

# Влияние электромагнитных помех устройства отображения на ёмкостную сенсорную панель

Д.С. Терентьев, А.И. Кривошеин, Б.Ю. Бортник, А.А. Козырев

Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана,

terentev.touchtechn@gmail.com

**Аннотация** — в работе исследуется проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) при создании сенсорных ёмкостных панелей. Она заключается в фильтрации и минимизации помех от электронных компонентов и систем в тех устройствах, где применяется сенсорная панель. Также стоит задача возможности прохождения полезного сигнала от тела человека до разработанной ёмкостной сенсорной панели из толстоплёночных паст сквозь устройство отображения с минимальными потерями. Предложены пути её исследования и решения, проведён анализ контроллеров проекционно-ёмкостных сенсорных панелей, доступных на рынке, по параметрам снижения влияния электромагнитных помех. Промоделировано и экспериментально исследовано влияние электромагнитных помех на сенсорные ёмкостные матрицы, как уже имеющиеся на рынке (на базе микропроводок), так и ещё незаконченные лабораторные образцы разработанной толстоплёночной сенсорной матрицы на базе керамики. После этого исследования показали, что уровень максимальных электромагнитных помех 60..80 дБ был со стороны цепей питания и платы с задней стороны дисплея. Авторами было выявлено, что возможно реализовать функционирование разработанной ёмкостной сенсорной матрицы не только сквозь дисплей на основе электронных чернил, как в случае сенсорных панелей на базе серебряных микропроводок, но и сквозь жидкокристаллический дисплей. По результатам экспериментов найден частотный спектр помех со стороны дисплея, который находится в диапазоне до сотен МГц. Найдено, что при приближении пальца на расстояние 1 мм от лабораторного образца сенсорной панели ёмкость увеличивается на 5-10%, а при прямом прикосновении к электроду ёмкость электродов увеличивается в 2-3 раза.

**Ключевые слова** — электромагнитные помехи, ёмкостная панель, выделение полезного сигнала, помехозащищённость, бесконтактный ввод.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов, определяющим надежность и качество проекционно-ёмкостных сенсорных экранов является их помехоустойчивость. На сенсорную ёмкостную панель влияют множество источников электромагнитного излучения: источники электропитания, электрические разъёмы,

высокочастотные излучатели и приёмники (мобильная связь, интернет, wi-fi) и т.п.

Причём данная проблема актуальна для всех конструкций ёмкостных панелей, кроме ИТО (мобильная электроника, производитель TouchKit [1] для терминалов). Это связано с тем, что остальные ёмкостные панели состоят из таких датчиков (например, медные и серебряные микропроводки), которые можно представить в виде эквивалентной модели антенны, или колебательного контура LC-цепочки, принимающей на определённых частотах электромагнитные сигналы: как полезные объекта ввода, так и наводки. При этом панели ИТО не способны распознавать сигналы бесконтактным методом, а в технологии сенсорной ёмкостной панели из толстоплёночных паст и керамики с возможностью бесконтактного ввода имеется пока та же проблема электромагнитной совместимости с устройством отображения, как и для панелей на основе медных микропроводок. Это является препятствием для бесконтактного ввода сквозь дисплей.

С переходом на универсальные зарядные устройства с разъёмами micro-USB от производителей, не изготавливающих сами электронные устройства и сенсорные панели для них, становится проблемой отсутствие возможности контроля производителями мобильной электроники качества и интенсивности электромагнитного излучения зарядных устройств. Таким образом, данные мобильные электронные средства оказываются ненадлежащего качества, негативно влияя на ёмкостные сенсорные панели [2].

Устранить все эти проблемы возможно только переходом к бесконтактному методу ввода информации, способностью бортовой панели к распознаванию жестов и распознаванию и выделению полезного сигнала электростатического поля тела человека из прочих сигналов (в первую очередь, со стороны устройства отображения), и поиску альтернативных конструкций и способов изготовления ёмкостных сенсорных панелей. При этом трёхмерное распознавание объектов ввода в пространстве должно обеспечиваться ёмкостными, а не инфракрасными и прочими оптическими технологиями, поскольку они обладают более высокой себестоимостью

изготовления и большими массово-габаритными параметрами.

## II. ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ НАВОДОК В ЁМКОСТНЫХ СЕНСОРНЫХ ЭКРАНАХ

В начале 2010-х годов основным способом ослабления электромагнитных помех на ёмкостную панель был щит в конструкции сенсорного экрана между устройством сенсорного ввода и устройством отображения, который увеличивал стоимость и толщину конструкции.

Компания Atmel производит контроллеры для ёмкостных панелей 2.8-3.5 дюймов серии maXTouch mX122E с отсутствием необходимости в щите между сенсорной панелью и дисплеем.

Производитель Maxim разработал контроллер MAX11871 серии TacTouch, обеспечивающий соотношение сигнал-шум порядка 60 дБ и разницу 1000:1 между сигналом наличия касания к сенсорной панели и отсутствием касания. MAX11871 распознаёт очень слабый полезный сигнал ёмкости – в диапазоне фемтофард (фФ), или  $10^{-15}$  Ф, что позволяет регистрировать даже приближение пальца без касания к сенсорной ёмкостной панели (возможно поставить довольно толстое защитное стекло).

Технология заключается в создании полосового фильтра, пропускающего только частоты касания или приближения пальца к сенсорной панели, которые отличаются от частот излучения электромагнитных помех. Частотные шумы фильтруются свыше 40 дБ от внешних источников.

Решение от STMicroelectronics представляет собой контроллер FingerTip с 32-х битной системой цифровой обработки сигналов (ЦОС, DSP) для снижения восприимчивости к электромагнитным шумам и поддержкой сенсорных панелей свыше 10 дюймов. Контроллер способен распознавать полезный сигнал в диапазоне аттофард (аФ,  $10^{-18}$  Ф) и фильтрует даже тот шум, который испускает палец человека при приближении к сенсорной панели. Данный шум также представляет проблему, поскольку его частота схожа с частотой электромагнитных шумов от флуоресцентных ламп подсветки CFL дисплея или от других низкочастотных источников помех (ниже 1 МГц).

Низкоуровневая прошивка контроллера реализует эвристические алгоритмы устранения ложных сигналов, несколько уменьшая скорость сканирования сенсорной панели по сравнению с аналогами. В нём применяется метод скачкообразной смены частоты сканирования с поочерёдным опросом различных зон сенсорной панели в моменты времени, когда сигнал шума минимален. Текущая частота сканирования такой зоны может быть очень узкой, вследствие чего полезный сигнал приближения пальца может быть искажён. Для решения этой задачи FingerTip использует метод цифровой демодуляции узкой

полосы частот для сильного ослабления составляющих электромагнитные шумы сигналы с применением конечных автоматов. Демодуляция происходит не в процессоре устройства и не в контроллере (ПЛИС, микроконтроллер), а в аналоговом программно-реализованном интерфейсе. Благодаря этому время отклика не увеличивается даже при уровне шума со значением напряжения в десятки вольт.

Контроллеры STM с такими методами применяются в МЭМС-устройствах, где выходные сигналы электромеханических датчиков имеют сигналы в диапазонах аттофард, а шумы могут быть в миллионы раз больше [2].

Помимо способов снижения помех при помощи усовершенствования контроллеров и схем АЦП сенсорных панелей, добавления фильтров, существует множество защит от электромагнитных наводок и путём изменений или добавлений в конструкцию самой сенсорной панели, которые описаны в работах [3], [4]. Это дополнительные сетки микропроводов (наиболее эффективные, ослабление 40-50 дБ, но снижают существенно прозрачность) и покрытия ИТО (ослабление в 20-30 дБ), медные шины и ленты, и т.п.

Так, компания Zytronic предложила методику установки сенсорных панелей для снижения электромагнитных наводок. Например, для сенсорных панелей с диапазоном диагоналей до 19 дюймов рекомендуется: минимум 5 мм от контроллера до металлического корпуса монитора или других металлических поверхностей, желательно делать диэлектрические прокладки между металлом, обязательное заземление с отверстия на плате контроллера на металлический корпус монитора или терминала самообслуживания (металлические крепёжные элементы и т.п.), как минимум 3 мм между передней поверхностью устройства отображения и задней поверхностью сенсорной панелью, и т.п. [5]

Аналогичные рекомендации, как наличие хорошего заземления и технологии соединения компонентов системы экранирования для отвода электростатического заряда на корпус, и т.п., описаны в работе [6].

В области устройств сенсорного ввода ёмкостного типа известна теоретическая разработка проекционно-ёмкостной сенсорной матрицы с бесконтактным вводом, но с применением толстоплёночных структур и керамики вместо традиционных оксидов индия и олова и металлических микропроводов. На её основе можно создать ёмкостную сенсорную панель повышенной помехоустойчивости для работы сквозь устройство отображения на основе предложенной сенсорной панели на базе толстоплёночных паст, поскольку они обладают более высокой чувствительностью для полезного сигнала, более низкой себестоимостью (в 1,5-2 раза) и повышенной надёжностью (расширенный диапазон температур) [7], по сравнению с уже предлагаемыми на рынке сенсорных ёмкостных панелей на базе микропроводов.

Такую сенсорную панель предполагается размещать за устройством отображения ввиду её непрозрачности, для чего необходимо решить проблему защиты от электромагнитных наводок со стороны дисплея для успешного прохождения сквозь последний полезного сигнала.

Используемые сенсорные ёмкостные матрицы относятся к типу «собственной ёмкости» [8], где, в отличие от матриц «взаимной ёмкости», наблюдается большее влияние электромагнитных помех и необходимость в электростатическом щите или других способов ослабления наводок, что обычно уменьшает прозрачность сенсорной панели и увеличивает себестоимость [9].

Однако «собственная ёмкость» позволяет реализовать бесконтактный ввод на больших расстояниях от сенсорной панели, в отличие от ёмкостных сенсорных панелей на основе оксидов индия и олова, где в основном «взаимная ёмкость». А применение непрозрачной толстоплёночной матрицы на керамике вместо сеток микропроводов (Zytronic) устранил необходимость в прозрачности электростатического щита, т.к. сенсорная панель располагается за дисплеем.

Подобные исследования уже проводились, например, ёмкостный сенсор Apple для мобильной электроники также в виде матрицы конденсаторов, функционирующий сквозь дисплей с прохождением сигнала по электростатическим линзам [10], что подтверждает актуальность выполнения работы. Та же компания подала патент и на акустический способ распознавания пальца человека также через дисплей без ёмкостного сенсора [11].

### III. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЁМКОСТНЫХ СЕНСОРНЫХ ПАНЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ ЧЕРЕЗ УСТРОЙСТВО ОТОБРАЖЕНИЯ

Проведём следующие эксперименты с сенсорной проекционно-ёмкостной прозрачной панелью Zytronic.

1) Сенсорная панель размещалась за стекло светоотражающего фильтра устройства отображения (ЖК-матрица TFT STN типа) и через контроллер подключалась к компьютеру. С помощью программы ZyConfig, позволяющей визуализировать электромагнитные помехи и полезные сигналы касания с регулировкой чувствительности и порогов их активации, производилась качественная оценка работоспособности сенсорной панели. В ходе эксперимента было видно, что электромагнитные наводки мешали нормальной работе сенсора (ложные срабатывания, невозможность различия области касания), При этом только регистрировалось наличие касания или приближение электропроводящего тела, но никак не уточнялось даже его примерное нахождение над поверхностью сенсорной панели.

2) Затем сенсорная панель располагалась в том же месте, но уже за включенным монитором.

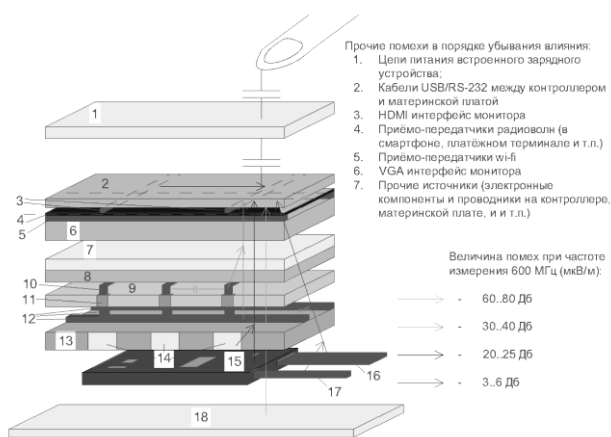
Эксперимент дал неожиданный результат, так как функционирующее устройство отображения немного снижало электромагнитные наводки из окружающей среды на сенсорную панель, вследствие чего создавалась более благоприятная среда для работы сенсора. Но, ввиду наличия помех и от самого устройства отображения, координаты определения объекта ввода были с погрешностью в половину размера сенсорной панели. Иными словами, контроллер распознавал нахождение объекта ввода лишь по четвертям панели, т.е. если касание или приближение пальца было в верхней правой четверти панели, то в разных местах данной области появлялись с большой частотой смены места сигналы активации сенсорной панели.

3) В ходе проведённых выше экспериментов было установлено, что сенсорная панель и печатная плата её контроллера никак не влияют на работу монитора. Это, в свою очередь, приводит к тому, что можно размещать сенсоры и контроллеры за монитором без существенного влияния на качество их работы. Однако работоспособность сенсорной панели была очень посредственной с самой высокой степенью погрешности в четверть панели из-за сильных электромагнитных помех устройства отображения. Среди вариантов решения проблемы для более лучших результатов работы следует искать другие типы устройств отображения.

4) Сенсорная панель располагалась за устройством отображения на основе электронных чернил (E-ink) на печатной плате контроллера. Сразу же было замечено, что в большей части панели электромагнитные помехи находились в пределах допустимой величины (не вызывая ложных срабатываний). Сенсор уже мог грубо распознавать касания через E-link дисплей и показывать приблизительное местонахождение пальца.

5) Всё, как и в прошлом опыте с ЖК-монитором TFT, только с включённым E-ink дисплеем. Анализируя эксперимент, был сделан вывод, что помехи, вносимые дисплеем, несущественно сказываются на работе сенсорной панели. Это связано с тем, что у устройства отображения на основе электронных чернил отсутствует светодиодная подсветка, меньшее напряжение питания и меньшее количество электронных компонентов на плате преобразователя электропитания, а также меньшее количество и размер проводников, транзисторов с меньшим значением номиналов напряжений и токов на них. Следовательно, общее значение собственных шумов электростатических и магнитных полей компонентов дисплея на основе электронных чернил намного меньше, чем у жидкокристаллических дисплеев.

По результатам исследований была разработана модель влияния электромагнитных наводок на сенсорную ёмкостную панель производства Zytronic на примере сетки серебряных микропроводов, в первую очередь, со стороны ЖК-дисплея (данные по соотношению уровня сигнал-шум в Дб брались из работы [12]):



**Рис. 1. Модель влияния электромагнитных помех на ёмкостную сенсорную панель**

К рисунку 1:

- 1 – защитное стекло сенсорной панели
- 2 – жёсткая плёнка (полиэтилентерефталат, полиэтиленнафталат и т.п.) толщиной 300 мкм
- 3 – слой верхних вертикальных серебряных микропроводов
- 4 – тонкий слой конденсаторного диэлектрика
- 5 – нижний слой горизонтальных серебряных микропроводов
- 6 – стеклянная подложка сенсорной панели толщиной 3..6 мм
- 7 – защитное стекло дисплея
- 8 – слой поляризатора
- 9 – слой ЖК-ячеек и светофильтров
- 10 - верхние вертикальные электроды (каналы TFT)
- 11 – полевые тонкоплёночные транзисторы
- 12 – нижние горизонтальные электроды (истоки TFT)
- 13 – нижняя стеклянная подложка и нижний поляризационный фильтр с рассеивателем
- 14 – светодиодная подсветка (LED)
- 15 – печатная плата контроллера с компонентами
- 16 – гибкий шлейф дисплея
- 17 – провод питания
- 18 – защитная металлическая задняя стенка дисплея

На рис. 1 показаны влияния собственных шумов электронных компонентов на сенсорную ёмкостную панель. Наибольшее воздействие оказывают электромагнитные поля катушек индуктивности, конденсаторов и проводников системы электропитания, в меньшей степени дробовые шумы проводников тонкоплёночных транзисторов, также электростатические поля последних, тепловые шумы электронных компонентов на печатной плате контроллера дисплея. Достаточно большой вклад в составляющие помех вносит металлический экран задней стенки дисплея и светодиодная подсветка, поэтому для создания сенсорной панели, функционирующей сквозь дисплей, следует её размещать поверх задней стенки и подсветки. Это связано с тем, что полезный сигнал будет сильно

ослабляться этими компонентами, но способен с минимальными потерями пройти сквозь поляризационные фильтры и слой тонкоплёночных транзисторов с проводниками дисплея.

Обычно для ослабления вышеуказанных электромагнитных шумов используются покрытия из оксидов индия и олова (ITO), сетки из медных и серебряных проволок, т.е. те же материалы, из которых изготавливается большинство сенсорных панелей. При этом в диапазоне от 1 МГц до 10 ГГц достигается ослабление сигнала 20..70 дБ [4].

#### IV. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ПОЛЕЗНЫХ СИГНАЛОВ ПРИКОСНОВЕНИЯ К РАЗРАБОТАННОЙ СЕНСОРНОЙ МАТРИЦЕ И ПОМЕХ ОТ УСТРОЙСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ

Методика проведения эксперимента влияния электромагнитных наводок основана на измерении сигналов разработанной в работе [7] толстоплёночной непрозрачной ёмкостной сенсорной панели на базе керамики, которую предполагается усовершенствовать для функционирования сквозь дисплей.

Общая цель: определить спектр поглощения частот электромагнитного излучения устройствами отображения – ЖК-индикаторами (далее дисплей, без металлической защитной поверхности сзади) в отсутствие касания пальцем человека и при наличии касания пальцем с обратной стороны от излучателя.

В качестве излучателя при этом используется керамическая подложка сенсорной толстоплёночной ёмкостной матрицы лабораторного образца №4 4 дюйма с прямоугольными сегментами, изготовленными по технологии вжигания при температуре 850 °С, и образец №9 4 дюйма на печатной плате из стеклотекстолита с ёмкостной металлизированной матрицей, изготовленной по технологии стандартной трафаретной печати SMD-монтажа с термообработкой при 200 °С.

Конечная цель: найти разницу между спектрами поглощения дисплея при прикосновении и в отсутствие прикосновения, убедившись, что эту разницу вносит прикосновение именно в точке расположения излучающего электрода сенсорной ёмкостной матрицы. Также определить диапазон частот, где эта разница наиболее существенна.

Приведём методику измерения эксперимента № 1, последующие эксперименты будут аналогичны первому, т.к. используют ту же методику с немного другими целями.

Цель: проверить собственную ёмкость сенсорной матрицы и спектр собственного поглощения измерительной системы устройства отображения.

Описание: генератор синусоидального сигнала подключается через резистор R1 к электроду сенсорной матрицы (рисунок 2). Резистор R1 необходим для измерения силы тока, то есть чем больше ёмкость электрода относительно земли, тем

выше падение напряжения на резисторе R1. Электроды сенсорной матрицы подключаются к земле генератора и платы сбора данных.

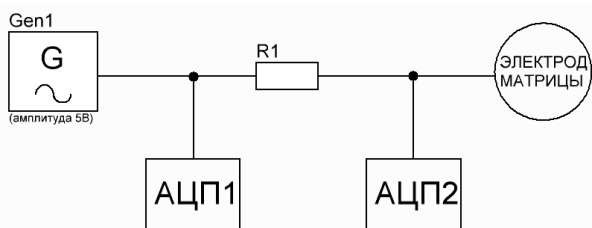


Рис. 2. Схема измерения спектра сигналов помех

Номинал резистора R1 подбирается так, чтобы падение напряжения на резисторе (т.е. разница между значениями амплитуды на АЦП1 и АЦП2) при приближении пальца к электроду сенсорной матрицы на 3-5 мм при частоте 100кГц было значительным, как минимум 10% от амплитуды. Для этого используется резистор 100 кОм.

Подаётся синусоида со смещением по постоянному току, т.к. АЦП измеряет только положительный сигнал. Провода от генератора к резистору и от резистора к электроду выбираются как можно короче, чтобы уменьшить электромагнитные наводки с проводов и их паразитную ёмкость. В целях снижения влияния шумов и наводок, помимо применения экранированных кабелей, измерительные цепи дополнительно экранируются металлическими пластинами.

Электрод матрицы должен находиться на расстоянии от металлических предметов на расстоянии свыше 10 см.

#### V. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА СИГНАЛОВ РАЗРАБОТАННОЙ СЕНСОРНОЙ МАТРИЦЫ

##### A. Эксперимент № 1

1. Установлена частота генератора 100 Гц, амплитуда 4 В (размах 8 В) без смещения по постоянному току. Использовалась толстоплёночная сенсорная матрица на базе керамики.

2. Синхронно сняты осциллограммы сигнала на АЦП1 и АЦП2 длиной в 1-2 периода синусоиды.

3. Далее с шагом 100 Гц поднималась частота до 1кГц и повторялся пункт 2 (рис. 3, 4). В целях сокращения времени настройки эксперимента, снижения избыточности и получения корректных данных во всём диапазоне частот измерения проводились по «упрощённой» логарифмической шкале (1, 2, 5, 10, ..). На рисунках 3-5 по оси X время с шагом, соответственно, в 500 мкс, 10 мкс и 200 нс, а по оси Y значение напряжение с шагом в 1 В, 200 мВ, 50 мВ, соответственно.

4. Поднималась частота с 1кГц до 100кГц также по логарифмической шкале и повторялся п.2. Здесь и далее обязательно зарегистрировать это в протоколе.

5. Поднималась частота со 100 кГц до 1МГц.

6. С шагом 1МГц повышалась частота с 1 МГц до 10МГц, и с шагом 10МГц с 10 МГц до 100МГц, продолжалась запись осциллограмм и амплитуд.

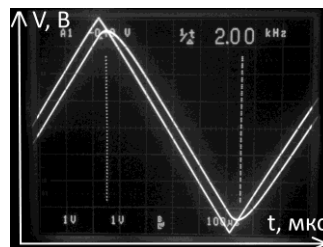


Рис. 3. Измерение на частоте 2 кГц

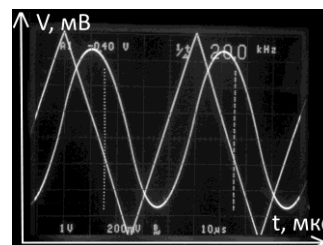


Рис. 4. Измерение на частоте 20 кГц

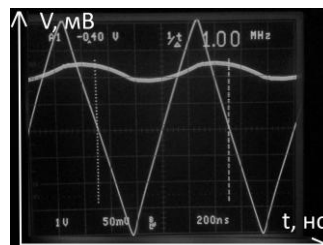


Рис. 5. Измерение на частоте 1 МГц

##### B. Эксперимент № 2

Цель: измерить спектр поглощения дисплея.

Устройство отображения плотно прижималось к сенсорной ёмкостной матрице на базе керамики и повторялись все пункты эксперимента 1. Матрица была закреплена в вертикальном положении на дисплее двухсторонним скотчем таким образом, чтобы между подключенным электродом матрицы и дисплеем скотча не было, только тонкая воздушная прослойка. При этом за дисплеем с противоположной стороны матрицы не должно было быть никаких предметов на расстоянии как минимум 10см.

##### C. Эксперимент № 3

Цель: измерить спектр поглощения дисплея при прикосновении.

Здесь была скорректирована методика проведения эксперимента: следует фиксировать разницу не на гармонических сигналах, а на импульсных. При этом синусоидальный сигнал для целей измерения спектра

Фазовая и частотная характеристика сенсорной матрицы 4 дюйма на базе керамики

Частота, кГц	Ослабление амплитуды, %	Смещение фазы, °	R1, кОм
0.100	-	-	100
0.200	-	-	100
0.500	-	-	100
1.000	87.5	15	100
2.000	-	-	100
5.000	50.0	60	100
10.00	26.3	68	100
20.00	17.5	72	100
50.00	-	-	100
100.0	3.0	75	100
200.0	1.6	86	100
500.0	0.6	88	100
1000	0.5	90	100
2000	0.3	36	100
5000	-	-	100
10 000	-	-	100
20 000	-	-	100
50 000	-	-	100
100 000	-	-	100

частот электромагнитных помех от устройств отображения не подходит. В дальнейшем были проведены эксперименты с добавлением фильтрующего электромагнитные шумы конденсатора, помимо резистора и фильтра высоких частот. В качестве контроллера сенсорной матрицы использовалась отладочная плата на ПЛИС с прошивкой программы регистрации касания или приближения электропроводящих тел.

Был повторен эксперимент № 2, но с касанием пальца к дисплею в точке напротив излучающего электрода сенсорной матрицы.

При использовании резистора  $R = 10$  кОм время зарядки колебалось вблизи значения 310 тактов в соответствии с контроллером на ПЛИС. При приближении пальца к электроду матрицы время заряда его ёмкости увеличивалось. При расстоянии между пальцем и электродом примерно 1 мм время зарядки увеличивалось на 15-25 тактов и незначительно увеличивалось с течением времени. При прямом прикосновении, обеспечивающем электрический контакт между телом человека и электродом матрицы, время зарядки увеличивалось резко на 100-200 тактов и продолжало увеличиваться с течением времени. При разрыве контакта значение, выводимое на дисплей, уменьшалось не мгновенно, а постепенно. Это может быть связано с тем, что имеет место инертность изменения ёмкости.

#### D. Эксперимент № 4

Цель: убедиться, что прикосновение существенно влияет на спектр поглощения только того электрода, который находится напротив точки касания.

Повторен эксперимент № 2, прикоснувшись пальцем к дисплею в точке, на расстоянии примерно 5-7 см от излучающего электрода. Но на приближающийся палец прибор реагировал очень слабо, что говорит о том, что нужен усилитель с преобразователем сигнала. Палец распознавался лишь на 2-3 мм от поверхности сенсора сквозь воздушную прослойку, затем сквозь бумагу (остальные диэлектрики не давали никакого результата распознавания пальца).

У сенсорной матрицы на печатной текстолитовой плате уже в эксперименте № 1 сигнал практически не менялся, потому остальные эксперименты не были выполнены. Минимальную чувствительность зафиксировать было практически невозможно. Скорее всего, нужно экранирование и усилитель, другой сигнал.

#### VI. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА И КОРРЕКТИРОВКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Основные условия проведения эксперимента:

1. Высокий уровень шумов и наводок не позволил корректно провести измерения.
2. Присоединительные провода заменены на коаксиальные экранированные кабели, концы кабелей подпаяны непосредственно к площадке.
3. Исходный сигнал – треугольный синус.
4. Сняты осциллограммы сигналов для различных фиксированных частот.

Выводы:

1. На керамической подложке сенсорной матрицы выявлен «диодный эффект», заключающийся в постоянной составляющей порядка несколько десятков мВ.
2. По данной методике невозможно зафиксировать сколь малое изменение амплитуды при приближении пальца (ни на образце матрицы на базе керамики, ни на образце матрицы на печатной плате).

При проведении экспериментов с резисторами представилось возможным построить ФЧХ и зарегистрировать некоторое количество изменённой амплитуды в узкой полосе.

Сделаны следующие выводы:

1. Ёмкость электродов сенсорной матрицы при приближении к ним пальца измеримо увеличивается.

При приближении пальца на расстояние 1мм, ёмкость увеличивается на 5-10%.

2. При прямом прикосновении к электроду, обеспечивающему электрический контакт, ёмкость электродов увеличивается в 2-3 раза.

3. Данный метод измерения ёмкости с помощью контроллера на ПЛИС позволяет измерять ёмкость с минимальным шагом примерно  $1/v \cdot R$ , где  $v$  – частота тактового генератора,  $R$  – сопротивление резистора.

4. При использовании описанного метода измерения ёмкости появляется паразитный эффект инертности изменения значения ёмкости электрода.

5. Если поверхность матрицы покрыть тонким диэлектриком, с диэлектрической проницаемостью ниже, чем воздух (например, бумага), изменение ёмкости при прикосновении становится ниже минимального шага измерения описанной системы и в большинстве случаев не детектируется.

## VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментальных исследований и поиска путей снижения электромагнитных наводок со стороны дисплея на разработанную сенсорную ёмкостную панель были выполнены следующие корректировки в экспериментальную установку: добавлены резисторы номиналом 10 кОм, 1 кОм и 100 Ом для их поочерёдного подключения между землёй и электродом сенсорной матрицы лабораторного образца. Таким образом, будет сформирована RC-цепь для фильтрации большинства помех с АЧХ с частотой среза примерно 50-200 кГц. Более точное значение возможно получить экспериментальным путём. В результате методика эксперимента меняется – отпадает необходимость измерять все частоты до 500 МГц, а только до частоты среза.

Желательно добавить в схему конденсаторы 100 пФ и 1 нФ, и аналогично после эксперимента с резисторами поочерёдно подключать их между землёй и электродом. Тем самым будет вычисляться и у того, и у другого конденсатора частота среза, и изменение полезного сигнала при разных частотах. Это позволит убрать большую часть постоянной составляющей помех, увеличить изменение полезного сигнала при разных частотах. Кроме того, можно применить компенсационные методы.

При проведении первого эксперимента без коаксиальных кабелей имеют высокое влияние различного рода электромагнитного шума и наводки не только от устройства отображения, но и от остальных источников, как показано в модели в главе 3 (цепи питания, интерфейсов и т.п.). Импеданс у матрицы лабораторного образца сенсорной панели достаточно высок, поэтому абсолютную разницу в значениях амплитуд зафиксировать достаточно проблематично. Однако в данном случае коаксиальные кабели следует применять лишь в схеме электропитания и добавив в схему блок стабилизации напряжения, а проводники передачи данных и электропитания непосредственно к сенсорной матрице

следует оставить в виде простых проволок, так же как и шину данных к устройству отображения информации.

Таким образом, разрешение проблемы минимизации электромагнитных наводок на разработанную ёмкостную сенсорную панель, в первую очередь, со стороны устройства отображения позволит избавиться от расположения устройства ввода перед дисплеем, что повысит надёжность и расширит функциональность устройства, позволив распознавать бесконтактно электропроводящие тела в пространстве без применения оптических (инфракрасных и т.п.) технологий, которые увеличивают массо-габаритные и стоимостные характеристики конечного устройства и повышают его энергопотребление. Для этого нужно реализовать в ёмкостной панели способность отличать постоянно меняющиеся сигналы от электрических полей устройства отображения от полезных сигналов, что возможно путём построения фильтра пропускания только частот полезного сигнала приближения электропроводящего тела. Также возможно будет применить более надёжные и устойчивые к электромагнитным воздействиям непрозрачные сенсорные панели на базе керамики с расширенным температурным диапазоном, но без применения как дорогостоящих оксидов индия и олова (TouchKit, производители сенсоров для мобильной электроники), так и без серебряных и медных микропроводов (Zytronic, Elo, 3M) с более низкой степенью защиты от электромагнитных воздействий.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сайт производителя TouchKit. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.touchkit.com/>. Проверено 1.04.2018.
- [2] Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.electronicsspecifier.com/displays/avoiding-emi-in-capacitive-touch-screens>. Проверено 25.03.2018.
- [3] Brian E. Herr, Jeff Blake, Richard D. Paynton. Оптическое усовершенствование и защита от ЭМИ в сенсорных экранах // Information Display. 5/10, 2010. С. 30-35.
- [4] Dominic Zborowski. Экранирование электромагнитных помех (ЭМИ) // A D Metro Inc. Оттава, Онтарио, Канада.
- [5] Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.touchtechn.ru/technical-section/touch-technologies/capacitivezytronic.html>. Проверено 24.03.2018.
- [6] Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. – М.: ООО "Группа ИДТ", 2010. С. 470.
- [7] Терентьев Д.С., Шахнов В.А., Власов А.И. Устройство сенсорно-бесконтактного ввода информации на базе керамики для авионики // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем - 2016. Сборник трудов / под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемповского. М.: ИППМ РАН, 2016. Часть IV. С. 88-94.
- [8] G. Barrett and R. Omote. Projected capacitive touch technology // Information Display, 26, No. 3, March 2010. P. 16-21.
- [9] Kyuwon Kyoung, Reiji Hattori. Анализ электромагнитных полей в ёмкостных сенсорных панелях // Journal of

- [10] Jean-Marie Bussat. Ёмкостный сенсор отпечатка пальца, включающий электростатические линзы. Патент США US9460332B1, Apple Inc. Сентябрь 2014.
- [11] Mohammad Yeke Yazdandoost, Giovanni Gozzini, Jean-Marie Bussat. Активный чувствительный элемент для

- [12] Satyajeet Shinde. Исследование и моделирование ЭМИ плоского дисплея // Работа магистра. 7275. Октябрь 2014, Миссурийский университет науки и технологий, США.

## The Electromagnetic Interferences From Display Device on Capacitive Touch Panel

D.S. Terentyev, A.I. Krivoshein, B.Y. Bortnik, A.A. Kozyrev

Bauman Moscow State Technical University, terentev.touchtechn@gmail.com

**Abstract** - The work focuses on the electromagnetic interferences (EMI) problem of touch capacitive panels creation. This issue consists of filtering and minimizing noises created by electronic components and device systems where a touch panel is used. Also there is need for possibility of passing useful signal from a human body to developed thick-film pastes capacitive touch panel through a display device with minimal losses. Investigation and solutions of these problems are proposed. Projective-capacitive touch panels controllers analysis is made by parameters of EMI influence decreasing. EMI influence is modeled and investigated experimentally on touch capacitive matrix. Herein there are matrices used both available in market (based on microwires) and non-commercialized laboratory samples of developed thick-film touch panel (based on ceramics). Maximum interferences level of 60..80 dB is found on power circuits of display back and its circuit board. It is revealed possible to realize the developed capacitive touch matrix work also through a liquid crystal display. Whereas capacitive touch panel based on silver microwires work faintly only through electronic ink display. After the experimental results, there is found interferences frequencies spectrum from the display on the capacitive panel based on ceramics in range up to hundreds of MHz. It is found that a capacitance increases by 5-10% when finger approaches at the distance of 1 mm from the lab sample of the touch panel. Further, the electrodes capacitance increases 2-3 times if the electrode is touched directly.

**Keywords** — electromagnetic interferences, capacitive panel, true signal detection, noise immunity, contactless input screen.

### REFERENCES

- [1] Web-site of manufacturer TouchKit. URL: <http://www.digitimes.com/news/a20140328VL200.html> (accessed: 1.04.2018).
- [2] URL: <https://www.electronicsspecifier.com/displays/avoiding-emi-in-capacitive-touch-screens> (accessed: 25.03.2018).
- [3] Brian E. Herr, Jeff Blake, Richard D. Paynton. Optical Enhancement and EMI Shielding for Touch Screens // Information Display. 5/10, 2010. P. 30-35.
- [4] Dominic Zborowski. Electromagnetic Interference (EMI) Shielding // A D Metro Inc. Ottawa, Ontario, Canada.
- [5] URL:<http://www.touchtechn.ru/technical-section/touch-technologies/capacitivezytronic.html>. (accessed: 24.03.2018).
- [6] L.N. Keciєv, B.B. Akbashev, P.V. Stepanov. Screening of technical means and shielding systems. – M.: OOO "Gruppa IDT", 2010. P. 470.
- [7] D.S. Terentyev, V.A. Shakhnov, A.I. Vlasov. Device of touch and contactless input information based on ceramics for avionics // Problems of promising micro- and nanoelectronic systems development - 2016. M.: IPPM RAS, 2016. Part IV. P. 88-94.
- [8] G. Barrett and R. Omote. Projected capacitive touch technology // Information Display, 26, No. 3, March 2010. P. 16-21.
- [9] Kyuwon Kyoung, Reiji Hattori. Electromagnetic field analysis of capacitive touch panels // Journal of Information Display, 15:3, DOI: 10.1080/15980316.2014.947389, 2014. P. 145-155.
- [10] Jean-Marie Bussat. Capacitive fingerprint sensor including an electrostatic lens. United States Patent US9460332B1, Apple Inc. September 2014.
- [11] Mohammad Yeke Yazdandoost, Giovanni Gozzini, Jean-Marie Bussat. Active Sensing Element for Acoustic Imaging Systems. United States Patent US20160092716A1, Apple Inc. August 2015.
- [12] Satyajeet Shinde. EMI investigation and modeling of a flat panel display // Masters Theses. 7275. October 2014, Missouri University of science and technology, USA.