

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ СЭС ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Дейнеко Н.А.

Харьковская государственная академия городского хозяйства

In clause the criterion of quality of a technique of the control of measuring elements of control facilities and protection of systems of electrosupply directed on construction of the optimum programs of the control is offered

Одним из основных факторов, определяющих точность работы измерительных органов устройств защиты и автоматики, является погрешность, роль которой выясняется при рассмотрении структуры погрешности метода измерений

$$\Delta = \Delta_a + (\Delta_y + \Delta_t + \Delta_\theta + \Delta_\phi) \quad (1)$$

где Δ_a - погрешность измерительной аппаратуры;

Δ_y - погрешность устройства регулирования уставки;

Δ_t - погрешность, зависящая от отклонения температуры от нормальной 20°C ;

Δ_θ - погрешность за счет деформаций подвижных частей;

Δ_ϕ - погрешность за счет искажения формы кривой.

Основным слагаемым является погрешность измерительной аппаратуры Δ_a , случайная составляющая которой характеризуется центрированной погрешностью:

$$\Delta_{ac} = \Delta_a + \Delta_{ac} \quad (2)$$

где Δ_{ac} - систематическая погрешность показаний измерительной аппаратуры.

Для количественной оценки случайных составляющих используются предельные случайные погрешности. Предельная случайная погрешность определяется соотношением

$$\Delta \lim_{ac} = \beta \cdot \sigma \quad (2)$$

где при нормальном законе распределения $\beta = 3$, а σ - среднеквадратическое отклонение погрешности показаний контрольной аппаратуры.

В то же время для оценки случайной составляющей погрешности вместо предельной случайной погрешности используют вариацию показаний Δ , представляющую собой длину интервала, вероятность выхода за границы которого пренебрежительно мала. Величина Δ определяется соотношением

$$\Delta = 2 \Delta \lim_{ac} = t_L \cdot \sigma \quad (3)$$

где $t_L = 2\beta = 6$ - при нормальном распределении.

Предельная случайная погрешность метода измерения $\Delta \lim_{yч}$ выражается через предельные случайные погрешности всех слагаемых в предположении их взаимной независимости и одинаковости распределений на основании теоремы о дисперсии суммы независимых величин

$$\Delta \lim_{yч} = \sqrt{\Delta^2 \lim_{acч} + \Delta^2 \lim_{yч} + \Delta^2 \lim_{tч} + \Delta^2 \lim_{\thetaч} + \Delta^2 \lim_{\phiч}} \quad (4)$$

Для широко используемых приборов и устройств, применяемых при наладке защит норма предельной погрешности составляет 40-75 % общей предельной погрешности методов. Поэтому надежность и достоверность результатов действия устройств защиты в значительной мере зависят от достоверности и надежности определения предельной погрешности измерительных органов.

Соответствие между фактической уставкой измерительного органа и нормой для простых измерительных органов (с одной подведенной величиной) и органов с малыми диапазонами рабочих уставок характеризуется выполнением неравенства

$$\Delta \lim_{uоч} + |\Delta_{uоч}| \approx 3\sigma \leq |\Delta \lim_{uо}| \quad (5)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение погрешности измерительного органа;

$|\Delta \lim_{uо}|$ - норма предельной погрешности в работе измерительного органа.

Для измерительных органов со сложным механизмом или относительно большим диапазоном уставок могут устанавливаться две нормы:

Δ_1 - нормированная вариация показаний;

$$\Delta_1 \leq [\Delta_p] \quad (6)$$

Δ_p - нормированная максимально-возможная разность между срабатываниями, включая систематическую и случайную составляющие во всем диапазоне уставок.

Таким образом, надежность измерительных органов в узком смысле (т.е. безотказность в работе) определяется их безотказностью по параметрам точности. Отказы в точности измерительного органа, возникающие в процессе эксплуатации, выявляются только при выполнении периодических проверок. В период между двумя проверками такие отказы практически не обнаруживаются (если в этот промежуток не возникало требование к

работе защиты) и они не носят характера катастрофических, т.е. настолько резких, что обнаруживаются без проверки. Практика эксплуатации показала, что такие отказы бывают иногда сбоями, но чаще всего они носят устойчивый характер.

Степень полноты гарантии выявления отказа точности (ее уровень) зависит, в первую очередь, от методики испытаний и проверки измерительного органа.

Для оценки уровней целесообразно ввести и количественную оценку, которую можно назвать достоверностью методики проверки измерительного органа, а так как точность представляет собой одну из важнейших характеристик качества, то в этом смысле можно говорить о качестве методики проверки и испытания измерительных органов РЗА.

При проведении испытаний и проверок измерительных органов РЗА можно применять различные варианты методик, отличающихся способом проверок, типом аппаратуры, числом наблюдений в контрольных точках, наконец, числом контролируемых параметров и т.д. Вопрос о правильно выбранной методике будет возникать всякий раз, когда при пересмотре технологии проверок и соответствующей аппаратуры необходимо решить вопрос о целесообразности проведения тех или иных нововведений. Достоверность и точность результатов проверки измерительных органов защиты в значительной степени зависят от принятого варианта методики проверок.

При оценке качества методики, прежде всего, возникает вопрос, с какой вероятностью при положительных результатах проверки можно утверждать, что погрешность работы измерительного органа в условиях эксплуатации не превысит допустимых пределов. Разные варианты методик обеспечивают и разную степень безошибочности проверки. Возникает и другой вопрос, каким образом следует изменить методику проверки, чтобы она обеспечивала нужную достоверность результатов.

Для сравнения качества различных методик необходим критерий, позволяющий качественно сравнить их друг с другом.

Отказ в точности измерительного органа заключается, прежде всего, в несоблюдении равенств вида (3), (6). Правая часть каждого из них представляет собой норму точности, установленную в технических характеристиках на измерительный орган, а левая - сумму истинных значений систематической предельной случайной величины.

Основной целью проверки измерительных органов устройств релейной защиты и автоматики как раз и является оценка истинных значений уставки и вероятность ее отклонения. Очевидно, что благодаря влиянию всякого рода случайных воздействий на работу измерительных органов вероятные отклонения уставок могут быть истолкованы лишь статистически.

В статистическом смысле проверка измерительных устройств - это серия опытов (некоторая выборочная совокупность) из генеральной их совокупности. По полученным выборочным значениям отклонений с той или иной степенью приближения судят об истинных значениях уставок.

Как известно из теории математической статистики, близость выборочных значений, полученных при проверках, в первую очередь зависит от числа n повторных наблюдений, проводимых при проверке.

При применении допускового контроля технические средства контроля дают возможность задать параметры контроля только в определенных точках задающихся величин, отстоящих друг от друга на некотором расстоянии Δx . Промежуточные точки при этом не контролируются. Следовательно, близость выборочных значений к необходимым будет зависеть от числа точек n_T и от их расположения в диапазоне измерений.

Следует иметь в виду, что не менее важную роль играет также систематическая Δ_{co} и предельная случайная погрешность $\Delta \lim_0$ контрольной аппаратуры, с помощью которой производилась проверка соответствующего устройства, с показанием которой сравнивают работу проверяемого измерительного органа.

Выбор параметров методики проверки измерительной части устройств управления и защиты: числа наблюдений n , числа контрольных точек n_T , систематической погрешности аппаратуры наладки Δ_{co} и предельной случайной погрешности $\Delta \lim_0$ должен осуществляться с учетом физических особенностей измерительного органа (принцип действия, конструкция, условия применения), а также соображений экономического и организационного порядка. При возможности применения нескольких методик проверки очень важно иметь возможность их сравнения в соответствии с некоторым критерием их качества. Статистический подход к результатам проверок приводит к необходимости судить о качестве методики по доле безошибочно проверенных по ней элементов защиты и автоматики.

В процессе измерений, при проверках с некоторой вероятностью P_I может быть допущена ошибка, заключающаяся в признании отказавшим исправного элемента защиты. В теории проверки статистических гипотез такая ошибка называется ошибкой первого рода.

При тех же условиях с вероятностью P_{II} может быть допущена ошибка второго рода, состоящая в положительной оценке элемента защиты с неудовлетворительными характеристиками.

При выбранной методике измерений каждая из этих вероятностей не остается постоянной для измерительных элементов защиты, имеющих различные величины погрешностей.

Если располагать данными о плотности распределения вероятности $P_{\xi}(x)$ отношения ξ предельной случайной погрешности уставки измерительного органа к норме на нее (отношение вариаций отклонения к нормированной максимально возможной разности в срабатывании)

$$\xi = \frac{\Delta}{[\Delta]} = \frac{\Delta \text{lim}_y}{[\Delta \text{lim}_y]} \quad (7)$$

то доля безошибочно проверенных устройств защиты по рассмотренной методике составит

$$N_0 = 1 - P_I' - P_{II}' \quad (8)$$

где P_I' - доля реле, признанных неисправными из общей массы исправных;

P_{II}' - доля реле, признанных исправными из общей массы неисправных.

Вероятность того, что элемент, подлежащий проверке, соответствует норме, равна

где $P_\xi(x)$ - плотность вероятности случайной величины ξ

Доля элементов, признанных соответствующим нормам составит

$$F = \int_0^1 P_\xi(x) dx \quad (9)$$

$$P' = \int_0^1 P_{H\xi}(x) dx \cdot P_\xi(x) dx \quad (10)$$

где $P_{H\xi}(x)$ - вероятность признания проверяемого элемента исправным.

Отсюда доля признанных неисправными из числа исправных элементов будет составлять

$$P_I' = F - P' \quad (11)$$

Доля оставленных в эксплуатации элементов, не соответствующих нормам

$$P_{II}' = \int_1^\infty P_{H\xi}(x) \cdot P_\xi(x) dx \quad (12)$$

После подстановки 9, 10, 11, 12 в 8, получим

$$N_0 = 1 - \left[\int_0^1 P_\xi(x) dx - \int_0^1 P_{H\xi}(x) P_\xi(x) dx - \int_1^\infty P_{H\xi}(x) P_\xi(x) dx \right] \quad (13)$$

Анализ полученного выражения показывает, что для оценки качества самой методики принцип степени безошибочности неприемлем по следующим причинам:

1) из 13 видно, что N_0 зависит не только от качества методики проверки $P_{H\xi}(x)$ (вероятность признания проверяемого элемента по данной методике исправным), но и от качества изготовления этого элемента (плотность вероятностей $P_\xi(x)$ распределения проверяемых элементов по испытываемому параметру). Следовательно, при относительно плохих методиках, но при хорошем качестве изготовления, N_0 может принимать высокие значения. Таким образом, N_0 может использоваться как косвенный показатель по отношению к каждому из этих качеств в отдельности.

2) При разработке и апробации новой методики испытаний плотность вероятностей $P_\xi(x)$, как правило, бывает неизвестна, что не дает возможности определить N_0 . При попытке определения $P_\xi(x)$ экспериментальным путем чаще всего сказывается, что интегралы правых частей в 10 и 12 аналитически не решаются. Можно лишь предположить, что плотность вероятностей будет различной для вновь вводимых в эксплуатацию устройств и устройств, длительно находившихся в эксплуатации, т.к. со временем изменяются и уровень производства и условия эксплуатации. Если даже показатель N_0 вычислить с помощью временных вычислительных программ ЭВМ, то и тогда он практически не может быть использован для однозначной оценки качества методики проверки.

В то же время, его составные части оценивают риск признания неисправным устройства без отклонений, определяющих параметров и риск оставить в работе неправильно работающее устройство.

Для получения прямого показателя качества методики проверки измерительных органов защиты и автоматики имеет смысл воспользоваться весьма близкой аналогией, а именно, принципом оценки точности самих измерительных приборов.

Как уже отмечалось, точность измерительного органа измеряется не величиной погрешности измерений (погрешностью метода измерений), которая зависит не только от точности проверочной аппаратуры, но и от конкретных условий их использования, величиной погрешности его работы. Последняя представляет собой погрешность в срабатывании (в измерении) в некоторых стандартных условиях, при которых отсутствуют дополнительные погрешности, вызываемые конкретными условиями использования. Роль стандартных условий проверки при оценке методик проверки измерительных органов защиты может играть закон равной вероятности.

Анализ показал, что целесообразность принятия этого закона за стандартный закон объясняется следующими причинами.

1. При таком законе, по сравнению с другими, безошибочность методики проверки оценивается с некоторым запасом.

2. Количественные оценки степени безошибочности методики предельно упрощаются. Считая величину $\xi = \frac{\Delta}{[\Delta]}$ равномерно распределенной на отрезке от 0 до 1 (это значит, что устройства проверяются без ошибок в работе), получим, что $P_{H\xi}(x) = I$. Тогда 13 принимает вид

$$N = 1 - \left[1 - \int_0^1 P_{H\xi}(x) dx \right] - \int_0^{\infty} P_{H\xi}(x) dx \quad (14)$$

$$1 - \int_0^1 P_{H\xi}(x) dx = f'_I$$

Обозначим разность
а интеграл

Тогда

$$N = 1 - (f'_I + f'_{II}) \quad (15)$$

$$\int_0^{\infty} P_{H\xi}(x) dx = f'_{II}$$

В геометрической интерпретации f'_I представляет собой площадь между идеальной оперативной характеристикой и фактической оперативной характеристикой данной методики проверки в интервале от 0 до 1, а интеграл f'_{II} представляет собой площадь под фактической характеристикой в интервале от 1 до ∞

Критерий N легко определить по графику фактической оперативной характеристики анализируемой методики проверки. Однако, в этом случае график должен быть построен в нормированном масштабе.

Для устранения этого ограничения достаточно отнести все члены правой части 15 к f_0 - площади под идеальной оперативной характеристикой

$$N = 1 - \frac{f'_I + f'_{II}}{f_0} \quad (16)$$

Полученный критерий зависит только от качества методики проверки и вовсе не зависит от качества изготовления самих измерительных органов, т.к. для всех изготовителей устройств принят один и тот же закон распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерения. М.: Издательство стандартов. 1985. 150с.
2. Грановский В.А. Динамические измерения. Л., Энергоатомиздат. 1984. 214с.
3. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы. Киев. Вища школа. 1980. 551с.