

*С.Н. Бондаренко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.В. Калабанов, адъюнкт, НУГЗУ,
В.А. Пулавский, к.т.н.*

МОДЕЛЬ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА АКТИВНОГО ЛИНЕЙНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ ПЛАМЕНИ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Предложена модель чувствительного элемента линейного извещателя пламени в режиме активного зондирования. Разработан активный метод зондирования чувствительного элемента извещателя пламени импульсом с заданными параметрами, позволяющий определять расстояние до очага пожара.

Ключевые слова: система пожарной автоматики, линейный извещатель пламени, чувствительный элемент, длинная линия, бегущая волна.

Постановка проблемы. Предложенный в работе [1] линейный извещатель пламени (ЛИП) имеет ряд преимуществ по сравнению с извещателями пламени оптического диапазона. Исследование характеристик чувствительного элемента (ЧЭ) линейного извещателя пламени, показано, что удовлетворительные значения инерционности демонстрирует извещатель с ЧЭ длиной до 10 м. Поэтому построение математической и физической модели ЧЭ позволит обосновать возможность применения метода активного зондирования ЧЭ линейного извещателя пламени импульсом с заданными параметрами и позволит создать извещатель с малой инерционностью.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [2] приведены результаты экспериментальных исследований зависимости наводимой разности потенциалов под воздействием заряженных частиц появляющихся над очагом пожара от мощности очага и высоты размещения ЧЭ.

При прохождении по двужильному симметричному проводнику тока вокруг него возникают магнитные H и электрические E поля между проводниками (рис. 1) [3]. В работе [4] описано взаимное влияние магнитного поля и заряженных частиц.

Постановка задачи и ее решение. Задачей исследования является обоснование возможности создания ЛИП с малой инерционностью с помощью математических моделей.

Снижение инерционности ЛИП возможно путем активного зондирования проводника импульсом с заданными параметрами и дальнейшим исследованием импульса отражения от неоднородности, вызванной появлением заряженных частиц над очагом пожара.

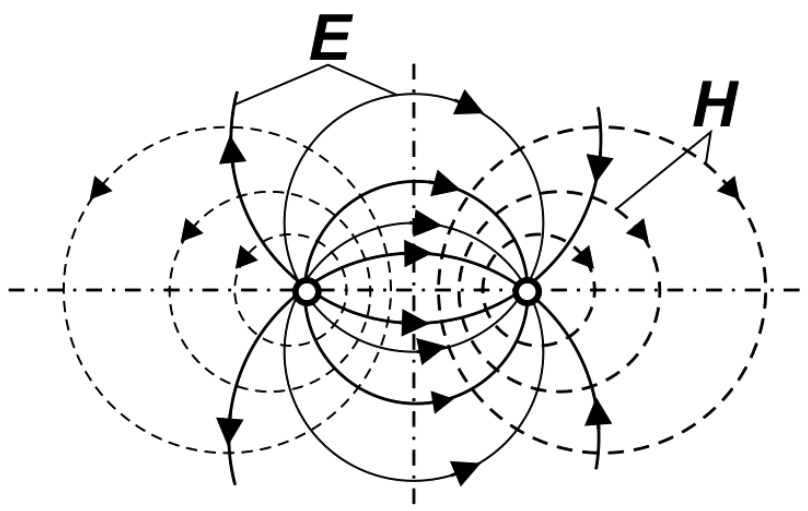


Рис. 1. Линии электрического и магнитного поля вокруг двухжильного провода

Заряженные частицы, образованные пламенем, и продукты горения изменяют электрическую и магнитную составляющую среды вокруг пламени. Измерение возможно с помощью использования эффекта бегущей волны по линии, длина которой превышает длину зондирующего импульса. Импульс имеет прямоугольную форму с крутым фронтом и спадом. Линия представляет собой распределенную систему, состоящую из индуктивности L , емкости C , сопротивлением проводника R и проводимостью утечки между ними G (рис. 2.), значения которых влияют на волновое сопротивление провода. Электрический импульс, запущенный с одного конца проводника, «перетекает» из емкости в емкость через RL цепочку.

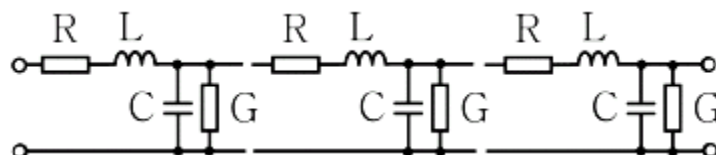


Рис. 2. Элементарные составляющие двухжильного проводника

Переходной процесс данной цепи подобен переходному процессу на ее элементарном участке и представляет собой переходной процесс RLC цепи (рис. 3).

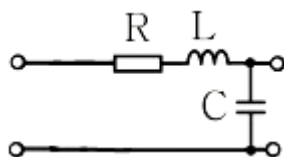


Рис. 3. Электрическая схема для расчета переходного процесса RLC цепи

Используя второй закон Кирхгофа

$$\sum_i U_i = \sum_j \varepsilon_j,$$

а также с учетом

$$\begin{aligned} U_R &= rI_r; \\ U_C &= U_{C(0)} + \frac{1}{C} \int_0^1 I_C dt; \\ U_L &= L \frac{dI_L}{dt}, \end{aligned}$$

можем записать

$$rI + \frac{1}{C} \int Idt = \varepsilon_0 - L \frac{dI}{dt}, \quad (1)$$

где r – активное сопротивление, ε_0 – ЭДС источника питания, i и j – номер источника ЭДС и участка падения напряжения в цепи.

В качестве независимой переменной возьмем напряжение на конденсаторе C

$$U_C = \frac{1}{C} \int Idt,$$

то есть ту величину, которую надо определить по условиям задачи. Так как элементы соединены последовательно то

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_C}{dt},$$

тогда уравнение (1) можно записать в виде

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + rC \frac{dU_C}{dt} + U_C = \varepsilon_0. \quad (2)$$

Введя обозначение $\omega^2 = \frac{1}{LC}$, $\beta = \frac{r}{2L}$ приведем уравнение (2) к

виду

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 (U_C - \varepsilon_0) = 0. \quad (3)$$

Стационарное значение напряжения на конденсаторе $U_{C\infty}$ найдем, положив равными нулю все производные в уравнении (3), откуда следует

$$U_{C\infty} = \varepsilon_0. \quad (4)$$

Если в цепи реализуются затухающие колебания, решение уравнения будет иметь вид

$$U_C(t) = U_{C\infty} + e^{-\beta t} (a \cos \omega t + b \sin \omega t), \quad (5)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta}$, константы a и b определяются из условий

$$\begin{aligned} U_C(0) = U_{C\infty} + a &= 0; \\ \frac{dU_{C\infty}}{dt} = -\beta a + \omega b &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом выражения (4), (5) из (6) получаем

$$\begin{aligned} a &= -U_{C\infty} = -\varepsilon_0; \\ b &= \frac{\beta a}{\omega} = \frac{\beta}{\omega} \varepsilon_0. \end{aligned}$$

В результате изменение напряжения на конденсаторе описывается выражением

$$U_{C(t)} = \varepsilon_0 \left(1 - e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right) \right).$$

Что позволяет определить длительность переходного процесса в ЧЭ ЛИП.

Для чувствительного элемента, выполненного из провода ТРП 2x0,4 при удельных

$$\begin{aligned} r &= 0,2 \text{ Ом/м}, \\ L &= 1,7 \text{ мкГн/м}, \\ C &= 0,04 \text{ нФ/м}, \end{aligned}$$

длительность переходного процесса составляет (рис. 4) 85 мкс.

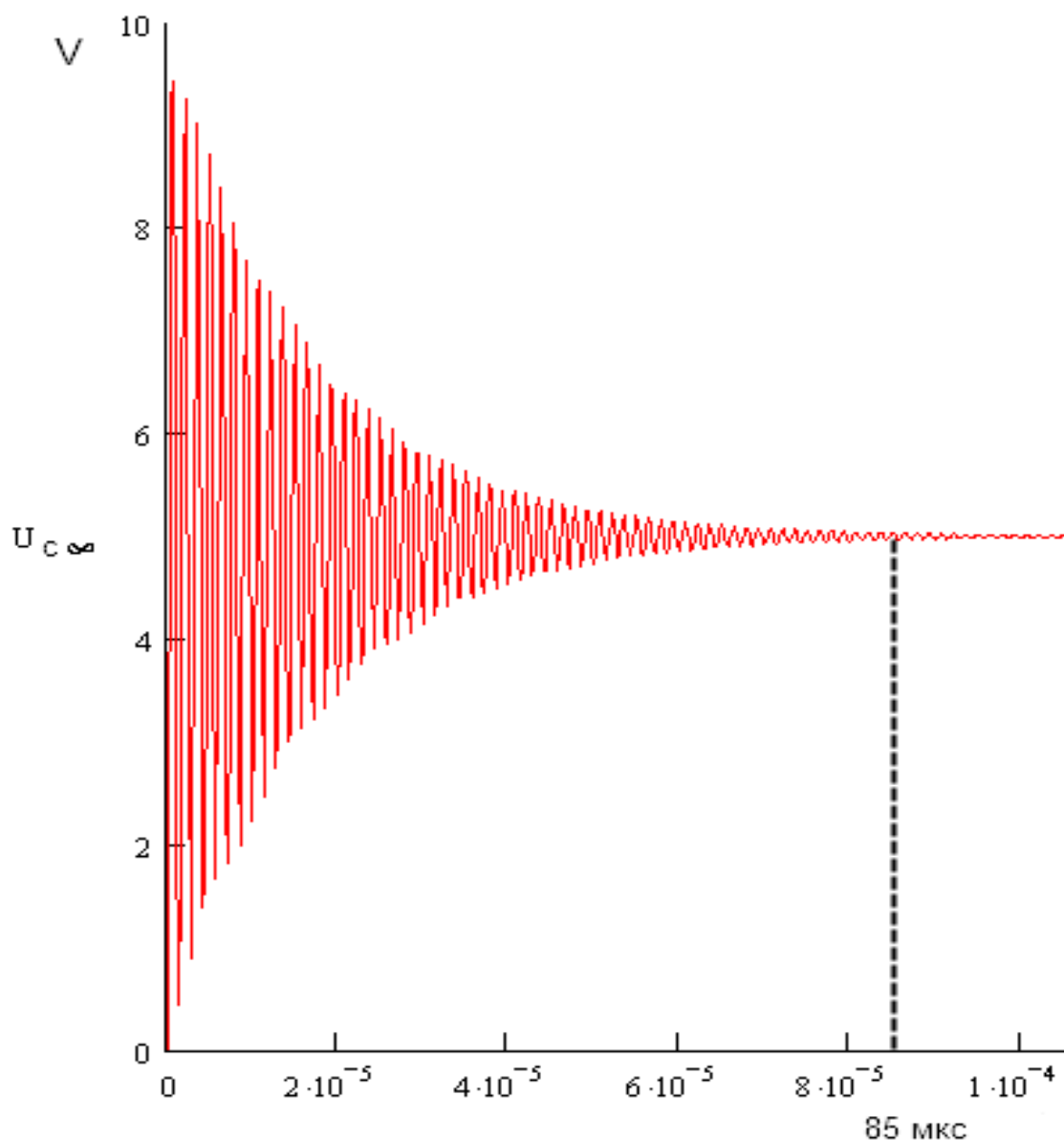


Рис. 4. Переходной процесс активного чувствительного элемента, выполненного из провода ТРП 2х0,4

При прохождении импульса по однородной линии отражений от линии не возникает. Отражение импульса возникает в местах локального изменения среды вокруг линии, вызванных появлением ионов в результате чего на участках линии изменяются абсолютные величины ее элементарных составляющих.

Напряжение отраженного импульса рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{отр}} = KU_{c\infty},$$

где $U_{\text{отр}}$ – напряжение отражения, K – коэффициент отражения.

Коэффициент отражения рассчитывается по формуле

$$K = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0},$$

где Z_0 – волновое сопротивление провода, Z – волновое сопротивление провода в точке неоднородности.

Экспериментально установлены значения коэффициентов отражения для различных событий и состояний чувствительного элемента

$$\begin{aligned} K \approx 0 & \text{ – стационарный режим;} \\ -0,15 < K < 0 & \text{ – пожар;} \\ -1 < K < -0,5 & \text{ – короткое замыкание;} \\ 0,5 < K < 1 & \text{ – обрыв.} \end{aligned}$$

Поскольку используется импульс длительностью менее 30 мкс, для расчета волнового сопротивления справедлива формула

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Зондирующий импульс имеет ограниченную скорость движения по проводнику, поэтому появляется возможность определить расстояние до очага пожара.

$$l = \frac{\tau V}{2},$$

где l – расстояние до неоднородности, τ – время возврата отражения, V – скорость распространения импульса по линии.

Выводы. Предложенный линейный извещатель пламени имеет малую инерционность, в большем зависящую от расстояния до пожара чем от времени переходного процесса. Так как переходной процесс протекает в звене второго порядка, то для расчета времени переходного процесса используется графический метод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко С.Н. Линейный извещатель пламени, с применением эффекта хемоионизации / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2013. – Вып. 33. – С. 22-26. [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol33/bondarenko.pdf>

2. Бондаренко С.Н. Исследование чувствительного элемента линейного извещателя пламени / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 35. – С. 39-44. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Ppb_2014_35_9.pdf.

3. Ковалёв Н.Ф., Электрический ток // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. // М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – Т. 5. – С. 515. – 760 с. – ISBN 5-85270-101-7.

4. В. И. Векслер, Современное состояние проблемы ускорения атомных частиц // Успехи физических наук вып. LXVI, 1958, с. 99-110.

С.М. Бондаренко, В.В. Калабанов

Модель чутливий елемент активного лінійного сповіщувачі полум'я

На підставі ранніх досліджень усунені недоліки пасивного чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я. Запропоновано активний метод зондування чутливого елемента імпульсом із заданими параметрами, який дозволяє визначати відстань до осередку пожежі.

Ключові слова: система пожежної автоматики, лінійний сповіщувач полум'я, чутливий елемент, довга лінія, бігуча хвиля.

S.M. Bondarenko, V.V. Kalabanov

Model for sensitive element of active linear flame detector

On the basis of earlier studies the shortcomings of the passive sensor linear flame detector are eliminated. We propose an active method of probing the sensor by pulse with the specified parameters, which allows to determine the distance to the fire.

Keywords: automatic fire fighting system, linear flame detector, sensor, long line, traveling wave.