

ГЛАВА 9. ВРЕМЕННОЕ ГРУППООБРАЗОВАНИЕ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ С ИКМ  
 9.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ

При временном группировании в передающей части оконечной станции ДСП более высокого уровня осуществляется объединение цифровых потоков, сформированных в ЦСП более низкого порядка, а в приемной части - разделение группового цифрового потока на компонентные потоки. Объединяемые потоки формируются в ЦСП, задающие генераторы которых могут быть синхронизированы или несинхронизированы с задающим

генератором аппаратуры временного группировании (АВГ). В соответствии с этим производится синхронное или асинхронное объединение цифровых потоков. Основное внимание в данной главе уделено вопросам асинхронного объединения цифровых

408

потоков, используемого в плезиохронной цифровой иерархии (см. § 7.5). Синхронное объединение является частным случаем асинхронного с априорно известным соотношением частот объединяемого и группового потоков.

Объединение цифровых потоков осуществляется путем их записи в запоминающее устройство (ЗУ) с частотой  $f_3$  и считывания с частотой  $f_4$ , кратной тактовой частоте группового сигнала:

$$f_{3n} - f_{3n} \delta_{f_3} \leq f_4 \leq f_{3n} + f_{3n} \delta_{f_3}, \quad (9.1)$$

$$f_{4n} - f_{4n} \delta_{f_4} \leq f_3 + f_{4n} \delta_{f_4}, \quad (9.2)$$

где  $f_3$ ,  $f_4$  — номинальные значения частот записи и считывания;  $\delta_{f_3}, \delta_{f_4}$  — относительная нестабильность частот записи и считывания. Из-за различия частот записи и считывания временной интервал (ВИ) между моментами записи и считывания изменяется после каждого считывания на  $\Delta t = T_3 - kT_4$ , где  $T_3 = 1/f_3$ ;  $T_4 = 1/f_4$ ,  $k$  — округленное до ближайшего целого значение отношения периода записи к периоду считывания.

Если  $\Delta t < 0$ , то ВИ между моментами записи и считывания увеличивается до тех пор, пока не достигнет максимального значения, которое находится в пределах от  $T_4 - \Delta t$  до  $T_4$ . При следующем считывании этот интервал окажется минимальным (в пределах от 0 до  $T_4$ ), а в считанной импульсной последовательности произойдет отрицательный временной сдвиг, равный периоду следования считывающих импульсов, после чего вновь начнется процесс увеличения ВИ. При отсутствии временного сдвига интервал между считанными символами составляет  $kT_4$ , при наличии сдвига этот интервал оказывается равным  $(k - 1)T_4$ . Если  $\Delta t > 0$ , то ВИ между моментами записи и считывания уменьшается до тех пор, пока не достигнет минимального значения (от  $\Delta t$  до 0). При следующем считывании интервал между моментами записи и считывания окажется максимальным (от  $T_4 - \Delta t$  до  $T_4$ ), а в считанной импульсной последовательности произойдет положительный временной сдвиг, также равный периоду следования считывающих импульсов, после чего вновь начнется процесс уменьшения этого интервала. При положительном сдвиге интервал между считанными символами равен  $(k + 1)T_4$ .

Очевидно, что частота формирования временных сдвигов зависит от соотношения частот записи и считывания. При этом число информационных символов, передаваемых между двумя соседними временными сдвигами, определяется выражением  $R = |T_4 / (T_3 - T_4)|$ , а период возникновения сдвигов

$$T_c = (R + 1)T_4. \quad (9.3)$$

Если  $T_4 / (T_3 - T_4)$  — целое число, то считанная импульсная последовательность представляет собой однородную последовательность, характеризующуюся равным числом информационных символов, передаваемых между соседними временными сдвигами. Если  $T_4 / (T_3 - T_4)$  — дробное число, то в считанной импульсной последовательности возникают неоднородности, выражающиеся в изменении интервала между соседними сдвигами в сторону уменьшения или увеличения на один период частоты считывания. Эти неоднородности возникают с периодичностью, определяемой разностью

$$T_c / (T_3 - T_4) - |T_c / (T_3 - T_4)| = \pm p / L, \quad (9.4)$$

где  $p$  — число временных сдвигов, составляющих цикл возникновения неоднородностей;  $L$  — число неоднородностей в этом цикле.

Знак разности в (9.4) показывает направление изменения временного интервала между сдвигами при возникновении неоднородности: при положительной разности происходит увеличение интервала между временными сдвигами, а при отрицательной — его уменьшение.

На рис. 9.1 показан механизм появления временных сдвигов и неоднородностей для случая, когда  $T_4 / T_3 = 13/16$ . В считанной импульсной последовательности (рис. 9.1, в) возникают положительные временные сдвиги с периодом, равным  $5T_4$ , с циклом неоднородностей, равным  $16T_4$  и включающим три временных сдвига, из которых один с неоднородностью.

Здесь и далее реальный сигнал от источника информации, состоящий из единиц и нулей, для упрощения заменен сигналом, состоящим только из единиц.

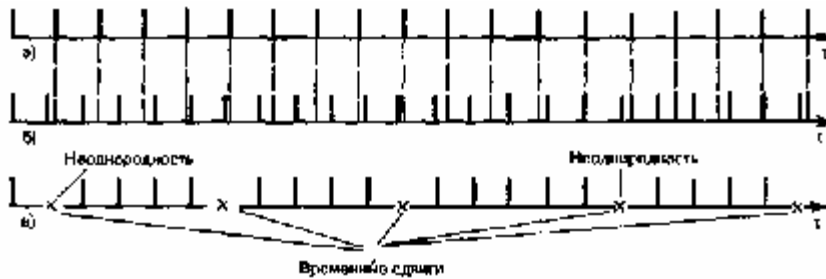


Рис. 9.1. Временные диаграммы, поясняющие принцип возникновения временных сдвигов и неоднородностей:

а - импульсные последовательности записи; б ~ считывания; в - последовательность считанных импульсов  
 Величина временных сдвигов, возникающих в считанной импульсной последовательности, равна периоду следования считывающих импульсов. Если допустимая величина сдвигов на выходе оборудования деления цифровых потоков не должна превышать  $1/w$  периода следования информационных символов, то необходимо либо выбирать частоту считывания в  $t$  раз выше частоты записи (но при этом  $t$  раз ухудшается использование пропускной способности группового тракта), либо принимать специальные меры для коррекции временных сдвигов.

В системах асинхронного сопряжения высокоскоростных цифровых потоков недопустимы значительные потери в использовании пропускной способности группового тракта. Поэтому в таких системах нашел широкое применение способ, при котором частота считывания лишь незначительно (на 1...4 %) превышает частоту записи, а временные сдвиги формируются на строго определенных положениях в цикле передачи и корректируются в приемном устройстве.

#### МЕТОДЫ АСИНХРОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ

При сопряжении цифровых потоков частота считывания выбирается всегда выше частоты записи. Это объясняется необходимостью передачи дополнительной служебной информации (сигналов цикловой синхронизации, служебной связи, контроля и др.). Поэтому  $f_{сч} = f_{зап} + \Delta f$  где  $f_{сч}$  ~ частота считывания информационных символов;  $f_{зап}$  - частота следования служебных символов.

Служебные символы должны передаваться на позициях временных сдвигов в считанной импульсной последовательности. При этом необходимо, чтобы сдвиги формировались на строго определенных позициях в цикле передачи. Для того чтобы неоднородности, возникающие при асинхронном сопряжении цифровых потоков, не изменяли положения временных сдвигов в цикле передачи, необходимо в передающем оборудовании компенсировать моменты возникновения неоднородностей либо введением дополнительной позиции в считанную последовательность, либо исключением одной позиции из считанной последовательности в зависимости от знака разности в выражении (9.4). Информация о таких изменениях в считанной последовательности передается в приемную часть, где в соответствии с ней осуществляется восстановление исходного сигнала.

Для обозначения позиций, компенсирующих влияние неоднородностей на периодичность формирования временных сдвигов, в литературе широко использовался термин стаффинг,

411

который в настоящее время заменен термином согласование скоростей. Различают системы с односторонним (положительным или отрицательным) и двусторонним (положительно-отрицательным) согласованием скоростей.

В системах с односторонним согласованием скоростей частота  $f_{сч}$  выбирается (в зависимости от знака согласования скоростей) заведомо большей или меньшей  $f_{зап}$ . При этом в системах с положительным согласованием скоростей выполняется условие

$$f_{сч} - f_{зап} > f_{зап} \delta_{f_{сч}} + f_{зап} \delta_{f_{зап}} \quad (9.5)$$

При возникновении неоднородности в считанную последовательность вводится дополнительная неинформационная импульсная позиция (запретом одного импульса считывания), которая в приемной части исключается по соответствующей команде согласования скоростей.

В системах с отрицательным согласованием скоростей реализуется условие

$$f_{сч} + f_{зап} \delta_{f_{сч}} < f_{зап} - f_{зап} \delta_{f_{зап}} \quad (9.6)$$

В случае появления неоднородности в этих системах из информационной последовательности в передающей части изымается один информационный символ (дополнительным считыванием), который передается по дополнительному каналу, а в приемной части по команде согласования скоростей он снова вводится в информационную последовательность.

В системах с двусторонним согласованием скоростей частота  $f_{сч}$  выбирается равной  $f_{зап}$ . При этом могут выполняться условия (9.5), (9.6) или

$$f_{сч} \pm f_{сч} \delta_{f_{сч}} = f_{зап} \pm f_{зап} \delta_{f_{зап}}$$

В зависимости от знака разности частот,  $f_{сч} - f_{зап}$  при возникновении неоднородности необходимо либо вводить в считанную последовательность дополнительную импульсную позицию, либо передавать

информационный символ по дополнительному каналу. В передающей части АВГ необходимо формировать информацию о проведении согласования скоростей и знаке этого согласования, а в приемной части в соответствии с этой информацией либо исключать дополнительную импульсную позицию, либо вводить информационный символ в передаваемую последовательность.

В АВГ в качестве неоднородностей воспринимаются только временные сдвиги, вызванные разностью частот  $f_3$  и  $f_{C4}$  и, а сдвиги, вызванные дополнительным повышением частоты считывания на  $f^{\wedge}$ , воспринимаются как нормированные, не требующие передачи информации о согласовании скоростей.

Определим частоту формирования сигналов согласования скоростей  $f_c$ . Пусть заведомое превышение частоты считывания над частотой записи в системах с положительным согласованием скоростей и частоты записи над частотой считывания в системах с отрицательным согласованием скоростей равна  $f_{C4}$ , т. е.  $f_{C4H} = f_{C4H} \pm f_{C4A}$ . Тогда в соответствии с (9.1) - (9.3) и с учетом того, что  $f_{C4H} = f_{C4H}$ , в системах с положительным согласованием скоростей

$$\frac{f_H + f_{C4H} - \Delta f_{C4H}}{f_H + \Delta f_3} (f_{C4H} \cdot \Delta f_{C4H} + \Delta f_3) \leq f_c \leq \frac{f_H + f_{C4H} - \Delta f_{C4H}}{f_H - \Delta f_3} (f_{C4H} + \Delta f_{C4H} + \Delta f_3), \quad (9.7)$$

где

$$\Delta f_{C4H} = f_H \delta_{f_1}; \quad \Delta f_3 = f_H \delta_{f_2}$$

В системах с отрицательным согласованием скоростей

$$\frac{-f_H - f_{C4H} - \Delta f_{C4H}}{f_H + \Delta f_3} (f_{C4H} + \Delta f_3 + \Delta f_{C4H}) \leq f_c \leq \frac{-f_H - f_{C4H} + \Delta f_{C4H}}{f_H - \Delta f_3} (f_{C4H} \cdot \Delta f_3 + \Delta f_{C4H}). \quad (9.8)$$

В системах с двусторонним согласованием скоростей  $f_{C4H} = 0$ . Тогда

$$\frac{-f_H - \Delta f_{C4H}}{f_H - \Delta f_3} (\Delta f_{C4H} + \Delta f_3) \leq f_c \leq \frac{f_H - \Delta f_{C4H}}{f_H - \Delta f_3} (\Delta f_{C4H} + \Delta f_3). \quad (9.9)$$

Как видно из (9.7) - (9.9), частота передачи команд согласования скоростей определяется относительной нестабильностью частот записи и считывания и имеет весьма малые значения. Это позволяет выделять для передачи команд согласования скоростей 1...2% пропускной способности группового тракта. Такой способ используется во всех ЦСП, осуществляющих сопряжение асинхронных цифровых потоков: вторичных (ИКМ-120), третичных (ИКМ-480), четверичных (ИКМ-1920) и др. Поскольку практическое распространение получили системы как с односторонним положительным, так и с двусторонним согласованием скоростей, рассмотрим далее особенности реализации систем обоих видов.

### 9.3. ОБОРУДОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО ГРУППООБРАЗОВАНИЯ С АСИНХРОННЫМ СОПРЯЖЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ

Структурная схема оборудования временного группобразования

На рис. 9.2 представлена структурная схема АВГ с двусторонним согласованием скоростей.

Цифровые потоки от  $q$  источников поступают на входы соответствующих приемных преобразователей кода (ПКпр1-ПКпр $q$ ), осуществляющих преобразование линейных кодов в двоичные и формирование импульсных последовательностей с частотой  $f_v$ , равной тактовой частоте входных цифровых потоков. Сигналы с выходов ПКпр $1$ -ПКпр $q$  подаются в блоки асинхронного сопряжения передающей части (БАСпер1-БАСпер $q$ ). В БАС цифровой поток записывается в запоминающее устройство (ЗУ) и считывается сигналом, поступающим с соответствующего выхода генераторного оборудования. Процессом записи управляет импульсная последовательность с частотой  $f_u$ . Сигналы считывания и управления записью поступают на вход временного детектора (ВД), в котором определяются моменты возникновения и вид (знак) неоднородности.

По сигналу о наличии неоднородности того или иного вида,

когда изменение временного интервала между последовательностями записи и считывания достигает периода считывания, вырабатывается соответствующая команда согласования скоростей. При этом положительное согласование скоростей осуществляется запретом с помощью логического элемента НЕТ одного импульса считывания, а отрицательное — дополнительным считыванием, которое производится через логический элемент ИЛИ. Естественно, что в системах с односторонним согласованием скоростей имеется только одна цепь согласования скоростей. Сигналы с выходов БАС $1$ ...БАС $q$  и передатчика синхросигнала через

схему объединения поступают в передающий преобразователь кода группового сигнала (ПК $^{\wedge}$ ).

Используя временные диаграммы (рис. 9.3), рассмотрим характер процессов, происходящих в передающей

части, для случая, когда частота считывания превосходит частоту записи. На рис. 9.3, а показано изменение ВИ между импульсными последовательностями записи и считывания для случая, когда согласование скоростей обеспечивается при изменении ВИ на величину, превосходящую один период считывания (моменты  $T_1, 2T_1, 3T_1, \dots, qT_1$ ). Однако в реальных системах согласование скоростей может производиться только в строго определенные моменты времени, соответствующие сигналам с выходов  $\setminus-q'$  ге-414

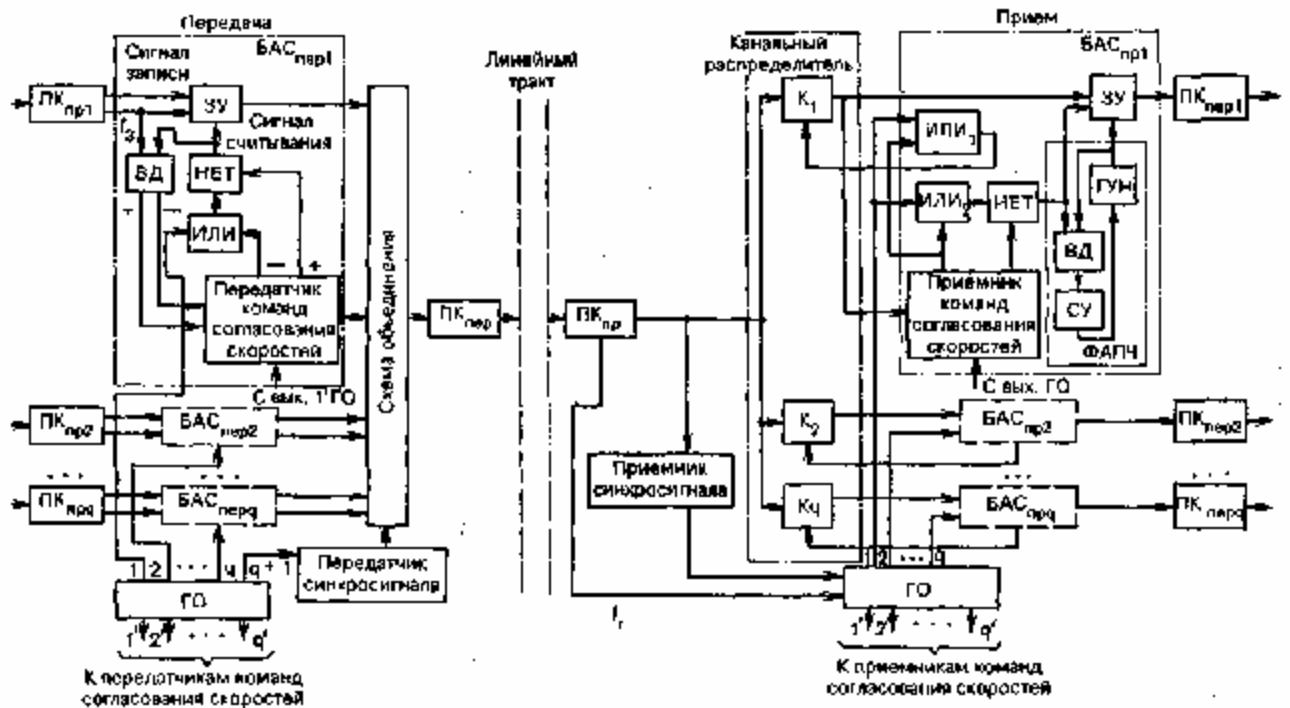


Рис. 9.2. Структурная схема АВГ для одного направления передачи при асинхронном сопряжении цифровых потоков

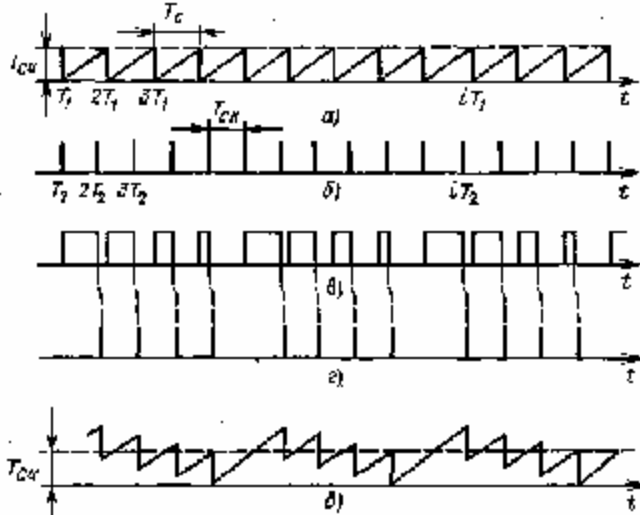


Рис. 9.3. Временные диаграммы работы передающей части АВГ:

а - изменение ВИ между сигналами записи и считывания при отсутствии времени ожидания; б - моменты передачи команд согласования скоростей; в - последовательность импульсов ШИМ, длительность которых равна времени ожидания; г - моменты согласования скоростей; д - измерение ВИ между сигналами записи и считывания с учетом времени ожидания

нераторного оборудования (моменты  $T_2, 2T_2, 3T_2, \dots, qT_2$  на рис. 9.3, б). Очевидно, что  $T_г$  должно быть меньше  $T_г$ .

Моменты, в которые происходит согласование скоростей, детерминированы. Поэтому после того, как ВИ изменится на период считывания, приходится ожидать момента согласования скоростей. Время ожидания равно длительности импульсов, изображенных на рис. 9.3, в. Торможение процесса считывания производится в моменты времени, показанные на рис. 9.3, г, а изменение ВИ между моментами считывания и записи с учетом времени ожидания имеет вид, показанный на рис. 9.3, д.

В приемной части импульсные последовательности с выходов ГО открывают поочередно логические элементы И,  $\setminus q$  канального распределителя, обеспечивая правильное распределение группового сигнала

между приемными БАС (БАС пр, - БАС пм), в которых восстанавливается первоначальная скорость переданного цифрового потока. Восстановление производится путем записи цифрового потока в ЗУ и считывания с частотой, равной средней частоте записи, вырабатываемой устройством фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Устройство ФАПЧ включает в себя генератор, управляемый напряжением (ГУН), схему управления (СУ) и временной детектор (ВД), на выходе которого формируется сигнал, соответствующий текущему значению ВИ между моментами записи и считывания.

416

Процессом записи управляет импульсная последовательность с соответствующего выхода ГО. По сигналу о необходимости положительного согласования скоростей, вырабатываемому приемником команд согласования скоростей, осуществляется запрет

записи информации в ЗУ. Временное положение сигнала запрета соответствует моменту согласования скоростей в передающем устройстве.

По сигналу о необходимости отрицательного согласования скоростей с помощью логического элемента ИЛИ, открывается элемент И канального распределителя и в передаваемый сигнал вводится дополнительный символ. Одновременно дополнительный импульс через элемент ИЛИ2 вводится в сигнал управления записью. Частота ГУН управляется напряжением, соответствующим постоянной составляющей сигнала на выходе ВД. Характер изменения сигнала на выходе ВД показан на рис. 9.3, д.

Переменные составляющие сигнала, управляющего работой

ГУН, вызывают временные флуктуации считывающей последовательности, а следовательно, и выходного сигнала. Поэтому степень переменных составляющих в управляющем напряжении определяет величину временных флуктуации выходного сигнала. Рассмотрим более подробно принцип работы основных узлов, входящих в блоки асинхронного сопряжения.

Запоминающие устройства

В запоминающем устройстве информационные символы записываются последовательно в ячейки памяти Я, - Яь (рис. 9.4). Процессом записи управляют логические элементы И, - Ии открываемые поочередно сигналами с соответствующих выходов распределителя записи (РЗ), на вход которого поступает импульсная последовательность с частотой<sup>Λ</sup>. Считывание осуществляется импульсными последовательностями с соответствующих выходов распределителя считывания (РС). Сигналы с одноименных выходов РЗ и РС подаются на вход ВД. Информация, счи-

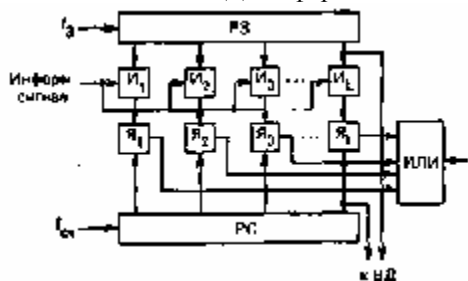


Рис. 9.4. Структурная схема ЗУ

тайная с ячеек Я, - Яь, объединяется элементом ИЛИ, на выходе которого формируется считанная импульсная последовательность.

Число ячеек памяти выбирается таким образом, чтобы момент считывания никогда не совпадал с моментом записи (точнее, чтобы момент считывания всегда отставал от момента записи). Минимальное число ячеек памяти определяется выражением

$$L_{\text{min}} = A \left[ L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + 1/Q_1 + 1/Q_{\text{сч}} \right], \quad (9.10)$$

где  $A[x]$  - округленное до большего целого значение  $x$ . Рассмотрим каждое из слагаемых, входящих в (9.10).

1. Слагаемое  $L_4$  - число следующих подряд служебных символов в цикле передачи, относящихся к одному цифровому потоку. Передача служебных символов осуществляется на импульсных позициях временных сдвигов, которые, в свою очередь, организуются путем запрета считывания в соответствующие моменты времени. Однако информационные символы продолжают поступать на вход ЗУ. При этом должно быть предусмотрено соответствующее число дополнительных ячеек памяти. Для минимизации объема ЗУ желательно, чтобы служебные символы были равномерно рассредоточены в цикле передачи. Но в большинстве случаев (например, при передаче синхросигнала) такое распределение служебных символов не обеспечивает требуемых характеристик ЦСП (времени восстановления синхронизма), в результате чего прибегают к формированию сосредоточенных служебных символов. Так, в ЦСП высших порядков формируются подряд два-три служебных символа на каждый цифровой поток (во вторичной ЦСП формируются восемь служебных символов подряд - по два на каждый цифровой поток, а в третичной и четверичной ЦСП 12 служебных символов - по три на каждый цифровой поток).

На рис. 9.5, а показано изменение временного интервала  $T$  между моментами записи и считывания при передаче двух служебных символов подряд, когда  $\beta = \text{счк}$ . В начале цикла за время передачи служебных символов временной интервал между моментами записи и считывания достигает

значения 2ГСЧ. Однако за счет того, что частота считывания превосходит частоту записи на  $\Delta T$ , к концу цикла  $\Delta T = 0$ . При этом выполняется соотношение

$$f_{сч} / f_{з} = (a+b) / a, \quad (9.11)$$

где  $a, b$  - число информационных и служебных символов в цикле передачи соответственно. Тогда каждое считывание изме-

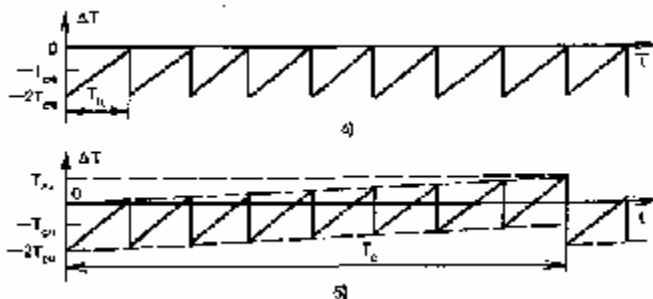


Рис. 9.5. Диаграмма изменения ВИ между моментами записи и считывания при  $f_3 = fC4$  и (а) и  $f_3 < fC4$  (б) няет БИ между моментами записи и считывания на время  $\Delta t = bT_c / 4/a$ . Поскольку в цикле передачи производится  $a$  считываний, в выражении (9.10)  $L\{ = b$ .

2. Слагаемое  $L_2$  - число видов согласования в АВГ. Согласование скоростей производится после возникновения неоднородности, выражающейся в том, что ВИ между импульсными последовательностями записи и считывания отличается от номинальной величины на период считывания (рис. 9.5, б). Следовательно, в ЗУ необходимо предусмотреть по одной ячейке памяти на каждый вид согласования скоростей. Поэтому в АВГ с двусторонним согласованием скоростей  $L_2 = 2$ .

3. Слагаемое  $L_3$  - относительное значение времени ожидания.

Из рис. 9.3, б видно, что максимальный интервал между моментами формирования сигнала согласования скоростей и возникновения неоднородности равен периоду следования команд согласования скоростей  $T_c$  к. В течение этого времени продолжает возрастать (или убывать, в зависимости от знака согласования скоростей) ВИ между моментами записи и считывания, что требует соответствующего увеличения объема памяти. Таким образом,  $L_3 = T_{сч} / T_{ст} / \pi$ , где  $T_{сч} \min$  — минимальный период формирования сигналов согласования скоростей. В системах с односторонним согласованием скоростей, где из-за заведомого неравенства частот записи и считывания период формирования сигналов согласования скоростей относительно мал,  $L_3$  достигает 0,5. В системах с двусторонним согласованием скоростей, характеризующихся относительно большим периодом формирования сигналов согласования скоростей,  $L_3$  обычно не превосходит 0,03.

4. Слагаемое  $L_4$  - относительное значение временных флуктуации входного потока. Временные флуктуации цифрового потока на входе ЗУ в БАСпер ( $Z_4$ ) складываются из флуктуации, вносимых как оборудованием асинхронного объединения (разделения) цифровых потоков, так и оборудованием линейного тракта ДСП более низких ступеней. Амплитуда и частота этих флуктуации нормированы МККТТ для цифровых потоков со скоростями 2048, 8448 и 34368 кбит/с. Дополнительный объем ЗУ, предназначенный для компенсации временных флуктуации входного потока, определяется изменением временного интервала между моментами записи и считывания за период следования

команд согласования скоростей. Тогда  $L_4 = T_f / T_{сч}$ , где  $T_f$  - амплитуда временных флуктуации.

Временные флуктуации цифрового потока на входе ЗУ в БАСпер ( $Z_4$ ) определяются только оборудованием линейного тракта данной ДСП. При этом если в БАСпер осуществляется полное подавление временных флуктуации, вносимых оборудованием линейного тракта, то  $L_4 = T_f / T_3$ .

В реальных системах из-за неполного подавления временных флуктуации входного потока  $L_4$  может быть выбрана несколько меньшей, чем  $T_f / T_3$ . Обычно  $L_4 < Q, Q \setminus$  и  $D, \setminus < 1,5$ , т. е. минимальные объемы памяти ЗУ передающего и приемного устройства не равны между собой.

5. Слагаемое  $L_5$  - дополнительное время ожидания, вызванное соотношением числа символов в цикле передачи и объемом памяти ЗУ.

Как видно из рис. 9.5, а, при  $f_3 = fC4$  значение  $\Delta T = 0$  только на последней позиции цикла. Поэтому безошибочное определение временных соотношений между последовательностями записи и считывания производится только на данной позиции. Для этого необходимо, чтобы последний информационный (я-й) символ в цикле считывался с последней ( $L$ -й) ячейки памяти, входы которой (см. рис. 9.4) связаны с ВД. Однако в зависимости от соотношения числа ячеек памяти ЗУ и числа информационных бит момент определения временных соотношений может сместиться на любую из  $L-1$  последних позиций цикла. При этом происходит соответствующее смещение момента согласования скоростей относительно истинного значения, что приводит к возникновению дополнительного времени ожидания. При это\*, момент определения ВИ между последовательностями записи и считывания смещается в каждом цикле на  $l$  позиций, где

$$l = L(1 + [a/L]) - a; \quad (1 \leq l \leq L), \quad (9.12)$$

Здесь  $[x]$  - целая часть числа  $x$ .

Рассмотрим характер перемещений момента определения В1 при различных соотношениях  $a$  и  $L$ .

Отношение  $a/L$  - целое число. При этом  $[a/c] = a/L$  и  $l=L$ . В

этом случае (рис. 9.6) определение временного интервала будет происходить в каждом цикле на одной и той же позиции до тех пор, пока не произойдет согласования скоростей. При положительном согласовании скоростей (когда происходит запрет считывания с ЗУ одного информационного символа) момент определения ВИ смещается на одну позицию к концу цикла до тех пор, пока не перейдет с последней  $i$ -й позиции в  $(a - L)$ -К>. В соответствии с этим ошибка в нахождении ВИ между последовательностями записи и считывания при переходе из  $(a - 1)$ -й позиции в  $0$ -ю уменьшается при каждом согласовании скоростей от максимального значения, равного  $(L - 1)/c$ , до нуля, а при переходе из  $a$ -й позиции в  $(a - /,)$ -ю скачкообразно возрастает до максимального значения.

При отрицательном согласовании скоростей (когда происходит дополнительное считывание информационного символа) момент определения ВИ смещается на одну позицию к началу цикла до тех пор, пока не перейдет с  $(a - /,)$ -й позиции в  $a$ -ю. При этом ошибка в нахождении ВИ при каждом согласовании скоростей возрастает при переходе из  $a$ -й позиции в  $(a - 1)$ -ю от нуля до максимального значения, а при переходе из  $(a - L)$ -и позиции в  $i$ -ю уменьшается до нуля.

Максимальная ошибка ДГОШ =  $(L-1)bTc/4a$ , а дополнительный объем памяти, предназначенный для компенсации дополнительного времени ожидания, составляет

$$L'_5 = (L - 1)b/a. \quad (9.13)$$

При  $Z_5=8$  и  $b/a=1/32$  получаем  $L5-Q,2$ .

Временной интервал между моментами записи и считывания изменяется в соответствии с пилообразной кривой (спады соответствуют моментам согласования скоростей), модулированной

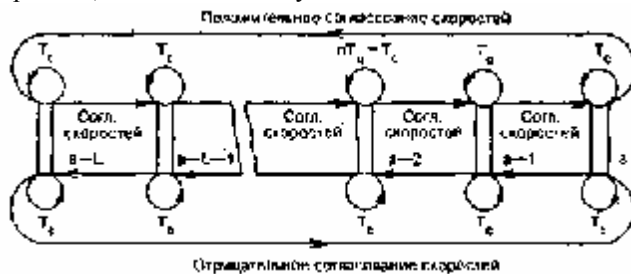


Рис. 9.6. Перемещение момента определения ВИ между последовательностями записи и считывания для случая, когда  $a/L$  - целое число

другой пилообразной кривой, частота которой в  $L$  раз меньше частоты согласования скоростей. Это указывает на наличие в спектре сигнала на выходе ВД дополнительных низкочастотных составляющих. Отношение  $a/L$  — несократимая дробь. В этом случае (рис. 9.7) момент определения ВИ между последовательностями записи и считывания смещается в каждом цикле на  $1/L$  позиций, перемещаясь за  $L$  циклов по всем  $L$  последним позициям цикла. Характер смещений моментов определения ВИ, вызванных согласованием скоростей, тот же, что и в рассмотренном выше случае. Условия определения ВИ на этих позициях цикла неодинаковы. При положительном согласовании скоростей ВИ последовательностями записи и считывания достигает максимального значения на последней  $a$ -п позиции цикла, а при отрицательном согласовании скоростей — на  $(a - L)$ -и позиции. Поэтому если частота согласования скоростей такова, что изменение ВИ за время одного цикла  $A/c$  не превосходит  $A?$  [см. (9.12)], то момент согласования скоростей будет фиксироваться при положительном согласовании скоростей всегда на последней позиции цикла, а при отрицательном согласовании - на  $(a - L)$ -и позиции.

Поскольку  $A/c = TцTc/Tc$ , где  $Tц$  - длительность цикла, то сформулированное выше условие ( $A ?c > A/$ ) можно записать следующим образом:

$$f_c < (b/a)T_{ц}. \quad (9.14)$$

В ЦСП с двусторонним согласованием скоростей данное условие уверенно выполняется. При этом

$$\Delta T_{\text{см}}' = (L - 1) \Delta t_{\text{ц}} = (L - 1) T_{\text{ц}} T_{\text{сч}} / T_{\text{з}} \quad (9.15)$$

$$L'_5 = (L-1)T_{\text{ц}} / T_{\text{с}}. \quad (9.16)$$

Из сравнения (9.16) и (9.13) видно, что  $L'_5$  в отличие от  $L5$  зависит от частоты согласования скоростей и для приведенных выше условий может принимать значения от 0 (при  $Tc = \infty$ ) до 0,1.

В системах с односторонним согласованием скоростей условие (9.14) обычно не выполняется. При этом слагаемое  $L5$  определяется выражением (9.13).

Отношение  $a/L$  — сократимая дробь. Этот случай отличается от описанного выше тем, что перемещение момента определения ВИ при отсутствии согласования скоростей осуществляется не по каждой из  $L$  последних позиций цикла, а только по  $L/\gamma$  позициям (где  $\gamma$  - общий множитель в дроби  $a/L$ ). Методика нахождения слагаемого  $L5$  в этом случае аналогична описанной выше.

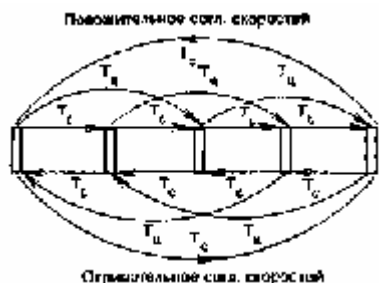


Рис. 9.7. Перемещение момента определения ВИ между последовательностями записи и считывания для случая, когда  $a/L$  - несократимая дробь

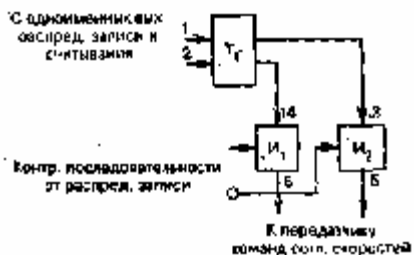


Рис. 9.8. Цифровой временной детектор

6. Величины  $(\tau_z$  и  $(\tau_{сч}$  - скважность сигналов записи и считывания соответственно. Увеличение объема ЗУ на величину  $(1/(\tau_z + 1/(\tau_{сч})) = 0,5 \dots 1$  необходимо для устранения возможности взаимного перекрытия импульсов записи и считывания.

Обычно  $L_{min}$  составляет от пяти до восьми ячеек памяти. В системах с двусторонним согласованием скоростей при  $\tau_z = 1$  объем ЗУ при прочих равных условиях оказывается меньшим, чем в системах с односторонним согласованием скоростей, благодаря меньшему времени ожидания.

#### Временной детектор

Временной детектор предназначен для контроля ВИ между моментами записи и считывания. В оборудовании временного группообразования используются цифровой и аналоговый ВД.

Цифровой детектор применяется в передающей части для определения момента возникновения неоднородности. В системах с двусторонним согласованием скоростей ВД должен не только обнаруживать моменты возникновения неоднородности, но и устанавливать ее знак. В цифровом ВД одноименные выходы РЗ и РС подключены к отдельным входам триггера (Тг) (рис. 9.8). Выходы Тг соединены с логическими элементами И<sub>1</sub> и И<sub>2</sub>, на другие входы которых подаются контрольные импульсы последовательности с РЗ. Временное положение контрольных последовательностей выбирается таким образом, что, когда интервал между импульсными последовательностями записи и считывания достигает величины, достаточной для согласования скоростей, на входе одного из элементов И (в зависимости от знака согласования) происходит совпадение положительного импульса с выхода Тг и контрольного импульса.



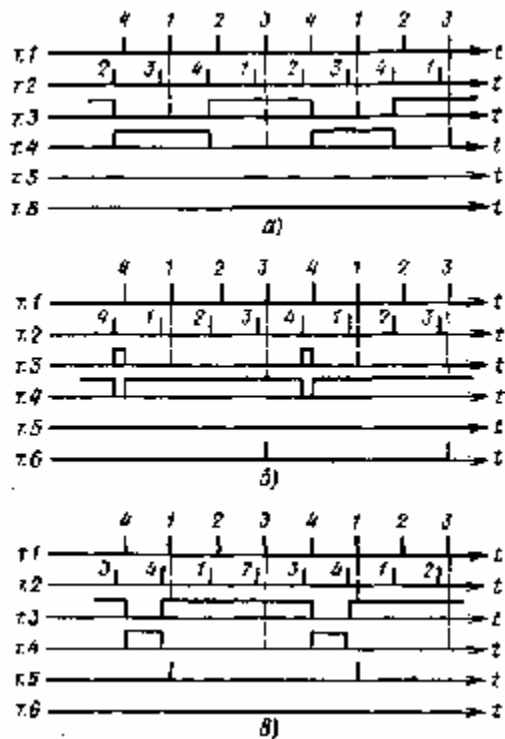


Рис. 9.9. Временные диаграммы работы цифрового ВД при отсутствии согласования скоростей (а), отрицательном согласовании скоростей (б) и положительном согласовании скоростей (в)

На рис. 9.9 показаны временные диаграммы в контрольных точках схемы ВД (см. рис. 9.8). Триггер управляется сигналами с выходов 4 РЗ и РС (1=4), а контрольные последовательности снимаются с выходов 1 и 3 РЗ (нумерация выходов РЗ и РС на рис. 9.9 указана над соответствующими импульсными последовательностями).

При отсутствии согласования скоростей (рис. 9.9, а) импульсная последовательность с выхода 1 распределителя соответствует по времени нулевому состоянию первого плеча Тг, а импульсная последовательность с выхода 3 распределителя - нулевому состоянию второго плеча Тг. В результате на выходах элементов И<sub>1</sub> и И<sub>2</sub> имеем нулевой сигнал.

При отрицательном согласовании скоростей (рис. 9.9, б) импульсная последовательность с выхода 3 РЗ совпадает с единичным состоянием второго плеча Тг, в результате чего формируется сигнал на выходе элемента И<sub>2</sub>.

При положительном согласовании скоростей (рис. 9.9, в) импульсная последовательность с выхода 1 РЗ совпадает с единичным состоянием первого плеча Тг и формируется сигнал на выходе элемента И<sub>1</sub>.

В системах с односторонним согласованием скоростей предусматривается одна схема совпадения. Аналоговый детектор используется в приемной части для определения текущего значения ВИ между моментами записи и считывания. В аналоговом ВД, как и в цифровом, импульсные последовательности с одноименных выходов РЗ и РС подаются на отдельные входы Тг (рис. 9.10), скважность сигнала на выходе которого характеризует взаимное временное положение импульсов записи и считывания. Сигнал с выхода Тг подается на вход ФНЧ. На выходе последнего вырабатывается напряжение, знак и величина которого определяются разностью длительностей положительных и отрицательных импульсов на выходе Тг.

Если ВИ между моментами записи и считывания равен требуемому значению, скважность сигнала на выходе Тг  $mT_g=2$  (рис. 9.11, а), а напряжение на выходе ФНЧ  $U_{фнч}=0$ . Если ВИ между моментами записи и считывания отклоняется от требуемого значения,  $mT_g$  уменьшается или увеличивается (в зависимости от знака изменения временного интервала) и на выходе ВД вырабатывается сигнал (рис. 9.11, б,в), характеризующий величину и знак этого отклонения.

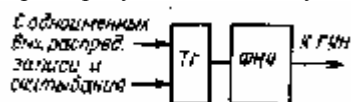


Рис. 9.10. Структурная схема аналогового ВД

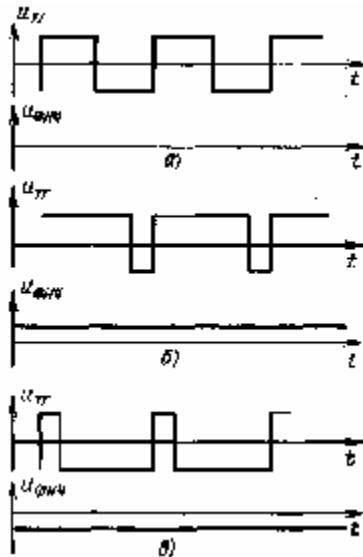


Рис. 9.11. Диаграмма работы аналогового детектора

Передатчик и приемник команд согласования

Хх Рассмотрим особенности работы передатчика и приемника команд согласования скоростей.

Особенностью ЦСП с асинхронным объединением цифровых потоков является возможность снижения верности передачи информации при искажении команд согласования скоростей. По своей информационной ценности команды согласования скоростей соответствуют цикловому СС. Действительно, искажение команды согласования скоростей вызывает сбой цикловой синхронизации в соответствующей данной команде компонентной ЦСП более низкого порядка. Это объясняется тем, что ошибка при опознавании команды согласования скоростей в ЦСП  $n$ -го порядка равносильна изменению на один такт длительности цикла передачи (в ту или иную сторону в зависимости от вида ошибки) в цифровом потоке компонентной системы  $(n - 1)$ -го порядка. В свою очередь, сбой цикловой синхронизации в системе передачи  $(n - 1)$ -го порядка может вызвать сбой синхронизации во всех компонентных системах  $(n - 2)$ -го порядка и т. д. В соответствии с этим можно следующим образом сформулировать требование к помехоустойчивости команд согласования скоростей:

$$M(f)_{\text{нс}}^{(p)} = M(f)_{\text{у.с.}}^{(p-1)}, \quad (9.17)$$

где  $M(f)_{\text{нс}}$  — среднее время между двумя искажениями команд согласования скоростей в ЦСП  $n$ -го порядка;  $M(f)_{\text{у.с.}}$  — среднее время удержания циклового синхронизма в ЦСП  $(n - 1)$ -го порядка.

Помехоустойчивость команд согласования скоростей должна быть практически такой же, как циклового СС в СП более низкого порядка. Однако между СС и командами согласования скоростей есть существенная разница, которая заключается в том, что первые несут в себе информацию о длительном состоянии передающего устройства, формирующего цикл передачи, тогда как вторые содержат информацию об однократных изменениях этого состояния. Поэтому помехоустойчивость СС обеспечивается методом накопления, а помехоустойчивость команд согласования скоростей — кодами, исправляющими ошибки. Вероятность искажения команды согласования скоростей

$$P_{\text{нс}} = 1 - \sum_{k=0}^{\tau} C_{\tau}^k P_{\text{н}}^k (1 - P_{\text{н}})^{\tau-k},$$

где  $\tau$  — число символов в кодовой группе;  $P_{\text{н}}$  — вероятность искажения символа;  $\tau$  — число корректируемых ошибок. Тогда

$$M(f)_{\text{нс}} = T_c / P_{\text{нс}} = T_c / [1 - \sum_{k=0}^{\tau} C_{\tau}^k P_{\text{н}}^k (1 - P_{\text{н}})^{\tau-k}], \quad (9.18)$$

Сбой системы цикловой синхронизации происходит при искажении  $v$  подряд передаваемых синхросигналов ( $v$  — коэффициент накопления по выходу из синхронизма). Следовательно, среднее время удержания циклового синхронизма определяется выражением, характеризующим среднее время достижения первого успеха, заключающегося в формировании  $v$  подряд искаженных СС:

$$M(f)_{\text{в.с.}} = \frac{(1 - P_{\text{нс}}^v) T_{\text{сх}}}{P_{\text{нс}}^v (1 - P_{\text{нс}})}, \quad (9.19)$$

где  $P_{\text{нс}}$  — вероятность искажения СС;  $T_{\text{сх}}$  — период следования СС.

Подставляя (9.19) и (9.18) в (9.17), а также учитывая, что

$\Delta_c = \Delta_{\text{сх}}$  и  $P_{\text{н}} = 1 - (1 - P_{\text{н}})^b$ , где  $b$  — число символов СС, получаем

$$\frac{1}{1 - \sum_{k=0}^{\tau} C_{\tau}^k (P_{\text{н}}^k)^k (1 - P_{\text{н}})^{\tau-k}} = \frac{1 - [1 - (1 - P_{\text{н}}^{(b-1)b})^v]}{(1 - P_{\text{н}}^{(b-1)b})^b [1 - (1 - P_{\text{н}}^{(b-1)b})^v]}, \quad (9.20)$$

В системах с односторонним согласованием скоростей необходимо передавать информацию о двух состояниях передающего устройства: отсутствии и наличии согласования скоростей. Для передачи этой информации достаточно одного двоичного разряда. В этом случае для защиты от ошибок информация должна передаваться кодовой группой, состоящей из  $t = 2\gamma + 1$  символов. Подставляя в (9.20) значения вероятности искажения символов в ЦСП  $\nu$ - и  $(\nu - 1)$ -го порядков, а также параметры системы цикловой синхронизации, определяем наименьшее целое значение  $\gamma$  (а следовательно, и  $t$ ). Зависимость числа символов в команде согласования скоростей от требуемой помехоустойчивости графически изображена на рис. 9.12. Как показывают расчеты, в ЦСП высших порядков команды согласования скоростей должны состоять из пяти символов, что обеспечивает их защиту от искажений двух символов. Однако команды такой длительности используются только в четверичной системе (Рекомендация (7.751 МККТТ)). Во вторичной и третичной системах (Рекомендации (7.742, (7.751 МККТТ)) используются команды, состоящие из трех символов. При этом обеспечивается защита только от одиночных ошибок и не достигается помехоустойчивость, соответствующая выражению (9.20). Увеличение длины команды согласования скоростей без изменения информационной емкости канала согласования скоростей

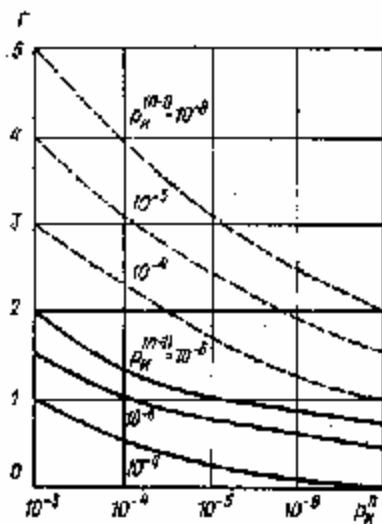


Рис. 9.12. Зависимость числа символов в команде согласования скоростей от требуемой помехоустойчивости ( $\nu=1, 2, 3$ ):

— системы с двухсторонним согласованием скоростей; — системы с односторонним согласованием скоростей

Этого связано с удлинением цикла передачи, что, в свою очередь, увеличивает как среднее время восстановления циклового синхронизма, так и время ожидания. Увеличение последнего приводит к существенному росту временных флуктуации сигнала на выходе СП с односторонним согласованием скоростей.

В приемнике команд согласования скоростей осуществляется опознавание вида принимаемых команд. При этом корректируются неправильно переданные символы. Обычно в качестве команд согласования скоростей используются кодовые группы вида 000...0 и 111...1 для передачи информации соответственно об отсутствии и наличии согласования скоростей. В этом случае приемник команд согласования скоростей представляет собой счетчик числа единиц. Если число единиц меньше половины общего числа символов в команде, то принимается решение о том, что передана кодовая группа 000...0, если больше половины - кодовая группа 111...1. При этом опознавание команды согласования скоростей будет правильным, если число искаженных символов не превышает половины числа символов в команде.

В системах с двусторонним согласованием скоростей необходимо передать информацию о трех возможных состояниях передающего устройства: отсутствии, наличии положительного или отрицательного согласования скоростей. Рост объема передаваемой информации (по сравнению с системами с односторонним согласованием скоростей) требует увеличения числа символов, предназначенных для передачи этой информации. Так, защиту от однократных искажений в данном случае обеспечивают пятиразрядные кодовые группы, от двукратных - семиразрядные и т. д.

Это приводит к увеличению времени восстановления синхронизма и величины вносимых временных флуктуации.

Число символов в команде согласования скоростей может быть уменьшено без снижения исправляющей способности этих команд при двухкомандной их передаче. При этом состояние "отсутствие согласования скоростей" исключается, и по числу возможных состояний передающего устройства системы с двусторонним согласованием скоростей становятся идентичными системам с односторонним согласованием. Для этого в ВД устанавливается нулевой порог срабатывания. В результате и при нулевом временном сдвиге между импульсными

последовательностями записи и считывания вырабатывается команда согласования скоростей того или иного знака. По этой команде согласуются скорости и корректируется временное положение импульсов в ЗУ. При следующем сравнении временных положений последовательностей записи и считывания вырабатывается команда согласования скоростей противоположного знака. Чередование команд происходит до тех пор, пока ВИ не превысит  $T_{сч}$  (рис. 9.13), после чего формируются подряд две команды одного знака.

В данном случае информационные символы, считываемые с ЗУ по командам об отрицательном согласовании скоростей, с вероятностью, близкой к 0,5, занимают специально выделяемую для них импульсную позицию в цикле передачи, тогда как при трехкомандной передаче команд согласования скоростей эта позиция с вероятностью, близкой к 1, свободна и может совместно с такими же позициями других потоков использоваться для передачи служебных сигналов (например, сигналов контроля, служебной связи и др.). Кроме того, периодическое ускорение и торможение процесса считывания требуют увеличения объема ЗУ на одну ячейку памяти.

Указанные недостатки устраняются, если при формировании чередующихся команд не производить коррекцию временного

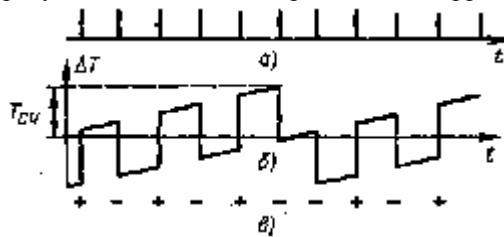


Рис. 9.13. Временные диаграммы работы формирователя двухкомандного сигнала согласования скоростей:

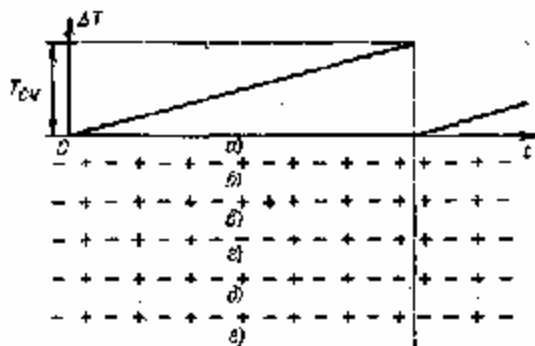
а — моменты передачи команд согласования скоростей; б - изменения ВИ между моментами записи и считывания; в - команды согласования скоростей

положения импульсов считывания, а осуществлять коррекцию только при нарушении периодичности чередования команд согласования скоростей (при формировании сдвоенных команд одного знака). При этом ВД устанавливается порог срабатывания, равный периоду считывания. Если интервал между импульсными последовательностями записи и считывания не превосходит  $T_{сч}$ , нулевой сигнал на выходе детектора преобразуется в чередующиеся команды согласования скоростей. Если ВИ между импульсными последовательностями записи и считывания превзойдет  $T_{сч}$ , осуществляется формирование сдвоенных команд согласования скоростей соответствующего знака.

Этот способ позволяет не только обеспечить такую же, как в системах с односторонним согласованием скоростей, исправляющую способность команд согласования скоростей без увеличения их длительности, но и достигнуть значительного увеличения помехоустойчивости этих команд. Для пояснения принципа повышения помехоустойчивости рассмотрим структуру двухкомандного сигнала согласования скоростей.

На рис. 9.14, а показано изменение ВИ между моментами записи и считывания в передающем блоке асинхронного сопряжения, а на рис. 9.14, б представлена структура команд согласования скоростей. Пока ВИ не достиг периода считывания, на выходе формирователя вырабатываются чередующиеся (пассивные) команды: + - + - и т. д. Когда ВИ достигает периода считывания, вырабатываются две идентичные (активные) команды: ++ или — — (в зависимости от знака изменения интервала).

При искажении одной из чередующихся команд (на рис. 9.14, в-е искаженные команды выделены) образуется последовательность из трех команд одного знака: при искажении отрицательной команды (рис. 9.14, в) образуется последовательность из трех положительных команд, а при искажении положительной команды



i

Рис. 9.14. Диаграммы, поясняющие принцип коррекции команд согласования скоростей

(рис. 9.14, г) - последовательность из трех отрицательных команд. В неискаженном сигнале согласования скоростей строенные команды одного знака отсутствуют. Анализируя сигнал согласования скоростей по

этому признаку, можно обнаружить и скорректировать практически любое искажение чередующихся команд.

При искажении одной из двоек команд формируется двойная команда противоположного знака (рис. 9.14, д, е), которая в общем случае не может быть опознана как ложная. Однако системы с двухсторонним согласованием скоростей характеризуются медленным изменением В И между сигналами записи и считывания, поэтому структура сигнала согласования скоростей характеризуется длительным чередованием команд противоположного знака и редким повторением команд одного знака. Отсюда следует, что большинство искажений команд согласования скоростей может быть скорректировано в приемнике сигнала согласования скоростей. При этом помехоустойчивость команд согласования скоростей возрастает в  $f_c K/f_c$  раз. Например, для вторичной ДСП, у которой  $f_c = 2048$  кГц,  $K = 3 \cdot 10^{-6}$ ,  $f_c K = 6$  кГц, задавая нормальным законом распределения  $f_c$ , получаем  $f_c K = 36Q$  с вероятностью 0,9 и  $f_c K = 20Q$  с вероятностью 0,97. Структурная схема приемника сигнала согласования скоростей в системах с двусторонним согласованием скоростей и двух-командным управлением представлена на рис. 9.15. Команды со-

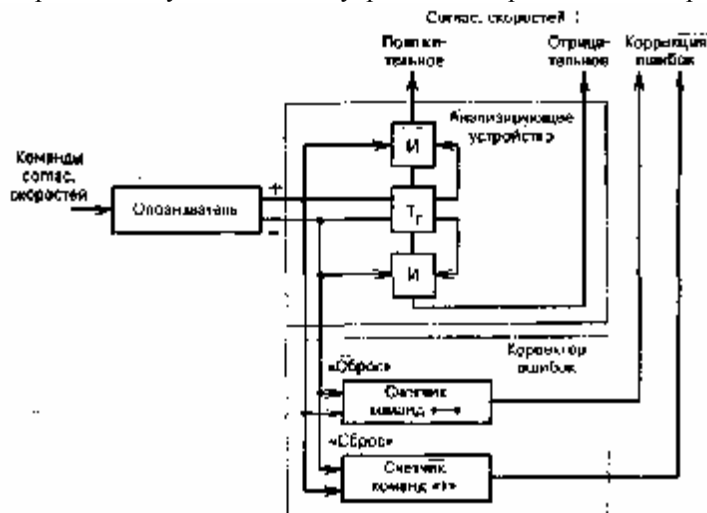


Рис. 9.15. Приемник команд согласования скоростей с коррекцией пассивных команд. Команды согласования скоростей поступают на вход опознавателя, выходы которого соединены с входами анализирующего устройства, вырабатывающего сигнал о наличии двух следующих подряд команд одного знака, и корректора ошибок, фиксирующего три последовательные команды "+" или "-". Если зафиксированы три последовательные команды "+" или "-", что свидетельствует соответственно об искажении команды "-" или "+", то на выходе счетчика числа команд формируется сигнал коррекции ошибки.

Указанным способом можно произвести коррекцию двух, трех и более ошибок. В системах с трехкомандным сигналом согласования скоростей коррекция, основанная на анализе структуры передаваемых команд, невозможна.

Дальнейшее увеличение помехоустойчивости команд согласования скоростей достигается при коррекции искажений двоек (активных) команд. Такая коррекция может осуществляться, если в передающем устройстве фиксировать знак изменения (характер) В И между сигналами записи и считывания и передавать информацию об этом знаке в приемное устройство с частотой, значительно превышающей частоту формирования активных команд согласования скоростей. Поскольку частота формирования активных команд мала, требуется и малая пропускная способность канала, предназначенного для передачи информации о знаке изменения В И.

При использовании данного способа коррекции каждая двойная команда несет в себе информацию только о наличии согласования скоростей, в то время как решение о знаке этого согласования принимается на основе многократно передаваемой информации о знаке изменения В И между сигналами записи и считывания. Структурная схема приемника, обеспечивающего коррекцию одиночных искажений как пассивных, так и активных команд, приведена на рис. 9.16. Однако, как видно из рис. 9.14, при одиночном искажении активной команды, заключающемся в трансформации последовательности "++" в последовательность "- —" или последовательности "- -" в последовательность "++", возникает сдвиг момента опознания активной команды на время  $T_c$  к. В течение этого времени соответствующая компонентная СП более низкого порядка находится в состоянии отсутствия синхронизма. При искажении первой из двух идентичных команд (см. рис. 9.14, д) сигнал о наличии согласования скоростей вырабатывается раньше, а при искажении второй команды (см. рис. 9.14, е) позже, чем происходит согласование скоростей. Наличие такого сдвига может быть обнаружено по несоответствию информации о знаке согласования скорости, переданной по отдельному каналу, виду двойной команды. Эт

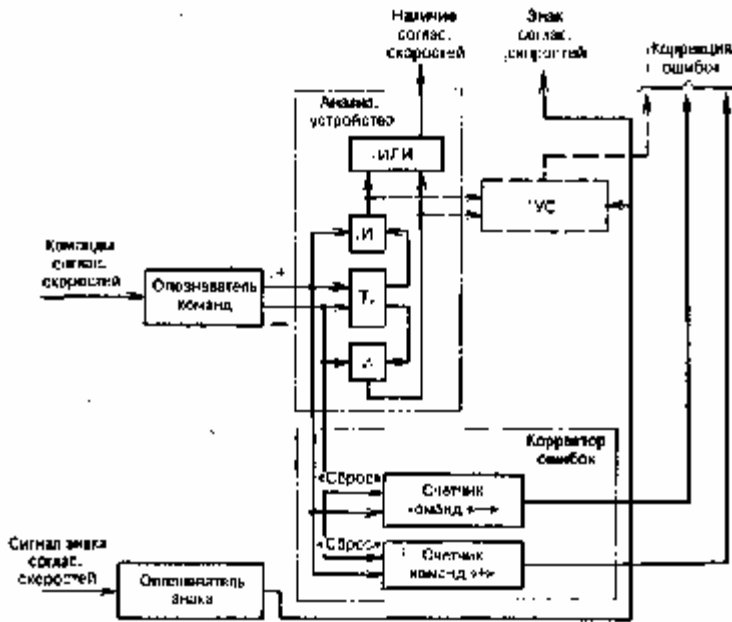


Рис. 9.16. Приемник сигнала согласования скоростей с коррекцией пассивных и активных команд осуществляется в устройстве сравнения (УС), показанном на рис. 9.16 штриховой линией. При этом ложное согласование скоростей будет осуществляться только в том случае, если искажены две или более команд подряд. Тогда по аналогии с (9.15) получим

$$M(n)_{\text{жс}} = \frac{1 - P_{\text{иэ}}^2}{P_{\text{иэ}}^2 (1 - P_{\text{иэ}})} T_c = \frac{T_c}{P_{\text{иэ}}} \quad (9.21)$$

Сравнение (9.21) и (9.18), показывает, что помехоустойчивость приемников команд согласования скоростей в системах с двусторонним согласованием в  $\sqrt{r}$  раз выше, чем в системах с односторонним согласованием. На рис. 9.12 сплошными линиями показана зависимость числа символов в команде согласования скоростей от требуемой помехоустойчивости при использовании приемников с коррекцией пассивных и активных команд. Расчеты показывают, что в системах с двусторонним согласованием скоростей всех ступеней иерархии команды согласования скоростей могут состоять не более чем из трех символов ( $r=1$ ).

Устройство фазовой автоподстройки частоты

Устройство фазовой автоподстройки частоты включает в себя ВД, СУ, ГУН (рис. 9.2).

В СУ выделяется постоянная составляющая сигнала с выхода ВД. Спектр этого сигнала (рис. 9.3, д) определяется выражением

$$F(f) = \left( \frac{A}{2} S - A_{\text{и}} \right) - \frac{A}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m} \sin(m 2 \pi f_c t - m S \pi) - \frac{A}{\pi} S \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{r=1}^{\infty} \frac{1}{r} \sin \pi [2(m f_c - r f_{\text{и}}) t - (m S - r)] \quad (9.22)$$

где  $S = f_{\text{жс}} / f_c$  - коэффициент согласования;  $f_c$  - частота согласования скоростей;  $f_c K$  - частота команд согласования скоростей;  $A$  - величина скачка в изменении ВИ между сигналами записи и считывания, вызванного согласованием скоростей (обычно  $A = 2\pi$ );  $AQ$  - постоянный временной сдвиг, соответствующий синхронному режиму работы ( $S=0$ ). Спектр сигнала на выходе ВД состоит из трех слагаемых: первое представляет собой постоянную составляющую, соответствующую случаю идеального усреднения, второе обусловлено наличием разности частот записи и считывания в передающем устройстве, а третье - наличием времени ожидания. Следовательно, подавление составляющих сигнала на выходе ВД, определяемых двумя последними слагаемыми в выражении (9.22), обеспечивает идеальное восстановление первоначальной скорости цифрового потока. Для выполнения данного условия в схеме управления необходимо использовать ФНЧ с бесконечно малой полосой пропускания. Однако при этом не обеспечивается необходимая полоса захвата устройства ФАПЧ, которая не может быть меньше максимального расхождения частоты записи в передающем устройстве /3 пер и частоты считывания в приемном устройстве/счпр, т. е.

$$\Delta F_{\text{ФНЧ}} > f_{\text{счпр}} \delta f_{\text{и}} + f_{\text{сзпр}} \delta f_{\text{и}} \quad (9.23)$$

где  $\Delta F_{\text{ФНЧ}}$  - полоса пропускания ФНЧ. Так, в аппаратуре ИКМ-120, в которой  $f_{\text{счпр}} = 2048$  кГц,  $f_{\text{сзпр}} = 5$  кГц,  $\delta f_{\text{и}} = 3 \cdot 10^5$  Гц,  $\delta f_{\text{и}} > 120$  Гц.

$F_{\text{в}} = \dots$  -зпф -счф

Составляющие сигнала с выхода ВД, попадающие в полосу  $\Delta F_{\text{ФНЧ}} >$  проходят на вход управляемого генератора, что приводит

к временным флуктуациям передаваемого цифрового потока.

Системы с односторонним согласованием скоростей характеризуются большими значениями  $f_s$ . Поэтому составляющие, обусловленные наличием разности частот записи и считывания, являются достаточно высокочастотными и могут быть подавлены ФНЧ, а составляющие, обусловленные наличием времени ожидания, при определенных значениях  $\tau$  и  $\gamma$  могут быть сколь угодно низкочастотными из-за относительно большого значения  $S$ , а следовательно, достаточно существенными.

Системы с двусторонним согласованием скоростей характеризуются малыми значениями  $f_s$ . Поэтому составляющие, обусловленные наличием разности частот записи и считывания, оказываются достаточно низкочастотными и не могут быть подавлены ФНЧ, в то время как составляющие, обусловленные наличием времени ожидания, из-за малой величины  $S$  оказываются незначительными.

Таким образом, в системах с односторонним согласованием скоростей основным источником низкочастотных составляющих управляющего сигнала (а следовательно, и флуктуации сигнала на выходе аппаратуры сопряжения) является время ожидания, а в системах с двусторонним согласованием — разность частот записи и считывания.

Характер распределения амплитуд временных флуктуации для случаев  $S=0$ ,  $S=1/2$  и  $S=1/3$  иллюстрируется рис. 9.17 (сплошные линии). Как видно из рисунка, при использовании в схеме управления простого ФНЧ в системах с двусторонним согласованием скоростей, у которых  $S=0$ , временные флуктуации достигают периода тактовой частоты передаваемых цифровых потоков ( $\gamma=100\%$ ). В системах с односторонним согласованием скоростей максимальное значение временных флуктуации существенно меньше. Например, в ИКМ-120, соответствующей Рекомендации (7.742 МККТГ,  $S=0,4242$  и  $L=15\%$ ). Известен способ уменьшения временных флуктуации, основанный на компенсации низкочастотных составляющих в сигналах

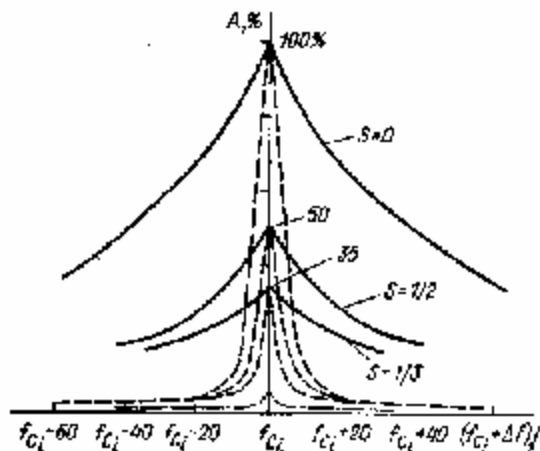


Рис. 9.17. Распределение амплитуд временных флуктуаций

на выходе ГУН. Этот способ заключается в том, что из последовательности импульсов, соответствующих моментам согласования скоростей (см. рис. 9.3), на выходе ГУН формируется компенсирующий сигнал, содержащий те же низкочастотные составляющие, что и сигнал на выходе ВД в передающем устройстве, но противоположный по фазе. Компенсирующий сигнал формируется с помощью интегратора и инвертора (рис. 9.18). На выходе интегратора в спектре компенсирующего сигнала будет содержаться постоянная составляющая, равная составляющей сигнала управления на выходе ВД. Тогда на выходе сумматора (Сум) будут подавляться не только низкочастотные составляющие сигнала с выхода ВД, но и постоянная составляющая этого сигнала, что недопустимо.

Постоянная составляющая в спектре компенсирующего сигнала подавляется с помощью разделительной цепочки (РЦ), включенной на входе интегратора. Ширина полосы подавления  $A_{fn}$  определяет границу частот в спектре сигнала на выходе ВД, ниже которой компенсация не производится. Выбрать  $A_{fn}$  сколь угодно малой нельзя, поскольку при этом из сигнала управления будут вычитаться и сверхчастотные составляющие, определяемые кратковременными нестабильностями частот записи в передающем устройстве  $b'$ , и считывания в приемном устройстве  $S'$ .

Л пер JS4 пр

Следовательно, необходимо, чтобы  $\Delta P_{п} > \Delta \tau \cdot 5' / +fc4npSf \cdot$  Например, в аппаратуре ИКМ-120, в которой  $S' = 8' = 3 \cdot 10'$ .

Л пер V

получаем  $A/J, > 1,2$  Гц. Таким образом, эффективную компенсацию можно осуществлять для частот выше 1,2 Гц.

Рассмотренный способ уменьшения временных флуктуации обеспечивает в управляющем устройстве снижение полосы пропускания ФНЧ в « $\approx$  /'''—Г'''3, ''''' раз по сравнению с /зпер°/ +/СЧПР'''/

з пер сч пр

простым ФНЧ. В частности, для ИКМ-120 « $\approx$  100.

Зависимость амплитуды временных флуктуации от частоты согласования скоростей при использовании устройства ФАПЧ с компенсацией низкочастотных составляющих управляющего сигнала показана на рис. 9.17 штриховой линией. Несмотря на зна-

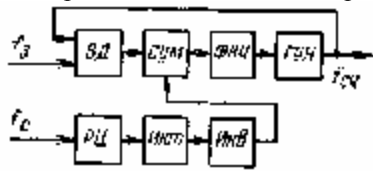


Рис. 9.18. Устройство ФАПЧ с компенсацией высокочастотных составляющих управляющего сигнала. Число уменьшение амплитуды временных флуктуации в области частот выше единиц герц, максимальные значения этих флуктуации остаются неизменными.

Существенное уменьшение амплитуды временных флуктуации во всем диапазоне частот достигается при передаче в приемное устройство информации об изменениях ВИ между моментами записи и считывания на величину, значительно меньшую периода считывания. Для этого в передающем устройстве используется дополнительный ВД, формирующий сигналы о промежуточных значениях ВИ между моментами записи и считывания, соответствующих изменению этого интервала на величину  $\Delta T_{пр}$ , значительно меньшую  $T_{сч}$ . В приемном устройстве в соответствии с данной информацией в цепи передачи сигнала записи вводится или выводится (в зависимости от знака изменения ВИ) задержка, равная  $\Delta T_{пр}$ . В результате ВИ между последовательностями записи и считывания в приемном устройстве не превосходит  $\Delta T_{пр}$ , что приводит к соответствующему уменьшению временных флуктуации передаваемого сигнала.

Способ формирования и приема информации о промежуточных значениях временного сдвига между сигналами записи и считывания поясняет рис. 9.19. На рис. 9.19, а Показано изменение ВИ между сигналами записи и считывания, когда  $f \sim f_m$ , и  $B=2$ . При этом в соответствии с выражением (9.12)  $\Delta T$  достигает величины  $T_{сч}$  в момент формирования позиции цикла  $a/2$ . Если  $f_3 < f_{сч}4H$  (рис. 9.19, б), то  $\Delta T$  достигает  $T_{сч}$  сначала на позиции цикла  $a/2$ , а затем на позициях  $(a/2)+1$ ,  $(a/2)+2$  и т. д. Если  $f_3 > f_{сч}4u$  (рис. 9.19, в), то  $\Delta T$  достигает величины  $T_{сч}$  сначала на по-

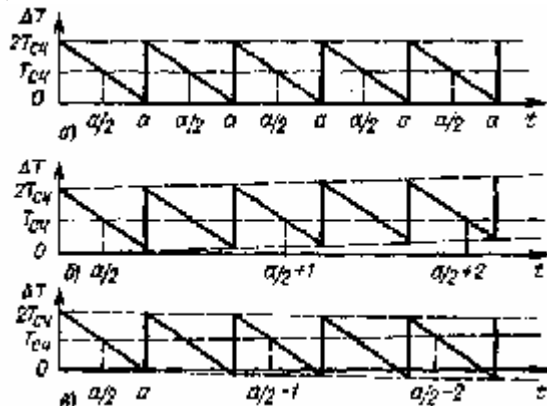


Рис. 9.19. Диаграммы изменения ВИ между моментами записи и считывания

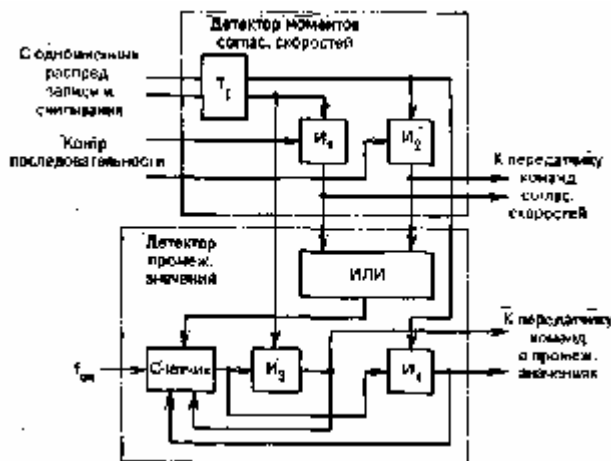


Рис. 9.20. Временной детектор с фиксацией промежуточных значений В И между моментами записи и считывания

зиции цикла  $a/2$ , а затем последовательно на позициях  $(a/2)-1$ ,  $(a/2)-2$  и т. д. Таким образом, переход момента совпадения ВИ между сигналами записи и считывания с одной позиции на другую свидетельствует об изменении этого интервала на  $\Delta T_{пр}$ .

Структурная схема ВД, построенного по рассмотренному принципу, изображена на рис. 9.20. Она включает



в себя детектор моментов согласования скоростей, аналогичный изображенному на рис. 9.8, и детектор промежуточных значений ВИ между сигналами записи и считывания, состоящий из счетчика импульсов и логических элементов И3, И4.

Каждый сигнал согласования скоростей через элемент ИЛИ устанавливает счетчик в исходное состояние, при котором сигнал на выходе счетчика соответствует позиции цикла  $a/b$ . При этом ВИ между последовательностями записи и считывания равен  $T_{сч}$  и на выходе элементов И3, И4 вырабатывается нулевой сигнал. При изменении ВИ (в сторону увеличения или уменьшения) на  $\Delta T_{сч}/a$  на выходе соответствующего элемента (И3 или И4) вырабатывается сигнал, свидетельствующий о достижении ВИ первого промежуточного значения ( $7^1 \Delta T_{сч}$ ) и сдвигающий в соответствующую сторону временное положение сигнала с выхода счетчика. В результате сигнал с выхода счетчика будет сфазирован либо с  $[(a/b)+1]$ -й, либо  $[(a/b)-1]$ -тл позицией цикла до тех пор, пока ВИ между последовательностями записи и считывания не достигнет величины  $T_{сч} \pm 2\Delta T_{сч}$ , после чего производится фазирование счетчика со следующей позицией цикла  $[(a/b)+2]$  и  $[(a/b)-2]$  и т. д.

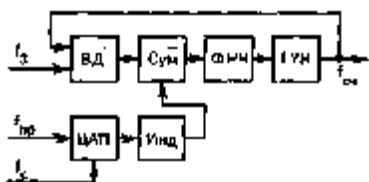


Рис. 9.21. Устройство ФАПЧ с передачей промежуточных значений ВИ между моментами записи и считывания

В устройстве ФАПЧ, структурная схема которого приведена на рис. 9.21, по каждому сигналу о достижении ВИ промежуточного порогового значения осуществляется увеличение или уменьшение (в зависимости от знака согласования скоростей) компенсирующего напряжения (рис. 9.22). Компенсирующий сигнал, вырабатываемый цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), вычитается из сигнала с выхода ВД, в результате чего формируется сигнал, управляющий работой ГУН. Естественно, что  $T_{пр}$  не может быть меньше максимального изменения ВИ между сигналами записи и считывания за период передачи команд о достижении промежуточных значений  $T$ . Поскольку обычно  $T_{пр} = T_{сч}$ , число промежуточных значений ВИ, информация о которых может передаваться в приемное устройство, и  $< T_{сч} / T_{сч} = 1/S$ .

В системах с односторонним согласованием скоростей, характеризующихся высокой частотой согласования, применение такого способа практически невозможно. Этот способ весьма эффективен в системах с двусторонним согласованием скоростей, характеризующихся чрезвычайно низкой частотой согласования ( $T_{сч} \gg T_{сч}$ ). Действительно, при  $5 < 0,01$  число передаваемых промежуточных значений, а следовательно, и  $\Delta T_{пр}$  определяется практически только разрешающей способностью детектора промежуточных значений. Так, в аппаратуре ИКМ-120 с двусторон-

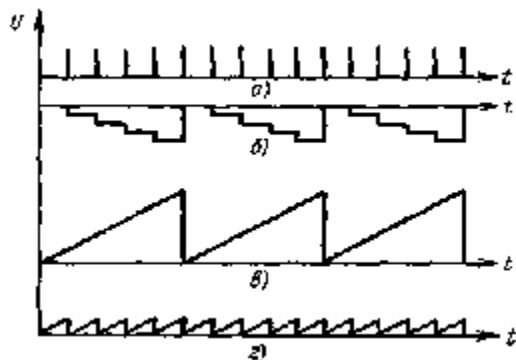


Рис. 9.22. Временные диаграммы сигналов в устройстве ФАПЧ с передачей промежуточных значений: а - сигнал о промежуточных значениях временного сдвига; б - вспомогательный сигнал; в - сигнал на выходе ВД; г — сигнал, управляющий работой ГУН

ним согласованием скоростей  $\Delta T_{сч}/a = T_{сч}/32$ , т. е.  $i=32$ . При этом амплитуда вносимых временных флуктуации не превосходит 3 % периода тактовой частоты передаваемого цифрового потока (см. рис. 9.17, штрих-пунктирная кривая).

Передача промежуточных значений ВИ между сигналами записи и считывания приводит к изменению спектрального состава управляющего напряжения. Анализируя рис. 9.22, в, г, можно видеть, что при сохранении пилообразного характера управляющего напряжения его частота увеличивается в  $i$  раз. Это обеспечивает более полное подавление переменных составляющих управляющего напряжения.

#### 9.4. ПОСТРОЕНИЕ ЦИКЛА ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННЫМ ГРУППООБРАЗОВАНИЕМ

Структура цикла передачи ДСП с временным группообразованием должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Соотношение числа информационных и служебных символов должно быть таким, чтобы обеспечивались

требуемые параметры ЦСП. Под служебными понимаются сигналы: команды согласования скоростей, число символов в которых ( $t$ ) должно соответствовать требуемой помехоустойчивости этих сигналов; цикловой (сверхцикловой) синхронизации, длительность которых ( $B$ ) должна обеспечивать требуемое время восстановления синхронизма; служебной связи, передаваемые со скоростью 16...32 кбит/с на  $d^{\wedge}$  позициях цикла. Кроме того, в цикле обычно предусматриваются позиции, предназначенные для передачи сигналов контроля и сигнализации ЖК, непосредственного ввода сигналов дискретной информации  $\wedge$ д, а также передачи информационных символов, формируемых при отрицательном согласовании скоростей (в системах с двусторонним согласованием скоростей)  $dK$ .

Соотношение числа информационных и служебных символов в цикле передачи для каждого входного потока определяется из (9.11):

$$f_{3H} / (f_{3H} - f_{3H}) = a_1 / b_1, \quad (9.23)$$

где  $\llbracket 1/6$ , - несократимая дробь;  $a$ , и  $i$ , определяют минимальное число соответственно информационных и служебных символов в цикле передачи, приходящееся на один входной поток. Тогда  $q_c$  и  $q_b$ , где  $q$  — число объединяемых потоков, — соответственно минимальное число информационных и служебных символов  $i$  в цикле передачи. Общее число информационных ( $A$ ) и служебных ( $B$ ) символов в цикле передачи определяется выражениями  $A=iqa$ ;  $B=iqb$  где  $i=1, 2, 3, \dots$ . Минимальное значение  $i$  выбирается из условия

$$i = \lceil (qm + h + d_{cn} + d_k + d_l + d_n) / qb_1 \rceil + 1.$$

2. При построении цикла передачи следует стремиться к тому, чтобы число следующих подряд служебных символов было минимальным, а их распределение в цикле — равномерным. Выполнение первого условия обеспечивает минимизацию объема памяти ЗУ, входящих в блоки асинхронного сопряжения цифровых потоков, а реализация второго условия - лучшее подавление

временных флуктуаций в устройстве ФАПЧ, вызванных неравномерностью передачи информационных символов. Действительно, временные флуктуации подавляются эффективно, когда  $fH = rfu > A/\phi HЧ$ , где  $fn$  — частота следования неравномерностей в групповом потоке;  $\psi$  — число групп информационных символов в цикле передачи с одинаковой степенью неравномерности. При  $L=1$ , когда служебные символы распределены неравномерно в цикле передачи, получаем значение  $i/n$ , наиболее приближающееся к  $A/\phi HЧ$ .

3. Распределение символов синхросигнала и команд согласования скоростей в цикле передачи должно обеспечивать минимальное время восстановления синхронизма и максимальную помехоустойчивость команд согласования скоростей. Обычно формируют сосредоточенный синхросигнал, поскольку время восстановления синхронизма при этом значительно меньше, чем при использовании распределенного синхросигнала. Команды согласования скоростей, напротив, как правило, распределяют равномерно в цикле передачи для уменьшения вероятности их искажения сосредоточенными помехами.

4. Структура цикла должна обеспечивать возможность простого перехода от асинхронного режима работы к синхронному и наоборот. В системах с двусторонним согласованием скоростей такой переход не требует каких-либо изменений в структуре цикла. При переходе от асинхронного режима к синхронному перестают вырабатываться команды согласования скоростей.

В системах с односторонним согласованием скоростей для перехода на синхронный режим работы значение  $i/cч$ ,  $n$  необходимо уменьшить или увеличить (в зависимости от знака согласования скоростей), чтобы  $i/cч$  и  $H=f3$  „. Для сохранения прежнего значения частоты группового цифрового потока нужно, чтобы  $fm$  и  $n+$   $+/сч=соп81$ . Такое изменение  $i/cч$  и  $n$  в системах с положительным согласованием скоростей осуществляется переводом информационных импульсных позиций в разряд служебных, а в системах с отрицательным согласованием скоростей - соответствующим

441

увеличением числа информационных импульсных позиций. При этом  $Uсч$  и  $n$  Должна быть кратна частоте цикла.

5. Длительность цикла должна быть по возможности минимальной, что позволит уменьшить время восстановления синхронизма и временные флуктуации цифрового потока на выходе оборудования сопряжения, а также упростить генераторное оборудование и систему цикловой синхронизации. Рассмотрим в качестве примера структуру цикла оборудования вторичного временного группобразования с двусторонним согласованием скоростей при следующих исходных данных:

Тактовая частота группового сигнала, кГц ..... 8448

Тактовая частота входного сигнала, кГц..... 2048

Число сопрягаемых потоков..... 4

Число корректируемых искаженных символов команды согласования скоростей ..... 1

Среднее время поиска синхросигнала, мс, не более ..... 1,0

В системе с двусторонним согласованием скоростей соотношение числа информационных и служебных символов в цикле передачи на каждый входной поток в соответствии с (9.23) составляет  $a./\>1=2048/[(8448/4)-2048]=32/1$ . Отсюда находим  $dб,=4$ ;  $\#<,=128$ ;  $<7(a,+B,)=132$ . Поскольку  $i=3$ , получаем  $qm=2$ .

Сигналы контроля могут передаваться на позициях, предназначенных для передачи информационных символов, формируемых при отрицательном согласовании скоростей (в моменты, когда отрицательное

согласование не производится), поэтому  $JK=afH=4$ . Выбирая  $йс=й?сл=^д=4$ , находим  $B = 28(/ =7)$ , а  $у4=7-4-32=896$ . Минимизируя число следующих подряд служебных символов и равномерно распределяя их между информационными символами, определяем: число импульсных позиций в цикле  $132-7=924$ ; частота следования циклов  $8448/924=9,1$  кГц; частота следования групп  $8448/132=64$  кГц; частота следования служебных символов в расчете на один входной поток  $64-1=64$  кГц.  $8 =/сч-/сл-/зн= 2112-64-2048=0$ . При такой структуре цикла среднее время поиска СС, вычисленное в соответствии с (8.1), составляет 6,3 мс, что значительно превосходит требуемое значение. Поэтому необходимо увеличить длину СС. Увеличив на единицу значение  $/ (=8)$ , получим  $6=8 5=32, Л=1024$ . При этом число следующих подряд служебных символов, приходящихся на один цифровой поток, равно 2, что приводит к соответствующему возрастанию объема памяти ЗУ Равномерно распределяя служебные символы, получаем следующую структуру цикла передачи (табл. 9.1).

442

Та б л и ца 9.1

Вид передаваемой информации	Номера позиций в цикле	Номер фу и мы в цикле
Синхросигнал	1-8	i
Информационные символы	9-264	
Первые символы команды согласования скоростей	1-4	п
Символы служебной связи	5-8	
Информационные символы	9-264	
Вторые символы команды согласования скоростей	1 -4	in
Символы дискретной информации	5-8	
Информационные символы	9-264	
Третьи символы команды согласования скоростей	1 -4	IV
Информационные символы, формируемые при отрицательном согласовании скоростей, сигналы контроля сигнализации	5-8	
Информационные символы	9-264	

В цикле, представленном данными табл. 9.1, число импульсных позиций в цикле составляет 1056; частота следования циклов  $8448/1056=8$  кГц; частота следования групп  $8448/264=32$  кГц, частота следования служебных символов в расчете на один входной поток  $32-2=64$  кГц;  $5 =/счн-/слн-/зн = 2112 - 64 - 2048 = 0$ ; среднее время поиска синхросигнала 0,625 мс.

#### 9.5. СРАВНЕНИЕ АВГ С ОДНО- И ДВУСТОРОННИМ СОГЛАСОВАНИЕМ СКОРОСТЕЙ

Сравним функциональные возможности и основные параметры АВГ с одно- и двусторонним согласованием скоростей.

Возможность работы в синхронном режиме. Предполагается, что разветвленная цифровая сеть связи будет представлять собой совокупность несинхронизированных между собой синхронных зон. В соответствии с этим АВГ должно обеспечивать возможность работы как в асинхронном, так и в синхронном режиме. Это

требование полностью удовлетворяется в АВГ с двусторонним согласованием скоростей, в котором синхронный режим является частным случаем асинхронного при нулевом значении разности частот записи и считывания. В синхронном режиме не вырабатываются команды согласования скоростей, благодаря чему повышается пропускная способность канала связи и возрастает помехоустойчивость СП из-за отсутствия искажений этих команд. Кроме того, в синхронном режиме АВГ не вносит временные флуктуации в передаваемые цифровые потоки.

Важным является также обеспечение возможности совместной работы на сети связи АВГ с аппаратурой АЦП или цифровой коммутации. Такая возможность может быть реализована только при синхронном режиме работы АВГ.

В АВГ с односторонним согласованием скоростей синхронный режим работы принципиально невозможен из-за заведомого превышения (при положительном согласовании скоростей) частоты считывания над частотой записи. Поэтому, если даже последовательности записи и считывания синхронизированы между собой (квазисинхронный режим работы), в аппаратуре сопряжения с соответствующей периодичностью формируются команды согласования скоростей, для передачи которых требуется такая же пропускная способность, как и при асинхронном режиме. Кроме того, передача этих команд снижает помехоустойчивость аппаратуры сопряжения.

Помехоустойчивость приемников команд согласования скоростей. Аппаратура группообразования с двусторонним согласованием скоростей характеризуется значительно меньшей частотой следования моментов согласования скоростей, чем оборудован; с односторонним согласованием. Поэтому длительность команд согласования в АВГ с двусторонним согласованием может быть выбрана практически сколь угодно большой (что обеспечивая практически неограниченную помехоустойчивость приемник этих команд), тогда как в АВГ с односторонним согласованием возможности увеличения длительности команд согласования существенно ограничены. Так, в АВГ с дву- и односторонним п

444

тасованием скоростей, соответствующим Рекомендациям (7.745 и (7.742 МККТТ, при практически равных длительностях цикла передачи минимальный интервал между моментами согласования скоростей в первом случае составляет более 100 циклов, а во втором — два.

В АВГ с двусторонним согласованием скоростей, как было показано выше, помехоустойчивость приемников команд согласования скоростей может быть повышена путем анализа структуры команд согласования без увеличения их длительности. При соответствующем усложнении приемников команд согласования скоростей могут исправляться не только одиночные, но и двоянные, строенные и т. д. искажения этих команд.

Таким образом, отличительной чертой АВГ с двусторонним согласованием скоростей является возможность практически неограниченного повышения помехоустойчивости команд согласования скоростей.

Устойчивость к "размножениям" сбоев цикловой синхронизации. При сбое цикловой синхронизации в ЦСП л-й ступени иерархии на вход приемников команд согласования скоростей этой системы поступают случайные последовательности символов, вызывающие ложные согласования скоростей. Последние приводят к сбоям цикловой синхронизации в компонентных ЦСП (п - 1)-го порядка. Таким образом происходит "размножение" сбоев цикловой синхронизации.

Предотвращение размножения сбоев из-за ложных коррекций длительности цикла в системах с двусторонним согласованием скоростей может быть обеспечено блокировкой приемников команд согласования скоростей на время сбоя цикловой синхронизации, в результате чего ложная коррекция не производится. Однако и в данном случае возможно размножение сбоя синхронизации, если во время сбоя в передающем устройстве осуществляется согласование скоростей. В системах с двусторонним согласованием за время сбоя синхронизации может быть сформировано не более одной команды согласования скоростей. При этом информация об однократном согласовании может быть получена в приемном устройстве на основе анализа структуры команд согласования скоростей, аналогичного используемому для повышения помехоустойчивости этих команд.

В системах с односторонним согласованием осуществление подобной коррекции невозможно из-за того, что за время сбоя синхронизации формируется достаточно большое число команд согласования скоростей, которое практически не может быть точно определено в приемном устройстве.

Вносимые временные флуктуации. При использовании в устройстве ФАПЧ в качестве выделителя напряжения, подаваемого

445

на вход ГУН, простого ФНЧ величина временных флуктуации, вносимых аппаратурой с двусторонним согласованием скоростей, значительно больше, чем в аппаратуре с односторонним согласованием скоростей. Однако в аппаратуре с двусторонним согласованием скоростей при передаче в приемное устройство информации о промежуточных значениях ВИ между последовательностями записи и считывания обеспечивается значительно меньшее, чем в оборудовании с односторонним согласованием скоростей.

значение вносимых временных флуктуации (около 1...3 % от тактового интервала).

Эффективность использования пропускной способности группового тракта. В ЦСП с односторонним согласованием в связи с высокой частотой формирования активных команд согласования

скоростей необходима большая пропускная способность канала передачи этих команд, чем в системах с двусторонним согласованием. При равных пропускных способностях каналов коэффициенты их загрузки существенно различаются. Так, если в системах с односторонним согласованием скоростей коэффициент загрузки составляет примерно 0,5, то в системах с двусторонним согласованием он не превышает 0,02. Эта избыточная пропускная способность канала передачи команд согласования скоростей в системах с двусторонним согласованием может использоваться, как уже было показано, для повышения помехоустойчивости

этих команд, уменьшения вносимых временных флуктуации или для работы при значительной нестабильности тактовых частот объединяемых потоков. Кроме того, в ЦСП с положительным односторонним согласованием из-за большего значения частоты считывания, чем в ЦСП с двусторонним согласованием, эффективность использования пропускной способности групповой тракта уменьшается. В системах с двусторонним согласованием необходимо предусмотреть возможность передачи дополнительных информационных символов, формируемых при отрицательном согласовании скоростей. Однако пропускная способность канала, необходимая для передачи этих символов, весьма незначительна. Так, во второй ЦСП, соответствующей Рекомендации (7.745 МККТТ, составляет 0,1 кбит/с, а в третьей ЦСП, соответствующей Рекомендации G.753 МККТТ, 0,3 кбит/с.

Объем аппаратуры. При идентичном построении цикла передачи (примерно одинаковом числе бит в цикле и равном числе следующих подряд служебных символов) большинство узлов АИ с одно- и двусторонним согласованием скоростей практически идентичны (ЗУ, ГО, система цикловой синхронизации, преоб; зователи кодов в приемном и передающем устройствах, устрой<sup>а</sup>

446

ва контроля и сигнализации, питающие устройства и т. д.). Различаются лишь формирователи и приемники команд согласования скоростей, которые оказываются более сложными в системах с двусторонним согласованием. Однако в отличие от систем с односторонним согласованием эти устройства могут реализоваться как групповые для всех объединяемых потоков.

#### 9.6. ОСОБЕННОСТИ АВГ С СИНХРОННЫМ СОПРЯЖЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ

Сопряжение синхронных цифровых потоков представляет собой частный случай сопряжения асинхронных цифровых потоков, при котором частота считывания кратна частоте записи.

При этом импульсные позиции временных сдвигов можно полностью использовать для передачи служебных сигналов, сигналов дискретной информации и др.

Представленная на рис. 9.23 структурная схема аппаратуры сопряжения синхронных цифровых потоков включает в себя q передающих и q приемных блоков синхронного сопряжения (БССпер1 - БССперq) и (БССпр) - БССпр.), в каждом БССпер осу-

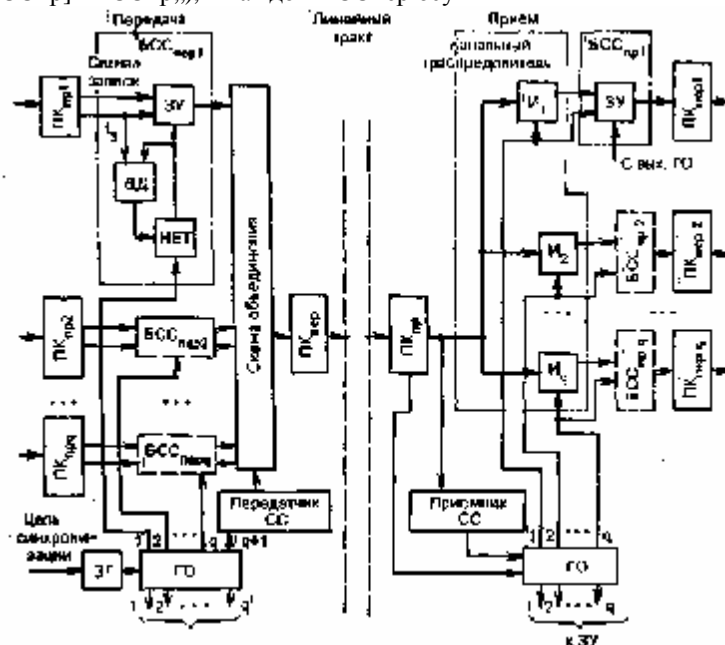


Рис. 9.23. Структурная схема АВГ для одного направления передачи при синхронном сопряжении цифровых потоков

ществляются запись входного потока в ЗУ и считывание сигналов с соответствующего выхода ГО.

Процессом записи управляет импульсная последовательность, вырабатываемая преобразователем кода приема (ПКпр).

Взаимное временное положение сигналов записи и считывания контролируется ВД. Начальная установка сигнала считывания относительно сигнала записи производится таким образом, чтобы импульсы считывания никогда не совпадали с импульсами записи. Считанные импульсные последовательности с выходов БСС<sup>пр</sup>, - БССпер(?, а также синхрокомбинация с выхода передатчика СС через схему объединения

и преобразователь кода передачи (ПК<sup>р</sup>) вводятся в линейный тракт.

Приемное устройство распределяет символы многоканального сигнала между соответствующими БССпр и восстанавливает первоначальную скорость информационного сигнала путем записи его в ЗУ и считывания с частотой, равной частоте этого сигнала на входе аппаратуры объединения. При этом осуществляется равномерное распределение временных сдвигов, сформированных в передающем устройстве.

Отличительные особенности систем синхронного сопряжения цифровых потоков заключаются в следующем. При синхронном режиме работы взаимодействующих систем должна быть введена цепь синхронизации, связывающая задающие генераторы этих систем. Естественно, что в данном случае отпадает необходимость в использовании устройства ФАПЧ в приемном оборудовании. Установка начального временного положения считывающей последовательности относительно сигналов записи производится только при

включении аппаратуры или сбоях ГО. Поэтому временное положение считывающей последовательности может изменяться всегда в одну и ту же сторону, а возможным удлинением процесса установки начального положения можно пренебречь.

В связи с тем, что в процессе работы аппаратуры синхронного сопряжения временное положение считывающей импульсной последовательности не корректируется, в ЗУ должны быть включены дополнительные ячейки памяти, предназначенные для компенсаций максимально возможных временных флуктуации входного цифрового потока.