

Продолжение. Начало в № 2 '2013

# Технология mTouch. Создание емкостных клавиатур и сенсоров. Часть 3. Увеличение количества сенсоров, металлические лицевые панели, датчики приближения

Илья АФАНАСЬЕВ

## Увеличение количества сенсоров, слайдеры, матрицы

Все рассмотренные в первой части статьи методы измерения хорошо работают при создании одиночных и групп емкостных сенсоров, где каждый измерительный канал подключен к отдельному выводу микроконтроллера. Что же делать, если нужно большое количество сенсоров?

Для увеличения количества кнопок при том же количестве измерительных каналов можно использовать решения, основанные на учете воздействия двух сенсоров одновременно. Например, с помощью двух емкостных каналов легко реализуются слайдеры (рис. 1). Подобный метод можно использовать и для построения матричных клавиатур (рис. 2) [1].

Современные микроконтроллеры Microchip имеют внутренние мультиплексоры и позволяют обрабатывать до 32 незави-

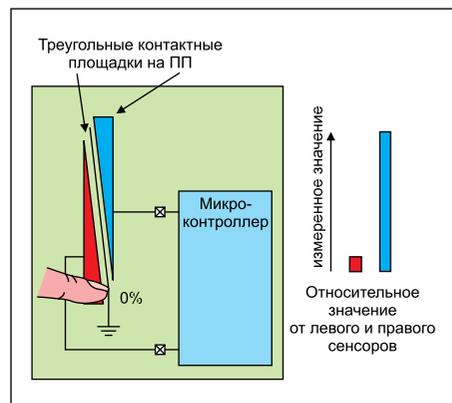


Рис. 1. Слайдер на двух емкостных каналах

симых каналов емкостных сенсоров (табл. 1). Количество сенсоров может быть увеличено за счет разделения обработки сигналов каждого сенсора по времени и/или применения внешнего мультиплексора.

## Замечания по реализации лицевых панелей

Как правило, емкостный сенсор — это проводник на печатной плате или пленка с проводящим покрытием. Естественно, что

никто не выпускает приборы с «оголенными» сенсорами. Компании руководствуются разными причинами: возможность электростатического разряда и повреждения устройства, забота о внешнем виде, защита от воздействия окружающей среды и пр. Обычно емкостные сенсоры закрыты лицевой панелью или экраном.

Как известно, емкость пропорциональна диэлектрической проницаемости применяемого материала, площади сенсора и обратно пропорциональна расстоянию между сенсо-

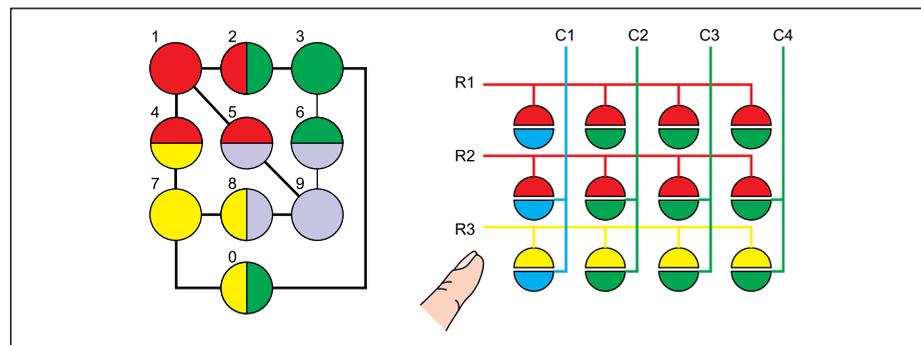


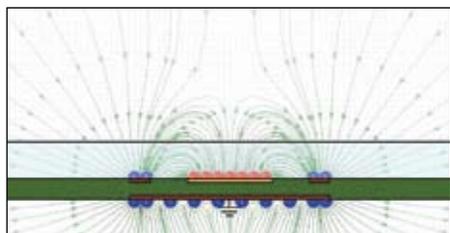
Рис. 2. Сенсорные клавиатуры, реализованные на четырех измерительных каналах

Таблица 1. Семейства микроконтроллеров Microchip и количество сенсорных каналов

Семейство контроллеров	Количество выводов	Метод измерения	Максимальное количество емкостных каналов
PIC10Fxxx	6	Частотный на компараторе	3
PIC12Fxxx	8	CSM	4
PIC16Fxxx, PIC18Fxxx	14/18/20/28/44/64/100	CSM, CVD	8/12/12/17/30/16
PIC12LF1552/ PIC16F151x	8/28	Аппаратный CVD + Guard Ring	5/17
PIC18Fxxx	28/44/64	CTMU, CVD	14/28/24
PIC16F707	44	CSM	32
PIC24F	14/20/28/44/64/80/100	CTMU, CVD	7/12/12/14/16/16/24
PIC24H	28/36/44/64/100/144	CTMU, CVD	10/8/13/24/32/32
PIC32	28/36/44/64/100	CTMU, CVD	10/12/13/16/16

**Таблица 2.** Диэлектрическая проницаемость различных материалов

Материал	$\epsilon_r$
Воздух	1
Полиэтилен	2,25
Полистерол	2,4–2,7
Органическое стекло	3,5–3,9
Полихлорвинил	3,2–4
Целлулоид	4,1
Фторопласт	4,8
Стекло	4–10

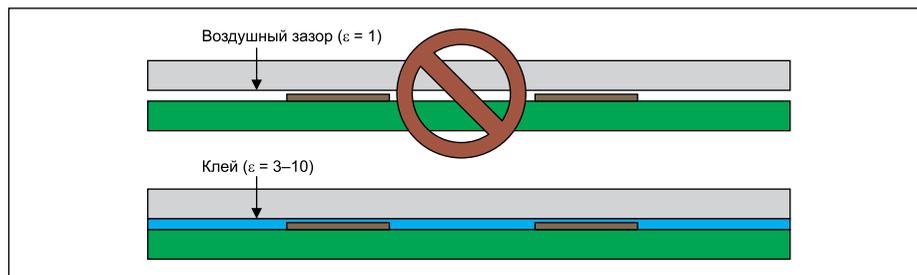


**Рис. 3.** Увеличение толщины лицевой панели уменьшает чувствительность

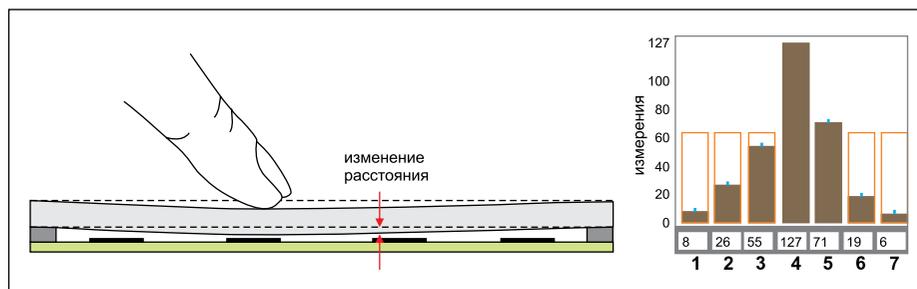
ром и лицевой поверхностью. Из этого следует, что:

- Большой чувствительностью будут обладать емкостные панели, покрытые материалом с большей диэлектрической проницаемостью (табл. 2).
- Для сохранения чувствительности сенсора нужно стараться уменьшать толщину лицевой панели. При этом сенсор, в зависимости от предъявляемых требований к конечному изделию, должен выдерживать воздействие электростатического разряда амплитудой до 15 кВ.
- Важно избегать воздушных прослоек. Воздушный зазор между сенсором и диэлектриком уменьшает чувствительность (то есть вносимую при касании емкость) в 3–10 раз! Для исключения воздушного зазора лицевую панель приклеивают к печатной плате или промежуток между ними заполняют составом с высокой диэлектрической проницаемостью (рис. 4). Приклеивание платы сенсоров к лицевой панели имеет еще одно преимущество: исключается прогиб и изменение расстояния между лицевой панелью и сенсорами и, соответственно, влияние прогиба на изменение емкости соседних сенсоров (рис. 5).
- Для получения большей чувствительности нужно увеличивать площадь сенсора. Чувствительность емкостного сенсора зависит от способа нажатия/прикосновения (площади касания) и размера контактной площадки (рис. 6).

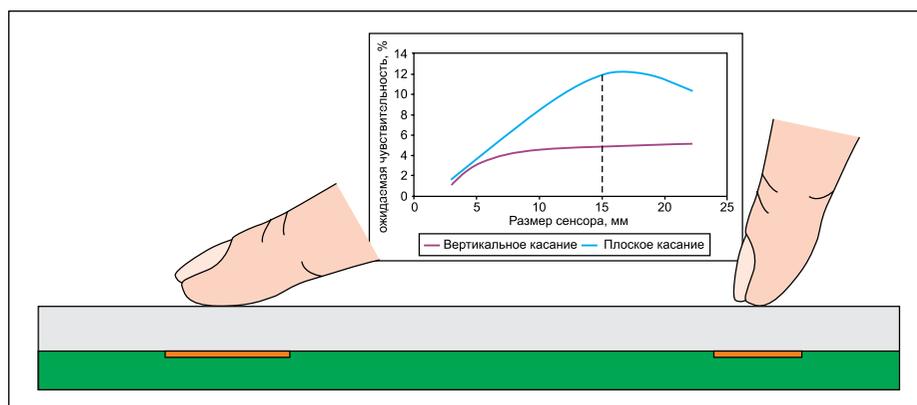
При вертикальном касании емкостного сенсора образуется рабочая площадь диаметром приблизительно 8 мм, а при плоском касании — приблизительно 15 мм. Поэтому 8–15 мм — это оптимальный диаметр контактной площадки для емкостной клавиатуры. Уменьшение размера снизит чувстви-



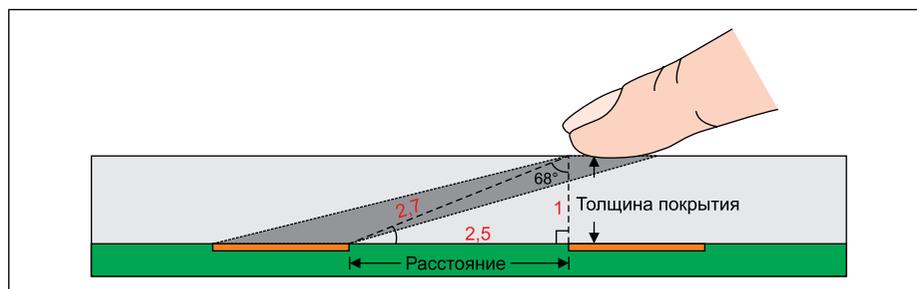
**Рис. 4.** Воздушный зазор уменьшает чувствительность емкостного сенсора



**Рис. 5.** Прогиб лицевой панели за счет воздушного зазора влияет на соседние сенсоры



**Рис. 6.** Зависимость чувствительности от площади сенсора и типа касания



**Рис. 7.** Связь толщины лицевой панели и расстояния между сенсорами

тельность, а увеличение приведет к большей восприимчивости к наводимым помехам и увеличению паразитной емкости  $C_p$ .

Желательно, чтобы расстояние между чувствительными емкостными площадками было как можно больше. Идеальным расстоянием между сенсорами является величина, в 2–3 раза большая, чем толщина лицевой панели. Иначе будет проявляться большее влияние на соседние сенсоры (рис. 7).

Применение пластиковых (диэлектрических) лицевых панелей имеет существенные недостатки — сложность реализации емкостных клавиатур, с которыми оператор сможет работать в перчатках (добавляется воздушный зазор и увеличивается расстояние до сенсора), а также снижение чувствительности и сильное влияние на близко расположенные сенсоры при попадании жидкостей и сильном загрязнении лицевой панели.

Как ни странно, выход из подобной ситуации может быть найден, если применить металлическую лицевую панель. Преимущества металлических панелей заключаются в устранении недостатков пластиковых: с ними можно работать в перчатках, и они не чувствительны к загрязнениям. Металлические панели имеют дополнительное экранирование, вандалозащищенность, и на них можно наносить код Брайля. Однако с металлической лицевой панелью нельзя реализовать слайдеры и датчики приближения.

### Емкостные кнопки с металлической лицевой панелью



Емкостная кнопка с металлической лицевой панелью (Metal Over Cap, МОС) имеет ту же самую схемотехнику и принцип измерения, что и обычная емкостная кнопка [2]. Отличие заключается только в конструкции лицевой панели. У кнопки Metal Over Cap (рис. 8) между лицевой панелью и печатной платой с сенсором располагается разделитель, позволяющий лицевой панели прогибаться над поверхностью сенсора. Если у кнопки с диэлектрическим покрытием измеряется емкость, вносимая пальцем при касании, то у кнопки с металлической лицевой панелью — емкость между лицевой панелью и сенсором, изменяющаяся при надавливании.

Так как механическая прочность конструкции в случае применения металлической лицевой панели будет влиять на изменение емкости, то отсюда вытекают требования к разделителю и расстоянию между кнопками.

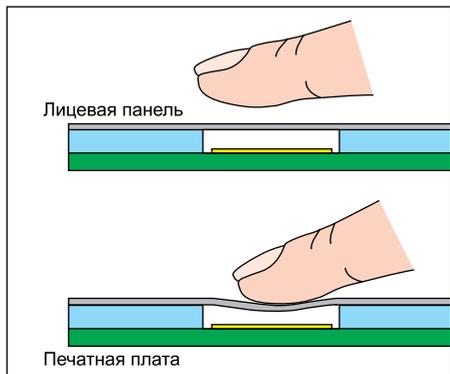


Рис. 8. Принцип работы емкостной кнопки с металлической лицевой панелью



Рис. 9. Зависимость изменения емкости при прогибе панели на 10 мкм от толщины разделителя

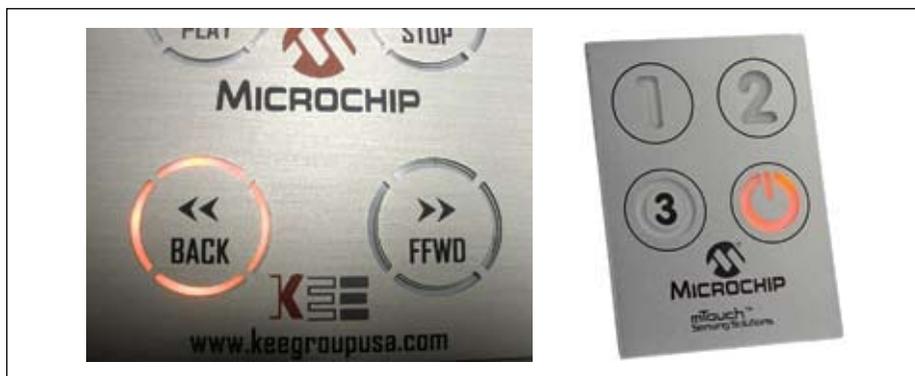


Рис. 10. Примеры металлических лицевых панелей с задней подсветкой

Деформация поверхности над одной из кнопок не должна вызывать прогиба над рядом расположенными кнопками. Поэтому необходимо разносить кнопки друг относительно друга. Желательно, чтобы расстояние между кнопками было не менее  $1/3-1/2$  диаметра одной кнопки. Также нужно использовать разделитель с достаточной жесткостью и надежно склеивать плату с разделителем и металлической лицевой панелью. В качестве разделителя могут служить тонкий стеклотекстолит, фторопласт или самоклеющиеся пленки с двусторонним клеевым покрытием. Плата с емкостными сенсорами должна быть надежно закреплена в корпусе прибора и иметь опоры и крепление с обратной стороны для обеспечения жесткости конструкции.

Толщину разделителя нужно выбирать так, чтобы прогиб панели вызывал изменение емкости не менее чем на 6% (рис. 9), так как паразитные емкости в системе в комбинации с ограничениями по разрешению измерения дополнительно уменьшат точность. Обычно применяется разделитель толщиной 50–150 мкм.

Для того чтобы лицевая металлическая панель (рис. 10) работала эффективно, как вторая обкладка емкостного сенсора, необходимо, чтобы панель была заземлена по переменному току. Это легко выполнить, если

на верхней стороне печатной платы расположить «земляной» полигон со сплошной заливкой вокруг сенсоров, тогда разделитель будет играть роль конденсатора связи. Однако для уменьшения влияния шумов также рекомендуется соединение лицевой панели с «землей» по постоянному току в нескольких точках. Для экранирования от помех на нижней стороне платы рекомендуется GND-полигон в виде сетки с 15%-ным проводящим заполнением. Проводники от сенсоров следует располагать на верхнем слое печатной платы для большей защиты от помех.

При создании клавиатур по технологии Metal Over Cap вместо металлической лицевой панели можно применять тонкую пластиковую лицевую панель со слоем металлизации на обратной стороне. Такая клавиатура будет выглядеть как пластиковая, но обладать всеми преимуществами МОС-технологии.

Видеоролик со сравнением трех емкостных клавиатур: клавиатуры с пластиковой лицевой панелью, металлической лицевой панелью и пластиковой панелью с металлизацией.



<http://goo.gl/zBlIh>

Таблица 3. Параметры емкостных контроллеров mTouch и RightTouch

Параметры	MTCH101	MTCH102	CAP1214	CAP1114	CAP1188	CAP1166	CAP1133	CAP1128	CAP1126	CAP1105/6
Число емкостных входов	1	2	14	14	8	6	3	8	6	5/6
Слайдер	—	—	Да	Да	—	—	—	—	—	—
Управление светодиодами	—	—	11	11	8	6	3	2	2	—
Датчик приближения	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Интерфейс	Логический выход	Логический выход, I <sup>2</sup> C	I <sup>2</sup> C/SMBus	I <sup>2</sup> C/SMBus	I <sup>2</sup> C/SPI/BC-Link					
Корпуса	SOT-23	8-выводный SOIC, 2×3 DFN	32-выводный 5×5 QFN	32-выводный 5×5 QFN	24-выводный 4×4 QFN	20-выводный 4×4 QFN	10-выводный 3×3 QFN	20-выводный 4×4 QFN	16-выводный 4×4 QFN	10-выводный 3×3 QFN

Для изучения и оценки работы клавиатур с металлической и пластиковой металлизацией лицевых панелей компания Microchip предлагает комплект из двух дочерних плат (номер для заказа AC183036), которые подключаются к отладочному комплекту mTouch Cap Touch Eval Kit (номер для заказа DM183026-2).

### Специализированные автономные контроллеры емкостных датчиков

Для тех, кто не желает разбираться с особенностями библиотеки mTouch, компания Microchip предлагает законченные решения — микросхемы контроллеров емкостных кнопок и датчиков приближения (табл. 3). В 2012 году Microchip купила компанию SMSC, владеющую технологией создания емкостных сенсоров RightTouch.

Контроллеры емкостных клавиатур SMSC серии CAPxxx имеют встроенный фильтр для подавления помех, генерируемых импульсными источниками питания, радиопередающими устройствами Wi-Fi, ZigBee, сотовыми телефонами и др. Контроллеры конфигурируются и выдают данные по интерфейсам I<sup>2</sup>C, SMBus, SMSC BC-Link или SPI. Контроллеры SMSC имеют лучшие в индустрии параметры по устойчивости к электростатическому разряду (ESD) и обеспечивают защиту до ±8 кВ без применения внешних защитных цепей.

Контроллеры емкостных кнопок SMSC имеют несложную трехстадийную настройку, поддерживают работу с широким диапазоном емкостей сенсоров, что предоставляет больше возможностей разработчикам и дизайнерам в выборе материалов и толщины лицевых панелей.

Емкостные контроллеры RightTouch имеют функцию перекалибровки, что позволяет компенсировать изменения параметров клавиатур под влиянием окружающей среды (температуры, влажности и пр.), а также загрязнения поверхности.

Для уменьшения потребления контроллеры серии CAPxxx имеют функции сохранения энергии. Разработчик может запрограммировать, какое количество сенсоров должно быть опрошено в энергосберегающем спящем режиме, а также частоту их сканирования и тип опрашиваемого сенсора — кнопка или датчик приближения. Таким образом, можно запрограммировать, чтобы устройство в микрорепроблюющем режиме скани-

ровало только датчик приближения, просыпалось при поднесении руки к устройству и после этого включало в работу сенсорную клавиатуру и само устройство. В таких микрорепроблюющих режимах с опросом одного сенсора контроллеры серии CAPxxx потребляют порядка 50 мкА (5 мкА в режиме «глубокого сна»).

В дополнение к емкостным контроллерам компания Microchip предлагает миниатюрные (с 6 и 8 выводами) микросхемы контроллеров датчиков приближения MTCH10x. К особенностям контроллеров датчиков приближения MTCH101/102 относятся: настраиваемая чувствительность, встроенный фильтр подавления помех, автоматическая компенсация изменения окружающей среды, малые габариты и низкое потребление (до 5 мкА в режиме энергосбережения).

### Емкостные датчики приближения

Емкостный датчик приближения (рис. 11) определяет относительное расстояние до пользователя и позволяет взаимодействовать с прибором без физического контакта. Известно несколько методов реализации датчиков приближения: инфракрасные, оптические, магнитные, основанные на эффекте Доплера, индуктивные и емкостные. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки.

Как и при реализации емкостных кнопок, емкостные датчики приближения представляют собой проводящие поверхности, подключенные (желательно через последовательный резистор) к выводу микроконтро-

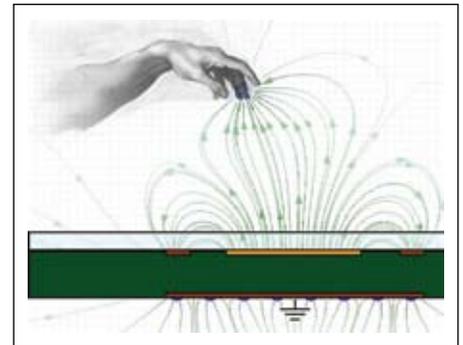


Рис. 11. Емкостный датчик приближения

лера или микросхемы датчика приближения. На сенсор также будут оказывать влияние близко расположенные проводящие объекты. Емкостный датчик приближения может регистрировать объекты только в ближнем поле, однако, в отличие от неемкостных методов, он имеет меньшую стоимость, низкое потребление и проще в реализации.

Работа емкостных датчиков приближения основана на тех же принципах: устройство постоянно измеряет емкость и фиксирует ее значительные изменения. Сигнал датчика приближения существенно меньше, чем сигнал емкостной кнопки, так как фиксируется на значительно больших расстояниях. Плюс к этому диэлектрическая проницаемость воздушной среды существенно ниже, чем у пластика или стекла. Для надежного детектирования приближения нужно хорошее соотношение сигнал/шум. Поэтому при создании датчиков приближения требуется

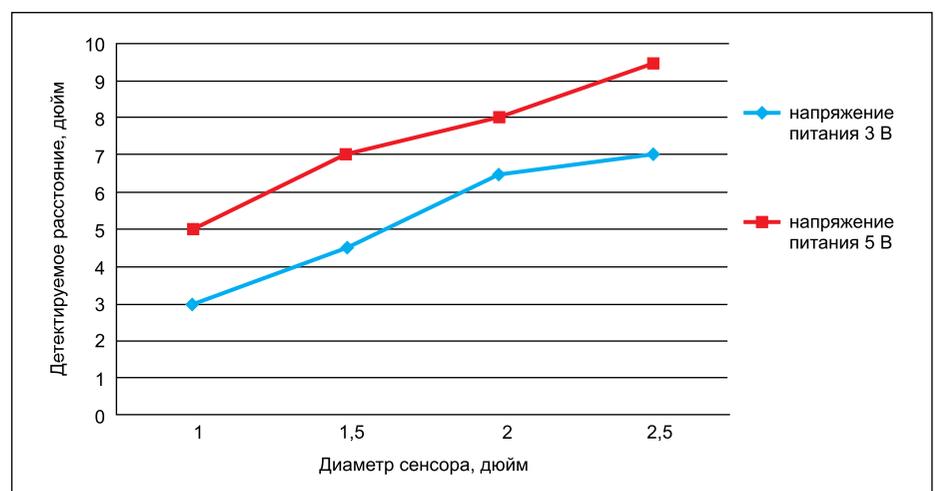


Рис. 12. Зависимость детектируемого расстояния от размеров сенсора

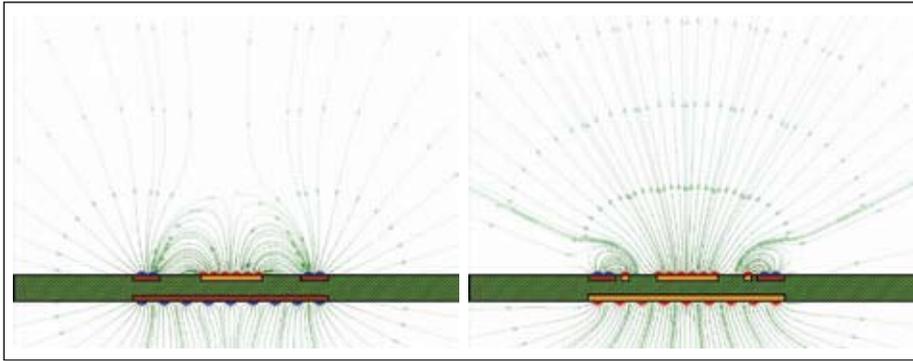


Рис. 13. Влияние экранирования и защитного проводника на чувствительность сенсоров приближения

увеличения паразитной емкости или генерирования помех. Как и с емкостными кнопками, ситуацию может улучшить применение защитного кольца. Активный защитный проводник уменьшает паразитную емкость за счет уменьшения разности потенциалов между сенсором и его ближайшим окружением, а также защищает сенсор от помех (рис. 13). В следующей части статьи мы рассмотрим варианты использования емкостных технологий для других задач — измерения уровня жидкостей, перемещения и давления, а также решения Microchip для создания емкостных экранов, распознавания 2D- и 3D-жестов. ■

*Продолжение следует*

## Литература

1. Никифоров И. Решения Microchip Technology для реализации сенсорного управления // Компоненты и технологии. 2008. № 9.
2. AN1325. mTouch Metal Over Cap Technology — [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
3. AN1492. Microchip Capacitive Proximity Design Guide — [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
4. AN 19-16. Physical Design and LayPhysical Design and Layout Guidelines for Capacitive Sensor Systems out Guidelines for Capacitive Sensor Systems — [www.smcs.com](http://www.smcs.com)
5. AN 24-19. Extended Range Proximity with SMSC RightTouch Capacitive Sensors — [www.smcs.com](http://www.smcs.com)

уделять больше внимания вопросам проектирования, чем при создании емкостных клавиатур [3, 4].

Каждое устройство индивидуально, поэтому сложно дать исчерпывающие рекомендации. Для больших устройств, таких как фоторамки, клавиатуры и т. п., Microchip рекомендует применять петлевые сенсоры, а для небольших устройств — сплошные сенсоры. Петлевой сенсор имеет меньше емкость (а значит, ее легче измерить контроллером) и большую дальность детектирования.

Дальность действия сенсора приближения зависит от напряжения питания, ее можно оценить как 3–5 диаметров сенсора (рис. 12).

Любой слой заземления или металлическая поверхность рядом с емкостной

антенной-сенсором будет снижать дальность датчика приближения из-за экранирования (если металл находится на пути к обнаруживаемому объекту) и увеличения паразитной емкости (когда экран находится за антенной-сенсором). Поэтому непосредственно под емкостным сенсором приближения и в непосредственной близости от него не рекомендуется располагать слой заземления (рис. 13) [5].

Так как из-за конструктивных особенностей разрабатываемого устройства емкостный сенсор приближения может располагаться близко к большим заземленным участкам, интерфейсным проводникам или сигналам управления светодиодами и т. п., то все это уменьшает соотношение сигнал/шум за счет