

Использование адаптивной емкостной коррекции и порогового устройства с расширенными функциональными возможностями для увеличения вероятности достоверного обнаружения нарушителя в емкостных приборах охраны

Галков А.В.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.Барнаул

Аннотация. В настоящей работе рассмотрены проблемы, возникающие при использовании емкостных приборов охраны, приведены методы их решения.

Главным критерием построения любой охранной системы является вероятность достоверного обнаружения несанкционированного доступа на охраняемый объект. Чем этот показатель выше, тем надежнее, казалось бы, защищена территория или объект. Однако, на практике, ситуация несколько сложнее. Поэтому для более полноценной характеристики систем охраны, используются и некоторые другие понятия.

Пусть вероятность правильного обнаружения P_d - вероятность того, что охранная система сработает при вторжении нарушителя в охраняемую зону. P_d - величина статистическая, оценивается по результатам серии испытаний. Вероятность ложной тревоги $P_{лт}$ - вероятность, того, что за время T произойдет ложное срабатывание датчика. Статистически оценивается частотой ложных тревог - количеством ложных тревог за определенный интервал времени. Средний интервал времени между двумя последовательными ложными срабатываниями называется наработкой на ложное срабатывание $T_{лт}$. Вероятность правильного обнаружения P_d и вероятность ложной тревоги $P_{лт}$ связаны между собой таким параметром, как чувствительность датчика охранной системы. Чем больше чувствительность, тем больше вероятность правильного обнаружения, но и больше частота ложных тревог. Увеличение чувствительности датчиков охранных систем при значительной наработке на ложное срабатывание является одной из первоочередных задач при проектировании охранных систем.

Основной проблемой, возникающей при этом, является возможность ложных срабатываний, обусловленная зависимостью функционирования системы от внешних факторов, которые условно подразделяются на климатические, техногенные и биологические. Уменьшение вероятности ложных срабатываний вызывает усложнение охранной системы, что ведет к увеличению её стоимости и уменьшению надежности, в смысле увеличения вероятности выхода охранной системы из строя. Кроме того, уменьшение вероятности ложных срабатываний обычно вызывает уменьшение вероятности достоверного обнаружения нарушителя, т.к. основным способом её уменьшения является, в конечном счёте, уменьшение чувствительности.

В настоящее время существует огромное разнообразие систем охранной сигнализации, которые функционируют на самых разнообразных физических принципах. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки, своя область применения. Причины возникновения ложных срабатываний у различных типов систем охранной сигнализации подробно описаны в литературе [1,2], а основные из них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные причины возникновения ложных срабатываний систем охраны основанных на различных физических принципах

Тип средств охраны	Причины ложных срабатываний
инфракрасные пассивные	источники тепла, кондиционеры, конвекционное движение воздуха, солнечная радиация и искусственные источники света, сотрясения и вибрации
инфракрасные активные	туман, смог

микроволновые	люминесцентные светильники или другие источники радиопомех, резкие изменения температуры
ультразвуковые	перепады температуры, движение воздуха, акустические шумы, колебания влажности
емкостные	изменения температуры, влажности, химического состава воздуха, ток утечки на землю

Как видно из таблицы у емкостных приборов это: изменение диэлектрической проницаемости воздуха (может быть вызвано изменением температуры, влажности, запыленности, химического состава воздуха), наличие активной составляющей тока рабочего электрода (ток утечки на землю), изменение характеристик элементной базы прибора в зависимости от температуры, сильные электромагнитные поля. Последние две причины характерны для большинства электронных устройств и не являются специфичными для емкостных систем. Кроме того, при установке емкостных охранных систем на открытой местности возможны нежелательные срабатывания от приближения достаточно крупных животных, а также нежелательные срабатывания при кратковременном контакте с рабочим электродом.

Таким образом, основными направлениями увеличения достоверного обнаружения нарушителя в емкостных системах охраны является устранение ложных срабатываний, вызванных действием климатических факторов, и уменьшение влияние активной составляющей тока рабочего электрода. При этом необходимо сохранить чувствительность емкостного преобразователя на достаточно высоком уровне,

Емкостные преобразователи, используемые в системах охранной сигнализации, могут использовать самые разнообразные принципы преобразования емкости в удобные для измерения и регистрации электрические величины, например, в частоту, напряжение, ток или временной интервал. В зависимости от этого применяются и соответствующие схемотехнические решения для устранения влияния климатических факторов и активной составляющей тока рабочего электрода. Рассмотрим подробнее устранение влияния активной составляющей тока рабочего электрода на функционирование емкостной охранной системы.

В современных системах охраны, использующих емкостной метод обнаружения нарушителя, используются три направления уменьшения влияния активной составляющей рабочего электрода:

1. Путем повышения частоты задающего генератора. В этом случае влияние активной составляющей уменьшается с ростом частоты. Однако, вместе с этим увеличивается и энергопотребление. Кроме того, вносится ненужный шум в радиодиапазон.
2. Использование фазового детектирования. Основным недостатком данного подхода является усложнение схемной реализации.
3. Использование времени переходного процесса для установления информативных параметров сигнала, в частности амплитуды.

В лаборатории кафедры «Медицинская кибернетика» АлтГТУ был собран и опробован емкостной датчик приближения для систем охранной сигнализации, который работает на переходном процессе и строится по принципу компенсированной дифференцирующей цепочки с ответвлением тока на измеряемую емкость [3]. Переходный процесс считается недопустимым для проведения точных измерений из-за большой экспоненциальной зависимости выходных характеристик емкостных преобразователей в самом начале переходного процесса, приводящей к увеличению погрешности до 10 – 15 % [4]. При использовании емкостных приборов в системах охранной сигнализации точность измерения не является основной метрологической характеристикой, т.к. в данном случае необходимо оценивать только величину изменения рабо-

чей емкости. Использование в емкостном преобразователе охранной сигнализации для измерения информативных параметров переходного процесса позволяет значительно уменьшить влияние паразитной активной составляющей тока рабочего электрода, что повышает надежность охранной системы, построенной с использованием преобразователя, работающего по данному принципу.

Предложенная схема [3] осуществляет и некоторую температурную коррекцию за счет использования компенсационно-мостового метода измерения. Однако, при флуктуациях, как влажности, так и запыленности, а также при значительных изменениях температуры, изменяется емкость рабочего электрода охранной системы (т.к. изменяется диэлектрическая проницаемость воздуха), что может вызвать её ложное срабатывание, либо несрабатывание в случае несанкционированного доступа. Т.к. любые изменения в окружающей среде вызывают изменения емкости рабочего электрода, то для решения этой проблемы необходимо использовать ряд дополнительных средств.

Очевидно, что при увеличении влажности диэлектрическая проницаемость воздуха увеличится. Значит, увеличится и суммарная электрическая емкость рабочего электрода охранной системы. Т.к. значение емкости, при которой происходит срабатывание охранной системы, постоянно и устанавливается при настройке, то увеличение емкости электрода в дежурном режиме, вызванное увеличением влажности, может привести к ложному срабатыванию. Проблему можно устранить, снизив значение чувствительности емкостного преобразователя охранной системы. Однако в этом случае может возникнуть ситуация, когда в нужный момент срабатывание охранной системы не произойдет.

Гораздо более эффективным представляется автоматическая коррекция значения емкости рабочего электрода в дежурном режиме. Емкостная охранная система, реализующая данную функцию, показана на рисунке 1. [5]

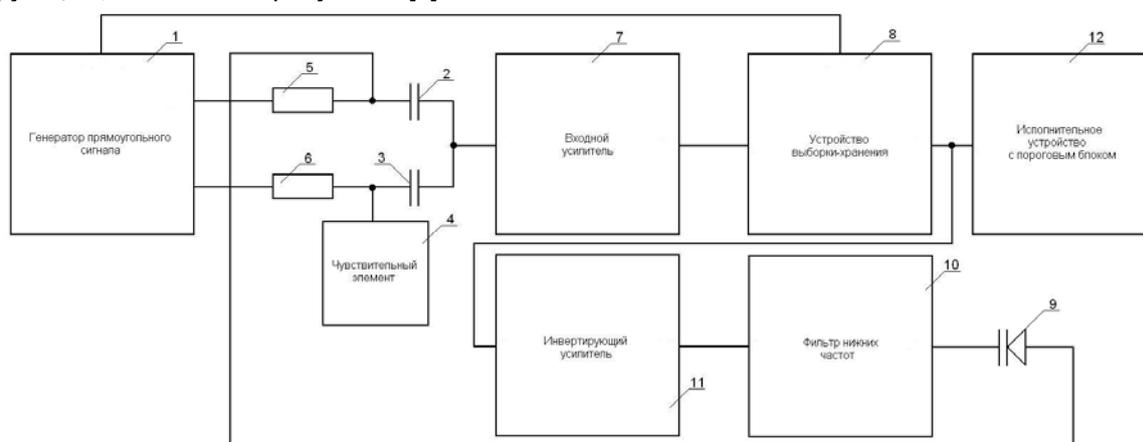


Рисунок 1 – Емкостная адаптивная охранная система

Система работает следующим образом. Напряжение с первого выхода генератора прямоугольного сигнала 1 подается через резистор 5 на эталонную емкость 2 с ответвлением тока на электрически изменяемую емкость 9, и инвертированное напряжение со второго выхода генератора прямоугольного сигнала 1 подается через резистор 6 на дополнительную эталонную емкость 3 с ответвлением тока на чувствительный элемент 4. Суммарный сигнал подается на входной усилитель 7, где ток преобразуется в напряжение. В момент времени, когда на выходе генератора прямоугольного сигнала 1 появляются фронты напряжения, на RC-цепочках (резисторы 5, 6, емкости 2, 3, чувствительный элемент 4, емкость 9) возникает переходный процесс перезаряда емкостей. На начальном участке переходного процесса ток на входе входного усилителя 7, а значит и напряжение на его выходе, пропорционально емкости чувствительного элемента 4 и емкости электрически изменяемой емкости 9. Это напряжение записывается в устройство выборки-хранения 8. В дежурном режиме работы на выходе устройства выборки-хранения 8 присутствует некоторое напряжение меньше напряжения порога срабатывания U_n исполнительного устройства 12 с пороговым блоком. Регулирование напряжения устройства выборки-хранения 8 осуществляется инвертирующим усилителем 11 и фильтром нижних частот 10, на выходе которого присутствует напряжения, регулирующее значение емкости электриче-

ски изменяемой емкости 9 таким образом, чтобы значение напряжения на выходе устройства выборки хранения 8 не превосходило напряжения порога срабатывания U_n исполнительного устройства 12 с пороговым блоком. При увеличении емкости чувствительного элемента 4 на выходе устройства выборки-хранения 8 увеличивается напряжение, которое поступает на инвертирующий усилитель 11. Инвертирующий усилитель 11 усиливает разностный сигнал между напряжением на выходе устройства выборки-хранения 8 и опорным напряжением U_o инвертирующего усилителя 11, несколько меньшей величины напряжения порога срабатывания U_n исполнительного устройства 12 с пороговым блоком, и подает его на фильтр нижних частот 10, выполняющий функцию задержки фронта поступающего на его вход сигнала. Напряжение на выходе фильтра нижних частот 10 с некоторой временной задержкой уменьшается, что вызывает увеличение значения емкости электрически изменяемой емкости 9, что, в свою очередь, вызывает уменьшение значения напряжения на выходе устройства выборки-хранения 8 до первоначального уровня. Аналогичным образом устройство работает и при уменьшении емкости чувствительного элемента 4. В результате в дежурном режиме напряжение на выходе устройства выборки-хранения 8 будет поддерживаться на уровне опорного напряжения U_o инвертирующего усилителя 11. Чем больше будет разница между опорным напряжением U_o в инвертирующем усилителе 11 и величиной напряжения порога срабатывания U_n исполнительного устройства 12 с пороговым блоком, тем устойчивее будет работать схема, но тем меньше будет ее чувствительность. Работа системы поясняется рисунком 2.

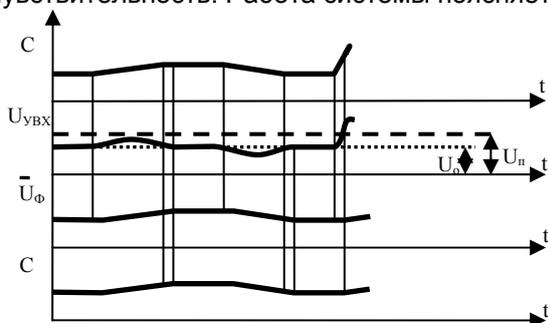


Рисунок 2 – Временные диаграммы работы системы

В случае резкого увеличения емкости чувствительного элемента 4, которое характерно для приближения нарушителя к охраняемому объекту, напряжение на выходе устройства выборки хранения 8 увеличивается быстрее, чем уменьшается напряжение на выходе фильтра низких частот 10, что обеспечивается выбором постоянной времени фильтра низких частот 10 порядка 20 секунд. В результате напряжение на выходе устройства выборки-хранения 8 превысит напряжение порога срабатывания U_n исполнительного устройства 12 с пороговым блоком, что вызовет срабатывание сигнализации прежде, чем на выходе фильтра низких частот 10 появится уровень напряжения, достаточный для изменения емкости электрически изменяемой емкости 9 до значения, необходимого для возвращения напряжения на выходе устройства выборки-хранения 8 к первоначальному уровню. В случае медленного изменения емкости чувствительного элемента 4, которое характерно для погодно-климатических воздействий, превышения уровня напряжения исполнительного устройства 12 с пороговым блоком не происходит, так как скорость изменения емкости электрически изменяемой емкости 9 практически равна скорости изменения емкости чувствительного элемента 4. Для расширения динамического диапазона удобно выбирать величину напряжения порога срабатывания U_n , равную примерно половине напряжения питания схемы устройства, а опорное напряжение U_o равное, в зависимости от требуемой чувствительности от 0.8 до 0.95 от величины U_n . Таким образом проблема емкостной компенсации решается вводом обратной связи. Кроме автоматической емкостной коррекции при изменении климатических условий, данная система позволяет осуществлять автоматическую настройку на рабочие электроды различной электрической емкости. Предел данной настройки зависит от возможностей компенсации электрически изменяемой емкости. Для расширения диапазона компенсации целесообразно использовать микроконтроллер.

В процессе эксплуатации емкостной охранной системы возможны различные ситуации. Например, обрыв провода, соединяющего рабочий электрод с измерительной цепью, или закорачивание рабочего электрода на землю. Очевидно, что обрыв соединительного провода при-

ведёт к ситуации, в которой емкостная охранная система не выдаст сигнала тревоги при приближении нарушителя к рабочему электроду. Поэтому необходимо предусмотреть и это. Несложное устройство, реализующее контроль целостности соединительного провода и отсутствие заземления рабочего электрода приведено на рисунке 3. Оно представляет собой пороговое устройство с расширенными функциональными возможностями. Подключается данный блок вместо исполнительного устройства 12 с пороговым блоком (рисунок 1), а выходы его подключается к любому исполнительному устройству (сирена, сигнальная лампа и др.). [6]

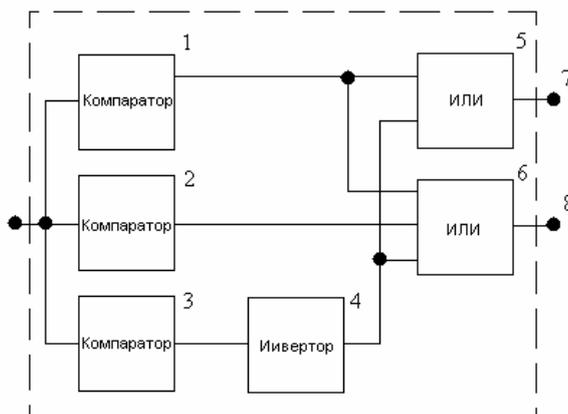


Рисунок 3 – Пороговое устройство с расширенными функциональными возможностями

Работает устройство следующим образом. При приближении объекта к рабочему электроду охранной системы изменяется его электрическая емкость относительно земли, что ведёт к пропорциональному изменению напряжения на выходе устройства выборки-хранения (рисунок 1). Это напряжение сравнивается с тремя опорными уровнями напряжения в пороговом устройстве с расширенными функциональными возможностями (рисунок 3), после чего, если уровень напряжения, поступающий с выхода устройства выборки-хранения, выше порога срабатывания компараторов 2, 3 и ниже порога срабатывания компаратора 1, на втором выходе 8 устройства появится сигнал «тревога». При случайном либо преднамеренном закорачивании рабочего электрода на общий провод на выходе устройства выборки-хранения емкостной охранной системы (рисунок 1) появляется сигнал выше порогового уровня срабатывания компараторов 1, 2 и 3. В результате на втором выходе 8 порогового устройства с расширенными функциональными возможностями появляется сигнал «тревога» и на первом 7 - «саботаж». При обрыве провода, соединяющего рабочий электрод с измерительной цепью, уровень напряжения выхода устройства выборки-хранения будет ниже порога срабатывания компараторов 1, 2, 3, в результате чего инвертированный инвертором 4 сигнал от компаратора 3 поступит на логический элемент ИЛИ 5 и 6, что вызовет появление на втором выходе 8 устройства сигнала «тревога» и на первом 7 - «саботаж».

Опорные напряжения компараторов 1, 2, 3 выставляются эмпирически в соответствии со следующим. При функционировании в дежурном режиме емкость рабочего электрода имеет определенное значение, зависящее от геометрических размеров, формы электрода и расположенных поблизости других тел. При приближении к рабочему электроду охранной системы его емкость увеличивается, что вызывает увеличение напряжения на выходе устройства выборки-хранения. Опорное напряжение компаратора 2 выбирается из необходимости обеспечения сигнализации о приближении объекта к рабочему электроду на определенное расстояние, которое может варьироваться. При обрыве провода, соединяющего рабочий электрод с измерительной цепью, его емкость принимает значение, существенно меньшее значения емкости электрода в дежурном режиме, что вызывает уменьшение напряжения на выходе устройства выборки-хранения. На это напряжение настраивается компаратор 3. При закорачивании рабочего электрода системы на общий провод его емкость становится существенно больше емкости электрода в дежурном режиме и в режиме тревоги. Следовательно, и напряжение на выходе устройства выборки-хранения будет выше. На данное напряжение настраивается компаратор 1.

Таким образом, данное устройство позволяет не только повысить вероятность достоверного обнаружения нарушителя, но и расширить функциональные возможности охранной системы за счёт введения дополнительного сигнала, извещающего о состоянии рабочего электрода (заземлен/обрыв или норма).

Следует отметить, что перспективным направлением в разработке охранных систем является внедрение микроконтроллеров. Это позволяет многие функции, реализуемые ранее аппаратно, выполнять программно. В случае с описанной выше емкостной охранной системой, применение микроконтроллера даёт такие преимущества, как упрощение элементной базы устройства, расширение диапазона автоматической настройки на рабочий электрод, использование интеллектуальных алгоритмов обработки сигнала.

Одной из важнейших задач в настоящее время является разработка алгоритма дифференцирования изменения емкости рабочего электрода. Суть данного метода заключается в следующем. Емкостная адаптивная охранная система, как уже было сказано выше, работая в дежурном режиме постоянно корректирует емкость рабочего электрода в зависимости от внешних воздействий. Может возникнуть такая ситуация, когда злоумышленник будет постепенно, с некоторым интервалом приближаться к рабочему электроду. Емкостная адаптивная охранная система будет корректировать эту постепенно увеличивающуюся емкость с помощью электрически изменяемой емкости. И теоретически может возникнуть ситуация, при которой злоумышленник в несколько этапов может приблизиться к рабочему электроду охранной системы, не вызвав тревоги. Таким образом, суть алгоритма заключается в том, чтобы обеспечить широкий диапазон емкостной компенсации, автоматическую настройку на рабочий электрод с произвольным значением электрической емкости и одновременно обеспечить защиту от вышеописанных действий злоумышленника. Т.е. система должна различать изменение емкости, вызванное климатическими факторами и изменения вызванные целенаправленными действиями правонарушителя. Это вне всякого сомнения уменьшит вероятность необнаружения нарушителя, т.е. вероятность достоверного обнаружения нарушителя повысится.

Таким образом, к основным способам увеличения вероятности достоверного обнаружения нарушителя емкостных систем можно отнести:

1. Использование времени переходного процесса для установления информативных параметров сигнала.
2. Использование адаптивной емкостной коррекции.
3. Использование порогового устройства с расширенными функциональными возможностями.
4. Реализация алгоритма дифференцирования изменения емкости рабочего электрода.

Использование вышеизложенных способов позволяет значительно повысить вероятность достоверного обнаружения нарушителя емкостной охранной системой и уменьшить вероятность ложных срабатываний.

Список используемых источников

1. Синилов В.Г. Системы охранной, охранно-пожарной и пожарной сигнализации. - М., Профобриздат. - 2004. - 352 с
2. Кадино Э. Электронные системы охраны. М.-"ДМК".-2001-256 с.
3. Авцинов В.Б., Якунин А.Г. Емкостной преобразователь / Пат. 2168729 (Россия). Оpubл. 06.10.2001
4. Прокунцев А.Ф., Колесников В.И. Переходные процессы в цифровых мостах переменного тока. - М., Энергия. - 1978. - 112 с
5. Якунин А.Г., Хомутов О.И., Галков А.В. Емкостная адаптивная охранная система. //Патент РФ № 2297671 от 27.12.2006, 20.04.2007 (бюлл.№11)
6. Якунин А.Г., Галков А.В. Емкостной преобразователь для систем охранной сигнализации. // Патент РФ № 2284578 от 25.04.2005, опубликовано 27.09.2006