

17. *Emelichev A.I. i dr. Mnogogranniki, grafy, optimizatsiya* [Polyhedra, graphs, optimization]. Moscow: Nauka, 1981, 346 p.
18. *Aliev T.M. i dr. Avtomatizatsiya informatsionnykh protsessov v integrirovannykh ASU promyshlennymi predpriyatiyami* [Automation of information processes in integrated ACS industrial enterprises]. Moscow: Energoizdat, 1981, 141 p.
19. *Bobnev S.V., Rogozov Yu.I. Metodika postroeniya funktsional'noy orientirovannoy modeli organizatsionnoy struktury predpriyatiya i ee informatsionnogo zapolneniya* [A method of constructing a functional-oriented model of the enterprise organizational structure and its informational filling]. Issue 7. Moscow: Telekommunikatsii, 2006, pp. 30-34.
20. *Vvedenie v informatsionnyy biznes* [Introduction to business information], ed. by V.P. Tikhomirova, A. Khoroshilova. Moscow: Finansy i statistika, 1996.
21. *Minyaev M.F. Informatsionnye tekhnologii upravleniya* [Information technology management]: In 3 book. Book 2. Informatsionnye resursy [Information resources]. Moscow: Omega, 2003, 432 p.
22. *Bobnev S.V., Rogozov Yu.I., Butenkov D.S. Primenenie optimizatsionnykh modeley informatsionnykh potokov dlya postroeniya Sase-sredstv* [The application of optimization models of information flows to build a SASE-medium], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2005, No. 3 (47), pp. 54-60.
23. *Mikita R.M., Rogozov Yu.I., Sviridov A.S., Stukotiy L.N. Kontseptsiya postroeniya informatsionnoy modeli predpriyatiya* [The concept of building information model of enterprise], *Telekommunikatsii* [Telecommunications], 2004, No. 8.
24. *Mikita R.M., Stukotiy L.N. Metod postroeniya i vizualizatsii informatsionnoy modeli predpriyatiya* [Method for constructing and visualizing the information model of the enterprise], *Sb. trudov Nauchno-tekhnicheskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiem «Vysokie tekhnologii-2004»*, *Izhevsk*, 23-26 noyabrya [Proceedings of the Scientific and technical forum with international participation "High technologies-2004", St. Petersburg, 23-26 November]. 204 p.
25. *Klir Dzh. Sistemologiya. Avtomatizatsiya resheniya sistemnykh zadach* [Systemology. Automation of system tasks]. Moscow: Radio i svyaz', 1990, 536 p.
26. *L'jung L. Identifikatsiya system* [Identification of systems]. Moscow: Mir, 1975.
27. *Norenkov I.P. Vvedenie v avtomatizirovannoe proektirovanie tekhnicheskikh ustroystv i sistem* [Introduction to computer-aided design of technical devices and systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 1980, 308 p.
28. *Mironov S.V., Pishchukhin A.M. Metasistemnyy podkhod v upravlenii: monografiya* [Metasystem approach in management: monograph]. Orenburg: GOU OGU, 2004, 338 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Финаев.

Маакот Амин Касим Ммаакот – Южный федеральный университет; e-mail: Amaakot@gmail.com; 347928, г. Таганрог, ул. Энгельса, 1; аспирант.

Maakot Amin Qasim Mmaakot – Southern Federal University; e-mail: Amaakot@gmail.com; 1, Engels street, Taganrog, 347928, Russia; postgraduate student.

УДК 536.22

DOI 10.23683/2311-3103-2017-3-51-64

Р.Н. Набиев, Г.И. Гараев, Р.Р. Рустамов

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЁМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ

Приведен сравнительный анализ различных видов ёмкостных датчиков с учетом их особенностей, были указаны их положительные и отрицательные свойства. Также были проанализированы: схема ёмкостных датчиков широкого потребления; схемы датчиков на конденсаторах; схемы датчиков на развёрнутых конденсаторах; схемы ёмкостных датчиков с частотоподающим LC-контуром; схемы датчиков с кварцевым резонатором; схемы датчиков с отсасывающим LC-контуром; схемы с резонансными ёмкостными датчиками

и схемы с дифференциальными ёмкостными датчиками. Как видно, ёмкостные датчики с разными схемами имеют своеобразные преимущества и недостатки. Основной их недостаток связан с низким уровнем чувствительности. Таким образом, электрическая схема ёмкостного датчика, которая применяется в комплексе с автоматизированной дистанционной охраной, целесообразно, в качестве первичных условий, иметь следующие функциональные возможности, а именно: применение RC-генератора для формирования рабочего сигнала при изменении (увеличении) ёмкости антенны-датчика; применение мостовой схемы с индуктивно связанными двумя антеннами – симметрично расположенными чувствительными элементами в противоположных направлениях, с целью предотвращения ложного срабатывания, при изменении температуры и влажности окружающей среды; применение кварцевого резонатора и дифференциального высокочастотного трансформатора, с целью повышения стабильности частоты генератора и чувствительности устройства; большой диапазон изменения ёмкости в датчике; применение фильтра с бесконечной импульсной характеристикой с целью защиты датчика от воздействия внешних факторов, как температура и влажность окружающей среды; применение алгоритмического подхода в датчиках, с целью регулирования непосредственной реакции на изменение окружающей среды. Для обеспечения эффективной работы датчика, в любых условиях нужно использовать органические интеграции средств охраны, имеющих преимущества предусмотренные выше. Было обнаружено, что такими средствами, с соответствующей комбинацией, целесообразно управлять автоматизированно в комплексном виде. Также установлены оптимальные технические условия изготовления, а также проектирования электрических схем ёмкостных датчиков автоматизированного дистанционного охранного комплекса, с учетом их универсальности, высокой оперативности, надежности, эргономичности и рациональности.

Охрана; ёмкость; датчики; электрическая схема; контур; конденсатор.

R.N. Nabiyev, G.I. Garayev, R.R. Rustamov

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELECTRICAL CIRCUITS OF CAPACITIVE SENSORS

The article were presented a comparative analysis of different types of capacitive sensors, taking into account their features, their positive and negative properties. Also were analyzed: the scheme of capacitive sensors of wide consumption; sensor circuits on capacitors; sensor circuits on deployed capacitors; schemes of capacitive sensors with a frequency-setting LC-circuit; schemes of sensors with a quartz resonator; sensor circuits with a suction LC-circuit; circuits with resonant capacitive sensors and circuits with differential capacitive sensors. Apparently, the capacitive sensors with different circuits have distinct advantages and disadvantages. Their main disadvantage is associated with a low level of sensitivity. Thus, the electric circuit of the capacitive sensor, which is used in combination with automated remote protection, is expedient, as primary conditions, to have the following functionalities, such as: the use of an RC generator to generate an operating signal when the antenna capacitance is changed (increased); the use of a bridge circuit with inductively coupled two antennas - symmetrically arranged sensing elements in opposite directions, in order to prevent false triggering, with a change in temperature and humidity of the environment; the use of a quartz resonator and a differential high-frequency transformer, in order to increase the stability of the oscillator frequency and the sensitivity of the device; large range of capacitance change in the sensor; application of a filter with an infinite impulse response in order to protect the sensor from external factors, such as temperature and humidity of the environment; application of algorithmic approach in sensors, with the aim of regulating direct reaction to environmental changes. To ensure the efficient operation of the sensor, in any conditions it is necessary to use the organic integration of the means of protection having the advantages provided above. It was found that such means, with the appropriate combination, it is advisable to operate in an automated manner in a complex form. There were established the optimal technical conditions for manufacturing, as well as designing electrical circuits for capacitive sensors of an automated remote security complex, taking into account their universality, high efficiency, reliability, ergonomics and rationality.

Security; capacity; sensors; electric; circuit; circuit capacitor.

Введение. В соответствии с особенностями охраняемого объекта и рельефом его расположения выбор оптимального варианта проектируемой системы охраны, оснащенной ёмкостными датчиками является не простой задачей. Причиной этому является отсутствие в научной литературе подробной информации об отличительных особенностях предлагаемых схем и участков, применяемых в охранных системах. В силу этих обстоятельств, при составлении системы охраны в соответствии с особенностями охраняемого объекта, выбор наиболее выгодных схем, оснащенных ёмкостными датчиками представляет собой спорную тематику [1–5].

Постановка задачи. Целью данной работы является определение технических условий для создания более рациональной электрической схемы при проектировании ёмкостной системы охраны, которая применяется в автоматизированном дистанционном комплексе, при помощи сравнительного анализа наиболее применяемых типов ёмкостных датчиков, которые отличаются такими характеристиками, как универсальность, оперативность, надежность, эргономичность и рациональность.

Для достижения поставленной цели изучены функциональные возможности, принципы работы, преимущества и недостатки, а также сферы применения электрических схем наиболее распространенных датчиков данного типа.

Анализ опубликованных работ. Известно, что в отличие от ультразвуковых и инфракрасных датчиков ёмкостные датчики обладают способностью реагировать с определенного расстояния на объекты, которые приближаются к охраняемой зоне, вне зависимости от их агрегатных и температурных состояний. Кроме того, ёмкостные датчики могут обнаруживать объекты сквозь различных оптически непрозрачных «преград», например: стен строений, массивных заборов, дверей и т.п.

На рис. 1 показана схема ёмкостного датчика [2]. На триггере DD1.1 выполнен генератор импульсов. Их длительность (приблизительно 0,2 мс) задана цепью R1C1, а период повторения (приблизительно 1,5 мс) – цепью R2C2. Детектор понижения напряжения DA1, некоторое время после включения питания прибора, удерживает напряжение на входе S триггера DD1.1 на низком логическом уровне исключая, таким образом, запрещенное состояние высокого уровня на обоих установочных входах (R и S) триггера. Иначе, в случае нарастания напряжения питания со скоростью менее 2–3 В/мс самовозбуждение генератора не произойдет.

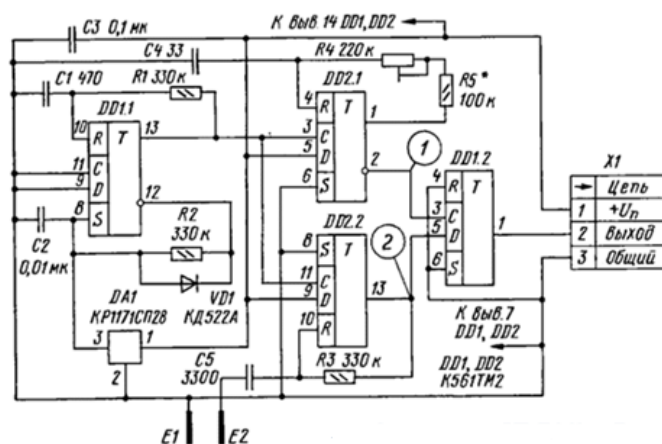


Рис. 1. Схема ёмкостного датчика

Импульсы генератора, одновременно, запускают два одновибратора. Первый (на триггере DD2.1) формирует импульсы образцовой длительности, зависящие от номиналов элементов R4, R5, C4. Длительность импульсов второго одновибратора (на триггере DD2.2) зависит от сопротивления резистора R3 и ёмкости конденса-

тора, образованной металлическими пластинами E1 и E2. Разделительный конденсатор C5 предотвращает случайное попадание на вход триггера DD2.2 постоянного напряжения.

Работа датчика основана на сравнении длительности импульсов, формируемых двумя одновибраторами. Если импульс второго (измерительного) одновибратора короче импульса первого (образцового), в момент положительного перепада напряжения на инверсном выходе триггера DD2.1 (в точке 1, см. рис. 1) уровень напряжения на выходе триггера DD2.2 (в точке 2) будет низким. Триггер сравнения DD1.2, срабатывающий по положительному перепаду на входе С, перейдет в состояние низкого логического уровня на выходе. В противном случае (измерительный импульс длиннее образцового) уровень в точке 2 и на выходе триггера DD1.2 будет высоким.

Когда, с приближением постороннего предмета к пластинам E1 и E2 ёмкость между ними увеличивается, то низкий уровень на выводе 2 разъема X1 сменяется высоким. Пороговое значение ёмкости, при превышении которого это происходит, определяют по формуле:

$$C = \frac{(R4_{BB} + R5) \cdot (C4 + C_{BX})}{R3} - C_{BX},$$

где $R4_{BB}$ – введенное сопротивление подстроечного резистора R4; $C_{BX} \approx 6$ пф, ёмкость входа R триггера. При указанном на схеме номинале резистора R5 с помощью R4 можно изменять порог срабатывания по ёмкости от 6 до 32 пф. Так как активные элементы мультивибраторов находятся внутри одной микросхемы DD2, при изменении температуры или напряжения питания их характеристики и длительности формируемых импульсов изменяются одинаково. Это обеспечивает стабильность порога срабатывания датчика в широком интервале изменения температуры и напряжения питания [2, 3].

Преимущества:

- ◆ стабильность порога срабатывания датчика при изменении температуры или напряжения питания в широком диапазоне, вследствие, чего длительности импульсов генерируемых одновибраторами изменяются одинаково;
- ◆ широкий диапазон изменения значения ёмкости, в схемах таких датчиков;
- ◆ число ложных срабатываний значительно меньше, из-за сравнения длительности измерительных импульсов с длительностью эталонных.

Недостатки:

- ◆ низкая стабильность частоты генератора и чувствительность прибора;
- ◆ негативное воздействие изменения внешних факторов таких, как температура и влажность, на общую работу датчика;
- ◆ отсутствие алгоритмического подхода в схеме, с целью регулирования непосредственной реакции датчика на изменение окружающей среды.

Как известно, существуют типы ёмкостных датчиков, которые отличаются принципом работы и своеобразной особенностью [4]. Определим преимущества и недостатки таких схем, анализируя электрические схемы наиболее используемых типов, с учетом их особенностей.

Датчики на конденсаторах. В датчиках этого типа сигнал срабатывания формируется с помощью конденсаторных схем и подобные конструкции можно разделить на несколько групп. Наиболее простые из них - схемы на ёмкостных делителях.

В подобных устройствах, например, антенна-датчик подключается к выходу рабочего генератора через разделительный конденсатор малой ёмкости. При этом, в точке соединения антенны и вышеуказанного конденсатора, образуется рабочий

потенциал, уровень которого зависит от ёмкости антенны. При этом, антенна-датчик и разделительный конденсатор образуют ёмкостный делитель и при приближении какого-либо объекта к антенне, потенциал в точке её соединения с разделительным конденсатором понижается, что является сигналом к срабатыванию устройства [5, 6].

Существуют также **схемы на RC-генераторах**. В данных конструкциях для формирования сигнала срабатывания используется RC-генератор, частотозадающим элементом которого является антенна-датчик, ёмкость которой изменяется (возрастает) при приближении к ней какого-либо объекта. Задаваемый ёмкостью антенны-датчика сигнал, сравнивается затем с образцовым сигналом, поступающим с выхода второго (эталонного) генератора.

Датчики на развёрнутых конденсаторах. В подобных устройствах, в качестве антенны-датчика используются две плоские металлические пластины, размещённые в одной плоскости [7]. Данные пластины являются обкладками развёрнутого конденсатора и при приближении каких-либо объектов, изменяется диэлектрическая проницаемость среды между обкладками и, соответственно, увеличивается ёмкость вышеуказанного конденсатора, что является сигналом к срабатыванию датчика.

Известны также устройства, например [8], в которых используется **способ сравнения ёмкости антенны с ёмкостью образцового (эталонного) конденсатора**. Повышение функциональных возможностей устройств, по принципу системы охраны, может быть установлено для адаптации к изменяющимся условиям.

На рис. 2 показана схема ёмкостного датчика адаптируемой системы охраны, работающей на основе ёмкостного делителя напряжения. В процессе эксплуатации самым важным считается изменение основных свойств рабочего электрода: ёмкости и активное сопротивление. Исходным этапом проектирования охранной системы с ёмкостным датчиком является определение требований к ёмкости измерительной системы между ожидаемым объектом контроля и возможным конструктивным оформлением измерительного электрода. В зависимости от вида электрода его собственная ёмкость может составлять десятки или сотни пикофарад. Для соответствия воздействия (адаптации) этой схемы к окружающей среде используют варикап. Диапазон изменения ёмкости варикапа обеспечивается за счет всего возможного диапазона изменения рабочей ёмкости. Диапазон изменения ёмкости варикапа 9 на рис. 2, должен перекрывать весь возможный диапазон изменения рабочей ёмкости.

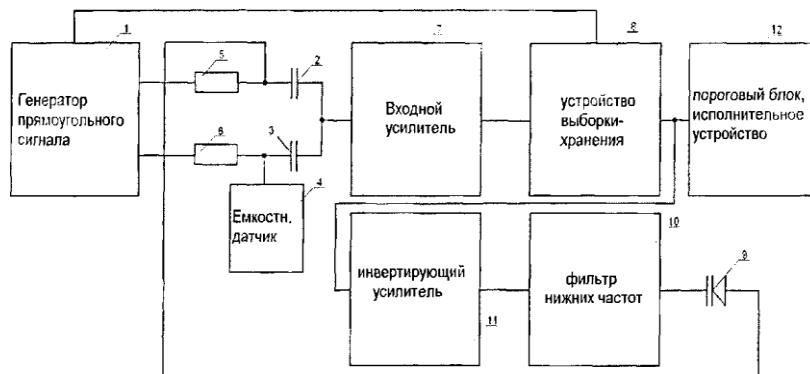


Рис. 2. Принцип построения адаптированной системы охраны на преобразователе ёмкости

На сегодняшний день существует также большой выбор зарубежных вариантов различных производителей, который позволяет использовать еще больший диапазон перекрываемых ёмкостей [9].

Преимущества:

- ♦ значительное снижение количества ложных срабатываний связанной тем, что выходной сигнал датчика сравнивается с (эталонным) образцовым сигналом;
- ♦ адаптация на воздействие окружающей среды.

Недостатки:

- ♦ применение только в участках, не требующих высокую чувствительность и устойчивость к помехам (например, в сигнализаторах прикосновения к металлическим предметам, в устройствах измеряющих уровень жидкости и т.д.).

Ёмкостный датчик с частотоподающим LC-контуром. Устройства данного типа менее подвержены воздействиям радиопомех и наводок по сравнению с датчиками на конденсаторах. Антенна-датчик (обычно металлическая пластина) присоединяется (либо напрямую, либо через конденсатор ёмкостью в несколько десятков пФ) к частотоподающему LC-контур ВЧ-генератора. При приближении какого-либо объекта – изменяется (увеличивается) ёмкость антенны и, соответственно, ёмкость LC-контура. В результате – изменяется (понижается) частота генератора и происходит срабатывание [10]. Вышеуказанные особенности датчиков на частотоподающем LC-контуре ограничивают их помехоустойчивость и дальность обнаружения объектов, к примеру, расстояние обнаружения человека датчиками этого типа составляет обычно 20–30 см.

Использование индуктивно-ёмкостного моста с двумя антеннами, включенными в противоположные плечи, исключает ложные срабатывания в результате влияния на чувствительные элементы изменения температуры и влажности окружающей среды [11].

Датчики с кварцевым резонатором. В подобных устройствах с целью повышения чувствительности и стабильности частоты генератора, введены: кварцевый резонатор и дифференциальный ВЧ-трансформатор, первичная обмотка которого является элементом частотоподающего контура генератора, а две его вторичные (идентичные) обмотки являются элементами измерительного моста, к которому подключается антенна-датчик, последовательно соединённая с кварцевым резонатором. При приближении к антенне какого-либо объекта формируется сигнал срабатывания (рис. 3, [12]).

В системе охранной сигнализации в бесконтактных ёмкостных датчиках широко используются генераторы прямоугольных импульсов, собранные в операционных усилителях по классической схеме [7]. Недостатком таких генераторов, в первую очередь является низкая надежность работы устройства в результате низкой стабильности частоты автогенератора установленной RC цепью.

Попытки повысить чувствительность устройства, приводят к появлению помех или ложных срабатываний, в результате происходит ложное срабатывание, когда какой-либо объект (предмет) к датчику не приближается, или наоборот, приближением к датчику срабатывание не происходит. Этот недостаток можно устранить последовательным подключением кварцевого резонатора к ёмкостному датчику. Кварцевый резонатор возбуждаясь в последовательной резонансной частоте, компенсирует реактивную составляющую комплексного сопротивления ёмкостного датчика и упрощает преобразование изменения ёмкости датчика в активное со-

противление [13]. Похожее устройство получило название кварцевый диэлькометр. В датчике приближения показанный на рис. 4, кварцевый резонатор ZQ1, который имеет последовательную резонансную частоту $f_{рез.} = 300$ кГц, последовательно подключен к ёмкостному датчику C_d .

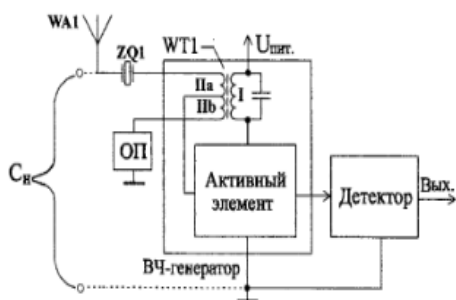


Рис. 3. Блок-схема датчика с кварцевым резонатором

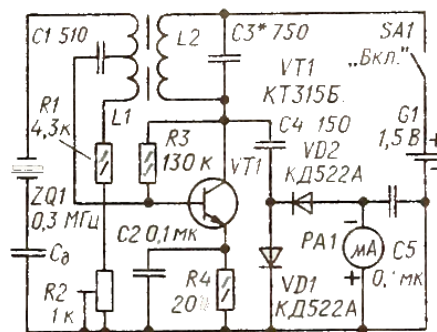


Рис. 4. Схема датчика приближения

Следует отметить, что большинство автогенераторов работает на частоте, не совпадающей с частотой последовательного резонанса кварцевого резонатора. Например, известная ёмкостная трёхточка возбуждается на более высокой частоте. Это приводит к тому, что добротность резонатора уменьшается, снижая стабильность частоты автогенератора. Наиболее близкую к резонансной частоте последовательного резонанса обеспечивает мостовой автогенератор, имеющий поэтому максимальную стабильность частоты.

С целью повышения чувствительности и стабильности работы бесконтактного ёмкостного датчика приближения, подробно описанного в [7], целесообразно использовать кварцевый диэлькометр [12, 13].

Реле ёмкости. В традиционных ёмкостных реле, например, описанном в [14], антенна-датчик подключена к колебательному LC-контуре, служащему частотозадающим элементом автогенератора. При этом, наводки на антенну и принимаемые ею радиопомехи по цепи положительной ОС попадают на вход активного элемента генератора (например, транзистора), усиливаются им и вызывают ложные срабатывания. Кроме того, в подобных устройствах LC-контур оказывается сильно нагруженным, что снижает его добротность и дополнительно уменьшает помехоустойчивость.

Прибор, схема которого изображена на рис. 5, имеет дальность обнаружения человека не менее 1.3 м, работает от автономного источника питания (батарей) напряжением 3,2...10 В потребляя ток не более 2,6 мА. ВЧ генератор собран на транзисторе VT7. Его частота стабилизирована кварцевым резонатором ZQ1. Сигнал генератора поступает на колебательный контур L1C16 с антенной-датчиком WA1, который должен быть настроен на частоту, лежащую немного ниже частоты генератора. Наилучшая чувствительность достигается, когда напряжение на контуре составляет 70...90 % максимума, достигаемого при резонансе.

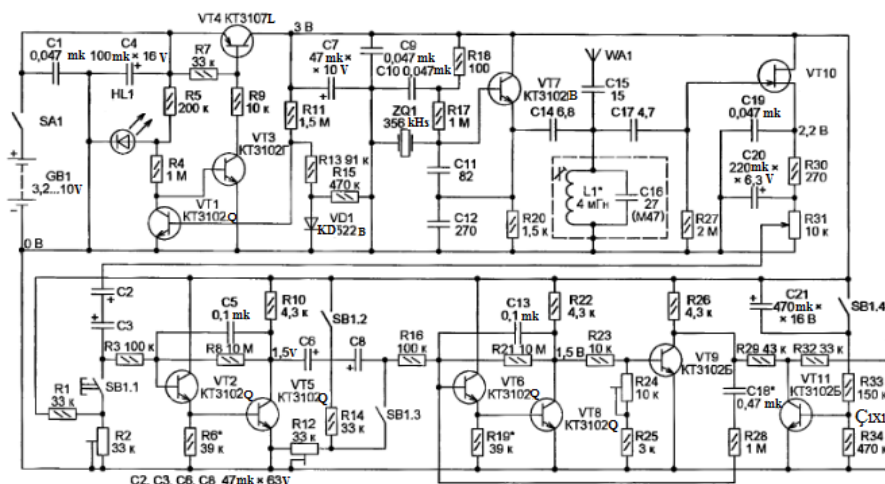


Рис. 5. Схема ёмкостного датчика на основании ёмкости реле

Датчики с отсасывающим LC-контуром. Данные конструкции представляют собой ёмкостные устройства, в которые с целью повышения чувствительности введён дополнительный (получивший название отсасывающего) LC-контур, индуктивно связанный с частото задающим контуром генератора и настроенный в резонанс с этим контуром [15, 16].

В некоторых ёмкостных датчиках для повышения дальности обнаружения используется такой способ, как увеличение размеров антенны-датчика [17]. Но из-за неэффективности установки этот метод широко не используется.

На основе вышеуказанных, можно прийти к такому выводу, что преимущества указанных ёмкостных датчиков разных видов и модификаций с отсасывающим LC контуром, являются:

- ◆ более высокая устойчивость к радиопомехам;
- ◆ устранение ложных срабатываний, которые возникают под воздействием изменения влажности и температуры окружающей среды на чувствительные элементы, в результате использования двухантенного индуктивно-ёмкостного моста в схеме;
- ◆ способность обнаружения человека на расстоянии более 1,3 метров, в схеме ёмкостного реле;
- ◆ высокая стабильность частоты генератора и относительно высокая чувствительность датчика, при применении кварцевого резонатора и дифференциального ВЧ-трансформатора.

Недостатки:

- ◆ частото задающий LC-контур антенна-датчика к ВЧ-генератору подключается через конденсатор ёмкостью несколько пикофарад или напрямую, а это ограничивает помехоустойчивость и расстояния обнаружения объекта ёмкостных датчиков;
- ◆ сильная нагрузка уменьшает добротность LC контура, который дополнительно снижает помехоустойчивость датчика.

Резонансные ёмкостные датчики – высокочувствительные ёмкостные устройства, сигнал срабатывания в данных конструкциях формируется во входном LC-контуре, находящемся в частично расстроенном состоянии по отношению к сигналу с рабочего ВЧ-генератора, с которым контур соединён через конденсатор

малой ёмкости (необходимый элемент сопротивления в цепи). Принцип действия подобных конструкций имеет две составляющие: первая – это настроенный соответствующим образом LC-контур, и вторая – это элемент сопротивления, через который LC-контур подключается к выходу генератора [18].

Резонансная схема показана на рис. 6. Здесь генератор высокой частоты 1 питает индуктивно связанный с ним контур, состоящий из индуктивности L_k , подстроечного конденсатора C_0 и ёмкостного датчика C_d . Напряжение U_k , снимаемое с контура, усиливается и выпрямляется усилителем 2. Результаты измерения фиксируются измерительным прибором, шкала которого градуируется в единицах измеряемой величины. При помощи подстроечного конденсатора C_0 контур настраивается на частоту, близкую к частоте генератора $\omega_z \approx \omega_0$. Следует также иметь в виду, что подвижная пластина датчика C_d должна находиться в нейтральном положении. При этих условиях напряжение, снимаемое с контура U_k , должно быть примерно в два раза меньше, чем напряжение при резонансе U_p . Таким образом, незначительное перемещение подвижной пластины датчика C_d приведет к резкому изменению напряжения в контуре на его выходе, чем и объясняется высокая чувствительность и устойчивость схемы [19].

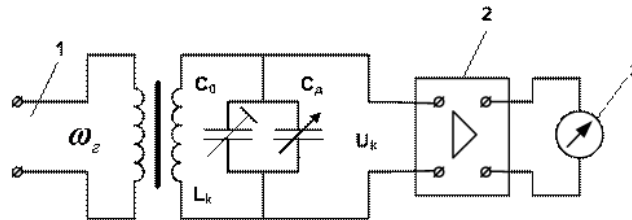


Рис. 6. Схема датчика резонансного объема

Резонансная частота контура определяется из условия резонанса (активное сопротивление катушки и индуктивности при этом не учитываются):

$$\omega_0 = 1/\sqrt{L_k(C_0 + C_d)} \approx \omega_z.$$

Преимущества:

- ◆ малое смещение подвижной панели датчика на входе контура приводит к резкому изменению напряжения, которое обеспечивает высокую чувствительность и стабильность схемы.

Недостатки:

- ◆ чтобы не появились ложные сигналы, необходимо устанавливать эти датчики вдали от сильных радиосигнальных источников;
- ◆ для предотвращения ложных срабатываний, при изменении температуры окружающей среды, необходимо включить в схему регулятор температуры.

Дифференциальные ёмкостные датчики (устройства на дифференциальных трансформаторах). Подобные датчики отличаются от вышеописанных конструкций тем, что имеют не одну, а две антенны-датчика, что позволяет обеспечить подавление (взаимокомпенсацию) погоднo-климатических воздействий (температура, влажность, снег, иней, дождь и т.п.) (рис. 7). При этом, для обнаружения приближения объектов к какой-либо из антенн ёмкостного устройства, используется симметричный измерительный LC-мост, реагирующий на изменение ёмкости между общим проводом и антенной [10].

В другой схеме датчика прямого преобразования для решения задачи компенсации предлагается алгоритмический подход. Для этого необходимо измерять не только дифференциальное изменение ёмкости, но и синфазное. При этом,

предлагается изменить существующую структурную схему преобразователя (рис. 8). На измерительные ёмкости $C1$ и $C2$, которые представляют собой ёмкостный мост, с генератора сигнала (ГС) подается напряжение, изменяющееся по гармоническому закону.



Рис. 7. Схема датчика двух антенной дифференциальной ёмкости

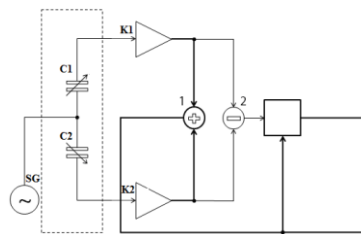


Рис. 8. Структурная схема датчика дифференциальной ёмкости

При этом через ёмкости будут протекать токи I_1 и I_2 , которые состоят из двух компонент:

$$I_1 = I(C_0) + I(\Delta C), \quad I_2 = I(C_0) - I(\Delta C),$$

где, $I(C_0)$ – ток, пропорциональный величине зазора; $I(\Delta C)$ – ток, определяемый полезным изменением ёмкости. Эти токи с помощью трансрезистивных усилителей $K1$ и $K2$ преобразуются в напряжения U_1 и U_2 , соответственно, которые также состоят из двух компонент $U(C_0)$ и $U(\Delta C)$.

После вычитания в точке 2 напряжение будет равно:

$$U_1 - U_2 = (U(C_0) + U(\Delta C)) - (U(C_0) - U(\Delta C)) = 2U(\Delta C).$$

Но, так как при изменении зазора изменяется коэффициент преобразования датчика угла, то разность напряжений будет зависеть и от величины зазора, которую можно определить, если сложить напряжения:

$$U_1 + U_2 = 2U(C_0).$$

Полученное напряжение зависит только от компоненты, пропорциональной величине зазора. Выходной сигнал дифференциального ёмкостного датчика определяется отношением сигнала в точке 2 к сигналу на выходе сумматора 1 (блок компенсации K). При этом, полученный выходной сигнал не зависит от зазора [20, 21].

Преимущества:

- ◆ устойчивость к помехам окружающей среды;
- ◆ уменьшение погодно-климатических (температура, влажность, снег и дождь) воздействий на работу устройства, в результате включения двух антенн-датчика;
- ◆ регистрация малого изменения ёмкости, с применением симметричного измерительного LC моста;
- ◆ возможность регулирования прямой реакции на изменение окружающей среды, за счет применения алгоритмического подхода в датчиках;
- ◆ возможность увеличения расстояния обнаружения;

Недостатки:

- ◆ датчики с такими схемами необходимо применять на открытых территориях;
- ◆ необходимость дополнительной площади для установки второй антенны датчика, входящей в схему такого устройства;

- ◆ с увеличением расстояния обнаружения увеличивается ток потребления;
- ◆ относительно низкая чувствительность таких датчиков на изменение среды между антеннами.

Как видно, ёмкостные датчики с разными схемами имеют своеобразные преимущества и недостатки. Основной их недостаток связан с низким уровнем чувствительности.

Принцип работы датчика с двумя чувствительными элементами поясняется рис. 9. Взаимная ёмкость элементов C_{AB} увеличивается по мере приближения объекта к датчику за счет увеличения ёмкостей между C_{AX} и C_{BX} - чувствительным элементом и объектом. По изменению C_{AB} судят о приближении объекта. Недостатком данного подхода является невысокая чувствительность.

Схема датчика с одним чувствительным элементом показана на рис. 10. При приближении объекта ёмкость между объектом и датчиком C_{AX} и, соответственно, ёмкость датчика C_A увеличиваются. Чувствительность такой схемы выше, чем предыдущей, что позволяет распознавать объекты на большом расстоянии. Однако, обе схемы характеризуются очень низкой помехоустойчивостью и могут давать ложные срабатывания при наличии посторонних металлических предметов.

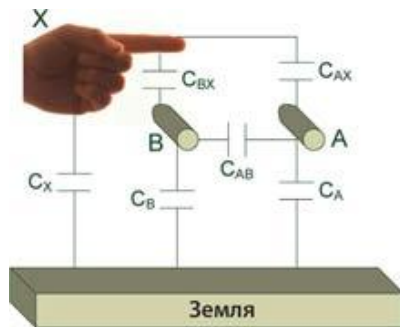


Рис. 9. Схема датчика с двумя чувствительными элементами



Рис. 10. Схема датчика с одним чувствительным элементом

Для выбора чувствительного элемента большое значение имеет диапазон изменения ёмкости датчика. Для повышения чувствительности диапазон изменения ёмкости чувствительного элемента датчика должен иметь большое значение.

Чувствительность датчика сильно зависит от геометрических размеров чувствительного элемента (ЧЭ). При увеличении электродов ЧЭ повышается чувствительность. Как правило, оптимальные размеры подбираются экспериментально. Если вблизи датчика располагаются металлические объекты, необходимо поставить защитный экран между датчиком и этими объектами, а также внести поправку при последующей обработке данных, иначе могут возникать ошибки. Защитить схему от воздействия внешних факторов, таких как изменение температуры и влажности, помогает БИХ-фильтр (бесконечная импульсная характеристика) [22].

Для регулировки непосредственной реакции датчиков на изменение окружающей среды используется алгоритмический подход. В таких датчиках, работающих с программным обеспечением, рабочий алгоритм составляется так, что датчик реагирует, только на движущийся предмет, неподвижный предмет не чувствует. Например, при размерах электрода 400x400 мм, он ощущает человека скорость движения от 0,2 м до 2 м в секунду, на расстоянии 0,45 м [23–25].

Таким образом, электрическая схема ёмкостного датчика, которая применяется в комплексе автоматизированной дистанционной охраны, целесообразно в качестве первичных условий, иметь следующие функциональные возможности:

1. Применение RC-генератора для формирования рабочего сигнала при изменении (увеличении) ёмкости антенны-датчика;
2. Применение мостовой схемы с индуктивно связанными двумя антеннами – симметрично расположенными чувствительными элементами в противоположных направлениях, с целью предотвращения ложного срабатывания при изменении температуры и влажности окружающей среды;
3. Применение кварцевого резонатора и дифференциального ВЧ-трансформатора, с целью повышения стабильности частоты генератора и чувствительности устройства.
4. Большой диапазон изменения ёмкости в датчике.
5. Применение БИХ-фильтра с целью защиты датчика от воздействия внешних факторов, как температура и влажность окружающей среды.
6. Применение алгоритмического подхода в датчиках, с целью регулирования непосредственной реакции на изменение окружающей среды.

Заключение. Анализ особенностей интегрированных комплексов автоматизированной дистанционной охраны позволил определить первичные условия проектирования электрической схемы ёмкостного датчика предназначенного для применения в таких комплексах.

Различные средства охраны имеют свои особенности из-за отличия схем построения ёмкостных датчиков. Поэтому, датчики имеющие одинаковую схему, обладая эффективностью в одних условиях, могут не эффективно работать в других условиях.

Для обеспечения эффективной работы датчика в любых условиях нужно использовать органические интеграции средств охраны, имеющих преимущества предусмотренные выше. Такими средствами, с соответствующей комбинацией, целесообразно управлять автоматизировано, в комплексном виде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Петрович С.В.* Ёмкостные датчики приближения. – <http://cxem.net/guard/3-59.php>.
2. *Еришов М.* Ёмкостный датчик // Радио. – 2004. – № 3. – С. 40-42.
3. Ёмкостные датчики схемы. – <http://www.texnic.ru/konstr/avtomatika/001/avtomatika030.html>.
4. *Nəbiyev R.N., Vəliyeva Q.C., Rüstəmov R.R.* İnteqrasiya olunmuş distansion mühafizə sistemi və onun yaradılması xüsusiyyətləri // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. – 2015. – № 2. – S. 87-108.
5. *Соломеин В.П.* Ёмкостные датчики приближения // Радиомир. – 2012. – № 6. – С. 28-29; – № 7. – С. 20-22.
6. *Нечаев И.* Ёмкостное реле // Радио. – 1988. – № 1. – С. 33.
7. *Москвин А.* Бесконтактные ёмкостные датчики // Радио. – 2002. – № 10. – С. 38, 39.
8. Патент РФ № 2297671 (С2), с приоритетом от 2005 г. Ёмкостная адаптивная охранная система / Галков А., Хомутов О., Якунин А. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». – 2007. – № 11.
9. *Галков А.В.* Разработка и исследование адаптивных приборов охраны на основе ёмкостных преобразователей с разветвлением токов в измерительной цепи. – Барнаул, 2007.
10. *Соломеин В.П.* Ёмкостные датчики приближения. Обзор // Радиоежегодник. – 2012. – № 17. – С. 107-111.
11. Реле присутствия. – <http://guarda.ru/capacity/34/>.
12. *Савченко В., Грибова Л.* Бесконтактный ёмкостный датчик с кварцевым резонатором // Радио. – 2010. – № 11. – С. 27, 28.

13. *Савченко В., Грибова Л.* Кварцевый резонатор преобразует неэлектрические величины в электрические // Радио. – 2004. – № 2. – С. 34-36.
14. *Соломеин В.П.* Ёмкостное реле // Радио. – 2010. – № 5. – С. 38.
15. Ёмкостное реле. – http://www.radioradar.net/radiofan/radiofan_technology/capacitive_switch.html.
16. Ёмкостное реле // Радио. – 1967. – № 9. – С. 61. – http://zamykaniya.net/magazine/m_radio/516-zhurnal-radio-1967-god-9.html.
17. *Рубцов В.* Устройство охранной сигнализации // Радиолобитель. – 1992. – № 8. – С. 26, 27.
18. Патент РФ № 2419159 / Соломеин В.П. 2011.
19. Ёмкостные датчики. – http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/nts/vagon/sis_avt_pr/metod/igumnov/frame/3_5.htm.
20. *Люкшионов Р.Г., Мусеев Н.В.* Дифференциальный ёмкостный датчик перемещений с дополнительной информацией о зазоре // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 4 (74). – С. 67-72.
21. *Глузман И.* Реле присутствия // Моделист-конструктор. – 1981. – № 1. – С. 41, 42.
22. Ёмкостные датчики приближения. – <http://www.russianelectronics.ru/leader-g/review/2193/doc/57826/>.
23. *Пашаев А.М., Набиев Р.Н., Велиева Г.Д.* Дистанционная система безопасности взлетно-посадочной полосы Международного Нахичеванского Аэропорта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2 (115). – С. 249-255.
24. *Яцков В.И.* Ёмкостные устройства для технических средств охраны // Системы безопасности. – 2007. – № 6. – С. 157.
25. *Kazimov N.M., Yusifov Ə.A., Xəlilov S.A., Ağayev U.X.* Tutum vericiləri // Sensor sistemlərinin əsasları. Sumqayıt. – 2011. – S. 26-28.

REFERENCES

1. *Petrovich S.V.* Emkostnyye datchiki priblizheniya [Capacitive proximity sensors]. Available at: <http://cxem.net/guard/3-59.php>.
2. *Ershev M.* Emkostnyy datchik [Capacitive sensor], *Radio* [Radio], 2004, No. 3, pp. 40-42.
3. Emkostnyye datchiki skhemy [The capacitive sensor circuit]. Available at: <http://www.texnic.ru/konstr/avtomatika/001/avtomatika030.html>.
4. *Nəbiyev R.N., Vəliyeva Q.C., Rüstəmov R.R.* İnteqrasiya olunmuş distansion mühafizə sistemi və onun yaradılması xüsusiyyətləri, *Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri*, 2015, No. 2, pp. 87-108.
5. *Solomein V.P.* Emkostnyye datchiki priblizheniya [Capacitive proximity sensors], *Radiomir* [Radiomir], 2012, No. 6, pp. 28-29; No. 7, pp. 20-22.
6. *Nechaev I.* Emkostnoe rele [Capacitive relay], *Radio* [Radio], 1988, No. 1, pp. 33.
7. *Moskvin A.* Beskontaktnyye emkostnyye datchiki [Contactless capacitive sensors], *Radio* [Radio], 2002, No. 10, pp. 38, 39.
8. *Galkov A., Khomutov O., Yakunin A.* Patent RF No. 2297671 (S2), with priority from 2005. Emkostnaya adaptivnaya okhrannaya sistema [Capacitive adaptive security system]. Bull. "Inventions. Utility models", 2007, No. 11.
9. *Galkov A.V.* Razrabotka i issledovanie adaptivnykh priborov okhrany na osnove emkostnykh preobrazovateley s razvetvleniem tokov v izmeritel'noy tsepi [Development and research of adaptive protection devices based on capacitive transducers with branching currents in the measuring circuit]. Barnaul, 2007.
10. *Solomein V.P.* Emkostnyye datchiki priblizheniya. Obzor [Capacitive proximity sensors. Review], *Radioezhegodnik* [Radioecology], 2012, No. 17, pp. 107-111.
11. Rele prisutstviya [Relay presence]. Available at: <http://guarda.ru/capacity/34/>.
12. *Savchenko V., Gribova L.* Beskontaktnyy emkostnyy datchik s kvartsevym rezonatorom [Contactless capacitive sensor with quartz resonators], *Radio* [Radio], 2010, No. 11, pp. 27, 28.
13. *Savchenko V., Gribova L.* Kvartsevyy rezonator preobrazuet neelektricheskie velichiny v elektricheskie [Quartz resonator converts a nonelectrical quantity into an electrical], *Radio* [Radio], 2004, No. 2, pp. 34-36.
14. *Solomein V.P.* Emkostnoe rele [Capacitive relay], *Radio* [Radio], 2010, No. 5, pp. 38.

15. Emkostnoe rele [Capacitive relay]. Available at: http://www.radoradar.net/radiofan/radiofan_technology/capacitive_switch.html.
16. Emkostnoe rele [Capacitive relay], *Radio* [Radio], 1967, No. 9, pp. 61. Available at: http://zamykaniya.net/magazine/m_radio/516-zhurnal-radio-1967-god-9.html.
17. Rubtsov V. Ustroystvo okhrannoy signalizatsii [Device security alarm system], *Radiolyubitel'* [Hams], 1992, No. 8, pp. 26, 27.
18. Solomein V.P. Patent RF No. 2419159. 2011.
19. Emkostnye datchiki [Capacitive sensors]. Available at: http://edu.dvgups.ru/metdoc/gdtran/nts/vagon/sis_avt_pr/metod/igumnov/frame/3_5.htm.
20. Lyukshonkov R.G., Moiseev N.V. Differentsial'nyy emkostnyy datchik peremeshcheniy s dopolnitel'noy informatsiyey o zazore [Differential capacitive displacement sensor with more information about the gap], *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific-technical Bulletin of Saint Petersburg state University of information technologies, mechanics and optics], 2011, No. 4 (74), pp. 67-72.
21. Gluzman I. Rele prisutstviya [Relay the presence of], *Modelist-konstruktor* [modelist-Konstruktor], 1981, No. 1, pp. 41, 42.
22. Emkostnye datchiki priblizheniya [Capacitive proximity sensors]. Available at: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2193/doc/57826/>.
23. Pashaev A.M., Nabiev R.N., Velieva G.D. Distsionnaya sistema bezopasnosti vzletno-posadochnoy polosy Mezhdunarodnogo Nakhichevanskogo Aeroporta [System of remote safety for a runway of the International Airport Nakhichevan], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 2 (115), pp. 249-255.
24. Yatskov V.I. Emkostnye ustroystva dlya tekhnicheskikh sredstv okhrany [Capacitive devices for technical protection], *Sistemy bezopasnosti* [Security system], 2007, No. 6, pp. 157.
25. Kazimov N.M., Yusifov Ə.A., Xəlilov S.A., Ağayev U.X. Tutum vericiləri, *Sensor sistemlərinin əsasları. Sumqayıt*, 2011, pp. 26-28.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.М. Курейчик.

Набиев Расим Насиб оглы – Национальная авиационная академия Азербайджана (г. Баку); e-mail: rasimnabiyev@yahoo.com; AZ1045, г. Баку, прос. Мардакяна 30. тел.: +994557547646; НИИ Транспорта и аэрокосмический проблем; начальник отдела авиационной электроники; д.т.н.

Гараев Гадир Исахан оглы – e-mail: qedir71@mail.ru; тел.: +994703218115; инженер электроники.

Рустамов Руслан Рустам оглы – e-mail: ruslan__433@mail.ru; тел.: +994705864616; докторант.

Nabiyev Rasim Nasib oglu – National Aviation Academy of Azerbaijan (Baku); e-mail: rasimnabiyev@yahoo.com; AZ1045, Baku, avenue of Merdeka, 30; phone: +994557547646; the department of the Scientific Research Institute of Transport and Aerospace Problems; head of Aviation Electronic, dr. of eng.sc.

Garaev Gadir Isahan oglu – e-mail: qedir71@mail.ru; phone: +994703218115; electronics engineer.

Rustamov Ruslan Rustam oglu – e-mail: ruslan__433@mail.ru; phone: +994705864616; the person working for doctor's degree.