

Применение метода оценивания состояния для вычисления предельных режимов электроэнергетической системы¹

ГЛАЗУНОВА А.М.

Представлен модифицированный метод оценивания состояния для вычисления максимально допустимых перетоков в контролируемых линиях. Наличие данной информации позволяет диспетчеру вести режим с максимальным использованием пропускной способности сети. Достоинство предлагаемого метода заключается в возможности его применения в режиме реального времени. Выполнен краткий обзор существующих методов, используемых для вычисления предельных режимов. Представлена основная идея предложенного метода и введено понятие псевдоизмерения максимально допустимого перетока. Показаны модели измерений, которые применяются в модифицированном оценивании состояния. На основе этих моделей вычисляются весовые коэффициенты измерений и псевдоизмерений максимально допустимого перетока. Представлены результаты расчетов максимально допустимых перетоков в контролируемых линиях на тестовой схеме методом непрерывного утяжеления и предложенным методом. Выполнен сопоставительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, оценивание состояния, измерения, максимально допустимый переток, предельный режим, расчет

Предельный режим – это установившийся режим (УР), когда некоторые его параметры принимают предельные значения [1]. Предельные режимы электроэнергетической системы (ЭЭС) подразделяются на предельные по передаваемой мощности (по существованию режима) и предельные по статической устойчивости ЭЭС. Под предельными по передаваемой мощности режимами понимают режимы, в которых выдача мощности электростанций, передача мощности, прием мощности в узлы нагрузки ограничены пропускной способностью сетевых элементов ЭЭС. Под предельными по статической устойчивости понимают режимы, в которых выдача мощности электростанций ограничена условиями параллельной работы генераторов, работающих на общую электрическую сеть. Под статической устойчивостью ЭЭС понимается способ-

A modified state estimation method for calculating the maximum permissible power flows in the monitored power lines is presented. With such information available, the power system dispatch control center operator can to operate the power system with using the network transmission capacity to the maximal extent. The advantage of the proposed method consists in the possibility of using it in the online mode. The existing methods used for calculating the limiting operating conditions are briefly reviewed. The main idea of the proposed method is presented, and the notion of pseudo measurement of the maximum permissible power flow is introduced. The measurement models used in the modified state estimation method for calculating the weighting coefficients of measurements and pseudo measurements of the maximum permissible power flow are shown. Results obtained from calculations of the maximum permissible power flows through the monitored lines in a test power system configuration carried out using the continuous aggravation method and using the proposed method are presented. A comparative analysis of the obtained results is performed.

Key words: electric power system, state estimation, measurements, maximum permissible power flow, limiting operating mode, calculation

ность системы восстанавливать исходный режим после кратковременного воздействия малого возмущения [2, 3]. При соблюдении некоторых условий предельные по мощности и по статической устойчивости режимы совпадают [4–6]. В этом случае принимается, что при нарушении условия существования режима нарушается и условие апериодической устойчивости режима. На практике предельные режимы энергосистем определяются не только условиями устойчивости режима, но и допустимостью загрузки оборудования, уровнем напряжения в электрической сети [7]. Большое разнообразие методов и методик определения предельных режимов можно разделить на несколько групп.

К первой группе относятся методы, в которых используется последовательное утяжеление заведомо устойчивого режима [8–10]. Предельным считается режим, полученный на последнем шаге утяжеления. Дальнейшее утяжеление режима ведет к расхождению итерационного процесса или к

¹ Работа выполнена в рамках интеграционного проекта СО РАН №01201260514 «Методы оценивания состояния интеллектуальных электроэнергетических систем со сложной иерархической структурой».

смене знака Якобиана. Основные недостатки этих методов заключаются в необходимости: выполнения серии промежуточных расчетов, что требует значительных затрат времени; решения плохо обусловленных систем линейных уравнений при подходе к решению.

Ко второй группе относятся методы, реализующие непрерывное утяжеление режима. Параметры утяжеления задаются такими, при которых режим будет заведомо неустойчивым (несуществующий режим) [11–13]. Ввод режима в допустимую область осуществляется изменением утяжеляемых параметров. Для изменения только утяжеляемых параметров режима и обеспечения заданной точности параметров, которые не входят в состав утяжеляемых, используется матрица Гессе. Вследствие учета старших нелинейных членов разложения функции решения в ряд Тейлора итерационный процесс организуется таким образом, что невязки по параметрам, не являющимися утяжеляемыми, остаются в допустимых пределах. В [14] для определения предельного режима применяется сочетание обобщенного метода Ньютона и метода Ньютона–Рафсона. Мощность в пассивных узлах вычисляется методом Ньютона–Рафсона, а мощность в узлах, в которых возможно отклонение от заданного значения, вычисляется обобщенным методом Ньютона. Полученные отклонения рассматриваются в качестве управляющих воздействий. К недостаткам этих методов относится возможность их применения только в случае совпадения пределов по передаваемой мощности и устойчивости. Другим недостатком является необходимость решать систему линейных уравнений с плохо обусловленной матрицей.

К третьей группе можно отнести методику определения предельных режимов с помощью уравнений предельных режимов (УПР) [15]. Согласно этой методике решается система уравнений, которая состоит из уравнений установившегося режима с заданным направлением утяжеления и уравнений, обеспечивающих линейную зависимость строк или столбцов матрицы. Недостатком этой методики является требование хорошего начального приближения собственного вектора и предельного режима.

Четвертую группу методов получения предельных режимов составляют методы, которые используются при оптимизационной постановке задачи. В [1] предложена оптимизационная модель предельных режимов, созданная в результате анализа особенностей вычислительных моделей установившихся режимов. Авторы [1] показали, что режим, в котором дополнительная мощность балансирующего узла идет только на покрытие потерь,

является предельным по существованию режимом. Недостатком данных методов является отсутствие критерия предельных режимов в условии оптимальности.

К пятой группе методов можно отнести методы, которые используют измерение фазового угла напряжения для определения устойчивости. В [16] предложено применение фазового угла для мониторинга устойчивости в режиме реального времени. Автор предлагает транспортабельное устройство для измерения фазового угла, которое работает с оборудованием, уже установленным в системе SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). В настоящее время появление синхронизированных по времени и территориально распределенных векторных регистраторов параметров режимов позволяет отслеживать текущие параметры режима. Такая система называется системой мониторинга переходных режимов (СМПР) [17]. На базе информации, полученной с помощью СМПР, был внедрен в эксплуатацию программный комплекс для определения опасных сечений в системообразующей сети и их пропускной способности в условиях реального времени – система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ). В [18] описан опыт внедрения и промышленной эксплуатации СМЗУ северных районов Тюменской области. В [19] проведены исследования о возможности использования предельного взаимного угла электропередачи для определения тяжести текущего режима. В результате этих исследований выявлено, что этот показатель является информативным только для тех случаев, когда схема близка к двухмашинному эквиваленту. В схемах с более сложной структурой значение предельного угла не является информативным, так как зависит от схемных и режимных параметров. В [20] рассматриваются особенности расчета запаса статической устойчивости в режиме реального времени. С появлением синхронизированных измерений может быть идентифицирована актуальная комплексная матрица собственных и взаимных проводимостей (СВП). По актуальной матрице СВП ЭДС эквивалентных генераторов определяются предельные режимы по статической устойчивости для установившегося послеаварийного режима. К недостаткам данных методов можно отнести отсутствие в некоторых частях ЭЭС измерений фазовых углов напряжений.

Существующие методы определения предельных режимов в качестве исходных данных используют параметры установившегося режима, которые в режиме реального времени вычисляются с помощью методов оценивания состояния.

В статье предлагается метод определения максимально допустимых перетоков мощности в кон-

тролируемых сечениях на основе измеренных параметров режима ЭЭС, получаемых с помощью системы SCADA и WAMS (Wide-Area Measurement Systems). Отсутствие необходимости предварительного вычисления установившегося режима ускоряет получение предельного режима. Разработанный метод представляет собой модифицированный метод оценивания состояния.

Основная идея метода. Близость текущего электрического режима к предельному определяется по параметрам режима в контролируемых сечениях. Эти параметры, например перетоки активной мощности, не должны превышать допустимые значения. Определение идеального предела мощности передачи [2] не является трудной задачей. Определение предельного режима рассматриваемой (реальной) ЭЭС выполняется в следующем порядке. Сначала вычисляются идеальные пределы мощности n контролируемых линий. Затем n предельных режимов сводятся к одному (результатирующему) режиму, в котором по всем контролируемым линиям передается максимально допустимая мощность при соблюдении заданных ограничений. На рис. 1 представлена схема получения результирующего режима для ЭЭС.

При оперативном диспетчерском управлении режимами ЭЭС основными источниками информации являются система SCADA и WAMS. Оперативная информация представляется в виде вектора измерений:

$$\bar{y} = (U_i, P_i, Q_i, P_{ij}, Q_{ij}, d_i), \quad (1)$$

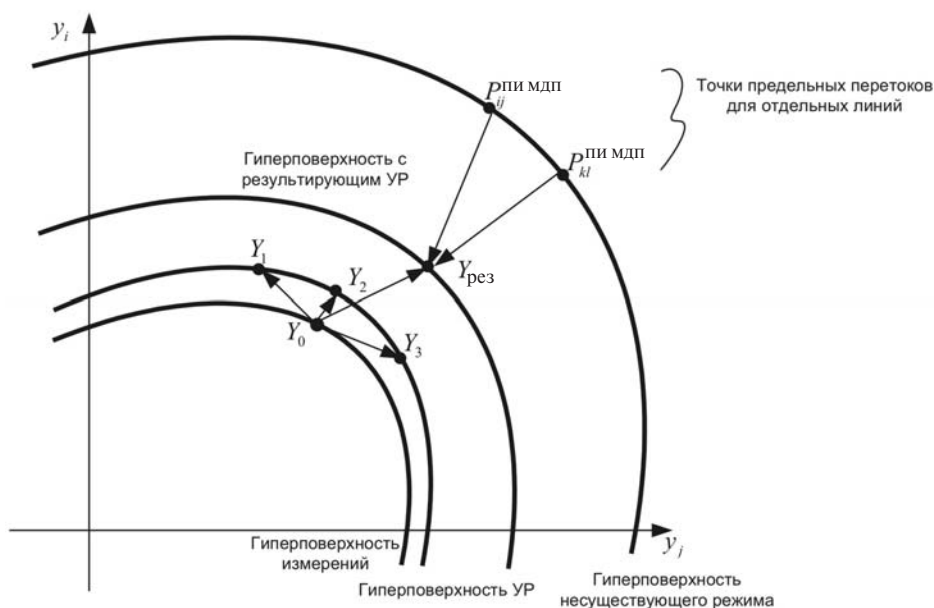


Рис. 1. Схема получения результирующего УР

где U_i — модули узловых напряжений; P_i, Q_i — инъекции активных и реактивных мощностей в узлах; P_{ij}, Q_{ij} — перетоки мощностей в трансформаторах и линиях; d_i — фазы напряжений в тех узлах схемы, где установлены регистраторы.

Если представить множество возможных срезов измерений, получаемых по каналам передачи этих систем, в трехмерном евклидовом пространстве в виде гиперповерхности, то текущий срез измерений может быть определен в любой точке гиперповерхности измерений (например точка $Y_0 = \bar{y}$). Для обработки измерений решается задача оценивания состояния режима ЭЭС. При выполнении задачи оценивания состояния каждому измерению присваивается вес, который регулирует влияние данного измерения на качество полученного УР. В зависимости от значений весовых коэффициентов измерений определяется множество УР, которое образует гиперповерхность (точки Y_1, Y_2, Y_3). Для вычисления реального (текущего) установившегося режима необходима корректная настройка весовых коэффициентов измерений.

Идеальные пределы мощности каждой контролируемой линии (точки $P_{ij}^{ПИ МДП}$ и $P_{kl}^{ПИ МДП}$) представлены на гиперповерхности несуществующих режимов в реальной ЭЭС. Для оценивания состояния результирующего режима ЭЭС используются измерения текущего режима Y_0 и идеальные пределы мощности каждой контролируемой линии. Далее эти значения называются псевдоизмерениями максимально допустимых перетоков (ПИ МДП). Модифицированный метод оценивания состояния подтягивает текущие значения перетоков в контролируемых линиях к идеальному пределу мощности (ПИ МДП) настолько, насколько это позволяют схемно-режимные ограничения и текущие значения нерегулируемых параметров режима. Множество точек таких режимов лежит на гиперповерхности результирующих УР. Определение искомого результирующего режима обеспечивается настройкой весовых коэффициентов. Задача подбора весовых коэффициентов решается в режиме off-line. При вычислении предельного режима в on-line значения весовых коэффициентов измерений и ПИ считаются из базы данных. Выбранные ве-

совые коэффициенты, определяемые текущими ограничениями ЭЭС, смещают результирующий режим в сторону искомого (предельного) режима, в котором перетоки контролируемых линий оказываются максимально допустимыми перетоками в данных условиях работы ЭЭС.

В процессе балансировки результирующего режима происходит поворот векторов напряжений и изменение модулей напряжений в пределах регулируемого диапазона. Вектор напряжения и значения ПИ МДП меняются вследствие приведения в соответствие псевдоизмерений МДП в контролируемых линиях с измерениями напряжения в узлах, ограничивающих данную линию и с измерениями инъекций в узлах. При этом допускается изменение инъекции реактивной мощности в регулируемых узлах. Значения нагрузки и генерации в узлах зависят от напряжения, так как вычисляются через перетоки в линиях, отходящих от этих узлов.

Для оценивания состояния результирующего режима выполняется модификация классического метода ОС на базе контрольных уравнений (КУ) [21, 22]. Целью модифицированного оценивания состояния является получение максимально допустимых перетоков в контролируемых линиях в режиме реального времени по вектору $\bar{y}_{рез}$. При решении данной задачи все параметры режима рассматриваемой ЭЭС делятся на регулируемые и нерегулируемые. Регулируемыми параметрами являются активные мощности в узлах, которые отвечают за баланс активной мощности в ЭЭС; модули напряжения и реактивные мощности в узлах, в которых возможно регулирование этих величин. Значения регулируемых параметров режима могут изменяться в определенном диапазоне, и их отклонения рассматриваются как управляющие воздействия. Нерегулируемые параметры режима выдерживаются в заданных пределах. Измерения регулируемых и нерегулируемых параметров режима называются корректируемыми \bar{y}^K и некорректируемыми \bar{y}^H измерениями соответственно. Кроме измерений текущих параметров режима в вектор исходных данных $\bar{y}_{рез}$ должны быть введены измерения МДП. Эти величины заранее неизвестны, и вместо их реальных значений используются ПИ МДП $P_{ij}^{ПИ МДП}$. Вектор измерений, по которому оценивается результирующий режим, выглядит следующим образом:

$$\bar{y}_{рез} = (\bar{y}^H, \bar{y}^K, P_{ij}^{ПИ МДП}). \quad (1)$$

Добавление псевдоизмерений МДП рассматривается алгоритмом оценивания состояния как уве-

личение вектора измерений за счет данных с грубой ошибкой. Алгоритм результирующего оценивания состояния распределяет эти ошибки на все измерения в разных пропорциях. Пропорции определяются весовыми коэффициентами таким образом, чтобы активные перетоки в контролируемых линиях оказывались максимально возможными в данных условиях. Баланс активной мощности соблюдается за счет указанных генераторных узлов, которые выдают ограниченное количество мощности. Модули напряжения и инъекции реактивной мощности в регулируемых узлах выдерживаются в заданных пределах. Значения некорректируемых измерений выдерживаются в пределах точности.

Весовые коэффициенты измерений и псевдоизмерений МДП – это значения, обратные дисперсиям ошибок этих величин. Вектор измерений \bar{y} , передаваемый на диспетчерский пункт, представляет собой сумму векторов истинных значений контролируемых величин $y_{ист}$ и случайных ошибок x_y :

$$\bar{y} = y_{ист} + x_y. \quad (2)$$

Случайные ошибки измерений распределяются по нормальному закону

$$x_y \hat{=} N(0, s_y^2), \quad (3)$$

где s_y^2 – дисперсия измерения.

Модель некорректируемых измерений \bar{y}^H записывается как (2) и (3). Оценки этой группы измерений в результирующем режиме равны оценкам в текущем режиме.

Модель корректируемых измерений \bar{y}^K :

$$\bar{y}^K = y_{ист}^K + x_{рез}^K, \quad x_{рез}^K \hat{=} N(0, s_K^2), \quad (4)$$

где s_K^2 – дисперсия ошибок корректируемых измерений.

Измерения этой группы корректируются для достижения МДП в контролируемых сечениях или, другими словами, к данной группе объектов применяются управляющие воздействия. При задании дисперсий корректируемых измерений учитывается следующее условие:

$$s_K^2 > s_y^2. \quad (5)$$

Увеличение дисперсии выполняется для расширения пределов изменения рассматриваемой величины.

Для общности используемых моделей ПИ МДП – детерминированная величина – также представляется моделью вида (2):

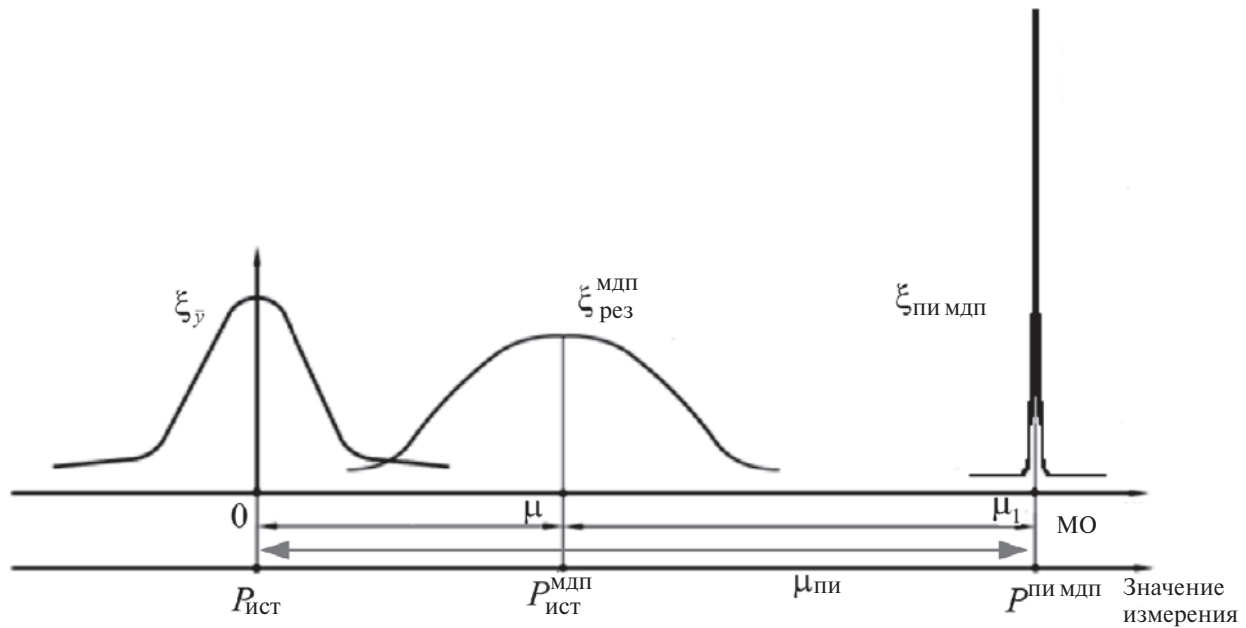


Рис. 2. Распределение ошибок измерения в текущем режиме, МДП в результирующем режиме и ПИ МДП (МО – математическое ожидание)

$$P_{ij}^{ПИ МДП} = P_{ист} + x_{ПИ МДП}, \quad x_{ПИ МДП} \hat{=} N(m_{ПИ}, 0), \quad (6)$$

где $m_{ПИ}$ может быть рассмотрена как грубая ошибка.

В начале балансировки результирующего режима величина $m_{ПИ}$ будет причиной возникновения большого небаланса мощности в контролируемых линиях и отклонения напряжений и, возможно, реактивной мощности в регулируемых узлах. Большая часть этого небаланса распределится между ПИ МДП и корректируемыми измерениями. Псевдоизмерение МДП трансформируется в вели-

чину $P_{ij}^{МДП}$, модель которой выглядит следующим образом:

$$P_{ij}^{МДП} = P_{ист}^{МДП} + x_{ij}^{МДП}; \quad x_{ij}^{МДП} \hat{=} N(m_{s_{МДП}}^2) \quad (7)$$

или

$$P_{ij}^{МДП} = P_{ист}^{МДП} + x_{рез}^{МДП}; \quad x_{рез}^{МДП} \hat{=} N(0, s_{МДП}^2), \quad (8)$$

где $s_{МДП}^2$ – дисперсия ошибки $P_{ij}^{МДП}$; $P_{ист}^{МДП}$ – истинный переток активной мощности в результиру-

Номер режима	Значение параметра									
	P_7	Q_7	U_6	U_7	d_6	d_7	P_{45}	P_{56}	P_{57}	P_{67}
Установившиеся режимы										
1.	-645,87	-54,2	361,08	345,86	1,04	-14,34	-588,5	-330,2	322	345,1
2.	-737,9	-52,5	360,41	339,08	0,98	-16,87	-560,2	-308,2	373,4	393,2
3.	-552,6	55,6	361,6	351,6	1,1	-11,93	-616,8	-352,2	270,9	296,8
4.	-646,6	-3,2	361,66	354,3	1,03	-14,14	-588,5	-329,6	321,7	345,8
Результирующие режимы (результаты ОС)										
1.	-796,8	-54,6	359,8	333,4	1,04	-18,6	-582	-322	405,9	425,4
2.	-846,1	-52,9	359,37	328,68	0,97	-20,16	-553,3	-300,5	434,8	451,4
3.	-747,5	-55,8	360,33	337,68	1,1	-17,11	-610,6	-342,9	377,5	399,6
4.	-798,8	-3,3	360,5	342,7	1,02	-18,2	-582	-321	405,7	426,5
Предельные режимы (результаты метода утяжеления)										
1.	-776,97	-65,2	360,06	333,35	1,08	-18,05	-588,4	-334,6	394,5	415,2
2.	-839,01	-59,7	359,47	328,18	0,98	-19,9	-588,4	-304,3	430,7	447,7
3.	-718	-72,3	360,5	337,25	1,14	-16,35	-588,4	-357,7	361	384,5
4.	-802,5	-4	360,5	342,3	1,02	-18,37	-588,4	-321,5	407,6	428,4

ющем режиме; η – математическое ожидание величины МДП в результирующем режиме.

Затем уточняется режим до получения баланса мощности в узлах и линиях. Полученный режим называется результирующим режимом. В результирующем режиме МДП (оценка МДП $P_{ij}^{МДП}$) будет находиться между значениями перетоков в текущем и несуществующем режимах. На рис. 2 показаны кривые распределения случайных ошибок измерения перетока активной мощности в контролируемой линии x_y , максимально допустимого перетока $x_{рез}^{МДП}$ и псевдоизмерения максимально допустимого перетока $x_{пмдп}$.

В модифицированном методе оценивания состояния в качестве весовых коэффициентов измерений и ПИ МДП используются значения, обратные дисперсиям:

$$s_{рез}^2 = (s_y^2, s_k^2, s_{мдп}^2). \tag{9}$$

Вектор оценок параметров результирующего режима имеет вид

$$y_{рез} = (y_H, y_K, P_{ij}^{МДП}), \tag{10}$$

где y_H – оценки некорректируемых параметров режима; y_K – значения регулируемых параметров режима после применения управляющих воздействий; $P_{ij}^{МДП}$ – максимально допустимый переток в контролируемой линии.

Тестовый пример. В [23] был вычислен результирующий режим, который соответствует предельному по существованию режиму. Этот режим был получен с помощью модифицированного оценивания состояния. Весовые коэффициенты измерений

и ПИ МДП настраиваются заранее в соответствии с заданным правилом – рассчитать предельный по существованию режим. Был выполнен сравнительный анализ результатов вычисления максимально допустимых перетоков, полученных по предложенному методу и по методу непрерывного утяжеления. Вычисления проводились для 7-узловой схемы, содержащей замкнутый контур, два трансформатора, одну длинную линию (рис. 3). На рис. 3 показаны измеренные значения параметров режима и ПИ МДП (в прямоугольниках).

В контролируемых линиях были вычислены параметры для четырех режимов. Первый режим был получен по срезу измерений, второй и третий смоделированы на основе первого изменением активной нагрузки в узле 7. Последний режим отличается от первого значением реактивной мощности в узле 7. Параметры для разных видов режимов представлены в таблице.

Анализ результатов таблицы показывает, что в процессе балансировки результирующего режима № 1 произошел поворот вектора напряжения и уменьшился модуль напряжения в узле 7. Это означает, что чтобы получить МДП в линиях 5–7 и 6–7, необходимо уменьшить модуль напряжения на 12 кВ и изменить угол напряжения на 4° в узле 7. В таблице показаны также результаты вычисления МДП для этих же режимов проверенным методом утяжеления.

Анализ результатов таблицы показывает также, что параметры результирующего режима совпадают с параметрами предельного режима с точностью 97%. Следовательно, весовые коэффициенты подобраны правильно.

Заключение. Достоинством предложенного модифицированного метода оценивания состояния является отсутствие необходимости пред-

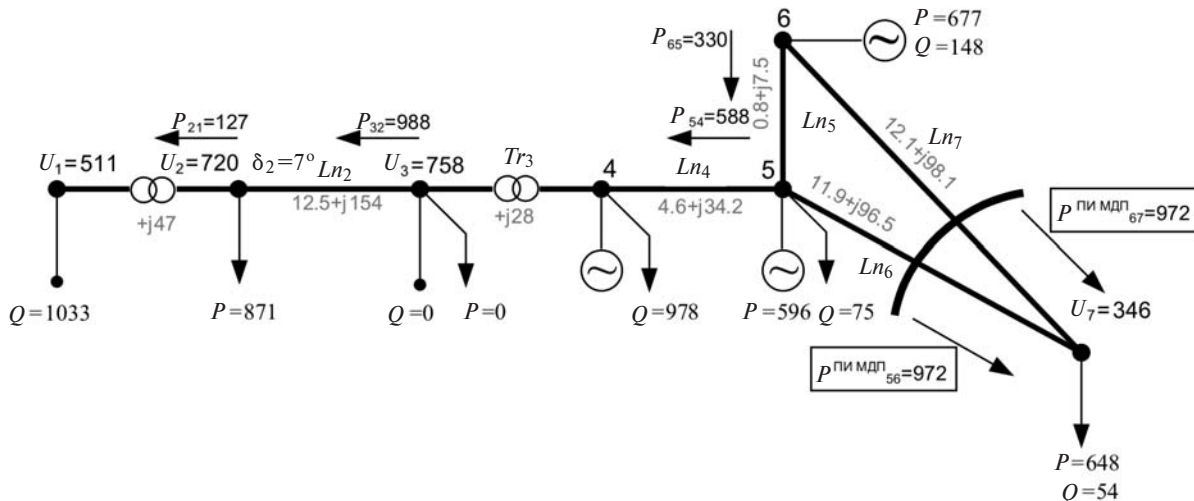


Рис. 3. Тестовая схема

варительного вычисления установившегося режима, так как в качестве исходных данных используется текущая информация об электроэнергетической системе. Пример расчета на тестовой схеме показывает, что при определенном подборе весовых коэффициентов псевдоизмерений максимально допустимых перетоков результирующий режим оказывается искомым предельным режимом. Данное заключение делается на основе сравнительного анализа параметров результирующего режима с эталоном. В качестве эталона принят предельный режим, вычисленный по известной программе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюев Б.И., Давыдов В.В., Ерохин П.М. Оптимизационная модель предельных режимов электрических систем. — Электричество, 2010, № 11.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем/Под ред. Л.А. Жукова — М.: Энергия, 1979.
3. Ушаков Е.И. Статическая устойчивость электрических систем. — Новосибирск: Наука, 1988.
4. Идельчик В.И., Тарасов В.И., Строев В.А. О связи статической устойчивости и сходимости итерационного процесса при расчете установившегося режима электрической системы. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1972, № 6.
5. Веников В.А., Строев В.А., Идельчик В.И., Тарасов В.И. Оценка статической устойчивости электрических систем на основе решения уравнений установившегося режима. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1971, № 5.
6. Ковшар Л.Г., Коробчук К.В., Цукерник Л.В. К вопросу об однозначности результатов и сходимости итерационного расчета установившегося электрического режима энергосистемы. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1966, № 4.
7. Соболева М.А., Фишов А.Г. Определение предельных по статической устойчивости и допустимости параметров режимов нерегулируемой электроэнергетической системы на основе актуальной матрицы собственных и взаимных проводимостей ЭДС эквивалентных генераторов. — Труды Всероссийской научно-технической конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», 17–19 ноября 2010, Екатеринбург, с. 213–217.
8. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: Методы анализа и управления. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Анисимова Н.Д., Шелухина Т.И. Исследования статической устойчивости предельных по мощности режимов электрических систем. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 1.
10. Шепилов О.Н., Ушаков Е.И., Ушаков А.Е. и др. ПВК АНАРЭС-2000 и перспективы его развития. Современные программные средства для расчётов нормальных и аварийных режимов, надёжности, оценивания состояния, проектирования электроэнергетических систем. — Сборник докладов шестого научно-практического семинара. — Новосибирск: ИДУЭС, 2006.
11. Тарасов В.И. Применение способа непрерывного утяжеления для определения предельных по аперидической устойчивости режимов электрических систем. — В кн.: Вопросы применения математических методов при управлении режимами и развитием электрических систем, Иркутск, 1975.
12. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
13. Бартоломей П.И. О методах второго порядка решения уравнений установившегося режима электрической системы. Применение математических методов и вычислительной техники в энергосистемах. — Свердловск, 1986.
14. Паздерин А.В., Юферев С.В., Никифоров В.С. Расчет предельных режимов комбинированным методом Ньютона. — Труды Всероссийской научно-технической конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», 17–19 ноября 2010, Екатеринбург.
15. Конторович А.М., Крюков А.В. Использование уравнений предельных режимов в задачах управления ЭЭС. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1987, № 3.
16. Soonee S.K., Narasimhan S.R., Porwal R.K. et al. Application of phase angle measurement for real time security monitoring of Indian Electric Power System- an experience. — Session CIGRE, 2008, C.2–107.
17. Демчук А.Т., Жуков А.В., Легкоконец П.В. Развитие системы мониторинга переходных процессов ОЭС Урала. — XX конференция «Релейная защита и автоматика энергосистем 2010» 1–4 июня 2010. Москва.
18. Волков А.В., Кузнецов В.Н. Опыт внедрения и промышленной эксплуатации системы мониторинга запасов устойчивости северных районов Тюменской области в филиале «СО ЭЭС» Тюменское РДУ. — Труды Всероссийской научно-технической конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», 17–19 ноября 2010, Екатеринбург.
19. Демчук А.Т., Жуков А.В., Лавров С.В. Система управления Тюменской энергосистемой с использованием технологий векторного измерения параметров. — Международ. научно-практическая конф. «Релейная защита и автоматика современных энергосистем сверхвысокого напряжения». CIGRE, 2007. S. 4–5.
20. Дехтерев А.И., Фишов А.Г. Особенности расчетов запасов статической устойчивости в режиме реального времени. Труды Всероссийской научно-технической конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», 17–19 ноября 2010, Екатеринбург.
21. Гамм А.З., Колосок И.Н. Обнаружение грубых ошибок телеизмерений в электроэнергетических системах. — М.: Наука, 2000.
22. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем. — М.: Наука, 1976.
23. Аксаева Е.С., Глазунова А.М. Модифицированный метод оценивания состояния для определения максимально допустимого перетока в контролируемых сечениях электроэнергетической системы. — Труды Всероссийской научно-технической конф. «Электроэнергетика глазами молодежи», т. 2, 12–28 октября 2012, Екатеринбург.

[21.06.13]

Автор: Глазунова Анна Михайловна окончила энергетический факультет Иркутского политехнического института в 1982 г. В 2002 г. защитила кандидатскую диссертацию «Применение методов искусственного интеллекта для решения задач обработки измерительной информации в ЭЭС» в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН). Старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН.