

Оценка вероятности отказа при появлении требования на срабатывание РЗА

Олег Захаров

В статье показан практический пример оценки для цифровых устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) показателя «средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» с использованием информации, полученной от эксплуатирующих организаций.

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих публикациях [1, 2] были рассмотрены методики оценки таких показателей надёжности, как наработка на отказ и сохраняемость цифровых устройств релейной защиты.

Помимо них в разделе 3.6 нормативного документа [3] приведены два показателя надёжности, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание»:

- средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования);
- параметр потока ложных срабатываний устройства в год (при отсутствии требования).

Эти два показателя можно встретить практически во всех работах по надёжности цифровых устройств релейной защиты, а также в работах, посвящённых надёжности пожарных извещателей [4]. Для первого из них в документе [3] рекомендуется выбирать одно из двух значений: 1×10^{-5} или 1×10^{-6} . Для второго этим же документом рекомендованы несколько иные значения: 1×10^{-6} или 1×10^{-7} . При этом не указано, какому временному интервалу соответствуют эти значения. Примечательно, что рекомендованное значение для второго из рассматриваемых показателей приведено и в стандарте [5], составляя величину совсем другого порядка – 0,0011/год.

Выбирая любое из рекомендованных значений того или иного показателя и фиксируя их в технических условиях на изделие [6], разработчик и производитель должны предусмотреть методику оценки их фактических значений.

Обычно достигнутые значения показателей определяют при контрольных испытаниях на надёжность, однако в нормативной и технической литературе отсутствуют какие-либо методики определения рассматриваемых показателей, что делает невозможным их оценку для цифровых устройств релейной защиты.

Для устранения этого пробела предлагается методика оценки, основанная на информации, получаемой от потребителей, эксплуатирующих данные устройства.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗА ДЛЯ ПЕРВОГО ГОДА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

Обратим внимание на первый из двух рассматриваемых показателей, который характеризует совмещение двух независимых событий:

- отказ устройства (событие A);
- требование на срабатывание (событие B).

Если вероятность отказа устройства зависит от его надёжности, то возникновение требования на срабатывание определяется характеристиками энер-

госистемы, в которой это устройство эксплуатируется.

Как известно [7], вероятность одновременного возникновения двух независимых событий может быть определена как произведение вероятностей каждого из этих событий:

$$P(AB) = Q(A) \times P(B), \quad (1)$$

где $Q(A)$ – вероятность отказа устройства;

$P(B)$ – вероятность появления требования на срабатывание.

Для оценки вероятности отказа устройства $Q(A)$ воспользуемся результатами, изложенными в [1].

Наработка на отказ, определённая по экспериментальным данным, полученным от организаций, эксплуатирующих цифровые устройства релейной защиты и автоматики, составила $T_0 = 125\,000$ часов. Вероятность безотказной работы устройства за первый год (8760 часов) эксплуатации при такой наработке на отказ находим по формуле:

$$P(A) = e^{-t/T_0} = e^{-8760/125000} = 0,932. \quad (2)$$

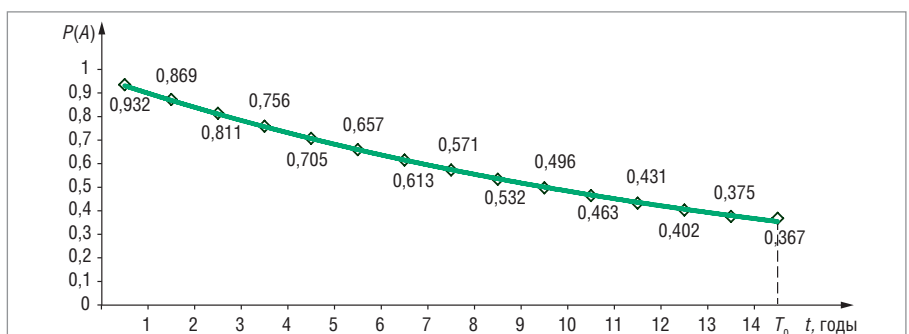


Рис. 1. Изменение вероятности безотказной работы устройства при $T_0 = 125\,000$ ч

Для построения графика изменения вероятности безотказной работы во времени (рис. 1) в формуле (2) использовано полученное экспериментальным путём значение наработки на отказ $T_0 = 125\ 000$ часов. Вероятность отказа уменьшится до значения 0,367 при равенстве фактически отработанного изделием времени значению наработки на отказ. При фактической наработке больше $3T_0$ вероятность безотказной работы $P(A) < 0,05$.

Вероятность отказа устройства $Q(A)$ для первого года найдём по формуле для суммы противоположных событий:

$$Q(A) = 1 - P(A) = 1 - 0,932 = 0,068. \quad (3)$$

Если пойти по пути заведомо наихудшего случая и предположить, что при отказе устройства оба события – появление требования на срабатывание устройства, формируемого электрической системой, или отсутствие требования на срабатывание – равновероятны, можно оценить значение вероятности события B как $P(B) = 0,5$.

Подставив значения $Q(A)$ и $P(B)$ в формулу (1) можно получить следующую грубую (явно завышенную) оценку значения показателя «средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за первый год (при появлении требования)» для рассматриваемого класса цифровых устройств:

$$P(AB)_{0,5} = Q(A) \times P(B) = 0,068 \times 0,5 = 0,034. \quad (4)$$

Однако на самом деле значение $P(B)$ значительно меньше 0,5, так как в любой электрической системе «требование на срабатывание» формируется ограниченное количество раз, а всё остальное время для системы характерно «отсутствие требования на срабатывание».

Для получения более точной оценки показателя необходимо знать количество срабатываний защит в электрической системе за год и количество отказавших за этот же период цифровых устройств. Например, по данным ООО «НТЦ «Мехатроника», в 2011 году к цифровым блокам релейной защиты, эксплуатирующимся на энергетических объектах ОАО «Российские железные дороги» была предъявлена одна претензия. За тот же период на этих объектах зафиксировано 515 отключений. В данном случае значение $P(B)$ может быть оценено как $1/515 = 0,0019$. Кроме того, следует учитывать, что на любом энергетическом

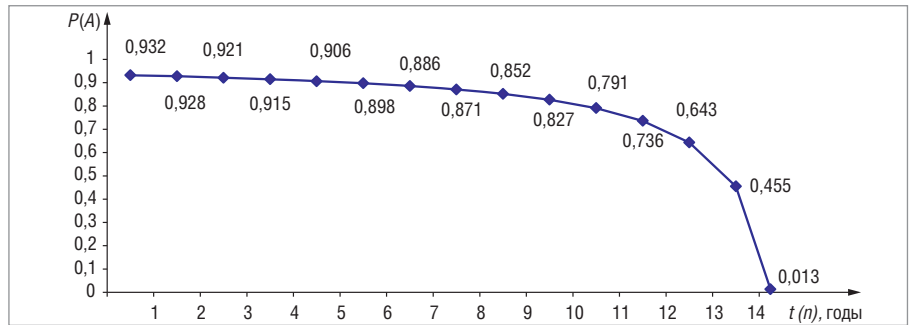


Рис. 2. Вероятность безотказной работы устройства в n -м году при $T_0 = 125\ 000$ часов ($T_{01} = 14,23$ года)

объекте одновременно находятся в эксплуатации изделия с разной наработкой. Так как с увеличением наработки вероятность отказа будет только расти, то вероятность отказа устройства для первого года работы можно рассматривать как минимальное значение для любого из цифровых устройств, установленных на данном энергетическом объекте.

Учитывая это и подставив полученное значение $P(B)$ в формулу (1), можно найти:

$$P(AB)_{\min} = 0,068 \times 0,0019 = 0,00013. \quad (5)$$

Полученное по формуле (5) значение $P(AB)_{\min} = 0,00013$ для изделий с наработкой на отказ $T_0 = 125\ 000$ часов на первый взгляд представляется не соответствующим ни одному из двух значений (1×10^{-5} или 1×10^{-6}), рекомендованных в руководящем документе [3], и отличается от них не менее чем на порядок. Вероятнее всего, что при установлении данных значений не была учтена взаимосвязь таких показателей надёжности, как вероятность отказа и наработка на отказ. Поэтому обратим особое внимание на рекомендованные значения показателей.

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ, РЕКОМЕНДОВАННОГО В НОРМАТИВНОМ ДОКУМЕНТЕ

В связи с тем, что все показатели надёжности взаимосвязаны, проверим, насколько правильно заданы рекомендованные значения в документе [3].

При $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$ вероятность безотказной работы составит:

$$P(A) = 1 - Q(A) = 1 - 0,00001 = 0,99999. \quad (6)$$

Используя формулу (2) можно определить минимальное значение наработки на отказ $T_{0ф}$, которое соответствует значению $P(A) = 0,99999$:

$$T_{0ф} = -8760 / \ln 0,99999 = -8760 / (-0,00001) = 876 \times 10^6. \quad (7)$$

Таким образом, оказывается, что при $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$ фактическое значение наработки на отказ $T_{0ф}$ должно, как минимум, в несколько тысяч раз превышать рекомендованное значение наработки на отказ $T_0 = 125\ 000$ часов, заданное в этом же документе.

Произведённые по формулам (2), (6), (7) вычисления позволяют обоснованно предположить, что в руководящем документе [3] отсутствует привязка значений вероятности отказа к приведённому здесь же значению наработки на отказ.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩИХ ЛЕТ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

При необходимости оценки вероятности безотказной работы за второй и последующие годы эксплуатации использовать формулу (2) нельзя, так как после подстановки в неё значения $t = n \times 8760$ (количество часов в n годах продолжительностью каждый 365 дней) получим значение вероятности безотказной работы за n прошедших лет, а не за n -й год.

Предположив, что за каждый год работы наработка на отказ уменьшается на значение $t = 8760$, можно предложить формулу (8), которая позволит оценить вероятность безотказной работы за n -й год:

$$P(A) = e^{-8760/[T_0 - (n-1)8760]} = e^{-1/[T_{01} (n-1)]}, \quad (8)$$

где $n = 1, 2, \dots, \text{int}(T_{01} + 1)$ – год, для которого необходимо оценить вероятность безотказной работы; T_{01} – наработка на отказ в годах. При $n = 1$ (то есть для первого года) формула (8) даёт тот же результат, что и формула (2).

График изменения вероятности безотказной работы по годам, определён-

ной по формуле (8) для $T_0 = 125\,000$ часов ($T_{01} = 14,23$ года), приведён на рис. 2. Особенностью данного графика является ограниченная область определения: при превышении фактическим временем текущей наработки заданного времени наработки на отказ формула (8) теряет физический смысл.

Здесь необходимо ещё раз обратить внимание на то, что показатели $P(A)$ и $Q(A)$ характеризуют надёжность цифрового устройства, тогда как вероятность появления требования на срабатывание определяется характеристиками электрической системы, в которой установлены эти устройства.

Выводы

1. Предложена методика оценки показателя «вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» за первый год эксплуатации на основании информации, полученной от эксплуатирующих организаций.
2. В связи с тем, что данный показатель не относится к индивидуальным характеристикам надёжности устройства, включать его в технические условия на цифровые устройства релейной защиты не следует.

3. Значения показателя «вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» 1×10^{-5} и 1×10^{-6} , рекомендованные в [3], не учитывают взаимосвязь различных показателей надёжности между собой и поэтому не соответствуют указанному в этом же документе значению наработки на отказ $T_0 = 125\,000$ часов и тем более $T_0 = 100\,000$ часов.
4. При необходимости оценки показателя «вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» для энергетических объектов, на которых используются цифровые устройства релейной защиты, рекомендуется применять методику, описанную в данной статье.
5. Предложена формула (8) для определения вероятности безотказной работы устройства при известном значении наработки на отказ. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Способ оценки наработки на отказ по результатам эксплуатации для устройств релейной защиты и автоматики // Современные технологии автоматизации. — 2010. — № 3.

2. Захаров О.Г. Показатели надёжности блоков частотной автоматики БМАЧР в цифрах и фактах [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://rza.org.ua/article/read/Pokazateli-nad-zhnosti-blokov-chastotnoy-avtomatiki-BMACHR-v-tsifrah-i-faktah_80.html.
3. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. — М.: ОРГРЭС, 1997.
4. Неплохов И.Г. Надёжность систем пожарной сигнализации [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.secur.ru/article.php?id_catalog=9&id_position=141.
5. ГОСТ 25804.2-83. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по надёжности. — М.: Издательство стандартов, 1984.
6. Новый стандарт организации — технические условия на блоки БМРЗ для железных дорог производства НТЦ «Механотроника» [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://rza.org.ua/news/read/Noviy-standart-organizatsii---tehnicheskie-usloviya---na-bloki-BMRZ-dlya-zheleznih-dorog---proizvodstva-NTTS---Mehanotronika---_1919.html.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с.

E-mail: olgezaharov@yandex.ru