

УДК 654.924.3: 004.942 (045)

Соколов Г.Е., к.ф.-м.н.

## ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ОХРАННОГО ЕМКОСТНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Национальный авиационный университет

[gennadii\\_sokolov@mail.ru](mailto:gennadii_sokolov@mail.ru)

*В работе проводится моделирование на уровне функциональной схемы охранного емкостного извещателя средствами MATLAB. Разработанная модель дает возможность оценить способность извещателя разделить полезный сигнал и помеху*

**Ключевые слова:** моделирование систем, охранные извещатели, MATLAB

### **Введение**

Моделирование систем на уровне функциональных схем широко используется в практике проектирования [1]. В настоящей работе проводится моделирование на уровне функционально схемы средствами MATLAB охранного емкостного извещателя. Подобные извещатели широко применяются в системах охранной сигнализации. Целью разработки модели является получение возможностей теоретического исследования влияния параметров обработки сигнала в извещателе на эффективность обнаружения им нарушителя в условиях атмосферных помех.

### **Постановка задачи**

Разработка компьютерной модели охранного емкостного извещателя осуществляется согласно методике, представленной в [2-3], в процессе выполнения следующих этапов:

1. Выбор извещателя-прототипа.
2. Построение и анализ структурной схемы извещателя-прототипа и обработки сигнала в структурных единицах этой схемы.
3. Построение функциональной модели извещателя на основе его структурной схемы.
4. Построение математической модели обработки сигнала в извещателе.
5. Разработка структурной схемы компьютерной программы, реализующей математическую модель.

6. Составление и отладка компьютерной программы на выбранном языке программирования.

7. Тестирование программы.

### **Разработка компьютерной модели**

1. В качестве извещателя-прототипа выбран типовой емкостной извещатель для охраны небольших предметов (например, «РИФ»). Извещатель предназначен для охраны предметов, емкость которых по отношению к земле составляет 100 - 2000 пф. Извещатель выдает сигнал тревоги при приближении человека к охраняемому предмету на расстояние на менее 10 см. В то же время извещатель не выдает сигнал тревоги, если емкость охраняемого предмета изменяется на  $\pm 50\%$  от первоначальной в течении суток из-за изменения влажности или запыленности воздуха.

2. Принцип работы прибора основан на слежении за скоростью изменения емкости охраняемого предмета (сейфа) относительно земли и сравнении ее величины с заданным порогом. При превышении порога извещатель выдает сигнал тревоги. Это происходит при приближении к сейфу человека. В редких случаях превышение регистрируется в отсутствие человека – это случай ложной тревоги.

Работа прибора поясняется структурной схемой, показанной на рис.1.

Частота генератора определяется электрической емкостью охраняемого предмета (1), а эталонный контур (3) настроен на частоту генератора (2). Измене-

ние емкости, вызванное приближением к охраняемому предмету человека, приводит к изменению частоты колебаний генератора (2). Сигнал генератора, проходя через эталонный контур (3), настроенный на первоначальную частоту генератора, сдвигается по фазе на угол, зависящий от

настройки новой частоты генератора относительно первоначальной. Фазовый сдвиг между сигналами, снимаемыми с генератора (2) и эталонного контура (3), преобразуется с помощью фазового детектора (5) в сигнал рассогласования в виде напряжения постоянного тока.

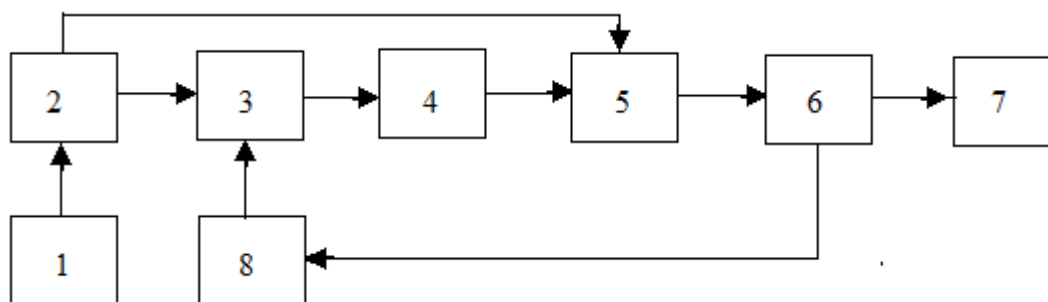


Рис. 1. Структурная схема охранного емкостного извещателя

1 – чувствительный элемент (сейф); 2 – генератор синусоидальных колебаний; 3 – эталонный контур;  
4 – усилитель переменного тока; 5 – фазовый детектор; 6 – усилитель постоянного тока;  
7 – оконечный каскад; 8 – интегрирующая цепь

Сигнал рассогласования через усилитель постоянного тока (6) воздействует на эталонный контур и оконечный каскад с исполнительным реле. На эталонный контур сигнал рассогласования поступает через интегрирующую цепочку (8) и производит электронную подстройку под частоту генератора. При быстром изменении емкости охраняемого предмета, при подходе человека, эталонный контур не успевает подстроиться под частоту генератора из-за наличия интегрирующей цепочки, в результате чего время действия сигнала рассогласования, поступающего на оконечный каскад (7), оказывается достаточным для выключения исполнительного реле, которое, размыкая свои контакты, выдает сигнал тревоги.

В случае медленного изменения емкости охраняемого предмета, напряжение рассогласования с выхода фазового детектора, усиленное усилителем постоянного тока, успевает изменить резонансную частоту эталонного контура до совпадения с частотой колебаний генератора. Оконечный каскад с исполнительным реле при этом не срабатывает.

### 3. Построение функциональной модели извещателя.

3.1 Функциональное моделирование чувствительного элемента:

Чувствительный элемент моделируется емкостью, зависящей от времени  $C_g(t)$ . Параметры этой функции задаются во входных данных

3.2 Функциональное моделирование генератора:

Генератор моделируется циклической частотой, зависящей от времени  $w_g(t)$ . Эта частота равна собственной частоте задающего контура генератора, емкость которого, в свою очередь, зависит от емкости чувствительного элемента. Контур полагается идеальным

3.3 Электронно-перестраиваемый эталонный контур моделируется циклической частотой, зависящей от времени  $w_c(t)$ . Эта частота зависит от электронно-перестраиваемой емкости, управляемой выходным сигналом интегратора. Контур имеет величину добротности  $Q$ , которая задается во входных данных.

3.4 Усилитель переменного тока обеспечивает необходимый уровень сиг-

нала на фазовом детекторе. При моделюванні этот уровень задается входными данными.

3.5 Фазовый детектор моделируется идеальным устройством, вырабатывающим на выходе постоянное напряжение  $U_D$ , пропорциональное сдвигу фаз между входным и выходным напряжением идеального контура, подключенного к идеальному источнику гармонического напряжения.

3.6 Усилитель постоянного тока моделируется идеальным, имеющим одинаковый коэффициент усиления  $K$  не зависящий от частоты и амплитуды входного сигнала. Величина  $K$  задается во входных данных.

3.7 Интегрирующая RC-цепь вносит некоторую задержку в передачу сигнала от

усилителя в эталонный контур. Поэтому она моделируется линейным звеном с коэффициентом передачи:

$$K_{\text{инт}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t < \tau \\ 1, & \text{если } t > \tau \end{cases}$$

Время задержки  $\tau$  задается во входных данных.

3.8 Моделирование обратной связи:

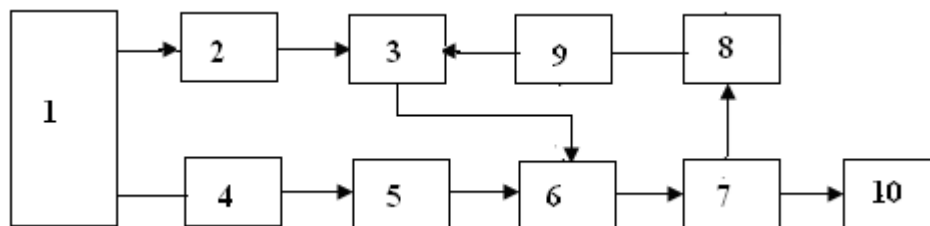


Рис.2. Общая функциональная схема модели емкостного охранного извещателя

1. Формирователь входных данных. 2. Вычислитель исходной емкости эталонного контура.
3. Вычислитель циклической частоты эталонного контура.
4. Вычислитель исходной емкости задающего контура генератора.
5. Вычислитель циклической частоты задающего контура генератора. 6. Фазовый детектор.
7. Усилитель постоянного тока. 8. Интегрирующая цепь.
9. Вычислитель скорректированной емкости эталонного контура. 10. Пороговое устройство

4. Построение математической модели обработки сигнала в извещателе.

4.1. Задание исходных цифровых параметров для моделирования:

Моделирование обратной связи моделируется на основе дискретности процесса обработки сигнала. Выбирается временной интервал  $T$ , на котором принимается решение о наличии или отсутствии нарушителя (резкое изменение величины емкости чувствительного элемента). Этот интервал делится на временные подинтервалы, длительностью  $\Delta T$ , на которых выходное напряжение интегратора и регулируемая емкость эталонного контура являются постоянными, меняясь от подинтервала к следующему за ним подинтервалу. Последовательный расчет выходного напряжения усилителя  $U_{\text{инт}}(t)$  на подинтервалах дает его значения на всем отрезку моделирования.

3.9 Функциональное моделирование оконечного каскада:

Оконечный каскад выполняет роль Логического блока и моделируется пороговым устройством, которое сравнивает максимальный уровень сигнала усилителя  $\max\{U_{\text{инт}}(t)\}$  с заданным порогом. Величина порога задается во входных данных.

Таким образом, общая функциональная схема емкостного охранного извещателя имеет вид, показанный на рис.2.

$T=10$  с. – длительность времени моделирования.

$\Delta T=0,1$  с.- длительность единичного интервала моделирования.

$dt = 10$  мкс. – временной промежуток между моментами моделирования.

$C_{g0} = 1200$  пф – начальная емкость задающего контура генератора

$C_{c0} = 250$  пф – начальная емкость эталонного контура

$L_g = 0.0036545$  Гн – индуктивность задающего контура генератора

$L_c = 0.0175$  Гн – индуктивность эталонного контура

$Q = 5$  – добротность эталонного контура

$M = 1$ , при этом  $(M+1) \cdot \Delta T$  с. – задержка интегратора.

$R_2 = 0,3$  – параметры, задающие характеристики петли подстройки частоты эталонного контура.

$K = 2$  – коэффициент усиления усилителя

$P = 0,5$  – порог порогового устройства.

$al = 0.05$  – параметр изменения емкости чувствительного элемента

4.2. Задание временных параметров цифрового моделирования:

$$dt = 10^{-5}; \quad t = 0, dt, 2dt, 3dt, \dots, T.$$

$N = T / \Delta T$  – число подинтервалов моделирования.

4.3. Вычисление функции изменения емкости чувствительного элемента на интервале моделирования  $T$ :

Функция времени задается формулой (например):

$$C_g(t) = C_{g0} + C_{g0} * (1 - e^{-alt}) \quad 0 < t < T.$$

4.4. Вычисление циклической частоты задающего контура генератора

$$w_g(t) = \frac{1}{\sqrt{C_g L_g}}$$

4.5. Вычисление начальной циклической частоты эталонного контура на первом подинтервале моделирования

$$w_c[1] = \frac{1}{\sqrt{C_c[1] L_c}}$$

где  $C_c[1] = C_{c0}$  – емкость эталонного контура на первом подинтервале моделирования

4.6. Вычисление выходного сигнала фазового детектора на первом единичном интервале моделирования:

$$U_D(t) = \arctg\left[Q \left( \frac{w_g(t)}{w_c[1]} - \frac{w_c[1]}{w_g(t)} \right)\right]$$

4.7. Вычисление выходного сигнала усилителя на первом единичном интервале моделирования:

$$U_{amp}(t) = U_D(t) * K$$

4.8. Вычисление средней величины выходного сигнала усилителя на  $i$ -том единичном интервале моделирования длительностью  $\Delta T$ :

$$U_{amp}^{aver}[i] = \frac{1}{T} \times \int_{(i-1)\Delta T}^{i\Delta T} U_{amp}(t) dt$$

4.9. Запоминание средней величины выходного сигнала усилителя на  $i$ -том единичном интервале моделирования в массиве

$$L[i] = U_{amp}^{aver}[i]$$

4.10. Вычисление скорректированного значения емкости эталонного контура

$$C_c[i+1] = C_c[i] * (1 + R_2 * L[i - M]),$$

если  $i \geq M$

$$C_c[i+1] = C_c[i]$$

если  $i < M$

(здесь в аргументе  $[i - M]$  учтена задержка интегратора).

4.11. Заменяя в п. 4.5  $C_c[1]$  на  $C_c[i]$  повторяем вычисления, пока проведем моделирование на всем интервале моделирования:

$$0 < t < T, \quad \text{или} \quad 1 < i < N.$$

4.12. В массиве  $L[i]$  записана временная функция изменения выходного сигнала усилителя на всем интервале моделирования. Если хотя бы один элемент массива больше порогового значения  $P$ , то это признак нарушителя в зоне охраны. Поэтому производится сравнение макси-

мального значения из всего массива  $L[i]$  с порогом  $P$ .

Если  $\max\{L[i]\} < P$ , на дисплей выводится «Дежурный режим»; если

$\max\{L[i]\} > P$ , на дисплей выводится «Тревога».

5. Структурная схема компьютерной программы, реализующей математическую модель, следующая:

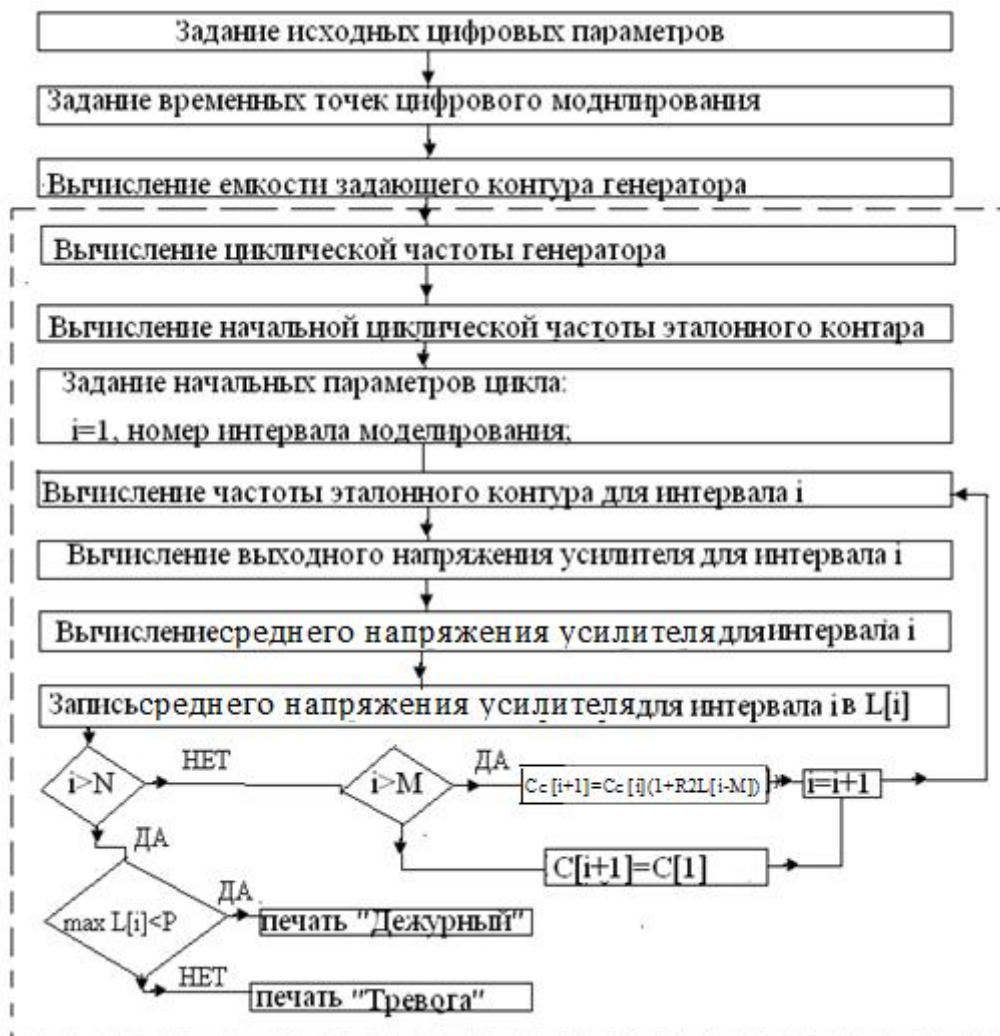


Рис. 3. Структурная схема программы.

6. Программа, реализующая приведенную выше структурную схему, составлена в кодах пакета MatLab и отлажена.

### Исследование емкостного извещателя на основе разработанной компьютерной модели

Целью численного исследования модели емкостного извещателя является выяснение взаимосвязи параметров обработки сигнала и эффективности определения решающим устройством извещателя

для помехи (которую решающее устройство должно определить как отсутствие нарушителя или «Дежурный режим») и нарушителя (которую решающее устройство должно определить как наличие нарушителя или «Тревога»).

Помехой для данного типа извещателя является хотя и значительные, но медленные изменения емкости чувствительного элемента, происходящие в результате появления и накопления пыли и влаги на поверхности охраняемого сейфа. Нарушитель же вызывает хотя и неболь-

шое изменение емкости чувствительного элемента, но практически скачкообразное.

К параметрам обработки сигнала в извещателе относятся:

- Выбор добротности эталонного контура  $Q$ ,
- Выбор величины коэффициента усиления усилителя  $K$ ,
- Выбор времени задержки интегратора  $\tau$ ,
- Выбор параметра корректировки емкости эталонного контура в петле обратной связи  $R_2$ .

На рис. 4–рис.6 приведены характерные результаты численного исследования информационного сигнала охранного емкостного извещателя (это сигнал на входе оконечного каскада – решающего устройства) в тревожном режиме при различных параметрах обработки. Исследование информационного сигнала в тревожном режиме извещателя проводилось для случая изменения емкости чувствительного элемента на 17 % скачком после 1 секунды моделирования. Такое изменение характерно для появления

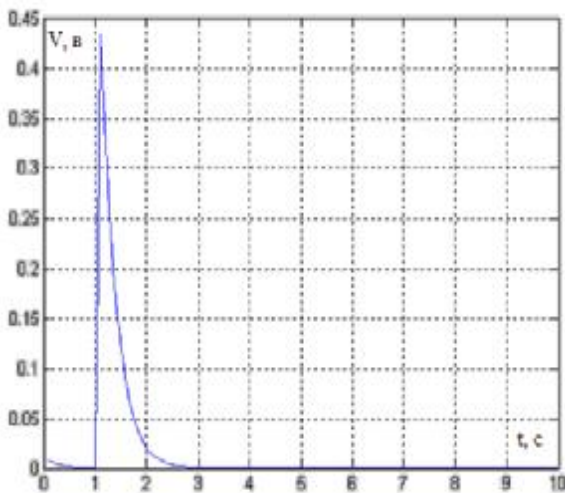


Рис.4. Сигнал на входе решающего устройства при появлении нарушителя  
 $Q K = 3; \tau = 0,1с; R_2 = 0,1$

На рис. 7 приведены характерные результаты численного исследования информационного сигнала охранного емкостного извещателя с оптимальными параметрами в дежурном режиме. Исследование информационного сигнала в дежур-

нарушителя вблизи охраняемого предмета.

На рисунках видны возможные режимы работы извещателя: аperiodический (рис. 4), колебательный (рис. 5) и переходной (рис. 6). Видны также достоинства и недостатки этих режимов. Аperiodический режим имеет минимальную длительность подстройки, но и минимальную величину отклика на полезный входной сигнал. Кроме того, в этом режиме отклик слишком малой длительности, что может вызвать неустойчивое срабатывание оконечного каскада. Колебательный режим имеет максимальную величину отклика на полезный входной сигнал, но и максимальную длительность подстройки.

Оптимальным режимом работы извещателя является переходной режим. Он достигается при средних (оптимальных) величинах добротности эталонного контура  $Q$ , величины коэффициента усиления усилителя  $K$ , времени задержки интегратора  $\tau$ , параметра корректировки емкости эталонного контура в петле обратной связи  $R_2$ .

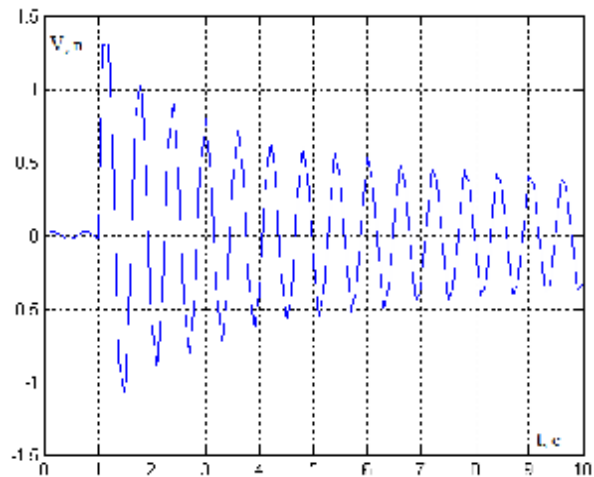


Рис.5. Сигнал на входе решающего устройства при появлении нарушителя  
 $Q K = 10; \tau = 0,2с; R_2 = 0,1$

ном режиме извещателя проводилось для случая плавного нарастания емкости чувствительного элемента на 40 % за 10 секунд при оптимальных параметрах обработки сигнала схемой извещателя. Такое



изменение характерно для изменения запыленности охраняемого предмета.

На рис. 7 видно, что это сигнал небольшой величины. По сравнению с сиг-

налом в режиме тревоги, приведенном на рис.6, он на порядок меньший. Разделить такие сигналы можно простейшим пороговым устройством.

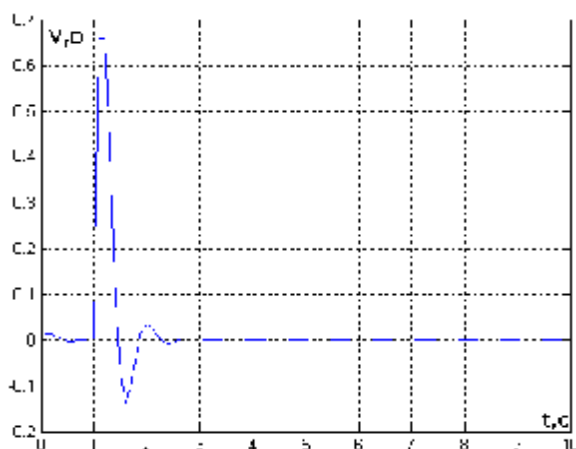


Рис.6 Сигнал на входе решающего устройства при появлении нарушителя  
 $Q K = 5; \tau = 0,2c; R2 = 0,1$

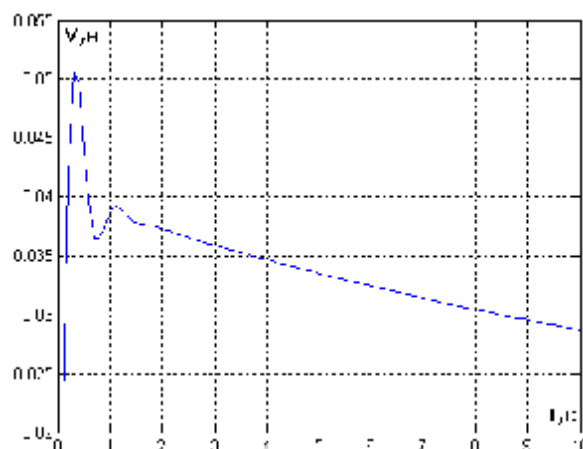


Рис.7 Сигнал на входе решающего устройства при помехе на входе извещателя  
 $Q K = 5; \tau = 0,2c; R2 = 0,1$

### Выводы

Результаты моделирования совпадают с техническими характеристиками извещателя-прототипа, что подтверждает адекватность построенной модели. Разработанная модель позволяет оценить надежность разделения охраняемым извещателем сигналов от нарушителя и сигналов от помех, определить параметры сигналов, создающие случаи ложных тревог.

Разработанная модель позволяет оценить качество обработки сигналов с помощью алгоритма данного извещателя. Она является инструментом для выбора оптимальных параметров конструкции извещателя.

Модель может быть полезна как разработчикам охранных емкостных извещателей при совершенствовании алгоритмов обработки, так и студентам при изучении принципов работы радиоэлектронных систем безопасности.

### Список литературы

1. Борисов Ю.П., Цветнов В.В Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с..

2. Sokolov, G. E. Building a computer model of an optoelectronic burglar alarm detector/ Electronic and Control Systems. № 4(38), – 2013. P.142-148.

3. Sokolov G.E. Building a Computer Model of an Optoelectronic Fire Smoke Alarm Detector/ Electronic and Control Systems. №1(39). –2014. P. 77- 84.

Статью представлено в редакцию 05.03.2016