

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **9206**
(13) **С1**
(46) **2007.04.30**
(51)⁷ **H 04B 3/23,**
H 04J 3/04

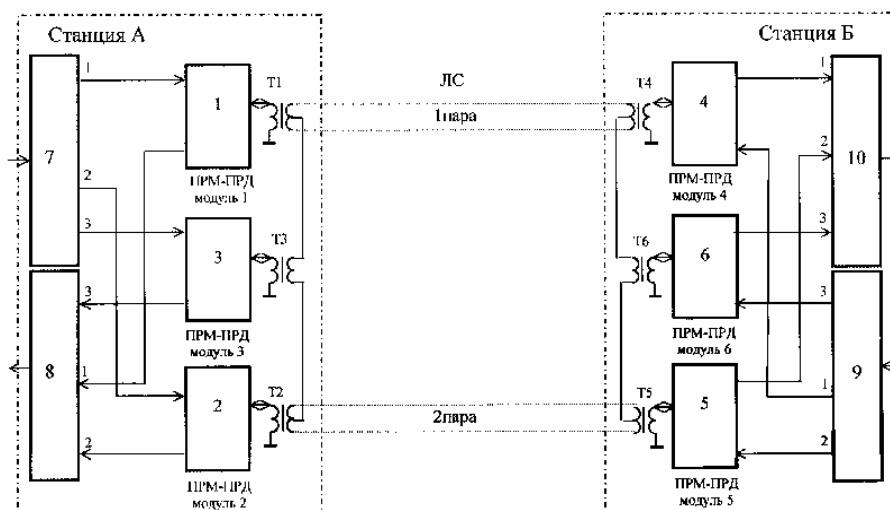
(54) **ЧЕТЫРЕХПРОВОДНАЯ ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ**

(21) Номер заявки: а 20021031
(22) 2002.12.16
(43) 2004.06.30
(71) Заявители: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"; Производственное частное унитарное предприятие "МИКСТ" (ВУ)
(72) Авторы: Кириллов Владимир Иванович; Белко Андрей Иванович; Дубин Валерий Антонович; Соборова Ирина Гевондовна (ВУ)

(73) Патентообладатели: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"; Производственное частное унитарное предприятие "МИКСТ" (ВУ)
(56) Кириллов В.И. Расчет длины регенерационного участка для ЦСП по технологиям HDSL и SDSL // Электросвязь. - 2001. - № 10. - С. 20-23.
SU 1741277 A1, 1992.
SU 1626411 A1, 1991.
SU 1594578 A1, 1990.
EP 0288675 A2, 1988.
US 4236244 A, 1980.

(57)

Четырехпроводная цифровая система передачи, содержащая две оконечные станции, соединенные между собой четырехпроводной кабельной линией связи, причем каждая станция содержит два однотипных приемопередающих модуля, каждый из которых выполнен с цифровым входом, цифровым выходом и линейным входом-выходом, отличающаяся тем, что каждая станция содержит дополнительно третий приемопередающий модуль, три линейных трансформатора, устройство разделения полного цифротока на



Фиг. 3

ВУ 9206 С1 2007.04.30

ВУ 9206 С1 2007.04.30

три подпотока, устройство объединения трех подпотоков в полный цифрпоток, причем на каждой из станций вторичные обмотки первого и второго линейных трансформаторов подключены к первой и второй парам четырехпроводной линии связи соответственно, средние точки вторичных обмоток первого и второго линейных трансформаторов подключены ко вторичной обмотке третьего линейного трансформатора, первый, второй и третий выходы устройства разделения соединены с цифровыми входами первого, второго и третьего приемопередающих модулей соответственно, цифровые выходы которых соединены с одноименными входами устройства объединения, а линейные входы-выходы подключены к первичным обмоткам одноименных линейных трансформаторов, при этом вход устройства разделения и выход устройства объединения являются соответственно входом и выходом полного цифрпотoka на станции.

Областью применения предлагаемого устройства является техника цифровой связи, где оно может быть использовано в качестве цифровой системы передачи (ЦСП), работающей по четырехпроводной линии связи (абонентской или межстанционной соединительной).

Известна четырехпроводная цифровая система передачи (аналог) с квазитроичным линейным сигналом, использующая каждую пару для передачи сигнала только в одном направлении (фиг. 1) [1, 2].

Аналог состоит из двух станций А и Б, соединенных между собой четырехпроводной линией связи (ЛС). Каждая станция состоит из двух модулей: передающего (ПРД) и приемного (ПРМ). При этом ПРД модуль станции А (станции Б) - это первый формирователь линейного сигнала 1 (второй формирователь линейного сигнала 6), а ПРМ модуль включает первый корректирующий усилитель 2 (второй корректирующий усилитель 5) и первое решающее устройство 3 (второе решающее устройство 4).

Работа аналога в одном из направлений передачи (например, А-Б) заключается в следующем: исходный цифровой поток поступает на вход первого формирователя линейного сигнала, осуществляющего преобразование исходного цифрового потока в квазитроичный линейный код (например, АМІ или HDB), который поступает на вход линии связи. С выхода линии связи приходящий сигнал через корректирующий усилитель, который осуществляет его усиление и коррекцию неравномерности частотной характеристики затухания кабельного тракта, поступает на вход решающего устройства. Решающее устройство - это пороговый компаратор, осуществляющий принятие решение об амплитуде и знаке импульсов сигнала, который поступает на его вход. На выходе решающего устройства формируется принятый цифровой поток направления А-Б.

Передача сигнала в обратном управлении Б-А осуществляется аналогично.

Недостатками аналога являются значительное затухание сигнала в линии связи и высокий уровень помех от переходных влияний соседних пар на ближний конец, которые обусловлены высокой частотой передачи символов (символьной частотой) линейного сигнала f_c , равной тактовой частоте исходного цифрового потока f_i . При этом влияющими являются как "своя", вторая пара, по которой работает рассматриваемая ЦСП, так и пары других параллельно работающих на этом кабеле ЦСП. Вследствие этого, как показывает анализ, существенно снижается предельная длина участка регенерации. Это подтверждает табл. 1, где приведены предельные длины регенерационных участков для ЦСП, работающих по кабелям типа КСПП-1,2 и ТПП-0,4 с разными скоростями передачи для случаев параллельной работы по одному кабелю одной, двух, трех и четырех однотипных систем [1, 2].

Предельная длина участка регенерации для различных режимов работы аналога предлагаемого устройства

Скорость, кбит/с	Кол-во ЦСП	Длина регенерационного участка, км, для кабеля	
		Кабель КСПП-1,2	Кабель ТПП-0,4
2320	1	4,0	2,1
	2	3,7	1,97
	3	3,5	1,9
	4	3,3	1,85
1168	1	6,4	3,23
	2	5,95	3,05
	3	5,7	2,95
	4	5,5	2,88
784	1	7,65	3,8
	2	7,1	3,6
	3	6,8	3,5
	4	6,55	3,4
512	1	10,1	4,95
	2	9,4	4,7
	3	9,0	4,55
	4	8,75	4,45
256	1	15,7	7,5
	2	14,75	7,15
	3	14,25	6,95
	4	13,8	6,8

Наиболее близким техническим решением (прототипом) к предлагаемому устройству является ЦСП с линейным сигналом, образованным методами многоуровневой амплитудно-импульсной модуляции, которая работает по двум парам кабеля и осуществляет передачу по каждой из них в одной полосе частот в разных направлениях с использованием дифференциальных систем и адаптивных эхокомпенсаторов (фиг. 2) [1, 2]. Преимуществом такого решения является возможность снижения символьной частоты линейного сигнала f_c в 2^n раз за счет использования 2^n -уровневого линейного кодирования и разделения исходного цифротока на два равноскоростных подпотока. Это позволяет значительно снизить мощность помех от переходных влияний и увеличить длину участка регенерации при параллельной работе нескольких однотипных ЦСП по парам одного кабеля [1, 2].

Прототип состоит из двух оконечных станций, соединенных между собой четырехпроводной кабельной линией связи, причем каждая станция содержит устройство объединения двух подпотоков в полный цифрпоток, устройство разделения полного цифротока на два подпотока и два однотипных приемопередающих (ПРМ-ПРД) модуля, каждый из которых имеет три окончания (цифровой вход, цифровой выход и линейный вход/выход) и включает в себя амплитудно-импульсные модулятор и демодулятор, дифференциальную систему, корректирующий усилитель и адаптивный эхокомпенсатор.

Структурная схема прототипа представлена на фиг. 2, при этом в состав станции А (станции Б) входят: устройство разделения 21 (24); устройство объединения 22 (23); первый и второй (третий к четвертый) ПРМ-ПРД модули.

В состав первого ПРМ-ПРД модуля входят функциональные блоки с 1 по 5, в состав второго - с 11 по 15, в состав третьего - с 6 по 10, в состав четвертого - с 16 по 20. При этом для первого и второго ПРМ-ПРД модуля станции А (третьего и четвертого ПРМ-

ВУ 9206 С1 2007.04.30

ПРД модулей станции Б) функциональные блоки нумеруются соответственно следующим образом: амплитудно-импульсные модуляторы - 1 и 11 (10 и 20), амплитудно-импульсные демодуляторы - 2 и 12 (9 и 19), дифференциальные системы - 5 и 15 (6 и 16), корректирующие усилители - 4 и 14 (7 и 17), адаптивные эхокомпенсаторы - 3 и 13 (8 и 18).

Работа прототипа в одном из направлений передачи (например, А-Б) заключается в следующем: исходный цифровой поток поступает на вход первого устройства разделения 21, которое делит его на два равноскоростных подпотока, состоящих из четных и нечетных битов исходного цифрового потока. Полученные подпотоки с первого и второго выходов первого устройства разделения 21 поступают соответственно на входы амплитудно-импульсных модуляторов 1 и 11, которые представляют собой цифроаналоговые преобразователи, формирующие из двоичных подпотоков многоуровневые импульсные сигналы в линейном коде $nB1Z$, где $Z = 2^n$, n - число двоичных разрядов исходного цифрового потока, заменяемых одним многоуровневым символом Z -уровневого линейного сигнала. Линейные сигналы с выхода амплитудно-импульсных модуляторов 1 и 11 через соответствующие дифференциальные системы 5 и 15 поступают на вход первой и второй кабельных пар линии связи соответственно.

С выхода первой и второй пар приходящие сигналы через дифференциальные системы 6 и 16 поступают соответственно на входы корректирующих усилителей 7 и 17, которые осуществляют усиление сигналов и компенсацию неравномерности частотной характеристики затухания линии связи. Далее адаптивные эхокомпенсаторы 8 и 18 осуществляют компенсацию в сигнале, поступившем на вход каждого из них, составляющей помехи от эхосигнала. Помеха от эхосигнала представляет собой отраженный сигнал противоположного направления передачи, обусловленный несогласованностью соответствующей дифференциальной системы с кабельной парой линии связи. С выходов адаптивных эхокомпенсаторов 8 и 18 каждая из принятых импульсных последовательностей преобразуется в соответствующем амплитудно-импульсном демодуляторе 9 и 19, которые выполняют функции аналого-цифровых преобразователей, в принятый первый и второй цифровые подпотоки. Из последних в устройстве объединения 23 формируется полный цифровой поток.

Передача сигнала в обратном направлении Б-А осуществляется аналогично.

Достоинством прототипа является возможность увеличения предельной длины регенерационного участка при одновременной работе на одном кабеле большего числа ЦСП. Это подтверждает табл. 2, где приведены предельные длины регенерационных участков для ЦСП, работающих по кабелям типа КСПП-1,2 и ТПП-0,4 с разными скоростями передачи и линейными сигналами $nB1Z$ с разными значениями n для случаев параллельной работы по одному кабелю одной, двух, трех и четырех систем [1, 2]. Например, при работе по кабелю ТПП четырех однотипных систем передачи со скоростью 784 кбит/с с линейными кодами соответственно АМІ и 2В1Q (вариант кода $nB1Z$ при $n = 2$) из табл. 1 и 2 имеем соответственно предельные длины регенерационных участков 3,4 км и 8,2 км. По схеме прототипа разработана и внедрена ЦСП типа HDSL, для которой разработаны и выпускаются специализированные комплекты интегральных микросхем, выполняющие функции разделения-объединения, цифроаналогового и аналого-цифрового преобразований, усиления, коррекции и адаптивной эхокомпенсации линейного сигнала в коде 2В1Q [4].

Предельная длина участка регенерации для различных режимов работы прототипа предлагаемого устройства

Скорость, кбит/с	Кол-во ЦСП	Длина регенерационного участка, км, для линейного кода и типа кабеля									
		Кабель КСПП-1,2					Кабель ГПП-0,4				
		n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6
2320	1	9,85	11,2	11,5	11,4	10,5	4,85	5,6	5,95	6,1	6,0
	2	8,8	9,8	10,0	9,6	8,6	4,45	5,1	5,4	5,5	5,25
	3	8,3	9,2	9,3	8,75	7,6	4,3	4,85	5,1	5,1	4,9
	4	8,0	8,75	8,8	8,2	7,0	4,2	4,7	5,0	5,0	4,7
1168	1	15,3	17,5	18,4	18,3	17,4	7,35	8,5	9,2	9,4	9,3
	2	13,9	15,6	16,2	15,9	14,8	6,8	7,8	8,4	8,6	8,4
	3	13,25	14,8	15,2	14,8	13,3	6,55	7,5	8,0	8,1	7,9
	4	12,75	14,25	14,6	14,0	12,5	6,4	7,3	7,8	7,8	7,6
784	1	19,7	22,5	23,8	24,0	23,1	4,3	10,8	11,7	12,1	12,1
	2	17,9	20,25	21,2	21,0	19,8	8,65	10,0	10,75	11,0	10,8
	3	17,1	19,25	20,0	19,6	18,1	8,35	9,6	10,3	10,5	10,3
	4	16,55	18,7	19,2	18,8	17,1	8,2	9,4	10,0	10,2	10,0
512	1	25,7	29,5	31,3	31,8	30,8	12,0	14,0	15,2	15,75	15,75
	2	23,5	26,8	28,1	28,2	26,7	11,2	13,0	14,0	14,4	14,3
	3	22,4	25,5	26,7	26,3	25,0	10,8	12,5	13,4	13,8	13,6
	4	21,7	24,7	25,8	25,3	23,6	10,6	12,25	13,1	13,4	13,2
256	1	39,2	45,25	48,5	49,7	48,9	18,1	21,1	23,0	24,0	24,3
	2	36,2	41,5	44,1	44,5	43,5	16,9	19,75	21,3	22,2	22,25
	3	34,8	39,6	42,0	42,3	40,7	16,4	19,0	20,6	21,3	21,3
	4	33,8	38,5	40,8	40,7	39,0	16,1	18,6	20,1	20,8	20,7

Недостатком прототипа является недостаточная в ряде случаев длина участка регенерации l_p , что заставляет искать новые технические решения.

Задачей изобретения является увеличение пропускной способности четырехпроводной кабельной линии связи и увеличение предельной длины участка регенерации l_p .

Решение поставленной задачи достигается за счет того, что предлагается четырехпроводная цифровая система передачи, содержащая две оконечные станции, соединенные между собой четырехпроводной кабельной линией связи, причем каждая станция содержит два однотипных приемопередающих модуля, каждый из которых выполнен с цифровым входом, цифровым выходом и линейным входом-выходом, отличающаяся тем, что каждая станция содержит дополнительный третий приемопередающий модуль, три линейных трансформатора, устройство разделения полного цифрового потока на три подпотока, устройство объединения трех подпотоков в полный цифровой поток, причем на каждой из станций вторичные обмотки первого и второго линейных трансформаторов подключены к первой и второй парам четырехпроводной линии связи соответственно, средние точки вторичных обмоток первого и второго линейных трансформаторов подключены ко вторичной обмотке третьего линейного трансформатора, первый, второй и третий выходы устройства разделения соединены с цифровыми входами первого, второго и третьего приемопередающих модулей соответственно, цифровые выходы которых соединены с одноименными входами устройства объединения, а линейные входы-выходы подключены к первичным обмоткам одноименных линейных трансформаторов, при этом вход устройства разделения и выход устройства объединения являются соответственно входом и выходом полного цифрового потока на станции.

ВУ 9206 С1 2007.04.30

Сущность изобретения заключается во введении в состав ЦСП дополнительной подсистемы двухсторонней однополосной цифровой передачи, которая работает по определенным образом сформированной фантомной цепи в составе четырехпроводной линии связи. При этом не нарушается режим работы двух других основных подсистем ЦСП, каждая из которых работает по своей физической паре этой четырехпроводной линии. Также не изменяется количество других ЦСП, работающих на соседних парах кабеля.

Решение задачи поясняется следующими чертежами: фиг. 1 - структурное построение аналога предлагаемого устройства; фиг. 2 - структурное построение прототипа предлагаемого устройства; фиг. 3 - структурное построение предлагаемого устройства.

На фиг. 3 представлена структурная схема предлагаемого устройства, где обозначены: блоки 1, 2, 3 - соответственно первый, второй и третий приемопередающие модули станции А; блоки 4, 5, 6 - соответственно первый, второй и третий приемопередающие модули станции Б; блоки 7 и 8 - соответственно устройство разделения полного цифротока на три подпотока и устройство объединения трех подпотоков в полный цифротока на станции А; блоки 9 и 10 - соответственно устройство разделения полного цифротока на три подпотока и устройство объединения трех подпотоков в полный цифротока на станции Б; Т1, Т2 и Т3 - соответственно первый, второй и третий линейные трансформаторы на станции А; Т4, Т5 и Т6 - соответственно первый, второй и третий линейные трансформаторы на станции Б.

Предлагаемое устройство состоит из двух оконечных станций, каждая из которых содержит: устройство объединения трех подпотоков в полный цифротока, устройство разделения полного цифротока на три подпотока, три линейных трансформатора, два из которых имеют вторичную обмотку с отводом от средней точки, а также три идентичных приемопередающих (ПРМ-ПРД) модуля, каждый из которых имеет три окончания (цифровой вход, цифровой выход и линейный вход-выход) и включает в себя амплитудно-импульсный модулятор, амплитудно-импульсный демодулятор, дифференциальную систему, корректирующий усилитель и адаптивный эхокомпенсатор.

Предлагаемое устройство работает следующим образом: в одном из направлений передачи (например, А-Б) исходный цифровой поток поступает на вход первого устройства разделения 7, которое делит его на три подпотока. Полученные подпотоки с первого, второго и третьего выходов устройства разделения 7 поступают соответственно на цифровые входы ПРМ-ПРД модулей 1, 2 и 3. Далее с линейных входов-выходов ПРМ-ПРД модулей 1 и 2 полученные сигналы через линейные трансформаторы Т1 и Т2 подаются на вход первой и второй кабельных пар линии связи соответственно, а с линейного входа-выхода ПРМ-ПРД модуля 3 через линейный трансформатор Т3 - в средние точки вторичных обмоток линейных трансформаторов Т1 и Т2.

С выхода первой и второй пар приходящие сигналы через линейные трансформаторы Т4 и Т5 поступают соответственно на линейные входы-выходы ПРМ-ПРД модулей 4 и 5, а со средних точек вторичных обмоток трансформаторов Т4 и Т5 через линейный трансформатор Т6 - на линейный вход-выход ПРМ-ПРД модуля 6. На цифровых выходах ПРМ-ПРД модулей 4, 5 и 6 формируются три принятых подпотока. Из последних в устройстве объединения 10 формируется полный цифровой поток направления передачи А-Б.

Передача сигнала в обратном направлении Б-А осуществляется аналогично.

Предельная длина регенерационного участка для предлагаемого устройства при одновременной работе на кабеле нескольких однотипных ЦСП будет определяться предельной длиной, которая обеспечивается первым и вторым ПРМ-ПРД модулями по соответствующим парам кабеля с учетом имеющейся защищенности от переходных влияний на ближний конец. Для третьего ПРМ-ПРД модуля защищенность обусловлена только собственными шумами, поэтому она слабее влияет на длину участка регенерации всей системы передачи.

ВУ 9206 С1 2007.04.30

Технико-экономическая эффективность предлагаемого устройства определяется увеличением пропускной способности четырехпроводной кабельной линии связи и увеличением предельной длины участка регенерации. По сравнению с представленным прототипом заявляемое устройство всегда обеспечивает выигрыш по основным показателям качества - пропускной способности (скорости передачи V) и длине участка регенерации l_p . При этом показатели заявляемого устройства V_2 и l_{p2} относительно показателей прототипа V_1 и l_{p1} могут принимать разные значения в зависимости от решаемой задачи. Так, если ставится задача обеспечения $l_{p1} = l_{p2}$, то получим $V_2 = 1,5V_1$, то есть предлагаемое устройство обеспечивает передачу исходного цифрового потока с увеличенной в 1,5 раза скоростью при том же расстоянии между станциями (регенераторами). Если достаточно обеспечить $V_2 = V_1$, то есть прежнюю скорость передачи исходного цифрового потока, то тогда в предлагаемом устройстве каждый ПРМ-ПРД модуль будет работать со скоростью $V_1/3$, тогда как в прототипе он работает со скоростью $V_1/2$. Соответственно при снижении скорости работы каждого модуля в 1,5 раза получаем значительное увеличение длины участка регенерации, то есть $l_{p2} > l_{p1}$. Например, положим $V_2 \approx 1168$ кбит/с. Тогда по каждой паре передается цифровое $V_2/3 \approx 1168/3 \approx 390$ кбит/с. Но такой же цифровое передается в прототипе при скорости $V_1 \approx 784$ кбит/с, так как $V_1/2 \approx 390$ кбит/с. Следовательно, предлагаемое устройство с $V_2 \approx 1168$ кбит/с обеспечивает такую же длину участка регенерации, как прототип с $V_1 \approx 784$ кбит/с. Используя табл. 2 для $n = 2$ и одновременной работе четырех однотипных ЦСП по кабелю ТПП-0,4, получим, что прототип при скорости 1168 кбит/с имеет $l_{p1} = 6,4$ км, а предлагаемое устройство при той же скорости - длину участка l_{p2} такую же, как прототип при скорости 784 кбит/с, т.е. $l_{p2} = 8,2$ км. Соответственно, $l_{p2}/l_{p1} \approx 1,3$. Очевидно для промежуточного случая: $1 \leq V_2/V_1 \leq 1,5$ - всегда будем иметь $1 \leq l_{p2}/l_{p1} \leq 1,3$ - то есть будет выигрыш и по пропускной способности и по длине участка регенерации.

Отметим, что выигрыш в показателях l_p и V особенно существен при использовании одночетверочных кабелей (например, КСПП, МКС, ЗКП и др.), в которых невозможно улучшить эти показатели за счет введения дополнительных ЦСП на соседних парах кабеля. Используя данные табл. 2 для кабеля КСПП-1×4×1,2 и кода 2В1Q ($n = 2$), получим в заявляемом устройстве при работе одной ЦСП с $V_2 \approx 784$ кбит/с длину участка l_p такую же, как для прототипа, работающего со скоростью $V_1 = V_2/1,5 \approx 512$ кбит/с, то есть $l_{p2} = 25,7$ км. Однако, если бы прототип работал с такой же скоростью $V_1 = 784$ кбит/с, то он мог бы обеспечить только $l_{p1} = 19,7$ км. Увеличение длины участка регенерации (с 19,7 до 25,7 км) позволяет уменьшить количество промежуточных регенераторов и соответственно снизить стоимость линейного тракта ЦСП.

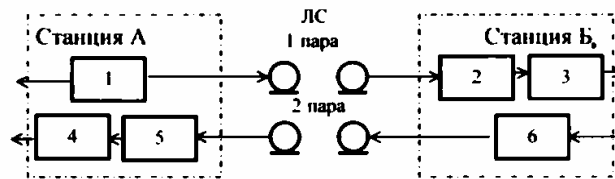
Для одночетверочных кабелей пропускная способность ЦСП и длина участка регенерации могут быть дополнительно улучшены за счет распределения исходного цифрового потока в устройстве разделения не на равные три части (в соотношении 1 : 1 : 1), а в соотношении 1 : 1 : 2. При этом передача по фантомной цепи с помощью введенных ПРМ-ПРД модулей 3 и 6 (фиг. 3) осуществляется со скоростью $V/2$, а по физическим парам (с помощью модулей 1, 4 и 2, 5) - со скоростью $V/4$. Тогда при условии $l_{p1} = l_{p2}$ (оно реализуется, если скорости работы модулей 1, 4 и 2, 5 не меняются) пропускную способность можно увеличить вдвое: $V_2 = 2V_1$, так как $V_2/4 = V_1/2$. Если же $V_1 = V_2$, то l_{p2} может быть значительно больше, чем l_{p1} , так как по физическим парам передача идет со скоростью $V_2/4$, а не $V_1/2$. Используя табл. 2 видно, например, что при передаче со скоростью $V = 2320$ кбит/с по кабелю КСПП-1×4×1,2 и $n = 2$ для ЦСП прототипа имеем $l_{p1} = 9,85$ км, а при использовании заявляемого устройства - $l_{p2} = 15,3$ км, так как по физическим парам передача идет со скоростью $2320/4 \approx 1168/2$ кбит/с. Здесь можно получить выигрыш $l_{p2}/l_{p1} > 1,5$.

Достоверность приведенных сведений подтверждается расчетами, методики и численные результаты которых приведены в [1-3].

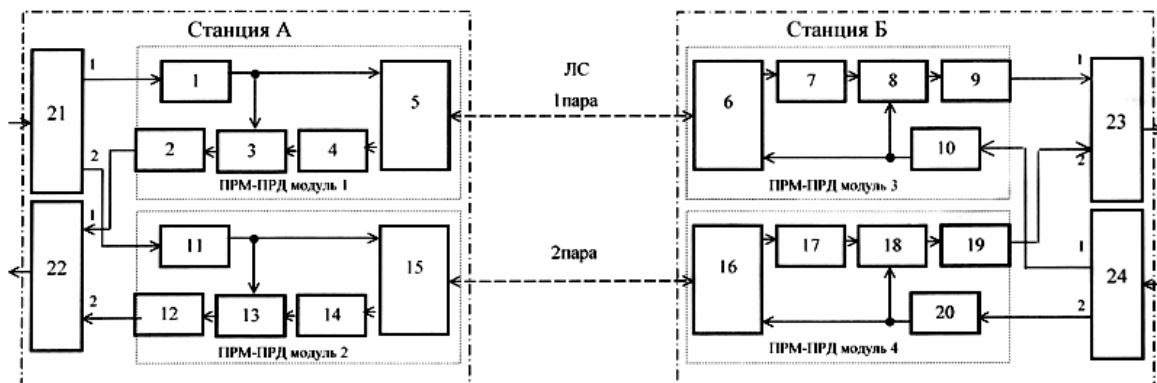
ВУ 9206 С1 2007.04.30

Источники информации:

1. Кириллов В.И., Белко А.И. Анализ эффективности ЦСП по технологии MDSL // Веснік сувязі. - 2001. - № 3. - С. 44-47.
2. Кириллов В.И., Белко А.И. Расчет длины регенерационного участка для ЦСП по технологиям MDSL и SDSL // Электросвязь. - 2001. - № 10. - С. 20-23.
3. Кириллов В.И., Белко А.И. Анализ эффективности ЦСП, использующих линейные сигналы типа CAP(QAM) // Веснік сувязі. - 2002.- № 6. - С. 17-23.
4. Блушке А., Маттевс М., Панченко Н. "Родословная" xDSL или Попытка классификации технологий xDSL для "последней мили" // Технологии и средства связи. - 2000. - № 1. - С. 37-44.
5. Горальски В. Технологии ADSL и DSL: Пер. с англ. - М.: Лори, 2000. - 296 с.
6. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. "Последняя миля" на медных кабелях. - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001. - 219 с.
7. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для "последней мили". - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998. - 146 с.
8. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи: Учебник. - М.: Новое знание, 2002. - 751 с.



Фиг. 1



Фиг. 2