

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES

УДК 621.398:681.51

Способ централизованного контроля магистральных объектов с различными приоритетами

А.М. Баин, Е.М. Портнов, Чжо Зо Е

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Method for Centralized Control of Main Communication Objects with Different Priorities

A.M. Bain, E.M. Portnov, Kyaw Zaw Ye

National Research University of Electronic Technology, Moscow

Предложен способ централизованного контроля, обеспечивающий повышение информативности и оперативности в автоматизированных системах диспетчерского управления, а также использование одного полудуплексного магистрального канала связи для обмена информацией с распределенными контролируруемыми пунктами на скорости, максимально возможной для них. Способ обеспечивает устойчивость тактовой синхронизации за счет замены «флагов», которые в ISO 13239 полностью заполняют паузы между передачей информационных сообщений, на однобайтные «меандры», состоящие из чередующихся сигналов «1» и «0».

Ключевые слова: информационный обмен; централизованный контроль; оперативность; магистральный канал связи; контролируемый пункт; диспетчерское управление.

A method for formation of information messages, providing a higher degree of informativeness and efficiency of the automated dispatch control system and using of the one half-duplex backbone link for sharing the information with distributed controlled items at maximal speed possible for each control item has been proposed. The method provides the clock synchronization stability due to replacing the flags, which in ISO 13239 completely fill the pauses between the transmission of the information messages to the single-byte «meanders» consisting of alternating signals «1» and «0».

Keywords: information exchange, speed, communication, controlled items, supervisory control, automated systems.

Введение. В настоящее время при контроле и управлении распределенными объектами электроэнергетики, нефтедобывающей промышленности и железнодорожного

© А.М. Баин, Е.М. Портнов, Чжо Зо Е, 2015

транспорта широко используются автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ), построенные на сложных магистрально-древовидных структурах [1]. Соединенные магистралью с центральным пунктом управления (ЦПУ) каждое устройство контролируемого пункта (КП) в совокупности с обслуживаемым энергообъектом (ЭО) образуют структуры, подобные представленной на рис.1.

Эффективность проведения информационных обменов в системах с рассматриваемыми структурами во многом зависит от используемого в них протокола передачи информации. По комплексу показателей протокол HDLC (X.25) обладает рядом преимуществ: простотой кодирования и декодирования стартового кода («флага»); возможностью обмена информационными пакетами произвольной длины в пределах установленного максимума; инвариантностью к числу пунктов обмена информацией; достаточно высокой защищенностью от влияния помех [2].

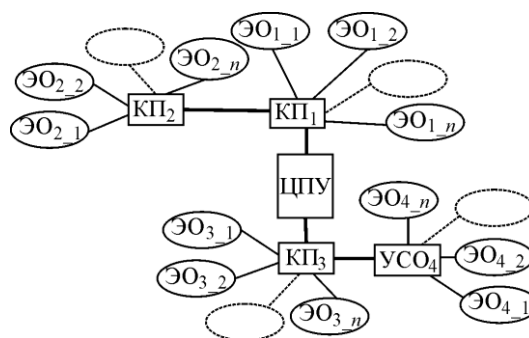


Рис.1. Структура системы управления параметрами энергообъекта с комбинированными каналами связи

Структура и информационные параметры протокола HDLC. Стандартный протокол HDLC включает следующие компоненты: 1) флаг открывающий (*FLAG-IN*) – байт 01111110; 2) поле адреса (*A*) – один или несколько байт; 3) режим (*C*) – байт, определяющий установленный режим работы; 4) идентификатор (*L*) – 1 байт, определяющий вид данных; 5) данные (*DN*) – 1...24 байта данных; 6) поле защиты (*CS*) – 2 байта (остаток от деления полиномов $Q(x)/G(x)$, где $Q(x)$ – полином, составленный из компонентов A, C, L, DN ; $G(x) = x^{15} + x^{12} + x^7 + 1$ – образующий полином циклического кода); 7) флаг закрывающий (*FLAG-OUT*) эквивалентен 1).

Для отличия флагов от остальных слов кадра используется специальная процедура введения при передаче и изъятия при приеме бита-вставки (бит-стаффинга) в соответствии со следующим правилом: после передачи флага, содержащего подряд шесть сигналов «1», подсчитывается число следующих подряд «1», после пяти сигналов «1» передача очередного сигнала задерживается на один такт, в течение которого передается «0» (бит-стаффинг); при приеме сообщения сигнал «0», следующий за пятью подряд принятыми «1», изымается, т.е. не вводится в ОЗУ и не учитывается счетчиком числа принятых сигналов [3].

В результате введения процедуры бит-стаффинга комбинация флага не может образоваться в пределах компонентов протокола HDLC 2), 3), 4), 5), 6) независимо от их содержания. Прозрачность флага в пределах рабочего цикла достигается некоторым уменьшением реальной скорости передачи информации V_p :

$$V_p = N_{\text{пос}} \omega_{\text{такт}},$$

где $N_{\text{пос}}$ – длина информационной посылки; $\omega_{\text{такт}}$ – тактовая частота передачи сигналов по каналу связи.

Тогда с учетом вероятной необходимости бит-стаффинга получим

$$V_p = \frac{N_{\text{пос}} \omega_{\text{такт}}}{1 + p_1^5 n_{\text{бит}}}, \quad (1)$$

где p_1^5 – вероятность передачи подряд пяти сигналов «1» ($p_1 = 0,5$); $n_{\text{бит}}$ – длительность передачи сигнала бит-стаффинга.

С учетом (1) коэффициент снижения скорости передачи информации K_V равен:

$$K_V = 1 + p_1^5 \cdot n_{\text{бит}}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что $1,2 \geq K_V \geq 1$. При определении эффективности передачи информации будем учитывать передачу только информативной части, идентифицирующей состояние объектов. Из всей информационной посылки в соответствии с протоколом HDLC $N_{\text{пос}} = \sum_{i=1}^7 n_i$, где n_i – длина i -го компонента рабочего цикла, информативными являются соответственно 4-й (L) и 5-й (DN). Тогда эффективная скорость передачи полезной информации $V_{\text{эфф}}$ определяется как

$$V_{\text{эфф}} = v_p \frac{(n_4 + n_5)k_{\text{эфф}}}{\sum_{i=1}^7 n_i} = \frac{\sum_{i=1}^7 n_i \omega_{\text{такт}} (n_4 + n_5)k_{\text{эфф}}}{\sum_{i=1}^7 n_i (1 + p_1^5 n_{\text{бит}})} = \frac{\omega_{\text{такт}} (n_4 + n_5)k_{\text{эфф}}}{(1 + p_1^5 n_{\text{бит}})}, \quad (3)$$

где $k_{\text{эфф}}$ – коэффициент эффективности передачи сигналов n_4 и n_5 .

Подставив в (3) числовые данные $n_4 + n_5 = 24 + 1 = 25$ байт и приняв во внимание, что в L и DN содержатся только «полезные данные» ($k_{\text{эфф}} = 1$), получим $V_{\text{эфф}} \approx 24,2 \omega_{\text{такт}}$.

В проведенном анализе не учитываются вероятность и последствия пропуска флага из-за воздействия помех на информацию, передаваемую компонентами A, C, L, DN, CS . При равной вероятности $p_0 = 10^{-3}$ искажения любого сигнала информационной посылки можно определить вероятность искажения флага $P_{\text{и.ф}}$, состоящую из двух компонентов: вероятности потери флага $P_{\text{п.ф}}$ и вероятности ложного приема флага $P_{\text{л.ф}}$.

Вероятность потерь флага определяется вероятностью искажения сигнала в любом из 8 битов открывающего флага либо в любом из 8 битов закрывающего флага. Тогда

$$P_{\text{п.ф}} = (n_1 + n_7) p_0 \left[\sum_{i=1}^7 n_i \right]^{-1}. \quad (4)$$

Вероятность ложного приема флага $P_{\text{л.ф}}$ определяется вероятностью передачи пяти подряд единиц и вероятностью однократного искажения, при котором сигнал «0» бит-стаффинга, подлежащий изъятию при декодировании, трансформируется в информационный сигнал «1». Тогда

$$P_{\text{л.ф}} = n_{\text{бит}} \sum_{i=2}^6 n_i p_1^5 p_0. \quad (5)$$

Подставив цифровые данные в (4) и (5), получим

$$P_{\text{и.ф}} = P_{\text{п.ф}} + P_{\text{л.ф}} = \frac{(n_1 + n_7) p_0}{\sum_{i=1}^7 n_i} + n_{\text{бит}} \sum_{i=2}^6 n_i p_1^5 p_0 \approx 2,5 \cdot 10^{-4}. \quad (6)$$

Как видно из (6), вероятность искажения флага достаточно велика, поэтому следует учесть все последствия рассмотренных событий.

В протоколе HDLC правило приема информации следующее: первый байт не флаг после байтов флагов – начало информационного кадра; первый байт флаг после байтов не флагов – окончание информационного кадра. Рассмотрим последствия при искажениях флагов.

1. Потерян флаг из последовательности флагов, заполняющих паузы между рабочими циклами. Искаженный байт флага будет воспринят как начало информационного пакета, который будет закрыт при приеме следующего флага (пакет будет отвергнут, но последствие от пропуска флага отсутствует). Если потерян флаг, открывающий информационный пакет, он сдвигается на один байт влево, декодер зафиксирует ошибку, пакет бракуется, последствие отсутствует, а забракованный пакет будет передан повторно. Если потерян флаг, закрывающий информационный пакет, он смещается на один байт вправо, а работа декодера аналогична рассмотренной при сдвиге влево.

2. Сформирована ложная комбинация флага в пределах передаваемого информационного пакета. В результате принимаемый пакет будет усечен до места образования ложного закрывающего флага и забракован декодером. Оставшаяся за ложным закрывающим флагом часть информационного пакета игнорируется, так как для нее не зафиксирован открывающий флаг.

Таким образом, все отрицательные последствия при пропуске и ложном образовании флага локализуются в пределах одного пакета. Однако применение классического протокола HDLC при заполнении пауз между смежными рабочими циклами флагами в реальных условиях функционирования АСДУ приводит к деградации динамики информационного обмена. Так, для проведения информационных обменов ЦПУ с несколькими КП скорость передачи данных должна устанавливаться одинаковой для всех КП независимо от их удаления от ЦПУ и соответствовать предельно возможной скорости передачи данных от наиболее удаленного КП. Следует учитывать, что паузы между рабочими циклами должны использоваться не только для страховки от искажения флагов, но и для тактовой синхронизации передатчика и приемника.

Способ централизованного контроля. Для решения данной проблемы предлагается новый способ информационных обменов в магистральных каналах связи, в которых флаги заменяются на однобайтные «меандры» (М), состоящие из чередующихся сигналов «1» и «0» и предваряющие передачу сообщений от ЦПУ и КП [5, 6]. Благодаря наличию в «меандре» максимального числа переходов от «1» к «0» и от «0» к «1» за относительно малый промежуток времени обеспечивается синхронизация работы ЦПУ и КП. В результате информационные возможности АСДУ значительно увеличиваются [4–6].

На рис.2 показаны временные диаграммы, поясняющие предлагаемый способ формирования информационных сообщений. Информационные обмены разделяются на этап централизованного опроса ЦПУ, готовности к передаче данных каждого КП и один или несколько этапов информационного обмена ЦПУ с КП, от которых поступил признак готовности к передаче информации [7].

В соответствии со стандартом ISO 13239 любое сообщение от ЦПУ и КП обрамляется открывающим и закрывающим флагами. Следующий за открывающим флагом код адреса КП (АКП) по ISO 13239 может быть однобайтным или двухбайтным. Двухбайтный АКП используется, если в АСДУ включаются более 127 КП.

Признаком использования двухбайтной адресации является сигнал «1» в старшем разряде первого байта адреса. Для режима опроса в качестве адреса ЦПУ применяется код, не используемый для указания адреса какого-либо КП. В приведенном на рис.2,а примере для централизованного опроса используется код поля адреса, состоящий из сигналов «1» [4–6].

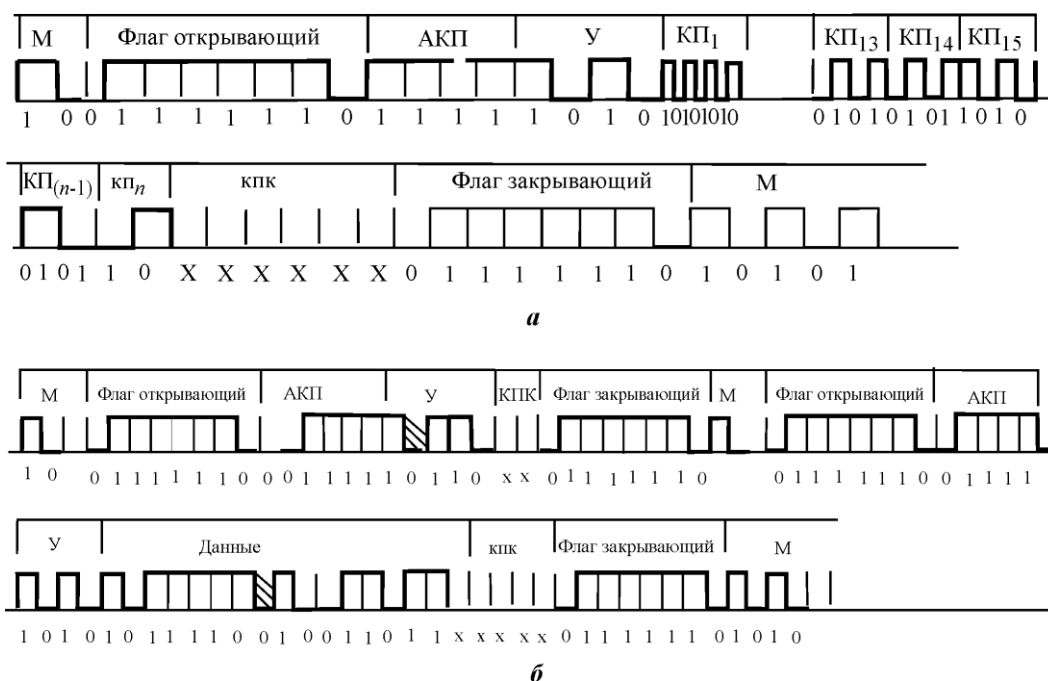


Рис.2. Диаграммы проведения централизованного опроса для магистрального канала (а) и одного из контролируемых пунктов (б)

Вид передаваемых или запрашиваемых данных определяется кодом поля управления (У). За полем управления следует информационное поле, которое разделяется на n равных частей для n КП. Так как все КП синхронизированы передаваемыми от ЦПУ меандрами, каждый КП определяет временной отрезок своей части и в его пределах передает признак наличия или отсутствия данных для передачи в ЦПУ.

Все компоненты сообщения между флагами образуют передаваемый полином, который защищается от искажений двухбайтной контрольной последовательностью кода (КПК), которая соответствует остатку от деления передаваемого полинома на образующий полином $2^{15}+2^{12}+2^5+1$ [8, 9].

Каждое сообщение в ходе централизованного опроса КП формируется ЦПУ и передается в канал связи на минимальной скорости, соответствующей скорости передачи данных от наиболее удаленного КП. Это обеспечивает нормальный прием команды централизованного опроса всеми КП независимо от их удаления от ЦПУ. Важной особенностью предлагаемого способа является передача на выделенной для каждого КП части информационного поля признака наличия (отсутствия) данных для передачи на скорости, соответствующей возможностям этого КП. Этап централизованного опроса завершается передачей КПК и закрывающего флага, после чего возобновляется передача от ЦПУ синхронизирующей комбинации «10101010». ЦПУ анализирует принятые в информационном поле кодовые комбинации от всех КП. По виду комбинации сигналов определяется как допустимая скорость информационного обмена с каждым КП, так и наличие (отсутствие) данных для передачи.

При поступлении признаков отсутствия данных для передачи от всех КП ЦПУ может повторно провести этап централизованного опроса КП или принудительно запросить какие-либо данные от выбранного КП.

При наличии данных от КП ЦПУ проводит один или несколько этапов информационного обмена с КП, передавшими соответствующий признак на этапе централизован-

ного опроса. Если признак наличия информации принят от нескольких КП, то ЦПУ проводит поочередные этапы информационного обмена с этими КП, причем порядок обмена определяется установленным приоритетом КП.

Для примера на рис.2,*а* показано, что каждому КП выделяется два бита, причем для повышения помехоустойчивости признак наличия или отсутствия данных для передачи в ЦПУ передается корреляционным кодом. Код «10» соответствует готовности КП к передаче информации, а код «01» – отсутствию данных для передачи, код «00» является признаком неисправности или отсутствия соответствующего КП [9, 10]. Если для КП предельно возможная скорость соответствует скорости передачи от ЦПУ сообщения централизованного опроса, комбинация «10» или «01» на соответствующем участке информационного поля передается один раз (на рис.2,*а* такая комбинация передается КП_{*n-1*} и КП_{*n*}). Для КП₁₃, КП₁₄ и КП₁₅ допустимая скорость передачи вдвое выше минимальной, поэтому для КП такого типа в двух разрядах кода комбинация сигналов «10» или «01» повторяется дважды, т.е. в канал связи передаются сигналы «1010» или «0101». Для КП₁ допустимая скорость передачи в четыре раза выше минимальной, поэтому для такого типа КП кодовая комбинация повторяется четыре раза, т.е. в канал связи передаются сигналы «10101010» или «01010101».

На рис.2,*б* показан пример проведения информационного обмена с КП₁₅, от которого на этапе централизованного опроса поступил признак наличия информации для передачи в ЦПУ. Скорость передачи данных определяется по виду кода, полученного от КП₁₅ на этапе централизованного опроса, которая в приведенном примере вдвое выше минимальной. Для кода – команды вызова данных от КП – используется комбинация сигналов «1110».

Заключение. Для доказательств преимущества предложенного способа рассмотрим эффективность использования предложенного способа для следующего варианта системы. Общее число КП равно 40. Для 31–40 КП скорость передачи данных равна F , для 21–30 КП – $2F$, для 11–20 КП – $4F$, для 1–10 КП – $8F$. Каждый КП передает информационное сообщение длиной 20 байт (160 бит). В расчете длина «меандров», предшествующих передаче каждого информационного сообщения, а также бит-стаффинг не учитываются в связи с незначительным влиянием на общее время передачи.

Длина этапов централизованного опроса КП и информационного обмена КП с ЦПУ определяется по временной диаграмме рис.2. Для рассматриваемого примера длина этапов равна соответственно 128 и 256 бит. При использовании для передачи данных одинаковой для всех КП скорости F время сбора информации от всех КП $T_{\text{общ}}$ окажется равным:

$$T_{\text{общ}} = \frac{128}{F} + 40 \cdot \frac{256}{F} \approx \frac{10300}{F}. \quad (7)$$

При передаче данных на указанных в примере индивидуальных скоростях для каждой группы КП время сбора информации $T_{\text{инд}}$ составит:

$$T_{\text{инд}} = \frac{128}{F} + 10 \cdot \frac{256}{F} + 10 \cdot \frac{256}{2F} + 10 \cdot \frac{256}{4F} + 10 \cdot \frac{256}{8F} \approx \frac{4900}{F}. \quad (8)$$

Из формул (7) и (8) видно, что время сбора информации при использовании предложенного способа более чем в два раза уменьшается, т.е. вдвое увеличивается оперативность системы диспетчерского управления. Очевидно, что при увеличении числа КП, которые могут проводить информационные обмены на более высокой скорости, эффективность предложенного способа увеличивается.

Литература

1. **Деменков Н.П.** SCADA-системы как инструмент проектирования АСУТП. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 326 с.
2. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / *Под общей ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова.* – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 648 с.
7. Протоколы информационно-вычислительных сетей: справочник / *С.А. Аничкин, С.А. Белов, А.В. Берштейн и др.* / *Под ред. И.А. Мизина, А.П. Кулешиова.* – М.: Радио и связь, 1990. – 504 с.
3. **Сухман С.М., Бернов А.В., Шевкопляс Б.В.** Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. – М.: Эко-Трендз, 2003. – URL: http://lit.lib.ru/s/shewkopljass_b_w/ (дата обращения: 11.05.2014).
4. **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.
5. **Портнов Е.М., Каунг Сан.** Разработка способа повышения эффективности информационных обменов по магистральным каналам связи // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – Вып.6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN613.pdf> (дата обращения: 11.05.2014).
6. **Баин А.М., Чжо Зо Е., Касимов Р.А.** Методика снижения интенсивности информационных потоков интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2013. – № 3. (119). – С. 33–37.
8. **Дубовой Н.Д., Портнов Е.М.** Эффективность информационно-управляющих комплексов // Изв. вузов. Электроника. – 2000. – № 4–5. – С. 152–156.
9. **Портнов Е.М.** Эффективность информационных обменов по магистральным каналам связи // Изв. вузов. Электроника. – 2004. – №4. – С. 65–69.
10. **Портнов Е.М.** Повышение достоверности информационных сигналов бимпульсным условно корреляционным кодированием // Изв. вузов. Электроника. – 2004. – № 6. – С. 72–78.

Статья поступила
12 мая 2014 г.

Баин Александр Михайлович – кандидат технических наук, докторант кафедры информатики и программного обеспечения вычислительных систем (ИПОВС) МИЭТ. *Область научных интересов:* информационное и программное обеспечение управляющих систем, E-learning системы, информатика и вычислительная техника, теория систем и системный анализ, энергообеспечивающие системы, управление логистическими потоками.

Портнов Евгений Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры ИПОВС МИЭТ. *Область научных интересов:* разработка унифицированных многофункциональных систем для повышения надежности и достоверности управления распределительными энергосетями, принципы повышения эффективности информационных обменов систем управления в энергетике, теория селективного многокритериального управления нестационарными логистическими потоками, разработка теории обработки и поиска информации в иерархических базах знаний с динамической структурой. **E-mail: evgen_uis@mail.ru**

Чжо Зо Е – кандидат технических наук, докторант кафедры ИПОВС МИЭТ. *Область научных интересов:* Информационное и программное обеспечение управляющих систем, техническая диагностика, информатика и вычислительная техника, теория систем и системный анализ, когнитивные системы обучения.