

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Н. Урядов, С. А. Лукашевич

ЛИНЕЙНЫЕ КОДЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Методическое пособие к лабораторной работе
по дисциплинам «Волоконно-оптические системы передачи»
и «Оптические системы передачи» для студентов специальностей
«Многоканальные системы телекоммуникаций» и «Системы радиосвязи,
радиовещания и телевидения»

УДК 621.39(076.5)
ББК 32.811я73
У73

Рецензент:
ассистент кафедры защиты информации БГУИР
Я. В. Рощупкин

Урядов, В. Н.

У73

Линейные коды оптических систем передачи : метод. пособие к лаб. работе по дисц. «Волоконно-оптические системы передачи» и «Оптические системы передачи» для студ. спец. «Многоканальные системы телекоммуникаций» и «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» / В. Н. Урядов, С. А. Лукашевич. – Минск : БГУИР, 2009. – 32 с. : ил.
ISBN 978-985-488-464-6

В пособии изложена методика исследования временных и спектральных характеристик линейных кодов, которые служат для повышения помехоустойчивости оптических информационных систем.

УДК 621.39(076.5)
ББК 32.811я73

ISBN 978-985-488-464-6

© Урядов В. Н., Лукашевич С. А., 2009
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

ЛИНЕЙНЫЕ КОДЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить линейные коды, применяемые в оптических системах передачи (ОСП).

1.2. Исследовать временные и спектральные характеристики линейных кодов оптических систем передачи.

2. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

2.1. Изучить инструкцию по технике безопасности.

2.2. Изучить схему лабораторной установки, ознакомиться с правилами эксплуатации приборов.

2.3. Ознакомиться с линейными кодами, применяемыми в ОСП, с требованиями к ним и характеристиками кодов.

2.4. Исследовать временные характеристики линейных кодов.

2.5. Исследовать спектральные характеристики линейных кодов ОСП.

2.6. Рассчитать избыточность, диспаратетность, цифровую длину кодового слова, максимальное значение последовательных одинаковых по амплитуде символов, ширину спектра линейных кодов.

3. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Оптическое волокно как среда передачи сигнала, а также оптоэлектронные компоненты оптического передающего и приемного устройств налагают ограничения на характеристики цифрового сигнала, поступающего в линейный тракт волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), поэтому этот сигнал подвергается перекодированию с помощью преобразователя кода в так называемый «код в линии» (линейный код).

Выбор кода – сложная и чрезвычайно важная проблема, от правильного решения которой зависят технико-экономические показатели приемопередающей аппаратуры и проектируемой системы в целом.

К кодам цифровых ВОСП предъявляются следующие требования:

1. Энергетический спектр кода в линии должен иметь минимальное содержание НЧ- и ВЧ-компонентов. Ограничение спектра в области нижних частот вызвано требованием безыскаженной передачи в усилителе переменного тока фотоприемника принимаемого сигнала. В противном случае для реализации оптимальных условий приема перед решающим устройством регенератора необходимо вводить дополнительное устройство, предназначенное для восстановления НЧ-составляющей. Это усложняет оборудование линейного тракта и увеличивает его стоимость. Существует еще одна причина, по которой необходимо уменьшить уровень НЧ-составляющей спектра. Оптическая мощность, излучаемая полупроводниковым лазерным диодом, зависит от окружающей тем-

пературы, но ее можно стабилизировать введением отрицательной обратной связи по среднему значению излучаемой мощности только в том случае, когда отсутствует НЧ-часть спектра, изменяющаяся во времени под действием передаваемого информационного сигнала. В ином случае в цепи отрицательной обратной связи должно быть предусмотрено специальное устройство, компенсирующее эти изменения. Это также приводит к усложнению и удорожанию схемы оптического передатчика.

2. Код не должен налагать какие-либо ограничения на передаваемое сообщение и обеспечивать однозначную передачу любой последовательности единиц и нулей. Это требование формулируется как «независимость процесса кодирования источника информации».

3. Код в линии должен содержать информацию о тактовой частоте передаваемого сигнала. В приемнике эта информация используется для восстановления фазы и частоты колебания, необходимого для управления процессом принятия решения пороговыми устройствами регенераторов. Осуществить выделение тактовой частоты тем проще, чем больше число переходов уровня в цифровом сигнале, т. е. 10 или 01. В наилучшем случае энергетический спектр цифрового сигнала должен иметь дискретную составляющую на тактовой частоте. Если это условие не выполняется, то приходится вводить предварительную нелинейную обработку информационной цифровой последовательности.

4. Статистические характеристики цифровых сигналов в линиях не должны быть произвольными для обеспечения устойчивой работы регенераторов, в частности, должно быть ограничено максимальное число последовательностей символов одного уровня или одной амплитуды.

5. Структура цифрового сигнала в линии должна позволять организовывать контроль ошибок в регенераторах. Кодеры и линейного тракта, а также устройства контроля ошибок должны быть простыми в схемном отношении, иметь низкое потребление электроэнергии.

6. Код в линии должен иметь ограниченное число уровней передачи, что вызвано нелинейностью модуляционных характеристик и температурной зависимостью излучаемой оптической мощности лазерных диодов.

7. Желательно, чтобы код в линии позволял обеспечить передачу сервисных сигналов.

Для улучшения статистических свойств цифровых сигналов в ВОСП всегда используется скремблирование.

Реализация всех перечисленных требований к кодам в линиях осуществляется введением избыточности. Для двухуровневых кодов введение избыточности осуществляется увеличением тактовой частоты. При сохранении значений тактовой частоты или ее снижении избыточность вводится увеличением числа уровней передаваемого сигнала, т. е. использованием многоуровневых кодов.

Для характеристики кодов в линиях используются следующие параметры.

Избыточность R, рассчитываемая по формуле

$$R = \frac{F_{Т.л} \log_2(L) - F_T \log_2(m)}{F_{Т.л} \log_2(L)},$$

где F_T – тактовая частота информационного цифрового сигнала на входе кодера линейного тракта (или выходе декодера);

m – число разрешенных уровней входного сигнала;

$F_{Т.л}$ – тактовая частота информационного цифрового сигнала на выходе кодера линейного тракта (или входе декодера линейного тракта), т. е. в линии передачи;

L – число разрешенных уровней выходного сигнала.

Цифровая сумма D , накопленная или текущая, определяемая алгебраической суммой амплитуд символов (b_i) от момента времени, равного нулю, до момента наблюдения минус среднее значение сигнала (B_0), отнесенная к абсолютному значению разности соседних по величине уровней символов цифрового сигнала (Δ):

$$D_n = \frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^n (b_i - B_0).$$

Для анализа бинарных сигналов в ряде работ используется «диспаритетность», которая определяется разностью единиц и нулей цифрового сигнала в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т. При расчете диспаритетности бинарных сигналов следует число единиц умножить на вес одной единицы, равный $+0,5$, а число нулей – на вес одного нуля, равный $-0,5$. При таком расчете диспаритетности цифрового сигнала, содержащего нули и единицы, ее значение совпадает со значением цифровой суммы реализации этого же цифрового сигнала, содержащего -1 и $+1$.

Для анализа бинарных сигналов используется диспаритетность кодовых слов.

Цифровая сумма d кодового слова или кодовой группы определяется по формуле

$$d_n = \sum_{l=-\infty}^k D_{nk},$$

где n – число элементов блока;

l – порядковый индекс;

k – индекс текущего блока.

Число значений текущей диспаритетности $S(D)$. Чем больше эта величина, тем больше НЧ-составляющая спектральной плотности мощности цифрового сигнала.

Максимальное число l последовательных одинаковых по амплитуде символов. Для бинарных сигналов это максимальное число $l(1)$ последовательных единиц и максимальное число $l(0)$ последовательных нулей.

Все коды в линиях могут быть реализованы последовательностями импульсов определенной амплитуды, формы (прямоугольной и др.) и длительности (формат *RZ* – с возвращением к нулю и формат *NRZ* – с невозвращением к нулю).

В цифровых оптических системах с модуляцией по интенсивности в основном используются двухуровневые коды. Предложен целый ряд кодов класса *mBnB*, предназначенных для передачи в линиях связи со скоростями несколько десятков мегабит в секунду. Некоторые из них были разработаны специально для оптических систем передачи 2, 8, 34 Мбит/с. К таким кодам относятся:

СМI, *СМI-2* (*ДМI*), *СМI-3*, Код Миллера, *1В2В*, *ВIФ*. *СМI-1* или просто *СМI* (*coded mark inversion*) *СМI-2* или *ДМI* (*differential mark inversion*) и *СМI-3*. Они характеризуются увеличением скорости передачи в линии в 2 раза. Их особенностью является то, что единицы информационного сигнала передаются чередованием комбинаций символов 11 и 00. Различие алгоритмов формирования кодов *СМ*, *ДМ* и *СМI-3* состоит в особенности передачи нулей информационного сигнала. В *СМI-1* нули информационного сигнала всегда передаются комбинацией символов 01; в *ДМI* – комбинацией 01, если предшествующий символ 1 и 10, если 0; в *СМI-3* – комбинацией 01, если предшествующий символ был 0 и 10, если 1. Цифровые последовательности указанных кодов приведены в табл. 1 (вероятность нуля или единицы во всех кодах одинакова).

Таблица 1

Порядок формирования последовательностей сигналов в ВОСП

Наименование кода	Входная последовательность											
	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
	Последовательности сигналов в линии											
<i>СМI</i>	11	01	01	00	11	00	01	01	01	11	01	00
<i>СМI-2 (ДМI)</i>	11	01	01	00	11	00	10	10	10	11	01	00
<i>СМI-3</i>	11	10	01	00	11	00	01	10	01	11	10	00
Код Миллера	10	00	11	10	01	10	00	11	00	01	11	10
<i>1В2В</i>	11	01	01	00	11	00	10	10	10	11	01	00
<i>ВIФ</i>	10	01	01	10	10	01	01	01	10	01	01	10
<i>ВI-4</i>	10	01	01	10	10	10	01	01	01	10	01	10

Коды *АМI* удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к кодам в линии цифровой ВОСП. Единственным недостатком является увеличение тактовой частоты в линии вдвое, поэтому обычно они применяются в низкоскоростных системах передачи на небольшие расстояния.

При использовании кода Миллера скорость передачи увеличивается вдвое из-за увеличения в 2 раза тактовой частоты. В коде Миллера единица передается кодовой комбинацией 01, если предыдущий символ в цифровом сигнале в линии был нулем, и 10, если единицей. Таким образом, передача единицы всегда сопровождается изменением состояния сигнала в линии. Ноль передается группой «00», если предшествующий символ в цифровом сигнале в линии был нулем (при передаче I), и II, если единицей. Два нуля передаются группами 0011 или 1100 и т. д., т. е. при передаче серии последовательных нулей изменение состояния выходного сигнала возможно только в конце периода действия входного сигнала. Код Миллера так же, как *СМI-3*, характеризуется более узким энергетическим спектром (рис. 1). Цифровая последовательность для кода Миллера приведена в табл. 1.

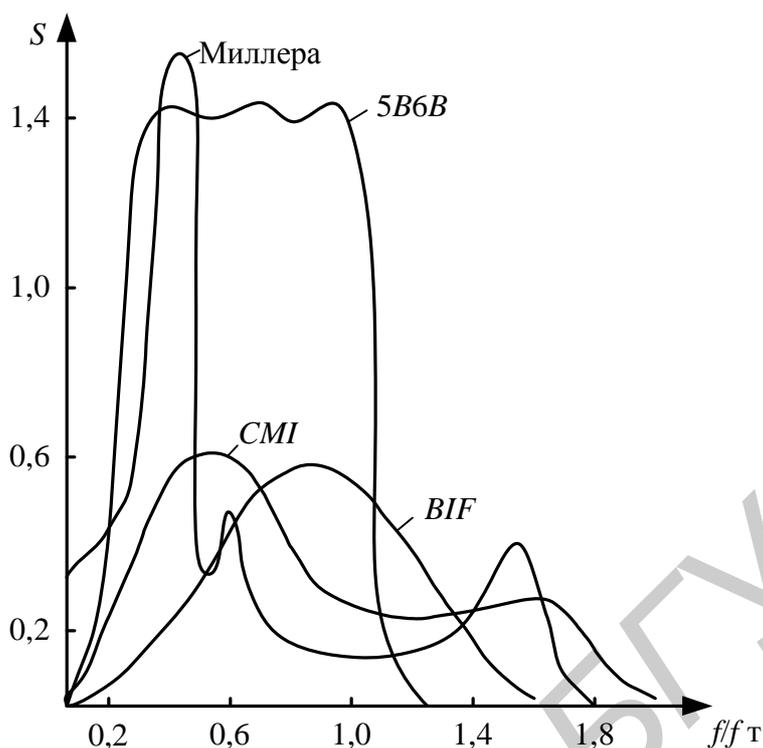


Рис. 1. Энергетические спектры линейных кодов

Код $1B2B$ относится к так называемым блочным кодам, он имеет по сравнению с другими блочными кодами наибольшую избыточность. Примером реализации цифровой последовательности этого кода может служить табл. 1, т. к. код $1B2B$ имеет такой же порядок формирования кода в линии, как и код $CMI-II$ (DMI), поэтому основные параметры этих кодов также совпадают. При формировании кода $1B2B$ переключение состояний кодера линейного тракта, соответствующих различным алфавитам, осуществляется в том случае, когда диспаратность кодовой группы кода $1B2B$ не равна нулю. Контроль ошибок в регенераторах можно осуществить по контролю величины текущей диспаратности.

В цифровых ВОСП большой скорости получили применение блочные коды, такие, как $2B3B$, $5B6B$, $7B8B$ и другие, в которых $m > 1$, а $n = m + 1$ или $n = m + 2$. Эти коды формируют более сложные кодеры, чем кодеры кода $1B2B$, но вводимая избыточность при этом меньше 0,5, т. е. эти коды не требуют увеличения тактовой частоты в линии в 2 раза, что позволяет при тех же требованиях к сигналам на входе решающих устройств регенераторов увеличить длины регенерационных участков. Таким образом, за счет усложнения кодеров и декодеров линейного тракта можно снизить стоимость ВОСП, уменьшая стоимость аппаратуры линейных трактов.

В табл. 2 и 3 приведены кодовые карты модификаций кодов $2B3B$ (альтернативного и *low density* соответственно), предназначенных для цифровых ВОСП. Представляет интерес код $2B3B$, разработанный с целью снижения мощности излучения передатчика, поскольку вероятность появления единиц у этого кода равна 0,33.

Таблица 2

Карта альтернативного кода 2B3B

<i>a</i>	Алфавит 1		Алфавит 2	
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
00	001	-0,5	110	+0,5
01	010	-0,5	011	+0,5
10	100	-0,5	101	+0,5
11	000	-1,5	111	+1,5

Таблица 3

Карта кода low density 2B3B

<i>a</i>	Алфавит 1		Алфавит 2	
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
00	001	-0,5	001	-0,5
01	010	-0,5	010	-0,5
10	100	-0,5	100	-0,5
11	110	+0,5	000	-1,5

Одиночные ошибки в цифровых линейных трактах при использовании блочных кодов $mBnB$ при $m > 2$ приводят к появлению одной, а иногда и большего числа ошибок в информационном сигнале на выходе декодера линейного тракта. Для кода 3B4B коэффициент размножения ошибок равен 1,5. Контроль ошибок в регенераторах может быть реализован по контролю величины текущей дискретности или по контролю величины спектральных составляющих кода на частотах вблизи нуля.

В табл. 4 приведены кодовые карты модификаций кодов 5B6B, составленным по двум алгоритмам (1 и 2). Кодовая карта кода 5B6B по алгоритму 1 получена по правилам составления альтернативных кодов, а в другом случае 2 – произвольно. Однако выходные группы для этих кодов одинаковы, поэтому приведенные далее параметры кодов идентичны.

Таблица 4

Карты кодов 5B6B

<i>a</i>	По алгоритму [19]				По алгоритму [11]			
	Алфавит 1		Алфавит 2		Алфавит 1		Алфавит 2	
	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
00000	010100	-1	101011	1	101000	-1	010111	+1
00001	011100	0	011100	0	011000	-1	100111	+1
00010	110001	0	110001	0	100100	-1	011011	+1
00011	101001	0	101001	0	000111	0	000111	0
00100	011010	0	011010	0	010100	-1	101011	+1
00101	010011	0	010011	0	001011	0	001011	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
00110	101100	0	011010	0	001101	0	001101	0
00111	000110	-1	111001	+1	001110	0	001110	0
01000	100110	0	100110	0	001100	-1	110011	+1
01001	010101	0	010101	0	010011	0	010010	0
01010	101000	-1	010111	+1	010101	0	010101	0
01011	011000	-1	100111	+1	010110	0	010110	0
01100	000111	0	000111	0	011001	0	011001	0
01101	100001	-1	011110	+1	011010	0	011010	0
01110	010001	-1	101110	+1	011100	0	011100	0
01111	110100	0	110100	0	010010	-1	101101	+1
10000	001011	0	001011	0	100010	-1	011101	+1
10001	100010	-1	011101	+1	100011	0	100011	0
10010	100100	-1	011011	+1	100101	0	100101	0
10011	111000	0	111000	0	100110	0	100110	0
10100	001001	-1	110110	+1	101001	0	101001	0
10101	000101	-1	111010	+1	101010	0	101010	0
10110	101010	0	101010	0	101100	0	101100	0
10111	011001	0	011001	0	001010	-1	110101	+1
11000	010010	-1	101101	+1	110001	0	110001	0
11001	001101	0	001101	0	110010	0	110010	0
11010	110010	0	110010	0	110100	0	11100	0
11011	010110	0	010110	0	000110	-1	111000	+1
11100	100101	0	100101	0	111000	0	111000	0
11101	100011	0	100011	0	010001	-1	101110	+1
11110	001110	0	001110	0	001001	-1	110110	+1
11111	001010	-1	110101	+1	000101	-1	111010	+1

Код *6B8V* содержит только один алфавит, куда включены кодовые группы с нулевой диспаратетностью. Это приводит к более простому схемному решению кодера линейного тракта, чем для кодов с двумя алфавитами. Однако в алфавит кода включены все кодовые группы с нулевой диспаратетностью, которые могут быть составлены из восьми символов. Поэтому код *6B8V* оказался неперспективным для передачи сервисных сигналов, кроме того, он характеризуется высокой избыточностью (несколько более высокой, чем коды *5B6V*). В связи с этим код не получил практического применения в высокоскоростных системах передачи.

Код *7B8V* относится к блочным кодам и несомненно имеет некоторые параметры лучше, чем параметры кода *5B6V*. В частности его избыточность меньше, чем для кодов *5B6V*; большое число свободных кодовых групп, не входящих в алфавиты, могут быть использованы для передачи сервисных сигналов.

В некоторых высокоскоростных системах используется коды *mVIC*. При формировании кодов *mVIC* к *m* информационным символам добавляется один, дополнительный, обозначаемый *IC* (*complimentary*). Дополнительный символ

принимает значение 1 или 0 в зависимости от последнего (m -го) информационного символа. Если информационный символ был 1, то C -символ принимает значение 0, если же m -й символ, имел значение 0, то символ C принимает значение 1. К кодам $mBIC$, используемым в цифровых ВОСП, относятся коды бифазный (или *Manchester-2*), а также коды $8BIC$ и $10BIC$.

Бифазный код в терминах кодов $mBIC$ можно записать как код $IBIC$. Его избыточность равна 0,5, т. е. тактовая частота сигналов в линии при использовании этого кода увеличивается в 2 раза. Примером реализации цифровой последовательности бифазного кода может служить последовательность, приведенная в табл. 1.

Для снижения избыточности кода значение m следует увеличивать, но при этом увеличивается и максимальное число последовательных одинаковых символов, поскольку для кодов $mBIC$ оно равно $(m + 1)$. Если устойчивая работа регенераторов при формировании тактового синхросигнала обеспечивается при числе одинаковых символов не более Π , то в цифровых ВОСП применяются коды с $m \leq 10$, такие как $8BIC$ и $10BIC$. Цифровые последовательности этих кодов приведены в табл. 5. При условии предварительного скремблирования вероятность появления единиц и нулей одинакова и равна 0,5 для кодов $8BIC$ и $10BIC$. Избыточность кодов $8BIC$ равна 0,111, а кода $10BIC$ – 0,09. Контроль ошибок в регенераторах для кодов $mBIC$ может быть реализован по величине текущей диспаратности или по контролю двух символов: m -го информационного или C -символа, поскольку эти символы всегда противоположны. Второй способ проще в схемной реализации, но вероятность ошибок в линии будет больше, чем вероятность ошибок, определяемая по двум символам в $((m + 1) / 2)$ раза.

Таблица 5

Порядок формирования последовательностей сигналов в ВОСП для кодов $8BIC$ и $10BIC$

Наименование кодов	Входная последовательность		
	0000000	11110001	11110
Последовательность сигналов в линии			
$8BIC$	000000001	111100010	1111...
$10BIC$	00000000110	11000111110	0...

Схемная реализация кодеров линейного тракта для кодов $mBIC$ более проста, чем для кодов B с небольшой избыточностью.

В высокоскоростных ВОСП используются также коды $mVIP$, где m – количество информационных символов, P – дополнительный символ. Предварительно информационный сигнал скремблируется, а затем формируются сигналы $mVIP$. При этом, если слово m – нечетное число, символ P принимает значение 1, если слово m -четное, то символ P принимает значение 0. Тогда диспаратность кодового слова $(m + P)$ с вероятностью, близкой к единице, будет равна, нулю, поэтому символ P называют паритетным символом. Как правило, в

кодах $mBIP$ число информационных символов достаточно велико. В цифровых ВОСП используются коды $17BIP$ и $24BIP$. Иногда эти коды называют без упоминания символа P : например, код $17BIP$ чаще известен под названием $17B18B$.

Коды $mBIP$ характеризуются небольшой избыточностью, например, избыточность кода $17B18B$ равна 0,055, а кода $24B25B$ – 0,04; они позволяют осуществить контроль ошибок в регенераторах и применяются в высокочастотных цифровых ОСП.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Схема установки (рис. 2) для использования характеристик линейных кодов состоит из генератора оптических сигналов Г (ОГ5-87), осциллографа ОС, селективного вольтметра (СВ) или осциллографа, совмещенного с автоматическим анализатором спектра (например TDS 1000B), приемного оптического модуля (ПОМ). Осциллограф синхронизируется от генератора ОГ5-87.

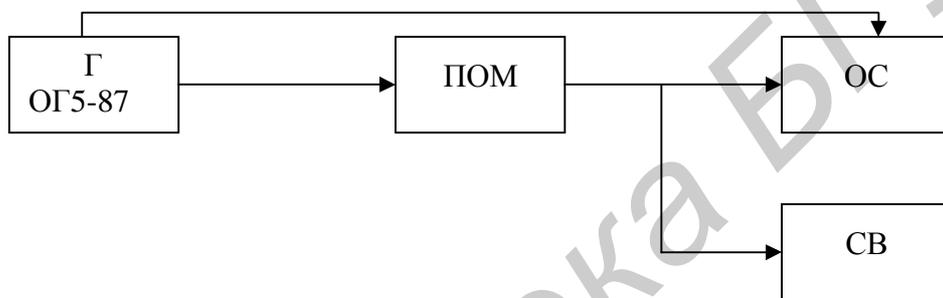


Рис. 2. Структурная схема лабораторной установки

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Исследовать временные характеристики кодов NRZ (бинарный, без возвращения к нулю), $IBIC$ (бифазный, Манчестер, $BI-L$), $СМI$.

5.1.1. Собрать установку согласно схеме.

5.1.2. Включить приборы и подать питание на фотодиод.

5.1.2. На ОГ5-87 включить тактовую частоту 2,048, длину последовательности установить равной 15, выбрать кодовое слово кнопочным переключателем РП.

5.1.2. Нажать кнопку «Пуск».

5.1.3. Установить выходную мощность на выходе генератора ($P/4$).

5.1.4. Засинхронизировать осциллограф синхросигналом с генератора: выход «Синхр».

5.1.5. Выбирая кнопками «Режим» вид кода, снять временные диаграммы указанных выше кодов при различных длительностях импульсов ($T/2$, $T/4$).

5.1.6. На основании измерений определить характеристики кодов, используя определения, данные в разд. 3.

5.2. Исследовать спектральные характеристики кодов NRZ , $IBIC$, $СМI$.

5.2.1. Подключить к выходу фотоприемника селективный вольтметр или осциллограф, имеющий БПФ преобразователь. Определить относительные

уровни дискретных спектральных составляющих на тактовой частоте ($F_T = 2,048$ МГц, $2f_T$, $2f_T$)

5.2.2. Снять спектральные характеристики кодов. Определить ширину спектральной плотности на уровне 0,1. Оценить коды с позиции полосы пропускания приемника, необходимой для приема без искажений.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Схема установки для исследований характеристик линейных кодов.
2. Результаты исследования временных диаграмм кодов.
3. Таблица с характеристиками кодов.
4. Спектральные характеристики исследованных кодов.
5. Результаты расчета ширины спектральной плотности.
6. Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким характеристикам оцениваются линейные коды ВОСП?
2. Какие требования предъявляются к линейным кодам ВОСП?
3. Чем отличается формат *NRZ* от формата *RZ*?
4. Дайте определения кодов *CMI*, Миллера, *BI-L* и т. д. Какие они имеют характеристики и почему?
5. Какие коды применяются в высокоскоростных ВОСП?
6. Определите основные характеристики кодов *2B3B*, *5B6B*, *7B8B*.
7. Дайте определение кодов типа *mBIC*, *mBIP*. Назовите их различия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алишев, Я. В. Многоканальные системы передачи оптического диапазона / Я. В. Алишев. – Минск : Выш. шк., 1988.
2. Оптика и связь / Ж. Флере [и др.]. : пер. с фр. ; под ред. В. Н. Соколова. – М. : Мир, 1984.
3. Волоконно-оптические системы передачи: учебник для вузов / М. М. Бутусов [и др.]. ; под ред. В. Н. Гомзина. – М. : Радио и связь, 1992.
4. Урядов, В. Н. ЭУМК «Волоконно-оптические системы передачи» / В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР, 2008.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОПТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ОГ5-87

Техническое описание (ТО) и инструкция по эксплуатации предназначены для изучения принципа действия и технических характеристик прибора, необходимых для обеспечения правильной эксплуатации (использования, транспортирования, хранения и технического обслуживания), полного использования технических возможностей и поддержания рабочего состояния прибора.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Параметры и характеристики

1. Прибор генерирует кодовую последовательность (КП) с устанавливаемым периодом 15 или 16 бит.

2. Прибор генерирует псевдослучайную последовательность (ПСП) с устанавливаемым периодом повторения $2^{-15} - 1$ или $2^{-23} - 1$ бит.

3. Прибор генерирует кодовые последовательности оптических и основных электрических импульсов в бинарном (импульсном), бифазном (СМ) кодах.

4. Тактовая частота (f) при внутреннем запуске дискретно регулируется от 0,01 до 50 МГц. Устанавливаемые значения частоты в мегагерцах соответствуют ряду целых чисел от 10 до 99 с множителем 10^{-n} , где n может принимать значения 0; 1; 2 и 3.

Предел допустимого значения погрешности установки тактовой частоты в режиме внутреннего запуска – не более 10 %.

5. Прибор обеспечивает установку трех фиксированных значений тактовой частоты: 2,048; 8,448 и 34,368 МГц.

Предел допустимого значения погрешности установки фиксированных значений тактовой частоты – не более $\pm 3 \cdot 10^{-6}$.

6. Прибор генерирует оптические импульсы на центральных длинах волны не более 0,88 или $1,3_{-0,1}^{+0,05}$ мкм; в диапазоне А – на центральной длине волны не более 0,88 мкм; в диапазоне Б – на центральной длине волны $1,3_{-0,1}^{+0,05}$ мкм.

7. Средняя мощность P излучения на оптических выходах прибора в бифазном и СМ-кодах равна 0,1...1,0 мВт.

Предел допустимого значения погрешности установки средней мощности – не более 20 %.

8. Время нарастания и время спада импульса излучения – не более 5 нс.

9. Глубина модуляции импульсного оптического излучения – не менее 70 %.

10. Амплитуда основных электрических импульсов на внешней нагрузке 50–1 Ом устанавливается равной 3 В (режим ТТЛ) или 1 В относительно постоянного смещения минус $(1,7 \pm 0,1)$ В (режим ЭСЛ).

Предел допустимого значения погрешности установки амплитуды – не более 10 %

11. Длительность фронта и среза основных электрических импульсов на внешней нагрузке 50–1 Ом – не более 5нс.

12. Выбросы на вершине основных электрических импульсов и в паузе между импульсами, неравномерность вершины и в паузе, наклон плоской части вершины основных электрических импульсов при длительности импульсов более 10 нс – не более 10 %.

13. Длительность основных электрических и оптических импульсов устанавливается равной $0,5 T$ или $0,25 T$, где T – период тактовой частоты. Предел допускаемого значения погрешности установки длительности основных электрических и оптических импульсов – не более $\pm 0,1 T$.

14. Нестабильность оптических импульсов за 8 ч работы не должна быть более 10 %.

15. Прибор выдает на нагрузке 50 ± 1 Ом синхроимпульсы положительной полярности амплитудой не менее 1,0 В, длительностью не менее 5 нс и длительностью Фронта не более 10 нс, синхроимпульс выдается на каждый период ПСП или РП.

16. Временной сдвиг D основных оптических импульсов относительно синхроимпульса не более 100 нс. Паразитная модуляция временного сдвига – не более 0,5 нс.

17. Прибор выдает дополнительные инвертируемые импульсы частотой F и $2F$, отрицательной полярности, амплитудой не менее 1,0 В, скважностью $2 \pm 0,2$, на внешней нагрузке 50 ± 1 Ом.

18. На выходе «Данные» прибор выдает электрические импульсы, соответствующие установленной ПСП или РП, амплитудой $0,9 \pm 0,2$ В на внешней нагрузке 50 ± 1 Ом, подключенной к источнику постоянного смещения минус $2 \pm 0,1$ В.

19. Модулятор прибора запускается внешними электрическими импульсными сигналами амплитудой $0,9 \pm 0,2$ В относительно постоянного смещения минус $1,7 \pm 0,2$ В, частотой повторения от 100 кГц до 50 МГц, длительностью не менее 5 нс.

20. В режиме внешнего запуска прибор запускается внешними электрическими импульсными и синусоидальными сигналами амплитудой 0,5...2 В частотой повторения от 0,1 до 70 МГц.

Скважность импульсных запускающих сигналов равна $2 \pm 0,2$. Тактовая частота прибора в режиме внешнего запуска равна частоте сигнала внешнего запуска, деленной на 2.

Сопротивление входа внешнего запуска равно 50 ± 5 Ом.

21. На выходе ФОТОСИГНАЛ прибор выдает электрические импульсы амплитудой 0,1...1 В на внешней нагрузке 504 Ом, последовательность которых соответствует установленной структуре кодовой последовательности.

22. Электрическая изоляция цепи сетевого разъема прибора выдерживает без пробоя испытательное напряжение переменного тока частотой 50 Гц и действующим значением 1,5 кВ в течение 1 мин.

Сопротивление изоляции указанной цепи прибора относительно корпуса – не менее 20 МОм.

Продолжение прил. 1

23. Прибор обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

24. Прибор сохраняет свои технические характеристики в пределах норм, установленный ТУ, при питании его от сети переменного тока напряжением 220 ± 22 В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц.

25. Мощность, потребляемая прибором от сети питания при номинальном напряжении, не более 130 ВА.

26. Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение времени не менее 8 ч в сутки.

Время перерыва по истечении непрерывной работы до повторного включения должно быть не менее 15 мин.

Назначение органов управления с указанием их обозначений на приборе приведено в табл. П 1.1.

Таблица П.1.1

Назначение и обозначение органов управления

Органы управления	Назначение
1	2
Переключатель СЕТЬ	Включение прибора
Переключатель КВАРЦ кнопки: 2,048 8,448 34,368	Установка фиксир. частот кварцевого запуска: 2,048 МГц 8,448 МГц 34,368 МГц
Кодовый переключатель МНz x10	Установка тактовой частоты в режиме внутреннего запуска
Переключатель ВНУТР/КВАРЦ/ВНЕШН	Выбор режима тактового запуска
Розетка 50 Ω	Гнездо внешнего запуска
Кнопочный переключатель РП, НОМЕР БИТА	Установка структуры РП
Переключатель ДЛИНА, кнопки: 15 16 $2^{15} - 1$ $2^{23} - 1$	Установка длины кодовой последовательности импульсов: РП, длина 15 бит РП, длина 16 бит ПСП, длина $2^{15} - 1$ бит ПСП, длина $2^{23} - 1$ бит

Продолжение прил. 1

Окончание табл. П.1.1

1	2
Кнопка ПУСК	Запуск устройств прибора
Розетка СИНХР 50 Ω	Гнездо выхода синхроимпульсов
Переключатель КОД, кнопки: БИН БИФ СМІ	Выбор режима работы кодирующего устройства: бинарный код бифазный код СМІ-код
Кнопка T/2 T/4	Выбор длительности стробирующих импульсов кодирующего устройства
Кнопка ТТЛ ЭСЛ	Выбор логических уровней электрического сигнала на гнезде ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС
Гнездо ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИМПУЛЬС 50 Ω	Гнездо выхода основных электрических импульсов
Переключатель МОЩНОСТЬ P, кнопки : P, P/2, P/4, P/8	Установка средней мощности оптического излучения, равной номинальному значению средней мощности (P) и импульсной мощности, равной P/2; P/4; P/8
Кнопка 0,85 1,3	Выбор длины волны оптического излучения
Кнопка ЛАЗЕР/ОТКЛ	Кнопка выключения лазеров
Розетка 0,85 μm	Гнездо выхода оптического излучения с длиной волны 0,85 мкм
Розетка 1,3 μm	Гнездо выхода оптического излучения с длиной волны 1,3 мкм

ИНСТРУКЦИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОСЦИЛЛОГРАФА TDS 1000 В

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИЙ ОСЦИЛЛОГРАФА

В прил. 2 содержатся сведения, с которыми необходимо ознакомиться до начала работы с осциллографом. Для успешной работы с осциллографом необходимо изучить следующие его функции:

- настройка осциллографа;
- синхронизация;
- запись сигналов (осциллограмм);
- выбор масштаба и положения отображения сигнала;
- измерение параметров сигнала.

На рис. П.2.1 приведена блок-схема различных функций осциллографа и их связей друг с другом.

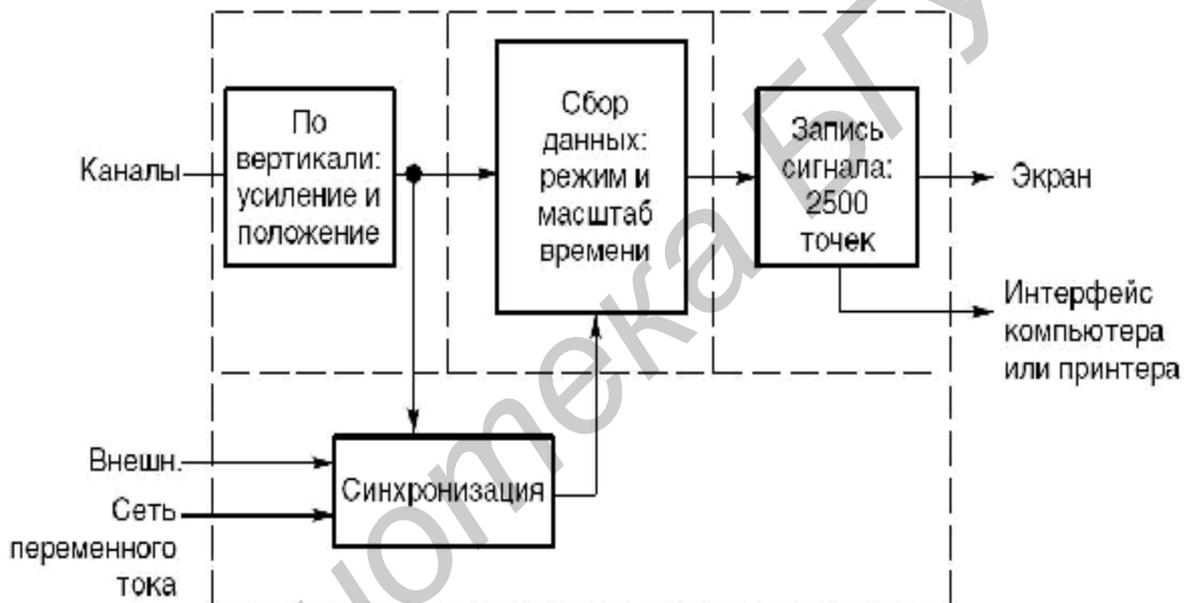


Рис. П. 2.1

НАСТРОЙКА ОСЦИЛЛОГРАФА

Следует внимательно изучить следующие три функции, которые могут часто использоваться при работе с осциллографом: *Autoset* (Автоустановка), *Autorange* (Автодиапазон), сохранение настроек и восстановление настроек.

Использование функции *Autoset* (АВТОУСТ)

При каждом нажатии кнопки АВТОУСТ функция автоустановки обеспечивает стабильное отображение осциллограммы. В этом режиме производится автоматическая настройка вертикального и горизонтального масштабов отображения, а также параметров синхронизации. Кроме того, в данном режиме на экране отображаются результаты ряда автоматических измерений, зависящих от типа сигнала.

Использование функции Autorange (Автодиапазон)

Автоматический диапазон – непрерывно действующая функция, которую можно включать и отключать. Установка настроек с помощью этой функции позволяет отслеживать сигнал при быстрых его изменениях или при переносе пробника в другую точку исследуемой схемы.

Сохранение настройки

Текущие настройки осциллографа сохраняются через 5 секунд после ввода последнего изменения настроек до отключения питания осциллографа. При следующем включении осциллографа происходит восстановление этих настроек. С помощью меню СОХР/ВЫЗОВ можно сохранить до 10 различных настроек. Кроме того, можно сохранять настройки в запоминающем устройстве USB. Запоминающее устройство USB используется в осциллографе в качестве съемного устройства для хранения и извлечения данных.

Восстановление настройки

Осциллограф позволяет восстановить последнюю настройку, использованную до отключения питания, а также любую из сохраненных настроек или настройку по умолчанию.

Настройка по умолчанию

Завод поставляет осциллограф с настройкой для обычного режима работы. Эта настройка является настройкой по умолчанию. Для ее восстановления следует нажать кнопку НАСТРОЙКА ПО УМОЛЧАНИЮ. Описание параметров этой настройки содержится в разделе.

СИНХРОНИЗАЦИЯ

Параметры синхронизации определяют момент начала сбора данных и отображения сигнала осциллографом. Правильный выбор параметров синхронизации позволяет устранить нестабильность изображения или его пропадание на экране и добиться отображения сигнала, удобного для восприятия (рис. П. 2.2).

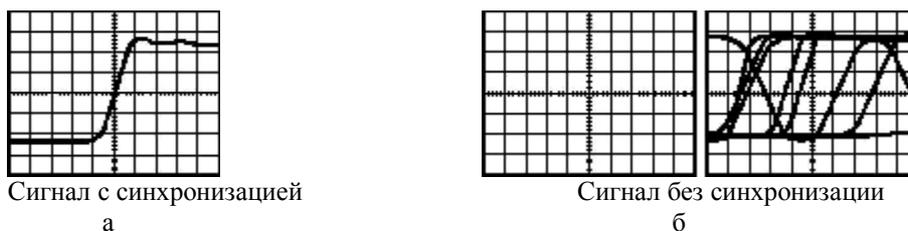


Рис. П. 2.2

При нажатии кнопок ПУСК/СТОП или ОДИНОЧН ЗАПУСК для начала сбора отсчетов осциллограф выполняет:

- 1) сбор достаточного количества данных для отображения части сигнала слева от точки запуска синхронизации. Это называется также интервалом до запуска;
- 2) продолжение сбора данных в ожидании возникновения условия запуска;
- 3) обнаружение условия запуска;
- 4) продолжение сбора данных до заполнения всей записи сигнала;
- 5) отображение записанного сигнала.

Примечание. При синхронизации по фронтам или импульсной синхронизации осциллограф вычисляет частоту возникновения событий синхронизации. Значение этой частоты отображается в правом нижнем углу экрана.

Источник

Параметры источника синхронизации позволяют выбрать сигнал, используемый для синхронизации осциллографа. Таким источником может служить сеть питания переменного тока (только при синхронизации по фронту), а также любой сигнал, поступающий на входной разъем канала или на разъем ВНЕШ. СИНХ.

Типы

В осциллографе имеется три типа синхронизации: синхронизация по фронту, видеосинхронизация и синхронизация по длительности импульса.

Режимы

Выбор режима синхронизации *Auto* (Автоматический запуск) или *Normal* (Обычный) позволяет определить способ сбора данных осциллографом в отсутствие условий запуска. Для одиночного запуска сбора данных следует нажать кнопку ОДИНОЧН. ЗАПУСК.

Тип входа

Тип входа синхронизации позволяет указать, какая часть сигнала будет поступать на вход схемы синхронизации. Это помогает добиться устойчивого изображения сигнала. Для установки типа входа синхронизации нажмите кнопку МЕНЮ СИНХ и выберите тип синхронизации *Edge trigger* (Синхронизация по фронту) или *Pulse trigger* (Импульсная синхронизация), а затем выберите параметр *Coupling* (Тип входа).

Примечание. Тип входа синхронизации влияет только на сигнал, подаваемый на систему синхронизации. Этот параметр не влияет на ширину полосы пропускания и тип входа для сигнала, отображаемого на экране.

Для просмотра формы сигнала, подаваемого на вход системы синхронизации, нажмите и удерживайте кнопку ПРОСМ. ИМП. СИНХ.

Положение

Регулятор положения по горизонтали задает время между точкой запуска синхронизации и центром экрана.

Наклон и уровень

Регуляторы *Slope* (Наклон) и *Level* (Уровень) помогают задать параметры синхронизации. Параметр *Slope* (Наклон) (только для синхронизации по фронту) определяет, будет ли поиск точки синхронизации производиться осциллографом на нарастающем или нисходящем фронте сигнала. Регулятор ЗАПУСК УРОВЕНЬ задает место точки запуска синхронизации на нарастающем или нисходящем фронте сигнала (рис. П. 2.3).

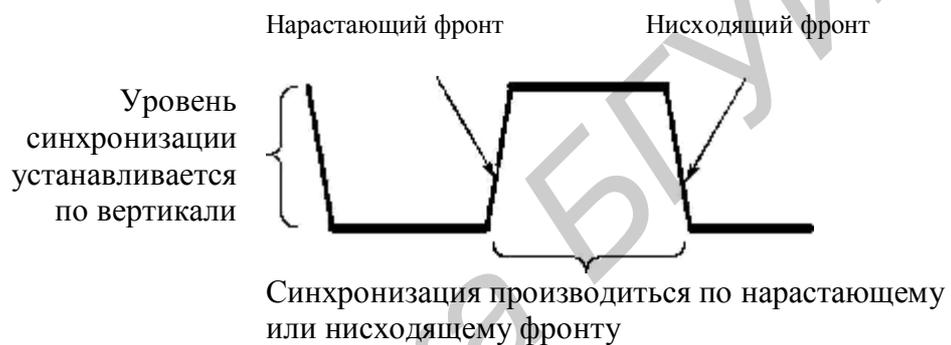


Рис. П.2.3

РЕГИСТРАЦИЯ СИГНАЛОВ

При записи сигнала (сборе данных) осциллограф преобразует его в цифровую форму и отображает на экране. Режим сбора данных определяет способ преобразования сигнала в цифровую форму, а параметр масштаба времени влияет на временной интервал и уровень детализации записываемого сигнала.

Режимы сбора данных

Имеется три режима сбора данных: выборка, пиковая детекция и усреднение.

Выборка

В этом режиме для воссоздания сигнала осциллограф производит выборку отсчетов по равномерно распределенным интервалам. Данный режим в большинстве случаев позволяет точно отобразить сигнал. Однако режим выборки не позволяет отследить быстрые флуктуации сигнала, которые могут попадать в интервалы между точками регистрации отсчетов. Это может привести к наложениям, а также к потере коротких импульсных составляющих сигнала. В подобных случаях рекомендуется использовать режим пиковой детекции.

Пиковая детекция

В этом режиме осциллограф производит поиск максимальных и минимальных значений входного сигнала по каждому интервалу между точками регистрации, и эти значения используются для отображения сигнала. Такой режим позволяет регистрировать и отображать короткие импульсы, которые могут быть утеряны в режиме выборки. Уровень шума в этом режиме повышается.

Усреднение

В режиме усреднения осциллограф производит регистрацию сигнала по нескольким периодам с последующим усреднением полученных данных и отображением усредненных результатов. Данный режим можно использовать для снижения уровня случайного шума.

Масштаб времени

Осциллограф преобразует сигналы в цифровую форму, регистрируя уровень входного сигнала в определенные моменты. Изменяя масштаб времени, можно менять частоту преобразования в цифровую форму. Для установки нужного значения масштаба времени по горизонтальной оси используется регулятор СЕК/ДЕЛ.

ЗАДАНИЕ МАСШТАБА И ПОЛОЖЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАММЫ

Для изменения вида осциллограммы можно установить масштаб и положение осциллограммы. При изменении масштаба размер осциллограммы увеличивается или уменьшается. При изменении положения осциллограмма сдвигается вверх, вниз, вправо или влево.

Для каждого сигнала на экране отображается соответствующий индикатор канала, расположенный слева от масштабной сетки. Индикатор указывает опорный уровень осциллограммы.

Положение и масштаб по вертикали

Для изменения положения осциллограммы по вертикали можно переместить ее на экране вверх или вниз. Для сравнения сигналов их изображения можно выровнять друг относительно друга или разместить одно под другим.

Кроме того, можно изменять масштаб осциллограммы по вертикали. При этом осциллограмма сжимается или расширяется относительно опорного уровня.

Масштаб и положение по горизонтали; интервал до запуска

Регулятор ГОРИЗОНТ. ПОЛОЖЕНИЕ позволяет просматривать осциллограмму до точки запуска, после нее или в определенной области до и после

этой точки. При изменении положения горизонтали фактически изменяется время между моментом запуска и точкой центра экрана. (Это выглядит на экране как перемещение осциллограммы вправо или влево.)

Например, для определения причины всплеска сигнала в проверяемой цепи можно установить запуск синхронизации по пику всплеска и выбрать интервал до запуска, достаточный для получения данных до всплеска. Результаты анализа этих данных могут помочь определить причину всплеска.

Для изменения горизонтального масштаба всех осциллограмм служит регулятор СЕК/ДЕЛ. Например, для измерения уровня выброса на нарастающем фронте сигнала может потребоваться отобразить только один период сигнала.

Масштаб по горизонтали отображается на экране осциллографа в виде значения время/деление в области экранных надписей. Поскольку для всех активных сигналов используется общая шкала времени, на экране отображается только одно значение масштаба для всех активных каналов.

Искажения во временной области

Искажения возникают при скорости дискретизации сигнала, недостаточной для его точного отображения. При этом либо на экране отображается сигнал, частота которого меньше фактической частоты входного сигнала, либо осциллограмма неустойчива (рис. П. 2.4).

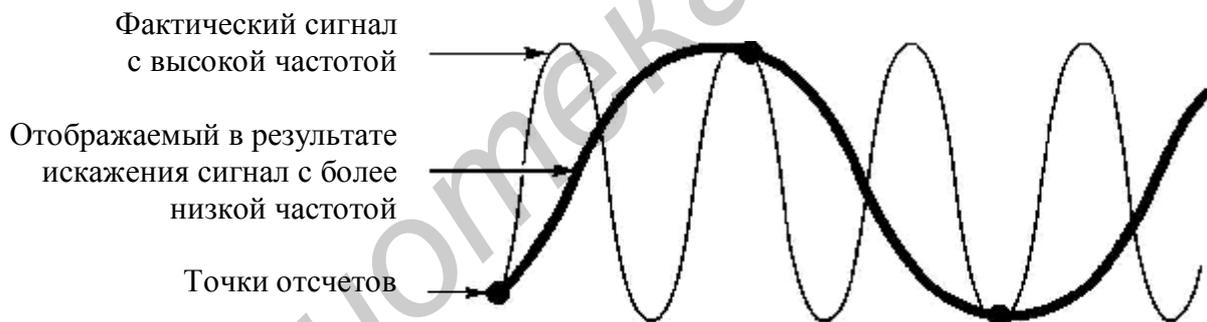


Рис. П. 2.4

Точность отображения сигналов осциллографом ограничена полосой пропускания пробника и самого осциллографа, а также частотой дискретизации. Во избежание искажений при отображении сигнала необходимо, чтобы частота дискретизации осциллографа по крайней мере вдвое превышала частоту наиболее высокочастотных составляющих сигнала.

Максимальная частота сигнала, теоретически доступная для отображения осциллографом при имеющейся частоте дискретизации, называется предельной частотой сигнала (частотой Найквиста). Соответствующая частота дискретизации называется частотой дискретизации Найквиста и равна удвоенной максимальной частоте сигнала.

Значение максимальной частоты дискретизации в осциллографе превышает значение полосы пропускания не менее чем в 10 раз. Такое высокое зна-

чение частоты дискретизации позволяет снизить вероятность возникновения искажений при отображении сигнала.

Имеется несколько способов проверки осциллограммы на наличие искажений:

- измените горизонтальный масштаб с помощью регулятора СЕК/ДЕЛ. Резкое изменение вида осциллограммы свидетельствует о возможном наличии искажения сигнала;

- выберите режим регистрации *Peak Detect* (Пиковая детекция). В этом режиме фиксируются максимальные и минимальные значения сигнала, что позволяет регистрировать более быстрые изменения осциллограммы. Резкое изменение вида осциллограммы свидетельствует о возможном наличии искажения сигнала;

- если частота синхронизации превышает частоту отображения данных, то возможны искажения или ситуация, при которой сигнал многократно пересекает уровень запуска синхронизации. При анализе сигнала можно определить, позволяет ли его форма добиться однократного запуска синхронизации при выбранном уровне запуска;

- если имеется несколько вероятных точек запуска, то следует выбрать такой уровень запуска, при котором существует только одна точка запуска синхронизации за период сигнала. Если же частота синхронизации по-прежнему превышает частоту отображения данных, то все еще имеется вероятность искажений.

- если частота синхронизации ниже, данная проверка неэффективна;

- если отображаемый сигнал является также источником синхронизации, для оценки его частоты следует воспользоваться координатной сеткой или курсорами. Сравните полученное значение со значением частоты синхронизации, отображаемым в правом нижнем углу экрана. Если эти значения существенно различаются, возможно наличие искажений сигнала.

В табл. П. 2.1 приведены значения масштаба времени, которые следует использовать во избежание искажений при различных частотах сигналов и соответствующих частотах дискретизации. При значениях параметра СЕК/ДЕЛ, отвечающих максимальной частоте развертки, искажения маловероятны вследствие ограничения полосы пропускания входных усилителей осциллографа.

ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Осциллограф отображает графики напряжения по времени и позволяет выполнять различные измерения отображаемой осциллограммы.

Имеется несколько способов выполнения измерений. Можно использовать координатную сетку, курсоры или результаты автоматических измерений.

Настройки для устранения искажений в режиме выборки

Масштаб времени	Выборки в секунду	Максимум
2,5 нс	2 Гвыб./с	200,0 МГц
5,0...250,0 нс	1...2 Гвыб./с	200,0 МГц
500,0 нс	500,0 Мвыб./с	200,0 МГц
1,0 мс	250,0 Мвыб./с	125,0 МГц
2,5 мс	100,0 Мвыб./с	50,0 МГц
5,0 мс	50,0 Мвыб./с	25,0 МГц
10,0 мс	25,0 Мвыб./с	12,5 МГц
25,0 мс	10,0 Мвыб./с	5,0 МГц
50,0 мс	5,0 Мвыб./с	2,5 МГц
100,0 мс	2,5 Мвыб./с	1,25 МГц
250,0 мс	1,0 Мвыб./с	500,0 кГц
500,0 мс	500,0 квыб./с	250,0 кГц
1,0 мс	250,0 квыб./с	125,0 кГц
2,5 мс	100,0 квыб./с	50,0 кГц
5,0 мс	50,0 квыб./с	25,0 кГц
10,0 мс	25,0 квыб./с	12,5 кГц
25,0 мс	10,0 квыб./с	5,0 кГц
50,0 мс	5,0 квыб./с	2,5 кГц
100,0 мс	2,5 квыб./с	1,25 кГц
250,0 мс	1,0 квыб./с	500,0 Гц
500,0 мс	500,0 выб./с	250,0 Гц
1,0 с	250,0 выб./с	125,0 Гц
2,5 с	100,0 выб./с	50,0 Гц
5,0 с	50,0 выб./с	25,0 Гц
10,0 с	25,0 выб./с	12,5 Гц
25,0 с	10,0 выб./с	5,0 Гц
50,0 с	5,0 выб./с	2,5 Гц

Масштабная сетка

Данный метод позволяет быстро выполнить визуальную оценку параметров сигнала. Например, можно визуально оценить амплитуду сигнала и определить, что она несколько превышает 100 мВ.

Для простых измерений можно воспользоваться подсчетом количества основных и промежуточных делений координатной сетки с последующим умножением результата на коэффициент масштабирования.

Например, если между максимальным и минимальным значениями сигнала имеется пять основных вертикальных делений сетки и известно, что коэффициент масштабирования равен 100 мВ/деление, то значение амплитуды можно легко вычислить по формуле

$$5 \text{ делений} \times 100 \text{ мВ/деление} = 500 \text{ мВ.}$$

Курсоры

Данный метод заключается в перемещении курсоров (которые всегда отображаются парами) и считывании в области экранных сообщений значений, соответствующих их местоположению. Имеется два типа курсоров: по амплитуде и по времени.

При использовании курсоров необходимо убедиться, что в качестве источника выбран именно тот сигнал, который требуется измерить.

Для использования курсоров нажмите кнопку КУРСОР.

Курсоры амплитуды

Курсоры амплитуды отображаются на экране в виде горизонтальных линий. С их помощью измеряются параметры сигнала по вертикали. Амплитуды отсчитываются от опорного уровня. При использовании функции *Math FFT* (Быстрое преобразование Фурье) с помощью этих курсоров измеряется амплитуда спектра (рис. П. 2.5).

Курсор

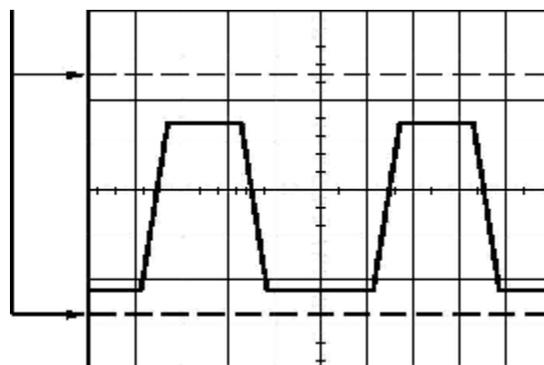


Рис. П. 2.5

Курсоры времени

Курсоры времени отображаются на экране в виде вертикальных линий и позволяют измерить параметры сигнала как по горизонтали, так и по вертикали. Время измеряется по отношению к точке синхронизации развертки. При использовании функции *Math FFT* (Быстрое преобразование Фурье) с помощью этих курсоров измеряется частота. Курсоры времени дают также значение амплитуды осциллограммы в точке, где ее пересекает курсор.

Автоматические

С помощью меню ИЗМЕРЕНИЯ можно выполнять до пяти автоматических измерений. При автоматических измерениях все необходимые вычисления производятся осциллографом автоматически. Поскольку для измерений используются данные в точках дискретизации сигнала, точность этого метода выше, чем при использовании координатной сетки или курсоров.

Результаты автоматических измерений отображаются в полях области экранных сообщений. Значения этих полей обновляются при регистрации осциллографом новых данных.

БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

Ниже содержится подробное описание способов использования режима *Math FFT* (Быстрое преобразование Фурье). Режим БПФ позволяет найти частотные компоненты (спектр) сигнала во временной области (*YT*). Режим БПФ используется для просмотра следующих типов сигналов:

- анализ гармонических составляющих в сетях питания;
- измерение гармонических составляющих и искажений в системах;
- определение характеристик шумов в источниках постоянного напряжения;
- тестирование импульсного отклика фильтров и систем;
- анализ вибрации.

Для использования режима БПФ необходимо выполнить следующие действия:

- задать источник сигнала (во временной области);
- отобразить спектр БПФ;
- выбрать тип окна БПФ;
- настроить частоту выборки для отображения основной частоты и гармоник без наложения спектров;
- использовать элементы управления масштабом для увеличения спектра;
- провести измерения спектра с использованием курсоров.

УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Перед использованием режима БПФ необходимо установить параметры сигнала во временной области (*YT*). Для этого выполните следующие действия.

1. Нажмите кнопку АВТОУСТ для отображения сигнала *YT*.

2. С помощью ручки ВЕРТИК. ПОЛОЖЕНИЕ поместите изображение сигнала УТ в центр по вертикали (на нулевом делении).

Это обеспечит правильное отображение постоянной составляющей при БПФ.

3. С помощью ручки ГОРИЗОНТ. ПОЛОЖЕНИЕ поместите анализируемую часть сигнала УТ в средние восемь делений на экране.

Для расчета спектра БПФ в осциллографе используются 2048 точек средней части сигнала во временной области.

4. С помощью ручки ВОЛЬТ/ДЕЛ отрегулируйте изображение таким образом, чтобы на экране отображался весь сигнал. Если отображается не весь сигнал, осциллограф может дать ошибочные результаты БПФ (за счет добавления высокочастотных составляющих).

5. С помощью ручки СЕК/ДЕЛ подберите требуемое разрешение для спектра БПФ.

6. Если возможно, настройте осциллограф на отображение нескольких периодов сигнала.

При повороте ручки СЕК/ДЕЛ для выбора более быстрой развертки (отображение меньшего количества периодов) в спектре БПФ отображается более широкий диапазон частот и снижается вероятность искажений БПФ. Однако при этом частотное разрешение осциллографа снижается.

Для настройки отображения БПФ выполните следующие действия.

1. Нажмите кнопку МЕНЮ МАТЕМАТИКА для вывода меню математических операций.

2. Нажмите кнопку *Operation* (Операция) ► *FFT* (БПФ).

3. Выберите канал, являющийся источником для операции БПФ.

Во многих случаях осциллограф позволяет получать спектр БПФ даже без синхронизации временного сигнала. В особенности это справедливо для периодических и случайных сигналов (шумов).

Примечание. Нестационарные сигналы и пакеты импульсов необходимо синхронизировать таким образом, чтобы они размещались как можно ближе к центру экрана.

Частота Найквиста

Максимальная частота, которую без ошибок может измерить цифровой осциллограф в режиме оцифровки в реальном времени, равняется половине частоты дискретизации. Эту частоту называют частотой Найквиста. Для частот выше частоты Найквиста скорость регистрации отсчетов является недостаточной, что приводит к искажениям БПФ.

При математической обработке в спектр БПФ сигнала преобразуются значения 2048 центральных точек сигнала во временной области. Результирующий спектр БПФ содержит 1024 точки от 0 Гц до частоты Найквиста.

Обычно спектр БПФ на экране сжимается по горизонтали до 250 точек, но с помощью функции масштабирования БПФ можно развернуть спектр, чтобы более подробно отобразить его компоненты в каждой из 1024 точек данных.

ОТОБРАЖЕНИЕ СПЕКТРА БПФ

Нажмите кнопку МЕНЮ МАТЕМАТИКА для вывода меню математических функций. Выберите канал-источник, алгоритм окна и коэффициент увеличения БПФ. Одновременно на экран можно вывести только один спектр БПФ (рис. П. 2.6).

Параметр БПФ	Настройки	Описание
<i>Source</i> (Источник)	CH1 (K1), CH2 (K2), CH3 (K3), CH4 (K4)	Выбор канала, являющегося источником БПФ.
<i>Window</i> (Окно)	<i>Hanning</i> (Хеннинг), <i>Flattop</i> (Плоское), <i>Rectangular</i> (Прямоугольное)	Выбор типа окна БПФ
<i>FFT Zoom</i> (Масштаб БПФ)	X1, X2, X5, X10	Изменение масштаба БПФ по горизонтали

Рис. П. 2.6

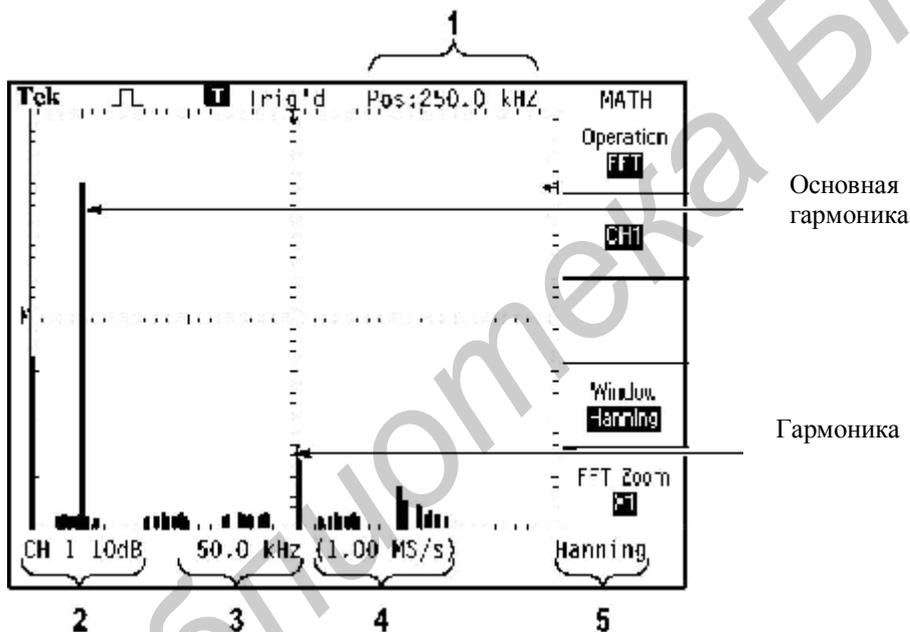


Рис. П. 2.7

На рис. П. 2.7 цифрами обозначены:

- 1) частота на центральной линии сетки;
- 2) масштаб по вертикали, дБ на деление (0 дБ = 1 Вэф.);
- 3) масштаб по горизонтали, частота на деление;
- 4) частота дискретизации, выборки в секунду;
- 5) тип окна БПФ.

ВЫБОР ОКНА БПФ

Окно снижает просачивание спектральных частот в спектр БПФ. При выполнении быстрого преобразования Фурье предполагается, что временной сиг-

нал повторяется бесконечно. Для целого числа циклов (1, 2, 3, ...) временной сигнал начинается и заканчивается на одном и том же уровне и в форме сигнала отсутствуют разрывы. При нецелом числе циклов сигнала во временной области начальная и конечная точки имеют разные уровни. Переход от начальной к конечной точке приводит к разрыву в форме сигнала, что в свою очередь вызывает появление высокочастотных составляющих переходного процесса.

Применение окна к сигналу во временной области изменяет форму сигнала таким образом, что начальное и конечное значение сближаются, в результате чего уменьшается величина разрыва (рис. П. 2.8).

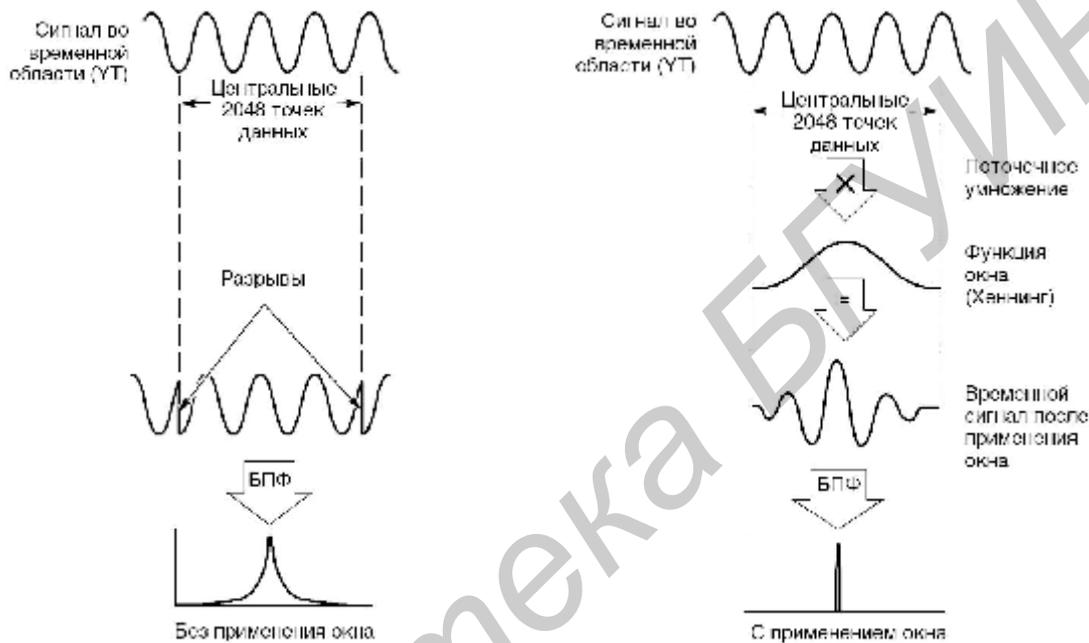


Рис. П. 2.8

Функция *Math FFT* включает три параметра окна БПФ (рис. П. 2.9). Каждое окно представляет собой компромисс между разрешением по частоте и точностью амплитудных измерений. Выбор окна определяется необходимостью измерения конкретных величин и характеристиками исходного сигнала.

Окно	Измерение	Параметр
<i>Hanning</i> (Хеннинг)	Периодические осциллограммы	Большая точность по частоте, но меньшая точность по амплитуде по сравнению с плоским окном
<i>Flattop</i> (Плоское)	Периодические осциллограммы	Большая точность по амплитуде, но меньшая точность по частоте по сравнению с окном Хеннинга
<i>Rectangular</i> (Прямоугольное)	Импульсы и переходные процессы	Специальное окно для сигналов, которые не имеют разрывов. Оно фактически эквивалентно отсутствию окна

Рис. П. 2.9

Искажения БПФ

Когда осциллограф регистрирует сигнал во временной области, содержащий гармоники с частотами выше частоты Найквиста, могут возникать некоторые проблемы. Скорость регистрации отсчетов недостаточна для частот, превышающих частоту Найквиста. Это приводит к появлению низкочастотных гармоник, зеркальных относительно частоты Найквиста. Такие паразитные гармоники называют паразитными составляющими (рис. П. 2.10).

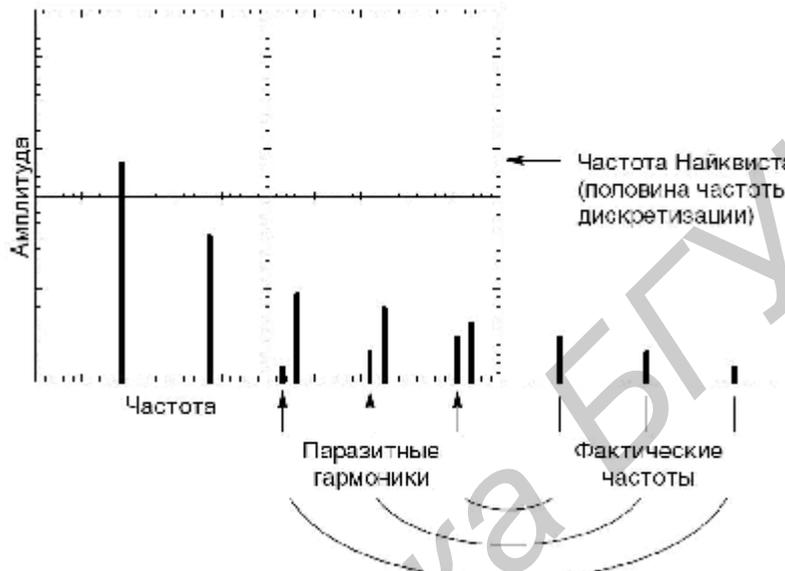


Рис. П. 2.10

Устранение паразитных гармоник

Для устранения паразитных гармоник попробуйте применить следующие меры.

1. С помощью ручки СЕК/ДЕЛ задайте более высокое значение частоты дискретизации. Поскольку с увеличением частоты дискретизации увеличится частота Найквиста, паразитные гармоники будут отображаться на правильных частотах. Если на экране отображается слишком много гармоник, можно увеличить разрешение спектра БПФ с помощью параметра *FFT Zoom* (Масштаб БПФ).
2. Если нет необходимости просматривать гармоники выше 20 МГц, задайте для параметра *Bandwidth Limit* (Ограничение полосы пропускания) значение *On* (Вкл).
3. Примените внешний фильтр к исходному сигналу, чтобы ограничить диапазон его гармоник значением ниже частоты Найквиста.
4. Определите паразитные гармоники и игнорируйте их.
5. Используйте средства управления масштабом и курсоры для увеличения и выполнения измерений в спектре БПФ.

УВЕЛИЧЕНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ СПЕКТРА БПФ

Для выполнения измерений в спектре БПФ можно использовать увеличение масштаба и курсоры. Для увеличения масштаба по горизонтали служит параметр осциллографа *FFT Zoom* (Масштаб БПФ). Для увеличения по вертикали используют элементы управления вертикальной разверткой.

Положение и масштаб по горизонтали

Параметр *FFT Zoom* (Масштаб БПФ) позволяет растянуть спектр БПФ по горизонтали без изменения частоты дискретизации. Доступны следующие коэффициенты масштабирования: X1 (по умолчанию), X2, X5 и X10. Когда используется коэффициент X1 и сигнал размещен по центру координатной сетки, левой границей является частота 0 Гц, а правой границей – частота Найквиста.

После применения масштабирования спектр БПФ растягивается относительно центральной линии сетки. Другими словами, центральная линия сетки является осью для увеличения по горизонтали.

Для сдвига спектра БПФ вправо поверните ручку ГОРИЗОНТ. ПОЛОЖЕНИЕ по часовой стрелке. Для совмещения центра спектра с центральной линией сетки нажмите кнопку УСТ НУЛЬ.

Положение и масштаб по вертикали

Ручки управления вертикальной разверткой позволяют регулировать масштаб и положение отображаемого спектра БПФ для соответствующего канала. Ручкой ВОЛЬТ/ДЕЛ устанавливаются коэффициенты масштабирования X0.5, X1 (по умолчанию), X2, X5 и X10. Спектр БПФ растягивается по вертикали относительно маркера М (расположенной на левом краю экрана расчетной опорной метки кривой).

Чтобы переместить спектр для данного канала вверх, поверните ручку ВЕРТИК. ПОЛОЖЕНИЕ по часовой стрелке.

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРА БПФ С ПОМОЩЬЮ КУРСОРОВ

Для спектра можно выполнить следующие два измерения: амплитуды спектра (в децибелах) и частоты (в герцах). Амплитуда измеряется относительно уровня 0 дБ, где 0 дБ равняется 1 Вэфф. Курсоры можно использовать для измерений при любом увеличении. Для этого выполните следующие действия.

1. Нажмите кнопку КУРСОР, чтобы отобразить *Cursor Menu* (Меню курсора).
2. Нажмите кнопку *Source* (Источник) ► *MATH* (Математика).
3. Нажмите функциональную кнопку *Type* (Тип) и выберите параметр *Magnitude* (Амплитуда) (рис. П. 2.11, б) или *Frequency* (Частота) (рис. П. 2.11, а).
4. Для перемещения курсора 1 и курсора 2 используются универсальные ручки.

Горизонтальные курсоры служат для измерения амплитуды, а вертикальные курсоры – для измерения частоты. На экране отображается приращение между двумя курсорами. Приращение равняется абсолютной величине разности значений курсора 1 минус курсор 2.

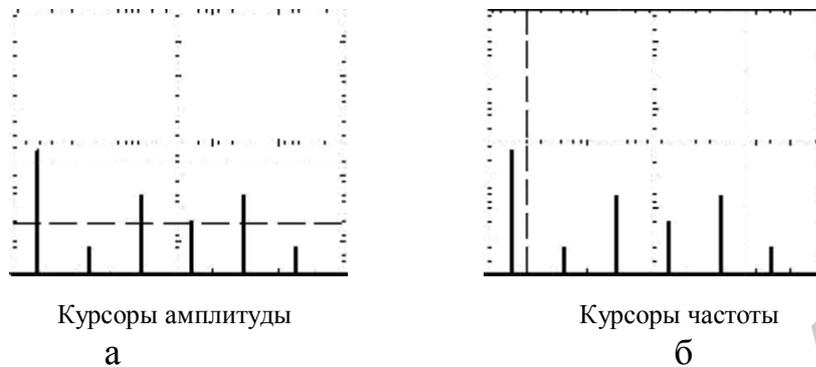


Рис. П. 2.11

Измерения частоты можно проводить, не используя курсоры. Для этого с помощью ручки *Horizontal Position* (Положение по горизонтали) поместите гармонику на центральную линию координатной сетки и определите значение в правом верхнем углу экрана.

Учебное издание

Урядов Владимир Николаевич
Лукашевич Сергей Александрович

ЛИНЕЙНЫЕ КОДЫ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

Методическое пособие к лабораторной работе
по дисциплинам «Волоконно-оптические системы передачи»
и «Оптические системы передачи» для студентов специальностей
«Многоканальные системы телекоммуникаций» и «Системы радиосвязи,
радиовещания и телевидения»

Редактор Н. В. Гриневич
Корректор Е. Н. Батурчик
Компьютерная верстка Е. С. Чайковская

Подписано в печать 02.10.2009.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 2,09.
Уч.-изд. л. 2,1.	Тираж 50 экз.	Заказ 222.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6