

коэффициентов, Р -регулятор (на рисунке он выделен пунктирной линией), МП – статическая модель производства, X' , Z' - оценочные значения параметров производства и контролируемых внешних воздействий соответственно, Y' , Q' - вектора выходных параметров и расходных коэффициентов соответственно, вычисляемые с помощью модели, ИМ – блок идентификации модели, J – критерий идентификации, U – вектор идентификационных коэффициентов модели, IS – блок расчета себестоимости, C' – вектор оценочных значений цен, S' - оценочное значение себестоимости, МР- блок моделирования параметров производства, $S' \rightarrow \min$ – критерий выбора параметров.

Выводы

Предлагается следующая стратегия повышения эффективности функционирования подобных предприятий, являющихся мощными узлами нагрузки:

1) определение оптимального, с точки зрения себестоимости, режима функционирования предприятия с помощью модели МОУ,

2) расчет объема энергопотребления производством при этом режиме с помощью статической модели (МП),

3) определение с помощью модели МД и на основе тарифов на электроэнергию в разное время суток почасового потребления электроэнергии.

Список литературы:

1. Постановление Правительства РФ от 27.12.2010г. № 1172 «Об утверждении правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты правительства российской федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности».
2. Постановление правительства РФ от 4.05.2012 г. № 442 (ред. от 29.12.2011) «Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии»
3. Зайцева Н.М. Выравнивание графика электрической нагрузки для глиноземного производства. // Промышленная энергетика. 2012. № 8.
4. Зайцева Н.М. Оперативное управление нелинейным инерционным энергоемким производством // Журнал «Проблемы энергетике» № 1-2 2012г, Россия, г.Казань.

О сокращении номенклатуры показателей надежности цифровых устройств релейной защиты

Захаров О.Г.

НТЦ «Механотроника»

zaharov_og@mtrele.ru

Обоснована возможность исключения из нормативных документов показателей надежности, в названии которых использованы слова «требование на срабатывание».

В отношении цифровых устройств релейной защиты до настоящего времени действует руководящий документ [1], утвержденный в 1997 году, базирующийся на требованиях разработанного практически за 10 лет до этого стандарта [2].

Из множества показателей надежности цифровых устройств релейной защиты, зафиксированных в [1], обратим внимание на те, 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).

Следует отметить, что в технической и нормативной литературе определение понятия, обозначаемого термином «требование на срабатывание» отсутствует.

Эти два показателя можно встретить практически во всех работах по надежности цифровых устройств релейной защиты, а также в других работах, например посвященных надежности пожарных извещателей.

Выбирая любое из рекомендованных значений того или иного показателя и фиксируя их в технических условиях на изделие [5, 6], разработчик и производитель должны предусмотреть методику оценки их фактических значений.

Рассмотрим сами показатели подробнее. Первый из двух рассматриваемых показателей, характеризует совмещение двух независимых событий:

- отказ устройства (событие А);
- требование на срабатывание (событие В).

В теории надежности отказ устройства рассматривается как случайное событие, заключающееся в том, что объект полностью или частично перестает выполнять заданные функции.

Точно таким же событием является формирование условий, совокупность которых можно представить как требование на срабатывание.

Если вероятность отказа цифрового устройства зависит от его надёжности, то возникновение требования на срабатывание определяется характеристиками энергосистемы, 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.

Из сказанного следует, что данный показатель нельзя отнести к индивидуальным характеристикам надёжности устройства, так как его значение зависит и от свойств системы, в которой используется цифровое устройство.

Для оценки вероятности отказа устройства $Q(A)$ воспользуемся результатами, полученными в [8, 9].

При наработке на отказ $T_0 = 125000$ часов вероятность безотказной работы устройства за первый год (8760 часов) эксплуатации составит (рис. 1):

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

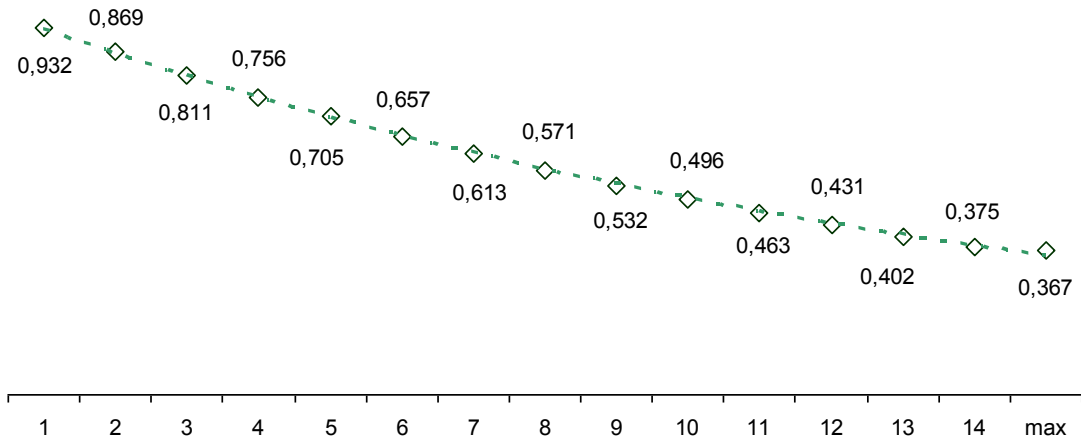


Рис.1 Изменения вероятности безотказной работы устройств при $T_0=125000$ час

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 ориентироваться на заведомо наихудший случай 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 В как $P(B) = 0,5$.

Подставив значения $Q(A)$ и $P(B)$ в формулу (2) 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 «Механотроника», 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 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 (2), можно найти:

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

Напомним, что в документе [1] рекомендуется выбирать одно из двух значений средней вероятности отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования): 1×10^{-5} или 1×10^{-6} (размерность отсутствует).

Для второго показателя в этом же документе рекомендованы иные значения, отличающиеся на порядок: 1×10^{-6} или 1×10^{-7} (размерность также отсутствует).

Примечательно, что рекомендованное значения для второго из рассматриваемых показателей приведено и в стандарте [4], но представляет собой величину совсем другого порядка – $0,0011/\text{год}$.

Полученное по формуле (5) значение $P(AB)_{\min} = 0,00013$ для изделий с наработкой на отказ $T_0 = 125000$ на первый взгляд представляется не соответствующим ни одному из двух значений (1×10^{-5} или 1×10^{-6}), рекомендованных в руководящем документе [1], и отличается от них не менее чем на порядок.

Для значения $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$, установленного в документе [1] вероятность безотказной работы изделия составит:

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

Используя формулу (2) можно определить минимальное значение наработки на отказ $T_0\phi$, которое соответствует значению $P(A) = 0,99999$:

$$T_0\phi = -8760 / \ln 0,99999 = -8760 / (-0,00001) = 876 \times 106. \quad (7)...$$

Таким образом, оказывается, что при $Q(A) = 1 \times 10^{-5}$ фактическое значение наработки на отказ $T_0\phi$ должно, как минимум, в несколько тысяч раз превышать рекомендованное значение наработки на отказ $T_0 = 125000$ часов, заданное в этом же документе.

Произведённые по формулам (2), (6), (7) вычисления позволяют обоснованно предположить, что в руководящем документе [1] некорректно заданы значения вероятности отказа в срабатывании 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 -ый год.

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

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

где $n = 1, 2, 3, \dots$ - год, для которого необходимо оценить вероятность безотказной работы;

T_0 – наработка на отказ в годах.

При $n = 1$ (то есть для первого года) формула (8) даёт тот же результат, что и формула (2). Одинаковый с формулой (2) результат формула (8) даёт и для того года, когда наработка на отказ T_0 будет «израсходована» полностью (рис. 2).

Особенностью данного графика является ограниченная область определения: при превышении фактическим временем текущей наработки заданного времени наработки на отказ T_0 формула (8) теряет физический смысл.

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

показателя «средняя вероятность отказа в срабатывании устройства за год (при появлении требования)» в руководящий документ [1] и, как следствие, в технические условия на цифровой блок релейной защиты [9, 10].

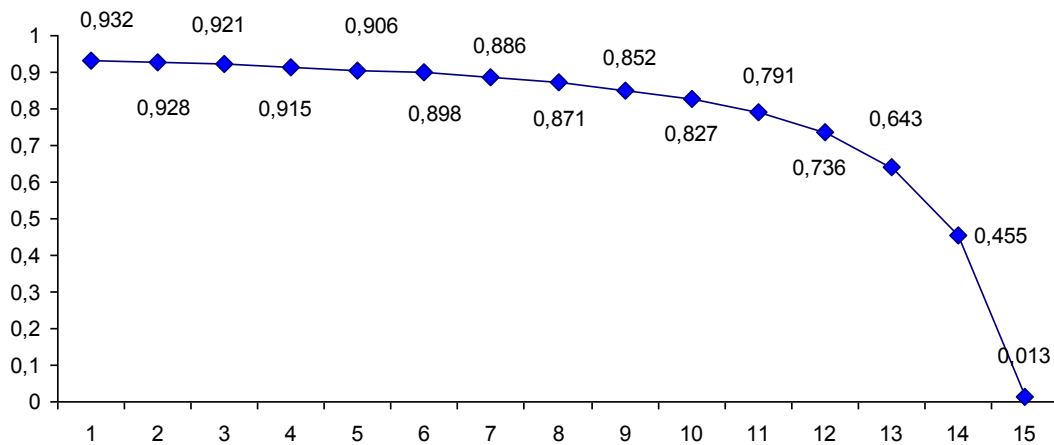


Рис. 2 Вероятность безотказной работы устройства в n-ом году при $T_0 = 125000$ часов ($T_{01} = 14,23$ года)

Второй из рассматриваемых в этой работе показателей - «параметр потока ложных срабатываний устройства в год (при отсутствии требования)» - также характеризует совмещение двух независимых событий:

- ложное срабатывание устройства (событие C), которое зависит от надежности этого устройства;
- отсутствие требования на срабатывание (событие D).

Если использовать терминологию, установленную в [4] то название этого показателя надежности должно быть сформулировано так:

- параметр потока ложных срабатываний устройств w , где ложное срабатывание - срабатывание при отсутствии требований.

Данное определение термина лучше, чем используемое многими специалистами определение ложного срабатывания, как срабатывания при отсутствии короткого замыкания [10]. Если ограничиться последним определением, то из рассмотрения оказываются исключенными те алгоритмы защиты, автоматики и сигнализации, условия срабатывания которых не связаны с наличием или отсутствием короткого замыкания.

В некоторых работах по релейной защите, например в [10], ложное срабатывание наряду с излишним срабатыванием и другими неправильными действиями защиты, отнесены к отказам функционирования релейной защиты, что нельзя считать корректным для отдельного устройства в составе системы релейной защиты.

Ложные срабатывания устройств могут происходить по разным причинам, далеко не всегда имеющим отношения к надежности устройства релейной защиты.

Часть внешних причин, вызывающих ложное срабатывание устройства, обусловлена поступлением на различные порты устройства электромагнитных помех, на которые оно реагирует так, как если бы соответствующий алгоритм сформировал требование на срабатывание.

Для исключения таких причин ложных срабатываний, устройства должны отвечать определенным требованиям по электромагнитной совместимости.

Даже если цифровое устройство отвечает всем требованиям по помехозащищенности, при проектировании электроустановки необходимо

руководствоваться рекомендациями, изложенными в отраслевых нормативных документах [12, 13, 14].

Для систем релейной защиты характерна ещё одна группа внешних воздействий, в результате воздействия которых исправное цифровое устройство формирует требование на срабатывание, а произошедшее после этого срабатывание цифрового устройства будет оценено как ложное.

Для исключения таких срабатываний в системах релейной защиты предусматривают блокирующие устройства (см., например, [15], с. 243), а в цифровых устройствах – алгоритмы, блокирующие их работу.

Правильнее такие причины рассматривать как дефекты схемных решений [16], приводящие к некорректной работе устройств или алгоритмов защиты.

Суммируя все сказанное можно утверждать, что рассмотренные внешние причины нельзя отнести к характеристикам надежности цифрового устройства релейной защиты.

Непрерывное наблюдение за работой цифровых устройств производства НТЦ «Механотроника» подтверждает, что именно несоблюдение рекомендаций, приведенных в отраслевых документах [12, 13] наиболее часто является внешними причинами ложных срабатываний цифровых устройств при отсутствии требования на срабатывание.

Для характеристики надежности отдельного устройства целесообразно рассматривать только те срабатывания, которые вызваны внутренними причинами, когда отказ того или иного элемента устройства приводит к срабатыванию устройства таким образом, как оно сработало бы при наличии требования на срабатывание.

Такой подход позволяет статистически определить показатель «поток ложных срабатываний», характеризующий надежность устройства, по формуле, аналогичной применяемой для оценки потока отказов $\mu(t)$ в стандарте [3]:

$$w(t) = [R(t_2) - R(t_1)] / t_2 - t_1, \quad (9)...$$

где $w(t)$ – параметр потока ложных срабатываний

$R(t_2)$ – количество ложных срабатываний к моменту времени t_2 ;

$R(t_1)$ – количество ложных срабатываний к моменту времени t_1 ;

Причем $t_1 \leq t \leq t_2$.

Кроме этого, для оценки верхнего значения этой характеристики устройства можно рассматривая все отказы устройства за время наблюдения как его ложные срабатывания, а для оценки потока ложных срабатываний использовать формулу, приведенную в стандарте [3]:

$$w(t)_{\max} < 1/T_0, \quad (10)$$

где $w(t)_{\max}$ – верхняя граница параметра потока ложных срабатываний

T_0 – наработка на отказ.

В связи с тем, что основные причины ложных срабатываний являются внешними по отношению к устройству, не зависят от его надежности, а определяются принятыми схемными решениями и корректным соблюдением

требований по электромагнитной совместимости, регламентированных нормативными документами, использование показателя «параметр потока ложных срабатываний w » в технических условиях на цифровые устройства требует дополнительного обоснования.

Список литературы:

1. РД 34.35.310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. // М.: ОРГРЭС, 1997, 36 с.
2. ГОСТ 4.185-85. Система показателей качества продукции. Устройства комплектные низковольтные. Номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов. 1985.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1991
4. ГОСТ 25804.2-83 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование систем управления технологическими процессами атомных электростанций. Требования по надежности.
5. ДИВГ.648228.001 ТУ. Блоки микропроцессорные релейной защиты БМРЗ. Технические условия.
6. СТО ДИВГ-050-2012. Блоки микропроцессорные релейной защиты БМРЗ. Технические условия.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969, 576 с.
8. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Определение наработки на отказ по результатам эксплуатации. // Вести в электроэнергетике, №1, 2010, С. 22.
9. Гондуров С.А., Захаров О.Г. Способ оценки наработки на отказ по результатам эксплуатации для устройств релейной защиты и автоматики // СТА (Современные технологии автоматизации) №3, 2010, С. 88.
10. А. Шалин. Микропроцессорные реле защиты: необходим анализ эффективности и надежности // Новости электротехники, №2 (38), 2006, С15.
11. ГОСТ 26291-84 (СТ СЭВ 4334-83). Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1985
12. СТО 56947007-29.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. М.: НТФ «Энергопрогресс»,

- «Энергетик», 2010, 170 с.
13. СТО 56947007-29.240.044-2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2010, 170 с.
14. Р 78.36.013-2002. Рекомендации. Ложные срабатывания технических средств охранной сигнализации и методы борьбы с ними. М.: МВД РФ, 2002
15. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998, 800 с.
16. Захаров О.Г. Определение дефектов в релейно-контакторных схемах. М.: Росагропромиздат, 1991, 184 с.

Децентрализованные системы энергообеспечения

Золотов В.П.

*Самарский государственный технический университет, Россия, г. Самара
zolotovvp@mail.ru*

Централизованные системы энергообеспечения – предоставление потребителю электроэнергии и тепла - не способны обеспечить нужды последнего в полной мере и по разумной цене. Непрерывное увеличение их тарифов заставляет задумываться о возможностях альтернативных способов энергообеспечения. Выходом здесь может оказаться децентрализованное или локальное энергообеспечение, при котором необходимые количества электроэнергии и тепла в меньших объёмах под нужды отдельного жилого микрорайона, жилого посёлка, предприятия или коттеджного объединения вырабатываются непосредственно в месте их потребления в едином технологическом процессе. Такая организация производства энергии обладает рядом существенных преимуществ по отношению к централизованным:

1. Передача энергии потребителю происходит с некоторыми потерями. Минимизация потерь при транспортировке электроэнергии на большие расстояния обеспечивается повышением рабочего напряжения до 220 кВ (и ставится задача построения линий электропередачи на напряжения 500 и более кВ). В правительственных документах названы величины потерь по электроэнергии в 30% [1], потери по теплу в [2] определены тоже на уровне в 30%. Финансовые вложения на обеспечение передачи энергии значительны. Поставщик все расходы перекладывает на потребителя, повышая тарифы.

В локальных системах эти потери не существенны.

2. В централизованных системах энергообеспечения чаще всего реализуется отдельный способ выработки электроэнергии и тепла, который обеспечивает среднее по России значение КПД производства электроэнергии в 25% и тепла в 85-90% [4]. В итоге в лучшем случае общий коэффициент полезного использования потенциала сожжённого топлива оказывается на уровне в 55% [4,5]. В децентрализованных системах целесообразно организовывать единый технологический процесс их получения, дающий возможность после производства электроэнергии обеспечить утилизацию остающегося тепла на нужды теплоснабжения. Этими мерами общий коэффициент использования потенциала сожжённого топлива повышается до общего уровня в 90% [5], снижая себестоимость процесса и уменьшая тарифы. Кроме того, следует учесть факт, что в централизованных системах производства электроэнергии тарифы для потребителя в восемь-десять [3,4] раз превышают себестоимость её производства в локальных системах с целью аккумуляирования энергетиками финансы к строительству новых энергопроизводящих мощностей (за последние двадцать лет не построено ни одного крупного энергоузла, «...ввод в действие новых производственных мощностей сократился от 2 до 6 раз...» [1]). Следовательно, в локальных системах тарифы для потребителя в большей степени будут определяться стоимостью первичного энергоносителя (природного газа или жидких нефтепродуктов), эксплуатационных расходов и ориентировочно составят:

- по электроэнергии -1 руб./кВт-час для систем с утилизацией тепла на нужды теплоснабжения или 1.5 руб./кВт-час для систем без утилизации (платим 3,0 и более рубля за кВт-час);

- по теплу 500-600 руб./Гкал (платим 1000 и более рублей за Гкал).

3. В централизованных системах отопления в распределённой трубопроводной сети находится большое количество горячей воды. Изменения температуры наружного воздуха в зимнее время приводят к необходимости регулирования температуры теплоносителя для сохранения ком-