

УДК 621.384.8

В.В. Солдатов**МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ
ЗНАКОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ИНДИКАТОРОВ (ГЗСИ)**

Исследовались различные методы измерения параметров газоразрядных знаковосинтезирующих индикаторов (ГЗСИ) при различных режимах эксплуатации. Цель исследования – получение достоверных характеристик ГЗСИ (напряжения возникновения разряда, напряжения поддержания разряда, времени запаздывания возникновения разряда, яркости). Разработана математическая модель, и показаны методы измерения параметров ГЗСИ с требуемой погрешностью измерения. Результаты будут использованы при разработке новых типов ГЗСИ, работающих в широком диапазоне.

Ключевые слова: напряжение возникновения разряда, напряжение поддержания разряда, время запаздывания возникновения разряда, яркость, статистические методы измерения, погрешность, предельные значения параметра

Введение. Индикаторы матричного типа – набор элементов отображения, расположенных в едином газовом объеме. В идеальном случае свойства материалов и размеры элементов не отличаются от ячейки к ячейке. В опытных образцах и серийных партиях приборов эти условия не соблюдаются, т.к. существуют неизбежный разброс размеров в пределах поля допусков и различия физико-химических свойств поверхностей электродов. Неоднородности и поверхностные дефекты электродов приводят к разбросу значений работы выхода катодных участков элементов отображения. Существует предположение [1–3] о неравномерности распределения плотности тока по поверхности катода вследствие “пятнистости” его эмиссионных свойств из-за диэлектрических окисных пленок, шероховатостей и выступов покрытия. В результате происходят статистический разброс и отклонение таких характеристик, как напряжение возникновения разряда $U_{В.Р.}$, напряжение поддержания разряда $U_{П.Р.}$, напряжение прекращения разряда, времени запаздывания разряда $\tau_{зап.р.}$, яркости свечения ячейки $L_{яч.}$.

Цель работы состоит в том, чтобы разработать алгоритм измерения основных параметров серийных партий приборов ГЗСИ и максимально ускорить и автоматизировать процесс получения данных с требуемой погрешностью.

Теоретические исследования. Параметр совокупности множества элементов характеризуется функцией распределения, его среднеарифметическим значением и среднеквадратичным отклонением, предельными значениями параметра. В ряде случаев используются и другие характеристики совокупности – мода распреде-

ления, среднеквадратичное отклонение среднего значения. Индикаторы матричного типа могут содержать десятки и сотни тысяч световых элементов, и испытание каждой ячейки для нахождения функции распределения представляет большие трудности, особенно в режиме одиночного включения элементов. Целесообразно применить выборочную систему контроля, которая опирается на теорему Чебышева [4] и состоит в установлении обобщенных характеристик совокупности путем наблюдения не всех, а только части составляющих ее элементов, взятых на основе случайного отбора. При этом объем выборки n , необходимый для получения требуемой точности нахождения определяемого параметра распределения заданной величины, например напряжения $U_{В.Р.}$, при выбранной степени уверенности не зависит от размера совокупности N , из которой берется выборка при условии, что $n \leq 0,1N$. Это свойство дает наибольший эффект при нахождении параметров индикаторов с предельно большим числом элементов. Количество элементов выборки определяется [5] по формуле:

$$n = \left(\frac{k\sigma'}{\varepsilon X'} \right)^2, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от вероятности P нахождения среднеарифметической величины параметра в заданном интервале;

$\overline{X'}$ – среднеарифметическое значение параметра;

ε – допустимая ошибка измерения;

σ' – среднее квадратичное отклонение.

Величины ε и P задаются исследователем.

Выборка n зависит от $\overline{X'}$ и σ' , которые заранее неизвестны. Для их определения берут случайную выборку (допустим – 100 замеров). Определяем:

$$X' = \overline{x_d} + c \left(\frac{f_d}{n} \right), \quad (2),$$

где $\overline{x_d}$ – среднее значение параметра в предполагаемом среднем интервале;

c – величина интервала;

f – частота наблюдений нахождения параметра в данном интервале;

d – отклонение данного интервала от среднего.

По значениям $\overline{X'}$ и σ' с помощью формулы (1) определяют количество элементов выборки для контроля параметра. После определения объема выборки намечают ячейки для отображения контроля. Для попадания каждого из элементов в равновероятную выборку используют генератор случайных чисел. Объем выборки существенно возрастает при увеличении точности. Напряжение возникновения разряда $U_{B.P.}$ может определяться в статическом и динамическом режимах. Все измерения параметров должны производиться согласно нормативным документам [6, 7]. В динамическом режиме напряжение $U_{B.P.}$ больше, чем в статическом. Оно зависит от условий работы индикатора (длительности импульса, частоты регенерации, уровня внешней освещенности). Измерение напряжения $U_{B.P.}$ в динамическом режиме можно осуществлять подсчетом числа переходов ячеек в проводящее состояние при заданном напряжении [8]. Время запаздывания $\tau_{зап.р}$ содержит две составляющие: время формирования разряда и время статистического запаздывания [9]. Время $\tau_{зап.р}$ равно интервалу времени от момента подачи напряжения на ячейку до момента появления тока через нее. На величину $\tau_{зап.р}$ оказывают влияние: состав и давление наполняющего газа, материала катода, а также уровень внешней освещенности, частота регенерации, величина напряжения, подаваемого на ячейку. Измерение времени $\tau_{зап.р}$ может осуществляться одним из способов измерения временных интервалов [10].

Напряжение поддержания разряда $U_{П.Р.}$ зависит от работы выхода катода, состава и давления наполняющего газа, наличия плазменных частей разряда и отличается в статическом и динамиче-

ском режимах [9]. Для разработчиков ГЗСИ наибольший интерес представляет напряжение $U_{П.Р.}$ в динамическом режиме. При этом необходимо учитывать, что напряжение $U_{П.Р.}$ после перехода в проводящее состояние уменьшается с течением времени. Поэтому измерение напряжения $U_{П.Р.}$ необходимо проводить после перехода ячейки в проводящее состояние через определенный интервал времени, достаточный для установления напряжения поддержания. Анализ работ по исследованию влияния режимных и внешних факторов на параметры ГЗСИ [8, 11, 12, 13] показывает, что наиболее сильно влияют напряжение $U_{ин.}$ питания ГЗСИ, частота регенерации f_p , внешняя освещенность E , условия взаимоионизации и самоподготовки ячеек. Самоподготовка и взаимоионизация ячеек существенно зависят от вида выводимой на ГЗСИ информации. Для оценки воздействия конструктивных факторов на параметры ГЗСИ целесообразно исключить влияние взаимоионизации и самоподготовки ячеек. Это можно обеспечить, если исследуемые ячейки ГЗСИ находятся на значительном расстоянии друг от друга (не менее 10 ячеек по аноду и катоду). Кроме того, подключение исследуемых ячеек должно проводиться через значительный интервал времени, как минимум, превышающий время деионизации ячеек. Поэтому в качестве стабилизирующих воздействий выбираем напряжение питания $U_{ин.}$, частоту регенерации, внешнюю освещенность E , длительность анодного импульса t_a . Для получения результатов исследования с заданной точностью необходимо определить требуемый объем выборки. Решение этого вопроса зависит от распределения выборочных значений, их автокоррелированности, заданного уровня значимости и от статистики, точность которой будет оцениваться. Обычно предполагают, что измеряемые параметры независимы и нормально распределены. Это предположение основано на применении центральной предельной теоремы теории вероятности. Для оценки параметров берут среднее значение дисперсии или среднеквадратичные отклонения. В условиях применимости центральной предельной теоремы и отсутствии автокорреляции мы можем использовать для определения объема выборки, необходимой для оценивания параметров с заданной точностью, метод доверительных интервалов. Если оценивание проводить по среднему значению совокупности $\overline{X'}$ и истинного значения m , то:

$$P \{m-d \leq \bar{X} \leq m+d\} = 1-\alpha \quad (3)$$

где \bar{X} – выборочное среднее, α – степень достоверности, $1-\alpha$ – вероятность, что интервал $(m \pm d)$ содержит \bar{X} . В предположении нормальности распределения выборочных значений можно показать:

$$n = \left(\frac{\sigma \cdot z^2}{\alpha^2} \right). \quad (4)$$

Методика и алгоритм измерения основных параметров ГЗСИ. Случайная погрешность измерения $U_{П.Р.}$ зависит от нестабильности блока источника питания +5В, управляющего работой схемы сдвига уровня входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП), и нестабильности источника опорного напряжения АЦП. На рисунке 1 приведены временные диаграммы подачи напряжения на ячейки m -го катода ГЗСИ и различные варианты перехода ячеек i -й и j -й в проводящее состояние. Интервал времени $(t_5 - t_3)$ выбирается равным времени установления напряжения поддержания разряда, а $(t_6 - t_5)$ – времени измерения напряжения поддержания разряда. При переходе в момент времени t_2 i -й ячейки в проводящее состояние время запаздывания возникновения разряда $\tau_{ЗАП.Р.i}$ равно интервалу времени $(t_2 - t_1)$, а измерение напряжения поддержания разряда осуществляется в момент времени t_3 . Если ячейки переходят в проводящее состояние после момента времени t_3 , то считается, что ячейка не перешла в проводящее состояние. Так при переходе в проводящее состояние в момент времени t_6 j -й ячейки, принимаем, что эта ячейка не перешла в проводящее состояние.

Математическое ожидание времени запаздывания возникновения разряда $\tau_{ЗАП.Р}$ и напряжения поддержания разряда определяем:

$$\tau_{ЗАП.Р} = \sum_{i=1}^{N_{nep}} \left(\frac{\tau_{зан.i}}{N_{nep}} \right) \quad (5)$$

$$\bar{U}_{П.Р.} = \sum_{i=1}^{N_{nep}} \left(\frac{U_{П.Р.i}}{N_{nep}} \right) \quad (6)$$

и среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_{зан.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{nep}} (\tau_{зан.i} - \bar{\tau}_{зан.})^2}{N_{nep} - 1}} \quad (7)$$

$$\sigma_{под.р.} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{nep}} (U_{под.р.i} - \bar{U}_{под.р.})^2}{N_{nep} - 1}}, \quad (8)$$

где $N_{nep.}$ – количество ячеек, перешедших в проводящее состояние.

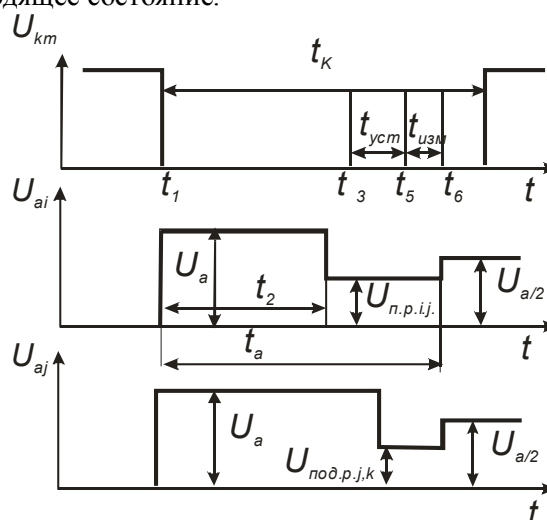


Рисунок 1 – Временные диаграммы подачи напряжения на электроды ГЗСИ

Для полученных значений времени запаздывания возникновения разряда $\tau_{ЗАП.Р}$ и напряжения поддержания разряда $U_{П.Р.}$ определялись минимальны $\tau_{ЗАП.Р.мин}$ и $U_{П.Р.мин}$, максимальны $\tau_{ЗАП.Р.мах}$ и $U_{П.Р.мах}$ значения. Диапазон значений от минимального до максимального разбивается на интервалы, и подсчитывается число значений параметра в каждом интервале. На основании полученных значений строится гистограмма распределения времени запаздывания возникновения разряда и напряжения поддержания разряда. Время запаздывания возникновения разряда $\tau_{ЗАП.Р}$ индикаторов существенно зависит от значений перенапряжения и частоты регенерации. При частоте регенерации 50 Гц и перенапряжении порядка 80 % среднее значение времени запаздывания составляет около 75 мкс. Среднее квадратичное отклонение равно 25 мкс. В этом случае число исследований равно 167. При проведении исследований индикаторов в широком диапазоне питающих напряжений коэффициент перенапряжения уменьшается и соответственно возрастает среднее значение времени запаздывания, а среднее квадратичное отклонение практически не изменяется. Учитывая некоторую неопределенность в значениях и отклонениях измеряемых параметров индикатора, выберем число измерений значительно большим и равным 2000. Известно несколько подходов к размещению исследуемых ячеек по полю ГЗСИ. В [8] предложено для выбора необходимых ячеек генерировать случайные числа с равномерным законом распределения. Однако расположение элементов может быть таким, что иссле-

двумя ячейки будут расположены рядом. В этом случае параметры ячеек будут подвержены взаимовлиянию. Поэтому используют систематические методы отбора элементов при равномерном расположении их по полю ГЗСИ [14]. С учетом этого выберем для исследования 20 ячеек, распределив их по две ячейки в 10 строках (анодах). Для исключения взаимовлияния ячеек отроки с исследуемыми ячейками расположим равномерно, а расстояние между ячейками в отроке выберем не менее 10 ячеек. Вариант расположения исследуемых ячеек приведен на рисунке 2. Число исследований каждой ячейки проводится 100 раз. Это позволяет получить по 2000 значений напряжения поддержания разряда $U_{П.Р.}$ и времени запаздывания возникновения разряда $\tau_{ЗАП.Р}$ при каждом значении напряжения питания анодных и катодных ключей.

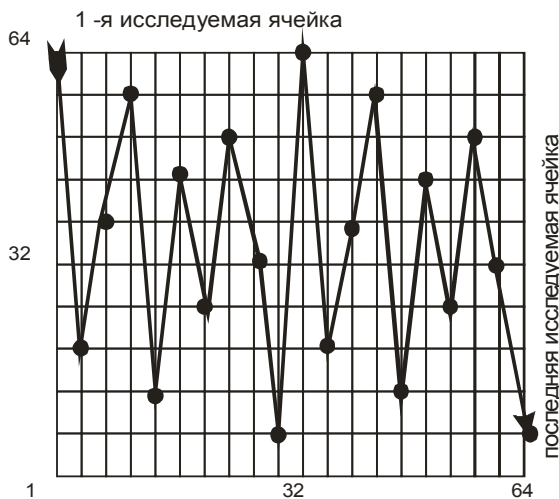


Рисунок 2 – Расположение исследуемых ячеек по полю ГЗСИ

Погрешности измерения параметров ГЗСИ зависят от систематических погрешностей методов измерения параметров и от точности установления амплитуды и длительности импульсов развертки. Период следования импульсов, подаваемых на ячейки ГЗСИ, и их длительность зависят от точности задающего генератора и определяются типом прибора (допустим 0,5%). Точность установки амплитуды импульсов анодной развертки определяется нестабильностью выходного напряжения блока ступенчатого напряжения, подаваемого на исследуемые ячейки (предположим, 3,3%). Напряжение на выходах катодных ключей в открытом состоянии не превышает 1 В. Систематическая погрешность измерения времени запаздывания $\tau_{ЗАП.Р}$ равна:

$$\Delta\tau_{зап.} = \frac{T + \tau_k}{\tau_{зап.мин.}} \cdot 100\% = 3.1\%, \quad (9)$$

где $T=0.8$ мкс – период следования импульсов, используемых для измерения $\tau_{ЗАП.Р}$; $\tau_k=0,13$ мкс – быстродействие компаратора; $\tau_{зап.мин.}$ – минимальное время запаздывания возникновения разряда. При увеличении $\tau_{ЗАП.Р}$ погрешность его измерения уменьшается. Систематическая погрешность измерения напряжения поддержания разряда равна:

$$\Delta U_{под.р.} = \frac{\Delta U_{кв}}{U_{под.р.мин}} = 3.1\%, \quad (10)$$

где $\Delta U_{кв}=2$ В – дискретность измерения $U_{под.р.}$. АЦП; $U_{под.р.мин}$ – минимальное напряжение поддержания разряда, измеряемое АЦП. Случайная погрешность измерения $U_{под.р.}$ зависит от нестабильности блока источника питания +5 В, управляющего работой схемы сдвига уровня входного сигнала АЦП, и нестабильности источника опорного напряжения АЦП [15]. Нестабильность выходного напряжения схемы сдвига уровня в блоке измерения параметров составляет 0,5% от уровня выходного напряжения 1,024 В или 5,12 мВ, что меньше половины шага квантования АЦП, и не влияет на точность измерения $U_{под.р.}$. Нестабильность источника опорного напряжения источника АЦП должна составлять не более 0,3%, в противном случае увеличивается погрешность измерения $U_{под.р.}$. К основным характеристикам любого индикатора относятся яркость свечения и неравномерность яркости. Яркость индикатора при равенстве площадей ячеек определяется как среднеарифметическое значение яркостей всех ячеек:

$$\bar{L}(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{я.i}, \quad (11)$$

где $L_{я.i}$ – истинная яркость i-й ячейки, без учета погрешностей измерения, N – количество ячеек. Истинная неравномерность яркости определяется [16] двумя параметрами:

$$H^+(N) = \frac{L_{я.макс}(N) - \bar{L}(N)}{\bar{L}(N)} = \frac{L_{я.макс}}{\bar{L}(N)} - 1; \quad (12)$$

$$H^-(N) = \frac{L_{я.min}(N) - \bar{L}(N)}{\bar{L}(N)} = \frac{L_{я.min}}{\bar{L}(N)} - 1, \quad (13)$$

где $L_{я.max}(N)$ и $L_{я.min}(N)$ – соответственно наибольшая и наименьшая истинные яркости ячеек индикатора с общим количеством N . Для расчета относительных погрешностей оценок параметров неравномерности яркости индикатора и сравнения их с заданным значением относительной погрешности оценки γ_0 использовать традиционное соотношение

$$\varepsilon^\pm(N) = \left| \frac{H_{я}^\pm(N) - H^\pm(N)}{H^\pm(N)} \right| \leq \varepsilon_0 \quad (14)$$

нужно осторожно, при $H^\pm(N) \cong 0$ оно не имеет смысла, при этом относительная погрешность (14) может достигать больших значений. На практике можно использовать для расчета относительной погрешности оценок параметров неравномерности следующее соотношение

$$\varepsilon^\pm(N) = \left| \frac{H_{я}^\pm(N) - H^\pm(N)}{H_{я}^\pm(N)} \right| \leq \varepsilon_0, \quad (15)$$

где $H^\pm(N)$ – истинная неравномерность яркости индикатора, $H_{я}^\pm(N)$ – истинная неравномерность яркости ячейки.

В заключение приведем примерную схему расчетной основы методики определения объема выборки при контроле неравномерности яркости индикатора.

1. Определяется предельная относительная погрешность измерения яркости элементов отображения.

2. Задаются относительная погрешность ε_0 определения неравномерности яркости индикатора $H^\pm(N)$ и доверительная вероятность (обычно $P = 0,95$).

3. По закону случайных чисел организуется ряд выборок ($n_1 \leq n_2 < n_3 < \dots$) – элементов отображения (минимальное число выборок – 3; чем больше ряд выборок, тем точнее расчет искомого объема n). Выборка ячеек большего объема может включать выборку меньшего объема.

4. В каждой ячейке первой выборки ($n=n_1$) трижды измеряется яркость и определяется среднее значение $L_{я.i}$.

5. Вычисляются приближенные неравномерности яркости индикатора по формулам:

$$H^+(n) = \frac{L_{я.max}(n) - \bar{L}(n)}{\bar{L}(n)}; \quad (16)$$

$$H^-(n) = \frac{L_{я.min}(n) - \bar{L}(n)}{\bar{L}(n)}, \quad (17)$$

где $\bar{L}(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_{я.i}$.

Заключение. Проведены теоретические исследования, и разработаны методика и алгоритм проведения измерений основных параметров ГЗСИ – напряжения возникновения разряда $U_{в.р.}$, напряжения поддержания разряда $U_{п.р.}$, напряжения прекращения разряда, времени запаздывания разряда $\tau_{зап.р.}$, яркости свечения ячейки $L_{яч.}$, истинной неравномерности яркости индикатора $H^\pm(N)$, истинной неравномерности яркости ячейки $H_{я}^\pm(N)$ с требуемой относительной погрешностью, определены число исследуемых ячеек и алгоритм их размещения по полю ГЗСИ.

Библиографический список

1. Чистяков П.Н. Зависимость нормальных катодных падений потенциала $U_{кн}$ в инертных газах от различных факторов/ сборник Физическая электроника; под. ред. П.Н. Чистякова. – М.: Атомиздат, 1966. Вып. 3. – С. 4, 10.
2. Ананьин В.С. и др. Некоторые физические процессы, происходящие при тренировке / В.С. Ананьин, А.М. Белки, А.М. Гусев. Электронная техника. Сер. 4 Электровакуумные и газоразрядные приборы: Науч.-техн. сб. / ЦНИИ "Электроника". – 1974. – Вып. 6. – С. 65–68.
3. Милованова Р.Л. Исследование работы выхода поверхности металлов в инертных средах: Дис. канд. техн. наук. – М.: МИФИ, 1969.
4. Длин А.М. Математическая статистика в технике. – М.: Сов. наука, 1958. – 466 с.
5. Бертан Л. Хенсон. Контроль качества. Теория и применение. – М.: Прогресс, 1968. – 414 с.
6. ГОСТ Р 50446-92.
7. ГОСТ 25024.6-8В.
8. Лаврентьев С.И., Шестеркин А.Н. Устройство для определения плотностей распределения времени запаздывания зажигания моментов отображения газоразрядных индикаторов // Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы. – 1983. № 4. – С. 76–77.
9. Страхов А.Ф. Автоматизированные измерительные комплексы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.

10. *Мирский Г.Я.* Электровакуумные измерения. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 440.

11. *Доронин В.Г., Покрываило А.Б., Сорокина Н.В.* Расчет наработки до отказа газоразрядных индикаторов при различных режимах форсированных испытаний // *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы.* – 1990. Вып. 4 (131). – С. 34–42.

12. *Журавлев С.Н., Ивлюшкин А.Н., Пожарский В.А. и др.* Исследование многостолбового режима горения элементов отображения ГЗСИ с положительным столбом // *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы: науч.-техн. сб. / ЦНИИ "Электроника".* – 1989. – Вып. 3 (126). – С. 29–32.

13. *Азаров А.А., Пикуленко В.С., Пожарский В.А. и др.* Вольт-амперная характеристика слабоаномаль-

ного тлеющего разряда // *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы: Науч.-техн. сб. / ЦНИИ "Электроника".* – 1985. – Вып. 5 (110). – С. 57–59.

14. *Лаврентьев С.И., Орлов Ю.И., Шестеркин А.Н.* Анализ способов отбора элементов для объективного контроля параметров дискретных матричных индикаторов // *Электронная техника. Сер. 4. Электровакуумные и газоразрядные приборы.* – 1987. – № 4. – С. 51–58.

15. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров / *А.К. Марцинкявичус, Э.К. Багданскис, Р.Л. Пошюнас и др.* – М.: Радио и связь, 1988. – 224 с.

16. ГОСТ 25024.0-83.