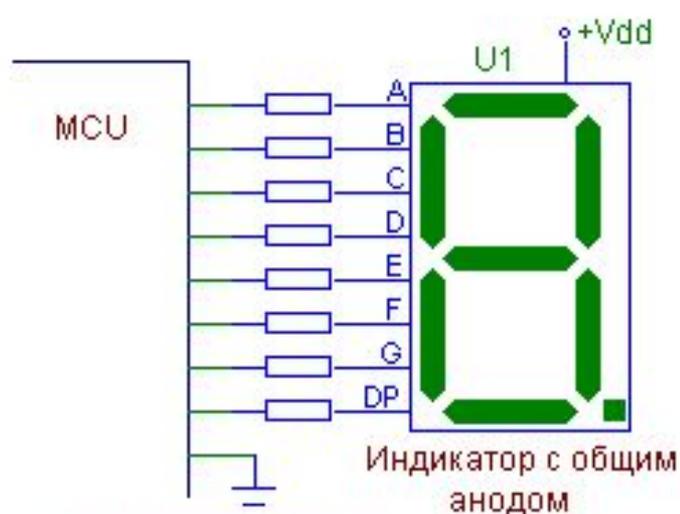
Схемы с общим анодом и общим катодом

Светодиоды всех сегментов соединены параллельно и имеют либо общий анод (ОА), либо общий катод (ОК).

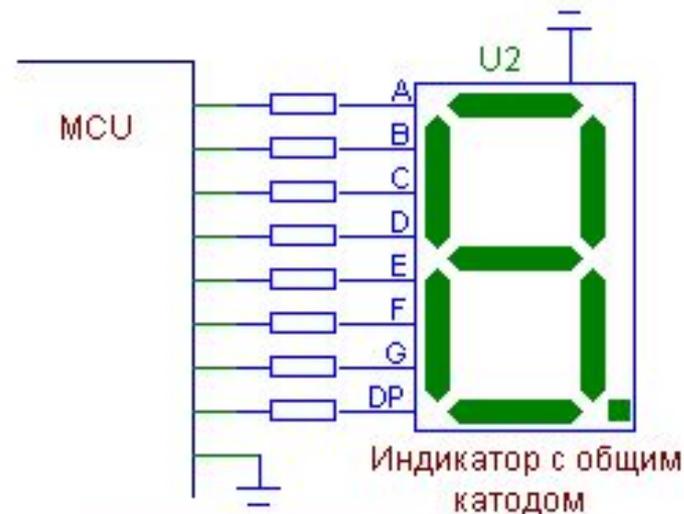


Подключение сегментного индикатора к МК

При подключении к МК в линию каждого сегмента ставится токоограничивающий резистор. Расчет его аналогичен расчету для одного светодиода.



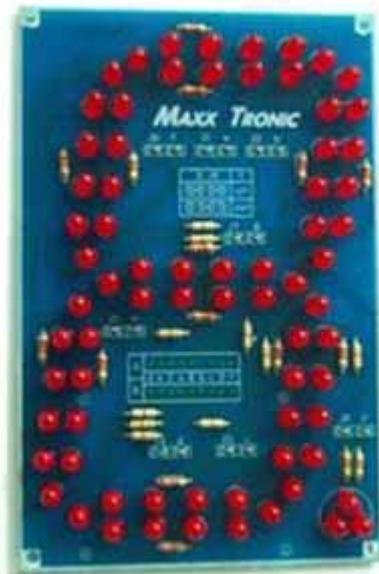
Сегмент загорается уровнем лог. 0



Сегмент загорается уровнем лог. 1

Индикаторы с составными сегментами

Бывает, что каждый сегмент семи-сегментного индикатора в свою очередь сам состоит из несколько светодиодов.



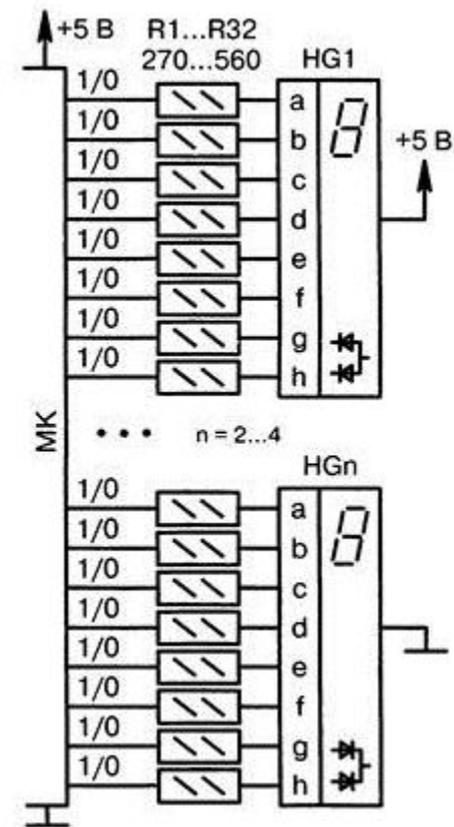
Коды цифр и некоторых букв (лог. «1» зажигает сегмент)

Цифра	H	G	F	E	D	C	B	A
0	0	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	0
2	0	1	0	1	1	0	1	1
3	0	1	0	0	1	1	1	1
4	0	1	1	0	0	1	1	0
5	0	1	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	1	1	1	0	1
7	0	0	0	0	0	1	1	1
8	0	1	1	1	1	1	1	1
9	0	1	1	0	1	1	1	1
A	0	1	1	1	0	1	1	1
B	0	1	1	1	1	1	0	0
C	0	0	1	1	1	0	0	1
D	0	1	0	1	1	1	1	0
E	0	1	1	1	1	0	0	1
F	0	1	1	1	0	0	0	1

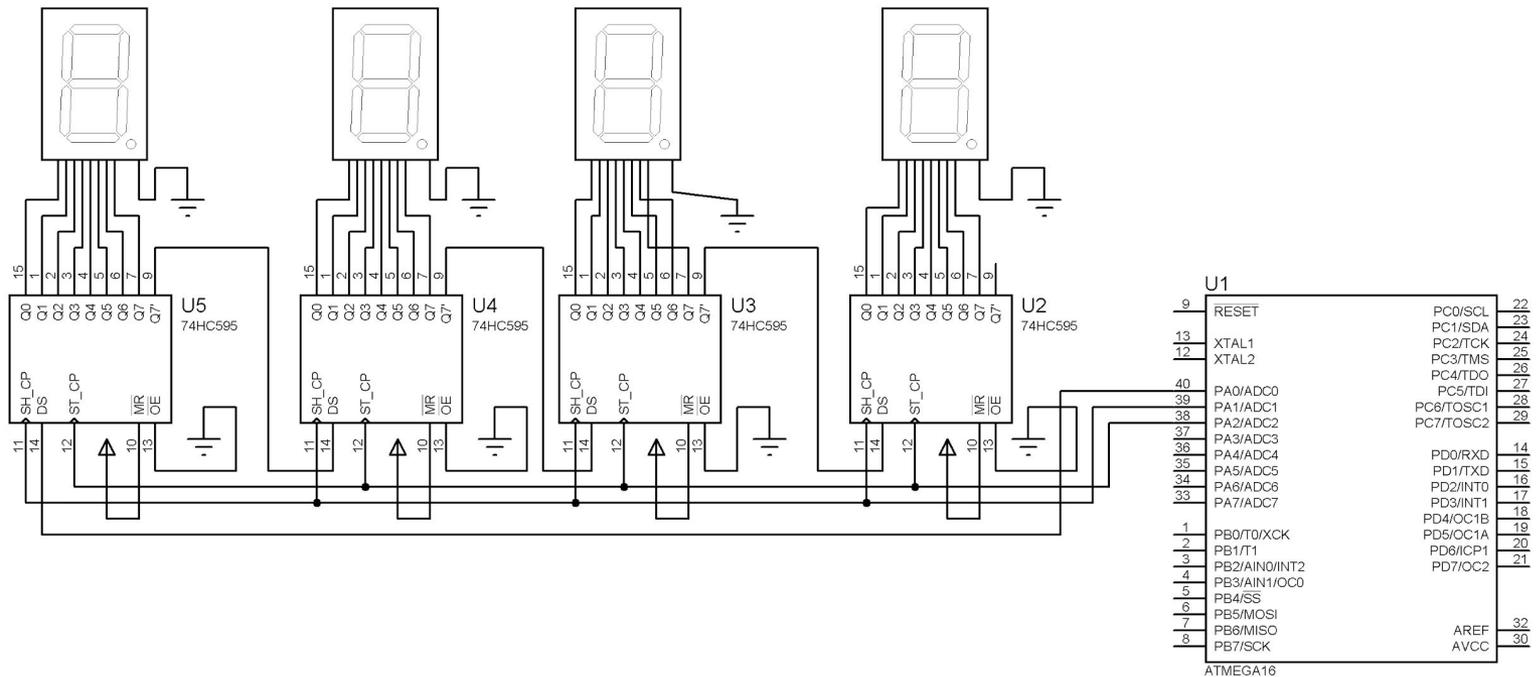
Статическая индикация

Если к МК нужно подключить сразу несколько (как правило, не более 4) сегментных индикаторов, каждый из них занимает по одному порту ввода/вывода (рисунок справа). Это называется статическая индикация. Однако такой подход приведёт к повышенной нагрузке на выводы МК и невозможности подключить другие устройства к МК.

Избежать этого позволяет так называемое «расширение портов» с помощью регистров сдвига.



Подключение индикаторов методом «расширения портов»



Динамическая индикация

Альтернативным подходом для уменьшения количества выводов МК, занятых под управление сегментными индикаторами, является динамическая индикация.

В этом случае линии сегментов всех индикаторов подключаются в параллель к одному и тому же порту ввода/вывода, а общие их контакты заводятся на линии другого порта ввода/вывода (или транзисторы, если используются транзисторные каскады для снижения нагрузки на выводы МК).

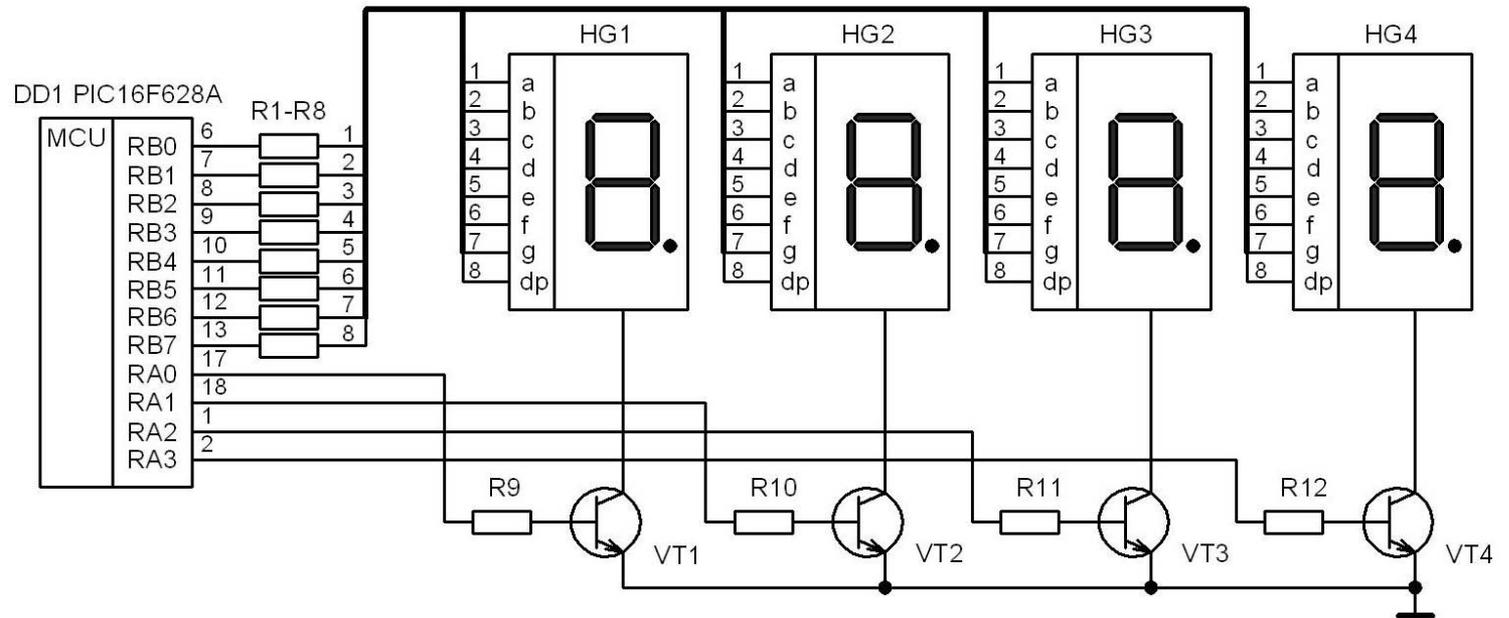
Виды динамической индикации

Есть два вида динамической индикации: поразрядная и посегментная.

При поразрядной индикации происходит последовательное переключение разрядов составного сегментного индикатора.

Подходит для небольшого количества (до 8) индикаторов.

Схема реализации динамической индикации

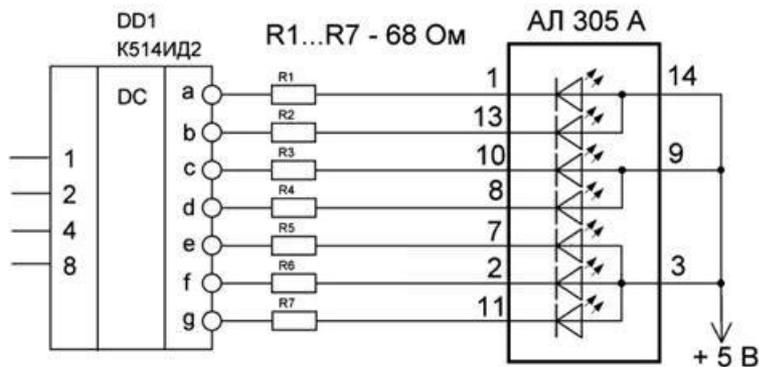


Посегментная динамическая индикация

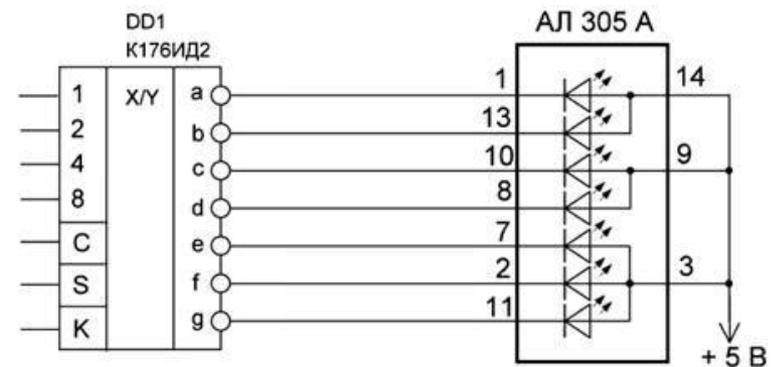
При увеличении количества разрядов (особенно более 8) поразрядная индикация становится невыгодной, так как существенно увеличивается время, пока индикатор не горит, а значит снижается яркость индикатора.

В этом случае лучше использовать посегментную индикацию, где перебор идёт не разрядов, а сегментов индикатора. Частота переключения сегментов не зависит от количества разрядов.

Подключение индикаторов с помощью дешифраторов



С использованием резисторов



Без использования резисторов

Матричный индикатор

Матричный индикатор относится к знако-синтезирующим цифро-буквенным индикаторам и предназначен для отображения информации в виде букв, цифр, математических и специальных знаков, знаков препинания, мнемонических символов.

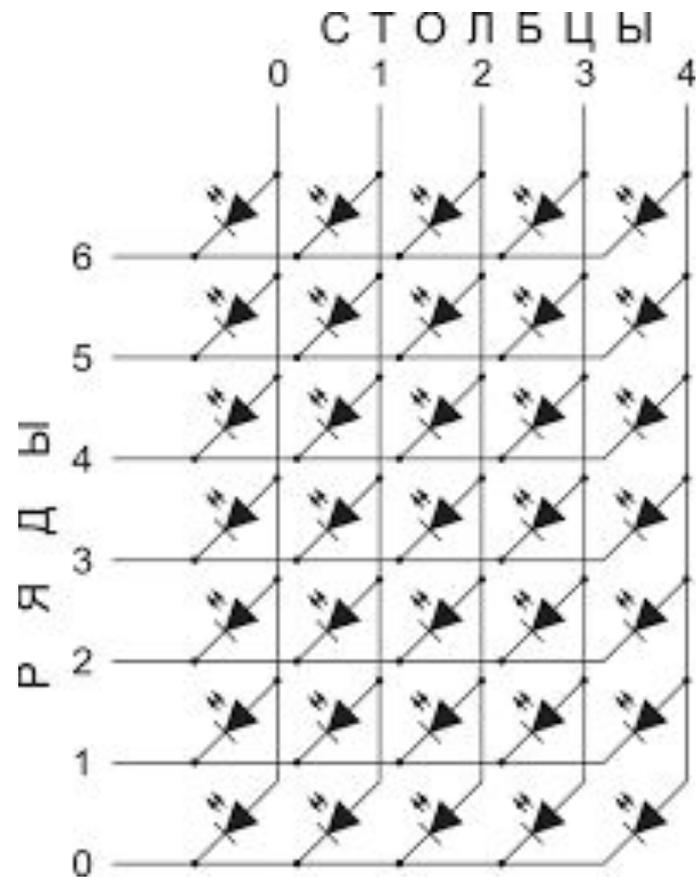
Матричный индикатор имеет два и более рядов и два и более столбцов однотипных элементов отображения (чаще всего, светодиоды) с индивидуальным управлением. Выпускаются монохромные (одноцветные) и многоцветные индикаторы.

Чаще всего используется динамическое управление такими индикаторами.

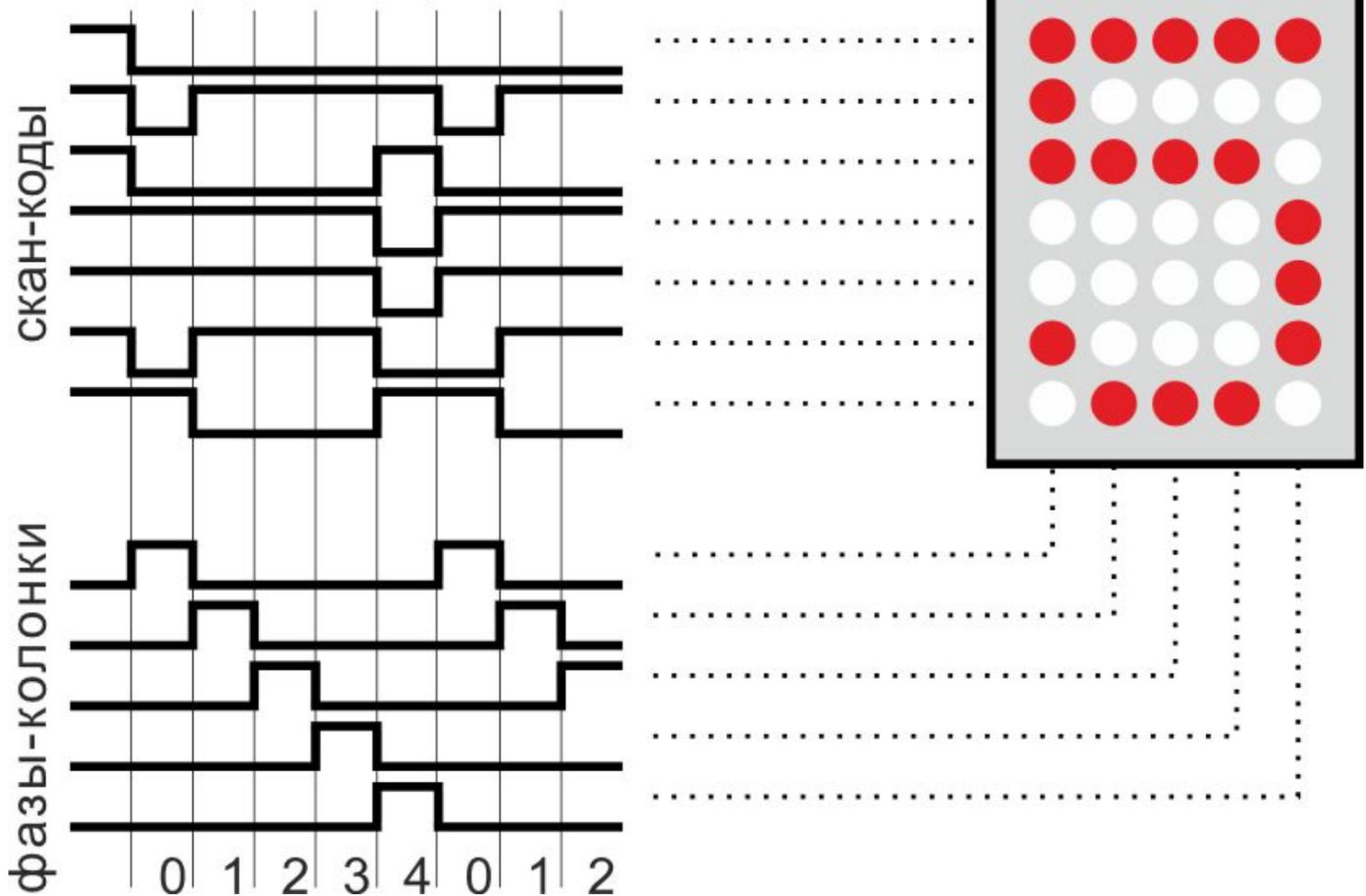
Принцип работы матричного индикатора

Для реализации динамического способа управления, все светодиоды в рядах объединяются по катодам, а в столбцах — по анодам.

На аноды последовательно подаются лог. 1, а на катоды подается инверсный код.



Пример работы матричного индикатора 7x5



Применение матричных индикаторов

Практическое применение имеют матричные индикаторы 5 x 7, 5 x 8, 8 x 8 и более пикселей.

Например, матричные индикаторы с размерами 8 x 8 пикселей применяются для изготовления непрерывных графических экранов или табло «бегущая строка». Выбор размерности 8 x 8 пикселей обусловлен размером байта и номенклатурой выпускаемых драйверов светодиодов. На таких экранах возможно отображение графических картинок или многострочной символьной информации.

Жидкокристаллические индикаторы

Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) управляют отражением и пропусканием света для создания изображений цифр, букв, символов и т.д.

Основу ЖКИ составляют жидкие кристаллы (ЖК), молекулы которых упорядочены послойно определенным образом между двумя стеклянными пластинами. В каждом слое сигарообразные молекулы ЖК выстраиваются в одном направлении, их оси становятся параллельны.

Стеклянные пластины имеют специальное покрытие, такое что направленность молекул в двух крайних слоях перпендикулярна. Ориентация каждого слоя ЖК плавно изменяется от верхнего к нижнему слою, формируя спираль. Эта спираль "скручивает" поляризацию света по мере его прохождения через дисплей.

Отображение символов на ЖКИ

Под действием электрического поля молекулы ЖК переориентируются параллельно полю. При такой ориентации поляризация света не скручивается при прохождении через слой ЖК. Если передний поляризатор ориентирован перпендикулярно заднему, свет пройдет через включенный дисплей, но заблокируется задним поляризатором. В этом случае ЖКИ действует как заслонка свету.

Отображение различных символов достигается избирательным травлением проводящей поверхности, предварительно созданной на стекле. Не вытравленные области становятся символами, а вытравленные – фоном дисплея.

Позитивное и негативное изображение на ЖКИ

Символы создаются из одного или нескольких сегментов. Каждый сегмент может быть адресован (запитан) индивидуально, чтобы создать отдельное электрическое поле. Т. о. прохождение света управляется электрически, включая и отключая необходимые сегменты. В неактивной части дисплея направленность молекул остается спиральной, формируя фон. Запитанные сегменты составляют символы, контрастирующие с фоном.

В зависимости от ориентации поляризатора, ЖКИ может отображать позитивное или негативное изображение. В дисплее с позитивным изображением передний и задний поляризаторы перпендикулярны друг другу, так что не запитанные сегменты и фон пропускают свет с измененной поляризацией, а запитанные препятствуют прохождению света. В результате – темные символы на светлом фоне.

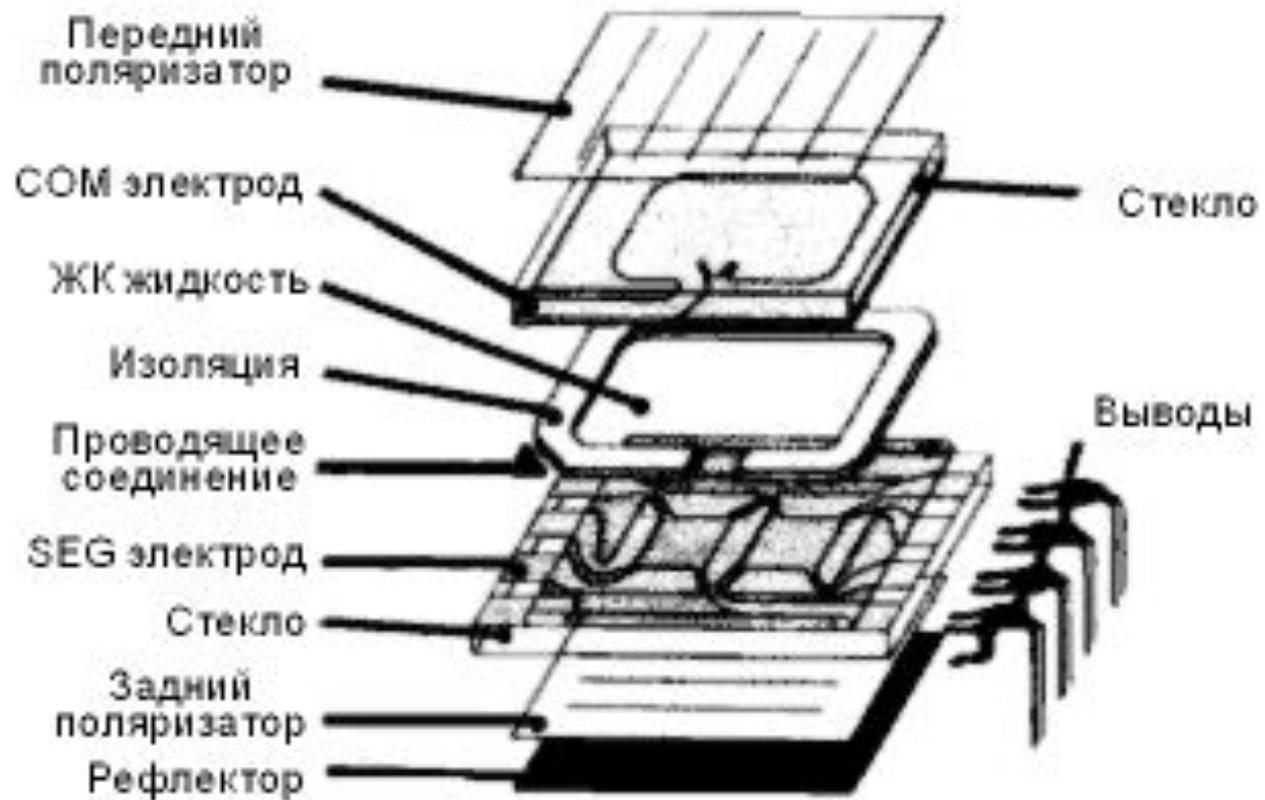
В дисплее с негативным изображением поляризаторы параллельны, "в фазе", препятствуют прохождению света с повернутой поляризацией, так что не запитанные символы и фон темные, а запитанные – светлые.

Рефлективные и трансмиссивные ЖКИ

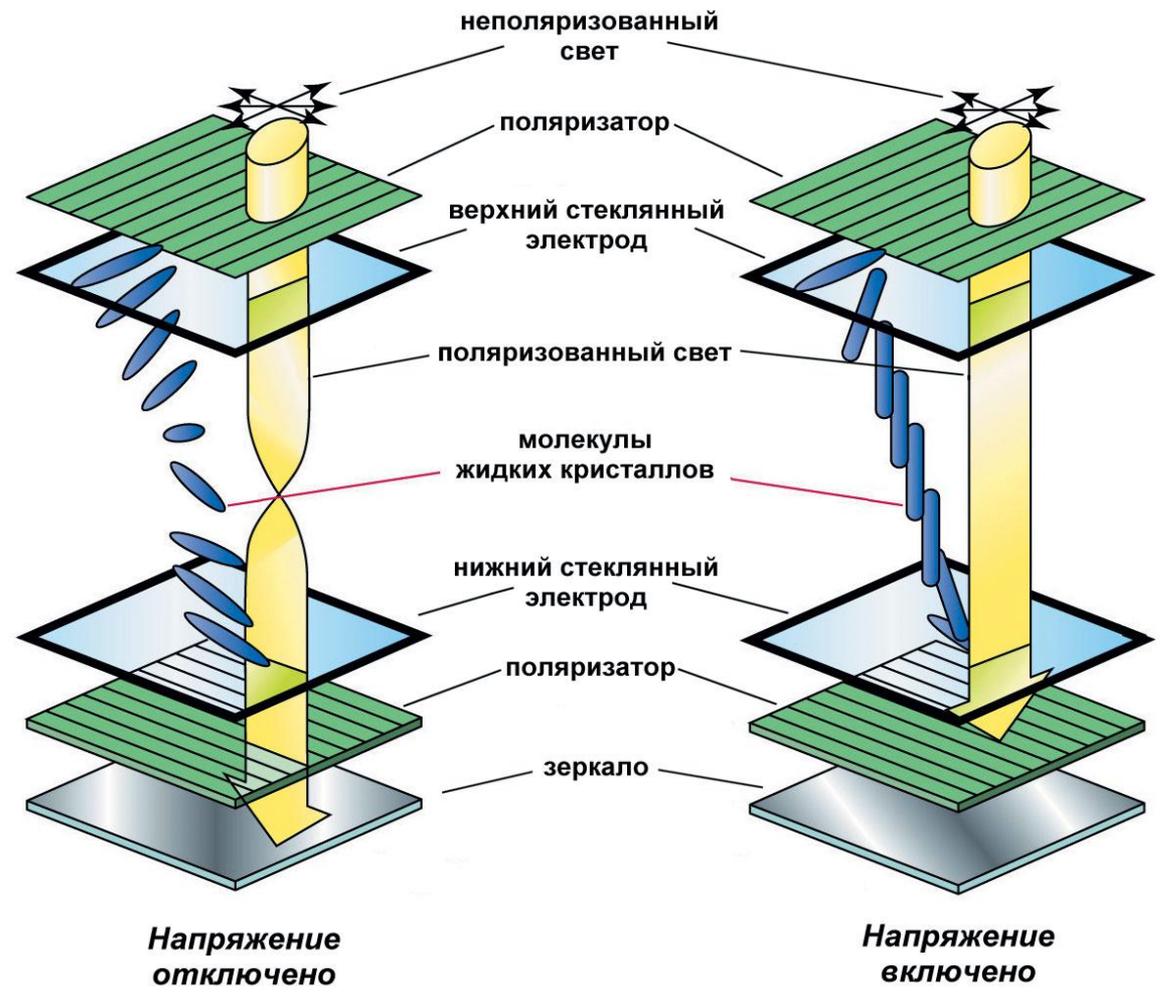
Рефлективный ЖКИ (reflective LCD) имеет отражатель (рефлектор) за задним поляризатором, который отражает свет, прошедший через не запитанные сегменты и фон. В негативных рефлективных дисплеях свет отражается через запитанные, "включенные" сегменты.

Трансмиссивные дисплеи (transmissive LCD) используют те же принципы, но фон или сегменты становятся ярче за счет использования задней подсветки.

Устройство жидкокристаллического индикатора (рефлективного)



Принцип работы рефлективного ЖКИ (позитивного)



Видимость сегментов разных ЖКИ при разном освещении

Режим отображения	Изображение	Применение	Прямой солнечный свет	Офисное освещение	Приглушенный свет	Очень слабый свет
Рефлективный позитивный	Темные сегменты на светлом фоне	Без подсветки. Обеспечивает лучший фронтальный контраст и стабильность.	Великолепно	Очень хорошо	Плохо	Очень плохо
Трансфлективный позитивный	Темные сегменты на сером фоне	Может освещаться отраженным внешним светом или подсветкой.	Великолепно (без подсветки)	Хорошо (без подсветки)	Хорошо (подсветка)	Очень хорошо (подсветка)
Трансфлективный негативный	Светло-серые сегменты на темном фоне	Требуется яркое освещение или подсветка. Часто используется с цветным трансфлектором (полупрозрачный отражатель).	Хорошо (без подсветки)	Хорошо (без подсветки)	Хорошо (подсветка)	Очень хорошо (подсветка)
Трансмиссивный позитивный	Темные сегменты на подсвеченном фоне	Разработан для плохих условий освещения, возможно использование при внешнем освещении.	Хорошо (без подсветки)	Хорошо (подсветка)	Очень хорошо (подсветка)	Великолепно (подсветка)
Трансмиссивный негативный	Подсвеченные сегменты на темном фоне	Не может быть использован без подсветки.	Плохо (подсветка)	Хорошо (подсветка)	Очень хорошо (подсветка)	Великолепно (подсветка)