

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТЕКСТНЫХ ДАННЫХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТЬЮ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Вербицкий Е.В., канд.техн.наук, **Киселева А.Г.**, канд.техн.наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина,
e-mail: kiseleva_anna@ukr.net

В статье описаны особенности структуры распределенной сети электропитания на силовом и информационном уровне. Показана необходимость применения гетерогенных контекстных данных о внешних условиях, режимах работы силового оборудования и характере нагрузки для управления системой электропитания. Обоснована целесообразность использования иерархического принципа управления на основе логических правил. Библ. 8, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: контекст, распределенная система электропитания, иерархический принцип управления.

Вступление. Для экономии энергии ископаемых источников, запасы которых постепенно истощаются, все чаще используются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), технический потенциал которых в перспективе позволяет минимизировать использование электростанций на ископаемом топливе. Интеграция разнотипных источников энергии в единую систему электропитания осуществляется с помощью концепции активно-адаптивного управления SmartGrid [2, 4, 6], которая основывается на измерении и обработке гетерогенных данных об окружающей среде (мощность солнечного излучения, скорость ветра, температура, влажность), режимах работы силового оборудования (пространственное распределение источников энергии и их выходная мощность, запас энергии в системе аккумулирования энергии, уровень потерь в системе) и мощности потребления нагрузок. Централизация управления в распределенных системах электропитания предусматривает построение информационной структуры системы, которая состоит из множества датчиков, телекоммуникационных устройств передачи данных и узлов их обработки, что позволяет построить иерархическую математическую модель системы, описывающую влияние измеряемых параметров на энергетические процессы генерации, распределения и потребления энергии. При этом следует отметить, что полностью централизованная система, имеющая один центр управления, наряду с высокой эффективностью, имеет недостаточную гибкость при условии неполноты используемых данных. Поэтому на практике применяют иерархические системы управления (СУ), которые позволяют функционировать силовому оборудованию автономно, что соответствует принципу децентрализованного управления. Вместе с тем, обеспечивается оптимизация и координирование режимов работы системы на основании обработки полного набора данных, собираемых СУ более высокого уровня.

Повышение эффективности управления при использовании иерархического управления достигается при условии представления возможных состояний системы в сжатом виде, позволяющем формализовать процессы на каждом уровне иерархии управления и задавать режимы работы оборудования, используя присущий этому уровню набор данных. Задача формализации измеряемых данных особенно актуальна для систем распределенного электропитания, которые по сравнению с централизованной сетью имеют более сложную структуру, содержащую системы аккумулирования и резервного электропитания. Повышение структурной сложности распределенных систем электропитания, с одной стороны, увеличивает гибкость управления ими, что позволяет учитывать информацию о положении человека и условиях окружающей среды, на основании которой осуществляется динамическое управление системами жизнеобеспечения – освещением, отоплением, вентиляцией. С другой стороны, необходимость учета разнородных данных при управлении приводит к необходимости обработки больших массивов неструктурированной информации. Для представления модели текущего состояния системы электропитания в виде, удобном для принятия решений о формировании рациональных правил по управлению системой электропитания, и для уменьшения объема обрабатываемых данных целесообразно представлять измеренные данные в формальном виде. В статье проанализирован принцип обмена данными между иерархическими уровнями системы управления и предложен принцип их обработки и формализации.

Иерархическая модель системы электропитания. Одним из средств, способствующих формализации состояний системы является модель контекста [5, 7]. Контекст может быть следующих ти-

пов: 1) время; 2) координаты; 3) среда; 4) локация; 5) активность; 6) состояние инфраструктуры. В этом случае СУ системы электропитания предлагается представить в виде древовидной структуры (рис. 1). Каждый уровень описывает состояние системы на определенном абстрактном уровне обработки контекстных данных. Данные уровни дополняют друг друга, чем обеспечивается их непротиворечивость.

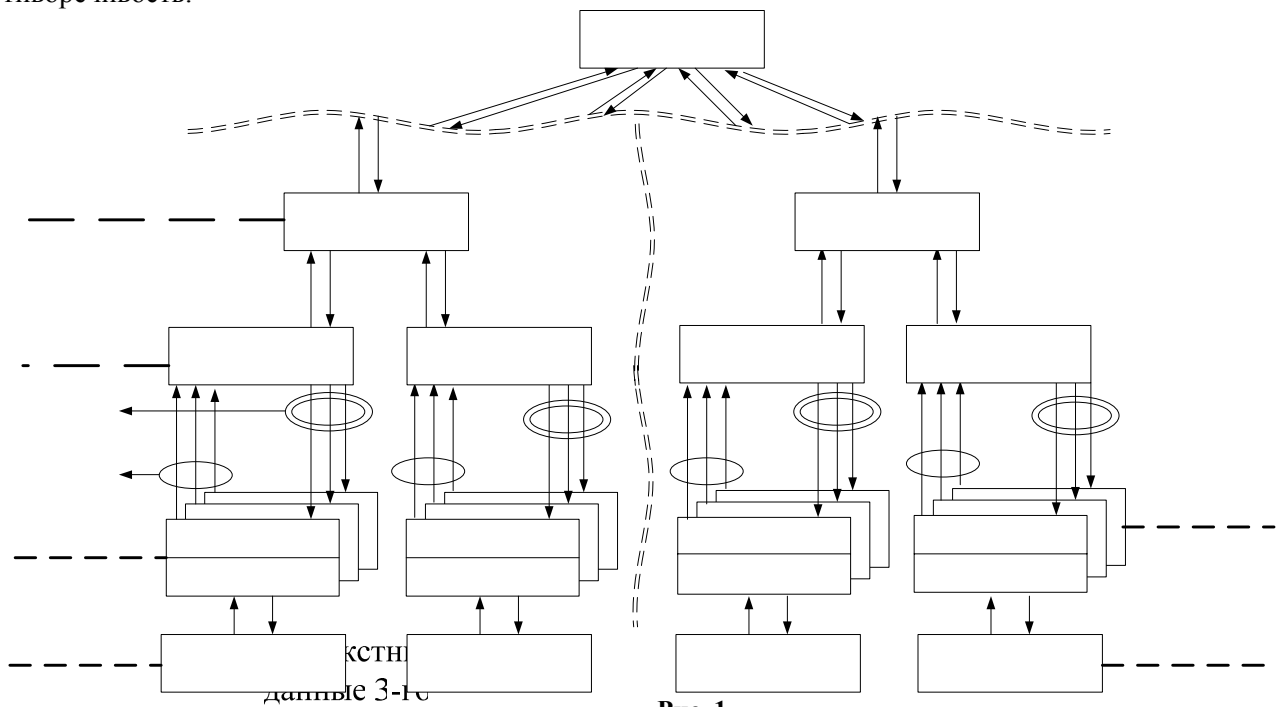


Рис. 1

Словное оборудование, подключаемое посредством преобразователей электроэнергии к СУ первого уровня иерархии, выполняет определенные функции по преобразованию параметров электрической энергии. Функции координации работы преобразователей, используемых в однотипном силовом оборудовании, выполняет СУ второго уровня иерархии, получающая контекстные данные от преобразователей и от СУ более высокого уровня иерархии. На основании полученных данных осуществляется расчет параметров, необходимых для формирования задающих воздействий для всех преобразователей силового оборудования, определенного типа. Аналогично выполняется координация работы всех преобразователей с помощью СУ третьего уровня иерархии. Рассмотренный принцип управления позволяет интегрировать информационную часть силового оборудования в единую систему с целью повышения эффективности его совместной работы. Общая сложность иерархии зависит от количества уровней иерархии, принципов управления, количества и структуры используемого оборудования.

На силовом уровне интеграция осуществляется с помощью преобразователей электрической энергии, на информационном уровне – информацией о текущем состоянии системы, что позволяет гибко регулировать режимы ее работы, минимизируя потери и стоимость потребляемой энергии. Процесс управления системой электропитания обеспечивается постоянной циркуляцией информации. Она, с одной стороны, является временными рядами (ВР) измеренных значений параметров системы (ток, напряжение, температура) и интегральных показателей (действующее значение напряжения, коэффициент гармоник), передающихся от СУ низшего уровня иерархии к СУ высшего уровня иерархии. С другой стороны, – ВР задающих сигналов, которые зачастую являются мгновенными значениями мощности регулируемых источников энергии и отдельных преобразователей и передаются от СУ высшего уровня иерархии к СУ низшего уровня иерархии. Ограничением для работы иерархической системы управления является большой объем данных, которые нужно передавать и обрабатывать в реальном режиме времени. Например, для эффективного отбора энергии от солнечных батарей (СБ) необходимо контролировать значение среднего тока и амплитуду его пульсации [3]. Поэтому для типичной частоты преобразователя $f=20$ кГц, который используется в качестве устройства отбора мощности, при температуре Котельникова частота измерений f_i тока и напряжения на выходе СБ должна составлять минимум 40 кГц. Если солнечная электростанция состоит из тысячи модулей СБ, объем циркулируемых данных за 1 с составляет $40 \cdot 10^6$ выборок, что усложняет процесс управления. К тому же, закон управления разнотипным силовым оборудованием зависит от многих параметров окружающей среды (температура, скорость ветра, влажность), режимов работы силового оборудования (источник напряжения, тока, мощ-

ности), значений параметров качества напряжения (коэффициент гармоник, коэффициент несимметрии, действующее значение напряжения) и параметров нагрузок (мощность, характер нагрузок). Поэтому применение традиционных принципов управления в этом случае имеет недостаточную эффективность.

Для уменьшения объема обрабатываемых и измеряемых данных, а также для повышения эффективности управления системой электропитания используются знания экспертов, которые чаще всего представляются в виде правил [1] и позволяют отсеивать ненужную информацию, тем самым уменьшая количество параметров и объем циркулируемых данных. Для построения правил измеренные параметры целесообразно представлять в виде контекста – информации, описывающей состояние в виде триплетов – тип контекста: атрибут контекста := значение, например, «Помещение: температура = комфортная», «Генераторы: мощность = достаточная», «Нагрузки: характер = индуктивно-активный». Формирование контекста из измеренных данных условно можно разделить на задачи обработки цифровых сигналов; нормализации данных и их последующей интеграции, осуществляемых на основании параметров модели оборудования системы электропитания; формализации интегральных показателей. Графическая интерпретация формирования и циркуляции контекста показана на рис. 2.

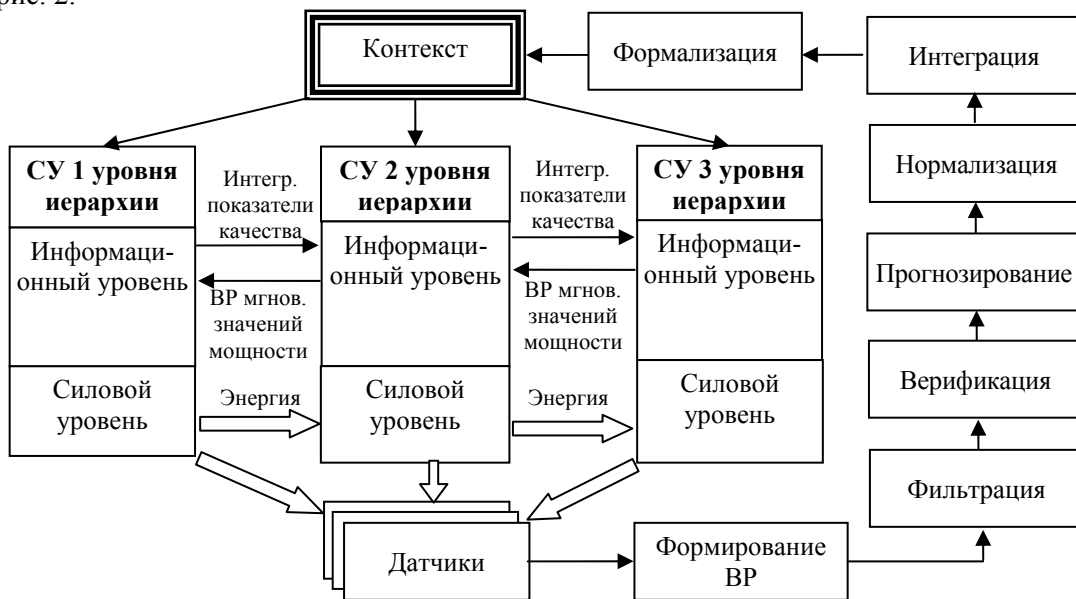


Рис. 2

Рассмотрим этапы формирования контекста подробнее.

Принцип формирования контекста. Процедура обработки цифровых сигналов разделяется на этапы:

- накопление данных в буфере, имеющем структуру очереди, длина которого зависит от типа и уровня зашумленности измеренных данных;
- отделение полезного сигнала от шумовой компоненты;
- верификация данных, то есть оценка их достоверности и выявление аномальных значений;
- прогнозирование, необходимое для уменьшения инерционности контура управления.

В работе [8] показано, что при использовании методов обработки цифровых сигналов расходуется порядка 10-20 тактов процессорного времени, что обеспечивает задержку в принятии решения в пределах 0.1-10 мкс и позволяет работать системе в режиме реального времени, при этом достигается уменьшение шума данных в диапазоне 74-89 %.

Следующие этапы формирования контекста иллюстрируются на примере системы отбора максимальной мощности от СБ. В этом случае для управления используется ток I , напряжение U и мощность P СБ, которые нормируются значением тока $I_{КЗ}$ в режиме короткого замыкания, напряжением в режиме холостого хода $U_{ХХ}$, максимальной выходной мощностью $P_{ММ}$ соответственно:

$$I^* = I / I_{КЗ}; U^* = U / U_{ХХ}; P^* = P / P_{ММ}. \quad (1)$$

Также для управления целесообразно использовать: удельную мощность солнечного излучения S^* , значение пульсации тока ΔI^* , выходное сопротивление системы отбора мощности R^* , температура Tm^* .

Эффективность работы СБ оценивается значением выходной мощности P^* , которое зависит от значений измеренных данных всех типов, $P^* = f(S, I^*, U^*, \Delta I^*, R^*, Tm)$. Интеграция измеренных данных

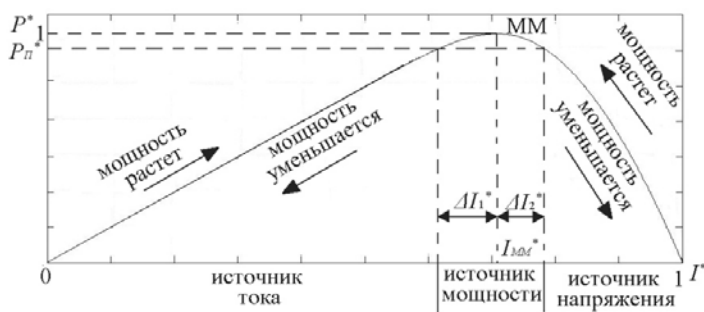


Рис. 3

ответствует ток I_{MM}^* . Также на кривой отмечены пороговое значение мощности P_n^* . Ему соответствуют отклонения тока I^* от точки MM ΔI_1^* , ΔI_2^* . Если выходная мощность P^* больше пороговой, СБ представляется источником мощности, правее этого диапазона СБ является источником напряжения, левее – источником тока. По изменению значений тока определяется изменение выходной мощности СБ. На основании приведенного анализа формируется контекст работы СБ. Для примера в таблице приведены условия формирования и возможные значения двух атрибутов контекста – «Режим работы» и «Выходная мощность».

Условие	Контекст
$I^* < I_{MM}^* - \Delta I_1^*$	СБ: режим работы := источник тока
$I_{MM}^* - \Delta I_1^* < I^* < I_{MM}^* + \Delta I_2^*$	СБ: режим работы := источник мощности
$I^* > I_{MM}^* + \Delta I_2^*$	СБ: режим работы := источник напряжения
$(I_i^* < I_{MM}^*) \text{ AND } (I_i^* > I_{i-1}^*)$	СБ: выходная мощность := возрастает
$(I_i^* < I_{MM}^*) \text{ AND } (I_i^* < I_{i-1}^*)$	СБ: выходная мощность := уменьшается
$(I_i^* > I_{MM}^*) \text{ AND } (I_i^* > I_{i-1}^*)$	СБ: выходная мощность := уменьшается
$(I_i^* > I_{MM}^*) \text{ AND } (I_i^* < I_{i-1}^*)$	СБ: выходная мощность := возрастает

Частота изменения параметров контекста значительно меньше частоты дискретизации исходных данных и определяется частотой изменения параметров нагрузки и условий окружающей среды, поэтому контекстные данные, как правило, передаются несколько раз в секунду. Количество типов контекстных данных для СБ не превышает десяти. Поэтому для солнечной электростанции, состоящей из тысячи модулей, количество передаваемых данных достигает 10^4 выборок в секунду, что на четыре порядка меньше, чем при передаче ВР измеренных данных.

Правила на основании полученных контекстных данных имеют следующую структуру: Если → состояние системы до подачи управляющего воздействия. Набор признаков, определяющих принадлежность к классу состояния; То: 1) логический (высший) уровень управления → изменение конфигурации системы и/или режимов работы электротехнического оборудования; 2) непрерывный (низший) уровень управления → формирование задающего воздействия для отдельных преобразователями электрической энергии. Использование полученного контекста вместе с контекстом других генераторов, окружающей среды и нагрузок позволяет экспертам формировать правила управления электросетью. Например: Если «Режим работы СБ := источник напряжения» И «Выходная мощность := уменьшается» То «Ток СБ := уменьшить».

Правила на основании полученных контекстных данных имеют следующую структуру: Если → состояние системы до подачи управляющего воздействия. Набор признаков, определяющих принадлежность к классу состояния; То: 1) логический (высший) уровень управления → изменение конфигурации системы и/или режимов работы электротехнического оборудования; 2) непрерывный (низший) уровень управления → формирование задающего воздействия для отдельных преобразователями электрической энергии. Использование полученного контекста вместе с контекстом других генераторов, окружающей среды и нагрузок позволяет экспертам формировать правила управления электросетью. Например: Если «Режим работы СБ := источник напряжения» И «Выходная мощность := уменьшается» То «Ток СБ := уменьшить».

Простая структура правил обеспечивает формализацию процесса управления системой электропитания, что позволяет задействовать интеллектуальные методы обработки данных и знания экспертов, а также распределить контекстные данные по разным уровням иерархии и значительно уменьшить объем их передачи и обработки.

Выводы. Предложенный принцип обработки и формализации измеренных данных позволяет:

- обеспечить задержку в обработке данных в пределах 0,1-10 мкс, что позволяет работать системе в режиме реального времени и уменьшить уровень шума используемых данных на 74-89 %;
- уменьшить количество вычислительных операций и объем передаваемых данных минимум на порядок;
- упростить процедуру использования знаний экспертов при создании правил управления системой электропитания.

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. – К.: Наукова думка, 2005. – 743 с.

2. Кириленко А.В., Якименко Ю.И., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Преобразователи параметров электроэнергии в smart системах энергетики // Праці Інституту електродинаміки. Спец. випуск. – 2010. – С. 17-23.

3. Ромашико В.Я., Вербицький Є.В., Киричук Є.І. Аналіз втрат енергії в системі відбору максимальної потужності сонячної батареї // Техн. електродинаміка. – 2014. – № 4. – С. 55-57.
4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 52-67.
5. Dey A. K. Understanding and Using Context // Personal and Ubiquitous Computing J. – 2001. – Vol. 5. – No 1. – Pp. 4–7.
6. Kyrylenko O.V., Strzelecki R., Denysiuk S.P., Derevianko D.G. Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards // Техн. електродинаміка. – 2013. – № 6. – С. 52-57.
7. Stephan Sigg. Expectation aware in-network context processing // 4th ACM International Workshop on Context-Awareness for Self-Managing Systems, (CASEMANS'10) ACM, New York, USA. – 2010. – Pp. 9-14.
8. Zhuikov V., Kyselova, A. Integration of context-aware control system in microgrid // IEEE XXXIII International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology" (ELNANO), Kyiv, 2013. – Pp. 386-390.

УДК 621.314

ВИКОРИСТАННЯ КОНТЕКСТНИХ ДАНИХ ПРИ КЕРУВАННІ РОЗПОДІЛЕНОЮ МЕРЕЖЕЮ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вербицький Є.В., канд.техн.наук, Кисельова А.Г., канд.техн.наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна, e-mail: kiseleva_anna@ukr.net

В статті описано особливості структури розподіленої мережі електропостачання на силовому та інформаційному рівні. Показано необхідність використання гетерогенних контекстних даних про зовнішні умови, режими роботи силового обладнання та характер навантаження для керування системою електроживлення. Обґрунтовано доцільність використання ієрархічного принципу керування на основі логічних правил. Бібл. 8, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: контекст, розподілена мережа електропостачання, ієрархічний принцип керування.

APPLICATION OF CONTEXTUAL DATA FOR CONTROL OF DISTRIBUTED POWER GRID

Verbytskyi I.V., Kyselova A.G.

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”,

Peremohy av., 37, Kyiv, 03056, Ukraine, e-mail: kiseleva_anna@ukr.net.

The features of the structure of distributed power grid to the power and data level are described. The necessity of application of heterogeneous data on external conditions, power equipment operating modes and the characteristic of the load for network management is shown. The expediency of hierarchical control principle based on logical rules is substantiated. The necessity of data pre-processing and formalization in form of context in order to reduce the volume of circulating and processed information is justified. Implementing the procedure of digital filtering, verification and data forecast allowed reducing the noise and inertia of the control system. The principles of formalization of context, which reduced the volume of data transmitted and processed were elaborated. The approach of the formation of the rules allows applying intellectual control algorithms for power system, improving the quality of management. References 8, table 1, figures 3.

Key words: context, distributed power grid, hierarchical control principle.

1. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. System analysis: problems, methodology, applications. – Kyiv: Naukova Dymka, 2005. – 743 p. (Ukr)
2. Kirilenko A.V., Yakimenko U.I., Zhuykov V.Ya., Denysiuk S.P. Converters parameters in smart electricity system // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky. Spetsialnyi випуск. – 2010. – Pp. 17-23. (Rus)
3. Romashko V.Ya., Verbitsky I.V., Kyrychuk I.I. Energy loses analyze in solar battery maximum power picking system // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – No 4. – Pp. 55-57. (Ukr)
4. Stogniy B.S., Kyrylenko O.V., Prahovnyk O.V., Denysiuk S.P. The evolution and prospects of smart grids in Ukraine // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2012. – No 5. – Pp. 52-67. (Ukr)
5. Dey A.K. Understanding and Using Context // Personal and Ubiquitous Computing J. – 2001. – Vol. 5. – No 1. – Pp. 4–7.
6. Kyrylenko O.V., Strzelecki R., Denysiuk S.P., Derevianko D.G. Main Features of the Stability and Reliability Enhancement of Electricity GRID with DG in Ukraine Based on IEEE Standards // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2013. – № 6. – С. 52-57.
7. Stephan Sigg. Expectation aware in-network context processing // 4th ACM International Workshop on Context-Awareness for Self-Managing Systems, (CASEMANS'10) ACM, New York, USA. – 2010. – Pp. 9-14.
8. Zhuikov V., Kyselova A. Integration of context-aware control system in microgrid // IEEE XXXIII International Scientific Conference "Electronics and Nanotechnology" (ELNANO), Kyiv, 2013. – Pp. 386-390.

Надійшла 15.04.2015
Остаточний варіант 24.12.2015