

3. Боровиков Ю. С., Сулайманов А. О. Информационно-управляющая система мультипроцессорного комплекса моделирования в реальном времени энергосистем // Электротехника. - 2013 - №. 5. - С. 56-63.

Научный руководитель: А.С. Гусев, д.т.н., профессор каф. ЭЭС, ЭНИН ТПУ.

РЕАКЦИЯ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ПОЛУЧЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПО ДАННЫМ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

У.А. Темиркул
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ5Г

При решении задач оперативно-диспетчерского управления электроэнергетических систем необходимо иметь адекватные модели нагрузки крупных потребителей электроэнергии. В установившихся режимах наиболее полно свойства нагрузки описываются их статическими характеристиками (СХН), то есть зависимостями активной и реактивной мощности от напряжения и частоты [1]. Получение достоверных статических характеристик нагрузки является трудной инженерной задачей, так как предполагает проведение специальных испытаний с искусственным изменением напряжения в электрических сетях, так называемых активных экспериментов. Количество потребителей, для которых требуется получение статических характеристик нагрузки, крайне велико, а сами характеристики могут быть непостоянны, изменяясь в зависимости от времени года, времени суток, производственного цикла промышленных предприятий.

Перспективным решением описанной проблемы представляется создание методов получения статических характеристик нагрузки по данным так называемых пассивных экспериментов, которые не предполагают вмешательства в режим работы электрических сетей, а основываются на накоплении и обработке результатов измерений (телеизмерений). Однако, точность результатов, полученных по данным пассивных экспериментов, оказывается значительно ниже, чем по данным активных экспериментов [2].

Одной из основных причин высокой погрешности статических характеристик, получаемых по результатам обработки пассивных экспериментов, является влияние реакции сети. Реакцией сети называют зависимость напряжения в узле нагрузки от мощности самой нагрузки, вызванную падением напряжения в прилегающей электрической сети.

Покажем какое влияние реакция сети оказывает на результаты измерений, получаемые в пассивном эксперименте. Для этого смоделируем простейшую сеть, схема замещения которой приведена на рисунке 1.

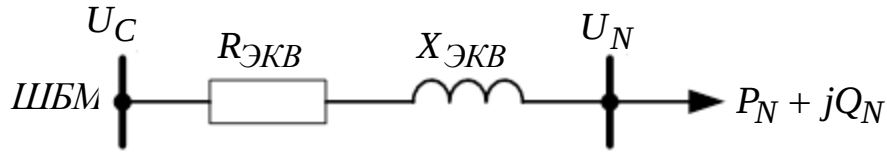


Рис. 1. Схема замещения исследуемой электрической сети

На рисунке 1 нагрузка $P_H + jQ_H$ с напряжением U_H запитана от шин бесконечной мощности (ШБМ) с напряжением U_C через эквивалентное сопротивление сети $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$. При этом напряжение на шинах бесконечной мощности U_C не зависит от величины мощности нагрузки $P_H + jQ_H$, в то время как напряжение в узле нагрузки, очевидно, зависит от мощности нагрузки вследствие падения напряжения на сопротивлении $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$.

Нагрузку зададим с помощью статических характеристик:

$$P_H(U_H) = P_{БазH} \left(a_0 + a_1 \cdot \frac{U_H}{U_{БазH}} + a_2 \cdot \left(\frac{U_H}{U_{БазH}} \right)^2 \right), \quad (1)$$

$$Q_H(U_H) = Q_{БазH} \left(b_0 + b_1 \cdot \frac{U_H}{U_{БазH}} + b_2 \cdot \left(\frac{U_H}{U_{БазH}} \right)^2 \right), \quad (2)$$

где $U_{БазH}$, $P_{БазH}$, $Q_{БазH}$ – базисные значения напряжения, активной и реактивной мощности в узле нагрузки; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – коэффициенты СХН в относительных единицах. Нерегулярные колебания мощности нагрузки можно представить с помощью случайных изменений значений базисных мощностей $P_{БазH}$ и $Q_{БазH}$, распределенных по нормальному закону, причем указанные случайные величины взаимосвязаны друг с другом с коэффициентом корреляции близким к 1. Случайные колебания напряжения системы U_C также будем считать распределенными по нормальному закону.

Рассмотрим первый случай, при котором отсутствует реакция сети, то есть $R_{ЭКВ} = X_{ЭКВ} = 0$, а $U_H = U_C$. Полученные в результате моделирования пассивного эксперимента данные приведены на рисунке 2.

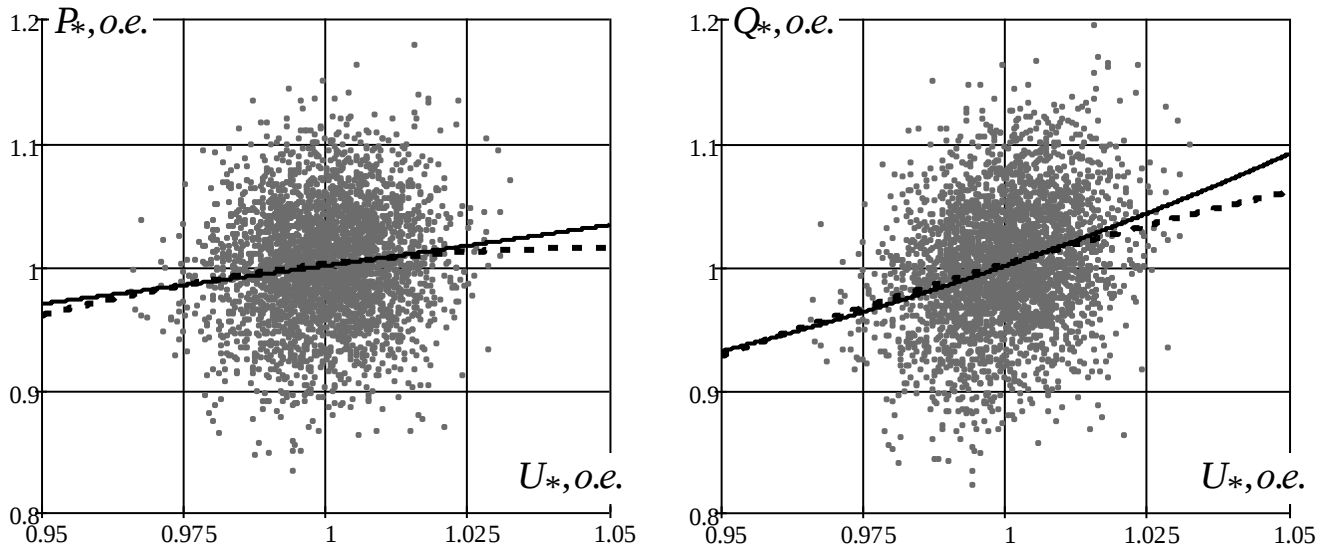


Рис. 2. Обработка результатов пассивного эксперимента при отсутствии реакции сети

На рисунке 2 точками обозначены данные измерений, сплошной линией показаны статические характеристики нагрузки, заданные по выражениям (1) и (2). Данные пассивного эксперимента были аппроксимированы полиномом второй степени [3], полученная кривая показана пунктиром.

Рассмотрим второй случай, при котором учтем реакцию сети. Пренебрегая поперечной составляющей падения напряжения на сопротивлении $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$, напряжение системы U_C может быть определено, как

$$U_C = U_H + \frac{P_H \cdot R_{ЭКВ} + Q_H \cdot X_{ЭКВ}}{U_H}. \quad (3)$$

Решая выражение (3) относительно U_H и подставляя вместо P_H и Q_H выражения (1) и (2) получим:

$$U_H = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (4)$$

где $a = 1 + B_2 \cdot X_{ЭКВ} + A_2 \cdot R_{ЭКВ}$, $b = A_1 \cdot R_{ЭКВ} + B_1 \cdot X_{ЭКВ} - U_C$,

$c = A_0 \cdot R_{ЭКВ} + B_0 \cdot X_{ЭКВ}$ – коэффициенты квадратного уравнения;

$$A_0 = a_0 \cdot P_{БазН}, \quad A_1 = a_1 \cdot \frac{P_{БазН}}{U_{БазН}}, \quad A_2 = a_2 \cdot \frac{P_{БазН}}{(U_{БазН})^2},$$

$$B_0 = b_0 \cdot Q_{БазН}, \quad B_1 = b_1 \cdot \frac{Q_{БазН}}{U_{БазН}}, \quad B_2 = b_2 \cdot \frac{Q_{БазН}}{(U_{БазН})^2} \text{ – коэффициенты}$$

СХН в именованных единицах.

В пассивном эксперименте, как и в первом случае, были заданы случайные значения $P_{БазН}$, $Q_{БазН}$ и U_C , а значения напряжения в узле нагрузки U_H и мощности нагрузки P_H и Q_H рассчитаны по выражениям (4), (1) и (2). Полученные результаты представлены на рисунке 3.

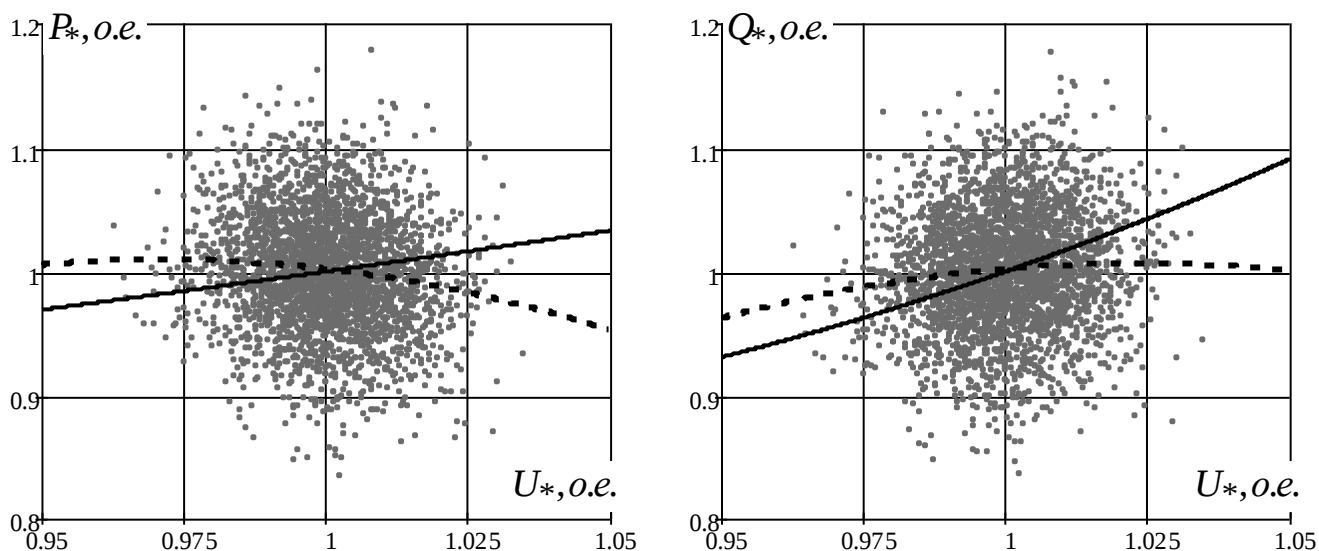


Рис. 3. Обработка результатов пассивного эксперимента при влиянии реакции сети

Как видно из графиков рисунка 3 влияние реакции сети приводит к тому, что эллипс рассеяния поворачивается относительно точки (1,1) против часовой стрелки. Очевидно, что угол этого поворота тем больше, чем больше эквивалентное сопротивление $R_{ЭКВ} + jX_{ЭКВ}$. Линия регрессии, полученная при аппроксимации данных пассивного эксперимента при влиянии реакции сети, показанная пунктиром на рисунке 3, существенно отклоняется от заданной статической характеристики нагрузки, показанной сплошной линией. В случае отсутствия реакции сети (рисунок 2) эти линии практически совпадают в заданном диапазоне изменения напряжения.

Регулирующий эффект нагрузки, рассчитанный по данным пассивного эксперимента при влиянии реакции сети также значительно отличается от заданного: -0,53 против 0,64 для активной мощности и 0,38 против 1,331 для реактивной мощности, что соответствует повороту СХН в относительных единицах на угол 60° и 37° соответственно.

Таким образом, при разработке методов получения статических характеристик нагрузки по данным пассивных экспериментов необходимо предусмотреть учет влияния реакции сети.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.: ил.
2. Гуревич, Ю.Е. Применение математических моделей электрической нагрузки в расчетах энергосистем и надежности электроснабжения промышленных потребителей / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова. - М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. - 248 с.

3. Панкратов А. В., Полищук В. И., Бацева Н. Л. Экспериментальное определение статических характеристик нагрузки электроэнергетических систем //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2015. – Т. 15. – №. 1.

Научный руководитель: А.В. Панкратов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

М.С. Баус

Томский государственный университет

Электроэнергетическая система (ЭЭС) – это одна из наиболее сложных разработанных человеком технических систем. Не будет преувеличением сказать, что вся жизнь современного общества строится на фундаменте под названием «энергетика». Электроэнергия является основным продуктом и товаром человечества.

В последнее десятилетие в энергосистемах промышленно развитых стран мира (США и страны Европейского Союза) происходили крупные системные аварии, вследствие нарушения устойчивости и по причине токовых перегрузок связей. Большинство из них протекало практически по одному сценарию [1]: после первого серьезного возмущения, спустя некоторое время следовали множественные возмущения, которые приводили к погашению большей части электроэнергетической системы (ЭЭС).

Факторами, влияющими на возникновение и развитие крупных системных аварий являются:

1. рост электропотребления, опережающий развитие сетевой инфраструктуры,
2. рыночные условия, стимулирующие увеличение потоков электроэнергии с переброской существенных объемов электроэнергии из региона в регион.

В процессе работы ЭЭС (ОЭС, энергосистема) может находиться в различных режимах: нормальном, утяжеленном, аварийном и послеаварийном. В каждом из них решаются различные задачи управления; различны также степень автоматизации управления и характер распределения обязанностей между оперативным персоналом территориальных ступеней управления:

В нормальном режиме происходит выполнение установленных требований по надежности и качеству электроэнергии.

В утяжеленном (вынужденном) режиме длительность режима ограничена. Снижение части требований надежности и качества энергии. Повышение вероятности возникновения аварии.

В аварийном режиме подлежит быстрой ликвидации средствами защиты и автоматики. Требуется в ряде случаев выполнения немедленных действий дежурным персоналом.