

Автоматический выбор оптимальных путей распространения синхросигналов в компьютерных сетях

При передаче данных между узлами сети желательно, чтобы эти узлы синхронизировались от одного и того же источника. В идеальном случае все узлы сети прямо или косвенно синхронизируются от одного тактового генератора с высоким уровнем точности и стабильности. Если некоторые или все узлы синхронизируются от разных источников, номинально одинаковых, но фактически неизбежно различающихся по частоте, даже незначительно, то возникают «проскальзывания синхронизации». Для предотвращения проскальзываний необходимо введение избыточности в передаваемые информационные кадры и использование дополнительной аппаратуры для их обработки [1].

В [2] предложен способ автоматического установления синхронизации всех узлов сети от единого источника. При этом выбираются кратчайшие пути распространения исходного синхросигнала до узлов и исключаются его «зацикливания» [1].

Рассмотрим сначала простую сеть с иерархической структурой (Рис. 1). Сеть содержит главный узел А, подчинённый узел В первого уровня, подчинённые узлы С, D, E второго уровня и подчинённые узлы F и G третьего уровня. Двухнаправленные каналы связи между узлами показаны в виде стрелок; точнее, стрелки соответствуют путям распространения синхросигналов между узлами.

Например, имеется канал связи между узлами А и В, по которому одновременно в обе стороны передаются потоки данных. Узел В содержит генератор с фазовой автоподстройкой частоты (PLL — Phase-Locked Loop [1], на рисунке не показан), с помощью которого из битового потока данных со стороны узла А выделяется синхросигнал. Этот сигнал используется для кодирования данных, исходящих из узла В, в том числе, и в сторону узла А. Аналогично, узлы С, D и E следующего уровня извлекают синхросигнал из принимаемых из узла В потоков данных и т. д.

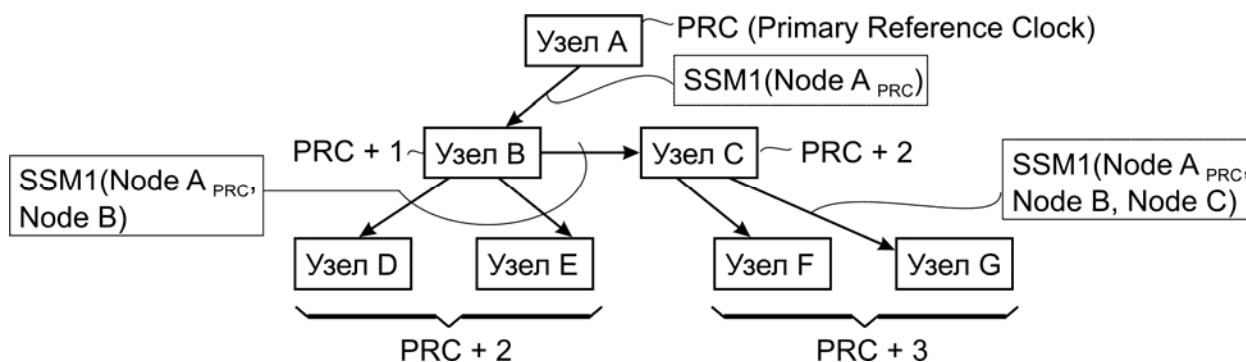


Рис. 1. Пример схемы распространения синхросигналов в сети с простой иерархической структурой

При инициализации сети, а в дальнейшем — при периодической передаче служебных данных, главный узел А рассылает всем соседним узлам сообщение SSM1 (Synchronization Status Message) о своём «статусе синхронизации». В этом сообщении (Node A_{PRC}) содержится информация о том, что узел А — главный и синхронизируется от основного генератора PRC (Primary Reference Clock), обладающего высшей (в данной сети) точностью и стабильностью. В данном случае узел А соединён только с узлом В. Последний также уведомляет соседние узлы (в том числе, и узел А, которому, впрочем, эта информация не нужна) о своём статусе синхронизации, дополнив полученное от узла А сообщение информацией о том, что синхросигнал из узла А прошёл через узел В: (Node A_{PRC}, Node B). Узел С выполняет аналогичную операцию, сообщая соседям о том, что синхросигнал из узла А прошёл через узлы В и С: (Node A_{PRC}, Node B, Node C).

Аналогично, узлы D, E, F и G, передавая сообщения SSM1 подчинённым узлам (на рисунке не показаны), добавляют к ним свои идентификаторы, т. е. эти сообщения соответственно таковы: (Node A_{PRC}, Node B, Node D); (Node A_{PRC}, Node B, Node E); (Node A_{PRC}, Node B, Node C, Node F) и (Node A_{PRC}, Node B, Node C, Node G). После выполнения описанной процедуры все узлы знают «родословную» синхросигнала, который используется для передачи данных из узла. Отметим, что чем больше узлов преодолел синхросигнал, тем ниже его качество, в основном, из-за накопления фазовых помех — вандера и джиттера [1].

Идентификаторы «износа» синхросигнала PRC + 1, PRC + 2 и PRC + 3 хранятся в соответствующих узлах. Обычно выбирается некий максимальный уровень «износа», например, PRC + 20 [3], после которого в сети используется новый генератор синхросигнала, не «засорённого» искажениями.

В рассмотренном примере (Рис. 1) нет альтернативных возможностей выбора источников синхронизации каждого узла, так как нет иных каналов связи между узлами, кроме тех, которые показаны на рисунке. Поэтому на этапе инициализации сети каждый узел однозначно выбирает источник синхронизации — синхросигнал, выделенный из канала связи с узлом более высокого уровня.

В более сложной сети (Рис. 2) некоторые узлы могут синхронизироваться от двух (в общем случае — от произвольного числа) альтернативных источников. Так, источником синхронизации узла С может быть как узел А, так и узел В. Предположим, что все каналы связи имеют одинаковое качество, в частности, одинаковую длину. Тогда становится очевидным, что узел С целесообразно синхронизировать от узла А, а не от узла В, так как путь от узла А в два раза более короткий и, следовательно, синхросигнал менее подвержен фазовым искажениям. Именно такой вариант синхронизации устанавливается автоматически благодаря тому, что каждый транзитный узел, прежде чем передать сообщение SSM1 соседним узлам, задерживает его на определённое время, в данном примере равное 1 мс. Поясним сказанное.

Предположим, что через интервал времени, равный 1 мс после некоторого момента T₀ получения команды инициализации сети, узел А практически одновременно посылает одинаковые сообщения о своём статусе синхронизации узлам В и С. Это сообщение практически одновременно поступает в узлы В и С, и они практически одновременно начинают синхронизироваться от узла А.

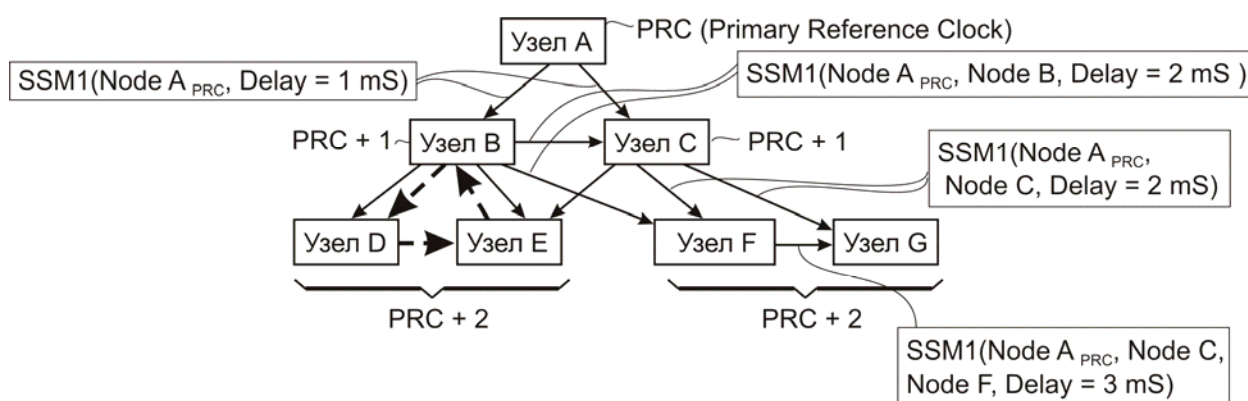


Рис. 2. Некоторые возможные пути распространения синхросигналов в более сложной сети до установления синхронизации

Через 1 мс после этого узлы В и С рассылают сообщения о своём статусе соседним узлам. В частности, узлы В и С обмениваются ими, но это не изменяет только что установленный режим синхронизации, так как альтернативные варианты, предлагаемые в «опоздавших» сообщениях (Node A_{PRC}, Node B, Delay = 2 mS) и (Node A_{PRC}, Node C, Delay

= 2 mS) соответствуют более длинным путям распространения исходного синхросигнала до узлов В и С.

Таким образом, узлы В и С с первой попытки принимают правильные решения — синхронизироваться от узла А, а не от соседнего по горизонтали узла. В отсутствие задержек в узлах В и С (1 мс) была бы возможна ситуация, при которой из-за неидеальной одновременности передач синхросигнал по длинному пути (через соседний по горизонтали узел) поступил бы в узел С (В) раньше, чем по короткому (непосредственно из узла А). Тогда первая попытка синхронизации (от соседа по горизонтали) оказалась бы неправильной, и её коррекция осуществилась бы позже, при сравнении сообщений SSM1 от альтернативных источников. Это повлекло бы за собой перестройку синхронизации других узлов сети, что создало бы временный хаос в её работе и, следовательно, увеличило время установления правильной синхронизации.

Аналогично, благодаря задержкам (1 мс), узлы последующих уровней обнаруживают сначала оптимальный синхросигнал и в дальнейшем используют его, и лишь после некоторых задержек получают неоптимальные альтернативные варианты синхронизации, которые отбрасываются.

На Рис. 2 утолщёнными штриховыми стрелками показан вариант неправильной «циклической» синхронизации между узлами В, D и E. В этом варианте нет прямой или косвенной связи циклического пути с опорным генератором PRC, что недопустимо. При установлении синхронизации подобные варианты легко распознаются и исключаются из рассмотрения. Так, узел В, оценивая возможность синхронизации от узла E, просматривает статус синхронизации этого узла (Node A_{PRC}, Node B, Node D, Node E, Delay = 4 мс) и обнаруживает в нём собственный идентификатор (Node B). Это означает, что синхросигнал уже проходил через узел В, и повторное его использование привело бы к показанному на рисунке циклу. Поэтому данный вариант далее не рассматривается.

В результате применения описанной процедуры ко всем узлам сети (Рис. 2) окончательная схема синхронизации приобретает вид, показанный на Рис. 3.

При добавлении в сеть нового узла X (Рис. 4, а) он, временно пользуясь своим внутренним тактовым генератором (этот генератор на рисунке не показан), рассылает соседям сообщение SSM2 — просьбу передать в узел X сведения о статусе синхронизации SSM1. Получив эти сведения, узел X выбирает наилучший источник синхронизации. Затем узел X рассылает соседям сообщение о своём статусе синхронизации (SSM1). В данном примере узел G переходит к синхронизации от узла X (Рис. 4, б), что уменьшает путь распространения исходного синхросигнала.

При изменении конфигурации сети в связи с отказом узла или канала связи, добавлением нового канала и т. п. каждый узел адаптируется к этим изменениям, выбирая наилучший источник синхронизации.

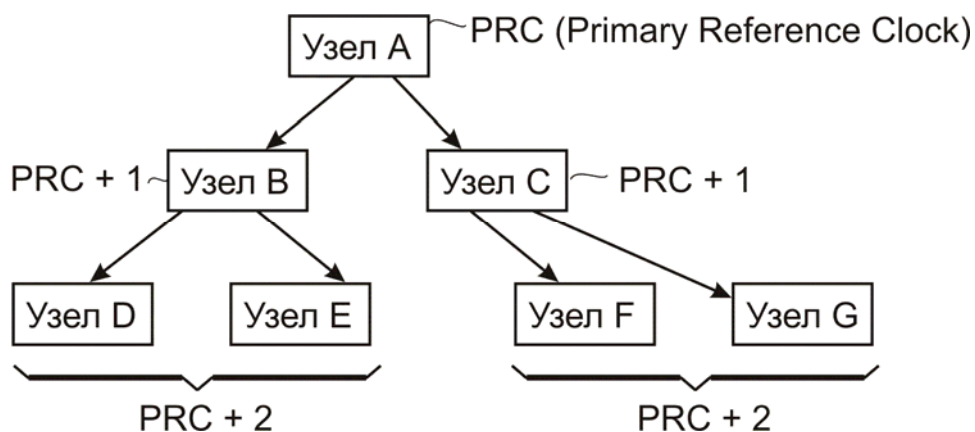


Рис. 3. Пути распространения синхросигналов в сети (Рис. 2) после установления синхронизации

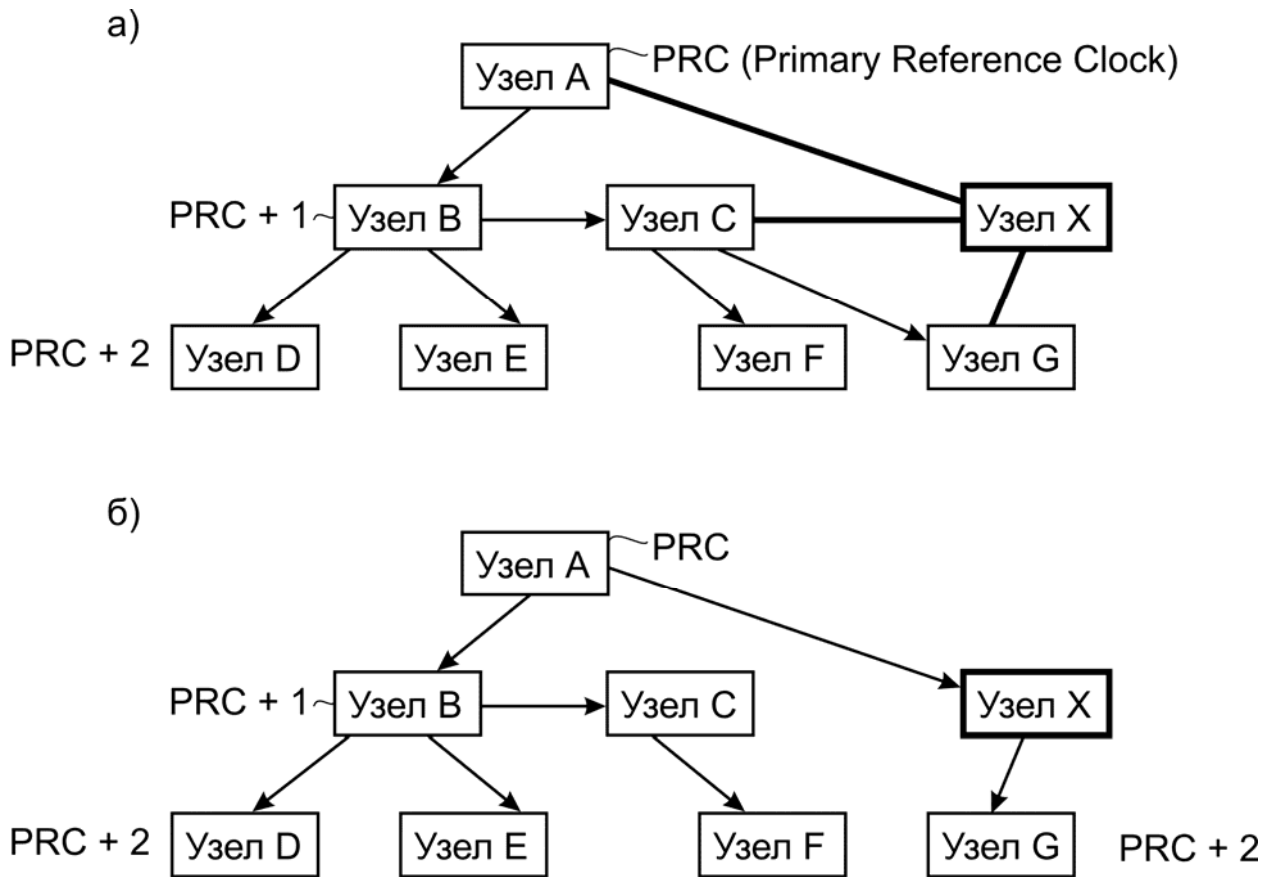


Рис. 4. Состояние сети в результате добавления узла X: *a* — до установления синхронизации; *б* — после установления синхронизации

На Рис. 5 и Рис. 6 показаны варианты схем синхронизации кольцевых сетей. Узел 1 синхронизируется от генератора PRC, обладающего высокой точностью и стабильностью. В данном случае также возможно автоматическое установление синхронизации на основе анализа SSM-сообщений. При этом принято условие, что синхронизация в кольце устанавливается последовательно в направлении против часовой стрелки: узел 2 синхронизируется от узла 1, узел 3 — от узла 2, узел 4 — от узла 3 (а не от узла 1, который ближе к источнику).

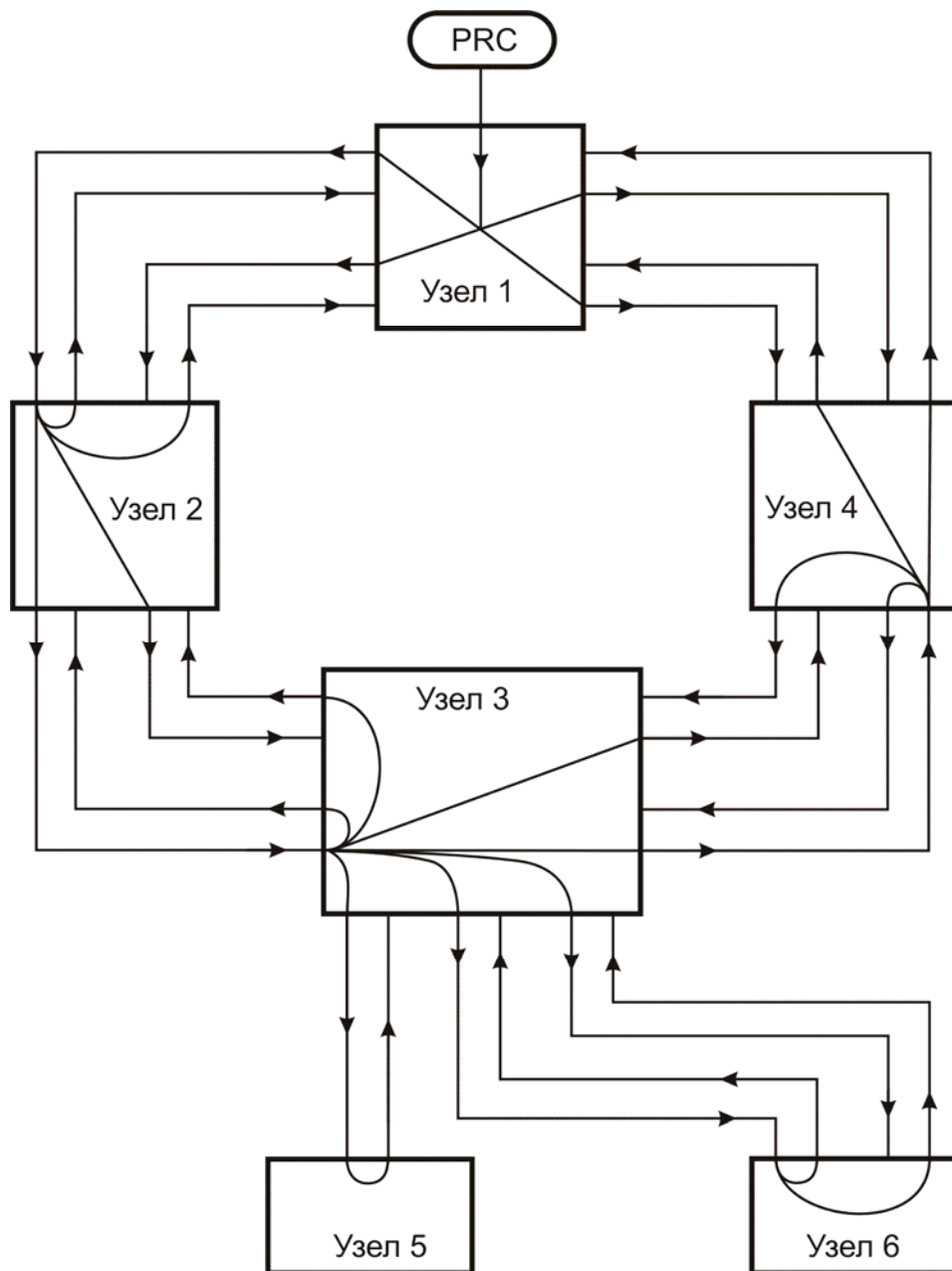


Рис. 5. Синхронизация узлов кольцевой сети, первый вариант

Узлы 5 и 6 на Рис. 5 синхронизируются от узла 3. В отличие от этого, на Рис. 6 узел 6 синхронизируется от узла 5, который, в свою очередь, синхронизируется от узла 3. Каждый узел, как и в рассмотренной ранее иерархической структуре, хранит информацию о происхождении синхросигнала, а именно, о качестве источника и о числе ранее пройденных узлов сети. Как отмечалось, после прохождения через 20 узлов синхросигнал «по определению» считается некачественным и заменяется сигналом от другого генератора.

При изменении конфигурации сети, например, в связи с обрывом кабеля, узлы адаптируются к новым условиям работы и автоматически возвращаются в исходные состояния после устранения неисправности [1]. Зацикливания синхросигнала предотвращаются анализом SSM-сообщений, в которых идентификаторы узлов не должны упоминаться более одного раза (как и в рассмотренных ранее иерархических структурах).

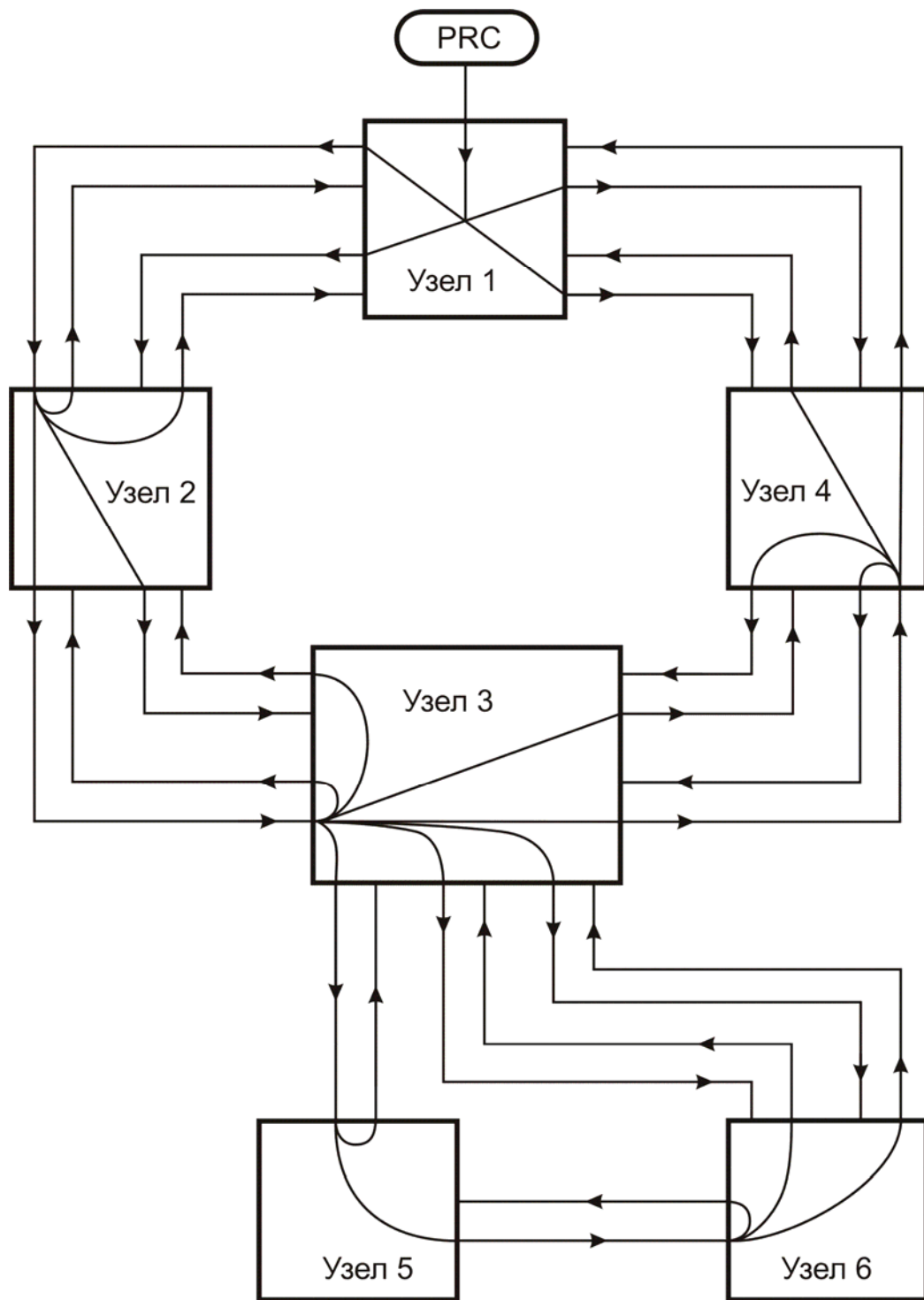


Рис. 6. Синхронизация узлов кольцевой сети, второй вариант

ЛИТЕРАТУРА

1. С.М.Сухман, А.В.Бернов, Б.В.Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений. — М.: Эко-Трендз, 2003. Электронная версия книги: http://lit.lib.ru/s/shewkopljjas_b_w/.
2. Пат. США № 7.031.329 В2 <http://www.uspto.gov>.
3. Пат. США № 6.185.216 В1 <http://www.uspto.gov>.
4. Пат. заявка США 2004/0081471 А1 <http://www.uspto.gov>.
5. Пат. США № 7.809.266 В2 <http://www.uspto.gov>.