

# Порог контрольного срабатывания в ПКУ-М



Юрий ЗЕНКОВИЧ

Yury I.ZENKOVICH

**Статья посвящена методике нахождения порогового значения срабатывания контрольного блока в микроэлектронных системах управления светофорной сигнализацией. Приводится способ, позволяющий определить величину напряжения или тока срабатывания компаратора при цифровой обработке сигналов в устройствах контроля ламп светофора. Для получения расчетных данных используется методика принятия статистических решений на основе критерия среднего риска. Она может быть использована на заводах-изготовителях аппаратуры при ее регулировке.**

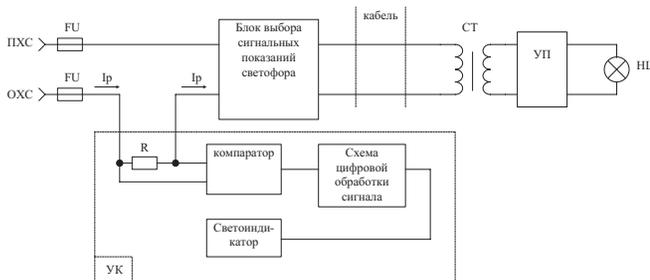
**Ключевые слова:** железная дорога, светофор, устройство контроля, вход питания переменным током, индивидуальные предохранители сигнала, рабочий ток лампы, математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, риски.

*Зенкович Юрий Иосифович – кандидат технических наук, доцент Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), заслуженный изобретатель Российской Федерации, Москва, Россия.*

**М**икроэлектронные переключающие и контрольные устройства (ПКУ) используются в светофорной сигнализации систем автоблокировки и электрической централизации. Наибольший интерес эти устройства представляют для централизованных систем управления светофорами, так как позволяют сократить расход кабеля и значительно уменьшить объем строительно-монтажных работ по сравнению с типовыми решениями, предложенными институтом «Гипротранс-сигнальсвязь» (ГТСС).

При применении устройств ПКУ для переключения и контроля состояния двухнитевых светофорных ламп (рис. 1) требуется определить величину напряжения или тока срабатывания порогового компаратора, входящего в состав схемы цифровой обработки сигналов устройств контроля (УК).

Определение исправного или неисправного состояния нити накала светофорной лампы осуществляется компаратором, подключенным к резистору  $R$ , через который протекает ток, изменяющийся по величине в зависимости от того, подключена нить накала лампы к сигнальному трансформатору или нет. Причем при отклю-



**Рис. 1. Схема элементной цепи ПКУ.**  
**Fig. 1. Element circuit of switching and control device.**

**Принятые обозначения (lettering):**  
**УП – устройство переключения (switching device);**

**СТ – сигнальный трансформатор (signal transformer);**

**HL – двухнитевая лампа светофора (double-filament bulb);**

**УК – устройство контроля (control device);**

**ПХС, ОХС – вход питания переменным током 220В (220 V AC power input);**

**FU – индивидуальные предохранители сигнала (individual fuses units of signal);**

**$I_p$  – рабочий ток лампы (operation current of a bulb).**

ченной нити лампы светофора через резистор протекает ток, обусловленный входным сопротивлением кабельной линии и сопротивлением холостого хода сигнального трансформатора СТ. Следует при этом отметить, что величина рабочего тока  $I_p$ , протекающего через резистор R, является случайной величиной, которая зависит от ряда случайных параметров электрической цепи. В нее входят случайные значения, учитываются сопротивление нити накала светофорной лампы, первичные параметры кабельной линии, параметры сигнальных трансформаторов, а также ряд других факторов, связанных с эксплуатационными особенностями работы светофорной сигнализации.

Из изложенного следует, что рабочий ток лампы и ток холостого хода при отключенной лампе, протекающие через резистор R компаратора, являются функциями значительного числа независимых случайных аргументов, сравнимых по своему рассеиванию. В этом случае надо ожидать, что случайные величины (рабочий ток  $I_p$  и ток холостого хода  $I_{xx}$ ) распределены по нормальным законам.

$$f(I_p) = \frac{1}{\sigma_p \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(I_p - \bar{I}_p)^2}{2\sigma_p^2}} \quad (1)$$

$$f(I_{xx}) = \frac{1}{\sigma_{xx} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(I_{xx} - \bar{I}_{xx})^2}{2\sigma_{xx}^2}} \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) представляют собой функции плотности распределения случайных величин рабочего тока  $I_p$  при исправной нити светофорной лампы и тока холостого хода  $I_{xx}$ , соответственно при перегоревшей основной нити лампы, а  $\sigma_p$  и  $\sigma_{xx}$  – проводи-

мость сопротивления передачи между источником питания и светофорной лампой и входным сопротивлением сигнального трансформатора в режиме холостого хода. В обоих случаях в сопротивление передачи входит кабельная линия, соединяющая напольные и постовые устройства.

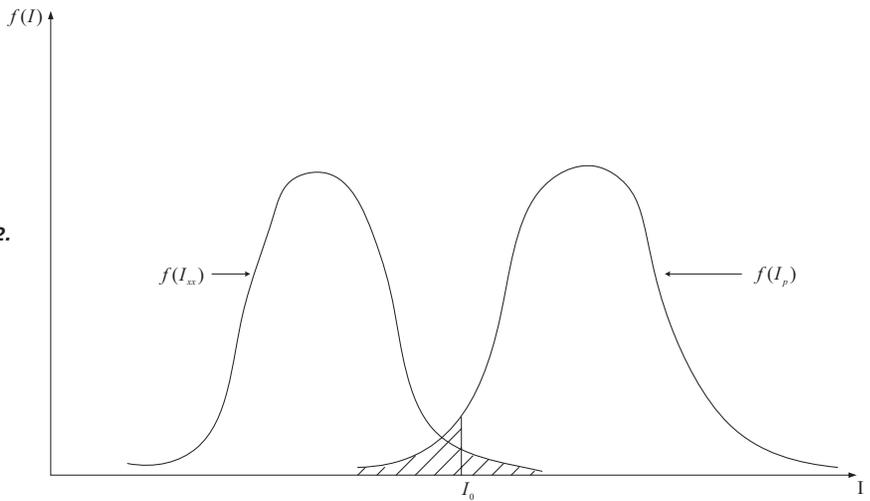
Для схем с централизованным управлением огнями светофоров используется два режима работы светофорных ламп;  $U_n$  – это дневной режим, при котором на светофор подается номинальное напряжение  $U_n = 220V$  переменного тока, и ночной режим, при котором на светофор подается напряжение  $U_n = 180V$ . При детерминированном значении порога срабатывания компаратора возникает задача, связанная с определением этой величины в условиях принятия статистических решений при известных плотностях распределения случайных величин  $f(I_p)$  и  $f(I_{xx})$ . Принятие статистических решений в условиях изменяющегося режима работы светофорных ламп (дневной и ночной) может приводить к совершению ошибок первого и второго рода. Это объясняется тем, что значения токов  $I_{xx}$  при дневном режиме горения лампы могут совпадать со значением рабочего тока  $I_p$  в ночном режиме.

Область пересечения функций плотности распределения (рис. 2)  $f(I_{xx})$  и  $f(I_p)$  зависит от значений дисперсий случайных величин; сопротивления светофорной лампы, сопротивления холостого хода трансформатора и других.

Определение порога срабатывания компаратора  $I_0$  сводится к известной задаче принятия статистических решений: к какому классу отнести неизвестное значение признака  $f(I)$ .



Рис. 2 / Fig. 2.



$$I_0 = \frac{\sigma_p^2 \cdot \bar{I}_{xx} - \sigma_{xx}^2 \cdot \bar{I}_p \pm \sigma_{xx} \cdot \sigma_p \cdot \sqrt{(\bar{I}_p - \bar{I}_{xx})^2 + (\sigma_p^2 - \sigma_{xx}^2) \cdot \ln \lambda_0 \cdot \left(\frac{\sigma_p^2}{\sigma_{xx}^2}\right)}}{\sigma_p^2 - \sigma_{xx}^2} \quad (7)$$

По терминологии теории статистических решений ошибка первого рода (вероятность ложной тревоги) может быть определена как

$$P_1 = \int_{I_0}^{\infty} f(I_{xx}) dI. \quad (3)$$

Ошибка второго рода (вероятность пропуска цели) определяется согласно выражению:

$$P_2 = \int_{-\infty}^{I_0} f(I_p) dI. \quad (4)$$

Соображения, которыми следует руководствоваться при выборе порогового значения  $I_0$ , должны учитывать потери при совершении ошибок первого и второго рода, а также потери правильных решений, если таковые имеются. Указанные потери образуют платежную матрицу вида

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где  $C_{11}$ ,  $C_{22}$  и  $C_{12}$ ,  $C_{21}$  – потери, соответственно связанные с правильными решениями и ошибками первого и второго рода.

Средний риск, связанный с правильным выбором порога и учетом совершения ошибок первого и второго рода, составляет:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= P(I_{xx}) \cdot C_{11} \cdot (1 - P_1) + \\ &P(I_{xx}) \cdot P_1 \cdot C_{12} + P(I_p) \cdot C_{22} \cdot (1 - P_2) + \\ &P(I_p) \cdot P_2 \cdot C_{21}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для определения минимального среднего риска  $R$  необходимо взять производную  $\frac{dR}{dI_0} = 0$  и приравнять к нулю. После ряда

преобразований получим выражение для порогового значения тока  $I_0$  (7), где:  $\bar{I}_{xx}$ ,  $\bar{I}_p$  – значения оценок математических ожиданий соответственно тока холостого хода и рабочего тока,  $\lambda_0$  – коэффициент правдоподобия определяемый по выражению:

$$\lambda_0 = \frac{P(I_{xx}) \cdot (C_{12} - C_{11})}{P(I_p) \cdot (C_{21} - C_{22})}. \quad (8)$$

Полученные расчетные соотношения позволяют выбрать величину порогового значения компаратора с учетом минимального значения среднего риска.

В частном случае, если принять потери, связанные с принятием правильных решений, равными нулю  $C_{11} = C_{22} = 0$ , при ошибках первого и второго рода, равными междусобой  $C_{12} = C_{21}$ , а также  $P(I_{xx}) = P(I_p)$  и соответственно  $\sigma_{xx} = \sigma_p$ , то величина порогового значения может быть рассчитана по выражению:

$$I_0 = \frac{(\bar{I}_{xx} + \bar{I}_p)}{2} \quad (9)$$

Полученное выражение (9) позволяет выбрать пороговое значение компаратора для практических случаев, связанных с изменяющимся значением порога срабатывания, в зависимости от величины напряжения, подаваемого для питания светофор-

ной лампы, т. е. адаптивных систем контроля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. — М.: Советское радио, 1968. — 504 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1964. — 575 с.
3. Коган Д. А., Молдавский М. М. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. — М.: Академкнига. — 2003. — 438 с. ●

## LIMIT OF CONTROL ACTUATION IN SWITCHING AND CONTROL UNITS OF DOUBLE-FILAMENT BULBS OF LIGHT RAIL SIGNALLING SYSTEM (PKU-M)

Zenkovich, Yury I. — Ph.D. (Tech), honoured inventor of Russia, associated professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

### ABSTRACT

The article deals with methods of determination of limit values of actuation of control block unit in microelectronic switching and controlling devices of color light signals. The author describes techniques to determine value of voltage or current that actuates comparator in threshold device of the circuit of digital processing of the signals in the units of control of light signals system's bulbs. Method of statistical decision-making on the basis of average risk criterion is used to obtain calculated formulas. The set of proposed methods can be used at manufacturing plants to adjust manufactured devices.

### ENGLISH SUMMARY

**Background.** Microelectronic switching and control units (Russian abbreviation — PKU) are used in devices of rail color light signaling of the systems of automatic block signaling and electric centralization. They are widely used especially for centralized systems of control of color light signals as they permit to reduce cable use and considerably limit volume of mounting work.

**Objectives.** While using switching and control units for switching and controlling of conditions of double-filament bulbs in light signals (pic. 1) it is necessary to determine the value of voltage or the value of current, leading to actuation of threshold comparator, which is a part of a circuit of digital processing of the signals of control units.

**Methods.** Determining of the threshold of actuation of comparator  $I_0$  is reduced to the known problem of statistical decision-making. It is necessary to determine how an unknown value of attribute  $f(I)$  should be classified.

**Results.** Fault-free or faulty state of filament of a bulb of a light signal is determined by the comparator which is connected to resistor  $R$  (pic. 1), through which the current flows and its value changes depending on the fact whether the filament is connected to signal transformer or is not. When the filament is disconnected, the current, flowing through resistor, is determined by input resistance of a cable line and by off-load resistance of signal transformer CT. The value of operating current  $I_p$  flowing through resistor  $R$  is a random value which depends on a set of random parameters of electric circuit. There are purely random values, resistance of filament of a bulb, basic parameters of a cable line, parameters of signal

transformers, other factors caused by operation features of light signaling.

So the bulb's operating current and off-load current, when the bulb is disconnected, flowing through resistor  $R$ , are functions of important number of random arguments, comparable by their dispersion. In that case it is possible to expect that random values (operative current  $I_p$  and off-load current  $I_{xx}$ ) are distributed according to normal law of distribution:

$$f(I_p) = \frac{1}{\sigma_p \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(I_p - U_H \cdot \bar{g})^2}{2 \cdot \sigma_p^2}} \quad (1)$$

$$f(I_{xx}) = \frac{1}{\sigma_{xx} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(I_{xx} - U_H \cdot \bar{g}_{xx})^2}{2 \cdot \sigma_{xx}^2}} \quad (2)$$

Expressions (1) and (2) are functions of density of distribution of random values of  $I_p$  and of  $I_{xx}$ , and  $g_p$  и  $g_{xx}$  show conductivity of resistance of transfer between power input and light signal bulb and input resistance of signal transformer in off-load mode. In both cases a resistance of a cable line between in-office and outside devices is taken into account when total resistance of transfer is counted.

There are two modes of operation of light signals within centralized control of signaling system.  $U_H$  has a day mode with nominal alternative current  $U_H = 220$  V, and night mode with  $U_H = 180$  V. When the value of threshold of comparator actuation is determined, one come across another problem related to determining this value under the conditions of statistical decision-making with known density of distribution of stochastic values  $f(I_p)$  and  $f(I_{xx})$ . Statistical decision-making under changing mode of light signals' operation (day and night) may cause errors of first and second kind. It is explained by the fact that values  $I_{xx}$  under day mode can coincide with operative current values under night mode  $I_p$ .

The area of cross-cut of functions of density of distribution (pic. 2) of  $f(I_{xx})$  and  $f(I_p)$  depends on the values of dispersion of random values; of resistance of a bulb in light signal; of a resistance of off-load mode of transformer etc.

As was mentioned above, determining of the threshold of actuation of comparator  $I_0$  is reduced to the known problem of statistical decision-making, where it is necessary to determine how an unknown value of attribute  $f(I)$  should be classified.

According to the terminology of statistical-decision theory error of the first kind (false alert) can be determined by expression (3). The error of the

