
КОНСТРУИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

УДК 621.7

ПРОЕКЦИОННО-ЁМКОСТНОЙ СЕНСОРНЫЙ ЭКРАН ДЛЯ ВСТРАИВАЕМЫХ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Терентьев Дмитрий Сергеевич, магистрант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., 5, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

Власов Андрей Игоревич, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., 5, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

Токарев Сергей Владимирович, аспирант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 105005, Российская Федерация, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., 5, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

В работе рассматриваются типы сенсорных экранов, применяемых в современных устройствах мобильной связи и для прочих мобильных встраиваемых систем. Объектом исследования является сенсорный ёмкостной экран. Сутью работы является создание проекционно-ёмкостного сенсорного экрана с более высокими характеристиками (светопропускаемость до 92 % вместо 75–85 %, время отклика до 4 мс, скорость работы АЦП 125 кГц, толщина сенсорной панели до 2 мм), чем резистивные и другие ёмкостные экраны, используемые на рынке мобильных устройств. В то же время стоимость изготовления такого экрана должна быть сопоставима с резистивными, но характеристики полученного продукта аналогичны свойствам других проекционно-ёмкостных сенсорных панелей. Для решения этих задач используется проекционно-ёмкостная панель из матрицы конденсаторов, толстоплёночная технология производства сенсорного экрана, а также микросхема контроллера с 64 триггерами для фиксирования касания, 9 шифраторами K155ИВ1 и 6 логическими элементами. В результате разработан проекционно-ёмкостной экран с таким же рыночным ценовым диапазоном, как и резистивные аналоги. Его тестирование показало работоспособность экрана и соответствие заявленным диапазонам характеристик: напряжение питания 3,7 В, быстродействие 4–5 мс, реагирование на прикосновение электрической ёмкости 100–300 пФ (тело человека) со срабатыванием контроллера определения координат прикосновения при напряжении 3,78 В.

Ключевые слова: сенсорные экраны, мобильные системы, проекционные, емкостные, толстоплёночная технология, время отклика, оптическая прозрачность, экраны, «парящее прикосновение»

DEVELOPMENT OF A PROJECTION CAPACITIVE TOUCHSCREEN FOR EMBEDDED MOBILE SYSTEMS

Terentev Dmitriy S., undergraduate student, Bauman Moscow State Technical University, 5, 2nd Bauman St., Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

Vlasov Andrey I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, 5, 2nd Bauman St., Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

Tokarev Sergey V., post-graduate student, Bauman Moscow State Technical University, 5, 2nd Bauman St., Moscow, 105005, Russian Federation, e-mail: terentev.touchtechn@gmail.com

The article discusses various types of modern touchscreens, with a particular focus on creating a projection-capacitive device with higher performance (light transmission of up to 92 % instead of 75–85 %), response time of up to four ms, 125 kHz ADC speed, two-mm-thick touch pad) than the resistive and capacitive screens otherwise used in the mobile market. The cost of manufacturing such a screen, the critique relays, should make the project worthwhile. In addition, the paper relates that the characteristics of the product are similar to those of other projective-capacitive touch panels. These tasks could be resolved, the study says, by using a projection-capacitive panel from a matrix of capacitors and thick-film touchscreen technology. Other devices would include controller chips with triggers to capture contact, nine K155IV1 encoders and six logic elements. In conclusion, the blueprint says that simulated testing of the developed screen on the personal computer has shown that the performance screen conforms to a range of characteristics: supply voltage is 3.7 V, speed is 4.5 ms, and responsiveness to touch of electric capacitance is 100–300 pF (the human body). Moreover, the positioning touch controller is able to operate at a touch voltage of 3.78 V.

Keywords: touchscreens, mobile systems, projection, capacitive, thick-film technology, response time, optical transparency, screens, 'floating touch'

Введение

Сенсорные экраны в настоящее время интенсивными темпами внедряются как в портативные мобильные электронно-вычислительные устройства (мобильный телефон, КПК и т.д.), так и в различные встраиваемые системы на улице, дома, на производстве, сфере обслуживания и торговли (информационных и платёжных терминалах, пультах управления в системах концепции «умный дом», промышленных терминалах ввода информации, пунктах самообслуживания клиента и т.д.) [9].

Традиционная резистивная технология основана на изменении электрического сопротивления двух проводящих плёнок при прикосновении к одной из них, так как они при этом начинают контактировать друг с другом. В резистивном экране в таком случае происходит замыкание двух абстрактных электрических цепей на обеих плёнках – контроллер измеряет напряжение на выходе одной из этой двух цепей и сравнивает их с записанными в программу значениями, определяя тем самым координаты текущего прикосновения к экрану. Ёмкостной сенсорный экран построен на изменении другой физической величины – не сопротивления, а ёмкости. Человеческое тело обладает определённой электрической ёмкостью, и при контактировании с экраном эта ёмкость дополнительно подключается к системе сенсорной панели. Поскольку напряжение обратно пропорционально заряду, то в месте увеличения значения напряжения и происходит касание. Эта зависимость используется в определении координат прикосновения в контроллерах ёмкостных экранов. Также используется и много других физических явлений в создании сенсорных систем ввода информации. Например, инфракрасная технология использует сетку из ИК-излучения, и при размыкании инфракрасных пучков такой сетки регистрируется контроллером строка и столбец, на пересечении которых возник обрыв одной из линий сетки, с помощью фотодатчика. Или распространённая в платёжных терминалах технология поверхностно-акустических волн (ПАВ) – в ней используется явление поглощения ПАВ различными предметами, в том числе и рукой человека, на поверхности экрана. Контроллер с помощью пьезоэлектрических преобразователей регистрирует изменение интенсивности волны, посланной этими же преобразователями [1].

Одним из вариантов реализации являются сенсорные панели на основе проекционно-ёмкостной технологии, которые представляют собой две стеклянные пластины, между которыми находится сетка тонких (толщиной 100–250 мкм) электродов с частотой примерно 2–4 линии/мм. Так, у одного из самых распространённых проекционно-ёмкостных экранов Zy-

рос компании Zytronic разрешающая способность составляет 4 линии на 1 мм, благодаря чему достигается точность позиционирования с погрешностью не более 1 мм [6]. В процессе работы управляющий контроллер посылает короткие импульсы по каждому из электродов. При нахождении пальца вблизи сенсорной поверхности возникает эффект, аналогичный подключению конденсатора большой емкости (роль которого в данном случае выполняет тело человека) к расположенным поблизости электродам. Измеряя величину падения напряжения (возникающего вследствие утечки тока через конденсатор), контроллер определяет координаты точки касания [3].

В основном применяются резистивные сенсорные экраны в мобильных средствах связи и различных вариантах КПК.

В настоящее время существует множество ограничений и препятствий замене проекционно-ёмкостными экранами резистивных. Несмотря на то, что ёмкостные экраны обладают намного лучшими функциональными и эксплуатационными (в два раза меньшее время отклика 5 мс, оптическая прозрачность до 92–93 % [5], широкий диапазон рабочих температур -40–+70 °С [7] и т.д.) характеристиками, а также высокой надёжностью (сотни миллионов прикосновений к экрану, в то время как у резистивных только до 35 тысяч), они обладают как минимум на порядок большей стоимостью изготовления. Кроме экономических препятствий, существует также невозможность использования на настоящий момент ёмкостных экранов в перчатке и сложность алгоритмов определения координат касания в контроллере.

Весной 2012 г. появилась новая функция от компании Sony – «floating-touch», или «парящее прикосновение», которое она стала использовать в своих проекционно-ёмкостных экранах для мобильного телефона Xperia Sola. Сутью такой технологии является распознавание объектов на расстоянии от экрана без непосредственного контактирования с ним до 22 мм включительно от поверхности дисплея. Структура экрана с технологией «floating-touch» представляет собой помимо использования сетки из проводников для образования ёмкостей на их пересечениях (технология «взаимной ёмкости») ещё и индивидуальных датчиков («собственная ёмкость») в каждом пересечении проводников, позволяющих регистрировать очень слабые изменения ёмкости на расстоянии [9].

Эти две системы датчиков соединены вместе, так как индивидуальные мощные датчики не способны поддерживать функцию «multi-touch» (распознавание двух и более прикосновений одновременно), а сетка из проводников – «floating-touch». Поэтому недостатком такой технологии являются дополнительные элементы в конструкции для реализации датчиков технологии «собственной ёмкости» и, как следствие, довольно трудоёмкий процесс изготовления таких проекционно-ёмкостных сенсорных панелей. Тем не менее, решив эти проблемы, за безконтактной технологией ввода информации может быть будущее, которая заменит традиционный ввод механической клавиатурой и популярный в последние годы сенсорный.

Целью работы является решение перечисленных выше проблем, а именно нахождение альтернативной и дешёвой, как и у резистивных экранов, технологии изготовления ёмкостных экранов.

Соответственно, из этого следует синтез новой конструкции ёмкостного экрана, позволяющей достигнуть те же характеристики, как и у традиционных ёмкостных экранов с высокой стоимостью (в 8–10 раз большей, чем у резистивных): светопропускаемость свыше 90 %, быстродействие (как минимум в 2 раза меньшее резистивное время отклика), возможность установки защитного стекла до 18 мм. Разработанная конструкция влечёт за собой и новый принцип определения координат прикосновения, проектирование соответствующего контроллера и необходимого программного обеспечения. Кроме того, технология «floating-

touch» должна быть реализована без внесения в структуру экрана дополнительных элементов в виде индивидуальных датчиков.

Результатом решения этих задач должен являться сенсорный экран с контроллером, обладающий уникальными свойствами (одновременное распознавание двух и более прикосновений, отсутствие влияния механических повреждений поверхности экрана на работу контроллера определения координат и т.д.), как и его аналоги на мировом рынке ёмкостных сенсорных экранов, но с сопоставимой по стоимости с резистивными. Тот факт, являющийся особенно актуальным для климатических особенностей Российской Федерации, что на данный момент является невозможным использование экранов на использовании ёмкостной сенсорной технологии в перчатках, должен быть тоже учтён и устраним при проектировании сенсорного экрана с сохранением всех условий, перечисленных выше. Эта проблема может быть разрешена и с помощью описанного выше метода «floating-touch» – технологии распознавания пальца без контакта к экрану. Наряду с этим она должна быть реализована без использования второго слоя датчиков «собственной ёмкости» для минимизации издержек при изготовлении сенсорной панели.

Научная новизна предлагаемых решений заключается в разработке сенсорной панели, выполненной по альтернативному способу изготовления, используя толстоплёночные технологические процессы с минимальными издержками производства, а также нового алгоритма определения координат прикосновения в специализированном контроллере сенсорного экрана и программного обеспечения к этому контроллеру.

Предлагаемая реализация проекционно-ёмкостного сенсорного экрана для встраиваемых мобильных систем характеризуется высокой светопропускаемостью 90–95 % по сравнению с 75–85 % у резистивной [8], время отклика в 2–3 раза меньше – 4–5 мс, широкий диапазон рабочих температур: до -30–40 °С при низкой температуре и до 60–70 °С – при высокой.

Топологическая модель работы проекционно-ёмкостного экрана

Разработанная панель проекционно-ёмкостного сенсорного экрана представляет собой матрицу конденсаторов, выполненных не в виде пересечения проводников (как в классическом проекционно-ёмкостном сенсорном экране), а дискретных площадок в виде пар двух толстых проводящих плёнок, разделённых диэлектрическими плёнками, а между собой полистиролом (рис. 1, 2). Эти конденсаторы имеют равные геометрические размеры пластин и расстояния между ними, следовательно, равные значения электрической ёмкости. К каждому из них подведены контакты для измерения напряжения в виде печатных проводников на плате.

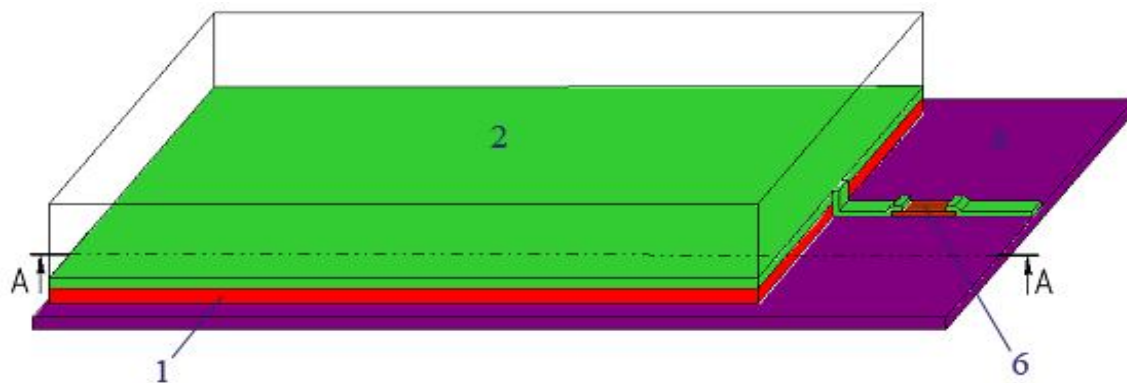


Рис. 1. Структура разработанного проекционно-ёмкостного экрана:

1 – разделяющая и обрамляющая матрицу из конденсаторов сетка из полистирола; 2 – проводниковый материал; 3 – диэлектрик между обкладками; 4 – отверстия для подсоединения проводников к нижним обкладкам; 5 – интегральная микросхема специализированного контроллера определения координат касания, расположенная с обратной стороны; 6 – толстоплёночный резистор



Рис. 2. Вид сенсорного экрана в разрезе:

1 – разделяющая и обрамляющая матрицу из конденсаторов сетка из полистирола; 2 – проводниковый материал; 3 – диэлектрик между обкладками; 4 – отверстия для подсоединения проводников к нижним обкладкам; 5 – интегральная микросхема специализированного контроллера определения координат касания, расположенная с обратной стороны; 6 – толстоплёночный резистор

Для пояснения принципа работы представим работу такого экрана в виде следующей модели (рис. 3).

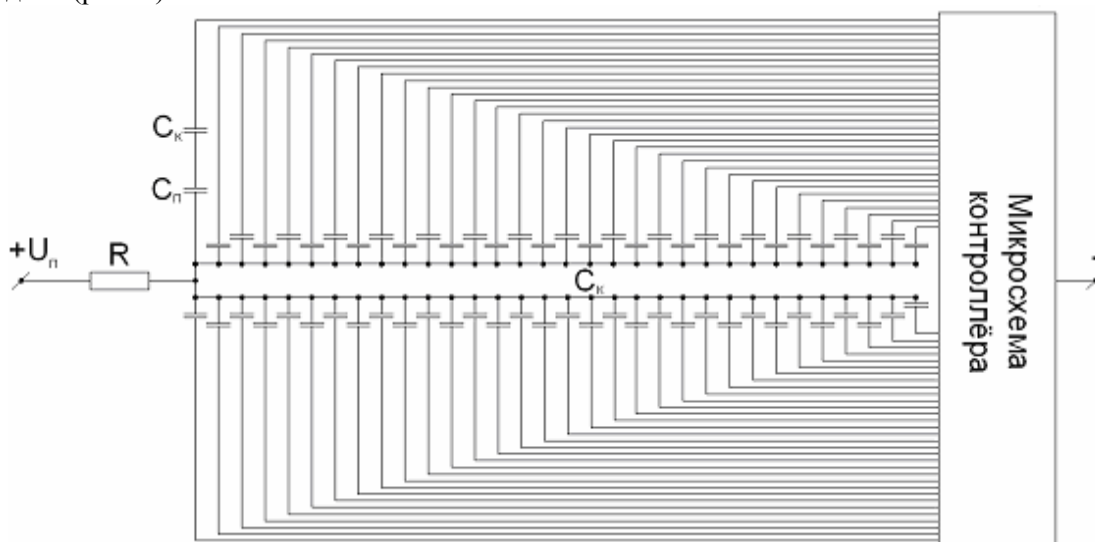


Рис. 3. Топологическая модель работы проекционно-ёмкостного экрана

Конденсаторы экрана расположены на рисунке для удобства в виде двух рядов, по 32 в каждом. После падения напряжения питания U_n на резисторе R электрический ток приходит в равной степени на 64 конденсатора, соединённых параллельно.

Пользователь, совершая касание к участку дисплея над произвольным конденсатором (на рис. 3 выбран первый конденсатор слева в верхнем ряду) ёмкости C_k , образует последовательно подключённую к ёмкости конденсатора дополнительную ёмкость прикосновения C_n (C_k – ёмкость конденсатора при отсутствии прикосновения).

Затем электрический ток, проходящий через конденсаторы, независимо уже на их выходных достигает микросхему специализированного контроллера, определяющего координаты касания. После конденсатора, над которым совершено прикосновение, произойдёт меньшее падение напряжения, так как последовательно будет подключена ёмкость тела человека C_n (100–300 пФ), а, следовательно, напряжение на входе контроллера окажется большим на величину $U_{\text{прик}}$ и равным тогда U_k' :

$$U_k' = U_k + U_{\text{прик}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{прик}}$ – изменение напряжения при прикосновении; $U_{\text{к}}$ – напряжение на конденсаторе при отсутствии касания; $U_{\text{к}}'$ – измеряемое контроллером напряжение на выходе матрицы конденсаторов.

Контроллер сравнивает с помощью компаратора или иных схемотехнических решений эталонное напряжение, равное $U_{\text{к}}$, с напряжением после каждого конденсатора. Если оно оказывается равным $U_{\text{к}} + U_{\text{прик}}$, то оно будет больше эталонного и в память контроллера запишется двоичный код конденсатора, над которым совершено прикосновение. $U_{\text{к}}$ в формуле 1 можно тоже найти по следующему соотношению:

$$U_{\text{к}}' = q / (C_{\text{к}} - C_{\text{к}}') \quad (2)$$

Технология «floating-touch» может быть реализована в таком экране и без внесения в конструкцию дополнительных мощных датчиков регистрации отдалённых электрических ёмкостей. Так, в обычном проекционно-ёмкостном экране используются для образований ёмкостей пересечения тонких, порядка нескольких сотен мкм, проводников, поэтому площадь их пересечения очень мала (0,01–0,05 мм²). Следовательно, значение образуемой электрической ёмкости слишком низкое для регистрации ёмкости тела человека на расстоянии. В разработанном же проекционно-ёмкостном экране, где используются электроды из толстых плёнок (толщиной в несколько десятков мкм) для образования ёмкостей площадью примерно на 4 порядка больше. Электрическая ёмкость, соответственно, также получается намного больше при том же расстоянии между обкладками. Этого достаточно для регистрации ёмкостей на расстоянии до 10–20 мм без использования датчиков «собственной ёмкости».

Таким образом, будет возможно распознавание жестов и функции «multi-touch» при вводе информации и на расстоянии, что пока в недавнем изобретении Sony возможно лишь при контактном способе, а функция «floating-touch» реализуется без поддержки одновременного определения координат в двух и более областях над поверхностью экрана.

Схемотехническое решение блока управления проекционно-ёмкостного экрана

Рассмотрим схему контроллера определения координат касания подробнее (рис. 4). При совершении прикосновения к поверхности экрана открывается полевой транзистор VT1, соответственно триггер переключается в состояние логической «1», затем этот сигнал поступает на шифратор, после чего на управляющий контроллер поступает информация в виде шестибитного кода о факте касания над конкретным конденсатором. Например, если касание совершено над конденсатором во второй строке первого столбца (координаты x_2y_1 , табл. 1), то логическая единица в виде электрического сигнала поступает на первый вход регистра, который преобразует его на выходе в шестибитный код 000001 в соответствии с табл. 1, и передаётся далее в процессор устройства, где применяется сенсорный экран, как наличие сигнала только на последнем из шести проводников. То есть первый вход шифратора будет соответствовать единице в десятичной системе исчисления, тогда выходы в такой ситуации, как «1», в двоичной системе.

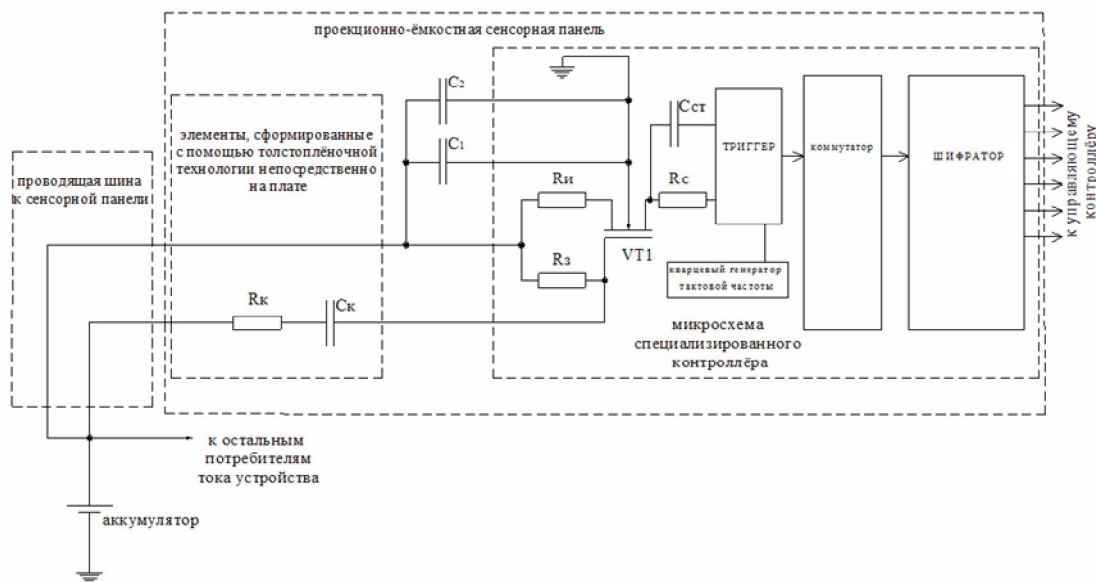


Рис. 4. Функциональная схема работы специализированного контроллера

Если на всех шести выходах шифратора логические нули, то это означает либо отсутствие каких-либо прикосновений к сенсорному экрану, либо прикосновение к конденсатору в первой строке первого столбца (x_1y_1). Следовательно, в матрице конденсаторов такого сенсорного экрана только 63 будут активными, касание x_1y_1 не будет распознаваться контроллёром. Напряжение питания в рассматриваемой схеме 3,7 В (уровень логической единицы), потребляемый ток 100 мА.

Таблица 1

Соответствие координат конденсаторов шестибитному коду на выходе контроллера

	Столбец 1	Столбец 3	Столбец 5	Столбец 7
Строка 1	$x_1y_1 = 000000$	$x_1y_3 = 010000$	$x_1y_5 = 100000$	$x_1y_7 = 110000$
Строка 2	$x_2y_1 = 000001$	$x_2y_3 = 010001$	$x_2y_5 = 100001$	$x_2y_7 = 110001$
Строка 3	$x_3y_1 = 000010$	$x_3y_3 = 010010$	$x_3y_5 = 100010$	$x_3y_7 = 110010$
Строка 4	$x_4y_1 = 000011$	$x_4y_3 = 010011$	$x_4y_5 = 100011$	$x_4y_7 = 110011$
Строка 5	$x_5y_1 = 000100$	$x_5y_3 = 010100$	$x_5y_5 = 100100$	$x_5y_7 = 110100$
Строка 6	$x_6y_1 = 000101$	$x_6y_3 = 010101$	$x_6y_5 = 100101$	$x_6y_7 = 110101$
Строка 7	$x_7y_1 = 000110$	$x_7y_3 = 010110$	$x_7y_5 = 100110$	$x_7y_7 = 110110$
Строка 8	$x_8y_1 = 000111$	$x_8y_3 = 010111$	$x_8y_5 = 100111$	$x_8y_7 = 110111$
	Столбец 2	Столбец 4	Столбец 6	Столбец 8
Строка 1	$x_1y_2 = 001000$	$x_1y_4 = 011000$	$x_1y_6 = 101000$	$x_1y_8 = 111000$
Строка 2	$x_2y_2 = 001001$	$x_2y_4 = 011001$	$x_2y_6 = 101001$	$x_2y_8 = 111001$
Строка 3	$x_3y_2 = 001010$	$x_3y_4 = 011010$	$x_3y_6 = 101010$	$x_3y_8 = 111010$
Строка 4	$x_4y_2 = 001011$	$x_4y_4 = 011011$	$x_4y_6 = 101011$	$x_4y_8 = 111011$
Строка 5	$x_5y_2 = 001100$	$x_5y_4 = 011100$	$x_5y_6 = 101100$	$x_5y_8 = 111100$
Строка 6	$x_6y_2 = 001101$	$x_6y_4 = 011101$	$x_6y_6 = 101101$	$x_6y_8 = 111101$
Строка 7	$x_7y_2 = 001110$	$x_7y_4 = 011110$	$x_7y_6 = 101110$	$x_7y_8 = 111110$
Строка 8	$x_8y_2 = 001111$	$x_8y_4 = 011111$	$x_8y_6 = 101111$	$x_8y_8 = 111111$

Алгоритм определения координат касания (рис. 5): поочерёдно опрашиваются координаты x_1y_i и проверяется, есть ли на них накопленное в результате прикосновения к участку экрана над верхней обкладкой конденсатора напряжение, соответствующее логической еди-

нице (« $x_i y_i = 1$ »). Если да, то $x_i y_i$ присваивается новая переменная z_k . Далее опрашивается первый элемент второй строки $x_2 y_1$ на наличие напряжения («1») или отсутствие на текущем электроде («0»). Если нет, то минуем этап присваивания новой переменной.

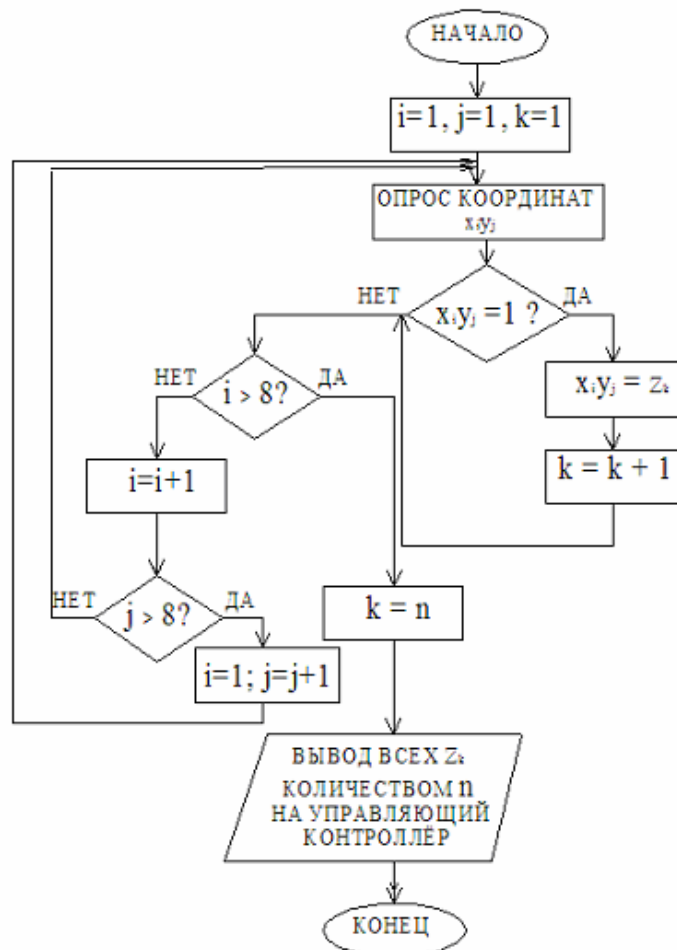


Рис. 5. Алгоритм определения координат касания

Процесс поочерёдного опрашивания, в течение которого всем соответствующим логической единице $x_i y_i$ присваивается z_k (где k – количество наружных электродов (верхних обкладок) конденсаторов, участок экрана над которыми подвергся тактильному воздействию), повторяется, пока не будут опрошены все 64 $x_i y_j$ координат.

Обобщенный технологический маршрут производства проекционно-ёмкостного экрана

Для создания функциональных элементов экрана: конденсаторов, разделяющей сетки и проводников, используется толстоплёночная контактная технология [2; 4].

Изготовление матрицы конденсаторов на проекционно-ёмкостной панели состоит из ряда последовательных циклов, структурная схема которых приведена на рис. 6. При формировании каждого слоя (резистивного, проводящего и диэлектрического) используют соответствующие пасты, которые через сетчатый трафарет из нержавеющей стали контактным способом наносят на подложку, подвергают сушке и вжиганию. Сушка должна производиться в течение 15 минут при температуре 100–150 °С. Последовательность технологиче-

ских операций нанесения и термообработки паст подбирается такая, что каждая операция имеет более высокую температуру вжигания, чем последующая. Вжигание осуществляется в печах конвейерного типа с постепенным повышением температуры до максимальной, затем выдержкой при ней и охлаждением.

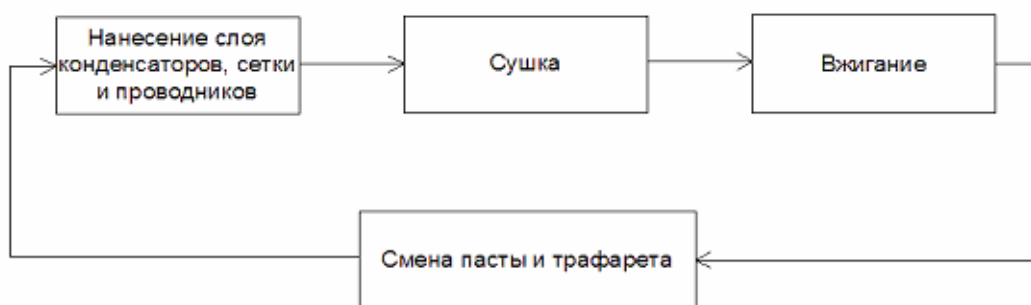


Рис. 6. Маршрут цикла толстоплёночной технологии изготовления экрана

После нанесения диэлектрической пасты поверх нижних сформированных обкладок заливается сетка из полистирола для изоляции конденсаторов друг от друга, а затем, после её остывания и затвердевания, наносится последний слой проводящей пасты для формирования общей верхней обкладки.

Таким образом, получаем проекционно-ёмкостной экран со следующими свойствами:

1) более прозрачные оптические свойства разработанного сенсорного экрана (до 92–93 % пропускаемого света), чем у других поверхностно-ёмкостных и проекционно-ёмкостных с сеткой из проводников (до 90 %), и меньшая его толщина (меньше 100 мкм, не считая платы и дисплея) за счёт использования новых материалов изготовления – толстоплёночных паст ПП-1, ПП-2, ПК-12, ПР-100К [8];

2) повышение светопропускаемости на 15–25 % по сравнению с резистивными – намного выше уровень качества выводимого изображения;

3) повышенная износостойкость (около $2 \cdot 10^6$ нажатий раз), позволившая увеличить период эксплуатации в 20 раз по сравнению с четырёхпроводными резистивными сенсорными экранами, имеющими около 10^5 нажатий за весь период пользования. Вследствие этого возросла надёжность;

4) удобство использования и эргономичность, обеспечиваемая за счёт разработанного специализированного контроллера, где используется алгоритм для определения координат точки касания (или приближения) с возможностью распознавания объекта над поверхностью панели без контакта с последней, что позволяет его использовать в перчатке (как и резистивный, в отличие от традиционных ёмкостных сенсорных экранов);

5) увеличение быстродействия и технологичности: предложенный алгоритм определения координат касания менее сложный для выполнения математических операций обработки сигнала прикосновения, чем в проекционно-ёмкостных экранах с сеткой электродов, а аппаратная реализация контроллера состоит всего из нескольких навесных компонентов и одной интегральной микросхемы;

6) основные компоненты экрана изготавливаются из толстоплёночных паст, что существенно упростило конструкцию экрана и уменьшило его стоимость.

Список литературы

1. Асмаков С. В. Многообразие сенсорных дисплеев / С. В. Асмаков // КомпьютерПресс. – 2010. – № 8. – С. 60–67.
2. Беседина К. Н. Перспективы создания средств восприятия и преобразования на основе фотонных кристаллов / К. Н. Беседина, А. И. Власов, С. В. Токарев, К. М. Моисеев, Ю. В. Панфилов, В. А. Шахнов // Датчики и системы. – 2011. – № 7. – С. 69–78.
3. Вихарев Л. Лёгким движением руки... / Л. Вихарев // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5. – С. 18–21.
4. Лемешко Н. В. Основы проектирования интегральных микросхем : учеб. пос. для вузов / Н. В. Лемешко. – Москва : Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), 2010. – 270 с.
5. Мухин И. А. Сенсорные экраны – решение проблем / И. А. Мухин // BROADCASTING Телевидение и радиовещание. – 2006. – № 7. – С. 64–66.
6. Проекционно-емкостные сенсорные панели Zytronic. – Режим доступа: <http://www.konkurel.ru/zytronic/index.php> (дата обращения 05.11.2012), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
7. Уличный сенсорный экран ESPADA. – Режим доступа: http://www.espada-tech.ru/pr_35726.shtml (дата обращения 05.11.2012), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Четырехпроводные резистивные сенсорные панели компании Onetouch. – Режим доступа: <http://www.compel.ru/2012/04/26/4-h-provodnyie-rezistivnyie-sensornyie-paneli-kompanii-onetouch/> (дата обращения 06.11.2012).
9. Sony Mobile Communications AB. Floating touch. – Режим доступа: <http://developer.sonymobile.com/knowledge-base/technologies/floating-touch/> (дата обращения 06.11.2012).

References

1. Asmakov S. V. Mnogoobrazie sensornykh displeev [Variety of touch displays]. *KompyuterPress* [ComputerPress], 2010, no. 8, pp. 60–66.
2. Besedina K. N., Vlasov A. I., Tokarev S. V., Moiseev K. M., Panfilov Yu. V., Shakhnov V. A. Perspektivy sozdaniya sredstv vospriyatiya i preobrazovaniya na osnove fotonnykh kristallov [Prospects for creation of perception and transformation means based on photonic crystals]. *Datchiki i sistemy* [Sensors and Systems], 2011, no. 7, pp. 69–78.
3. Vikharev L. (2005). Legkim dvizheniem ruki... [With a subtle motion of the hand...]. *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2005, no. 5, pp. 18–21.
4. Lemeshko N. V. *Osnovy proektirovaniya integralnykh mikroskhem* [Bases of design of integrated circuits]. Moscow, Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Technical University), 2010, 270 p.
5. Mukhin I. A. (2006). Sensornye ekrany – reshenie problem [Touch displays – problem solving]. *BROADCASTING Televidenie i radioveshchanie* [BROADCASTING TV and Radio], 2006, no. 7, pp. 64–66.
6. *Proeksionno-emkostnye sensornye paneli Zytronic* [Projective-capacitive touch panels Zytronic]. Available at: <http://www.konkurel.ru/zytronic/index.php> (accessed 5 November 2012).
7. *Ulichnyy sensornyy ekran ESPADA* [Street touch screen ESPADA]. Available at: http://www.espada-tech.ru/pr_35726.shtml (accessed 5 November 2012).
8. *Chetyrekhprovodnye rezistivnye sensornye paneli kompanii Onetouch* [4-wire resistive touch panels of Onetouch Company]. Available at: <http://www.compel.ru/2012/04/26/4-h-provodnyie-rezistivnyie-sensornyie-paneli-kompanii-onetouch/> (accessed 6 November 2012).
9. *Sony Mobile Communications AB. Floating touch*. Available at: <http://developer.sonymobile.com/knowledge-base/technologies/floating-touch/> (accessed 5 November 2012).