

Курс

“Микропроцессорные управляющие системы” – 64 часа

- 20 лекций (40 часов);
- 4 практических занятия (8 часов);
- две лабораторных работы (ЛР1 – 12 часов, ЛР2 – 4 часа, всего 16 часов);
- 6 тестов;
- экзамен.

Цель курса

Формирование у студентов теоретических знаний о принципах построения и работы микропроцессорных управляющих систем на базе микроконтроллеров .

Основная литература

1. Новожилов О.П. Основы микропроцессорной техники. Книга 1. - Москва : Радиософт, 2011. - 423с.
2. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 464с.: ил.2

Дополнительная литература

1. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL, 5е изд., стер. — М.: Издательский дом «ДодэкаXXI», 2008. — 560 с.
2. Ревич Ю.В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера. —2-е изд., испр.- СПб.: БХВ-Петербург, 2011.- 352с.: ил.
3. Кёниг А., Кёниг М. Полное руководство по - микроконтроллерам: PIC18, PIC10F, rfPIC (+CD).- Киев : МК-Пресс, 2007. – 256 с.

Интегральная оценка по предмету:

- 10% - активность на занятиях;
- 20% - результаты тестов;
- 20% - оценка выполнения ЛР;
- 50% - результат заключительного экзамена.

Преподаватель:

Поздняков Анатолий Васильевич

Кодовое слово для входа в дисциплину
в системе е-обучения - Microcontroller

1. Структурная схема микропроцессорной управляющей системы

Системой называется множество взаимодействующих между собой устройств, представляющее целостное образование, которое характеризуется свойствами, отсутствующими у отдельных ее элементов.

Для управления объектом или технологическим процессом необходимо:

- иметь информацию о состоянии объекта или информацию о ходе технологического процесса (как на месте , так и удаленно);
- иметь заданные значения параметров, которые характеризуют состояние объекта или ход технологического процесса;
- вырабатывать управляющие воздействия, компенсирующие различие между текущими и заданными параметрами;

- иметь исполнительные устройства, позволяющие изменять состояние объекта или ход технологического процесса;
- иметь возможность ввода в систему заданных параметров с целью задания или изменения режима работы (как на месте , так и дистанционно).



Обобщенная структурная схема системы управления объектом или технологическим процессом

1.1. Датчики

Датчик (sensor) или измерительное устройство состоит из двух частей – измерительной головки (sensor head) и преобразователя (transducer).

Результат измерения – это “реакция измерительной головки датчика”, которая на выходе преобразователя представляет собой электрическую величину, передаваемую дальше по линии связи.

Различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, т.е. датчики вырабатывающие аналоговый сигнал;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичную кодовую комбинацию;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней 0 или 1 (“включено/выключено”).

К аналоговым датчикам относятся:

- датчики движения;
- датчики силы, момента, и давления;
- датчики температуры;
- датчики уровня заполнения емкости;
- датчики расхода;
- датчики плотности, вязкости и консистенции;
- датчики концентрации (газа, жидкости , растворенных и взвешенных веществ);

- датчики химической или биохимической активности (концентрации, проводимости, содержания солей, окислительно-восстановительного потенциала, величины рН, уровня растворенного кислорода, плотности взвешенных частиц).

К бинарным датчикам относятся:

- датчики положения (position sensor);
- концевые выключатели (limit switch);
- пороговые датчики (point sensors, limit sensors);
- индикаторы уровня (level switch).

Цифровые датчики генерируют на своем выходе последовательность импульсов или двоичную кодовую комбинацию.

Разновидностью цифровых датчиков являются информационно- цифровые датчики (Fieldbus sensor), которые обеспечивают передачу дополнительной информации через шины локального управления (например, идентификационную информацию датчика).

Такие датчики иногда поддерживают режим удаленного тестирования и калибровки.

1.2. Исполнительные устройства

К исполнительным устройствам относятся:

- двигатели (переменного тока, постоянного тока, шаговые двигатели);
- управляющие клапаны (control valve);
- выключатели;
- нагреватели;
- светильники и т.п.

1.3. Устройство управления

Особенности цифрового управления

1. Управление процессом должно выполняться в реальном времени. Устройство управления должно работать со скоростью, соответствующей скорости процесса.
2. Ход выполнения программы нельзя определить заранее. Внешние сигналы могут прерывать или изменять последовательность исполнения операторов программы, причем для каждого нового прогона по-разному.

3. Устройство управления должно уметь управлять параллельными задачами. Параллельность – одно из важнейших свойств реального мира. Любые физические процессы можно представить в виде множества «подпроцессов», которые протекают параллельно.

Существует три варианта реализации цифрового устройства управления:

- аппаратный;
- программный;
- программно-аппаратный.

Результатом реализации программно-аппаратного варианта является микроконтроллер.

Классификация микроконтроллеров:

- по технологии изготовления;
- по разрядности;
- по назначению;
- по архитектуре;
- по наличию памяти программ;
- по типу внутренней памяти программ

По технологии изготовления

- микроконтроллеры построенные с использованием технологии n-MOP
- микроконтроллеры построенные с использованием КМОП технологии

По разрядности

- 4-разрядные микроконтроллеры
- 8-разрядные микроконтроллеры
- 16-разрядные микроконтроллеры
- 32-разрядные микроконтроллеры

По назначению

- универсальные микроконтроллеры
- специализированные микроконтроллеры

По назначению

- однокристальные встраиваемые микроконтроллеры (embedded microcontrollers)
- промышленные контроллеры

По архитектуре

- микроконтроллеры с CISC архитектурой
- микроконтроллеры с RISC архитектурой

По наличию памяти программ

- микроконтроллеры с внешней памятью программ
- с микроконтроллеры внутренней памятью программ

По типу внутренней памяти программ

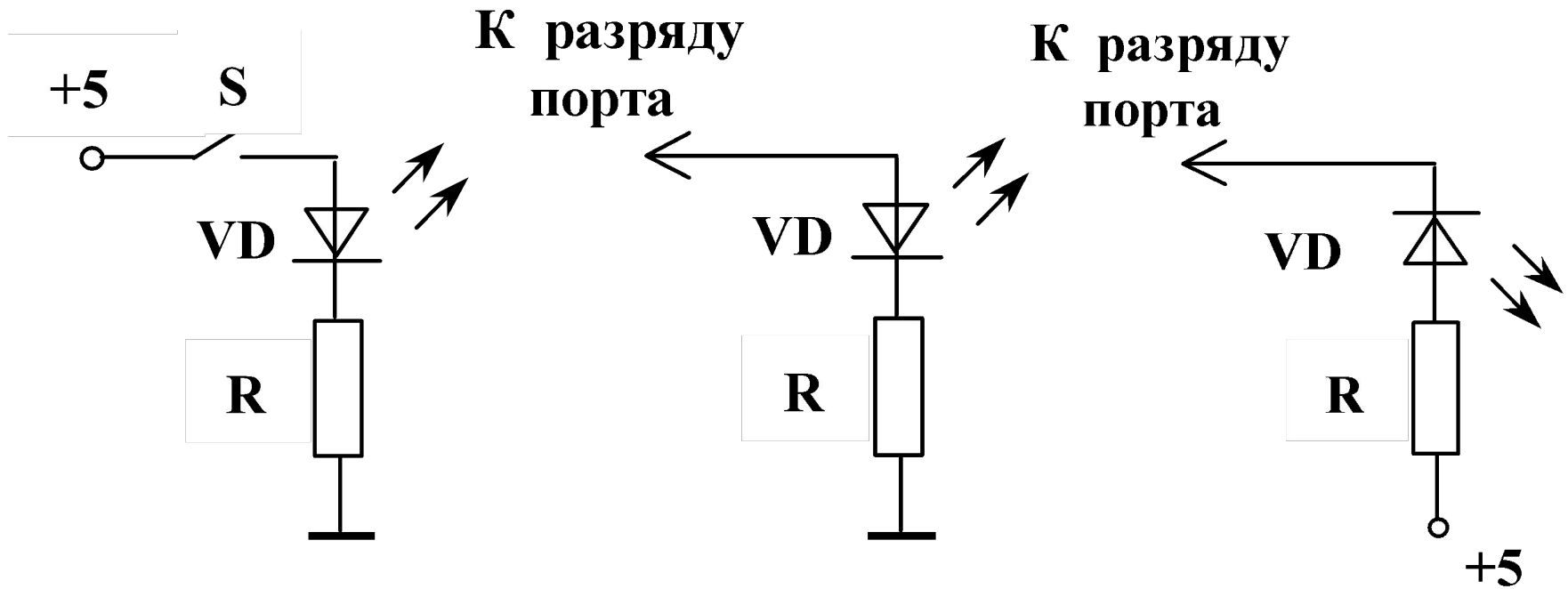
- микроконтроллеры с памятью типа ROM (масочные ПЗУ)
- микроконтроллеры с памятью типа PROM (однократно программируемые ПЗУ)
- микроконтроллеры с памятью типа EPROM (перепрограммируемые ПЗУ с УФ стиранием информации)
- микроконтроллеры с памятью типа EEPROM (перепрограммируемые ПЗУ с электрической записью и стиранием информации)
- микроконтроллеры с Flash памятью

1.4. Устройства вывода информации

В микропроцессорных устройствах управления в качестве устройств вывода информации наиболее широко используются :

- светодиоды;
- семисегментные одноразрядные и многоразрядные светодиодные индикаторы;
- матричные светодиодные индикаторы;
- LCD алфавитно-цифровые индикаторы;
- мнемонические LCD индикаторы;
- графические LCD индикаторы.

1.4.1. Светодиоды



Светодиод излучает кванты света определенной длины волны в том случае, если он смещен в прямом направлении.

Яркость свечения светодиода увеличивается с увеличением величины прямого тока протекающего через светодиод.

Светодиоды используются для выдачи разовых сигналов (статусных сигналов):

- Включено;
- Выключено;
- Норма;
- Авария и т.п.

Цвет свечения светодиода (длина волны) определяется материалом из которого он изготовлен.

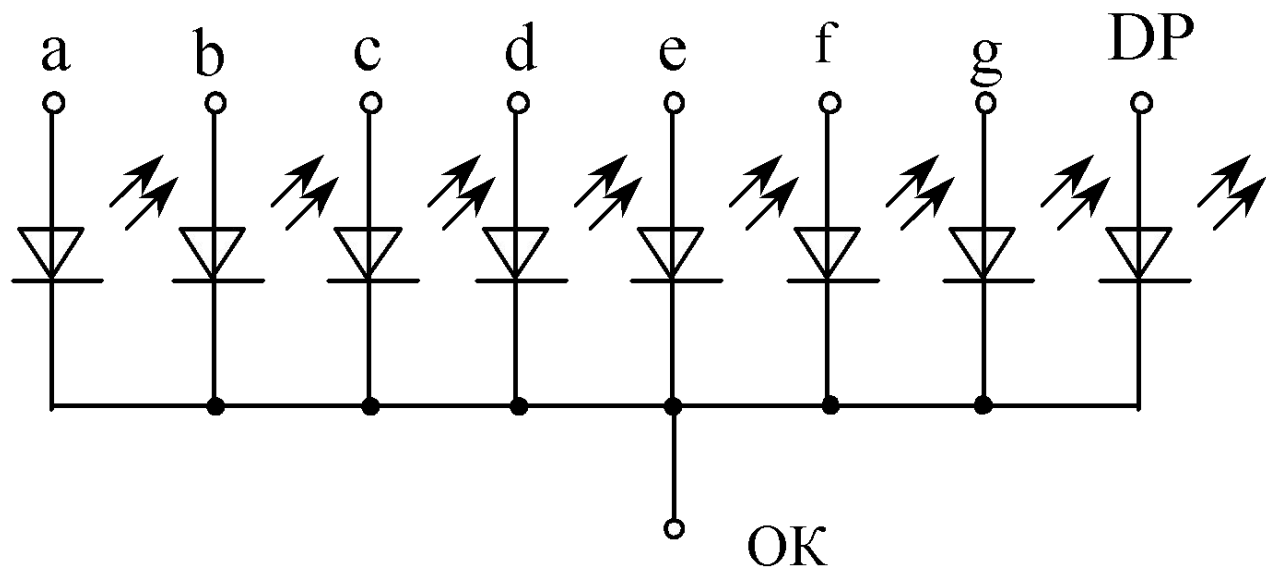
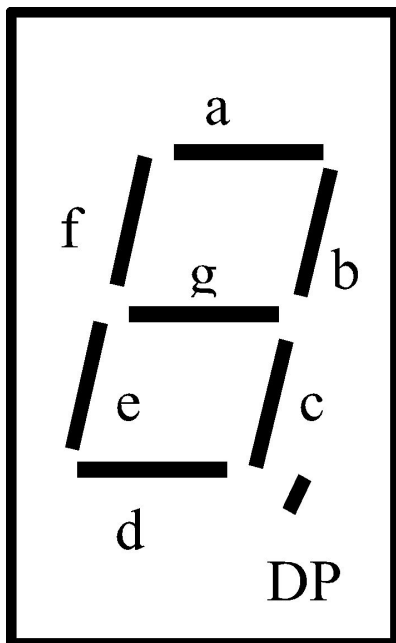
Обычные светодиоды изготавливаются из различных неорганических полупроводниковых материалов, в следующей таблице приведены доступные цвета с диапазоном длин волн, падение напряжения на диоде, и материал

	Цвет	Длина волны (нм)	Напряжение (В)	Материал полупроводника
	Инфракрасный	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Арсенид галлия (GaAs) Алюминия галлия арсенид (AlGaAs)
	Красный	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs Галлия арсенид фосфид (GaAsP) Алюминия галлия индия фосфид (AlGaInP) Галлия фосфид (GaP)
	Оранжевый	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP AlGaInP GaP
	Желтый	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP AlGaInP GaP
	Зеленый	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	Индия галлия нитрид (InGaN) / Галлия нитрид (GaN) GaP AlGaInP
	Голубой	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	ZnSe InGaN SiC
	Фиолетовый	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	InGaN
	Пурпурный	Смесь нескольких спектров	$2.48 < \Delta V < 3.7$	Двойной: синий/красный диод, синий с красным люминофором, или белый с пурпурным пластиком
	Ультрафиолетовый	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	AlN AlGaN AlGaInN
	Белый	Широкий спектр	$\Delta V = 3.5$	Синий/ультрафиолетовый диод с люминофором,

1.4.2. Семисегментные одноразрядные светодиодные индикаторы

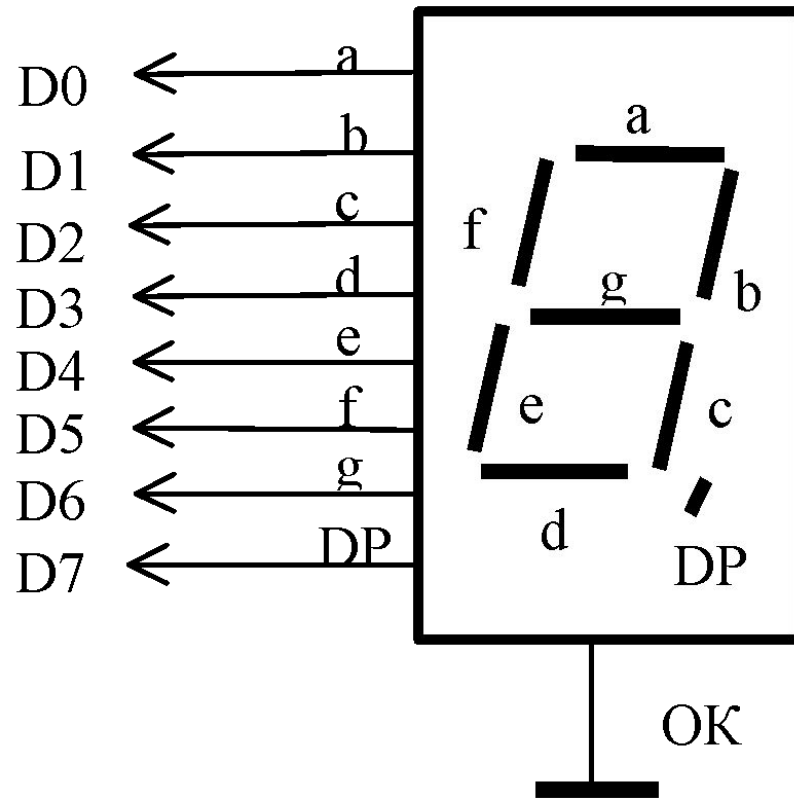
Индикатор используется для вывода одной десятичной цифры.





К разрядам порта

VD



Цифра	BCD код	Разряды порта								HEX код
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
		Выводы индикатора								
		DP	g	f	e	d	c	b	a	
0	00 h	0	0	1	1	1	1	1	1	3F
1	01 h	0	0	0	0	0	1	1	0	06
2	02 h	0	1	0	1	1	0	1	1	5B
3	03 h	0	1	0	0	1	1	1	1	4F
4	04 h	0	1	1	0	0	1	1	0	66
5	05 h	0	1	1	0	1	1	0	1	6D
6	06 h	0	1	1	1	1	1	0	1	7D
7	07 h	0	0	0	0	0	1	1	1	07
8	08 h	0	1	1	1	1	1	1	1	7F
9	09 h	0	1	1	0	1	1	1	1	6F

Преобразование двоично-десятичного кода в семисегментный код может быть выполнено:

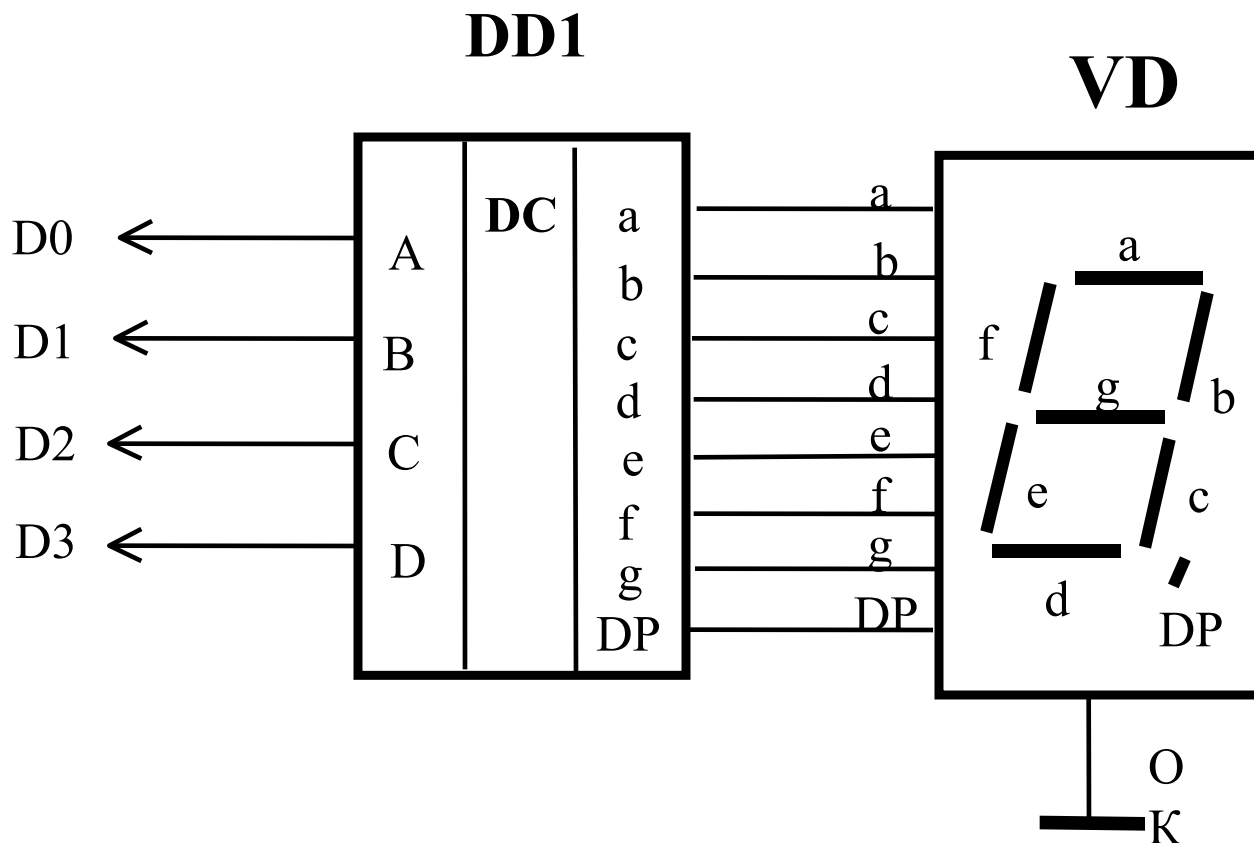
- программным способом;
- аппаратным способом.

Программный способ преобразования двоично-десятичного кода в семисегментный код (Метод смещения адреса)

1. Начиная с ячейки памяти с известным адресом, создается массив данных, соответствующий кодам, которые необходимо выдавать в порт, причем, первый элемент массива соответствует цифре 0, второй - цифре 1 и т.д.
2. Код цифр используется для нахождения соответствующей кодовой комбинации в массиве, путем суммирования с начальным адресом массива.

Реализация метода смещения адреса предполагает использование косвенного способа адресации.

Аппаратный способ преобразования двоично-десятичного кода цифры в семисегментный код.



Использование внешнего дешифратора двоично-десятичного кода в семисегментный код

13-сегментные светодиодные индикаторы



A B C D E F G H I J
K L M N O P Q R S T
U V W X Y Z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 /

16-сегментные светодиодные индикаторы



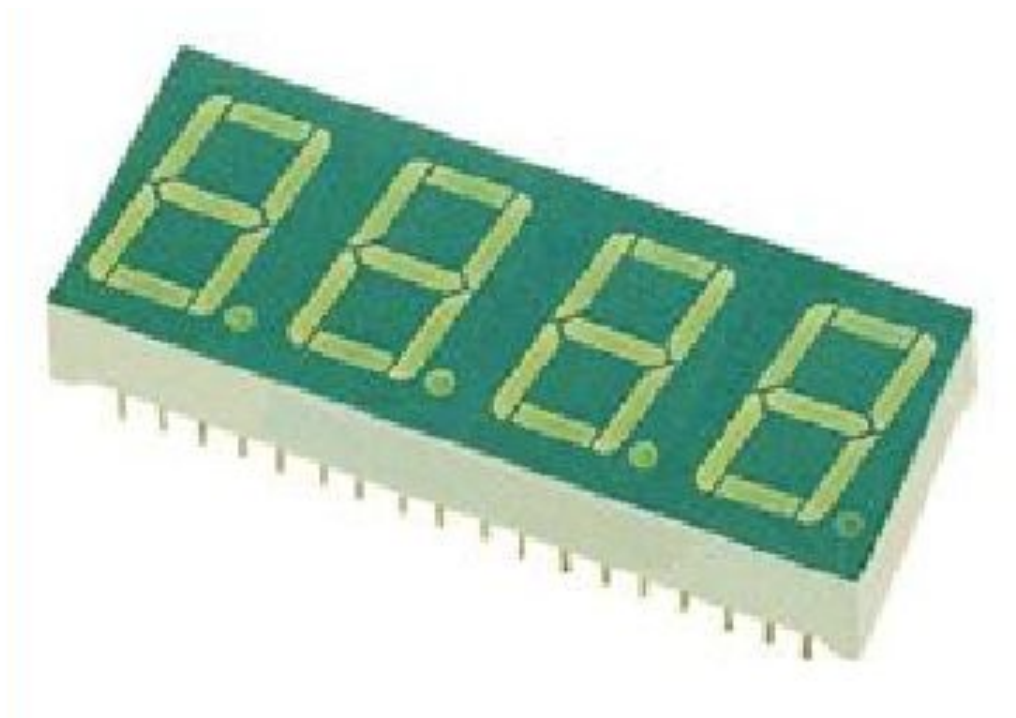
A B C D E F G H I J

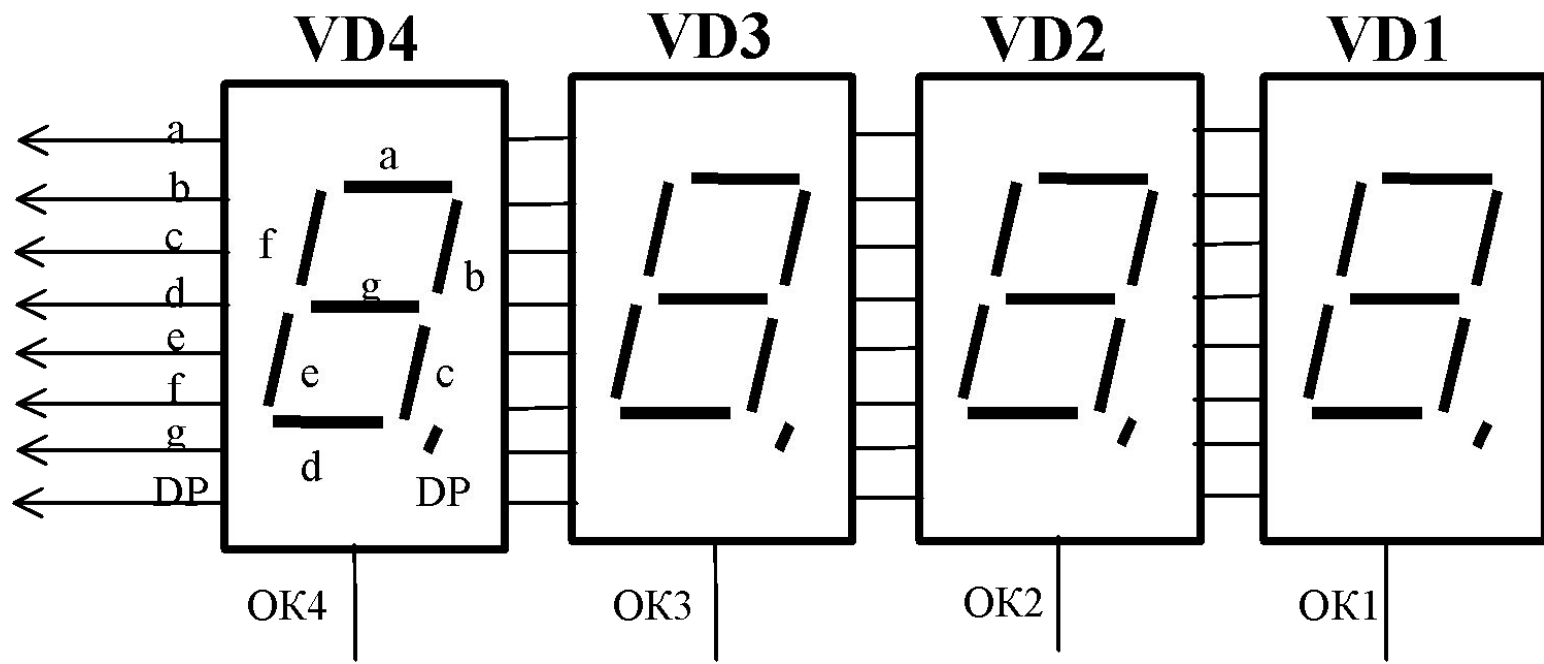
K L M N O P Q R S T

U V W X Y Z

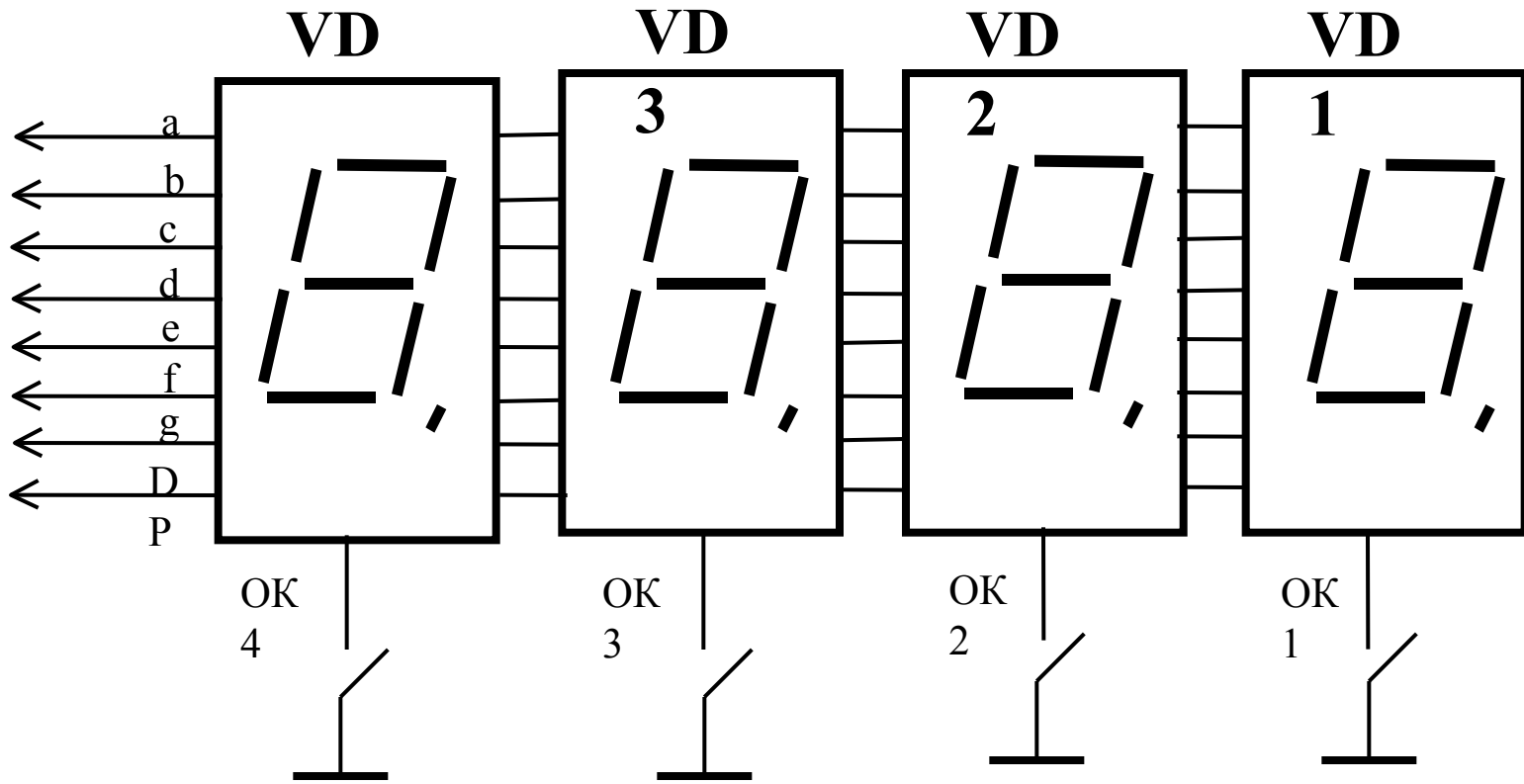
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 /

1.4.3. Семисегментные многоразрядные светодиодные индикаторы





Для обеспечения вывода на многоразрядный индикатор чисел необходимо реализовать динамическую индикацию.



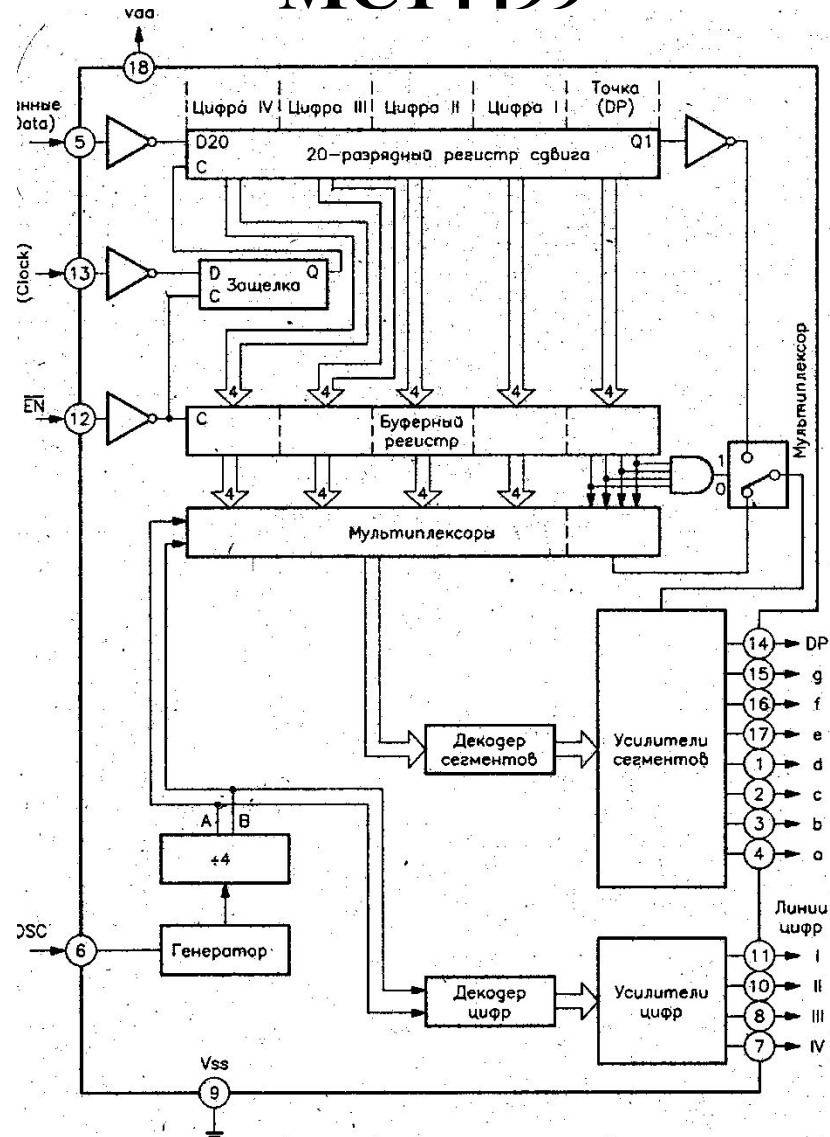
Динамическая индикация

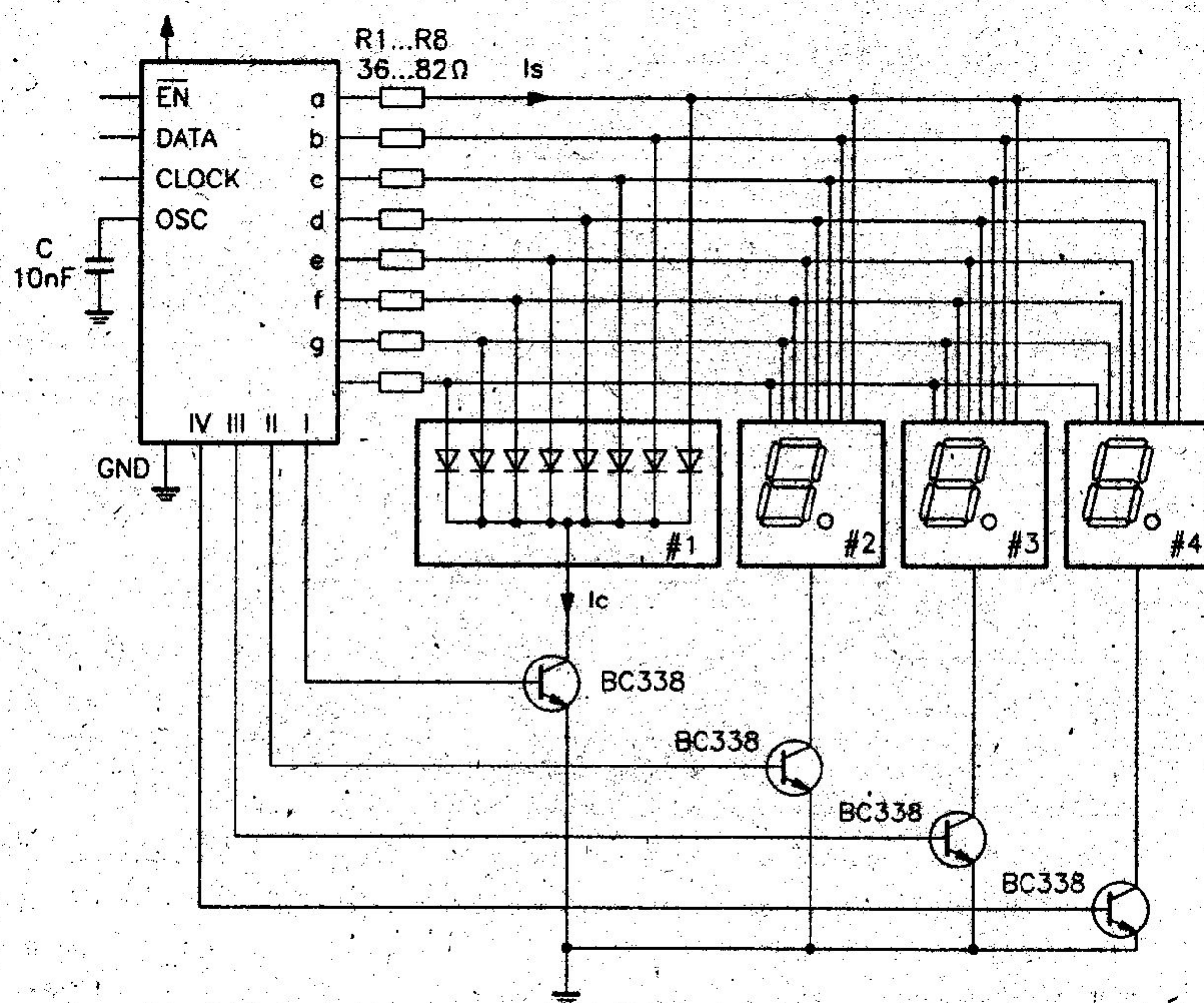
- выводы ОК1, ОК2...ОК n отключаются от минуса источника питания;
- на выводы а, в ...DP подается код цифры для первого индикатора;
- засвечивается первый индикатор, путем подключения к выводу ОК1 минуса источника питания;
- гасится первый индикатор, путем отключения вывода ОК1 от минуса источника питания;
- на выводы а, в ...DP подается код цифры для второго индикатора;

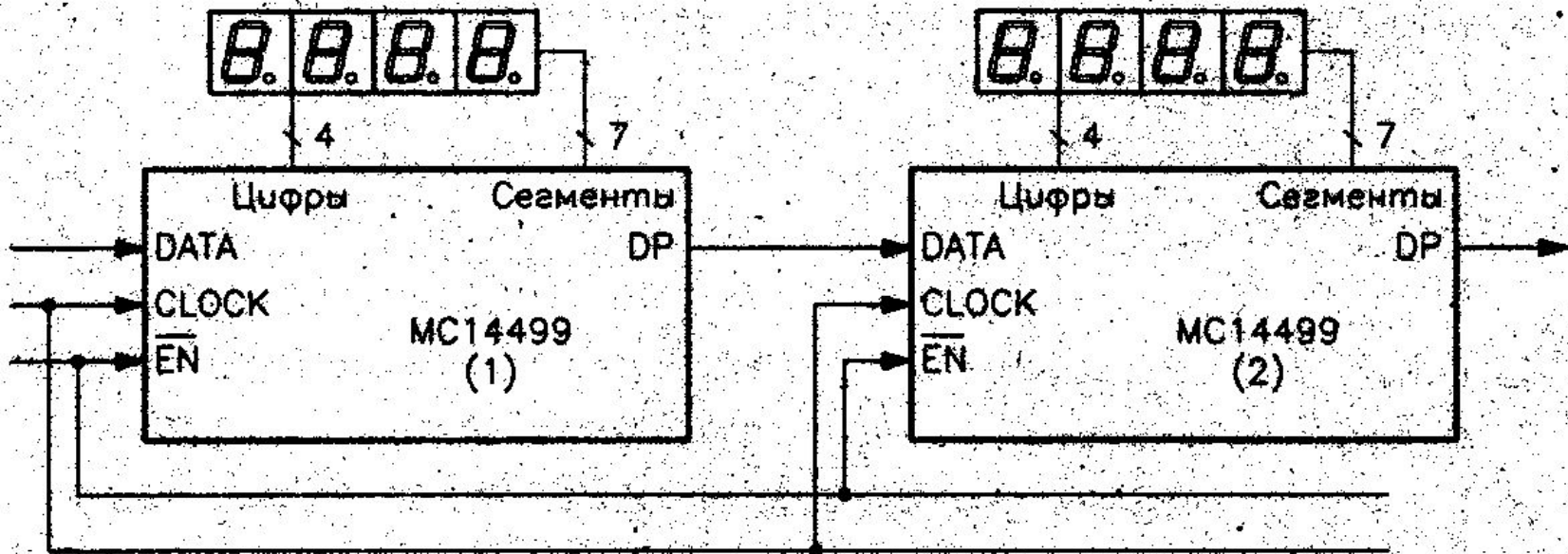
- засвечивается второй индикатор, путем подключения к выводу ОК2 минуса источника питания;
- гасится второй индикатор, путем отключения вывода ОК2 от минуса источника питания и т.д.

Если частота засвечивания отдельного индикатора будет превышать критическую частоту световых мельканий (40-60 Гц), то мы будем наблюдать на многоразрядном индикаторе постоянно светящееся многоразрядное число.

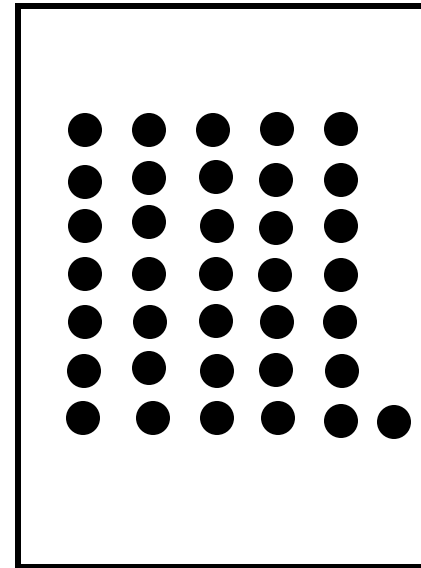
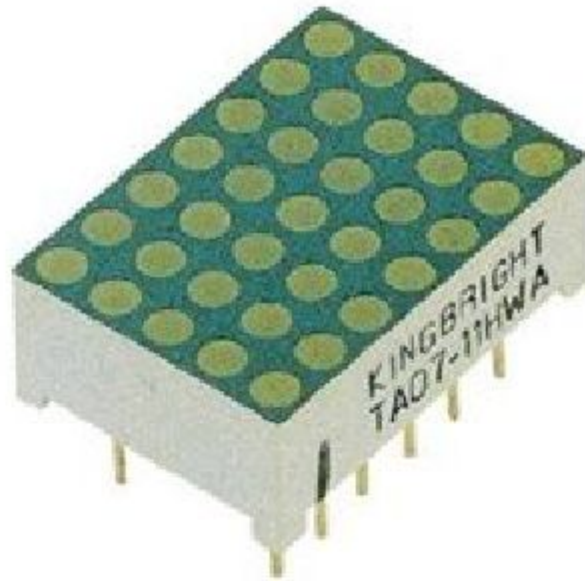
Контроллер динамической индикации МС14499





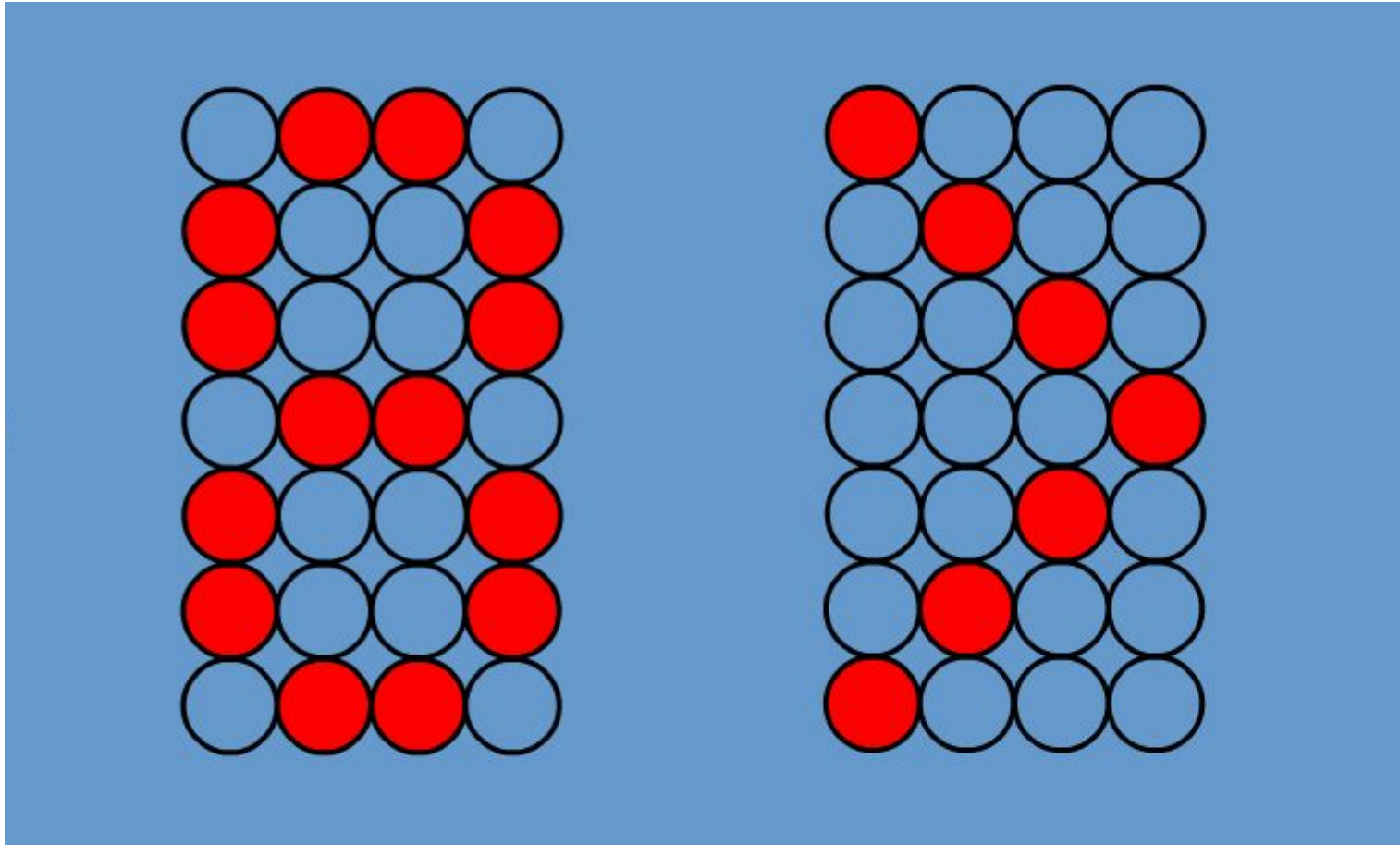


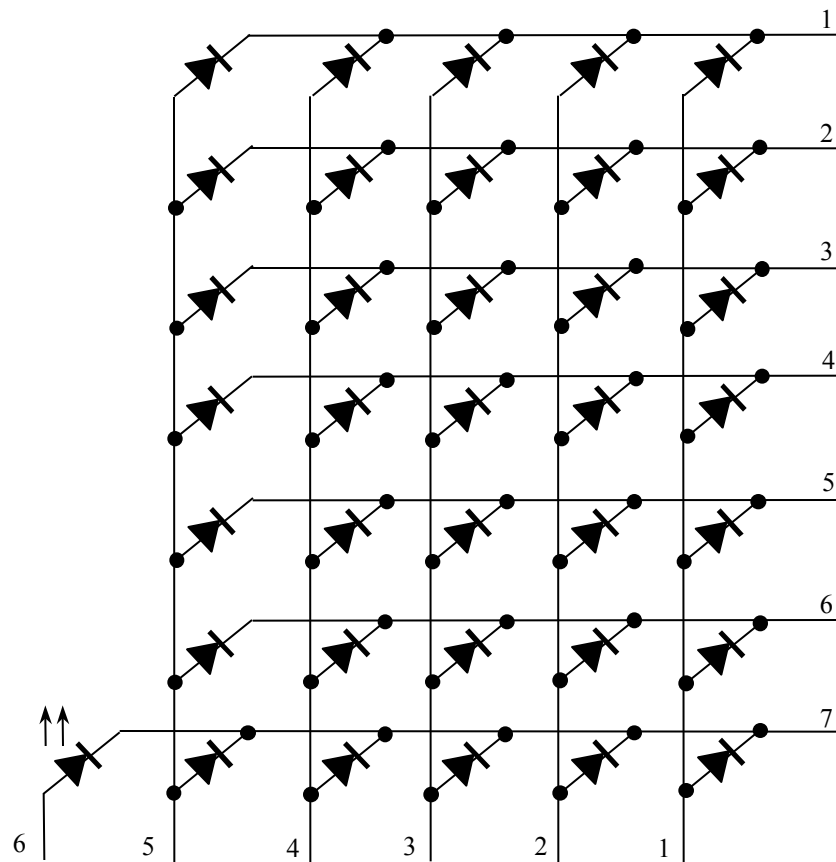
1.4.4. Матричный светодиодный индикатор



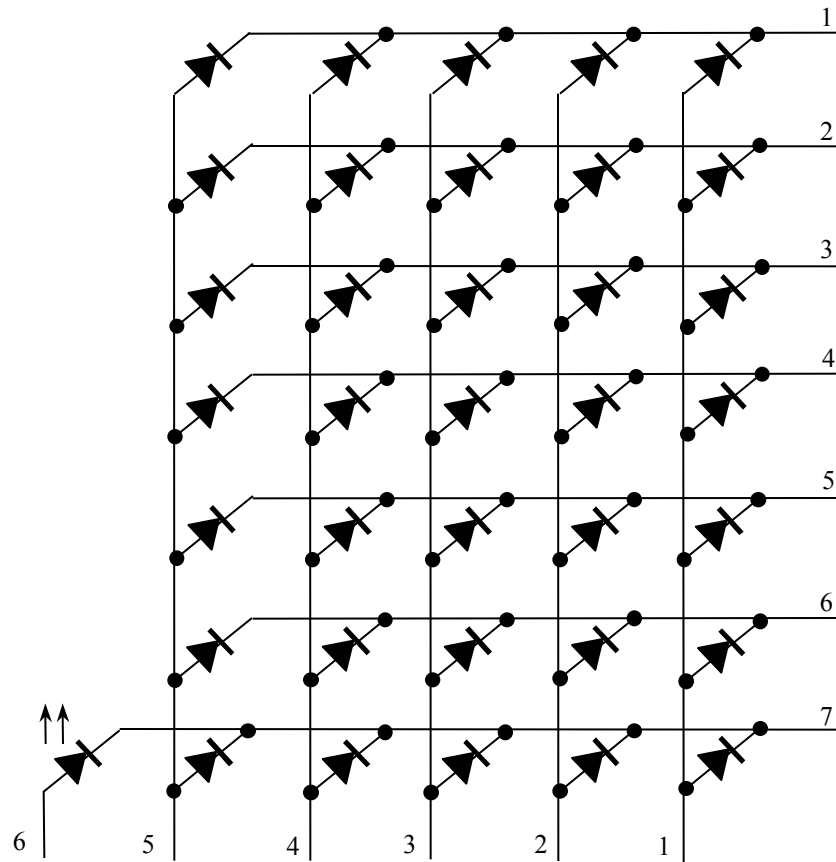
Матричный индикатор образован матрицей светодиодов 7×4 или 7×5 .

С помощью матричного индикатора можно индицировать не только цифры и литеры, но и другие символы.





Катоды всех светодиодов в строках соединены и подключены к соответствующей линии строки. Аноды светодиодов одного столбца также объединены вместе и подключены к соответствующим линиям столбцов.



Для того чтобы светодиод засветился, на его анод необходимо подать уровень сигнала соответствующий логической единице, а на катод — уровень сигнала соответствующий логическому нулю.

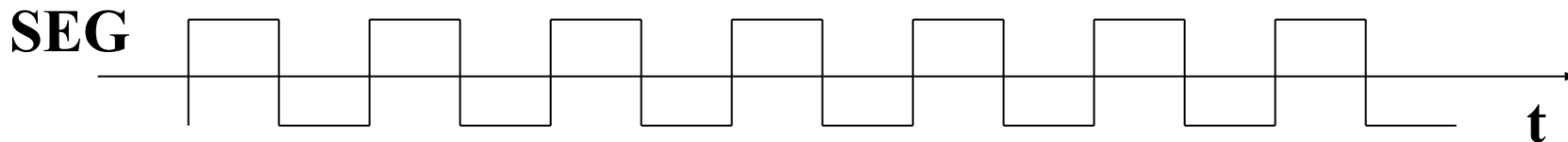
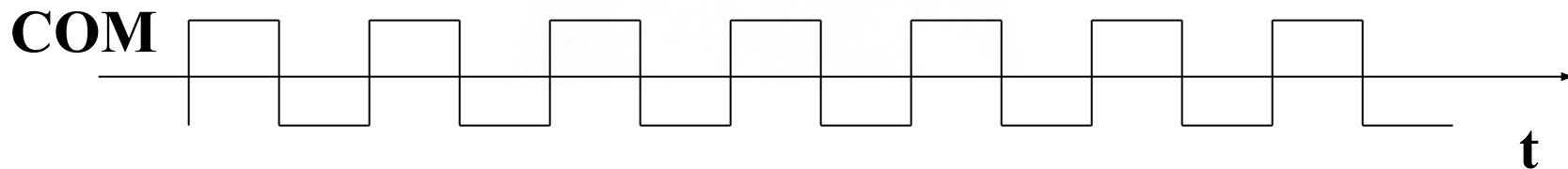
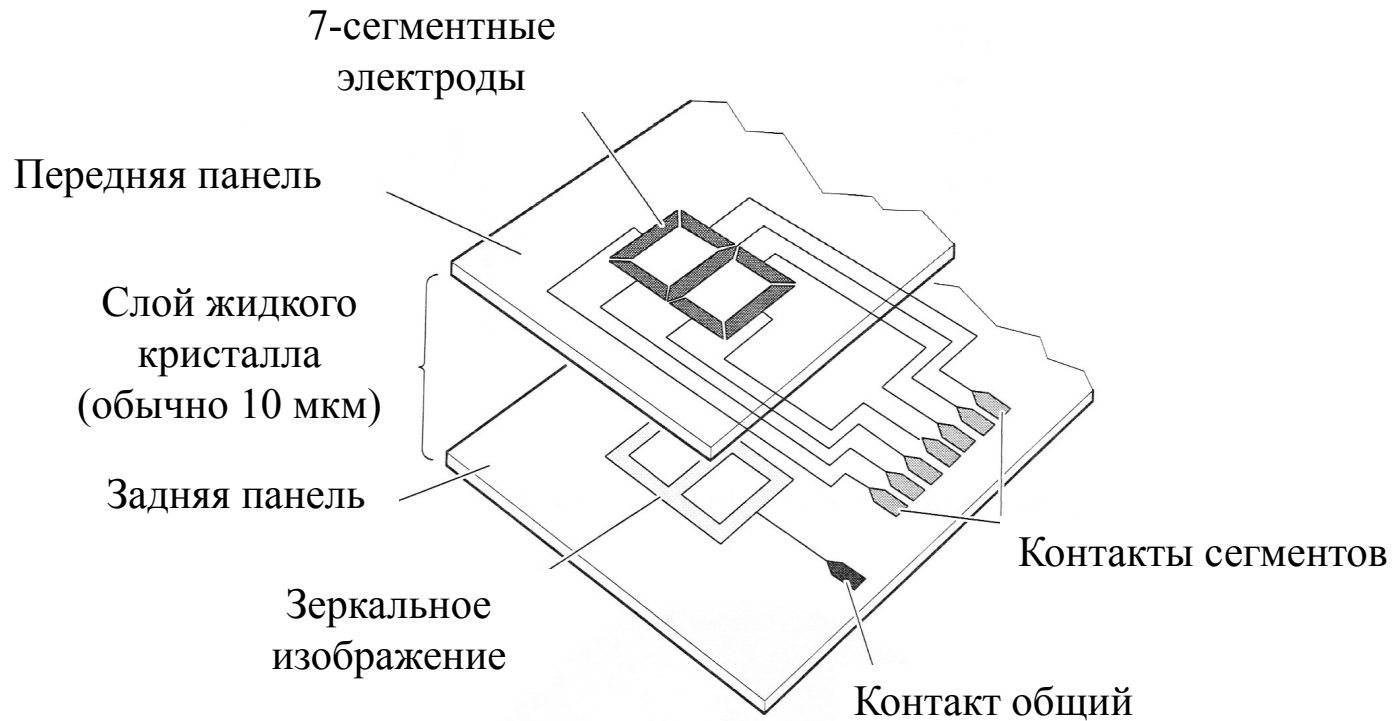
1.4.5 LCD алфавитно-цифровые индикаторы

LCD 7-сегментный индикатор

Liquid Crystal Diode (LCD)– жидкокристаллический диод

Индикатор имеет задний (общий) электрод и электроды сегментов. К общему электроду прикладывается сигнал COM, а к сегментам - сигналы SEG.

Если разность потенциалов между общим электродом и сегментным электродом равна нулю, то данный сегмент прозрачен и невидим.



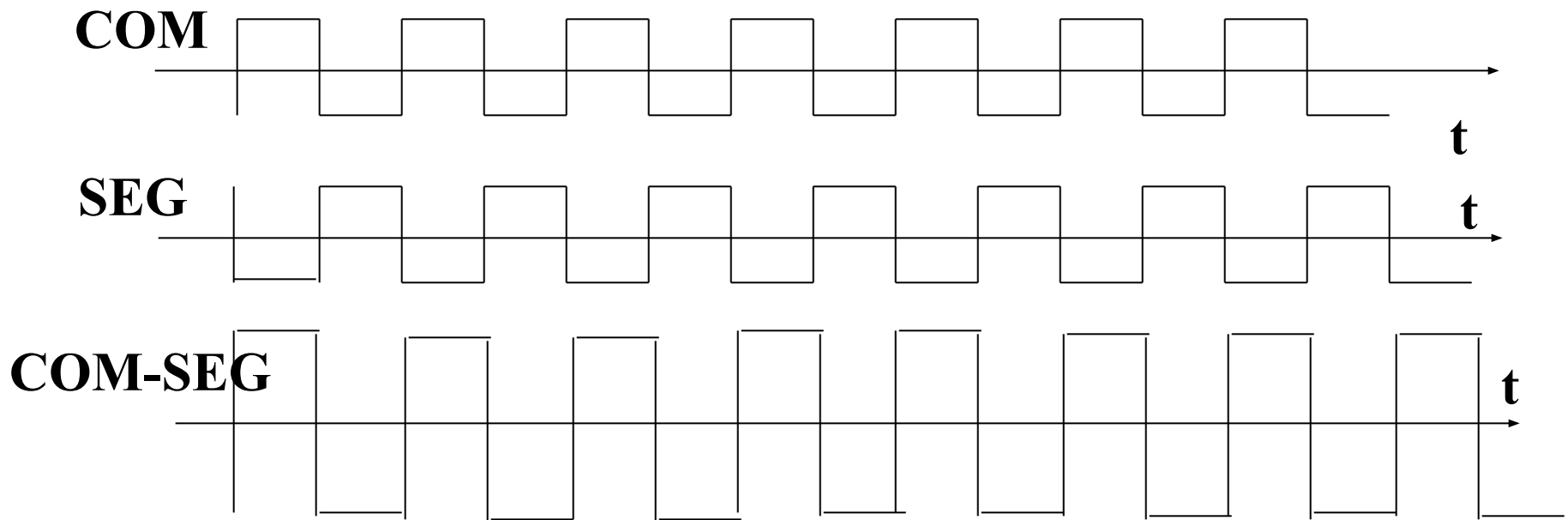
COM-SEG Сегмент прозрачен

TSI

Микропроцессорные управляющие системы

56t

Если разность потенциалов между общим электродом и сегментным электродом не равна нулю, то данный сегмент непрозрачен и становится видимым за счет отражения падающего света.

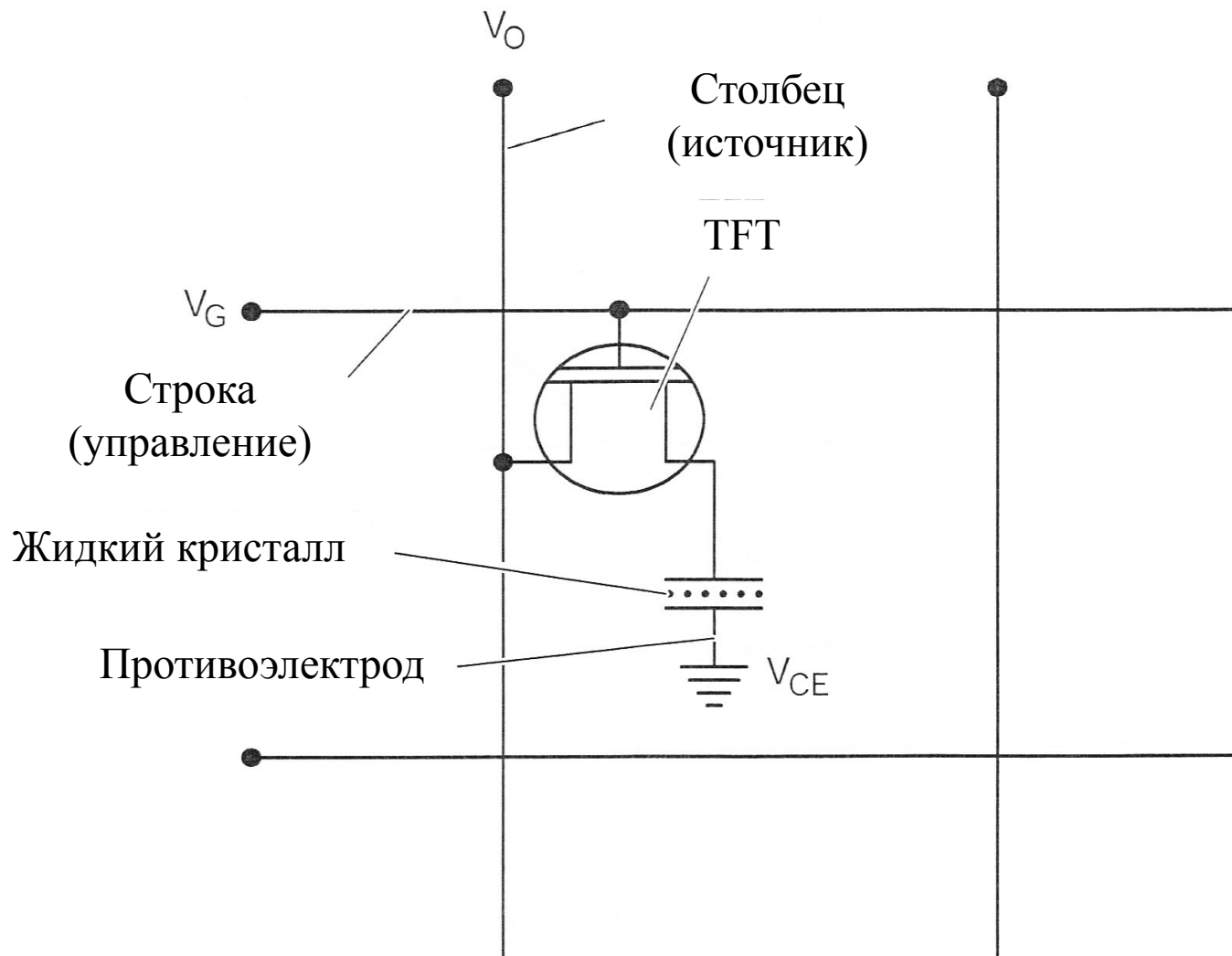


Сегмент непрозрачен

На электроды не должны поступать постоянные напряжения, а только импульсные сигналы!!!

LCD матричные индикаторы

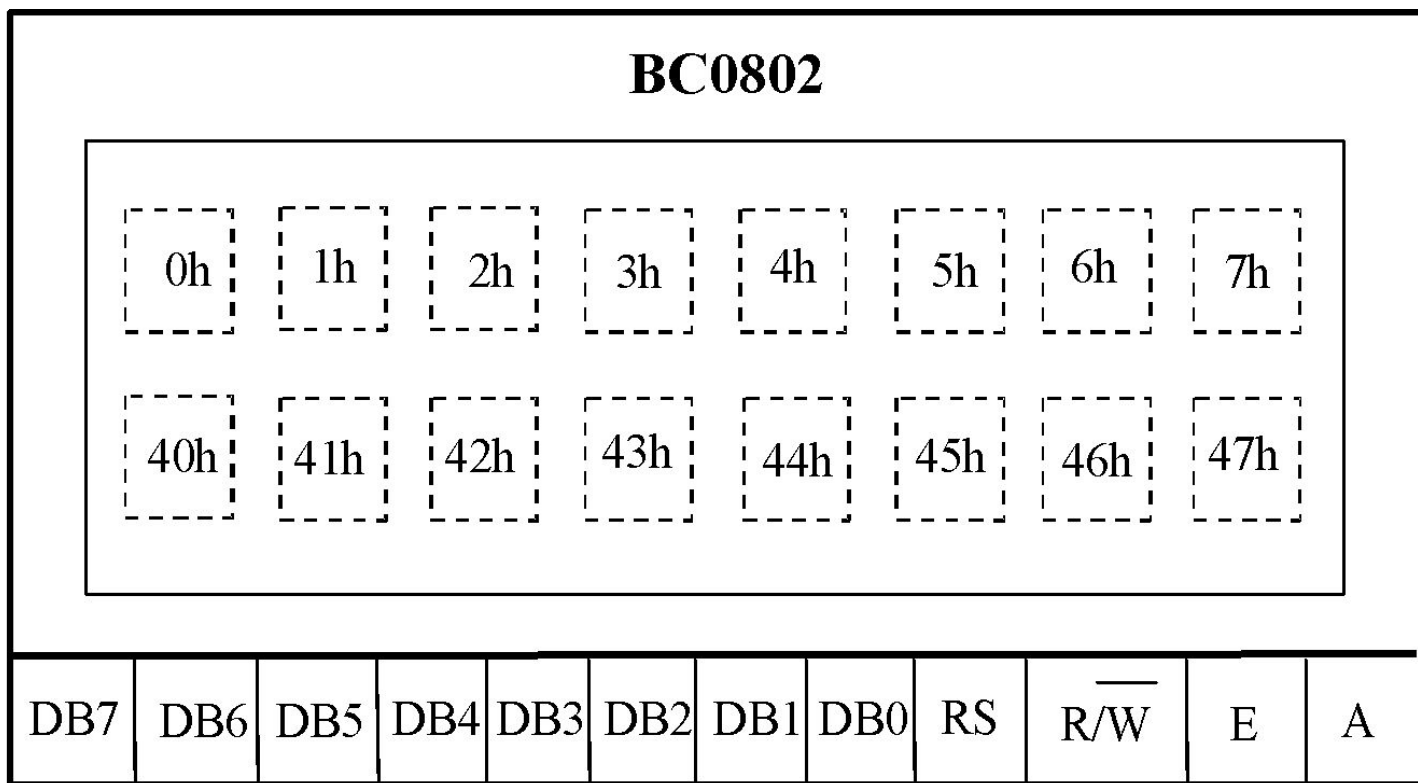




Пиксел LCD матричного индикатора

“Интеллектуальный” LCD индикатор

BC0802A фирмы BOLYMIN (Тайвань)



Вывод	Назначение вывода
Vss	Общий вывод (-5В)
Vdd	Напряжение питания (+5В)
Vo	Управление контрастностью
RS	Адресный сигнал – выбор между передачей данных и команд управления
R/W	Выбор режима записи или чтения
E	Разрешение обращения к модулю (строб данных)
DB0	Шина данных (8-битный режим младший бит)
DB1	Шина данных (8-битный режим)
DB2	Шина данных (8-битный режим)
DB3	Шина данных (8-битный режим)
DB4	Шина данных (8-битный и 4-битный режимы, младший бит в 4-битном режиме)
DB5	Шина данных (8-битный и 4-битный режимы)
DB6	Шина данных (8-битный и 4-битный режимы)
DB7	Шина данных (8-битный и 4-битный режимы старший бит)
A	+
K	питания подсветки

LCD индикатор состоит из контроллера управления KS0066 и жидкокристаллической панели.

Индикатор позволяет отображать 2 строки по 8 символов в каждой. Символы отображаются в матрице 5×7 точек. Под матрицей располагается курсор.

Каждому отображаемому на дисплее символу соответствует его код в ячейке ОЗУ дисплея (DDRAM – Display data RAM).

LCD индикатор содержит два вида памяти:

- память кодов отображаемых символов (ROM);
- память пользовательского знакогенератора (CGRAM – Character Generator RAM).

Память кодов отображаемых символов содержит коды символов, которые формируются встроенным знакогенератором.

Память кодов отображаемых символов

Младшая цифра кода символа (шестнадцатеричный код)

		Старшая цифра кода символа (шестнадцатеричный код)															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	CG RAM (1)			0	0	P	'	P				B	B	4	.	2	*
1	CG RAM (2)		!	1	0	0	a	a				Г	Я	ш	.	4	*
2	CG RAM (3)		"	2	B	R	b	r				ё	б	ь	"	ш	*
3	CG RAM (4)		#	3	0	S	c	s				Ж	В	М	"	2	*
4	CG RAM (5)		\$	4	D	T	d	t				З	Г	Ь	?	0	ш
5	CG RAM (6)		%	5	E	U	e	u				И	ё	а	ж	4	'
6	CG RAM (7)		&	6	F	V	f	v				К	к	ю	?	ш	0
7	CG RAM (8)		'	7	G	W	g	w				Л	э	я	і	'	ш
8	CG RAM (1)		(8	H	X	h	x				П	М	0	ш	.	*
9	CG RAM (2))	9	I	Y	i	y				У	а	0	†	'	0
A	CG RAM (3)		*	#	J	Z	j	z				Ф	к	0	↓	ё	ш
B	CG RAM (4)		+	!	K	C	k	c				Ч	л	"	ш	0	*
C	CG RAM (5)		,	<	L	E	l	e				Ш	М	2	ш	ш	ш
D	CG RAM (6)		-	=	M	J	m	j				б	н	с	ш	*	0
E	CG RAM (7)		.	>	N	^	n	e				В	н	с	?	0	ш
F	CG RAM (8)		/	?	O	_	o	e				Э	т	ё	.	0	ш

Память пользовательского знакогенератора позволяет запомнить до 8 изображений символов, задаваемых пользователем. Каждый символ занимает 8 байт.

7	6	5	4	3	2	1	0
р	р	р	р	р	р	р	р
х	х	х	0	1	1	1	0
х	х	х	1	0	0	0	1
х	х	х	1	0	0	0	1
х	х	х	0	1	1	1	0
х	х	х	0	0	1	0	0
х	х	х	0	1	0	1	0
х	х	х	1	0	0	0	1
х	х	х	0	0	0	0	0

} Изображение символа

} Позиция курсора

Программное управление LCD индикатором осуществляется с ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ КОМАНД

Команда	Описание
Clear Display	Очищает индикатор и помещает курсор в самую левую позицию
Return Home	Перемещает курсор в левую позицию
Entry Mode Set	Установка направления сдвига курсора и разрешение сдвига дисплея
Display ON/OFF Control	Включает индикатор (D=1), курсор (C=1) и выбирает тип курсора: мигающий блок (B=1) или подчеркивание (B=0)
Cursor or Display Shift	Выполняет сдвиг дисплея или курсора (S/C) вправо или влево (R/L)
Function Set	Установка разрядности интерфейса: 4 бита (DL=0), 8 бит (DL=1) и страницы знакогенератора (P)
Set CGRAM Address	Установка адреса для последующих операций (и установка туда курсора) и выбор области CGRAM
Set DDRAM Address	Установка адреса для последующих операций и выбор области DDRAM
Read BUSY flag and Address	Прочитать флаг занятости и содержимое счетчика адреса
Write Data to RAM	Запись данных в активную область
Read Data from RAM	Чтение данных из активной области
	DDRAM – Display data RAM CGRAM – Character Generator RAM; ACG – CGRAM Address; ADD – DDRAM Address связанный с адресом курсора; AC – Address counter (адрес счетчика связанный и с адресом DDRAM и адресом GGRAM)

Перед началом работы необходимо произвести начальную установку LCD индикатора в соответствии с определенным алгоритмом.

Запись информации в модуль или чтение информации из модуля LCD индикатора осуществляется по срезу сигнала на входе E.

1.4.6. Мнемонические LCD индикаторы

Мнемонические LCD индикаторы широко используются в микропроцессорных системах управления технологическими процессами.

В отличие от алфавитно-цифровых индикаторов отдельный элемент изображения мнемонического индикатора представляет собой не сегмент или точку матрицы, а условное графическое обозначение.

1.4.7. Графические LCD индикаторы

Графические LCD индикаторы содержат в своем составе LCD дисплей, представляющий собой матрицу точек $n \times m$.

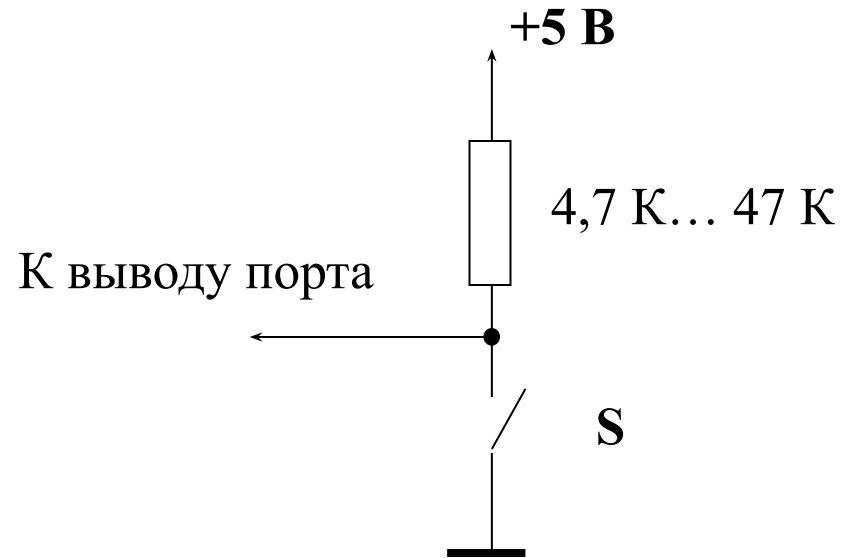
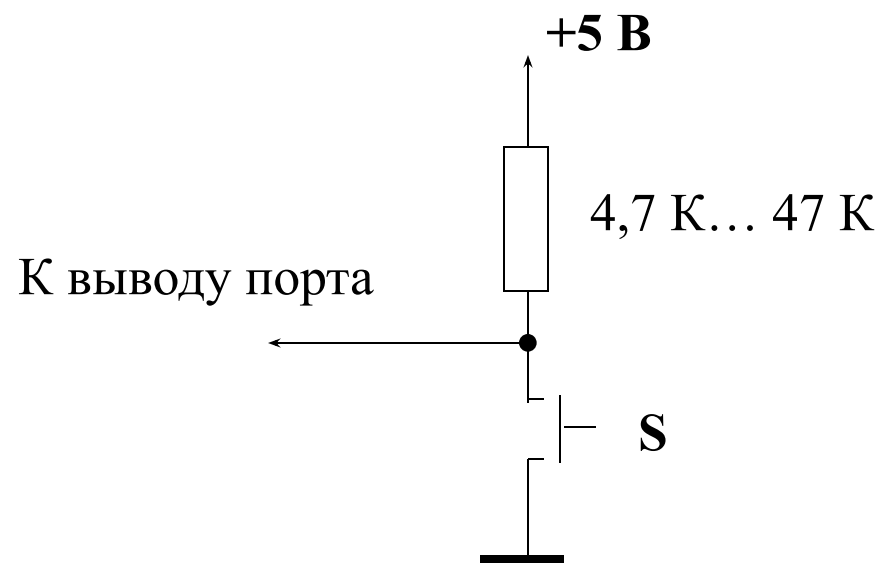
Графические LCD индикаторы позволяют воспроизводить не только любые символы, но и графику.

1.5. Устройства ввода информации

В микропроцессорных устройствах управления в качестве устройств ввода информации наиболее широко используются :

- кнопки;
- переключатели;
- многопозиционные переключатели;
- клавиатура;
- сенсорные панели.

1.5.1. Кнопки и переключатели



1.5.2. Многопозиционные переключатели

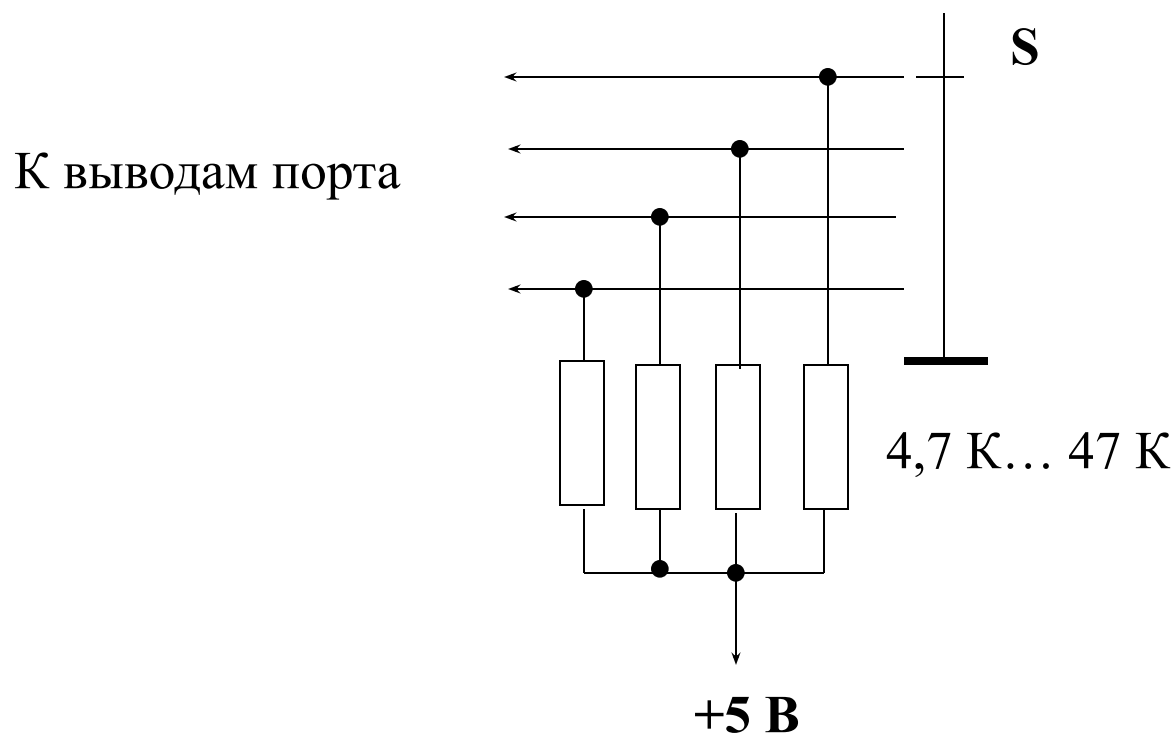
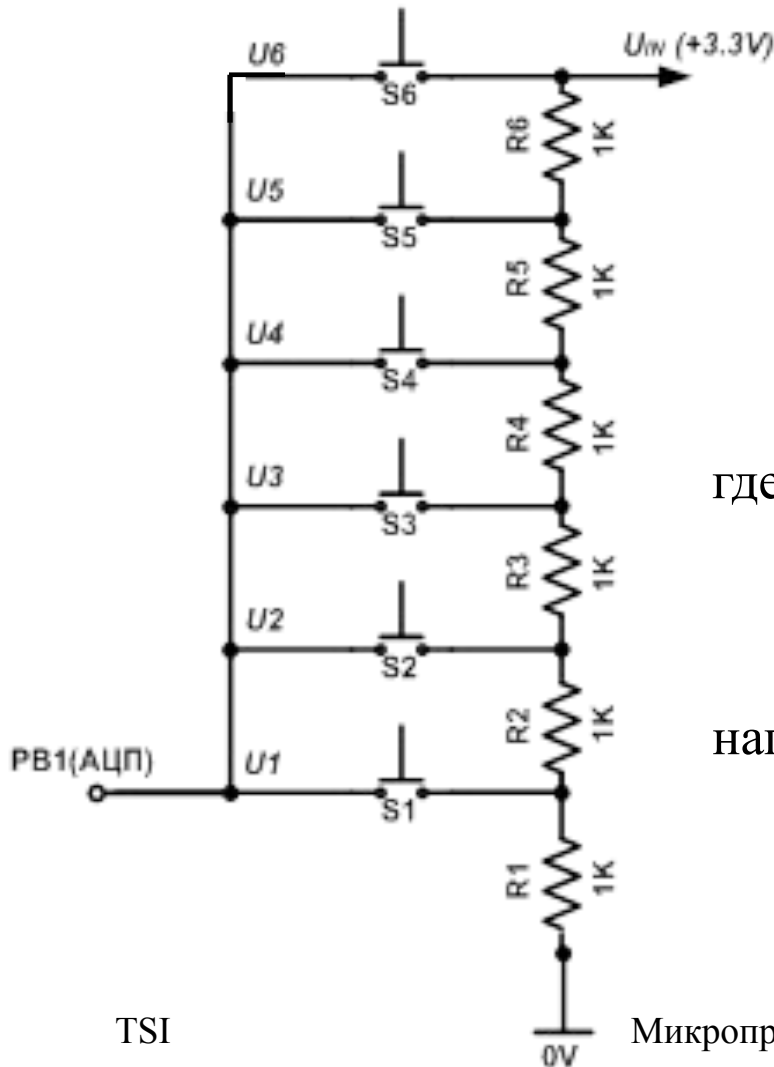


Схема использования одного разряда порта для ввода информации от шести кнопок или многопозиционного переключателя



$$U_i = U_{IN} \times \frac{i \times R_i}{\sum R}$$

где:

U_i – выходное напряжение;

U_{IN} – входное напряжение;

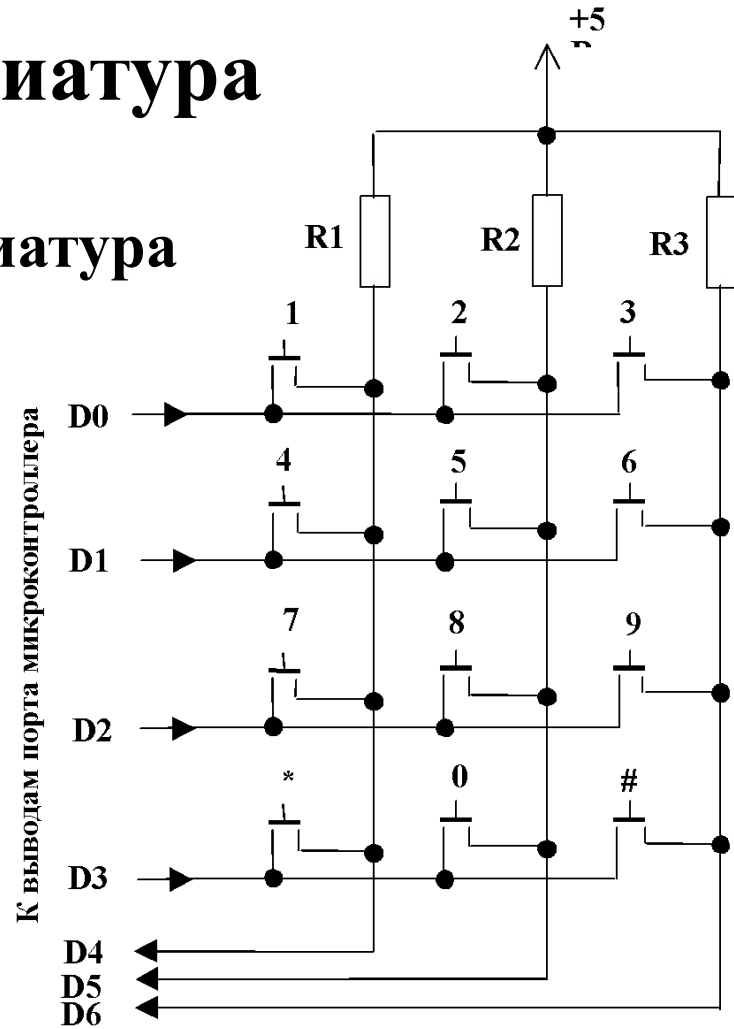
R_i – сопротивление резисторов в делителе напряжения;

i – номер кнопки (1,2,...,6).

1.5.3. Клавиатура

Матричная клавиатура

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



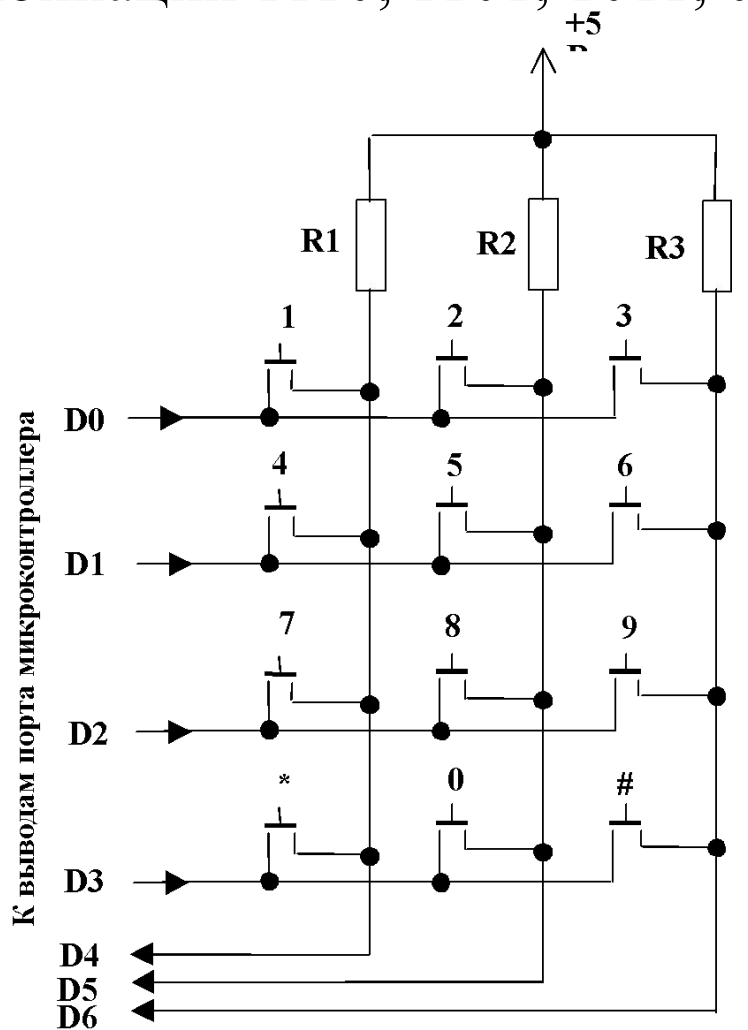
Для получения информации о нажатых кнопках необходимо постоянно сканировать клавиатуру.

Сканирование заключается в том, что в любой момент времени активизируется только одна единственная строка клавиатуры.

Нажатие кнопки находящейся в активной строке приводит к появлению определенного кода на линиях ввода.

Нажатие кнопки не находящейся в активной строке не приводит к изменению кода на линиях ввода. Поскольку в момент опроса линий ввода известно, какая строка активна, то принятая кодовая комбинация однозначно определяет нажатую кнопку.

Для сканирования представленной матричной клавиатуры необходимо на линии вывода D3...D0 непрерывно выдавать кодовые комбинации 1110, 1101, 1011, 0111 и т.д.



Микропроцессорные управляющие системы

Выходные линии порта				Входные линии порта			Нажатая кнопка
D3	D2	D1	D0	D6	D5	D4	
1	1	1	0	1	1	0	1
				1	0	1	2
				0	1	1	3
				1	1	1	нет нажатия кнопок
1	1	0	1	1	1	0	4
				1	0	1	5
				0	1	1	6
				1	1	1	нет нажатия кнопок
1	0	1	1	1	1	0	7
				1	0	1	8
				0	1	1	9
				1	1	1	нет нажатия кнопок
0	1	1	1	1	1	0	*
				1	0	1	0
				0	1	1	#
				1	1	1	нет нажатия кнопок
1	1	1	1	1	1	1	При нажатии кнопок кодовая комбинация не изменяется
1	1	0	0	Запрещенные кодовые комбинации			
1	0	0	1				
0	0	1	1				
0	1	1	0				
1	0	1	0				
0	1	0	1				
1	0	0	0				
0	0	0	1				
0	0	1	0				
0	1	0	0				
0	0	0	0				

1.5.4. Сенсорные панели

Сенсорная панель (сенсорный экран) — прозрачная, чувствительная к прикосновениям панель, устанавливаемая перед экраном монитора или LCD-индикатора.

Ввод информации осуществляется следующим образом:

- на экране монитора формируется изображение, содержащее элементы программного меню в наиболее понятной и доступной форме;
- человек управляет работой системы, просто прикасаясь к выбранному изображению на экране;
- координата точки касания передается в управляющую программу, сопоставляющую координату касания с изображением на экране монитора;
- зная местоположение и размеры элементов изображения, можно однозначно определить, какой именно элемент программного меню указал оператор, когда коснулся сенсорного экрана

Некоторые типы экранов допускают прикосновение практически любым предметом.

Сенсорный экран состоит из следующих элементов:

- собственно экран (панель);
- контроллер;
- интерфейс.

Панель — прозрачный многослойный экран, плоский или повторяющий форму поверхности монитора. С внутренней стороны имеет поддерживающее стекло, придающее конструкции необходимую жесткость. По периметру экрана расположены элементы механического крепления и контакты для съема электрических сигналов.

Контроллер — электронная схема, преобразующая исходный сигнал (аналоговый или цифровой) к виду, удобному для дальнейшей обработки.

Интерфейс — узел контроллера, состоящий из разъема, соединительного кабеля, а также драйвера.

Он предназначен для передачи информации от контроллера к главному управляющему узлу системы, например, к компьютеру. Наиболее часто экраны оснащаются интерфейсами RS-232, RS-485, а в последние годы все большую популярность приобретает USB.

Для подключения к управляющему микроконтроллеру в специализированном приборе сенсорные экраны оснащаются последовательными интерфейсами типа I²C или SPI.

Известны следующие варианты технологического исполнения сенсорных экранов:

- резистивные;
- емкостные;
- цифровые;
- на поверхностных акустических волнах (ПАВ или SAW);
- инфракрасные.

Резистивные экраны

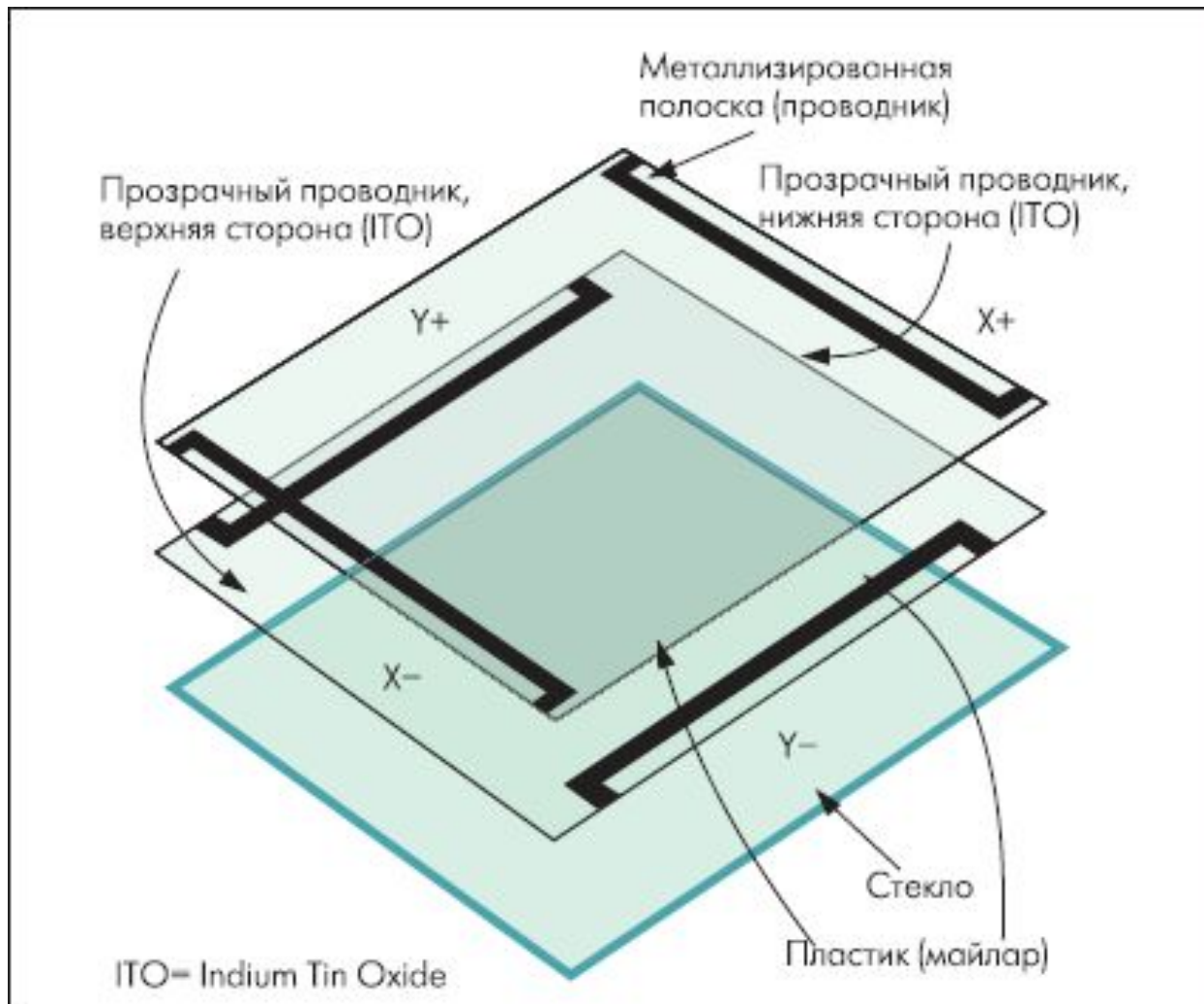
Резистивные экраны — наиболее популярный и отработанный в технологическом плане вид экранов. Исторически — это самый первый тип сенсорных панелей.

Резистивные экраны бывают:

- 4-проводные;
- 5-проводные;
- 8-проводные.

4-проводная панель устроена следующим образом. Два слоя прозрачного и прочного пластика (обычно полиэстер или майлар) покрываются прозрачной токопроводящей пленкой на основе двуокиси индия и олова (ITO).

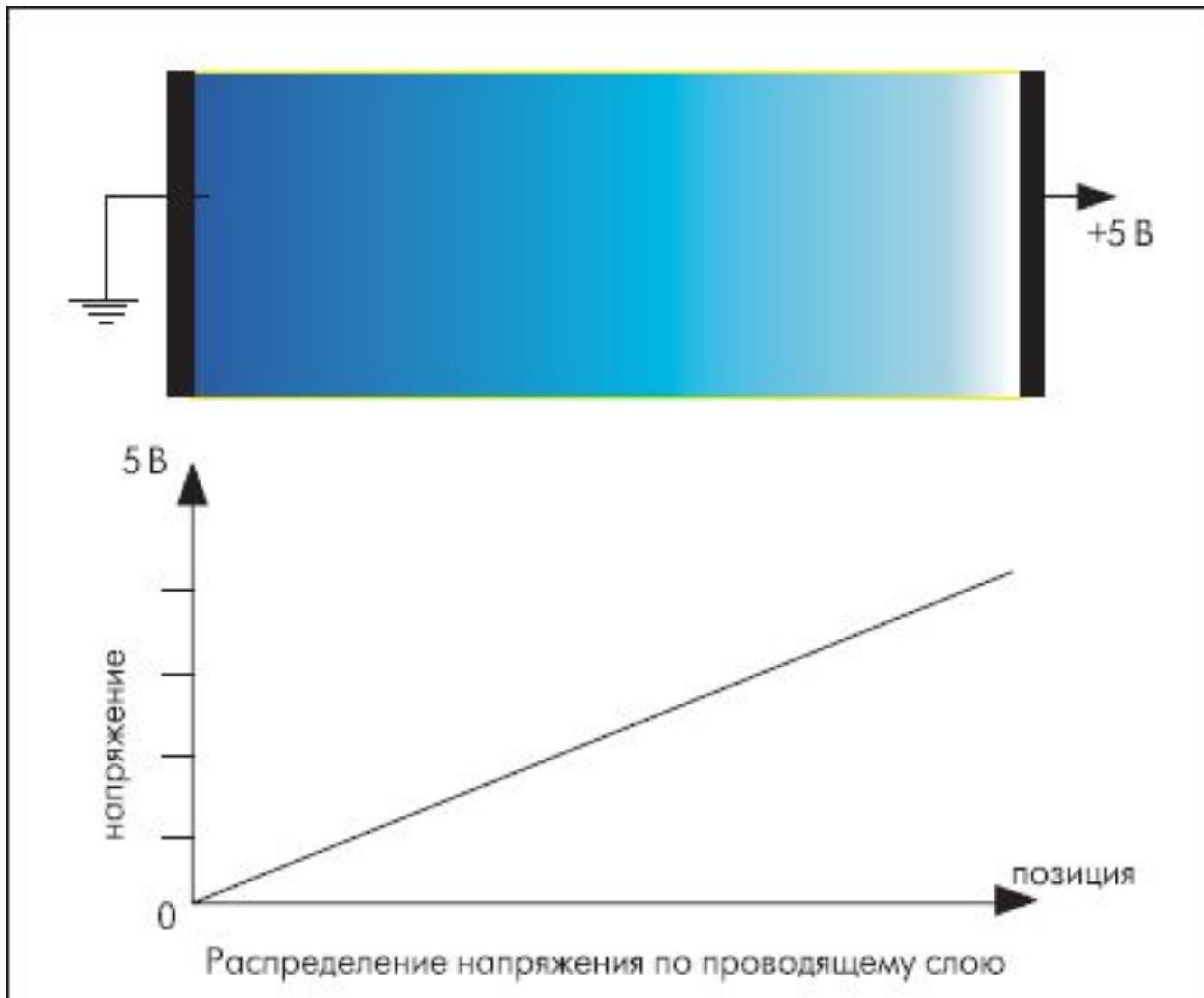
Эти пластины устанавливаются таким образом, чтобы проводящие слои на каждом из них были обращены друг к другу. Между ними вносятся изолирующие упругие микроскопические шарики (спейсеры), не позволяющие поверхностям соприкасаться друг с другом при отсутствии внешних сил.



4-проводная панель

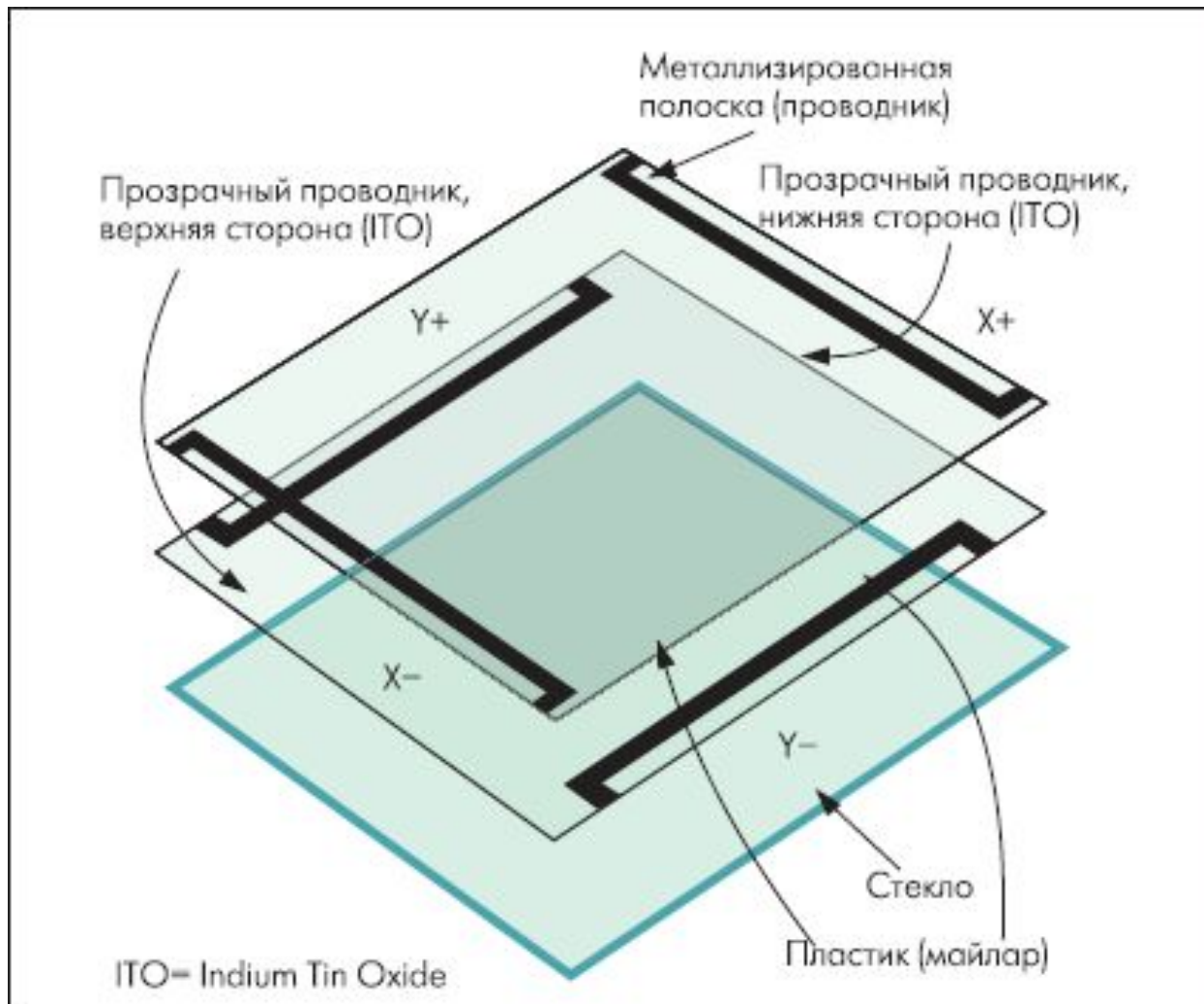
Токопроводящие покрытия обладают электрическим сопротивлением. При нанесении их стараются сделать максимально однородными по всей плоскости, чтобы тем самым обеспечить равномерность распределенного сопротивления.

Если теперь на электроды одной плоскости (на металлизированные полоски по краям пластика) подать напряжение, то оно распределится между полюсами так же равномерно и однородно.

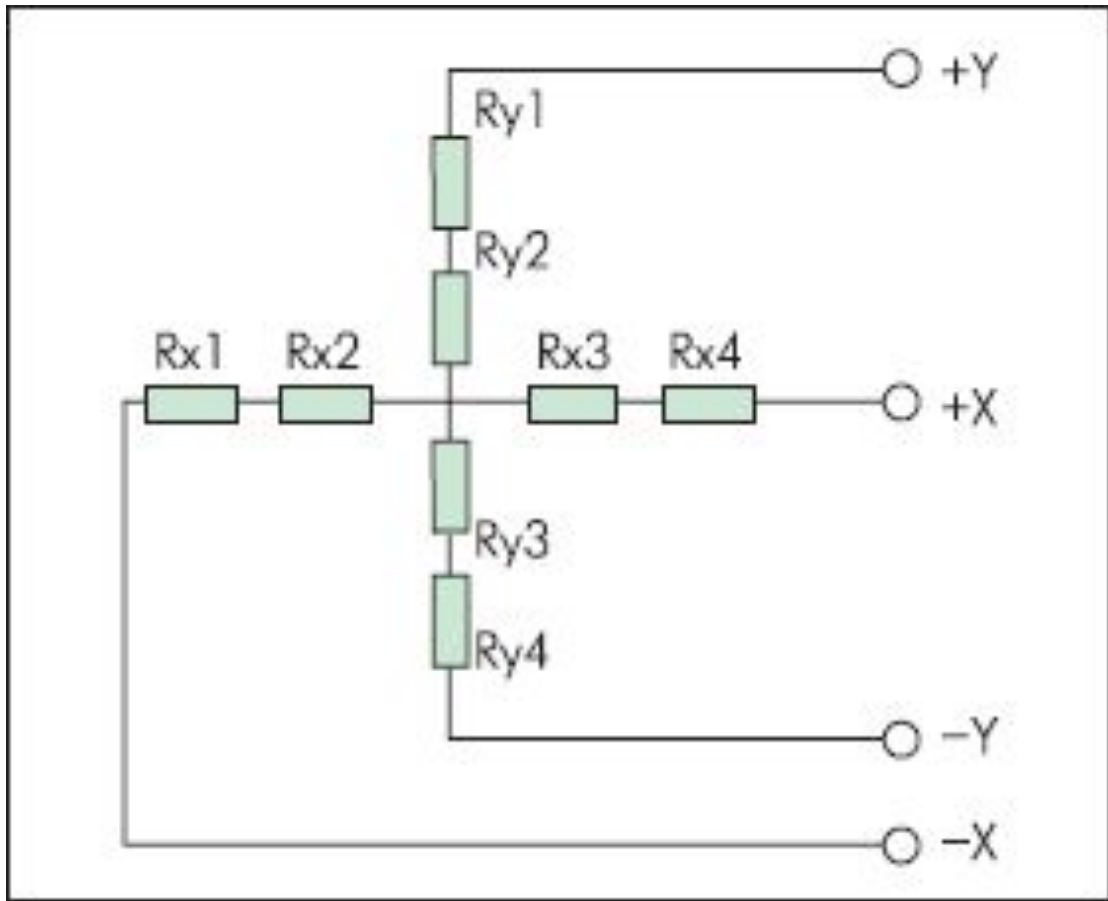


В момент прикосновения к экрану плоскости войдут в контакт.

Предположим, что в начале напряжение прикладывается к полюсам верхней плоскости. Вторая плоскость с проводящим покрытием, металлизированные полоски-электроды которой подключены к входам АЦП, служит своеобразным щупом и может использоваться для снятия напряжения в точке контакта. Таким образом, вычисляется координата X .

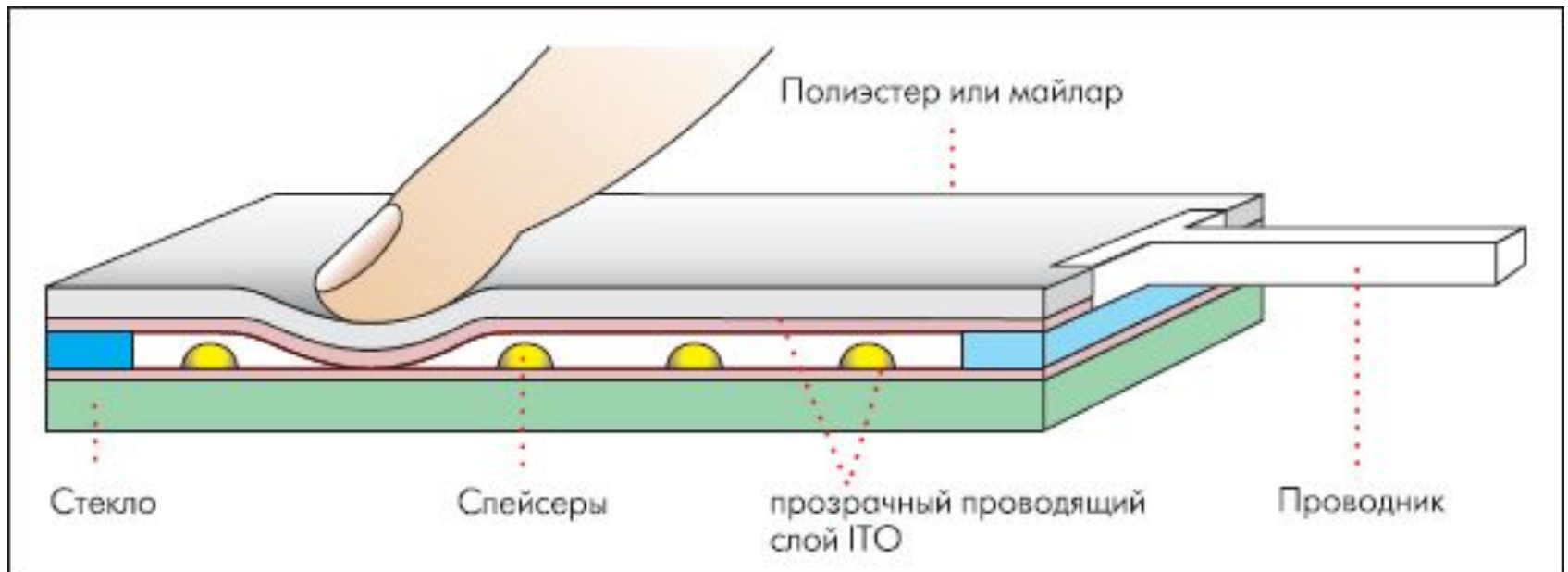


Затем источники напряжения и входы преобразователя переключаются, меняясь местами. Теперь напряжение прикладывается к металлическим полоскам на нижней плоскости, а потенциал точки соприкосновения снимается при помощи верхней плоскости. АЦП выдаст код пропорциональный координате Y .



Эквивалентная схема при измерении координат на 4-проводной панели

В 5-проводной панели отсутствует одна из пленок, покрытых составом ITO. В данном случае он наносится на стекло.



Таким образом, в 5-проводных экранах стекло не только придает конструкции необходимую жесткость, но и является сенсорной плоскостью. На всех четырех сторонах прямоугольной стеклянной подложки делаются тонкие несоприкасающиеся металлизированные полоски-проводники, на которые поочередно и попарно подается напряжение.

Одна пара электродов, размещенных на противоположных сторонах стеклянной подложки, необходима для измерений координаты по оси X , а другая — по оси Y .

8-проводные экраны по исполнению похожи на 4-проводные, но с целью компенсации деградации и технологических отклонений резистивных слоев панели, в конструкцию введены дополнительные проводники. 4 провода подпаяны к тем же самым четырем металлизированным полоскам по краям обеих плоскостей. Через них на проводящие поверхности подается напряжение смещения, компенсирующее уход параметров экрана после выполнения начальной калибровки экрана.

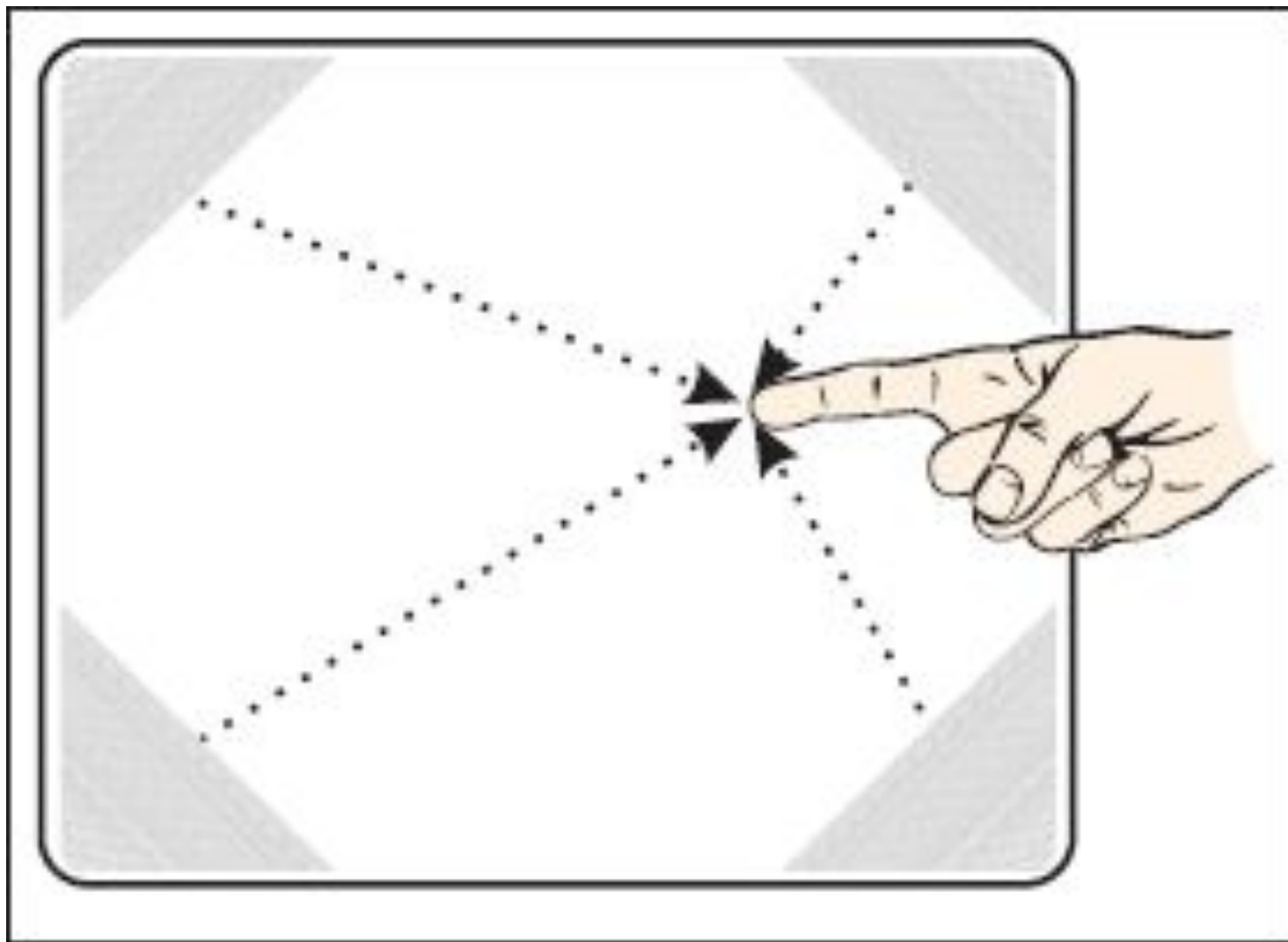
В результате подводки опорного напряжения стабильность работы панели возрастает, однако в целом надежность ее не увеличивается. Также как и 4-проводные экраны, они способны выдерживать от 10^5 до 10^6 касаний.

С течением времени происходит изменение характеристик резистивного экрана.

Это связано с осыпанием прозрачного проводящего слоя и, следовательно, с изменением однородности распределения питающего напряжения. В итоге меняется точность вычисления координат и позиционное положение некоторых точек экрана.

Резистивный экран требует периодической калибровки. Для ее выполнения пользователю предлагается под управлением специальной программы прикоснуться к нескольким точкам на экране. Эти точки будут последовательно возникать на мониторе.

Емкостные сенсорные экраны



В основу конструкции экранов на емкостной технологии положено однородное прозрачное проводящее покрытие стеклянной панели.

Электроды, расположенные по углам экрана, равномерно распределяют подаваемое на панель низкое постоянное напряжение по всей его плоскости, создавая равномерное электрическое поле. Прикосновение к экрану вызывает нарушение однородности поля и появление маленьких токов через все электроды.

Прозрачное покрытие обладает известным сопротивлением. Ток, протекающий через каждый из электродов, пропорционален этому сопротивлению, то есть связан с координатой касания.

Контроллером могут измеряться либо эти токи, либо изменения частоты колебаний генераторов, если емкостные параметры для каждого из углов экрана задают частоту колебания соответствующего генератора. Контроллер выполняет измерения и передает результаты в управляющую программу для последующей обработки.

Некоторые модели таких экранов не способны работать с рукой, одетой в перчатку, и потому не могут применяться в медицине, в военной области или в химических лабораториях.

Они чувствительны к сухости кожи индивида и к колебаниям влажности, а также не могут применяться на открытом воздухе. Сенсорные экраны, изготовленные по данной технологии, имеют быстрый и точный отклик, а также огромный ресурс (около 225 млн нажатий гарантируется для экранов компании 3М MicroTouch).

Есть у них одно неприятное свойство: статический заряд, накапливающийся на поверхности экрана, стекает через касающийся экрана предмет «на землю». Если этим предметом служит палец, то человек получит неприятный электрический удар. Использование панелей данного типа в помещениях, оборудованных изолирующими полами, также нежелательно, так как электростатический заряд при касании обязательно должен куда-нибудь стекать. Иначе панель просто не будет работать.

Компания EloTouch (USA) размещает под еще одним стеклом (толстым и закаленным) дополнительный слой, образованный очень тонкими металлическими проволочками, создающими равномерное электрическое поле. Пользователь прикасается теперь к внешнему стеклу, а не к чувствительному слою. Образуется некий многослойный конденсатор. Та же причина — изменение однородности электрического поля в точке касания вызывает утечки тока, пропорциональные удаленности точки касания от углов экрана, что и обнаруживается контроллером.

Эти экраны могут работать с рукой в перчатке и не предъявляют никаких требований к качеству полов в помещении. (Фирменное наименование новой технологии — **Projected capacitive**, более ранняя версия называлась **Surface Capacitive**).

Усовершенствованная технология используется и в продукции фирмы 3M MicroTouch (USA), только электроды здесь не проволочные, а печатные. Новая конструкция емкостных экранов делает их невосприимчивыми к пыли, дождю и грязи, сохраняя при этом все преимущества традиционной технологии.

Есть у них одно неприятное свойство: статический заряд, накапливающийся на поверхности экрана, стекает через касающийся экрана предмет «на землю». Если этим предметом служит палец, то человек получит неприятный электрический удар. Использование панелей данного типа в помещениях, оборудованных изолирующими полами, также нежелательно, так как электростатический заряд при касании обязательно должен куда-нибудь стекать. Иначе панель просто не будет работать.

Компания EloTouch (USA) размещает под еще одним стеклом (толстым и закаленным) дополнительный слой, образованный очень тонкими металлическими проволочками, создающими равномерное электрическое поле. Пользователь прикасается теперь к внешнему стеклу, а не к чувствительному слою. Образуется некий многослойный конденсатор. Та же причина — изменение однородности электрического поля в точке касания вызывает утечки тока, пропорциональные удаленности точки касания от углов экрана, что и обнаруживается контроллером.

Эти экраны могут работать с рукой в перчатке и не предъявляют никаких требований к качеству полов в помещении. (Фирменное наименование новой технологии — **Projected capacitive**, более ранняя версия называлась **Surface Capacitive**).

Усовершенствованная технология используется и в продукции фирмы 3M MicroTouch (USA), только электроды здесь не проволочные, а печатные. Новая конструкция емкостных экранов делает их невосприимчивыми к пыли, дождю и грязи, сохраняя при этом все преимущества традиционной технологии.

Цифровые сенсорные экраны

Цифровые сенсорные экраны (иногда употребляется термин «матричные») устроены следующим образом: на двух плоскостях, обращенных друг к другу проводящими поверхностями, нанесено прозрачное проводящее покрытие, но не сплошным равномерным слоем, как было в резистивных и емкостных панелях, а полосками. (Между полосками на каждой плоскости есть небольшой изолирующий промежуток.)

На одной из плоскостей они имеют горизонтальную ориентацию, а на другой — вертикальную. Вместе прозрачные проводники образуют готовую координатную сетку. Плоскости разделены микроскопическими изолирующими шариками-спейсерами, подобно тому, как это делается в резистивных панелях.

В момент прикосновения между двумя поверхностями в точке касания возникает электрический контакт. Контроллер периодически сканирует столбцы и строки сетки и, обнаружив контакт, сообщает управляющей программе координаты.

У экранов, выполненных по данной технологии, есть множество важных преимуществ перед всеми другими.

Главные из них:

- независимость от изменений температуры;
- они не требуют настройки и калибровки, как резистивные;
- они нечувствительны к пыли;
- им не мешают посторонние источники света;
- им не страшны колебания влажности;
- им не мешают посторонние акустические шумы;
- отличная повторяемость;
- простая надежная схема.

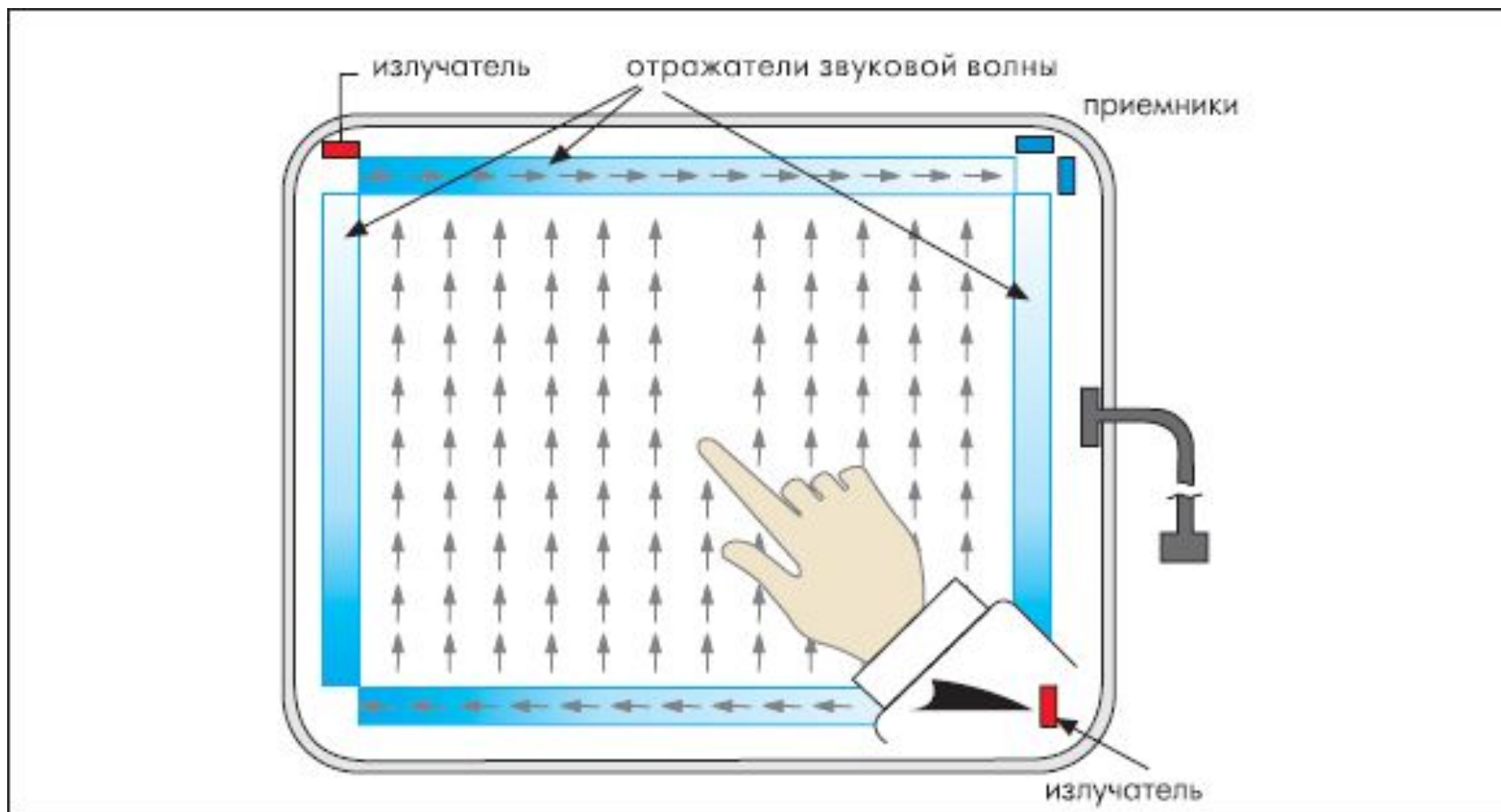
Такие экраны идеально подходят для приложений, в которых изображение программной кнопки на мониторе имеет неизменные размеры и фиксированную позицию. Сканирующая цифровая схема контроллера много проще аналого-цифровой, понятнее и надежнее.

Однако у матричных экранов есть один существенный недостаток — сравнительно низкое разрешение.

Сенсорные экраны на поверхностных акустических волнах

Экраны на поверхностных акустических волнах (ПАВ) устроены следующим образом: В углах экрана расположены пьезоэлектрические преобразователи, способные генерировать колебания, распространяющиеся по поверхности стекла со скоростью, превышающей скорость звука.

По команде контроллера преобразователи вырабатывают импульсную посылку. Возникающий при этом фронт волны направлен от излучателя параллельно одной из сторон экрана.



Определения вертикальной координаты касания в экране на ПАВ

Колебания, распространяясь по поверхности экрана, направляются отражателями через экран к его противоположной стороне, где, в свою очередь, будут перенаправлены массивом отражателей в сторону пьезоэлектрических приемников.

Приемники воспринимают вибрацию и преобразуют ее обратно в электрический сигнал, принимаемый и измеряемый контроллером. Если оператор касается поверхности экрана рукой или контактным пером, то это меняет характеристики колебаний. Из множества переотраженных сигналов контроллер недосчитается тех, которые будут погашены прикосновением.

Сравнив полученный сигнал с эталонной картой экрана, он определит координату касания.

У панелей, сделанных по этой технологии, точность определения координат высока, но при этом они чувствительны к качеству поверхности, наличию жира, грязи.

Известно два типа исполнения мониторов с экранами на ПАВ:

- а) излучатели и приемники устанавливаются на дополнительном закаленном стекле
- б) они монтируются прямо на мониторе.

У каждого подхода есть свои сильные стороны. Отсутствие каких-либо покрытий позволяет иметь яркие, сочные изображения на мониторе даже при обычной яркости и контрастности. С другой стороны, наличие дополнительного особо прочного стекла делает устройство более стойким к механическим воздействиям.

Сенсорный экран на ПАВ позволяет отслеживать не только координаты касаний, но и судить о силе нажатия на экран. Такое действительно возможно, так как при прочих равных условиях сила нажатия отражается на амплитуде пробегающих по экрану поверхностных волн. Вероятно, большее усилие приводит к большему же «успокоению» вибрации, к большему поглощению энергии колебаний.

Средний ресурс экрана, как сообщает компания GeneralTouch (Taiwan), составляет 50 млн касаний, что превышает ресурс 5-проводных резистивных панелей, но в несколько раз меньше, чем у емкостных экранов.

Инфракрасные сенсорные экраны

Инфракрасные сенсорные экраны имеют в своей конструкции элементы, способные реагировать на инфракрасное излучение.

Две линейки светодиодов, размещенных вдоль горизонтальной и вертикальной сторон экрана, и две линейки фотодиодов с противоположных сторон контролируют поверхность панели. Появление любого предмета, касающегося экрана, прерывает поток излучения.

Контроллер в каждый произвольный момент времени «знает» номер строки или столбца (будем считать, что строка/столбец образованы парой излучатель-приемник) и «знает», следовательно, от какой именно пары светодиодов сигнал не пришел. Тем самым он «знает» и координату касания.

Панели выполняются как отдельная рамка, которая не имеет никаких стекол или пленок над поверхностью монитора и поэтому не снижает яркость и контрастность наблюдаемой картинке. Такой экран навешивается на монитор, подобно тому, как в прошедшие годы на него навешивалась защитная сетка, поглощавшая избыточное излучение.

Сенсорные панели, выполненные по данной технологии, имеют множество преимуществ перед другими.

Недостатком можно считать, пожалуй, лишь одну особенность: из-за прямолинейного распространения света они не могут применяться на мониторах с выпуклой поверхностью экрана.

Влияние внешней среды на сенсорные экраны

Характеристика	Типы экранов					
	резистивные	емкостные		цифровые	ПАВ	ИК
		тип 1	тип 2			
Колебания температуры	+	-	-	-	-	-
Влажность	-	+	-	-	*	*
Шумы и вибрация	-	-	-	-	+	-
Солнечный свет	-	-	-	-	-	+
Пыль, жир, грязь	-	-	-	-	+	+
Повреждения наружной поверхности (царапины)	-	+	-	-	+	-
Повреждения проводящего слоя	+	+	-	+	-	-
Касающийся предмет	-	+	-	-	-	**

Знак «+» означает, что изменение параметра может отражаться на работе устройства;

* туман, дождь, капельки конденсата снижают точность;

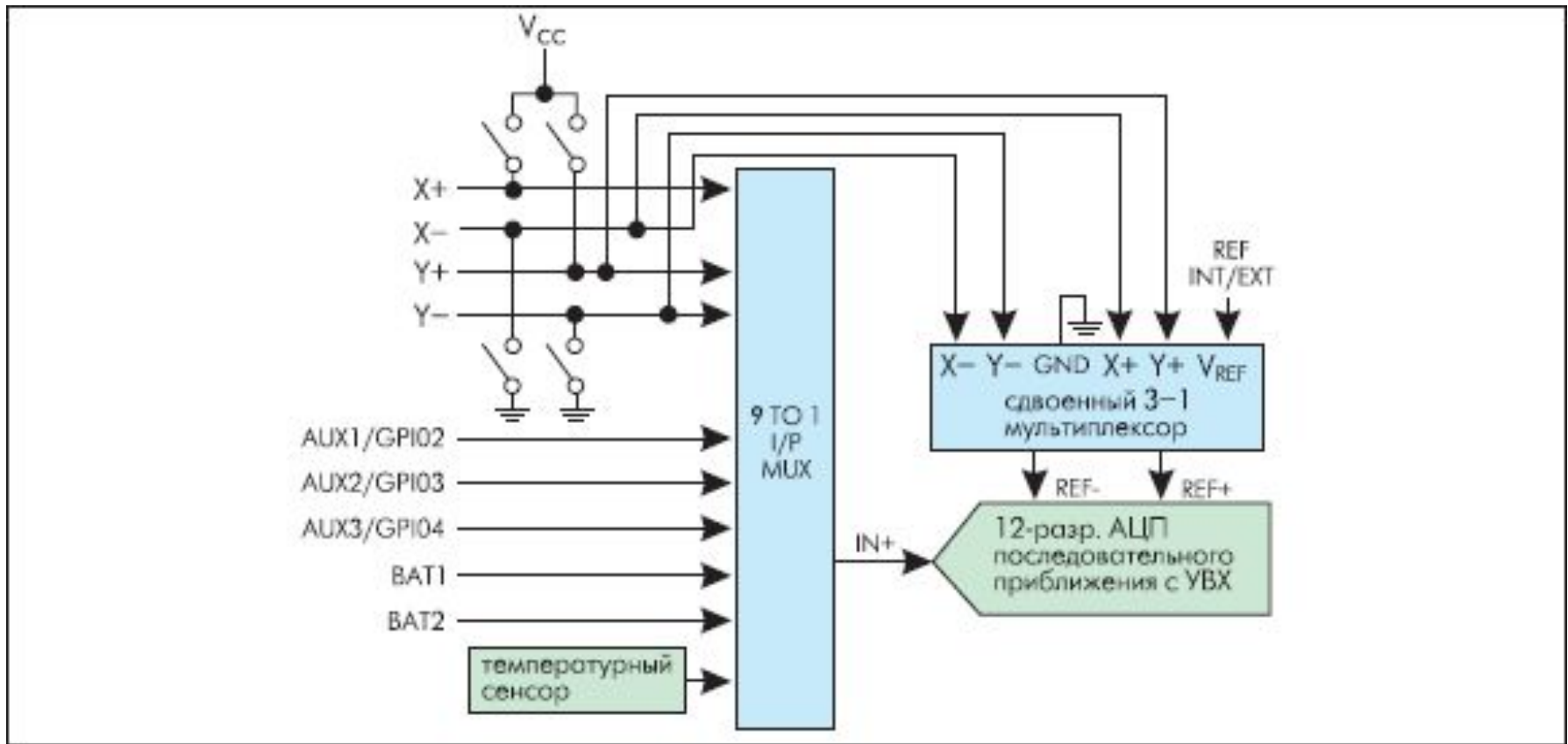
** касания очень тонким предметом, таким, например, как банковская карточка, могут привести к ошибкам в определении координат.

Производители сенсорных панелей

Компания	URL	Типы производимых панелей							
		Резистивные			Емкостные		Циф- ровые	ПАВ	ИК
		4 п	5 п	8 п	тип 1	тип 2			
3M (MicroTouch)	http://www.3m.com/US/electronics_mfg/touch_systems/index.html	+	+	+		+			
EloTouch	http://www.elotouch.com/products/default.asp	+	+		+	+		+	+
AMT Corp.	http://www.amtouch.com.tw/products/touch_screen.htm	+	+	+			+		
Cyber Touch	http://www.cybertouch.com/touchscreen.html	+		+			+		
One Touch	http://www.one-touch.net/	+	+			+		+	
Han Touch	http://www.hantouch.com/	+	+		+		+		

Контроллеры различных производителей

Компания	Наименование контроллера
Analog Devices	AD7450, AD7466, AD7467, AD7843, AD7873, AD7877, AD7887, AD7888, AD7927
Texas Instruments	ADS7843, ADS7845, ADS7846, TSC2000, TSC2100, TSC2101, TSC2301, TSC2302
Maxim	MXB7843, MXB7846, MAX1233, MAX1234, DS1680



Структурная схема аналоговой части контроллера AD7877

В состав контроллера входят 12-разрядные АЦП последовательного приближения с простым и дифференциальными входами, входные ключи, главный и дополнительный аналоговый мультиплексоры. С помощью последнего производится выбор опорного источника напряжения для АЦП.

Результат преобразования сохраняется в специальном регистре, который, наряду с регистрами управления, на схеме не показан.

Области применения сенсорных экранов

Сфера применения	Технология сенсорной панели						
	Резистивная			Емкостная	Цифровая	ПАВ	ИК
	4п	5п	8п				
Автоматические пункты быстрого питания. Системы приема заказов в ресторанах и барах.		+		+	+		
Игровые автоматы				+	+	+	+
Пункты банковского самообслуживания и приема платежей с пластиковых карт.	+	+		+	+		
Пункты продажи билетов на транспорт, в театры и в кинозалы	+	+		+	+		
Автоматы и пункты продаж (POS) товаров по каталогам.	+	+		+	+		
Справочные системы на транспорте, в музеях, в поликлиниках, библиотеках, аптеках и т.п.	+	+		+	+	+	
Измерительные приборы (включая универсальные осциллографы)	+		+	+	+		+
Промышленное оборудование и станки	+	+	+	+	+		
Медицинское оборудование	+	+					+

1.6. Интерфейсы, используемые в микропроцессорных системах управления

Для передачи данных в микропроцессорных системах управления могут использоваться следующие интерфейсы:

- EIA-232-D;
- EIA-422;
- EIA/TIA-485;
- CAN;
- Modbus;
- Ethernet.

Интерфейс EIA-232-D

EIA-232-D (Electronic Industries Alliance) старое название **RS-232** (Recommended Standard 232) - стандарт последовательной синхронной и асинхронной передачи двоичных данных между терминалом и конечным устройством.

Интерфейс обеспечивает передачу информации между двумя устройствами на расстоянии до 30 метров и выше.

Максимальная скорость передачи равна 19200 бит/с при длине кабеля 15 м.

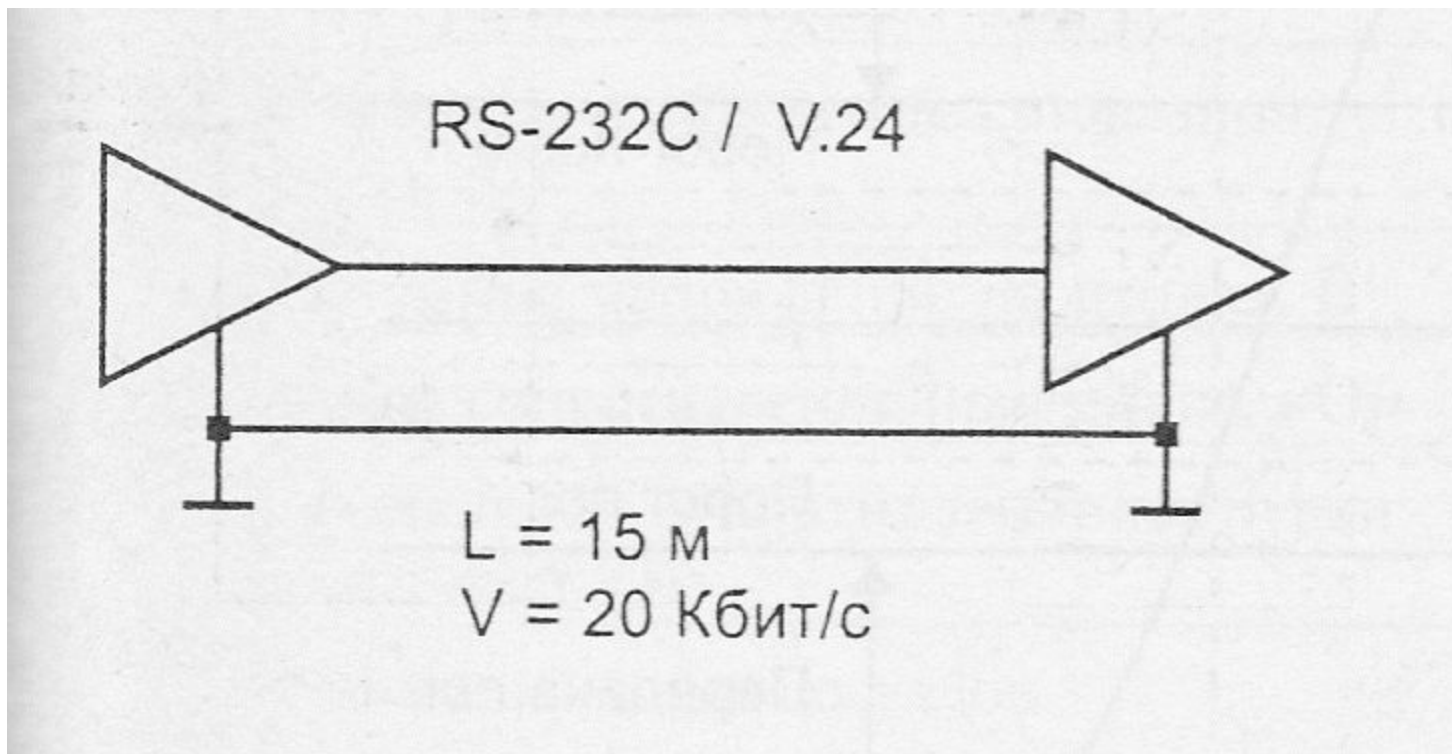
Сигнал передается относительно общего провода – схемной земли.

Интерфейс не обеспечивает гальванической развязки устройств. Логической единице соответствует напряжение на входе приемника в диапазоне $-12\dots-3$ В. Логическому нулю соответствует диапазон $+3\dots+12$ В. Диапазон $(-3\dots+3)$ В – зона нечувствительности, обуславливающая гистерезис приемника: состояние линии будет считаться измененным только после пересечения порога.

Уровни сигналов на выходах передатчиков должны в диапазонах $-12\dots-5$ В и $+5\dots+12$ для представления единицы и нуля соответственно.

Формат асинхронной передачи





Интерфейс EIA-422-B

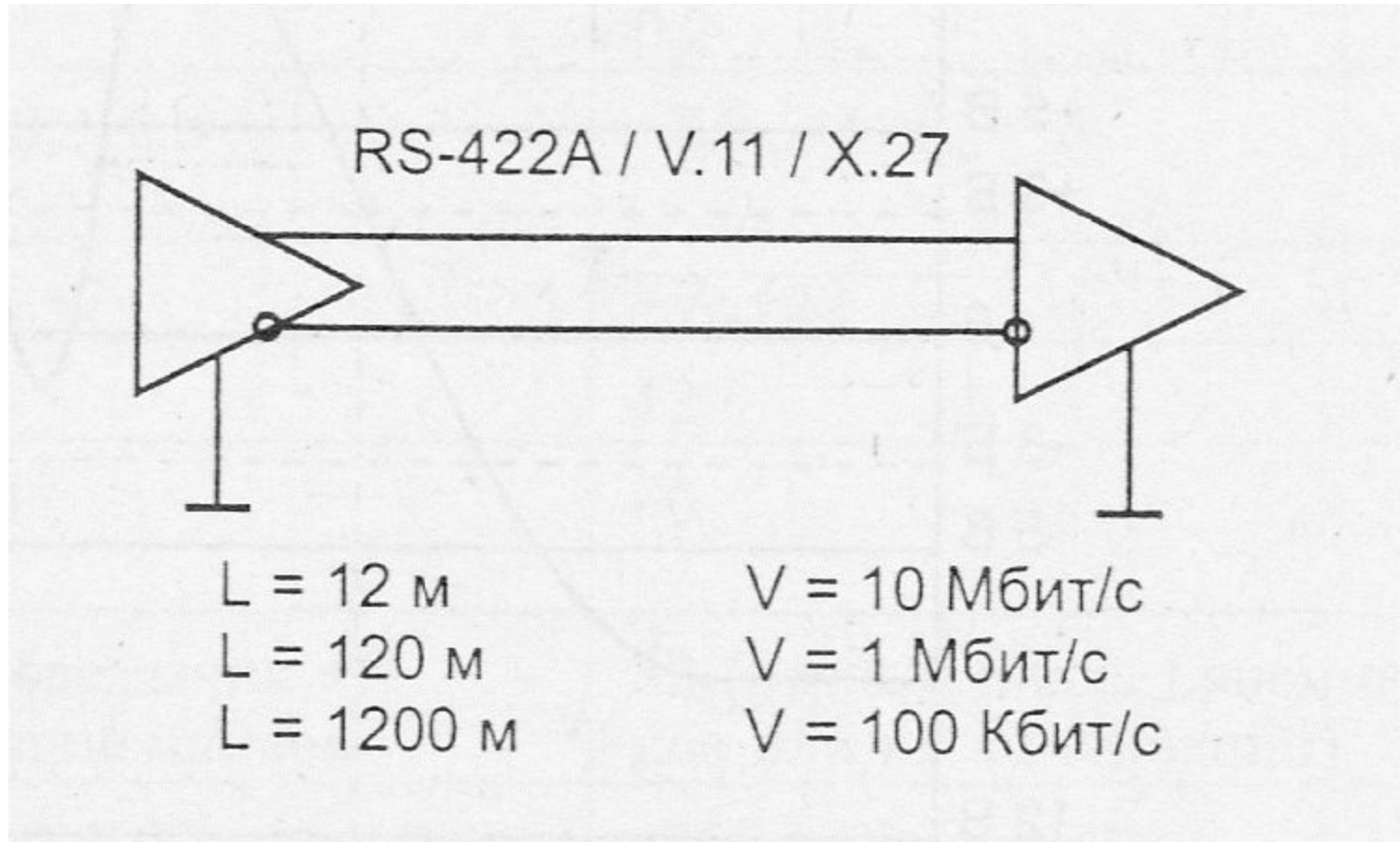
EIA-422-B (бывший RS-422) - американский стандарт, обеспечивает однонаправленную передачу, с возможностью соединения «точка-точка» или для многоабонентской доставки сообщений.

В EIA-422-B определена скорость передачи данных до 2 Мбит/с.

Интерфейс использует симметричные дифференциальные сигналы.

Информативной является разность потенциалов между проводниками А и В. Если на входе приемника $U_A - U_B = 0$ состояние «выключено», - состоянии $U_A - U_B \neq 0$ «включено». Диапазон является зоной нечувствительности от воздействия помех.

На выходах передатчика сигналы U_A и U_B обычно переключаются между уровнями 0 и +5 В (КМОП) или +1 и +4 В (ТТЛ), дифференциальное выходное напряжение должно лежать в диапазоне 1,5 – 5 В.



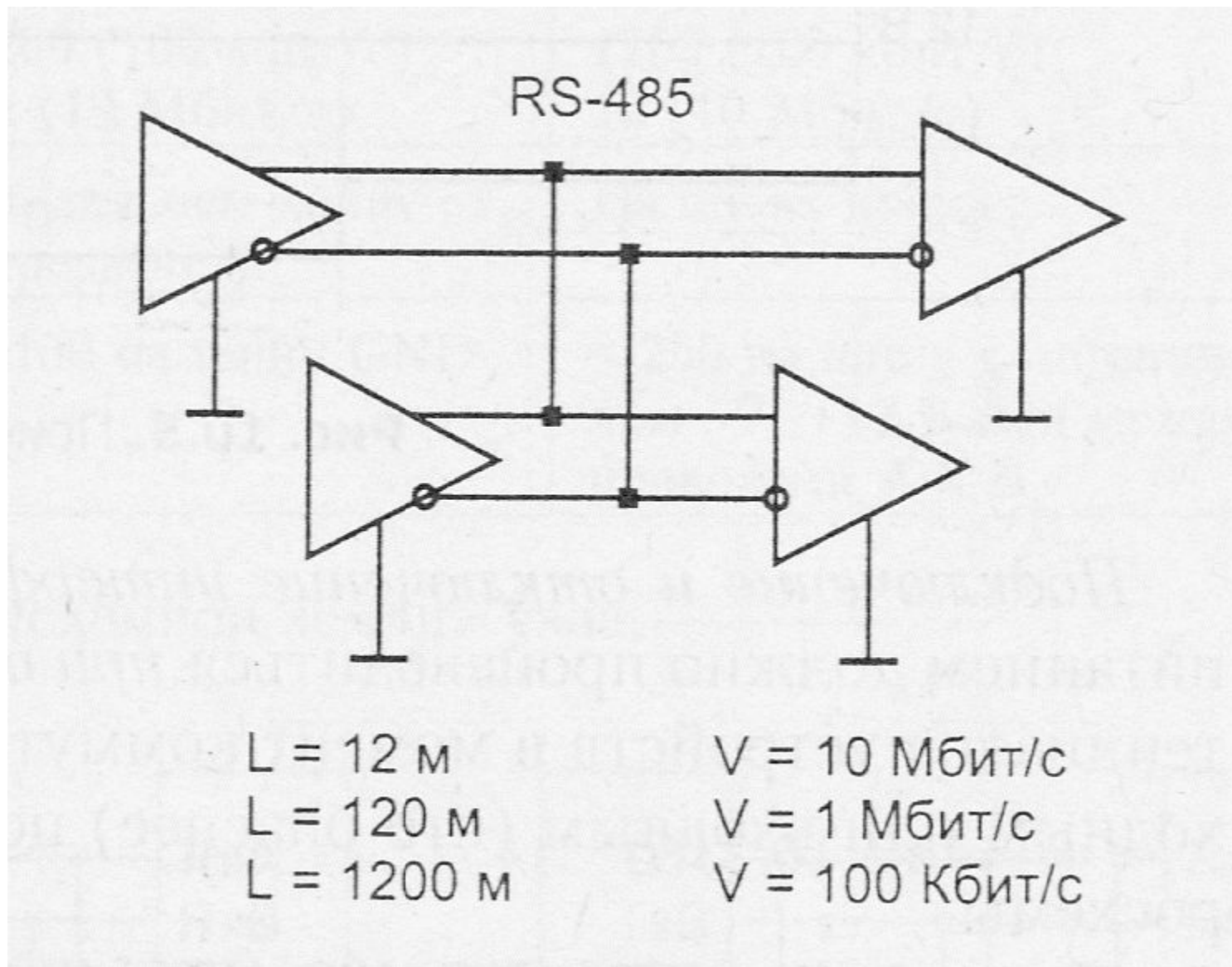
Интерфейс EIA/TIA-485

EIA/TIA-485 (RS-485) - стандарт передачи данных по двухпроводному полудуплексному многоточечному последовательному каналу связи.

Стандарт EIA/TIA-485 совместно разработан двумя ассоциациями: Ассоциацией электронной промышленности (EIA — Electronic Industries Association) и Ассоциацией промышленности средств связи (TIA — Telecommunication Industry Association). Ранее EIA маркировала все свои стандарты префиксом «RS» (*Recommended Standard* — Рекомендованный стандарт).

В стандарте RS-485 для передачи и приёма данных часто используется единственная витая пара проводов. Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов. Разница напряжений между проводниками одной полярности означает логическую единицу, разница другой полярности — ноль.

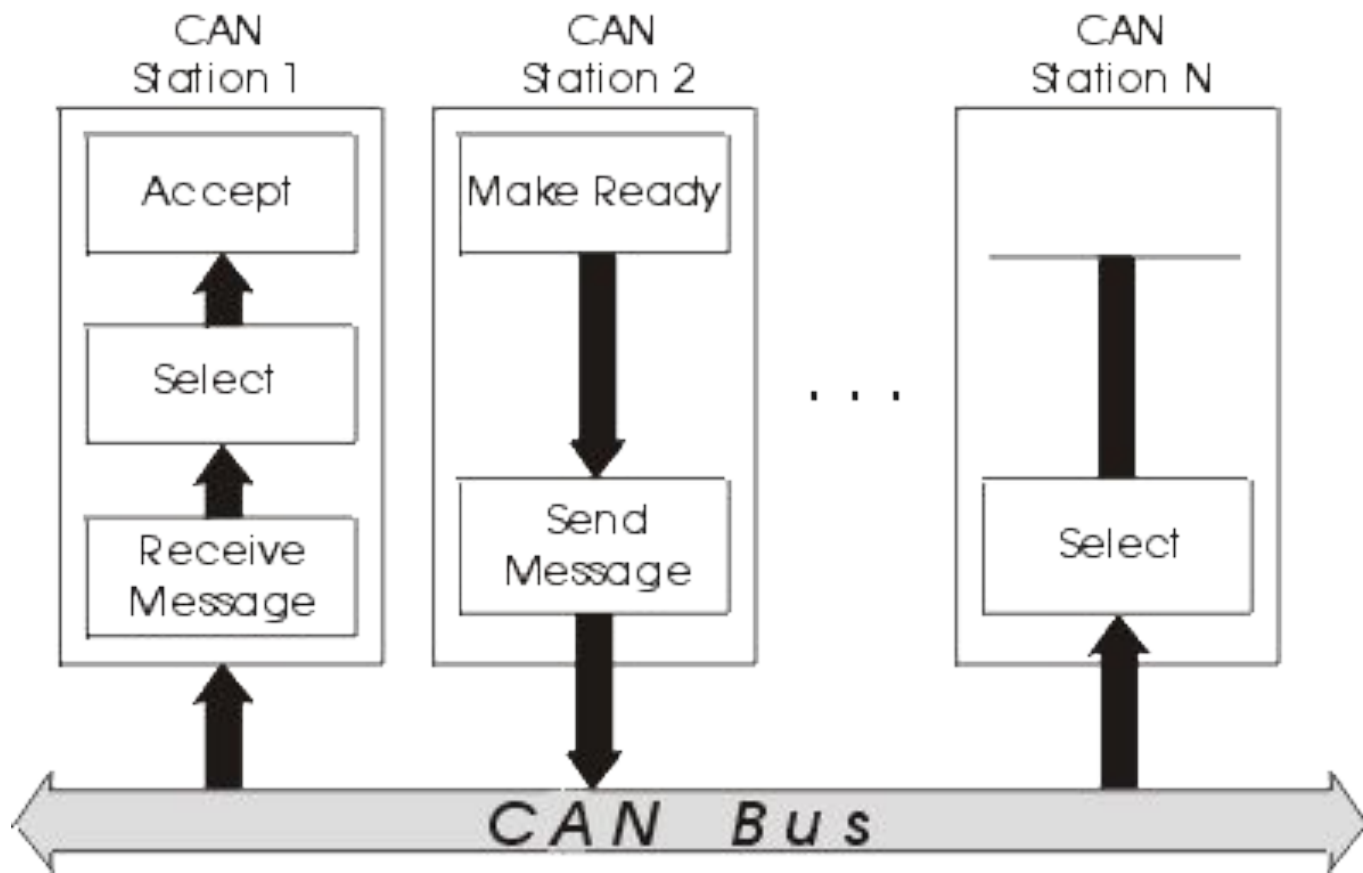
Допустимая скорость передачи для двоичных данных достигает 10 Мбит/с.



Интерфейс CAN

CAN (Control Area Network) - последовательная магистраль, обеспечивающая увязку в сеть "интеллектуальных" устройств ввода/вывода, датчиков и исполнительных устройств некоторого механизма или даже предприятия.

Характеризуется протоколом, обеспечивающим возможность нахождения на магистрали нескольких ведущих устройств, обеспечивающим передачу данных в реальном масштабе времени и коррекцию ошибок, высокой помехоустойчивостью.



Стандарт	ISO 11898
Скорость передачи	1 Мбит/с (максимум)
Расстояние передачи	1000 м (максимум)
Характер сигнала, линия передачи	дифференциальное напряжение, скрученная пара
Количество драйверов	64
Количество приемников	64
Схема соединения	полудуплекс, многоточечная

- Предназначен для организации высоконадежных недорогих каналов связи в распределенных системах управления. Интерфейс широко применяется в промышленности, энергетике и на транспорте. Позволяет строить как дешевые мультиплексные каналы, так и высокоскоростные сети.

- Скорость передачи задается программно и может быть до 1 Мбит/с. Пользователь выбирает скорость, исходя из расстояний, числа абонентов и емкости линий передачи.

Расстояние, м	25	50	100	250	500	1000	2500	5000
Скорость, Кбит/с	1000	800	500	250	125	50	20	10

- Максимальное число абонентов, подключенных к данному интерфейсу фактически определяется нагрузочной способностью примененных приемопередатчиков. Например, при использовании трансивера фирмы PHILIPS PCA82C250 она равна 110.

- Протокол CAN использует оригинальную систему адресации сообщений. Каждое сообщение снабжается идентификатором, который определяет назначение передаваемых данных, но не адрес приемника. Любой приемник может реагировать как на один идентификатор, так и на несколько. На один идентификатор могут реагировать несколько приемников.

- Протокол CAN обладает развитой системой обнаружения и сигнализации ошибок. Для этих целей используется поразрядный контроль, прямое заполнение битового потока, проверка пакета сообщения CRC-полиномом, контроль формы пакета сообщений, подтверждение правильного приема пакета данных. Общая вероятность необнаруженной ошибки 4.7×10^{-11} .

- Система арбитража протокола CAN исключает потерю информации и времени при "столкновениях" на шине.
- Интерфейс с применением протокола CAN легко адаптируется к физической среде передачи информации. Это может быть дифференциальный сигнал, оптоволокно, просто открытый коллектор и т. п. Несложно делается гальваническая развязка.
- Элементная база, поддерживающая CAN, широко выпускается в промышленном исполнении.

Интерфейс Modbus

Modbus — коммуникационный протокол, основанный на клиент-серверной архитектуре. Разработан фирмой Modicon для использования в контроллерах с программируемой логикой (PLC). Стал стандартом де-факто в промышленности и широко применяется для организации связи промышленного электронного оборудования.

Стандартные MODBUS-порты в контроллерах MODICON используют RS-232C совместимый последовательный интерфейс . Контроллеры могут быть соединены на прямую или через модем.

Контроллеры соединяются используя технологию главный-подчиненный, при которой только одно устройство (главный) может инициировать передачу (сделать запрос). Другие устройства (подчиненные) передают запрашиваемые главным устройством данные, или производят запрашиваемые действия. Типичное главное устройство включает в себя ведущий (HOST) процессор и панели программирования. Типичное подчиненное устройство - программируемый контроллер.

Главный может адресоваться к индивидуальному подчиненному или может инициировать широкую передачу сообщения на все подчиненные устройства. Подчиненное устройство возвращает сообщение в ответ на запрос, адресуемый именно ему. Ответы не возвращаются при широковещательном запросе от главного.

Цикл запрос - ответ

Запрос от главного	Ответ подчиненного
Адрес устройства	Адрес устройства
Код функции	Код функции
8 - битные байты данных	8 - битные байты данных
Контрольная сумма	Контрольная сумма

Запрос : Код функции в запросе говорит подчиненному устройству какое действие необходимо провести. Байты данных содержат информацию необходимую для выполнения запрошенной функции. Например, код функции 3 подразумевает запрос на чтение содержимого регистров подчиненного.

Ответ : Если подчиненный дает нормальный ответ, код функции в ответе повторяет код функции в запросе. В байтах данных содержится затребованная информация. Если имеет место ошибка, то код функции модифицируется, и в байтах данных передается причина ошибки.

Режимы последовательной передачи

В сетях MODBUS может быть использован один из двух способов передачи: ASCII или RTU. Пользователь выбирает необходимый режим вместе с другими параметрами (скорость передачи, режим паритета и т.д.) во время конфигурации каждого контроллера.

Режим ASCII

При использовании ASCII - режима каждый байт сообщения передается как два ASCII символа. Главное преимущество этого способа время между передачей символов может быть до 1 с без возникновения ошибок при передаче.

В ASCII-режиме, сообщение начинается с "двоеточия" (:, ASCII 3A hex), и заканчивается последовательностью "возврат каретки-перевод строки" (CRLF, ASCII 0D и 0A hex).

Допустимые символы для передачи - это шестнадцатеричные цифры 0-9, A-F. Монитор сетевого устройства в сети непрерывно отслеживает символ "двоеточие". Когда он принят, каждое устройство декодирует следующие поле сообщения (поле адреса) и т.д.

Режим RTU

При использовании RTU - режима каждый байт сообщения содержит два 4-х битных шестнадцатеричных числа. Каждое сообщение передается непрерывным потоком.

В RTU режиме сообщение начинается с интервала тишины равного времени передачи 3.5 символов при данной скорости передачи в сети. Первым полем затем передается адрес устройства.

Вслед за последним передаваемым символом также следует интервал тишины продолжительностью не менее 3.5 символов. Новое сообщение может начинаться после этого интервала.

Интерфейс Ethernet

Ethernet – представляет архитектуру сетей с разделяемой средой и широковещательной передачей. Это означает, что все узлы сегмента сети получают пакет одновременно.

Технология Ethernet позволяет использовать скорости передачи данных 10 и 100 Мбит/с, высокая скорость доступна только для витой пары и оптоволокна.

Интерфейс USB

USB (Universal Serial Bus) – универсальная последовательная шина ориентирована на устройства, подключаемые к PC.

Версия 1.0 (начало 1996 г.) и версия 1.1 (осень 1998 г.) обеспечивают работу на 1,5 Мбит/с и 12 Мбит/с.

Версия 2.0 (весна 2000 г.) обеспечивают работу на скорости 480 Мбит/с, только при одновременном использовании USB 2.0 контроллера и USB 2.0 периферии.

Версия 3.0 (ноябрь 2008 г.) обеспечивают работу на скорости 5 Гбит/с, а версия 3.1 (июль 2013 г.) – 10 Гбит/с.

К USB шине можно подключить до 127 устройств.

Интерфейс USB реализует систему «мастер-ведомый» и использует три провода

Достоинством интерфейса USB является поддержка Plug and Play.

Единственным минусом интерфейса USB можно считать довольно короткое кабельное соединение (10 м).

USB 3.0 Connector Pinouts^[4]

Pin	Color	Signal name ("A" Connector)	Signal name ("B" Connector)	Description
Shell	N/A		Shield	Metal housing
1	Red		VBUS	Power
2	White		D-	USB 2.0 differential pair
3	Green		D+	
4	Black		GND	Ground for power return
5	Blue	StdA_SSRX-	StdB_SSTX-	SuperSpeed transmitter differential pair
6	Yellow	StdA_SSRX+	StdB_SSTX+	
7	N/A		GND_DRAIN	Ground for signal return
8	Purple	StdA_SSTX-	StdB_SSRX-	SuperSpeed receiver differential pair
9	Orange	StdA_SSTX+	StdB_SSRX+	
The USB 3.0 "Powered-B" connector has two additional pins				
10	N/A		DPWR	Power provided by device (Powered-B only)
11			DGND	Ground return to DPWR (Powered-B only)

1.7. Централизованные и распределенные системы управления

Централизованные системы имеют один центральный процессор, или устройство управления, которое обеспечивает управление отдельными частями физического процесса.

В распределенных системах разные процессоры предназначены для управления отдельными частями физического процесса; центральный процессор координирует общее функционирование.