

УДК 621.396.97

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в приборостроении)

Баин Александр Михайлович

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский университет» «МИЭТ»

Россия, Зеленоград¹

Докторант кафедры «Информатика и программное обеспечение
вычислительных систем»

Кандидат технических наук

E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Повышение эффективности информационных обменов подсистемы учета потребления электроэнергии в интегрированных системах диспетчерского управления

Аннотация: Предложены подходы к совершенствованию информационных обменов подсистемы учета потребления электроэнергии в интегрированных системах диспетчерского управления, основанные на разделении информационного потока на оперативный и неоперативный контур.

Для передачи оперативной информации используются данные от числоимпульсных выходов счетчиков. Информационное сообщение, включающее коды числа импульсов от 8-16 счетчиков, по методу нарастающего итога (без обнуления накопителей импульсов) передается с циклом в одну - три минуты.

Для повышения достоверности данных, полученных по числоимпульсным каналам, используется трехкратный ввод сигналов, после чего по принципу “два или три из трех” идентифицируется реальный сигнал, и принятая информация заносится в индивидуальные для каждого счетчика накопители импульсов. Кодовые данные по интерфейсу “токовая петля” являются контрольными и могут передаваться достаточно редко. “Токовая петля” позволяет передавать не только данные об измеренной энергии и мощности, но и многочисленную дополнительную информацию, например: время и дату начала отключения питания или фазы, наличие тарифных зон и их распределение по суткам, данные самодиагностики счетчика.

Разделение информации на оперативную и неоперативную составляющие повышает эффективность использования аппаратуры и каналов связи.

Ключевые слова: Многофункциональный комплекс; топливно-энергетический комплекс; управление; контроль; математическая модель; вероятность; работоспособность; отказоустойчивость.

Идентификационный номер статьи в журнале 175TVN214

¹ 124498, проезд 4806, дом 5.

В настоящее время решение актуальных задач повышения энергоэффективности невозможно без перехода от простых автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) к многофункциональным системам, включающим помимо АСДУ подсистемы технического или коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ, как правило, такая задача решается механическим введением дополнительных функциональных устройства в существующие системы для обработки новых видов информации [1-4].

Традиционным подходом к синтезу АСКУЭ является получение всей необходимой информации «с одного входа» – от кодового выхода счетчика. В результате данные, которые нужны для оперативной работы, считываются в виде кодового сообщения. По ним строится график профиля мощности в цепях нагрузки [5-8].

Так как дискретность отсчета данных для построения указанного графика мала и имеет тенденцию к постоянному снижению – до 60 секунд, период опроса данных от счетчиков снижается. В результате для сложных распределенных энергообъектов, т.е. при большом числе счетчиков, объем передаваемой кодовой информации и требуемая производительность каналов связи адекватно увеличиваются. Такой подход делает невозможным интеграцию АСКУЭ в общую систему с АСДУ – минимальная требуемая для построения АСКУЭ с указанными «стандартными» принципами производительность каналов связи равна 38000 бит/сек.

Для реализации поставленной цели предлагается новая технология реализации информационных обменов в интегрированных информационно-управляющих системах с функцией коммерческого учета потребления электроэнергии, в соответствии с которой информационные потоки разделены на оперативную и неоперативную составляющие [1-4,9].

Обобщенная схема подсистемы АСКУЭ интегрированной системы представлена на рис.1. По входным цепям система сопрягается со счетчиками электроэнергии, установленными на контролируемых энергообъектах. В соответствии со своей архитектурой и функционалом, счетчики формируют следующие типы информационных сигналов [9]:

- по числоимпульсным выходным каналам (ЧИС 1...ЧИС m). Каждый импульс (с разделительной паузой) соответствует определенному количеству потребленной электроэнергии, другими словами полученное количество импульсов, поступивших за определенный отрезок времени, определяет потребленную или отпущенную энергию за некоторый временной интервал. В случае, если данный временной интервал незначителен, частное от деления рассчитанной по числу импульсов энергии на длительность временного интервала с достаточно высокой вероятностью отражает среднее значение мощности в указанном временном отрезке. На основании данных расчетов за 60-180 секунд строится график профиля мощности в соответствующем измерительном канале системы учета энергопотребления. Современные электронные счетчики включают отдельные числоимпульсные каналы для активной (или полной) и реактивной мощности для измерения в двух направлениях – потребления и отпуска электроэнергии. Два направления используются для счетчиков, которые установлены на границах раздела потребления энергии, когда в одних временных зонах электроэнергия потребляется, а в других – отпускается потребителям. В настоящее время, максимальное число числоимпульсных каналов для одного счетчика равно четырем (есть даже пятый – тестовый канал), а минимальное – равно одному.

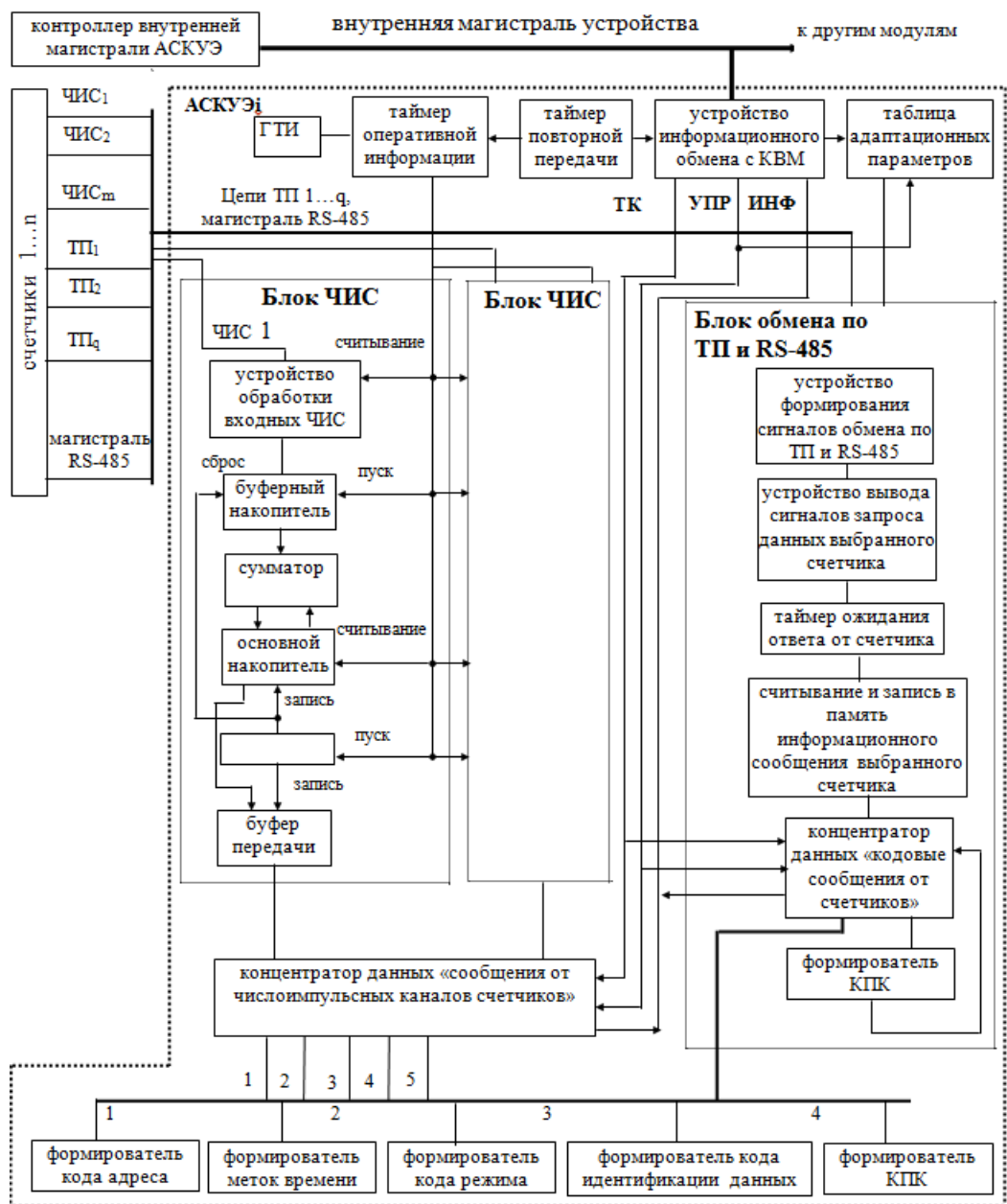


Рис.1. Обобщенная схема подсистемы АСКУЭ

Необходимо отметить, что числоимпульсные сигналы являются первичными для любого типа счетчика, поскольку в нем произведение $UI \cos \varphi$ превращается в число импульсов, из которого формируются кодовые сообщения.

- по кодовым выходам. Информационные сообщения в виде последовательных кодов формируются по шинам интерфейса “токовая петля” (ТП₁...ТП_q) либо по магистральному интерфейсу RS-485 и стандартному протоколу Modbus [10]. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что в настоящее время не установлена стандартная структура информационного сообщения. Например, в счетчиках Евро АЛЬФА используются как шины типа “точка-точка” - “токовая петля”, так и магистраль с интерфейсом RS-485. Значительно отличается друг от друга, даже в рамках одного и того же протокола проведения информационных обменов для вызова и получения данных, структура информационного сообщения. Например, счетчик СЭТ (г. Нижний Новгород) разработан

специально для использования в системах сбора информации, требующих значительно более частых обращений к счетчику. Поэтому в нем используются простые команды для вызова данных (длиной в несколько байт) и столь же простое информационное сообщение, включающее адрес, три байта данных и контрольную сумму. В счетчиках АЛЬФА (Евро АЛЬФА) вызов данных и структура информационного сообщения ориентированы на редкие обращения, поэтому усложнены процедуры вызова и получения данных. Данные оформлены в сообщение длиной примерно в 400 байт. В связи со сказанным почти невозможно использовать одни программы для проведения информационного обмена с разными типами счетчиков. На одном энергообъекте часто используется несколько типов счетчиков. Как следствие, в модули подсистемы АСКУЭ приходится вводить таблицы идентификации типа счетчиков и соответствующие им структуры подачи команд вызова и получения данных.

С каждым числоимпульсным выходом счетчиков ЧИС₁... ЧИС_м в подсистеме учета электроэнергии сопрягается соответствующий блок для обработки сигналов. Поступающие сигналы вводятся в буферный накопитель, в котором обеспечивается формирование управляющих команд для получения прямых и инверсных кодовых данных. Подобный способ формирования управляющих команд обеспечивает повышение уровня достоверности информации [11].

Дополнительными мерами повышения достоверности и помехозащищенности информации являются многократное считывание сигнала от счетчика и его идентификация с помощью мажоритарного метода – по большинству полученных сигналов «1» или «0». Образованный в накопителе код числа импульсов по сигналу от таймера оперативной информации суммируется с данными основного накопителя. С задержкой относительно занесения в основной накопитель кода, отображающего приращение потребленной энергии за время между двумя смежными сигналами таймера оперативной информации, буферный накопитель обнуляется, а данные основного накопителя переносятся в буфер передачи.

Описанный принцип работы одинаков для всех блоков ЧИС, после завершения одного цикла ввода и обработки данных подсистема готова к следующей передаче данных, полученных от всех счетчиков. Если число каналов число-импульсных сигналов достаточно велико, то вся информация делится на фрагменты и передается в центральный пункт управления (ЦПУ) отдельными информационными посылками. По сигналу от таймера формируется сигнал готовности к передаче информации и происходит ожидание получения разрешения от контроллера внутренней магистрали (КВМ). Последовательное информационное сообщение (ИНФ) формируется на основе управляющих (УПР) и тактовых (ТК) сигналов, поступающих от устройства информационного обмена с контроллером внутренней магистрали.

Вместе с данными от счетчика передается дата и время, которые соответствуют считываемым данным, причем, как правило, счетчик фиксирует данные и время на начало каждого часа (или получаса). Это позволяет «привязывать» кодовые данные от счетчиков к единому времени даже при наличии достаточно больших временных сдвигов между вызовом данных от отдельных счетчиков. Одновременно формируется и контрольная последовательность циклического кода (КПК), обеспечивающая повышение помехоустойчивости передаваемых данных в канале связи. Для формирования указанных компонентов используются данные полученные при адаптации подсистемы АСКУЭ к реальным условиям применения [9,12].

Все компоненты информационного сообщения интегрируются концентратором данных и по информационной шине направляются в центральный пункт управления. После завершения передачи данных запускается в работу таймер повторной передачи, который определяет поступление или отсутствие квитанции. Если в течение заданного в процессе адаптации времени подтверждение приема информации не поступает, система переходит в режим повторной передачи, при которой учитывается накопление числа импульсов за прошедший после первой передачи интервал времени [13].

В системе не предусматривается обнуление буфера передачи после завершения передачи информации- оно работает в режиме нарастающего итога. Подобный способ передачи информации позволяет передавать неискаженные данные при потере «обратного» канала связи – в направлении от центрального пункта управления к КП, а также при отсутствии обратного канала связи.

Ввод, обработка, регистрация данных, полученных по числоимпульсным каналам счетчиков, используется в оперативном контуре для построения «профиля мощности». Поэтому для счетчиков, сопряженных с одним модулем число-импульсных сигналов, необходимо обеспечить считывание данных от всех счетчиков в режиме, близком к реальному времени. Следовательно, цикл опроса всех счетчиков должен быть существенно меньшим минимального временного сдвига между двумя смежными импульсами от счетчика [14].

Проанализируем интенсивность информационного потока подсистемы АСКУЭ многофункциональной информационно-управляющей системы, организованной по представленной технологии. Принимая во внимание, что кодовые данные полученные по интерфейсу “токовая петля”, не используются для оперативного учета потребления электроэнергии, время между их циклами ввода в обрабатывающий центр пункта управления (T_k) может быть значительно большим, чем время ввода числоимпульсных сигналов $T_{чи}$.

Средняя интенсивность ввода числоимпульсных сигналов в обрабатывающий центр центрального пункта управления определяется следующей зависимостью [10,12]

$$\mu_{чи} = \frac{K_1 K_2 M_{\phi n}}{T_{чи}}, \quad (1)$$

где K_1 - разрядность накопителей числа импульсов; K_2 - число числоимпульсных каналов, соответствующих одному счетчику электроэнергии; $M_{\phi n}$ - число трехфазных присоединений, эквивалентное числу счетчиков.

Средняя интенсивность ввода кодовых данных по интерфейсу “токовая петля” в обрабатывающих центр центрального пункта управления определяется, как

$$\mu_k = \frac{K_3 K_4 M_{\phi n}}{T_k}, \quad (2)$$

где K_3 - число разрядов передаваемых кодовых данных; K_4 – число кодовых каналов, соответствующих одному счетчику электроэнергии.

С учетом выражений (1) и (2) средняя интенсивность информационного потока подсистемы АСКУЭ будет составлять

$$\mu_{АСКУЭ} = \mu_{чи} + \mu_k = \frac{K_1 K_2 M_{\phi n}}{T_{чи}} + \frac{K_3 K_4 M_{\phi n}}{T_k}. \quad (3)$$

Среднее время обработки информации подсистемы АСКУЭ в обрабатывающем центра центрального пункта управления составит:

$$T_{OЦ} = \frac{T_m N_{KП}}{k_{OЦ}} (z_1 l_1 + \beta P_{OЦ} (l_2 + l_3 + l_4 + l_5)), \quad (4)$$

где T_m - длительность рабочего такта обрабатывающего центра; $N_{KП}$ - количество контролируемых пунктов, входящих в состав интегрированной информационно-управляющей системы; $k_{OЦ}$ - степень сжатия информации, которая определяется разрядностью входных каналов обрабатывающего центра; z_1 - среднее число команд программы обработки введенной в обрабатывающий центр информации; l_1 - среднее число тактов, затрачиваемых на реализацию одной команды процедуры ввода и обработки информации; β - коэффициент, определяющий процент незавершенности выполнения задачи к моменту ее прерывания вновь поступившей задачей; $P_{OЦ}$ - вероятность того, что ОЦ занят обработкой информации; l_2, l_3, l_4, l_5 - среднее число тактов, затрачиваемых на выполнение команд приостановки, подготовки, анализа и ввода информационного сообщения соответственно.

С учетом (3) и (4) определим относительную загрузку $G_{АСКУЭ}$ ОЦ данными подсистемы АСКУЭ:

$$G_{АСКУЭ} = \mu_{АСКУЭ} T_{OЦ} = \left(\frac{K_1 K_2 M_{\phi n}}{T_{\text{чи}}} + \frac{K_3 K_4 M_{\phi n}}{T_{\kappa}} \right) \frac{T_m N_{KП}}{k_{OЦ}} (z_1 l_1 + \beta P_{OЦ} (l_2 + l_3 + l_4 + l_5)), \quad (5)$$

Приняв, например, $T_{\text{чи}} = 30$ с; $T_{\kappa} = 600$ с; $K_1 = 24$; $K_2 = 4$; $M_{\phi n} = 50$; $K_3 = 512$; $K_4 = 2$; $K_{OЦ} = 16$, $T_m = 10^{-9}$ с; $N_{KП} = 64$; $z_1 = 10$; $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5 = 10^4$; $\beta = P_{OЦ} = 0.5$, получаем $\rho_{АСКУЭ} \approx 0.1$, что с учетом необходимости обработки информации других подсистем многофункциональной ИУС вполне допустимо.

Таким образом, разработанная концепция реализации подсистемы АСКУЭ с разделением информационного потока на оперативную и неоперативную составляющие позволяет на порядок увеличить время ввода и обработки кодовой посылки и тем самым соответственно на порядок снизить загрузку обрабатывающего центра потоком данных подсистемы АСКУЭ.

Далее отметим ряд требований, которые должны быть соблюдены при создании интегрированных информационно-управляющих систем с функциями коммерческого учета потребления электроэнергии [1-3,9-10]:

- обеспечение целостности информации. Требуется определенного конструктивного выполнения интегрированной информационно-управляющей системы. В частности, если выдвигается требование полной изоляции конструктивных частей АСКУЭ и АСДУ, модули подсистемы АСКУЭ могут быть установлены в отдельный кожух (мини КП), опломбированы представителями энергонадзора. Передача данных от конструктивно отделенной части реализуется по принципу цепочечного канала связи. В основное устройство КП устанавливается модуль ретрансляции данных от мини КП (с модулями подсистемы АСКУЭ). Изоляция внешних цепей выполняется для того, чтобы работники АСДУ не могли при работе со «своими» цепями отключать или вносить какие-либо другие неисправности в цепи, к которым подключены счетчики АСКУЭ.

Менее радикальным является изоляция только клеммников внешних связей интегрированных в один кожух подсистем АСДУ и АСКУЭ. Клеммники, сопряженные с модулями АСКУЭ, закрываются и пломбируются энергонадзором.

Возможно также выполнение пломбирования общей для цепей АСКУЭ и АСДУ клеммной секции интегрированного устройства КП представителями АСДУ и

АСКУЭ, причем в узел, которым открывается доступ к клеммной секции, вводится датчик охранной сигнализации, формирующий охранный сигнал. Этот сигнал подключается к модулю передачи дискретных сигналов. В результате система фиксирует не только факт вскрытия устройства КП, но и время вскрытия (с точностью до 10 мс).

Ранее, при создании устройств на элементной базе относительно малой надежности, обслуживание устройств АСДУ проводилось достаточно часто, поэтому объединение подсистем в едином устройстве вызывало определенные организационные сложности. При использовании для построения модулей высоконадежных микро ЭВМ и схем с большой степенью интеграции, введение в модули защитных и диагностических узлов, надежность интегрированного устройства высока, что делает преимущества интеграции более ощутимыми. Таким образом, решение задачи изоляции цепей разных подсистем при едином устройстве для них, не вызывает непреодолимых трудностей.

- необходимость проведения метрологической аттестации АСКУЭ. Ранее при создании интегрированной системы необходимость метрологической аттестации АСКУЭ приводила к увеличению стоимости комплекса с АСДУ. В новых стандартах метрологическая аттестация должна проводиться для любой информационной системы. Это объясняется тем, что передаваемая информация, даже если она не получена от измерительных датчиков, зачастую включает метрологическую информацию (например, в ИУС, ориентированном на передачу, коммутацию, маршрутизацию пакетов данных, весьма велика вероятность передачи «в пакете» измерительной информации). Поэтому все современные ИУС должны проходить метрологическую аттестацию.

Таким образом, в плане организации производства и испытаний ИУК интегрированные системы не отличаются от отдельных АСКУЭ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портнов Е.М. К вопросу создания интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике// Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2011. № 4. С. 77-80.
2. Портнов Е.М. Многофункциональные телекоммуникационные системы с функцией контроля и учета электроэнергии// Оборонный комплекс- научно-техническому прогрессу России, 2000.-№1.- С.57-60.
3. Портнов Е.М. Интегрированный информационно- вычислительный комплекс с кластерной архитектурой для АСУ сложных производств// Оборонный комплекс- научно-техническому прогрессу России, 2002.-№3.- С.41-44.
4. Баин А.М., Портнов Е.М., Чумаченко П.Ю., Слюсарь В.В., Касимов Р.А., Теплова Я.О. Разработка унифицированных многофункциональных систем для повышения надежности и достоверности управления, а также энергоэффективности эксплуатирующегося оборудования тепловых электрических станций// Всероссийская молодежная научно-техническая конференция «Энергосбережение и энергоэффективность технологий передачи, распределения и потребления электрической энергии»: тезисы докладов, М.: МЭИ, 2012.
5. Tronova I. M. Assurance of automated information measurement systems for commercial accounting of electrical energy// Measurement Techniques July 2007, Volume 50, Issue 7, pp 795-797
6. Olsen, T. (2007), Danish energy accounts and energy statistics. Paper prepared for the 11th meeting of the London Group, South Africa
7. Y. Al-Hazmi, H. De Meer, K. A. Hummel, H. Meyer, M. Meo, and D. Remondo, "Energy-efficient wireless mesh infrastructures," IEEE Network Magazine, vol. 25, pp. 32–36, March-April 2011.
8. Ponomarenko, I.S. A Comprehensive Automatic System to Control Distribution Networks in the Process of the Reconstruction of Russian Electric Utility Industry// Power Engineering Review, IEEE , Volume:18 , Issue: 2 , 1998.
9. Баин А.М. Устройство коммерческого учета электроэнергии// Естественные и технические науки. 2012. № 2. С. 328-329.
10. Дубовой Н.Д., Портнов Е.М., Чумаченко П.Ю., Сидоренко Н.И. Концепция потокообразования в интегрированных информационно-управляющих системах с функцией учета потребления электроэнергии// Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2012. № 1. С. 57-61
11. Баин А.М., Портнов Е.М., Касимов Р.А. Интегральная достоверность как обобщающий критерий качества информационно-управляющих систем в теплоэнергетике// Естественные и технические науки. 2011.№4. С.424-425.
12. Портнов Е.М. Методика определения реального времени фиксации дискретных событий в информационно-управляющих системах// Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2009. № 4. С. 27-32.
13. Портнов Е.М., Баин А.М., Чумаченко П.Ю., Сидоренко Н.И. Методика повышения эффективности использования магистральных каналов связи

информационно-управляющих систем в энергетике// Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2012. № 2. С. 68-73.

14. Гуртовцев А.Л. О метрологии синхронных измерений электрической энергии и мощности в цифровых АСКУЭ//Промышленная энергетика. 2009. № 10. С. 11-22.

Рецензент: Гагарина Лариса Геннадиевна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «информатика и программное обеспечение вычислительных систем» Национального исследовательского университета МИЭТ.

Bain Aleksandr

National Research University of Electronic Technology
Russia, Zelenograd
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Improving the efficiency of information exchange subsystem of electricity count in an integrated supervisory system

Abstract: The article suggests the approaches to improve information exchanges accounting subsystem power consumption in integrated systems supervisory control, based on the separation of the flow of information on the operational and non-operational path. For transmission of operational information using data from unit-counting output counters.

Information message, including the number of pulses codes 8-16 meters cumulative sum method (without zeroing drive pulses) is transmitted in one cycle - three minutes. To improve the reliability of data obtained by unit-counting channels, input signal is used three times, after which the principle of "two or three of the three" identified the real signal and the received information is stored in individual drives for each counter pulses.

Coded data on the interface "current loop" are control and may be transmitted infrequently. "Current loop" not only allows to transfer data on the measured energy and power, but also numerous additional information, such as time and date of the start of a power outage or phase, the presence of rate zones and their distribution in the day, self-diagnosis of the counter. Information sharing for operational and non-operational components increases the efficiency of equipment and communication channels.

Keywords: Multifunctional complex; the fuel and energy complex; control; monitoring; mathematical model; the probability; performance; fault tolerance.

Identification number of article 175TVN214

REFERENCES

1. Portnov E.M. K voprosu sozdaniya integrirovannyh informacionno-upravljajushhh sistem v jenergetike// Oboronnyj kompleks - nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2011. № 4. S. 77-80.
2. Portnov E.M. Mnogofunktional'nye telekommunikacionnye sistemy s funkciej kontrolja i ucheta jelektrojenergii// Oboronnyj kompleks- nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii, 2000.-№1.- S.57-60.
3. Portnov E.M. Integrirovannyj informacionno- vychislitel'nyj kompleks s klasternoj arhitekturoj dlja ASU slozhnyh proizvodstv// Oboronnyj kompleks- nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii, 2002.-№3.- S.41-44.
4. Bain A.M., Portnov E.M., Chumachenko P.Ju., Sljusar' V.V., Kasimov R.A., Teplova Ja.O. Razrabotka unificirovannyh mnogofunktional'nyh sistem dlja povyshenija nadezhnosti i dostovernosti upravlenija, a takzhe jenergojeffektivnosti jekspluatirujushhegosja oborudovanija teplyh jelektricheskijh stancij// Vserossijskaja molodezhnaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Jenergosberezhenie i jenergojeffektivnost' tehnologij peredachi, raspredelenija i potreblenija jelektricheskijh jenergij»: tezis dokladov, M.: MJeI, 2012.
5. Tronova I. M. Assurance of automated information measurement systems for commercial accounting of electrical energy// Measurement Techniques July 2007, Volume 50, Issue 7, pp 795-797.
6. Olsen, T. (2007), Danish energy accounts and energy statistics. Paper prepared for the 11th meeting of the London Group, South Africa.
7. Y. Al-Hazmi, H. De Meer, K. A. Hummel, H. Meyer, M. Meo, and D. Remondo, "Energy-efficient wireless mesh infrastructures," IEEE Network Magazine, vol. 25, pp. 32–36, March-April 2011.
8. Ponomarenko, I.S. A Comprehensive Automatic System to Control Distribution Networks in the Process of the Reconstruction of Russian Electric Utility Industry// Power Engineering Review, IEEE , Volume:18 , Issue: 2 , 1998.
9. Bain A.M. Ustrojstvo kommercheskogo ucheta jelektrojenergii// Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2012. № 2. S. 328-329.
10. Dubovoj N.D., Portnov E.M., Chumachenko P.Ju., Sidorenko N.I. Konceptija potokoobrazovanija v integrirovannyh informacionno-upravljajushhh sistemah s funkciej ucheta potreblenija jelektrojenergii// Oboronnyj kompleks - nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2012. № 1. S. 57-61
11. Bain A.M., Portnov E.M., Kasimov R.A. Integral'naja dostovernost' kak obobshhajushhij kriterij kachestva informacionno-upravljajushhh sistem v teplojenergetike// Estestvennye i tehnicheckie nauki. 2011.№4. C.424-425.
12. Portnov E.M. Metodika opredelenija real'nogo vremeni fiksacii diskretnyh sobytij v informacionno-upravljajushhh sistemah// Oboronnyj kompleks - nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2009. № 4. S. 27-32.
13. Portnov E.M., Bain A.M., Chumachenko P.Ju., Sidorenko N.I. Metodika povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija magistral'nyh kanalov svjazi informacionno-upravljajushhh sistem v jenergetike// Oboronnyj kompleks - nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2012. № 2. S. 68-73.
14. Gurtovcev A.L. O metrologii sinhronnyh izmerenij jelektricheskijh jenergij i moshhnosti v cifrovijh ASKUE//Promyshlennaja jenergetika. 2009. № 10. S. 11-22.