

Подситкин К.С.

студент

Научный руководитель: Аверченков О.Е., к.т.н

Филиал НИУ МЭИ в г. Смоленске

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРОВ ПУТЁМ ДУБЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛОВ

Аннотация: Резервирование наиболее нагруженных функциональных узлов в приборах газоаналитической промышленности позволяет добиться существенного роста надёжности. В качестве характеристики надёжности предложено использовать вероятность безотказной работы, которая рассчитывается для узлов с резервированием и без него. Предложенный подход позволяет наглядно оценить повышение надёжности.

Ключевые слова: повышение надёжности, вероятность безотказной работы, резервирование.

Podsitkin K.S.

student

Scientific supervisor: Averchenkov O.E., k.t.s

Smolensk branch of NRU MPEI

INCREASING THE RELIABILITY OF GAS ANALYZERS BY DUPLICATING FUNCTIONAL NODES

Аннотация: Redundancy of the most loaded functional units in devices of gas-analytical industry allows to achieve significant increase of reliability. As a reliability characteristic it is proposed to use the probability of failure-free operation, which is calculated for nodes with and without redundancy. The proposed approach makes it possible to clearly assess the increase in reliability.

Keywords: increasing the reliability, probability of failure-free operation, redundancy.

В промышленности на настоящий момент широкое распространение получили газоанализаторы. Они применяются на нефтеперерабатывающих заводах, металлургических и химических производствах, в атомной промышленности и во многих других сферах для обеспечения охраны жизни и труда персонала. Из-за этого важно, чтобы надёжность приборов для газового анализа была как можно более высокой.

Одной из проблем газоаналитических приборов является выход из строя отдельных узлов, таких как токовые выходы и реле. Токовый выход в газоанализаторах используется практически повсеместно: обычно применяются уровни сигналов 0-5 мА или 4-20 мА, при этом эти сигналы формируются постоянно, то есть этот узел нагружен на протяжении всего срока эксплуатации прибора. Реле широко используются в газоаналитической технике для коммутации цепей. Ввиду частых срабатываний, эти элементы так же относительно быстро выходят из строя. По этой причине необходимо каким-то образом повысить надёжность работы этих узлов.

Одним из способов повышения надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), является резервирование, то есть дублирование отдельных модулей или элементов устройства. Резервирование предполагает включение в схему устройства дополнительных элементов, которые позволяют скомпенсировать отказы отдельных частей устройств и обеспечить его надёжную работу. Но резервирование эффективно только в том случае, когда неисправности являются статистически независимыми. Различают следующие виды резервирования: постоянное (резервные элементы включены вместе с основным и функционируют в тех же режимах); резервирование замещением (обнаружение отказавшего элемента и замена его резервным); скользящее резервирование (любой резервный элемент может замещать любой отказавший) [1]. Наиболее

удобным методом для применения в современных газоанализаторах является именно резервирование замещением, так как обнаружить отказавший элемент с помощью встроенного в прибор микропроцессора не представляет труда. При этом управлять пуском и отключением резервных или вышедших из строя систем с помощью встроенного контроллера достаточно просто. На рисунке 1 приведена функциональная схема резервирования токового выхода газоанализатора, как одного из самых нагруженных узлов всей системы.



Рисунок 1 – Резервирование токового выхода газоанализатора

Для контроля работы данной схемы с помощью микроконтроллера используется 3 вывода: CONTR_I_OSN, CONTR_I_REZ, CONTR_Iout. Проводится анализ сигнала на выводе CONTR_Iout, при неправильном значении этого сигнала проводится анализ вывода CONTR_I_OSN. Если есть ошибка сигнала и на данном выводе, то происходит переключение на резервную схему. А для управления включением резервного узла и отключения вышедшего из строя основного ещё 2 вывода: I_OSN_ON/OFF и I_REZ_ON/OFF. В данном случае важно иметь возможность отключить вышедший из строя функциональный узел, так как при неисправности токовый сигнал на выходе будет некорректен: ток в неисправном узле не обязательно станет равен нулю, в то время как будет запущен резервный

узел, таким образом, по 1 закону Кирхгофа, сигнал на выходе будет равен сумме тока из нерабочего и рабочего сегментов. В состав основного токового выхода включены: 15 резисторов серии R1-12, 6 конденсаторов серии K10-73, двунаправленное реле с одной парой контактов K293КП1АТ, два полевых транзистора (КП505А и КП769В), один биполярный транзистор КТ3130А9, две диодные сборки КД704АС9 и одну сборку КД707АС9, один операционный усилитель К1464УД1АТ. В состав резервного узла входят аналогичные компоненты.

Алгоритм для оценки правильности работы токового выхода показан на рисунке 2:

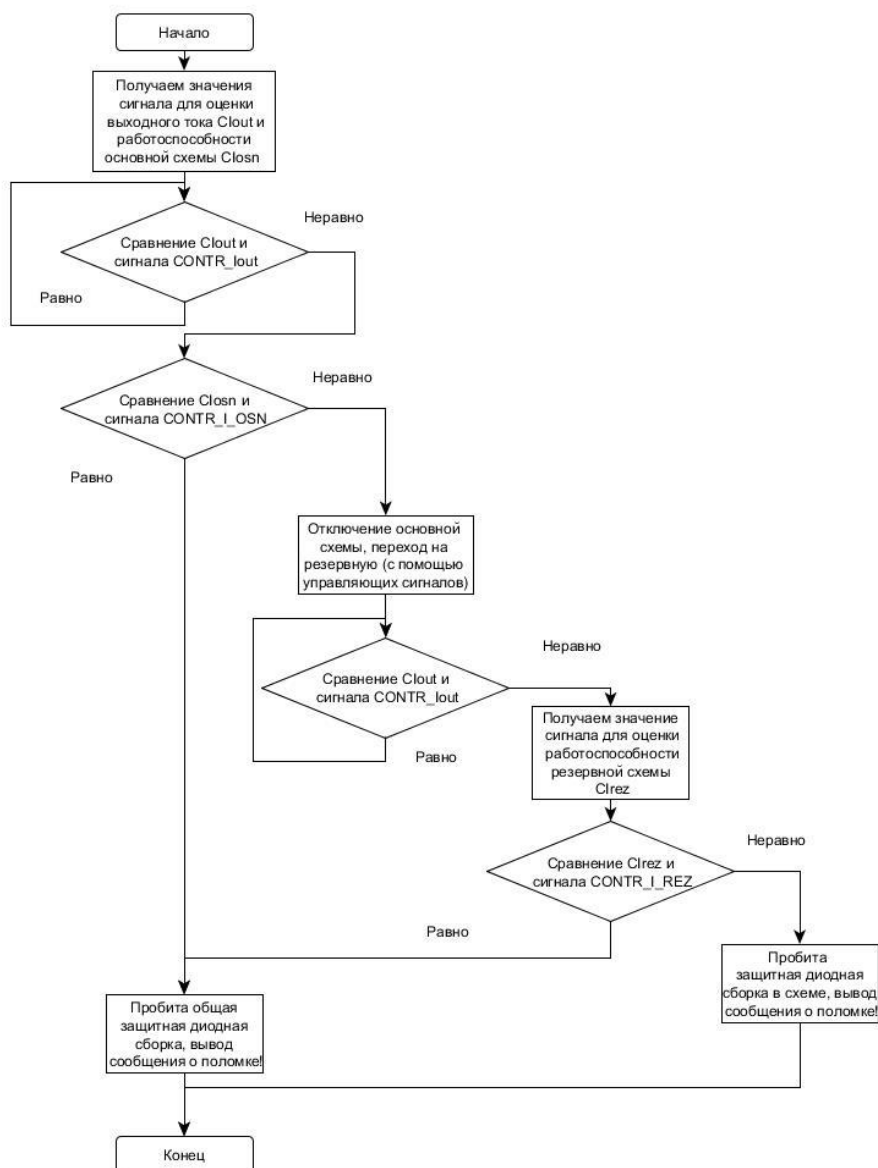


Рисунок 2 – Алгоритм анализа состояния токового выхода

Так же рассмотрим резервирование узла коммутации с реле, что представлено на рисунке 3:

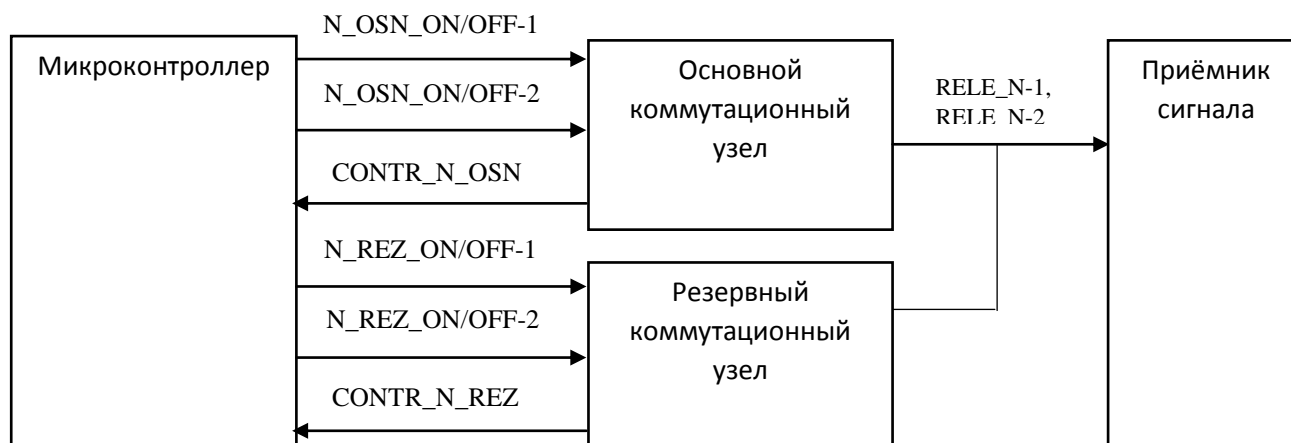


Рисунок 3 – Коммутационный узел

Здесь так же предусмотрено подключение резервного узла при выходе из строя основной цепи, как и в предыдущей схеме с помощью выводов N_OSN_ON/OFF-1 и N_OSN_ON/OFF-2, N_REZ_ON/OFF-1 и N_REZ_ON/OFF-2. Анализ неисправности производится контролем выводов CONTR_N_OSN и CONTR_N_REZ. В схеме основного узла применяются: 11 резисторов серии P1-12, двунаправленное реле с одной парой контактов К293КП1АТ, два биполярных транзистора КТ3130А9, твердотельное реле 5П19.10П1-1-6-А1, один конденсатор серии К73-11. Резервная схема имеет такой же компонентный состав. Алгоритм анализа работоспособности узла аналогичен приведённому выше.

Был проведён расчёт вероятности безотказной работы приведённых схем и схем без резервирования и сравним их. Вероятность безотказной работы $P(t)$ функциональных узлов, приборов и систем в течение периода эксплуатации рассчитывается по формуле [2]:

$$P(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t}, \quad (1)$$

где λ_0 – интенсивность отказов модуля, t – период эксплуатации прибора.

Для расчёта интенсивности отказов модуля необходимо задаться температурой окружающей среды, при этом, чем выше будет температура, тем выше будет интенсивность отказов. Для подавляющего большинства газоанализаторов температурный режим эксплуатации от 18 до 25 °С, поэтому для расчёта зададимся верхней границей диапазона. В качестве времени для расчёта зададимся показателем $t = 50000$ часов, так как многие газоанализаторы рассчитаны именно на этот срок эксплуатации. Помимо этого, требуются параметры элементов, входящих в состав узла: сопротивление, ёмкость, технология изготовления и многие другие.

Значения интенсивности отказов, для большинства групп ЭРИ рассчитываются по математическим моделям, которые имеют вид [3]:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{б}} * \prod_{i=1}^I K_i, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{б}}$ – базовая интенсивность отказов ЭРИ, K_i – эксплуатационные коэффициенты, I – число учитываемых факторов.

Например, для расчёта интенсивности отказов конденсатора используется формула:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 * K_{\text{э}} * K_{\text{р}} * K_{\text{с}}, \quad (3)$$

где λ_0 – интенсивность отказов при $T = 25$ °С, $K_{\text{э}}$ – коэффициент, зависящий от условий эксплуатации, $K_{\text{р}}$ – коэффициент режима, $K_{\text{с}}$ – коэффициент, зависящий от номинальной ёмкости.

Для диодов и биполярных транзисторов формула имеет вид [2]:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_0 * K_{\text{р}} * K_{\text{ф}} * K_{\text{дн}} * K_{\text{с1}} * K_{\text{э}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий функциональное назначение элемента, $K_{\text{дн}}$ – коэффициент, зависящий от рассеиваемой мощности, $K_{\text{с1}}$ – коэффициент, зависящий от рабочего напряжения.

Так как для разных элементов интенсивность отказов зависит от специфичных параметров, поэтому расчёт был проведён в автоматизированной системе расчёта надёжности (АСРН 2006), что вводит некоторые ограничения [3]:

- Отказы ЭРИ являются случайными независимыми событиями;
- Интенсивность отказов ЭРИ сохраняет постоянное значение в течение всего срока эксплуатации.

Плюсом при работе с этой программной средой является связь с существующими библиотеками компонентов [4], простой интерфейс и доступность в сети Интернет. Её работа основана на теоретических и практических исследованиях в области расчёта надёжности, а результаты калькуляции значений совпадают с результатами расчёта вручную.

Существуют и другие системы расчёта надёжности, например, Relex и Risk Spectrum, однако это мощные решения, которые поддерживают и логический анализ при расчёте надёжности, ввиду чего доступны только для крупных компаний, ввиду своей стоимости [5]. Но на их фоне АСРН-2006 выглядит более подходящим решением для расчёта надёжности относительно простых систем, в составе которых не задействованы тысячи элементов.

Электронные компоненты в программном продукте разделены на группы. Расчёт результатов производится путем введения необходимых данных, которые запрашивает программа, для каждого элемента. Эти данные используются в формулах, построенных, в основном, с помощью математической модели 2. Так, для конденсаторов необходимо выбрать тип (оксидные, керамические и тд.), рабочее напряжение, максимально допустимое напряжение, температуру работы, ёмкость. При этом, некоторые постоянные коэффициенты, которые зависят от физической структуры компонента, занесены в базу и определяются автоматически. Нужно отметить, что АСРН не включает средств анализа полученных

результатов, эта задача ложится на оператора системы [6]. После ввода необходимых данных для всех элементов можно производить расчёт, результаты которого приведены в таблице 1:

Таблица 1 – Результаты расчёта интенсивности отказа схем

Наименование и обозначение функционального узла	$\lambda_{э}, 1/ч$
Схема токового вывода с резервированием	$9,869 \cdot 10^{-7}$
Схема токового вывода без резервирования	$19,316 \cdot 10^{-7}$
Разница	$9,477 \cdot 10^{-7}$
Схема коммутационного узла с резервированием	$5,122 \cdot 10^{-7}$
Схема коммутационного узла без резервирования	$9,897 \cdot 10^{-7}$
Разница	$4,775 \cdot 10^{-7}$

Исходя из полученных данных была рассчитана вероятность безотказной работы схем по формуле 2, результаты представлены в таблице 2:

Таблица 2 – Результаты расчёта вероятности безотказной работы схем

Наименование и обозначение функционального узла	P(t)
Схема с резервированием	0,952
Схема без резервирования	0,908
Разница	0,044
Схема коммутационного узла с резервированием	0,975
Схема коммутационного узла без резервирования	0,952
Разница	0,023

Таким образом, было получено, что резервирование функционального узла (токового выхода) снижает вероятность выхода его из строя на 4,4%. При сроке эксплуатации 50000 часов это означает существенное повышение надёжности этого функционального узла газоанализатора. При резервировании коммутационного узла вероятность его безотказной работы вырастет на 2,3%. Применив такой подход к

другим модулям, например, к измерительной цепи, цепи питания и т.д. можно добиться существенного прироста вероятности безотказной работы прибора.

Использованные источники:

1. Жаднов В. В. Учёт влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентной базы / В. В. Жаднов. – Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2016, том 1.
2. Надёжность электрорадиоизделий, 2006: справочник / С.Ф. Пытков [и др.] – М.: ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ», 2008. – 641 с.
3. Килибаева, Ж. К. Анализ отказов и надёжности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / Ж. К. Килибаева. —Молодой ученый. — 2015. — № 8.1 (67.1). — С. 13-16.
4. Стюхин В. В., Кочегаров И. И., Трусов В. А. САПР в расчёте и оценке надёжности радиотехнических систем / Стюхин В. В., Кочегаров И. И., Трусов В. А. – Труды международного симпозиума «Надёжность и качество». – 2013
5. Строганов А.Н., Жаднов В. В., Полесский С.Н. Обзор комплексов по расчёту надёжности сложных технических систем – М.: Компоненты и технологии. – 2007.
6. Смирнов Н. В. Метод анализа результатов расчёта надёжности РЭА и ЭРИ / Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2008. – 5с.