

А.С. Паранькина, А.В. Денисов

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ В ЗАДАЧАХ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ГЕНЕРИРУЕМОЙ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ**

На практике всегда имеется некоторая неопределенность, как в количественном, так и в качественном описании причин и условий в моделях причинно-следственных связей. Использован аппарат нечетких сетей Петри, позволяющий учитывать эту неопределенность. Предлагаемая методика иллюстрируется при моделировании причинно-следственных связей в проблеме качества электроэнергии.

Причинно-следственные связи, нечеткие сети Петри, модели, силовые преобразователи частоты, качество электроэнергии

A.S. Parankina, A.V. Denisov

**MODELLING OF RELATIONSHIPS OF CAUSE AND EFFECT IN PROBLEMS OF
IMPROVEMENT OF QUALITY OF THE ELECTRIC POWER GENERATED BY THE
CONVERTER OF FREQUENCY**

In practice always there is some uncertainty, both in quantitative, and in the qualitative description of the reasons and conditions in models of relationships of cause and effect. In the article used apparatus of fuzzy Petri net, this make it possible take into account this uncertainty. Modelling of relationships of cause and effect in quality electricity problem illustrate proposed method.

Relationships of cause and effect, fuzzy Petri net, model, power converters of frequency, quality of the electricity

Существующие модели причинно-следственных связей (ПСС) выполняются на основе конечных автоматов [1]. Такие модели являются строго детерминированными. В том случае, если параметры причины и условия меняются, использовать детерминированную модель нельзя, если эти изменения точно описаны и не учтены при программировании автомата.

На практике всегда имеется некоторая неопределенность, как в количественном, так и в качественном описании причин и условий. Поэтому целесообразно применить такой математический аппарат, который позволяет в определенной степени учитывать эту неопределенность ПСС. Такими свойствами обладает естественный интеллект, который часто учитывает указанную неопределенность.

В работе рассматривается нестохастическая неопределенность, которая может быть смоделирована с помощью аппарата нечеткой математики. В этой связи представляет интерес аппарат нечетких сетей Петри (НСП) [2]. Он позволяет учесть как детерминированную структурную часть ПСС, зафиксированную в структуре сети Петри, так и параметрическую и функциональную неопределенности, заложенных в ядре, которые могут быть отражены нечеткими атрибутами НСП.

Анализ нечетких сетей Петри типа C_f и V_f показывает, что наиболее простую интерпретацию при моделировании ПСС получает НСП типа C_f .

Интерпретации подлежат следующие объекты структуры НСП C_f .

1. Входные позиции переходов (ВхПП).

ВхПП целесообразно интерпретировать как компонент некоторого условия или причины. При этом целесообразно данный компонент считать конъюнктом причины (или следствия). В сетях типа C_f маркер во входной позиции является нечетким, т.е. степень его наличия в позиции P_i оценивается числом m_i из диапазона $[0,1]$. Следовательно, соответствующий конъюнктор, равный m_i , также является нечетким.

Этим оправдывается применяемое в НСП C_f правило активации перехода, где левая часть, т.е. $\min_{i, I(P_i, t_k) > 0} (m_i)$ – нечеткая конъюнкция нечетких величин m_i .

2. Переход.

Переход реализует механизм реализации следствия при наличии причины и условия.

При этом степень принадлежности маркера в позициях причин и условий влияет на реализацию следствия через условие активности перехода посредством неравенства:

$$\min_{i, I(P_i, t_k) > 0} \{m_i\} \geq \lambda_k \quad (1)$$

Выполнение этого неравенства означает, что степень наличия всех причин и условий, влияющих на возникновение следствия, связанных с переходом t_k , достаточна.

Изменяя величину порога t_k , возможно управлять степенью влияния причин и условий на следствие.

На изменение маркировок выходных позиций влияет величина значения функции принадлежности нечеткого срабатывания перехода, поэтому возникает возможность влияния важности следствия, связанного с данным переходом, на последующие причинно-следственные связи, в которых данное следствие может служить причиной или условием.

3. Выходные позиции.

Формула изменения каждой выходной позиции содержит как собственную маркировку, предшествующую срабатыванию перехода, так и выходных позиций, вызвавших это срабатывание.

Способ вхождения в эту формулу компонент вектора f способствует учету степени влияния моделируемой причины на следующие ПСС.

4. Компоненты вектора \vec{f} .

Значения функции принадлежности нечеткого срабатывания перехода f_k интерпретируются нами, как указывалось ранее, как степень важности причин и условий, моделируемых выходными позициями, для дальнейших ПСС, определяемых, в частности, срабатыванием соответствующего перехода.

5. Компоненты вектора \vec{b} .

Компоненты вектора \vec{f} , т.е. пороги срабатывания переходов, позволяют моделировать различные степени выполнения следствия.

Среди всех моделей НСП в качестве базовой для использования для решения поставленной задачи выберем модель типа C_f . Однако целесообразно несколько модернизировать эту модель НСП с целью ее адаптации к рассматриваемой предметной области. Эти модернизации состоят в следующем.

5.1. Уточним формулу активации перехода. Вместо неравенства

$$\min_{i, I(P_i, t_k) > 0} \{m_i\} \geq \lambda_k, \quad (2)$$

где λ_k – порог срабатывания перехода t_k , проверяем конъюнкцию условий $m_i \geq \lambda_{ki}$ для всех i , для которых $I(P_i, t_k) > 0$. Таким образом, вместо общего для всех входных позиций перехода t_k порога λ_k вводятся пороги λ_{ki} для каждой входной позиции P_i .

Такая модернизация оправдывается следующим образом. Если срабатывание перехода t_k интерпретировать как выполнение некоторого этапа достижения цели, а значение m_i – как количество соответствующего номеру позиции i ресурса R_i , то пороги λ_{ki} интерпретируются как необходимое количество этого ресурса для выполнения указанного этапа.

5.2. С целью отображения степени достижения частной цели этапа введем дополнительный вид выходной позиции ϕ_i , которая после срабатывания входного для нее перехода t_k приобретает значение $m_j^{v*} = \Phi_j(m_j^v)$, где m_j^v определяется по основной формуле

$$(m_j = \max(m_j, \min\{m_i, f_k\}), \quad (3)$$

где m_j – старое значение маркера; j – номер той позиции, которая повлияла на срабатывание перехода t_k , функция Φ_j имеет вид, индивидуальный для каждой позиции ϕ_i и удовлетворяет общему для всех позиций условию $0 \leq \Phi_j(m) \leq 1$ (4).

5.3. Позиция модели приобретает 2 входа и 2 выхода: прямой (m_i) и инверсный ($1 - m_i$).

Соответственно, каждая позиция имеет 2 выходные стрелки с прямым значением порога срабатывания t_k (λ_{ki}^+) и инверсным значением срабатывания порога t_k (λ_{ki}^-).

Переход в разработанной модели ПСС состоит из 2 частей: перехода для прямых значений (верхняя незатемненная часть) и перехода для инверсных значений (темная затемненная часть). Этот переход соответственно имеет прямое значение пороговой функции (f_k^+) и инверсное значение пороговой функции (f_k^-).

Разработанный аппарат проиллюстрируем при моделировании причинно-следственных связей в проблеме качества электроэнергии, генерируемой силовыми преобразователями частоты (ПЧ) [3].

Анализ проблемы позволил выявить 4 основных показателя электроэнергии, наиболее значимых для ПЧ: 1) отклонения и колебания напряжения; 2) несимметрия и неуравновешенность трехфазной системы напряжения; 3) несинусоидальность формы кривой напряжения; 4) отклонения и колебания частоты.

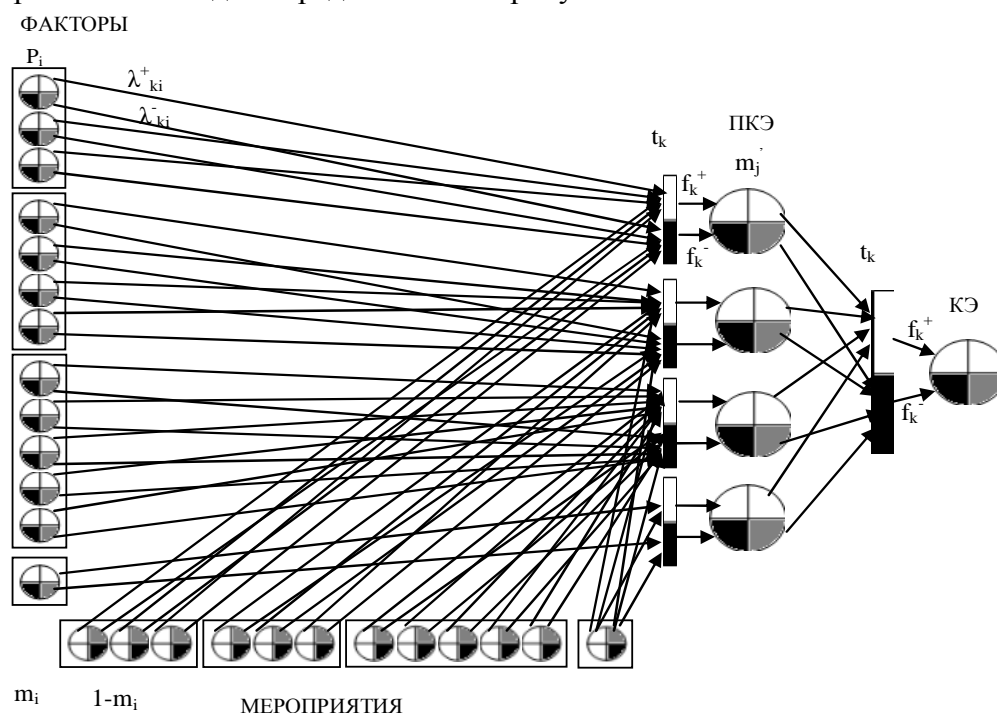
Для каждого параметра электроэнергии был выявлен список факторов, ухудшающих качество электроэнергии, генерируемой преобразователем частоты и список мероприятий влияющих на улучшение качества этой электроэнергии.

Список факторов, ухудшающих качество электроэнергии, генерируемой преобразователем частоты: 1) отклонение напряжения питания сети от номинального значения; 2) колебание величин и характера нагрузки; 3) неисправности в системе стабилизации напряжения или неправильный выбор схемы стабилизации напряжения; 4) межфазная асимметрия нагрузки; 5) неисправность конденсаторов в фазах батарей коммутирующих конденсаторов; 6) асимметрия в работе генераторов управляющих импульсов; 7) разброс в параметрах силовых вентилях или их снабберных цепей; 8) применение одномотовых или однофазно-трехфазных инверторов; 9) перегрузка инверторных трансформаторов; 9) применение импульсных компенсаторов реактивной мощности; 10) неисправности генераторов управляющих импульсов; 11) нелинейность нагрузки; 12) неисправность генераторов управляющих импульсов вентилях инверторов.

Список мероприятий, влияющих на улучшение качества электроэнергии, генерируемой преобразователем частоты: 1) применение адаптивных систем стабилизации выходного напряжения; 2) применение управляемых компенсаторов избыточной реактивной мощности; 3) замена неисправных элементов системы стабилизации; 4) применение статических и управляемых симметрирующих устройств; 5) замена неисправных конденсаторов в ББК; 6) подбор параметров силовых вентилях и снабберных цепей; 7) переход к многомотовым сложным схемам инверторов;

8) применение выходных резонансных фильтров; 9) применение импульсной модуляции; 10) замена трансформаторов на более мощные; 11) применение многомостовых сложных схем компенсаторов; 12) замена генераторов управляющих импульсов.

Разработанная модель представлена на рисунке.



Модель ПСС на основе нечеткой сети Петри

В левой части схемы сети представлены позиции, соответствующие факторам, ухудшающим качество электроэнергии, генерируемой ПЧ. В нижней части модели показаны позиции, соответствующие мероприятиям, направленным на улучшение качества электроэнергии. Степень влияния факторов и мероприятий на качество электроэнергии учитывается в описанных выше параметрах переходов. Степень субъективной оценки экспертом (или экспертами) наличия данного фактора и степени выполнения данного мероприятия в конкретной ситуации закладываются в параметры исходных позиций.

Практическое использование разработанной модели может производиться в зависимости от задачи исследования по различным схемам. В частности, ее можно использовать для оценки чувствительности общего показателя качества к изменению степени наличия данного фактора или степени выполнения конкретного мероприятия. Дальнейшее развитие модели может проводиться за счет введения обратных связей между фрагментами сети. Так, очевидно, что положительное влияние некоторого мероприятия может сопровождаться усилением факторов, влияющих на ухудшение качества электроэнергии.

Предложена методика моделирования причинно-следственных связей, находящая применение в исследованиях проблем качества электроэнергии и экономии электроэнергии. Методика основана на модернизированной сети Петри типа C_f . Разработана модель ПСС для исследования проблемы качества электроэнергии, генерируемой силовыми преобразователями частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резчиков А.Ф. Причинно-следственные модели производственных систем / А.Ф. Резчиков, В.А. Твердохлебов. Саратов: Изд. Центр «Наука», 2008. 137 с.

2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

3. Голембиовский Ю.М. Управление качеством электрической энергии в сетях повышенной частоты / Ю.М. Голембиовский, Н.П. Митяшин, Ю.Б. Томашевский // Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. Ч.5. Київ, 2002. С. 89-92.

Паранькина Алиса Сергеевна –
магистрант кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Денисов Алексей Вячеславович
аспирант кафедры «Системотехника» Саратовского государственного технического университета

Статья поступила в редакцию 01.11.10, принята к опубликованию 15.11.10