

УЧЕТ ОТКАЗОВ ПРИ РОТАЦИИ КАНАЛОВ В МАГИСТРАЛЬНО-МОДУЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НАПРЯЖЕНИЯ

Лукина Арина Сергеевна,
НИУ ВШЭ, студент, Москва, Россия
aslukina_4@miem.hse.ru

Целищев Иван Сергеевич,
НИУ ВШЭ, студент, Москва, Россия
istselischev@miem.hse.ru

Аннотация

Рассматривается учет вероятности отказов при переключениях силовых каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения (далее ММПН). Данное исследование проводится в рамках разработки программы для оценки показателей безотказности ММПН с ротацией силовых каналов.

Ключевые слова

Безотказность, надежность, резервирование, ротация силовых каналов, магистрально-модульные преобразователи напряжения.

Введение

В условиях глобальной автоматизации все более актуальной становится задача повышения безотказности вычислительной техники. Например, отказ системы электропитания информационной системы оборонного объекта влечет за собой серьезный материальный ущерб, а иногда может стать причиной катастрофы. Для повышения безотказности силовой электроники на практике наиболее часто применяется резервирование.

Разрабатываемая программная модель описывает смешанное резервирование силовых каналов с ротацией в ММПН. Под смешанным резервированием понимается резервирование вида « $N+1+K$ » (без восстановления), где « N из $(N+1)$ » - скользящее нагруженное резервирование, элементы которого составляют группу скользящее ненагруженное резервирование « $(N+1)$ из K ».

Особенностью расчета показателей безотказности для рассматриваемого вида резервирования является большое число переключений каналов (из рабочего режима в режим ожидания и наоборот).

В данной работе рассматривается способ учета вероятности успешного переключения силовых каналов при имитационном моделировании ММПН, а также приводится алгоритм пересчета итоговой наработки ММПН в связи с отказом каналов при переключении.

Обоснование необходимости учета вероятности отказов силовых каналов при переключениях

ММПН в соответствии с [1] является объектом многократного циклического применения. В рамках разрабатываемой программной модели силовые каналы считаются невосстанавливаемыми, то есть они в случае возникновения отказа не подлежат восстановлению в течении срока службы [2]. Следовательно, одним из показателей надежности для силовых каналов по классификации [1] является $P_{0(вкл.)}$ - вероятность безотказного срабатывания (включения).

Вероятность безотказного срабатывания канала есть случайная величина, подчиняющаяся закону равномерного распределения. При расчетах безотказности $P_{0(вкл.)}$ берут близким к 1. Так как отказ есть событие противоположное безотказному срабатыванию, то вероятность отказа находится в интервале $(P_{0(вкл.)}; 1]$. Иными словами, отказ при переключении есть маловероятное событие [3].

Обычно число переключений элементов при резервировании достаточно мало. Например, для группы «Скользящее ненагруженное резервирование» с N основными и K резервными элементами количество переключений элементов будет в точности равно количеству резервных элементов (K). В таком случае вероятность переключений, как маловероятное событие, можно не учитывать без потери точности оценки итоговой наработки резервированной группы.

Однако, при ротации число переключений сильно возрастает. Оно зависит от числа силовых каналов и количества циклов полной ротации, в течение которых предполагается эксплуатация ММПН. Под циклом полной ротации понимается отрезок времени, за который каждый из силовых каналов побывает как в режиме ожидания, так и в режиме работы. Заметим, что в разрабатываемой модели преобразователя циклы полной ротации могут быть произвольной длины. Под периодом ротации понимается отрезок времени между соседними переключениями, который определяется как:

$$T_{пер} = \frac{T_{ц.п.р.}}{N+1+K}, \quad (1)$$

где $T_{ц.п.р.}$ - величина текущего цикла полной ротации,

$N+1+K$ - количество работоспособных силовых модулей.

Соответственно, для каждого цикла полной ротации число переключений для одного канала $m=2$, по определению цикла полной ротации.

Таким образом, в общем случае число переключений может быть достаточно велико. Это в свою очередь может существенно повлиять на безотказность преобразователя [4].

В описании изобретения [5] предлагается переключать каналы через 24 часа. Рассмотрим для примера преобразователь, централизованная часть которого содержит $N=3$ основных силовых канала, зарезервированных 1 нагруженным каналом и $K=2$ резервными каналами, находящимися в ненагруженном резерве. При предполагаемом сроке службы в 1 год, количество переключений для одного силового канала определяется как:

$$Q_i = m_i \times t, \quad (2)$$

где Q_i – количество переключений для i -ого канала, m_i – количество переключений для i -ого канала в одном цикле полной ротации, t – количество циклов полной ротации.

В соответствии с формулой (2) Q будет равно 730. Так как в рассматриваемом примере величины циклов полной ротации постоянны то формула (2) преобразуется в (3).

$$Q_i = m_i \times \frac{T_{нар.}}{T_{ц.п.р.}}, \quad (3)$$

где $T_{нар.}$ – срок службы, $T_{ц.п.р.}$ – величина цикла полной ротации.

В этом случае общее число переключений будет равно 4380. Для сравнения в группе «Скользящее ненагруженное резервирование» с тем же числом основных и резервных каналов переключений будет всего 2.

Так как вероятности успешного переключения есть события независимые, то с увеличением количества переключений, уменьшается вероятность успешного переключения. (см. формулу 4)

$$P_{общ.} = P_{вкл.1} \times \dots \times P_{вкл.q}, \quad (4)$$

где q – количество переключений, $P_{вкл.i}$ – вероятность успешного срабатывания на i -ом переключении.

В рамках рассматриваемых значений для обеспечения вероятности безотказной работы ММПН в течение одного года $P = 0,95$ при «абсолютно» надежных модулях (вероятность отказа модуля $P_{0(мод)} = 0$) вероятность единичного переключения должна быть:

$$P_{ед.} = \sqrt[k]{P} = 0,99998, \quad (5)$$

где k – количество переключений, P – вероятность безотказной работы ММПН в течение года.

Из приведенных расчетов очевидно, что учет возможности отказа при переключении необходим для корректной оценки безотказности преобразователя.

В разрабатываемой программной модели был создан отдельный модуль для расчета наработки при отказах каналов при их переключениях.

Алгоритм учета вероятности отказа канала при переключении переключения

Рассмотрим подробнее алгоритм учета вероятности успешного переключения каналов и связанного с этим пересчета реализации наработки преобразователя.

Учет вероятности переключений производится после первичной оценки реализации наработки в связи с тем, что для учета вероятности необходимо знать количество переключений.

Для корректного определения в любой момент времени силовых каналов, находящихся в режиме работы и ожидания, составляется матрица переходов каналов, в которой строки соответствуют номерам каналов, а столбцы – периодам ротации.

Если две соседние ячейки в i -ой строке матрицы не равны между собой, то в этот момент времени i -ый

силовой канал переключился (либо в режим ожидания, либо в режим работы состоянии). Для каждого такого момента времени генерируется реализация случайной величины, которая равна вероятности успешного переключения. Если это число больше заданной в ТЗ $P_{0(вкл.)}$, то происходит отказ канала в данном эксперименте. Так как отказ произошел раньше, чем рассчитанная реализации наработки, то необходимо провести перерасчет реализаций наработок для остальных каналов, а также итоговой реализации наработки ММПН при текущем количестве каналов. Перерасчет наработок каналов производится по формуле (6), итоговой наработке — по формуле (7).

$$\begin{aligned} \dot{t}_i = t_i - \sum_{j=1}^n \left\{ T_{пер.j} \times \left[(N+1) + \left(K \times \frac{\lambda_{ож.}}{\lambda_{раб.}} \right) \right] \right\} - \\ - T_{пер.n+1} \times \left[r_i + \left(w_i \times \frac{\lambda_{ож.}}{\lambda_{раб.}} \right) \right], \quad (6) \end{aligned}$$

где \dot{t}_i – новая наработка i -ого силового канала, t_i – начальная наработка i -ого силового канала, n – количество пройденных циклов полной ротации до отказа, $n+1$ – цикл полной ротации, в котором произошел отказ, $T_{пер.j}$ – период ротации в j -ом цикле полной ротации, r_i и w_i – количество периодов ротации в $n+1$ цикле полной ротации, в течение которых i -ый силовой канал находился в режиме работы и ожидания соответственно, $\lambda_{раб.}$ – интенсивность отказов в рабочем режиме, $\lambda_{ож.}$ – интенсивность отказов в режиме ожидания

$$T = \sum_{j=1}^n T_{ц.п.р.j} + T_{пер.n+1} \times (r + w), \quad (7)$$

где $T_{ц.п.р.j}$ – величина j -ого цикла полной ротации, $(r + w)$ – количество периодов ротации в $n+1$ цикле полной ротации.

Если ни при каком из переключений вероятность не превысила порогового значения, то реализации наработки каналов остаются прежними.

После определения реализации наработки ММПН происходит реконфигурация его структурной схемы надежности (ССН) в соответствии со следующими правилами:

- до отказа места силовых каналов определяются по матрице переходов
- при отказе на место отказавшего канала подключается первый по очереди резервный канал, который становится первым из рабочих.

Далее реконфигурированная ССН рассматривается как новый преобразователь с меньшим количеством каналов и алгоритм расчета наработки повторяется вплоть до того момента, пока число силовых модулей не станет равным $N+1$.

Стоит отметить, что в программной модели предусмотрено событие, когда отказа в течение всего времени ротации не произошло. В этом случае также

производится расчет вероятности переключений. Если при переключении отказа не возникло, то ротация прекращается, и способ резервирования заменяется на «Смешанное резервирование».

Блок-схема алгоритма программного модуля, описанного выше, представлена на рис. 1.

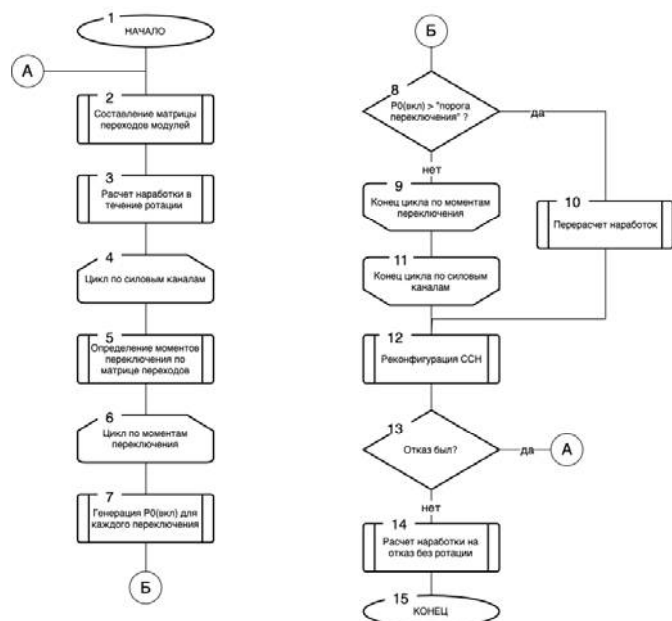


Рис. 1. Блок-схема алгоритма функционирования модуля учета вероятности отказов каналов при переключениях

Заключение

Вероятность успешного переключения элементов является одним из важных факторов, влияющих на время наработки до отказа ММПН. Таким образом для создания корректной программной модели для оценки безотказности ММПН необходимо учитывать вероятность отказа как при включении, так и при отключении силового канала.

Модель, используемая в разрабатываемой программе, предусматривает возможность возникновения отказа в момент ротации силовых каналов. Это позволит моделировать отказы в ММПН максимально близко к реальным условиям их функционирования.

В дальнейшем это предоставит возможность определить оптимальный цикл полной ротации для заданных ССН и характеристиках надежности каналов.

Литература

1. ГОСТ 27.003-2016. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2018.
2. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002
3. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности (Серия: «Физико-математическая библиотека инженера»). М.: Наука, 1965. 524 с.
4. Садыгов Г.С., Чибисова А.В., Савченко В.И. Нижняя доверительная граница вероятности безотказного срабатывания объекта, работающего в импульсном режиме // Труды международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Т. 1. Пенза: ПГУ, 2018. С. 209-210.
5. Способ управления группой источников вторичного электропитания (ИБЭ), подключенных параллельно на общую шину нагрузки: пат. №1804678 СССР: МПК H02J 9/06 / Либенко Ю.Н., Ротаренко В.Н.; заявитель и патентообладатель: Либенко Ю.Н., Ротаренко В.Н. № 4848996; заявл. 10.07.1990; опубл. 23.03.1993, Бюл. №11.
6. Жаднов В.В. Модель преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов для расчета его наработки до отказа при статистическом моделировании // Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Т. 1. Пенза: Издательство ПГУ, 2019. С. 18-23.
7. Четин А.Н. Применение метода ротации силовых каналов для повышения безотказности многоканального преобразователя напряжения // Практическая силовая электроника. 2013. № 49(1). С. 33-36.
8. Жаднов В.В. Метод формирования наработки до отказа электронных компонентов по справочным данным // Труды международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. Т. 1. Пенза: ПГУ, 2018. С. 35-37.
9. Четин А.Н. Оценка уровня безотказности системы вторичного электропитания с магистрально-модульной архитектурой // Доклады ТУСУРа – 2011 – № 2 (24), часть 1. С. 253-257.
10. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.