Выводы

Матрица Якоби уравнений установившегося режима электрической системы будет совпадать со свободным членом характеристического уравнения при следующих условиях.

1. В расчетной схеме должен быть узел, рассматриваемый как шины бесконечной мощности, который принимается балансирующим по активной мощности.
2. В расчетах режимов должны фигурировать те же статические характеристики нагрузок, что и при оценке устойчивости.
3. В расчетах режимов и оценке устойчивости генераторы учитываются одинаковыми статическими характеристиками $Q_Г=Q(U_Г,P_Г)$; при этом для генераторов независимыми переменными являются $Q_Г$, $P_Г$.

Если при расчетах устойчивости пренебречь статизмом АРВ генераторов, т. е. считать U_i=const, что практически приемлемо, то условие 3 видоизменится: для генераторных узлов в расчетах режимов в качестве независимых переменных принимаются $U_Г$, $P_Г$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая школа, 1970. – 470 с.
2. Lagonotte P., Sabommadiere J.C, Leost J.Y., Paul J.P. Structural analysis of the electrical system: application to secondary voltage control in France // IEEE Trans. Power Syst. – 1989. – V. 4. – № 2. – P. 479–486.
3. Веников В.А., Строев В.А., Идельчик В.И. и др. Оценка статической устойчивости электрических систем на основе решения уравнений установившегося режима. // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1971. – № 5. – С. 18–23.
4. Анисимова Н.Д., Веников В.А., Ежков В.В. и др. Методика расчетов устойчивости автоматизированных электрических систем. – М.: Высшая школа, 1966. – 246 с.
5. Pai M.A., Angaonkar R.P. Electromechanical distance measure for decomposition of power systems // Elec. Power and Energy Syst. – 1984. – V. 6. – № 4. – P. 249–254.
6. Готман В.И. Особенности управления и построения единой энергосистемы Азиатской части СССР на базе обобщенных статических характеристик: – Томск: Изд-во ТПИ, 1977. – 96 с.
7. Agarkov O.A., Efimov D.N., Necryachenko O.G. Complex analysis of dynamic properties of electric power systems // Proc. of EPRI-SEI joint Seminar on methods for solving the problems on energy, power system development and control (P. II). – Beijing (China), 1991. – P. 65–76.
8. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979. – 495 с.

Поступила 20.05.2007 г.

УДК 621.311.019

ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ

Л.В. Кривова, А.В. Шмойлов

Томский политехнический университет
E-mail: faharlv@mail.ru

Разработаны вероятностные критерии рисков перегрузки и разрушения при обосновании выбранных силовых компонентов электроустановок в условиях эксплуатации и аварийных воздействий. Приведен пример проверки жестких сборных шин Сургутской ГРЭС-1.

При проектировании и эксплуатации развивающихся электроустановок возникают многочисленные задачи выбора и обоснования новых либо обоснования существующих силовых компонентов электростанций, электропередач, районных и распределительных сетей, систем электроснабжения.

Данные задачи обычно предстают в виде определения расчетных эксплуатационных значений электрических величин в условиях длительных установившихся режимов работы, кратковременных ненормальных асинхронных режимов, аварийных электромагнитных процессов коротких замыканий, утяжеленных установившихся режимов и электромеханических переходных процессов (режимные параметры). Названные расчетные значения при выборе и обосновании соответственно сопоставляются с режимными длительно-допустимыми (ДД) и кратковременно-допустимыми (КД) параметрами справочно-каталожных данных, полученных в условиях испытаний.

Как методы и условия определения расчетных значений, так и ДД и КД параметры устанавливаются (рассчитываются, принимаются, назначаются) экспертно-испытательным путем.

Однако, как при определении экстремальных расчетных значений, так и при формировании условий получения испытательных значений интересующего параметра проверки возникают вопросы, которые не могут быть разрешены детерминированным путем. Как невозможно определить максимальное расчетное значение случайно изменяющегося параметра в эксплуатационных условиях, так и случайные условия проведения испытаний по наблюдению ДД и КД значений нельзя предопределить. Хотя существующие экспертные рекомендации формально позволяют теоретически и методически подойти к решению названных задач, но практически это реализовать невозможно и объективного основания этих решений в детерминированном виде по-прежнему нет.

Однозначное и объективное определение расчетных значений случайных величин и условий получения конкретных испытательных значений возможно на базе теории вероятностей и математической статистики, объективно описывающих характеристики случайных событий, величин и процессов. Поэтому в [1, 2] поставлена задача и разработана основная математическая модель выбора и обоснования силовых компонентов (коммутационных аппаратов, токоведущих частей и оборудования) электроустановок с применением вероятностных технологий. Практическая иллюстрация данного подхода представлена на рисунке.

Особенностью всех представленных на рисунке вероятностных характеристик (ВХ) в виде плотности распределения вероятности (ПРВ) являются разные условия их формирования. ПРВ $c_{\text{фэ}}(\text{п})$ и $c_{\text{дд}}(\text{п})$ построены в условиях эксплуатации, а ПРВ $c_{\text{фа}}(\text{п})$ и $c_{\text{кд}}(\text{п})$ – в условиях аварийных возмущений.

Расчетные значения параметра П: $\text{п}^{\text{р}}_{\text{э}}$ – в условиях эксплуатации, $\text{п}^{\text{р}}_{\text{а}}$ – в условиях аварийных возмущений, $r_{\text{э}}$ – риск перегрузки вследствие превышения расчетного эксплуатационного значения $\text{п}^{\text{р}}_{\text{э}}$ параметром П, $r_{\text{дд}}$ – риск перегрузки вследствие снижения ДД значений как случайной величины относительно расчетного эксплуатационного значения $\text{п}^{\text{р}}_{\text{э}}$, $r_{\text{а}}$ – риск разрушения вследствие превышения расчетного аварийного значения $\text{п}^{\text{р}}_{\text{а}}$ параметром П, $r_{\text{кд}}$ – риск разрушения вследствие снижения КД значений как случайной величины относительно расчетного аварийного значения $\text{п}^{\text{р}}_{\text{а}}$, $\text{п}_{\text{фэ}p_1}$ и $\text{п}_{\text{фа}p_1}$ квантили порядков $p_1=1-r_{\text{э}}$ и $p_1=1-r_{\text{а}}$, определяющие расчетные значения $\text{п}^{\text{р}}_{\text{э}}$, $\text{п}^{\text{р}}_{\text{а}}$ с рисками: $r_{\text{э}}$ и $r_{\text{а}}$ (квантили перегрузки в условиях эксплуатации и разрушения в условиях аварийных возмущений).

Другой особенностью является рандомизированное представление ДД и КД испытательных параметров. Последнее, как указано в [2], обусловлено случайными флуктуациями параметров среды, также изменениями фактических напряжений в режимах, которое оказывает влияние на производные параметры (мощности, сопротивления). Существенным рандомизирующим фактором испытательных значений параметров являются переходные процессы в условиях испытаний (поляризация диэлектрических сред, динамические и термические воздействия протекающих токов в местах соединений и сочленений проводников, время существования переходных процессов), свободные составляющие которых случайным образом изменяются от нулевых до максимальных значений. В целом рандомизирующие факторы могут обусловить 30...40 %-е изменение величины интересующего параметра от экстремального его значения. Среднее значение или математическое ожидание (МО) параметра устанавливается в процессе испытаний, а разброс, например, в виде среднеквадратического отклонения (СКО) в предположении нормального закона распределения вероятностей можно, исходя из вышеназванного испытательного изменения, принять 5...7 % от испытательного диапазона или максимального (первоначального) его значения.

Разные условия ВХ, рисунок, вызваны необходимостью их определения по методу селекции границ интервалов данных [1], который позволяет в заданных условиях наблюдения определить полные ВХ выходных данных по исходным. Разные условия формирования полных ВХ исходных данных в виде ПРВ, функций распределения вероятностей (ФРВ) обусловливают разные условия получения ВХ выходных данных, что не позволяет объединять риски, показатели, вероятности при разных условиях с целью получения обобщенных критериев.

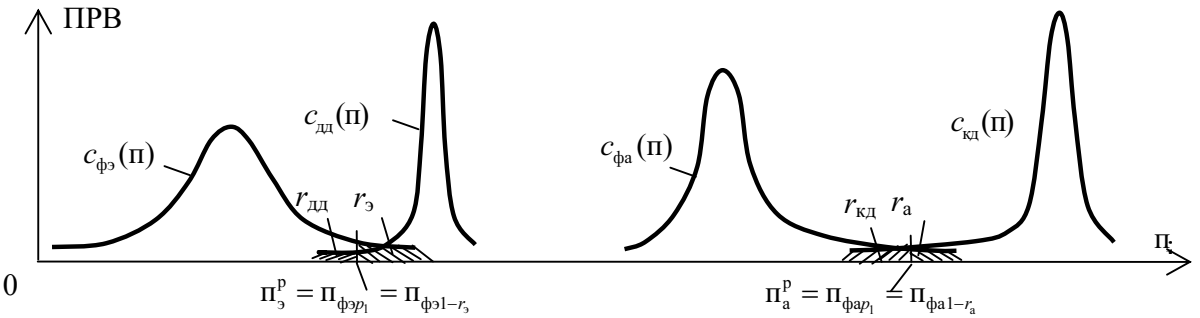

Рисунок. *Плотности распределения вероятностей фактических и предельно-допустимых значений интересующего параметра П силового элемента в условиях эксплуатации – фактических $c_{\text{фэ}}(\text{п})$ и длительно-допустимых (ДД) $c_{\text{дд}}(\text{п})$, в условиях аварийных возмущений (коротких замыканий, асинхронных режимов) – фактических $c_{\text{фа}}(\text{п})$ и кратковременно-допустимых (КД) $c_{\text{кд}}(\text{п})$*

Анализ показывает, что законы распределения вероятностей рассматриваемых параметров в виде ПРВ или ФРВ для условий эксплуатации [ПРВ $c_{фэ}(п)$, $c_{дд}(п)$] и аварийных условий [$c_{фа}(п)$, $c_{кдг}(п)$] равно, как и различные показатели (например, риски перегрузки $r_э$, $r_{дд}$ и разрушения $r_а$, $r_{кд}$) в названных парах не имеют существенных отличий в условиях их рассмотрения. Следовательно, риски перегрузки $r_э$, $r_{дд}$ и разрушения $r_а$, $r_{кд}$ можно попарно суммировать с одинаковым удельным весом, т. е. $r_п=r_э+r_{дд}$, $r_р=r_а+r_{кд}$. Это позволяет обоснование параметров выбранных силовых компонентов производить по обобщенным рискам перегрузки $r_п$ и разрушения $r_р$ и, следовательно, выполнять локальную оптимизацию соответственно в условиях эксплуатации и аварийных возмущений.

Анализ рисунка позволяет сформулировать практически реализуемые варианты выбора и проверки расчетных параметров силовых элементов, которые заключается в:

- варьировании расчетных значений расчетного параметра П в эксплуатационных $п_э^р$ и аварийных $п_а^р$ условиях;
- определении рисков перегрузки $r_э$ и разрушения $r_а$ за счет превышения соответственно расчетных значений $п_э^р$ и $п_а^р$;
- определении рисков перегрузки $r_{дд}$ и разрушения $r_{кд}$ за счет сниженных ДД и КД значений относительно расчетных значений $п_э^р$ и $п_а^р$;
- определении суммарных рисков перегрузки $r_п=r_э+r_{дд}$ и разрушения $r_р=r_а+r_{кд}$;
- минимизации результатов выбора расчетных значений $п_э^р$ и $п_а^р$ по величине соответственно суммарных рисков $r_п$ и $r_р$.

Порядок выбора и обоснования параметров силовых элементов может быть сформулирован следующим образом:

- методом селекции границ интервалов данных определяются параметры условных ПРВ расчетного параметра П в эксплуатационных $c_э(п)$ и аварийных $c_а(п)$ условиях;
- аналогичным методом могут быть определены параметры условных ПРВ ДД $c_{дд}(п)$ и КД $c_{кд}(п)$ расчетного параметра П, если известна зависимость ДД и КД параметров от исходных данных, в противном случае задача решается другим путем;
- на основании полученных результатов принимаются расчетные электрические величины в рабочих и аварийных условиях.

В качестве первоначальных расчетных рабочих величин целесообразно принять номинальные, а в качестве аналогичных аварийных значений – полусумму математических ожиданий нормальных ЗРВ фактических аварийных и кратковременно-допустимых величин. Благодаря этому можно определить риски соответственно:

1) перегрузки в эксплуатационных условиях:

$$r_п = 0,5 - \Phi\left[\frac{i_{рр} - m(I^э)}{\sigma(I^э)}\right] + 0,5 + \Phi\left[\frac{i_{рр} - m(I^{дд})}{\sigma(I^{дд})}\right],$$

где $i_{рр}=i_н$ – расчетный рабочий ток,

2) разрушения в аварийных условиях:

$$r_р = 0,5 - \Phi\left[\frac{i_{рао} - m(I^а)}{\sigma(I^а)}\right] + 0,5 + \Phi\left[\frac{i_{рао} - m(I^{кд})}{\sigma(I^{кд})}\right],$$

где $i_{рао} = \dfrac{m(I^а) + m(I^{кд})}{2}$ – расчетный ток аварийного отключения.

Пример обоснования жестких сборных шин секции собственных нужд энергоблока Сургутской ГРЭС-1

Сборные шины Сургутской ГРЭС-1 комплектного распредустройства питаются от шин низшего (6 кВ) напряжения трансформаторов собственных нужд мощностью 16 МВА по линиям в виде жестких шин. Вследствие небольшой длины токопроводов от рабочих трансформаторов собственных нужд до сборных шин сечение токопроводов линий как и сборных шин выбирается по допустимому току. Использованы двухполосные шины сечением 80×8 мм и допустимым током 2,04 кА.

Проверка по току в эксплуатационных условиях

Максимальный ток токопровода и сборных шин определяется номинальной мощностью трансформатора собственных нужд, т. е.

$$i_{р1} = 1,2 i_{нТСН} = 1,2 \frac{S_{нт}}{\sqrt{3} U_{нн} \cos\varphi_{ср}} =$$

$$= 1,2 \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,85} = 2,07 \text{ кА}.$$

Минимальный ток рабочего режима

$$i_{р2} = \frac{e_{р2}}{e_{р1}} i_{р1} = \frac{1}{1,9} \cdot 2,07 = 1,09 \text{ кА}.$$

Параметры нормального ЗРВ тока в эксплуатационных условиях:

$$\text{МО } m(I_э) = \frac{i_{р1} + i_{р2}}{2} = \frac{2,07 + 1,09}{2} = 1,58 \text{ кА},$$

$$\text{СКО } \sigma(I_э) = \frac{i_{р1} - i_{р2}}{6} = \frac{2,07 - 1,09}{6} = 0,163 \text{ кА}.$$

Параметры нормального ЗРВ ДД тока для жестких шин определяются через расчетные минимально и максимально наблюдаемые значения по формулам:

$$i^{\theta}_{ддн} = i^{дд}_{р2} = 0,$$

$$i^{\theta}_{дда} = i^{дд}_{р1} = i^{к}_{дд} \sqrt{\frac{\theta_{доп} - (-40)}{\theta_{доп} - \theta_{0ном}}} =$$

$$= 2040 \sqrt{\frac{70 + 40}{70 - 25}} = 3189,5 \text{ А}.$$

где $i^{к}_{дд}$=2040 А – каталожное значение допустимого тока, $\theta_{доп}$=70 °С – допустимая температура шин в эксплуатационных условиях, $\theta_{0ном}$=25 °С – принятая температура воздуха.

Параметры нормального ЗРВ ДД тока:

$$\text{МО } m(I_{дд}) = \frac{i^{дд}_{p1} + i^{дд}_{p1}}{2} = \frac{3189,5+0}{2} = 1594,75 \text{ А},$$

$$\text{СКО } \sigma(I_{дд}) = \frac{i^{дд}_{p1} - i^{дд}_{p1}}{6} = \frac{3189,5-0}{6} = 531,6 \text{ А}.$$

Риск перегрузки при заданном расчетном рабочем токе $i_{рр}$=2000 А определяется выражением

$$r_{п} = 1 - \Phi\left[\frac{i_{рр} - m(I_{э})}{\sigma(I_{э})}\right] + \Phi\left[\frac{i_{рр} - m(I_{дд})}{\sigma(I_{дд})}\right],$$

что в числах даст:

$$r_{п} = 1 - \Phi\left[\frac{2000-1580}{163}\right] + \Phi\left[\frac{2000-1594,75}{531,6}\right] =$$
$$= 1 - 0,49506 + 0,27637 = 0,78.$$

Уменьшение риска возможно за счет увеличения сечения шин прямоугольного сечения, либо принятия шин другого конструктивного исполнения.

Вывод

Для количественной оценки и гарантированного обоснования при выборе оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов, а также подбора их оптимальных параметров предложен вероятностный метод выбора и обоснования оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов электроустановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shmoilov A.V. Probability technologies in electric power industry // Proc. 6th Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology KORUS-2002, Novosibirsk, 2002. – V. 2. – P. 421-424.
2. Krivova L.V. The Development of Practical Methods for Definition of Structural and Functional Reliability Parameters of Electric Installations // Proc. 8th Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology KORUS-2004, June 26 – July 3, 2004, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2004. – V. 1. – P. 248–250.

Поступила 22.11.2006 г.

УДК 621.186

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЯХ

Л.А. Беляев, А.С. Заворин, С.А. Косяков, К.А. Кривогузов*

Томский политехнический университет
ОАО «Омскэнерго», г. Омск*
E-mail: Kosyakov@tpu.ru

Анализируется проблема планирования ремонтов оборудования тепловых электростанций в условиях перехода к регулируемым рынкам энергии. Изложены основания применения системного подхода в условиях реальных ограничений по финансовым ресурсам. В качестве алгоритма планирования предложен метод, основанный на классификации источников инициирования ремонтных работ и учитывающий приоритеты составляющих работ для разных уровней управления.

Под управлением в общем виде понимается процесс воздействия на систему с целью ее упорядочивания, совершенствования и развития. В энергетике можно различать два вида процессов управления: с одной стороны – это целенаправленные воздействия на технологические процессы, с другой – на коллективы людей – менеджмент. Первый вид управления имеет только техническую сторону – физико-технические основы энергетики, и в этой области большинство процессов хорошо изучено. Знание основных закономерностей технологических процессов в энергетике позволяет с успехом применять математическое моделирование [1, 2] и алгоритмы оптимизации для выбора параметров и режимов сложных технических систем.

Второй вид управления в последнее время существенно усложнился [3, 4]. Причина – формирующиеся в этом секторе экономики рыночные отношения. Условия хозяйствования для предприятий энергетики сильно изменились. Один из аспектов этого усложнения – двоякое положение энергетической отрасли (и каждого отдельного ее предприятия) на рынке ресурсов: с одной стороны, топливные и материальные ресурсы приобретаются по рыночным ценам, с другой, цены на продукцию энергетики в виде электро- и теплоэнергии регулируется государственными органами [5].

Обеспечение баланса между доходной и затратной частью генерирующей компании является функцией экономического процесса управления.