

Безотказность преобразователя напряжения с параллельными резервированными силовыми каналами

Андрей Четин (chetin@niivk.ru)

В статье рассмотрена адаптация стандартного подхода к оценке безотказности резервированных систем применительно к преобразователям напряжения и проведена сравнительная оценка различных способов резервирования их силовых каналов.

Исследования причин отказов средств вычислительной техники (СВТ), установленных в центрах обработки данных (ЦОД) [1], показывают, что преобладающее их количество обусловлено влиянием человеческого фактора. Учитывая постоянное усложнение СВТ, увеличение объёма и уровня критичности решаемых ими задач, всё более высокие требования предъявляются к квалификации обслуживающего персонала. К тому же участие оператора в обслуживании вспомогательных систем СВТ, таких как системы их электропитания, отвлекает его от выполнения основных задач, что повышает вероятность возникновения нештатных ситуаций, приводящих к сбоям в работе СВТ, отказам и авариям. В связи с этим задача максимального снижения доли оперативного участия обслуживающего персонала в обеспечении штатной работы СВТ в целом и систем их электропитания в частности является весьма актуальной.

При наличии в системах электропитания развитых подсистем контроля, определяющих отказы на уровне основных функциональных узлов, главной задачей оператора является своевременная замена вышедших из строя сменных составных частей системы электропитания на работоспособные из состава комплекта ЗИП. От продолжительности восстановления работоспособности системы электропитания зависит выполнение регламентированного значения средней наработки на отказ СВТ в целом.

Для повышения вероятности безотказной работы системы электропитания при некотором снижении требования к оперативности замены оператором отказавшей составной части относительно давно используются преобразователи напряжения (ПН) с парал-

лельной работой однотипных силовых каналов (СК) на общую шину нагрузки ПН. При этом в ПН закладывается определённая избыточность по мощности для осуществления резервирования по способу $N+1$, т.е. в них имеется общее количество M СК, работающих совместно, из которых N суммарно обеспечивают заданное значение выходной мощности ПН, а один является нагруженным резервным, заменяющим один любой отказавший из N СК без участия оператора, при этом отказ системы не происходит. Участие оператора требуется для своевременного восстановления утраченного резерва, заключающегося в замене «на ходу» отказавшего СК на исправный из состава ЗИП.

В любых обслуживаемых системах безотказность определяется двумя составляющими: собственной безотказностью компонентов системы и временем их восстановления, поэтому невыполнение оператором по любой причине своевременной замены отказавшего компонента вызовет увеличение второй составляющей. В связи с этим данный способ резервирования ПН эффективен только в том случае, если предполагаемое восстановление ПН будет произведено в регламентированный интервал времени с момента обнаружения отказа СК. При невыполнении этого условия следующий отказ любого из оставшихся работоспособных N СК вызовет и отказ ПН (системы электропитания с зависимым отказом СВТ).

С целью существенного облегчения решения данной проблемы применяют другой способ резервирования, а именно $N+L$, при котором в ПН, кроме N основных, устанавливают $L > 1$ нагруженных резервных СК.

Увеличение количества нагруженных резервных СК в ПН сверх одного, обеспечивающего расчётное время безотказной

работы с заданной вероятностью, позволяет проводить замену отдельных отказавших за это время СК в предусмотренный период технического обслуживания. При этом может быть использован более укомплектованный групповой ЗИП.

Третий применяемый способ резервирования – $N+1+K$, при котором в ПН, кроме N основных, устанавливают дополнительно 1 нагруженный резервный СК и K ненагруженных резервных СК.

Главное достоинство двух последних способов – отсутствие необходимости оперативного обслуживания в межрегламентный период. При этом способ резервирования $N+L$ привлекателен своей относительной простотой, а $N+1+K$ – отсутствием расходования ресурса у невключённых резервных СК. Но здесь возникает расхождение во взглядах разработчиков на реализацию конкретного способа резервирования. Разность мнений обусловлена ответом на вопрос: в каком режиме должны работать резервные СК – нагруженном или ненагруженном?

Рассмотрим два многоканальных ПН, для каждого из которых справедливо следующее:

- ПН состоит из M идентичных СК;
- все СК соединены параллельно;
- СК в количестве N условно являются основными;
- СК в количестве L условно являются резервными;
- отказ любого из СК не влияет на возникновение отказов остальных СК;
- ПН работает непрерывно до предельного состояния;
- восстановление отказавших СК не производится.

При этом в первом ПН применён способ резервирования $N+L$, при котором все L резервных СК находятся в нагруженном режиме, а во втором ПН – способ резервирования $N+1+K$, при котором один резервный СК находится в нагруженном режиме, а K резервных СК ($K=L-1$) – в ненагруженном. В дальнейшем для краткости будем первый и второй ПН называть ПН с нагруженным и ненагруженным резервом соответственно.

Оценку этих ПН будем вести путём сравнения наиболее характерного показателя их безотказности – гамма-процентной наработки до отказа.

В большинстве случаев СК в рассматриваемых ПН представляют собой промышленно выпускаемые преобразователи в модульном исполнении. Данные модули являются электронными изделиями, а их наработка до отказа, согласно [2], подчиняется экспоненциальному закону распределения с постоянной интенсивностью λ . При этом поведение обоих ПН во времени будет описываться однородным марковским процессом [3], которому соответствует граф переходов состояний, представленный на рисунке 1.

Представленный граф следует интерпретировать следующим образом: ПН может находиться в конечном счётном множестве $\{M\}$ состояний, причём нахождение ПН в этих состояниях образует группу несовместных случайных событий. Переход из одного состояния в другое осуществляется с интенсивностью перехода $\Lambda_i, i \in \{M\}$ при отказе любого из СК, включённых в текущем состоянии i . При этом состояние M является поглощающим, т.е. состоянием отказа ПН в целом, а все состояния, кроме M , – непоглощающими, или состояниями работоспособности.

Гамма-процентная наработка ПН до отказа зависит от вида функции вероятности безотказной работы и может быть получена из следующего выражения:

$$T_\gamma = \arg P(t) | P(T_\gamma) = \gamma, \quad (1)$$

где γ – заданное значение вероятности безотказной работы, $P(t)$ – функция вероятности безотказной работы ПН, определяемая, согласно [3], следующим образом:

$$P(t) = \prod_{j=0}^L \Lambda_j \sum_{i=0}^L \frac{e^{-\Lambda_i t}}{\Lambda_i \prod_{r=0, r \neq i}^L (\Lambda_r - \Lambda_i)}. \quad (2)$$

Модель отказов СК в общем характеризуется интенсивностью отказов λ . Тогда интенсивность перехода ПН из одного состояния в другое Λ_i согласно [3], определяется следующим образом:

$$\Lambda_i^{AR} = (N + (L - i)\xi)\lambda A_i^f, \quad 0 \leq i \leq L, \quad (3)$$

$$\Lambda_i^{SR} = \begin{cases} (N(1 + \xi) + \xi + \zeta)\lambda A_i^f, & 0 \leq i \leq K; \\ (N(1 + \xi))\lambda A_i^f, & i = L, \end{cases} \quad (4)$$

где:

- индекс AR означает Active Reserve – нагруженный резерв;

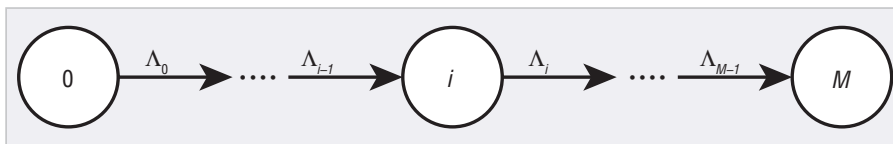


Рис. 1. Граф переходов состояний резервированного ПН

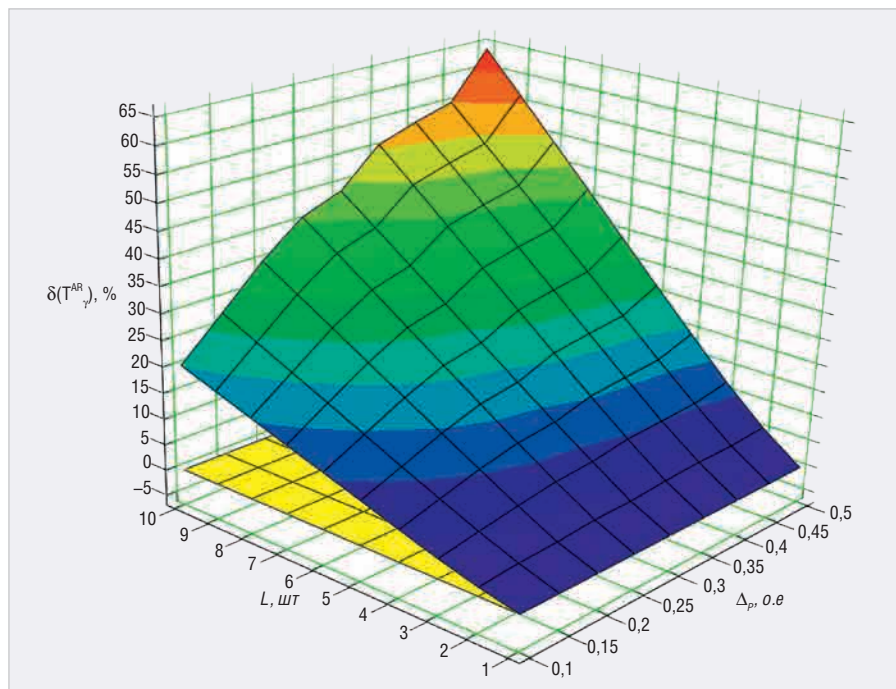


Рис. 2. Относительное отклонение (превышение) гамма-процентной наработки до отказа ПН с ненагруженным резервом

- индекс SR означает Standby Reserve – ненагруженный резерв;
- коэффициент подобия ξ равен отношению суммарной интенсивности отказов контрольно-переключающих устройств каждого из СК к интенсивности отказов СК λ ;
- коэффициент подобия ζ характеризует долю интенсивности отказов, приходящуюся на компоненты СК, не зависящие от нагрузки ПН;
- A_i^f – коэффициент ускорения Аррениуса, характеризующий влияние температуры СК на его интенсивность отказов и определяемый по [5].

Гамма-процентная наработка ПН в соответствии с (2) и с учетом (3) и (4) будет определяться следующим образом:

$$T_\gamma^{AR(SR)} = \arg [P_{AR(SR)}(t) = \gamma]. \quad (5)$$

Для оценки пары значений (5) и (6) будем использовать величину относительного отклонения $\delta(T_1)$, характеризующего отклонение показателя T_1 от комплиментарного ему показателя T_2 :

$$\delta(T_1) = \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right) 100\%. \quad (6)$$

В качестве T_1 для (6) будем использовать показатель безотказности ПН с нагруженным резервом, а в качестве T_2 – соответствующий показатель безотказности ПН с ненагруженным резервом.

Подставляя в (6) соответствующие значения наработок, получим зависимость, представленную на рисунке 2. Для определенности при расчёте вероятности безотказной работы γ принята равной 0,99999. В качестве аргументов функции и $\delta(T_\gamma^{AR})$ выступают количество основных и резервных СК. При этом количество основных СК целесообразно определять исходя из их требуемой мощности, которую удобно представить в виде доли суммарной мощности ПН Δ_p .

Анализ зависимости, представленной на рисунке 2, показывает, что величина рассматриваемого относительного отклонения растёт с уменьшением количества основных и увеличением количества резервных СК. Практически для всех комбинаций, позволяющих реализовать способ резервирования $N+I+K$, т.е. при $L \geq 2$, величина относительного отклонения больше нуля, что означает соответствующее превышение величины наработки ПН с ненагруженным резервом.

Преимущество использования ненагруженного резерва по сравнению с нагруженным в ряде случаев заключается в возможности увеличения наработки до отказа (увеличение вероятности безотказной работы) при том же количественном составе СК, что и у ПН с нагруженным резервом, а также в возможности сокращения количества резервных СК при сохранении того же значения наработки, что и у ПН с нагруженным резервом.

Кроме того, применение ненагруженного резервирования позволяет реализовать в ПН временную и ситуационную ротации [7], что также позволит достичь вышеописанных положительных результатов.

На основании вышеизложенного можно сформулировать основные преимущества применения ненагруженного резервирования и, в частности, способа резервирования $N+I+K$ по сравнению с нагруженным резервированием по способу $N+L$.

Во-первых, при любом количестве резервных СК (не превышающем количества основных СК) гамма-процентная наработка до отказа ПН выше до 20%, и чем меньше основных СК при прочих равных условиях, тем больше прирост наработки ПН. Добавление каждого нового резервного СК увеличивает данную разницу в наработках на величину до 7,5% также в зависимости от количества основных СК.

Во-вторых, благодаря наличию автоматизированной системы контроля и

управления, обусловленной применением способа резервирования $N+I+K$, появляется возможность реализации в ПН временной ротации [7], при которой за счёт равномерного и периодического расходования ресурса СК появляется возможность ещё большего повышения безотказности ПН в целом при одновременном сокращении количества резервных СК.

Следует отметить, что ввиду простоты реализации применение способа резервирования $N+I$ (частный случай $N+L$) целесообразно в недорогих и некритичных приложениях, а способа $N+L$, и особенно $N+I+K$, – в ответственных приложениях, для которых предъявляются высокие требования к безотказности.

Благодаря наличию в ПН со способом резервирования $N+I+K$ магистрально-модульной архитектуры и аппаратной избыточности появляется возможность реализации в нём дополнительных преимуществ: параметрической многовариантности, адаптивности к внешним и внутренним условиям, а также организации динамической выходной шины постоянного тока [8–10].

ЛИТЕРАТУРА

1. И.К.С. Исследования. Консалтинг. Стратегии. Исследование причин отказов в ЦОД. Пути снижения рисков – 2013.
2. ГОСТ Р 27.004-2009. Надёжность в технике. Модели отказов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.

3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Советское радио, 1975. – 472 с.
4. Четин А.Н. Влияние структуры управляющей части на надёжность системы электропитания. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. 2012. Вып. 2. С. 162–170.
5. Четин А.Н. Параллельная работа и безотказность преобразователей напряжения. Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ. 2013. Вып. 2. С. 156–161.
6. Радиосхемы. Схема преобразователя напряжения: <http://www.radioskot.ru>
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. Либенко Ю.Н., Михальченко Г.Я., Четин А.Н. Специфические возможности систем вторичного электропитания с магистрально-модульной архитектурой. Доклады ТУСУРа. 2011. № 2(24). Ч. 1. С. 264–268.
9. Либенко Ю.Н. Эволюция интеллектуализации средств вторичного электропитания. Практическая силовая электроника. 2012. № 2(46). С. 10–13.
10. Либенко Ю.Н. Эксплуатационные возможности преобразователей напряжения с магистрально-модульной архитектурой. Практическая силовая электроника. 2012. № 4(48). С. 6–9.



НОВОСТИ МИРА

Источники питания DELTA ЭЛЕКТРОНИКА ВНЕСНЫ В ГОСРЕЕСТР СИ РФ

Лабораторные источники питания SM 500-CP-90P324 от компании Delta Elektronika после успешного прохождения тестовых испытаний добавлены в Государственный реестр средств измерений РФ. Устройства обладают широким диапазоном параметров и точностью настроек, высокой стабильностью работы и низким уровнем шума.

Благодаря набору своих характеристик источники питания постоянного тока успешно используются в различных сферах промышленности, особенно в тех областях, где необходимо проводить высокоточные измерения или испытания. В большинстве случаев перед проведением работ на источник питания необходимо получить метрологический сертификат, удостоверяющий, что прибор отвечает всем требованиям, со-

ответствующим данному типу измерительных приборов.

На сегодняшний день в Государственный реестр средств измерений РФ добавлены источники питания серии SM800, SM1500, SM3300, SM6000, а также SM 500-CP-90P324 серии SM15K от Delta Elektronika.

www.dipaul.ru

«МИКРАН» И G-MOBILE ПОДПИСАЛИ СОГЛАШЕНИЕ О СОТРУДНИЧЕСТВЕ

В рамках визита делегации Монголии генеральный директор АО «НПФ «Микран» Владимир Доценко и начальник Департамента ВЭС и стратегического планирования G-Mobile Мункхгэрэл Сукхбаатар заключили соглашение о сотрудничестве.

Предметом соглашения является взаимодействие компаний в области обеспече-

ния транспортной инфраструктуры согласно инновационным решениям компании «Микран»: радиорелейная связь, системы DWDM, коммутаторы, маршрутизаторы, PON, G-PON, системы спутниковой связи и иное оборудование.

Компания «Микран» – лидер в области разработки и производства телекоммуникационной аппаратуры – готова предложить комплексные решения, поддерживающие весь спектр транспортных технологий и обеспечивающие построение транспортных сетей «под ключ».

Ранее проводилась деловая миссия томских малых и средних предприятий в Монголию, организованная Томской торгово-промышленной палатой при поддержке администрации Томской области, областного Фонда развития малого и среднего бизнеса и Минэкономразвития РФ.

www.micran.ru

POWER ELECTRONICS



15-я Международная выставка
компонентов и систем
силовой электроники

23-25 октября 2018
Москва, Крокус Экспо

Силовая Электроника

 ufi
Approved
Event

Единственная в России
специализированная
выставка компонентов
и систем силовой электроники
для различных отраслей
промышленности



Реклама



primexpo

Организатор
Группа компаний ITE
+7 (812) 380 6003/07/00
power@primexpo.ru

Подробнее о выставке
powerelectronics.ru

12+