УДК 681.5.09

Повышение надежности электронных элементов на основе объемного резервирования

Improving the reliability of electronic elements based on volumetric redundancy

Смагин / Smagin V.
Владимир Александрович
(va_smagin@mail.ru)
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ.
ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
профессор кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники.
г. Санкт-Петербург

Бубнов / Bubnov V.
Владимир Петрович
(bubnov1950@yandex.ru)
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «Петербургский государственный
университет путей сообщения Императора
Александра I» (ПГУПС),
профессор кафедры информационных
и вычислительных систем.
г. Санкт-Петербург

Забродин / Zabrodin A.
Андрей Владимирович
(teach-case@yandex.ru)
кандидат исторических наук.
ПГУПС, доцент кафедры информационных
и вычислительных систем.
г. Санкт-Петербург

Бараусов / Barausov D.
Даниил Викторович
(daniil_bara95@mail.ru)
ПГУПС, аспирант кафедры информационных
и вычислительных систем.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: избыточность – redundancy; элемент с самовосстановлением свойств – an element with self-healing properties; мостик Шеннона – a Shannon bridge; куб и тетраэдр из элементов Шеннона – a cube and a tetrahedron of Shannon elements; вероятность работоспособности – the probability of operability; грубый показатель оценивания – величина ресурса надёжности структуры Седякина – a rough evaluation indicator – the value of the reliability resource of the structure Sedyakina; принципы построения вниз и вверх – the principles of construction down and up.

В статье выполнено дальнейшее изучение мостика Шеннона с позиций теории вероятностей. Предложено построение примеров некоторых более сложных мостиковых структур элементов. Они могут быть основой для построения более сложных систем с большим количеством состояний. В условиях развития нанотехнологий применимы принципы построения систем вниз и вверх.

In article the further studying of bridge Shennon`s from probability theory positions is executed. Construction of examples of some more difficult the bridge structures of elements is offered. They can be a basis for construction of more difficult systems with a considerable quantity of conditions. In the conditions of development nanotechnologies principles of construction of systems downwards and upwards are applicable.

Введение

Необходимость построения высоконадежных электронных элементов, входящих в контур управления подвижных объектов, обладающих возможностью самовосстановления и совмещающих свойства надежности и контроля.

Целью статьи является углубленное исследование свойств известной аппаратной избыточности. Мы хотим представить ее в виде мостика Шеннона, который характерен тем, что содержит 5-й не нагруженный элемент. Если один из 4 основных элементов подвергается повреждению, то 5-й элемент берет на себя часть энергетической нагрузки. [1, 2]. В первую очередь нас будут интересовать примеры избыточности, способной самой восстанавливаться при отказах её отдельных элементов. Одним из первых примеров такой избыточности, на наш взгляд, является мостик Шеннона [3] при разработке теории информации. Этот элемент характерен тем, что он содержит пятый ненагруженный элемент. При отказе одного из основных четырёх величин элементов включается автоматически этот диагонально распложенный элемент, беря на себя часть энергетической нагрузки, помогая другим элементам снизить её величину. Известно, что элементы могут отказывать по причинам их обрыва или короткого

замыкания, приводя к различным функциональным или параметрическим свойствам весь мостик [4]. На рис. 1 представлена принципиальная схема мостика.

Предположим, что все элементы мостика обладают только одним видом отказа – обрыв, как показано на рис 5. Считаем, мостик работоспособен только в двух случаях: когда он не имеет ни одного отказа или в нём произошёл один отказ работоспособного элемента из четырёх, включился в работу диагональный элемент, взяв на себя часть нагрузки. При этом параметрическая сторона не учитывется. Просто говоря, мостик работоспособен при допущении не более одного отказа. Задача расчёта надёжности решается при выполнении этих двух гипотез. Спрашивается, какой эффект надёжности мостика получается при включении в работу диагонального элемента.

Примем для расчёта следующие исходные данные с нормальным распределением элементов: $m = 50h., \sigma = 10h., f(t) = dnorm(t, m, \sigma)$. Тогда вероятность безотказности элемента $P(t) = \int_t^{\infty} f(z)dz$, а ресурс его надёжности в смысле Н.М. Седякина будет равен $r(t) = -\ln(P(t))$. Выражения для плотности, вероятности и ресурса надёжности элемента иллюстрируются графиками на рис. 2, 3, 4.

Отказ – обрыв элемента в мостике. При отсутствии обрыва исправность мостика (гипотеза 1) равна $P_1(t) = (P(t))^4$. Обрыв (гипотеза 2), диагональный элемент не включён, $4 \times (P(t))^3 \times (1 - P(t))$. Ресурсы надёжности при этом равны: $r_1(t) = -\ln(P_1(t)), r_2(t) = -\ln(P_2(t))$.

Результирующая вероятность исправности моста при выполнении суммы двух указанных гипотез с учётом включения под нагрузку диагонального элемента будет определяться суммой:

$$P_3(t) = P_1(t) + \int_0^t a_1(\tau) \times \frac{(P(t+\tau))^3 \times P(t-\tau)}{P_2(\tau)} d\tau, \quad (1)$$

где $a_1(t) = -\frac{d}{dt} P_1(t)$ – плотность вероятности отказа одного рабочего элемента.

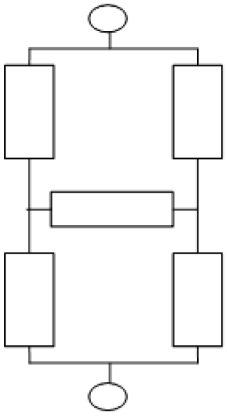

Рис. 1. Принципиальная схема мостика Шеннона

Ресурс надёжности для (1) определяется как $\hat{r}_3(t) = -\ln(P_3(t))$, а ресурс надёжности работоспособного мостика будет равен

$$r_{13}(t) = r_1(t) + \hat{r}_3(t). \quad (2)$$

На рис. 6 показана графическая зависимость значений ресурса надёжности Н. М. Седякина для мостиковой схемы при отсутствии в ней отказа элемента по обрыву, а на рис. 7 – сравнительные зависимости значений ресурсов работоспособности мостика при отсутствии и наличии отказа по обрыву.

Пунктирная кривая характеризует вклад в величину надёжности мостика включения диагонального элемента в виде добавочного ресурса надёжности в форме дополнительного ресурса Седякина, распределённого по оставшимся работоспособным элементам мостика Шеннона. При этом чем больше время работы мостика, тем больше величина вклада.

Отказ – короткое замыкание элемента в мостике. При отсутствии замыкания исправность мостика (гипотеза 1) равна $P_1(t) = (P(t))^4$. Гипотеза 2 (замыкание), исправность его будет равна $4 \times (P(t))^3 \times (1 - P(t))$. Ресурсы надежности в соответствии с этими гипотезами равны $r_1(t) = -\ln(P_1(t)), r_2(t) = -\ln(P_2(t))$.

Мы делаем предположение, что отказы от обрыва и короткого замыкания в рассмотренных здесь случаях эквивалентны.

Результирующая вероятность исправности моста при выполнении суммы двух указанных гипотез и в этом случае с учётом включения под нагрузку диагонального элемента будет определяться суммой (1), но смысловое содержание этой формулы будет отличное. Однако, параметрические показатели этих двух схем при отказах и замыканиях будут различны, что следует иметь в виду. В данном же случае итоговый результат от включения в работу диагонального элемента в обоих случаях будет одинаковым и определяется он формулой (1) и рис. 6, 7. Различны будут только индексные элементы.

Мост Шеннона из элементов моста Шеннона. Замечание. Что касается исследований мостика, когда элементы обладают двумя видами отказов, обрыв или замыкание элементов, и определяются выходные параметрические свойства мостика по обрыву или замыканию и свойства его работоспособности в целом, то такие результаты давно были получены и хорошо известны из учебных пособий, учебников или лекций, читаемых в вузах.

Куб из мостиков Шеннона

В том же случае, когда мостики рассматриваются в виде элементов сложных избыточных структур, таких исследований структур из элементарных мостиков выполнено, на наш взгляд, достаточно мало. Например, автором данной работы достаточно давно была опубликована статья [1].

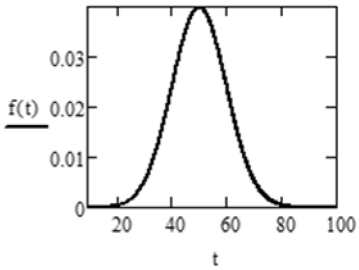

Рис. 2. Плотность вероятности безотказной работы мостика Шеннона

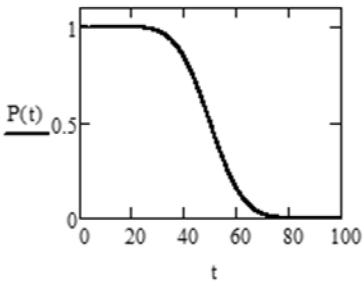

Рис. 3. Вероятности безотказной работы мостика Шеннона

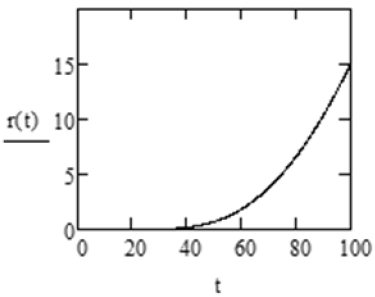

Рис. 4. Ресурс надежности элемента

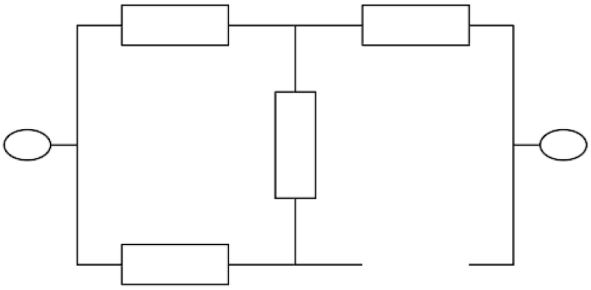

Рис. 5. Отказ – обрыв элемента в мостике

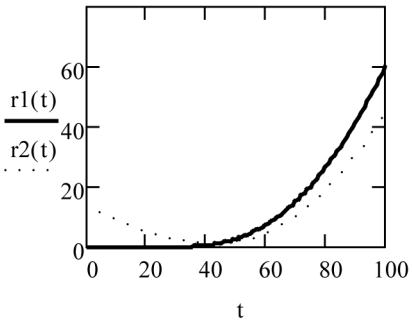

Рис. 6. Графическая зависимость значений ресурса надежности Н.М. Седякина для мостовой схемы при отсутствии в ней отказа элемента путем обрыва

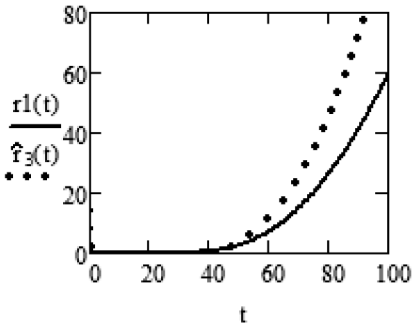

Рис. 7. Сравнительные зависимости значений ресурсов работоспособности моста при отсутствии и наличии поломки

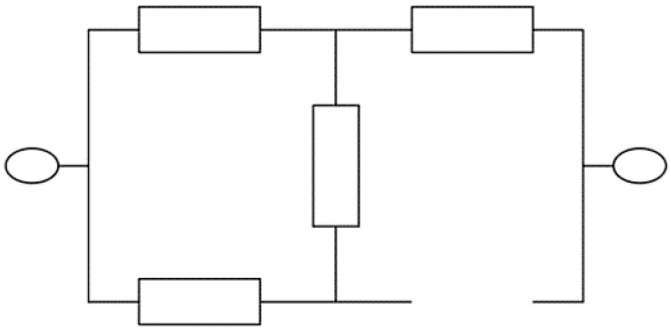

Рис. 8. Отказ – короткое замыкание элемента в мостике

В ней рассматривался куб, состоящий их элементов рёбер, несущих электрическую или иную нагрузку. Он содержит шесть плоских граней, в этих гранях куба включены диагональные элементы, которые при полностью исправном кубе не несут никакой нагрузки. Поэтому каждая такая грань представляет собой мостик Шеннона. Диагональный элемент любого мостика может нести нагрузку только в том случае, когда откажет любой элемент мостика, несущий нагрузку. Таким образом, куб состоит из 12 основных элементов и 6 диагональных элементов.

Аналитически в замкнутом виде надёжность и пропускная способность куба не исследованы даже в том случае, когда рёбра куба представляют собой резисторы, обладающие только одним видом отказа – обрыв. Молодым инженером такой куб был построен, изучалась величина сопротивления куба по его главной диагонали.

Но обобщающих выводов не было получено. Ведь даже при одном виде отказа элемента куба следует рассмотреть 218 состояний, а если элементы куба обладают двумя видами отказов – обрыв и замыкание, то число различных состояний куба становится равным 318, то есть становится для исследований весьма большим числом. Поэтому следует использовать для исследования куба метод статистических испытаний. Но, судя по публикациям в различных источниках отечественных и зарубежных изданий, этого не наблюдалось. Лишь автором статьи было качественно установлено наличие гармонической колебательности главного диагонального параметра, а также его продолжительности по времени. Это означает, что кубу присуще свойство длительной сохраняемости во времени величины наблюдаемого параметра главной диагонали.

На основании этого факта был сделан вывод о том, что для определённых материалов и достижений современных производственных нанотехнологий, например, в кристаллических структурах вещества, а также новых предложений науки, могут создаваться весьма высоко надёжные элементы для систем длительного существования.

Мажоритарная схема из мостиков Шеннона

В мажоритарной схеме мостики Шеннона могут быть независимыми или зависимыми друг от друга. В случае независимости расчёты выполняются известными способами. В случае зависимых элементов расчёт требует построения более сложных моделей.

Примером сложной схемы с зависимыми мостиками Шеннона является куб, описание которого было приведено в предыдущем разделе, а более полно рассмотрено в цитируемой статье [1].

Здесь на рис. 9 приводится самая простая схема и её вероятностные оценивания при одном и двух видах отказов элементов. При одном виде отказов выражение для вероятности безотказной работы представляется в виде $P_{\text{вых}}(t) = 3 \times p^2(t) - 2 \times p^3(t)$, а при двух видах отказов элементов, (обрыв и замыкание или отказ по 0 и 1) в виде

$$P_{\text{вых}}(t) = 3 \times p^2(t) - 2 \times p^3(t) + 6 \times p(t) \times q_0(t) \times q_1(t).$$

На рис. 10 показаны вероятности исправной работы одного элемента, схем исправной работы при одном и двух видах отказов их элементов. Исходные данные: $m = 50h.$, $\sigma = 10h.$, $f(t) = dnorm(t, m, \sigma)$. Расчёт выполняется по формулам:

$$P(t) = \int_t^{\infty} a(z)dz, Q(t) = \int_0^t a(z)dz. \; Q_0(t) = 0,5 \times (1 - P(t)),$$

$$Q_1(t) = 0,5 \times (1 - P(t)), PQ_1(t) = 3 \times (P(t))^2 - 2 \times (P(t))^3,$$

$$PQ_2(t) = 3 \times (P(t))^2 - 2 \times (P(t))^3 + 6 \times Q_0(t) \times Q_1(t) \times P(t).$$

Наибольшую вероятность имеет мажоритарная схема с двумя видами равновероятных отказов каналов. С одним видом отказов она имеет наименьшую вероятность.

Наибольшим ресурсом обладают одноканальная схема и трёхканальная при двух видах отказов каналов. Наименьший ресурс у трёхканальной схемы с одним видом отказов каналов.

Примером мажоритарной схемы с зависимыми каналами является более сложная структура, в которой крайние каналы отдельных мажоритарных

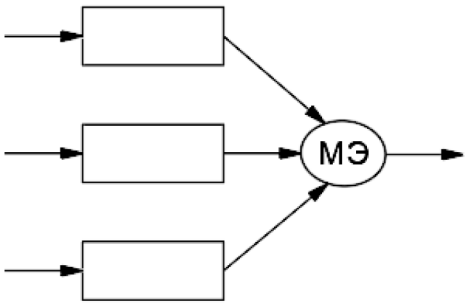

Рис. 9. Схема и её вероятностные оценивания при одном и двух видах отказов

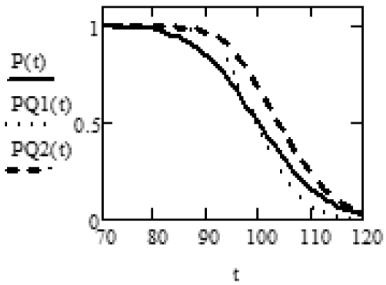

Рис. 10. Вероятность правильной работы одноканальной версии схемы, мажоритарной схемы с одним или двумя типами отказов

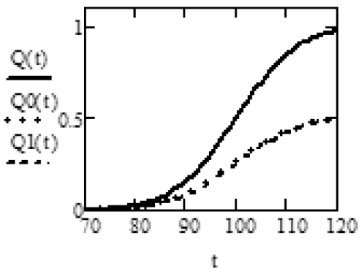

Рис. 11. Безусловные и условные вероятности сбоев одного канала

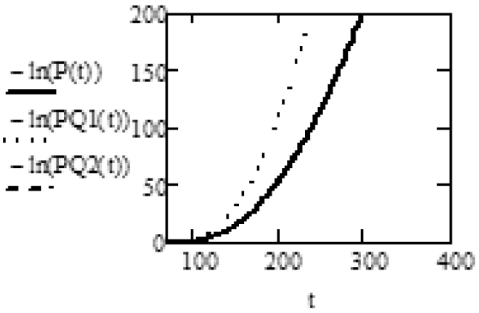

Рис. 12. Значение ресурсов надежности профессора Н. М. Седякина

схем связаны (зависят) с каналами соседних мажоритарных схем.

Модель цепи мостиков Шеннона. Несколько мостиков составляют последовательно срабатывающую цепь во времени. Первый активный мостик включён в работу. Он состоит из четырёх элементов – среды существования, пятый, диагональный элемент не активен до тех пор, пока его внешняя среда из четырёх элементов находится в уравновешенном состоянии, сбалансирована.

В момент времени, когда нарушается баланс среды, включается в работу диагональный мостик. Структура этого мостика представляет собой такой же мостик, как и первый мостик до нарушения в нём равновесного баланса. Теперь он выполняет роль разрушенного мостика до момента нарушения его баланса. При нарушении баланса этого мостика в работу включается его диагональный мостик. Он выполняет работу до момента нарушения своего баланса.

После нарушения баланса в работу включается его диагональ – следующий аналогичный сбалансированный мостик. Работа цепи завершается тогда, когда последний мостик цепи закончит свою работу. Требуется составить вероятностную модель функционирования сети.

На основании раздела, в котором рассматривается модель мостика с обрывом элемента среды при сбалансированном её состоянии и ненагруженном диагональном элементе, вероятность начального состояния была равна $P_1(t) = (P(t))^4$. А вероятность сохранения его работоспособности при условии выполнения этой гипотезы и гипотезы о том, что отказал элемент среды, а диагональный элемент взял на себя функцию сохранения работоспособности мостика, становится равной $PP_1(t) = P_1(t) + \int a(z) \times P(t-z)dz$.

При условии, что свойство работоспособности мостика продолжает сохраняться в дальнейшем при балансе новой среды из четырёх элементов или при отказе элемента этой среды и переходе в работоспособное состояние благодаря включению в работу нового диагонального элемента нового мостика, вероятность и дальше непрерывно оставаться работоспособной становится равной:

$$PP_2(t) = P_1(t) + \int_0^t a(z) \times P_1(t-z)dz + \int_0^t b(z) \times PP_1(z)dz \quad (3)$$

Плотности вероятностей отказов $a(t)$ и $b(t)$ определяются следующими выражениями:

$$a(t) = -\frac{d}{dt}P_1(t) \to 4 \times (\int_0^t dnorm(z,50,10)dz)^3 \times dnorm(t,50,10); \quad (4)$$

$$b(t) = -\frac{d}{dt}PP_1(t). \quad (5)$$

Формула (5) здесь не раскрывается из-за достаточно большой сложности. Если количество последовательно включаемых мостиков в цепи будет больше трёх, то можно составить рекуррентную зависимость для расчёта параметров изменяемого случайного процесса и на основании этого расчёта оценить более точно качество этого процесса и возможность практической реализации и эффективности рассматриваемого вида избыточности. На основании выполненного исследования на рис. 13, 14, 15 представлен для иллюстрации следующий графический материал.

На рис. 13 показаны начальная вероятность работоспособности мостика, вероятность работоспособности после первого отказа среды и вероятность работоспособности после второго отказа среды мостика. На рис. 14 представлены плотности вероятностей времени первого и второго отказов сред. На рис. 15 изображены графики ресурсов надёжности Н. М. Седякина, рассчитанные по формулам $rp_1(t) = -\ln(P_1(t)), rp_2(t) = -\ln(PP_1(t), rp_3(t) = -\ln(PP_2(t))$.

Показанные графики на рис. 13, 15 свидетельствуют об увеличении эффекта работоспособности цепи с ростом количества выполненных в ней переходов. На рис. 16 приведены графики вероятностей работоспособности трёх этапов цепи с использованием мажоритарной схемы резервирования.

Объёмный мостик из трёх зависимых простых мостиков Шеннона

В начале статьи мы поместили простую, первичную структуру мостика Шеннона, которая была связана с книгой К. Э. Шеннона «Теория информации». Им же была предложена формула разложения для аналитического расчёта вероятности выполнения алгоритма функционирования мостика при известных вероятностях всех его элементов.

Идея мостика использовалась в технике связи и теории игр. Однако наша цель изучить структуру мостика для оценивания вероятности его функционирования при условии, когда она сбалансирована, то есть до отказа одного любого элемента из четырёх при ненагруженном диагональном элементе, а затем учесть влияние последнего на конечный результат. Интересен тот факт, что когда его среда из четырёх элементов имеет цель выполнить некоторую задачу, то пятый элемент не нужен. При нарушении баланса среды пятый элемент начинает выполнять задачу поддержки среды, в которой он находится. Это свойство присуще мостику Шеннона. Но можно построить более сложные структуры, использующие вспомогательную роль диагональных элементов составляющих мостиков этих структур для решения целевых задач. Примеры некоторых таких структур мы привели ниже.

Схема куба с основными нагруженными элементами – прямоугольниками и резервными, обесточенными элементами – кружками.

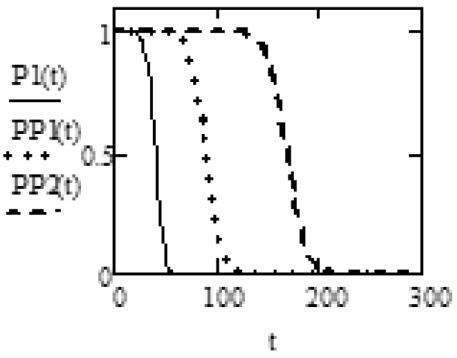

Рис. 13. Начальная вероятность работоспособности моста, вероятность работоспособности после первого сбоя среды и вероятность работоспособности после второго сбоя среды моста

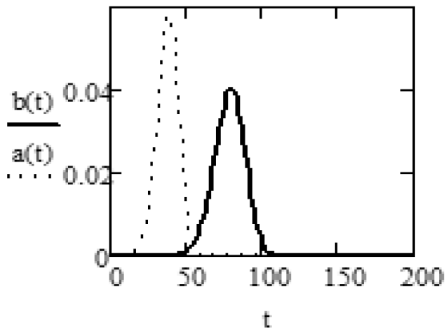

Рис. 14. Плотности вероятности времени первого и второго отказов среды

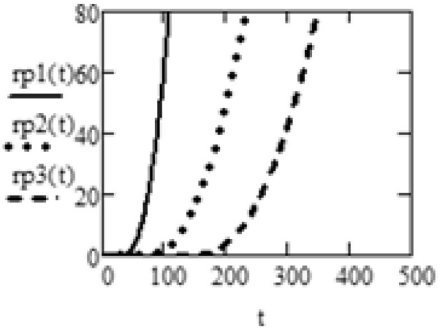

Рис. 15. Основы ресурсов надежности Н.М. Седякина

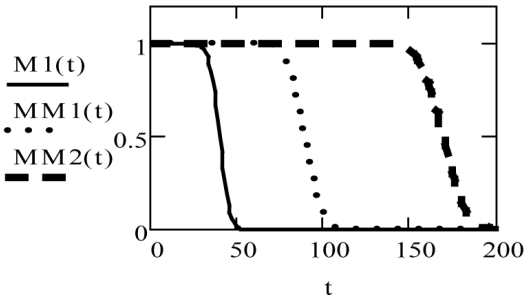

Рис. 16. Проблемы работоспособности трех звеньев цепочки с использованием схемы мажоритарного резервирования

Замечание о вероятностных расчётах структур из мостиков Шеннона

Выше в статье отмечалось, что к настоящему времени в научной и учебной литературе выполнены расчёты простейших структур мостикового типа. Они позволили производить сравнения их с другими избыточными структурами, известными в теории надёжности. Однако, параметрических исследований фактически не было выполнено из-за необходимости использования аппарата условных вероятностей для оценивания значений изменяемых параметров, которые связаны со сменой состояний структур. Это накладывало недостатки в оценивании и сравнении структур при динамических процессах в них. Требовалась разработка более сложных и тонких математических моделей нестационарных процессов в структурах.

Именно поэтому приходится обращаться к построению других показателей, качественная составляющая которых преобладает над количественной, хотя и является грубой. В качестве такого показателя для сравнения сложных структур можно принять отношение количества пассивных резервных элементов к количеству основных элементов структуры, несущих на себе нагрузку при отсутствии нарушений или отказов. Такой показатель известен, он называется кратностью резервирования. Он может выражаться целым или дробным отношением или числом. Например, в простейшей мажоритарной структуре два из трёх кратность резервирования равняется , что означает, что при одном резервном элементе и двух действующих схема является работоспособной.

Для систем, имеющих показатель дробной кратности, принято недопущение сокращения числителя и знаменателя. Например, простой мостик имеет кратность резервирования $\frac{1}{4}$, что означает, что резервным является 1 элемент, а основных 4. Если схема состоит из трёх зависимых мостиков, то её кратность резервирования будет равна $\frac{3}{6}$, что означает, что она содержит 3 резервных и 6 основных элементов. Если же схема состоит из четырёх мостиков, то она имеет кратность резервирования $\frac{4}{8}$, то есть в ней 4 резервных и 8 основных элементов. В общем, если схема состоит из n элементов Шеннона, то её кратность резервирования будет равна $\frac{n}{2 \cdot n}$.

В частности, для структуры избыточного куба, показанного на рисунке 17, кратность резервирования оказывается равной $\frac{6}{12}$, учитывая то, что она содержит 6 резервных элементов и 12 основных элементов.

Чтобы связать показатель кратности резервирования с мощностью работоспособности структуры, её временной характеристикой мы вводим показатель отношения ресурсов надёжности по Н.М. Седякину. Ресурс надёжности представляется в виде

$$r(t) = -\ln(P(t)), \tag{6}$$

где $P(t)$ – вероятность безотказного функционирования исследуемой структуры.

Такой переход к временному показателю избыточных мостиковых структур позволяет в количественном виде грубо в среднем предсказать ожидаемую долговечность и ожидаемый временной ресурс в будущем этих структур. Для этого нужно оценить величины ресурсов совокупностей элементов, входящих в числитель и знаменатель формулы кратности резервирования. Например, для простой мостиковой структуры нужно вычислить ресурс надёжности резервного элемента в числителе и ресурс надёжности совокупности элементов в знаменателе. Качественно, грубо мы приведём следующую прогнозную оценку работоспособности мостика без возникновения отказа в балансной схеме из четырёх элементов без учёта резервного элемента. Для этого надо знать распределение времени жизни одного элемента мостиковой схемы. Это даёт нам возможность выполнить расчёт вероятности работоспособности балансовой среды мостика, состоящей из четырёх рабочих элементов. Затем выполняется расчёт ресурсов надёжности Н.М. Седякина всех резервных элементов структуры и ресурсов надёжности среды, составляющей группу, обеспечивающую баланс структуры. Что касается роли диагонального элемента, то приближённо качественно можно утверждать, что при нарушении баланса простого мостика половина ресурса диагонального элемента в среднем обеспечивает продолжение работоспособности двух элементов среды баланса. И можно указать, что в структуре произвольного мостика один любой элемент из группы резервных элементов своей мощностью в среднем может обеспечить два основных элемента базовой среды. Конечно, предложенная оценка груба и при наличии реальной возможности должна быть в конкретном случае доработана.

В заключение этого раздела следует ещё раз указать на важность мостика Шеннона как элемента, содержащего резервный элемент, способный в случае нарушения баланса его среды автоматически оказать поддержку оставшимся работающим элементам для продолжения той роли, для которой он предназначен. Известны ли другие подобные элементы с самостоятельным включением в работу резервного ненагруженного элемента после нарушения баланса его среды? Пусть на этот вопрос ответит уважаемый читатель данной статьи.

Интеллектуальные технологии – основа для создания высоконадёжных элементов и целевых структур

Системы, которые мы создаём, должны удовлетворять задуманным достижениям и целям. Они

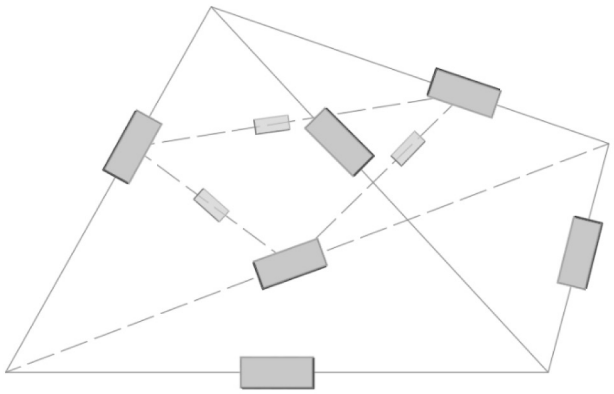

Рис. 17. Тетраэдр из мостиков Шенонна

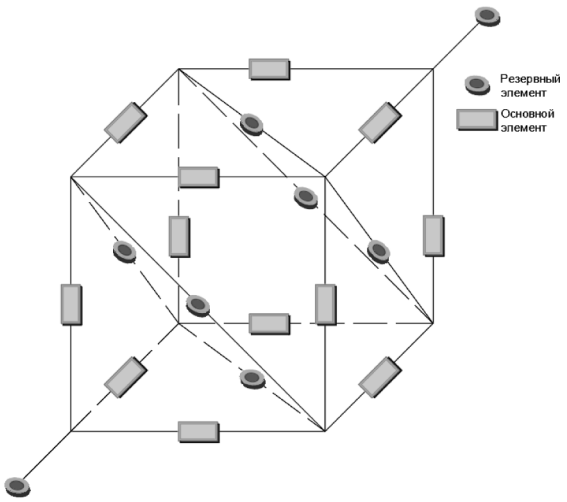

Рис. 18. Избыточный куб

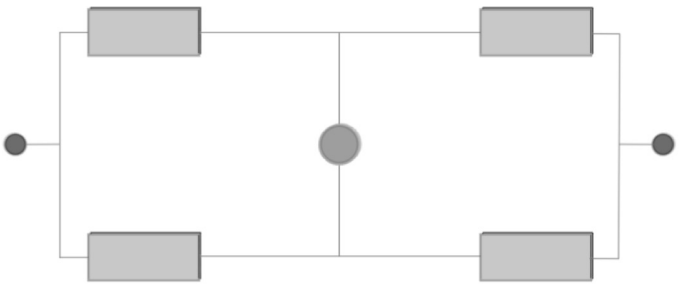

Рис. 19. Мостик Шенонна

должны быть надёжными и эффективными. Это возможно, если они построены из надёжных элементов и рассчитаны на должный срок существования. Желательно, чтобы элементы имели внутреннюю избыточность, которая даже в случае нарушения сама поддерживала отказоустойчивость, без вмешательства человека. Поэтому необходимо создавать элементы с защитой. Как заметил один учёный, «самовосстанавливаемость систем есть предел автоматической коррекции их отказов». Это можно достичь в случае, если элементы могут сами корректироваться. Мы пытались найти такой элемент и остановились на мостике Шеннона, содержащего диагональный элемент в системе сбалансированных рабочих элементов. Но этого недостаточно. В наше время современные учёные и наука должны воспользоваться интеллектуальными нанотехнологиями. Они должны уметь находить новые структурные решения для элементов и систем. В [1] отмечалось, что для этого нужно знать физику твёрдого тела и других материалов до уровня кристаллов и составляющих их наночастиц. В этом случае мы можем опуститься при создании элементов систем на самый низкий уровень, такой, на котором ещё сохраняются те свойства вещества, которые необходимы для функционирования элементов. На этом уровне микромира материалов германия, кремния и многих других «кирпичиков» строительства элементов нужно строить первичные функционирующие отказоустойчивые элементы. Таким первичным элементом может быть мостик Шеннона или другой, который предложат учёные.

На втором этапе синтеза нужно построить аналогичные по свойствам элементы на основе первых элементов и так далее. Процесс продолжать до разумного ограничительного предела построения структуры систем. Каждый этап строительства элементов должен сопровождаться своей структурой баланса, обеспечивающей отказоустойчивость до первого отказа. Для этой цели мы нашли пока только один элемент – мостик Шеннона. Но учёные найдут их несколько, однотипных или поэтапных принципов. В этом заключается первый принцип технологии построения элементов высокого качества.

Второй принцип будет заключаться в том, что первый принцип и новые предложения в исследовании структур на основе нанотехнологий изучения процессов живых организмов приведут к значительным перспективным последовательным продвижениям.

Мостик Шеннона как измерительный элемент состояния в живом организме

Известно о том, что мостик Шеннона применяется для измерения различных физических величин в электротехнике и метрологии. Его четыре элемента могут характеризовать уравновешенность мостка или состояние баланса. А диагональный элемент является измерителем баланса мостика и контроля его состояния. Измеритель баланса может быть построен так, чтобы определить любую из двух сторон отклонения мостика в ту или другую сторону. В простейшем случае электрической реализации среды диагональный элемент – это два диода противоположного направления. Но уметь измерять – это значит, диагональный элемент может управлять поведением мостика или подчинённой ему системой. Простой пример – это сохранение равновесия в технической системе или живом организме. Если структура состоит из зависимых друг от друга простых элементов Шеннона, то она может реализовать множество состояний, управляемых диагональными элементами мостиков – компонентами. С дополнением обратных связей в структуре она будет обладать достаточно гибким средством выбора поведения структуры. При наличии некоторой памяти это уже средство выбора противодействия двух сторон с противоположными интересами. Это средство не только игры в шахматы, но и средство информационной борьбы конфликтующих сторон со своими программами, с оцениванием своих рисков и достижением эффектов.

Присуще ли это, здесь отмеченное, живому организму? Не будучи специалистом, осведомлённым в этом, можно с высокой достоверностью утверждать, что живой организм имеет в своём арсенале гораздо более тонкие и эффективные жизненные средства. А мостик Шеннона в нашем представлении – это лишь самое простое средство представления о балансе состояния органов живого организма. Поэтому задача исследователей глубоко изучать свойства живого организма.

Затронув в данной статье изучение свойств мостика Шеннона и возможности нанотехнологий, следует ещё раз указать на два принципа построения будущих элементов и систем. Первый принцип – это принцип вниз «последовательное глубокое изучение вещества и живой клетки организма». Второй принцип – это принцип вверх «последовательное и более совершенное построение (создание) элементов и систем из них».

Эти принципы и достигнутые на них результаты важны для развития искусственного интеллекта.

Заключение

Идея построения мостика К. Э. Шеннона широко применима в науке и технике измерения и управления систем, теории игр и принятия решений. Он может выполнять функцию контроля состояния в системах и служить системе поддержания в них состояния баланса. В статье выполнено дальнейшее изучение мостика Шеннона с позиций теории вероятностей.

Предложено построение примеров некоторых более сложных мостиковых структур элементов. Они могут

быть основой для построения более сложных систем с большим количеством состояний. Пока глубокого анализа свойств этих элементов не удалось получить. С большим разнообразием интеллектуальных и прикладных нанотехнологий могут применяться два принципа в создании систем. Первый принцип – всё более глубокое изучение материалов и веществ природы. Это позволит создавать мельчайшие функциональные элементы. Это принцип вниз. Затем на основе постепенного последовательного введения избыточности в структуру элементов и систем на их основе добиваться построения систем с глубокими синергетическими возможностями, начиная с внедрения элементов искусственного интеллекта и дальнейшего их совершенствования. Это принцип вверх. Оба принципа противоположны друг другу. Но только применение их вместе позволит достичь близкого состояния к такому, о котором в книге «Кибернетика» Норберта Винера [5] задавался вопрос – может ли «машина мыслить». Конечно, это в отдалённом будущем.

Литература

1. Смагин, В. А. Нанотехнологии – основа для создания новых элементов высокой надежности / В.А. Смагин // Автоматическое управление и компьютерные науки. – 2008. – Т. 42, № 2. – С. 109–111.

2. Смагин, В. А. Новые вопросы теории эксплуатации / В.А. Смагин. – Санкт-Петербург : ВКА им. А. Ф. Можайского, 2010. – 127 с.

3. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1963. – 832 с.

4. Половко, А. М. Основы теории надежности / А.М. Половко. – Москва : Наука, 1964. – 448 с.

5. Седякин, Н. М. Об одном физическом принципе теории надежности и некоторых его приложениях / Н.М. Седякин. – Ленинград : ЛВИКА им. А.Ф. Можайского, 1965. – 41 с.

6. Седякин, Н. М. Об одном физическом принципе теории надежности / Н.М. Седякин // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1966. – № 3. – С. 80–87.

7. Аверьянов, А. В. Анализ пределов аппаратной избыточности системы автоматизированного дистанционного управления военного назначения / А.В. Аверьянов, А.М. Барановский, К.А. Эсаулов // i-methods. – 2015. – Т. 7, № 4. – С. 16–20.

8. Захаров, И. Л. Расчет вероятности безотказной работы бортовых модулярных специализированных вычислителей и систем со структурно-временным резервированием / И.Л. Захаров, О.А. Финько // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 342–380.

9. Харченко, В. А. Проблемы надежности электронных элементов / В.А. Харченко // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. – 2015. – Т. 18, № 1. – С. 52–57.

10. Макаров, А. П. Оптимизация поэлементного резервирования электронной аппаратуры / А.П. Макаров, В.А. Соловьев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4 (24). – С. 77–85.

11. Франк, А. В. Восстановление высокочастотной телеметрической информации за счет аппаратной и программной избыточности / А.В. Франк // Труды ФГУП «НПАЦП». Системы и приборы управления. – 2018. – № 3. – С. 11–15.

12. Потапов, В. И. Проблемы разработки новых математических моделей, алгоритмического и программного обеспечения для оптимизации поведения и надежности динамических технических систем, участвующих в конфликтных ситуациях / В.И. Потапов // Ученые Омска – региону. Материалы II Региональной научно-технической конференции. Под общей редакцией Л.О. Штриплинга (Омск, 06–07 июня 2017 г.). – Омск : Омский государственный технический университет, 2017. – С. 32–36.